

تحلیل جزئیات هندسی و اجرایی در گنبدهای دوپوسته گسسته نار شاخص شهر اصفهان

نمونه‌های مطالعاتی: گنبدهای مسجد جامع عباسی، آرامگاه درب امام، مدرسه چهارباغ،
و کلیسای بیت اللحم^۱

ساناز رهروی پوده^۲

مری دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)

نیما ولی بیگ^۳

استادیار دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان

افروز رحیمی آریایی^۴

مری دانشکده معماری، مرکز آموزش عالی غیر انتفاعی غیر دولتی سپهر اصفهان

کلیدواژگان: گنبد دوپوسته گسسته نار، فناوری ساخت گنبد، مسجد جامع عباسی، مدرسه چهارباغ، درب امام، کلیسای بیت اللحم.

چکیده

گنبدهای دوپوسته گسسته در گذر زمان فرم‌های متنوع گوناگون در بخش اجزای اتصال‌دهنده خود داشته‌اند. با تحلیل فرایند ساخت و بررسی هندسه فرمی آن‌ها به جلوگیری از فراموشی و از دست رفتن مهارت‌های استادکاری در ساخت آن‌ها کمک خواهد شد. در پژوهش حاضر باور بنیادین این است که فرم نهایی اجزای تشکیل‌دهنده گنبدهای دوپوسته گسسته نار شاخص شهر اصفهان، به شکل مستقیم از نوع چینش آجرها و چگونگی قرارگیری کلاف‌ها از یک سو و توانمندی استادکارها نسبت به دانش هندسه عملی و نظری، از سوی دیگر، تأثیر می‌پذیرد. در این پژوهش تلاش است که با معرفی اجزای گنبد و بررسی نمونه‌هایی از گنبدهای دوپوسته گسسته نار در اصفهان، ویژگی‌های هندسی و چگونگی جزئیات اجرایی و ساخت آن‌ها بررسی شود. همچنین فرم‌های گوناگون کلاف‌های چوبی و خشخاشی‌ها و دلایل استفاده از آن‌ها عرضه شده است. از مطالعات کتابخانه‌ای و مشاهدات میدانی بهره برده شده و سپس تصاویر و ترسیم‌های نگارندگان، که از سوی استادکاران محلی اصلاح شده،

ارائه شده است. یکی از یافته‌های این مقاله تدوین شناسایی دقیق اجزا و چگونگی چیدمان آجر در گنبدهای دوپوسته گسسته نار است، از دیگر نتایج شناخت تفاوت در خلاقیت معمار محلی است که باعث ایجاد تمایز در ویژگی‌های هندسی و ساختاری این گنبدها (از جمله تنوع فرمی و اجرایی در خشخاشی‌ها و کلاف‌های چوبی) شده است. همچنین مشخص شد که برخلاف باورهای پیشین، گاهی در دهانه‌های کوچک قفل و بستنی بین خشخاشی و پوسته بیرونی به کار برده نمی‌شود. علاوه بر آن مشخص گردید خشخاشی‌ها باید به صورت کامل و همراه با خود گنبد اجرا شوند و در صورت اجرای آن‌ها به صورت نیمه، نیروهای وارده و عکس‌العمل متفاوت در ترازهای مختلف ایجاد خواهد شد و پوسته بیرونی ترک خواهد خورد.

۱. مقدمه

به علت توانایی گنبد در پوشاندن فضایی وسیع، ایرانیان بسیار از آن استفاده کرده‌اند. گنبدهای ایرانی که در گذر زمان با مصالحی همچون خشت، آجر، و سنگ بنا گشته‌اند، تنوع شکلی گوناگونی گرفته‌اند که متأثر از تکنیک ساخت برگرفته از هندسه فرم و توانمندی معمار است.

۱. این پژوهش برگرفته از علاقه شخصی نویسندگان نسبت به گنبدهای دوپوسته گسسته است. به علت فقدان منابع دقیق در این زمینه، نویسندگان بر آن شدند تا تحقیقی جامع در این خصوص انجام دهند.

2. n.valibeig@au.ac.ir

۳. نویسنده مسئول؛

s_rahraavi@khuisf.ac.ir

4. a.rahimiariayi@sepehr.

ac.ir

5. L. Golombek & D. Wilber, *The Timurid Architecture of Iran and Turan*, pp. 115-116.
 ۶. بیژن رفیعی سرشکی و دیگران، فرهنگ مهرازی (معماری ایران)، ص ۳۸۸؛ همان: ۷.

Bernard O'Kane, "Dome in Iranian Architecture".
 8. Roland Besenval, *Technologie de la voute dans l'Orient ancien*, pp. 315-326.
 9. André Godard, *Athar É-Iran*, Vols. III, V, pp. 15, 84, 89.
 10. Arthur Upham Pope, *A Survey of Persian Art, from Prehistoric Times to the Present*, Vol. 3, p. 1134.
 11. Oleg Grabar, "The Islamic Dome: Some Considerations", p. 163.
 نک: ۱۲.

M. Ashkan & Y. Ahmad, "Discontinuous Double-shell Domes through Islamic eras in the Middle East and Central Asia: History, Morphology, Typologies, Geometry, and Construction".
 نک: ۱۳.

۱۴. نک: رولان بزنوال، فناوری تاق در خاور کهن؛ غلامحسین معماریان، نیارش سازه‌های طاقی در معماری اسلامی ایران؛ محمدکریم پیرنیا، «گنبد در معماری ایران»؛ حسین زمزمدی، گنبد و عناصر طاقی ایران.

پرسش‌های تحقیق

۱. اتصالات عناصر تشکیل‌دهنده گنبدهای دوپوسته گسسته نار شاخص اصفهان (پوسته بیرونی، پوسته درونی، دیوارک‌های بین دو پوسته و کلاف‌های چوبی) به چه صورت است؟
۲. بین فرم اجزای تشکیل‌دهنده گنبدهای دوپوسته گسسته نار شاخص شهر اصفهان با مهارت و خلاقیت استادکاران سنتی نسبت به دانش هندسه چه رابطه‌ای هست؟
۳. کلاف‌ها و خشخاشی‌ها، این عناصر اتصال‌دهنده در گنبدهای دوپوسته گسسته نار، چه دسته‌بندی‌های شکلی و عملکردی دارند؟
۴. دلیل تغییر شکل کلاف‌ها و خشخاشی‌ها در هریک از نمونه‌های گوناگون مطالعاتی چیست و چه نوع کلاف‌هایی در هر یک از آن‌ها استفاده شده است؟

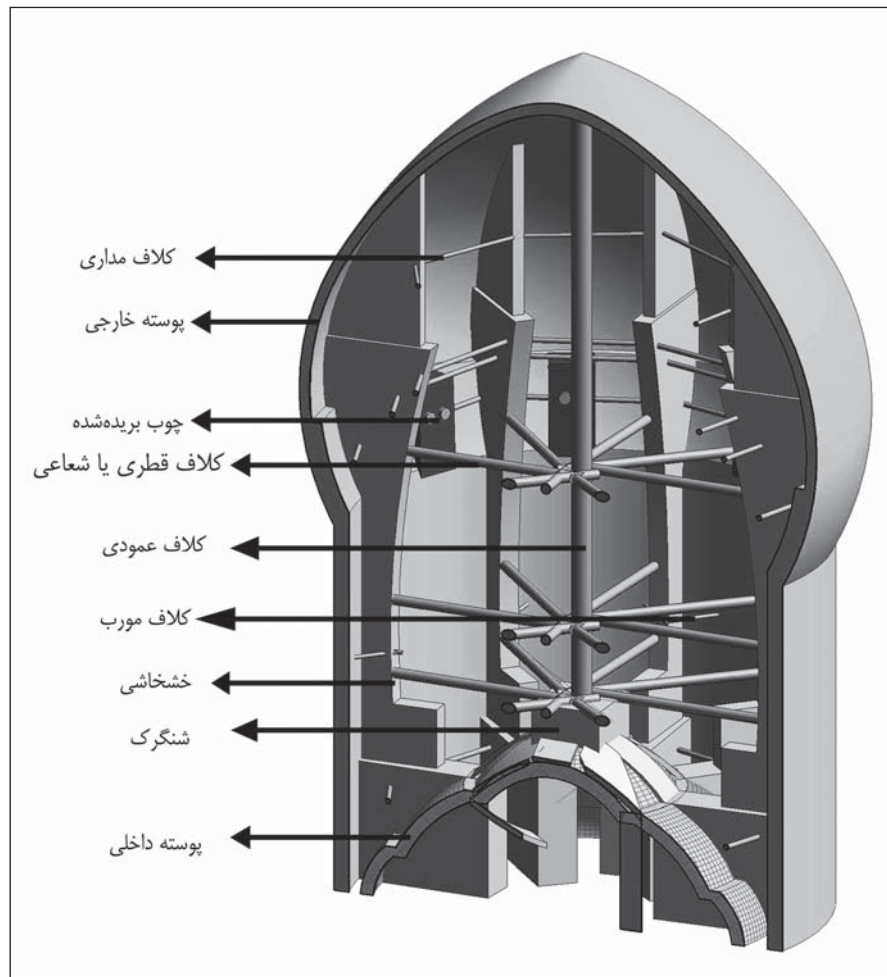
گنبدها اگر با شیوه‌های صحیح ساخته می‌شدند، ساختمان آن‌ها سالیان متمادی استوار باقی می‌ماند.^۵ از کهن‌ترین گنبدهای ایرانی می‌توان به چهارطاقی بازه هور^۶، گنبد قلعه دختر فارس، آتشکده فیروزآباد^۷، و آتشکده نیاسر^۸ که یادگاری از دوره‌های اشکانی و ساسانی هستند، اشاره داشت.^۹ پس از اسلام این اندام معماری در بسیاری از بناها، به‌ویژه بناهای مذهبی، به کار گرفته شد.^{۱۰} به اعتقاد برخی از محققین به طور قطع گنبدهای اسلامی بر معماری گنبدهای اروپایی قرن نوزدهم تأثیرگذار بوده است.^{۱۱} برج‌های خرقان از قرن پنجم هجری قمری قدیمی‌ترین اثر بازمانده از گنبد دوپوسته کاملاً گسسته نار است که سابقه هزارساله این نوع گنبد را در ایران نشان می‌دهد.^{۱۲} در این میان تنوع فرم هندسی گنبدها، به‌ویژه در اجزای متشکله آن‌ها، بیانگر تأثیرگذاری عوامل چندی است که شکل و ساختارهای متفاوتی را پدید آورده است. استادکاران معماری سنتی با توانمندی‌ای که نسبت به فناوری ساخت (هندسه عملی) و تسلطی که به دانش هندسه (هندسه نظری) دارند، در پدید آوردن فرم‌های گوناگون این اجزا تأثیر عمده‌ای گذاشته‌اند.

نگارندگان بر این باورند که اثرگذارترین عوامل تأثیرگذار بر ساختمان گنبدهای دوپوسته را می‌توان فرم هندسی پوسته‌های گنبد، مصالح بومی، و توانمندی‌های معماران دانست. در ساخت گنبدهای دوپوسته، در مسیر تحول گنبدسازی در ایران، به طور بارزی، عوامل فوق به نمایش گذارده شده‌اند. بنا بر این نگارندگان در نوشتار حاضر بر آن هستند که با بررسی چگونگی تأثیرگذاری ساختار، تناسبات، هندسه، و مهارت استادکاران بر فناوری ساخت گنبدهای دوپوسته اصفهان، شیوه ساخت، چگونگی اتصالات، انواع خشخاشی و کلاف‌های چوبی، در این گنبدها را مشخص کنند.

