



## تحلیل تعادل در پیچیدگی‌های بصری تزئینات کاشی کاری ایوان مقصوره مسجد گوهرشاد بر اساس هندسه فرکتال

کیهان‌ه رئیسی\* جلیل جوکار\*\*

### چکیده

تزئینات ایوان مقصوره به عنوان بزرگترین ایوان مسجد گوهرشاد در بردارنده انواع تزئینات معقلی، معرق، نقوش ختایی، مقرنس و زیر گنبد است. با تحلیل این تزئینات متنوع و پیچیده که تنها جنبه بصری و هنری ندارند می‌توان به وجوه پنهان در آنها دست یافت. این پژوهش با هدف دستیابی به تعادل در پیچیدگی‌های بصری به تحلیل فرکتالی هندسه پنهان و پیدای تزئینات ایوان مقصوره به عنوان نمونه کاملی از کل تزئینات مسجد می‌پردازد. لذا در پی پاسخ به این پرسش اصلی است که چگونه می‌توان بر اساس هندسه فرکتال تعادل در پیچیدگی‌های بصری تزئینات کاشیکاری ایوان مقصوره مسجد گوهرشاد را تحلیل کرد؟ این پژوهش از نظر هدف، توسعه‌ای و از نظر روش توصیفی-تحلیلی است. اطلاعات مورد نیاز با روش کتابخانه‌ای و اینترنتی جمع‌آوری شده است. از تحلیل فرکتالی برای بررسی تعادل در تزئینات و از نرم افزار فرکتالیز برای محاسبه ابعاد گره‌ها و سنجش پیچیدگی آنها استفاده می‌شود. در این راستا نقوش کاشی کاری ایوان مقصوره پس از خطی شدن با نرم افزار اتوكد، بر اساس هندسه فرکتال مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سپس بُعد آنها به کمک نرم افزار فرکتالیز به روش جعبه شمار محاسبه شد. در نهایت، پژوهش به این نتیجه دست یافت که نقوش کاشی کاری‌های ایوان مقصوره مسجد گوهرشاد دارای بُعد کسری بوده و این ابعاد با ابعاد فرکتالی کاملاً انطباق دارد و از سوی دیگر وجوه خودمتشابه و تکرار شونده‌گی علاوه بر هندسه آشکار نقوش در هندسه پنهان آنها نیز متجلی بوده که این تکرارپذیری در مقیاس‌های مختلف باعث تعادل بصری و هماهنگی در تزئینات با وجود پیچیدگی‌های آنها می‌شود. از طرفی اعداد بُعد فرکتال بدست آمده نشان می‌دهد ترتیب قرارگیری تزئینات ایوان به گونه‌ای است که علاوه بر ایجاد تعادل در پیچیدگی در جهت هدایت به قبله عمل می‌کند. لذا استفاده از اصول فرکتال، علاوه بر ایجاد زیبایی بصری، نقشی کلیدی در ایجاد تعادل در پیچیدگی‌ها و هماهنگی تزئینات دارد.

**کلمات کلیدی:** ایوان مقصوره، تزئینات، هندسه فرکتال، خود متشابهی، هندسه پنهان، پیچیدگی بصری.

\* Keyhane.reisi@yahoo.com

\*\* j.jokar1971@gmail.com

\* کارشناس ارشد رشته نقاشی ایرانی، دانشکده صنایع دستی، دانشگاه هنر اصفهان. اصفهان.

\*\* مربی دانشکده صنایع دستی، گروه هنر اسلامی، دانشگاه هنر اصفهان. اصفهان. ایران (نویسنده مسئول).

## مقدمه

تزئینات کاشی کاری ایوان مقصوره، به عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های مسجد گوهرشاد، با داشتن انواع تزئینات معقلی، معرق، نقوش ختایی، مقرنس و زیر گنبد نمونه کامل و پیچیده از غنای تزئینات در معماری است. هندسه فرکتال، به عنوان یکی از مفاهیم بنیادی در ریاضیات معاصر، می‌تواند برای تحلیل و شناسایی الگوهای پیچیده و خودمتمشابه در این تزئینات یاری دهنده باشد. این نوع هندسه، به واسطه تکرار الگوها در مقیاس‌های مختلف، درک جدیدی از ساختارهای غیرخطی و زیباشناسی ارائه می‌دهد. استفاده از این هندسه در شناخت و تحلیل ساختار بناهای شهری و ارتباط بُعد فرکتال به عنوان معیار کمی برای سنجش کیفیت‌های محیطی و بصری نقش به‌سزایی دارد (مدنی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۵۵). این پژوهش تلاش دارد هندسه فرکتال را علاوه بر هندسه آشکار، در هندسه پنهان نقوش کاشی کاری ایوان مقصوره مسجد گوهرشاد نیز بررسی و نقش آن را در سنجش میزان پیچیدگی نقوش و تعادل پیچیدگی‌های بصری<sup>۱</sup> و هماهنگی تزئینات این ایوان تحلیل کند. از آنجا که تزئینات در مکان‌های مقدس تنها جنبه بصری و هنری نداشته و به بنا روح و هویت می‌دهند و از طرفی می‌توانند بیانگر پیام یا موضوع مهمی باشند، با این تحلیل، می‌توان به درک بهتری از پیوند میان علم و هنر در معماری اسلامی دست یافت و اصول نهفته در طراحی این شاهکار تاریخی را بازشناسی کرد.

لذا پژوهش در پی پاسخ به این پرسش اصلی است که چگونه می‌توان بر اساس هندسه فرکتال تعادل<sup>۲</sup> در پیچیدگی‌های بصری تزئینات کاشی کاری ایوان مقصوره مسجد گوهرشاد را تحلیل کرد. در راستای پاسخ به این پرسش اصلی دو سوال فرعی نیز مطرح می‌شود. ویژگی خود متمشابهی در نقوش کاشیکاری ایوان مقصوره چگونه نمود پیدا می‌کند؟ بُعد فرکتال نقوش چقدر است؟

این پژوهش در چهار بخش اصلی هندسه فرکتال، هندسه پنهان، معرفی پیکره مطالعاتی و تحلیل پیچیدگی تزئینات ایوان مقصوره بر اساس هندسه فرکتال انجام می‌شود.

## پیشینه پژوهش

هندسه فرکتال از جهات مختلف در معماری و تزئینات آن بررسی شده است. برخی پژوهش‌های انجام شده در این زمینه به شرح زیر است: رئیسی و همکاران (۱۴۰۳) در مقاله «واکاوی هندسه فرکتال در کاشی‌های منقش معقلی پشت‌بغل قوس ایوان شمالی مسجد حکیم» به بررسی هندسه فرکتال در نقوش معقلی و محاسبه بُعد آن به روش جعبه شمار پرداخته

اند. اشرف گنجوی و ایرانمنش (۱۴۰۳) در مقاله خود با عنوان «بازشناسی ارتباط کوشک با باغ ایرانی از منظر هندسه فرکتال» به مطالعه موردی کوشک‌های باغ فتح آباد کرمان از دیدگاه هندسه فرکتال پرداخته‌اند و به کمک هندسه فرکتال مشخص کرده که چگونه باغ و عناصر آن در بخش‌های مختلف نماها تأثیر دارد. مصطفایی (۱۴۰۱) در مقاله‌ای با عنوان «هندسه در هندسه؛ بررسی وجود بُعد فرکتال در ورودی مسجد شیخ لطف الله و اثر آن بر باز تعریف معنای مکان» برای فضای ورودی مسجد شیخ لطف الله، همسان‌های دیگری با تناسبات و ابعاد گوناگون با احجام ثابت، در نظر گرفته که همگی دارای بعد فرکتال مشابه باشند، اما اثبات کرده است که از جمیع جهات از جمله عملکرد، طرح ساخته شده در این مسجد، بهینه‌ترین پاسخ است. بیک محمدی و پناهی (۱۳۹۶) در مقاله‌ای با عنوان «بررسی نظم در معماری اسلامی ایران با رویکرد هندسه فرکتال در تزئینات» (نمونه موردی گنبد شیخ لطف الله) به بررسی رابطه هندسه فرکتال و معماری اسلامی و ارتباط بین نقوش اسلامی و هندسه فرکتال پرداخته و نشان می‌دهد که هندسه فرکتال از زمان شکل‌گیری هنر معماری اسلامی در طراحی هنرمندان رایج بوده است. حیاتی و آقا محمدی (۱۳۹۵) در مقاله «بررسی ویژگی‌های هندسی گره در معماری اسلامی» به بررسی ویژگی‌های گره‌ها که به دلیل تنوع، کثرت، پیچیدگی، آهنگ، توازن قابل قیاس با ویژگی‌های هندسه فرکتال می‌باشد، پرداخته است. مدنی و همکاران (۱۳۹۶) در مقاله «ارزیابی جداره‌های خیابان چهارباغ اصفهان و ارائه الگو برای آن با به کارگیری هندسه فرکتال» به محاسبه بُعد فرکتال یکی از محورهای اصلی اصفهان و استفاده از آن عدد بُعد در سامان دهی خیابان‌های تاریخی اصفهان پرداخته است. قوچانی و مکریان (۲۰۲۲) در مقاله «ابعاد فرکتالی معماری اسلامی در ساختار پتکانه مسجد جامع اردستان» با سه بُعدی کردن ساختار پتکانه آن را از دیدگاه فرکتال بررسی کرده است. آتیا (۲۰۲۰) در مقاله «اشکال فرکتال در طراحی اسلامی و تأثیر آن بر ساکنان محیط داخل» به بررسی هندسه فرکتال در مسجد سلطان حسن مصر پرداخته است. این پژوهش همچنین خلق اشکال فرکتال با نسبت طلایی و غیرطلایی اسلامی معاصر با تعداد زیادی تکرار را با استفاده از نرم افزار پیشنهاد می‌کند که می‌تواند در طراحی داخلی استفاده شود. رضا زاده (۲۰۲۱) در مقاله «تحلیل بصری و ساختاری هندسه فرکتال در تزئینات مسجد شیخ لطف‌الله» تزئینات مسجد شیخ لطف‌الله اصفهان از قبیل مقرنس‌ها، زیرگنبد، پلان، برش و نمای معماری آن را از دیدگاه هندسه فرکتال بررسی کرده است. عبدالسلام و

