

هندسه در هندسه؛

بررسی وجود بُعد فرکتال در ورودی مسجد شیخ لطف‌الله و اثر آن بر بازتعریف معنای مکان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱-۰۷-۰۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱-۰۷-۱۵ (صفحه ۹۱-۷۷)

مهديه مصطفایی*

چکیده

معماری معاصر در طلب معنای گم‌شده مکان، در میان یکنواختی محیط مصنوع و آشفتگی بصری هنر، سرگردان شده است. هدف از این پژوهش، بازگردانی معنای گم‌شده مکان به معماری معاصر با روشی جدید است تا از طرق کاملاً علمی و با بازخوانی یک معماری ایرانی-اسلامی مکان‌مند از گذشته، امکان ارزشیابی میراث فرهنگی ما را برای معماری امروز فراهم کند. روش تحقیق، استفاده از استدلال منطقی مبتنی بر شبیه‌سازی و تعمیم فضاهای پر و خالی یک فرکتال فضایی (ابزار سنجش) به معماری است. مطالعه بر روی فضای ورودی مسجد شیخ لطف‌الله انجام شده و بُعد فرکتال آن با این روش، در دو تناوب، تقریباً $2/8$ به دست آمده است. نتایج نشان می‌دهد، با تغییر هندسه در یک بنا، خوانش جدیدی از معماری حاصل شده که در هر دو وجه ساختار فضایی و شمایل‌نگارانه، معنای جدیدی از مکان ایجاد می‌کند. در وجه اول، با تغییر لایه فضاهای پیش روی ناظر، معنای مکان تغییر می‌کند؛ چراکه برخلاف هندسه قدیم، ادراک کامل فضا این بار شامل پیش‌بینی فضاهای نادیده نیز می‌شود که فقط با حرکت در بنا و مشاهده فضای خودمتمشابه بعدی ممکن است. در وجه دوم، معنای مکان، دیگر با حضور ناظر در مرکز فضا پایان نمی‌یابد، بلکه با حرکت او، آغاز شده و با حضور او در فضاهای لایه دوم و نگاه مجدد به لایه اول، چرخه ادراک بی‌انتهای معنا همراه با تداعی خاطره‌ها ایجاد می‌شود. معنای مکان از سکون و مرکزگرایی به حرکت و امتداد مسیر، تسری می‌یابد و مکان، بی‌مرکز می‌شود. چنین نگاهی، زمینه‌ساز ایجاد فرآیندی «زایا» برای طرح‌های معماری آتی است.

کلیدواژگان: مسجد شیخ لطف‌الله، بُعد فرکتال، اسفنج منگر، فضای ورودی، معماری، زایا.

مقدمه

معنای مکان از معماری معاصر گم شده است. این فقدان هم از جهت خلق معنا توسط معمار و هم از جهت کشف معنا توسط مخاطب، در معماری معاصر مشهود

* فارغ التحصیل کارشناسی ارشد معماری دانشگاه تهران و همکار در مهندسی مشاور فضا معمار، نشانی: تهران، خیابان انقلاب، دانشگاه تهران.
Email: mah.mostafae84@ut.ac.ir

مانند روانشناسی و... تجربه فضا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این علوم، مفهوم محیط مطرح می‌شود که فضا جزئی از آن است. در این رویکرد عینی و ذهنی بودن فضا و تجربه ادراک و فرآیند آن، در بحث روانشناسی محیط مورد بررسی قرار می‌گیرد و محیط علاوه بر فضا، اشیاء و افراد را نیز در برمی‌گیرد (جلیلی، ۱۳۹۴: ۵۱-۶۲). فضا، زمانی به مکان تبدیل می‌شود که نه تنها ادراک، بلکه زیسته شود و با ایجاد امکان ارتباط افراد، هویت یابد. معنای مکان از نگاه وتوری واجد دو وجه است: یکی وجه فضایی (هندسی) که به ارتباطات درون و بیرون (ساختار فضایی) پیوند دارد و دیگری وجه شمایل‌نگارانه که با شکل زندگی و خاطره‌ها پیوندی ناگسستنی دارد (نوربرگ شولتز، ۱۳۹۳: ۸۸). بنابراین هندسه از آن جهت که سبب ایجاد ساختار فضایی خوانا برای ذهن انسان و بستری برای استقرار زندگی در معماری می‌شود، با معنای مکان پیوند می‌خورد.

نقش هندسه در تعریف معنای مکان

در بخش اول، پیشینه تأثیر هندسه بر معماری در طول تاریخ در شرق و غرب به صورت جداگانه از ابتدا تا امروز، مورد بررسی قرار گرفته و سپس رابطه آن با معنای مکان، بیان شده است. در این پژوهش پس از بررسی سیر تحول معنای مکان در هر دورهٔ تاریخی -پیش از میلاد، پس از میلاد تا رنسانس، رنسانس تا قرن نوزدهم، و ادامهٔ آن، هندسه جدید با ابزار بُعد فرکتال، وجود الگوی فرکتالی را به معماری تعمیم می‌دهد و معنای مکان جدید در هر دو وجه روابط فضایی و شمایل‌نگارانه (شکل زندگی و تجدید خاطره‌ها)، بازتعریف می‌شود.

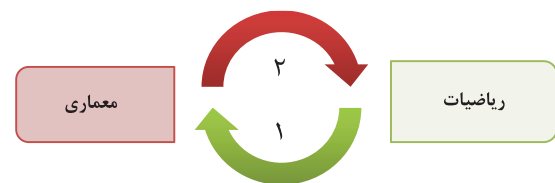
درنگی بر پیشینه

سکونتگاه‌های نخستین بسیار ساده و فاقد هندسه مشخص بوده‌اند اما به تدریج با تشخیص دادن شکل‌ها، و تمیز دادن آنها از یکدیگر، تأثیرپذیری از هندسه بیشتر شده، تا جایی که در چندین سکونتگاه کهن، همچون تپه زاغه، شهاداد و... می‌توان تحول هندسه و اثر آن بر شهرسازی و معماری را مشاهده کرد (سلطان‌زاده و یوسفی، ۱۳۹۴: ۶۰). در شرق و در دوره اسلامی، این اثر گذاری، در معماری کاملاً قابل مشاهده است؛ تا جایی که معماران ماهر را به عنوان مهندس یاد می‌کرده‌اند (نجیب اوغلو، ۱۳۸۹). مناسبات سده‌های دوم تا یازدهم هجری نشان می‌دهد، ریاضی‌دانان و معماران در ساخت بناها، همکاری

است. ارتباط فطری مخاطب و معمار، در اثر معماری گسسته شده است. انسان معاصر، دیگر با حضور در فضای معماری، ادامه خود را پیدا نمی‌کند. معماری معاصر با یکنواختی فضا و آشفتگی بصری حاصل از درک سطحی برخی معماران از هنر و علوم جدید، معنا را از مکان گرفته است. بررسی‌های نگارنده طی هجده سال، نشان می‌دهد، معماران در مواجهه با علوم جدید، یا به دنبال الگویی در معماری گذشته بوده و در آن متوقف شده‌اند و یا با الگوی هندسه جدید، چنان طراحی را سازمان داده، که از ریشه‌ها فاصله گرفته و در دام تولید فرم، گرفتار شده و به تولید اثر معماری متناسب با نیازهای معاصر، نرسیده‌اند. بنابراین به روشی علمی، جدید و قابل دفاع نیاز است تا امکان ارزشیابی میراث فرهنگی ما را در دوران معاصر، فراهم کند و با بازخوانی یک معماری ایرانی-اسلامی مکان‌مند از گذشته، با روشی متفاوت، معنای گم شده مکان را به معماری معاصر بازگرداند. پژوهش حاضر با بررسی تعامل معماری و ریاضیات در طول زمان با زبان هندسه، به دنبال ارائهٔ خوانشی دیگر از معماری قدیم بر اساس هندسه جدید و بازاندیشی معنای مکان، برای معماری امروز است. در این مسیر، هندسه در یک مسیر رفت و برگشتی، زبان گفت‌وگوی معماری و ریاضیات است؛ مسیری که از یک سو تأثیر هندسه بر معماری را بررسی می‌کند و از سوی دیگر به اثر متقابل هندسه جدید در بازتعریف معنای جدید مکان در معماری معاصر می‌پردازد. (شکل ۱)

فضا، مکان و معنای مکان

در ابتدا لازم است افتراق مفاهیم فضا و مکان، روشن شود. در علوم مختلف، تعابیر گوناگونی از فضا وجود دارد. اما آنچه در این پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد، مفهوم مشترک فضا در میان ریاضی‌دانان و فیزیک‌دانان است که واجد دو رویکرد است: یکی هندسی (شکلی) و دیگری ریاضی (نحو فضا). اما در علوم دیگر



شکل ۱. گفت‌وگوی ریاضیات و معماری، منبع: نگارنده.

در نهایت، آنچه که در هر دوره تناسب را برای معماری تعریف کرده و به شکل‌گیری نظم، هویت بصری، سلسله‌مراتب فضایی و تعادل و توازن در بنا می‌انجامد، هندسه است (عباسی و دیگران: ۱۳۹۸: ۸۵) و از این جهت، بخشی از بار معنای مکان در معماری در هر دوره تاریخی را به دوش می‌کشد. در «شکل ۲»، رابطه طبیعت، ریاضیات و معماری در بستر جدول تاریخی مصور، دیده می‌شود.

