

The Process of Changes in the Appearance and Structural Elements of Bulbous Domes During the Timurid and Safavid Period in Central Asia and Iran

Akbari, Z.¹; Neyestani, J.²; Hojabri Nobari, A. R.³; Nasiri, M. R.⁴

Type of Article: Research

Pp: 243-264

Received: 2021/06/30; Accepted: 2021/11/23

 <https://dx.doi.org/10.66224/PJAS.7.23.243>

Abstract

Bulbous domes are among discontinuous double-shell domes and were built in Iran in the early ninth century A.H. Previous domes were shaped pointed and there was no bulge coming out beyond their base diameters. But in the Timurid period, dome profile was changed so that it began a return below the base of the arch, producing thereby a slight bulge. The main question is that what are the reasons for the changes in the appearance and structural elements between two shells after the initial formation of these domes in Central Asia and then their evolution in Iran. This research is written with the aim of finding the hidden aspects in the development of bulbous domes based on both historical documents, and architectural remains, and also examines the reasons of the changes created in these kinds of domes during four centuries in the context of cultural Iran. This study has a descriptive-analytical approach for exploring case studies, which are selected based on primary and secondary sources and also field research. The appearance changes of bulbous domes include removing flutes from the outer shell, adjusting the height of the drum and creating more bulge at the place where the outer shell joins the drum. In this article, the structural changes to improve the strength of the domes, the change in the number and proportions of the stiffeners to prevent the damage of the dome, as well as the shape and arrangement of the wooden struts to increase domes flexibility against seismic shocks, have been examined.

Keywords: Bulbous dome, narrow ribs, stiffeners, wooden struts, Timurid-Safavid architecture.

Motaleat-e Bastanshenasi-e Parseh (MBP)

Parseh Journal of Archaeological Studies
Journal of Archaeology Department of
Archaeology Research Institute, Cultural
Heritage and Tourism Research
Institute (RICT), Tehran, Iran

Publisher: Cultural Heritage and
Tourism Research Institute (RICT).
Copyright©2022, The Authors. This
open-access article is published under
the terms of the Creative Commons.

1. Ph.D. in Archaeology, Department of Archaeology, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2. Professor, Department of Archeology, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (Corresponding Author).
Email: jneyestani@modares.ac.ir
3. Professor, Department of Archeology, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
4. Professor, Department of History, Payam Noor University, Tehran, Iran.

Citations: Akbari, Z.; Neyestani, J.; Hejabri Nobari, A. & Nasiri, M. R., (2023). "The Process of Changes in the Appearance and Structural Elements of Bulbous Domes During the Timurid and Safavid Period in Central Asia and Iran". *Parseh J Archaeol Stud*, 7 (23): 243-264. (<https://dx.doi.org/10.66224/PJAS.7.23.243>).

Homepage of this Article: http://journal.richt.ir/mbp/browse.php?a_id=597&sid=1&slc_lang=en

Introduction

Since the most obvious feature of Timurid architecture is its splendor, the architects of this period paid special attention to the dome than other architectural elements. In this era, domes were raised on high drums, and in order to achieve desired height on the exterior, architects usually built another shell on the top of the internal one. In such a way the dome profile is changed, so that it began a return below the base of the arch, producing thereby a slight bulge. Therefore, the bulbous dome is one of the innovations of the Central Asian architects during the Timurid period. The first cases of the bulbous domes in Central Asia have flutes on the outer shell; in addition, they have an oval-shaped structure. Construction of this domes continued with a few changes during the reign of Timur's successors in Great Khorasan and within the current borders of Iran. To put it more clearly, after the Timurid period and during the rule of Safavids in Iran, construction of these domes continued with few changes. This study is dedicated to the analysis of the process of changes and also reasons for these changes in the appearance and structural elements of the bulbous domes according to the case studied in Central Asia and Iran during the Timurid and Safavid eras. The main question is, what changes have occurred in the appearance as well as structural elements, and as a result, the stability of these domes in the Timurid and Safavid periods in Central Asia and Iran, and what were the reasons for them.

Theoretical method of this research is based on the cultural history approach. Therefore, each case is viewed as a culture. Concerning this, three domes were selected from different regions of Central Asia (Turkistan, Samarkand, and Herat) and seven cases from Iran (Khorasan and Isfahan). Three main criteria for selecting the case studies can be listed: 1. Geographical and historical context; 2. Similarities of the cases during the Timurid period in Central Asia and the Safavid period in Iran, and; 3. Authenticity of the domes.

Discussion

All the studied domes in Central Asia have a lofty cylindrical drum. The height of the drums was adjusted in Iran during the Timurid era, in Khorasan and also in the central regions of Iran. It is worth to mention that, construction of high drums in Central Asia, during the reign of Timur, and in Iran, during the reign of Shah Abbas I, can be seen as an expression of the visual effects of architecture as a manifestation of the power and reflection of the perfectionist personality of those Kings.

The most important exterior characteristic of the studied domes is in the external shell (Avgon), where the drum and the external shell connected to each other. Therefore, in the bulbous domes, part of the weight load of the outer shell at the junction of the dome

and drum is directed inward and less pressure is applied to the base of the monument.

Flutes move from their common place at the top of the external shell to the bottom, and transfer forces and lateral loads to the inside, and enhance the resistance of the dome against the thrust forces.

In Central Asia's domes, we couldn't find narrow ribs on the surface of internal shell. This is despite the fact that in most of the studied cases from the Safavid period, narrow ribs were used to transfer the weight of the stiffeners to the lower parts and base of the monument. It seems that, utilize of the narrow ribs in the Safavid domes was the invention of the Iranian elite architects to give cohesion to the double-shell domes, especially bulbous ones.

From the earliest bulbous domes, we can see stiffeners between two shells. These elements have different shapes. Establishing stiffeners, especially in the Avgon part, greatly reduce the destruction of the dome during earthquakes and shows the architects' awareness of stiffener's structural role and function.

The wooden struts are arranged somewhat circularly to help connect the stiffeners to increase flexibility against earthquake shocks.

Conclusion

Changing process of bulbous domes in Iran includes removing the flutes from the external shell, adjusting the height of the drum and creating an avgon with more bulge at the junction of the external shell and drum. Domes with flutes in the Central Asia were a main characteristic of monuments. It seems that use of flutes, in addition to structural reasons, also had an aesthetic aspect; because, vertical and parallel concave and convex lines on the external shell make the domes look higher and add to the glory of the whole monument. Moreover, flutes help in transferring the thrust forces entered into the building and have a function like an avgon at the place of joining the dome's drum. It seems that removing the flutes from domes in Iranian architecture of Timurid period should be considered as a result of the lack of a single political power in different regions of the country. Among other fundamental changes, we can notice domes with more bulge. During the Safavid period, architects learned and experienced the basic stages of bulbous domes and gained sufficient skill with regard to the morphological elements of dome and its strength. In this way, for aesthetic purposes, structural solutions such as creating narrow ribs on the internal shell of the dome and deepening the stiffeners in the avgon part have been used to maintain the integrity of the external shell. One of the reasons for the construction of narrow ribs is to transfer the compressive force of the stiffeners to the lower parts and bases of the dome and to strengthen their stability. In some cases, ribs were not used to connect stiffeners to the internal shell due to small

diameter of the dome span. The changes made in the stiffeners from the Timurid period to the end of the Safavid period should be considered more related to their number, shape and proportions, which can be attributed not only to the creativity of local architects, but also to the architects' complete awareness of the role and function of the stiffeners. These structural elements prevent the destruction of domes due to thrust forces (wind and earthquake). Wooden struts also make it possible to create a better connection between the stiffeners and external shell, as well as the connection between the components of the dome.

فرآیند و چرایی تغییر در شکل ظاهری و عناصر سازه‌ای گنبدهای شلجی شکل از آغاز دوره تیموری تا پایان دوره صفوی در آسیای مرکزی و ایران

زینب اکبری^I؛ جواد نیستانی^{II}؛ علیرضا هژبری نوبری^{III}؛ محمدرضا نصیری^{IV}

نوع مقاله: پژوهشی
صص: ۲۶۴ - ۲۴۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۹

شناسه دیجیتال (DOI): <https://dx.doi.org/10.66224/PJAS.7.23.243>

چکیده

ساخت انواع گنبدها در دوران اسلامی، به ویژه در دوره‌های تیموری و صفوی به نهایت کمال رسید. گنبدهای شلجی شکل، از نمونه‌های قابل تأمل در فرهنگ معماری آسیای مرکزی و ایران است که در اوایل قرن ۹ ه.ق. / ۱۵ م. و هم‌زمان با دوره تیموری رواج یافت. در این شکل جدید، در محل پیوستن پوسته بیرونی گنبد به ساقه، بیرون‌زدگی مختصری ایجاد شده که سبب تغییر در شکل ظاهری و جزئیات سازه‌ای شده است. پرسش مطرح این است که، دلایل ایجاد این تغییرات در نمای ظاهری و نیز عناصر سازه‌ای دخیل بین دو پوسته، پس از شکل‌گیری اولیه این گنبدها در آسیای مرکزی و سپس سیر تکامل آن‌ها در ایران چگونه است؟ پژوهش حاضر با هدف دستیابی به جنبه‌های پنهان در سیر تحول گنبدهای شلجی شکل و با تکیه بر مستندات تاریخی و باستان‌شناسی و پاسخ به چرایی و علل تحولات ایجادشده در آن‌ها طی ۴ قرن در حوزه ایران فرهنگی به نگارش درآمده است. افزون بر این، بازنمایی اندیشه‌ها و باورهای حامیان و معماران پدیدآورنده این گنبدها با مطالعه تحولات انجام‌گرفته در این آثار مورد توجه است. پژوهش حاضر با روش توصیفی-تحلیلی انجام شده و مطالعه گنبدهای منتخب نیز مبتنی بر فعالیت‌های میدانی، تحقیق در منابع و اسناد کتابخانه‌ای است. فرآیند تغییر شکل ظاهری گنبدها، شامل حذف خیاره بیرونی، تعدیل در ارتفاع ساقه و ایجاد انحنای بیشتر در محل پیوستن پوسته بیرونی به گریو است. این پژوهش، در پیوند با تغییرات سازه‌ای ایجادشده برای بهبود مقاومت و استحکام گنبدها، از ساخت باریکه‌ها بر روی پوسته درونی و انتقال وزن دیوارهای خشخاشی به قسمت‌های زیرین و پایه‌های گنبدخانه، تغییر در تعداد و تناسبات خشخاشی‌ها برای جلوگیری از خرابی گنبد، به ویژه در بخش آوگون به هنگام زلزله و نیز شکل و ترتیب قرارگیری کلاف‌های چوبی برای افزایش انعطاف‌پذیری آن در برابر تکان‌های لرزشی، سخن گفته است.

