مجله پژوهش های معاصر در علوم و تحقیقات
سال هشتم، شماره۸۷، مهر ۱۴۰۵
ISSN: ۲۶۷۶-۵۷۶٤
www.jocrisar.ir

بررسی معمای گنبد: تبدیل چهارضلعی به دایره و نهایتاً نقطه؛ (مطالعه موردی گونه‌های گوشه‌سازی موجود در مسجد جامع اصفهان)

سید مصطفی علوی[۱]، شهرام تقی پور[۲]

[۱] دکترای مهندسی معماری، دانشکده معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران (نویسنده مسئول)
[۲] گروه معماری، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران

چکیده

گنبد در معماری ایران، علاوه بر نقش پوششی، حاصل حل مسئله‌ای پیچیده در ارتباط میان دو نظام هندسی متفاوت، یعنی فضای چهارضلعی در پایه و ساختار مدور در پوشش فوقانی است. مهم‌ترین بخش این فرایند، منطقه انتقال یا گوشه‌سازی است که امکان تبدیل تدریجی مربع به دایره و شکل‌گیری گنبد را فراهم می‌کند. مسجد جامع اصفهان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین نمونه‌های معماری اسلامی ایران، مجموعه‌ای متنوع از راهکارهای گوشه‌سازی و نظام‌های انتقالی را در دوره‌های مختلف تاریخی در خود جای داده است. این پژوهش با هدف بررسی مفهوم «معمای گنبد» و تحلیل نقش گوشه‌سازی به‌عنوان نظام واسط میان چهارضلعی، دایره و نقطه رأس گنبد انجام شده است. همچنین تلاش دارد گونه‌های مختلف گوشه‌سازی موجود در مسجد جامع اصفهان را از منظر هندسی، سازه‌ای و فضایی بررسی و مقایسه کند. روش تحقیق، مروری ـ تحلیلی است که با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، بررسی منابع تاریخی و تحلیل نمونه‌های معماری مسجد جامع اصفهان انجام شده است. نمونه‌های منتخب بر اساس نوع منطقه انتقال، شیوه تبدیل هندسی، سازمان سازه‌ای و کیفیت فضایی دسته‌بندی و تحلیل شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که گوشه‌سازی در مسجد جامع اصفهان عنصری صرفاً سازه‌ای یا تزئینی نیست، بلکه نظامی چندوجهی برای حل مسئله انتقال هندسی محسوب می‌شود. گونه‌های مختلف سکنج، انتقال‌های چندلایه، قوس‌های متداخل و طاق‌بندی‌های پیچیده، هرکدام راهبردی متفاوت برای نزدیک کردن چهارضلعی به دایره و هدایت فرم به سوی تمرکز در رأس گنبد ارائه می‌کنند. گنبد در معماری ایرانی حاصل یک فرایند پیوسته از تبدیل، تعدیل و تمرکز هندسی است. مسجد جامع اصفهان نشان می‌دهد که گوشه‌سازی چگونه از یک ضرورت ساختمانی به نظامی خلاقانه برای تولید فرم و تجربه فضایی تبدیل شده است.

واژه‌های کلیدی: گنبد، گوشه‌سازی، مسجد جامع اصفهان، هندسه معماری، منطقه انتقال.

مقدمه

گنبد یکی از بنیادی‌ترین عناصر شکل‌دهنده به معماری ایران است که اهمیت آن را نمی‌توان تنها در سیمای بیرونی یا کیفیت نمادین بنا خلاصه کرد؛ زیرا شکل‌گیری آن حاصل حل مسئله‌ای پیچیده در پیوند میان هندسه، سازه و سازمان فضایی است. یکی از اساسی‌ترین مسائل در ساخت فضای گنبددار، استقرار پوششی با هندسه مدور بر فراز فضایی با قاعده چهارضلعی است. ازاین‌رو، معمار ناگزیر از ایجاد ناحیه‌ای واسط میان دیوارهای قائم و سطح منحنی گنبد بوده است؛ ناحیه‌ای که افزون بر انتقال نیرو، باید تغییر هندسه را نیز به‌گونه‌ای منسجم امکان‌پذیر سازد. در معماری اسلامی، تنوع گسترده راه‌حل‌های پوششی و شیوه‌های انتقال از مربع به گنبد نشان می‌دهد که ساخت گنبد صرفاً عملی سازه‌ای نبوده، بلکه بخشی از فرایند سازمان‌دهی هندسی و ادراک فضایی بنا محسوب می‌شده است . (هیلن‌برند، ۱۹۹۴).در سنت معماری ایران، سابقه استفاده از گنبد بر فراز فضای چهارگوش به دوران پیش از اسلام بازمی‌گردد و نمونه‌های ساسانی از نخستین شواهد مهم کاربرد گوشه‌سازی برای ایجاد ناحیه انتقال به شمار می‌روند. در این شیوه، گوشه‌های فضای مربع به کمک عناصر واسط حذف یا تعدیل می‌شوند تا قاعده‌ای چندضلعی و سپس بستری مناسب برای استقرار گنبد شکل گیرد. استمرار و توسعه این راهکار در دوره اسلامی سبب پیدایش صورت‌های متنوع‌تر و پیچیده‌تری از گوشه‌سازی شد؛ به‌گونه‌ای که در معماری ایران، سکنج‌ها، طاق‌های گوشه‌ای و نظام‌های چندبخشی انتقالی به تدریج از راه‌حل‌های ساده ساختمانی به ساختارهایی پیچیده با ظرفیت‌های هندسی و تزئینی تبدیل شدند. (اوکین، ۱۹۹۵).

از منظر هندسی، مسئله گنبد را می‌توان به‌صورت فرایندی از تغییر شکل تدریجی تعریف کرد :چهارضلعی، چندضلعی، دایره و در نهایت نقطه رأس گنبد .در این توالی، گوشه‌سازی محل اصلی وقوع تغییر است؛ زیرا مربع پایه، با حذف یا تقسیم تدریجی گوشه‌ها به هشت‌ضلعی، شانزده‌ضلعی یا چندضلعی‌های پرضلع‌تر نزدیک می‌شود و در نهایت زمینه شکل‌گیری دایره پایه گنبد فراهم می‌آید. این فرایند بیانگر آن است که هندسه در معماری اسلامی صرفاً وسیله ترسیم فرم نیست، بلکه نقشی تعیین‌کننده در هماهنگی میان ساختار، تناسب و سازمان فضایی دارد؛ موضوعی که در بررسی تحولات معماری سرزمین‌های اسلامی و به‌ویژه ایران نیز مورد تأکید قرار گرفته است. (اتینگهاوزن و همکاران، ۲۰۰۱).در این میان، مسجد جامع اصفهان بستری کم‌نظیر برای مطالعه تحول این مسئله به شمار می‌رود. این مجموعه در نتیجه ساخت، بازسازی و توسعه مستمر طی دوره‌های مختلف تاریخی پدید آمده و مجموعه‌ای متنوع از تجربه‌های معماری ایران را در خود جای داده است. مداخلات دوره سلجوقی، به‌ویژه احداث فضای گنبددار نظام‌الملک در جنوب و گنبد تاج‌الملک در شمال، نقطه‌ای تعیین‌کننده در تحول معماری گنبدی مسجد محسوب می‌شوند. در گنبد شمالی، نحوه تقسیم عناصر قوسی، گوشه‌سازی‌ها، طاق‌نماهای کوچک‌تر و هندسه پیچیده پوشش، نمونه‌ای برجسته از یکپارچگی منطق سازه‌ای و سازمان هندسی در معماری سلجوقی ارائه می‌کند. (بابایی، ۲۰۰۷).

اهمیت مسجد جامع اصفهان تنها به وجود دو گنبد شاخص محدود نیست؛ تنوع پوشش‌ها و شیوه‌های حل مسئله انتقال در بخش‌های مختلف آن، این بنا را به نوعی مجموعه آموزشی از تجربه‌های معماری ایران تبدیل کرده است. اهمیت تاریخی و فنی این مجموعه تا آنجاست که مسجد جامع اصفهان به دلیل نمایش پیوستگی چندین سده تحول معماری و نیز نوآوری‌های آن در سازمان فضایی و ساختمان گنبد، در فهرست میراث جهانی ثبت شده است(مرکز میراث جهانی یونسکو، ۲۰۱۲). بنابراین، مطالعه گونه‌های گوشه‌سازی این مسجد می‌تواند امکان بازخوانی فرایند تحول یک مسئله مشترک، یعنی تبدیل فضای چهارضلعی به ساختاری مدور و نهایتاً همگرایی آن در رأس گنبد را فراهم سازد.

بر این اساس، پژوهش حاضر با رویکردی مروری ـ تحلیلی در پی آن است که «معمای گنبد» را نه صرفاً به‌عنوان مسئله‌ای سازه‌ای، بلکه به منزله فرایندی هندسی و فضایی بررسی کند. تمرکز بر گونه‌های گوشه‌سازی مسجد جامع اصفهان امکان مقایسه راه‌حل‌های متفاوت برای عبور از چهارضلعی به دایره را فراهم می‌آورد و می‌تواند نشان دهد که چگونه معمار ایرانی از

طریق تجزیه، تعدیل و بازترکیب هندسه، میان قاعده زمینی فضای معماری و پوشش منحنی گنبد رابطه‌ای پیوسته ایجاد کرده است. در چنین خوانشی، نقطه رأس گنبد پایان یک توالی هندسی است که از چهارضلعی آغاز شده و از طریق نظام پیچیده گوشه‌سازی به وحدت فضایی دست می‌یابد.