۲. پیشینه تحقیق

برخی از محققین به بررسی تأثیر هندسه بر ساختار شکلی گنبدهای دوپوسته در شرق میانه و آسیای مرکزی پرداخته‌اند.^{۱۳} غالب پژوهشگرانی که به مباحث مرتبط با گنبد پرداخته‌اند تنها به شکل و چگونگی ساخت آن‌ها به صورت کلی پرداخته‌اند.^{۱۴} بعضی از نویسندگان نگاهی فرمی به ساختار گنبدهای ایرانی داشته‌اند.^{۱۵} از این میان برخی گنبدهای ایرانی را گونه‌شناسی و دسته‌بندی کرده‌اند.^{۱۶} همچنین برخی از پژوهندگان چگونگی ایستایی آن‌ها را تحلیل کرده‌اند.^{۱۷} عده‌ای دیگر بر ساخت گنبدهای بتنی و یا فلزی مطالعاتی داشته‌اند.^{۱۸} در منابع محدودی، علاوه بر آن، به

ت ۱. اجزا و انواع کلاف‌های موجود در گنبدهای دوپوسته گسسته نار ایران، ترسیم: نگارندگان.



نمونه‌ای کامل از جامعه گنبدهای دوپوسته گسسته نار سطح در شهر اصفهان را پوشش دهند. در واقع این نمونه‌ها به گونه‌ای گزینش شده‌اند که، به لحاظ تنوع در عملکرد و شیوه چیدمان مصالح، نماینده‌ای برای این منطقه جغرافیایی باشند. بنا بر این نمونه‌ها در جامعه آماری به پنج نمونه (دو گنبد درب امام، مدرسه چهارباغ و مسجد عباسی، و کلیسای بیت اللحم) محدود شد. انواع عناصر سازه‌ای و معماری در این نمونه‌ها به گونه‌ای است که ویژگی‌های کل جامعه آماری را پوشش می‌دهند.

عناصر تشکیل دهنده گنبدها نیز توجه شده است^{۱۹}، برخی محققان به دسته‌بندی اجزای گنبد، همچون خشخاشی، پرداخته‌اند^{۲۰}. در معدودی از منابع به چگونگی ساخت گنبدها اشاره شده، ولی شیوه چیدمان آن‌ها با جزئیات اجرایی معرفی نشده است. تاکنون در مطالعات صورت گرفته دیده نشده که تحلیلی توأمان از موضوع ساختار پوششی گنبدهای دوپوسته گسسته نار، با توجه به شرایط هندسی و توانمندی‌های معماران محلی، شده باشد. بنا بر این برای نخستین بار تصاویر دقیق، جزئیات اجرایی، و چگونگی اتصالات عناصر گنبدهای دوپوسته گسسته نار با بررسی‌های میدانی و بهره‌گیری از نظریات استادکاران متبحر محلی عرضه شده است. از نوآوری‌های این نوشتار می‌توان به یافته‌های میدانی جدید در خصوص چهار نمونه مورد بررسی و به‌ویژه بنای درب امام، برای نخستین بار استفاده از استادکاران به منزله مراجع شفاهی معماری سنتی، و تأکید بر جزئیات اجرا و تعامل شکل، سازه، و ساخت اشاره داشت.

۳. روش تحقیق

جامعه آماری در این پژوهش، همه گنبدهای دوپوسته گسسته نار در محدوده جغرافیایی سیاسی شهر اصفهان است. در کل ده گنبد تاریخی (قاجار و پیش از آن) شناسایی و بازدید شدند. سپس فرم‌ها و عناصر آن‌ها بررسی شد. با بررسی‌ها مشخص گردید که تعداد اندکی از این آثار ویژگی‌های شاخص و متفاوت دارند که با عنوان نمونه در این پژوهش انتخاب شده‌اند. این ویژگی‌ها شامل کمترین میزان تغییرات در گذر زمان در فرم‌های آن‌ها، معرفی شدن در کتب ویژه تاریخی همچون سفرنامه‌های معتبر و منابع علمی مرتبط، ویژگی‌های خاص (از نظر اجزا، حجم، دهانه، ارتفاع، و تناسبات)، و ساخته شدن از سوی معماران برجسته و با مشورت استادکاران محلی اصفهان بوده است. در این تحقیق، سعی گردیده نمونه‌های انتخابی به گونه‌ای باشند که، از لحاظ شکل، ابعاد، عناصر اتصال‌دهنده، اتصالات، و مصالح،

۴. عناصر اتصال‌دهنده گنبد‌های دویپوسته گسسته ناز

گنبد‌های دو پوسته گسته شامل اجزای متفاوتی هستند (ت ۱)، در این نوع از گنبد‌ها، به دلایل گوناگونی از جمله دلایل سازه‌ای و فناوری ساخت، ناگزیر شده‌اند که دو پوسته گنبد را به یکدیگر پیوست دهند. برای این امر از روش‌های گوناگونی با شکل‌های متفاوت استفاده کرده‌اند. ولی به شکل کلی می‌توان به دو دسته دیوارک‌های پیونددهنده دو پوسته و تیرهای چوبی اتصال‌دهنده بین اجزا اشاره کرد.

یکی از ابتکارات ایرانیان برای افزایش انسجام گنبد دیوارهای تیغه‌ای آجری است که خشخاشی نامیده می‌شوند. خشخاشی تیغه‌ای آجری است که غالباً به صورت زوج و با ساقه هم‌زمان اجرا می‌شوند. خشخاشی‌ها برای پایدار کردن گنبد در برابر نیروی خارجی رانشی پدید آمده‌اند.^{۲۶} دیوارک‌های اتصال‌دهنده بین دو پوسته دیوارهای عمودی هستند که به فرم‌های گوناگونی در گنبد‌های متفاوت ولی با ویژگی‌های کلی


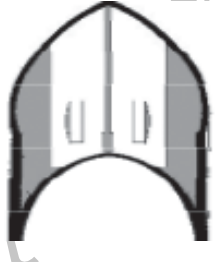
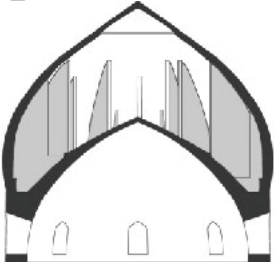

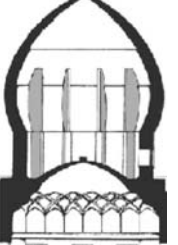





در این مقاله به منظور پاسخ به سؤالات پژوهش، علاوه بر بررسی‌های کتابخانه‌ای و میدانی ریزبینانه و دقیق، از گفتگو با استادکاران محلی نیز بهره گرفته شده است درنهایت، تحلیل ساختار فرمی و پیش‌آجری گنبد‌ها انجام شده است. بدین منظور نخست اطلاعات گوناگونی در مورد چگونگی ساخت گنبد گردآوری و این اطلاعات با بررسی‌های میدانی موشکافانه تحلیل و با اطلاعاتی که از گفتگو با استادکاران محلی (رضایت^{۲۱}، الیکی^{۲۲}، محسنی نائینی^{۲۳}، و فرزانه‌ای محمدی^{۲۴}) به دست آمده، مقایسه شده است. در گام بعدی همه اطلاعات با نرم‌افزارهای ترسیمی^{۲۵} مستندسازی و بازسازی تصویری شده است. در این مقاله در بخش نخست، ویژگی‌های کلی گنبد‌های ناز دویپوسته معرفی و سپس در بخش دوم نمونه‌های مطالعاتی که در محدوده اصفهان معرفی و جزئیات اجرایی هریک و چگونگی اتصالات اجزای آن‌ها تحلیل و ارزیابی شده است. درنهایت در بخش سوم اطلاعاتی حاوی چگونگی ساخت و وجوه مشترک و افتراق نمونه‌ها در دو بخش معماری و سازه بررسی شده است.

۱۵. نک: فرهاد تهرانی، «ورای هندسه طاق و گنبد»؛ اوژن گالدیری، «مرمت گنبد آجری، تجربه‌ای از ایران»؛ دبتریش هوف، گنبد‌ها در معماری اسلامی؛

André Godard, *Athar É-Iran*, Vols. III, V; Roland Besenval, *Technologie de la voute dans l'Orient ancien*.

ت ۲. برش و پلان نمونه‌های مطالعاتی، مأخذ:

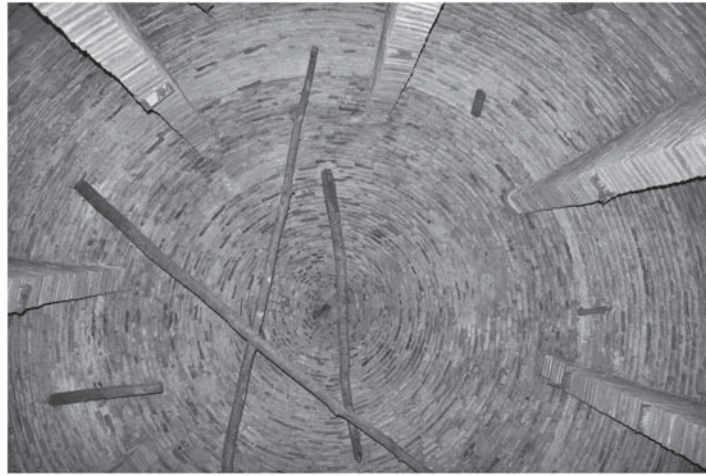
Safaeipour, et al, "Typology of Khashkhashi in Structure of double-shell domes".

کلیسای بیت اللحم (نگارندگان)	مدرسه چهارباغ	مسجد عباسی	درب امام گنبد کوچک	درب امام گنبد بزرگ
				
				

ت ۳. درب امام گنبد بزرگ،
عکس‌ها: نگارندگان.

کلاف‌های چوبی مورد استفاده در بین دو پوسته گنبد را می‌توان به شکل‌ها و چگونگی اتصال گوناگونی مشاهده کرد. تیرهای چوبی غالباً به شکل استوانه‌ای یا نیمه‌استوانه و یا چهارتراش به کار رفته‌اند. از سوی دیگر، این چوب‌ها را می‌توان از لحاظ اتصال به چند دسته تقسیم کرد. یک دسته آن‌هایی که دیوارک‌های خشخاشی را به یکدیگر اتصال می‌دهند، دسته

یکسان ساخته شده‌اند. در برخی از نمونه‌ها تنها از یک نمونه دیوار استفاده شده است و در نمونه‌های دیگر از فرم‌های متنوع دو یا چندگانه بهره گرفته شده است (مسجد جامع عباسی). همچنین نوع اتصال ارتفاع خشخاشی و میزان اتصال آن به آهیانه و خود در نمونه‌های مختلف متفاوت است. از سوی دیگر، سطح مقطع ارتفاعی برخی خشخاشی‌ها متغیر است.



۱۶. نک: غلامحسین معماریان، همان؛ محمدکریم پیرنیا همان؛ حسین زمرشیدی، همان؛

Ashkan and Ahmad, "Persian domes: history, morphology and typologies".

۱۷. نکه: مهرداد حجازی و رسول میرقادر، «تحلیل لرزه‌ای گنبد‌های ایرانی»؛

M. Hejazi & A. Salari, "Seismic Analysis of

←

ت ۴. طرح بازسازی عناصر گنبد درب امام گنبد بزرگ، ترسیم: نگارندگان.