کلیدواژگان: گنبد شلجی، آوگون، باریکه طاق، خشخاشی، کلاف‌های چوبی، دوره تیموری-صفوی، معماری آسیای مرکزی، معماری ایران.

I. دکتری باستان‌شناسی، گروه باستان‌شناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

II. استاد گروه باستان‌شناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (نویسنده مسئول).

Email: jneyestani@modares.ac.ir

III. استاد گروه باستان‌شناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

IV. استاد گروه تاریخ، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران.

ارجاع به مقاله: اکبری، زینب؛ نیستانی، جواد؛ هژبری نوبری، علیرضا؛ و نصیری، محمدرضا، (۱۴۰۲). «فرآیند و چرایی تغییر در شکل ظاهری و عناصر سازه‌ای گنبدهای شلجی شکل از آغاز دوره تیموری تا پایان دوره صفوی در آسیای مرکزی و ایران». مطالعات باستان‌شناسی پارسه، ۷ (۲۳): ۲۶۴-۲۴۳. (<https://dx.doi.org/10.66224/PJAS.7.23.243>)

صفحه اصلی مقاله در سامانه نشریه: http://journal.richt.ir/mbp/browse.php?a_id=597&sid=1&slc_lang=fa

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

ناشر: پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری
حق نشر متعلق به نویسنده(گان) است
و نویسنده تحت مجوز Creative Commons Attribution License به مجله اجازه می‌دهد مقاله چاپ شده را در سامانه به اشتراک بگذارد، منوط بر این‌که حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.



مقدمه

گنبد، ازجمله نوآوری‌های بشری است که برای پوشاندن فضاهایی با دهانه وسیع به‌کار می‌رود. این سازه در اشکال متنوع و به روش‌های مختلف در طول قرن‌ها ساخته شده است. گنبدها در آسیای مرکزی دوره تیموری و ایران عصر صفوی از تنوع بسیاری در شکل ظاهری برخوردارند که ازجمله آن‌ها گنبدهای یک‌پوسته، دوپوسته (پیوسته و گسسته) و سه‌پوسته است (معماریان، ج ۲، ۱۳۹۱: ۴۱۷، ۴۵۷، ۶۰۵). از آنجا که بارزترین ویژگی معماری تیموری، شکوهمندی آن است، معماران این دوره به گنبد بیش از سایر عناصر معماری توجه کرده‌اند (پوگاچنکوا، ۱۳۸۷: ۴۷). گنبدها را در این عصر بر روی ساقه‌های بلندی برمی‌افراشتند و برای دستیابی به ارتفاع دلخواه در نمای بیرونی معمولاً بر روی پوسته اول، پوسته دیگری را با فاصله می‌ساختند. با توجه به کارکرد متفاوت دو پوسته (پوسته درونی حجم داخلی را کاهش می‌داد و پوسته بیرونی سبب افزایش زیبایی بنا می‌شد)، گنبدی آوگون‌دار در فرهنگ معماری ایرانی پدیدار شد؛ به نحوی که گنبد در زیر قاعده قوس از خط مستقیم خارج شده و انحنای مختصری ایجاد می‌کرد؛ بنابراین، گنبد شلجی شکل از ابداعات معماران آسیای مرکزی و ایران در عهد تیموری است که با ابتکار خاص و رعایت اصول هندسی، ریاضی و مهارت‌های سنتی و ساختمانی ساخته شده است (گلمبک و ویلبر، ۱۳۷۴: ۱۶۳). بنابر شواهد موجود، پیشینه ساخت این گنبدها به حوزه فرارود و دوره تیموری بازمی‌گردد که برای نمونه می‌توان از گنبدهای مقابر شاه‌زنده مانند شیرین‌بیگ‌آقا نام‌برد (هیلن‌براند، ۱۳۸۰: ۲۹۲). نمونه‌های نخستین گنبدهای شلجی شکل در آسیای مرکزی دارای خیاره‌هایی بر روی پوسته بیرونی است و ساختاری کلاهخودی شکل دارد. استفاده از این نوع گنبدها با اندک تغییرات راه‌یافته در آن در عهد جانشینان تیمور، در خراسان بزرگ و درون مرزهای کنونی ایران، ادامه یافت. به بیانی روشن‌تر، رسم برپایی گنبدهای شلجی شکل با فاصله اندکی از آسیای مرکزی، در شرق ایران رواج یافت که برای نمونه از گنبد مسجد جامع گوهرشاد در مجموعه حرم امام رضا (ع) می‌توان نام‌برد (حسینی، ج ۱، ۱۳۹۳: ۷۹). پس از دوره تیموری و مقارن با دوره قراقویونلوها و حاکمیت یافتن صفویان در ایران، استفاده از این نوع گنبدها با اندک تغییراتی ادامه یافت که نمونه آشکار آن، گنبد بزرگ امام‌زاده درب امام اصفهان است (گلمبک و ویلبر، ۱۳۷۴: ۵۴۵).

پرسش‌های پژوهش: پژوهش حاضر به مطالعه و تحلیل فرآیند تغییر و چرایی آن در شکل ظاهری و عناصر سازه‌ای گنبدهای شلجی بنابر نمونه‌های مطالعه‌شده در آسیای مرکزی و ایران عصر تیموری و صفوی اختصاص دارد. پرسش عمده نیز این است که چه تغییراتی در ساختار و شکل ظاهری، عناصر سازه‌ای و در نتیجه ایستایی این گنبدها مقارن با دوره تیموری و صفوی در آسیای مرکزی و ایران روی داده و چرایی آن‌ها چه بوده است؟

روش پژوهش: رویکرد نظری پژوهش مبتنی بر رویکرد تاریخ فرهنگی است. در این رویکرد هر اثر به مثابه یک فرهنگ نگریسته می‌شود، تاریخ فرهنگ که در یک اثر به عنوان «فرهنگ عصری» متجسم و متجلی است (برک، ۱۳۸۹: ۳۷). ابزار گردآوری اطلاعات در این پژوهش مبتنی بر مطالعات میدانی (آثار موجود در ایران) و کتابخانه‌ای-اسنادی (به‌ویژه آثار بیرون از کشور) است. بنابر مطالعات انجام‌شده، سه نمونه از این گنبدها در نواحی مختلف آسیای مرکزی (ترکستان، سمرقند و هرات) و هفت نمونه از ایران (خراسان و اصفهان) انتخاب شد (تصویر ۱) که از این میان شش گنبد از دوره تیموری و چهار نمونه از دوره صفوی است. سه ملاک عمده برای انتخاب نمونه‌های پژوهش می‌توان برشمرد: اول، واقع بودن هریک از آثار در گستره جغرافیایی و تاریخی حوزه تحقیق؛ دوم، مشابهت‌های ظاهری نمونه‌ها طی دوره تیموری در آسیای مرکزی و صفوی در ایران؛ و سوم، حفظ اصالت اثر و مصون ماندن از دستبردهای روزگار است.



تصویر ۱. حوزه جغرافیایی مورد مطالعه (ترکستان، سمرقند، هرات، خراسان و اصفهان) (Manz, 1994: 23).
Fig. 1. Geographical area of study (Turkistan, Samarqand, Herat, Khurasan, and Isfahan)
 (Manz, 1994: 23).

پیشینه پژوهش

پژوهش‌هایی که تاکنون درباره گنبد‌های شلجی شکل انجام گرفته، محدود به مطالعات شکلی است. برخی محققان، از جمله «مریم اشکان» و «یحیی احمد» (۲۰۱۰) به مطالعه تأثیر هندسه بر ساختار شکلی گنبد‌های دوپوسته (که برخی از نمونه گنبد‌های شلجی شکل را نیز شامل است) پرداخته‌اند. «معماریان» (۱۳۶۷) و «پیرنیا» (۱۳۷۰) نیز به گونه‌شناسی و دسته‌بندی انواع گنبد‌ها مانند گنبد‌های شلجی شکل در زیرمجموعه گنبد‌های دوپوسته گسسته نار توجه کرده‌اند. «مهرداد حجازی» و «رسول میرقادی» (۱۳۸۳) ایستایی برخی از آن‌ها را با کمک نرم‌افزارهای رایج در مهندسی سازه، سنجیده‌اند. «هادی صفایی‌پور» (۲۰۱۱) به گونه‌شناسی خشخاشی‌ها به عنوان یکی از عناصر سازه‌ای گنبد‌های شلجی شکل و کاربرد آن‌ها توجه ویژه کرده است. «رهروی پوده» و همکارانش (۱۳۹۵) به معرفی اجزای گنبد و بررسی نمونه‌هایی از گنبد‌های دو پوسته گسسته شهر اصفهان از نظر ویژگی‌های هندسی و چگونگی جزئیات اجرایی و ساخت آن‌ها پرداخته‌اند. با وجود انجام این مطالعات، تاکنون سیر تحول گنبد‌های شلجی شکل به لحاظ عناصر سازه‌ای و شکل ظاهری در دوره‌ها و مناطق موردنظر، مطالعه نشده است.