مبانی نظری و مفهومی

گنبد به‌عنوان مسئله هندسی

گنبد از منظر هندسی، صرفاً یک پوشش منحنی بر فراز بنا نیست، بلکه نتیجه حل مسئله‌ای چندمرحله‌ای در تبدیل یک نظام هندسی به نظامی دیگر است. در بسیاری از بناهای تاریخی، فضای زیر گنبد دارای قاعده‌ای مربع یا نزدیک به مربع است، در حالی که سطح آغازین گنبد بر هندسه‌ای مدور استوار می‌شود. از این رو، میان هندسه قائم و گوشه‌دارِ فضای زیرین و هندسه پیوسته و منحنیِ پوشش فوقانی، نوعی ناپیوستگی اولیه وجود دارد که باید به کمک سازوکاری واسط برطرف شود. همین تضاد، مسئله بنیادی هندسه گنبد را شکل می‌دهد؛ زیرا استقرار مستقیم یک دایره بر مربع، بدون سازمان‌دهی ناحیه انتقال، از نظر فضایی و سازه‌ای راه‌حلی کامل محسوب نمی‌شود. در معماری اسلامی، این مسئله به شکل‌گیری مجموعه‌ای از راه‌حل‌های هندسی منجر شده که هدف مشترک آن‌ها تبدیل تدریجی پلان چهارگوش به پایه‌ای مناسب برای گنبد است . (هیلن‌برند، ۱۹۹۴). از نظر ریاضی، مربع و دایره دو ساختار متفاوت دارند. مربع بر چهار ضلع مستقیم، چهار زاویه قائم و چهار رأس تأکید می‌کند، در حالی که دایره فاقد رأس و دارای پیوستگی کامل در پیرامون خود است. در نتیجه، تبدیل یکی به دیگری نیازمند کاهش تدریجی اثر گوشه‌هاست. یکی از رایج‌ترین راه‌حل‌ها، بریدن یا پوشاندن گوشه‌های مربع و ایجاد هشت‌ضلعی است؛ سپس با افزایش تعداد اضلاع، شکل حاصل به دایره نزدیک‌تر می‌شود. از این منظر، مراحل مربع، هشت‌ضلعی، شانزده‌ضلعی و چندضلعی‌های پرضلع را می‌توان مراتب یک فرایند هندسی واحد در نظر گرفت. این منطق در معماری اسلامی اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا کاربرد هندسه تنها به نقش‌های تزئینی محدود نمی‌شود و در سازمان‌دهی اجزای معماری، تناسبات و شکل‌گیری ساختارهای سه‌بعدی نیز نقشی بنیادی ایفا می‌کند . (نجیب‌اوغلو، ۱۹۹۵).

در معماری ایران، یکی از مهم‌ترین پاسخ‌ها به این مسئله، کاربرد سکنج بوده است. سکنج با قرار گرفتن در چهار گوشه فضای مربع، محدوده‌ای را که از نظر هندسی برای قرارگیری دایره نامناسب است تعدیل می‌کند و پایه‌ای چندضلعی برای آغاز گنبد پدید می‌آورد. اهمیت این عنصر در آن است که تبدیل هندسی را هم‌زمان با انتقال نیرو انجام می‌دهد؛ بنابراین مرز میان مسئله هندسی و مسئله سازه‌ای در آن از یکدیگر جدا نیست. پیشینه استفاده از این شیوه در معماری ایران به دوره پیش از اسلام بازمی‌گردد و توسعه آن در دوره اسلامی سبب شد انواع متفاوتی از گوشه‌سازی، از فرم‌های ساده تا ترکیبات چندلایه و پیچیده، شکل گیرند. (اوکین، ۱۹۹۵). هندسه گنبد تنها در سطح افقی و تبدیل پلان مطرح نیست، بلکه در بعد عمودی نیز قابل بررسی است. هنگامی که قاعده چندضلعی یا مدور برای گنبد شکل می‌گیرد، سطح پوشش از پیرامون گسترده خود به سوی رأس حرکت می‌کند. بنابراین، اگر در پلان حرکت از مربع به دایره رخ می‌دهد، در مقطع نوعی حرکت از محیط گسترده به سمت یک نقطه نهایی قابل مشاهده است. رأس گنبد از منظر هندسی محل همگرایی مسیرهای مولد سطح است و در نتیجه می‌توان کل ساختار گنبد را به‌صورت نظامی دانست که از تعدد اضلاع و جهات در پایین، به تمرکز هندسی در بالا منتهی می‌شود. مطالعات هندسی درباره گنبدهای ایرانی نیز نشان داده‌اند که تعیین منحنی مقطع، ارتفاع، نسبت دهانه به خیز و چگونگی شکل‌گیری پوسته، از مؤلفه‌های اصلی در تعریف صورت هندسی گنبد به شمار می‌روند(دولد-سامپلونیوس و هارمسن، ۲۰۰۵). همچنین هندسه گنبد مستقیماً بر رفتار سازه‌ای آن اثر می‌گذارد. انحنای پوسته، ارتفاع گنبد، ضخامت مصالح و نحوه انتقال بار به تکیه‌گاه‌ها تعیین می‌کنند که نیروهای فشاری و رانش جانبی چگونه در ساختار توزیع شوند. در بناهای بنایی، فرم هندسی به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود که مصالحی چون آجر و ملات عمدتاً تحت فشار عمل کنند؛ ازاین‌رو شکل

هندسی گنبد را نمی‌توان مستقل از منطق تعادل سازه‌ای تحلیل کرد. هیمن (۱۹۹۵) نشان می‌دهد که پایداری سازه‌های بنایی تاریخی بیش از آنکه وابسته به مقاومت کششی مصالح باشد، به شکل، هندسه و امکان قرارگیری خطوط نیرو درون ضخامت سازه وابسته است.

بر این اساس، «گنبد به‌عنوان مسئله هندسی» را می‌توان در سه مرحله اصلی صورت‌بندی کرد: نخست، تبدیل قاعده چهارضلعی به چندضلعی در ناحیه گوشه‌سازی؛ دوم، نزدیک شدن تدریجی چندضلعی به دایره پایه گنبد؛ و سوم، حرکت سطح منحنی از دایره پایه به سوی نقطه رأس. این خوانش امکان می‌دهد انواع گوشه‌سازی نه به‌عنوان عناصر منفرد و صرفاً تزئینی، بلکه به مثابه راه‌حل‌های متفاوت برای یک مسئله هندسی مشترک تحلیل شوند. چنین چارچوبی به‌ویژه در مطالعه مسجد جامع اصفهان اهمیت دارد؛ زیرا تنوع نظام‌های پوششی این مجموعه امکان مقایسه شیوه‌های مختلف حل رابطه میان مربع، چندضلعی، دایره و گنبد را در بستری تاریخی فراهم می‌سازد.

مفهوم تبدیل چهارضلعی به دایره

تبدیل چهارضلعی به دایره یکی از مسائل بنیادی در شکل‌گیری فضاهای گنبددار است، زیرا میان هندسه فضای زیرین و هندسه پوشش فوقانی تفاوتی ماهوی وجود دارد. فضای پایه غالباً به‌صورت مربع یا چهارضلعی سازمان می‌یابد؛ شکلی که دارای چهار رأس مشخص، چهار امتداد مستقیم و ساختاری جهت‌مند است. در مقابل، دایره بر پیوستگی پیرامونی، نبود گوشه و تمرکز حول یک مرکز استوار است. از این رو، اتصال مستقیم این دو هندسه بدون ایجاد یک ناحیه واسط، هم از نظر شکلی و هم از نظر سازه‌ای دشوار است. در معماری اسلامی، مسئله اصلی آن است که گوشه‌های مربع به‌تدریج حذف یا خنثی شوند تا محیطی نزدیک به دایره برای استقرار گنبد فراهم شود؛ مسئله‌ای که در بسیاری از سنت‌های معماری به پیدایش سامانه‌های متنوع انتقالی انجامیده است(هیلن‌برند، ۱۹۹۴) از دیدگاه هندسی، این تبدیل را می‌توان فرایندی تدریجی دانست که در آن تعداد جهات و اضلاع افزایش می‌یابد و تفاوت میان چندضلعی و دایره کاهش پیدا می‌کند. یکی از الگوهای متداول، تبدیل مربع به هشت‌ضلعی از طریق بریدن یا پوشاندن چهار گوشه است. در مرحله بعد، هشت‌ضلعی می‌تواند با تقسیمات بیشتر به شانزده‌ضلعی یا چندضلعی‌های پرضلع‌تر تبدیل شود تا محیط حاصل از نظر بصری و هندسی به دایره نزدیک‌تر گردد. این منطق با اصول کلی هندسه چندضلعی‌ها سازگار است؛ زیرا با افزایش تعداد اضلاع یک چندضلعی منتظم، فاصله آن از محیط دایره کاهش می‌یابد. در معماری اسلامی، چنین روندی نه‌فقط در ساختارهای گنبدی بلکه در الگوهای هندسی و نظام‌های تقسیم‌بندی سطوح نیز دیده می‌شود و نشان‌دهنده نقش محوری هندسه در تبدیل شکل‌های پایه به ساختارهای پیچیده‌تر است. (نجیب‌اوغلو، ۱۹۹۵).

