

بررسی هندسه و تناسبات و ارتباط آن با نظام سازه‌ای بناهای دارای گنبد دوپوسته گسسته در منطقه تفرش^۱

مجتبی رضازاده اردبیلی^۴

دانشیار دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران

آرزو فیض‌الهیگی^۲

محمود گلابچی^۳

استاد دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران

دریافت: ۲۹ مرداد ۱۳۹۸
پذیرش: ۲۴ خرداد ۱۳۹۹
(صفحه ۴۲-۳۱)

کلیدواژگان: گنبد دوپوسته گسسته، هندسه پنهان، نظام سازه‌ای، تناسبات، بناهای آرامگاهی، تفرش.

چکیده

بناهای دارای پوشش گنبدی دوره صفوی علاوه بر آنکه خود نشانگر اهمیت این بناها در این دوره هستند، به دلیل کیفیت بالا، هم در طرح و هم در روش ساخت گونه‌های ارزشمند به یادگارمانده‌ای از گذشته به‌شمار می‌آیند. این بناها متأثر از معماری دوره پیش از خود یعنی دوره تیموری هستند و در سیر تحول طراحی آن‌ها یک روند تکاملی وجود دارد، این تحول در برخی مناطق موجب پایه‌گذاری شیوه‌های معماری منطقه‌ای نیز شده‌اند. شناخت بیشتر این بناها مطالعه جامعی را می‌طلبد. در پژوهش پیمایشی پیش رو که مبتنی بر مطالعه موردی است، طرح هندسی، تناسبات، و ارتباط آن‌ها با نظام سازه‌ای شماری از آرامگاه‌های تفرش با اتکا بر داده‌های کتابخانه‌ای و میدانی و با استفاده از تحلیل‌های منطقی، هندسی، و نرم‌افزاری بررسی شده است. هدف کلی در این پژوهش مطالعه ساختار گنبدهای دوپوسته گسسته است که از طریق بررسی ارتباط آن‌ها با نظام هندسی حاکم بر کل بنا به پیش رفته و پرسش‌های پژوهش بر این اساس تعیین شده است. بنابر نتایج پژوهش، اساس طرح‌ها را شکل‌های پایه‌ای تشکیل می‌دهند که تناسبات طلائی را در بخش‌های مختلف بناها جاری می‌کنند. همچنین هندسه کلی بنا در پلان و هندسه پنهان بنا، به‌ویژه در مقطع و نما، از طریق ابعاد

و تناسبات بر نظام سازه‌ای پوشش‌های گنبدی تأثیر می‌گذارد و موجب پیوند میان هندسه نظری و عملی می‌شود؛ به گونه‌ای که ابعاد پلان در تعیین دهانه، ضخامت گریو، و ضخامت پای گنبد تأثیرگذار است. ارتفاع گنبد در تناسب با ارتفاع سقف و ارتفاع خشخاشی‌ها در تناسب طلائی با ارتفاع گنبد است.

مقدمه

ایرانیان از گذشته گنبد را در بناها نمادی از آسمان و حرکت به بالا برای جدایی از زمین می‌دانستند و به کار می‌بردند و در بناهایی مانند مساجد و آرامگاه‌ها فراوان از این عنصر استفاده کرده‌اند. آرامگاه گنبدپوش از رایج‌ترین و مردمی‌ترین گونه‌های بناهای مذهبی در ایران است^۵. نمونه‌های بسیاری از این گونه بناها، به‌ویژه با پوشش گنبد دوپوسته گسسته، در دوره صفوی ساخته شده است که دارای ظرافت و تناسبات خاصی در طراحی و ساخت هستند. ارادت صفویان به اهل بیت باعث رواج زیاد بازسازی آرامگاه‌های

۱. این مقاله برگرفته از رساله دکتری نگارنده اول است با عنوان تحلیل هندسه نظری و عملی در ساخت گنبدهای دوپوسته گسسته نار صفوی و تأثیر آن بر پایداری لرزه‌ای این گنبدها که با راهنمایی نویسندگان دوم و سوم در دانشکده هنرهای زیبا دانشگاه تهران در مهرماه سال ۱۳۹۹ دفاع شده است.
۲. نویسنده مسئول، دکتری مرمت و احیای بناها و بافت‌های تاریخی از دانشگاه تهران
a.feizolahbeigi@ut.ac.ir
3. golabchi@ut.ac.ir
4. mrezazhd@ut.ac.ir
۵. آرتور ایهام پوپ و فیلیس اکرم، سیرری در هنر ایران: از دوران پیش از تاریخ تا امروز، ج ۳، ص ۱۱۳۷.

پرسش تحقیق

۱. چه ارتباطی میان نظام سازه‌ای گنبد‌های دوپوسته گسسته و هندسه کلی و تناسبات بنا وجود دارد؟
۲. اصول به‌کاررفته در طراحی و ساخت این گنبدها کدامند؟

امامزادگان در این دوره شد. به دلیل انجام این بازسازی‌ها از سوی حکومت و استفاده از مصالح باکیفیت و به‌کارگیری استادکاران چیره‌دست، معمولاً این بناها نسبت به دیگر هم‌دوره‌هایشان کیفیت طراحی و ساخت بالاتری داشتند. به همین دلیل، به‌ویژه در برخی مناطق که این بناها فراوان به چشم می‌خورد، گونه‌های ارزشمندی به‌یادگار مانده است. برخی از این بناها از نظر نوآوری و سبک معماری ویژگی‌های یگانه‌ای دارند. یکی از مناطقی که بیشتر امامزاده‌های موجود در آن در دوره صفوی بازسازی شده‌اند، شهر تفرش است. بیشتر این بناها دارای ساختمانی با گنبد دوپوسته گسسته هستند که، بر مبنای بررسی‌های میدانی انجام‌شده در این پژوهش، از کیفیت طراحی و ساخت بالایی برخوردار هستند و تا به امروز پایداری آن‌ها حفظ شده است. از دیگر دلایل پایداری این بناها می‌توان به فرم‌های انتخاب‌شده برای پوشش‌ها، هندسه طرح، تناسبات به‌کاررفته، و شیوه‌های ساخت مجموع نظام ساختمانی این بناها اشاره کرد.

با نگاه اولیه به بناها، به دلیل تناسبات موجود در آن‌ها، حس خوشایندی در بیننده ایجاد می‌شود؛ اما درک هندسه‌ای که در پیوند با این تناسبات هست و با ایجاد ارتباط میان بخش‌های مختلف این حس را ایجاد می‌کند، ساده نیست و نیاز به کشف دارد. این دشواری به‌ویژه در درک هماهنگی هندسی بنا به‌صورت یک کل بیشتر است. برخی روابط را نمی‌توان به‌درستی تشخیص داد؛ زیرا در یک میدان دید قرار نگرفته‌اند^۶ یا در سطحی از بنا واقع شده‌اند که قابل مشاهده مستقیم نیستند، مانند فضاهای داخلی در گنبد‌های دوپوسته گسسته. هندسه دانشی است قاعده‌مند و دارای قابلیت اندازه‌گیری و کمی‌شدن، بنابراین برای رمزگشایی از هندسه به‌کاررفته در بناها آگاهی از قوانین هندسه لازم است. مشاهده نظم و تناسبات و هماهنگی موجود میان بخش‌های مختلف بناها یادآور به‌کارگیری اصول و قواعدی است که بدون آن‌ها هندسه بنا قابل تعریف نخواهد بود. درحقیقت کشف این قواعد می‌تواند منجر به کشف هندسه و بازطراحی این بناها شود؛ زیرا بعید است که معمار از پیش با آنچه در انتها به دلیل برپایی بنا حاصل می‌شود آشنا نباشد. او این مقصد را، ولو به ابهام زیاد، از پیش در ذهن و دل دارد و به قصد ایجاد آن در عالم خارج تلاش می‌کند. این مطلوب هرچند در انتها به دست می‌آید؛ از ابتدا حضور دارد و در قصد اول است^۷. بنابراین می‌توان فرض کرد در طراحی و ساخت بناها از قوانین هندسی و تناسباتی مشخصی استفاده شده است که کشف آن‌ها در بناها می‌تواند به مفهوم

۶. لیزا گلمبک و دونالد ویلبر، معماری تیموری در ایران و توران، ص ۲۸۳.
 ۷. کامبیز نوایی و دیگران، خشت و خیال، ص ۱۰.

برای گردآوری داده‌ها از مطالعات کتابخانه‌ای، بررسی‌ها، برداشت‌های دقیق میدانی و تحلیل و تطبیق داده‌ها بهره گرفته شده است. برای تحلیل داده‌ها از روش مدل‌سازی نرم‌افزاری، تحلیل هندسی، محاسبات عددی، و تحلیل‌های نرم‌افزاری با استفاده از نرم‌افزار تحلیل سازه DIANA 10.3 استفاده شده است. به دلیل مغایرت‌های موجود در برخی موارد، میان نقشه‌های موجود (نقشه‌های چاپی دفتر ۱۱، ۱۲ و ۱۳ کتاب گنجنامه با موضوع «امامزاده‌ها و مقابر»^۸ و همچنین پرونده‌های ثبتی برخی آثار)، که ناشی از ترسیم غیردقیق نقشه‌ها یا ایجاد تغییرات در بناها پس از ترسیم نقشه‌ها بود، برای انجام بررسی‌ها، برداشت بناها با اندازه‌گیری‌های مستقیم میدانی با استفاده از متر لیزری انجام و نقشه‌ها دوباره با استفاده از نرم‌افزار اتوکد ترسیم یا اصلاح شدند. برای امکان پذیر شدن کشف و تحلیل هندسه اولیه نمونه‌ها، در مرحله برداشت تلاش شد بر روی بخش اصیل بناها تمرکز شود. برای اطمینان از حدود و طرح اولیه و اصیل بناها مطالعات کتابخانه‌ای و مصاحبه‌های محلی انجام شد.

تعداد بسیار زیادی از بناهای دارای گنبد دوپوسته گسسته متعلق به دوره صفوی در شهر کوچک تفرش دارای کاربری آرامگاه هستند و شباهت‌های موجود در طراحی و ساخت آن‌ها در بناهای هم‌دوره در شهرهای مجاور دیده نمی‌شود و این خود می‌تواند نشان از پیدایش سبکی محلی در منطقه تفرش باشد، به همین دلیل این بناها برای مطالعه انتخاب شدند.

به این منظور ابتدا دوره زمانی شکل‌گیری بناها مطالعه شد. به دلیل تعلق این بناها به اوایل دوره صفوی، برای درک میزان تأثیرپذیری آن‌ها از اصول مورد استفاده در دوره تیموری، ابتدا، با مراجعه به منابع، ویژگی‌های شاخص و اصول اساسی به‌کاررفته در طراحی و ساخت در معماری دوره تیموری شناسایی شدند. در ادامه برای بررسی و درک دگرگونی‌های احتمالی رخ‌داده در معماری منطقه تفرش، قدیمی‌ترین بنا از نظر سال

فرایند معکوس طراحی آن‌ها باشد و اطلاعاتی را به دست دهد که امروزه به‌صورت مستند کمتر وجود دارند. همچنین از طریق آشکارسازی هندسه پنهان به‌کاررفته در بنا ارتباط آن با نظام سازه‌ای حاکم بر بنا نیز آشکار می‌شود. بناهای مورد بررسی در این پژوهش همگی در اوایل دوره صفوی ساخته شده‌اند و تحت تأثیر دوره‌های پیش از خود نیز بوده‌اند. شناسایی اصول طراحی و ساخت این بناها می‌تواند ضمن ایجاد شناخت عمیق از آن‌ها به شناسایی چگونگی فرایند دگرگونی‌های احتمالی ایجادشده در طراحی و ساخت آن‌ها در طول زمان نیز بیانجامد، زمینه‌ای که مطالعات عمیقی را می‌طلبد. در این پژوهش با رویکرد آشکارسازی هندسه پنهان به‌کاررفته در بناها و شناسایی اصول طراحی و سیستم‌های تناسبی مورد استفاده در آن‌ها و شناخت ارتباط این دو با نظام سازه‌ای بناها، به مطالعه تعدادی از بناهای دارای پوشش گنبدی از نوع دوپوسته گسسته، با رعایت ترتیب زمان ساخت، پرداخته شده است.

در این پژوهش سعی می‌شود با رمزگشایی از هندسه طرح و تناسب مورد استفاده و ارزیابی عددی ویژگی‌های هندسی و شکلی بناها، تأثیر این عوامل بر شکل‌گیری نظام ساختمانی این بناها آشکار و به این پرسش‌ها پاسخ داده شود: چه ارتباطی میان نظام سازه‌ای گنبد‌های دوپوسته گسسته و هندسه کلی و تناسب بنا وجود دارد؟ اصول به‌کاررفته در طراحی و ساخت این گنبد‌ها کدامند؟

۱. روش پژوهش

در پژوهش پیش رو، که از نوع پیمایشی و مبتنی بر مطالعه موردی است، طرح هندسی و تناسبات و ارتباط آن با نظام سازه‌ای تعدادی از بناهای دارای گنبد دوپوسته گسسته بررسی و مطالعه شده است. هدف کلی در این پژوهش مطالعه ساختار گنبد‌های دوپوسته گسسته از طریق بررسی ارتباط نظام هندسی و سازه‌ای حاکم بر کل بنا است.

۸. نک: حاجی‌قاسمی، کامبیز و همکاران. گنجنامه: فرهنگ آثار معماری اسلامی ایران، ج ۲۰، ج ۱۱ و ۱۲ و ۱۳: امامزاده‌ها و مقابر.

۹. نک: محمد کریم پیرنیا، درسنامه معماری اسلامی ۲؛ رونالد بزنوال، فناوری تاقی در خاور کهن، ج ۱ و ۲؛ حسین زمرشیدی، گنبد و عناصر تاقی ایران؛ غلامحسین معماریان، سازه‌های تاقی در معماری اسلامی ایران؛ همو، معماری ایرانی: نیارش.

۱۰. نک: پیرنیا، «ارمغان‌های ایران به جهان معماری: گنبد»؛ همو، درسنامه معماری اسلامی ۲؛ معماریان، همان؛ دونالد ویلبر، معماری اسلامی ایران در دوره ایلخانان؛ پوپ، معماری ایران: پیروزی، شکل و رنگ؛ دیتریش هوف، گنبدها در معماری اسلامی؛ هین‌براند، معماری اسلامی: شکل، کارکرد و معنی؛ M. Ashkan & Y. Ahmad, "Persian Domes: History, Morphology and Typologies"; B. O'kane, *Dome in Iranian Architecture, Iranian Art and Architecture*.

۱۱. نک: گلمبک و ویلبر، معماری تیموری در ایران و توران؛ پوپ و اکرم، سیری در هنر ایران: از دوران پیش از تاریخ تا امروز، ج ۳؛ نوایی و حاجی‌قاسمی، خشت و خیال؛ مجتبی پوراحمدی، «هندسه در گنبد آرامگاه شیخ زاهد گیلانی: الگویی برای طراحی گنبد در کرانه جنوبی دریای خزر»؛ مسعود وحدت‌طلب و سمیه قدیبه‌زاده، «بررسی ظرافت شکل در گنبدخانه‌های ایرانی (سده نهم تا دوازدهم)»؛ مجتبی رضازاده اردبیلی و مجتبی ثابت فرد، «بازشناسی کاربرد اصول هندسی در معماری سنتی: قصر خورشید و هندسه پنهان آن»؛ دهار و علیپور، «تحلیل هندسی معماری مسجد شیخ لطف‌الله اصفهان جهت تعیین ارتباط هندسی نمازخانه با جلوخان ورودی بنا»؛ حاجی‌قاسمی، «هندسه پنهان در نمای مسجد شیخ لطف‌الله».

