پیکره
دوره ۱۴، شماره ۴۱، پاییز ۱۴۰۴ صفحه ۱۹تا۳۴

مقاله پژوهشی

تحلیل فرکتالی کتیبهٔ معقلی اسماءالحسنی بقعه پیربکران اصفهان

کیهانه رئیسی[۱]؛ جلیل جوکار[۲]

۱. کارشناس ارشد نقاشی ایرانی، دانشکده هنر، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران.
۲. نویسنده مسئول، هیأت علمی گروه هنر اسلامی، دانشکده صنایع‌دستی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران.
Email: j.jokar@aui.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳،۸،۱۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴،۴،۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴،۵،۲۰

چکیده

مقدمه: کتیبهٔ اسماءالحسنی بقعهٔ پیربکران از نمونه‌های برجستهٔ هنر اسلامی دورهٔ ایلخانی و تجلی‌گاه نام‌های خداوند و از شاهکارهای خطاطی اسلامی است که از نظر ابعاد و تعداد کلمات یکی از بزرگترین کتیبه‌های معقلی تاریخ تزیینات معماری ایران به‌شمار می‌رود. وجود آن تأکید بر تسبیح و تقدیس خداوند از طریق هنر است. یکی از انواع تحلیل‌ها، تحلیل فرکتالی است که برای الگوهای پیچیده و تکرار شونده استفاده می‌شود، براین اساس پژوهش در پی پاسخ به این پرسش اصلی است که چگونه می‌توان بر اساس هندسهٔ فرکتال، کتیبهٔ اسماءالحسنی بقعه پیربکران را تحلیل کرد؟ در این راستا پاسخ به دو پرسش فرعی ضروری است. ویژگی خودمتشابهی در ساختار کتیبه چگونه نمود یافته است؟ چگونه می‌توان بُعد کتیبه را محاسبه کرد؟

روش پژوهش: این پژوهش از نظر هدف بنیادی و از نظر روش توصیفی- تحلیلی است. جمع‌آوری داده‌ها به‌روش میدانی، اسنادی و تحلیل داده‌ها و محاسبه بُعد با کمک نرم‌افزار فرکتالیز با روش شبیه‌سازی و تعمیم فضاهای پر و خالی به‌عنوان یک فرکتال فضایی انجام شده است.

یافته‌ها: ساختار کتیبه در لایه‌های مختلف از قبیل ساختار شطرنجی اولیه، خط کرسی، هندسه طرح و اجزا دارای ویژگی خود متشابهی است. بُعد فرکتال کتیبه پس از محاسبه به‌صورت اعشاری ۲.۱۲ به‌دست آمد. تکرار نام‌های خداوند در قالب الگوهای پیچیده دارای مفهوم بی‌نهایت است. از طرفی پس از محاسبهٔ بُعد فرکتال خطوط معقلی کتیبهٔ اسماءالحسنی و مقایسهٔ آن با بُعد فرکتال خطوط کتیبه روبه‌روی آن (صلوات کبیره) این نتیجه حاصل شد که میزان تراکم، فضاهای پر و خالی و شکست‌ها در هر دو کتیبه برابر است و چیدمان کلمات در هر دو کتیبه حساب شده صورت گرفته است.

نتیجه‌گیری: براساس تحلیل فرکتالی میزان انطباق ساختار هندسی کتیبه با هندسه نااقلیدسی فرکتالی(هندسه طبیعت) مشخص می‌شود و مقدار پیچیدگی، ناهمواری و تخلخل در کتیبه را کمی‌سازی می‌کند. کتیبه دارای ویژگی خودمتشابهی در ساختار و نحوه چینش کلمات و بُعدکسری(۲.۱۲) است که نشان از تبعیت از هندسه نااقلیدسی فرکتالی است. از طرفی با پیچیدگی بالای نوشتار(۱.۷۶۲) و هماهنگ با کتیبه مقابل خود باعث جذب و تلاش مخاطب برای خوانش کتیبه می‌شود.

کلیدواژه

بقعهٔ پیر بکران ،کتیبهٔ اسماءالحسنی، خط معقلی، هندسهٔ فرکتال، خود متشابهی، بُعد کسری

ارجاع به این مقاله: رئیسی، کیهانه و جوکار، جلیل. (۱۴۰۴). تحلیل فرکتالی کتیبهٔ معقلی اسماءالحسنی بقعه پیربکران اصفهان. پیکره، ۱۴(۴۱)، ۱۹-۳۴.

DOI: https://doi.org/10.22055/pyk.2025.20137

©2025 by the Authours.This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

مقدمه و بیان مسئله

فرکتال هندسهٔ نوینی است که هنرمندان ایرانی حتی به‌صورت ناخودآگاه با الگوگیری از طبیعت، در تزیینات معماری به‌کار می‌گرفتند. علاوه بر آن هنر اسلامی به‌شدت با مفاهیم معنوی، فلسفی و عرفانی پیوند خورده است. بسیاری از نقوش هندسی اسلامی نمادی از نظم الهی و بی‌نهایت یا به‌عبارتی دارای مفهوم وحدت در کثرت و کثرت در وحدت هستند که بی‌ارتباط با مفهوم فرکتال (شباهت جزء به کل) نیست. بنابراین می‌توان در آثار سنتی به‌دنبال ردپایی از هندسهٔ فرکتال بود. نام‌های خداوند از دیرباز مورد توجه اندیشمندان و هنرمندان اسلامی بوده و به طرق مختلف در تزیینات معماری به‌صورت کتیبه استفاده شده است. بقعهٔ پیربکران از شاهکارهای دورهٔ ایلخانی علاوه بر داشتن آرایه‌های معماری نفیس دارای کتیبه‌ای به‌نام اسماءالحسنی است که در آن اسماء مقدس الهی به‌خط معقلی نوشته شده است. کتیبهٔ اسماءالحسنی پیربکران به‌دلیل ارزش هنری و معنوی یکی از نمونه‌های برجسته ترکیب هنر و دین در تاریخ معماری ایران است. این کتیبه نه تنها از لحاظ خوشنویسی و تزیینات معماری اهمیت دارد؛ بلکه از لحاظ مذهبی نیز یکی از نمونه‌های مهم تجلی صفات الهی در هنر اسلامی به‌شمار می‌آید. کثرت و فراوانی به‌کارگیری کتیبه‌های معقلی از قرون میانی اسلامی تا به امروز این بخش از هنر اسلامی را که جنبهٔ معماگونه‌ای نیز دارد و خوانش آن برای همگان میسر نیست، جذاب نموده و از اهمیت بالایی برخوردار کرده است؛ بنابراین پژوهش و کنکاش در خوانش دقیق و صحیح این نوع کتیبه‌ها و از سوی دیگر تحلیل هندسی ساختار صوری آن‌ها از ضرورت بالایی برخوردار است تا از این رهگذر وجوه تازه‌ای از ابعاد نامکشوف این آثار معلوم گردد و معیار و چارچوب علمی برای طراحی و تحلیل این کتیبه‌ها به مخاطب ارائه شود. از آنجا که در بیشتر پژوهش‌های صورت گرفته به هنر ابعاد احساسی داده شده و به ابعاد عقلانی آن کمتر توجه گردیده است، با نگاه میان‌رشته‌ای می‌توان به لایه‌های پنهان آثار هنری دست یافت و پی به ارتباط نظم فرکتالی و نظم ریاضی موجود در آن‌ها برد. متأسفانه از منظر هندسهٔ نااقلیدسی فرکتالی پژوهشی بر این کتیبه‌ها صورت نپذیرفته است؛ بنابراین پژوهش حاضر سعی دارد گامی هرچند ناچیز در این راستا بردارد. این پژوهش با هدف تحلیل کتیبهٔ اسماءالحسنی زیارتگاه پیربکران از دیدگاه هندسهٔ نااقلیدسی فرکتالی و بررسی الگوهای پیچیده و تکرار شونده در ساختار کتیبه، در پی پاسخ به این پرسش اصلی است که چگونه می‌توان بر اساس هندسهٔ فرکتال، کتیبهٔ اسماءالحسنی بقعه پیربکران را تحلیل کرد؟ در این راستا پاسخ به دو پرسش دیگر ضرورت می‌یابد. ویژگی خودمتشابهی در ساختار کتیبه چگونه نمود یافته است؟ چگونه می‌توان بُعد کتیبه را محاسبه کرد؟ در این پژوهش ابتدا به معرفی مفاهیم و پیکرهٔ مطالعاتی و سپس به توصیف و تحلیل کتیبه پرداخته می‌شود. گفتنی است که برای تحلیل فرکتالی کتیبهٔ مذکور، تحلیل خود متشابهی و ابعاد فرکتالی به‌روش محاسباتی و نرم‌افزاری الزامی است که در پژوهش پیش‌رو انواع این تحلیل‌ها بر کتیبهٔ مورد نظر به‌صورت کامل و دقیق انجام گرفته است.