در عمل، این فرایند هندسی از طریق عناصر معماری مشخصی تحقق می‌یابد. سکنج یکی از قدیمی‌ترین و مهم‌ترین این عناصر است که در گوشه فضای مربع قرار می‌گیرد و با ایجاد سطح یا طاقی مورب، گوشه قائم را به بخشی از یک چندضلعی تبدیل می‌کند. بدین ترتیب، مربع اولیه به هشت‌ضلعی یا شکلی نزدیک به آن تغییر می‌یابد. کاربرد سکنج در معماری ایران سابقه‌ای پیش از اسلام دارد و در دوره‌های اسلامی با پیچیدگی بیشتری ادامه یافته است. نقش آن فراتر از حذف ساده گوشه‌هاست؛ زیرا هم‌زمان با تغییر هندسه پلان، شرایط انتقال بار گنبد به دیوارها یا جرزهای زیرین را نیز فراهم می‌کند. همین پیوند میان فرم و عملکرد سازه‌ای سبب شده است که سکنج به یکی از مهم‌ترین ابزارهای حل مسئله تبدیل چهارضلعی به دایره در معماری ایران بدل شود. (اوکین، ۱۹۹۵). در کنار سکنج، پیدایش نظام‌های پیچیده‌تری مانند مقرنس، کاربندی و تقسیمات چندلایه باعث شد منطقه انتقال به فضایی مستقل و واجد کیفیت بصری تبدیل شود. در این شیوه‌ها، گذار از مربع به دایره دیگر در یک مرحله انجام نمی‌شود، بلکه از طریق مجموعه‌ای از سطوح کوچک، طاقچه‌ها، نیم‌طاق‌ها و تقسیمات هندسی متوالی صورت می‌گیرد. این قطعه‌قطعه شدن سطح باعث می‌شود تغییر هندسه به‌صورت تدریجی و پیوسته درک شود. مقرنس در معماری اسلامی تنها یک آرایه تزئینی نیست، بلکه با تجزیه سطح و ایجاد ساختاری سلولی، امکان میانجی‌گری میان سطوح و احجام

متفاوت را فراهم می‌کند. از این منظر، منطقه گوشه‌سازی را می‌توان نوعی «میدان تبدیل هندسی» دانست که در آن تضاد میان مربع و دایره به مجموعه‌ای از تغییرات کوچک‌تر تقسیم می‌شود.

این فرایند در معماری ایرانی به‌ویژه در بناهای گنبددار دوره سلجوقی به سطحی پیشرفته رسید. گنبدهای این دوره نشان می‌دهند که معماران نه‌تنها به مسئله استقرار گنبد بر فضای چهارگوش توجه داشته‌اند، بلکه کیفیت هندسی و تناسبی مرحله انتقال را نیز به‌دقت طراحی می‌کردند. نمونه‌های مسجد جامع اصفهان، به‌ویژه گنبدهای شمالی و جنوبی، بیانگر آن‌اند که منطقه انتقال می‌تواند از نظر سازمان فضایی، ساختاری و زیبایی‌شناختی نقشی هم‌سنگ با خود گنبد داشته باشد. تحلیل این بناها نشان می‌دهد که هندسه گوشه‌سازی بخش جدایی‌ناپذیر از منطق کلی ترکیب فضایی است و نه عنصری الحاقی پس از شکل‌گیری بنا (بابایی، ۲۰۰۷).در نتیجه، مفهوم تبدیل چهارضلعی به دایره را می‌توان به‌عنوان یک فرایند واسط میان دو نظام هندسی متفاوت تعریف کرد؛ فرایندی که از حذف گوشه‌ها آغاز می‌شود، از طریق چندضلعی‌شدن تدریجی ادامه می‌یابد و در نهایت به ایجاد بستری مدور برای گنبد منتهی می‌شود. اهمیت این فرایند در آن است که هم‌زمان سه مسئله را حل می‌کند: سازگاری هندسی، انتقال سازه‌ای و پیوستگی فضایی. بر این اساس، مطالعه گونه‌های گوشه‌سازی در مسجد جامع اصفهان می‌تواند نشان دهد که معماران ایرانی چگونه از یک مسئله ظاهراً ساده هندسی، یعنی قرار دادن دایره بر مربع، مجموعه‌ای پیچیده و متنوع از راه‌حل‌های معماری پدید آورده‌اند.

مفهوم «نقطه» در رأس گنبد

نقطه در رأس گنبد را می‌توان پایان منطقی فرایندی دانست که از سطح افقی و گسترده فضای معماری آغاز می‌شود و در امتداد ارتفاع به سوی تمرکز هندسی پیش می‌رود. در یک خوانش صرفاً هندسی، گنبد سطحی منحنی است که مقاطع افقی آن با افزایش ارتفاع به‌تدریج کوچک‌تر می‌شوند؛ ازاین‌رو، محیط گسترده پایه گنبد در مسیر صعود کاهش یافته و در رأس به کوچک‌ترین حد ممکن نزدیک می‌شود. در گنبدهایی که از دوران یا حرکت یک منحنی مولد حول محور قائم حاصل می‌شوند، رأس محل تقاطع محور مرکزی با سطح گنبد و یکی از مهم‌ترین نقاط کنترل‌کننده هندسه کلی آن است. بنابراین «نقطه» در اینجا پیش از هر تعبیر نمادین، یک مفهوم دقیق هندسی است که به تعریف محور، تقارن، انحنا و سازمان سطح کمک می‌کند(پاتمن و همکاران، ۲۰۰۷).

اهمیت نقطه زمانی آشکارتر می‌شود که آن را در ارتباط با مرکز دایره پایه گنبد بررسی کنیم. دایره تنها بر اساس محیط خود تعریف نمی‌شود؛ بلکه مرکز، عنصر بنیادی در سازمان هندسی آن است و تمام نقاط محیط نسبت ثابتی با آن دارند. در گنبد متقارن نیز محور قائم از مرکز پلان عبور کرده و به رأس می‌رسد؛ در نتیجه، مرکز دایره در سطح افقی و نقطه رأس در سطح عمودی از طریق یک محور به یکدیگر مرتبط می‌شوند. این ارتباط باعث می‌شود ساختار گنبد به جای مجموعه‌ای پراکنده از سطوح، به صورت نظامی متمرکز ادراک شود کریچلو در بررسی هندسه هنر اسلامی، نقطه، دایره و تقسیمات شعاعی را از عناصر پایه تولید شبکه‌های هندسی می‌داند و نشان می‌دهد که چگونه ساختارهای پیچیده می‌توانند از یک مرکز و روابط منتظم پیرامون آن گسترش یابند(کریچلو، ۱۹۷۶) در امتداد فرایند تبدیل چهارضلعی به دایره، رأس را همچنین می‌توان آخرین مرحله کاهش تدریجی کثرت هندسی تلقی کرد. ساختار از چهار ضلع و چهار گوشه آغاز می‌شود، در منطقه انتقال به چندضلعی‌هایی با تعداد اضلاع بیشتر تبدیل می‌گردد، سپس در محیط پیوسته دایره سامان می‌یابد و در امتداد پوسته گنبد به سوی رأس همگرا می‌شود. در این خوانش، حرکت از مربع به دایره و از دایره به نقطه دو مرحله مجزا نیستند، بلکه بخش‌های مرتبط یک فرایند فضایی محسوب می‌شوند. مطالعات مربوط به هندسه طراحی در معماری اسلامی نشان می‌دهند که استفاده از مرکزها، محورهای تقارن، دایره‌های مولد و شبکه‌های هندسی، بخشی از روش‌های سازمان‌دهی شکل و آرایه در سنت‌های معماری اسلامی بوده است.(Necipoğlu, ۱۹۹۵)

نقطه رأس علاوه بر جایگاه هندسی، در تجربه بصری فضای داخلی نیز اهمیت دارد. خطوط سازنده گنبد، تقسیم‌بندی‌های آجری، ترسیمات هندسی، طاق‌بندی‌ها یا شبکه‌های تزئینی می‌توانند نگاه را از ناحیه انتقال به سمت بخش فوقانی هدایت کنند. بدین ترتیب، رأس به یک کانون بصری تبدیل می‌شود؛ کانونی که حضور آن الزاماً ناشی از یک عنصر مستقل نیست، بلکه از همگرایی خطوط، انحناها و تقسیمات سطح حاصل می‌شود. از منظر تاریخ معماری اسلامی نیز فضای گنبددار اغلب بر مرکزیت، تقارن و سلسله‌مراتب عمودی استوار است؛ با این حال، شکل و معنای این مرکزیت در بناهای مختلف تابع عملکرد، دوره تاریخی و سنت معماری هر منطقه بوده و نمی‌توان برای همه گنبدهای اسلامی معنای واحدی فرض کرد .در برخی خوانش‌های نظری معماری ایران، این حرکت از کثرت اشکال به سوی مرکز یا نقطه با مفهوم «وحدت» نیز مرتبط دانسته شده است. اردلان و بختیار(۱۹۷۳). معماری سنتی ایران را در چارچوبی تفسیری بررسی می‌کنند که در آن هندسه، مرکز، محور و سازمان فضایی می‌توانند بیانگر رابطه میان کثرت و وحدت باشند. بر این اساس، مرکز هندسی صرفاً ابزاری برای نظم‌بخشی به فرم تلقی نمی‌شود، بلکه می‌تواند در برخی بناها حامل کیفیتی مفهومی نیز باشد. با این حال، چنین برداشتی باید به‌عنوان یک تفسیر نظری و عرفانی از معماری ایرانی در نظر گرفته شود و نباید بدون شواهد تاریخی به نیت قطعی معمار یا سازنده هر گنبد تعمیم داده شود. (اردلان و بختیار، ۱۹۷۳).

