Journal of Bonyan
Specialized Journal of Islamic Architecture and Urban Planning
University of Qom
DOI: http://doi.org/10.22091/bonyan.2026.15768.1019

Bonyan

OPEN ACCESS Check for updates

A New Approach to Drawing Decorative Motifs of Islamic Architecture Using L-system Pattern

Mohammad Mannan Raeesi [1] ✉ Yaghoub Farjami [2] Zeinab Ghasemi Sangi [3]

1 .Associate Professor, Department of Architecture, Faculty of Technology and Engineering, University of Qom, Qom, Iran.
2. Associate Professor, Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering and Technology, University of Qom, Qom, Iran.
3. M.Sc. in Architecture, School of Architecture and Environmental Design, Iran University of Science and Technology (IUST), Tehran, Iran.

ABSTRACT

Traditional girih consists of basic geometric units with distinctive patterns, often built on repeated squares and circles. Early Islamic geometric forms—such as 8-pointed stars and lozenges—date back to 836 CE at the Great Mosque of Kairouan. By 1086, 7- and 10-point girih patterns appeared in the Jameh Mosque of Isfahan, and 10-point girih later became widespread. Girih designs are executed in cut brickwork, stucco, and mosaic faience tilework, forming decorative strapwork surfaces from the 15th to 20th centuries. Most designs rely on a hidden geometric grid with regular points, employing 2-, 3-, 4-, and 6-fold rotational symmetries to fill the plane. The visible pattern includes 10- and 12-pointed stars and convex polygons, joined by interlacing straps. This research uses a combinative method based on library documentation and mathematical logic. Comparing traditional and proposed methods, the new approach minimizes error coefficient and reduces time by eliminating the compass, the most sensitive drawing tool. The study aims to obtain and reproduce fractal geometry patterns from common Islamic girih motifs, translating them into software using L-system rules and computer language. It seeks to bridge architectural concepts with computational methods by examining fractal geometry in nature and architecture, redefining Islamic geometric patterns, and simulating them digitally. Benefits include significantly increased speed, reduced error in designing Islamic geometric patterns, and the ability to generate new, sophisticated forms through minor changes in system data.

ARTICLE HISTORY
Received 1 December 2025
Received in revised 29 December 2025
Accepted 5 May 2026
Available online 22 June 2026

KEYWORDS
Fractal Geometry
Geometric Motifs
Islamic Architecture
L-system.

CONTACT Mohammad Mannan Raeesi ✉ m.raeesi@qom.ac.ir

Mannan Raeesi, M. & Farjami, Y & Ghasemi Sangi, Z (2026). A New Approach to Drawing Decorative Motifs of Islamic Architecture Using L-system Pattern. *Journal of Bonyan: Strategic Research in Islamic Architecture and Urbanism,* 1(2), 1-14.
DOI: http://doi.org/10.22091/bonyan.2026.15768.1019
© 2026 The Author(s). Published by University of Qom.
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/), which permits non-commercial re-use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited, and is not altered, transformed, or built upon in any way. The terms on which this article has been published allow the posting of the Accepted Manuscript in a repository by the author(s) or with their consent.

فصل‌نامهٔ پژوهشی بنیان
نشریهٔ تخصصی معماری و شهرسازی اسلامی دانشگاه قم
DOI:http://doi.org/10.22091/bonyan.2026.15768.1019

Check for updates
OPEN ACCESS

روشی نو برای ترسیم نقوش تزئینی معماری اسلامی با استفاده از الگوی نگارال

محمد منان‌رئیسی[۱] یعقوب فرجامی[۲] زینب قاسمی سنگی[۳]

۱. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه معماری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران.
۲. دانشیار، گروه مهندسی کامپیوتر ، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران.
۳. کارشناسی ارشد معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران.