ساخت — امامزاده قاسم کهک — به منزله بنای مرجع بررسی و مطالعه شد و پس از رمزگشایی از هندسه طرح و یافتن الگوی مورد استفاده در آن، میزان انطباق‌پذیری این الگو بر دیگر بناها بررسی شد. سپس، با ارزیابی ویژگی‌های هندسی و شکلی بناها با روش‌های عددی و هندسی و محاسباتی، سیستم‌های تناسبی به‌کاررفته در آن‌ها آشکار شد و در گام بعدی تأثیر ویژگی‌های هندسه کلی بناها بر نظام ساختمانی آن‌ها، به‌ویژه در سیستم گریو و گنبد، بررسی و تلاش شد ارتباطات میان این دو مفهوم، که بیانگر هندسه نظری و عملی در بناست، شناسایی شوند و تأثیر متقابل این دو بر هم سنجیده شود. بناهای مورد نظر به ترتیب تاریخ ساخت بررسی شده‌اند، این ترتیب باعث آشکار شدن روند تکاملی ساختار این بناها و تا حدودی نیز امتداد زمانی استفاده از الگوها می‌شود.

در این پژوهش به شناسایی هندسه طرح و نظام سازه‌ای به روش‌های میدانی و عددی پرداخته می‌شود و تکنولوژی ساخت و روش‌های اجرایی در آن بررسی نشده است.

۲. پیشینه پژوهش

بررسی هندسه، تناسب، و ویژگی‌های ساختاری در آثار معماری سنتی دارای المان گنبد، به دلیل گوناگونی طرح‌ها، زمینه‌ای بسیار غنی است و امکان انجام تحقیقات گسترده‌ای را، با توجه به غنای آثار معماری ایران، فراهم می‌کند که نمی‌توان حدی برای آن مشخص کرد. به‌ویژه اینکه بررسی‌ها در مورد آثار معماری دارای گنبد دوپوسته گسسته، به دلیل گوناگونی و فراوانی آن‌ها، بسیار زمینه‌پرکاربرد است، اما کمتر پژوهشی را می‌توان یافت که در آن به بررسی هندسه و تناسب و تأثیر یا ارتباط آن با نظام سازه‌ای بناها پرداخته شده باشد. در بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده در مورد گنبدها طرح هندسی و روش‌های ساخت آن‌ها به‌صورت کلی و معمولاً با استناد به مطالعات میدانی و تاریخی بررسی شده است.^۹ گروهی از

پژوهشگران گنبدها را بر مبنای ویژگی‌های هندسی و شکلی، کالبدی، سبکی، و گونه‌شناسی دسته‌بندی کرده‌اند.^{۱۰} برخی از پژوهشگران با تمرکز بر گنبدخانه‌ها به تحلیل هندسه و تناسب در نما یا مقطع این بناها پرداخته‌اند و از طریق شناسایی اشکال پایه مورد استفاده در طرح هندسی کلی بنا، ارتباطات هندسی میان بخش‌های مختلف را مشخص کرده‌اند. در این دسته از پژوهش‌ها اغلب طرح کلی بر مبنای اشکال هندسی پایه، که در بیشتر موارد پنج‌ضلعی منتظم و در موارد کمی نیز شش‌ضلعی منتظم یا دیگر اشکال هندسی هستند، شناسایی شده است و زیرفضاها با تکرار شکل پایه اولیه در نسبت‌های مختلف ایجاد شده‌اند. در بیشتر این پژوهش‌ها بررسی‌ها در نما و مقطع انجام شده است، اما در برخی دیگر، که پلان نیز بررسی شده است، شکل پایه مورد استفاده در پلان، نما، و مقطع از یک نوع است و سعی شده است میان نقشه‌های مقطع، نما، و پلان ارتباط برقرار شود.^{۱۱} برخی از پژوهشگران نیز با تمرکز بر بخش گریو و گنبد به بررسی فضای بین پوسته‌ها، اجزای تشکیل‌دهنده، و روش‌های ساخت گنبدهای دوپوسته گسسته پرداخته‌اند و ویژگی‌های فرمی و عوامل و امکانات محیطی را بر فناوری ساخت این گنبدها موثر دانسته‌اند.^{۱۲} پژوهش‌هایی نیز در زمینه ارزیابی پایداری و رفتار سازه‌ای گنبدها انجام شده است.^{۱۳}

در این پژوهش‌ها بررسی هندسه و تناسب و ارتباط آن با ساختار کالبدی به‌طور هم‌زمان دیده نمی‌شود. بنابراین در پژوهش حاضر برای نخستین بار، پس از کشف هندسه پنهان و آشکارسازی سیستم تناسبی به‌کاررفته در بناهای مورد مطالعه، به روش عددی، تا حد امکان تأثیر و ارتباط این عوامل با نظام ساختمانی بناها عرضه شده است. از دیگر ویژگی‌های این پژوهش می‌توان به شناسایی اشکال پایه متفاوتی در پلان نسبت به نما و مقطع اشاره کرد. ویژگی‌های شناسایی‌شده در نهایت منجر به عرضه الگویی برای طراحی هندسی بناهای آرامگاهی دارای گنبد دوپوسته گسسته در منطقه مورد مطالعه



در این بناها گنبد در اتصال با گریو از درون دارای پس‌نشستگی و از بیرون دارای پیش‌نشستگی است. در فضای بین دو پوسته خشخاشی‌هایی وجود دارند که در هریک از نمونه‌ها دارای شکل و ابعاد یکسان هستند و به‌صورت یکنواخت در فضای بین دو پوسته توزیع شده‌اند. تعداد خشخاشی‌ها در همه نمونه‌ها ۸ عدد اما در امامزاده احمد ۵ عدد است. در فضای بین دو پوسته در هیچ‌یک از نمونه‌ها المان شنگرک وجود ندارد. در ساخت همه این بناها از شیوه خاصی پیروی شده که در منطقه تفرش رواج داشته و به سبب شرایط خاص منطقه (کوهستانی بودن و سختی دسترسی) کمتر دستخوش تغییر و دگرگونی شده^{۱۶} و در طول زمان ادامه یافته است. این بناها شباهت‌های زیادی در تهران و نوع پوشش گنبد دارند که هریک از نظر گونه‌شناسی متعلق به یک دوره است و شیوه معماری آن برهه را معرفی می‌کند. ویژگی‌های آن‌ها، به‌ویژه در طراحی و نظام ساختمانی سیستم گریو و گنبد و فضای بین دو پوسته، به گونه‌ای هستند که، با توجه به بازدیدهای میدانی، آن‌ها را از دیگر بناهای موجود در منطقه مانند امامزادگان احمدکاسوا، هادی، و ذکریا در استان قم، امامزاده سلیمان نراق، امامزاده سهل بن علی آستانه و امامزادگان پنج تن، اسحاق و اسماعیل ساوه و امامزادگان زید و رحمان، عبدالله و ام کبری و صغری در اشتهارد و امامزاده جعفر پیشوا، با وجود هم‌دوره بودن، متمایز می‌کند. از تفاوت‌های موجود در نمونه‌های اخیر می‌توان نبود پیش و پس‌نشستگی گنبد بر روی گریو، استفاده از کلاف‌های چوبی در فضای بین دو پوسته به تعداد زیاد، شکل متفاوت خشخاشی‌ها، ابعاد کلی، فقدان بازشو در همه جبهه‌ها، و کیفیت پایین ساخت برخی نمونه‌ها را نام برد. بناهای مورد بررسی در این پژوهش مربوط به دوره شاه اسماعیل اول و شاه تهماسب اول است که از نظر کیفیت ساخت در رده بناهای حکومتی قرار می‌گیرند.

شد. همچنین در پژوهش پیش رو، به دلیل انجام عملیات دقیق میدانی برای تولید داده‌ها، نتایج از دقت بالایی برخوردار هستند که این ویژگی در بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده، به دلیل انجام نشدن عملیات میدانی و استفاده از نقشه‌ها و داده‌های موجود، که در بیشتر موارد با وضعیت موجود نمونه‌ها مطابقت ندارند، دیده نمی‌شود.

۳. شیوه معماری در بناهای گنبد دار تفرش

بیشتر بناهای گنبددار تفرش آرامگاه هستند. این شهر در دوره صفوی و هم‌زمان با شکل‌گیری حاکمیت شیعی در ایران مورد توجه بود و بسیاری از آرامگاه‌های متعلق به نوادگان امامان در آن بازسازی شد.^{۱۴} آرامگاه‌های مذهبی که در دوره صفوی در تفرش ساخته شده‌اند در دو دسته قرار می‌گیرند:

الف. بناهایی که حکومت در ساخت آن‌ها یا دخالت داشته یا مستقیماً خودش سازنده آن‌ها بوده است؛ ویژگی مهم این بناها کیفیت بالای طراحی و ساخت آن‌هاست. بناهای این گروه شامل امامزادگان^(۱) قاسم کهک، ابوالعلی، محمد، قاسم شاهواروق، و احمد می‌شود.

ب. بناهای ساده‌ای که مردم ساخته‌اند و از نظر سبک معماری و کیفیت طراحی و ساخت چندان شاخص نیستند.

در هر دو گروه از شیوه‌های محلی ساخت پیروی شده و مصالح بوم‌آورد یعنی خشت، آجر، لاشه سنگ و ملات گچ نیم‌کوب به کار رفته است. در این پژوهش بناهای گروه الف بررسی می‌شوند که مربوط به اوایل دوره صفوی هستند (جدول ۱). این بناها در میان فضای بازی قرار دارند و اغلب در کنار آن‌ها چنار تنومندی هست که معمولاً هم‌زمان با ساخت بنا کاشته می‌شده است. طرح معماری این بناها شامل تهرانگ چهار یا هشت‌گوش چلیپایی و گنبد آنها از نوع دوپوسته گسسته — بر فراز گریوی بلند — است. سیر تکامل گنبد‌های دوپوسته از قرن ۴ هجری آغاز شد و در دوره صفوی به اوج تکامل خود رسید^{۱۵}.

۱۲. نک: نیما ولی‌بیگ و همکاران، «تحلیل جزئیات هندسی و اجرایی در گنبد‌های دوپوسته گسسته نار شاخص شهر اصفهان؛ نمونه مطالعاتی: گنبد‌های مسجد جامع عباسی، آرامگاه‌های درب امام، مدرسه چهارباغ اصفهان، و کلیسای بیت اللحم»، فرهاد تهرانی و مجید راسخی، «تاق و قوس»، معماربان، همان؛ زم‌رشیدی، همان؛



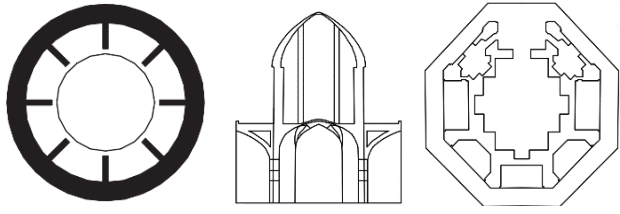

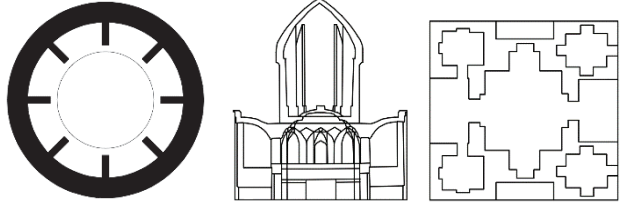

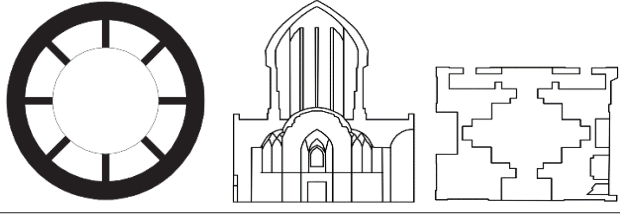
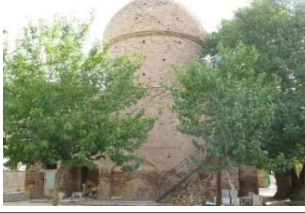
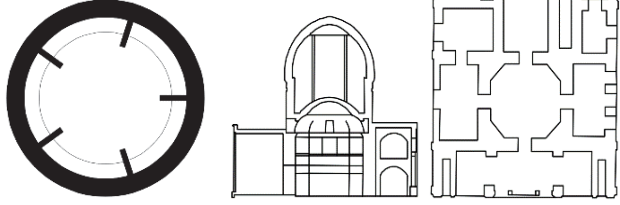

M. Ashkan & Y. Ahmad, "Discontinuous Double Shell Domes through Islamic Eras in the Middle East and Central Asia: History, Morphology, Typologies, Geometry and Construction"; H. Safaeipour, "Typology of Khashkhashi in Structure of Double Shell.

۱۳. نک: علیرضا زمانی‌فرد، «نگاهی به مرمت گنبد در ایران»؛ حجازی و میرقادر، «تحلیل لرنزه‌های گنبد‌های ایرانی»؛

M. Melaragno, *An Introduction to Shell Structures: The Art and Science of Vaulting*; M. Hejazi & A. Salari, "Seismic Analysis of Masonry Structures including Dynamic Soil Structure Interaction"; M. Attarabbasi, et al, "A Survey of Structural Behavior and Stability of Davazdah Emam Dome in Yazd Against Earthquake"; A.T. Dinani, et al, "A Double Dome through the Ages: Domes".

۱۴. اسماعیل شراهی و جواد نیستانی، «بررسی باستان‌شناسی آرامگاه‌های صفوی تفرش»، ص ۸۵

۱.۳. زمینه شکل‌گیری بناهای گنبددار تفرش
 برخی معتقدند معماری ایران در سده‌های میانه (مغول) با گام‌هایی آرام و پیوسته تحول یافته و در قرن نهم به ثمر نشست است.^{۱۷} معماران تیموری فنون طاق‌بندی سنتی را از

پلان کلی، نما، و پلان گنبدخانه	تصویر	نام و دوره تاریخی بنا
		<p>امامزاده قاسم کبهک^(۱)، تاریخ ساخت ۸۹۶ش، دوره شاه اسماعیل اول</p>
		<p>امامزاده ابوالعلی^(۱)، تاریخ ساخت ۸۹۷ش، دوره شاه اسماعیل اول</p>
		<p>امامزاده محمد^(۱)، تاریخ ساخت ۹۲۵ش، دوره شاه تهماسب اول</p>
		<p>امامزاده قاسم شواروق^(۱)، تاریخ ساخت ۹۳۱ش، دوره شاه تهماسب اول</p>
		<p>امامزاده احمد^(۱)، تاریخ ساخت ۹۴۶ش، دوره شاه تهماسب اول</p>

15. M. Ashkan & Y. Ahmad, "The Significant of Iranian Domes: Analysis of Morphology and Typologies", p. 5.
 ۱۶. علی نوراللهی و سارا علی‌او، «پژوهشی در بناهای آرامگاهی تفرش»، ص ۷
 ۱۷. برنارد اوکین، معماری تیموری در خراسان، ص ۲۰۹.