لذا از دو روش کمی و کیفی به طور هم‌زمان استفاده شده است. توصیف و تحلیل داده‌ها براساس ویژگی‌های هندسه فرکتال انجام می‌شود. داده‌اندوزی با روش کتابخانه‌ای و اینترنتی و تحلیل ابعاد گره‌ها با استفاده از نرم افزار، انجام شده است. در این پژوهش تزئینات ایوان مقصوره به عنوان اصلی‌ترین و بزرگترین ایوان در مسجد گوهرشاد و موقعیت خاصش که در جهت محور قبله قرار گرفته، انتخاب شده است. نمونه‌ها هفت مورد شامل گلدانی ورودی ایوان، بغل قوس، بغل کش، داخل ایوان، زیر گنبد و مقرنس‌های بالای محراب است که به صورت هدمند بر اساس سلسله مراتب حرکتی مخاطب به داخل ایوان انتخاب شده است. به دلیل اینکه خلق کاشی‌ها بر اساس نقش و گره انجام می‌شود و از آنجا که خوانش تصویر بر اساس تضاد بین تصویر و زمینه بدست می‌آید، در کاشی‌ها نقش و گره‌ها را تصویر در نظر گرفته و تحلیل فرکتال بر روی آنها انجام می‌شود. لذا پس از ترسیم نقش کاشی‌ها با نرم افزار اتوکد ابتدا ویژگی خود متشابهی در آنها بررسی می‌شود. سپس با استفاده از نرم افزار فرکتالیز (۳،۰-۹،۱-۰)²، بُعد فرکتال محاسبه می‌شود. این نرم افزار یکی از نرم افزارهای قابل اعتماد، دقیق و حرفه‌ای برای محاسبه بُعد فرکتال است که دارای کمترین خطای محاسباتی است (Hadzieva. et al, 2015:210). محاسبه بُعد در این نرم افزار بر اساس روش جعبه‌شمار که یکی از روش‌های معمول محاسبه بُعد است انجام می‌شود. در این روش، شبکه‌ای از مربع روی تصویر مورد نظر قرار داده می‌شود این روند با تغییر S به شبکه‌های ریزتر و شمارش تعدادخانه‌های در بر دارنده تصویر N(S) تکرار می‌شود. S/۱ برابر تعداد خانه‌ها در امتداد پایین شبکه است (Bovill, 1996:73-74). بُعد فرکتال بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$D_b = \frac{[\log(N(S_2)) - \log(N(S_1))]}{[\log(\frac{1}{S_2}) - \log(\frac{1}{S_1})]}$$

قرار دادن شبکه مربع‌ها توسط نرم افزار به طور خودکار انجام می‌گیرد. نمودار نقاط با مختصات  $\log(N)$  و  $\log(1/S)$  ترسیم می‌شوند و یک خط مستقیم برای نقاط در نمودار قرار داده می‌شود. شیب این خط برابر بُعد فرکتال است.

در تصاویر دارای ناهمواری مانند مقرنس با تبدیل به تصویر خاکستری و سپس باینری<sup>۴</sup> با کمک نرم افزار فرکتالیز محاسبه بُعد فرکتال انجام می‌شود. اعداد بُعد بدست آمده مورد تحلیل قرار می‌گیرند (نمودار ۱).

ابراهیم (۲۰۱۸) در مقاله «بُعد فرکتال معماری اسلامی» به بررسی هندسه فرکتال در تزئینات معماری مدرسه السلطان حسن پرداخته است. خامجانه و بن اسلیمانه (۲۰۱۷) در مقاله خود با عنوان «میانگین طلایی، فرکتال‌ها و الگوهای هندسی اسلامی» به کشف برخی از جنبه‌های زیبایی مربوط به خصوصیات ریاضی، مانند نسبت‌های طلایی و هندسه فرکتال در هندسه هنر اسلامی پرداخته است.

در ارتباط با تزئینات ایوان مقصوره مسجد گوهرشاد پژوهش‌هایی صورت گرفته است. رضازاده اردبیلی و اسدی جعفری (۱۳۹۷) در مقاله «مطالعه تطبیق پذیری تزئینات متبرکه کتیبه‌ها در مناره‌های مسجد گوهرشاد و مسجد شاه مشهد» تزئینات مناره‌های این دو بنا را با یکدیگر مقایسه کرده است. زمرشیدی (۱۳۹۰) در مقاله «مسجد بی‌نظیر جامع گوهرشاد و هنرهای قدسی معماری» به معرفی و توصیف تزئینات ایوان‌های مختلف این مسجد پرداخته است. شایسته فر (۱۳۸۹) در پژوهش خود با عنوان «بررسی تزئینات و کتیبه‌های قرآنی دو مجموعه گوهرشاد مشهد و هرات» به معرفی و مقایسه تزئینات این دو مجموعه پرداخته است. حسینی (۱۳۸۲) در مقاله «ایوان مقصوره مسجد گوهرشاد» به معرفی کلی تزئینات و کتیبه‌های ایوان مقصوره پرداخته است. در این پژوهش‌ها به توصیف تزئینات و مضامین کتیبه‌های این ایوان پرداخته شده اما تحلیلی در ارتباط با آنها صورت نگرفته است.

با توجه به پژوهش‌های انجام شده پژوهشی در مورد تحلیل فرکتالی تزئینات ایوان مقصوره مسجد گوهر شاد یافت نشد. بیشتر پژوهش‌های انجام شده در راستای اثبات فرکتالی بودن تزئینات و گره‌های هنر اسلامی بودند. در برخی پژوهش‌ها از بُعد فرکتال برای توصیف و تحلیل فضاها معماری شهری استفاده شده است. اما پیرامون تحلیل تزئینات معماری به کمک بُعد فرکتال پژوهشی دیده نشد. در این پژوهش برای اولین بار ویژگی خودمتشابهی در هندسه پنهان نقش ختایی بررسی و محاسبه بُعد فرکتال با نرم افزار فرکتالیز محاسبه می‌شود. به عبارت دیگر تزئینات ایوان مقصوره مسجد گوهر شاد مشهد برای اولین بار از دیدگاه هندسه نا اقلیدسی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و نشان می‌دهد اصول هندسه فرکتال، علاوه بر ایجاد زیبایی بصری، نقشی کلیدی در ایجاد تعادل در پیچیدگی‌ها و هماهنگی میان تزئینات بنا دارد. این موارد از نوآوری‌های این پژوهش است.

## روش پژوهش

این پژوهش از نظر هدف توسعه‌ای، از نظر روش توصیفی-تحلیلی و از نظر ماهیت جزء تحقیقات ترکیبی محسوب می‌شود.

## مفاهیم نظری

### هندسه فرکتال

فرکتال به ساختارهای پیچیده‌ای گفته می‌شود که برای اولین بار توسط مندلبروت<sup>۵</sup> در سال ۱۹۷۵ ابداع شد. این هندسه بر خلاف هندسه اقلیدسی می‌تواند برای توصیف طبیعت مانند کوه‌ها و ابرها به کار روند. زیرا هندسه اقلیدسی قادر به تبیین و تشریح اشکال پیچیده و به ظاهر بی‌نظم طبیعی نیست. هندسه فرکتال یک علم جدید است اما مانند هر علم دیگری ریشه‌های عمیق و طولانی دارد. این هندسه عمدتاً مبتنی بر ایده اشکال خود متشابه<sup>۶</sup> است. فرکتال‌ها بر خلاف اشکال هندسی اقلیدسی از نظم اقلیدسی پیروی نمی‌کنند و میزان بی‌نظمی آنها در تمام مقیاس‌ها یکسان است. بی‌نظمی و نظم یکدیگر را در بطن سازمان پیچیده افزایش می‌دهند، بنابراین، در دیدگاه جدید، نظم و بی‌نظمی همزاد یکدیگرند هر جا که نظم مشاهده می‌شود، بی‌نظمی نیز به همان میزان موجود است و هر جا که بی‌نظمی حاکم است، نظم قابل انتظار است (میر احمدی و همکاران، ۱۴۰۱: ۱۴۵). هندسه فرکتال یک الگوی پیچیده سازمان یافته است که به ما کمک می‌کند مفاهیمی چون نامنظمی، پیچیدگی و ناهم‌واری را در طبیعت توصیف کنیم. مفهوم بُعد یک اندازه‌گیری کمی از این پیچیدگی است (McClure, 2022: 42). به همین دلیل بُعد فرکتال معمولاً یک عدد اعشاری است.