چکیده

امروزه ارتباط گسترده میان هنر و علومی همچون ریاضیات و علم رایانه، امری غیرقابل‌انکار است. در همین راستا، مطالعات میان‌رشته‌ای برای برقراری تعامل میان دانش‌های مختلف با یکدیگر و به‌منظور تسهیل درک و فهم موضوعات از جنبه‌ها و ابعاد مختلف به میان می‌آید. فرکتال (معادل فارسی برخال) ازجملهٔ این مباحث میان‌رشته‌ای است که ردپای آن در بسیاری از زمینه‌های علمی و هنری قابل‌مشاهده است. فرکتال‌ها برگرفته از طبیعت هستند، با هندسه و ریاضیات در ارتباط هستند و از قرن‌ها پیش در هنر و معماری سنتی و کلاسیک مورداستفاده قرار می‌گرفتند.

هدف از این پژوهش دستیابی و بازتولید الگوی هندسهٔ فرکتالی به‌کاررفته در نقوش و گره‌های پرکاربرد معماری اسلامی و ترجمهٔ آن به زبان نرم‌افزاری با بهره‌گیری از قوانین روش نگارال (L_system) و به کمک زبان رایانه است. برخی از مزایای حاصل از کاربست یافته‌های این پژوهش عبارت‌اند از: افزایش سرعت و کاهش چشم‌گیر خطا در روند طراحی نقوش هندسی معماری اسلامی و همچنین دستیابی به فرم‌ها و الگوهای نوین و پیچیده‌تر تنها با ایجاد تغییرهای جزئی در داده‌های سیستم.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۱۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱

کلیدواژه‌ها

هندسهٔ فرکتال
نقوش هندسی
معماری اسلامی
نگارال

CONTACT Raeesi, Mohammad Mannan m.raeesi@qom.ac.ir

رئیسی، م. فرجامی، ی. قاسمی سنگی، ز. (۱۴۰۵). روشی نو برای‌ترسیم نقوش تزئینی معماری اسلامی با استفاده از الگوی نگارال. *بنیان: پژوهش‌های راهبردی معماری و شهرسازی اسلامی*، ۱(۲)، ۱-۱۴.

DOI: http://doi.org/ 10.22091/bonyan.2026.15768.1019

© 2026 The Author(s). Published by University of Qom.
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/), which permits non-commercial re-use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited, and is not altered, transformed, or built upon in any way. The terms on which this article has been published allow the posting of the Accepted Manuscript in a repository by the author(s) or with their consent.

۱. مقدمه

از گذشته تاکنون یکی از منابع اصلی الهامات آدمی در عرصهٔ هنر، زیبایی‌های طبیعت و نظم حاکم بر آن بوده است. از آغاز تمدن بشری، همواره انسان در طبیعت زندگی و رشد نموده است. این امر موجب شده است که طبیعت و نظم حاکم بر آن، در ریشهٔ افکار و اعمال آدمی، نقش مهمی پیدا کند؛ ازجمله می‌توان به به تأثیر طبیعت در معماری اشاره کرد. همچنان‌که آثار معماری متأثر از نظم فرکتالی شده‌اند (Karami Fard, 2017, 11). ساختمان‌های مهم پیشینیان و معماری بومی در سراسر دنیا، ذاتاً دارای مشابهت‌های ریاضی هستند؛ مانند ساختار فرکتالی که در آن تعدادی ساختار قابل‌مشاهده در هر تراز از درشت‌نمایی و نیز در سطوح متفاوتی از نظر مقیاس، با پیوندی قوی و محکم و براساس یک طرح مناسب به یکدیگر متصل شده‌اند (Salingaros, 2004, 27-28). تاکنون تعاریف مختلف و حتی متفاوتی از معماری فرکتال ارائه شده است. لفظ فرکتال گرفته‌شده از کلمهٔ «فرکتوس» به‌معنای «سنگ خردشده» است. هندسهٔ فرکتال درواقع نوعی هندسهٔ غیراقلیدسی است که با بزرگ کردن هر بخش از این ساختار به نسبت معین، همان ساختار نخستین به دست می‌آید، به گونه‌ای که هر بخش از آن با کل شکل همانند است (Ghabadian, 2013, 166). این بحث در سال ۱۹۷۵ توسط بنوئیت مندلبروت مطرح شد، هرچند ردپای چنین هندسه‌ای، صدها سال پیش‌تر در معماری مسلمانان قابل‌مشاهده است (Saremi et all, 2014, 3). هنرمند مسلمان با استفاده از نقوش هندسی و گیاهی در بناهای اسلامی در پی اثبات آن است که پیوستگی خاصی در بین حیاتِ جماد، نبات و دنیای انسان وجود دارد و عالم متکثر جدا از سرمنشأ واحد آن نیست (Saremi et all, 2014, 3).