روش پژوهش

این پژوهش از نظر هدف بنیادی و از نظر روش توصیفی- تحلیلی است. برای گردآوری اطلاعات به‌صورت میدانی از نوع مشاهدهٔ مستقیم و تصویربرداری و به‌منظور تکمیل مبانی نظری از منابع اسنادی (کتابخانه‌ای) استفاده شده است. برای تجزیه و تحلیل ابتدا توصیف ساختار و مبانی هندسهٔ فرکتال و ساختار کتیبه انجام می‌شود، سپس وجود هندسهٔ نااقلیدسی (فرکتال) در آن به اثبات می‌رسد. به این صورت که پس از ترسیم نقوش با نرم‌افزار اتوکد[1] به بررسی خودمتشابهی درآن پرداخته می‌شود. سپس آن نقوش از طریق نرم‌افزار آرک مپ[2] تبدیل به فایل

با پسوند شیپ[۳] و به‌صورت فایل وکتور[۴] (بُرداری) وارد نرم افزار فرکتالیز[۵] شده و بُعد فرکتال آن به‌روش جعبه شمار و فرمول لگاریتمی محاسبه می‌شود. همچنین با سه‌بُعدی کردن خطوط کتیبه، شبیه‌سازی و تعمیم فضاهای پر و خالی به‌عنوان یک فرکتال فضایی (مکعب متخلخل) به کمک نرم‌افزار تریدی مکس و استفاده از فرمول مربوط به آن، بُعد فرکتال کتیبه نیز محاسبه و در نهایت اطلاعات به‌دست آمده به‌صورت کیفی و کمی به منظور بررسی الگوهای پیچیده و تکرار شونده درکتیبه مورد تجزیه و تحلیل فرکتالی قرار می‌گیرد.

پیشینه پژوهش

پژوهش‌هایی پیرامون کتیبهٔ اسماءالاحسنی زیارتگاه پیربکران انجام شده است. از جمله «حمزوی و اصلانی» (۱۳۹۱) در کتاب «آرایه‌های معماری بقعه پیر بکران» ابتدا محلهٔ پیر بکران، سابقهٔ تاریخی و ویژگی‌های اقلیمی آن را مورد بررسی قرار داده سپس فضاهای معماری بقعه و کاربری بنا در گذشته و حال را معرفی کرده است. معرفی «محمد بن بکران»، بررسی آرایه‌های معماری با توجه به محل قرارگیری آن‌ها در فضاهای مختلف از محورهای دیگر این پژوهش هستند. «هنرفر» (۱۳۵۰) در کتاب «گنجینهٔ آثار تاریخی اصفهان» به معرفی آرامگاه پیربکران و بخش‌های مختلف آن پرداخته و همچنین کتیبهٔ اسماءالحسنی بقعهٔ پیربکران را معرفی و خوانش کرده است هندسهٔ فرکتال از جهات مختلف در معماری سنتی و تزیینات آن توسط پژوهشگران بررسی شده است. «رئیسی و همکاران» (۱۴۰۳) در مقالهٔ «واکاوی هندسهٔ فرکتال در کاشی‌های منقش معقلی پشت بغل قوس ایوان شمالی مسجد حکیم» به بررسی نقوش کاشی‌کاری آن از دیدگاه فرکتال پرداخته‌اند. نتیجه این پژوهش پس از محاسبهٔ بُعد فرکتال نقوش با دو روش لگاریتمی (جعبه‌شمار) و با استفاده از نرم‌افزار این بود که این نقوش هندسی دارای بُعد کسری بوده و این ابعاد با اختلاف ناچیز در دو روش، با ابعاد فرکتالی کاملاً انطباق دارد. همچنین ویژگی خودمتشابهی در نقوش بررسی و تبیین شده است. «میریان» (۱۳۹۰) در مقالهٔ «نقش فرکتال در هندسه، ریاضیات و ارتباط آن با نقوش اسلامی در ابنیه و مساجد ایران» به بررسی وجوه مشابهت هندسهٔ فرکتال با نقوش اسلامی، به‌عنوان مثال خودمتشابهی و پرداختن به ریزه‌کاری‌ها، تکرار یونیت سل‌ها و داشتن قانون تکثیر پرداخته است. «بلیلان اصل و همکاران» (۱۳۹۰) در مقالهٔ «بررسی ویژگی‌های هندسی گره‌ها در تزئین‌های اسلامی ازدیدگاه هندسهٔ فرکتال» ساختار هندسی گره‌ها را به صورت کلی با هندسهٔ فرکتال مقایسه کرده است و ویژگی‌های مشترک فرکتال‌ها با گره‌ها را بیان کرده است. «بیگ‌محمدی و پناهی» (۱۳۹۶) در مقاله‌ای با عنوان «بررسی نظم در معماری اسلامی ایران با رویکرد هندسهٔ فرکتال در تزئینات» (نمونهٔ موردی گنبد شیخ لطف‌الله) زیر گنبد مسجد شیخ لطف الله را با نرم افزار راینو شبیه سازی کرده و با مقایسه آن با گل آفتاب گردان و بررسی ویژگی خود متشابهی در آن به این نتیجه رسیده که این زیر گنبد دارای ویژگی‌های فرکتال و منطبق با نظام موجود در طبیعت است. «Rezazade» (۲۰۲۱) در مقالهٔ خود با عنوان «تحلیل بصری و ساختاری هندسه فرکتال درتزیینات مسجد شیخ لطف‌الله» ویژگی خود متشابهی را در تزیینات مسجد از قبیل مقرنس‌ها و نقوش زیر گنبد بررسی کرده است و به این نتیجه رسیده که معمار سنتی از طریق ریاضیات و تناسبات مفاهیمی مانند وحدت در کثرت را در معماری خلق کرده که همگی در ذات خود مفاهیمی سازگار با اشکال فرکتالی دارند. «Ismail Attia» (۲۰۲۰) در مقالهٔ «اشکال فرکتال در طراحی اسلامی» به بررسی هندسهٔ فرکتال در مسجد سلطان حسن مصر پرداخته است. این پژوهش حاکی از آن است که طراحی داخلی با استفاده از نقوش فرکتالی

اسلامی دارای اثرات مثبت بر سلامتی بر ساکنان است زیرا باعث کاهش سطح استرس، افزایش آرامش، بهبود حافظه بلند مدت در آن‌ها می‌شود «Abdelsalam & Ibrahim» (۲۰۱۹) در مقالهٔ «ابعاد فرکتال معماری اسلامی» هندسهٔ فرکتال را در تزیینات معماری مدرسه السلطان حسن بررسی کرده است. در این پژوهش پلان، نما و تزیینات مدرسه از دیدگاه هندسه فرکتال و نسبت‌های طلایی تحلیل شده است و در نهایت به بررسی همپوشانی فضاها در طرح پلان مدرسه با تغییر مقادیر پارامترها در نرم افزار گرس‌هاپر پرداخته است. این پلاگین یکی از پلاگین‌های نرم افزار راینو است که به کمک آن می‌توان طرح‌های پارامتریک را مدلسازی کرد. این پژوهش بر وجود ویژگی هندسه فرکتال در هندسه اولیه که پلان بنا از تکرار آن بوجود می‌آید تأکید می‌کند. « Khamjane & Benslimane» (۲۰۱۷) در مقاله‌ای تحت عنوان «میانگین طلایی، فرکتال‌ها و الگوهای هندسی اسلامی» به کشف برخی از جنبه‌های زیبایی مربوط به ویژگی‌های ریاضی مانند نسبت‌های طلایی و هندسهٔ فرکتال در هندسه هنر اسلامی در مدرسهٔ عطارین (فاس، مراکش) پرداخته است. در این پژوهش حضور نسبت‌های طلایی در هنر اسلامی با تحلیل الگوی آن بیان شده است. با توجه به پژوهش‌های صورت گرفته، پیرامون هندسهٔ فرکتال در کتیبهٔ اسماءالحسنی بقعهٔ پیربکران پژوهشی یافت نشد. پژوهش‌های ذکر شده تنها در حد معرفی این کتیبه بوده است. از نوآوری‌های این پژوهش محاسبه بُعد فرکتال کتیبه بر اساس شبیه‌سازی و تعمیم فضاهای پر و خالی به‌عنوان یک فرکتال فضایی و همچنین استفاده از بُعد فرکتال نوشتار کتیبه جهت کمی سازی میزان پیچیدگی آن، دستیابی به لایه‌های پنهان، نظم ریاضی و هندسی موجود در کتیبه و بررسی تاثیرات این پیچیدگی بر مخاطب می باشد.