اجزاء و عناصر سازه‌ای گنبد‌های شلجی شکل

عناصر سازه‌ای در این نوع گنبد‌ها تا اندازه‌ای یکسان و شامل باریکه طاق، خشخاشی و کلاف چوبی است که گاه به سبب بود یا نبود یکی از آن‌ها، شکل ظاهری و چگونگی پیوند اجزاء با یک دیگر متفاوت است. معماران در این شکل از گنبد‌ها، به دلایل سازه‌ای و یا فناوری ساخت، ناگزیر به استفاده از برخی از این عناصر در بین دو پوسته گنبد شده‌اند.

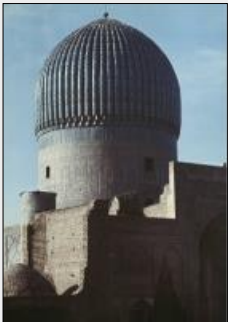
باریکه‌طاق یکی از آن عناصر و جزئی از پوسته درونی است که در نمونه‌هایی به خشخاشی‌ها متصل است. این اندام سازه‌ای برای باربری دیوارهای خشخاشی اصلی ایجاد شده است و وزن دیوارهای خشخاشی را به بخش‌های زیرین گنبدخانه منتقل می‌سازد (زمرشیدی، ۱۳۸۹: ۳۳۰-۳۲۹). از ابتکارات ایرانیان ساخت اندامی به نام «خشخاشی» در بین دو پوسته برای برپا داشتن پوسته بیرونی گنبدهای دوپوسته گسسته است. این اندام یک تیغه آجری عمودی است که به تعداد زوج در هنگام اجرای گریو (ساقه گنبد) با آن ساخته می‌شود. خشخاشی‌ها چند ضلع دارند و بلندای آن‌ها نسبت به ارتفاع گنبد متغیر است؛ این اندام، میان دو پوسته به صورت نصف‌النهاری تعبیه می‌شود تا بار را تقسیم و ثبات گنبد را تضمین و گنبد را در برابر نیروی رانشی بیرونی محافظت کند (پوگانکوا، ۱۳۸۷: ۴۱). از همین رو، محل قرارگیری و ابعاد آن‌ها تا اندازه بسیاری وابسته به اندازه دهانه گنبد است (Ashkan & Ahmad, 2010: 303). در برخی از گنبدها، خشخاشی‌ها با باریکه‌طاق‌ها پیوند یافته‌اند که می‌تواند سبب انسجام درونی بین پوسته درونی و بیرونی گنبد و تأکید بر ایستایی آن شود. کلاف‌های چوبی نیز سازه‌ای حائل بین پوسته درونی و بیرونی گنبدهای شلجی شکل است که به شکل قطری (در دهانه پوسته بیرونی)، شعاعی (که مرکز را به پوسته بیرونی پیوند می‌دهد) و مداری (که دورتادور گنبد به صورت افقی می‌چرخد و در نقشه یک چندضلعی را می‌سازد) اجرا شده‌اند. در تمام این اشکال، چوب کلاف ابزاری کششی است که به کاستن نیروی رانشی یاری می‌رساند (معماریان، ج ۲، ۱۳۹۱: ۵۴۳-۵۴۱). دیوارهای خشخاشی را با استفاده از چوب و برای جلوگیری از تخریب نیروهای کششی، به ویژه زلزله به هم کلاف می‌کردند تا سبب پایداری کل پوسته بیرونی گنبد شود (زمرشیدی، ۱۳۸۹: ۳۳۵).

گنبدهای شلجی آسیای مرکزی و ایران در دوره تیموری

بنابر مطالعه انجام شده، شش نمونه از بناهای با گنبد شلجی شکل در ایران (در خراسان و اصفهان) و آسیای مرکزی (ترکستان، سمرقند و هرات) از دوره تیموری انتخاب شد (جدول ۱ و ۲). در انتخاب این نمونه‌ها، تاریخ ساخت، محل قرارگیری، مشابهت‌های ظاهری و کمترین تغییرات صورت گرفته در آن‌ها طی پنج قرن گذشته در نظر نگارندگان بوده که شرح آن‌ها در ذیل آمده است.

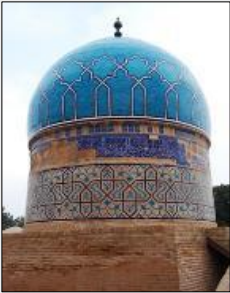
جدول ۱. بناهای با گنبد شلجی شکل دوره تیموری در آسیای مرکزی (www.cemml.colostate.edu).

Tab. 1. Monuments with bulbous domes from the Timurid period in the Central Asia (www.cemml.colostate.edu)

گنبد	آرامگاه خواجه احمد یسوی	آرامگاه تیمور	آرامگاه گوهرشاد
تصویر			
	(Blair and Bloom, 1994: fig. 46)	(Bulatova & Shishkina, 1986: 171)	
تاریخ	۷۹۹-۸۰۱ ه.ق.	۸۰۶ ه.ق.	۸۲۰-۸۲۶ ه.ق.
محل قرارگیری	ترکستان (قزاقستان)	سمرقند (ازبکستان)	هرات (افغانستان)

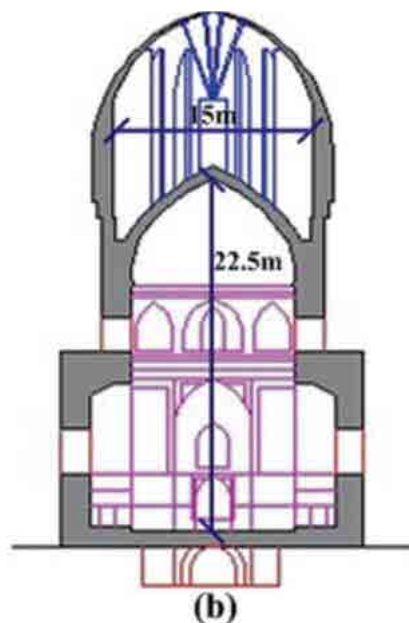
جدول ۲. بناهای با گنبد شلجی شکل دوره تیموری در ایران (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Tab. 2. Monuments with bulbous domes from Timurid period in Iran (Authors, 2021).

گنبد	مدرسه فیروزشاهی	مسجد شاه	امام زاده درب امام
تصویر			
	(عکس از نگارندگان)	(عکس از نگارندگان)	(عکس از نگارندگان)
تاریخ	۸۴۴ ه.ق.	۸۵۵ ه.ق.	۸۵۷ ه.ق.
محل قرارگیری	تربت جام	مشهد	اصفهان

آرامگاه خواجه احمد یسوی

گنبد آرامگاه خواجه احمد یسوی، مقدمه‌ای برای ساخت گنبدهای شلجی شکل در آسیای مرکزی و ایران است. پوسته درونی این گنبد، تیزه‌دار و پوسته بیرونی آن بر روی گریوی به قطر ۱۰ متر برآمده است (Man'kovskaia & Golombek, 1985: 114). بین دو پوسته درونی و بیرونی گنبد، هشت خشخاشی و ردیف‌های متعددی از کلاف‌های مداری چوبی کار شده است (Ibid: 111) (تصویر ۲) که به صورت افقی دورتادور گنبد می‌چرخد. گنبد مقبره خواجه احمد فاقد باریکه طاق است و بر پوسته بیرونی آن، ۵۲ خیاره ساخته شده است که شکلی شلجی به آن می‌بخشد. این خیاره‌ها بدون فاصله در کنار هم قرار گرفته‌اند.

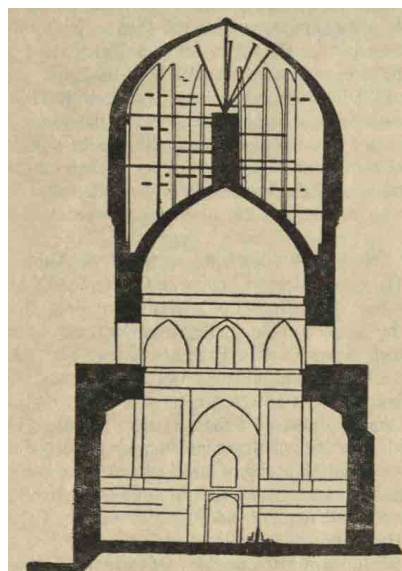


تصویر ۲. جزئیات میان دو پوسته درونی و بیرونی گنبد خواجه احمد (Ashkan & Ahmad, 2012: fig.7).

Fig. 2. Details between the two shells of Khawaja Ahmad's dome (Ashkan & Ahmad, 2012: fig. 7).

آرامگاه تیمور

گنبد شلجی شکل آرامگاه بنیان‌گذار سلسله تیموری با دهانه پوسته درونی حدود ۸/۷۰ و ارتفاع ۲۲/۵۰ متر روی گریو استوانه‌ای شکل بلندی به ارتفاع حدود ۸ متر قرار دارد (معماریان، ج ۲، ۱۳۹۱: ۵۷۲). به نظر «بهالا» (Bhalla)، گریو آرامگاه بلندایی غیرطبیعی دارد (21: 2009) که به پوسته بیرونی منتهی شده و بر جذابیت بنا افزوده است (Bulatova & Shishkina, 1986: 183). گنبد از نوع بیضوی و تا اندازه‌ای شلجی شکل (Yeomans, 1999: 185; Marefat, 1991: 57) با ۶۴ خار پیوسته به هم است (Jairazbhoy, 1972: 268; Yeomans, 1999: 185). بیانکا، ۱۳۹۵: ۲۱؛ پوپ، ۱۳۹۰: ۱۹۷). بلندای کلی گنبد در حدود ۳۴/۰۹ متر (ویلسن، ۱۳۷۹: ۳۲۷؛ بایرون، ج ۳، ۱۳۸۷: ۱۳۳۳؛ کریو، ۱۳۸۰: ۲۶۲) و فاصله بین دو پوسته درونی و بیرونی حدود ۱۲ متر است که از همین رو، مستلزم ساخت خشخاشی برای تقویت آن‌ها بوده است. امروزه ۱۲ خشخاشی بین دو پوسته گنبد دیده می‌شود. در تیزه پوسته درونی، میل تعادل آجری است که از ارتفاع حدود ۲ متری آن، کلاف‌های چوبی به صورت شعاعی به پوسته بیرونی گنبد متصل است (معماریان، ج ۲، ۱۳۹۱: ۵۷۳)، (تصویر ۳). گنبد آرامگاه تیمور، مانند آرامگاه خواجه‌احمد، باریکه طاق ندارد.