خوانش نمادین دیگری نیز گنبد را در پیوند با تصور آسمان و سازمان کیهانی تفسیر می‌کند. در این رویکرد، شکل نیم‌کروی یا منحنی گنبد می‌تواند استعاره‌ای از آسمان باشد و محور عمودی میان کف، مرکز و رأس، رابطه‌ای جهت‌دار میان مراتب مختلف فضا ایجاد کند .در تحلیل هنر اسلامی بر نقش هندسه، مرکزیت و هماهنگی در ایجاد وحدت بصری و معنایی تأکید می‌کند؛ از این منظر، نقطه مرکزی یا رأس می‌تواند در خوانشی نمادشناختی، نهایت تمرکز اجزای متکثر در ساختاری واحد تلقی شود(بورکهارت، ۱۹۷۶). بااین‌حال، ارزش تحلیلی مفهوم نقطه در پژوهش حاضر پیش از هر چیز در ظرفیت آن برای توضیح ساختار هندسی گنبد است.بنابراین، «نقطه رأس» را می‌توان نتیجه نهایی یک توالی هندسی سه‌بعدی دانست :چهارضلعی در تراز پایه، چندضلعی در منطقه انتقال، دایره در آغاز گنبد و نقطه در انتهای محور عمودی .چنین برداشتی امکان می‌دهد که گنبد نه صرفاً به‌صورت یک پوسته، بلکه به‌عنوان فرایندی پیوسته از گسترش، تبدیل و تمرکز مطالعه شود. در چارچوب بررسی مسجد جامع اصفهان نیز این مفهوم می‌تواند مبنایی برای مقایسه گونه‌های مختلف گوشه‌سازی باشد؛ زیرا هر نظام گوشه‌سازی با شیوه‌ای متفاوت، فضای چهارگوش را به ساختاری مرکزی هدایت می‌کند که نهایتاً در هندسه گنبد و رأس آن تکمیل می‌شود.

گوشه‌سازی به‌عنوان نظام واسط

گوشه‌سازی در معماری گنبدی را می‌توان نظامی واسط دانست که میان دو وضعیت متفاوت فضایی و هندسی ارتباط برقرار می‌کند: فضای چهارگوش در پایین و پوشش مدور گنبد در بالا. اهمیت این بخش از آن روست که گنبد نمی‌تواند بدون ایجاد سازوکاری انتقالی، به‌صورت مستقیم و منسجم بر چهار دیوار یا چهار جرز یک فضای مربع قرار گیرد. بنابراین، گوشه‌سازی صرفاً عنصری برای پرکردن گوشه‌های خالی نیست، بلکه بخشی سازمان‌یافته از ساختار بناست که وظیفه تغییر تدریجی هندسه، هدایت نیروها و ایجاد پیوستگی بصری میان فضای زیرین و پوشش فوقانی را بر عهده دارد. در معماری ایران، سابقه این نظام به دوره ساسانی بازمی‌گردد؛ جایی که گنبد بر فراز تالار مربع و با استفاده از سکنج شکل می‌گرفت و منطقه انتقال به‌صورت لایه‌ای مستقل میان دیوار و پوسته گنبد قابل تشخیص بود. (هاف، ۱۹۸۶).

از منظر هندسی، گوشه‌سازی نقش تبدیل‌کننده دارد. قرارگیری عناصر انتقالی در چهار گوشه مربع سبب می‌شود حدود قائم و زاویه‌دار فضای پایه به تدریج به شکلی چندضلعی نزدیک شود. نخستین نتیجه این فرایند معمولاً تشکیل هشت‌ضلعی است، اما در بسیاری از نمونه‌های پیشرفته‌تر، تقسیمات بعدی می‌توانند هندسه پایه را به شانزده‌ضلعی یا چندضلعی‌های پرضلع تبدیل کنند. بدین‌ترتیب، منطقه انتقال نوعی «واسط هندسی» میان دو نظام متفاوت است که با افزایش تعداد وجوه، تضاد میان مربع

و دایره را کاهش می‌دهد. پژوهش‌های جدید درباره فضاهای گنبددار سلجوقی ایران نیز نشان داده‌اند که سکنج‌ها و طاق‌های انتقالی صرفاً یک الگوی ثابت نبوده‌اند، بلکه بر اساس شیوه شکل‌دهی گوشه‌ها، آرایش قوس‌ها و نحوه تبدیل مقطع به انواع متعددی تقسیم می‌شوند(گلزاری و راب، ۲۰۲۳).

بااین‌حال، عملکرد گوشه‌سازی به تغییر شکل هندسی محدود نمی‌شود. این بخش در عین حال باید انتقال بار گنبد را از محیط مدور یا چندضلعی فوقانی به دیوارها و جرزهای زیرین امکان‌پذیر کند. از این جهت، شکل گوشه‌سازی با نحوه عملکرد نیروهای فشاری و مسیر انتقال بار ارتباط مستقیم دارد. ایجاد قوس‌ها، نیم‌طاق‌ها و طاقچه‌های گوشه‌ای سبب می‌شود نیروهای حاصل از وزن گنبد در مسیرهای مشخص‌تری به تکیه‌گاه‌های اصلی منتقل شوند. بررسی تحول منطقه انتقال در گنبدخانه‌های سلجوقی نشان می‌دهد که در این دوره، سکنج ساده دوران پیشین به سازوکاری پیچیده‌تر تبدیل شد و معماران از ترکیبات گوناگون قوس‌ها و اجزای فرعی برای تبدیل فضای مربع به پایه هشت‌ضلعی و آماده‌سازی استقرار گنبد استفاده کردند. (مرادی، ۲۰۲۰).

وجه دیگری از نظام واسط به کیفیت فضایی آن مربوط می‌شود. منطقه انتقال از نظر بصری مرزی میان فضای عمودی دیوارها و حرکت منحنی گنبد ایجاد می‌کند. هرچه ساختار گوشه‌سازی پیچیده‌تر می‌شود، این مرز از یک خط مشخص به یک پهنه فضایی تبدیل می‌گردد. پیدایش مقرنس یکی از مهم‌ترین مراحل چنین تحولی است. مقرنس با تقسیم سطح به مجموعه‌ای از واحدهای کوچک‌تر، امکان می‌دهد تغییر هندسه در چند ردیف و چند تراز صورت گیرد و گذار از قاعده زاویه‌دار به سطح گنبد به‌تدریج انجام شود. مطالعات تطبیقی درباره کاربرد مقرنس در منطقه انتقال نشان داده‌اند که این عنصر می‌تواند بر اساس نحوه استقرار و تصویر افقی خود، الگوهای متفاوتی برای واسطه‌گری میان دیوارهای زیرین و گنبد ایجاد کند؛ بنابراین نمی‌توان آن را صرفاً پوششی تزئینی تلقی کرد(فوکامی، ۲۰۱۷).

تحول تاریخی معماری ایران نیز نشان می‌دهد که گوشه‌سازی به تدریج از یک ضرورت ساختمانی به بستری برای تجربه‌های پیچیده‌تر معماری تبدیل شد. در معماری پیش از صفوی، به‌ویژه از دوره سلجوقی به بعد، تنوع در شیوه‌های سکنج‌سازی، مقرنس و طاق‌های متقاطع افزایش یافت و منطقه انتقال به یکی از مهم‌ترین عرصه‌های نوآوری در معماری گنبدی بدل شد . این تحول از ویژگی‌های شاخص معماری ایران است. گنبد زمینه‌ای برای گسترش خلاقانه انواع سکنج و در ادامه مقرنس و شبکه‌های متقاطع فراهم کرد؛ به‌گونه‌ای که رابطه میان ساختار و تزیین در بسیاری از بناها به مرحله‌ای پیچیده و یکپارچه رسید. (گرابار، ۱۹۸۶).

بر این اساس، گوشه‌سازی را می‌توان نظامی سه‌وجهی دانست: در سطح هندسی، چهارضلعی را به چندضلعی و سپس به پایه‌ای نزدیک به دایره تبدیل می‌کند؛ در سطح سازه‌ای، انتقال نیرو میان گنبد و تکیه‌گاه‌ها را سامان می‌دهد؛ و در سطح فضایی، میان دیوارهای قائم و پوسته منحنی پیوستگی ایجاد می‌کند. این تعریف برای مطالعه مسجد جامع اصفهان اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا تنوع گنبدها و پوشش‌های این مجموعه نشان می‌دهد که «منطقه انتقال» یک پاسخ ثابت نداشته، بلکه در دوره‌های مختلف با راهکارهای متفاوت بازتعریف شده است. از این رو، گونه‌شناسی گوشه‌سازی‌های مسجد جامع اصفهان می‌تواند مبنایی برای شناخت تحول یک نظام واسط باشد؛ نظامی که نه حاشیه گنبد، بلکه یکی از عناصر اصلی در منطق شکل‌گیری آن است.

