

تبيين تطبیقی نظام‌های هندسه فراکتال
در سازماندهی معماری و آرایه‌های
مسجد نصیرالملک/۱۴۵-۱۶۳



وحدت در کثرت در سامانه کالبدی
مسجد نصیرالملک در تناظر با
الگوی جامع هندسه انتزاعی از
طبیعت، مأخذ:

www.kindiran.com



تبیین تطبیقی نظام‌های هندسه فراکتال در سازماندهی معماری و آرایه‌های مسجد نصیرالملک*

فرناز فرشیدراد** ایرج اعتصام*** وحید قبادیان****

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۲۶

صفحه ۱۴۵ تا ۱۶۳

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

هندسه ایرانی حاصل جهان بینی معمار ایرانی در شناخت دیدگاه‌های فلسفی، علوم طبیعی و ریاضیات کاربردی است. ساختار معماری و کاربرد آرایه‌های هنر ایرانی برگرفته از الگوهای هندسه طبیعت در سازماندهی انواع کاربردی‌ها و تزئینات آسمانه، دیدگاه مخاطب رابه هستی‌شناسی و زیباشناسی در مفاهیم نقش‌های گشاید. در این راستا از منظر علوم جهان‌شناختی نوین، علم فراکتال مطالعه در ساختار و هندسه طبیعت است که در این منظر یک تعامل مستقیم بین معماری ایران، کارکرد، به کارگیری هنر تزئینات و هندسه فراکتال مطرح می‌شود. اهداف این پژوهش عبارت است از: ۱. تبیین انتظام هندسی و اقتباس ویژگی‌های کاربردی در ساختار فراکتال ۲. توصیف چگونگی ترکیب‌بندی و سلسله‌مراتب اتصالات در مسجد نصیرالملک از منظر معماری سامانه‌ای ۳. ارزیابی کیفیت فراکتالی نقش‌های آسمانه در طاق چشمه‌های مسجد نصیرالملک بر مبنای الگوهای جامع فراکتال. بنابراین پرسش‌هایی که مطرح می‌شود: ۱. آیا نظام‌های هندسه طبیعت در سازماندهی معماری مسجد نصیرالملک قابل تبیین است؟ ۲. چگونه عناصر معماری، ترکیب‌بندی و ایجاد آرایه‌ها در مسجد نصیرالملک با ویژگی‌های هندسه فراکتال قابل تطبیق است؟ روش تحقیق همبستگی و نوع پژوهش کاربردی است که به صورت پدیدارشناسانه و کیفی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. گردآوری اطلاعات از طریق مطالعات کتابخانه‌ای، منابع علمی و مراجع الکترونیکی انجام می‌شود. تجزیه و تحلیل به شیوه الگوبرداری فرمی و کارکردی است. در این مطالعه هفت مرحله هندسه‌مدار در مراتب سازماندهی ساختار نمونه فراکتالی تبیین می‌شود. نظام‌های هندسی فرم‌های آزاد و هندسه متمرکز به مرکز در فراکتال به عنوان ساختار خودسازمانده، روند معتبری را در سازماندهی معماری و آرایه‌های مسجد نصیرالملک نشان می‌دهند. ویژگی‌های هندسه فراکتال، استوار بر خودمتشابهی، خودسازماندهی و وحدت است که در ارزیابی کیفیت فراکتالی مسجد نصیرالملک با استفاده از مدل تطبیقی-توصیفی شرح داده می‌شوند. بر اساس نتایج تحقیق، انتظام‌های هندسه طبیعت به عنوان ایده‌ای کارآمد در ساختار معماری، ترکیب‌بندی عناصر، سلسله‌مراتب اتصالات و بیان مفاهیم زیباشناسی هنر تزئینات در سازماندهی معماری و آرایه‌های مسجد نصیرالملک ایجاد شده است.

واژگان کلیدی

نظام‌های هندسی طبیعت، هندسه فراکتال، معماری سامانه‌ای، مسجد نصیرالملک.

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری با عنوان «تبیین کاربرد هندسه فراکتال در معماری» است که به راهنمایی نویسنده دوم و مشاور نویسنده سوم در تاریخ ۱۳۹۸/۱۰/۱۴ در دانشکده معماری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد امارات ارائه شده است.
** دانشجوی دکتری تخصصی، گروه معماری، واحد امارات، دانشگاه آزاد اسلامی، دبئی، امارات متحده عربی.

Email:fnzrad@yahoo.com

** استاد، گروه معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول) Email: irajetessam@yahoo.com

Email: v_ghobad@yahoo.com

*** دانشیار، گروه معماری، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

مقدمه

شکوفایی فراکتال‌ها و الگوهای هندسی آن توسط ریاضی‌دان فرانسوی بنوآ مندلبرات، در مجموعه مندلبرو تصور و مطرح شد. مندلبرات در این نظریه عنوان کرد پدیده‌های طبیعی، ابعاد و الگوهای هندسی فراکتال دارند و طبیعت در ایجاد صور مختلف از ویژگی‌های فراکتال استفاده می‌کند. مطابق با آن هندسه فرکتال در ماهیت، خودمتشابه و خودسازمان یافته است، بدان معنی که اجزاء آن در یک مقیاس معلوم جزئی از کل و در یک روند مشخص وحدت را در خود نمایان می‌کنند. در تناظر ویژگی خودمتشابهی و خودسازماندهی در فراکتال با شیوه به کارگیری معماری سنتی ایران، می‌توان بیان کرد، خودمتشابهی در تناسبات و در مقیاس‌های مختلف در معماری ایران ایجاد شده است. طرح‌های هندسه ایرانی از اصل تبدلات هندسی استفاده می‌کنند تا به صورتی نظام‌مند مراتب هندسی از اتصالات و انشعابات را در ساختار بنا ایجاد کنند. این نقش‌ها که در انواع آرایه‌های معماری ایران دیده می‌شوند، نشان دهنده تناسب موزونی بین آسمان و زمین و دارای مفاهیم زیباشناسی و جهان‌شناختی هستند. در بررسی استفاده از هندسه فراکتال در معماری ایران مشاهده می‌شود که هندسه ایرانی ملحق از علوم جهان‌شناختی و برگرفته از طبیعت است. معمار ایرانی با شناخت فلسفه و ریاضیات، هندسه انتزاعی از طبیعت را به درستی ترسیم و از ابعاد گسترده الگوهای هندسه طبیعت در معماری استفاده کرده است. در حقیقت معماران سنتی بدون تقلید عینی از طبیعت، با رجوع و وقوف به قدر و هندسه و اصولی که مبنای شکل‌گیری مخلوقات عالم هست، آثاری را به وجود آوردند که با طبیعت مشابه است. در حالی که معماران و اندیشمندان نظریه‌هایی را در بیان فراکتال‌ها و هندسه طبیعت عنوان کرده‌اند لیکن تبیین جامع از انتظام هندسه طبیعت و تطبیق ویژگی‌های آن در معماری ایران به عنوان یک سامانه پایدار مد نظر این پژوهش است؛ بنابراین اهداف اصلی این پژوهش عبارت است از:

۱. تبیین انتظام هندسی و اقتباس ویژگی‌های کاربردی در ساختار فراکتال؛

۲. توصیف چگونگی ترکیب‌بندی و سلسله‌مراتب اتصالات در مسجد نصیرالملک از منظر معماری سامانه‌ای؛

۳. ارزیابی کیفیت فراکتالی نقش‌های آسمانه در طاق چشمه‌های مسجد نصیرالملک بر مبنای الگوهای جامع فراکتال.

از آنجا که رویکرد این پژوهش تبیین پارامترهای موثر در شکل‌گیری معماری ایران و بررسی وجوه تشابه بین هندسه ایرانی و هندسه فراکتال است، سؤال‌های که مطرح می‌شود عبارت است از:

۱. آیا نظام‌های هندسه طبیعت در سازماندهی معماری مسجد نصیرالملک قابل تبیین است؟

۲. چگونه عناصر معماری، ترکیب‌بندی و ایجاد آرایه‌ها در مسجد نصیرالملک با ویژگی‌های هندسه فراکتال قابل تطبیق است؟

ضرورت و اهمیت تحقیق بر مبنای ویژگی‌های فراکتال و کاربرد آن در عناصر معماری، به گونه‌ای است که در آن پارامترهای مورد نیاز معماری تحت زبان توابع هندسی و گسترش‌های آن در سه سامانه توصیف می‌شوند. تأثیر این پارامترها در روند سازماندهی معماری، بیان مفاهیم زیباشناسی هنر تزئینات و در سیستم مهندسی بنا در نظر گرفته می‌شوند.

روش تحقیق

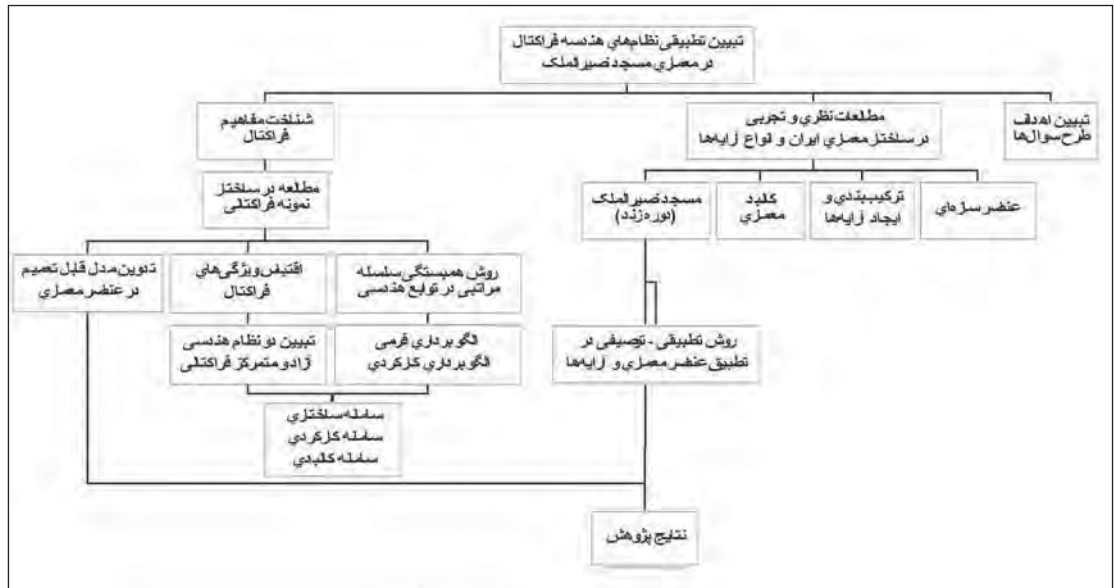
روش تحقیق همبستگی و نوع پژوهش کاربردی است که به صورت پدیدارشناسانه و کیفی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. گردآوری اطلاعات از طریق مطالعات کتابخانه‌ای، منابع علمی و مراجع الکترونیکی انجام می‌شود. فرایند تحقیق در این مطالعه، اقتباس ویژگی‌های فراکتالی و تبیین نظام‌های هندسی فرم‌های آزاد و هندسه متمرکز به مرکز در سازماندهی ساختار است که با بررسی نمونه فراکتالی انجام می‌شود. استفاده از نمونه فراکتالی امکان تولید مقاطع مورد نظر را از منظر توابع هندسی فراهم می‌کند. با توجه به اصول معماری دوره زند بر مبنای کارکردگرایی، طبیعت‌گرایی و طبیعت‌نگاری، مسجد نصیرالملک به عنوان مورد مطالعاتی انتخاب می‌شود. روش تحقیق به دلیل برقراری ارتباط منطقی میان مفاهیم پژوهش و شاخص‌ها همبستگی سلسله‌مراتبی است. کاربردهای هندسه معیار و ابعاد استفاده از ویژگی‌های فراکتال را در عناصر معماری مشخص می‌کند. در راستای دستیابی به پاسخ پرسش‌ها و نتایج پژوهش، ویژگی‌های فراکتال در سه سامانه ساختاری، کارکردی و کالبدی در مدل معماری تدوین می‌شوند. ویژگی‌های هندسه فراکتال در ساختار ستون‌ها، ترکیب‌بندی عناصر معماری و سلسله‌مراتب اتصالات و همچنین در بیان مفاهیم زیباشناسی هنر تزئینات در مسجد نصیرالملک به صورت تطبیقی-توصیفی ارزیابی می‌شوند (نمودار ۱). شیوه تجزیه و تحلیل به صورت الگوبرداری فرمی و کارکردی در توابع هندسه انجام می‌شود.