چارچوب نظری پژوهش

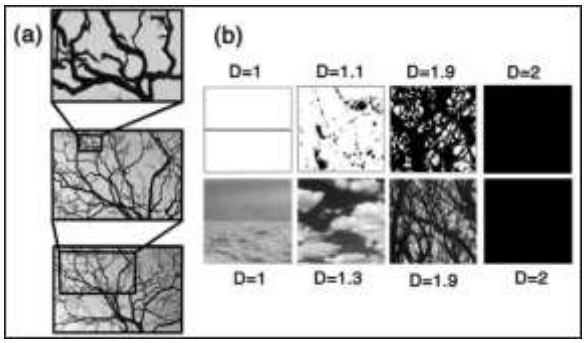
۱. خط معقلی: گروهی معقلی را از گونه‌های خط کوفی دانسته‌اند. این خط در کاشیکاری و معماری بناها متداول بوده است؛ ولی در کتابت بر روی کاغذ معمول نبوده، چرا که تمامی آن سطح است و بیش از همهٔ خط‌ها تناسب هندسی دارد (در خوشنویسی، «سطح» و «دور» دو اصل اساسی هستند که به ترتیب به خطوط صاف و مستقیم و خطوط منحنی و دایره‌ای اشاره دارند). در این خط ضخامت تمام حروف یکسان و از نظر فضای مثبت و منفی (خلوت و جلوت) نیز متناسب‌ترین خط به‌شمار می‌رود. خط معقلی ابتدا برروی کاغذ شطرنجی طراحی شده و سپس برای زینت بنا استفاده می‌شود (قلیچ‌خانی، ۱۳۹۰، ۳۵۵). این خط معمولاً در چهارچوب مربع، مستطیل و اشکال هندسی جدول‌بندی می‌شود. همین حرکات مستطیلی‌شکل و گاه مربع شکل حروف، آن را از انواع دیگر مستثنی می‌سازد؛ ولی در انتخاب زوایای مستطیل‌ها یا مربع‌ها چنان دقتی به‌کار رفته است که به‌طور کل یک طرح کامل هندسی ایجاد می‌کند و اغلب بدون نقطه‌گذاری و اعراب است (فضائلی، ۱۳۹۰، ۱۶۰).

۲. هندسهٔ فرکتال: علم فرکتال به‌عنوان یک دیدگاه جدید در هندسهٔ واقعی طبیعت است که ریاضیدان فرانسوی بنوا مندلبروت[۶] پیشنهاد کرده است. این هندسه، جنبه‌های هندسی ساختارهای طبیعی را مطالعه می‌کند. به اعتقاد مندلبروت، جهان دارای ابعاد فرکتالی و ساختارهای طبیعی دارای خواص فرکتالی هستند. فرکتال، شکل، الگو یا فرآیندی را توصیف می‌کند که خودمتشابه باشد (Ziukelis et al, 2022). در واقع هندسهٔ فرکتال مطالعهٔ تصاویر ریاضی است که نشان‌دهندهٔ اشکال طبیعی هستند. آن‌ها زنجیره‌ای ازجزئیات بی‌پایان، خودمتشابه و پر پیچ و خم را ارائه می‌کنند. خودمتشابهی یا خود مانایی[۷] یکی از ویژگی‌های مهم فرم‌های فرکتال است (اشرف

گنجویی و ایرانمنش، ۱۴۰۳). طبق قانون خودشباهت، یک فرکتال ساختارهای خودمتشابهی را در سطوح مختلف تولید می‌کند تا در مراحل بعد، سلسله مراتبی از ارتباطات را ایجاد کند (Ghouchani & Mokaberian, 2022). برای اینکه یک شکل خودمانا باشد، باید بتوان آن را به بخش‌هایی تقسیم کرد که کپی‌های کوچکتر کم و بیش شبیه به کل شکل باشند (Aswathy, 2016). بُعدکسری نیز یکی دیگر از ویژگی‌های مهم هندسهٔ فرکتال است. این هندسه به‌منظور تشریح خطوط، سطوح و احجام درهم پیچیده و نامنظم به‌کار می‌رود که دارای بُعدی مابین ابعاد صحیح اقلیدسی هستند (Mandelbrot, 1982, 44). بُعد فرکتال معیاری برای کمی‌سازی عباراتی مانند نامنظم، پیچیده و ناهموار است. در واقع هندسهٔ فرکتال به چنین جملاتی معنا می‌بخشد (Lesmoir-Gordon, 2010, 4).

۳. اهمیت محاسبهٔ بُعد فرکتال: مفهوم فرکتال در ابتدا در ریاضیات و علوم طبیعی مطرح شد؛ اما در هنر نیز می‌تواند نقش مهمی ایفا کند. از آنجا که ذهن انسان به‌طور ذاتی دارای ساختار فرکتالی است، کشف ریتم و تکرار شوندگی‌ها برای مخاطب اغنا کننده است؛ بنابراین داشتن ویژگی‌های فرکتال در طراحی تزئینات بسیار مهم است (سالینگروس، ۱۴۰۱، ۱۸۱) الگوهای فرکتالی برای مخاطبان دارای ترجیح بصری هستند (ناصحی و همکاران، ۱۴۰۳). تزیینات پیچیده در کیفیت فضاهای معماری نقش مهمی ایفا می‌کند. مهمترین نقش آن بالا بردن صفات کیفی فضاست. علاوه بر آن به فضا هویت می‌بخشد. این پیچیدگی به تزئینات ابهام می‌دهد و هرچه این ابهام بیشتر باشد بار تخیل و شگفتی برای مخاطب بالا می‌رود (مهدوی‌پور و همکاران، ۱۳۹۶). تزئینات با پیچیدگی بالا توانایی جذب و ایجاد مکث بیشتر برای مخاطب را در آن فضا دارد و مخاطب ناخودآگاه برای جستجو در این پیچیدگی‌ها و کسب اطلاعات زمان می‌گذارد (سالینگروس، ۱۳۸۷، ۱۴۹). بنابراین میزان پیچیدگی در اثر هنری باید مورد توجه قرار گیرد. بُعد فرکتال میزان پیچیدگی، شکست و فضاهای پر و خالی را کمی‌سازی کرده و به تحلیل دقیق‌تر اثر هنری کمک می‌کند.

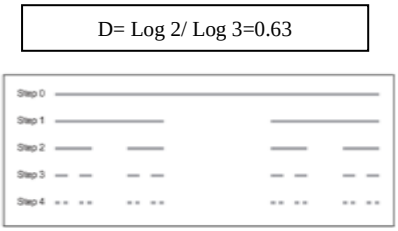
۴. روش محاسبهٔ بُعد فرکتال: بُعد در هندسهٔ فرکتال یک معیار ریاضی در تعیین درجهٔ پیچیدگی بافت در حال نمایش است. در ریاضیات، اشکال هندسی پیچیده‌ای هستند که دارای بُعد کسری‌اند؛ مفهومی که اولین‌بار ریاضیدان فلیکس هاسدورف[۸] در سال ۱۹۱۸ م/ ۱۲۹۶ ه.ش معرفی کرد (McClure, 2022, 42). بنابراین برخلاف اشکال اقلیدسی که دارای بُعد صحیح هستند، اشکال فرکتالی دارای بُعد اعشاری یا کسری هستند؛ بنابراین بُعد فرکتال خط افقی دریا برابر یک است و یک صفحه پر مشکی بُعد فرکتال برابر ۲ دارد. در واقع پیچیدگی‌ها، ناهمواری و فضاهای خالی باعث ایجاد بُعد کسری می‌شود. هر چقدر میزان پیچیدگی و شکست تصویر بیشتر باشد، بُعد فرکتال نیز بیشتر خواهد شد (نزدیک به عدد ۲) (Lesmoir-Gordon, 2010, 5) (تصویر ۱). بُعد فرکتال به‌روش‌های مختلف محاسبه می‌شود که دو نمونهٔ رایج آن بُعد تشابهی[۹] و بُعد جعبه شمار[۱۰] است.