### خود متشابهی

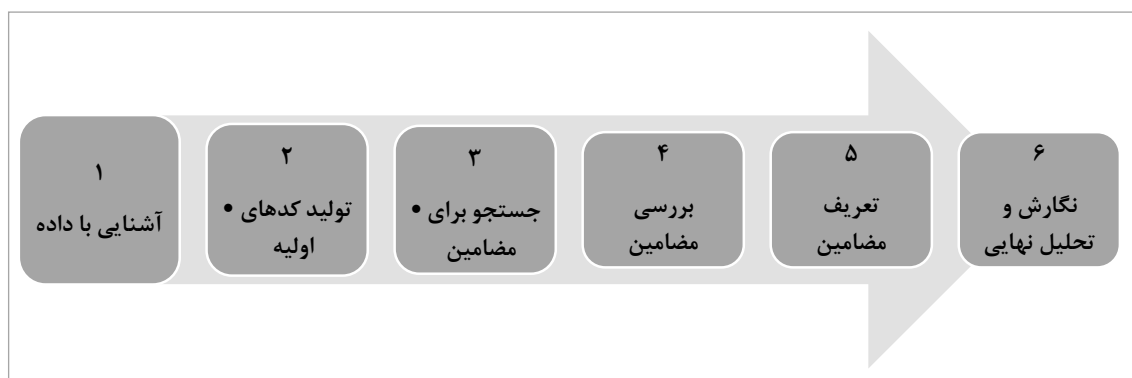
خود متشابهی یا خود مانایی یعنی اشکالی که در مقیاس‌های مختلف رفتار یکسانی دارند (Blanco et al., 2020: 171). برای اینکه یک تصویر خود متشابه باشد، باید بتوان آن را به بخش‌هایی تقسیم کرد که کپی‌های کوچکتر کم و بیش شبیه به کل تصویر باشند (Aswathy et al., 2016: 102). شکل‌های

خود متشابه می‌توانند با تکرار (ویژگی تکرار شونده) و در مقیاس‌های متفاوت (ویژگی خرد مقیاسی) انجام شود. تصویر جدید با تغییر در اندازه‌های قبلی ممکن است کوچکتر، بزرگتر و یا چرخانده شود، اما مشابه تصویر اول باقی خواهد ماند (Bovil, 1996: 15). مقیاس پذیری یک تصویر به این معنی است که الگوهای مشابه در مقیاس‌های مختلف داخل محدوده مورد نظر وجود دارند. بزرگنمایی یک بخش کوچک، شکلی را ایجاد می‌کند که شبیه به کل تصویر به نظر می‌آید و کوچک کردن کل تصویر چیزی شبیه یک قسمت کوچک را بوجود می‌آورد (Eglish, 1999: 17).

### هندسه پنهان

معماری سنتی، کیهان را در ابعاد زمینی آن به نمایش می‌گذارد. در یک بنای معماری، تمامیت آن (ارتفاع، طول و عرض) و اجزاء (شامل الگوهای سطحی هندسی)، به هم پیوسته هستند و هرگز از هندسه جدا نیستند. از آنجا که انسان بر اساس ذهن طبیعت‌گرای خود از هندسه برای کاوش بیشتر در پدیده‌های طبیعت استفاده می‌کند تا قوانین کشف شده را از جهان محسوس به جهان معقول هدایت کند، هندسه نقش مهمی در طراحی بناهای معماری ایرانی ایفا می‌کند و به عنوان هنر برای خلق شکل‌ها، الگوها و تناسب‌ها به کار می‌رود (حجازی، ۱۳۸۸: ۲۵).

هندسه پنهان ساختار هندسی معین و مستتر در اثر به منظور ایجاد یک کل منسجم است، که به واسطه آن، اثر هنری چند لایه می‌شود و مخاطب به عمق اثر راه می‌یابد (ملک پایین و چانگ هونگم، ۱۳۹۸). در عین حال، مختصات این هندسه و تناسب‌های ریاضی و دیگر عناصری که بر مبنای آن اثر هنری خلق می‌شود، ظاهراً نمودی در اثر ندارد. با محسوس نبودن برای بیننده در نگاه نخست، این هندسه پنهان نامیده شده است. تمامی تزئینات بناها اعم از گره‌ها و



آثار معماری ایران و جهان اسلام یک استثنا است. دلیل این امر غیر قائم بودن دو دیوار طولی آن، در حالت سر و ته باریک<sup>۲</sup> است. دهانه پایین ایوان ۱,۵ متر کمتر از دهانه بالایی آن است. این نوع اجرا باعث شده که جزئیات مقرنس‌بندی، گنبدخانه و سایر تزئینات ایوان از هرکجای صحن مسجد قابل رویت باشد (زمرشیدی، ۱۳۹۰: ۱۹).

در داخل این ایوان شش راهرو به طرف شبستان‌های طرفین ایوان قرار گرفته که به شبستان‌ها و ایوان‌های دیگر ارتباط دارد و در انتها به محرابی بزرگ با ازاره‌های سنگی و مقرنس‌های زیبا ختم می‌شود (شایسته فر، ۱۳۸۹: ۷۷). در این پژوهش، تزئینات ایوان مقصوره که مکان دقیق آن در تصویر ۴ مشاهده می‌شود، مورد بررسی هندسه فرکتال قرار می‌گیرد. این نمونه‌ها که عبارت‌اند از گلدانی ورودی، بغل قوس، بغل کش، داخل ایوان، زیر گنبد و مقرنس بالای محراب به ترتیب سلسله مراتب حرکتی مخاطب از بیرون به داخل ایوان هستند. به دلیل تکرار نقوش از بررسی کتیبه‌ها صرف‌نظر شده است.

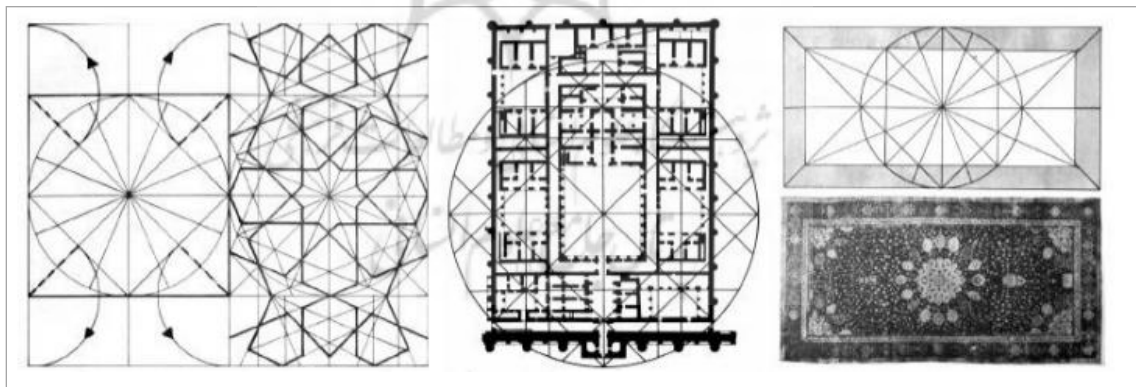
### خود متشابهی و بُعد کسری در نقش گلدانی ورودی ایوان مقصوره

در اجزای مختلف نقوش کاشی کاری گلدانی ورودی ایوان مقصوره می‌توان ویژگی خود متشابهی را مشاهده کرد. به

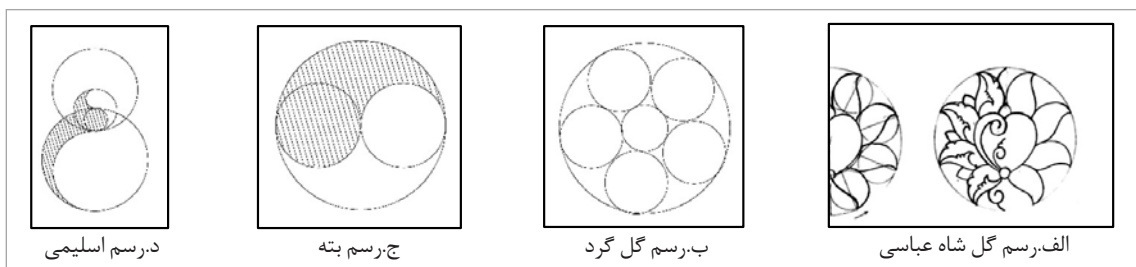
نقوش دیگر بر اساس هندسه خلق می‌شوند که این هندسه می‌تواند به صورت آشکار یا پنهان باشد. لذا ترسیمات هندسی از دو سطح مورد بررسی قرار می‌گیرد. سطح اول شامل اشکال هندسی آشکار در طرح است، مانند مربع، دایره و چند ضلعی‌های قابل رویت و سطح دوم طرح مایه‌های هندسی که ابعاد، جهت و هم‌نشینی اشکال سطح پیشین را تعیین می‌کند و خود در اولین نگاه قابل مشاهده نیستند (رضا زاده اردبیلی و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۷). استفاده از هندسه پیدا و پنهان در شاخه‌های مختلف هنر اسلامی به خصوص هنر معماری جایگاه ویژه‌ای دارد (تصویر ۱). با دقت در هندسه نقوش ختایی نیز می‌توان دریافت که انواع گل و برگ و اجزای ختایی و اسلیمی با استفاده از دوایر مختلف و تقسیمات آن‌ها ترسیم می‌شوند (مجرد تاکستانی، ۱۳۸۲: ۴۱) (تصویر ۲).

### معرفی پیکره مطالعاتی

ایوان مقصوره مسجد گوهر شاد بزرگ‌ترین ایوان این مسجد است که به سبب موقعیت خاصش که در جهت محور قبله قرار گرفته، دارای بیشترین تزئینات و کتیبه‌هاست. گنبد رفیع خارجی مسجد در سال ۱۹۶۰ با بتون بازسازی شده است (ویلبر و همکاران، ۱۳۷۴؛ صحراگرد، ۱۳۹۱: ۵۴) (تصویر ۳). این ایوان بلندتر و شاخص‌تر از سایر ایوان‌های این مسجد و با دهانه‌ای به عرض ۱۶,۱۰ متر و عمق ۳۱,۵۲ در بین تمامی



تصویر ۱. هندسه پنهان در هنر اسلامی (رضا زاده اردبیلی و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۰).