مراحل پژوهش

مراحل پژوهش به صورت مشاهده پدیدارشناسانه در نمونه فراکتال از استخراج داده‌ها تا ایجاد مدل هندسی قابل تعمیم، در عناصر معماری در نظر گرفته شده است که عبارت است از:

مرحله اول: اقتباس ویژگی‌های فراکتال و استخراج داده‌ها با استفاده از روش پدیدارشناسی.

در روش پدیدارشناسی این تحقیق داده‌های کیفی از مشاهده عینی در پدیده فراکتال بدست می‌آید تا ماهیت متغیرها و



نمودار ۱. فرایند تحقیق. مأخذ: نگارندگان.

چگونگی روابط میان آنها را شناسایی کند. استفاده از این روش به عنوان یک استراتژی معیارهای پژوهش را در چگونگی ساختار یک نمونه فراکتال، از ابتدا تا انتها هدایت می‌کند.

مرحله دوم: تبیین مفاهیم و شاخص‌ها.

مرحله سوم: بررسی میزان ارتباط بین مفاهیم و شاخص‌ها و استخراج توابع هندسی به صورت روند سلسله مراتبی. در استخراج توابع هندسی، از تحقیقات پژوهشگران و ریاضی‌دانان حوزه هندسه طبیعت و فراکتال در ساختار نمونه استفاده می‌شود که ویژگی‌های خودمتمثالی، خودسارمانده‌ی و وحدت را نشان می‌دهند. این توابع می‌توانند به صورت سلسله مراتب در روند ایجاد ساختاری شبیه به فراکتال در عناصر معماری کاربرد داشته باشد.

در مرحله سوم پس از تبیین شاخص‌ها، بررسی می‌شود آیا رابطه‌ای بین متغیرها وجود دارد؟ و مشخص می‌گردد کدام متغیر با متغیر دیگر دارای سلسله مراتب پس از آن است.

مرحله چهارم: ایجاد مدل پژوهشی شبیه به فراکتال و قابل تعمیم با عناصر معماری.

در مرحله چهارم تعمیم پذیری مدل پژوهشی با عناصر معماری در برقراری ارتباطات فضایی و پیوستگی‌های ساختاری و اهمیت آن بررسی می‌شود.

پیشینه تحقیق

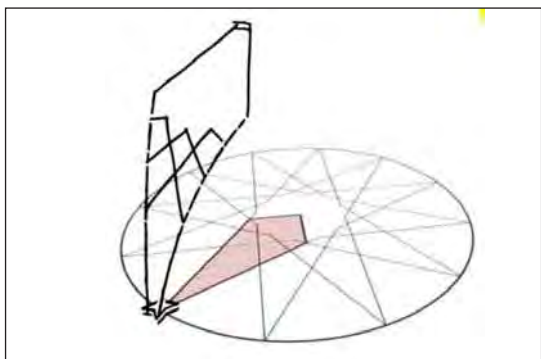
معماری و شیوه به کارگیری هندسه ایرانی، سهم چشم‌گیری را در ایفای جلوه‌های جهان‌شناختی و معنوی بناهای ایران دارند. به لحاظ معنایی می‌توان بیان کرد هویت در معماری

ارتباط مستقیمی با جهان‌بینی معمار دارد، به میزانی که معمار به شناخت درستی از خود و جهان پیرامونش اشراف می‌یابد به همان میزان می‌تواند به اثر معماری معانی والایی را بخشد. در جهان‌بینی معمار ایرانی، هستی تماماً تجلی‌گاه خداوند در مقام احدیت و یگانگی است، بنابراین معماری در مراتب وجودیش از یگانگی منشاء می‌شود به صورتی که به سمت یکتایی رفتن و از آن دوباره منشعب شدن را در اصول، هماهنگی و مفاهیم زیباشناسانه به نمایش می‌گذارد. الگوهای هندسه ایرانی برگرفته از طبیعت، صورت‌های کثرت در وحدت هستند، این نقش‌ها خودمتمثاله و متوجه به مرکز، نمایانگر یک نظام هندسی از ادراک خداوند و ابزار قدرت‌مندی برای خلق تناسبات در معماری و مطابقت زمین با آسمان در نظر گرفته می‌شوند. (منصوری، ۱۳۹۷)

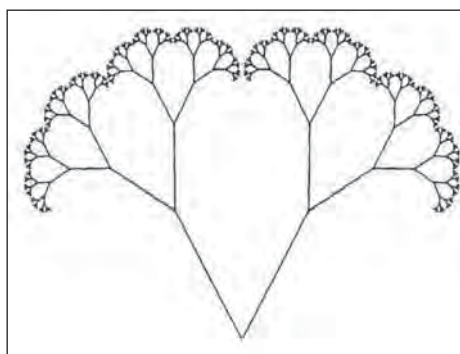
مقاله «نقش‌های آسمانه». مجله منظر، شماره ۴۵. عنوان می‌کند: نقش‌های آسمانه زیبا آفرینی مرتبط از منظر آسمان را درون فضای معماری پدید می‌آورد. (نادری، ۱۳۷۴)

مقاله «همنشینی اضداد در معماری ایرانی». مجله آبادی، شماره ۱۹. بیان می‌کند: هندسه اساسا عنصر متحد کننده جزء و کل است، مطلق است و انسان را با منطق آفرینش، نظم طبیعت و آسمان آشنا می‌کند. (ندیمی، ۱۳۷۸)

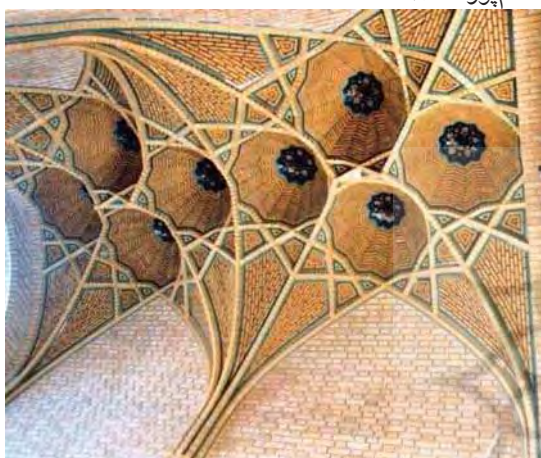
مقاله «حقیقت نقش». نشریه نامه فرهنگستان علوم، شماره ۱۴-۱۵. معماری ایران را در هماهنگی با طبیعت می‌داند و بیان می‌کند: طبیعت محسوس و هندسه شگفت انگیز آن که رمزگشای صورت مثالی است، منبع الهام معمار است. وی با شهود این رمزاها و برگرفتن آن با عمق جان و پرگشودن در فضای خیال، نقش پرداز حقیقت می‌گردد. الهام معمار سالک از طبیعت و نقش پنهان آن است که هندسه وجدانی



ب) هندسه یزدی‌بندی. مأخذ: نظری، مظاهریان، معماریان و کاظم‌پور، ۱۳۹۶.



الف) درخت فراکتال. مأخذ: Mandelbrot, 1983, 155.



د) سلسله مراتب در پیوستگی‌های ساختاری در معماری ایران. مأخذ: رئیس زاده، مفید، ۲۲۵: ۱۳۹۳.



ج) سلسله مراتب در فراکتال. مأخذ: Sala, 2013.



ه) ترکیب‌بندی راسکین. مأخذ: Ruskin, 1857, 280 و ترکیب‌بندی قوس‌های متقاطع. مأخذ: نگارندگان.

تصویر ۱. ویژگی‌های ساختار هندسه طبیعت و فراکتال.

می‌کنند: آثار اصیل معماری ایران حکایت از آن دارد که معماران سنتی به درستی از هندسه به کار رفته در ساختار عناصر طبیعی آگاه بوده‌اند. سالینگاروس (Salingaros, 2004) در مقاله «Fractals in the New Architecture» نشریه کاتاریکس، شماره ۳، در بررسی معماری جدید بر پایه

خود را پس از تکررات پیش چشمان شهودی قرار می‌دهد. (مستغنی و علیمرادی، ۱۳۹۲) در مقاله «واکاوی کاربرد هندسه طبیعت و فراکتال در معماری پارامتریک با بررسی آرایه داخلی گنبد مسجد شیخ لطف الله». نشریه نامه معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، شماره ۱۶. بیان



مبانی نظری پژوهش

مهم‌ترین معرف هویت هر سامانه طبیعی هندسه آن است. هر ساختار طبیعی را می‌توان سامانه‌ای در نظر گرفت که بر اساس هندسه فطری خود تعریف می‌شود. این همان موضوعی است که توسط مندلیبرات به عنوان هندسه واقعی از طبیعت یا فراکتال مطرح شد. در این راستا، دو نظام هندسی فرم‌های آزاد و هندسه متمرکز به مرکز در پدیده‌های طبیعت قابل تبیین است.

هندسه آزاد

هندسه فرم‌های آزاد بر اساس تطابق سامانه ساختاری و کارکردی در پدیده‌های طبیعت ایجاد می‌شود، اجزائی همچون بدنه، اتصالات و انشعابات که نظریه پردازان علم فراکتال به آن استناد می‌کنند همه در نحوه رفتار ارتباطی با هم مشترک‌اند و چنین رفتاری نیاز به هندسه آزاد یا فراکتال دارد (نقره‌کار، ۱۳۹۲). «اتصال - انشعاب» و «تداوم - انسجام» از ماهیت‌های مهم هندسه آزاد یا غیرخطی، در پایداری ساختارهای طبیعت و سلسله‌مراتب اتصالات هستند. در اتصال، طبیعت از یک عنصر واسطه جهت ایجاد اتصالات استفاده می‌کند تا به بهترین نحو وارد نظام ساختاری انشعاب در مرحله بعد شود. در انشعاب، ظهور متعالی‌تری از هوشمندی و هدف‌مندی در یک حرکت تکاملی بوجود می‌آید (همان). انشعاب الگوی کنشی مهمی در فرآیند رشد طبیعی است که در سری اعداد فیبوناچی تقسیم می‌شود (خاک‌زند و احمدی، ۱۳۸۶). نسبت طلایی فیبوناچی که در تناسبات هندسه طبیعت وجود دارد از رموز مانایی ساختارهای طبیعت است (مصاحب، ۱۳۵۵). در تداوم، طبیعت با توالی عناصر شبیه به خود و ایجاد ریتم در فرآیند تکامل به عالی‌ترین وجه وارد سیستم سازماندهی ساختار می‌شود. در انسجام، طبیعت از کارکردهای هندسه غیرخطی، سهمی‌ها و هذلولی‌ها در ایجاد پیوستگی‌های ساختاری استفاده می‌کند (فرشیدراد، اعتصام، قبادیان، ۱۳۹۹).