جدول ۱. دوره تاریخی و شمای کلی بناهای مورد مطالعه، عکس‌ها: نگارنده اول، مأخذ نقشه‌های نما و پلان: گنجنامه و پرونده‌های ثبتی بناها، ترسیم نقشه‌های پلان گنبدخانه: نگارنده اول.



فراهم کرده است و به همین دلیل در برخی منابع گنبد‌های این بناها را سه‌پوسته معرفی کرده‌اند، اما از آنجاکه پوسته زیرین صرفاً جنبه تزئینی داشته و با مصالح غیرسازه‌ای مانند گچ اجرا شده است، نمی‌توان آن را به‌صورت پوسته‌ای گنبدی در نظر گرفت. گنبد بناها با اجرای چهار فیل‌پوش در گوشه‌ها و تبدیل زمینه چهارگوش به دایره برپا شده‌اند. برای تأکید بر اهمیت گنبد و تمرکز بر آن، در نگاه کلی هیچ‌یک از این بناها دارای ایوان بلند نیستند. کاستن از ارتفاع پیش‌طاق‌ها و ایوان‌ها دو ویژگی اصلی آرامگاه‌های گنبددار دوره صفوی است که با دوره تیموری تفاوت دارد.^{۲۶} در بیشتر بناهای تیموری قاعده گنبد در مقایسه با تهرانگ بزرگ‌تر است، این ویژگی را می‌توان در بناهای آرامگاهی تفرش به‌صورت پیش‌نشستگی گنبد بر فراز گریو مشاهده کرد (ت ۱: الف، و ت ۲). همچنین گریو در پایه با چنبره‌ای معمولاً شانزده‌گوش احاطه شده است (ت ۱: الف و ت ۲). در دوره تیموری برای رخ‌نمایی گنبدها تلاش می‌شده که گنبدها بلند و عظیم ساخته شوند، این تناسب میان بلندی بنا و ابعاد گنبد در معماری دوره صفوی تعدیل شده و علی‌رغم تلاش برای نمایش گنبد‌های بزرگ، تناسب تهرانگ چهارگوش و گنبد به منزله یک اصل مورد توجه بوده است.^{۲۷}

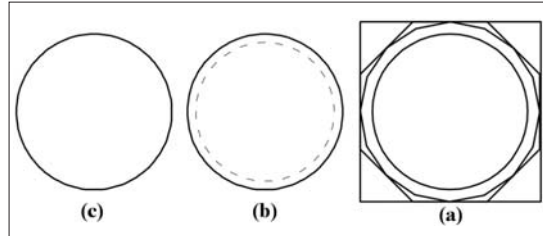
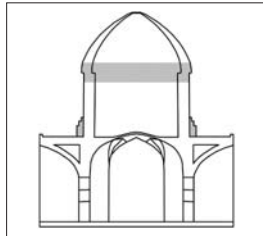
۴. دستگاه تناسبات

در گذشته معماران برای طراحی بناها نخست حجم کلی بنا را در نظر می‌گرفتند و طرح کلی بنا را، که می‌بایست در این حجم قرار می‌گرفت، با به‌کارگیری چند شکل پایه طراحی

بنیاد دگرگون و گونه‌ای جدید از گنبد دوپوش نشسته بر گریوی بلند را اختراع کردند و گنبد‌های پیزی افراشته را رواج دادند. تقدم تناسبات بر طراحی^{۱۸}، رعایت تقارن محوری و شعاعی، استفاده از اشکال هندسی، ساخت گنبد روی فضایی متشکل از چهار قوس برخاسته از چهار جز، تبدیل پلان چهارگوش به چلیپایی، به‌کارگیری نظام طاق‌بندی سکنج^{۱۹}، پنهان کردن آهیانه در پشت یک پوشش تزئینی معمولاً گچی به منزله پوسته سوم^{۲۰}، وجود قوس‌های ایجادشده از برخورد دو بیضی که ارتفاع تیزه آن‌ها بیش از نصف دهانه طاق است، در نظر گرفتن عرض ورودی بنا برابر با ارتفاع سقف^{۲۱}، و کاهش ارتفاع نهایی فضای داخلی نسبت به دوره‌های قبل با اجرای پوسته سوم، همه از ویژگی‌های اصلی طراحی معماری آرامگاهی در دوره تیموری به‌شمار می‌روند^{۲۲}. این ویژگی‌ها را می‌توان در بناهای شاخص تیموری مانند حرم امام رضا^(ع) مشاهده کرد. معماری دوره صفوی از جنبه‌های بسیاری وامدار دوره پیش از خود یعنی دوره تیموری است. این شیوه با ویژگی‌های یادشده و اندکی تغییرات در معماری اوایل دوره صفوی، به‌ویژه در دوره شاه اسماعیل اول و شاه تهماسب اول الگویی برجسته در شمال غرب و مرکز ایران به منزله معماری حکومتی مورد بهره‌برداری بوده^{۲۳} و به‌صورت شیوه رایج برای ساخت بناهای آرامگاهی استفاده شده است. از اولین نمونه‌های ساخته‌شده به این شیوه می‌توان به حرم حضرت معصومه، امامزاده سکینه خاتون در قم^{۲۴}، بقعه شیخ جبرائیل در کلخوران، و گنبد‌های سامرا و کاظمین اشاره کرد^{۲۵}. در بررسی بناهای مورد مطالعه بیشتر ویژگی‌های یادشده در نگاه نخست مشاهده می‌شوند. به‌جز بنای امامزاده ابوالعلی که فضای گنبدخانه در آن از درون و بیرون هشت‌گوش است، سایر نمونه‌ها دارای پلان چهارگوش هستند، اما فرم چلیپایی پلان در همه آن‌ها دیده می‌شود. تبدیل فضای چهار یا هشت‌گوش به چلیپا با چهارطاق نمای عمق‌دار زمینه اجرای رسمی‌بندی را به‌صورت پوششی تزئینی

۱۸. رابرت هیلن براند، «جنبه‌های معماری تیموری در آسیای میانه»، ص ۶۹
 ۱۹. جان‌اتان بلوم و شیلیت بلر، هنر و معماری اسلامی در ایران و آسیای مرکزی، ص ۹۳.
 ۲۰. گلمیک و ویلبر، همان، ص ۱۴۷.
 ۲۱. همان، ص ۱۳۱.
 ۲۲. هیلن براند، همان، ص ۶۹۶۵.
 ۲۳. شراهی و نیستانی، همان، ص ۹۶.
 ۲۴. مدیریت میراث فرهنگی استان قم، گزارش ثبتی امامزاده سکینه خاتون، ص ۱۲.
 ۲۵. آندره گدار و دیگران، آثار ایران، ج ۳ و ۴، ص ۱۳۳.
 ۲۶. شراهی و نیستانی، همان.
 ۲۷. همان.

- ت ۱. (راست) سه فرم کلی گریو. استفاده از چنبره «الف» که می‌تواند در ترکیب با حالت‌های ب و پ نیز اجرا شود. پلان گنبد بزرگ‌تر از گریو (ب)، گنبد در امتداد گریو (پ)، ترسیم: نگارنده اول.
 ت ۲. (چپ) بیرون‌نشستگی گنبد بر فراز گریو و چنبره ۱۶ گوش، ترسیم: نگارنده اول.

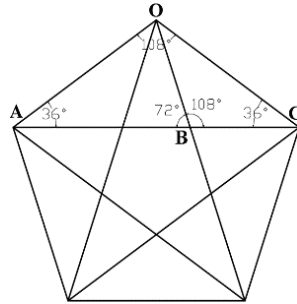


$$\frac{AB}{BC} = \frac{AC}{AB} = 1/618 = \theta$$

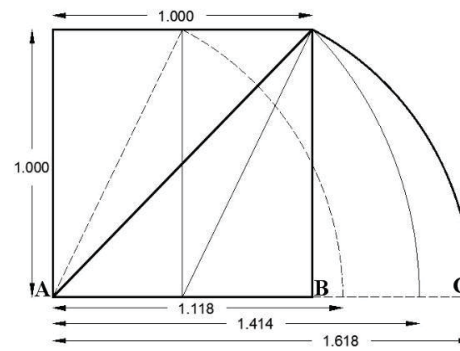
رابطه ۱. نسبت طلایی

$$\theta^2 - \theta - 1 = 0$$

رابطه ۲

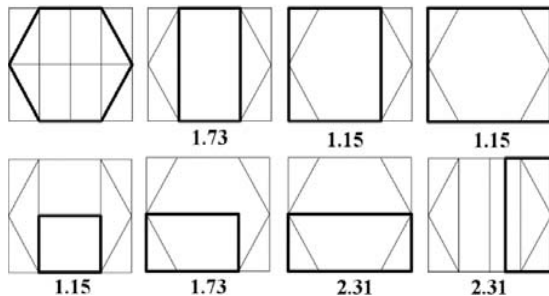


ت ۳



ت ۳ الف

می‌کردند. سپس به طراحی سایر اجزای بنا، با تحلیل و در تناسب با کل، می‌پرداختند. برای رعایت تناسب در بنا طول عنصری از بنا را با توجه به تناسب کلی تعیین می‌کردند و آن را طول مولد در نظر می‌گرفتند و ابعاد سایر بخش‌ها در تناسب با این اندازه محاسبه می‌شد، مانند ضلع مربع و قطاع دایره که در معماری همچون ابزار اندازه‌گیری به کار می‌آمدند. در بناهای دارای گنبد طول ضلع گنبدخانه برابر واحد مولد در نظر گرفته می‌شد^{۲۸}. دستگاه‌های تناسب با سوی ایجاد وحدتی در طرح پیش می‌روند که محصول آن برای چشم خوشایند است. اساس سیستم تناسب ایرانی، که در آن از اعداد گنگ استفاده می‌شود، بر خواص هندسی مربع، مربع مضاعف، مثلث متساوی‌الاضلاع و پنج‌ضلعی استوار است^{۲۹} و در معماری بسیار از آن استفاده شده است. هر دستگاهی از مستقیم یا ضرابی از ریشه‌های آن عدد مطابق با اصول هندسی تنظیم می‌شود. اعداد صحیح ۲، ۳، ۵ و ریشه‌های آن‌ها با تناسب موجود در شکل‌های هندسی در ارتباط و از آن‌ها قابل استخراج هستند. از اشکالی که این تناسب را در



ت ۳ (بالا).
۲ الف. ایجاد نسبت طلایی با استفاده از مستطیل
۳ ب. نسبت طلایی در ستاره پنج‌پر و مثلث طلایی OAC، ترسیم: نگارندگان. جدول ۲ (پایین، راست). تناسب مولد عدد طلایی بر مبنای عدد ۵ و تناسب طلایی ایرانی و ضرایب ریشه‌های آنها، ترسیم و تحلیل: نگارنده اول.
ت ۴ (پایین، چپ). مضرب‌ها و ریشه‌های تناسب طلایی ایرانی، ترسیم و تحلیل: نگارنده اول.

$\frac{\sqrt{5}-1}{2} = 0,618$	$\frac{\sqrt{5}+1}{2} = 1,618$	$\frac{\sqrt{5}-1}{2} = 0,618$	$\frac{\sqrt{5}}{2} = 1,118$
$\frac{\sqrt{5}}{2,236}$	$\sqrt{5}-1 = 1,236$	$\frac{\sqrt{5}+1}{2} = 1,618$	$\frac{\sqrt{5}-1}{2} = 0,618$
$\sqrt{3} = 1,73$	$\sqrt{1,73} = 1,3$	$\sqrt{1,3} = 1,15$	$\sqrt{1,73+1} = 2,31$
$\frac{\sqrt{3}}{2} + 1 = 1,8$			

۲۸. گلمبک و ویلبر، همان، ص ۱۹۶.
۲۹. همان، ص ۱۹۴
۳۰. مستطیلی که نسبت طول به عرض آن برابر با ۱/۶۱۸ باشد، مستطیل طلایی نامیده می‌شود. قاعده‌ای که این مستطیل را ایجاد می‌کند قاعده ریشه پنج راست گوشه نام دارد (همان، ص ۲۰۰).
۳۱. پیرنیا، آشنایی با معماری اسلامی ایران: ساختمان‌های درون‌شهری و برون‌شهری، ص ۱۵۴ و ۱۵۹.

۵. تحلیل هندسه

با آشنایی حتی اندک بیننده با معماری تیموری این فکر در ذهن او بروز می‌کند که این نوع معماری نیازمند طراحی پیشین حتی پیش از پی‌ریزی ساختمان‌هاست.^{۳۳} بدین معنی که معمار با آنچه در انتها، به دلیل برپا شدن بنا، حاصل می‌شود، یعنی بیان فضایی، از ابتدا مأنوس است و این غایت و مقصد را ولو به ابهام زیاد از پیش در ذهن و دل دارد و به قصد ایجاد آن در عالم خارج از ذهن تلاش می‌کند. این مطلوب هرچند در انتها به دست می‌آید، از ابتدا حضور دارد و در قصد اول است.^{۳۳} مرور مطالعات انجام‌گرفته در مورد هندسه طرح در بناهای تاریخی حاکی از آن است که برای کشف هندسه به‌کاررفته در طرح ابتدا باید خطوط کلی و اصلی طرح و ارتباط میان آن‌ها شناسایی شوند. این گام منجر به شناسایی اشکال پایه‌ای که خطوط کلی طرح بر آن‌ها استوار است، می‌شود. به گونه‌ای که این اشکال حکم قالب کلی طرح را دارند و الگویی را ایجاد می‌کنند که جزئیات بعدی طرح به آن اضافه می‌شود و با تغییر در نسبت‌ها می‌تواند در بناهای مشابه به کار برده شود. تحلیل هندسی برش عمودی گنبدخانه‌هایی مانند تاج‌الملک مسجد جامع اصفهان، مسجد جامع ورامین، و مسجد جامع عباسی اصفهان بیانگر آن است که طراحان برای ایجاد نظم و ارتباط بین اجزا از پنج ضلعی منتظم استفاده کرده‌اند که مهم‌ترین کارکرد آن در این بناها تعیین ارتفاع گنبدها بر اساس طول ضلع شکل پایه است.^{۳۴} مطالعه انجام‌شده در پژوهش حاضر نیز مشخص کرد که هندسه طرح در بناها در حالت کلی در دو دسته

۱. طراحی کلی، که به شناسایی اشکال پایه و تناسب می‌انجامد، و
۲. طراحی زیرفضاها و جزئیات

تعریف می‌شود:

– دسته اول دربرگیرنده طرح کلی بنا و تعیین ابعاد اصلی (طول، عرض، ارتفاع، و تقسیم‌بندی کلی فضاها در پلان و ارتفاع) است. به منظور انجام این مرحله نخست شکل پایه برای انجام

طراحی تعریف می‌شده و ابعاد و اندازه‌های اصلی در تناسب با این شکل پایه در طرح تعیین می‌شوند. – دسته دوم دربرگیرنده طراحی زیرفضاها و جزئیات در قالب یک سیستم تناسبی وابسته به اشکال پایه و معمولاً بر مبنای تناسبات طلایی است. این دو بخش طراحی به گونه‌ای انجام می‌شوند که درنهایت در طرح کلی تناسبات همه بخش‌ها هم در پلان و هم در ارتفاع هماهنگ هستند و یکدیگر را تأیید می‌کنند. این هماهنگی می‌تواند دلیلی باشد بر اثبات پیش‌اندیشه بودن بخش‌های طراحی و ساخت در مرحله طراحی. در ادامه برای کشف هندسه طرح و ساختار مربوط به دسته اول و دوم و بررسی سیر دگرگونی‌ها، حتی در بازه زمانی کوتاه این پژوهش، نخست هندسه طرح در بنای امامزاده قاسم کهک، که بیشترین قدمت را در بین نمونه‌ها دارد، بررسی و در گام بعدی میزان انطباق چهار بنای دیگر با هندسه این بنا سنجیده شد تا روند تکمیل یا دگرگونی طرح‌ها مشخص شود. بنابراین، در این بررسی، هندسه طرح در بنای امامزاده قاسم کهک طرح مرجع در نظر گرفته شده است.