تصویر ۲. ترسیم گلها (نگارندگان)

می‌شود. با توجه به جدول، شبکه‌ای از مربع روی تصویر قرار می‌گیرد و در هر مرحله اندازه مربع‌ها نصف قبلی می‌شود. این کار ادامه می‌یابد تا مربع‌ها آنقدر کوچک شوند که روی تصویر بنشینند. شیب خط حاصل از نمودار نقاط با مختصات  $\text{Log}(N)$  و  $\text{Log}(1/S)$  معادل بُعد فرکتال نقوش گلدانی ورودی و برابر ۱٫۷۸ بدست آمد که نشان از پیچیدگی بالا در نقش است (جدول ۱).

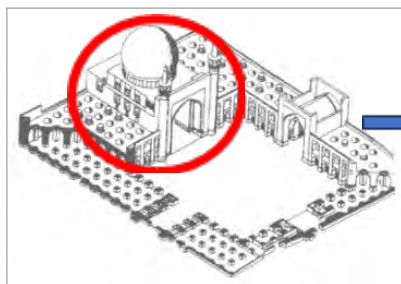
### خود متشابهی و بُعد کسری در پشت بغل قوس ایوان مقصوره

پشت بغل قوس ایوان مقصوره از نقوش ختایی و اسلیمی تشکیل شده است. علاوه بر آنچه که در مورد نحوه ترسیم اسلیمی بر اساس دایره گفته شد، با توجه به هندسه پنهان،

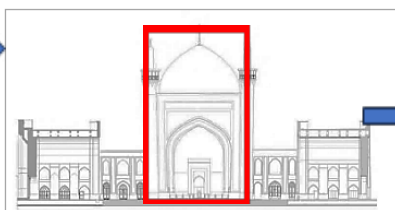
عنوان مثال تکرار طرح گلدان در سه مرحله و گل دایره‌ای وسط طرح که شبیه به گل آفتاب گردان است و ویژگی خود متشابهی دارد. علاوه بر آن برگ‌های مختلف در طرح در مقیاس‌های مختلف دچار زایش شده‌اند که شبیه به گل برگ است که نشان از ویژگی خود متشابهی دارد (تصویر ۶). از طرفی نقوش ختایی این طرح از اسلیمی، گل شاه عباسی و پنج پر ساده و ساقه‌هایی تشکیل شده است که نحوه ترسیم آنها بر اساس دایره می‌باشد. پس از ترسیم دایره در هندسه پنهان طرح، ویژگی خود متشابهی در هندسه پنهان طرح نیز بوسیله دایره مماس و متداخل در مقیاس‌های مختلف تبیین می‌شود (تصویر ۵ و ۶). به دلیل متقارن بودن طرح، تحلیل خود متشابهی در یک طرف آن انجام شده است. محاسبه بُعد توسط نرم افزار به روش جعبه شمار در شش مرحله انجام



تصویر ۳. ایوان مقصوره (صحرارگرد، ۱۳۹۱: ۵۳-۲۲)



ج. طرح سه بعدی مسجد گوهر شاد



ب. طرح خطی نمای ایوان مقصوره



الف. ورودی ایوان مقصوره

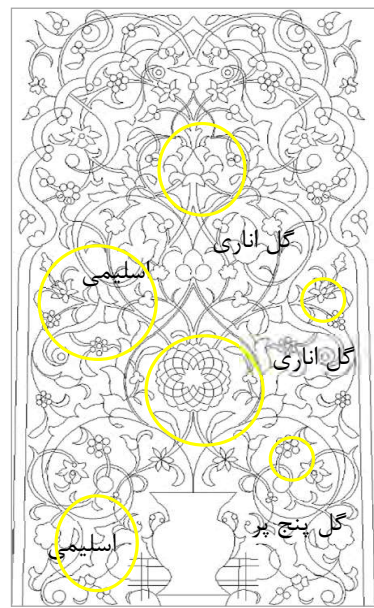
تصویر ۴. جا نمایی ایوان مقصوره (صحرارگرد، ۱۳۹۲: ۵۴)



ج. گلدانی ورودی

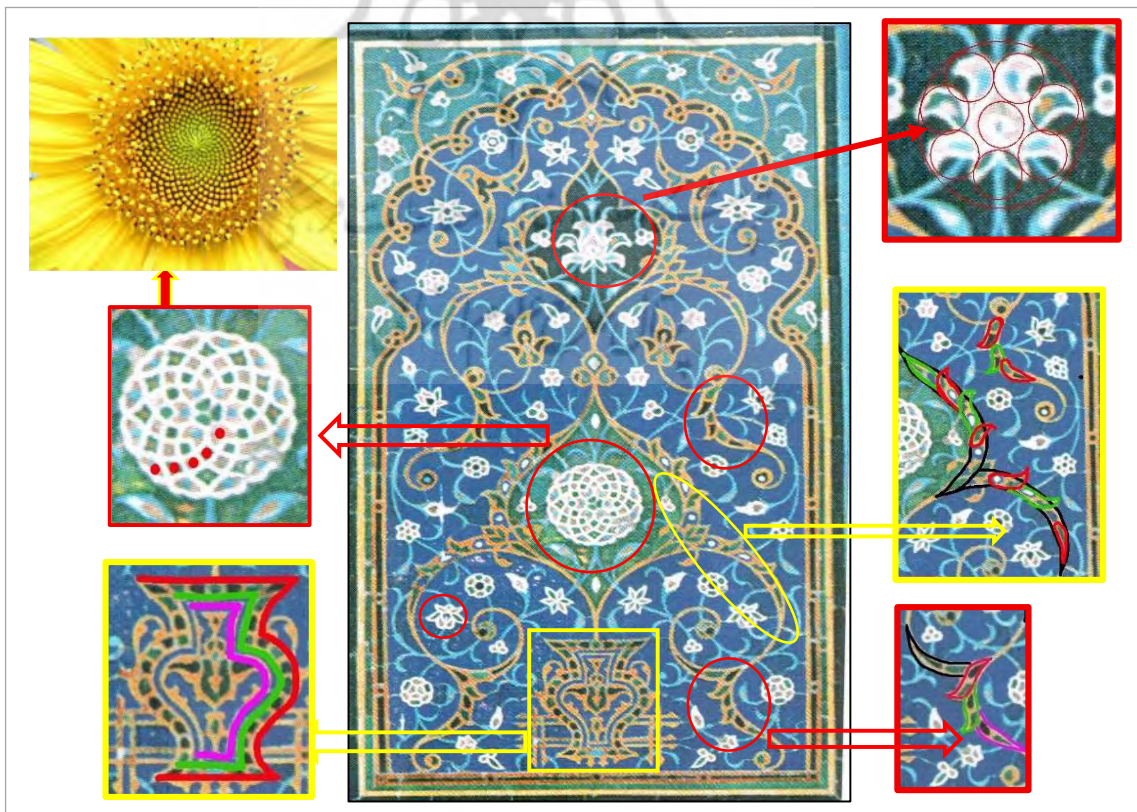


ب. هندسه پنهان نقوش  
ختایی گلدانی



الف. طرح خطی گلدانی

تصویر ۵. خود متشابهی در هندسه پنهان گلدانی ورودی ایوان مقصوره (نگارندگان)



تصویر ۶. خود متشابهی اجزای گلدانی ورودی ایوان مقصوره (نگارندگان)

فرکتال نقوش پشت بغل قوس ایوان مقصوره برابر ۱,۶۷ می باشد که نشان از پیچیدگی بالای این طرح دارد (جدول ۲).

### تحلیل فرکتالی در بغل کش های ایوان مقصوره

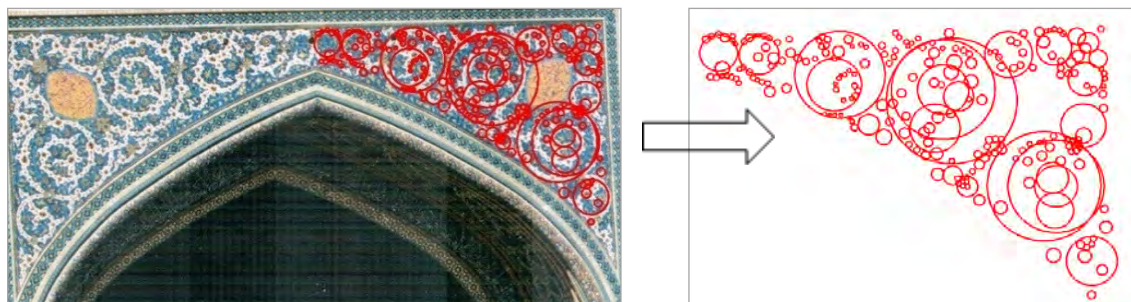
در جدول ۳ خود متشابهی را می توان در اجزای طرح به صورت خردمقیاسی و تکرار شونده گی مشاهده کرد. در نمونه خطی شده تکرار یک الگو از کوچک به بزرگ به چشم می خورد. از طرفی به دلیل اینکه کاشی معقلی در زمینه شطرنجی انجام می گیرد با توجه به جزییات طرح می توان تکرار مربع و مستطیل در مقیاس های مختلف را مشاهده کرد که نشان دهنده ویژگی خودمتشابهی در طرح است. این مورد با رنگ های مختلف در جدول نشان داده شده است. بُعد