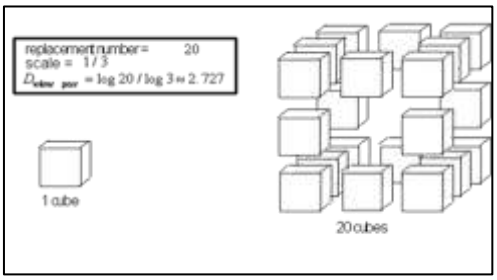


تصویر ۱. محاسبهٔ بُعد فرکتال در مقیاس‌های مختلف.
منبع: Taylor, 2006.

۴-۱. بُعد تشابهی: بُعد تشابهی ساده‌ترین راه محاسبه بُعد فرکتالی است که با فرکتال‌های تولید شده توسط سیستم‌های تکرار شونده در ارتباط است (Glass, 2011, 25). در همهٔ ساختارهای خودمتشابه بین عامل مقیاس و تعداد تقسیمات کوچکتر که ساختار اصلی بر اساس آن‌ها تقسیم شده است، رابطه وجود دارد. اگر N تعداد قطعات و S تعداد قطعاتی باشد که خط اولیه به آن تقسیم شده است، بُعد فرکتال با کمک فرمول زیر بدست می آید (Mandelbrot, 1982, 101) (تصویر ۲).

$$D= \text{Log } N/ \text{Log } S \qquad (1)$$

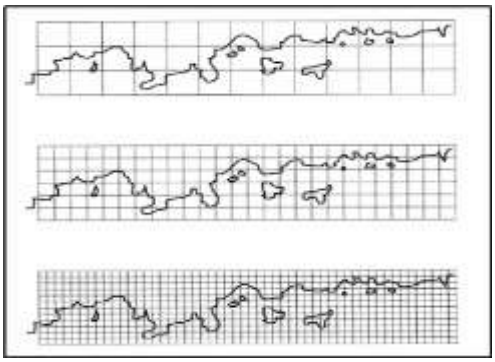




تصویر ۲. بُعد تشابهی. منبع: الف. https://www.wahl.org/fe/HTML_version/link/FE4W/c4.htm. و ب: Shirali, 2014 .

۴-۲. بُعد جعبه شمار: روش جعبه شمار یکی از روش‌های رایج برای محاسبهٔ بُعد فرکتال است. برای محاسبهٔ بُعد به‌روش جعبه شمار شبکه‌ای از خانه‌های مربع شکل را روی تصویر قرار داده، اندازهٔ شبکه با عنوان S مشخص می‌شود و تعداد مربع‌هایی که بخشی از تصویر را پوشش می‌دهد برابر N(S) است. تعداد مربعات پوشاننده تصویر بیانگر میزان فضای مثبت و منفی نقش در واحد سطح است؛ به بیان دیگر فضای منفی خالی در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین مربع‌هایی که نقش را پوشش نمی‌دهند، گسستی در سطح ایجاد می‌کنند که سبب دور شدن بُعد از عدد دو می‌شود و بُعد را به عددی بین یک و دو سوق می‌دهد. این روند را با تغییر S به شبکه‌های ریزتر و شمارش تعداد مربع‌های پوشش دهندهٔ تصویر یا N(S) تکرار می‌شود. هرچقدر شبکه‌ها ریزتر شوند، عدد بعد دقیق‌تر محاسبه می‌شود. $\frac{1}{S}$ برابر تعداد مربع‌ها در امتداد پایین شبکه است (تصویر۳) (Bovill, 1996, 41-42). بُعد فرکتال به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$D_b=\frac{[\log(N(S2))-\log(N(S1))]}{[\log(\frac{1}{S2})-\log(\frac{1}{S1})]} \qquad (2)$$



تصویر ۳. شبکه‌های شمارش جعبه. منبع: Bovill, 1996, 41.

بقعۀ پیربکران

این بقعه در فاصلۀ سی کیلومتری جنوب غربی اصفهان در دهکدۀ پیربکران از دهات ناحیه لنجان قرار دارد که مربوط به قرن هشتم (۷۰۳ تا ۷۱۲ ه.ق) دورۀ سلطنت اولجایتو است (تصویر ۴). پیربکران (محمد) از رجال مشهور و از مدرسین و عرفای این ناحیه بوده است که آرامگاه او در این بقعه که محل تدریس وی نیز بوده است، قرار دارد. آرامگاه او را به‌دلیل تجلیل از مقام مذهبی و علمی او با انواع گچبری و کاشی‌های معمول آن دوره تزیین نموده‌اند (هنرفر، ۱۳۵۰، ۲۵۳). قبرستان قدیمی یهودیان اصفهان به‌نام استر خاتون نیز در آن محل قرار داشته است. این منطقه از مراکز بزرگ یهودی‌نشین بوده و آثار تاریخی آن را به شوشندخت (ملکه سوسن) ملکه یزدگرد اول که خود یهودی بوده است، نسبت می‌دهند (رفیعی مهرآبادی، ۱۳۵۲، ۸۶۵-۸۶۳). بنای بقعۀ پیربکران به ایوان کسری مشابهت دارد و معلوم می‌شود هنوز در آن زمان از سبک دورۀ ساسانی پیروی می‌کرده‌اند (حمزوی و موذنی،۱۳۹۲). این بنا دارای سه طبقه و دارای ویژگی‌های معماری ایلخانی و شامل رواق، صحن، سردر و مقبره است (حمزوی و اصلانی، ۱۳۹۱، ۳۹).



تصویر ۴. نمای کلی پیربکران. منبع: شاهسوارانی و همکاران، ۱۳۹۵.

معرفی پیکرۀ مطالعاتی (کتیبه اسماء الحسنی)

کتیبۀ گچی به‌خط معقلی در زمینۀ شطرنجی با ابعاد ۲۴۲ در ۲۲۰ سانتیمتر برگرفته از بافت حصیری و روبه‌روی کتیبه (صلوات کبیره) در ضلع غربی صحن بقعه که قرینه ضلع شرقی است و دارای دو جرز و یک طاق‌نما در وسط می‌باشد، قرار دارد. این کتیبه مزین به اسماءالحسنی است (هنرفر، ۱۳۵۰، ۲۶۰؛ حمزوی و اصلانی، ۱۳۹۱، ۱۲۵) (تصویر ۵).

بسم الله الرحمن الرحیم هوالله الذی لا اله الا هو الرحمن الرحیم الملک القدوس السلام المومن المهیمن العزیز الجبار الملک الخالق البارى المصور الغفار القهار الوهاب الرزاق الفتاح العلیم القابض الباسط الخافظ الرافع المعذ المذل السمیع البصیر الحکیم العدل اللطیف الخبیر الحلیم العظیم الغفور الشکور الحفیظ المقیت الحسیب الجلیل الکریم الرقیب المجیب الملمع الحکیم(تکرار دوم) الودود المجید الباعث الشهید الحق الوکیل القوی المتین الولی الحمید المحصی المبدی المعید المحیی الممیت الحی. به‌نام خداوند بخشندهٔ مهربان. او خدایی است که جز او خدایی نیست، بخشنده و مهربان، پادشاه مطلق، پادشاه پاک، همیشه قائم و بی‌عیب، ایمن کننده، گواه راست، عزت دهنده، زور کننده، هست کننده، آفریدگار مطلق، نگارندهٔ صورت‌ها، آمرزگار، غضب کننده، بخشاینده، روزی دهنده، گشاینده، دانا به‌همه چیز، قبض‌کنندهٔ روزی، فراخ‌کنندهٔ روزی، فروبرنده، بردارنده، عزیز کننده، خوار کننده، شنونده، بیننده، صاحب حکمت، دادگر خلایق، پاکیزه و مهربان، خبردار از همه چیز، مهلت دهنده، بزرگ، آمرزنده، سپاس دارنده نیکان، نگاه دارنده، توانا و قوت دهنده، حساب کننده، بزرگوار، گرامی کننده، نگاهبان مطلق، قبول کننده دعا، دوستار نیکان، بزرگوارتر از همه، فرستندهٔ رسولان، زنده کنندهٔ مردگان، گواه راست مطلق، کاردان و نگهبان، خدایی و سلطانی درست، توانا، ستوده، شمار کننده، آفریننده بار دیگر، وعده کننده، زنده کننده، میرا کننده، همیشه زنده. درست در مقابل این کتیبه، کتیبهٔ صلوات کبیره چهارده معصوم به‌همین ابعاد با متن زیر قرار دارد (تصویر ۶). اللهم صل علی محمد المصطفی و صل علی علی المرتضی و صل علی فاطمهٔ زهرا و صل علی خدیجهٔ الکبرا و صل علی حسن المجتبا و صل علی حسین شهید کربلا و صل علی علی زین العابدین و صل علی محمد باقر و صل علی جعفر صادق و صل علی موسی الکاظم و صل علی علی موسی رضا و صل علی محمد تقی و صل علی نقی و صل علی حسن العسکری و صل علی محمد مهدی. خداوندا درود و رحمت فرست بر محمد مصطفی و علی مرتضی و بر فاطمه زهرا، خدیجه بزرگ، حسن مجتبی، بر حسین شهید کربلا، و درود و رحمت فرست بر زین‌العابدین و بر علی محمد باقر و جعفرصادق، بر موسی کاظم و موسی رضا، محمد تقی، علی نقی، بر حسن عسکری و بر محمد مهدی. متن کتیبه برگرفته از یکی از حرزهای امام سجاد است. این کتیبه با نام حضرت محمد شروع شده و در مرکز کتیبه با نام حضرت مهدی (محمد) در مرکز به پایان می‌رسد. کیفیت اجرایی در اندازه‌ها و تناسبات و حفظ خط و قائمه و جدول‌بندی شطرنجی این کتیبه دقت کمتری نسبت به کتیبهٔ اسماءالحسنی دارد (رجائی باغسرخی، ۱۴۰۰).