معرفی مسجد جامع اصفهان به‌عنوان بستر مطالعه

مسجد جامع اصفهان، یا مسجد جامع عتیق، یکی از مهم‌ترین مجموعه‌های معماری اسلامی ایران و از مناسب‌ترین نمونه‌ها برای مطالعه تحول ساختارهای گنبدی و شیوه‌های گوشه‌سازی است. اهمیت این بنا بیش از آنکه ناشی از تعلق آن به یک دوره تاریخی واحد باشد، حاصل تداوم ساخت، بازسازی و الحاقات متعدد در طول بیش از هزار سال است. بنای موجود لایه‌هایی از دوره‌های عباسی، آل‌بویه، سلجوقی، ایلخانی، مظفری، تیموری و صفوی را در خود جای داده و به همین دلیل امکان مطالعه دگرگونی‌های معماری ایران در بستری واحد را فراهم می‌کند. یونسکو این مجموعه را نمونه‌ای ممتاز از تحول معماری مسجد

در طول حدود دوازده قرن معرفی کرده و آن را در سال ۲۰۱۲ بر اساس معیار (ii) در فهرست میراث جهانی ثبت کرده است. (مرکز میراث جهانی یونسکو، ۲۰۱۲).



شکل ۱. فضای داخلی گنبد تاج‌الملک، مسجد جامع اصفهان.

منبع تصویر(Diego Delso (Poco a poco :، ۲۰۱۶، .Wikimedia Commonsتصویر فضای داخلی و نحوه همگرایی قوس‌ها، گوشه‌سازی و پوسته گنبد را نشان می‌دهد.

هسته نخستین مسجد به صورت مسجدی شبستانی شکل گرفته بود، اما مهم‌ترین دگرگونی ساختاری آن در دوره سلجوقی اتفاق افتاد. اصفهان پس از تبدیل شدن به یکی از مهم‌ترین مراکز سیاسی سلجوقیان، شاهد فعالیت‌های ساختمانی گسترده‌ای بود و مسجد جامع نیز بخشی از این تحول شهری به شمار می‌رفت. در همین دوره، ساختار شبستانی پیشین با احداث گنبدخانه‌ها و سپس سازمان چهارایوانی دگرگون شد. این مجموعه در بافت تاریخی شهر و در پیوند با میدان کهنه و شبکه بازار قرار داشت و مسجد، بازار و فضای عمومی پیرامون آن مجموعه‌ای به‌هم‌پیوسته در مرکز شهر سلجوقی ایجاد می‌کردند(بابایی، ۲۰۰۷). یکی از مهم‌ترین مراحل این تحول، احداث گنبد جنوبی، مشهور به گنبد نظام‌الملک، در حدود ۱۰۸۶–۱۰۸۷ میلادی بود. این گنبدخانه در محور قبله و پشت ایوان جنوبی قرار گرفت و به یکی از شاخص‌ترین عناصر معماری مجموعه تبدیل شد. اهمیت آن تنها به ابعاد و جایگاه فضایی محدود نیست؛ بلکه شیوه انتقال از فضای مربع زیرین به پایه گنبد، ساختار جرزها، قوس‌ها و منطقه انتقال، نمونه‌ای مهم از تکامل فن گنبدسازی در دوره سلجوقی است. ارزیابی ایکوموس درباره مسجد نیز گنبد نظام‌الملک را یکی از عناصر اساسی در شناخت نوآوری‌های ساختمانی مجموعه و شکل‌گیری الگوی گنبدخانه در معماری مساجد ایران معرفی می‌کند .(ایکوموس، ۲۰۱۲).

در شمال مجموعه، گنبد تاج‌الملک قرار دارد که اندکی پس از گنبد جنوبی، در ۱۰۸۸–۱۰۸۹ میلادی ساخته شد. اگرچه این گنبد از نظر ابعاد کوچک‌تر است، پیچیدگی هندسی و هماهنگی میان ساختار و تزئین در آن بسیار چشمگیر است. شبکه قوس‌ها و تقسیم‌بندی هندسی سطوح در این گنبد به نحوی سازمان یافته است که انتقال از چهارضلعی پایه به سطوح چندضلعی و سپس پوسته گنبد با پیوستگی قابل توجهی صورت می‌گیرد. پژوهش سازه‌ای صادقی، اخلاقی و نوروزیان ملکی (۱۳۹۸) نشان داده است که فرم گنبد تاج‌الملک رابطه نزدیکی با رفتار فشاری سازه دارد و هندسه آن در هدایت نیروها و کاهش تنش‌های نامطلوب نقش اساسی ایفا می‌کند .در مقیاس کلی‌تر، تبدیل مسجد از الگوی شبستانی به الگوی چهارایوانی نیز اهمیت اساسی دارد. چهار ایوان در جهات اصلی حیاط، ضمن ایجاد سلسله‌مراتب فضایی، محور شمالی ـ جنوبی را تقویت کرده و گنبدخانه‌های شمالی و جنوبی را در یک ساختار فضایی بزرگ‌تر جای داده‌اند. مسجد جامع اصفهان یکی از نخستین و تأثیرگذارترین نمونه‌های تثبیت طرح چهارایوانی مسجد در ایران محسوب می‌شود و این الگو بعدها در بسیاری از مساجد ایران

و آسیای مرکزی گسترش یافت .ویژگی مهم مجموعه آن است که این سازمان کلان در کنار تعداد زیادی دهانه و پوشش کوچک قرار گرفته است؛ به‌گونه‌ای که صدها طاق و گنبد کوچک، مجموعه‌ای متنوع از راه‌حل‌های هندسی برای پوشاندن دهانه‌های مختلف ایجاد کرده‌اند.



شکل ۲. نمونه‌هایی از ساختارهای انتقالی و ایوان‌های مسجد جامع اصفهان .تصاویر تنوع نظام‌های پوششی، مقرنس و تبدیل تدریجی سطوح را نشان می‌دهند. منبع تصاویرGetty/iStock

همین تنوع، مسجد جامع اصفهان را به بستری ویژه برای پژوهش حاضر تبدیل می‌کند. بنا را می‌توان نوعی آرشیو سه‌بعدی از تجربه‌های مختلف پوشش، طاق‌بندی و انتقال هندسی دانست؛ زیرا در بخش‌های گوناگون آن شیوه‌های متفاوت اتصال فضای چهارگوش به پوشش‌های منحنی قابل مشاهده است. مجموعه حدود ۲۰۰ دهانه پوشیده با طرح‌های متنوع دارد و تفاوت میان ساختار این پوشش‌ها امکان مقایسه راهکارهای هندسی و ساختمانی را فراهم می‌سازد(هات‌اشتاین و دلیوس، ۲۰۰۰). بنابراین، انتخاب مسجد جامع اصفهان به‌عنوان مطالعه موردی تنها به دلیل شهرت تاریخی آن نیست؛ بلکه تنوع زمانی و کالبدی بنا امکان بررسی تطبیقی «منطقه انتقال» را فراهم می‌کند.از منظر موضوع پژوهش حاضر، مهم‌ترین ویژگی مسجد آن است که مسئله چهارضلعی ـ چندضلعی ـ دایره ـ گنبد را در نمونه‌هایی با پیچیدگی‌های متفاوت به نمایش می‌گذارد. مقایسه گنبدخانه نظام‌الملک، گنبد تاج‌الملک و پوشش‌های کوچک‌تر پیرامون شبستان‌ها امکان می‌دهد گوشه‌سازی نه به‌صورت یک فرم منفرد، بلکه به‌عنوان مجموعه‌ای از راهبردهای تحول هندسی تحلیل شود. بنابراین، مسجد جامع اصفهان را می‌توان آزمایشگاهی تاریخی برای شناخت رابطه میان هندسه، ساختار و فضای گنبددار در معماری ایران تلقی کرد.

گونه‌شناسی گوشه‌سازی‌های مسجد جامع اصفهان

تنوع پوشش‌ها و شیوه‌های انتقال در مسجد جامع اصفهان، این بنا را به یکی از مهم‌ترین نمونه‌ها برای مطالعه گونه‌شناسی گوشه‌سازی در معماری ایران تبدیل کرده است. در این مجموعه، گوشه‌سازی را نمی‌توان به یک عنصر ثابت یا یک فن ساختمانی واحد تقلیل داد؛ بلکه باید آن را طیفی از راهکارهای هندسی و سازه‌ای دانست که با هدف تبدیل فضای چهارگوش به پایه‌ای مناسب برای گنبد شکل گرفته‌اند. پژوهش حاضر با توجه به ساختار گنبدخانه‌های اصلی و پوشش‌های کوچک‌تر مسجد، گونه‌ها را بر اساس نحوه حذف گوشه مربع، میزان چندمرحله‌ای بودن انتقال، نقش قوس‌ها و چگونگی تبدیل چندضلعی به دایره دسته‌بندی می‌کند. این رویکرد با واقعیت تاریخی بنا نیز سازگار است؛ زیرا مسجد جامع اصفهان حاصل مراحل ساختمانی متعدد است و تقریباً بسیاری از تحولات مهم معماری ایران میانه را در خود منعکس می‌کند.