طرح از تکرار دوایر در مقیاس های مختلف و به صورت متداخل و یا مماس تشکیل شده است که ویژگی خود متشابهی در هندسه پنهان طرح را به صورت ترسیمی تبیین می کند لذا می توان شاهد نظم در عین بی نظمی به دلیل مقیاس پذیر بودن در هندسه پنهان طرح بود که از ویژگی های فرکتال ها است. همانطور که مشاهده شد در هندسه آشکار نمونه های دارای نقوش ختایی و اسلیمی ممکن است ویژگی خودمتشابهی متجلی نباشد اما می توان در هندسه پنهان آنها ویژگی های هندسه فرکتال را یافت. به دلیل این که نقوش بغل قوس ها متقارن هستند تحلیل خود متشابهی تنها در یکی از قوس ها انجام شده است (تصویر ۷). به دلیل مشابهت در نحوه محاسبه بُعد با مرحله قبل از تکرار توضیحات صرف نظر می شود. بُعد

جدول ۱. محاسبه بُعد گلدانی ورودی ایوان مقصوره

Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6
نمونه خطی شده		Dimension			1.78

(نگارندگان)



تصویر ۷. ویژگی خود متشابهی در هندسه پنهان پشت بغل قوس ایوان مقصوره (نگارندگان)

### خود متشابهی و بُعد کسری در داخل ایوان مقصوره

با توجه به طرح هندسی این نمونه، تکرار لوزی در مقیاس‌های مختلف قابل مشاهده است از طرفی در هندسه پنهان طرح تکرار هشت ضلعی‌ها و مربع‌ها در اندازه‌های مختلف به چشم می‌خورد. این موارد دلایلی بر وجود ویژگی خود متشابهی در این نمونه است (جدول ۷). بُعد فرکتال محاسبه شده توسط نرم افزار برای نمونه هندسی داخل ایوان مقصوره برابر ۱,۴۲ می باشد (جدول ۸). افزایش شکست‌ها که در نمونه خطی شده نسبت به نمونه قبلی دیده می‌شود باعث بالا رفتن بُعد فرکتال طرح شده است.

نمونه خطی شده برابر ۱,۴۵ می باشد (جدول ۴). در نمونه کاشی با طرح هندسی بغل کش ایوان مقصوره با توجه به هندسه آشکار طرح، تکرار اجزا در دو مقیاس انجام می‌شود. از طرفی در هندسه طرح، تکرار هشت ضلعی‌ها به صورت متداخل صورت گرفته است. در هندسه پنهان طرح، مربع‌های متحد المركز به چشم می‌خورد که نشان از ویژگی خود متشابهی است (جدول ۵). بُعد فرکتال این نمونه برابر ۱,۳۰ محاسبه شده است که نشان می‌دهد میزان پیچیدگی این طرح نسبت به طرح قبل کاهش یافته است. (جدول ۶).

جدول ۲- محاسبه بُعد پشت بغل قوس ایوان مقصوره

Step1	Step2	Step3
Step1	Step2	Step3
نمونه خطی شده	Dimension	1.67

(نگارندگان)

جدول ۳. خود متشابهی در نمونه کاشی معقلی بغل کش ایوان مقصوره

تکرار مربع و مستطیل	ویژگی خود متشابهی در نمونه خطی شده	نمونه معقلی (بغل کش ایوان مقصوره)

(نگارندگان)

### تحلیل فرکتالی زیر گنبد ایوان مقصوره

زیر گنبد ایوان مقصوره به شیوه معاصر با نقاشی‌ها و رنگ‌های کاملا پخته با طرح‌های اسلیمی، ختایی، ترنج و نقوش ختایی تزئین شده است (زمرشیدی، ۱۳۹۰: ۲۱) (تصویر ۸. الف). با توجه به تصویر ۹ دایره‌های موجود در هندسه پنهان (دایره‌هایی که نقوش ختایی بر اساس آن ترسیم می‌شود) همراه با بزرگنمایی ترسیم شده است. در هندسه آشکار طرح زیر گنبد (دایره‌های متحد المركز) (تصویر ۸. ب)، در مقیاس‌های مختلف تکرار می‌شوند. عدد بُعد محاسبه

شده در نرم افزار برابر ۱,۵۵ است که نسبت به نمونه قبل روند صعودی دارد..

### تحلیل فرکتالی مقرنس ایوان مقصوره

مقرنس بندی ایوان مقصوره کاری بی نظیر و بی نهایت زیبا در جهان اسلام است به طوری که مقرنس‌های کاخ الحمرای اسپانیا در تالار «دو خواهر و سروش» که معمار آن ایرانی بوده و مورد توجه هنرمندان و پژوهشگران اروپایی است از مقرنس‌های ایوان مقصوره و مقرنس سر در مسجد جامع کهنه میدان کاشان اقتباس شده است

جدول ۴- محاسبه بُعد نمونه کاشی معقلی بغل کش ایوان مقصوره

Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6
نمونه خطی شده		Dimension			1.45

(نگارندگان)

جدول ۵. خود متشابهی در نمونه هندسی بغل کش ایوان مقصوره (نگارندگان)

نمونه نقوش هندسی بغل کش‌های ایوان مقصوره	خود متشابهی و تکرار اجزا
تکرار مربع در مقیاس‌های مختلف در هندسه پنهان	تکرار شون‌دگی هشت ضلعی در طرح

(نگارندگان)

شوندگی در مقیاس‌های مختلف و پیچیدگی‌های سازمان یافته را مشاهده کرد. لذا می‌توان گفت مقرنس‌ها دارای ویژگی خودمتشابهی هستند. بُعد طرح مقرنس برابر ۱,۸۰ محاسبه شده است که گویای

(زمرشیدی، ۱۳۹۰: ۲۱). در مقرنس‌های داخل ایوان مقصوره می‌توان شاهد تکرار اجزای آن در مقیاس‌های مختلف بود. این اجزا از قسمت بالا به پایین با تغییر مقیاس تکرار می‌شوند. با توجه به تصویر ۱۰ و همچنین طرح خطی شده می‌توان تکرار

جدول ۶- محاسبه بُعد نمونه هندسی بغل کش ایوان مقصوره

Step1	Step2	Step3
Step4	Step5	Step6
نمونه خطی شده		Dimension
		1.30

(نگارندگان)

جدول ۷. خود متشابهی در نمونه هندسی داخل ایوان مقصوره

نمونه نقوش هندسی داخل ایوان مقصوره	تکرار هشت ضلعی در هندسه پنهان طرح
تکرار لوزی در مقیاس‌های مختلف	تکرار شوندگی مربع در هندسه پنهان طرح

(نگارندگان)

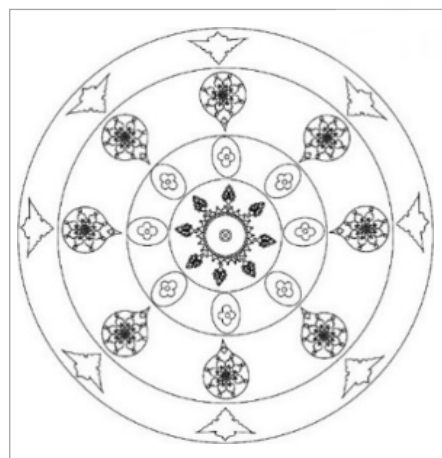
نرم افزار شده و سپس تبدیل به تصویر باینری می‌شود. با توجه به جدول ۱۰ در تصویر باینری قسمت‌های دارای فرو رفتگی و ناهمواری تیره‌تر نشان داده شده است.

پیچیدگی بالای طرح است و نسبت به طرح زیر گنبد سیر صعودی داشته است. به دلیل اینکه ناهمواری‌ها تأثیر به سزایی در عدد بُعد دارد، تصویر به صورت خاکستری وارد

جدول ۸. محاسبه بُعد نمونه هندسی داخل ایوان مقصوره)

Step1	Step2	Step3
Step4	Step5	Step6
نمونه خطی شده		Dimension
		1.42

(نگارندگان)