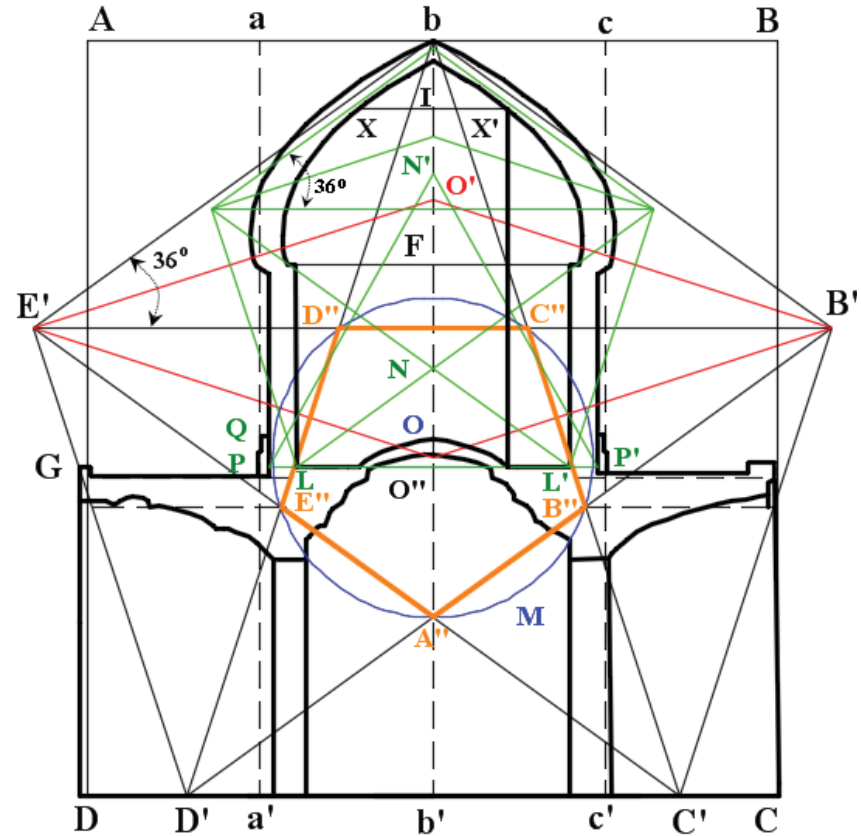
۵.۱. روش ترسیم الگوی کلی طرح در آرامگاه امامزاده قاسم کهک

۵.۱.۱. طراحی کلی بنا و تعیین ابعاد اصلی

قانونمندی در انتخاب و ترکیب شکل‌ها از ویژگی‌های معماری ایرانی به‌ویژه در دوره اسلامی است که با ضوابط مشخص و ریشه‌دار در سنت‌ها انجام می‌شود. این ضوابط هم بر کل و هم بر اجزای طرح سایه می‌افکند و میان کل و جزء آن شباهت ایجاد می‌کند.^{۳۵} در بررسی طرح بنا مشخص شد که برای تعیین نسبت ابعاد کلی از قاعده ریشه پنج راست‌گوشه استفاده شده است. در این قاعده نسبت ابعاد مستطیل دربرگیرنده بنا (مستطیل ABCD)، $۱:۱/۱۱۸$ است که نسبت طلایی از ریشه $\sqrt{۵}/۲$ است (ت ۵).

۳۲. اوکین، همان، ص ۷۷.
 ۳۳. نوایی و حاجی‌قاسمی، همان، ص ۱۰.
 ۳۴. همان، ص ۱۴۴.

پس از تعیین ابعاد کلی بنا، مهم‌ترین بخش بنا، که مرکز ثقل طرح را تشکیل می‌دهد، در فضای کلی طرح جانمایی می‌شده است. فضای مرکزی اولین فضایی است که در ذهن معمار شکل می‌گیرد و آخرین مطلوب او را تصویر می‌کند^{۳۶}. چنانچه مستطیل دربرگیرنده طرح کلی بنا در امتداد عمودی به چهار بخش مساوی تقسیم شود، گنبد و گنبدخانه، به منزله اصلی‌ترین بخش بنا، در طرح کلی در نیمه میانی فضا قرار می‌گیرند (مستطیل acc'a' در ادامه یک پنج‌ضلعی منتظم به ارتفاع مستطیل محیطی ترسیم می‌شود (bb'C'D'E') که از برخورد قطرهای آن پنج‌ضلعی دیگری ایجاد می‌شود (A''B''C''D''E''). سپس دایره



محیطی پنج‌ضلعی کوچک‌تر ترسیم می‌شود (دایره M). ضریبی از شعاع این دایره ارتفاع گریو و نقطه آغاز آن را مشخص می‌کند. بنابراین سه شکل پایه مستطیل، پنج‌ضلعی منتظم، و دایره طرح کلی شامل ابعاد کلی طرح محل قرارگیری گنبدخانه، و ابعاد گریو و گنبد را تعیین می‌کنند. سایر جزئیات طرح با توجه به نقاط برخورد ایجاد شده توسط این اشکال تعریف می‌شوند.

۵.۱.۲. طراحی پاره‌های طرح

به منظور تحلیل هندسی پاره‌های طرح، چنانچه نیمساز زاویه‌های $b'E'B'$ و $bB'E'$ رسم شوند (ت ۵) در نقطه O' با هم برخورد می‌کنند. قرینه این دو نیمساز نسبت به قطر $E'B'$ پنج‌ضلعی بزرگ در نقطه O ، که مرکز دایره محیطی پنج‌ضلعی کوچک است، برخورد می‌کنند. این نقطه همچنین نقطه‌ای است که ارتفاع آهیانه را نیز مشخص می‌کند ($b'O$). برای تعیین مکان هندسی آغاز چفد خود یا همان نقطه شروع گنبد، چنانچه از نقطه O به طول $1/2 R$ بر روی ارتفاع پنج‌ضلعی به سمت بالا جدا شود (F)، ارتفاع مکان هندسی آغاز چفد خود به دست می‌آید. چنانچه یک پنج‌ضلعی به ارتفاع Ob ترسیم شود طول ضلع آن قطر داخلی گریو را مشخص می‌کند (LL'). به مرکز N ، نقطه برخورد قطرهای این پنج‌ضلعی و به رأس N' ، نقطه وسط فاصله نیمسازهای این پنج‌ضلعی و پنج‌ضلعی بزرگ مثلثی ترسیم می‌شود، طول قاعده این مثلث طول قطر خارجی گریو را مشخص می‌کند (PP'). نقطه برخورد این مثلث و پنج‌ضلعی ارتفاع چنبره را مشخص می‌کند (Q). نسبت قاعده مثلث به ضلع پنج‌ضلعی، یا به بیان دیگر نسبت قطر خارجی به قطر داخلی گریو، برابر با $1/2$ است. فاصله عمودی $B''P'$ ضخامت سقف تخت را مشخص می‌کند. پاره خط XX' ارتفاع نقطه پایان خشخاشی‌ها را مشخص می‌کند که متناسب با ارتفاع خود در نظر گرفته شده است $Ob=1.20l$ و ضریبی از نسبت طلایی است.

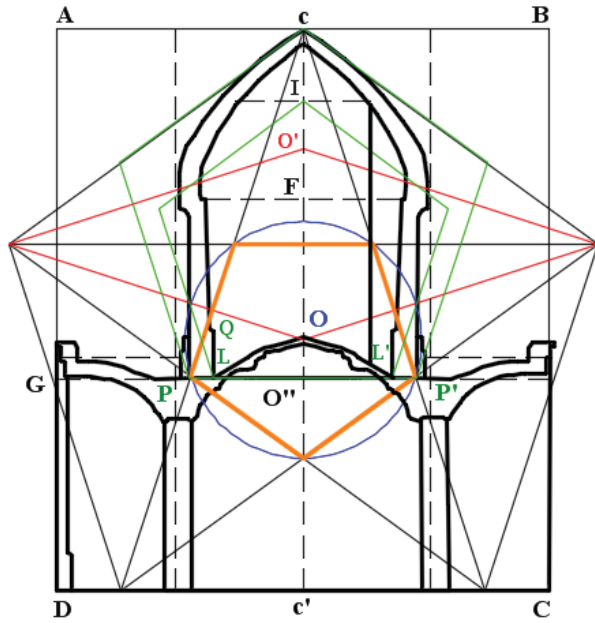
قبلی برابر است و کاهش ارتفاع بنا با کاهش ارتفاع سقف تخت انجام شده است. به دلیل تناسب یک‌به‌یک موجود میان ارتفاع و عرض این بخش، به همان نسبت عرض فضا نیز کاهش یافته است. امامزاده قاسم شاوروق کوچک‌ترین ابعاد را در پلان دارد، از آنجاکه گریو در امتداد جرزهای این فضا قرار می‌گیرد، به همان نسبت قطرهای گریو نیز از طریق کاهش ابعاد و ضخامت کاهش یافته است، به گونه‌ای که در این بنا قطر دایره M بزرگ‌تر از قطر بیرونی گریو است. به همین دلیل با وجود انطباق تناسب کلی در ابعاد و جزئیات، مکان هندسی و طول قطر درونی و بیرونی گریو از روی الگوی مرجع قابل‌بازیابی نیست و در این مورد میان طرح این دو بنا با الگوی مرجع تفاوت هست. برای تعیین مکان هندسی و ضخامت گریو در این دو بنا یک پنج‌ضلعی به ارتفاع بخش فوقانی بنا ($O''C$) رسم می‌شود، قاعده این پنج‌ضلعی برابر با قطر بیرونی گریو (PP') است. پنج‌ضلعی دیگری به ارتفاع خشخاشی‌ها ($O''I$) رسم می‌شود، قاعده این پنج‌ضلعی نیز طول قطر درونی گریو را مشخص می‌کند (LL'). در این دو بنا با ثابت نگه داشتن ارتفاع بخش بالایی (AG)، نسبت به دو بنای قبلی قطر و ضخامت گریو به گونه‌ای تغییر داده شده است که نسبت بین بخش‌های بالا و قطر خارجی گریو (AG/PP') برابر با $۱/۵$ شده است. در این دو بنا نقطه برخورد پنج‌ضلعی محاطی و پنج‌ضلعی تعیین‌کننده شعاع داخلی گریو ارتفاع چنبره را مشخص می‌کند (Q). در تطبیق الگوی مرجع با بنای امامزاده احمد، دوباره انطباق کلی الگوی مرجع بر طرح هندسی بنا مشاهده می‌شود (ت ۶:

جدول ۳. ابعاد در بناها، بررسی و تدوین: نگارنده اول.

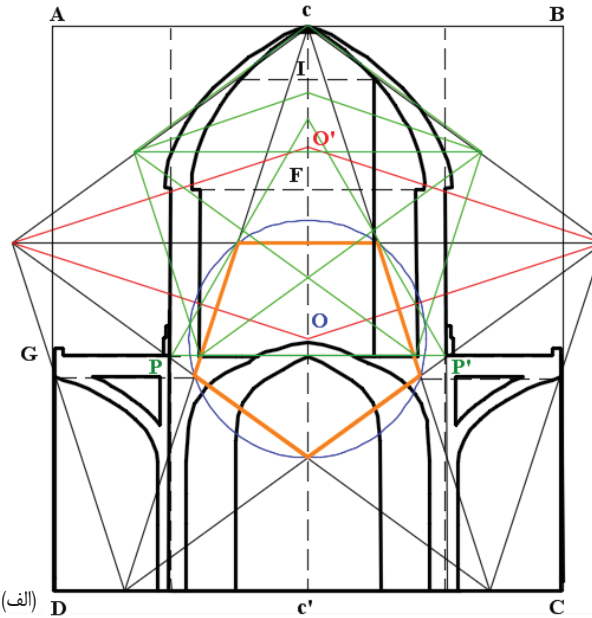
امامزادگان ^(۴)	AD	AB	AG	O''F	LL'	PP'	PL
قاسم کهک	۱۹	۱۷	۱۰٫۵	۵	۶٫۲	۸	۰٫۸
ابوالعلی	۱۹	۱۷	۱۱	۵٫۵	۷٫۴	۹٫۲	۰٫۸
محمد	۱۶	۱۴٫۵	۱۰	۵٫۵	۵٫۴	۶٫۶	۰٫۷
قاسم شاوروق	۱۸	۱۳٫۷	۱۰٫۵	۵٫۲	۵٫۸	۷	۰٫۶۵
احمد	۱۴	۱۵٫۶	۸٫۸	۴٫۳	۶	۷٫۲	۰٫۶۵