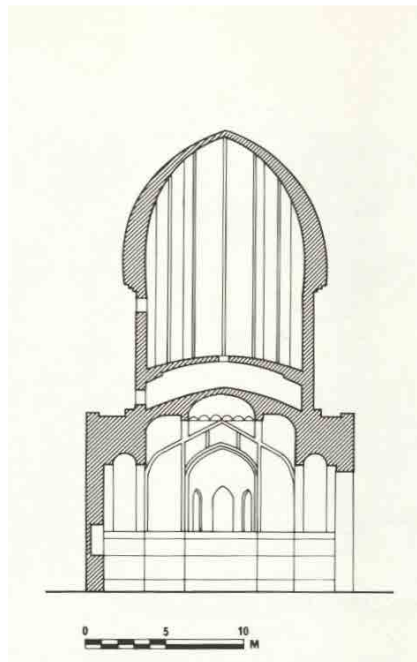


تصویر ۳. مقطع آرامگاه گور امیر (Jairazbhoy, 1972: fig. 56).

Fig. 3. Cross- section of Gur-e Amir tomb (Jairazbhoy, 1972: fig. 56).

آرامگاه گوهرشاد

گنبد این آرامگاه سه پوسته است که گریو بلند آن دو پوسته نخست را دربرمی‌گیرد و به گنبد خاردار شلجی شکل می‌انجامد (Allchin & Norman, 1978: 380). ارتفاع کلی گنبد، ۲۵ متر و اندازه دهانه داخلی آن ۹/۳۰ متر (معماریان، ج ۱، ۱۳۶۷: ۲۵۳) با ۴۴ خار آب‌رنگ بر روی پوسته بیرونی است (Jalal Yaghan, 2003: 73). آغاز ۱۲ دیواره خشخاشی عمودی از روی سطح بیرونی پوسته میانی به عرض یک آجر است (تصویر ۴). تیر گردی افقی در ۱۳۰ سانتی‌متری بالای پوسته میانی بین هریک از دیوارهای خشخاشی قرار دارد که در غلافی از گچ در داخل دیوار پوسته سوم نشانده شده است. خشخاشی‌های گنبد به سبب نبود باریکه طاق‌ها، بدون واسطه بر روی پوسته درونی قرار گرفته و کلاف‌های چوبی افقی، دیوارهای خشخاشی مجاور را به هم پیوند می‌دهد (گلمبک و ویلبر، ۱۳۷۴: ۴۲۳؛ تصویر ۵).



تصویر ۵. مقطع گنبد آرامگاه گوهرشاد (Golombek & Wilber, 1988: fig. 76).

Fig. 5. Cross-section of Gawhar Shad tomb's dome (Golombek & Wilber, 1988: fig. 76)

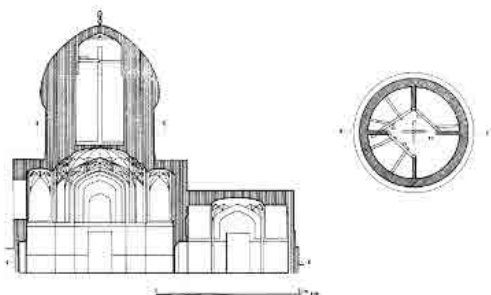


تصویر ۴. خشخاشی‌های میان دو پوسته گنبد آرامگاه گوهرشاد (O'kane, 1987: fig. 14-15).

Fig. 4. Stiffeners of the Gawhar Shad tomb's dome (O'Kane, 1987: fig. 14-15)

گنبد مدرسه فیروزشاهی

گنبد شلجی دو پوسته مدرسه فیروزشاهی با گریو بلند استوانه‌ای با چهار خشخاشی آجری تقویت شده است. به نظر می‌رسد شمار خشخاشی‌های به‌کاررفته در هر گنبد نسبت مستقیمی با قطر دهانه آن دارد. گنبد فیروزشاهی نیز مانند نمونه گنبد‌های آسیای مرکزی باریکه طاق ندارد. کلاف‌های چوبی تا اندازه‌ای برای پشتیبانی خشخاشی‌های آجری و افزایش انعطاف‌پذیری در برابر تکانه‌های زمین‌لرزه مرتب شده‌اند (تصاویر ۶ و ۷).



تصویر ۷. مقطع گنبد مدرسه فیروزشاهی (O'Kane, 1979: fig. 8).

Fig. 7. Cross-section of Firuz-shahi madrasa's dome (O'Kane, 1979: fig. 8).

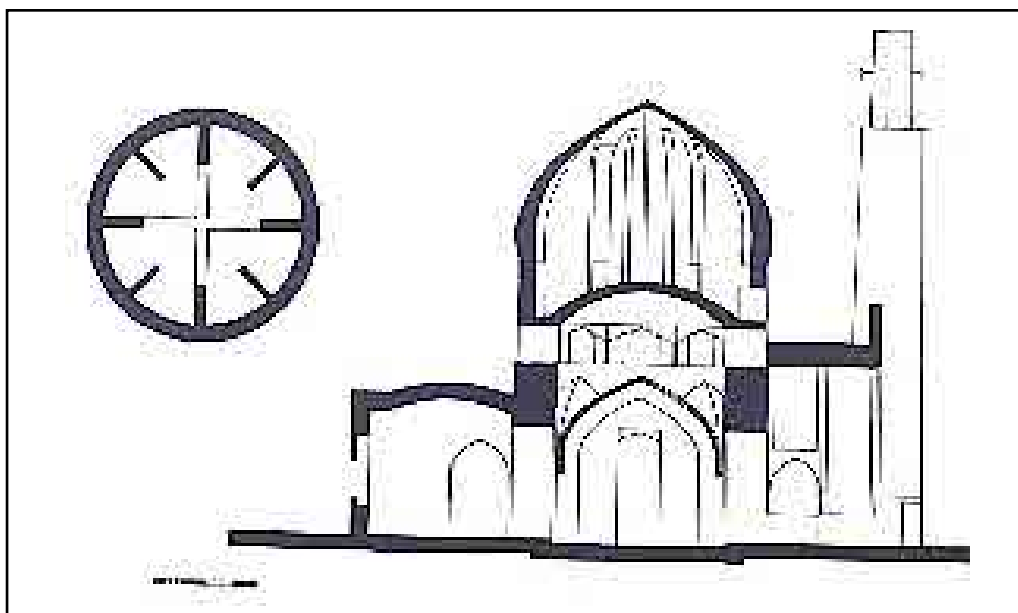


تصویر ۶. خشخاشی‌های آجری بین دو پوسته گنبد فیروزشاهی (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 6. Stiffeners of the Firuz-shahi dome (Authors: 2021).

مسجد شاه

گنبد شلجی شکل مسجد شاه بر گریو بلندی قرار دارد. پوسته بیرونی گنبد از نوع تیزه‌ای آوگون دار و با ارتفاع حدود ۱۷/۵ متر است (پوگانچکوا، ۱۳۸۷: ۲۲۰). فاصله این دو پوسته نیز حدود ۷ متر است (معماریان، ج ۱، ۱۳۶۷: ۲۵۴)، (تصویر ۸). اندازه دهانه پوسته درونی گنبد حدود ۶ متر با افزای حدود ۱/۴۰ متر و ارتفاع حدود ۱۰ متر است. پوسته درونی، باریکه طاق‌های منظم، خیز کمی دارد و با خشخاشی‌هایی که فاقد کلاف‌های چوبی پیوسته به آن‌ها است، به پوسته بیرونی پیوند می‌یابد (معماریان، ج ۲، ۱۳۹۱: ۵۸۲-۵۸۰). گنبد با خیز کم، رانش زیادی در پی دارد که با پیوند باریکه طاق‌های پوسته درونی به خشخاشی‌های متصل به پوسته بیرونی، تا اندازه‌ای این نقص برطرف شده است (معماریان، ج ۱، ۱۳۶۷: ۲۵۴). تعداد هشت خشخاشی آجری (چهار تا اصلی و چهار تا کوچک) در فضای بین دو پوسته گنبد دیده می‌شود. چهار خشخاشی بزرگ تر روی یک جفت باریکه طاق متقاطع قرار گرفته‌اند (معماریان، ج ۲، ۱۳۹۱: ۵۸۲).



تصویر ۸. مقطع گنبد و گنبدخانه مسجد شاه (O'Kane, 1987: fig. 26.3).

Fig. 8. Cross-section of Shah mosque's dome (O'Kane, 1987: fig. 26.3).

امام‌زاده درب‌امام

مجموعه درب‌امام، دو گنبدخانه بزرگ و کوچک دارد که گنبد بزرگ آن از قرن ۹ ه.ق. است (گذار، ج ۴، ۱۳۶۸: ۲۳۴). گنبد شلجی شکل بر فراز گریوی استوانه‌ای ساخته شده و دارای هشت خشخاشی آجری به عمق ۷۰ سانتی‌متر و بلندای ۳ متر بین دو پوسته است. تعدادی از کلاف‌های چوبی موجود بین دو پوسته گنبد، بریده شده‌اند. با وجود این، بین دو پوسته انواع کلاف‌های قطری و شعاعی پیونددهنده خشخاشی به پوسته بیرونی دیده می‌شود (تصویر ۹). اتصالات بین خشخاشی‌ها، پوسته درونی و بیرونی، نقش مهمی در انتقال نیروهای وارده به گنبد دارد؛ به نظر می‌رسد، به دلیل کوچک بودن دهانه گنبد و با نبود باریکه طاق‌ها، پیوندی بین خشخاشی‌ها و پوسته درونی وجود ندارد.