هندسه متمرکز به مرکز

هندسه متمرکز در سامانه کالبدی و انتظام درونی پدیده‌های طبیعت ایجاد می‌شود. ویژگی این هندسه برخورداری از تناسبات طلایی در گسترش‌های هندسی متمرکز به مرکز است. حسن این تناسبات آن است که می‌توان اشکال خودمتشابه را در آن ایجاد کرد. در طبیعت نسبت‌های طلایی، تولید مقیاس‌های مشابه می‌کنند، فرم شکل حلزونی در گسترش فیبوناچی، گونه‌ای مستطیل خودمتشابه را در درون خود می‌آفریند (محمودی نژاد، ۱۳۸۸). خودمتشابهی که ویژگی اصلی در هر سامانه فرکتالی است، ساختاری معادل کل سیستم را تولید می‌کند. «هماهنگی و یگانگی» ماهیت مهم در هندسه متمرکز در فراکتال است به طریقی

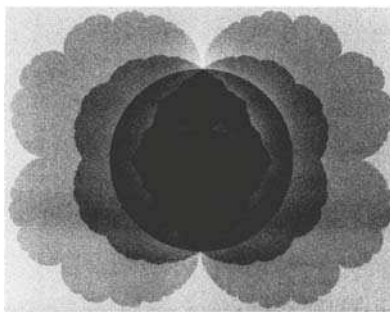
فراکتال‌ها، معماری‌های مهم سنتی، را دارای مشابهت‌های ریاضی با طبیعت در نظر گرفته است. ساللا (Sala, 2013) در مقاله «Fractal Geometry and Super Formula to Model Natural Shapes» مجله بین‌المللی تحقیقات و مطالعه در علوم کاربردی، شماره ۴، ایده فراکتال را در ساختار عناصر و هنر تزئینات در معماری مورد مطالعه قرار داده است. بوویل (Bovill, 2000). در مقاله «Fractal Geometry as Design Aid» مجله هندسه و گرافیک، دانشگاه مرلند، شماره ۱، ایجاد هندسه متمرکز به مرکز را ویژگی فراکتالی در نظر گرفته است. در راستای ادراک نظام طبیعت راسکین (Ruskin, 1857) در کتاب *The Elements of Drawing* نشر اسپاتیسوود اند کو. ترکیب‌بندی در هندسه فرم‌های آزاد طبیعت را مبنای هنر و معماری قرار داده است، او عنوان می‌کند، هدف بزرگ این ترکیب حفظ وحدت و یگانگی است. (نصر، ۱۳۷۹) در کتاب *نیاز به علم مقدس*. نشر طه. معتقد است: هندسه مقدس و تناسبات که در بسیاری از اشکال طبیعی وجود دارد به طریق استادانه توسط معمار ایرانی استفاده شده است. او از کاوش پدیده‌های طبیعت در به کارگیری از این هندسه استفاده می‌کند تا ذهن مکاشفگر را از جهان محسوس به جهان معقول هدایت کند. در این دیدگاه (نقره‌کار، ۱۳۹۲) در کتاب *رابطه انسان با طبیعت و معماری*. نشر دانشگاه علم و صنعت. عنوان می‌کند: گاهی عمق مفهوم و زیبایی‌های صوری این هندسه آن چنان است که جز با شهود، دستیابی به این حد از توانایی هندسی امکان نداشته است. او همچنین معماری سامانه‌ای را از منظر هندسه طبیعت مورد مطالعه قرار داده است در این راستا، عناصر کارکردهای گوناگونی را در سامانه به عهده دارد و همه آنها تشکیل یک کل واحد را می‌دهند.

اگرچه این صاحب‌نظران و معماران رویکردهای مختلف از فراکتال و الگوهای هندسه طبیعت را مطرح کرده‌اند، تاکنون سازماندهی عناصر معماری ایران و طرح‌های آسمانه آن را از منظر نظام‌های هندسی فراکتال ارائه نداده‌اند. این پژوهش مراحل هندسه‌مدار ساختار فراکتال را تبیین و ویژگی‌های فراکتال را در سه سامانه ساختاری، کارکردی و کالبدی تدوین می‌کند و با مطالعه عناصر معماری و آرایه‌های معماری مسجد نصیرالملک اثبات می‌کند که معماری ایران به عنوان یک مصداق ارزشمند در توجه به این اصول به عنوان یک سامانه پایدار بسیار موفق است.

در راستای دستیابی به پاسخ سؤالات پژوهش، در مورد اینکه کدام ویژگی‌های هندسه طبیعت در معماری تاثیرگذار است و معیار به کارگیری آن چگونه است، ابتدا نظریات پژوهشگران و معماران را در استفاده از ویژگی‌های هندسه طبیعت و فراکتال مطالعه و سپس در مبانی نظری محتوا و کاربرد آن در معماری ایران بررسی می‌شود (جدول ۱).

جدول ۱. نظریات پژوهشگران و معماران در استفاده از ویژگی‌های هندسه طبیعت و فراکتال در معماری. مأخذ: نگارندگان.

| مستحیل در وحدت (کثرت در وحدت) | مراتب اتصالات (خودسازماندهی) | ساختار تکرار شونده (خودمتشابهی) | نظریات | معماران |
|--|------------------------------------|---------------------------------------|---|---|
| ✓ | ✓ | ✓ | راسکین پیشگام در ترسیم و به کارگیری قانون تناسب، فرم‌های طبیعت و ساختارهای مشابه به خود است، او ترکیب‌بندی در هندسه فرم‌های آزاد طبیعت را مبنای هنر و معماری قرار داده است. | راسکین، ۱۸۷۵ |
| ✓ | ✓ | | آلبرتی توامان پایداری سازه‌ای، کارکرد و زیباشناسی برگرفته از ساختارهای طبیعت را در معماری ایجاد کرده است. | آلبرتی، ۱۹۸۷ |
| ✓ | ✓ | ✓ | گانودی کارکردهای سهمی‌ها و هذلولی‌ها را در معماری استفاده کرده است. | گانودی |
| ✓ | ✓ | ✓ | مندلیبرات ماهیت فراکتال را با هندسه غیرخطی در فرم و ساختار انطباق می‌دهد که تشابه، تداوم، ریتم و هماهنگی مهم‌ترین شاخص‌های آن است. | مندلیبرات، ۱۹۸۳ |
| ✓ | ✓ | ✓ | بوویل، کرامپتون، جوی، حقانی، سالا و رمزی ایده فراکتال را در ساختار، ترکیب‌بندی عناصر و هنر تزئینات در بناهای دوره گوتیک مورد مطالعه قرار داده‌اند. آنها انشعابات فراکتالی را در سرستون‌ها، تداوم خودسازماندهی را در مراتب اتصالات، هندسه مشابه به خود را در هنر تزئینات و ایجاد ریتم را در ساختار فرم، ترکیبی از فرایند فراکتالی در این بناها معرفی کرده‌اند. | بوویل، ۲۰۰۰ کرامپتون، ۲۰۰۴ جوی، ۲۰۰۷ حقانی، ۲۰۰۹ سالا، ۲۰۰۶ رمزی، ۲۰۱۵ |
| ✓ | | ✓ | سالینگاروس در بررسی معماری جدید بر پایه فراکتال‌ها، معماری‌های مهم سنتی را دارای مشابهت‌های ریاضی با طبیعت در نظر گرفته است. | سالینگاروس، ۲۰۰۴ |
| | ✓ | ✓ | جنکز معماری فراکتالی را تفسیر هنری از واقعیت فیزیکی جهان‌ هستی می‌داند که بر اساس سیستم‌های خلاق و خودسازمانده ارتباط دقیقی بین الزامات فنی و مفاهیم زیباشناسی در معماری برقرار می‌کند. | جنکز، ۱۹۹۷، ۲۰۰۲، ۲۰۱۱ |
| ✓ | ✓ | | موسوی معماری فراکارکردی را بر اساس سیستم‌های طبیعت تعریف می‌کند که متغیرهای متفاوتی از انتظام طبیعت، ریاضیات و هماهنگی در آن تاثیرگذار است و کارکردهای نوینی را در معماری روایت می‌کند. | موسوی، ۲۰۰۹ |
| ✓ | | | نصر عنوان می‌کند، مفهوم کثرت پایان ناپذیر خلقت، فیض وجود است که از احادیث صادر می‌شود. | نصر، ۱۳۶۶ |
| ✓ | | | نادری هندسه را اساسا عنصر متحد کننده جزء و کل می‌داند که مطلق است و انسان را با منطق آفرینش، نظم طبیعت و آسمان آشنا می‌کند. | نادری، ۱۳۷۴ |
| ✓ | ✓ | ✓ | نقره‌کار معتقد است، در اندیشه معمار ایرانی نگرش سیستمی و سامانه‌ای و دیدگاه کل‌گرایانه به طبیعت و جهان مطرح است. | نقره‌کار، ۱۳۹۲ |
| ✓ | | ✓ | مستغنی بیان می‌کند، آثار اصیل معماری ایران حکایت از آن دارد که معماران سنتی به درستی از هندسه به کار رفته در ساختار عناصر طبیعی آگاه بوده‌اند. | مستغنی، ۱۳۹۲ |
| ✓ | | ✓ | روح الامین عنوان می‌کند استفاده از نگرشی همراستا با نگرش فرکتال پیش از مطرح شدن دانش هندسه فرکتال در نقوش معماری ایران ایجاد شده است. الگوهایی که در هنرهای ترسیمی دیده می‌شود و رابطه فلسفی آن با هندسه فرکتال و انطباق آن با نظریه وحدت در کثرت، از جمله این نگرش‌ها است. | روح الامین، ۱۳۹۲ |
| ✓ | ✓ | ✓ | فرشیدراد قوانین هندسه فراکتال را در ساختار فرم معماری تبیین کرده است. | فرشیدراد، ۱۳۹۸ |



(ب) ساختار فراکتال. مأخذ: Mandelbrot, 1983: 185.



(الف) عناصر معماری کاخ عالی قاپو. مأخذ: نگارندگان.



(د) Snoflack Fractal. مأخذ: Mandelbrot, 1983: 146.



(ج) هندسه مقرنس عمارت قیصریه. مأخذ: نگارندگان.



(و) هندسه گل آفتابگردان. مأخذ: مستغنی و علیمرادی، ۱۳۹۲.



(ه) ساختار داخلی گنبد. مأخذ: نگارندگان.

تصویر ۲. ویژگی‌های فراکتال از منظر ساختار، کارکرد و کالبد در معماری ایران.

معماری ایران سبب می‌شود که این معماری همچون یک سامانه پایدار در نظر گرفته شود و هر معماری که دارای چنین اصولی باشد را طبیعت‌گرایانه و فراکتالی بنامیم.

ویژگی‌های ساختار هندسه طبیعت و فراکتال

- عناصر خودمتمشابه

مندلبرات در بررسی الگوهای هندسه طبیعت به اصل مهم تکرار همگون از جزء تا کل اشاره می‌کند، به گونه‌ای که کل با جزء بسیار همانند است و هر مجموعه از ترکیب اجزاء

که در یک هماهنگی، ساختارهای طبیعت به سمت یگانگی رفتن و از آن دوباره منشعب شدن را به نمایش می‌گذارند (فرشیدراد و همکاران ۱۳۹۹).

در این دیدگاه، کامل‌ترین نگرش در بیان اصول و ویژگی‌های معماری سنتی ایران و دلائل ارزشمند بودن پایداری آن روش سامانه‌ای است. از منظر نگرش سامانه‌ای این معماری با سامانه‌های طبیعت همگرا است (نقره‌کار، ۱۳۹۲) و وجود دو نظام هندسی آزاد و متمرکز در ساختار فضایی آن قابل تبیین است. جنبه‌های هندسی برگرفته از طبیعت در

| ویژگی‌های فراکتال | مفاهیم | شاخص‌ها | روش همبستگی |
|-------------------|--------------|------------------|---|
| عناصر خودمتشابه | خودمتشابهی | تبادل - تشابه | کاربردهای هندسه خطی و هندسه غیرخطی در ساختار نمونه |
| مراتب اتصالات | خودسازماندهی | تداوم - انسجام | |
| مستحیل در وحدت | وحدت در کثرت | هماهنگی - یگانگی | |

ترکیب‌بندی در طبیعت به معنای در کنار هم قرار دادن چند جزء، به منظور ایجاد یک کل از میان آنها است. راسکین عنوان می‌کند «این ماهیت ترکیب است که همه اجزاء باید در یک مکان مشخص قرار گیرند، سازماندهی مورد نظر را اجرا کنند و در آن همه عناصر مرتبط به یکدیگر به طور مطلوب ایجاد شوند» (تصویر ۱-۵). او همچنین نشان می‌دهد که «هدف بزرگ ترکیب‌بندی حفظ وحدت است، به این معنا که کل حاصل تعدادی از اجزاء است، نخستین مرحله که در ترکیب انجام می‌گیرد، تعیین می‌کند که یکی از اجزاء دارای مرتبه مهم‌تر است و دیگر اجزاء در موقعیت‌های زیر گروه هستند» (Ruskin, 1857, 249). در بررسی آرایه داخلی خانه بروجردی‌ها می‌توان بیان کرد، که معمار ایرانی منبع الهام خویش را طبیعت قرار داده و در ایجاد مرکزیت از هندسه انتزاعی طبیعت استفاده کرده است. تصویر ۱-۱ و مطابقت ترکیب‌بندی قوس‌های متقاطع را در ایجاد وحدت با ترکیب‌بندی راسکین از نظام طبیعت نشان می‌دهد. در این ترکیب‌بندی هر جزء از آن، جزئی از سازواره کلی به شمار می‌آید و تمامی عناصر در این نظام بهم مرتبط و هدف این انتظام حفظ وحدت و یگانگی است.