۵.۲. تطبیق الگوی طراحی بر سایر بناها

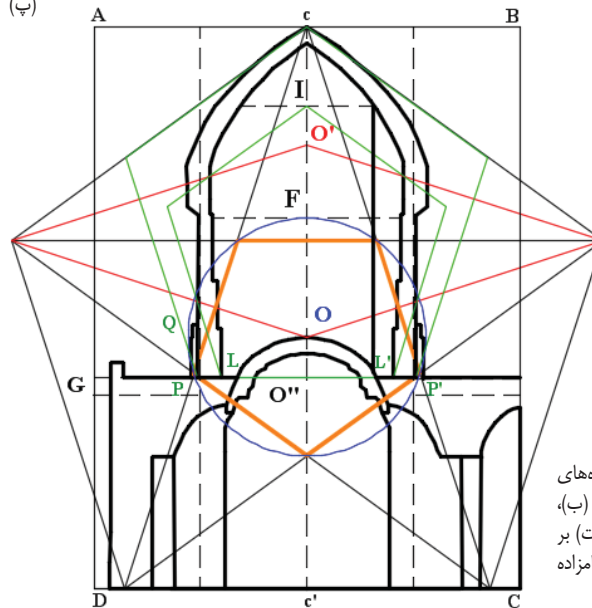
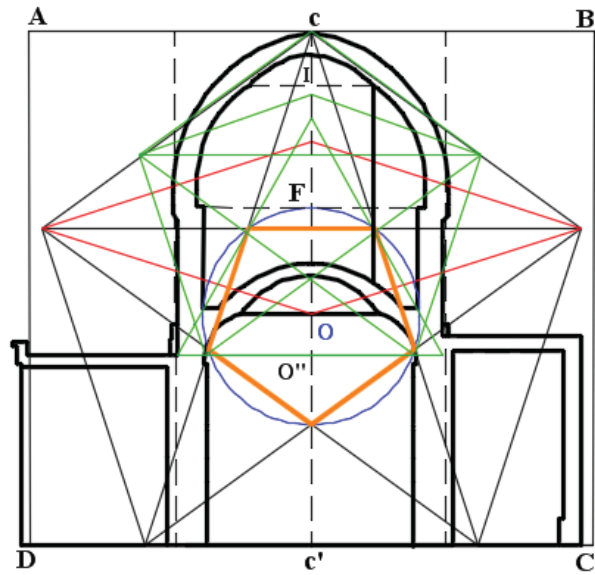
برای بررسی روند طراحی هندسی در سایر نمونه‌ها و تأثیر شاخص زمان ساخت بر ایجاد تغییرات یا دگرگونی‌های احتمالی، بناهای مورد مطالعه با رعایت سلسله‌مراتب تاریخی بررسی و ارزیابی شدند. بدین منظور الگوی مورد استفاده در طراحی هندسی آرامگاه امامزاده قاسم کهک بر سایر بناها مطابقت داده شد و چهار بنای دیگر مورد مطالعه با این الگو مقایسه شدند. برای امکان هم‌پوشانی الگوی مرجع با نقشه بناها، در هر مورد با مینا قرار دادن ارتفاع کلی بنا (ارتفاع پنج‌ضلعی)، تغییر مقیاس لازم انجام شد. مقایسه هندسه مقطع طرح در آرامگاه امامزاده ابوالعلی (ت ۶: الف) با طرح مرجع نشان می‌دهد که طرح هندسی این بنا از نظر خطوط و تناسب کلی و جزئیات طراحی مانند ارتفاع خشخاشی‌ها، تناسب قطر داخلی و خارجی گریو، ضخامت سقف‌ها، ارتفاع گریو، و ارتفاع چنبره با طرح مرجع مطابقت دارد. تفاوت موجود در تناسب و هندسه پنهان این دو طرح مربوط می‌شود به قطر دایره M که در بنای اول تقریباً برابر با قطر خارجی گریو است و در بنای دوم کوچک‌تر از این فاصله است. با توجه به اینکه این دو بنا از نظر ابعاد کلی با هم برابر هستند، همچنین ضخامت گریو در هر دو یکسان است (جدول ۳)، این تفاوت ناشی از افزایش ارتفاع و قطر داخلی و خارجی گریو در بنای امامزاده ابوالعلی است. درحقیقت با ثابت بودن ارتفاع کلی (AD)، با افزایش ارتفاع گریو، برای رعایت تناسب هندسی و دیداری و همچنین برای در نظر گرفتن تأثیر تناسب در پایداری بنا، قطر داخلی و خارجی گریو افزایش داده شده است. این افزایش ابعاد به گونه‌ای است که در این بنا نسبت میان قطرهای ثابت باقی مانده و بین مجموع ارتفاع گریو و گنبد (AG) و قطر بیرونی گریو (PP') مضربی از تناسب طلایی ($۱/۲$) برقرار شده است (ت ۶: الف). در دو بنای امامزاده محمد و امامزاده قاسم شاوروق (ت ۶: ب و پ) مشاهده می‌شود که ارتفاع کلی کاهش یافته است، اما ارتفاع بخش فوقانی (AG) و گریو (CO'') تقریباً با دو نمونه



(الف) (ب)



(پ) (ت)



ت ۶ تحلیل هندسه طرح در آرامگاه‌های امامزادگان^{۱۰}؛ ابوالعلی (الف)، محمد (ب)، قاسم شواروق (پ) و احمد (ت) بر مبنای هندسه موجود در بنای امامزاده قاسم کهنک، ترسیم: نگارنده اول.

تأثیر می‌گذارد و در پیوند با روش‌های اجرایی و مهارت معمار می‌تواند تضمین‌کننده پایداری بنا باشد. در این شیوه گام‌های هندسه عملی بنا از هنگام پرداختن به هندسه نظری آن آغاز می‌شود و معمار از ابتدا هندسه نظری را بر مبنای هندسه عملی و هندسه عملی را بر مبنای هندسه نظری تعریف می‌کند و این دو را از طریق تناسبات به هم پیوند می‌دهد. همان‌گونه که در «جدول ۴» مشاهده می‌شود، مستطیل طلایی و پنج‌ضلعی منتظم به کاررفته در طرح کلی بنا تناسباتی از ضرایب $\sqrt{5}$ را در بخش‌های مختلف بنا جاری می‌کنند که برخاسته از تناسب طلایی است. در همه بناها، به‌جز امامزاده قاسم شاوروق، نسبت بین ابعاد مستطیل ABCD برابر با $1/118$ است که نشان‌دهنده استفاده از مستطیل طلایی و قاعده ریشه ۵ راست‌گوشه است. در بنای امامزاده قاسم شاوروق این نسبت برابر با $1/3$ است که تناسبی از ریشه دوم نسبت طلایی ایرانی است. در دو بنای اول نسبت ارتفاع کلی بنا به ارتفاع بخش فوقانی $(\frac{AD}{AG})$ برابر با نسبت طلایی ایرانی $(\sqrt{3} = 1/7)$ است. این نسبت در سه بنای دیگر برابر با $1/6$ است. همچنین در این سه بنا نسبت نیمه بالا به نیمه پایین بناها نیز $1/6$ است که بسیار به عدد Θ نزدیک است. این نسبت در دو بنای اول $1/2$ است که مضربی از عدد Θ است. در همه موارد نسبت قطر خارجی گریو به قطر داخلی $(\frac{PP'}{LL'})$ و همچنین نسبت ارتفاع داخلی خود به ارتفاع خشخاشی‌ها $(\frac{AG}{10''})$ از ریشه $\sqrt{5}$ و برابر با $1/2$ است.

۵.۴. تناسبات در نما

با دقت در نمای بناها مشاهده می‌شود که در حالت کلی نماها از تقسیم‌بندی سه‌گانه احجام تشکیل شده‌اند. فرد بودن تقسیمات در نما باعث می‌شود که محور مشخص‌تر، تقارن چشم‌نوازتر، و تأکید بر عنصر میانی^{۳۷}، که در اینجا گنبدخانه است، بیشتر باشد. همان‌گونه که از تناسبات موجود در «جدول ۴» درک می‌شود، برای تعیین نسبت ابعاد کلی بنا در نما از قاعده ریشه

تفاوت اصلی میان گزینه‌ها به مکان هندسی دایره M و تغییرات قطر گریو مربوط می‌شود. در بنای امامزادگان قاسم کهک، ابوالعلی، و محمد فاصله مرکز دایره M تا پای گنبد $1/2R$ است که در دو بنای اول برابر است با ارتفاع گریو (OF). در بنای امامزادگان قاسم شاوروق و احمد فاصله مرکز دایره تا پای گنبد برابر است با R. از تفاوت‌های شیوه معماری دوره صفوی و دوران پیش از آن کاهش ارتفاع بناها است. همان‌طور که در نمونه‌ها مشاهده می‌شود، به ترتیب زمانی از ارتفاع کلی بناها کاسته شده است، اما این کاهش ارتفاع در تنه بنا اتفاق می‌افتد و تناسبات ارتفاعی بخش بالایی بنا (AG/O''F) در محدوده خاصی ثابت می‌ماند و نسبت ۲ به ۱ را نشان می‌دهد. با کاهش ارتفاع تنه بنا، که با عرض گنبدخانه دارای تناسب یک‌به‌یک است، عرض گنبدخانه در پلان و در ادامه فاصله بین جرزها نیز کاهش می‌یابد. از آنجاکه قطر گریو متناسب است با فاصله بین جرزهای چهارطاق، متناسب با این کاهش ابعاد، قطر گریو نیز کاهش می‌یابد. از دیگر تفاوت‌های موجود می‌توان به افزایش ارتفاع آهیانه به ترتیب زمانی اشاره کرد. به این معنی که با مرور زمان و کاهش ارتفاع بخش گنبدخانه، به منظور فراهم کردن فضای لازم برای ایجاد پوسته سوم به صورت رسمی‌بندی، ارتفاع آهیانه با راندن آن به فضای داخل دو پوسته بیشتر شده است (ت ۵ و ت ۶).

۵.۳. تحلیل عددی ویژگی‌های هندسی و شکلی با آشکارسازی تناسبات موجود در بناها

از آنجاکه هندسه به کاررفته در طرح کلی بنا برگرفته از اشکالی است که نسبت طلایی را در درون خود دارند، تناسبات طلایی در سایر بخش‌های بنا نیز جاری شده است. به این معنی که بنا از ابتدا بر اساس یک نظم کمی طراحی می‌شود و این نظم کمی با ایجاد ارتباطات مناسب میان بخشی و کمک به تعیین نسبت‌های مناسب برای ابعاد اجزا، مانند ضخامت جرزها و افراز و دهانه پوشش‌ها، بر چگونگی و مراحل ساخت نیز

$\frac{O''F}{LL'}$	$\frac{AG}{O''F}$	$\frac{O''F}{PP'}$	$\frac{AG}{IO''}$	$\frac{PP'}{LL'}$	$\frac{AG}{LL'}$	$\frac{AG}{PP'}$	$\frac{AD}{PP'}$	$\frac{a'b'}{GD}$	$\frac{AG}{GD}$	$\frac{AD}{AG}$	$\frac{*AD}{DC}$	امام زادگان ^(ک)
۰٫۸	۲٫۱	۰٫۶	۱٫۲۷	۱٫۲	۱٫۷	۱٫۳	۲٫۳	۱	۱٫۲	۱٫۷	۱٫۱۱۸	قاسم کهک
۰٫۷۵	۲	۰٫۶	۱٫۲	۱٫۲	۱٫۵	۱٫۱۶	۲	۱	۱٫۲	۱٫۷	۱٫۱۱۸	ابوالعلی
۱	۱٫۸۱	۰٫۸	۱٫۲	۱٫۲	۱٫۸	۱٫۵	۲٫۴	۱	۱٫۶	۱٫۶	۱٫۱۱۸	محمد
۰٫۹	۲	۰٫۷	۱٫۲	۱٫۲	۱٫۸	۱٫۴	۲٫۶	۱٫۳	۱٫۶	۱٫۶	۱٫۳	قاسم شاوروق
۰٫۷	۲	۰٫۶	۱٫۲	۱٫۲	۱٫۵	۱٫۲	۲	۱	۱٫۶	۱٫۶	۱٫۱۱۸	احمد

*. استفاده از روش ریشه ۵ راست گوشه برای ایجاد تناسب عمودی و افقی در نما.
 **. این نسبت تقریباً برابر با نیم پیمون یا ریشه دوم نسبت طلایی ایرانی است که مقدار دقیق آن ۱٫۱۵ است.
 ***. در مورد این بنا مستطیل به صورت افقی در نظر گرفته شده است و نسبت ثبت شده نسبت عرض به ارتفاع است.

۱٫۳ برقرار است. این اختلاف در تناسب ابعاد کلی بنای امامزاده قاسم شاوروق با سایر نمونه‌ها ناشی از طراحی این بنا بر اساس تناسب طلایی ایرانی است.

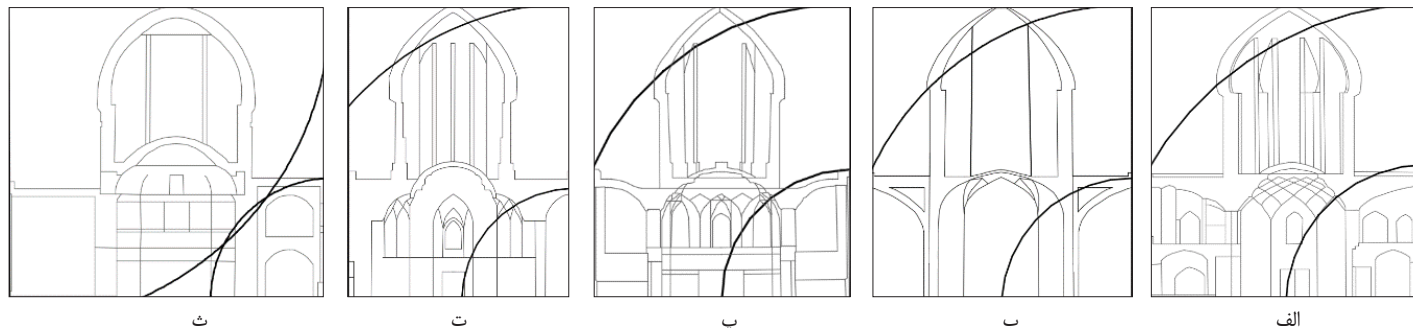
۵.۵. تناسبات در پلان

از ویژگی‌های معماری بناهای آرامگاهی تیموری این است که پلان فضاهای داخلی به شکل صلیب درون چهارگوش است. موقعیت، اندازه، و شکل همه فضاهای پیرامونی به صورت شعاعی نسبت به مرکز مشخص می‌شود و همه بخش‌ها در تناسب با هندسه گنبد مرکزی در طرح آورده می‌شوند. در بناهای مورد پژوهش پلان گنبدخانه چلیپایی متقارن است که

پنج راست گوشه استفاده شده است. چنانچه در «ت ۷» مشاهده می‌شود، نسبت ارتفاع بخش گنبدخانه به ارتفاع کلی بنا مضربی از تناسب طلایی است. این تناسب در بنای امامزادگان قاسم کهک (ت ۷: الف)، ابوالعلی (ت ۷: ب) و محمد (ت ۷: پ) به شکل مستقیم و در امامزاده احمد (ت ۷: ث) به شکل وارونه برقرار است. از آنجاکه ابعاد کلی بنای امامزاده قاسم شاوروق (ت ۷: ت) دارای نسبت ۱٫۳ است (جدول ۴)، قاعده ریشه پنج راست گوشه در تعیین تناسب نیمه بالا و پایین بنا در آن صدق نمی‌کند. همچنین در بنای امامزادگان قاسم کهک، ابوالعلی، محمد، و احمد عرض فضای گنبدخانه برابر با ارتفاع خارجی بنا است، اما در بنای امامزاده قاسم شاوروق در این بخش نیز تناسب

۳۷. همان، ص ۷۰.

جدول ۴ (بالا). تحلیل عددی ویژگی‌های شکلی بر مبنای تناسبات موجود در بناها، بررسی و تدوین: نگارنده اول.
 ت ۷ (پایین). تحلیل هندسه نما و تناسبات کلی، به ترتیب از راست امامزادگان^(ک) قاسم کهک، ابوالعلی، محمد، قاسم شاوروق و احمد، تحلیل و ترسیم: نگارنده اول.