معماری در لغت عبارت است از تولد یک فکر در حیطهٔ یک هدف مشخص که در صورت طی مسیری تعریف‌شده، به ناظر اجازه می‌دهد که مراحل تولد تفکر را تا تجسم آن را به‌طور واضح رؤیت کند. در دوران معاصر در راستای توانمندسازی معمار در طراحی و تولید صنعتی و امکان تجسم احجام و فرم‌های نامتعارف معماری، معمار به ابزاری برای خلق فضا و معماری نیاز دارد که این ابزار با استفاده از تکنولوژی و امکانات پیچیدهٔ گرافیک در رایانه به نام معماری دیجیتال مهیا شده است. معماری دیجیتالی جنبشی در عرصهٔ معماری است که با ایجاد ارتباط میان معماری و علوم دیجیتال، زمینه‌ای برای نوآوری بیشتر فراهم نموده است و بر این اساس، معمار می‌تواند با به‌کارگیری فضای نرم‌افزاری از قیدوبندهای طراحی فضای معماری با روش‌های رایج گذشته و کندی کار با ابزارهای ترسیمی قبلی رهایی یابد و جزئیات تصورشدهٔ یک طرح را پیشاپیش به تصویر بکشد (Bagheri & Babaei Eskouei, 2011, 1-10)؛ فراکتال آرت را می‌توان در زمرهٔ هنر نرم‌افزاری قلمداد نمود، هنری که براساس نسبت‌ها، تساوی‌ها و تقارن‌ها و گاه الگوها و الگوریتم‌های تصادفی به گونه‌ای حرکت کرده که فرم‌های انتزاعی را پدید می‌آورد (Garousi, 2008, 20). در تعریف فرکتال آرت این‌گونه می‌توان گفت که فرکتال آرت عرصهٔ نوینی از هنر نرم‌افزاری است که بر مبنای الگوریتم است (Farhang & Rezaei, 2016, 14). کامپیوتر آرت و هنرهای الگوریتمی زاییدهٔ کامپیوتر است که طی دهه‌های اخیر دریچهٔ نوینی به‌سمت دنیای تصویرسازی هنرمندانه و ریاضیاتی گشوده، که مهارت در آن هم نیازمند زیبایی‌شناسی هنرمندانه و مستلزم بهره‌مندی از مقادیر هنگفتی ریاضیات و هندسهٔ مدرن فراکتالی است (Garousi, 2008, 20). هنرهای الگوریتمی و زایشی مبتنی‌بر خود، خلق هنر است و هنرمند به‌عنوان زمینه‌ساز یا برنامه‌نویس قبل‌از مراحل ارائهٔ اثر حضور دارد، اما در هنگام خلق و ارائهٔ اثر حذف می‌شود (Bocola, 2008, 307).