تصویر ۵. کتیبه اسماءالحسنی. منبع: آرشیو نگارندگان.



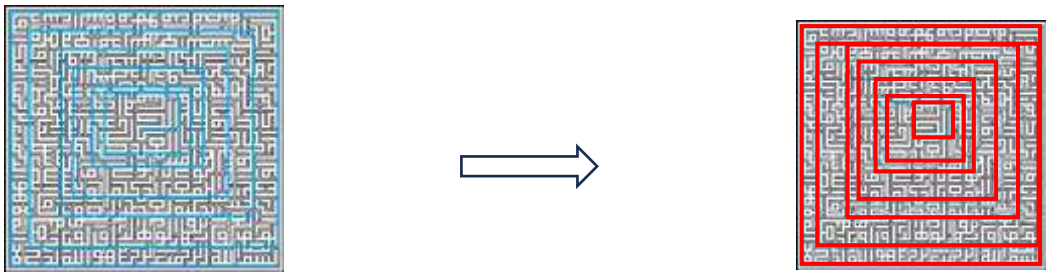
تصویر ۶. کتیبه صلوات کبیره. منبع: رجائی باغسرخی، ۱۴۰۰.

۱. تحلیل صوری و فرکتالی کتیبهٔ اسماءالحسنی: در این کتیبه نام‌های خداوند با خط معقلی از گوشهٔ پایین سمت راست شروع شده و به‌صورت ساعت گرد[۱۱] چرخش کرده و با حرکت حلزونی (مسیر حرکتی با شروع از یک نقطه در جهت حرکت عقربه‌های ساعت که در مرکز به انتها می‌رسد) (تصویر ۶ و ۷). اسماء الهی به‌خط معقلی با بسم الله الرحمن الرحیم آغاز و با اسم «الحی» در مرکز پایان می‌یابد. با احتساب اسماء تکراری مجموعاً ۶۶ اسم خداوند در این کتیبه در کنار هم چیدمان شده است به‌گونه‌ای که تعادل و توازن کامل در بین فضای مثبت و منفی به‌چشم می‌خورد.

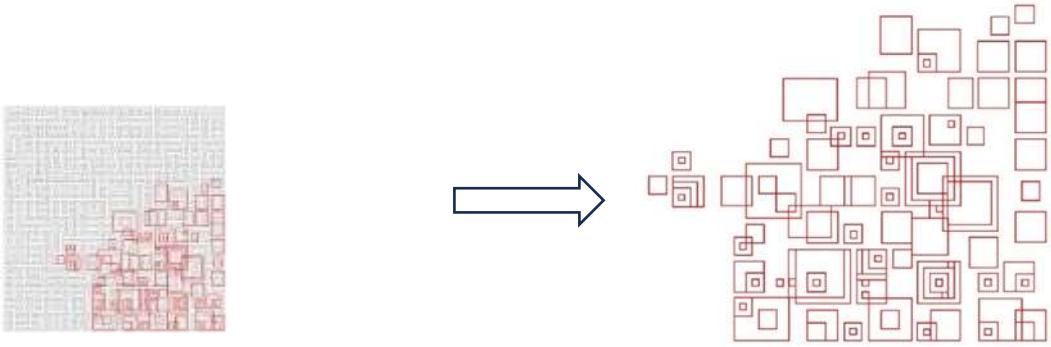


تصویر ۶. طرح گرافیکی کتیبه اسماءالحسنی. ترسیم: نگارندگان.

۲. بررسی ویژگی خود متشابهی در کتیبه: با توجه به این که کتیبه معقلی است و خطوط بر الگوی شطرنجی نقش می‌بندند، می‌توان در الگوی اولیهٔ طرح، شاهد تکرار مربع‌های کوچک درون مربع‌های بزرگتر بود؛ بنابراین کتیبه در مرحلهٔ اول ایجاد، یعنی صفحه شطرنجی ویژگی خود متشابهی را داراست. در این کتیبه با بررسی خط کرسی‌ها که به‌صورت مربع‌های متحدالمرکز است، می‌توان شاهد خود متشابهی در این مربع‌ها بود. همچنین تجلی وحدت در کثرت و کثرت در وحدت در بین اسماء الهی که به‌صورت چرخش ساعت گرد به‌صورت حلزونی به کلمه الحی منتهی می‌شود (خطوط آبی نشان داده شده در تصویر ۷). همچنین تعداد ۶۶ نام الهی که نماد توحید و برابر عدد ابجد[۱۲] نام «الله» است، مفهوم دیگری از تعریف خود متشابهی است. با دقت در هندسهٔ طرح و ترسیم مربع‌هایی که در آن موجود است، مربع‌هایی با اندازه‌های مختلف و به‌صورت متداخل موجود است که نشان از خود مانایی در کتیبه دارد (تصویر ۸). از طرف دیگر اجزای طرح با مقیاس‌های متفاوت، همراه با چرخش تکرار شده‌اند. از طرف دیگر خطوط مستقیم در طرح در اندازه‌های مختلف همراه با شکست گسترش یافته و فضا را پر می‌کنند (تصویر ۹). این موارد وجود ویژگی خود متشابهی را در این کتیبه تبیین می‌کند.



تصویر ۷. طرح گرافیکی کتیبه اسماءالحسنی و خط کرسی. منبع: نگارندگان.



تصویر ۸. خود متشابهی در تکرار مربع‌ها. منبع: نگارندگان.

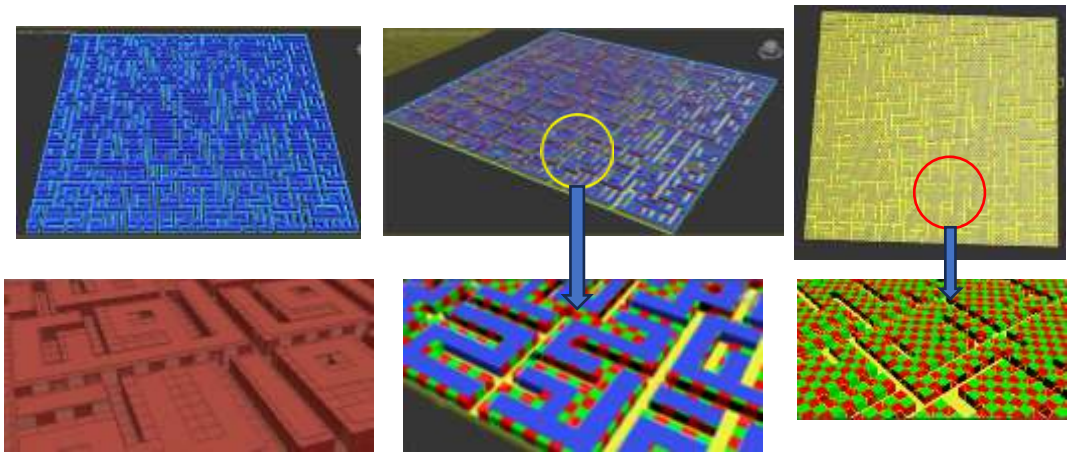


تصویر ۹. خود متشابهی در تکرار اجزا. منبع: نگارندگان.