هندسه و سیر تحول معنای مکان

تا قبل از قرن هفدهم، ریاضیات و هندسه، انتزاعی است که از دنیای معلوم، برای شناخت جوهره ابدی نظم الهی به کار می‌آید (اردلان و بختیار، ۱۳۹۰: ۵۱). به عنوان مثال در معماری اسلامی، از طریق هندسه، فضای نامقدس به مقدس تبدیل شده و فرد به مرکز، هدایت می‌شود. تزیینات اسلامی یک امر ساده آرایشی برای فضای معماری نیست، بلکه وسیله آگاهی از حضور پروردگار است. کلیت و فراگیری هندسه عقلانی برای ساختار فضای معماری، همه تابع کل واحد نظام‌مندی هستند (علی‌آبادی، ۱۳۸۶: ۷۳). برای معمار سنتی، الگوهای هندسی مانند صورت‌های کثرت در وحدت و الگوهای تکرارشونده، نماد ایده لایتناهی و بی‌زمانی هستند (حجازی، ۱۳۸۷: ۱۵-۳۶). معمار با تجلی معنا در صورت، در اثر معماری رمزگذاری کرده و مخاطب با تأویل معنا از صورت، از اثر معماری رمزگشایی می‌کند. میان معمار و مخاطب رابطه فطری و هم‌زبانی معنایی وجود دارد (منان‌رئسی و نقره‌کار، ۱۳۹۴: ۱۳). در این دوره، هندسه اقلیدسی، به عنوان تنها توصیف از جهان است که تا دوهزارسال بعد، حتی الهام‌بخش فیلسوفان و ریاضی‌دانانی همچون کانت و دکارت قرار می‌گیرد (مقدم حیدری، ۱۳۸۳: ۲۱-۲۷) و (گلیک، ۱۳۸۳: ۱۲۴). بشر نیز، صمیمانه با مکان پیوند دارد و در قلمرو کیفیت‌ها و اندازه‌ناپذیری زندگی می‌کند. هرچیزی حتی معماری، آوندی است که مردم به‌راحتی وجهی انسانی در آن می‌یابند (نوربرگ شولتز، ۱۳۹۳: ۳۰-۳۳). تا این دوره، آنچه موضوع اندیشه یا تصور ذهن را تشکیل داده، مفعول (شیء- محیط)^۳ بوده و هر آنچه که در دسترس بوده، از جمله انسان، فاعل^۴ نامیده می‌شده است. پس از اندیشه‌های دکارت، تنها انسان، فاعل نامیده می‌شود و بقیه چیزها به مفعول (شیء- محیط) مبدل می‌شوند. بدین ترتیب ایده عملکردگرایی

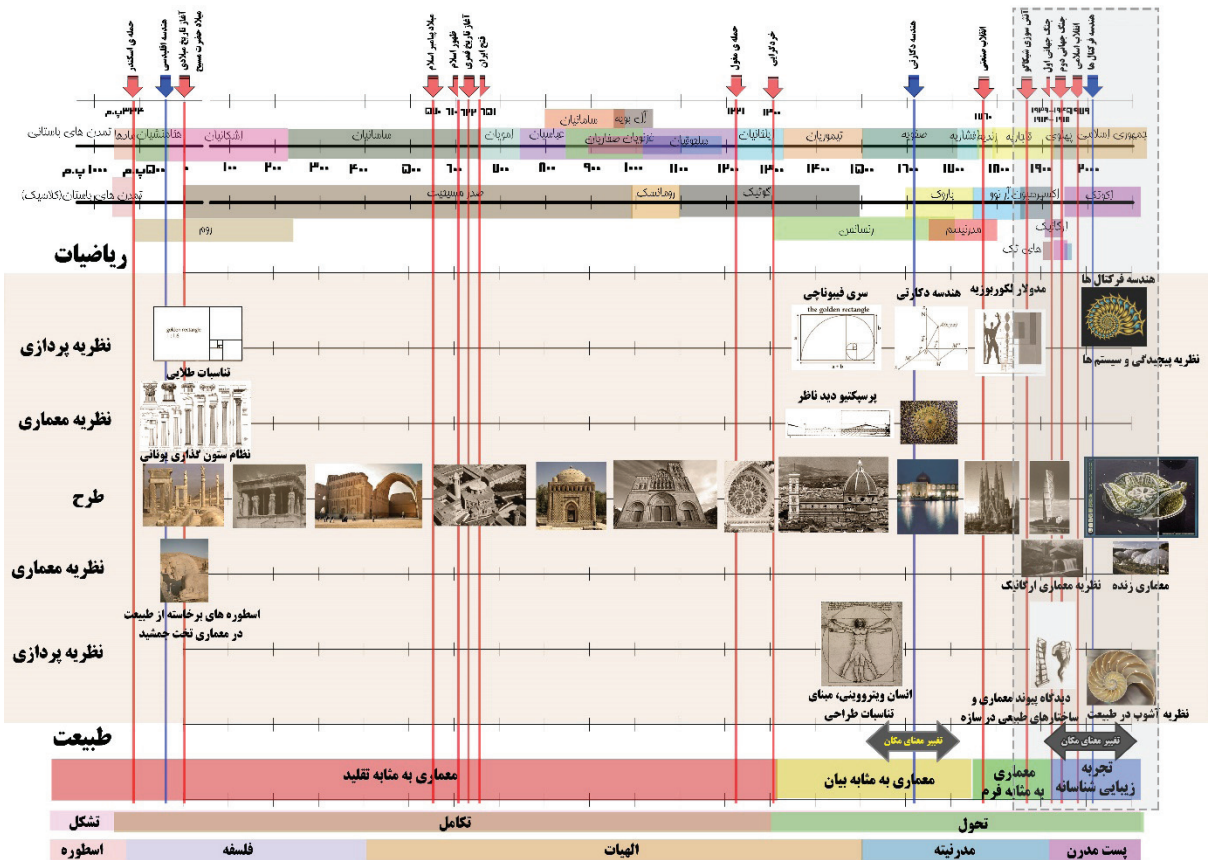
نزدیکی داشته‌اند (طاهری، ۱۳۹۴: ۱۲۷). اما از قرن چهارم به بعد، میراث ریاضی‌دانان در ذهن معماران به رویه مستقلی تبدیل شد و نقش ریاضی‌دانان کاهش یافت (طاهری، ۱۳۹۰: ۴۰). از این دوره به بعد، ریاضیات به مثابه الگوریتم‌های به هم پیوسته متشکل از دستورالعمل‌های ایستایی، فضایی، شکلی در الگوی بزرگتر جایابی شده و در طول زمان رشد و توسعه می‌یابد (بنی‌هاشمی و بی‌تی، ۱۳۹۸: ۱۱۹). در غرب اما، بر تقسیم هندسه به دو دسته اقلیدسی و نااقلیدسی، توافق وجود دارد که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد.

- **هندسه اقلیدسی:** هندسه اقلیدسی به عنوان انتزاعی از جهان واقعی است که تا قبل از سده نوزدهم، تنها توصیف از جهان به نظر می‌رسید. این هندسه ویژگی‌های گوناگونی دارد که پیش از میلاد تحت عنوان اصول موضوعه اقلیدس مطرح شده و به‌مرور گسترش یافته است. هندسه اقلیدسی در دوبره را هندسه مسطحه و در سه‌بعد، هندسه فضایی می‌نامند. در این هندسه تعداد ابعاد فضا، همواره عددی صحیح (غیر اعشاری) است و خط را به عنوان شکل تک بعدی، سطح، دوبره‌ای و فضا را سه بعدی معرفی می‌کند (Barnsley et. all, 1988: 1-29).

- **هندسه نااقلیدسی:** هندسه نااقلیدسی حاصل از گسترش اصل توازی در هندسه اقلیدسی است که بستر شکل‌گیری مجموعه‌ای از هندسه‌های جدید در دل هندسه قدیم شده است (مقدم حیدری، ۱۳۸۳: ۳۰-۳۳). به دلیل نقصان شناختی در هندسه اقلیدسی در نسبت با پدیده‌های طبیعی مانند کوه‌ها، ابرها و توپولوژی زمین، از قرن نوزدهم، هندسه نااقلیدسی، مبنای شناخت بسیاری از پدیده‌ها قرار گرفته است. پژوهش حاضر به مطالعه بسطی از هندسه نااقلیدسی با عنوان هندسه فرکتال (برخال) (کرم، ۱۳۸۹: ۸۲-۶۷) می‌پردازد که در سال ۱۹۷۵، توسط بنوا مندلیبرات معرفی شده است. طبق اطلاعات تارنمای گوگل اسکولار، ارجاعات به مقالات او، بین سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۲۱، رشد هشت برابری داشته که از نقش مهم او در تاریخ‌سازی هندسه در جهان معاصر حکایت دارد. این هندسه که آن را هندسه طبیعت نیز می‌نامند، مبتنی بر ابعاد شکسته و تکرار معادله به جای حل آن است که با معرفی سه مشخصه (یک شاخصه طولی، بُعد فرکتال و دانه تصادفی^۲)، در مقایسه با دو مشخصه هندسه اقلیدسی (موقعیت نقطه مرکزی و یک شاخصه طولی مثل شعاع یا قطر)، امکان شناخت اشکال پیچیده طبیعی را فراهم می‌کند (Mandelbrot, 1982: 170-171).