ویژگی‌های فراکتال از منظر ساختار، کارکرد و کالبد در معماری ایران

عناصر معماری و سازه‌ای مطابق با نظر مندلبرات اصلی‌ترین ویژگی فراکتال ایجاد عناصر خودمتشابه و انشعابات در ساختار است که با عناصر سازه‌ای در معماری مطابقت دارد. بهره‌گیری از قوانین طبیعت در ایجاد بهینه‌ترین فرم سازه‌ای و سلسله مراتب انتقال نیرو مرتبط با هندسه و سازه است (روحی‌زاده، حافظی، فرخ‌زاد، پناهی، ۱۳۹۷). در این راستا، در معماری سنتی ایران در هر فضا چندین کارکرد مد نظر قرار می‌گیرد و ساختار از سازه‌ای که سازگاری خود را در انتقال مناسب نیروها بدست آورده است ایجاد می‌شود. در تناظر عناصر معماری کاخ عالی‌قاپو با ساختار فراکتال

همگون با کل ساخته می‌شود (Mandelbrot, 1983). به عنوان نمونه درخت فراکتال مندلبرو (تصویر ۱-الف) ساختاری است متشکل از اجزاء خودمتشابه و هر جزء آن نسبت معینی از کل ساختار را دارد. در تناظر ویژگی خودمتشابهی در فراکتال با شیوه به کارگیری رسمی‌بندی‌ها در معماری ایران می‌توان عنوان کرد، خودمتشابهی در تناسبات و در مقیاس‌های مختلف در این نوع ساختار ایجاد شده است. در هندسه یزدی‌بندی (تصویر ۱-ب) از تکرار همگون واحدهای مشابه لوزی (نظری، سهیل و مظاهریان، حامد و معماریان، غلامحسین و کاظم‌پور حمیدرضا، ۱۳۹۶) در انتظام قوس‌ها استفاده می‌شود که در آن قوس‌ها به اجزاء مشابه و متناسب از خود تقسیم می‌شوند تا مراتب هندسی از اتصالات و انشعابات را در ساختار ایجاد کنند.

- مراتب اتصالات

فراکتال‌ها در تداوم و انسجام، سلسله مراتب پایداری (تصویر ۱-ج) را در صورت و ساختار ایجاد می‌کنند به گونه‌ای که خود را سازماندهی و متکامل می‌کنند (Sala, 2013). سالینگاروس بیان می‌کند، در فرم‌های طبیعی و معماری سنتی خاصیتی به نام سلسله مراتب و مقیاس‌بندی وجود دارد که از بزرگترین تا کوچکترین اندازه بر اساس مقیاس مرتب می‌شود و میان اجزاء آنها نسبت ثابتی برقرار می‌شود (محمودی نژاد، ۱۳۸۸). در این دیدگاه، سازماندهی معماری ایران همانند فراکتال، دارای سلسله مراتب در پیوستگی‌های ساختاری است (تصویر ۱-د) به شیوه‌ای که شماری از عناصر دارای مراتب اتصالات در ایجاد کاربردی‌ها و طاق چشمه‌ها هستند. معمار ایرانی در به کارگیری مقیاس و اتصال مقیاس‌های متفاوت به یکدیگر موفق است (شرقی، عزیزمقدم، جمالی گندمانی، ۱۳۹۹). این اتصالات عامل برقراری تداوم و انسجام در ساختار معماری ایران است.

- مستحیل در وحدت

| هفت مرحله هندسه‌مدار در روند سازماندهی ساختار نمونه فراکتال | | | | | | |
|---|----------|----------|---|---------------------------|-------------------|---|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| روش همبستگی در تبیین کاربردهای هندسه خطی و غیرخطی در ساختار نمونه | | | | | | |
| | | | | | | |
| ۱. دوران | ۲. تبدیل | ۳. اتصال | ۴. انشعاب | ۵. سلسله مراتب اتصالات | ۶. تصاعدهای هندسی | ۷. اتحاد و تکرار |
| <p>مفاهیم: خودمتمایبی شاخص‌ها: تبادل - تشابه</p> | | | <p>مفاهیم: خودسازماندهی شاخص‌ها: تداوم - انسجام</p> | | | <p>مفاهیم: وحدت شاخص‌ها: هماهنگی - یگانگی</p> |
| سامانه ساختاری | | | سامانه کارکردی | | | سامانه کالبدی |
| هندسه فرم‌های آزاد | | | هندسه متمركز به مركز | | | |

۱. Helix: یک منحنی که بین دو نقطه دوران می‌کند.

۲. Superellipse: بیضوی‌های کنج دار با معادله دکارتی را نمایش می‌دهد.

۳. Ellipsoid: یک بیضوی درجه دوم در مختصات دکارتی ایجاد می‌کند.

۴. Barnsleys Fern: یک تقسیم‌بندی دوره‌ای را اجرا می‌کند.

۵. Conic Section: انواع منحنی‌ها را توسط تقاطعات با مخروط ایجاد می‌کند.

۶. Pythagoras Tree: تصاعدهای هندسی را نمایش می‌دهد.

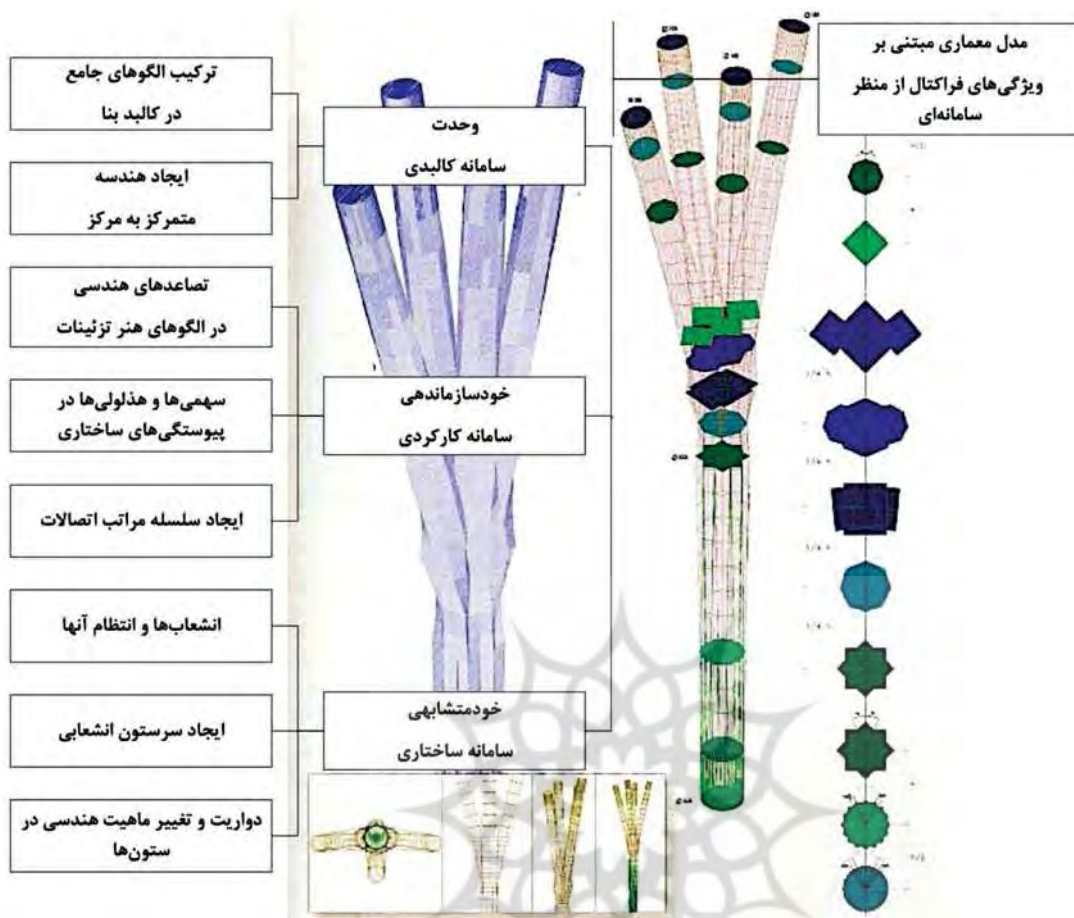
۷. Seed of Life: دایره‌ها با تقارن شش برابر قرار می‌گیرند، الگویی از دایره‌ها را در تکرار و وحدت به اجرا می‌گذارند.

۸. SAM (System Architecture): مدل پژوهشی معماری سامانه‌ای، مستخرج در این پژوهش.

ایران، بیشترین کارکرد را در برقراری مراتب اتصالات در کاربردی‌ها، تداوم طاق‌ها و هنر تزئینات دارد. ساختمان‌ها با خاصیت خودمتمایبی که جزئیات آن در هر مرحله و مقیاسی با سایر قسمت‌ها همخوانی دارد، یعنی متشکل از تعدادی اجزاء کوچک، به گونه‌ای با یکدیگر ترکیب شده‌اند که تعدادی اجزاء بزرگتر را تشکیل می‌دهند که این ترتیب، به صورت سلسله‌مراتب در کل تکرار می‌شود (مستغنی و علیمردی، ۱۳۹۲). در این دیدگاه، مقرنس‌های آفریده شده توسط معماران شهودی ایرانی مثال‌اعلی فرکتال‌ها هستند که در جهت ایجاد حس وحدت در کثرت شکل گرفته است (محمودی نژاد، ۱۳۸۸). با بررسی طرح مقرنس عمارت قیصریه می‌توان بیان کرد، در ایجاد اتصالات از

(تصویر ۲-الف و ۲-ب) ویژگی خودمتمایبی در ساختار سرتون‌ها و مراتب اتصالات ایجاد شده است. انشعابات طبیعت‌گرایانه به صورت حائل‌های داخلی جهت انتقال نیروهای سازه‌ای در این عمارت در نظر گرفته شده است (فرشیدراد و همکاران ۱۳۹۹). بوویل عنوان می‌کند، طبیعت دارای ساختار سازمان یافته است و دانش هندسه فراکتال، دیدگاه فراتری را برای بیان ساختارهای طبیعت در معماری فراهم می‌آورد (Bovill, 2000).

- ترکیب‌بندی و ایجاد آرایه‌ها
عامل بنیادی در تداوم ساختار فراکتال، سلسله‌مراتب اتصالات و گسترش‌های هندسی است که در معماری



تصویر ۳. نمودار مدل پژوهشی، معیار و ابعاد به کارگیری ویژگی‌های فراکتال در معماری سامانه‌ای. مأخذ: نگارندگان.

می‌کند، ما به لحاظ فطری با ساختارهای فراکتال آشنا هستیم از اینرو همواره در درون خود جاذبه‌ای برای ایجاد الگوهای مشخصی از فرم‌ها با ارتباطات داخلی هندسی بین اجزای تشکیل دهنده احساس می‌کنیم (Salingaros, 2004). معماران سنتی ایران همواره مهم‌ترین منبع الهام خود را طبیعت قرار داده‌اند. با بررسی نقش داخلی گنبد و شباهت آن به اشکال طبیعی دارای هندسه فراکتال، می‌توان عنوان کرد، معمار با الهام از الگوهای طبیعت به طرح فراکتالی از گل آفتابگردان رسیده است (تصویر ۲-۵ و ۳-۵) که هدف طراح القای حس عرفانی گذر از کثرت و رسیدن به حس وحدت بوده است (مستغنی و علیمرادی، ۱۳۹۲). در این راستا بوویل بیان می‌کند، یکی از ویژگی‌های فراکتال، تولید هندسه متوجه به مرکز در یک سازماندهی است (Bovill, 1996).

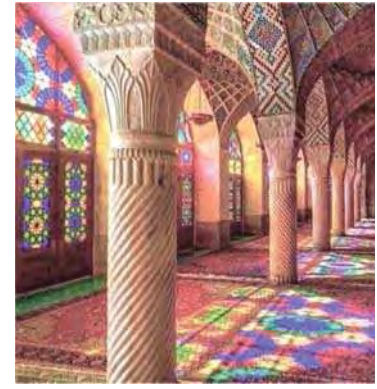
ویژگی‌های فراکتال

این پژوهش ویژگی‌های فراکتال را به عنوان مفاهیم تحقیق توصیف و مبنای مطالعه قرار می‌دهد. پس از تبدیل

هندسه انتزاعی طبیعت استفاده شده است. تداوم سهمی‌ها در ترکیب‌بندی عناصر و مراتب اتصالات، مجموعه‌ای غنی از سازماندهی فراکتالی و مفهوم فراکتال را در همه سطوح ایجاد کرده است. تصویر ۲-ج و ۲-د مطابقت هندسه مقرنس عمارت قیصریه را در انسجام با الگوی برف‌دانه فراکتال «Snoflax Fractal» نشان می‌دهد (Mandelbrot, 1983).