۵. بررسی نمونه‌های مطالعاتی

در ادامه پنج نمونه (دو گنبد درب امام، گنبد مسجد عباسی و گنبد مدرسه چهارباغ، و کلیسای بیت اللحم) از گنبد‌های دوپوسته اصفهان بازکاوی دقیق شده‌اند. انتخاب این نمونه‌های مطالعاتی با مشورت استادکار معمار سنتی اصفهان بوده شده است. در واقع سعی شده نمونه‌ها فناوری ساخت، فرم‌های متنوع هندسی، و سازه‌های متنوع از لحاظ فرم و عملکرد را در بر داشته باشند تا بتوان طیف کاملی از انواع این شیوه گنبدسازی را در اصفهان تجزیه و تحلیل کرد (ت ۲).

۵.۱. آرامگاه درب امام

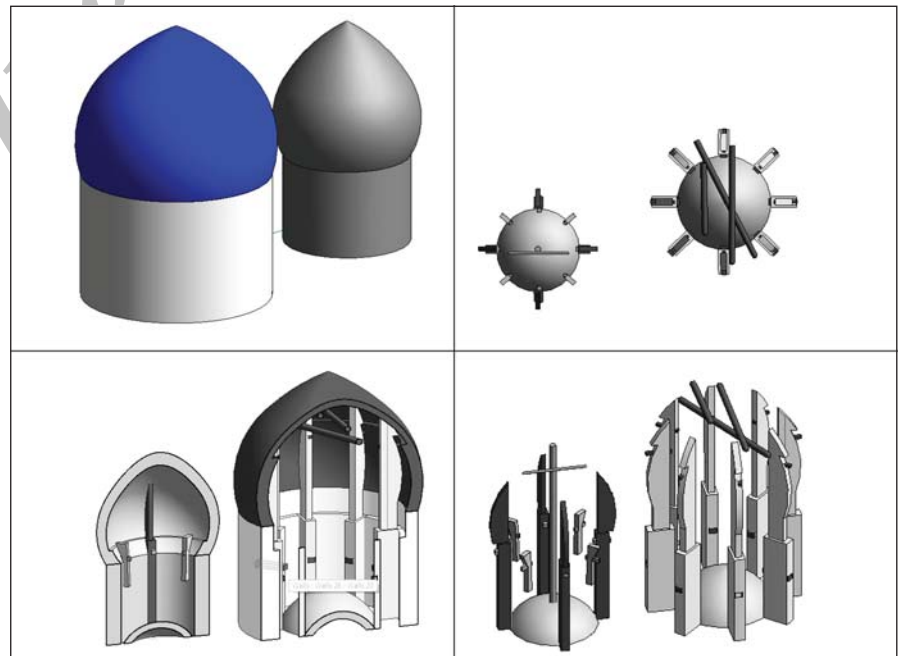
این آرامگاه دو گنبد بزرگ و کوچک دارد، گنبد بزرگ در عهد سلطنت جهانشاه قره‌قویونلو (۸۵۷ق) و گنبد کوچک در عهد سلطنت شاه سلیمان (۱۶۷۰م / ۱۰۴۸ش) در اصفهان ساخته شده است.^{۳۹}

الف) بررسی گنبد بزرگ: پوسته داخلی گنبد بزرگ خیز کم و پوسته خارجی آن چغد شبدری تند دارد. این گنبد با ۸ خشخاشی به عمق ۷۰ سانتی‌متر، ضخامت ۴۰ سانتی‌متر (۱/۵ آجر) در پایین و ۲۵ سانتی‌متر در بالا (۱ آجر)^{۴۰} و به بلندی ۳ متر بنا شده است. تعدادی از کلاف‌های چوبی در داخل این گنبد بریده شده‌اند.^{۴۱} به اعتقاد برخی از استادکاران، بریده شدن برخی از چوب‌ها نشان می‌دهد که آن‌ها عملکرد سازه‌ای نداشته و جهت داربست استفاده می‌شده‌اند.^{۴۲} داخل دو پوسته می‌توان انواع کلاف‌های قطری و شعاعی اتصال‌دهنده خشخاشی به پوسته بیرونی را مشاهده کرد (ت ۳ و ۴ و ۵).

به‌طورکلی اتصالات (هشت و گیر) بین خشخاشی، پوسته‌های داخلی، و خارجی نقش بسزایی در انتقال نیروهای وارده به گنبد دارند، اما به دلیل کوچک بودن دهانه در دو گنبد درب امام، اتصالی بین خشخاشی و پوسته درونی نیست، در صورتی‌که در گنبد‌های با دهانه بزرگ، همانند مسجد جامع

دیگر کلاف‌هایی هستند که خشخاشی‌ها را به خود اتصال می‌دهند، دسته سوم خشخاشی‌ها را به آهیانه اتصال می‌دهند، دسته چهارم آهیانه را به خشخاشی‌ها متصل می‌کنند، و دسته پنجم کلافی است که به شکل عمودی بر روی رأس آهیانه نصب می‌شود و به رأس خود اتصال می‌یابد. لازم به یادآوری است که همه این کلاف‌ها به‌ندرت در یک بنا دیده می‌شوند.

به منظور اتصال بهتر عناصر گنبد و همچنین استحکام بخشی به سازه در برابر نیروهای داخلی، مانند نیروی رانشی، چرخشی، و نیروهای خارجی همانند نیروی باد، معماران ایرانی از خشخاشی بهره جسته‌اند. این اجزا غالباً با پوسته بیرونی هم‌زمان اجرا و بسته به شرایط کار تا ارتفاع‌های متفاوتی از گنبد استفاده شده‌اند. باریکه طاق‌ها جزئی از پوسته داخلی است و غالباً خشخاشی‌های^{۴۳} اصلی بر روی آن‌ها بنا می‌شوند. یکی دیگر از ارکان کمکی گنبد‌های دوپوسته کلاف‌های چوبی در ساختار بین دو پوسته است.^{۴۴}

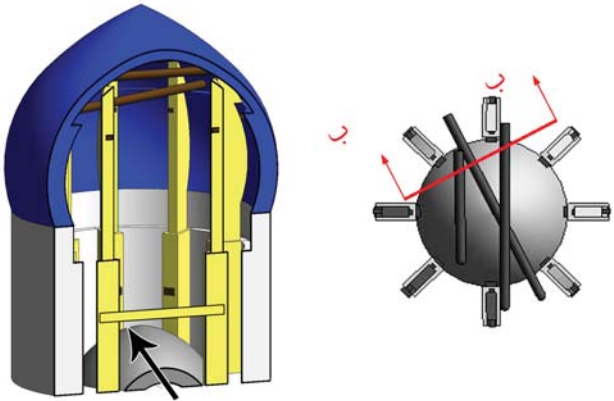
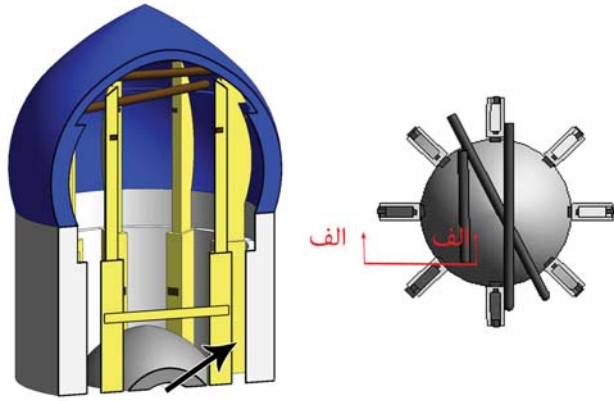


ت ۵. جزئیات اجرایی و چگونگی اتصال اجزای گنبد در گنبد بزرگ درب امام با نظر استاد رضایت و استاد البیکی، ترسیم: نگارندگان.

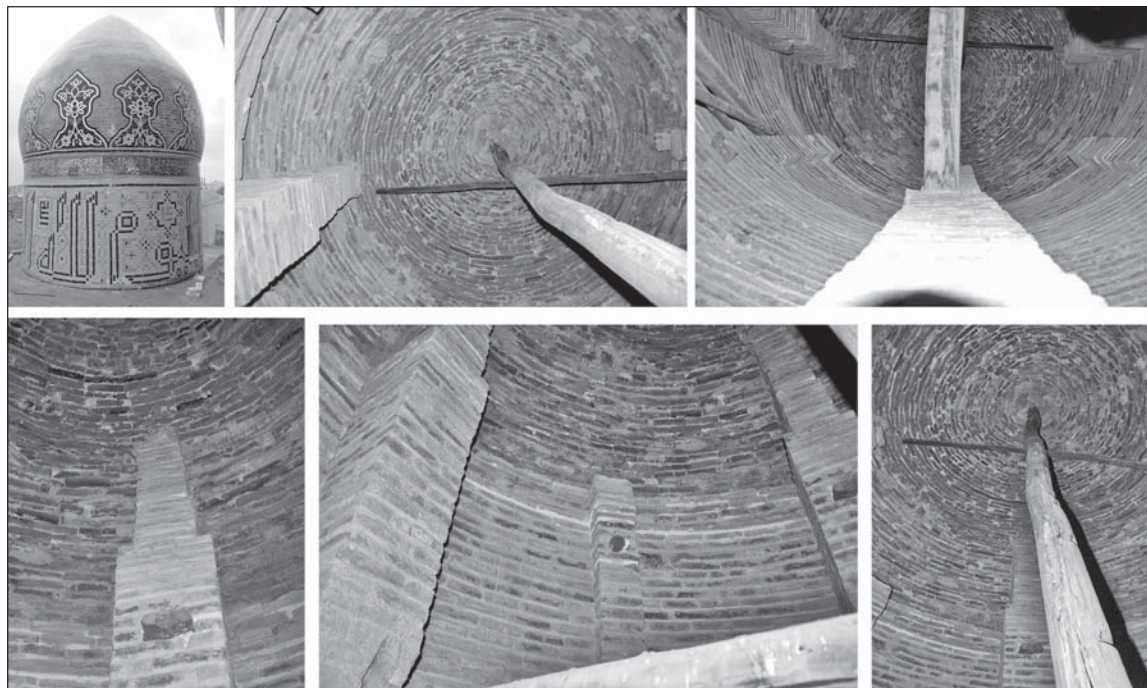
خشخاشی‌های فرعی نیز به همین تعداد، با ضخامت ۱۲/۵، عمق ۶، و ارتفاع ۳۰۰ سانتی‌متر مربع در حد فاصل خشخاشی‌های اصلی بنا شده‌اند.^{۳۵} بعضی از استادکاران معتقدند که نوع کوچک آن نقش زیرپا (داربست) را ایفا می‌کنند^{۳۶}، اما برخی دیگر معتقد هستند که آن‌ها نیز، مانند خشخاشی‌های بزرگ‌تر، نقش سازه‌ای دارند و برای کم کردن یک کلوک^{۳۷} در پوسته بیرونی و کم کردن وزن سازه به کار می‌رفته است.^{۳۸} با توجه به مسائل سازه‌ای نظر دوم صحیح‌تر به

عباسی (ت ۷)، بین خشخاشی و پوسته درونی اتصال هست^{۳۳}. این گنبد یک نوع خشخاشی دارد که کمی پایین‌تر از شروع پوسته بیرونی کاهش ضخامت داده است (ت ۴ و ۵).