ث

ت

پ

ب

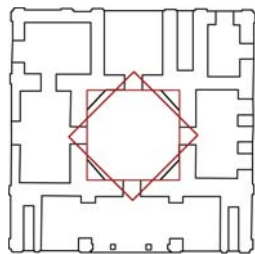
الف

است (جدول ۵). در مورد پلان آرامگاه امامزاده احمد (ت ۸: ث) طول ضلع هشت‌ضلعی با اندازه موجود روی پلان در حدود ۱ متر اختلاف دارد. بازدیدهای میدانی مؤید این مطلب است که دلیل این اختلاف انجام تغییرات در سطح وسیعی در هنگام طرح توسعه بناست، به گونه‌ای که بخش‌های پیرامونی فضای گنبدخانه در طرح توسعه ایجاد شده‌اند. با توجه به نظم موجود در طرح بناها و پیروی طرح‌ها از الگویی واحد می‌توان فرض کرد که، قبل از انجام تغییرات، این بنا هم تناسب تشریح‌شده را در پلان داشته است. قبلاً مشاهده شد که بنابر نتایج تحلیل هندسی بناها، طول ضلع مربع پلان (a)، که فاصله جرزها را مشخص می‌کند، در ارتباط مستقیم با قطر گریو است. نقاط آغاز توپزهای متقاطع اضلاع طاقچه‌های صلیبی پلان چلیپایی هستند. این گونه پیچیدگی نقشه پلان با نقشه نمایی هم‌تراز می‌شود که در گذر از یک سطح مستوی به سطح مستوی دیگر پیچ‌وتاب یافته است^{۳۸}. در پلان فضای بین دو پوسته در همه نمونه‌ها این فضا کاملاً متقارن است و خشخاشی‌ها با هندسه و ابعاد یکسان به صورت یکنواخت توزیع شده‌اند.

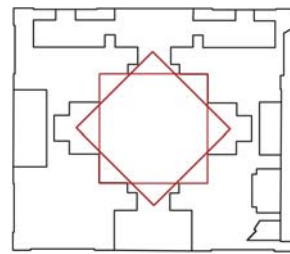
دارای چهار یا هشت گوشه است (ت ۸) و طرح نهایی به شکل صلیب درون چهارگوش است که سایر بخش‌ها به صورت شعاعی نسبت به این فضا طراحی شده‌اند. در بررسی پلان بناها مشخص شد که شکل پایه مورد استفاده در پلان چهارگوش است و برخلاف مقطع، از تناسب پنج‌ضلعی منتظم در پلان استفاده نشده است. فضاها تجمعی از شکل‌های منظم هستند که از طریق تقارن محوری و شعاعی در کنار هم ایجاد شده‌اند و در درون یک طرح کلی پیش‌اندیشیده جای گرفته‌اند و از طریق آن معمار کل و جزء طرح را با هم به پیش می‌برد. نظم، تقارن، و مرکزگرایی در طرح‌ها کاملاً مشهود است. به منظور تحلیل هندسه پلان، چنانچه مربع فضای گنبدخانه ۴۵ درجه چرخانده شود، نقاط برخورد دو چهارضلعی ورودی‌های فضای گنبدخانه را در چهار طرف مشخص می‌کنند. در صورتی که طول ضلع گنبدخانه به منزله اندازه مولد در نظر گرفته شود (a) در «ت ۸ الف»، آنگاه عرض ورودی‌ها که ضلع هشت‌ضلعی محیطی دایره به قطر گنبدخانه است برابر با $a(\sqrt{2}-1)$ خواهد بود که با تقریب منطبق بر اندازه‌های موجود روی پلان (b)

جدول ۵ (بالا). تحلیل هندسه پلان، بررسی و تدوین: نگارنده اول. ت ۸ (پایین). تحلیل هندسه پلان امامزادگان^(ع): قاسم کهک (الف)، ابوالعلی (ب)، محمد (پ)، قاسم شاوروق (ت)، و احمد (ث)، ترسیم و تحلیل: نگارنده اول.

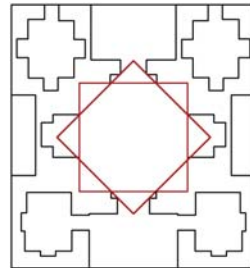
احمد ^(ع)	قاسم شاوروق ^(ع)	محمد ^(ع)	ابوالعلی ^(ع)	قاسم کهک ^(ع)
a= ۶/۶	a= ۵/۵	a= ۶/۵	a= ۵/۵	a= ۵/۸
$a(\sqrt{2}-1) = ۲/۷۵$	$a(\sqrt{2}-1) = ۲/۳$	$a(\sqrt{2}-1) = ۲/۷$	$a(\sqrt{2}-1) = ۲/۲$	$a(\sqrt{2}-1) = ۲/۳$
b= ۲/۷	b= ۲/۲	b= ۲/۶	b= ۲/۴	b= ۱/۲



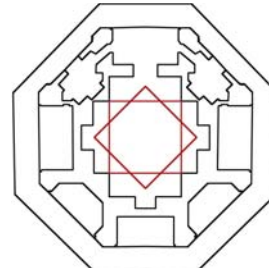
ث



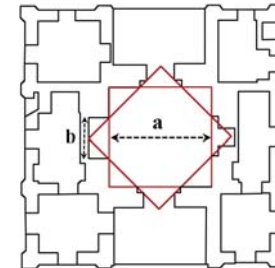
ت



پ



ب



الف

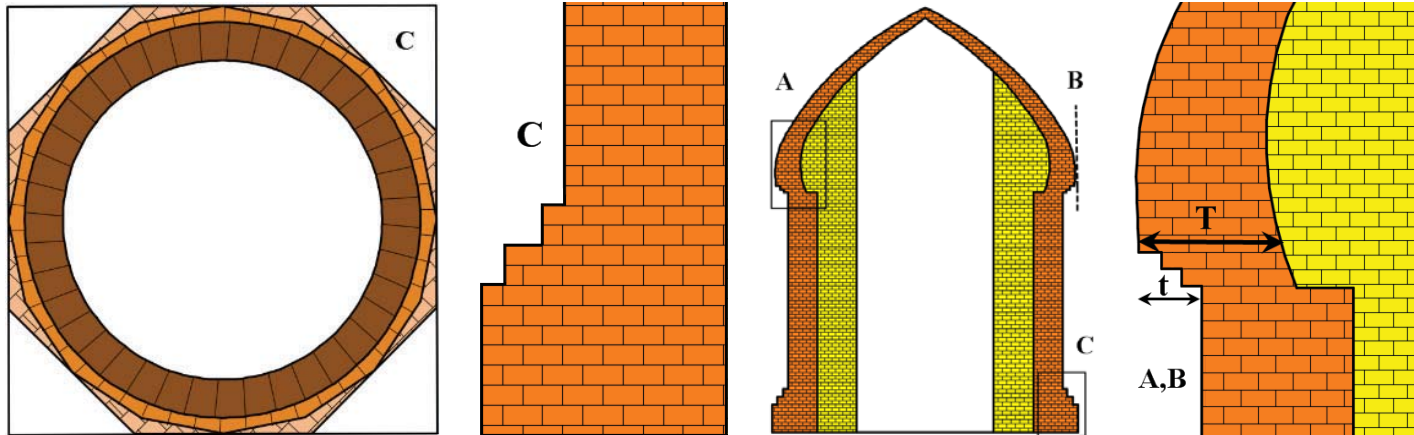
۶. ارتباط ویژگی‌های هندسی و نظام سازه‌ای

در هر کار هنری اندیشه‌ای وجود دارد که از پیش اندازه‌ها و شکل همه بخش‌ها را تعیین می‌کند و باعث می‌شود طرح و ساختار یا استخوان‌بندی بنا به‌درستی با هم ترکیب شوند و در تحلیل نهایی هندسه‌ای یکپارچه در کلیت بنا دریافت شود. در معماری در حالت کلی نظام ساختمانی فضاها را می‌توان تحت عنوان سه عنصر ساختمانی یعنی دستگاه باربر، دستگاه انتقالی، و پوشش تعریف کرد. از نمونه دستگاه‌های باربر می‌توان قوس‌هایی را نام برد که فضایی چهارگوش یا چندپهلورا پدید می‌آورند که چهارطاق نامیده می‌شوند.^{۳۸} این سیستم از چهار جرز در چهار گوشه بنا تشکیل می‌شود که با چهار قوس به هم متصل می‌شوند و پس از اجرای گوشواره‌ها گنبد بر روی قوس‌ها اجرا و از پیرامون مهار می‌شود. سنجش استواری بناها بر پایه تحلیل منطقی تناسبات و شناخت روش‌های ساختمانی مورد استفاده در پیاده‌سازی فرم‌ها و استدلال امکان‌پذیر خواهد بود. درحقیقت استفاده از هر روش تلاشی برای رسیدن به راه حل مناسبی است که پایداری بناها را در پی داشته باشد.^{۳۹} در فرایند مطالعه و بررسی نمونه‌ها سه ویژگی در نظام سازه‌ای و ساختمانی آن‌ها شناسایی شد که تحت تأثیر هندسه و تناسبات به‌کاررفته قرار دارند و در ادامه معرفی می‌شوند.

۶.۱. پیش‌نشستگی پای گنبد

از روش‌های مورد استفاده در ساخت گنبدها در دوره تیموری ایجاد پیش‌نشستگی بیرونی در پایه گنبد بر فراز گریو است که با پس‌نشستگی گنبد از درون همراه است. برای اجرای این فرم هندسی لازم است توزیع متناسب بار گنبد بر فراز گریو مورد توجه قرار گیرد، بنابراین ایجاد پیش‌آمدگی به‌صورت تدریجی و در چند لایه انجام می‌شده است. به دلیل ایجاد این پیش‌آمدگی در بدنه گنبد ادامه فرم چفد در گنبدها از نوع شلال در نظر گرفته شده است تا بیرون‌زدگی مضاعف در چفد خود ایجاد نشود. در گنبد شلال چفد گنبد بدون انحنا یا با انحنای اندک نسبت به امتداد گریو اجرا می‌شود.^{۴۰} دلیل دیگر برای انجام پیش‌آمدگی به‌صورت پله‌ای کاهش تدریجی ضخامت گنبد در پایه، یعنی مکانی که بیشترین تنش کششی را تحمل می‌کند، است. پهنای سطحی که از آشفستگی خمشی مرزی تأثیر می‌پذیرد (t) با ریشه دوم نسبت ضخامت (T) به شعاع گنبد (R) متناسب است $(t \sim \sqrt{T/R})$.^{۴۱} بنابراین برای کاهش سطحی که با آشفستگی خمشی روبه‌روست و جلوگیری از نفوذ آن در عمق، گنبد در پایه نازک شده است (ت ۹: A و B). بررسی رفتار سازه‌ای سیستم گریو و گنبد به روش مدل‌سازی عددی نرم‌افزاری

۳۸. اوکین، همان، ص ۲۲۳.
 ۳۹. گلمبک و ویلبر، همان، ص ۱۴۸.
 ۴۰. زمانی‌فرد، همان، ص ۲۶۸.
 ۴۱. معماریان، سازه‌های تاقی در معماری اسلامی ایران، ص ۳۳۹؛ زمرشیدی، همان، ص ۳۲۵-۳۲۶.
 ۴۲. ماریو جورج سالوادوری، سازه در معماری، ص ۲۶۰-۲۵۷.
 ت ۹. روش‌های سازه‌ای به‌کاررفته در ساخت سیستم گریو و گنبد، پیش‌آمدگی مرحله‌ای (A, B)، چنبره (C)، ترسیم و تحلیل: نگارنده اول.



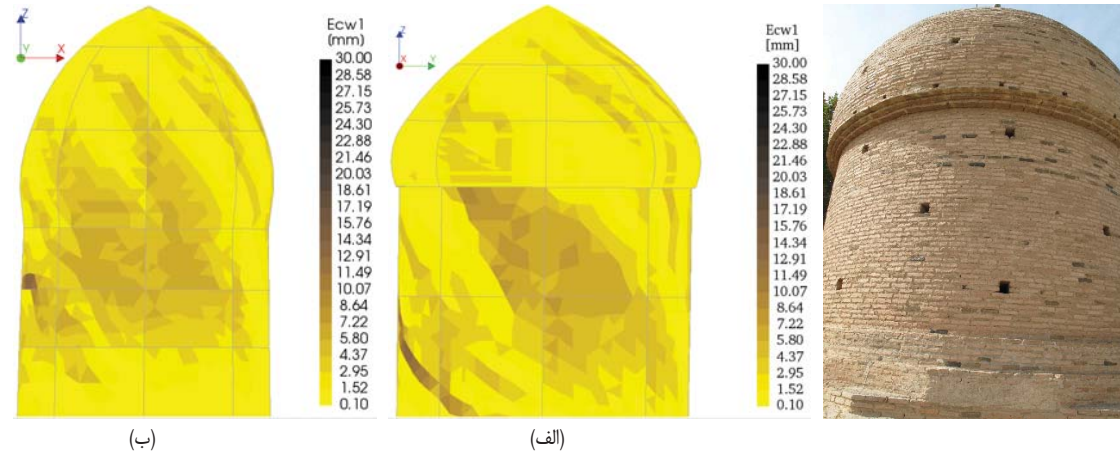
گوشه‌سازی‌ها می‌شود^{۴۵}. این عضو مانند یک تکیه‌گاه گیردار گریو را، که به دلیل ارتفاع زیاد در هنگام وارد شدن نیروهای جانبی لنگرهایی را در پایه تحمل می‌کند، مهار و از رانش گنبد جلوگیری می‌کند.

۳.۶. استفاده از خشخاشی

خشخاشی‌ها اعضای تیغه‌ای شکلی هستند که در فضای بین دو پوسته قرار دارند. این المان‌ها برای کمک به انتقال بار مرده و همچنین افزایش مقاومت سیستم گریو و گنبد در برابر بارهای ناشی از نیروهای جانبی ساخته می‌شوند. به دلیل کمک به انتقال نیروها و برای کمک به توازن و تعادل بنا، مکان و ابعاد هندسی خشخاشی‌ها اهمیت زیادی دارد، به همین دلیل این عناصر معمولاً به تعداد زوج و به صورت یکنواخت در فضای بین دو پوسته ساخته می‌شوند. تناسب میان ابعاد هندسی خشخاشی‌ها با ابعاد سیستم گریو و گنبد، به‌ویژه بعد ارتفاعی، به دلیل کمک به مهار نیروهای کششی و فشاری مداری و نصف النهاری در شکرگاه و ایوارگاه، از اهمیت بسیاری برخوردار است. همان‌گونه که در بررسی تناسبات بناها دیده شد (جدول ۴)، نسبت ارتفاع خشخاشی‌ها به ارتفاع سیستم $\frac{HH'}{GG'}$

۴۳. به دلیل تقارن کامل سیستم گریو و گنبد، جهت بار جانبی اهمیت ندارد. همچنین برای شبیه‌سازی اتصال گنبد به فضای انتقالی و تأثیر چنبره، گریو در پایه ثابت در نظر گرفته شده است.
44. A. Feizolahbeigi, et al, "Discussion of the Role of Geometry, Proportion and Construction Techniques in the Seismic Behavior of 16th to 18th Century Bulbous Discontinuous Double Shell Domes in Central Iran", p. 19.
۴۵. زمانی‌فرد، همان.

ت ۱۰. شدت ترک‌های عمودی و افقی ناشی از بار جانبی در سیستم گریو و گنبد با (الف) و بدون (ب) پیش و پس‌نشستگی، بررسی و تحلیل: نگارنده اول.