- کالبد معماری

مراحل خودمتشابهی، تداوم در مراتب اتصالات و ترکیب الگوی جامع یک فرایند فراکتالی در معماری است. در این سازماندهی عناصر در پیوستگی‌های ساختاری ارتباطی پایدار با بنا دارند به گونه‌ای که در ماهیت کیفیت فراکتال دارند. سالینگاروس در بررسی معماری جدید بر پایه فراکتال‌ها عنوان می‌کند، معماری‌های مهم گذشته، دارای مشابهت‌های ریاضی با طبیعت است، همانند ساختار فراکتال که در هر سطحی از مقیاس، با پیوندی محکم بر اساس یک الگوی مناسب به هم متصل شده‌اند. او بیان



الف) ستون‌های دوار برگرفته از فرم‌های طبیعت. مأخذ: www.kindiran.com
 ب) خودسازماندهی در مراتب اتصالات و گسترش‌های هندسی. مأخذ: همان.

تصویر ۴. خودمتمشابهی و خودسازماندهی در سامانه ساختاری و کارکردی مسجد نصیرالملک.

از منظر رشد تکاملی ساختارهای طبیعت فراهم می‌کند. در بررسی مقاطع مختلف طولی و عرضی از نمونه، هفت مرحله هندسه‌مدار در روند سازماندهی ساختار فراکتال اقتباس و کاربرد توابع در نظام‌های هندسی آزاد و هندسه متمرکز به مرکز تبیین می‌شوند. توابع هندسه پارامترهای مورد نیاز مدل معماری را به صورت سامانه‌ای ارائه می‌دهند (جدول ۳).

ایجاد مدل پژوهشی شبیه به فراکتال

بر اساس مطالعه نمونه پژوهش (جدول ۳) می‌توان عنوان کرد، فراکتال‌ها از دو نظام هندسی فرم‌های آزاد و هندسه متمرکز به مرکز تبعیت می‌کنند تا در شکل‌گیری، سلسله‌مراتب اتصالات و گسترش‌های هندسی ساختار خود را سازماندهی کنند. این مطالعه روش همبستگی هفت مرحله‌ای، شامل؛ دوران، تبدیل، اتصال، انشعاب، سلسله‌مراتب اتصالات، تصاعدهای هندسی و وحدت را در ساختار هندسه طبیعت تبیین می‌کند. شکل‌گیری فراکتال‌ها عمدتاً با بروز سه ویژگی اصلی خودمتمشابهی، خودسازماندهی و وحدت همراه است. ویژگی‌های فراکتال، فرایند معماری مبتنی بر سه سامانه ساختاری، کارکردی و کالبدی را نشان می‌دهند، که در ادامه مدل پژوهشی^۸ آن ارائه و در کیفیت فراکتالی معماری مسجد نصیرالملک ارزیابی می‌شوند (تصویر ۳).

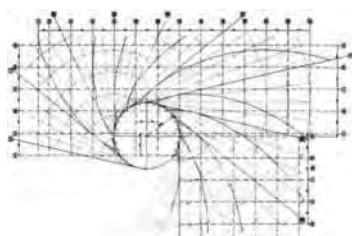
– میزان تعمیم‌پذیری مدل پژوهشی با عناصر معماری در برقراری ارتباطات فضایی و پیوستگی‌های ساختاری عبارت است از:

۱. دوار بودن ستون‌ها، شرط لازم در سامانه ساختاری است، به جهت ایجاد تبدیل مقاطع هندسی و فرم بخشی به ستون‌ها در تولید انشعاب‌ها.
۲. انشعابی بودن سرستون‌ها، شرط لازم در سامانه

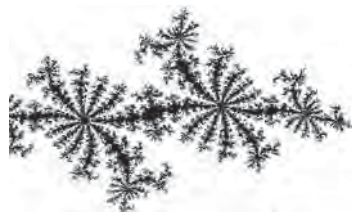
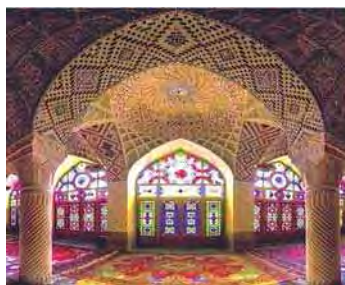
خصوصیات به مفاهیم و شاخص‌ها (جدول ۲) روش همبستگی در کاربردهای هندسه خطی و غیرخطی می‌تواند سلسله‌مراتب معتبری را در توابع هندسی و ارائه مدل پژوهشی معماری مبتنی بر ساختار، کارکرد و کالبد فراهم کند.

توابع هندسی در سازماندهی ساختار فراکتال

در پدیدارشناسی هندسه طبیعت و فراکتال، دیدگاه مبتنی بر فلسفه هستی‌شناسی مطرح می‌شود که مولفه‌ها و متغیرهایی از علوم جهان‌شناختی نوین در آن اثر گذارده و نهایتاً جلوه‌های بصری و کاربردهای متنوعی را در هندسه و معماری پدیدار می‌کند. واژه فرکتال برای اولین بار توسط بنوآ مندلیبرات برای توصیف هندسه پدیده‌های طبیعت استفاده شد، مطابق با آن هندسه فرکتال در ماهیت، خودمتمشابه و خودسازمان‌یافته است، بدان معنی که اجزاء آن در یک مقیاس معلوم جزئی از کل و در یک روند مشخص وحدت را در خود نمایان می‌کند (Mandelbrot, 1983). گستره‌ای از پدیده‌ها در طبیعت که هر واحد کوچک از آن، متمشابه با کل آن می‌باشد، مانند ابرها، کوه‌ها، رودها، درختان،... فرکتال در نظر گرفته شدند به گونه‌ای که تشابه، تداوم و هماهنگی مهم‌ترین شاخص‌های آنها است. نمونه پژوهش از این گستره و از نوع گل گلم فراکتالی «Cauliflower Fractal» که سالاً، آن را یک پدیده فراکتال در نظر گرفته است انتخاب شده است، تا کیفیت لازم را جهت دستیابی به نتایج تعمیم‌پذیر در این پژوهش فراهم کند. گل گلم فراکتالی ساختاری هندسی است متشکل از اجزایی که با بزرگ کردن هر جزء به نسبت معین، همان ساختار اولیه به دست آید. به عبارتی دیگر هر جزء از آن با کل خودمتمشابه است که در تناسبات مختلف تکرار می‌شوند و پیوستگی‌های ساختاری ایجاد می‌کند (Sala, 2013). استفاده از نمونه فراکتالی امکان تولید مقاطع مورد نظر را



ب) حرکت دورانی آفتابگردان. مأخذ: Jencks, 1997, 176.

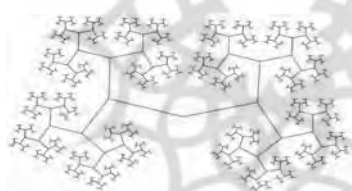


ج) ریتم تکرار شونده متمرکز به مرکز در فراکتال. مأخذ: Mandelbrot, 1983, 190.



الف) نقش هندسه طاق چشمه ورودی شبستان غربی. مأخذ: www.kindiran.com

د. تصاعدهای هندسی در نقش اسلامی طاق چشمه محراب شبستان غربی. مأخذ: www.kindiran.com



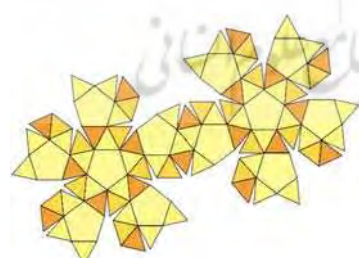
و) درخت فراکتال. مأخذ: Mandelbrot, 1983, 155



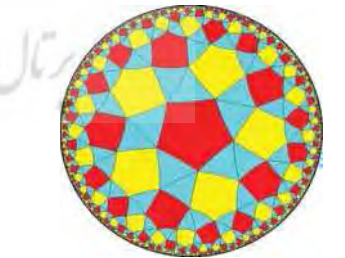
ه) ترکیب بندی راسکین. مأخذ: Ruskin, 1857, 280



ز) نقش مقرنس ایوان شمالی. مأخذ: www.kindiran.com



ح) گسترده نقش هندسه. مأخذ: نگارندگان.

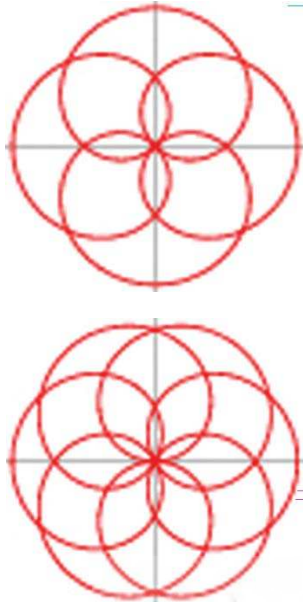


ط) hyperbolic Snub Pentapentagona Fractal. مأخذ: en.wikipedia.org/wiki/Snub_pentapentagonal_filing

تصویر ۵. گسترش‌های هندسی فراکتالی در نقش‌های آسمانه مسجد نصیرالملک.

است، به جهت سازماندهی از جز تا کل در ایجاد تناسبات درونی و وحدت بیرونی. - اهمیت مدل پژوهشی بر مبنای ویژگی‌های فراکتال و

کارکردی است، به جهت برقراری سلسله‌مراتب اتصالات و گسترش‌های هندسی. ۲. به کارگیری الگوی جامع، شرط لازم در سامانه کالبدی



الف) هندسه انتزاعی از طبیعت. مأخذ: www.mathworld.wolfram.com/Rose.html
 ب) وحدت در کثرت. مأخذ: www.kindiran.com

تصویر ۶. وحدت در کثرت در سامانه کالبدی مسجد نصیرالملک در تناظر با الگوی جامع هندسه انتزاعی از طبیعت.

با مقرنس‌کاری مزین شده است و ایوان جنوبی دارای دو گلدسته است (جدول ۴). در بحث پژوهش عناصر معماری، ترکیب‌بندی و آرایه‌ها در مسجد نصیرالملک با ویژگی‌های هندسه فراکتال مطابقت و توصیف می‌شوند:

۱. ویژگی خودمتشابهی

خودمتشابهی در سامانه ساختاری «دوران» پویایی را ایجاد می‌کند که با «تبدیل» در ماهیت هندسی عناصر اصلی همراه است و عناصر در حالیکه تغییر فرم و ابعاد می‌دهند استحکام می‌یابند. این تبدیلات در توابع ریاضی موجود در هندسه طبیعت «اتصال» و «انشعاب» را ایجاد می‌کنند تا ساختار مشابه به خود را تولید کنند. خودمتشابهی در فراکتال ساختاری شبیه به خود را در درجات مختلف به وجود می‌آورد و سلسله مراتب اتصالات را در مرحله بعد انتظام می‌دهد (جدول ۳).

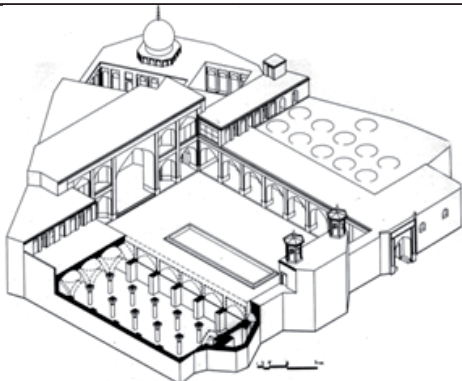

در سامانه ساختاری مسجد نصیرالملک، ستون‌ها دوار و دارای ویژگی برگرفته از فرم‌های طبیعت هستند (تصویر ۴-الف). با توجه به اصول معماری دوره زند بر مبنای کارکردگرایی، طبیعت‌گرایی و طبیعت‌نگاری می‌توان عنوان کرد، ستون‌ها با سرستون‌های منقوش به طبیعت، فرم دوار دارند. قطر ستون‌ها با توجه به میزان بار بر آنها در نظر گرفته شده است. همچنین اتصالاتی با سرستون‌های چندوجهی و انشعابات در ستون‌های اصلی برای توزیع نیروهای سازه‌ای و مقابله با رانش قوس‌ها ایجاد شده

کاربرد آن در عناصر معماری، به گونه‌ای است که در آن پارامترهای مورد نیاز معماری تحت زبان توابع هندسی و گسترش‌های آن در سه سامانه توصیف می‌شوند. تأثیر این پارامترها نه فقط در روند سازماندهی در معماری، بلکه در رفتار بهنگام فیزیکی و بهبود کارکردهای سیستم مهندسی بنا در نظر گرفته می‌شوند، که بخش مهمی از مزایای این مدل معماری است. علاوه بر این، از آن جهت که هندسه فراکتال، یکی از اصول مهم طراحی در معماری پارامتریک است، با امکان شناخت توابع هندسی که این مدل پژوهشی ارائه می‌دهد، امکان تبدیل ویژگی‌های فراکتال به زبان الگوریتم و ایجاد معماری پارامتریک به شیوه‌ای سازمان یافته را در معماری فراهم می‌کند.