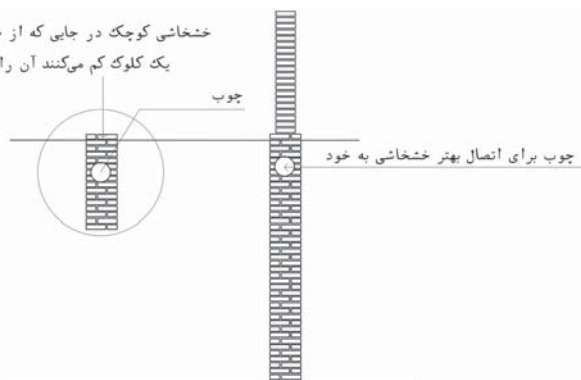
ب) بررسی گنبد کوچک: گنبد کوچک این بنا تا حدودی مشابه گنبد بزرگ‌تر است^{۳۴} (ت ۶). در گنبد کوچک از دو نوع خشخاشی با ابعاد متفاوت استفاده شده است (ت ۶) این گنبد ۴ خشخاشی اصلی به ضخامت ۳۴، عمق ۳۰، و ارتفاع ۵۰۰ سانتی‌متر دارد و

چگونگی چیدمان آجر در خشخاشی و پوسته داخلی (ب)	چگونگی اتصال کلاف چوبی به خشخاشی و پوسته خارجی (الف)	محل برش در پلان و سه نما
		
<p>آجرکاری سطح روبه برای یک‌واخت کردن و جلوگیری از خراب شدن آهیانه</p> <p>چوب (کلاف قرار گرفته در خشخاشی)</p> <p>آجرچینی آهیانه</p> <p>مقطع ب-ب</p>	<p>آجرچینی در ابتدا به صورت رگجین و سپس گردچین می‌شود</p> <p>کلاف چوبی اتصال خشخاشی به خود</p> <p>کم کردن ضخامت خشخاشی جهت کم کردن وزن و بار وارد شده بر جرز</p> <p>چوب درون خود که کلاف خشخاشی به آن متصل می‌شود</p> <p>آجرچینی آهیانه</p> <p>مقطع الف-الف</p>	برش

نظر می‌آید. خشخاشی‌های اصلی این گنبد نیز همانند گنبد بزرگ‌تر در یک مرحله کاهش ضخامت داشته است. در این گنبد علاوه بر کلاف‌های قطری و شعاعی اتصال‌دهنده خشخاشی به پوسته بیرونی، از کلاف عمودی میانی (شنگرک^{۳۶}) نیز استفاده شده است.

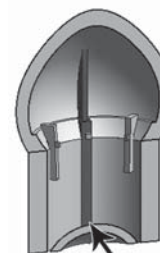


خشخاشی کوچک در جایی که از ضخامت خود از داخل یک کلوک کم می‌کنند آن را می‌سازند



مقطع: الف- الف- الف (جهت نمایش تنوع فرمی و هندسی خشخاشی)

جزئیات اجرایی و تنوع خشخاشی



محل برش در پلان و پرسپکتیو

→
Masonry Structures including Dynamic Soil-Structure Interaction".

۱۸. حسین زمرشیدی، همان؛
N. South & H. Sadid, *A Finite Element Analysis of the Monolithic Dom.*

۱۹. نک: معماریان، معماری ایرانی: نیارش؛ زمرشیدی، همان؛ فرهاد تهرانی و مجید راسخی، «تاق و قوس».
نک: ۲۰.

H. Safaeipour, et al, "Typology of Khashkhashi in Structure of double-shell domes".

۲۱. استاد نعمت‌الله رضایت در سال ۱۳۲۲ش در اصفهان متولد شد. از کارهای ایشان مرمت گنبد حرم مطهر زینبیه در اصفهان، اجرای گنبد و ساخت کلی ساختمان امامزاده شمس‌الدین علویچه، ساخت گنبد و گلدسته مسجد المهدی است (مهدی سجادی نائینی، معماران و مرمت‌کاران سنتی اصفهان، ص ۱۹۴).

۲۲. استاد بهرام الیکی متولد ۱۳۱۹ش. در اصفهان است. از جمله کارهای او می‌توان به مرمت میدان نقش جهان، مسجد جامع اصفهان و دو منار دار الضیافه، رکیب‌خانه و خانه قزوینی‌ها اشاره کرد (همان، ص ۲۱۷).

ت عر تصاویر و تنوع خشخاشی در گنبد کوچک درب امام، عکس‌ها و ترسیم: نگارندگان.

۲۳. محسنی نائینی متولد نائین و از نوادگان استاد محمدحسین محسنی نائینی است که از نوابخ مرمتگری ایران محسوب می‌شود (همان، ص ۱۴۰).

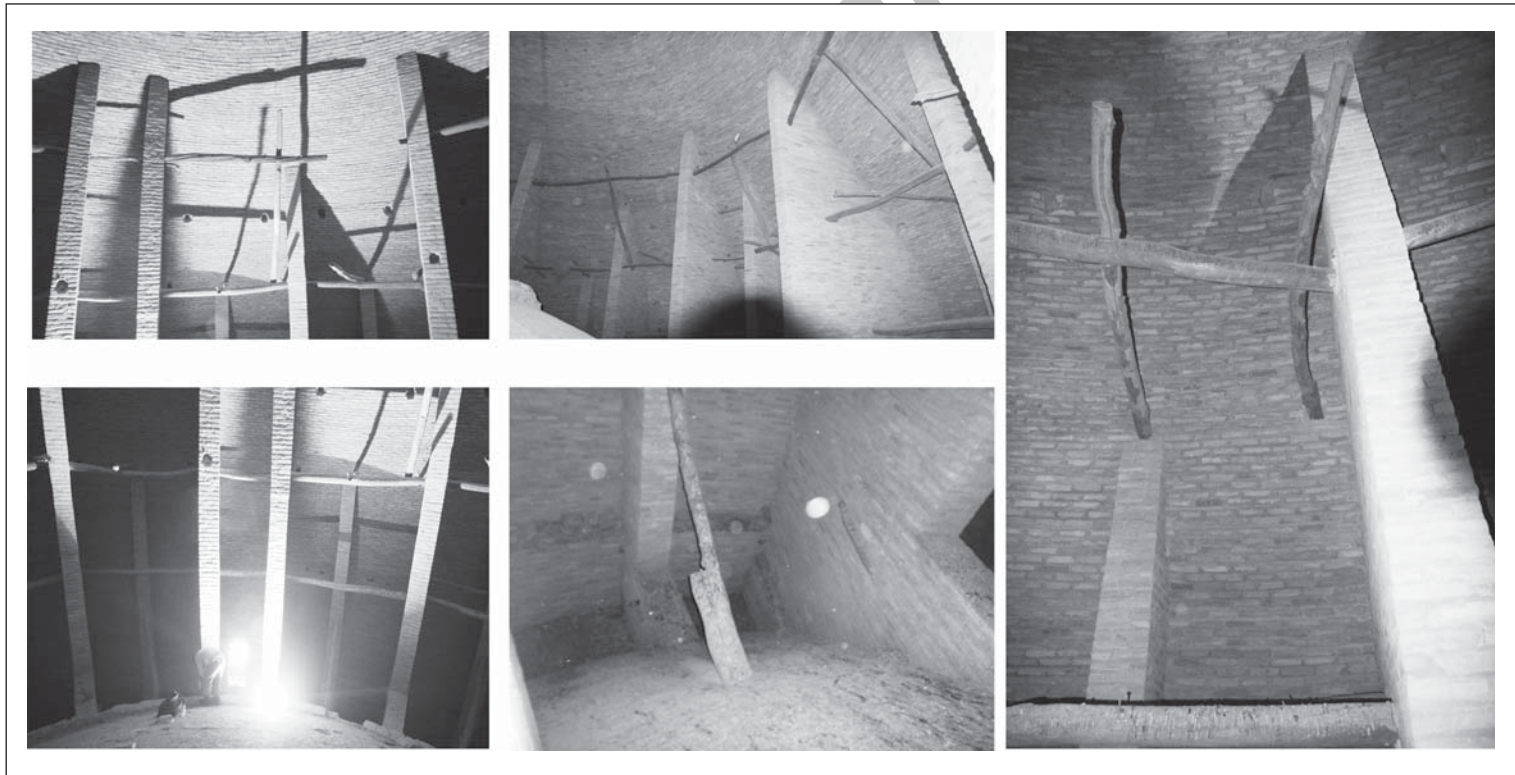
۲۴. استاد غلامرضا فرزانه‌ای محمدی معروف به «فرزانه» در سال ۱۳۰۶ در محمدیه نائین ←

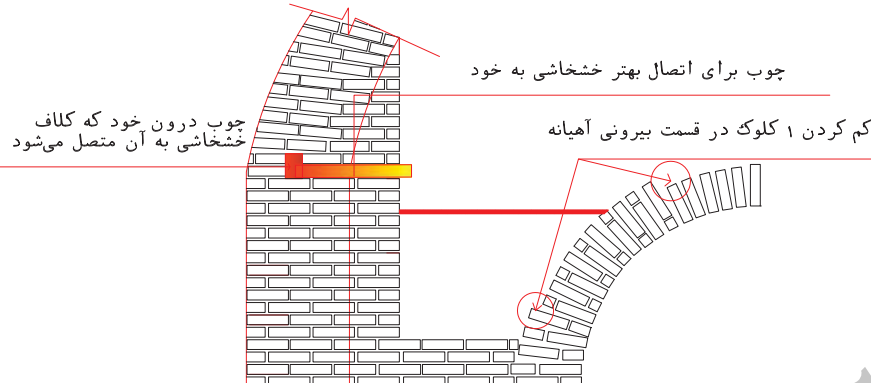
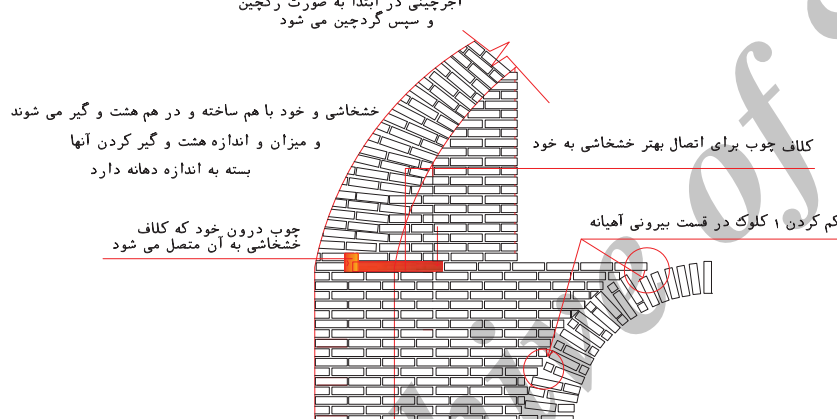
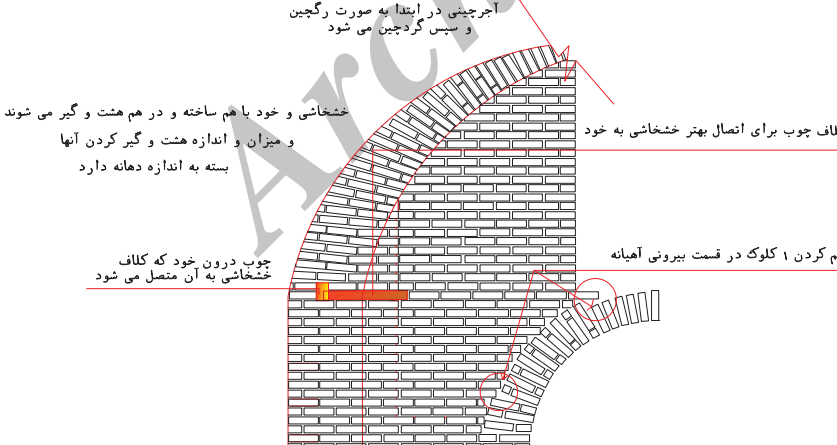
ت ۷. تصاویر داخلی گنبد مسجد جامع عباسی، عکس‌ها: آرشیو میراث فرهنگی.