نه به مثابه جعبه‌ای بنایی شده، بلکه به مثابه ساختاری حساس، انعطاف‌پذیر و تعدیل‌پذیر، قابل جمع‌بندی است. در بسیاری از این آثار که با کانسپت هندسه جدید الهام گرفته از طبیعت ساخته می‌شوند، فرم از حالت ثبات و نظم سنتی به فرمی در روند شدن یا در نقطه تغییر شکل یافتن، تاخوردن، متسع شدن، آبگون شدن و... تبدیل می‌شود (لویزا پالومبو، ۱۳۸۶: ۳۳ و ۵۳). معماری معاصر اگرچه ارجاعاتی به هندسه جدید دارد، اما استقرار زندگی در آن ممکن نیست. زندگی زمانی استقرار می‌یابد که فضامندی هستی بشر با فضامندی واقعی مرتبط شود. همان فضامندی غیراقیدسی در جهان که در لبه کوه‌ها و رودها و... دیده می‌شود. لذا ساده‌ترین نمونه فضای وجودی بشر، طرح افقی (راه‌های به سوی محیط) است که محورهای عمودی (حرکت به سوی آسمان) در آن فرو رفته‌است. معنا در معماری، زمانی

در معماری ظاهر شده و باعث تنزل آن به ضوابط و فناوری می‌شود (نوربرگ شولتز، ۱۳۹۳: ۱-۲۲). عملکردگرایی منجر به یکنواختی محیطی از یک سو و آشفتگی بصری حاصل از درک سطحی از هنر در طول زمان از سوی دیگر، معنا را از مکان گرفته‌اند. شکل‌گیری علوم جدید، که بخشی از آن از ریاضیات و فیزیک آغاز شده و با شناخت هندسه ناقلیدسی بر زیست‌شناسی، هواشناسی، طراحی صنعتی، هنر و... نیز تأثیرات عمیقی داشته، از عوامل مؤثر بر ادراک سطحی معنای هنر در میان برخی معماران و آشفتگی بصری حاصل از آن بوده‌است. به عنوان مثال هندسه فرکتال‌ها به عنوان بخشی از هندسه ناقلیدسی، علاوه بر تأثیر بر علوم گوناگون، موجب تحول در علوم کامپیوتر و روش‌های ساخت دیجیتال در معماری شده‌است. در دوران معاصر، امکان تصور فضای معماری، دیگر



شکل ۲. جدول تاریخ تصویری رابطه ریاضیات و معماری؛ رنگ خاکستری محدوده پژوهش است. (برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد مصطفایی، ۱۳۹۳، ۴۳).

است. بدین معنا که خط، در هندسه اقلیدسی تک بعدی و سطح دوبعدی و حجم سه بعدی است. اگر تساوی بین تعداد قطعات و عامل مقیاس با مضربی صحیح با بُعد اقلیدسی شیء مساوی شوند، آن‌گاه تقسیم‌بندی ساختار به تقسیمات مشابه کوچکتر، باعث تولید فرکتال نخواهد شد و آنها، صرفاً تقسیمات فرعی اشکال اقلیدسی هستند (بویل، ۱۳۸۶: ۴۲). در این روش که به نام مندلیبات شناخته می‌شود، با محاسبه تعداد مربع‌های پوشش‌دهنده تصویر، بُعد فرکتال محاسبه شده که با افزایش دقت اندازه‌گیری (شبکه‌بندی کوچکتر)، بُعد فرکتال نیز افزایش می‌یابد (Barnsley et. all, 1988: 66). به عنوان مثال در «شکل ۳» روش محاسبه بُعد فرکتال خانه روبی رایت که واجد معماری ارگانیک است، نشان داده شده است. یک مطالعه بومی نیز در بدنه خیابان چهارباغ اصفهان انجام شده که در آن، میانگین بُعد فرکتالی بدنه ۱/۴ به دست آمده است (مدنی و دیگران، ۱۳۹۶: ۱۶۱-۱۶۲). این روش به دلیل کاربرد هندسه اقلیدسی و تقلیل معماری به تصویری دوبعدی، اطلاعات کافی از حجم بنا و وجود ساختار فرکتالی در معماری بنا به دست نمی‌دهد.

روش شناخت الگوی فرکتال در نقش‌ها و تزیینات (منظر مفهومی)

نرم افزارهای جدید که با شناخت و توسعه الگوریتم‌ها، امکان بهینه‌سازی طراحی را فراهم کرده‌اند، در مواجهه با معماری گذشته، قادر به ارائه تحلیل‌های جدیدی هستند (بیلچه‌ها، ۱۳۹۹: ۲۰۶). در پژوهش‌های گوناگونی که با رویکرد مشابه انجام شده، با استفاده از الگویابی در نرم‌افزار، تزیینات معماری، شبیه‌سازی شده است. یکی از این نمونه‌ها، الگویابی نقش مایه مسجد شیخ لطف‌الله است که با نرم‌افزار رابنو-گرس‌هاپر انجام

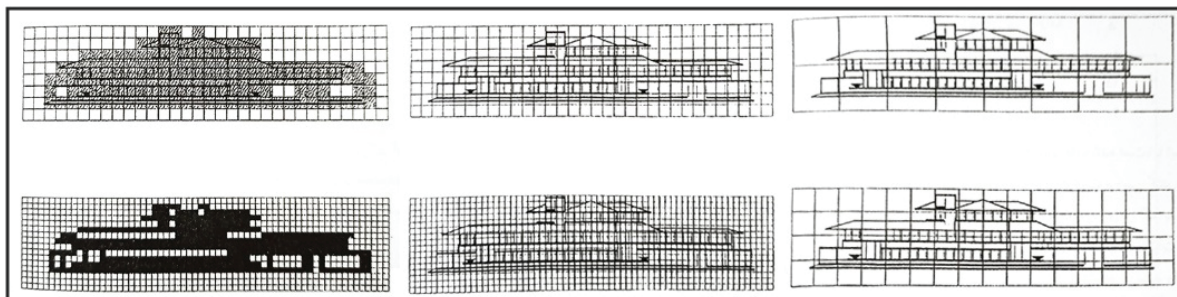
که اثر معماری، همین فضاامندی زیست-جهان را آشکار سازد کامل می‌شود (نوربرگ شولتز، ۱۳۹۳: ۱۰۶-۱۱۶). اما معماری معاصر، حتی با وجود ابزارهای فناورانه و مواجهه با هندسه جدید (که در ادامه نقد خواهد شد) نیز، هنوز در طلب معناست. چراکه پیوندهای معنایی رمزگذاری معمار و رمزگشایی ناظر با ارجاع به وجود پروردگار که در معماری سنتی وجود داشت، در معماری معاصر از بین رفته و هندسه جدید هم برای ذهن انسان خوانا نبوده و نتوانسته تداعی‌کننده فضاامندی آشنای هستی بشر باشد.

نقد و تحلیل مواجهه معماری معاصر با هندسه فرکتال

به واسطه قابلیت تصویری هندسه فرکتال، تأثیر آن بر معماری، قابل تصور است. لذا در این بخش به صورت جداگانه، مواجهه معماران با هندسه فرکتال‌ها به‌طور خاص بررسی شده که شامل سه منظر روش‌شناختی، مفهومی و فرمی است در ادامه به آنها اشاره می‌شود.

روش شبکه‌بندی مربعی و محاسبه بُعد فرکتال (منظر روش‌شناختی)

روش اول، مبتنی بر ارائه شیوه‌ای برای شناخت بُعد فرکتال در تصویر است که ابزاری برای تشخیص الگوی فرکتالی به شمار می‌رود. در همه ساختارهای فرکتالی^۵، بین عامل مقیاس و تعداد قطعات تقسیم شده کوچک‌تر که ساختار اصلی بر اساس آنها تقسیم شده، رابطه وجود دارد. این رابطه برای ساختارهای فرکتال و غیرفرکتال صدق می‌کند که به صورت یک نسبت توانی $a = \frac{1}{(S)^D}$ است که در آن a تعداد قطعات و S عامل کاهنده است. در ساختارهای غیرفرکتال، توان D عددی صحیح است. برای خط $D=1$ و برای سطح مربع $D=2$



شکل ۳. مربع‌بندی برای خانه روبی رایت، مأخذ: بویل، ۱۳۸۶: ۳۸.

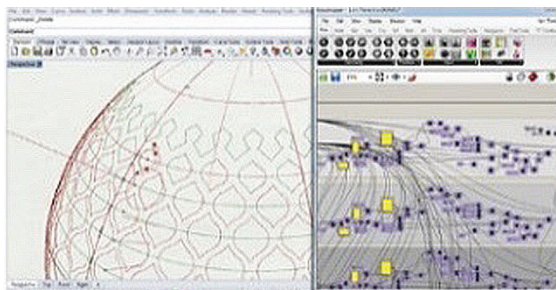
پیوند محکم با طبیعت به عنوان منبع الهام در طرح‌ها، وجود ویژگی‌های هندسه ناقلیدسی در بسیاری از آثار معماری سنتی و اجزای آن‌را، ممکن می‌دانند (خمسه و خمسه ۱۳۹۶). اگرچه شباهت‌های ساختاری میان این الگوها وجود دارد، اما استدلال محاسباتی محکم برای اثبات این مشابهت، ارائه نمی‌شود و نتایج این پژوهش‌ها در حد گزارش تطبیقی مشابهت فرمی یا الگویی، متوقف می‌ماند.