۳. محاسبهٔ بُعد فرکتال کتیبهٔ اسماءالحسنی: برای محاسبهٔ بُعد فرکتال کتیبه از شبکهٔ مکعبی با استفاده از شبیه‌سازی و تعمیم فضاهای پر و خالی به‌عنوان یک فرکتال فضایی مشابه با مکعب متخلل در تصویر ۲ استفاده می‌شود. با توجه به اینکه کتیبهٔ مربعی به ابعاد تقریباً ۲ متر است شبکه‌ای از مکعب به ابعاد تقریبی ۱.۵ سانتیمتر روی آن در نظر گرفته می‌شود. عمق حروف گچبری کتیبه حدود ۲ سانتیمتر است؛ بنابراین دو ردیف مکعب به این ابعاد قسمت‌هایی از کتیبه را می‌پوشاند (تصویر ۱۰). با استفاده از فرمول (۱):

(تعداد مکعب‌های پوشاننده حروف کتیبه) N=32205 (تعداد مکعب‌های پایین تصویر) S=132

$$\frac{log\ 32205}{log\ 132} = \frac{4.5}{2.12} = 2 \cdot 12$$



تصویر ۱۰. مکعب های پوشاننده حروف کتیبه. منبع: ترسیم: نگارندگان.

با توجه به محاسبات، بُعد فرکتال این کتیبه به‌دلیل ناهمواری‌ها، فضاهای خالی و غیر مسطح بودن آن برابر ۲.۱۲ است که مطابق با ابعاد اشکال فرکتالی است. از طرفی پس از خطی کردن نوشتار کتیبه، بُعد آن با روش جعبه شمار به کمک نرم‌افزار محاسبه شده است. به این دلیل که محاسبهٔ بُعد فرکتال یک فرآیند تدریجی است و برای محاسبه با دقت بیشتر باید اندازهٔ مربع‌ها به‌تدریج کوچک شود تا به‌طور تقریبی بر روی نقش بنشیند. قرار دادن شبکهٔ مربع‌ها در ۵ مرحله توسط نرم‌افزار انجام شده است که در هر مرحله اندازهٔ مربع‌ها کوچک و تعداد آن‌ها بیشتر شده است تا جایی که در مرحلهٔ پنجم مربع‌ها در مقیاس کوچک بر روی طرح نشسته است. همانطور که مشاهده می‌شود بُعد محاسبه شده در مرحلهٔ پنجم نزدیکترین مقدار را به بُعد محاسبه شده توسط نرم‌افزار دارد. برای محاسبهٔ بُعد در هر مرحله از فرمول (۲) استفاده می‌شود.

$$D(2-1) = \frac{log\ 49 - log\ 16}{log\ 7 - log\ 4} = 2.04$$

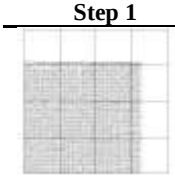
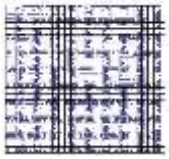
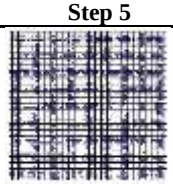
$$D(3-2) = \frac{\log 182 - \log 49}{log\ 14 - log\ 7} = 1.9$$

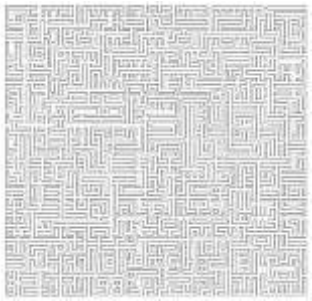
$$D(4-3) = \frac{log\ 675 - log\ 182}{log\ 27 - log\ 14} = 1.93$$

$$D(5-4) = \frac{log\ 2650 - log\ 675}{log\ 53 - log\ 27} = 1.89$$

نمودار ایجاد شده توسط نرم‌افزار شامل ۵ نقطه به مختصات log(s)، log(N) در هر مرحله است. شیب خط در برگیرندهٔ نقاط برابر بُعد نهایی فرکتال یعنی ۱.۸۵۲ است. در نهایت طرح خطی شده کتیبه نیز دارای بُعد کسری است (جدول ۱). یا توجه به عدد بُعد (۱.۸۵۲) طرح خطی کتیبه دارای بُعد نسبتاً بالایی است و این امر گواه پیچیدگی بالای طرح کتیبه است؛ بنابراین این اثر هنری حاوی بار اطلاعات بالا برای مخاطب است و لذا باعث جذب، مکث و ایجاد شگفتی برای مخاطب می‌شود. مخاطب ابتدا به‌دلیل پیچیدگی بالای کتیبه جذب آن شده و سپس تحریک به کنکاش و سعی در خواندن و کشف کتیبه می‌کند.

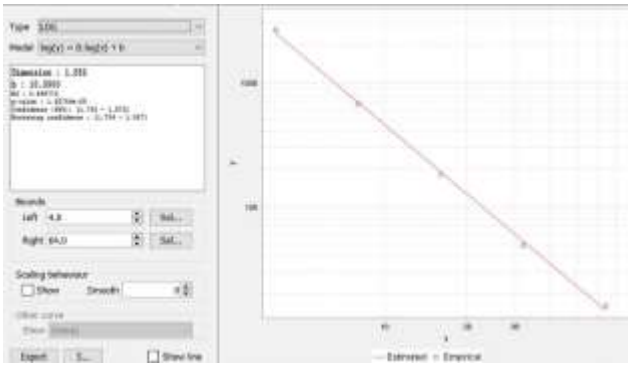
جدول ۱. محاسبه بُعد طرح خطی کتیبه. منبع: نگارندگان.

Step 1	Step 2	Step 3	Step 4	Step 5
				
N=16 , S=4	N=49 , S=7	N=182 , S=14	N=675 , S=27	N=2650 , S=53



نمونه خطی شده کتیبه اسماءالحسنی

Dimension 1.852



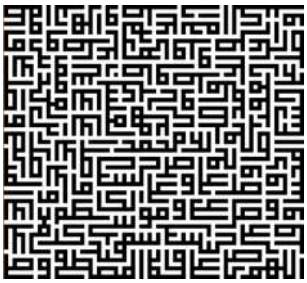
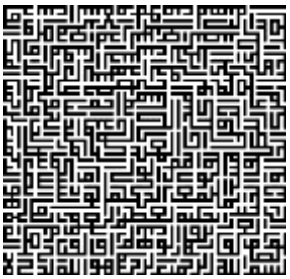
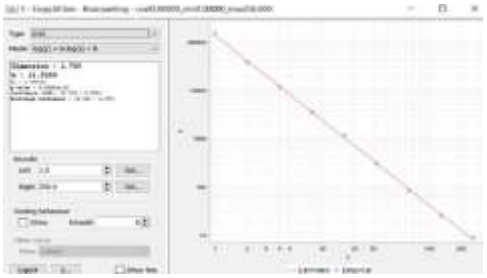
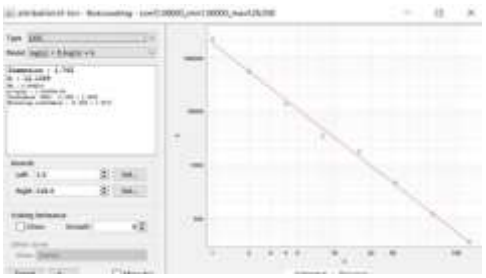
چنانکه مشاهده شد با توجه به این که کتیبهٔ مذکور دارای ویژگی خود متشابهی (خودمانایی) است و از سوی دیگر دارای ابعاد کسری (فرکتالی) است؛ بنابراین با اطمینان می‌توان گفت که از ساختار فرکتالی برخوردار است؛ به‌عبارت دیگر بر هندسهٔ طبیعت انطباق دارد.