این گنبد با سه نوع خشخاشی- ۱۲ خشخاشی بزرگ (ت ۸، پ)، ۱۲ تا متوسط (ت ۸، ب) و ۸ خشخاشی کوچک (ت ۸، الف)- بنا شده است، که ترکیب آن‌ها با سایر اجزا نشانی از چیرگی و پختگی معماران این بنا است^{۴۲}. خشخاشی‌های اصلی به ضخامت ۴۰، عمق ۵۰۰، و ارتفاع ۱۱۰۰ سانتی‌متر، خشخاشی‌های متوسط با ضخامت ۴۰، عمق ۳۰۰ و ارتفاع ۱۰۰۰ سانتی‌متر، و خشخاشی‌های کوچک آن با ضخامت ۳۰، عمق ۱۰۰، و ارتفاع ۸۰۰ سانتی‌متر بنا شده است^{۴۳}. انواع کلاف‌های مداری داخلی، قطری، و شعاعی در داخل دو پوسته اجزای گنبد را به هم پیوند داده است.

۵.۲. مسجد جامع عباسی

این مسجد در زمان سلطنت شاه عباس صفوی (۱۰۲۰-۱۰۲۵ق) در اصفهان ساخته شده است^{۴۰}. گنبد سمت قبله این مسجد از نوع گسسته نار است (ت ۷). پوسته داخلی آن با ۲۲۵۰ سانتی‌متر دهانه، در حدود ۱۳۰۰ سانتی‌متر ارتفاع، و ۲۰۱ سانتی‌متر ضخامت در پایین و ۳۰-۵۰ سانتی‌متر ضخامت در نوک گنبد بنا گردیده است. دهانه پوسته خارجی ۷۲۰ سانتی‌متر ارتفاع آن ۵۴۰۰ سانتی‌متر است. فاصله پوسته‌ها حدود ۱۵۰۰ سانتی‌متر، ضخامت آن در پاکار ۱۱۰ سانتی‌متر، و در تیزه یک آجر است. پاسکال کوست برشی از این گنبد را در قرن نوزدهم ترسیم کرده که اجزای اتصالات و کلاف‌های چوبی را اشتباه نشان داده است^{۴۱}.



جزئیات اجرایی	نوع خشخاشی
 <p>چوب درون خود که کلاف خشخاشی به آن متصل می‌شود</p> <p>چوب برای اتصال بهتر خشخاشی به خود</p> <p>کم کردن ۱ کلوک در قسمت بیرونی آهیانه</p>	<p>خشخاشی کوچک (الف)</p>
 <p>آجرچینی در ابتدا به صورت رگچین و سپس گردچین می‌شود</p> <p>خشخاشی و خود با هم ساخته و در هم هفت و گیر می‌شوند و میزان و اندازه هفت و گیر کردن آنها بسته به اندازه دهانه دارد</p> <p>کلاف چوب برای اتصال بهتر خشخاشی به خود</p> <p>چوب درون خود که کلاف خشخاشی به آن متصل می‌شود</p> <p>کم کردن ۱ کلوک در قسمت بیرونی آهیانه</p>	<p>خشخاشی متوسط (ب)</p>
 <p>آجرچینی در ابتدا به صورت رگچین و سپس گردچین می‌شود</p> <p>خشخاشی و خود با هم ساخته و در هم هفت و گیر می‌شوند و میزان و اندازه هفت و گیر کردن آنها بسته به اندازه دهانه دارد</p> <p>کلاف چوب برای اتصال بهتر خشخاشی به خود</p> <p>چوب درون خود که کلاف خشخاشی به آن متصل می‌شود</p> <p>کم کردن ۱ کلوک در قسمت بیرونی آهیانه</p>	<p>خشخاشی بزرگ (پ)</p>

متولد شد. او تحصیلات دانشگاهی ندارد، اما استادکاری بسیار مطلع و ورزیده در زمینه بناهای سنتی است (همان، ص ۱۸۶).

25. Auto Cad 2011 & 3ds Max 2010

۲۶. محمدکریم پیرنیا، «گنبد در معماری ایران»، ص ۷۹، ۸۶ و ۱۴۶.
 ۲۷. خشخاشی تیغهای آجری است که در فضای بین دو پوسته گنبد دوپوسته گسسته می‌ساخته‌اند (حسین زمرشیدی، همان، ص ۲۵۹).
 (اصطلاحات استادکاران: ستون اتصال از استاد الیکی، دسته از استاد فرزانه، تیغه، دیوار آجری از استاد محسنی).

۲۸. پیرنیا، همان، ص ۷۹.
 29. André Godard, *ibid*, p. 234-237.

۳۰. نک:

Safaeipour, et al. *ibid*.
 ۳۱. معاریان، همان، ص ۵۸۶ و ۵۹۷.
 ۳۲. بهرام الیکی، گفتگوی شخصی با نویسندگان.

۳۳. نعمت‌الله رضایت، گفتگوی شخصی با نویسندگان؛ بهرام الیکی، همان.
 ۳۴. معاریان، همان، ص ۵۸۶.

۳۵. نک: Safaeipour et al, *ibid*.
 ۳۶. غلامرضا فرزانه ای محمدی، گفتگوی شخصی با نویسندگان؛ محسنی نائینی، گفتگوی شخصی با نویسندگان.

ت ۸. جزئیات اجرایی و چگونگی اتصال اجزای گنبد در گنبد مسجد جامع عباسی، ترسیم بر اساس نظر استاد رضایت و استاد الیکی: نگارندگان.

۳.۵. مدرسه چهارباغ

منحصر به فردی است که آن را نمونه‌ای متکامل کرده است (ت ۱۱). پوسته داخلی تخم‌مرغی شکل است و پوسته بیرونی قوس شبدری دارد^{۴۵}. پوسته داخلی حدود ۳۰۰ سانتی‌متر دهانه

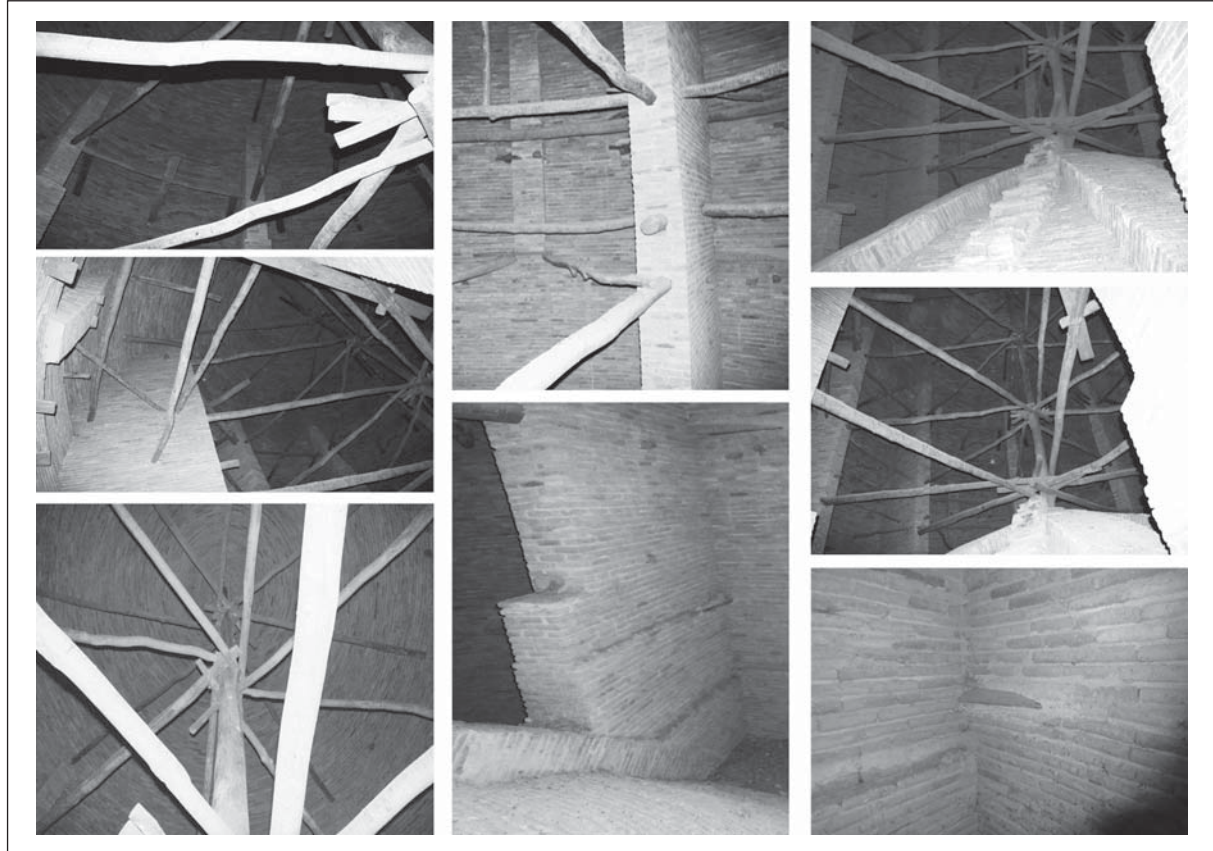
این مدرسه در زمان سلطنت شاه سلطان حسین صفوی (۱۱۲۶ق) ساخته شده است^{۴۴}. دلیل گزینش آن ویژگی‌های

۳۷. کلوک به تکه‌ای از آجر، برابر ۱/۸ آجر کامل، گویند (رفیعی سرشکی و دیگران، همان، ص ۳۵۵). ۳۸. نعمت‌الله رضایت، همان؛ بهرام الیکی، همان.

۳۹. شنگرک عضوی عمودی است در مرکز گنبد که روی پوسته درونی را به زیر پوسته بیرونی متصل می‌کند. این عضو به شکل ستونکی آجری یا چوبی و یا ترکیبی از هر دو عضو است و در برخی از گنبدها پس از اتمام کار برجیده می‌شود (رفیعی سرشکی و دیگران، همان، ص ۲۹۱). 40. S. Blair, *Islamic calligraphy*, Edinburgh, p. 481. نک: ۴۱.

Ashkan & Ahmad, "Discontinuous Double-shell Domes through Islamic eras in the Middle East and Central Asia".