تحلیل وضع موجود معماری، حاکی از نوعی نقص در اقتباس معماران از هندسه جدید است که فاقد زبان معمارانه (گونه‌شناسی، مکان‌شناسی، ریخت‌شناسی) است. در مواجهه معماری با هندسه جدید، در یک نگاه، مفاهیم یا فرم‌هایی حاصل از این هندسه که در نرم‌افزارهایی همچون کتیا (که ابتدا برای طراحی هواپیما استفاده شده) و... وارد معماری شده‌اند (گلابچی و دیگران، ۱۳۹۱: ۵) که نتیجه آن، تنزل معماری به فضاهای مجسمه‌گون و مینیمالیستی است که انسان‌ها مجبورند در آن زندگی کنند (سالینگاروس، ۱۳۸۷: ۳۰۵). مشابه این آثار در معماری گهری و پیتر آیزنمن (شکل ۵) دیده می‌شود، که در آن هندسه جدید با نگاهی تک‌ساختی به یک

شده است (شکل ۴). مدلسازی این الگو نشان می‌دهد که در حدود چهارصد سال پیش، الگویی برای نقش‌مایه گنبدخانه استفاده شده که تکثیر یک شکل پایه مشابه با اصول هندسه فرکتال است (مستغنی و علیمردادی، ۱۳۹۵: ۱۱۹). در نمونه‌های دیگر، تحلیل هندسی کاربردی (ریحانی همدانی و دیگران، ۱۳۹۷: ۲۰۱) و اجرکاری (محمودی و چابیده، ۱۳۸۹: ۱۴-۲۷) گره‌های هندسی (بلیلان اصل و دیگران، ۱۳۹۰: ۸۳-۹۵)، پتکانه^۴ (ghuchani and mokaberian 2022) و تزیینات دیگر نیز مشاهده می‌شود.

روش مشابهت‌یابی فرمی (منظر فرمی)

در این روش با بررسی مشابهت فرمی الگوهای نمایان در هندسه معماری ایرانی با الگوهای حاصل از تصاویر هندسه فرکتال و با تکیه بر استدلال منطقی، حکم بر فرکتالی بودن این الگوها صادر می‌شود. به عنوان مثال در برخی مقالات، مقرنس‌ها را با توجه به ویژگی‌هایی نظیر کثرت، پیچیدگی، آهنگ، توازن، تنوع و... در هندسه مقرنس، با فرکتال‌ها قابل قیاس می‌دانند و با ارجاع به آگاهی هنرمندان اسلامی از دانش ریاضی و



شکل ۴. مدل‌سازی نقش‌مایه مسجد شیخ لطف‌الله با گرس‌هاپر؛ مأخذ: تخمچیان و دیگران، ۱۳۹۶: ۱۲۴ و مستغنی و علیمردادی، ۱۳۹۵: ۱۱۷.



شکل ۵. نمونه‌ای از تکرار فرم خودمتشابه در معماری آیزنمن و گهری نگاه تک‌ساختی به فرکتال در معماری؛ مأخذ: افتخارزاده، ۱۳۸۴.

خویش را آزاد کنند (الکساندر، ۱۳۹۰: ۴۷-۱۶۰). ساختار الگوی زنده در معماری به طور طبیعی از دل آنچه که موجود است بر می آید. ساختار، آنچه را که وجود دارد حفظ می کند و به آنچه جدید است اجازه می دهد به طبیعی ترین روش رشد کند (الکساندر، ۱۳۹۲: ۹۴) که این توصیف، مشابهت بسیاری با الگوی رشد فرکتال های طبیعی دارد. با این رویکرد، روش های زبان شناختی، به صورت مبسوط مورد مطالعه قرار می گیرند. از این پس، مسئله، تبدیل کشف پیچیدگی به روش پیچیدگی است (مورن، ۱۳۹۱: ۵۱۹). پژوهش حاضر، اصیل ترین نگاه را، نگاه زبان شناختی و روش شناختی می داند، چراکه کامل ترین نوع اقتباس در معماری، ارائه بیانی جدید با حفظ زبان معمارانه است و پاسخ به مسئله بی مکانی را، یافتن کاربستی جدید از همین منظر می داند. در «جدول ۱» جمع بندی دیدگاه ها همراه با نقد آنها به طور خلاصه بیان شده است.

کاربست جدیدی از هندسه فرکتال

با توجه به نقدهای مواجهه معماری با هندسه فرکتال، کاربست جدیدی از هندسه فرکتال لازم است که امکان شناخت فضاهای پر و خالی را داشته و بتواند ویژگی های هندسه طبیعت را برای فضای معماری بازتعریف کند. پیش از آن، باید زبان الگوی فرکتال برای معماری تعریف شود. با توجه به روح پویای هندسه جدید، امتداد آن در معماری، نمی تواند بدون در نظر گرفتن رویداد (شکل زندگی) و ادامه فضا در ذهن ناظر، تعریف شود. برای این زبان، واژگان جایگزین عبارتند از: ۱- الگوی

ویژگی خاص از فرم (مثل خود متشابهی)، به معماری تحمیل شده و عملکرد نادیده گرفته شده است. درحالی که درست در نقطه مقابل این آثار، پژوهش حاضر، با ارائه هندسه نوین به مثابه لباس جدید بر قامت معماری قدیم، به نسخه ای فراتر از فرم می رسد، که در امتداد حفظ زبان معمارانه خود از گذشته، بیانی معاصر دارد. در نگاهی دیگر با مدلسازی رایانه ای، بخشی از اجزای معماری مانند مقرنس را خارج از بستر کل طرح، مشابه سازی دیجیتال و الگویی کرده اند که بخشی از آثار معماری پارامتریک در این دسته قرار می گیرند. این نیز نگاهی جزء نگارانه است، چراکه الگویی هندسی در بخشی از تزیینات بنا، به کل بنا قابل تعمیم نیست و در صورت وجود یا اثبات آن، صرفاً کاربردی فرمی داشته و امتدادی در ذهن مخاطب و فضای زیسته ندارد. این نوع نگاه به هندسه جدید، در تضاد با روح پویای سازماندهنده آن است، چراکه معماری را به جزئی مرده از بنا یا فرم تقلیل داده و تشریح کرده است.

اما در نگاه روش شناختی و زبان شناختی، با استفاده از روش تحلیل و بازساخت آثار قدیم در جهت بازتولید آثار جدید در معماری، هندسه به کمک شناخت تناسبات و زبان الگوی معماری گذشته می آید تا معماری را از طریق خلق مکان های با معنا برای امروز، زنده کند (نوربرگ شولتز، ۱۳۹۳: ۵۲). هویت هر فضا از تکرار مستمر الگوهای خاصی از رویدادها در آن مکان حاصل می شود. سامانه الگوها، زبان الگویی را به وجود می آورد. معماری زنده، واجد زبان الگوی معمارانه زنده است و الگوهای فضا-رویداد در صورتی زنده می مانند که بتوانند نیروهای درونی

جدول ۱. جمع بندی رویکردهای موجود و نقد آن، منبع: نگارنده.

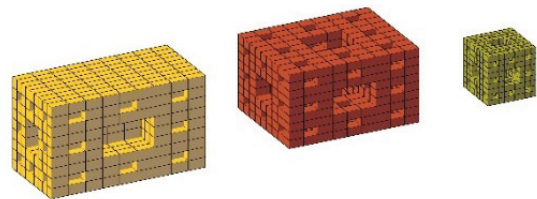
جمع بندی رویکردهای موجود و نقد آن	مفهومی	فرمی	روش شناختی و زبان شناختی
منظر	کاربرد مفاهیم به عنوان کانسپت طراحی معماری	کاربرد فرم در جهت تولید و ساخت دیجیتال معماری	کاربرد روش تحلیل و بازساخت آثار قدیم در جهت بازتولید آثار جدید در معماری
نسبت با هندسه	مستقل از هندسه	کاربرد هندسه در نرم افزار پارامتریک	کاربرد هندسه در بازشناسی تناسبات و الگوها
مصادیق	روش مشابهت یابی فرمی (آثار فرانک گهری و...)	روش بازتولید فرمی (ساخت دیجیتال مقرنس و...)	روش مربع بندی (تحلیل معماری رایت) شناخت زبان الگو (کریستوفر الکساندر)
نقد	ساخت آثار مجسمه گونه و حذف انسان واری، غلبه فرم بر عملکرد	بازتولید فرمی جزئی از بنا و تقلیل معماری به فرم	استفاده از روش اقلیدسی و تقلیل معماری از حجم به سطح در تصویر نما، جهت شناخت و تحلیل دارند