برای سنجش میزان تأثیر این پیش‌نشستگی بر رفتار سازه‌ای گنبد‌های دوپوسته گسسته تأثیر مثبت این فرم هندسی را در پایداری آن‌ها نشان می‌دهد، به گونه‌ای که پس از اعمال نیروهای جانبی و ایجاد ترک در گریو، این فرم هندسی باعث کاهش شدت، امتداد، و عرض ترک‌ها از گریو به گنبد می‌شود^{۴۴} (ت ۱۰: الف)، در صورتی که در نمونه‌های فاقد این ویژگی ترک‌ها با همان شدتی که در گریو ایجاد می‌شوند در خود نیز گسترش می‌یابند (ت ۱۰: ب). درحقیقت این پیش‌نشستگی ترک‌های ایجادشده در گریو را در پای گنبد دستگیر و از پیشرفت آن‌ها در گنبد جلوگیری می‌کند^{۴۴}.

۲.۶. استفاده از چنبره

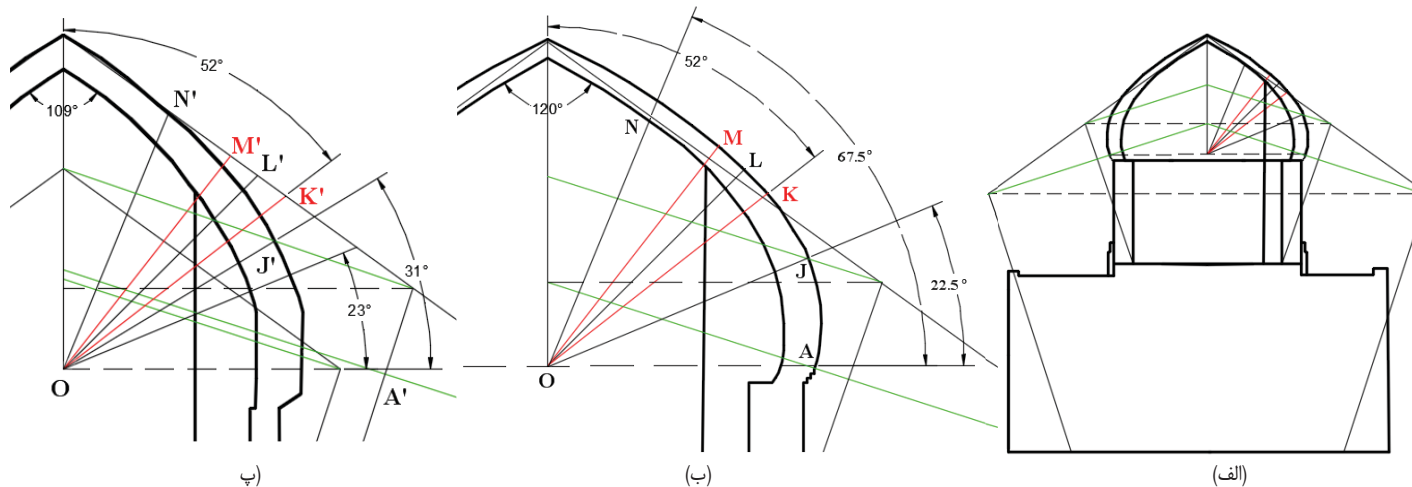
از دیگر ویژگی‌های ساختمانی بناها استفاده از چنبره است. چنبره المانی است استوانه‌ای یا چندگوش که در گنبد‌های دوپوسته اتصال گریو، آهیانه، و بام را تقویت می‌کند. این عضو از نظر سازه‌ای دارای اهمیت بسیاری است (ت ۹: C)؛ زیرا با افزایش ضخامت در پای سیستم، باعث تقسیم نیروهای فشاری به واحدهای کوچک‌تر و انتقال یکسان نیروها در پایه برای جلوگیری از نشست نقطه‌ای در طاق‌بندی و

موجود در بناها نشان می‌دهند که در معماری سنتی تناسب ارتفاع خشخاشی‌ها و ارتفاع سیستم گریو و گنبد به گونه‌ای در نظر گرفته می‌شده است، که خشخاشی‌ها بتوانند در اتصال با خود بخش‌های بالا و پایین زاویه 52° را، که در فشار و کشش هستند، مهار و به تعادل و پایداری گنبد کمک کنند. در سه بنای امامزادگان^(ع) قاسم کهک، ابوالعلی، و احمد پنج‌ضلعی بزرگ و سطح داخلی خود در زاویه $67/5^\circ$ برخورد می‌کنند (N) (ت ۱۱: ب)، در حالی که در دو بنای امامزادگان^(ع) محمد و قاسم شاوروق در این زاویه برخورد پنج‌ضلعی بزرگ و سطح خارجی خود رخ می‌دهد (N'). همچنین در این دو بنا برخورد نیمساز بالایی پنج‌ضلعی کوچک و خود (J') در زاویه 31° رخ می‌دهد (ت ۱۱: پ). در این دو بنا زاویه رأس خود 109° و در سه بنای نخست 120° است (ت ۱۱: ب). همچنین در این دو بنا دهانه گنبد نسبت به سه گزینه دیگر کوچک‌تر است. با توجه به تفاوت‌های میان دو بنای امامزادگان^(ع) محمد و قاسم شاوروق با سه بنای دیگر، علاوه بر تناسب ارتفاعی خشخاشی‌ها، خیز منحنی گنبد را نیز می‌توان پارامتری تأثیرگذار بر فرم و ابعاد اجزای فضای بین دو پوسته در نظر گرفت (جدول ۶).

(برابر با $1/2$ است. در تحلیل هندسی گنبد، برای پی بردن به چگونگی عملکرد سازه‌ای آن که در «ت ۱۱» مشاهده می‌شود، چنانچه محل برخورد نیمسازهای بالایی پنج‌ضلعی بزرگ و خود که حد بالای پیش‌نشستگی گنبد را مشخص می‌کند (AA') به هم وصل شوند، وسط این پاره‌خط مرکز جفت گنبد را مشخص می‌کند (O). نیمساز بالایی پنج‌ضلعی کوچک و خود در زاویه $22/5^\circ$ برخورد می‌کنند (J)، بیشترین تنش کششی مداری در گنبد در این ناحیه ایجاد می‌شود که با استفاده از خشخاشی‌ها مهار می‌شود. در گنبدها مدار با زاویه 52° نسبت به خط عمود (AOK) تحت اثر بار مرده تغییر طول نمی‌دهد^(۴۶)، در حالی که در مدارهای بالای این مدار تنش‌های فشاری و در مدارهای پایین آن تنش‌های کششی پدید می‌آیند. به دلیل توانایی مصالح بنایی در تحمل فشار، نیروهای فشاری که در بالای زاویه 52° قرار دارند، مشکلی ایجاد نمی‌کنند و مسئله اصلی نیروهای کششی مداری هستند که در پایین این زاویه ایجاد می‌شوند^(۴۷). این زاویه از نظر ارتفاعی در مکانی قرار می‌گیرد که قرینه آن نسبت به زاویه 45° ، (AOM) در برخورد با خود ارتفاع خشخاشی را مشخص می‌کند (M). تناسبات

46. M. Melaragno, *An Introduction to Shell Structures: The Art and Science of Vaulting*, p. 91.
47. Ibid.

ت ۱۱. شمای کلی خود در مقایسه با کل بنا (الف)، جزئیات هندسی خود در امامزادگان^(ع) قاسم کهک، ابوالعلی و احمد (ب) و محمد و قاسم شاوروق (پ)، ترسیم و تحلیل: نگارنده اول.



۷. جمع‌بندی

مطالعه بناهای مورد بررسی در پژوهش حاضر کاربرد ویژگی‌های شاخص معماری دوره تیموری در این بناها را آشکار کرد. البته تفاوت‌ها و تغییرات جزئی نیز در طرح هندسی این بناها در بررسی روند تاریخی آن‌ها مشاهده می‌شود. این تغییرات به گونه‌ای رخ می‌دهند که در آن اصول اساسی مانند طراحی بر مبنای اشکال پایه و سیستم تناسبات، که شیرازه طرح را تشکیل می‌دهند، حفظ شده‌اند و تفاوت‌ها در طراحی جزئیات یا در اصولی است که بنا بر مقتضیات زمانی و عرفی قابل تغییر هستند. می‌توان گفت ویژگی‌هایی که اصول طراحی هندسی موزون بنا را تعریف می‌کنند و بر پایداری بنا در هنگام ساخت و پس از آن تأثیرگذار هستند، مبنای کار طراحی و هندسه نظری بنا را تشکیل می‌دهند و ارتباط هندسه نظری و عملی را برقرار می‌کنند. از جمله این اصول می‌توان به رعایت اصل تقارن، استفاده از اشکال پایه تعریف شده با نسبت طلایی یا مضاربی از آن، ساخت گنبدخانه بر چهار طاق متشکل از چهار قوس اصلی، طراحی شعاعی پلان نسبت به مرکز گنبدخانه به شکل صلیب درون چهارگوش، و نظام طاق‌بندی سکنج اشاره کرد. همان‌گونه که در «جدول ۷» بر اساس «ت ۱۲» مشخص شده است، همه این موارد در بناهای مورد مطالعه آشکار شده‌اند. ابتدا کاربست همه موارد در بنای مرجع (ت ۱۲: الف) بررسی و سپس قابلیت انطباق آن در دیگر بناها ارزیابی شد (ت ۱۲: ب تا ث) و انطباق کامل آن با طرح مرجع مشخص شد. از نگاه تناسباتی می‌توان به استفاده فراوان از نسبت $1/2$ اشاره کرد. از این نسبت در تعیین ارتفاع خشخاشی‌ها (PR)، ارتفاع گریو (QR)، و تناسب ضخامت گریو (UV) استفاده شده است. همچنین استفاده از گوشه‌سازی برای تبدیل پلان چهارگوش به هشت‌گوش (F) و طراحی شعاعی پلان چلیپایی به شکل صلیب درون چهارگوش (W) نیز دیده می‌شود. مورد دیگر استفاده از قوس‌های تیزه‌دار با خیز بالاست، که همان‌گونه

که در مورد شماره «۷» در «جدول ۷» دیده می‌شود، در همه بناها استفاده شده است. در تمامی بناها بین ارتفاع گنبدخانه و عرض پلان نسبت ۱ به ۲ برقرار است (مورد شماره ۸). طاقچه‌های صلیبی پلان چلیپایی نقاط آغاز تویزه‌های متقاطع اضلاع هستند که هماهنگی در نقشه پلان، مقطع، و نما را به رخ می‌کشند (مورد ۹). در همه نمونه‌ها گنبد نسبت به گریو از داخل دارای پس‌نشستگی و از خارج دارای پیش‌آمدگی است (مورد ۱۰). از تفاوت‌های موجود در بناها نسبت به ویژگی‌های معماری تیموری می‌توان به کوتاه‌تر شدن ارتفاع بناها، کاستن از ارتفاع پیش‌طاق‌ها و ایوان‌ها برای افزایش تمرکز دیداری بر گنبد، افزایش قوس چفد آهیانه که افزایش ارتفاع آهیانه را در پی داشته و با راندن آهیانه به درون فضای دو پوسته امکان ایجاد پوسته تزئینی سوم به صورت رسمی‌بندی را فراهم می‌کرده است، و تغییر در الگوی بنا در طراحی هندسی جزئیات طرح اشاره کرد. با وجود اینکه در سیر تحول بناها ارتفاع کلی بنا کاهش یافته است، این کاهش ارتفاع در تناسب با ابعاد پلان بوده است، به گونه‌ای که همواره تناسب میان عرض و ارتفاع رعایت و ابعاد کلی بنا همواره در محدوده مستطیل طلایی تعریف شده است. به دلیل برقراری نظم هندسی و تناسبات در کل ساختار بنا و آگاهی معمار از این تناسبات و تسلط وی بر الگوی طراحی، مرمت یا حتی بازسازی بخش‌های از دست‌رفته بناها به منظور تکمیل آن به آسانی انجام می‌شده است. بنابراین رمزگشایی و کشف این الگوها می‌تواند در رمزگشایی از هندسه بناها، به‌ویژه بناهای دارای گنبد دو پوسته، که بخش‌هایی از

جدول ۶ ارتباط ویژگی‌های هندسی و نظام ساختمانی گنبدها، بررسی و تحلیل: نگارنده اول.

ارتباطات موجود				
قاسم کهک	ابوالعلی محمد	قاسم شاوروق	احمد	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	برخورد نیمساز پنج‌ضلعی کوچک و خود در زاویه $22/5$ درجه
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	برخورد پنج‌ضلعی بزرگ و سطح خارجی خود در زاویه 52 درجه
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	برخورد پنج‌ضلعی بزرگ و سطح داخلی خود در زاویه $67/5$ درجه
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ارتفاع خشخاشی برابر با محل برخورد قرینه زاویه 52 درجه نسبت به زاویه 45 درجه و خود خیز
۰/۷	۰/۸	۰/۹	۰/۷	

جدول ۷ (چپ). بازنمایی ویژگی‌های شاخص معماری تیموری بر طرح هندسی بناها در پلان، مقطع و نما، تدوین: نگارنده اول. ت ۱۲ (راست). امامزادگان؛ قاسم کهک (A)، ابوالعلی (B)، محمد (C)، قاسم شاوروق (D)، احمد (E)، ترسیم و تحلیل: نگارنده اول.

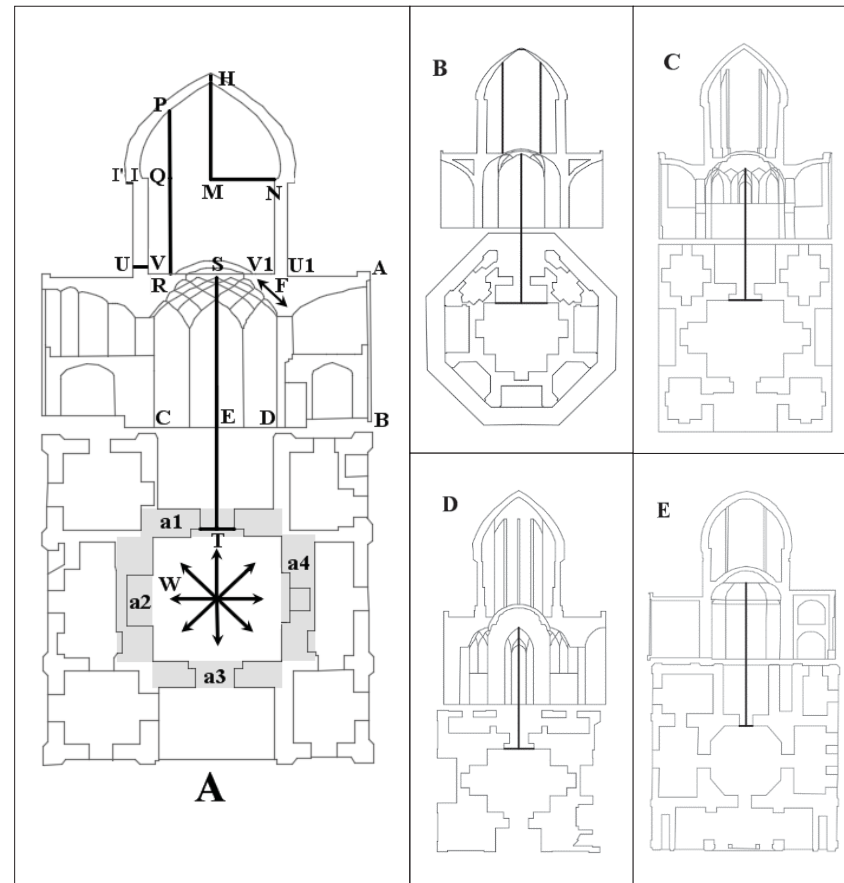
آن‌ها از بین رفته است و مستنداتی در مورد آن‌ها وجود ندارد، راهگشا باشد و اطلاعات مربوط به بخش‌هایی از معماری ایرانی را که، به دلیل از بین رفتن بناها، اطلاعاتی از آن‌ها در دست نیست، تکمیل کند.