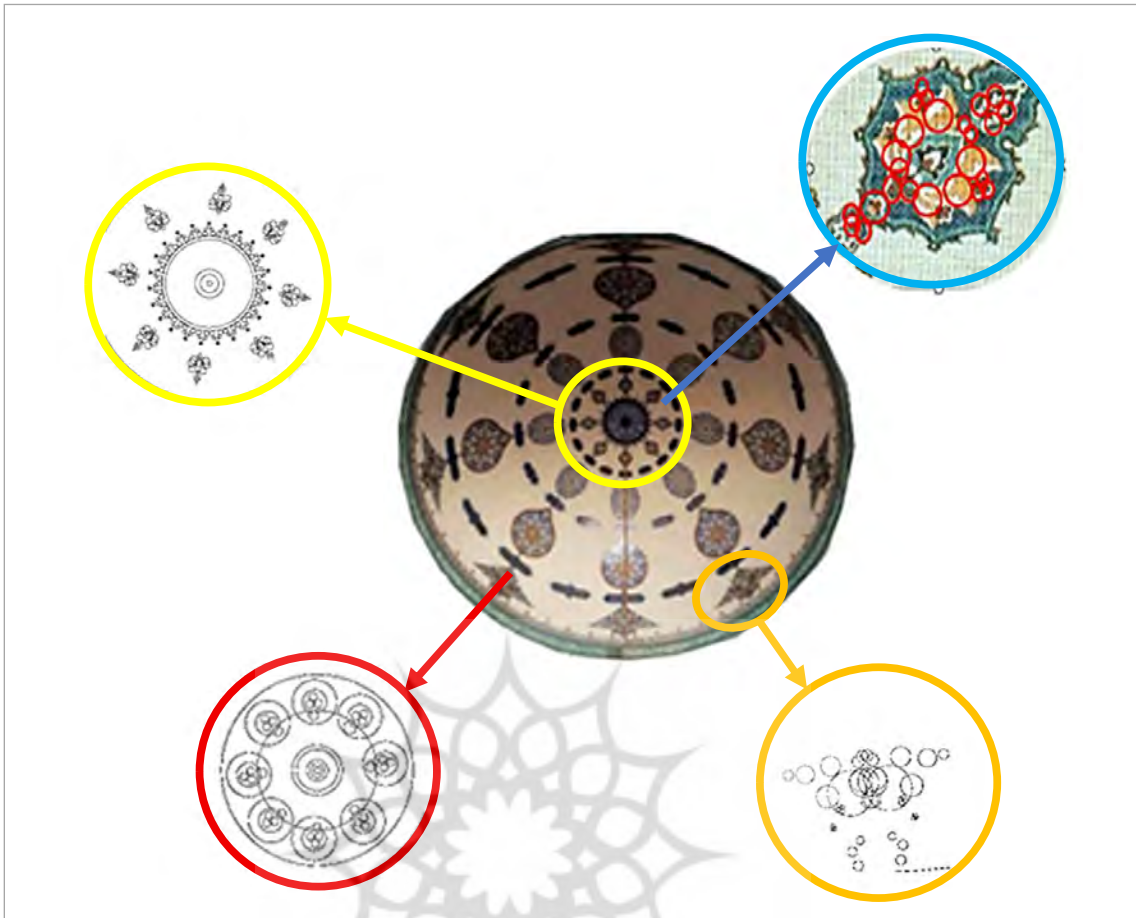


ب. طرح خطی زیر گنبد ایوان مقصوره (نگارندگان)



الف. زیر گنبد ایوان مقصوره (مصدقیان، ۱۳۸۴)

تصویر ۸. زیر گنبد ایوان مقصوره



تصویر ۹. خودمتمشابهی در هندسه پنهان طرح زیر گنبد (نگارندگان)

جدول ۹. محاسبه بُعد طرح زیر گنبد ایوان مقصوره

Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6
نمونه خطی شده		Dimension			1.55

(نگارندگان)

قابل ذکر است مقرنس‌ها در حالت طبیعی دارای بُعد فرکتال بین ۲ و ۳ می‌باشند (تصویر ۱۱). با توجه به تصویر در واقع مقرنس‌ها از اجزایی تشکیل شده‌اند که دارای کاملاً سه بُعدی نیستند و بسته به میزانی که از حجم سه بُعدی آنها کم شده بین ۲ و ۳ قرار می‌گیرند. در این پژوهش، بُعد تصاویر تزئینات که شامل طرح آنهاست اندازه‌گیری می‌شود چرا که داده‌های ورودی نرم افزار به صورت تصاویر دو بُعدی یا خطی است. اما در نهایت به این دلیل که هدف مقایسه میزان پیچیدگی‌هاست در نتایج تأثیری نخواهد داشت.

### بحث

در این پژوهش به توصیف، تجزیه و تحلیل تزئینات ایوان مقصوره مسجد گوهرشاد از شاهکارهای دوره تیموریان بر اساس ویژگی‌های هندسه فرکتال پرداخته شد. تزئینات این ایوان که شامل نقوش هندسی، ختایی و اسلیمی در گلدانی ورودی، بغل قوس، بغل کش، داخل ایوان، زیر گنبد و مقرنس بود پس از خطی شدن با نرم افزار اتوکد مورد تحلیل قرار گرفت و این نتیجه به دست آمد که در نقوش کاشی کاری‌ها

اعم از نقوش هندسی و ختایی، ویژگی‌های فرکتال از جمله خود متشابهی به دلیل تکرار نقش‌ها در مقیاس‌های مختلف و مجاورت، تداوم و هم‌پوشانی، همچنین اساس شکل‌گیری نقوش ختایی بر مبنای دایره، در هندسه آشکار و پنهان آنها متجلی بود. در واقع تزئینات در هندسه پنهان و پیدای خود دارای الگوهای تکرار شونده و پیچیده بودند که این مورد به دلیل مقیاس دهی (تکرار در مقیاس‌های مختلف) و داشتن ریتم و تقارن باعث ایجاد نوعی نظم شده و تنوع و تعادل بصری را ایجاد می‌کند.

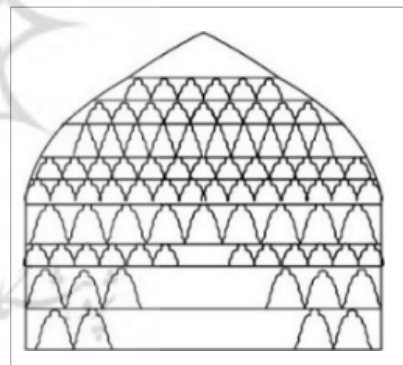
محاسبه بُعد نقوش به روش (جمعیه شمار) با نرم افزار فرکتالیز انجام شد. بعدها همگی بصورت کسری بودند که کاملاً منطبق بر ابعاد فرکتالی است. همچنین تزئینات ایوان مقصوره دارای تنوع در ابعاد فرکتال است (جدول ۱۱). از آنجا که میزان پیچیدگی ارتباط مستقیم با بُعد دارد یعنی افزایش بُعد حاصل افزایش پیچیدگی است. لذا در (جدول ۱۱) سیر تغییرات پیچیدگی و به تبع آن تغییرات بُعد را مشاهده می‌کنیم. با توجه به اعداد بُعد میزان پیچیدگی از ورودی به سمت



ج. مقرنس بالای محراب



ب. نمای نزدیک مقرنس



الف. طرح خطی مقرنس

تصویر ۱۰. انتهای ایوان مقصوره (مصدقیان، ۱۳۸۴)

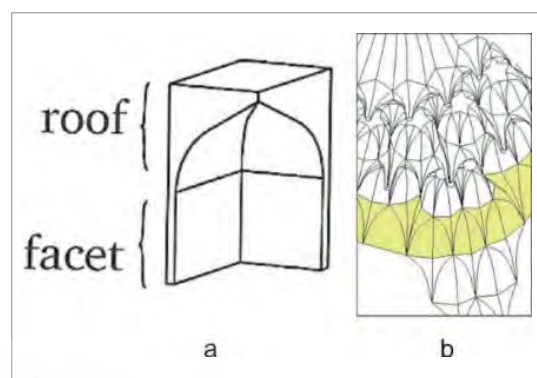
جدول ۱۰. محاسبه بُعد مقرنس

تصویر خاکستری مقرنس	تصویر باینری مقرنس	نمودار محاسبه بُعد فرکتال
<b>Dimension</b>	<b>1.80</b>	

(نگارندگان)

از آنجا که چشم انسان اغلب بر قسمت‌هایی از تصویر که دارای جزئیات و پیچیدگی بالاست متمرکز می‌شود (در این مورد رنگ مد نظر نیست) به این دلیل که این نواحی دارای اطلاعات بیشتری هستند، لذا چشم، زمان بیشتری را برای درک اطلاعات در قسمت‌های دارای پیچیدگی بالا اختصاص می‌دهد و مغز نیز همزمان به تحلیل اطلاعات می‌پردازد. بنابراین تزئینات با پیچیدگی بالا چشم و مغز را همزمان درگیر کرده و باعث جذب مخاطب می‌شوند. از طرفی پیچیدگی بالا به دلیل داشتن اطلاعات زیاد باعث خستگی می‌شوند (سالینگروس، ۱۳۸۷: ۱۴۹). محاسبه بُعد فرکتال تزئینات ایوان مقصوره نشان داد که تزئینات این ایوان در راستای هدایت عبادت‌کنندگان به سمت قبله است. به این صورت که ابتدای ورودی ایوان با تزئینات دارای پیچیدگی بالا باعث جذب مخاطب شده و پس از یک سیر نزولی میزان پیچیدگی مخاطب را به سمت قبله با تزئینات بسیار پیچیده رهنمون می‌سازد.

داخل ایوان دارای تعادل بصری ابتدا به صورت نزولی و سپس صعودی است (نمودار ۲). ورودی ایوان دارای تزئینات با پیچیدگی بالاست و پس از ورود به داخل ایوان این پیچیدگی کاهش یافته و در مسیر منتهی به جهت قبله با یک سیر صعودی افزایش می‌یابد.



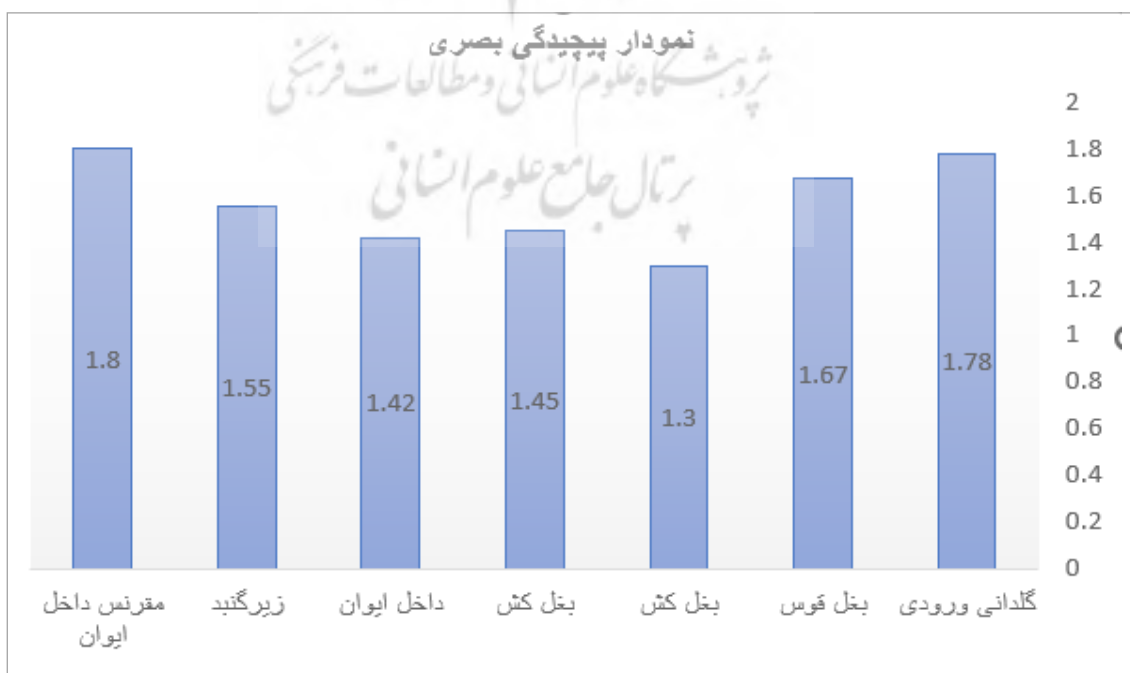
تصویر ۱۱. مقطع مقرنس (Nour El Din Zeid & Saadallah, 2023)