همین تناسبات، از حجمش کاسته و به تعداد مکعبها افزوده خواهد شد (Mandelbrot, 1985: 257). در این حالت بُعد فرکتال تقریباً عبارت است از: $\log(20)/\log(3)=2.7268$ در «شکل ۶»، بُعد فرکتال در هر دو شکل راست و وسط، یکسان است، چرا که تعداد پیمونهای کم شده و تقسیمات خطی در همه، برابر است. با کاهش تعداد پیمونهای کسری از هفت به چهار عدد، باز هم شکل حاصل (طبق استدلال مندلبرات)، نوعی از تعمیم اسفنج منگر بوده که بُعد فرکتال آن در این حالت، تقریباً $2/85$ (شکل ۶ سمت چپ) و واجد الگوی فرکتالی است اما امکان رشد آن در دو وجه بالا و پایین، سلب شده است. این شکل و فرمول محاسبه بُعد نظیر آن، «فرکتال تعمیم یافته اسفنج منگر» نام گذاری شده و به عنوان ابزار سنجش در این پژوهش استفاده شده است. $\log(23)/\log(3)=2.8541$ بنابراین برای حجمهای مختلف و در ظاهر نامتقارن، با شناخت تناوب اول (تقسیم حجم مکعب مستطیل اولیه به ۲۷ قسمت با حفظ تقسیم سه قسمتی بر روی هر یال) و تناوب دوم (تقسیم هر پیمون از حجم باقی مانده تناوب اول، به ۲۷ قسمت با حفظ تقسیمات خطی سه قسمتی بر روی هر یال)، می توان الگوی فرکتال را در آن حجم شناسایی و بُعد آن را محاسبه کرد. تعمیم اسفنج منگر، از آن جهت حائز اهمیت است که به واسطه سادگی فرم و قربت با فضای معماری، امکان تعریف بُعد اعشاری و تعمیم ویژگیهای آشوب و فرکتالها به فضای معماری را فراهم می کند.

انتخاب یک اثر معماری

به دلیل مشابهت تناسبات فضایی ورودی مسجد شیخ لطف الله، با ابزار سنجش این پژوهش، این بنا مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۷). ساخت این مسجد از سال ۱۶۰۲ میلادی در شهر اصفهان و ضلع شرقی میدان نقش جهان آغاز شده و طی حدود هجده سال، به اتمام رسیده است. بر خلاف الگوی سنتی مساجد ایرانی، این مسجد فاقد صحن و مناره است. جلوخان ورودی آن در ضلع شرقی میدان بر اساس یک هندسه مشخص مکان یابی شده، طوری که محل قرارگیری ورودی بنا، ضلع میدان را به دو بخش با تناسبات طلایی نسبت به یکدیگر تقسیم کرده است (دهار و علی پور، ۱۳۹۲: ۳۵). اگرچه این بنا طبق هندسه اقلیدسی طراحی و ساخته شده، اما وجود الگوی فضاهای پر و خالی تکرار شونده و تناسبات فضایی آن، امکان مشابه سازی حجم فضای ورودی با فرکتال سه بعدی اسفنج منگر را فراهم می کند.

فرکتال به جای فرم فرکتال. ۲- ساختار فرکتال (فرم فرکتالی بعلاوه شکل زندگی) به جای معماری فرکتالی ۳- یافتن تناوب (شناخت تکرارها) ۴- یافتن تناسب میان تناوبها. در صورتی که در یک فضای معماری بتوان فضاهایی متشابه در کل و جزء یافت، که در حجم بنا تکرار شده باشند، می توان آنها را دو تناوب از یک الگوی فرکتالی در نظر گرفت که بُعد فرکتال برای آن قابل محاسبه است. در این صورت با تقسیم حجم مورد مطالعه، به قسمت های مساوی در طول، عرض و ارتفاع (پیمون)، بُعد فرکتالی برای این دو فضا قابل محاسبه شده و در صورت ایجاد عدد اعشاری واحد (تا دو رقم اعشار)، می توان وجود الگوی فرکتالی با استفاده از مشابه سازی با تعمیم فرکتال اسفنج منگر ۷، در معماری اثبات کرد. اسفنج منگر، یک فرکتال فضایی پایه متعین است که در «شکل ۶» سمت راست نشان داده شده است. شیوه تولید این شکل، مبتنی بر تقسیمات برابر در تمام اضلاع یک مکعب و کسر مکعب وسطی از میان هر وجه است. در تناوب بعدی این عمل برای هر یک از پیمونهای تناوب اول، مجدداً تکرار می شود. نتیجه حاصل، ایجاد الگوی آشوبناک از نخستین تناوب در حجم است که واجد ویژگی های کلی فرکتالها همچون تعین و پیش بینی ناپذیری، وجود بی نهایت در محدود، خودمتشابهی و الگوسازی است (افتخارزاده، ۱۳۹۳). حجم فضای کسر شده، تا بی نهایت ادامه می یابد، در حالی که مرزهای مکعب اولیه، آن را متعین کرده است و این تعریف جدیدی از بی نهایت در محدود است. حجم فضاهای خالی به واسطه ثبات ضریب کاهنده، خودمتشابه هستند و در عین تکرار، تنوع می آفرینند و نظم پیچیده خلق می کنند. با توجه به تقسیمات خطی سه بخشی در این شکل، در حجم ابتدایی، بیست و هفت پیمون حاصل می شود که در اولین تناوب، هفت مکعب (از وسط هر وجه، یکی و یکی هم از مرکز) از آن کسر شده است. در نتیجه ۲۰ پیمون باقی مانده که این الگو با تکرار



شکل ۶. اسفنج منگر و تعمیم های آن، منبع: نگارنده.

در اینجا تقسمات سه تایی در طول) به دست آمده که بُعد فرکتال در ورودی مسجد شیخ لطف الله است. وحدت نتیجه اعشاری در هر دو تناوب، وجود الگوی فرکتالی در این فضا را اثبات می‌کند. این الگو از ابتدای فضای ورودی آغاز شده و در ذهن ناظر و با حضور وی در طبقه دوم، کامل می‌شود. فرمول فرکتال نیز برای فضا قابل محاسبه است. در این فضا از هر حجم، تقریباً چهار پیمون خالی شده و بیست و سه پیمون باقی می‌ماند. در اینجا باید میان ادراک فرکتالی (چیزی که

جدول ۲. شیوه محاسبه فضاهای پر و خالی، منبع: نگارنده.

تناوب اول										تناوب دوم										
حجم کل فضا			قوس بزرگ ورودی		مقرنس ورودی		قوس کوچک و درب چوبی وسط				فضاهای جانبی در نمای طبقه اول در هر دو طرف نما				فضاهای جانبی در نمای طبقه دوم				بازشوها	
+			-		+		-				-				-					
طول	ارتفاع	عمق	مساحت قوس بزرگ	عمق قوس بزرگ	حجم تقریبی نیم شمسه	حجم تقریبی مقرنس	مساحت فضای زیر قوس	مساحت میانگین پیش ورودی	عمق میانگین پیش ورودی	مساحت ابتدای ورودی	عمق ورودی	تعداد	ارتفاع	طول	عمق	مساحت	ارتفاع	مساحت	ارتفاع	مساحت
نام اختصاری																				
m	Wn	c	Y	t	R	q	p	j	-	a	F	g	S	K	n	d	A	D	H	L
۰/۷۴۶۴	۳۲/۱۵۶۲	۴/۷۰۰۰	۶/۳۴۰۰	۴/۷۰۰۰	۷/۹۰۰۰	۲/۱۵۰۰	۲/۵۷۰۰	۵/۳۰۰۰	۲	۲/۵۰۰۰	۶/۷۳۱۹	۲/۵۷۰۰	۲/۸۴۰۰	۱۳/۵۸۰۰	۱۰/۴۵۲۶	۳/۷۵۷۵	۸۵/۶۵۰۰	۶/۲۰۰۰	۱۶/۳۳۷۸	۱۹/۵۳۲۰
حجم کلی فضا		حجم فضای کسر شده در قوس ورودی		حجم تقریبی مقرنس و نیم شمسه		حجم فضای کسر شده به واسطه درب ورودی کوچک چوبی از نما				حجم فضاهای جانبی طبقه اول				حجم فضاهای جانبی طبقه دوم				حجم بازشوها		
L*H*D		A*d		K+n		S*g+F*a				2*j*p*q				R*t+Y*c				Σ _{i=1} ⁿ W*m		
۲۰۲۶/۹۲۰۸		۳۲۱/۸۲۹۸		۲۵/۰۳۴۶		۲۴/۱۲۸۵				۷۷/۶۳۹۷				۶۶/۹۲۸۰				۲۴/۰۰۱۳		
توضیحات																				
D=d+2.4425		محاسبه مساحت از روی نقشه میراث با اتوکد		پیمون مقرنس با اتوکد شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شد.		مساحت‌ها با اتوکد از روی نقشه‌های میراث اندازه‌گیری شد. برای g میانگین به واسطه فرم دوزنقه، بین ۲/۱۹ و ۲/۹۵ حساب شد.				ارتفاع ۵/۳ از مقطع الف الف میراث شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شد. عمق از لبه بیرونی بازشو حساب شده است.				-				-		

جدول ۳. محاسبات بُعد فرکتال بر اساس «جدول ۲» (رنگ خاکستری محدوده پژوهش است). منبع: نگارنده.