گوشه‌سازی سکنجیِ مبتنی بر تبدیل مربع به هشت‌ضلعی

نخستین و بنیادی‌ترین گونه را می‌توان گوشه‌سازی سکنجی دانست. در این نظام، چهار گوشه مربع با ایجاد طاق یا ترکیبی از سطوح منحنی پوشانده می‌شوند و نتیجه آن شکل‌گیری تراز هشت‌ضلعی در بالای فضای مربع است. این شیوه ادامه سنتی

است که ریشه‌های آن در معماری پیش از اسلام ایران دیده می‌شود، اما در دوره سلجوقی از نظر ترکیب و مهارت اجرایی توسعه قابل‌توجهی پیدا کرد. بررسی تطبیقی گوشه‌سازی‌های سلجوقی نشان می‌دهد که سکنج در این دوره از یک راهکار ساده گوشه‌ای به نظام‌هایی متشکل از قوس‌های اصلی و فرعی، طاقچه‌ها و اجزای چندلایه تبدیل شده است .این منطق به شکلی شاخص در گنبد جنوبی نظام‌الملک مشاهده می‌شود. در این گنبدخانه، توده سنگین دیوارها و جرزها در پایین با ناحیه‌ای انتقالی پیوند می‌یابد که گوشه‌ها را می‌پوشاند و پایه مناسب برای گنبد را ایجاد می‌کند. ویژگی مهم این نمونه، نوع سکنجی است که در آن ترکیبی از طاق آهنگ و بخش‌های ربع‌گنبدی به کار رفته است O’Kane .این ساختار را تحولی مهم در تاریخ گنبدسازی ایران می‌داند و اشاره می‌کند که الگوی گوشه‌سازی گنبد نظام‌الملک بعدها در نمونه‌هایی چون اردستان، زواره و برسیان مورد تقلید قرار گرفت

گوشه‌سازی چندلایه و سلولی در گنبد تاج‌الملک

گونه دوم را می‌توان گوشه‌سازی چندلایه یا سلولی نامید که در آن انتقال از مربع به دایره در یک مرحله اتفاق نمی‌افتد. شاخص‌ترین نمونه این شیوه در مسجد جامع اصفهان، گنبد شمالی تاج‌الملک متعلق به سال ۱۰۸۸–۱۰۸۹ میلادی است. در اینجا سکنج‌های عمیق در گوشه‌ها با طاق‌نماهای کم‌عمق‌تر، قوس‌های کوچک‌تر و تقسیمات متوالی ترکیب شده‌اند. این ساختار باعث می‌شود مرز میان دیوار و گنبد به جای یک خط مشخص، به منطقه‌ای چندلایه تبدیل شود.در گنبد تاج‌الملک، قوس‌های بزرگ مجموعه‌هایی از قوس‌های کوچک‌تر را در بر گرفته‌اند و سکنج‌های عمیق گوشه‌ای در تناوب با طاقچه‌های کم‌عمق قرار گرفته‌اند؛ در بخش بالاتر نیز حلقه‌ای از قوس‌های کوچک‌تر زمینه اتصال به پوسته گنبد را فراهم می‌کند. بنابراین، منطق انتقال در این گنبد نوعی خردشدن مرحله‌ای مقیاس است: عنصر بزرگ به چند جزء کوچک‌تر تقسیم می‌شود و همین فرایند تا رسیدن به پایه گنبد ادامه می‌یابد .

گوشه‌سازی مبتنی بر قوس‌های متداخل و شبکه‌های هندسی

در گنبد تاج‌الملک، نظام گوشه‌سازی به سکنج محدود نمی‌ماند، بلکه در قسمت فوقانی به شبکه‌ای از قوس‌ها و رگه‌های متداخل تبدیل می‌شود. این ویژگی را می‌توان گونه‌ای انتقال شبکه‌ای تلقی کرد؛ یعنی به جای آنکه بار و فرم تنها از طریق چهار عنصر گوشه‌ای منتقل شوند، مجموعه‌ای از خطوط و قوس‌های درهم‌تنیده سطح را سازمان می‌دهد. در پوسته گنبد، این شبکه‌ها اشکال پنج‌ضلعی و ستاره‌های پنج‌پر ایجاد می‌کنند و در عین حال رابطه‌ای پیوسته میان منطقه انتقال و سطح گنبد پدید می‌آورند. کورن در بررسی معماری سلجوقی تأکید می‌کند که سکنج‌های پرشده با طاقچه‌ها و سلول‌های متعدد در مسجد جامع اصفهان به نظامی سازمان‌یافته تبدیل شدند؛ پدیده‌ای که این بنا را به یکی از نقاط مهم تحول ناحیه انتقال در معماری سلجوقی تبدیل کرده است (کورن، ۲۰۰۰)این نوع سازمان‌دهی اهمیت ویژه‌ای برای موضوع «معمای گنبد» دارد، زیرا تغییر مربع به دایره دیگر صرفاً حاصل حذف چهار گوشه نیست؛ بلکه نتیجه تقسیم، تکثیر و بازآرایی هندسی سطح است. در چنین الگویی، چهارضلعی اولیه ابتدا به ساختار چندوجهی و سپس به شبکه‌ای نزدیک به هندسه مدور تبدیل می‌شود.

گوشه‌سازی و طاق‌بندی در گنبدهای کوچک شبستانی

گونه چهارم را باید در صدها دهانه پوشیده شبستان‌های مسجد جست‌وجو کرد. برخلاف دو گنبدخانه اصلی که مقیاس یادمانی دارند، دهانه‌های کوچک‌تر شرایطی برای تجربه انواع متعدد طاق و گنبد فراهم کرده‌اند. تعدادی از این پوشش‌ها دارای رگه‌های متقاطع، تقسیمات چندضلعی و هندسه‌های شش‌ضلعی، هشت‌ضلعی یا ده‌ضلعی‌اند. مجموعه تصویری دنیس بالی نیز تنوع گسترده طاق‌های بسته و باز، طاق‌های آجری و نمونه‌های رگه‌دار در شبستان‌های مسجد را مستند کرده است .در این پوشش‌ها، گاه مفهوم گوشه‌سازی در کل نظام طاق ادغام می‌شود؛ به این معنا که نمی‌توان مرز روشنی میان «سکنج» و «خود

پوشش» ترسیم کرد. قوس‌های متقاطع یا رگه‌ها هم‌زمان سطح مربع را تقسیم و شکل مرکزی پوشش را تعریف می‌کنند. از منظر گونه‌شناسی، این گروه را می‌توان گوشه‌سازی ادغام‌شده در طاق‌بندی نامید.

گوشه‌سازی‌های متأخر و گرایش به مقرنس

مرحله دیگری از تحول نظام‌های انتقالی را می‌توان در گرایش معماری ایرانی به استفاده از مقرنس مشاهده کرد. باید میان مقرنس‌های موجود در بخش‌های متأخر مسجد و گوشه‌سازی سلجوقی دو گنبد اصلی تمایز قائل شد؛ زیرا کاربرد گسترده مقرنس در ناحیه انتقال گنبدها در معماری ایران عمدتاً در دوره‌های بعد توسعه یافت. در معماری ایرانی، تحول سکنج ساده به ترکیبات سلولی و سپس مقرنس یکی از مهم‌ترین مسیرهای تکامل منطقه انتقال بوده است؛ به همین دلیل تنوع موجود در مسجد جامع اصفهان را می‌توان بخشی از روند وسیع‌تر تحول فنون پوششی ایران دانست(گرابار، ۱۹۸۶). در واقع گونه‌شناسی گوشه‌سازی‌های مسجد جامع اصفهان را می‌توان در چهار گروه اصلی خلاصه کرد :سکنج مستقیم و تبدیل مربع به هشت‌ضلعی؛ گوشه‌سازی چندلایه و سلولی؛ نظام انتقال مبتنی بر قوس‌ها و رگه‌های متداخل؛ و گوشه‌سازی ادغام‌شده در طاق‌های کوچک شبستانی .تفاوت این گونه‌ها نشان می‌دهد که معماران مسجد برای مسئله مشترک استقرار پوشش منحنی بر قاعده چهارگوش، به یک پاسخ واحد بسنده نکرده‌اند. هرچه ساختار پیچیده‌تر می‌شود، انتقال نیز از یک تغییر ناگهانی هندسی به فرایندی تدریجی تبدیل می‌گردد؛ به‌گونه‌ای که مربع ابتدا در چندضلعی حل می‌شود، چندضلعی به دایره نزدیک می‌گردد و سرانجام ساختار گنبدی به سوی رأس متمرکز می‌شود. از این منظر، تنوع گوشه‌سازی‌های مسجد جامع اصفهان را می‌توان مجموعه‌ای از پاسخ‌های متفاوت به یک «معمای هندسی واحد» تلقی کرد.