بحث پژوهش

مسجد نصیرالملک به صورت یک صحن، دو شبستان شرقی و غربی و دو ایوان شمالی و جنوبی در اطراف آن طراحی شده است. طاق شبستان شرقی دارای نقوش هندسی کاشی و آجرچینی بر هفت ستون در ردیف وسط استوار است، طاق شبستان غربی بر بیست و یک طاق چشمه و کاربندی‌ها بر دوازده ستون سنگی دوار، در دو ردیف شش‌تایی بنا شده است. در انتهای طاق چشمه‌های میانی، محراب قرار دارد. شبستان غربی با رنگ‌های رنگین‌کمانی، دارای نقوش اسلیمی و هندسی انتزاعی از طبیعت و نقش‌های آسمانه است. ایوان شمالی دارای سه نیم طاق و طاق میانی آن

جدول ۴. تبیین تطبیقی نظام‌های هندسی در ارزیابی کیفیت فراکتالی معماری و آرایه‌های مسجد نصیرالملک. مأخذ: نگارندگان.

| سازماندهی معماری و آرایه‌های مسجد نصیرالملک از منظر سامانه‌ای | | | | | | |
|--|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------------|--------------------------------|
|  | | | | | | |
| ساختار فضایی مسجد نصیرالملک | | | | | | |
|  | | | | | | |
| کاربردهای هندسه خطی و غیرخطی در ساختار معماری | | | | | | |
| ستون‌های دوار. | ایجاد ماهیت هندسی در ساختار ستون‌ها. | اتصال یابی با ایجاد مقاطع چندضلعی. | سرستون‌های انشعابی و طبیعت‌گرایانه. | سهمی‌ها و هذلولی‌ها در پیوستگی‌های ساختاری. | تصاعدهای هندسی در نقش‌های آسمانه. | ترکیب الگوی جامع در کالبد بنا. |
| خودمتمشابهی اتصال - انشعاب | | خودسازماندهی تداوم - انسجام | | وحدت هماهنگی - یگانگی | | |
| هندسه فرم‌های آزاد | | | هندسه متمرکز به مرکز | | | |
| سامانه ساختاری | | | سامانه کارکردی | | سامانه کالبدی | |

گسترش‌های هندسی هنر تزئینات را در سامانه کارکردی مسجد نصیرالملک نشان می‌دهد. استفاده از سهمی‌ها در سرستون‌ها و طاق‌چشمه‌ها، پیوستگی‌های ساختاری را ایجاد کرده است. هندسه غیرخطی سهمی‌ها بهترین فرم برای توزیع یکنواخت نیرو است که علاوه بر ایجاد اتصالات، کارکرد عناصر پشتیبان را در داخل بنا دارند. مرحله پس از آن تصاعدهای هندسی در نقش‌های آسمانه کیفیت زیباشناسی فضاها را ارتقا داده است. عناصر سازنده داخلی و گسترش‌های هندسی در شبستان غربی درجات بالایی از سازماندهی فراکتالی را در ساختار داخلی این بنا نشان می‌دهند که در ادامه سه طرح طاق چشمه در

است. انشعاب‌ها برای برقراری سلسله‌مراتب اتصالات و طاق چشمه‌ها انتظام دارند.

۲. ویژگی خودسازماندهی

خودسازماندهی در سامانه کارکردی «سلسله‌مراتب اتصالات» را توسط توابع هندسه سهمی‌ها و هذلولی‌ها ایجاد می‌کند و ساختار در «تصاعدهای هندسی» تکامل پیدا می‌کند و دارای جزئیات می‌شود. در خودسازماندهی تداوم و انسجام ماهیت‌های مهم در مراتب اتصالات هستند که در ساختار فراکتال ایجاد می‌شوند (جدول ۳).

تصویر ۴-ب خودسازماندهی در مراتب اتصالات و



انطباق با نظریه وحدت در کثرت و کثرت در وحدت می‌داند از جمله این نگرش‌ها است (روح الامین، ۱۳۹۲).

۳،۲ مقرنس طاق میانی ایوان شمالی طرح مقرنس از ترکیب چندضلعی‌های منتظم بر سطح کره ایجاد می‌شود و به دلیل اینکه در گنبدها و نیم‌گنبدها استفاده می‌شود تابع اصول هندسه کروی در گسترش‌های هندسی است. طرح مقرنس ایوان شمالی (تصویر ۵-ز) بر وحدت شکلی مثلث منتظم و پنج ضلعی منتظم استوار است و گسترده هندسه آن (تصویر ۵-ح) با الگوی تکثیر در فرکتال پنج ضلعی

«Snub Penta-pentagonal Fractal» متناظر است (تصویر ۵-ط). در این مقرنس اشکال مشابه به خود، در نقش تکرار مثلث منتظم و پنج ضلعی منتظم به اجزای متناسب و مشابه از خود تبدیل شده‌اند و سلسله‌مراتب هندسی از اتصالات را در ساختار مقرنس ایجاد کرده است.

در این راستا چنانچه ترکیب‌بندی طرح مقرنس ایوان شمالی با نوع فراکتال دارای تناظر یک‌به‌یک در جانمایی واحدهای هندسی باشد، کیفیت فراکتال دارد. ابتدا واحدهای هندسی این نوع مقرنس در طرح گسترده آن ترسیم می‌شود، که عبارت است از ترکیب بیست مثلث و دوازده پنج‌ضلعی یعنی متشکل از واحدهای سه‌ضلعی و پنج‌ضلعی (تصویر ۵-ح). سپس ترکیب فوق به لحاظ جانمایی واحدهای هندسی با فرکتال پنج ضلعی «Snub Penta-pentagonal Fractal» مورد تناظر قرار می‌گیرد (تصویر ۵-ط). در این جانمایی مشخص می‌شود هر دو ترکیب متشکل از واحد هندسی اصلی (پنج‌ضلعی) و واحد هندسی اتصال دهنده (سه‌ضلعی) است که به صورت یک در میان جانمایی شده‌اند. واحدهای هندسی در مقرنس می‌توانند به صورت قطاع تکرار شوند باشد و یا دارای گسترش و تبدیلات هندسی شود، به شیوه‌ای که واحد هندسی اصلی در وجهه و واحد هندسی اتصال دهنده در تعداد افزایش پیدا می‌کند. مقرنس مجموعه‌ای هوشمند از یک هندسه بی‌نهایت است که امکان گسترش تا بی‌نهایت را دارد و در معماری ردیف‌هایی از آن اجرا می‌شود. به این ترتیب مشاهده می‌شود، استفاده از هندسه جزء اصول و ارکان بیان مفاهیم فلسفی و جهان‌شناختی در معماری ایران است و همسانی آن با الگوهای هندسه فراکتال امکانی روشمند را برای ایجاد فضاهای متکامل در معماری فراهم می‌کند. و همسانی آن با الگوهای هندسه فراکتال امکانی روشمند را برای ایجاد فضاهای متکامل در معماری فراهم می‌کند.

۳. ویژگی وحدت

وحدت در سامانه کالبدی عناصر اصلی را در الگوی جامع ترکیب و سلسله‌مراتب اتصالات را مرکزیت می‌دهد، به نحوی که مراتب مختلف عناصر را در وحدت مستحیل

مسجد نصیرالملک با الگوهای تصاعد فراکتالی تناظر گرفته می‌شوند.

۱،۲ هندسه طاق چشمه ورودی شبستان غربی طاق چشمه‌های شبستان غربی بر پایه تناسب هندسی، شامل گستره‌ای از الگوهای هندسه انتزاعی از طبیعت هستند. گسترش هندسی در طاق چشمه‌ها بر اساس ادراک معمار از شناخت اصول هندسه و نسبت‌های ریاضی مدار اشکال طبیعی است. به عنوان نمونه نقش هندسه طاق چشمه ورودی (تصویر ۵-الف) با نظام هندسه متمرکز در گل آفتابگردان دارای تشابه است. «گل آفتابگردان حرکت دورانی به سمت مرکز (تصویر ۵-ب) قابلیت نظم بخشی کلی دارد به خصوص هنگامیکه با هندسه شبکه‌ای و دوایر متحدالمرکز پیوسته می‌شود» (Jencks, 1997, 176). مندلیبات بیان می‌کند، الگوهای فراکتال در مقیاس‌های مختلف تکرار شوند است و به واسطه تکرار گسترش می‌یابد در این دیدگاه ریتم تکرار شونده متمرکز به مرکز (تصویر ۵-ج) در فراکتال آن را به سمت انتظام درونی هدایت می‌کند (Mandelbrot, 1983).

۲،۲ نقش اسلیمی طاق میانی ایوان شمالی

تصاعدهای هندسی در نقش اسلیمی محراب شبستان غربی (تصویر ۵-د) در تناسب، تشابهات و در مقیاس‌های مختلف دارای کیفیت فراکتال است. الگوی متداوم درخت فراکتال نوع منحنی «Curve Fractal Tree» (تصویر ۵-ه) شالوده اصلی نقش گردان طاق چشمه محراب شبستان غربی را تشکیل داده است. تصویر ۵-و مطابقت تکثیر نقش اسلیمی طاق چشمه محراب را با تکثیر درخت فراکتال مندلیبرو «Fractal Tree» نشان می‌دهد. در این راستا الگوی نقش اسلیمی در نوع گسترش با الگوهای هندسی مندلیبرو، مورد استدلال استقرایی در تکثیر همگون هندسه قرار گرفته است. استدلال استقرایی در تکثیر هندسه بر مبنای تکرار واحدهای هندسی یک ترکیب و تعمیم آن به یک ترکیب جامع است. به عبارت دیگر، استدلال استقرایی به تکثیر همگون یک ترکیب از مرحله اول تا مرحله n اشاره می‌کند، به گونه‌ای که میان ترکیب مرحله n و ترکیب مرحله اول، ابعاد هندسی برقرار باشد. مطابق با استدلال استقرایی نقش گردان طاق چشمه محراب شبستان غربی با الگوهای هندسی مندلیبرو دارای ابعاد تکثیر همگون هندسی می‌باشند، به گونه‌ای که مرحله n ام (تصویر ۵-ه) دارای تکثیر همسان هندسی نسبت به مرحله اول (تصویر ۵-و) است، بنابراین قابل مطابقت و تعمیم به یکدیگر هستند. استفاده از نگرشی همراستا با نگرش فرکتال پیش از مطرح شدن دانش هندسه فرکتال در نقوش معماری ایران ایجاد شده است. الگوهایی که در هنرهای ترسیمی دیده می‌شود و رابطه فلسفی آن با هندسه فرکتال که آن را علمی در

مزینات در معماری ایران است (جدول ۴). در این راستا، خصوصیات فراکتال در سه زیر سامانه بنیادی مورد بررسی قرار گرفت:

۱. سامانه ساختاری با تاکید بر جنبه‌های پایداری در سامانه ساختاری دو اصل اتصال و انشعاب از ماهیت‌های مهم در ایجاد عناصر معماری است، به شیوه‌ای که از یک عنصر واسطه جهت ایجاد اتصالات استفاده می‌شود تا به بهترین نحو وارد نظام ساختاری مرحله انشعاب شود. در انشعاب، ظهور متعالی‌تری از هدف‌مندی در ترکیب‌بندی عناصر داخلی معماری بوجود می‌آید.

۲. سامانه کارکردی با تاکید بر جنبه‌های سازه‌ای در سامانه کارکردی دو اصل تداوم و انسجام از ماهیت‌های اصلی در پایداری سلسله مراتب اتصالات است. در تداوم، با تولید عناصر شبیه به خود و ایجاد ریتم در معماری به عالی‌ترین وجه وارد سیستم سازماندهی ساختار می‌شود. در انسجام، هندسه سهمی‌ها و هذلولی‌ها در توزیع نیروهای سازه‌ای و به عنوان عناصر پشتیبان، پیوستگی‌های ساختاری را در بنا ایجاد می‌کنند.