بحث پیش از نتیجه‌گیری

در این پژوهش کتیبهٔ اسماءالحسنی زیارتگاه پیربکران از دیدگاه هندسهٔ نااقلیدسی مورد بررسی قرار گرفت. نحوهٔ چیدمان نام‌های خداوند به‌صورت مربع‌های متحدالمرکز و چرخش ساعتگرد و حلزونی ویژگی خود متشابهی را به نمایش گذاشته است. علاوه برآن به‌دلیل قرارگیری متن معقلی بر سطح شطرنجی، تکرار مربع‌ها در مقیاس‌های مختلف وجود دارد؛ همچنین تکرار اجزای کتیبه در اندازه‌های مختلف، چرخش و شکست اجزا دلایلی بر وجود خودمانایی است. بُعد کتیبه به‌دلیل وجود ناهمواری و فضاهای پر و خالی در سطح آن اعشاری است. این عدد با کمک چیدمان شبکهٔ مکعب بر روی اجزا و شمارش آن‌ها ۲.۱۲ به‌دست آمد که منطبق برابعاد فرکتالی است. از طرف دیگر نمونه خطی شده کتیبه نیز به کمک نرم افزار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و بُعد آن با روش جعبه شمار محاسبه شد. نمونه خطی نیز به‌دلیل شکست‌ها و فضاهای خالی دارای بُعد کسری بود و عدد بُعد نشان از پیچیدگی بالای طرح کتیبه داشت که این پیچیدگی بالا باعث جذب، مکث و تلاش مخاطب برای خوانش و کشف کتیبه می‌شود. نکتهٔ قابل توجه اینکه پس از محاسبهٔ بُعد فرکتال نوشتار کتیبهٔ صلوات کبیره که در مقابل کتیبه اسماءالحسنی قرار دارد و مقایسهٔ آن‌ها (به‌دلیل مشابهت ساختار این دو کتیبه از بررسی خود متشابهی در کتیبه صلوات کبیره صرف‌نظر شده است) این نتیجه به‌دست آمد که هر دو کتیبه، بُعد بسیار نزدیک به یکدیگر دارند. اختلاف بُعد آن‌ها بسیار ناچیز و برابر (۰.۰۰۳) است (جدول ۲). این مورد نشان می‌دهد که میزان پیچیدگی، فضاهای پر و خالی و تراکم خطوط در هر دو کتیبه یکسان است و هنرمند طراح بسیار حساب شده و هماهنگ

این دو کتیبه را طراحی کرده است؛ زیرا یکی از ویژگی‌های مهم تزئینات در معماری سنتی دورهٔ اسلامی وجود تقارن در عین بی‌قرینه‌گی است. هنرمند طراح این دو کتیبه، بسیار هوشمندانه این اصل تزئین معماری را رعایت کرده و به نمایش گذاشته است. براساس محاسبات انجام شده چنانکه مشاهده شد، اختلاف بسیار ناچیز بُعد در دو کتیبه مقابل هم نشان از به‌کارگیری یکسان فضای مثبت و منفی در طراحی این دو کتیبه است. در طراحی سنتی نقوش و کتیبه‌ها تعادل و توازن بین فضای مثبت و منفی که همانا از منظر حکمت هنر اسلامی نمایشی از جهان شهود و معنا است از اهمیت به‌سزایی بر خوردار است و از منظر زیبایی‌شناسی این تعادل و تعامل بین فضای مثبت و منفی تجلی امر شگفت حاصل از پیچیدگی همراه با حس پایداری و استحکام را به نمایش می‌گذارد. از سوی دیگر تقارن غیر تام یا به اصطلاح تقارن در عین بی قرینه‌گی[۱۳] ویژگی برگرفته از نظام طبیعت است. آنچه که در طبیعت در نگاه نخست متقارن می‌نماید؛ اما در اجزا از تقارن تام بر خوردار نیست. در این بنا اگرچه در نگاه اول دو کتیبه متقارن یکدیگر دیده می‌شوند؛ اما با نگاه دقیق، بیننده متوجه تفاوت دو کتیبه می‌شود که منتهی به خوانش دقیق کتیبه خواهد شد. از آنجایی که ساختار معماری این ایوان متقارن بوده، هنرمند کتیبه نگار خود را ملزم نموده که به‌گونه‌ایی دو کتیبه را طرح نماید که در عین تفاوت متن از نظر بصری تزئینی متقارن را به جلوه گذارد.

جدول ۲. محاسبهٔ بُعد نوشتار کتیبه صلوات و اسماءالحسنی. منبع: نگارندگان.

کتیبه صلوات ائمه		کتیبه اسماءالحسنی	
			
			
Dimension	1.759	Dimension	1.762

محاسبهٔ بُعد فرکتال کتیبه‌ها ثابت کرد که علاوه بر کسری بودن بُعد کتیبه، تنظیم فضاهای پر و خالی و شکست‌ها کاملاً به‌صورت حساب شده صورت گرفته و هنرمندان اعصار گذشته ، نظم هندسی و ریاضی را به‌خوبی در آثار خود رعایت کرده‌اند.

نتیجه‌گیری

بر اساس دانش نوین هندسه فرکتال میزان انطباق ساختار هندسی کتیبه با هندسه نا اقلیدسی فرکتال مشخص می‌شود. به عبارتی این هندسه بیان می‌کند که تا چه حد ساختار صوری کتیبه با هندسه طبیعت منطبق است. به کمک تحلیل فرکتالی می‌توان میزان و نوع پیچیدگی، فضاهای پر و خالی و ناهمواری را درآثار هنری تحلیل و کمی‌سازی کرد که این امر از طریق تحلیل غیر فرکتال ناممکن است. در پژوهش حاضر با تحلیل فرکتالی کتیبهٔ اسماءالحسنی زیارتگاه پیر بکران این نتیجه حاصل شد که کتیبه کاملاً دارای ویژگی‌های هندسهٔ فرکتال(خود متشابهی و بُعد کسری) است و هنرمند دورهٔ ایلخانی با حس سلیم تربیت یافته در مکتب هنری عصر خویش بدون شناخت هندسه نااقلیدسی با استفاده از الگوهای تکرار شونده و پیچیدهٔ بصری و اصول نگارش خط معقلی خلق اثر کرده است و با شگفتی تمام این پژوهش اثبات می‌کند که هندسهٔ حاکم بر این کتیبه با هندسهٔ طبیعت یعنی هندسهٔ فرکتال انطباق دارد. از طرفی پیچیدگی بالای کتیبه باعث بالا رفتن کیفیت و ابهام در آن فضا و همچنین جذب و مکث مخاطب شده است. با مقایسه میزان پیچیدگی(عدد بُعد فرکتال) کتیبه اسماالحسنی با کتیبه صلوات کبیره نیز این نتیجه حاصل شد که میزان فضاهای پر و خالی و شکست‌ها در هر دو کتیبه تقریبا برابر است و همین موضوع باعث شده این دو کتیبه با وجود تفاوت در نوشتار در نگاه اول متقارن به نظر برسند. لذا طراح این کتیبه‌ها علاوه بر طراحی زیبا و هندسی آن‌ها، نشان‌ها و درونمایه‌های ریاضی‌گونه‌ای نیز برای اهل تفکر در دل کتیبه نهان داشته‌اند. این دو کتیبه نمونه‌ای از قرارگیری تفکر ریاضی و هندسی در کنار مسائل اعتقادی و هنر است؛ بنابراین مسئلهٔ تزیین فراتر از یک اتفاق بصری خوشایند است. پژوهش‌هایی از این دست که ظرایف و نکات نامکشوف و وجوه نامعلومی را مکشوف می‌سازند، به مخاطبان درک عمیق‌تری از هنر گذشتگان ارائه می‌دهد که رهگشای هنرمندان امروزین در خلق آثار سنتی جدید است. از طرف دیگر از آنجایی که هنرمندان سنتی عموماً بر اساس اصول طراحی نقوش یا حروف به طرح و خلق اثر، به‌صورت حسی می‌پردازند، روش تحلیل فرکتالی آثار می‌تواند رهگشای هنرمندان این عرصه برای خلق آثار جدید به‌صورت علمی و روشمند باشد و آثاری خلق شود که حاصل عقل سلیم تربیت یافته و حس سلیم تربیت یافتهٔ هنرمند بوده و از نظر علمی نیز دارای استحکام و استواری لازم باشد.

مشارکت‌های نویسنده

این مقاله حاصل همکاری مشترک هردو نویسنده است. نویسندگان در نگارش بخش‌های مختلف، بررسی یافته‌ها، تحلیل نتایج و تأیید نهایی مقاله مشارکت داشته‌اند.

تقدیر و تشکر

این مقاله فاقد قدردانی و تشکر است.

تضاد منافع

نویسنده (نویسندگان) هیچ تضاد منافع احتمالی پیرامون تحقیق، تألیف و انتشار این مقاله را اعلام نکردند.

منابع مالی

نویسنده (نویسندگان) هیچ گونه حمایت مالی برای تحقیق، تألیف و انتشار این مقاله دریافت نکردند.

پی‌نوشت

1. AutoCAD
2. Arc Map 10.8.2

۳. شیپ فایل (Shapefile) یک فرمت ساده و غیرتوپولوژیکی برای ذخیرهٔ موقعیت هندسی و اطلاعات مربوط به خصوصیات یک عارضهٔ جغرافیایی است. عوارض جغرافیایی موجود درون یک شیپ (Shapefile) فایل می‌توانند از طریق نقطه، خط یا سطوح چندضلعی نمایش داده شوند.