پژوهش پیش‌رو بر آن است تا در قدم اول به شناخت و بررسی هندسهٔ فرکتال به‌کاررفته در نقوش و گره‌های پرکاربرد معماری اسلامی بپردازد، الگوی هندسی به‌کاررفته در آن را استخراج کرده و به زبان الگوریتم ترجمه نماید و سپس نتایج به‌دست‌آمده جهت شبیه‌سازی رایانه‌ای را وارد نرم‌افزار نماید. به بیان دیگر، هدف پژوهش پیش‌رو تلاش در جهت ایجاد پلی ارتباطی بین مبانی و مفاهیم معماری و دنیای پویا و گستردهٔ رایانه و نرم‌افزار است که با بررسی هندسهٔ فرکتال به‌کاررفته در طبیعت و معماری و بیان وجوه اشتراک بین این دو، به بازتعریف الگوی نقوش و گره‌های پرکاربرد معماری اسلامی پرداخته و توسط نرم‌افزار و استفاده از مبانی و قوانین (L- system) (نگارال) سعی در شبیه‌سازی الگوهای استخراجی می‌نماید.

بر این اساس، پرسش اصلی این پژوهش این است که آیا می‌توان نقوش هندسی معماری اسلامی را به زبان الگوریتمی ترجمه نمود؟ چنانچه پاسخ این پرسش مثبت باشد، آنگاه پلی ارتباطی میان دنیای معماری سنتی ایران و دنیای رایانه و ریاضیات ایجاد می‌شود. برای پاسخگویی به این پرسش، از رویکردی تحلیلی و مبتنی‌بر الگوریتم (L- system) استفاده شده است. به نحوی که با استفاده از رویکرد تحلیلی و با استناد به منابع کتابخانه‌ای و مطالعات اسنادی، بهره‌گیری از سیستم لیندنمایر (L- system) در طراحی الگوریتم‌ها و استفاده از نرم‌افزار رایانه‌ای(studio L- system)، سعی شده است الگوی هندسی به‌کاررفته در نقوش و گره‌های پرکاربرد معماری اسلامی به زبان رایانه بازنویسی شود.

۲. پیشینهٔ تحقیق

بخشی از مطالعات انجام‌شده پیرامون بحث کلی هندسهٔ فرکتال و معماری به شرح زیر است:

دستهٔ اول شامل پژوهش‌هایی است که پیرامون مباحث نظریهٔ آشوب و ماهیت فرکتال‌ها انجام گرفته است و همچنین تأثیر و کاربرد آن را در معماری کلاسیک و معاصر ایران و جهان بررسی می‌نماید. درخصوص این دسته می‌توان به مقالهٔ «فرکتال‌ها در معماری جدید» نوشتهٔ نیکوس اِ. سالینگاروس اشاره نمود؛ نویسنده در این پژوهش، به بررسی اجمالی معماری جدید بر پایهٔ نظریهٔ فرکتال‌ها پرداخته است که براساس اصول علمی فیزیک و ریاضیات در معماری و شهرسازی به آن رسیده است (Salingaros, 2004, 27-28). همچنین می‌توان به مقالهٔ «کاربرد هندسه فرکتال در معماری اسلامی» نوشته‌شده توسط حمیدرضا صارمی و همکاران اشاره کرد؛ این پژوهش رواج هندسهٔ فرکتالی و بهره‌گیری هنرمندان اسلامی از نقوش طبیعی را بررسی می‌کند و بیان می‌کند که این نقوش تجلی‌گاه فرهنگ اسلامی و عقیدهٔ توحیدی هنرمندان آن است (Saremi et all, 2014, 1-15). به‌عنوان نمونهٔ دیگر در باب پژوهش‌های دستهٔ اول، کتاب fractal geometry in architecture and design نوشتهٔ کارل بویل نیز قابل‌اشاره است؛ متن کتاب با مفاهیم مختلف ریاضی که در تولید فرکتال‌ها استفاده می‌شوند شروع می‌شود، سپس در سایر فصل‌ها بحث فراکتال در آثار معماری و نقد آن‌ها مطرح می‌شود (Bovill, 1996, 115-157).