جدول ۱۱. پیچیدگی بصری از ورودی تا داخل ایوان

مقرنس داخل ایوان	زیرگنبد	داخل ایوان	بغل کش‌ها	بغل قوس	گلدانی ورودی	تزئینات
۱,۸۰	۱,۵۵	۱,۴۲	۱,۳۰-۱,۴۵	۱,۶۷	۱,۷۸	بُعد

(نگارندگان)

مسیر حرکتی بیننده از ورودی ایوان به داخل



نمودار ۲. پیچیدگی بصری تزئینات ایوان (نگارندگان)

ایوان مقصوره مجموعه‌ای است از عناصر معماری اسلامی مانند سردر رفیع ورودی، گلدسته‌ها، گنبد که هر یک نقش مؤثری در تقویت جهت قبله دارند. در این ایوان که بی‌واسطه به فضای گنبدخانه دسترسی دارد از تقارن به موازات محور قبله استفاده شده است که این امر بر خوانایی و تعادل فضا افزوده و حرکت در راستای قبله را تسهیل می‌کند. در واقع معماری این مسجد دارای سلسله مراتب حرکتی و محورهای فضایی و هندسه متأثر از جهت قبله است به گونه‌ای که فضاها در کنار یکدیگر و در هماهنگی مناسبی قرار گرفته‌اند که عبادت‌کنندگان را به سمت راستای قبله هدایت می‌کند (حمیدی نیا و همکاران، ۱۴۰۱).

چنانکه در نمودار ۲ مشاهده می‌شود نمازگزار در سلسله مراتب حرکتی خود در مسجد گوهر شاد و ورود به ایوان مقصوره و ورود به گنبدخانه تا مواجهه با مقرنس با شکوه آن در جهت قبله سیری از پیچیدگی را مشاهده می‌کند. سیری که ابتدا از عدد ۱,۷۸ آغاز می‌شود و سپس به کمترین مقدار ۱,۳ می‌رسد و سپس مجدداً اوج گرفته و به مقدار ۱,۸۰ در مقرنس ختم می‌گردد و در این گذار از پیچیدگی به سادگی و سپس مجدد به پیچیدگی گذر می‌کند و میزان جذابیت،

آن را به درون گنبدخانه و سپس قبله به صورت ناخودآگاه رهنمون می‌شود. بنابراین می‌توان گفت تزئینات و سلسله مراتب حرکتی معماری در یک راستا عمل کرده‌اند. از طرفی با توجه به تنوع بُعد فرکتال و ریتم نزولی-صعودی، این ایوان دارای تنوع در تزئینات پیچیده است. از آنجا که تصویر ذهنی گردشگران از فضا، از شیوه تعامل با فضا و معانی دریافت شده از آن سرچشمه می‌گیرد، با ایجاد تنوع فضایی، میزان تاثیرگذاری و ماندگاری بُعد محسوس مکان در ذهن مخاطب افزایش می‌یابد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۹: ۴۴۷). (سالینگروس، ۱۴۰۱: ۱۸۳). تزئینات ایوان مقصوره با بهره‌گیری از ساختارهای فرکتالی پیچیده (با میزان پیچیدگی متنوع) و در عین حال منظم (به دلیل خود متشابهی) و تقارن حس تعادل بصری را ایجاد و مانع از خستگی چشم مخاطب می‌شود. بنابراین می‌توان دریافت که علاوه بر عوامل رنگ، هندسه، نوع معماری و تاثیر فضای معنوی که می‌تواند بر مخاطب تاثیرگذار باشد، فرکتالی بودن تزئینات، میزان پیچیدگی آنها و همچنین چگونگی قرارگیری این تزئینات پیچیده در کنار هم نیز می‌تواند تاثیر به‌سزایی داشته باشد.

## نتیجه‌گیری

پس از تحلیل فرکتالی تزئینات کاشی کاری ایوان مقصوره مسجد گوهرشاد این نتیجه حاصل شد که تزئینات این ایوان اعم از نقوش ختایی و هندسی در هندسه پنهان و پیدای خود دارای ویژگی خود متشابهی، الگوهای تکرار شونده و ساختار پیچیده هستند. این ویژگی در تزئینات به دلیل مقیاس دهی و تقارن باعث ایجاد تعادل بصری در آنها شده و به دلیل تنوع پیچیدگی مانع هرج و مرج و خستگی چشم مخاطب می‌شود. از طرفی پس از محاسبه میزان پیچیدگی تزئینات به کمک محاسبه بُعد فرکتال این نتیجه حاصل شد که ترتیب قرار گرفتن تزئینات از ورودی به داخل ایوان باعث ایجاد تعادل در پیچیدگی بصری شده است. به این ترتیب که در مسیر ورودی تا داخل ایوان یک سیر نزولی و سپس صعودی از میزان پیچیدگی وجود دارد. لذا تزئینات به صورت حساب شده و در تعادل کامل پیچیدگی بصری در ایوان نقش بسته به طوری که چشم بیننده مسیری عاری از خستگی را می‌پیماید و باعث جذب مخاطب و هدایت او به سمت قبله می‌شود.

بنابراین هنرمند ایرانی در گذشته علاوه بر دانش هندسه اقلیدسی و ریاضیاتی خود، هندسه طبیعت را که امروزه آن را هندسه فرکتال می‌نامند به خوبی دریافته و در آثار خود به تجلی گذاشته است. استفاده از اصول فرکتال، علاوه بر ایجاد زیبایی بصری، نقشی کلیدی در ایجاد تعادل پیچیدگی‌ها و هماهنگی تزئینات دارد. لذا شناخت و بررسی تزئینات بناهای سنتی براساس هندسه فرکتال می‌تواند دریچه‌ای نو برای خلق آثار نوین، همسو با طبیعت و سنت و همراه با تعادل بصری برای طراحان امروزی بگشاید. پیشنهاد می‌شود از نتایج این پژوهش در جهت بررسی تزئینات ایوان‌های شاخص در مساجد دیگر نیز استفاده شده، ترتیب قرارگیری تزئینات و تاثیرات پیچیدگی آنها بر مخاطب تحلیل و باعث شناخت زوایای پنهان تزئینات در هنر اسلامی شود.

## پی نوشت

۱. پیچیدگی از منظر هندسه فرکتال بیانگر میزان شکست‌ها، ناهمواری‌ها و فضاهای پر و خالی است که ارتباط مستقیم با بُعد در هندسه فرکتال دارد و لذا به لحاظ کمی با عدد بعد سنجش و بررسی می‌شود. پیچیدگی بصری به معنای هماهنگی، تنوع، گوناگونی، شکست‌ها، ناهمواری و میزان فضای پر و خالی در یک تصویر است. این مفهوم باعث تحرک حس بصری و ارتقای کیفیت درک زیباشناختی می‌شود. در واقع، ایجاد تفاوت‌ها و تباین‌ها در یک فضا می‌تواند آن را جذاب‌تر و زنده جلوه دهد. در طراحی شهری، از پیچیدگی بصری برای ایجاد یک فضای شهری متنوع و پویا استفاده می‌شود که در آن عناصر مختلف با یکدیگر در تعامل و تعادل باشند و یک حس هماهنگی و وحدت را به وجود بیاورند.
۲. تعادل بصری به ایستایی و استحکام تصویر اطلاق می‌شود که یکی از ارکان مهم آن تقارن و توازن در طرح می‌باشد که این دو عامل به کمک نظم، تناسب و هماهنگی اوج تعادل بصری را ایجاد می‌نماید. تعادل در پیچیدگی‌های بصری به معنی توزیع هماهنگ و متعادل عناصر بصری در یک طرح، به طوری که احساسی از تعادل و ثبات ایجاد شود. یک شکل پیچیده متعادل می‌تواند دارای تقارن تام یا ناقص و یا حتی عدم تقارن باشد اما آنچه مسلم است تقارن در ایجاد حس تعادل در مخاطب نقش موثری دارد.
3. (Fractalys-3.0-0.9.1)
۴. تصویر باینری به تصویری گفته می‌شود که تمام نقاط آن یا سفید باشند و یا سیاه که معمولاً رنگ سیاه با عدد صفر و رنگ سفید با عدد یک نشان داده می‌شود.
5. Benoit B. Mandelbrot
6. Self- similarity
۷. در قسمت بالای طاق ورودی گشودگی بیشتری نسبت به قسمت پایین ایجاد شده است که اصطلاحاً اجرای سر و ته باریک نامیده می‌شود.