4. vector
5. (Fractalys-3.0-0.9.1)
6. Benoit B. Mandelbrot
7. self- similarity
8. Felix Hausdorff
9. self-similar dimension
10. Box-counting

۱۱. در جهت عقربه‌های ساعت

۱۲. حروف ابجد روشی برای مرتب‌سازی حروف در زبان عربی است که بر پایهٔ الفبای اولیهٔ خط فنیقی است، اعداد نسبت داده شده به ۲۸ حرف ابجد کبیر از یک تا هزار است. در واقع اعداد ۱ تا ۱۰۰۰ بین ۲۸ حرف عربی تقسیم شده است.

۱۳. تقارن تام تنها در هندسه معنا دارد و قابل تعریف است. در شکلی که دارای تقارن تام است اعم از خط، محور، یا نقطه محور بخش‌های تکرار شونده حول محور یا نقطه تقارن دقیقاً مشابه هستند و فقط انعکاس آینه‌ای یکدیگر هستند؛ اما در تقارن غیر تام یا تقارن در عین بی‌قرینه‌گی که این نوع تقارن در طبیعت یافت می‌شوند، در نگاه اول شکل متقارن دیده می‌شود؛ یعنی تقارن در کلیت شکل وجود دارد؛ اما در اجزا، بی‌قرینه‌گی حاکم است. همانند برگ درختان یا چهرهٔ انسان‌ها.

منابع

- اشرف گنجوی، محمدعلی، ایرانمنش، محمد. (۱۴۰۳). بازشناسی ارتباط کوشک با باغ ایرانی از منظر هندسهٔ فرکتال (مطالعه موردی: کوشک‌های باغ فتح آباد کرمان). *منظر*، ۱۶(۶۷)، ۶-۱۳. DOI:10.22034/MANZAR.2024.425783.2265

- بلیلان اصل، لیلا، ستارزاده، داریوش، خورشیدیان، ساناز و نوری، مریم. (۱۳۹۰). بررسی ویژگی‌های هندسی گره‌ها در تزیین‌های اسلامی از دیدگاه هندسهٔ فرکتال. *فصلنامه مطالعات شهر ایرانی اسلامی*، ۲(۶)، ۸۳- ۹۵.

- بیگ محمدی، میترا و پناهی، سیامک. (۱۳۹۶). بررسی نظم در معماری اسلامی ایران با رویکرد هندسه فراکتال در تزیینات، نمونه موردی بررسی گنبد شیخ لطف‌الله. *کنفرانس ملی مدلسازی ریاضی در علوم مهندسی*، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ابهر، ۵-۱.

- حمزوی، یاسر و اصلانی، حسام. (۱۳۹۱). *آرایه‌های معماری بقعه پیر بکران*. گلدسته.

- حمزوی، یاسر و موذنی، فرشاد. (۱۳۹۲). آرایه‌های معماری اتاق مقبره بنای تاریخی پیربکران و کتیبه پنهان در آن. *دوفصلنامه تخصصی دانش مرمت و میراث فرهنگی دوره جدید*، ۱(۱)، ۱۱-۱.

- رجایی باغسرخی، سید امیر. (۱۴۰۰). صلوات کبیره معقلی بقعه پیر بکران، کاربرد منابع شیعی در کتیبه‌نگاری ایلخانی. *هفته‌نامه صبح اندیشه*، ۹(۳۳۰)، ۷.

- رفیعی مهرآبادی، ابوالقاسم. (۱۳۵۲). *آثار ملی اصفهان*. انجمن آثار ملی.

- رئیسی، کیهانه، زکریایی کرمانی، ایمان، جوکار، جلیل و نجارپور، صمد. (۱۴۰۳). واکاوی هندسهٔ فرکتال در کاشی‌های منقش معقلی پشت‌بغل قوس ایوان شمالی مسجد حکیم. *باغ نظر*، ۲۱(۱۳۵)، ۵۱-۶۲. DOI: 10.22034/BAGH.2024.442928.5562

- سالینگروس، نیکوس. (۱۳۸۷). *یک نظریه معماری* (مترجم سعید زرین‌مهر و زهیر متکی). مرکز مطالعاتی و تحقیقاتی شهرسازی و معماری.

- سالینگروس، نیکوس. (۱۴۰۱). *شهر از منظر هندسه فرکتال* (مترجم مرجان بابایی). تهران: ثمین.
- شاهسوارانی، وحید، لطفی قرایی، فرزانه و زمانی کبیر، تینا. (۱۳۹۵). خوانشی باستان‌شناختی و بستر محور بر بنای منسوب به پیر بکران. *سومین کنفرانس بین المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی*، برلین-آلمان.
- فضائلی، حبیب الله .(۱۳۹۰). *اطلس خط*. سروش.
- قلیچ‌خانی، حمیدرضا .(۱۳۹۰). *فرهنگ واژگان و اصطلاحات خوشنویسی و هنر های وابسته*. روزنه.
- مهدوی‌پور، حسین، شریفی مهرجردی، علی‌اکبر و اسلامی نصرت آبادی، مریم. (۱۳۹۶). بررسی نقش تزیینات در ارتقای کیفیت فضایی خانه‌های سنتی یزد بر اساس مطالعه موردی خانه شفیع پور یزد. *مسکن و روستا*،۳۶(۱۶۰) ، ۱۳۳-۱۴۹.
- میریان، میثم. (۱۳۹۰). نقش فراکتال‌ها در ریاضیات و ارتباط آن با نقوش اسلامی در ابنیه‌ها و مساجد ایران. *کتاب ماه هنر*، (۱۵۹)، ۸۶-۹۲.
- ناصحی، علیرضا، محمودی زرندی، مهناز و ذبیحی، حسین. (۱۴۰۳). مطالعه تطبیقی ترجیحات بصری مخاطبان عام در سبک‌های معماری و هنر از منظر زیبایی شناسی. *معماری و شهرسازی آرمانشهر*، ۱۷(۴۶)، ۳۹-۴۸.
DOI: 10.22034/aaud.2024.298544.2525
- هنرفر، لطف الله. (۱۳۵۰). *گنجینه آثار تاریخی اصفهان* (چاپ دوم). زیبا.
- Abdelsalam, M & Ibrahim, M. (2019). Fractal Dimension of Islamic Architecture: The case of the Mameluke, Madrasas: Al-Sultan Hassan Madrasa. *Journal of Science*, 32(1), 27-37. http://dergipark.gov.tr/gujs
- Aswathy, RK & Mathew, S. (2016). On different forms of self-similarity. *Journal of Chaos, Solitons & Fractals*, (87), 102-108. DOI: 10.1016/j.chaos.2016.03.021
- Bovill, C. (1996). *Fractal Geometry in Architecture and Design*. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, University of Maryland.
- Ghouchani, M & Mokaberian, M. (2022). Fractal Dimension of Islamic Architecture: The Structure of the «Patkaneh» in the dome of the Jame' Mosque of Ardestan, Iran. *Journal of Science*, 35(4), 1233-1246. DOI: 10.35378/gujs.982321
- Glass, M. (2011). *Dimension of Self-Similar Fractals*. University Graduate School.
- Ismail Attia, D.I. (2020). The Fractal shapes in Islamic design & its effects on the occupiers of the interior environment (case study: El-Sultan Hassan mosque in Cairo). *Journal of Architecture, Arts and Humanistic Science*, 5(1), 123-144. DOI: 10.21608/mjaf.2020.34245.1689
- Khamjane, A & Benslimane, R. (2017). Golden Mean, Fractals and Islamic Geometric Patterns. *Frontiers in Science and Engineering International Journal*, 7(1), 5-15.
- Lesmoir-Gordon, N. (2010). *The Colors of Infinity, The Beauty and power of fractals*. Springer London Dordrecht Heidelberg New York.
- Mandelbrot, B. (1982). *The Fractal Geometry of Nature*. W. H. Freeman, New York.
- McClure, M. (2022). *Fractal Geometry*. University of North Carolina, Yale University.
- Rezazade, H. (2020). Visual and Structural Analysis of Fractal Geometry in the Sheikh Lotfollah Mosque Ornaments (Isfahan- Iran). *International Journal of Architecture and Urban Development*, 1(11), 74-82. DOI: 10.30495/IJAUD.2021.16769
- Shirali, SH. (2014). Fractal Dimension and the Cantor Set. *Resonance*,19(11),1000-1004. DOI:10.1007/s12045-014-0118-7
- Taylor, R.P. (2006). Reduction of Physiological Stress Using Fractal. *Art and Architecture. Leonardo*, 39(3), 245-251.
- Ziukelis, E; Mak, E; Dounavi, M.E; Su, L & O'Brien, J. (2022). Fractal dimension of the brain in neurodegenerative disease and dementia: A systematic review. *Ageing Research Reviews*, (79), 1-15. DOI: 10.1016/j.arr.2022.101651