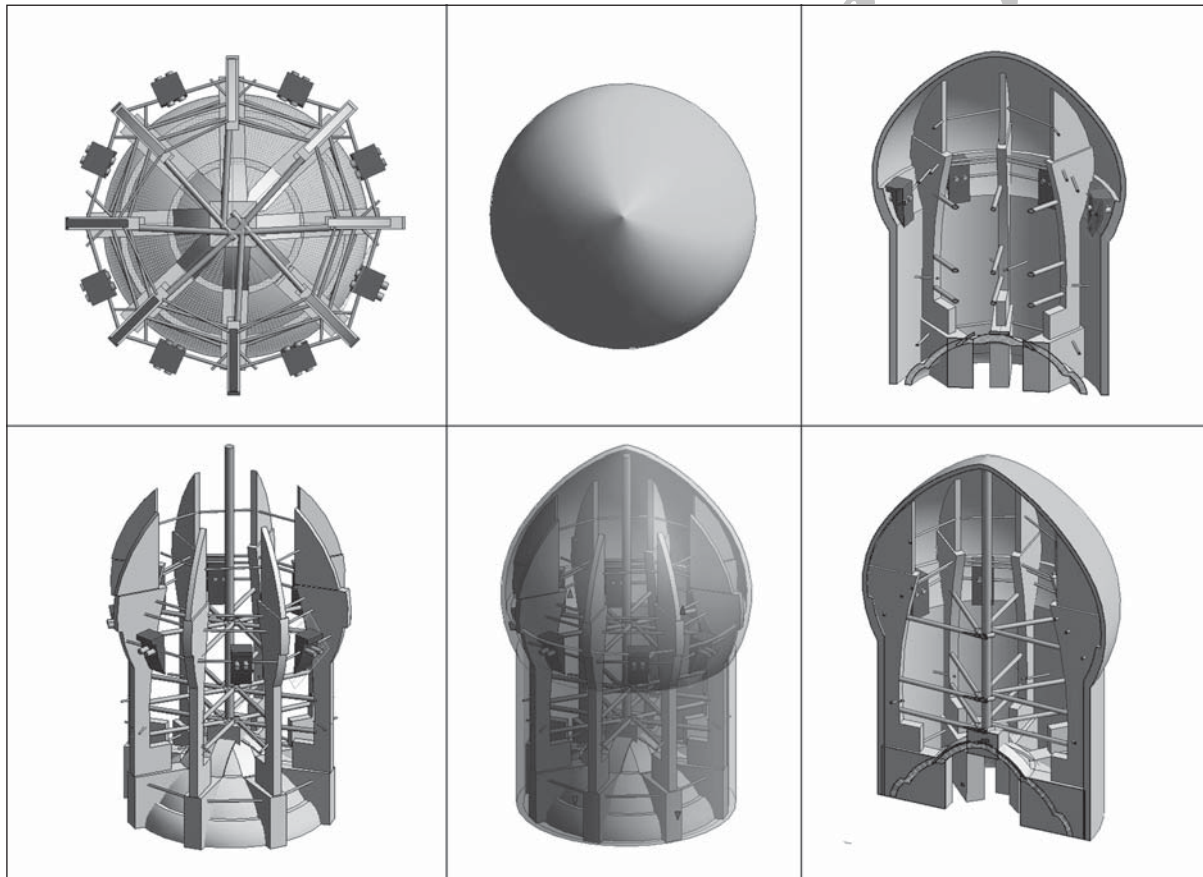
ت ۹ (بالا). تصاویر داخل گنبد مدرسه چهارباغ و بازسازی آن، عکس‌ها: نگارندگان. ت ۱۰ (پایین). تصاویر بازسازی شده: نگارندگان.



مورب را می‌توان مشاهده کرد (ت ۹ و ۱۰). خشخاشی این گنبد برای توزیع نیروی فشاری و کاهش فشار متمرکز بر روی باریکه طاق‌های پوسته داخلی نشسته و با پوسته بیرونی هم‌زمان و با قفل و بست اجرا شده است (ت ۱۲). این فرایند اتصال و نوع پیوند در همه نمونه‌های بررسی شده یکسان است (ت ۱۳). خشخاشی‌های اصلی در سه مرحله کاهش ضخامت داشته‌اند (ت ۱۵). کلاف‌های قطری در همه نمونه‌ها یک طرف پوسته بیرونی را به طرف دیگر متصل کرده‌اند، اما در این نمونه کلاف‌های قطری و شعاعی از خشخاشی به سمت مرکز رفته و در کنار کلاف مرکزی به هم پیوند داده شده‌اند.

دارد، بر روی آن ۸ باریکه طاق، که در مرکز به سنگ‌رک می‌رسند، بنا گشته و پوسته بیرونی آن در ظاهر شبیه مسجد عباسی اصفهان است. در این گنبد خشخاشی‌ها در دو اندازه و شکل متفاوت به کار رفته است. خشخاشی‌های اصلی به عرض ۴۰ سانتی‌متر، عمق ۲۵۰ سانتی‌متر، و بلندای ۴۰۰ سانتی‌متر بنا شده‌اند^{۴۶} (ت ۹ و ۱۰ و ۱۱).

در بازدید از پوسته داخلی این گنبد مشخص شده که ۸ خشخاشی کوچک‌تر، در جایی که ضخامت پوسته خارجی کاهش می‌یابد؛ به کار گرفته شده است. در این گنبد انواع کلاف‌های چوبی عمودی، مداری داخلی، قطری، شعاعی، و



۴۲. معماریان، همان، ص ۵۹۰-۵۹۵.
نک: ۴۳

Safaeipour, et al. *ibid.*
44. Godard, *ibid.*, p. 330.

نک: ۴۵
Safaeipour et al. "Typology of Khashkhashi in Structure of double-shell domes".

۴۶. نک: معماریان، همان، ص ۵۹۷-۶۰۱

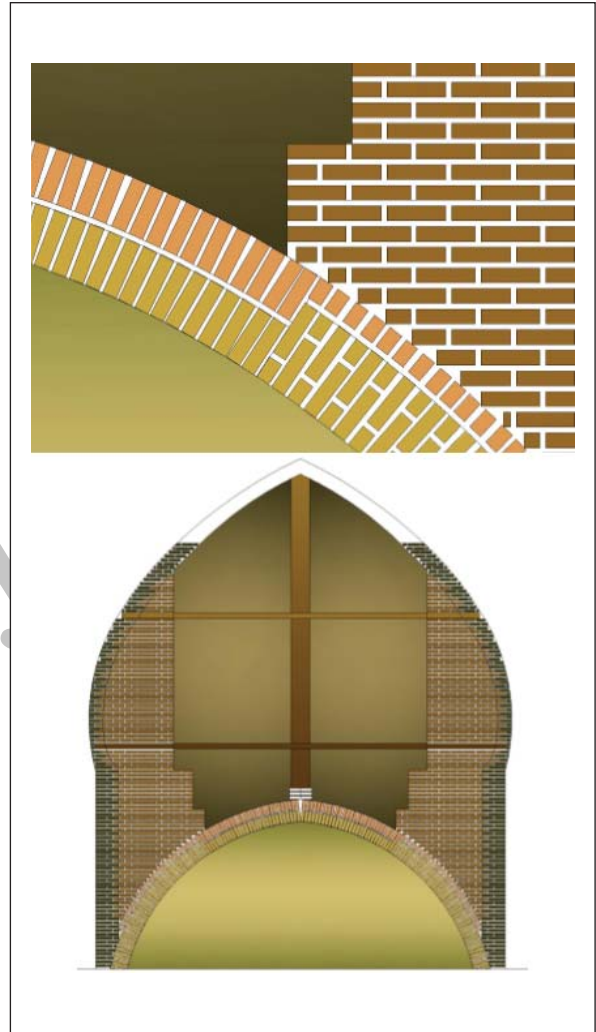
ت ۱۱. تصاویر بازسازی شده از اجزای داخلی گنبد مدرسه چهارباغ، ترسیم: نگارندگان.

۵. ۴. کلیسای بیت اللحم

کلیسای بیت اللحم در محله میدان در سال ۱۶۲۸م / ۱۰۳۸ق با کمک‌های خواجه پطرس ولیجانیان احداث شد. گنبد بنا بر روی چهار نیم‌ستون بنا شده و بزرگ‌ترین گنبد کلیساهای ارامنه جلفای اصفهان است.^{۴۷} گنبد کلیسای بیت اللحم به صورت دوپوسته گسسته نار با دوازده خشخاشی بنا شده است. تفاوت این نمونه با سایر نمونه‌های اصفهان کوتاه بودن خشخاشی‌ها تا میانه پوسته داخلی است. البته این نوع اجرا از نظر استادکاران اصولی نیست^{۴۸} و ایجاد ترک‌هایی در بالای همه خشخاشی‌ها بر پوسته بیرونی گواهی بر این نکته اجرایی است. خشخاشی‌ها بدون اتصال بر روی پوسته داخلی قرار گرفته و در هر خشخاشی در فاصله‌های حدود (۵۰ سانتی‌متر) از کلاف‌های چوبی شعاعی برای اتصال با پوسته بیرونی استفاده شده است. در رأس گنبد از دو ردیف کلاف قطری استفاده شده است (ت ۱۴).

۶. یافته‌ها

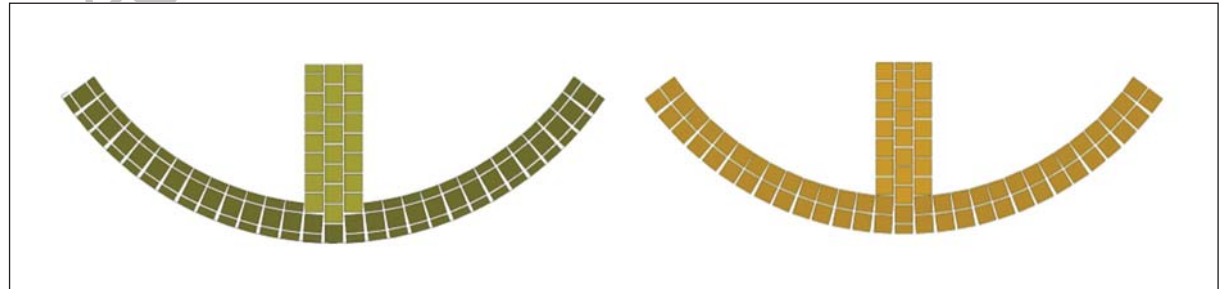
در گنبد‌های بازمانده تکنیک‌های ساختاری یکسان، که در برخی جزئیات با یکدیگر تفاوت‌هایی دارند، دیده می‌شود که می‌تواند تأثیر ساختار شکلی از یک سو و تأثیر توانمندی و خلاقیت معماران بومی را از سوی دیگر آشکار کند. به طور کلی گنبد‌های دوپوسته گسسته نار ابعاد گوناگونی دارد که در این پژوهش به چگونگی ساخت و اجزای آن‌ها و دسته‌بندی اجزای تشکیل‌دهنده آن پرداخته شده است. در کل می‌توان



۴۷. آرمن حق نظریان، کلیساهای ارامنه جلفای نو اصفهان، ص ۷۳-۸۰

۴۸. غلامرضا فرزانه‌ای محمدی، گفتگوی شخصی با نویسندگان.

ت ۱۲ (بالا). عدم پیوند خشخاشی با پوسته داخلی در مدرسه چهارباغ، ترسیم: نگارندگان.
ت ۱۳ (پایین). چیدمان و چگونگی اتصال پوسته بیرونی و خشخاشی در رج اول و دوم در همه گنبد‌های نار در شهر اصفهان، طرح و ترسیم: نگارندگان.



- در همه نمونه‌های بررسی شده، ساقه گنبد، پوسته داخلی، پوسته خارجی، و خشخاشی اندام‌ها ثابت هستند و در برخی از موارد بسته به نیاز، خشخاشی‌های کوچک و فرعی، کلاف چوبی، باریکه طاق (تویزه روی پوسته درونی) و ستون آجری یا چوبی بین دو پوسته (شنگرک) اضافه شده است. در همه نمونه‌های مطالعاتی، به استثنای دو گنبد درب امام (ت ۶ و ۷)، خشخاشی‌های اصلی عمود بر سطح گنبد زیرین و یا بر روی باریکه طاق‌ها، بدون هشت و گیر با پوسته درونی و با پیوند به پوسته بیرونی، اجرا شده است (ت ۱۵).