روش محاسبه	
تناوب اول	تناوب دوم
(ابتدا حجم فضا به عنوان یک مکعب صلب در نظر گرفته شده و حجم قوس بزرگ از آن کسر شده. سپس حجم تقریبی مقرنس به آن اضافه شده است. شکل ۹-راست)	(حجم باقی مانده حاصل از محاسبات قبل، دوباره به عنوان مکعبی صلب در نظر گرفته شده و حجم فضای درب ورودی چوبی، بازشوها و فضاهای جانبی نما از آن کسر شده است و نتیجه نهایی با تعمیم اسفنج منگر مقایسه شده است. شکل ۹-چپ)
حجم کل فضای کسر شده از ورودی	حجم نما در تناوب دوم بعد از کسر تناوب اول (حجم خالص باقیمانده حاصل از محاسبات قبل)
۲۹۶٫۷۹۵۲	۱۷۳۰٫۱۲۵۵
حجم کل فضای مانده در فضای ورودی	حجم فضای مانده در تناوب دوم
۱۷۳۰٫۱۲۵۵	مجموع حجم فضاهای جانبی نما، بازشوها و درب چوبی ورودی
۱۷۳۰٫۱۲۵۵	۱۹۲٫۶۹۷۶
پیمون تناوب اول	پیمون تناوب دوم
۷۵٫۰۷۱۱	۲٫۷۸۰۴
تعداد پیمون مانده در تناوب اول	تعداد پیمون مانده در تناوب دوم
۲۳٫۰۴۶۵	۲۳٫۹۹۲۷
تعداد پیمون کسر شده در تناوب اول	تعداد پیمون کسر شده در تناوب دوم
۳٫۹۵۳۵	۳٫۰۰۷۲
بُعد فرکتال در تناوب اول: $\log(23.0465)/\log(3)$	بُعد فرکتال در تناوب دوم: $\log(23.9927)/\log(3)$
۲٫۸۵۵۸	۲٫۸۹۲۵

پایایی و روایی پژوهش

طبق تعریف، پایایی یا قابلیت اعتماد بدان معناست که ابزار سنجش در شرایط یکسان تا چه حد، نتایج یکسانی به دست می‌دهد و روایی نیز تعیین کننده میزان سازگاری در اندازه‌گیری مفهوم مورد نظر است (طیبی، سید جمال‌الدین و دیگران، ۱۳۹۰: ۲۱۱-۲۱۲). با توجه به مفهوم پایایی، بُعد فرکتال به عنوان ابزار سنجش الگوی فرکتال در پژوهش‌های مشابه، با اختلاف کمتر از ۰٫۰۵ در نتایج، وجود الگوی فرکتالی را تأیید می‌کند. همچنین برای اثبات وجود الگو، محاسبات، دو مرتبه با دو مجموعه نقشه با دقت‌های متفاوت انجام شده است. در اولین مرتبه با نقشه‌های کم دقت‌تر، در هر دو تناوب، بُعد فرکتال تقریباً ۲٫۷ و با دقت بیشتر ۲٫۸ به دست آمده که در هر دو حالت، اختلاف نتیجه هر دو تناوب، در محدوده قابل قبول است. بنابراین اثر دقت نقشه‌ها و خطای اندازه‌گیری، که در ابتدا به عنوان شاخص مداخله‌گر، بر نتیجه مؤثر می‌نمود،

شبيه به فرکتال دیده می‌شود) با وجود الگوی فرکتال اثبات شده با روش‌های ریاضی، تفاوت قائل شد. محاسبات نشان می‌دهد، وجود مقرنس در این فضا (با اینکه شواهدی دال بر فرکتال بودن آن بر اساس الگوهای ریاضی یافت نشد)، باعث افزایش بُعد فرکتالی فضا از ۲ به سمت ۳ شده و سبب فرکتالی شدن الگوی نهایی فضا شده است. الگوی فرکتال در فضای ورودی مسجد در بازه اعداد ۶٫۱۳ تا ۶٫۲۱ متری از سطح نما صادق است که در «جدول ۲» و «شکل ۸» سمت راست، با نماد «D» نشان داده شده است. کمی بیشتر و کمتر از این بازه، تعداد مکعب‌های کسر شده، در تناوب دوم، از چهار به سه کاهش می‌یابد. این بدین معناست که الگوی فرکتالی متعین در این بازه وجود ندارد، اما کماکان در نتیجه محاسبه، وحدت قابل قبولی وجود دارد و بُعد فرکتال معنادار است؛ بنابراین فضای ورودی مسجد شیخ لطف‌الله، یک سطح فرکتالی پیچیده است که به حجم، بسیار نزدیک شده است.

تناوب دوم، و چرخش نگاه از طبقه بالا به میدان نقش جهان هم، تمام نمی‌شود. این ناتمامیت در عین کامل بودن ادراک هر فضا، روحیه گودلی دوران مدرن است که اکنون در کالبد یک بنای سنتی، بازخوانی شده است. اگر این فضا، با الگوی فرکتال خوانده نشود، همه آنچه از حیاط دیده می‌شود در لایه اول و همه آنچه پس از ورود به بنا دیده می‌شود، در لایه دوم قرار می‌گیرند. اما در این خوانش جدید، معنای مکان، از فضای دیدنی، به لایه بعد یعنی تجسم فضاهای دیگر امتداد یافته و با حضور ناظر در آن لایه، دوباره منظر لایه (تناوب) اول از میان بازشوها رخ می‌نماید و بدین ترتیب، از میان فضاهای تکرارشونده، ادراکی ناتمام و بی‌نهایت اما محدود در چهارچوب بنا حاصل می‌شود. این تغییر ادراک در لایه‌های معماری، نوعی پیش‌بینی‌ناپذیری در عین تعین و وجود بی‌نهایت در محدود است که در عین حال اشاره‌ای به اصل عمومیت فایگن بام دارد: در سامانه‌های پیچیده، ساختارهایی وجود دارند که هرگاه از زاویه و روش مناسب به آن نگاه کنیم، یکسان هستند (گلیک، ۱۳۸۳: ۲۲۲). فقط با چنین نگاهی است که قوس بزرگ مرکزی در میان نمای اصلی، در لایه (تناوب) اول و فضاهای چپ و راست جانبی در نما و طبقات با فضای ورودی درب کوچک چوبی که در نما دیده نمی‌شود، در لایه (تناوب) دوم قرار می‌گیرند. اثر شاعرانه رنگ و نقش‌مایه کاشی‌ها در این مسیر، بر تنوع اطلاعات ادراکی می‌افزاید و ذهن ناظر رایش از پیش به سوی قلمرو اندازه‌ناپذیری ناقلیدسی می‌کشاند. اکنون هندسه‌ای که داعیه شناخت کوه‌ها و رودها و ابرها را دارد، به ابزار شناخت بنایی تبدیل شده که معمارانش به صورت شهودی، با طبیعت پیوند داشته‌اند. اگرچه در ابتدا به نظر می‌رسد که در فرکتال‌ها، چینش اجزاء با نظم خاصی، کل را به وجود آورده، اما طبق

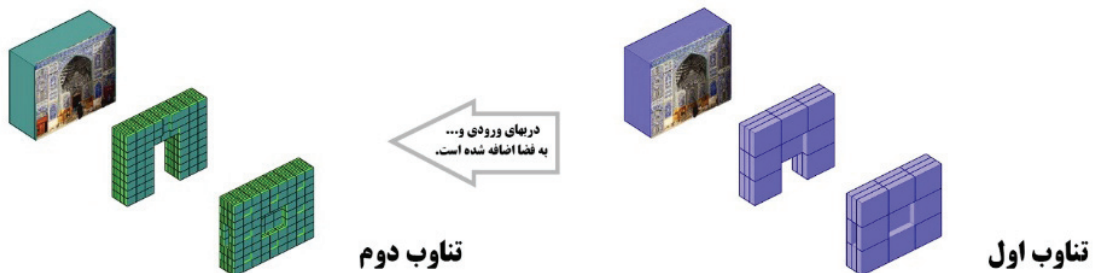
صرفاً سبب جابجایی بازه مقادیر شده و در برابری نتیجه و اثبات وجود اصل الگو، خللی ایجاد نمی‌کند.

خوانشی جدید از معماری قدیم

محاسبات انجام شده، مؤید معرفی روشی نوین بر مبنای هندسه فرکتال، برای خوانش معماری است. با این تفاوت که نسبت به روش‌های قبل، از مشابهت فرمی عبور کرده و وجود الگوی فرکتالی در فضای معماری با وجود ادراک انسان (و نه تصویر یا اجزای آن)، اثبات می‌کند. تا پیش از این، فرکتال‌ها به عنوان تصاویر زیبا و صرفاً دارای ویژگی‌های خودمتشابه، به عنوان مرجع روش‌شناسی در تزیینات معماری به کار می‌رفته‌اند، یا ابزار برنامه‌نویسان برای تحلیل‌های پارامتریک معماری بوده‌اند. اما این روش مبتنی بر یافتن تناوب‌ها، محاسبه حجم فضاهای پر و خالی، یافتن نسبت میان آنها و محاسبه بُعد فرکتال برای اولین بار، فرکتال‌ها را از حالت دوبعدی (سطح)، به ابزاری فضایی برای شناخت بنای معماری تبدیل کرده و با روشی عددی، وجود ویژگی‌های خودمتشابه در فضاها را مطرح و اثبات می‌کند. در مسیر برگشت، ویژگی‌های هندسه جدید، از ابزار سنجش به زبان خوانش معماری تبدیل شده و معنای جدیدی از مکان، تعریف می‌شود.