تصویر ۹. خشخاشی‌های آجری میان دو پوسته گنبد بزرگ آرامگاه درب امام (Safaeipour, et al., 2011: fig.8).
Fig. 9. Stiffeners of the Darb-e Imam tomb's dome (Safaeipour, et al., 2011: fig. 8).

گنبدهای شلجمی شکل ایران در دوره صفوی

گنبدهای شلجمی شکل که برای نخستین بار در دوره تیموری شکل گرفت و مراحل رشد را در آسیای مرکزی و ایران عهد تیموری طی کرد، در عصر صفوی شکل غالب ساخت گنبدها درآمد. در این قسمت، از نظر ساختار سازه‌ای چهار نمونه از این نوع گنبدهای دوره صفوی (جدول ۳) مطالعه می‌شود.

جدول ۳. بناهای با گنبد شلجمی شکل دوره صفوی در خراسان و اصفهان (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Tab. 3. Monuments with bulbous domes from the Safavid period in Khurasan and Isfahan (Authors: 2021).

گنبد	امام زاده محروق	امام زاده سلطان محمد عابد	مسجد امام	مدرسه چهارباغ
تصویر				
	(نگارندگان)	(نگارندگان)	(نگارندگان)	(نگارندگان)
تاریخ	۹۷۶ ه.ق.	۹۸۰ ه.ق.	۱۰۲۰-۱۰۴۰ ه.ق.	۱۱۱۸-۱۱۲۶ ه.ق.
محل قرارگیری	نیشابور	کاخک گناباد	اصفهان	اصفهان

امام زاده محروق

گنبد امام زاده محروق بر فراز ساقه‌ای بلند قرار دارد و از گنبدهای دو پوسته گسسته آوگون دار دوره صفوی است. بین دو پوسته گنبد، هشت خشخاشی آجری با هشت باریکه طاق وجود دارد و در نبود کلاف‌های چوبی از نوع فلزی آن برای اتصال به خشخاشی‌ها استفاده شده است (تصاویر ۱۰ و ۱۱).

باریکه‌طاق‌هایی اجرای برروی پوسته درونی گنبد تعبیه شده است که خشخاشی‌ها نیز روی آن‌ها قرار دارند.



تصویر ۱۱. باریکه‌طاق‌های گنبد امامزاده محروق (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 11. Narrow ribs of the Mahrugh shrine's dome (Authors: 2021).



تصویر ۱۰. خشخاشی‌های گنبد امامزاده محروق (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 10. Stiffeners of the Mahrugh shrine's dome (Authors: 2021).

امامزاده سلطان محمدعابد

گنبد آرامگاه سلطان محمدعابد بر ساقه‌ای استوانه‌ای به ارتفاع ۳/۵ متر قرار دارد. بین دو پوسته گنبد، هشت خشخاشی اجرای است که در قسمت میانی آن‌ها، تیرهای چوبی قرار دارد (تصویر ۱۲). این خشخاشی‌ها روی پوسته درونی فاقد باریکه‌طاق اجرا شده است. در قسمت میانی پوسته درونی، تیر چوبی مدوری عمود برپا است که به نظر می‌رسد کلاف‌های چوبی که اکنون باقی نیست، در این قسمت به هم می‌پیوسته است (تصویر ۱۳).



تصویر ۱۳. تیر چوبی موجود در مرکز دو پوسته امامزاده سلطان محمد (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 13. Wooden timber in the center of the Soltan Mohammad's shrine discontinues double-shell dome (Authors: 2021).

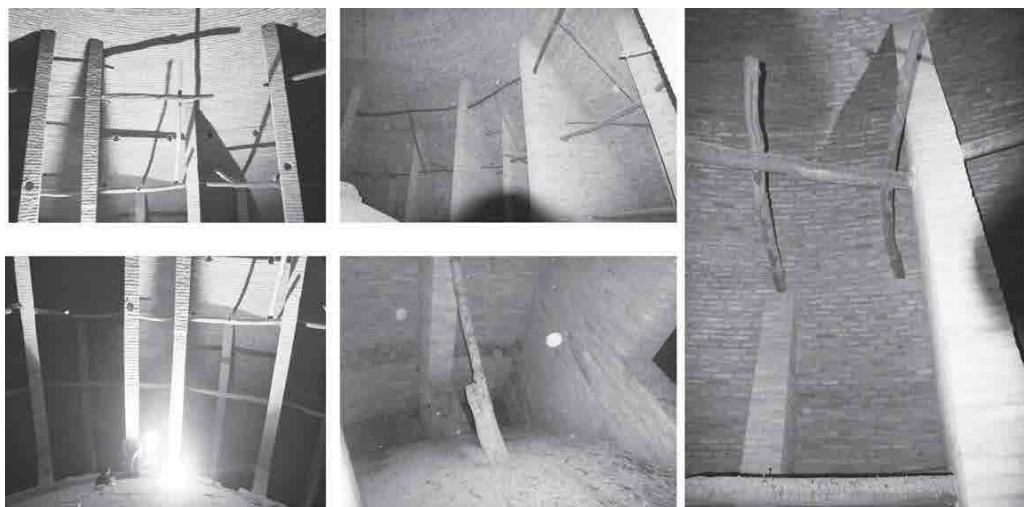


تصویر ۱۲. خشخاشی‌های اجرای میان دو پوسته گنبد امامزاده سلطان محمد (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 12. Stiffeners of the Soltan Mohammad's shrine discontinues double-shell dome (Authors: 2021).

مسجد امام

پوسته بیرونی گنبد شلجی شکل مسجد امام با ارتفاعی حدود ۵۲ متر، بر گریوی بلند به قطر بیرونی ۲۶/۳ متر و ارتفاع ۷ متر قرار دارد (Hejazi, 1997: 66). پوسته درونی با دهانه حدود ۲۲/۵ متر و بلندای ۳۸ متر است (معماریان، ج ۲، ۱۳۹۱: ۵۹۱). فاصله بین دو پوسته ۱۴ متر است (بلر و بلوم، ج ۲، ۱۳۸۱: ۴۸۲). خشخاشی‌های به کار رفته بین دو پوسته گنبد در سه اندازه متفاوت شامل ۱۲ خشخاشی بزرگ به عمق ۲/۵ متر و ارتفاع ۱۲/۶ متر، ۶ خشخاشی متوسط به ارتفاع ۱۰/۷ متر و شش خشخاشی کوچک تر به ارتفاع ۷/۶ متر است (Hejazi, 1997: 66). انواع کلاف‌های مداری، قطری و شعاعی بین دو پوسته دیده می‌شود که خشخاشی‌های بزرگ و متوسط را به هم می‌پیوسته است (Melarango, 1991: 51؛ تصویر ۱۴).

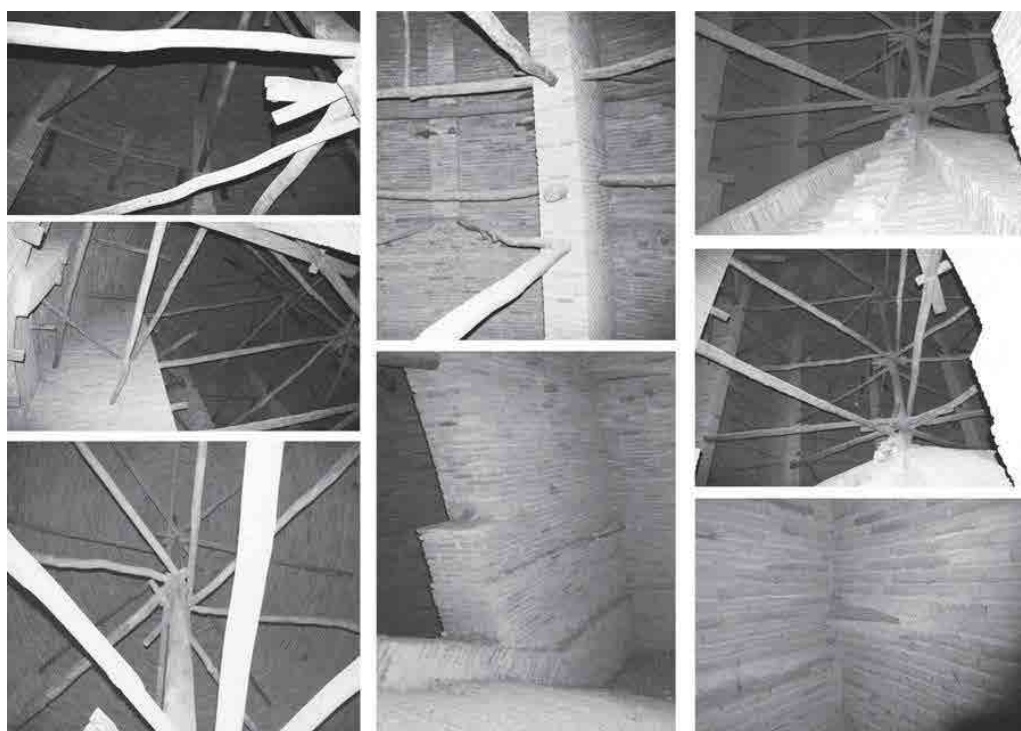


تصویر ۱۴. جزئیات میان دو پوسته گنبد مسجد امام اصفهان (مرکز اسناد میراث فرهنگی).

Fig. 14. Details between the two shells of Imam Mosque in Isfahan (Archives of the Cultural Heritage Department).