۳. سامانه کالبدی با تاکید بر جنبه‌های وحدت دهنده اجزاء اصل هماهنگی و یگانگی ماهیت مهم در سامانه کالبدی است به طریقی که در یک هماهنگی، عناصر معماری به سمت یگانگی رفتن و از آن دوباره منشعب‌شدن را نمایش می‌دهند. سامانه کالبدی قانون تناسبات و مطابقت اجزاء در وحدت و نظام آن است به گونه‌ای که نسبت دقیقی میان ترکیب‌بندی عناصر، الزامات سازه‌ای و مفاهیم زیباشناسی هنر تزئینات را در بنا برقرار می‌کند.

می‌کند. وحدت در ساختارهای فراکتال به سمت یگانگی رفتن و از آن دوباره منشعب شدن را به نمایش می‌گذارد (جدول ۳). الگوی جامع از نسبت‌های ریاضی‌مدار هندسه طبیعت از واژه الگو «Pattern» ریشه «Father» گرفته شده که در حقیقت منشعب شدن از یگانگی را نشان می‌دهد. طبیعت در ایجاد ساختار از الگوی هندسی جامع پیروی می‌کند تا پیوستگی خود را با کلیت ساختار حفظ کند، بدین ترتیب یک هویت واحد را تعریف می‌کند (نقره کار، ۱۳۹۲). وحدت در سامانه کالبدی مسجد نصیرالملک با استفاده از الگوی جامع هندسه انتزاعی از طبیعت (تصویر ۶-الف) ترکیبی از انواع نقش‌های آسمانه را نمایش می‌دهد. وحدت در کثرت (تصویر ۶-ب) در سلسله‌مراتب اتصالات منشعب از یگانگی می‌شود به نحوی که انتظام درونی عناصر را در کالبد بنا ایجاد می‌کند. استفاده از هندسه انتزاعی طبیعت در مسجد نصیرالملک، بیانگر مفاهیم هستی‌شناسانه است و هدف از مفهوم وحدت در کثرت در معماری تاکید بر یکتایی خداوند است. معماری ایرانی بازتاب آن جهان‌بینی است که قدرت را مختص خداوند متعالی می‌داند بنابراین عناصر اصلی معماری و عناصر وابسته به آن، در مراتب ترکیب در وحدت مستحیل می‌گردند.

در تبیین تطبیقی نظام‌های هندسه فراکتال در سازماندهی معماری و آرایه‌های مسجد نصیرالملک خصوصیات هندسه فراکتال با رویکردی در فرآیند رشد، تکامل و اصول حاکم بر آن از منظر سامانه‌ای بررسی و مشاهده شد، یکی از کامل‌ترین نگرش در بیان اصول و ویژگی‌های معماری سنتی ایران و دلائل ارزشمند بودن پایداری آن روش سامانه‌ای است. هدف اصلی این نگرش شناخت قوانین طبیعت و استفاده از راهبردهای هندسه فراکتال در ساختار و ایجاد هنر

نتیجه

در نگرش معماری مسجد نصیرالملک می‌توان عنوان کرد، استفاده از هندسه طبیعت به عنوان ایده‌ای کارآمد در ساختار فضایی این بنا عمدتاً با به کارگیری ویژگی‌های خودمتشابهی، خودسازماندهی و وحدت همراه است که مطابق با آن کیفیت‌های فراکتالی را در سازماندهی معماری و آرایه‌های این مسجد نشان می‌دهد. در راستای پاسخ به پرسش اول، در مورد چگونگی استفاده از نظام‌های هندسه طبیعت در سازماندهی معماری مسجد نصیرالملک، این پژوهش ضمن نگرش به کاربردهای هندسه در ساختار نمونه، روند هفت‌مرحله‌ای را در مدل معماری مبتنی بر هندسه طبیعت تبیین می‌کند که عبارت است از:

۱. دوران، تبدیل، اتصال و انشعاب در سامانه ساختاری؛

۲. سلسله‌مراتب اتصالات و تصاعدهای هندسی در سامانه کارکردی؛

۳. اتحاد و تکثر در سامانه وحدت.

در راستای پاسخ به پرسش دوم، پژوهش بیان می‌کند، کارکردهای هندسه فراکتال در ترکیب‌بندی عناصر، سلسله‌مراتب اتصالات و به کارگیری هنر تزئینات، تابع ویژگی‌های فراکتال است، به طریقی که:



۱. خودمتشابهی در سامانه ساختاری عناصر اصلی و سازه‌های معماری را ایجاد می‌کند؛
۲. خودسازماندهی در سامانه کارکردی سلسله مراتب اتصالات را انتظام می‌دهد؛
۳. وحدت در کثرت در سامانه کالبدی عناصر اصلی معماری را با عناصر وابسته در وحدت مستحیل می‌گرداند.

با در نظر گرفتن هفت مرحله هندسه مدار در ساختار فراکتال (بنگرید به جدول ۳) و مدل پژوهشی (بنگرید به تصویر ۳) می‌توان بیان کرد در سازماندهی معماری و آرایه‌های مسجد نصیرالملک در شکل‌گیری ستون‌ها، سلسله مراتب اتصالات و به کارگیری گسترش‌های هندسی دو انتظام هندسی آزاد و متمرکز فراکتالی وجود دارد (بنگرید به جدول ۴). به این ترتیب مشاهده می‌شود که استفاده از هندسه طبیعت به عنوان معماری مبتنی بر ساختار، کارکرد و کالبد از اصول و ارکان معماری ایران بوده و دانش هندسه فراکتال وجوه و ابعاد جدیدی از هندسه و ساختارهای طبیعت را پیش روی ما قرار می‌دهد. بازشناسی معماری سنتی ایران در نگرش انتظام فراکتال دیدگاه نوینی را ارائه می‌دهد تا در جهت احیا اصول معماری ایران به عنوان یک سامانه پایدار، علاوه بر کاربردهای پیشین، کاربردهای جدید را بر آن افزود.

منابع و مأخذ

- افشار نادری، کامران. (۱۳۷۴). همنشینی اضداد در معماری ایرانی. مجله آبادی، (۱۹)، ۶۸-۷۵.
- خاک‌زند، مهدی و احمدی، امیر احمد. (۱۳۸۶). نگاهی اجمالی به رویکرد میان طبیعت و معماری. باغ نظر. دوره ۴، شماره ۸، ۳۵-۴۷.
- رئیس زاده، مهناز و مفید، حسین. (۱۳۹۳). احیای هنرهای از یاد رفته: مبانی معماری سنتی در ایران به روایت استاد حسین لرزاده. تهران: انتشارات مولی.
- روح الامین، احسان (۱۳۹۲). بررسی تطبیقی هندسه فرکتال و هندسه نقوش اسلامی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته هنر اسلامی دانشگاه هنر اصفهان.
- روحی‌زاده، امیررضا و حافظی، محمدرضا و فرخ‌زاد، محمد و پناهی، سیامک (۱۳۹۷). بهره‌گیری از طبیعت در آموزش طراحی سازه در معماری. باغ نظر. (۶۸) ۷۲-۵۹.
- شرقی، علی، عزیزمقدم، محمدمین، جمالی‌گندمانی، زهرا. (۱۳۹۹). بازشناسی تطبیقی الگوهای هندسه فراکتال در معماری و منظر باغ ایرانی (نمونه موردی: باغ گلشن طبس). باغ نظر، (۸۵) ۱۷، ۳۱-۴۴.
- فرشیدراد، فرناز و اعتصام، ایرج و قبادیان، وحید. (۱۳۹۹). تبیین قوانین هندسه فراکتال در ساختار فرم معماری، (ارائه مدل پژوهشی معماری مبتنی بر فرم). باغ نظر، (۸۴) ۱۷، ۱۸-۵.
- محمدیان منصور، صاحب و فرامرزی، سینا. (۱۳۹۱). مقایسه نظم شبه تناوبی شاه‌گره با ساختار شبه بلوری سیلیکون. نشریه هنرهای زیبا، هنرهای تجسمی / شماره (۵۰) ۶۹-۸۰.
- محمودی نژاد، هادی. (۱۳۸۸). معماری زیست‌مبنا. چاپ اول، تهران: انتشارات هله.
- مستغنی، علیرضا و علیمرادی، محسن. (۱۳۹۳). واکاوی کاربرد هندسه طبیعت و فراکتال در معماری پارامتریک با بررسی آرایه داخلی گنبد مسجد شیخ لطف‌الله. نامه معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر. (۱۶)، ۱۲۱-۱۰۳.
- مصاحب، غلامحسین. (۱۳۵۵). تئوری مقدماتی اعداد. تهران: انتشارات دهخدا.
- منصوری، سیدامیر. (۱۳۹۷). نقش‌های آسمانه. مجله منظر، ۱۰ (۴۵): ۳.
- ندیمی، هادی. (۱۳۷۸). حقیقت‌نقش. نشریه نامه فرهنگستان علوم، شماره (۱۴-۱۵).
- نصر، سید حسین. (۱۳۷۹). نیاز به علم مقدس. انتشارات طه.
- نظری، سهیل و مظاهریان، حامد و معاریان، غلامحسین و کاظم‌پور حمیدرضا. (۱۳۹۶). گونه‌شناسی و

تحلیل هندسی و سازه‌ای یزدی بندی در معماری ایران. نشریه هنرهای زیبا، معماری و شهرسازی. دوره ۲۲ شماره ۱. ۶۴-۵۳.

نقره‌کار، عبدالحمید. (۱۳۹۲). رابطه انسان با طبیعت و معماری. تهران: دانشگاه علم و صنعت.

Alberti, L.B. (1987). *The Ten Books of Architecture*. New York, US: Dover.

Bovill, C. (1996). *Fractal Geometry in Architecture and Design*. Boston: Birkhauser Verlag A.G.

Bovill, C. (2000). *Fractal Geometry as Design Aid*. University of Maryland, US: *Journal for Geometry and Graphics*, 4 (1), 71-78.

Crompton, A. (2004). *The Fractal Nature of Everyday Space*. University of Manchester, UK: School of Environment and Development.

Haghani, T. (2009). *Fractal Geometry, Complexity, and The Nature of Urban Morphological Evolution*. Birmingham City University, UK: Ph.D. Dissertation, School of Architecture.

Jencks, C. (1997). *The Architecture of Jumping Universe*. Sussex, UK: Academy Editions, Wiley.

Jencks, C. (2002). *The New Paradigm in Architecture: The language of postmodernism*. Connecticut, US: Yale University Press.

Jencks, C. (2011). *The Story of Post-Modernism: Five Decades of the Ironic, Iconic and Critical in Architecture*. Sussex, UK: Wiley.

Joye, Y. (2007). *A Tentative Argument for The Inclusion of Nature-Based Forms in Architecture*. Universiteit Gent, Belgium: Ph.D. Dissertation, Faculty of Arts and Philosophy.

Mandelbrot, B. (1983). *The Fractal Geometry of Nature*. New York, US: W.H. Freeman.

Moussavi, F. (2009). *The Function of Form*. Harvard Graduate School of Design: ACTAR.

Mulder, Henk (2015). *Derivative coordinates for analytic tree fractals and fractal engineering*. Retrieved May 8, 2022, from: <https://www.researchgate.net>.

Ramzy, N.S. (2015). *The Dual Language of Geometry in Gothic Architecture: The Symbolic Message of Euclidian Geometry Versus the Visual Dialogue of Fractal Geometry*. Sinai University, Egypt.

Ruskin, J. (1857). *The Elements of Drawing*. London, UK: Spottiswoode & Co.

Sala, N. (2006). *Fractal Geometry and Architecture: Some Interesting Connections*. Mendrisio, Switzerland: Università Della Svizzera Italiana.

Sala, N. (2013). *Fractal Geometry and Super Formula to Model Natural Shapes*. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 16 (4).78-92.

Salingeros, Nikos A. (2004). *Fractals in the New Architecture*. *Katarxis Journal*, No. 3. Rose. Retrieved May 8, 2022, from: <http://mathworld.wolfram.com/Rose.html>.

Snub pentapentagonal tiling. Retrieved May 8, 2022, from: https://en.wikipedia.org/wiki/Snub_tetrapentagonal_tiling.



Barnsleys Fern. Retrieved May 8, 2022, from: <https://mathworld.wolfram.com/BarnsleysFern.html>.

Conic Section. Retrieved May 8, 2022, from: <https://mathworld.wolfram.com/Conic-Section.html>.