دستهٔ دوم مطالعات یادشده شامل پژوهش‌هایی است که به مباحث نظری پیرامون فرکتال‌ها همراه با طراحی بنا، طبق اصول هندسهٔ فرکتالی و نظریهٔ آشوب پرداخته است. همچنین درخصوص دستهٔ دوم مطالعات یادشده، می‌توان به برخی پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد نگارش‌شده در چند سال اخیر با موضوع طراحی برپایهٔ مفاهیم هندسه فرکتال اشاره کرد. نمونهٔ اول پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد با عنوان طراحی مرکز همایش بین‌الملل مشهد برپایهٔ تأملی بر جایگاه هندسهٔ فرکتال در معماری ایرانی است (Tafaghodi Khajavi, 2016) و نمونهٔ دوم با عنوان طراحی مجموعهٔ مسکونی در تهران برپایهٔ مفاهیم هندسهٔ فرکتال در معماری ایرانی انجام شده است (Refaei Rahmat Talab, 2015).

دستهٔ سوم شامل مطالعات در این زمینه، پژوهش‌هایی است که به گونه‌ای تخصصی‌تر به تحلیل هندسهٔ فرکتال به‌کاررفته در اجزای معماری اسلامی همراه با بررسی نمونهٔ موردی پرداخته است. درخصوص دستهٔ سوم می‌توان به مقالهٔ «بررسی ویژگی‌های هندسی گره‌ها در تزئین‌های اسلامی از دیدگاه هندسهٔ فرکتال»، نوشته‌شده توسط لیدا بلیلان اصل و همکاران اشاره کرد. مقالهٔ ذکرشده به بررسی تطبیقی ویژگی‌های هندسهٔ فرکتالی در گره‌های معماری اسلامی می‌پردازد و بیان می‌کند در پس اَشکال بدیع و پیچیدهٔ گره‌ها، ویژگی‌های دیگری مانند «مفهوم‌گرایی» و «نمادگرایی» و «فولد چندلایه‌ای» نیز وجود دارد (Balilan Asl et all, 2011, 92).

جدول ۱. طیف‌بندی رویکردهای موجود دربارهٔ فرکتال و معماری

عنوان رویکرد	نمونه	سال	یافته‌های پژوهش
رویکرد مفهومی و کاربردی	کاربرد هندسهٔ فرکتال در معماری اسلامی نوشته‌شده توسط (Dr. Hamid Reza Saremi et al)l	2014	نقوش فرکتالی به‌کاربرده‌شده در معماری اسلامی، تجلی‌گاه فرهنگ اسلامی و عقیدهٔ توحیدی هنرمندان آن است.
	(fractal geometry in architectur and) design) نوشتهٔ (Carel Bovill)	1996	بررسی و نقد کاربرد فرکتال در آثار معماری
	(Nikos Salingaros) فرکتال‌ها در معماری جدید نوشتهٔ	1998	بررسی اجمالی معماری جدید برپایهٔ نظریهٔ فرکتال‌ها که براساس اصول علمی فیزیک و ریاضیات در معماری و شهرسازی به آن رسیده است.
رویکرد تطبیق مبنا بر مصداق	پایان‌نامهٔ طراحی مرکز همایش بین‌الملل مشهد برپایه تأملی بر جایگاه هندسه فرکتال در معماری ایرانی نوشته‌شده توسط (Neda Tafaghodi Khajavi)	2016	طراحی مکانی فرهنگی در شهر مشهد با استفاده از ویژگی‌های هندسهٔ فرکتالی
رویکرد بررسی تخصصی	بررسی ویژگی‌های هندسی گره‌ها در تزئیین‌های اسلامی از دیدگاه هندسهٔ فرکتال نوشته‌شده توسط (Lida Balilan Asl et all)	2011	وجود مفاهیم و ویژگی‌هایی چون «مفهوم‌گرایی» و «نمادگرایی» و «فولد چندلایه‌ای» در پس اَشکال بدیع و پیچیدهٔ گره‌ها