مدرسه چهارباغ

پوسته درونی گنبد مدرسه چهارباغ با مقطعی تخم مرغی شکل و دهانه‌ای حدود ۳ متر با ۸ باریکه طاق به عرض ۳۸ سانتی متر و بلندای (عمق) ۴۰ سانتی متر ساخته شده است. باریکه طاق‌ها در مرکز گنبد با یک نهبن یا عرقچین آجری به هم متصل شده‌اند. بین دو پوسته گنبد، تعداد هشت خشخاشی آجری اصلی به پهنای ۴۰ سانتی متر و ارتفاع ۲ متر دیده می‌شود. در قسمتی که ضخامت پوسته بیرونی کاهش یافته، هشت خشخاشی کوچک تر کار شده است. خشخاشی‌ها برای توزیع و کاهش نیروی فشار بر باریکه طاق‌های پوسته درونی قرار گرفته و با پوسته بیرونی قفل و بست شده است (Ghasempourabadi et al., 2012: 1226). افزون بر این، انواع کلاف‌های چوبی قطری، شعاعی و مداری بین دو پوسته باقی است. چوب‌ها از داخل پوسته بیرونی روی دیرکی چوبی درمیان آن برپا است و جنبه سازه‌ای ندارد؛ زیرا با هر نیروی افقی به آسانی جابه‌جا می‌شوند (معماریان، ج ۲، ۱۳۹۱: ۵۹۷) و چه بسا کارکرد داربست داخلی داشته‌اند. چوب‌هایی که به شکل محیطی از یک خشخاشی به خشخاشی دیگر می‌پیوندند، مانند کلاف عمل می‌کنند (تصویر ۱۵).



تصویر ۱۵. جزئیات میان دو پوسته گنبد مدرسه چهارباغ اصفهان (رهروی پوده و همکاران، ۱۳۹۵: ت ۹).
Fig. 15. Details between the two shells of the Chahar Bagh Madrasa in Isfahan (Rahravi, et al., 2018: fig. 9).

بحث و تحلیل

شیوه‌های ساختاری یکسانی در ساخت گنبدهای مطالعه‌شده به کار رفته است. در تمام نمونه‌ها، پوسته درونی و بیرونی، ساقه گنبد و خشخاشی‌ها، اندام‌های ثابتی هستند و برحسب نیاز، کلاف‌های چوبی، باریکه‌طاق‌ها و خیاره‌ها به آن‌ها افزوده شده‌اند (جدول ۴).

پوسته درونی که پوشاننده فضای گنبدخانه است، به‌طور کامل با پوسته بیرونی در انتقال نیروها از بخش‌های فوقانی به قسمت‌های زیرین هماهنگ است. در نمونه‌های آسیای مرکزی از قوس تیزه‌دار برای پوسته درونی استفاده شده که قوس بیضوی پوسته درونی آرامگاه گوهرشاد (تصویر ۵) در این مطالعه یک استثنا است؛ حال آن‌که در نمونه‌های موجود در ایران، تمامی پوسته‌های درونی گنبدهای شلجمی قوس بیضوی دارند. بیرون‌زدگی (آوگون) پوسته بیرونی گنبدها، در دوره صفوی، افزایش و شکل پخ‌تری یافت و در پی آن، پوسته درونی گنبد نیز از حالت تیزه‌دار درآمد و تناسب بیشتری با پوسته بیرونی یافت.

ساخت بنای گنبددار رفیع در آسیای مرکزی حاصل کوشش بانیان، مهندسان و معماران دوره تیموری با استفاده از گریو بود. تمامی گنبدهای مطالعه‌شده در آسیای مرکزی گریوی استوانه‌ای دارند که ارتفاع آن‌ها در برخی از نمونه‌ها به ۸ متر (برای نمونه گنبد گورامیر، تصویر ۳) می‌رسد. ارتفاع گریو این گنبدها در ایران عصر تیموری، در خراسان و مناطق مرکزی ایران، به‌ویژه اصفهان تعدیل شد و دهانه گنبد دوبرابر ارتفاع گریو آن گردید. این درحالی است که در اواسط دوره پادشاهی «شاه عباس اول»، ارتفاع گریو افزایش یافت و در مسجد امام اصفهان به ۷ متر رسید. ساخت گریوهای بلند در آسیای مرکزی عهد تیمور و ایران عصر شاه عباس اول را می‌توان بیان جلوه بصری معماری به مثابه جلوه‌ای از قدرت و بازتاب شخصیت کمال طلب آن شهریاران دانست.

مطالعه نگارندگان حاکی است که شیوه معماری سلطنتی و باشکوه آسیای مرکزی در ایران پس از حکومت شاه عباس تداوم نیافت؛ چراکه در این دوره قدرت سیاسی در عمل با شخص شاه نبود، بلکه در اختیار کارگزاران سیاسی قرار داشت (تاورنیه، ۱۳۳۶: ۵۰۰-۳۹۹؛ مینورسکی، ۱۳۷۸: ۳۸-۳۶؛ کمپفر، ۱۳۶۳: ۵۲).

مهم‌ترین ویژگی ظاهری گنبدهای مطالعه‌شده در پوسته بیرونی و تفاوت آن‌ها با نمونه‌های دوره ایلخانی، به‌ویژه در بیرون‌زدگی (آوگون) محل اتصال گریو و پوسته بیرونی است. نمونه‌های اولیه این گنبدها، بیشتر شکل کلاهخودی یا نیم‌بیضی دارند. این درحالی است که آوگون در خراسان دوره تیموری با انحنای بیشتری در پوسته بیرونی گنبدها (کاملاً شلجمی شکل) نسبت به نمونه‌های پیشین در آسیای مرکزی است. این نوع گنبدهای دوره صفوی شاید به دلیل اندازه قطر دهانه‌شان شکل شلجمی‌تر و پخ‌تری دارند. میانگین قطر دهانه گنبدهای دوره تیموری ۸ متر و صفوی ۲۰ متر است. گنبدها با کاسته شدن از ارتفاع پوسته بیرونی، شکل شلجمی‌تر می‌یابند؛ از همین رو در گنبد آوگون دار، بخشی از بار وزن پوسته بیرونی در محل پیوند گنبد به گریو، به سمت داخل هدایت و فشار کمتری به پایه‌ها وارد می‌شود (اکبری و همکاران، ۱۳۹۹: ۳۸). در تمامی نمونه‌های مطالعه‌شده، فاصله قابل ملاحظه‌ای میان دو پوسته گنبد وجود دارد. پوسته بیرونی با ارتفاع زیاد و برجستگی بخشی از آن نقش بسیار مهمی در تأثیر بصری بنا ایفا می‌کند، اما در مقابل، ارتفاع کم پوسته درونی سبب ایجاد فضایی خالی و بدون استفاده بین دو پوسته می‌شود. برای نمونه، بین دو پوسته درونی و بیرونی گنبد گورامیر حدود ۱۲ متر فاصله است. این اندازه در ایران تا حدودی تعدیل می‌شود؛ به‌گونه‌ای که دو پوسته گنبد مسجد شاه مشهد، ۷ متر از هم فاصله دارند. در دوره شاه عباس اول، گنبدهایی دو پوسته با فاصله ۱۴ تا ۱۵ متر از هم ساخته می‌شوند که به نظر می‌رسد حاکی از نمایش شکوه و قدرت شهریاران سازنده آن‌هاست. دلیل سازه‌ای آن نیز فراهم ساختن فضای کافی برای ایجاد باریکه طاق‌ها و خشخاشی‌ها بوده که درنهایت به استحکام گنبد می‌انجامیده است.

خياره‌های روی پوسته بیرونی گنبدهای آسیای مرکزی، از قرار گرفتن سطوح محدب نیمه‌استوانه‌ای درکنار و فاصله‌ای اندک از هم، ساخته شده‌اند که شمار آن‌ها از ۴۴ تا ۶۴ متغیر است. خياره‌ها از محل مشترک خود در رأس پوسته بیرونی به‌طور موازی به‌سوی پایین پیش می‌روند و از نظر سازه‌ای با انتقال نیرو و بارهای جانبی به داخل (مانند پیش‌آمدگی آوگون در پوسته بیرونی) مقاومت گنبد را در مقابل نیروهای جانبی افزایش می‌دهند و چه بسا بر زیبایی‌شناسی شکل ظاهری آن اثر می‌گذارند (ن.ک. به: اکبری و همکاران، ۱۳۹۹).

شایان توجه است که در گنبدهای آسیای مرکزی از باریکه طاق‌های روی پوسته درونی استفاده نشده است. باریکه طاق‌ها در شماری از بناهای عصر تیموری ایران (به‌غیر از گنبد مسجد شاه مشهد که دارای ۸ باریکه طاق است) به‌کار نرفته است. این درحالی است که در بیشتر نمونه‌های مطالعه‌شده از دوره صفوی از باریکه طاق‌ها برای انتقال وزن دیوارهای خشخاشی به قسمت‌های زیرین و پایه‌های گنبدخانه استفاده شده است. به نظر می‌رسد کاربرد باریکه طاق‌ها در معماری عهد صفوی، ابداع معماران زبده ایرانی برای انسجام بخشیدن به گنبدهای دوپوسته گسسته و ازجمله گنبدهای شلجمی شکل بوده است.

نقش خشخاشی‌های آجری از همان ابتدا مورد توجه معماران بوده است؛ چراکه در تمامی نمونه‌های مطالعه‌شده از انواع تنوع شکلی برخوردارند. تعداد خشخاشی‌های به‌کار رفته در بناهای آسیای مرکزی از ۸ تا ۱۲ متغیر است که عمدتاً شعاع‌وار تا قسمت میانی گنبدها بالا آمده‌اند. در خراسان و اصفهان دوره تیموری، تعداد هشت خشخاشی (مسجد شاه و امام‌زاده درب‌امام) در فاصله دو پوسته گنبد ساخته شده است. حال آن‌که گنبد فیروزشاهی تربت جام با چهار خشخاشی

(تصویر ۶)، همچنان استوار باقی مانده است. به نظر می‌رسد که معمار به دلیل کوچک‌تر بودن دهانه گنبد از شمار خشخاشی‌های بین دو پوسته کاسته است. در مسجد امام و مدرسه چهارباغ اصفهان، تنوع بیشتری در تعداد خشخاشی‌ها، شکل و تناسبات آن دیده می‌شود. در این نمونه‌ها، بین خشخاشی‌های اصلی، شماری خشخاشی‌های فرعی با ابعاد متوسط، کوچک‌تر و ارتفاعی کمتر ساخته شده است. ساختن خشخاشی‌ها به‌ویژه در قسمت آوگون، تا اندازه زیادی از ویرانی گنبد به‌هنگام زمین‌لرزه می‌کاهد و نمایانگر آگاهی معماران از نقش و کارکرد سازه‌ای آن‌ها است.