بازتعریف معنای مکان در سایه هندسه جدید

معنای مکان در این خوانش جدید از معماری قدیم، در هر دو وجه فضایی و شمایل‌نگارانه، سیال‌تر شده است. دیگر غایت معنای مکان، با اتمام حضور فیزیکی ناظر در مرکز فضا، مترادف نیست، بلکه این معنا، چرخه‌ای است که با حرکت ناظر به سوی به سوی بنا، آغاز می‌شود و با ادراک همه فضاهای



شکل ۹. تطبیق احجام کسرشده و باقیمانده در نما با مکعب‌مستطیل‌ها و تقسیمات سه‌تایی در مسجد شیخ لطف‌الله، منبع: نگارنده.

قدیم، با قرارگیری ناظر در مقابل بنا، فضاهایی که ادراک می‌شوند، در یک لایه و فضاهای بعدی در لایه دوم قرار می‌گیرند. درحالی‌که در هندسه جدید، فضاهای پیش روی ناظر، در یک لایه قرار ندارند. فضای اصلی در لایه اول و فضاهای فرعی در لایه بعد قرار می‌گیرد که شامل پیش بینی فضاهای نادیده نیز می‌شود که ادراک کامل آنها فقط با حرکت در بنا ممکن است. این فضاها در ذهن ناظر، حالتی از پیش‌بینی ناپذیری در عین تعیین ایجاد می‌کنند که از ویژگی‌های فرکتالهاست؛ چراکه ناظر با علم به وجود فضای خودمتمشابه بعدی با آنچه که اکنون می‌بیند، حرکت کرده و وارد بنا می‌شود.

- دوم. در وجه شمایل‌نگارانه مکان و پیوند با شکل زندگی نیز با تغییر هندسه، معنای جدیدی حاصل می‌شود. معنای مکان، دیگر با حضور ناظر در مرکز فضا پایان نمی‌یابد، بلکه با حرکت او، آغاز شده و با حضور او، در فضاهای لایه دوم، کامل می‌شود، و شاید هرگز تمام نشود، چراکه حضور ناظر، با نگاه مجدد به عرصه لایه اول، آغازگر چرخه ادراک بی‌انتهای معناست. معنای مکان از سکون و مرکزگرایی به حرکت و امتداد مسیر، تسری می‌یابد و مکان، بی‌مرکز می‌شود. ذهن ناظر در این مسیر، از قلمرو پیش‌بینی‌پذیری و اندازه‌پذیری و ادراک تک‌لایه فضاهای دیدنی، به تجسم فضای نادیده و پیش‌بینی ناپذیری و اندازه‌ناپذیری وارد می‌شود و در قالب فضاهای تکرار شونده، با خلق اطلاعات متنوع، ادراک بی‌نهایت و ناتمام، شکل می‌گیرد. این نگاه، دریافت جدیدی از مفهوم معماری در حال شدن، به دست می‌دهد. بدین ترتیب یک معماری پویا، لزوماً واجد فرم دینامیک نیست، بلکه می‌توان با تکرار فضاها در یک الگوی فرکتالی، ساختار فرکتالی برای معماری ساخت که ادامه آن در ذهن ناظر کامل شود. چنین نگاهی با ذات پویای ساختار فرکتال نیز سازگار است.

بُعد فرکتال فضا، یک ویژگی هندسی در بناست و نتایج این پژوهش نشان می‌دهد برای فضای ورودی مسجد شیخ لطف‌الله، همسان‌های دیگری با تناسبات و ابعاد گوناگون با احجام ثابت، می‌توان در نظر گرفت که همگی دارای بُعد فرکتال مشابه باشند، اما می‌توان اثبات کرد که از جمیع جهات از جمله عملکرد، طرح ساخته شده، بهینه‌ترین پاسخ است. حتی می‌توان حجم فضای خالی ادراک شده را جایگزین فضای خالی هندسی قرارداد و بدین ترتیب، با هر ناظری که نما را از هر نقطه دلخواهی مشاهده می‌کند، بُعد فرکتال متفاوتی بدست می‌آید که بُعد فرکتال ادراکی

نظریه گشتالت، کل، چیزی فراتر از جمع اجزاست. همانگونه که در طبیعت، وجود اجزا، کلیت پدیده‌ها و وجود طرح کلی برتر خالق را نقض نمی‌کند، در فرکتال‌ها نیز دیدگاه «هولیزم» یا کل‌انگاری حاکم است. تعیین کننده رفتار یک سامانه، کل آن است نه تک تک اجزای آن (بانکی پورفرد و غفرالهی، ۱۳۹۸: ۱۹۲-۱۹۸). جالب اینجاست که در زمان ساخت این بنا، از تقسیمات هندسه اقلیدسی استفاده شده، اما حدود چهارصد سال بعد، با کشف هندسه جدید و عرضه آن به معماری قدیم، این اثر در گذشته نمانده و هندسه فرکتال همچون لباسی جدید، بر قامت این بنای قدیمی می‌نشیند و خوانشی جدید از معماری به دست می‌دهد.

نتیجه‌گیری

هندسه فرکتال به عنوان شاخه‌ای از هندسه ناقلیدسی، با شناخت بهتری که از پدیده‌ها ارائه کرده، بر بسیاری از علوم از جمله معماری، تأثیر گذاشته است. تا پیش از این، شناخت الگوی فرکتال در معماری، زمانی میسر بوده که بتوان با روش مربع‌های پوشاننده و یا مشابه‌سازی دیجیتال، الگو را در بخشی از فضا یا تزیینات یافت. مطالعات در این حوزه، معمولاً با یافتن فرم‌های خودمتمشابه، پایان می‌یافته و استدلال محکمی مبنی بر فرکتال بودن الگو، ارائه نمی‌شده است. اما پژوهش حاضر از گفت‌وگوی میان ریاضیات و معماری، با زبان هندسه، از طرق کاملاً علمی و با ارائه روشی نوین، امکان ارزشیابی میراث فرهنگی را برای معماری معاصر فراهم می‌کند. در این روش پیشنهادی، با انتخاب یک الگوی فرکتال فضایی (اسفنج منگر) و محاسبه بُعد فرکتال برای آن، نتیجه به معماری تعمیم داده می‌شود. بدین ترتیب، بُعد فرکتال معماری برای ورودی مسجد شیخ لطف‌الله، محاسبه شده که عدد تقریبی $2/8$ به دست آمده است. وحدت نتیجه اعشاری در دو تناوب، وجود الگوی فرکتال در این فضا را تأیید می‌کند. در اثری که با هندسه اقلیدسی ساخته شده، وجود این الگو، بار دیگر حکمت سازندگان سنتی را در پیوند جزء و کل و کثرت و وحدت نشان می‌دهد. بدین ترتیب هندسه جدید در حضور معماری قدیم، خوانشی جدید از معنای مکان در هر دو وجه ساختار فضایی (عینی) و شمایل‌نگارانه و تجدید خاطره‌ها (ذهنی)، به دست می‌دهد.

- اول. در وجه ساختار فضایی، با تغییر هندسه در خوانش یک بنای واحد، معنای متفاوتی از مکان ادراک می‌شود. در هندسه

الگوی فرکتالی معماری «رایا^۸»، را به کار گرفت. زایا پیشنهادی برای ایجاد یک فرآیند ترکیبی طراحی شامل یک برنامه رایانه‌ای فرکتالی برای طراحی فضای معماری و معمار هوشمند است که بهترین رشد را برای بهینه‌ترین پاسخگویی به شکل زندگی، در طرح نهایی برمی‌گزیند.

نامیده شده و وابسته به مشخصات ناظر است. نتایج این پژوهش همچنین می‌تواند زمینه مطالعات بعدی در حوزه طراحی معماری باشد. از آن جهت که بخشی از فرکتال‌ها الگوهای ریاضی ساخته شده با کامپیوتر هستند و امکان تولید و رشد آنها با سه مشخصه، فراهم است. می‌توان برای فرآیند طراحی معماری، فرآیند تولید

پی‌نوشت‌ها

۱. واژه ایتالیک در هر پاراگراف، در پاراگراف بعد بسط داده شده است.

1. Random Seed

2. Objective

3. Subjective

۴. در اصل منبع، از واژه خودمتشابه استفاده شده و اشاره شده که بُعد خودمتشابهی با بُعد فرکتال متفاوت است. اما به دلیل تمرکز پژوهش بر یک فرکتال فضایی، در اینجا از واژه بُعد فرکتال به عنوان جایگزین استفاده شده است.