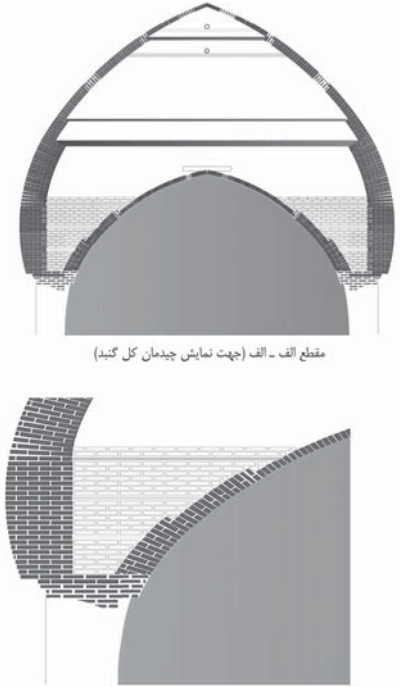
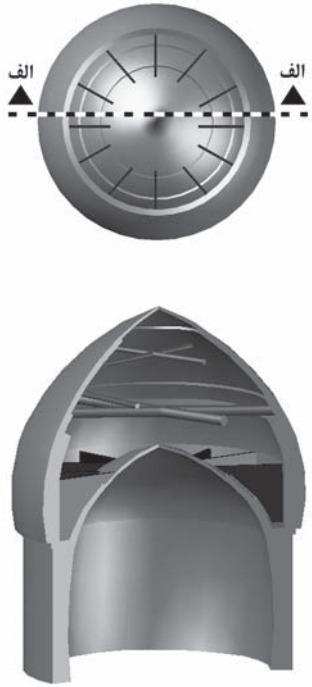
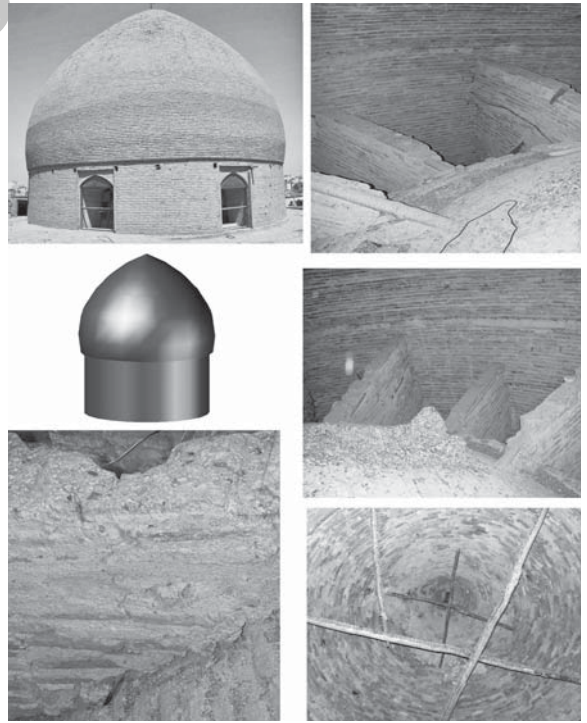
- در نمونه‌ها از انواع خشخاشی به لحاظ فرمی، تناسبات و عملکرد استفاده شده است (ت ۱۵). در نمونه‌های بررسی شده به

این آثار را از جنبه ساختار کالبدی معمارانه و سازه‌ای- ساختاری ارزیابی کرد.

۶.۱. اندام شناسی توصیفی (ساختار معمارانه)

طبق بررسی‌ها ویژگی مشترک در همه نمونه‌ها نمایان بودن گنبد از بیرون بنا و کاشی‌کاری بر پوسته بیرونی آن‌ها (به استثنای کلیسا) است، که این موضوع حاکی از تأکید معماران بنا بر ارتفاع و نمایانده شدن بنا در منظر شهری است. در گنبد‌های بررسی شده عناصر مختلفی هستند، این عناصر به لحاظ شکلی و چگونگی ارتباط با اجزای دیگر گونه‌های متفاوتی دارند که در ادامه دسته‌بندی و بررسی شده اند:

ت ۱۴. جزئیات اجرایی و چگونگی اتصال پوسته بیرونی و خشخاشی در گنبد کلیسای بیت اللحم، عکس‌ها و طرح‌ها: نگارندگان.

جزئیات اجرایی و تنوع خشخاشی	پلان و پرسپکتیو برای نمایش خشخاشی‌ها	تصاویر
 <p>مقطع الف - الف (جهت نمایش چیدمان کل گنبد)</p>		



ت ۱۵. دسته‌بندی خشخاشی‌های نمونه‌های بررسی‌شده، دلیل گزینش دو نما برای خشخاشی‌ها نمایش کاهش ضخامت در ترازهای مختلف است، تدوین: نگارندگان.

کلاف‌های به‌کاررفته در گنبد‌های دوپوسته اصفهان بر اساس چگونگی قرارگیری به شرح ذیل است:

۱) کلاف عمودی (شنگرک) که در مرکز گنبد دوپوسته را به هم متصل می‌کند، عموماً بر روی یک ستونک آجری ساخته می‌شود، به‌ویژه اگر فاصله بین دو پوسته زیاد باشد، ۲) کلاف قطری که در دهانه پوسته خارجی است، ۳) کلاف شعاعی که

استثنای مسجد جامع عباسی و کلیسای بیت اللحم، خشخاشی‌ها در یک و یا دو نما در ترازهای ارتفاعی مختلف کاهش ضخامت داشته‌اند. افزون بر این، در همه نمونه‌های مورد مطالعه، تعداد خشخاشی‌های زوج (۴، ۸، ۱۰، ۱۲) بوده است.

- از دیگر یافته‌های این پژوهش امکان گونه‌شناسی کلاف‌های چوبی است. بر اساس مستندات، به طور کلی دسته‌بندی

نمای خشخاشی از پهلو			نمای خشخاشی از مرکز			تعداد خشخاشی			نمونه‌های بررسی شده
کوچک	متوسط	بزرگ	کوچک	متوسط	بزرگ	کوچک	متوسط	بزرگ	
-	-		-	-		-	-	۱۰	درب امام گنبد بزرگ
	-			-		۴	-	۴	درب امام گنبد کوچک
						۸	۱۲	۱۲	مسجد عباسی
	-			-		۸	-	۸	مدرسه چهارباغ
-	-		-	-		-	-	۱۲	کلیسا بیت اللحم

از استادان آن را به دلیل کوچک بودن ابعاد و تناسبات این بنا برشمردند. به نظر استاد فرزانه‌ای این روش مرسوم نبوده است. وی معتقد بود که خشخاشی‌های این بنا در دوره‌های بعد برای مقاوم‌سازی به بنا افزوده شده است.

– سرشاخه‌ها (تویزه‌ها) بعد از اجرای پوسته داخلی و به صورت جداگانه بر روی آن اجرا می‌شود (ت ۱۲). به استناد منابع شفاهی از دلایل آن امکان کاهش ضخامت پوسته داخلی و توزیع بهتر نیروی فشاری خشخاشی‌ها است.

– ایجاد خشخاشی با فرم، تناسبات، و عملکردهای متفاوت را می‌توان ناشی از عواملی همچون خلاقیت و نظر استادکاران بومی، نوع چفد مولد، اندازه دهانه، ارتفاع گنبد، و فاصله دو پوسته دانست (ت ۱۵). شکل سطح مقطع خشخاشی‌ها در همه نمونه‌های اصفهان به صورت چهارگوش است. تغییر ضخامت در ترازهای مختلف خشخاشی‌ها برای کاهش حجم سازه و به دنبال آن سبک‌سازی آن بوده است. به اعتقاد استادان علت زوج بودن تعداد خشخاشی‌ها ایجاد رفتاری متقارن و یکنواخت در گنبد بوده است. خشخاشی‌ها نه تنها در انتقال نیروهای مایل تاثیرگذارند، بلکه، با ایجاد انسجام در سازه، گنبد را در مقابل نیروهای افقی (زلزله و باد) مستحکم می‌کنند.

– از آنجا که کلاف‌های چوبی در گنبد‌های دوپوسته گسسته نار نقش تأثیرگذاری بر سازه این عناصر معماری دارند، متناسب با اندازه دهانه، ارتفاع گنبد و خشخاشی‌ها (فاصله آن‌ها از شکل ظاهری، تعداد، و ضخامت آن‌ها) و توانمندی و خلاقیت معماران محلی در نمونه‌ها از انواع کلاف چوبی استفاده شده است (ت ۱۶). با استناد به منابع شفاهی می‌توان کاربردهای کلاف‌های چوبی را به صورت کامل‌تری، نسبت به آنچه قبلاً گفته شده، معرفی کرد. از جمله کاربرد آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱) کارکرد داربست برای اجرای پوسته بیرونی از داخل،
- ۲) کارکرد داربستی ثابت برای راحتی مرمت‌های بعدی،
- ۳) کارکرد سازه کششی و تا حدودی فشاری،

مرکز را به پوسته خارجی متصل می‌کند، ۴) کلاف مداری که دورتادور گنبد به صورت افقی می‌چرخد و در پلان یک چندضلعی را می‌سازد، ۵) کلاف مورب که به صورت دستک‌هایی از خشخاشی وارد پوسته خارجی می‌شود، و ۶) کلاف شعاعی که اتصال‌دهنده خشخاشی به پوسته بیرونی است (ت ۱۶). به طور کلی در مواقعی که نیاز به اتصال کلاف‌ها به هم باشد از میخ‌های فلزی به نام استوپ استفاده می‌شود.

۲.۶. اندام‌شناسی تحلیلی (ساختار سازه‌ای – ساختاری)

با توجه به مطالب فوق، سیستم‌های سازه‌ای در گنبد‌های ایرانی، بسته به طول دهانه و ارتفاع و نوع مصالح، متنوع و مدبرانه تعیین می‌شده است. در ادامه نتایج جدیدی که این پژوهش در خصوص این سیستم بدان دست یافته بیان شده است:

– طی بررسی‌های صورت‌گرفته، بیشتر استادکاران بر این اصل باور داشتند که ابتدا پوسته درونی و سپس پوسته بیرونی و خشخاشی هم‌زمان و به صورت هشت و گیر، اجرا می‌شوند، اما در بازبیده‌های نگارندگان مشخص شده که در گنبد درب امام پیوند بین خشخاشی و پوسته بیرونی ایجاد نشده است، برخی

ت ۱۶. دسته بندی انواع کلاف‌های چوبی در نمونه‌های بررسی شده، تدوین: نگارندگان.

نمونه گنبد‌های بررسی شده	کلاف چوبی				
	قطری	عمودی	مداری	مورب	اتصال خشخاشی به خود
درب امام گنبد بزرگ	✓	✗	✗	✗	✓
درب امام گنبد کوچک	✓	✓	✗	✗	✓
مسجد عباسی	✗	✗	✓	✓	✓
مدرسه چهارباغ	✓	✓	✓	✓	✓
کلیسای بیت اللحم	✓	✗	✗	✗	✓

(گنبد کوچک درب امام و مسجد چهارباغ)، کلاف مداری و مورب (گنبدهای مسجد جامع عباسی و مدرسه چهارباغ) به کار رفته است. به اعتقاد استادکاران محلی اصفهان، این کلاف‌ها عملکردهای مختلفی داشته‌اند که مهم‌ترین آن‌ها جنبه سازه‌ای آن و ایجاد یکپارچگی در گنبد است. دلایل تغییر شکل و تنوع فرمی خشخاشی در گنبدها، تغییر در اندازه دهانه گنبد، سبک‌سازی، کاهش نیروهای وارده بر پایه گنبد مهارت استادکار در شیوه چیدمان بوده است. در بعضی از نمونه‌ها (درب امام و مدرسه چهارباغ)، خشخاشی‌های کوچک در بالای گنبد، جایی که پوسته بیرونی کاهش ضخامت داشته، استفاده شده تا مقاومت آن بخش کاهش نیابد.