در گنبد خواجه احمد یسوی در ترکستان ردیف‌های متعددی از کلاف‌های مداری چوبی کار شده است. در تیزه درونی گنبد گورامیر، ستونی آجری است که در ارتفاع حدود دو متری آن، چوب‌هایی پره‌مانند به پوسته بیرونی گنبد متصل است. در آرامگاه گوهرشاد در هرات نیز، الوارهای افقی، دیوارهای خشخاشی مجاور را به هم می‌پیوند. در گنبد فیروزشاهی خراسان هم کلاف‌های چوبی به صورت مداری تا حدودی مرتب شده‌اند تا به اتصال خشخاشی‌ها برای افزایش انعطاف‌پذیری در برابر تکان‌های زمین‌لرزه کمک کنند. در بین دو پوسته گنبد درب امام اصفهان نیز از تیرهای چوبی استفاده کرده بودند که اکنون بریده شده‌اند؛ با این همه، خللی در تعادل گنبد به دلیل وجود کلاف‌های چوبی قطری ایجاد نشده است. در نمونه بناهای دوره صفوی نیز از کلاف‌های چوبی و در اشکال متنوع استفاده شده است.

جدول ۴. ویژگی‌های ریخت‌شناسانه گنبدهای مورد بررسی (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Tab. 4. Morphological features of the case studies (Authors: 2021).

نام بنا	پوسته درونی	گریو	پوسته بیرونی	خیاره	باریکه طاق	خشخاشی	کلاف چوبی
آرامگاه خواجه احمد	تیزه دار	۳ متر	۲۸ متر	۵۲ عدد	-	۸ عدد	دارد
گور امیر	تیزه دار	۸ متر	۳۴/۰۹ متر	۶۴ عدد	-	۱۲ عدد	دارد
آرامگاه گوهرشاد	بیضوی	۶/۵ متر	۲۵ متر	۴۴ عدد	-	۱۲ عدد	دارد
مدرسه فیروزشاهی	بیضوی	۳/۶۵ متر	۱۸ متر	-	-	۴ عدد	دارد
مسجد شاه	بیضوی	۴/۲۰ متر	۱۷/۵ متر	-	۴ عدد	۸ عدد	-
امام‌زاده درب امام	بیضوی	۴ متر	۱۶/۵ متر	-	-	۸ عدد	دارد
امام‌زاده محروق	بیضوی	۲/۶۰ متر	۲۴ متر	-	۸ عدد	۸ عدد	-
امام‌زاده سلطان محمدعابد	بیضوی	۳/۵ متر	؟	-	-	۸ عدد	-
مسجد امام	بیضوی	۷ متر	۵۲ متر	-	۱۲ عدد	۲۴ عدد	دارد
مدرسه چهارباغ	بیضوی	۶/۶۰ متر	۳۸ متر	-	۸ عدد	۱۶ عدد	دارد

نتیجه‌گیری

در مطالعه معماری آسیای مرکزی و ایران، گنبدهای شلجی‌شکل از اهمیت بسیاری برخوردار است. از همین رو، فرآیند و چرایی تغییرشکل ظاهری و سازه‌ای این گنبدها، بسیار قابل تأمل است. فرآیند تغییرشکلی این نوع گنبدها در ایران، شامل حذف خیاره‌ها از نمای پوسته بیرونی، تعدیل ارتفاع گریو و ایجاد آوگون با انحنای بیشتر در محل پیوند پوسته بیرونی به گریو است. افزون بر این، ساخت گریوهای بلند در آسیای مرکزی عهد تیمور و ایران عصر شاه‌عباس اول را می‌توان بیان معماری به مثابه قدرت و بازتاب‌دهنده شخصیت اقتدارگرا و کمال‌طلب آن شهریاران دانست.

خياره‌ای بودن گنبدها در آسیای مرکزی مشخصه بناهایی است که با شیوه معماری سلطنتی دوره تیموری ساخته شده و به نظر می‌رسد، کاربردشان افزون بر دلایل سازه‌ای، وجه زیبایی‌شناسانه نیز درکنار گریو داشته است؛ چراکه، خطوط مقعر و محدب عمودی و موازی روی پوسته بیرونی، گنبدها را کشیده‌تر می‌نمایاند و بر عظمت و شکوه کل بنا می‌افزاید. افزون بر این، خياره‌ها به انتقال متعادل نیروهای رانشی وارد شده به بنا یاری می‌رسانند و کارکردی هم‌چون آوگون در محل پیوستن به ساقه گنبد دارند. به نظر می‌رسد، حذف خياره‌ها از گنبدها در معماری ایران دوره تیموری را باید ناشی از نبود قدرت سیاسی واحد در مناطق مختلف کشور دانست؛ ازجمله تغییرات اساسی دیگر می‌توان به گنبدهایی با انحنای بیشتر آوگون اشاره کرد. معماران در دوره صفوی، مراحل ابتدایی ساخت گنبدهای شلجمی شکل را آموخته، تجربه کرده و مهارت کافی در پیوند با عناصر ریخت‌شناسانه گنبد و استحکام آن به دست آورده بوده‌اند؛ به این ترتیب که برای اهداف زیبایی‌شناسانه، راه‌حل‌های سازه‌ای هم‌چون ایجاد باریکه‌طاق‌ها بر پوسته درونی گنبد و عمق بخشیدن به خشخاشی‌ها در قسمت آوگون را برای حفظ یکپارچگی پوسته بیرونی به کار بسته‌اند؛ ازجمله دلایل ساخت باریکه‌طاق‌ها، انتقال نیروی فشاری خشخاشی‌ها به بخش‌های زیرین و پایه‌های گنبدخانه و تقویت ایستایی آن‌هاست. شایان توجه است که در برخی بناها (مانند مدرسه فیروزشاهی و درب‌امام) از باریکه‌طاق‌ها به دلیل قطر کم دهانه گنبد، برای اتصال خشخاشی‌ها به پوسته درونی استفاده نشده است. تغییرات ایجاد شده در خشخاشی‌ها از دوره تیموری تا پایان دوره صفوی را باید بیشتر مربوط به تعداد، شکل و تناسبات آن دانست که دلیل آن را می‌توان علاوه بر خلاقیت معماران بومی، در آگاهی و احاطه کامل معماران به نقش و کارکرد سازه‌ای خشخاشی‌ها، به‌ویژه در قسمت آوگون برای جلوگیری از ویرانی بر اثر نیروهای رانشی (باد و زمین‌لرزه) دانست. کلاف‌های چوبی نیز در گنبدهای شلجمی شکل مطالعه شده، نقش تأثیرگذاری بر سازه، به‌ویژه در تناسب با سایر اندام‌های بنا دارند. کلاف‌ها، امکان ایجاد اتصال بهتر خشخاشی‌ها به هم و پوسته بیرونی و هم‌چنین پیوند میان اجزاء و درنهایت یکپارچه کردن سازه گنبد را فراهم می‌سازند. معماران دوره تیموری و صفوی، مراحل ساخت این نوع گنبدها را می‌دانسته و تجربیات بسیاری در این باره آموخته و به کارکرد هریک از عناصر ریخت‌شناسانه گنبد در پیوند با استحکام آن اشراف داشته‌اند. در این دوره، تنها حضور باریکه‌طاق‌ها و خشخاشی‌ها کافی نبود، بلکه نحوه کاربرد و نیز تعداد، ضخامت و ارتفاع آن‌ها برای ساخت گنبدی هرچه مقاوم‌تر در نظر بوده است. دلیل این مدعا که معماران دوره صفوی به نقش و کارکرد هریک از اجزاء گنبدهای شلجمی شکل احاطه کامل داشته‌اند را در تعداد قابل توجه نمونه‌های سالم باقی‌مانده آثار با کمترین میزان تخریب در ساختار سازه‌ای آن‌ها می‌توان دانست.

کتابنامه

- اکبری، زینب؛ نیستانی، جواد؛ و نصیری، محمدرضا، (۱۳۹۹). «دلایل سازه‌ای استفاده و رواج گنبدهای شلجمی شکل در ایران: مطالعه موردی مسجد شاه مشهد». مطالعات باستان‌شناسی، ۲۳-۳۹: (۲)۱۲.
- بایرون، رابرت، (۱۳۸۷). «معماری دوره تیموری». در: سیری در هنر ایران: از دوران پیش از تاریخ تا امروز، ج ۳ (معماری دوران اسلامی)، ترجمه باقر آیت‌الله‌زاده شیرازی، زیر نظر: آرتور اپهام پوپ و فیلیس آکرمن، تهران: علمی و فرهنگی.
- برک، پیتر، (۱۳۸۹). تاریخ فرهنگی چیست؟ ترجمه نعمت‌الله فاضلی و مرتضی قلیچ، تهران: پژوهشکده تاریخ اسلام.
- بیانکا، استفانو، (۱۳۹۵). برنامه‌ریزی برای شهر تاریخی سمرقند، مؤسسه فرهنگی آقاخان