Ellipsoid. Retrieved May 8, 2022, from: <http://mathworld.wolfram.com/Ellipsoid.html>.

Helix. Retrieved May 8, 2022, from: <https://mathworld.wolfram.com/Helicoid.html>.

Nasir-al-Mulk Mosque. Retrieved May 8, 2022, from: http://en.wikipedia.org/wiki/Nasir-ol-Molk_Mosque.

Nasir-al-Mulk Mosque. Retrieved May 8, 2022, from: <http://www.kindiran.com/en/Gallery/The-Nasir-al-Mulk-Mosque>.

Pythagoras Tree. Retrieved May 8, 2022, from: <https://mathworld.wolfram.com/PythagorasTree.html>.

Seed of Life. Retrieved May 8, 2022, from: <https://mathworld.wolfram.com/Seed-of-Life.html>.

Superellipse. Retrieved May 8, 2022, from: <http://mathworld.wolfram.com/Superellipse.html>.



A Comparative Study of Fractal Geometry Layouts in Organizing the Architecture and Ornamentation of Nasir Al-Mulk Mosque

Farnaz Farshid Rad, Ph.D. Candidate in Department of Architecture, UAE Branch, Islamic Azad University, Dubai, United Arab Emirates.

Iraj Etehsam Professor, Department of Architecture, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Vahid Ghobadian, Associate Professor, Department of Architecture, Central Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received: 2022/04/28 Accepted: 2022/08/17



Iranian geometry is the result of the architect's view of philosophical aspects, natural sciences, and applied mathematics. The architecture and application of ornamentation, derived from nature geometry patterns in organizing all kinds of Karbandies and celestial motifs, express the ontology and aesthetic concepts of the patterns. In this regard, from modern cosmological sciences, fractal knowledge is the study of the structure and geometry of nature, in which a direct interaction between architecture, function, application of arts, and fractal geometry can be raised. **The purposes** of this **research** are 1. Explain geometric orders and adapt the functional properties in the fractal structure; 2. Describe the composition and hierarchy of connections in Nasir Al-Mulk Mosque from the system architecture; 3. Evaluation of fractal quality in celestial motifs in the vaults of Nasir Al-Mulk Mosque based on comprehensive fractal patterns. Therefore, the **questions are** 1. Can the geometrical layouts of nature, explain the architectural organization of Nasir Al-Mulk Mosque? 2. How are architectural elements, composition, and ornamentation in Nasir Al-Mulk Mosque compared to the characteristics of fractal geometry? This **applied research** employs the **method** of correlation in applications of geometry conducting a qualitative, phenomenological view. Collecting information is based on library studies, scientific reference and electronic sources. The analysis is done in form and functional geometry modeling. In this study, seven geometric stages in organizing the structure of a fractal sample are elaborated and categorized. The free-form and centralized geometry layouts in the fractal, as a self-organizing structure, show the authentic trend in the architecture and ornamentation of the Nasir Al-Mulk Mosque. Fractal geometry features, based on self-similarity, self-organization, and unity, are described in evaluating the fractal quality of the Nasir Al-Mulk Mosque using a comparative-descriptive model. Based on the **research results**, nature geometry layouts have been applied as an efficient idea for creating the structure, the elemental composition, the hierarchy of connections, and aesthetic concepts in the architecture and the arrays of Nasir Al-Mulk Mosque. The flourishing of fractals and patterns in the Mandelbrot set was illustrated and proposed by the French mathematician Benoit Mandelbrot. In this theory,



Mandelbrot explains how natural phenomena have fractal dimensions and patterns, and nature uses fractal characteristics in creating different forms. In this accord, fractal geometry is self-similar and self-organized, meaning that the components, on a certain scale, represent a part of the whole and in a certain order, show unity. Comparing the characteristics of self-similarity and self-organizing in fractals with the style of Persian architecture can express that self-similarity has been created in different scales and proportions in traditional architecture. Iranian patterns use the principle of geometric exchanges to perform levels of connections and branches in the structure of the building. These patterns, which are seen in various architectural layouts of Iran, show harmonious proportions and have cosmological and aesthetic concepts. In a study of the application of fractal geometry in architecture, it is observed that Iranian geometry is inspired by cosmological sciences and derived from nature. With the knowledge of philosophy and mathematics, the architect drew the abstract geometry of nature and used the dimensions of natural patterns in architecture. While architects and thinkers have proposed theories in the expression of fractals and geometry of nature, a comprehensive explanation of nature geometry layouts and features in Iranian architecture as a sustainable system has been considered in this **research**. The **importance** of research is based on fractal characteristics and their application in architectural elements, in which the required parameters of architecture are described under the language of geometric and its expansions in three systems. The influence of these parameters is considered in the process of organization in architecture, the expression of the aesthetic concepts of ornamentation, and the building engineering system. It can be concluded that applying nature geometry as an efficient idea in the spatial structure of this building is mainly associated with the use of self-similarity, self-organization, and unity, which show fractal qualities in organizing the architecture and ornamentation of this building. To answer the **first question**, on how to use nature geometry layouts in organizing the architecture of Nasir Al-Mulk Mosque, the geometric order in the fractal sample, explain the seven-stage process. They are 1. Rotation, transformation, conjunction, and branching in the structural system; 2. Hierarchy of connections and geometric progression in the functional system; 3. Unity and plurality in the unity system. To answer the **second question**, the **research** express that the functions of fractal geometry in compositional elements, the hierarchy of connections, and the use of ornamentation follow fractal features, according to the following: 1. Self-similarity in the structural system creates the main elements and structural elements; 2. Self-organization in the functional system coordinates the hierarchy of connections; 3. Unity in plurality in the physical system unifies the structural elements of architecture with the related elements.

Keywords: Geometric layouts of Nature, Fractal Geometry, Sustainable System, Nasir Al-Mulk Mosque.

References:

- Afshar Naderi, K. (1996). The Combination of Opposites in Iranian Architecture. *Abadi Journal*, (19), 68–75.
- Alberti, L.B. (1987). *The Ten Books of Architecture*. New York, US: Dover.
- Barnsleys Fern. Retrieved May 8, 2022, from: <https://mathworld.wolfram.com/BarnsleysFern.html>.
- Bovill, C. (1996). *Fractal Geometry in Architecture and Design*. Boston: Birkhauser Verlag A.G.
- Bovill, C. (2000). *Fractal Geometry as Design Aid*. University of Maryland, US: *Journal for Geometry and Graphics*, 4 (1), 71-78.
- Conic Section. Retrieved May 8, 2022, from: <https://mathworld.wolfram.com/ConicSection.html>.
- Crompton, A. (2004). *The Fractal Nature of Everyday Space*. University of Manchester, UK: School of Environment and Development.
- Ellipsoid. Retrieved May 8, 2022, from: <http://mathworld.wolfram.com/Ellipsoid.html>.



- Farshid Rad, F., Etesam, I & Ghobadian, V. (2020). Explanation of fractal geometry laws in the structural form of architecture, (Presentation of a Form-based Architecture Model). *Bagh-e Nazar*, 17(84), 5-20.
- Haghani, T. (2009). *Fractal Geometry, Complexity, and The Nature of Urban Morphological Evolution*. Birmingham City University, UK: Ph.D. Dissertation, School of Architecture.
- Helix. Retrieved May 8, 2022, from: <https://mathworld.wolfram.com/Helicoid.html>.
- Jencks, C. (1997). *The Architecture of Jumping Universe*. Sussex, UK: Academy Editions, Wiley.
- Jencks, C. (2002). *The New Paradigm in Architecture: The language of postmodernism*. Connecticut, US: Yale University Press.
- Jencks, C. (2011). *The Story of Post-Modernism: Five Decades of the Ironic, Iconic and Critical in Architecture*. Sussex, UK: Wiley.
- Joye, Y. (2007). *A Tentative Argument for The Inclusion of Nature-Based Forms in Architecture*. Universiteit Gent, Belgium: Ph.D. Dissertation, Faculty of Arts and Philosophy.
- Khakzand, M & Ahmadi, A. (2007). Interaction of Nature & Architecture: A glimpse. *Bagh Nazar*. 4, (8), 35-47.
- Mahmoodi Nejad, H. (2009). *Bio-based architecture*. First Edition, Tehran: Haleh.
- Mandelbrot, B. (1983). *The Fractal Geometry of Nature*. New York, US: W.H. Freeman.
- Mansouri, S.A. (2018). Marquee Motifs. *Journal of MANZAR*, 10 (45): 3.
- Masaheb, GH. (1976). *Preliminary Number Theory*. Tehran: Dekhoda.
- Mohammadian Mansour, S. & Faramarzi, S. (2012). Comparison of King Knot Pseudo-Periodic Order with Silicon-Like Crystalline Structure. *Journal of Fine Arts, Visual Arts/Issue (50)*, 69-80.
- Mostaghni, A & Alimoradi, M. (2014). Analysis of the Application of Nature and Fractal Geometry in Parametric Architecture by Examining the Internal Array of Sheikh Lotfollah Mosque Dome. *Letter of Architecture and Urban Planning, University of the Arts*. 103-121.
- Moussavi, F. (2009). *The Function of Form*. Harvard Graduate School of Design: ACTAR.
- Mulder, Henk (2015). Derivative coordinates for analytic tree fractals and fractal engineering. Retrieved May 8, 2022, from: <https://www.researchgate.net>.
- Nadim, H. (1999). Nadimi, Hadi. (1378). The truth of the role, *Letter of the Academy of Sciences*, (14- 15), 19-34.
- Nasir-al-Mulk Mosque. Retrieved May 8, 2022, from: http://en.wikipedia.org/wiki/Nasir-ol-Molk_Mosque.
- Nasir-al-Mulk Mosque. Retrieved May 8, 2022, from: <http://www.kindiran.com/en/Gallery/The-Nasir-al-Mulk-Mosque>.
- Nasr, S.H. (2000). *The need for sacred knowledge*. Taha Publications.
- Nazari, S & Mazaherian, H & Memarian, GH & Kazempour H. (2017). Geometry Typology and Analysis and Yazdization Structure in Iranian Architecture. *Journal of Fine Arts, Architecture and Urban Planning*. Volume 22 Number 1. 64-53.
- Noghre Kar, A.H. (2013). *Man's Relationship with Nature and Architecture*. Tehran, Iran: University of Science and Technology.
- Pythagoras Tree. Retrieved May 8, 2022, from: <https://mathworld.wolfram.com/PythagorasTree.html>.
- Raiszadeh, M. & Mofid, H. (2014). *Reviving the Lost Arts: Foundations of Traditional Architecture in Iran According to Hossein Lorzadeh*. Tehran, Iran: Mola Publishing.
- Ramzy, N.S. (2015). *The Dual Language of Geometry in Gothic Architecture: The Symbolic Message of Euclidian Geometry Versus the Visual Dialogue of Fractal Geometry*. Sinai University,



Egypt.

Roh Al-Amin, Ehsan (2013). Comparative study of fractal geometry and geometry of Islamic motifs. Master Thesis in Islamic Art, Isfahan University of Arts.

Rose. Retrieved May 8, 2022, from: <http://mathworld.wolfram.com/Rose.html>.

Rouhizadeh, A. R., Hafezi, M. R., Farokhzad, M. & Panahi, S. (2019). Inspiration from Nature in the Training of Structural Design in Architecture. *Bagh-e Nazar*, 15 (68):59-64.

Ruskin, J. (1857). *The Elements of Drawing*. London, UK: Spottiswoode & Co.

Sala, N. (2006). *Fractal Geometry and Architecture: Some Interesting Connections*. Mendrisio, Switzerland: Università Della Svizzera Italiana.

Sala, N. (2013). Fractal Geometry and Super Formula to Model Natural Shapes. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 16 (4).78-92.

Salingaros, Nikos A. (2004). Fractals in the New Architecture. *Katarxis Journal*, No. 3.

Seed of Life. Retrieved May 8, 2022, from: <https://mathworld.wolfram.com/SeedofLife.html>.

Sharghi, A., Azizmoghadam, M. A. & Jamali Gandomani, Z. (2020). Comparative study of fractal geometry patterns in Iranian garden and landscape architecture, case study: Tabas Golshan Garden. *Bagh-e Nazar*, 17(85), 35-50.

Snub pentapentagonal tiling. Retrieved May 8, 2022, from: https://en.wikipedia.org/wiki/Snub_pentapentagonal_tiling.

Superellipse. Retrieved May 8, 2022, from: <http://mathworld.wolfram.com/Superellipse.html>.