در نمونه‌های بررسی شده می‌توان جزئیات اجرایی را از ساده تا متکامل بررسی کرد. غالب گنبدهای اصفهان مشابه دو گنبد درب امام و به صورت ساده هستند. از نظر عناصر داخلی مسجد جامع عباسی و مدرسه چهارباغ نمونه‌های جامع و منحصر به فرد هستند. به لحاظ کلاف چوبی مدرسه چهارباغ و به لحاظ خشخاشی‌ها مسجد عباسی متکامل‌ترین نمونه است.

رفتار مناسب سازه گنبدهای ایرانی و پایداری آن‌ها در گذر زمان دلیلی است بر بیش آگاهانه استادکاران از اصول صحیح فنی و اجرایی. با توجه به مطالب فوق، در نمونه‌های بررسی شده، تفاوت‌هایی از نظر شکل ظاهری، عناصر تشکیل دهنده، و طریق اجرای آن‌ها هست، که این عوامل با گذشت زمان و در طی ادوار گوناگون تکامل یافته است^{۴۹}. بر اساس یافته‌ها مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر فرایند ساخت و چگونگی اتصال عناصر بین دو پوسته، خلاقیت استادکاران و درک آن‌ها از نیروهای سازه‌ای، با توجه به شکل پوسته‌ها و تناسبات گنبد، است. در پایان قابل ذکر است که برای پژوهش‌های آتی می‌توان گونه‌شناسی و فناوری ساخت گنبد را در سایر مناطق ایران مد نظر داشت. همچنین می‌توان مطالعاتی تطبیقی بین نمونه‌های داخلی، به لحاظ اجرایی و ایستایی، با نمونه‌های خارجی انجام داد.

۴) امکان ایجاد اتصال بهتر خشخاشی‌ها به هم و به پوسته بیرونی،

۵) ایجاد پیوند بین اجزا و در نهایت یکپارچه کردن سازه گنبد. اوضاع ایستایی در گنبدهای دوپوسته به گونه‌ای است که تا جای ممکن نیروی‌های انتقالی و فشاری سازه بر پایه گنبد کاسته شود. ایجاد پیوند و اتصال بین عناصر، با استفاده از کلاف‌ها و قفل و بست آجرها، برای ایجاد سازه‌ای متحد و منسجم صورت گرفته است، حال چگونگی اجرای آن با توجه به ابعاد گنبد و توانمندی استادکار متفاوت بوده است.

۷. نتیجه‌گیری

چگونگی ایجاد اتصال بین دو پوسته و اجزای درونی آن‌ها به شکل مستقیم از شیوه ساخت گنبد پیروی می‌کند. در بین نمونه‌های مختلف، علی‌رغم تفاوت‌ها، مشابهت‌هایی از لحاظ شکل و روش اجرا دیده می‌شود، از جمله مراحل ساخت شامل ساخت پوسته درونی، سپس اجرای پوسته بیرونی می‌شود که اتصال بین پوسته بیرونی و خشخاشی، با کلاف چوبی و یا صورت هشت و گیر است. از نظر معماران محلی دلیل زوج بودن خشخاشی‌ها حفظ تعادل گنبد و راحتی تقسیم‌بندی در حین اجرا بوده است. همان‌طور که مشخص شد، بیشتر خشخاشی‌ها در مقاطع مختلف کاهش ضخامت دارند. این تغییر در مناطقی است که نیروها کاهش یافته است. در واقع با این روش نه تنها وزن گنبد کاهش می‌یابد، بلکه میزان مصرف مصالح نیز کاهش خواهد یافت. هدف از ساخت خشخاشی بر روی سرشاخه گسترده کردن سطح مقطع، توزیع نیرو، و انتقال آن از خشخاشی به آهیانه بوده است. به طور کلی گونه‌های متفاوتی از کلاف و خشخاشی در نمونه‌ها استفاده شده است. کلاف چوبی اتصال‌دهنده خشخاشی به خود کلاف، در همه نمونه‌های مطالعاتی استفاده شده، پس از آن کلاف قطری (درب امام، مدرسه چهارباغ و کلیسای بیت اللحم)، کلاف عمودی

۴۹. این تحولات در بین دو گنبد بزرگ (۱۴۵۳/م۱/۸۵۷ق) و کوچک درب امام (۱۶۷۰/م۱/۱۰۸۰ق) به وضوح قابل مشاهده است.

منابع و مأخذ

- تهران: نغمه نواندیش، ۱۳۹۱.
- _____ . نیارش سازه‌های طاقی در معماری اسلامی ایران، چ اول، تهران: جهاد دانشگاهی دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۶۷.
- هوف، دیتریش. گنبدها در معماری اسلامی، ترجمه کرامت الله افسر، تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی، ۱۳۷۵.
- Ashkan, Maryam & Yahaya Ahmad. "Persian Domes: History, Morphology and Typologies", in *Archnet-ijar, International Journal of Architectural Research*, Vol. 3, No. 5 (2009), pp. 95-115.
- Ashkan, Maryam & Yahaya Ahmad. "Discontinuous Double-shell Domes through Islamic eras in the Middle East and Central Asia: History, Morphology, Typologies, Geometry, and Construction", in *Nexus Network Journal*, Vol. 12, No. 2 (2010), pp. 287-319.
- Besnival, Roland. *Technologie de la voute dans l'Orient ancient*, Paris: Editions Recherche sur les civilisations, 1984.
- Blair, Shelia. *Islamic Calligraphy, Edinburgh*, Published by: Middle East Studies Association of North America (MESA), 2007.
- Escrig, Felix. *Towers & Domes*, Computational Mechanics Publications, 1998.
- Godard, André. *Athar É- Iran*, JOH. Haarlem: Enschede En Zonen, Vol. 3 & 5, 1936.
- Golombek, Lisa & Donald Wilber. *The Timurid Architecture of Iran and Turan. Princeton, Vol. 1*, N.J.: Princeton University press, 1988.
- Grabar, Oleg. "The Islamic Dome: Some Considerations", in *Journal of the Society of Architectural Historians*, Vol. 4, No. 22, (1963), pp. 191-198.
- _____ . *The Great Mosque of Isfahan*, London I.B: Tauris & Co Ltd, 1990.
- Grube, Ernst, et al. *Architecture of the Islamic World, its History and Social Meaning*, Publisher: William Morrow, NY, 1995.
- Hejazi, Mehrdad. "Seismic Vulnerability of Iranian historical Domes", in *Journal of Earthquake Resistant Engineering Structures*, No. 4 (2003), pp. 157-165.
- Hejazi, Mehrdad & A. Salari. "Seismic Analysis of
- لیکی، بهرام. گفتگوی شخصی، اصفهان: آبان ۱۳۹۱. میدان عتیق، هارون ولایت. برندی، جزاره. تئوری مرمت، ترجمه پیروز حناچی. انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.
- بزناول، رولان. فناوری تاقی در خاور کهن، ج ۱ و ۲، ترجمه محسن حبیبی، تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور، ۱۳۷۹.
- پیرنیا، محمدکریم. «گنبد در معماری ایران»، در اثر، ش ۲۰ (زمستان ۱۳۷۰)، ص ۵-۱۳۹.
- تهرانی، فرهاد و مجید راسخی. «طاق و قوس»، در نشریه بولتن مهندسیین فلورانس، ش ۶ (۱۳۸۸)، ص ۱۲-۳۱.
- تهرانی، فرهاد. «ورای هندسه طاق و گنبد»، در صفا، ش ۶ و ۷ و ۸ (تابستان و پاییز و زمستان ۱۳۷۱)، ص ۳۴-۵۱.
- حجازی، مهرداد و رسول میرقادر. «تحلیل لرزه‌ای گنبد‌های ایرانی». در نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران، ش ۸۸ (اسفند ۱۳۸۳). ص ۷۴۷-۷۵۷.
- حجازی، مهرداد. «اصفهان شهر سازه‌های سنتی». در دانش- نما، سال شانزدهم، ش ۱۶۱-۱۶۲ (۱۳۸۷)، ص ۲۷-۵۲.
- حق نظریان، آرمن. کلیساهای آرامنه جلفای نو اصفهان، ترجمه ناریس سهرابی مالاپوسف، تهران: انتشارات فرهنگستان هنر، ۱۳۸۵.
- رضایت، نعمت‌الله. گفتگوی شخصی با نویسندگان، اصفهان: آذر ۱۳۹۱. مسجد اعظم سپاهانشهر.
- رفیعی سرشکی، بیژن و دیگران. فرهنگ مهرازی (معماری) ایران، تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۲.
- زمرشیدی، حسین. گنبد و عناصر طاقی ایران، تهران: زمان، ۱۳۸۹.
- سجادی نائینی، سیدمهدی. معماران و مرمت‌کاران سنتی اصفهان، اصفهان: سازمان فرهنگی تفریحی شهرداری اصفهان، مرکز اصفهان‌شناسی و خانه ملل، ۱۳۸۷.
- فرزانه محمدی، غلامرضا. گفتگوی شخصی با نویسندگان. اصفهان: آبان و آذر ۱۳۹۱. مسجد محمدیه نایین.
- گالدیری، اوژن. «مرمت گنبد آجری، تجربه‌ای از ایران»، ترجمه فرهاد فخاری تهران، در صفا، ش ۲۸ (بهار و تابستان ۱۳۷۸)، ص ۷۲-۷۷.
- محسنی نائینی، یوسف. گفتگوی شخصی با نویسندگان. اصفهان: آبان و آذر ۱۳۹۱. نایین. خانه شخصی استاد محسنی نائینی.
- معماریان، غلامحسین. معماری ایرانی: نیارش، تدوین هادی صفایی‌پور،



Pope, Arthur upham. *A Survey of Persian Art, from Prehistoric Times to the Present*, Ashiya: SoPA, 1981.

Saeidian, Amin. "Geometrics and Architectural Structure of our Chin Domes in Iran", in *Elixir International Journal*, ARC. No. 43 (2012), pp. 6714-6723.

Safaeipour, Hadi, et al. "Typology of Khashkhashi in Structure of double-shell domes", submitted to international conference of domes in the world, Florence, 2011, pp. 1-19.

South, Nanette & Habib Sadid. *A Finite Element Analysis of the Monolithic Dom*, Publisher: Idaho state university. 2005.

Masonry Structures including Dynamic Soil-Structure Interaction" (in Farsi), in *Journal of Faculty of Engineering: University of Tabriz*, Vol. 28, No. 3 (2002), pp. 23-35.

Mohamadianmansoor, Saheb, et al. "Karbandi: The Ground of Applying Dome on Different Contexts in Iranian Architecture", Congress: Domes in the World, (2012), pp. 1-13.

O'kane, Bernard. "Dome in Iranian Architecture", in *Iranian Art and Architecture*, 1998, in <http://www.cais-soas.com/CAIS/Architecture/dome.htm>, accessed 22 June 2008.

Papadopoulo, Alexandre & Hishmat Jazani. *Islamic Architecture*, Tehran: Markaz-i nashr-i farhangi-i Raj. 1989.

Archive of SID