۸. نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر پنج نمونه از بناهای دارای گنبد دوپوسته گسسته در منطقه تفرش مطالعه هندسی و ارزیابی عددی شدند. بررسی‌ها مشخص کرد کاربرد هندسه در معماری

تنها برای آفرینش طرح‌ها نیست، بلکه وجود اندیشه‌ای باعث ضرورت آن شده است. طرح هندسی آمیخته با تناسبات با به‌کارگیری مصالح منجر به آفرینش کالبد بناها می‌شود. کالبدی که نظام ساختمانی‌ای را در خود دارد که در پایداری بناها در سالیان دراز مؤثر بوده است. تطبیق الگوی مرجع بر نمونه‌ها مشخص کرد که اصول اصلی طراحی در آن‌ها تطابق زیادی دارند و تفاوت‌ها یا در طراحی جزئیات بروز می‌یابند یا ناشی از به‌کارگیری سیستم‌های تناسباتی متفاوت هستند. طراحی هندسی بناها در نما و مقطع بر مبنای اشکال پایه‌ای مانند پنج‌ضلعی منتظم، مستطیل، و دایره و در پلان با استفاده از چهارگوش صورت گرفته است. تناسبات طلایی موجود در اشکال هندسی پایه در همه ساختار بناها جاری شده است. تناسب طلایی و تناسب طلایی ایرانی در بخش‌های مختلف بناها استفاده شده‌اند. هندسه و تناسبات تعریف‌شده در طرح بناها با استفاده از روش‌های گوناگون به شکل یک راه حل برای تأمین پایداری بناها استفاده شده‌اند. درحقیقت پیوند

ویژگی‌های شاخص معماری تیموری	
۱	استفاده از اشکال پایه با نسبت طلایی یا مضربی از آن، در تعیین ابعاد کلی
۲	رعایت اصل تقارن (محوری و شعاعی)
۳	چهار طاق متشکل از چهار قوس اصلی اساس گنبدخانه را تشکیل می‌دهد (a1, 2, 3, 4)
۴	طراحی شعاعی پلان چلیپایی (W)
۵	نظام طاق‌بندی (رسمی‌بندی) و گوشه‌سازی (F)
۶	استفاده بسیار از نسبت $1.2 = (\sqrt{5}-1)$ ، $1.2 = \frac{HS}{PR} = \frac{HS}{PR} = \frac{UU1}{VV1}$
۷	وجود قوس‌های حاصل از تقاطع دو بیضی با ارتفاع تیزهٔ بیش از نیم‌دهانهٔ $HM > MN$
۸	تناسب ۱ به ۲ ارتفاع و عرض نما $\frac{AB}{EB} = 1$
۹	یکسانی ارتفاع نما با عرض ورودی $AB=CD$
۱۰	انطباق مرکز چلیپا با نقاط آغاز توپزه‌های متقاطع ST
۱۱	پیش‌نشستگی گنبد نسبت به گریو II'



هندسی خشخاشی‌ها با ابعاد سیستم گریو و گنبد، به‌ویژه بعد ارتفاعی، در رفتار سازه‌ای سیستم، به‌ویژه کنترل تنش‌های کششی و فشاری، نقش تعیین‌کننده‌ای دارد.

نسبت ۱/۲ نسبتی بهینه در تعیین ارتفاع خشخاشی‌ها و ضخامت و ارتفاع گریو به حساب آمده و استفاده شده است. از آنجا که انتقال بار گنبد در راستای گریو و از طریق جرزهای تعریف‌کننده حدود پلان گنبدخانه انجام می‌شود، قطر گریو ارتباط مستقیم با ابعاد پلان فضای گنبدخانه دارد و متناسب با آن تغییر می‌کند.

میان هندسه نظری و عملی با به‌کارگیری تناسبات ایجاد شده است. برای افزایش پایداری گنبد در برابر ترک‌های لرزه‌ای، در طرح هندسی پیوستگی سطح مقطع پای گنبد و گریو با بیرون‌نشستگی گنبد کاهش یافته است و در اجرا برای توزیع متناسب بار در پای گنبد، پیش‌آمدگی به صورت تدریجی و در چند لایه انجام شده است. خیز گنبد و ابعاد خشخاشی‌ها از پارامترهای تعیین‌کننده ارتباط طرح هندسی و نظام سازه‌ای گنبد‌های دوپوسته گسسته به‌شمار می‌روند. تناسب میان ابعاد

منابع و مأخذ

- اوکین، برنارد. *معماری تیموری در خراسان*، برگردان علی آخشینی، مشهد: بنیاد پژوهش‌های اسلامی آستان قدس رضوی، ۱۳۸۶.
- بلوم، جاناتان و شیلت بلر. *هنر و معماری اسلامی در ایران و آسیای مرکزی*، ج ۱، برگردان محمدموسی هاشمی گلپایگانی، تهران: وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، ۱۳۸۲.
- بزنوال، رونالد. *فناوری تاق در خاور کهن*، ج ۱ و ۲، برگردان محسن حبیبی، تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور، ۱۳۷۹.
- پوپ، آرتور ایهام و فیلیس اکرم. *سیری در هنر ایران: از دوران پیش از تاریخ تا امروز*، ج ۳، برگردان باقر آیت‌الله‌زاده شیرازی، تهران: شرکت انتشارات علمی فرهنگی، ۱۳۸۷.
- پوپ، آرتور ایهام. *معماری ایران: پیروزی، شکل و رنگ*، برگردان کرامت‌الله افسر، تهران: انتشارات فرهنگسرا، ۱۳۷۳.
- پوراحمدی، مجتبی. «هندسه در گنبد آرامگاه شیخ زاهد گیلانی: الگویی برای طراحی گنبد در کرانه جنوبی دریای خزر»، در *نشریه هنرهای زیبا*، ش ۴۳ (پاییز ۱۳۸۹)، ص ۸۳-۹۲.
- پیرنیا، محمدکریم. «رمغان‌های ایران به جهان معماری: گنبد»، در *هنر و مردم*، ش ۱۳۶ و ۱۳۷ (بهار و اسفند ۱۳۵۲)، ص ۷۲.
- _____. *آشنایی با معماری اسلامی ایران: ساختمان‌های درون‌شهری و برون‌شهری*، تدوین غلامحسین معاریان، تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۷۸.
- _____. *درسنامه معماری اسلامی ۲*، تهران: دانشگاه تهران، ۱۳۷۰.
- تهرانی، فرهاد و مجید راسخی. «تاق و قوس»، در *بولتن مهندسين*
- فلورانس، ش ۶ (۱۳۸۸)، ص ۱۲-۳۱.
- حاجی قاسمی، کامبیز. «هندسه پنهان در نمای مسجد شیخ لطف‌الله»، در *صفه*، ش ۲۱ و ۲۲ (بهار و تابستان ۱۳۷۵)، ص ۲۸-۳۳.
- حاجی قاسمی، کامبیز و همکاران. *گنجنامه: فرهنگ آثار معماری اسلامی ایران*، ج ۲۰، ج ۱۱ و ۱۲ و ۱۳: *امامزاده‌ها و مقابر*، تهران: دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۸۹.
- حجازی، مهرداد و رسول میرقادر. «تحلیل لرزه‌ای گنبد‌های ایرانی»، در *نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران*، ش ۸۸ (اسفند ۱۳۸۳)، ص ۷۵۷-۷۴۷.
- خزایی، محمد. «ساختار و نقش‌مایه‌های مدارس دوره تیموری در خطه خراسان»، در *دوفصلنامه علمی پژوهشی مطالعات هنر اسلامی*، ش ۱۱ (پاییز و زمستان ۱۳۸۸)، ص ۵۹-۷۸.
- دهار، علی و رضا علیپور. «تحلیل هندسی معماری مسجد شیخ لطف‌الله اصفهان جهت تعیین ارتباط هندسی نمازخانه با جلوخان ورودی بنا»، در *نشریه باغ نظر*، ش ۲۶ (پاییز ۱۳۹۲)، ص ۳۳-۴۰.
- رحیمی آریایی، افروز و نیما ولی‌بیگ و ساناز رهروی پوده. «تحلیل ویژگی‌های هندسی و توانمندی معماران محلی در فن‌آوری ساخت گنبد‌های دوپوسته گسسته در شیوه نایین»، در *پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران*، ش ۱۴ (پاییز ۱۳۹۶)، ص ۱۹۱-۲۰۶.
- رضازاده اردبیلی، مجتبی و مجتبی ثابت فرد. «بازشناسی کاربرد اصول هندسی در معماری سنتی: قصر خورشید و هندسه پنهان آن»، در *هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی*، دوره ۱۸، ش ۱ (بهار ۱۳۹۲)، ص ۲۹-۴۴.

- زمانی فرد، علی. «نگاهی به مرمت گنبد در ایران»، در نشریه اثر، ش ۳۳ و ۳۴ (بهار و تابستان ۱۳۸۱)، ص ۲۲۷-۲۷۷.
- زمرشیدی، حسین. گنبد و عناصر تاقی ایران، تهران: زمان، ۱۳۸۹.
- سالوادوری، ماریو جورج. سازه در معماری، برگردان محمود گلاچی، تهران: موسسه انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.
- شراهی، اسماعیل و جواد نیستانی. «بررسی باستان‌شناسی معماری آرامگاه‌های دوره صفوی تفرش، استان مرکزی»، در فصلنامه علمی تخصصی باستان‌شناسی ایران، ش ۶ (بهار و تابستان ۱۳۹۳)، ص ۸۳-۱۰۶.
- گذار، آندره و پدا گذار و ماکسیم سیرو. آثار ایران، برگردان ابوالحسن سروقد مقدم، مشهد: بنیاد پژوهش‌های اسلامی آستان قدس رضوی، ۱۳۷۸.
- گزارش ثبتی بقعه سکینه خاتون، قم: مدیریت میراث فرهنگی استان قم، ۱۳۷۸.
- گلمیک، لیزا و دونالد ویلبر. معماری تیموری در ایران و توران، برگردان محمدیوسف کیانی و کرامت‌الله افسر، تهران: سازمان میراث فرهنگی، ۱۳۷۴.
- معماریان، غلامحسین. سازه‌های تاقی در معماری اسلامی ایران، تهران: جهاد دانشگاهی علم و صنعت، ۱۳۶۷.
- _____ . معماری ایرانی: نیارش، تهران: گلجام، ۱۳۹۷.
- نوابی، کامبیز و کامبیز حاجی‌قاسمی و جلیل رسولی. خشت و خیال: شرح Feizolahbeigi, A. & P. Lourenco & M. Golabchi & J. Ortega & M. Rezazadeh. "Discussion of the Role of Geometry, Proportion and Construction Techniques in the Seismic Behavior of of 16th to 18th century bulbous discontinuous double shell domes in central Iran *Journal of Building Engineering*, 33(2021), in <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101575>
- Hejazi, M. & A. Salari. "Seismic Analysis of Masonry Structures including Dynamic Soil Structure Interaction", in *Journal of Faculty of Engineering: University of Tabriz*, Vol. 28, No. 3 (2002), pp. 2335.
- Melaragno, M. *An Introduction to Shell Structures: The Art and Science of Vaulting*, van Nostrand Reinhold, 1991.
- O'kane, B. *Dome in Iranian Architecture, Iranian Art and Architecture*, in <http://www.caissoas.com/CAIS/Architecture>, 1998.
- Safaeipour, H. "Typology of Khashkhashi in Structure of Double Shell Domes", *Submitted to International Conference of Domes in the World*, Florence, 2011, pp. 119.
- معماری اسلامی ایران، تهران: دانشگاه شهید بهشتی و سروش، ۱۳۹۰.
- نوراللهی، علی و سارا علی‌لو. «پژوهشی در بناهای آرامگاهی تفرش»، در نشریه دیار، ش ۲ (۱۳۹۵).
- هوف، دیتریش. گنبدها در معماری اسلامی، برگردان کرامت‌الله افسر، تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی، ۱۳۷۵.
- هیلن‌براند، رابرت. «جنبه‌های معماری تیموری در آسیای میانه»، برگردان داوود طبایی، در گلستان هنر، ش ۱۴ (زمستان ۱۳۸۷)، ص ۶۵-۸۲.
- _____ . معماری اسلامی: شکل، کارکرد و معنی، برگردان باقر آیت‌الله‌زاده شیرازی، تهران: روزنه، ۱۳۹۳.
- وحدت‌طلب، مسعود و سمیه قدیم‌زاده. «بررسی ظرافت شکل در گنبدخانه‌های ایرانی (سده نهم تا دوازدهم)»، در هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، دوره ۲۳، ش ۳ (۱۳۹۷)، ص ۲۷-۴۰.
- ولی‌بیگ، نیما و ساناز رهروی پوده و افروز رحیمی آریایی. «تحلیل جزئیات هندسی و اجرایی در گنبد‌های دوپوسته گسسته نار شاخص شهر اصفهان: نمونه مطالعاتی: گنبد‌های مسجد جامع عباسی، آرامگاه‌های درب امام، مدرسه چهارباغ اصفهان، و کلیسای بیت اللحم»، در صفا، ش ۷۳ (تابستان ۱۳۹۵)، ص ۸۵-۱۰۳.
- ویلبر، دونالد. معماری اسلامی ایران در دوره ایلخانان، برگردان عبدالله فریار، تهران: شرکت انتشارات علمی و فرهنگی، ۱۳۶۵.
- Ashkan, M. & Y. Ahmad. "Persian Domes: History, Morphology and Typologies", in *Archnetijar, International Journal of Architectural Research*, Vol. 3, No. 5 (2009), pp. 95115.
- Ashkan, M. & Y. 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. 287319.
- Ashkan, M. & Y. Ahmad. "The Significant of Iranian Domes: Analysis of Morphology and Typologies", Conference: International Conference on Building Science and Engineering, At: ICONBSE Johor Baru, Vol. 1, 2009.
- Attarabbasi, M. & S. Hematzadeh Dastgerdi & G. Mahboobi. "A Survey of Structural Behavior and Stability of Davazdah Emam Dome in Yazd Against Earthquake", in *Journal of Structural Analysis Earthquake. Iran*, Vol. 12/3 (2015), pp. 2532.
- Dinani A.T. & S. Sadeghi & P.B. Lourenço. "A Double Dome through the Ages", in Aguilar R. & D. Torrealva & S. Moreira & M.A. Pando & L.F. Ramos (eds), *Structural Analysis of Historical Constructions*, RILEM Book series, Vol. 18 (2019), Springer, Cham.