## منابع

- اشرف گنجوئی، محمد علی، ایرانمنش، محمد. (۱۴۰۳). بازشناسی ارتباط کوشک با باغ ایرانی از منظر هندسه فرکتال، منظر، دوره شانزدهم (۶۷)، ۱۳-۶.
- بلیان اصل، لیلا، ستارزاده، داریوش، خورشیدیان، ساناز و نوری، مریم. (۱۳۹۰). بررسی ویژگی‌های هندسی گره‌ها در تزیین‌های اسلامی از دیدگاه هندسه فرکتال. *مطالعات شهر ایرانی اسلامی*، دوره دوم (۶)، ۸۷-۸۳.
- بیگ محمدی، میترا و پناهی، سیامک. (۱۳۹۶). بررسی نظم در معماری اسلامی ایران با رویکرد هندسه فراکتال در تزئینات، نمونه موردی بررسی گنبد شیخ لطف الله، کنفرانس ملی مدلسازی ریاضی در علوم مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ابهر، ۵-۱.
- حجازی، مهرداد. (۱۳۸۸). هندسه مقدس در طبیعت و معماری ایرانی. *تاریخ علم*، دوره ششم (۲)، ۳۶-۱۵.
- حسینی، سید محسن. (۱۳۸۲). ایوان مقصوره مسجد گوهر شاد. *مشکوه*. دوره بیست و دوم (۳)، ۱۱۹-۱۰۷.
- حمیدی نیا، سلماز، صحراگرد، مهدی و احمدی، وحید. (۱۴۰۱). کنکاشی بر عوامل مؤکد بر جهت قبله در معماری مسجد گوهرشاد مشهد، *پژوهشنامه خراسان بزرگ*، دوره سیزدهم (۴۸)، ۳۸-۱۹.
- حیاتی، حامد و آقا محمدی، حسین. (۱۳۹۵). بررسی ویژگی‌های هندسی گره در معماری اسلامی، *مطالعات علوم کاربردی در مهندسی*، دوره دوم (۱)، ۲۷-۱۳.
- رضا زاده اردبیلی، مجتبی و اسدی جعفری، ندا. (۱۳۹۷). مطالعه تطبیق پذیری تزئینات متبرکه کتیبه‌ها در مناره‌های مسجد گوهرشاد و مسجد شاه مشهد. *هنرهای زیبا. معماری و شهرسازی*، دوره بیست و سوم (۱)، ۶۶-۵۵.
- رضا زاده اردبیلی، مجتبی و ثابت فر، مجتبی. (۱۳۹۱). بازشناسی کاربرد اصول هندسی در معماری، *هنرهای زیبا*، دوره هجدهم (۱)، ۴۴-۲۹.
- رئیسی، کیهانه، زکریایی کرمانی، ایمان، جوکار، جلیل و نجار پور، صمد. (۱۴۰۳). واکاوی هندسه فرکتال در کاشی‌های منقش معقلی پشت بغل قوس ایوان شمالی مسجد حکیم، *باغ نظر*، دوره بیست و یکم (۱۳۵)، ۶۲-۵۱.
- سالیانگروس، نیکوس. (۱۳۸۷). *یک نظریه معماری*، ترجمه سعید زرین مهر و زهیر متکی، تهران: مرکز مطالعاتی و تحقیقاتی شهرسازی و معماری.



- سالینگروس، نیکوس. (۱۴۰۱). شهر از منظر هندسه فرکتال، ترجمه مرجان بابایی، تهران: ثمین.
- شایسته فر، مهناز. (۱۳۸۹). بررسی تزئینات و کتیبه های قرآنی دو مجموعه گوهر شاد و هرات. *مطالعات هنر اسلامی*، دوره ششم (۱۲)، ۷۳-۹۸.
- صحراگرد، مهدی. (۱۳۹۱). شاهکارهای هنری در آستان قدس رضوی: کتیبه های مسجد گوهرشاد. مشهد: آستان قدس.
- عباسی، نوشین، قاسمی سیچانی، مریم، ولی بیگ، نیما، سعدوندی، مهدی. (۱۳۹۹). نقش ساختار هندسی در هم پیوندی نظام حرکتی از درب ورودی به محراب در مساجد تاریخی بازار بزرگ اصفهان، نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، دوره دوازدهم (۲)، ۴۴۵-۴۴۰.
- مجرد تاکستانی، اردشیر. (۱۳۸۲). راهنمای نقاشی و کتاب آرایبی. قم: آستان مقدسه حضرت معصومه.
- مدنی، فروغ، بهرامیان، آرمین، قلعه نویی، محمود، روشن، مجتبی. (۱۳۹۶). ارزیابی جداره های خیابان چهارباغ اصفهان و ارائه الگو برای آن بابه کارگیری هندسه فراکتال، معماری و شهرسازی آرمان شهر، دوره دهم (۱۹)، ۱۶۴-۱۵۳.
- مصدقیان طرقله، وحیده. (۱۳۸۴). نقش و رنگ در مسجد گوهرشاد. چاپ اول، مشهد: کتاب آبان.
- مصطفایی، مهدیه. (۱۴۰۱). هندسه در هندسه؛ بررسی وجود بُعد فرکتال در ورودی مسجد شیخ لطف الله و اثر آن بر بازتعریف معنای مکان، رهپویه معماری و شهرسازی، دوره اول (۲)، ۷۷-۹۱.
- ملک پایین، علی، چانگهونگم، ژانگ. (۱۳۹۸). بررسی هندسه پنهان در مکتب نگارگری هرات با تاکید بر نگاره به لشکر نمودن اسکندر سخن گوشه نشینان را، نگره، دوره چهاردهم (۵۲)، ۲۳-۵۰.
- ویلبر، دونالد-گلمبیک، لیزا. (۱۳۷۴). معماری تیموری در ایران و توران، ترجمه کرامت الله افسر-محمد یوسف کیانی، چاپ اول، سازمان میراث فرهنگی کشور.
- Abdelsalam, M and Ibrahim, M. (2018). Fractal Dimension of Islamic Architecture: The case of the Mameluke, Madrasas: Al-Sultan Hassan Madrasa, *Journal of Science*, 32(1), 27-37.
- Aswathy, RK. and Mathew, S. (2016). On different forms of self-similarity, *Journal of Chaos, Solitons & Fractals*, 87: 102-108.
- Blanco, p, Maduraga, S and Isvoran, A. (2020). **Fractal Dimension**. Department of Material Science and Physical Chemistry. Apple Academic Press. (1st ed).
- Bovill, C. (1996). **Fractal Geometry in Architecture and Design**, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, University of Maryland.
- Eglash, R. (1999). **African Fractals Modern Computing and Indigenous Design**, Rutgers University Press, (1st ed).
- 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.
- Hadzieva, E, Capeska Bogatinoska l, D, Gjergjeska, L, Shuminoska, M & Petroski, R. (2015). *ICT Innovations Web Proceedings*, 201-211.
- Ismail Attia, D. (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 Sciences*. 5 (1): 123-144.
- Khamjane, A and Benslimane, R. (2017). Golden Mean, Fractals and Islamic Geometric Patterns. *Frontiers in Science and Engineering International Journal*. 7(1): 5-15.
- 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*, (11)1:74-82.
- Nour El Din Zeid ,SH, Saadallah ,D.(2023). Construction of Islamic Feature Using Parametric Approach, Cities' Vocabularies and the Sustainable Development of the Silkroads.99-113. DOI:10.1007/978-3-031-31027-0\_9



Received: 2025/02/04

Accepted: 205/07/01



# Analysis of Balance in the Visual Complexity of Tilework Decorations in the Maqsurah Iwan of Goharshad Mosque Based on Fractal Geometry

Keyhane.reisi\* Jalil.jokar\*\*

## Abstract

The tilework decorations of the Maqsurah Iwan, the largest iwan of the Goharshad Mosque, encompass various decorative styles, including moqeli, moarra, floral motifs, muqarnas, and under-dome ornamentation. These diverse and complex decorations are not only visual and artistic, so analyzing them can yield important results and messages. This study aims to achieve balance in visual complexity by analyzing the fractal geometry of both the hidden and apparent structures within the Maqsurah Iwan's decorations, serving as a comprehensive representation of the entire mosque's ornamentation. The research seeks to answer the central question: How can the balance in the visual complexity of the Maqsurah Iwan's tilework decorations in Goharshad Mosque be analyzed based on fractal geometry?

This study is applied in nature and follows a descriptive-analytical method. Data were collected through library research and online sources. Fractal analysis was employed to assess the balance in the decorations, and Fractalys software was used to calculate the dimensions of the motifs and measure their complexity. In this process, the tilework patterns of the Maqsurah Iwan were first digitized using AutoCAD and then analyzed based on fractal geometry principles. Their fractal dimension was subsequently calculated using the box-counting method in Fractalys software.

The study concluded that the tilework patterns of the Maqsurah Iwan exhibit fractional dimensions that fully align with fractal dimensions. Furthermore, self-similarity and repetition were evident not only in the apparent geometry of the motifs but also in their hidden structures. This repetitive nature across different scales contributes to visual balance and harmony in the decorations, despite their complexity. The obtained fractal dimension values indicate that the arrangement of the decorations is structured in a way that ensures balance in their complexity. Thus, the application of fractal principles plays a crucial role in achieving both visual aesthetics and equilibrium in complexity and decoration harmony.

**Keywords:** Maqsurah Iwan, Fractal geometry, self-similarity, fractional dimension, hidden geometry, visual complexity

\* Master's degree in Persian Painting ,Caligraphy Department , The Faculty of Handicrafts, Isfahan University of Art, Iran  
*Keyhane.reisi@yahoo.com*

\*\* Instructor, Islamic Art Department , The Faculty of Handicrafts, Isfahan University of Art, Iran

*j.jokar1971@gmail.com*