5. Patkaneh

6. Menger Sponge

7. Zaya

فهرست منابع

- اردلان، نادر؛ بختیار، لاله (۱۳۹۰)، *حس وحدت، ترجمهٔ وناداد جلیلی، تهران: علم معمار روبال.*
- افتخارزاده، ساناز (۱۳۹۳)، *از آشوب ادراک تا شناخت معماری: نظریه‌ای نوین برای آفرینش معماری انسان‌مدار بر اساس قوانین آشوب، تهران: سیمای دانش.*
- افتخارزاده، ساناز (۱۳۸۴)، *هندسه فرکتال در مقابل هندسه اقلیدسی، معماری، رایانه، ساختمان، ۸.*
- الکساندر، کریستوفر (۱۳۹۲)، *سرشت نظم، ترجمهٔ رضا سیروس صبری و علی اکبری، تهران: پرهام نقش.*
- الکساندر، کریستوفر (۱۳۹۰)، *معماری و راز جاودانگی، ترجمهٔ مهرداد قیومی بیدهندی، تهران: دانشگاه شهید بهشتی.*
- بانکی پورفرد، امیرحسین؛ غفرالهی، سعید (۱۳۹۸)، *دیدگاه هولیزم یا کل انگاری در تفسیر تئیناً لکل شیء، پژوهش‌های زبان‌شناختی قرآن، ۲: ۱۹۱-۲۰۴.*
- بلیلان اصل، لیدا و دیگران (۱۳۹۰)، *بررسی ویژگی‌های هندسی گره‌ها در تزئین‌های اسلامی از دیدگاه هندسه فرکتال، شهر/ایرانی/اسلامی، ۶: ۸۳-۹۵.*
- بنی‌هاشمی، محمدعلی؛ بیتهی، حامد (۱۳۹۸)، *بازخوانی رابطه ریاضی و معماری از منظر الگوریتم، پژوهش‌های معماری اسلامی، ۱۲۴-۱۰۷.*
- بویل، کارل (۱۳۸۶)، *هندسه فرکتال در معماری و طراحی، ترجمهٔ محمدعلی اشرف گنجوی و حسین فلاح، کرمان: دانشگاه شهید باهنر.*
- پیله‌چی‌ها، پیمان (۱۳۹۹)، *روش‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی در طراحی معماری و شهرسازی، راهکارهای ریاضی پایه، نقش جهان، ۱۰ (۳): ۲۰۵-۲۱۷.*
- تخمچیان، علی و دیگران (۱۳۹۶)، *شکل‌گیری فضا در اثر پیوند مفهومی موسیقی، ریاضی و معماری (مطالعه موردی: جلوخان و آسمانه گنبدخانه مسجد شیخ لطف‌الله اصفهان)، پژوهش‌های معماری اسلامی، ۱۲۹-۱۰۸.*
- جلیلی، محمد (۱۳۹۴)، *ماهیت فضای معماری، ریشه‌ها و رویکردها، مطالعات محیطی هفت حصار، ۱۳: ۶۲-۵۱.*
- حجازی، مهرداد (۱۳۸۷)، *هندسه مقدس در طبیعت و معماری ایرانی، تاریخ علم، ۳۶-۱۵.*
- خمسه، احسان؛ خمسه، الهام (۱۳۹۶)، *بررسی ویژگی‌های هندسی مقرنس از دیدگاه هندسه فرکتال، کنفرانس بین‌المللی معماری و ریاضیات، کاشان.*
- دهار، علی؛ علی‌پور رضا (۱۳۹۲)، *تحلیل هندسی معماری مسجد شیخ لطف‌الله اصفهان جهت تعیین ارتباط هندسی نمازخانه با جلوخان ورودی بنا، باغ نظر، ۳۳: ۴۰-۲۶.*
- ریحانی همدانی، حسن و دیگران (۱۳۹۷)، *تحلیل ریاضی کاربردی‌های ساده معماری ایران، پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، ۱۷: ۲۰۱-۲۲۰.*
- سالینگاروس، نیکوس، ا. (۱۳۸۷)، *یک نظریه معماری، ترجمهٔ سعید زرین‌مهر و زهیر متکی، تهران: مرکز مطالعاتی و تحقیقاتی شهرسازی و معماری.*
- سلطان‌زاده، حسین؛ یوسفی، ماندانا (۱۳۹۴)، *چگونگی کاربرد هندسه و تفکیک فضاها در معماری پیش از تاریخ ایران، اندیشه معماری، ۱: ۵۴-۷۰.*
- طاهری، جعفر (۱۳۹۴)، *مناسبات معماری با علوم دقیقه در متون علمی دورهٔ اسلامی، مطالعات معماری ایران، ۱۵۰-۱۲۷.*
- طاهری، جعفر (۱۳۹۰)، *نقش ریاضی‌دانان در معماری به روایت متون دورهٔ اسلامی، تاریخ علم، ۳۹-۶۵.*
- طیبی، سید جمال الدین و دیگران (۱۳۹۰)، *تدوین پایان‌نامه، رساله، طرح پژوهشی و مقاله علمی، تهران: دبیا.*
- عباسی، نوشین و دیگران (۱۳۹۸)، *ارزیابی آراء ریاضیدانان مسلمان (سده دو تا یازدهم هجری قمری) در باب ماهیت هندسه در معماری، اندیشه معماری، ۵: ۱۰۵-۸۴.*
- علی آبادی، محمد (۱۳۸۶)، *هندسه جاویدان (یا هندسه آسمانی) در معماری اسلامی، نشریه بین‌المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و*

صنعت/ایران، ۱۸: ۷۳-۶۳.
 کرم، امیر (۱۳۸۹)، نظریه آشوب، فرکتال (برخال) و سیستم‌های غیرخطی در ژئومورفولوژی، *جغرافیای طبیعی*، ۸: ۸۲-۶۷.
 گروت، لیندا؛ یانگ، دیوید (۱۳۹۰)، *روش‌های تحقیق در معماری*، ترجمه علیرضا عینی‌فر، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
 گلابچی، محمود و دیگران (۱۳۹۱)، *معماری دیجیتال، کاربرد فناوری‌های CAD/CAM/CAE در معماری*، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران.
 گلیک، جیمز (۱۳۸۳)، *تئوری نظم در آشفستگی (بنای مدیریت بر مدیریت تغییر)*، چاپ دوم؛ ترجمه محسن قدمی و مسعود نیازمند، تهران: سیمای جوان.
 پالمبو، ماریا لویزا (۱۳۸۶)، *زهدان‌های معماری، بدن‌های الکترونیکی و بی‌نظمی‌های معمارانه*، تدوین توسط محمدرضا جودت، ترجمه علی نابی، تهران: گنج هنر.
 محمودی، مهنوش؛ چاییده، علی (۱۳۸۹)، کاربرد ریاضیات در معماری ایران (بررسی نقش تناسب هندسی در تزئینات ورودی خانه‌های بافت قدیم شهر تاریخی دزفول)، *کتاب ماه علوم و فنون*، ۱۴-۲۷.
 مدنی، فروغ و دیگران (۱۳۹۶)، ارزیابی جداره‌های خیابان چهارباغ اصفهان و ارائه الگو برای آن با به کارگیری هندسه فرکتال، *آرمانشهر*، ۱۹: ۱۵۳-۱۶۴.

مستغنی، علیرضا؛ علیمردی، محسن (۱۳۹۵)، واکاوی کاربرد هندسه طبیعت و فرکتال در معماری پارامتریک (با بررسی آرایه داخلی گنبد مسجد شیخ لطف‌الله)، *نامه هنر*، ۱۲۲-۱۰۳.
 مصطفایی، مهدیه (۱۳۹۳)، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان طراحی پایانه فرودگاهی با الهام از ساختارهای طبیعی با راهنمایی سیدغلامرضا اسلامی و مشاوره کتابون تقی‌زاده*، ص ۴۳، دانشگاه تهران.
 مقدم حیدری، غلامحسین (۱۳۸۳)، *هندسه ناقلیدسی، انتقالی پارادایم در ریاضیات، نامه مفید*، ۴۱: ۳۸-۱۹.
 منان ریسی، محمد؛ و نقره‌کار، عبدالحمید (۱۳۹۴)، *هستی‌شناسی معنا در آثار معماری، هویت شهر*، ۲۴: ۱۶-۵.
 مورن، ادگار (۱۳۹۱)، *روش طبیعت طبیعت، ترجمه علی اسدی*، تهران: سروش.
 گروه مؤلفان (۱۴۰۰)، *گنجنامه دفتر دوم، مساجد اصفهان*، تهران: دانشگاه شهید بهشتی.
 نجیب اوغلو، گل‌رو (۱۳۸۹)، *هندسه و تزئین در معماری اسلامی (طومار تویقایی)*، ترجمه مهرداد قیومی بیدهندی، تهران: روزنه.
 نوربرگ شولتز، کریستیان (۱۳۹۳)، *گزینه‌ای از معماری: معنا و مکان*، ترجمه ویدا نوروز برازجانی، تهران: پرهام‌نقش.

Barnsley, Michael. F. et. all. (1988), *The science of fractal images*, Newyork: Springer.
 Ghuchani, Mahya & Mokaberian, Mehdi (2022), *Fractal Dimension of Islamic Architecture: The Structure of the "Patkaneh" in the dome of the Jame' Mosque of Ardestan, Iran*, *Journal of Science* 1233-1246.

Mandelbrot, Benoit B. (1982), *Fractals and the geometry of nature*, *WH freeman*, 1: 169-180.
 Mandelbrot, Benoit B. (1985), *Self-Affine Fractals and Fractal Dimension*, *Physica Scripta* (IOP Publishing Ltd) 32 (4): 257.