جدول(۱) جمع‌بندی گونه‌ها

ویژگی اصلی	منطق هندسی	نمونه شاخص	گونه گوشه‌سازی
انتقال صریح و سازه‌ای	مربع ← هشت‌ضلعی ← دایره	گنبد نظام‌الملک	**سکنجی مستقیم**
خردشدن تدریجی مقیاس	مربع ← چند مرحله تقسیم ← چندضلعی ← دایره	گنبد تاج‌الملک	**چندلایه/سلولی**
ادغام ساختار و هندسه	شبکه هندسی ← مرکزیت مدور	گنبد تاج‌الملک و برخی پوشش‌ها	**قوس‌ها و رگه‌های متداخل**
تنوع بالای راه‌حل‌های پوششی	مربع ← شبکه قوسی/چندضلعی	شبستان‌های پیرامونی	**ادغام‌شده در طاق‌بندی**
پیوستگی فضایی و تزئینی	تجزیه چندترازی سطح	بخش‌های متأخر مجموعه	**مقرنس و ترکیبات متأخر**

بحث

بررسی گونه‌های گوشه‌سازی در مسجد جامع اصفهان نشان می‌دهد که مسئله استقرار گنبد بر فضای چهارضلعی را نمی‌توان صرفاً به یک راه‌حل ساختمانی برای پوشاندن گوشه‌ها تقلیل داد. آنچه در نمونه‌های مختلف این مجموعه مشاهده می‌شود، مجموعه‌ای از روش‌های متفاوت برای مدیریت یک مسئله مشترک، یعنی ایجاد پیوستگی میان هندسه زاویه‌دار فضای پایه و هندسه متمرکز پوشش گنبدی است. تفاوت میان گنبدهای اصلی و پوشش‌های کوچک‌تر شبستانی نشان می‌دهد که معماران،

بر حسب دهانه، مقیاس، جایگاه فضایی و الزامات سازه‌ای، راه‌حل‌های متفاوتی برای این انتقال به کار گرفته‌اند. از این منظر، گوشه‌سازی را باید «منطقه تبدیل» دانست؛ منطقه‌ای که در آن فرم معماری از مربع به چندضلعی و سپس به ساختاری نزدیک به دایره تغییر می‌کند.

مقایسه گنبد نظام‌الملک و گنبد تاج‌الملک این تفاوت را به‌روشنی آشکار می‌سازد. در گنبد جنوبی، منطق انتقال نسبتاً صریح‌تر است و عناصر اصلی سازه‌ای با تأکید بر جرزها، قوس‌ها و منطقه انتقال، حرکت از فضای چهارگوش به گنبد را سامان می‌دهند. در مقابل، گنبد شمالی ساختاری پیچیده‌تر دارد و روابط هندسی در لایه‌های متعدد آن توسعه یافته‌اند .اوزدورال (۱۹۹۸) در تحلیل هندسه گنبد شمالی مسجد جامع اصفهان، به وجود روابط ریاضی پیچیده در طراحی آن توجه کرده و ارتباط احتمالی میان دانش هندسی زمانه و شکل معماری بنا را بررسی کرده است. اهمیت این دیدگاه برای پژوهش حاضر در آن است که گوشه‌سازی و شکل گنبد را می‌توان حاصل مجموعه‌ای آگاهانه از روابط هندسی دانست، نه نتیجه یک فرایند صرفاً تجربی و تصادفی.

یافته‌های حاصل از مقایسه نمونه‌ها همچنین نشان می‌دهد که هندسه و سازه در گوشه‌سازی دو نظام مستقل نیستند. شکل‌گیری هشت‌ضلعی، تقسیمات چندضلعی، قوس‌های متقاطع و تقارن محوری، علاوه بر تولید فرم، در هدایت نیرو و تعیین محل عناصر باربر نیز نقش دارند. بررسی زندیه‌وکیلی و همکاران (۲۰۱۹) درباره ارتباط ویژگی‌های هندسی با عملکرد معماری ـ سازه‌ای در مسجد جامع اصفهان نشان می‌دهد که تناسب، تقارن، مدول‌بندی و اشکال هندسی پایه در این مجموعه با نحوه سازمان‌دهی عناصر سازه‌ای ارتباط دارند. بر این اساس، تبدیل چهارضلعی به دایره نه تنها مسئله‌ای بصری، بلکه فرایندی است که از طریق آن، فرم و ساختار به صورت هم‌زمان سازمان می‌یابند. چنین رابطه‌ای به‌ویژه در منطقه انتقال اهمیت دارد، زیرا تغییر هندسه باید بدون ایجاد گسست در مسیر انتقال نیرو صورت پذیرد. نکته قابل توجه دیگر، گذار از «گوشه‌سازی به‌عنوان عنصر» به «گوشه‌سازی به‌عنوان نظام» است. در نمونه‌های ساده‌تر، می‌توان عنصر گوشه‌ای را به‌طور مشخص از دیوار و گنبد تفکیک کرد؛ اما با افزایش پیچیدگی، مرز این اجزا کاهش می‌یابد و منطقه انتقال به شبکه‌ای پیوسته از قوس‌ها، طاقچه‌ها، تقسیمات آجری و سطوح هندسی تبدیل می‌شود. این مسئله با دیدگاه گرابار (۱۹۶۳) درباره گنبد اسلامی هم‌خوانی دارد؛ دیدگاهی که گنبد را عنصری با صورت و کارکرد ثابت در سراسر معماری اسلامی نمی‌داند، بلکه بر تغییر نقش، ساختار و معنای آن در بافت‌های تاریخی متفاوت تأکید می‌کند. در مسجد جامع اصفهان نیز تنوع نظام‌های انتقالی نشان می‌دهد که نمی‌توان الگویی واحد را به همه گنبدها و طاق‌های مجموعه تعمیم داد.

از سوی دیگر، تعدد این راه‌حل‌ها باید در ارتباط با تاریخ طولانی و غیرخطی مسجد نیز تفسیر شود. مسجد جامع اصفهان حاصل یک طرح واحد که در زمانی مشخص تکمیل شده باشد نیست؛ بلکه نسل‌های مختلف بانیان و سازندگان در تغییر شکل آن مشارکت داشته‌اند. از همین رو، تفاوت در شیوه‌های پوشش و گوشه‌سازی می‌تواند بازتاب تحول دانش فنی، تغییر ذائقه معماری و بازتعریف نقش بخش‌های مختلف مجموعه باشد امامی (۲۰۲۳) نیز در بررسی جایگاه مسجد جامع در ساختار تاریخی اصفهان نشان می‌دهد که معنای فضایی و اجتماعی مسجد در طول زمان ثابت نمانده و در نسبت با تحولات شهری و سیاسی بازتعریف شده است. بنابراین، تنوع کالبدی آن را باید حاصل فرایندی تاریخی و لایه‌مند دانست، نه مجموعه‌ای از تفاوت‌های اتفاقی. برآیند این تحلیل نشان می‌دهد که «معمای گنبد» در مسجد جامع اصفهان یک پاسخ واحد ندارد. تبدیل چهارضلعی به دایره از طریق طیفی از راهبردها، از حذف مستقیم گوشه‌ها تا ایجاد شبکه‌های پیچیده چندلایه، تحقق یافته است. بااین‌حال، همه این راه‌حل‌ها از منطقی مشترک پیروی می‌کنند :کاهش تدریجی جهت‌مندی مربع، افزایش تعداد تقسیمات پیرامونی، نزدیک شدن به دایره و در نهایت تمرکز ساختار در رأس گنبد .بنابراین، ارزش اصلی گونه‌های گوشه‌سازی مسجد جامع اصفهان در نمایش مراحل مختلف حل یک مسئله مشترک هندسی ـ سازه‌ای است؛ مسئله‌ای که در آن هندسه نه پوششی بر معماری، بلکه بخشی از منطق تولید فضا و ساختار به شمار می‌رود.

نتیجه‌گیری

گنبد در معماری ایران همواره فراتر از یک عنصر پوششی، به‌عنوان مسئله‌ای چندلایه در پیوند میان هندسه، سازه و ادراک فضایی مطرح بوده است. بررسی مفهوم «معمای گنبد» نشان می‌دهد که چالش اصلی در شکل‌گیری فضای گنبددار، نه صرفاً ایجاد یک پوسته منحنی، بلکه برقراری رابطه‌ای منطقی میان دو نظام هندسی متفاوت است: فضای چهارضلعی و ایستا در پایین و ساختار مدور و متمرکز در بالا. پاسخ معماری ایران به این مسئله، ایجاد نظام‌های انتقالی یا گوشه‌سازی‌هایی بوده است که امکان گذار تدریجی از مربع به دایره و در نهایت تمرکز هندسی در رأس گنبد را فراهم می‌کنند. مطالعه مسجد جامع اصفهان به‌عنوان بستر پژوهش نشان داد که این بنا نمونه‌ای برجسته از تحول تاریخی و فنی نظام‌های گوشه‌سازی در معماری ایران است. تنوع گنبدها، پوشش‌ها و مناطق انتقالی در این مجموعه بیانگر آن است که گوشه‌سازی یک راه‌حل ثابت و تکرارشونده نبوده، بلکه در دوره‌های مختلف بر اساس نیازهای سازه‌ای، مقیاس بنا، دانش هندسی و اهداف فضایی تغییر یافته است. از این منظر، مسجد جامع اصفهان را می‌توان نه فقط یک بنای تاریخی، بلکه مجموعه‌ای از تجربه‌های معماری دانست که در آن راهکارهای متفاوت برای حل مسئله تبدیل چهارضلعی به دایره آزموده شده‌اند.تحلیل گونه‌های گوشه‌سازی نشان داد که این عناصر را می‌توان در چند گروه اصلی بررسی کرد: گوشه‌سازی‌های سکنجی که با حذف مستقیم گوشه‌های مربع، زمینه ایجاد پایه چندضلعی را فراهم می‌کنند؛ نظام‌های چندلایه و سلولی که انتقال هندسی را به مجموعه‌ای از مراحل کوچک‌تر تقسیم می‌کنند؛ ساختارهای مبتنی بر قوس‌ها و رگه‌های متداخل که رابطه میان فرم و سازه را تقویت می‌نمایند؛ و در نهایت، پوشش‌هایی که در آن‌ها گوشه‌سازی با کل نظام طاق‌بندی ادغام شده است. تفاوت این گونه‌ها نشان می‌دهد که معماران ایرانی برای رسیدن به هدفی واحد، یعنی ایجاد پیوستگی میان مربع و دایره، از مسیرهای متنوع هندسی بهره گرفته‌اند.