- (برنامه حمایت از شهرهای تاریخی). ترجمه مهدی پیرحیاتی، تهران: اول و آخر.
- پوپ، آرتور ایهام، (۱۳۹۰). معماری ایران. ترجمه غلامحسین صدری افشار، چ ۹، تهران: دات.
 - پوگانکووا، گالینا آناتولینا، (۱۳۸۷). شاهکارهای معماری آسیای میانه (سده‌های چهاردهم و پانزدهم میلادی). ترجمه سیدداود طبایی، تهران: فرهنگستان هنر.
 - پیرنیا، محمدکریم، (۱۳۷۰)، «گنبد در معماری ایران». گردآورنده: زهره بزرگمهری، اثر، ۹ (۲۰): ۵-۱۳۹.
 - تاورنیه، ژان باتیست، (۱۳۳۶). سفرنامه. ترجمه ابوتراب نوری، به اهتمام: حمید شیرانی، تهران: انتشارات سنایی.
 - حجازی، مهرداد؛ و میرقادر، رسول، (۱۳۸۳). «تحلیل لرزه‌ای گنبدهای ایرانی». دانشکده فنی، ۳۸ (۶): ۷۴۷-۷۵۷.
 - حسینی، محسن، (۱۳۹۳). مساجد تاریخی خراسان. ج ۱، مشهد: مؤسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی.
 - رهروی پوده، ساناز؛ ولی بیگ، نیما؛ و رحیمی آریایی، افروز، (۱۳۹۵). «تحلیل جزئیات هندسی و اجرایی در گنبدهای دو پوسته گسسته نار شاخص شهر اصفهان». صفه، ۲۶ (۲): ۸۵-۱۰۴.
 - زمرشیدی، حسین، (۱۳۸۹). گنبد و عناصر طاقی ایران. تهران: نشر زمان.
 - کریو، یولاند، (۱۳۸۰). «آسیای مرکزی و افغانستان». در: معماری جهان اسلام (تاریخ و مفهوم اجتماعی آن)، ویراستار: جرج میشل، ترجمه یعقوب آژند، تهران: مولی.
 - کمپفر، انگلبرت، (۱۳۶۳). سفرنامه. ترجمه کیکاوس جهاننداری، تهران: خوارزمی.
 - گذار، آندره، (۱۳۶۸)، آثار ایران. ترجمه ابوالحسن سروقدمقدم، ج ۴، مشهد: آستان قدس رضوی.
 - گلمبک، لیزا؛ و ویلبر، دونالد، (۱۳۷۴). معماری تیموری در ایران و توران. ترجمه کرامت‌الله افسر و محمدیوسف کیانی، تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.
 - معماریان، غلامحسین، (۱۳۶۷). نیارش سازه‌های طاقی. ج. ۱، تهران: جهاد دانشگاهی دانشگاه علم و صنعت ایران.
 - معماریان، غلامحسین، (۱۳۹۱). معماری ایرانی نیارش. تدوین: هادی صفایی‌پور، ۲ جلد، تهران: نغمه نواندیش.
 - مینورسکی، ولادیمیر فیودورویچ، (۱۳۷۸). سازمان اداری حکومت صفوی یا تعلیقات مینورسکی بر تذکره الملوک، ترجمه مسعود رجب‌نیا، به کوشش: محمد دبیرسیاقی، تهران: امیرکبیر.
 - ویلسن، پیندر، (۱۳۹۰). «معماری دوره تیموری». در: تاریخ ایران کمبریج (تیموریان). ج. ۵، ترجمه یعقوب آژند، تهران: جامی.
 - هیلن براند، رابرت، (۱۳۸۰). معماری اسلامی (شکل، کارکرد و معنی). ترجمه باقر آیت‌الله‌زاده شیرازی، تهران: روزنه.

- Akbari, Z.; Neyestani, J. & Nasiri, M. R., (2020). "An Analysis of Structural Reasons for the Use of Bulbous Domes and their Prevalence in Iran: A Case Study of Shah Mosque in Mashhad". *Journal of Archaeological Studies*, 12 (2): 23-39.

- Allchin, F. R. & Norman, H., (1978). *The Archaeology of Afghanistan (From Earliest Times to the Timurid Period)*. New York: Academic Press.

- Ashkan, M. & Ahmad, Y., (2012). "Discontinuous Double-shell Domes through Islamic Eras in the Middle east and Central Asia: History, Morphology, Typologies, Geometry, Construction". *Nexus Network Journal*, 12 (1): 287-319.

- Ashkan, M. & Ahmad, Y., (2010). "Discontinuous Double-shell Domes through Islamic Eras in the Middle East and Central Asia: History, Morphology, Typologies, Geometry, Construction". *Nexus Network Journal*, 12: 287-319.
- Bhalla, A. S., (2009). *Royal Tombs of India (13th to 18th Century)*. India: Maphin Publishing.
- Bianca, S., (2016). *Planning for the Historical City of Samarkand*. Translated by: Mehdi Pir Hayati. Tehran: Aval & Akhar. (In Persian)
- Blair, Sh. & Bloom, J. M., (1994). *The Art and Architecture of Islam (1250-1800)*. UK: Yale University Press.
- Bulatova, V. & Shishkina, G., (1986). *Samarkand (A Museum in the Open)*. Published by Tashkent.
- Burke, P., (2008). *What is Cultural History?*. Translated by: Nematollah Fazeli & Morteza Ghelich, Tehran: Research Institute of Islamic History. (In Persian)
- Byron, R., (1967). "Timurid Architecture". *A Survey of Persian Art, from Prehistoric Times to the Present*. Vol. 3, Translated by: Bagher Ayatollahzadeh Shirazi, B., New York: Oxford University Press. (In Persian)
- Ghasempourabadi, M.; Mahmoudabadi Arani, V.; Bahar, R. & Mahdavinejad, O., (2012). "Assessment of behavior of two-shelled domes in Iranian traditional architecture: The Charbagh School, Isfahan, Iran". *The Sustainable City*, VII. (2): 1223-1233.
- Godard, A., (1989). *The Art of Iran*. Translated by: Abol-Hassan Sarvghad Moghadam, Fourth Volume, Mashhad: Astan Ghods Razavi. (In Persian).
- Golombek, L. & Wilber, D., (1988). *The Timurid Architecture of Iran and Turan*. Second Volume. Princeton University Press.
- Golombek, L. & Wilber, D., (1988). *The Timurid Architecture of Iran and Turan*. Vol. II. Princeton University Press.
- Golombek, L. & Wilber, D., (1995). *The Timurid Architecture of Iran and Turan*. Translated by: Keramatollah Afsar & Mohammad Yusof Kiani. Tehran: Cultural Heritage Organization of Iran. (In Persian).
- Hejazi, M. & Mirghaderi, R., (2004). "Seismic Analysis of Iranian Domes". *Technical Faculty*, 38 (6): 747-757.
- Hejazi, M., (1997). *Historical Building of Iran: Their Architecture and Structure*. Southampton, UK: WIT Press.
- Hillenbrand, R., (2001). *Islamic Architecture (Form, Function, and Meaning)*. Translated by: Bagher Ayatollahzadeh Shirazi, Tehran: Rozaneh. (In Persian).
- Hosseini, M., (2013). *Historical Mosques of Khorasan*. Vol. 1, Mashhad: printing Institute and Astan Quds Razavi Publishing House. (In Persian).
- Jairazbhoy, R. A., (1972). *An Outline of Islamic Architecture*. India: Asia Publishing House.
- Jalal Yaghan, M. A., (2003). "Gadrooned-Dome's Muqarnas-Corbel: Analysis and Decoding Historical Drawings". *Architectural Science Review*, 46 (1): 69-88.

- Kaempfer, E., (1985). *Travelogue of Persia*. Translated by: Keykavoos Jahandari. Tehran: Kharazmi. (In Persian).
- Korio, Y., (2001). "Central Asia and Afghanistan". *Architecture of Islamic world*. Translated by: Yaghoob Ajand, Tehran: Mola. (In Persian)
- Man'kovskaia, L. Iu & Golombek, L., (1985). "Towards the Study of Forms in Central Asian Architecture at the End of the Fourteenth Century: The Mausoleum of Khvaja Ahmed Yasavi". *Iran*, 23: 109-127.
- Manz, B. F., (1994). *Central Asia in Historical Perspective*. Boulder: Westview Press.
- Marefat, R., (1991). *Beyond the Architecture Death: The Shrine of the Shah-I Zinda In Samarkand*. Harvard University: The Graduate School of Arts and Sciences.
- Melaragno, M., (1991). *An Introduction to Shell Structures (The Art and Science of Vaulting)*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Memarian, Gh. H., (1988). *Niaresh of Arched Structures*. First Volume. Tehran: University of Science and Technology.
- Memarian, Gh. H., (2012). *Iranian Architecture: Niaresh*. Edited by: Hadi Safaeipour, First & Second Volume, Tehran: Naghmeh No-Andish.
- Minorsky, V. F., (1999). *Tadhkirat al-Muluk: A Manual of Safavid Administration*. Translated by: Masood Rajabnia, Tehran: Amir Kabir. (In Persian).
- O'Kane, B. (1987). *Timurid Architecture in Khurasan*. Mazda Publishers: Costa Mesa, California.
- Pirnia, M. K., (1991). "Dome in Iranian Architecture". *Asar*, 9 (20): 5-139.
- Pogachenkova, G. A., (2008). *The art of Central Asia (Fourteenth and Fifteen Centuries)*. Translation: Tabayi, D. Tehran: Academy of Art. (In Persian).
- Pope, A. U., (2011). *Iranian Architecture*. Translated by: Sadri Afshar, Gh. Tehran: Daat. (In Persian).
- Rahravi, S.; Valibeigi, N. & Rahimi Ariaei, A., (2016). "Survey of the Geometrical and Functional Details of the Double-Shell Discrete Nar Domes in Isfahan". *Soffeh*. 26 (2): 85-104.
- Safaeipour, H. et al., (2011). "Typology of Khashkhashi in structure of double-sell domes". *International conference of domes in the world*, Florence, Pp: 1-19.
- Tavernier, J.-B., (1957). *Travelogue of Tavernier*. Translated by: Hamid Arbab Shirani, Tehran: Niloofar. (In Persian).
- Wilson, P., (2011). "Timurid Architecture". *Cambridge History of Iran*. Fifth Volume. Translated by: Yaghoob Ajand, Tehran: Jami. (In Persian).
- www.cemml.colostate.edu
- Yeomans, R., (1999). *The Story of Islamic Architecture*. Published by: Garnet Publishing Ltd.
- Zomarshidi, H., (2010). *The dome and arch elements of Iran*. Tehran: Zaman.