یافته‌های پژوهش همچنین آشکار ساخت که گوشه‌سازی را نباید صرفاً یک عنصر واسط میان دیوار و گنبد دانست؛ بلکه این بخش، خود یک نظام معماری مستقل است که هم‌زمان سه نقش اساسی ایفا می‌کند. در سطح هندسی، گوشه‌سازی تضاد میان چهارضلعی و دایره را کاهش داده و امکان انتقال تدریجی میان این دو را ایجاد می‌کند. در سطح سازه‌ای، مسیر انتقال نیروهای گنبد به تکیه‌گاه‌ها را سامان می‌دهد. در سطح فضایی و ادراکی نیز، منطقه‌ای میان فضای قائم دیوارها و حرکت منحنی گنبد شکل می‌دهد که تجربه حضور در فضای گنبدی را کامل می‌کند.از سوی دیگر، بررسی مفهوم «نقطه» در رأس گنبد نشان داد که این عنصر را می‌توان پایان یک فرایند پیوسته دانست؛ فرایندی که از گستردگی چهارضلعی آغاز شده، در منطقه انتقال به چندضلعی تبدیل شده، در پایه گنبد به دایره رسیده و در نهایت در نقطه رأس به تمرکز هندسی دست یافته است. بنابراین، نقطه رأس نه یک عنصر منفرد، بلکه نتیجه منطقی یک سازمان هندسی و فضایی است که تمام اجزای گنبد را به یک محور مشترک پیوند می‌دهد.

منابع

Ardalan, N., & Bakhtiar, L. (۱۹۷۳). *The sense of unity: The Sufi tradition in Persian architecture*. University of Chicago Press.
Babaie, S. (۲۰۰۷). Isfahan x. Monuments (۱): A historical survey. *Encyclopaedia Iranica, XIV*(۱).
Babaie, S. (۲۰۰۷). Isfahan x. Monuments (۳): Mosques. *Encyclopaedia Iranica, XIV*(۱), ۲۰–۳۳.
Baly, A. D. (۱۹۶۳). *B.002 Ribbed vaulting in Friday Mosque* [Photograph]. Denis Baly Image Collection, Kenyon College.
Burckhardt, T. (۱۹۷۶). *Art of Islam: Language and meaning*. World of Islam Festival Publishing Company.
Critchlow, K. (۱۹۷۶). *Islamic patterns: An analytical and cosmological approach*. Thames & Hudson.
Dold-Samplonius, Y., & Harmsen, S. L. (۲۰۰۵). The muqarnas plate found at Takht-i Sulayman: A new interpretation. *Muqarnas, 22*, ۸۵–۹٤.
Emami, F. (۲۰۲۳). Inviolable thresholds, blessed palaces, and holy Friday mosques: The sacred topography of Safavid Isfahan. In C. E. Bosworth et al. (Eds.), *The Friday mosque in the city: Liminality, ritual, and politics* (pp. ۱۵۷–۱۹٦). Intellect. https://doi.org/۱۰,۲۳۰۷/j.ctv۳٦xw۷sn.۱۰
Ettinghausen, R., Grabar, O., & Jenkins-Madina, M. (۲۰۰۱). *Islamic art and architecture, 650–1250* (۲nd ed.). Yale University Press.
Fukami, N. (۲۰۱۷). The use of muqarnas in the transitional zone of domes in Egyptian Islamic architecture. *Orient, 52*, ۹۳–۱۱۹. https://doi.org/۱۰,۵۳۵٦/orient.۵۲,۹۳
Golzari, E., & Rabb, P. (۲۰۲۳). The typology of transition zones with shouldered arches in Iranian Seljuk structures: Architecture evolving from Sasanian to Seljuk. *Periodica Polytechnica Architecture, 54*(۳), ۲۲۹–۲۳۷. https://doi.org/۱۰,۳۳۱۱/PPar.۲۲۵۱۰
Golzari, E., & Rabb, P. (۲۰۲۳). The typology of transition zones with shouldered arches in Iranian Seljuk structures: Architecture evolving from Sasanian to Seljuk. *Periodica Polytechnica Architecture, 54*(۳), ۲۲۹–۲۳۷. https://doi.org/۱۰,۳۳۱۱/PPar.۲۲۵۱۰
Grabar, O. (۱۹٦۳). The Islamic dome, some considerations. *Journal of the Society of Architectural Historians, 22*(٤), ۱۹۱–۱۹۸. https://doi.org/۱۰,۲۳۰۷/۹۸۸۱۹۰
Grabar, O. (۱۹۸٦). Architecture v. Islamic, pre-Safavid. *Encyclopaedia Iranica, II*(٤), ۳۳۹–۳٤۵.
Grabar, O. (۱۹۸٦). Architecture v. Islamic, pre-Safavid. *Encyclopaedia Iranica, II*(٤).
Grabar, O. (۱۹۹۰). *The great mosque of Isfahan*. New York University Press.
Hattstein, M., & Delius, P. (Eds.). (۲۰۰۰). *Islam: Art and architecture*. Könemann.
Heyman, J. (۱۹۹۵). *The stone skeleton: Structural engineering of masonry architecture*. Cambridge University Press.
Hillenbrand, R. (۱۹۹٤). *Islamic architecture: Form, function and meaning*. Edinburgh University Press.
Huff, D. (۱۹۸٦). Architecture iii. Sasanian period. *Encyclopaedia Iranica, II*(۳), ۳۲۹–۳۳٤.
ICOMOS. (۲۰۱۲). *Evaluations of nominations of cultural and mixed properties: Masjed-e Jāme' of Isfahan (Iran), No. 1397*. International Council on Monuments and Sites.
Korn, L. (۲۰۰۰). Saljuqs vi. Art and architecture. *Encyclopaedia Iranica*.
Moradi, A. (۲۰۲۰). Transition zone in Seljuq dome chambers. *Journal of Islamic Architecture, 6*(۱).
Necipoğlu, G. (۱۹۹۵). *The Topkapı scroll: Geometry and ornament in Islamic architecture*. Getty Center for the History of Art and the Humanities.
Necipoğlu, G. (۱۹۹۵). *The Topkapı scroll: Geometry and ornament in Islamic architecture*. Getty Center for the History of Art and the Humanities.
Necipoğlu, G. (۱۹۹۵). *The Topkapı scroll: Geometry and ornament in Islamic architecture*. Getty Center for the History of Art and the Humanities.
O'Kane, B. (۱۹۹۵). Domes. *Encyclopaedia Iranica, VII*(۵), ٤۷۹–٤۸۵.
Özdural, A. (۱۹۹۸). A mathematical sonata for architecture: Omar Khayyam and the Friday Mosque of Isfahan. *Technology and Culture, 39*(٤), ٦۹۹–۷۱۵. https://doi.org/۱۰,۲۳۰۷/۱۲۱۵۸٤۵
Pottmann, H., Asperl, A., Hofer, M., & Kilian, A. (۲۰۰۷). *Architectural geometry*. Bentley Institute Press.

Sadeqi, S., Ekhlassi, A., & Norouzian-Maleki, S. (۲۰۱۹). An analysis of structural aesthetics in architecture: Case study Taj-Ol-Molk Dome, Jāmeh Mosque of Isfahan, Iran. *SN Applied Sciences, 1*, ۵۷۰. https://doi.org/۱۰,۱۰۰۷/s٤٢٤٥٢-٠١٩-٠٥٥٨-٥

Tabbaa, Y. (۱۹۸۵). The muqarnas dome: Its origin and meaning. *Muqarnas, 3*, ٦١–٧٤.

UNESCO World Heritage Centre. (۲۰۱۲). *Masjed-e Jāmé of Isfahan*. UNESCO World Heritage List.

UNESCO World Heritage Centre. (۲۰۱۲). *Masjed-e Jāmé of Isfahan*. World Heritage List, No. ۱۳۹۷.

Zandiyehvakili, M., Hojat, I., & Mahmudi, M. (۲۰۱۹). The role of geometrical features in the architectural-structural interaction: Some case studies of the Iranian ancient architecture. *Frontiers of Structural and Civil Engineering, 13*(۳), ۷۱٦–۷۲٤. https://doi.org/۱۰,۱۰۰۷/s۱۱۷۰۹-۰۱۸-۰۵۰۸-۰