۳. مفاهیم و چارچوب نظری

۳. ۱. هندسهٔ فرکتال

اشکال فرکتالی از طریق بسط و توسعهٔ فرم و ساختار اولیه به‌طور مداوم و به‌طرزی غیرقابل‌پیش‌بینی رشد نموده یا کاهش می‌یابند. فرکتال‌ها سرتاسر نامنظم‌اند و بی‌نظمی آن‌ها در همهٔ مقیاس‌ها یکسان است و از دورونزدیک به شکلی یکسان دیده می‌شوند و به‌اصطلاح خودمتشابه‌اند. برخی ویژگی‌های هندسهٔ فرکتال که در طراحی‌ها به کار می‌رود، به این شرح است: عملیات تولید مرحله‌به‌مرحله و با الگوی سلسله‌مراتبی به‌صورت خودآگاه یا تصادفی، تکرار و تعددپذیری، مقیاس‌بندی، خودمتشابهی، تعادل، ریتم‌های پیچیده (تکرار در امتداد یک خط یا دوران حول یک نقطه)، تولید فرم‌های پیچیده، نظم حاصل از بی‌نظمی و تولید اشکالی با اضلاع بیش‌از یک بعد (Naghibi & Kordjamshidi, 2014, 10).

۳. ۲. فرکتال در طبیعت

با ملاحظهٔ اشکال موجود در طبیعت مشخص می‌شود که هندسهٔ اقلیدسی قادر به تبیین و تشریح اشکال پیچیده و ظاهراً بی‌نظم طبیعی نیست. مندل بروت در سال ۱۹۷۵ اعلام کرد که ابرها به‌صورت کُره نیستند، کوه‌ها همانند مخروط نیستند، سواحل دریا دایره‌شکل نیستند، پوست درخت صاف نیست و صاعقه به‌صورت خط مستقیم حرکت نمی‌کند.

تصویر ۱. نمونه‌هایی از وجود هندسهٔ فرکتالی در طبیعت. منبع: www.pinterest.com

جسم فرکتال از دورونزدیک یکسان دیده می‌شود، به‌تعبیر دیگر خودمتشابه است. وقتی که به یک جسم فرکتال نزدیک می‌شویم، می‌بینیم که تکه‌های کوچکی از آن که از دور همچون دانه‌های بی‌شکلی به نظر می‌رسید، به‌صورت جسم مشخصی درمی‌آید که شکلش کم‌وبیش مثل همان شکلی است که از دور دیده می‌شود. در طبیعت نمونه‌های فراوانی از فرکتال‌ها دیده می‌شود. درختان، ابرها، کوه‌ها، رودها ، لبهٔ سواحل دریا، سرخس‌ها و گل‌کلم‌ها همگی اجسام فرکتال هستند. همچنین بخش کوچکی از یک درخت، که شاخه‌های آن شباهت به کل درخت دارد. این مثال را می‌توان درمورد ابرها، گل‌کلم، صاعقه و سایر اجسام فرکتال عنوان نمود (Ghabadian, 2013, 166).

۳. ۳. فرکتال در معماری

به‌کارگیری اصول فرکتال را می‌توان در طراحی‌های گذشته و معاصر بررسی نمود. با دو تفاوت که در گذشته به شکلی ناآگاهانه و به روشی که آن را فرکتال نمی‌نامیدند و در دوران معاصر با ابزاری که آن را فرکتال می‌نامند و به شکلی کاملاً آگاهانه کاربرد دارد. هندسهٔ فرکتال در طراحی در دو مقیاس خرد و کلان به کار می‌رود. مقیاس خرد را می‌توان به ساختمان‌ها و اجزا و عناصر تشکیل‌دهندهٔ آن‌ها اختصاص داد و مقیاس کلان را در مقیاس شهری در نظر گرفت (Naghibi & Kordjamshidi, 2014, 10). نمونه‌هایی از فرکتال را می‌توان در معماری گذشتهٔ اروپا، شرق، آفریقا و ایران مشاهده نمود. همگی این‌ها به شکلی ناخودآگاه و بدون اطلاع از هندسهٔ فرکتال به وجود آمده‌اند و اساس شکل‌گیری آن‌ها تمایل فطری بشر در ایجاد و خلق فرم‌ها به شیوهٔ فرکتال بوده است (Bemanian et all, 2010, 120).

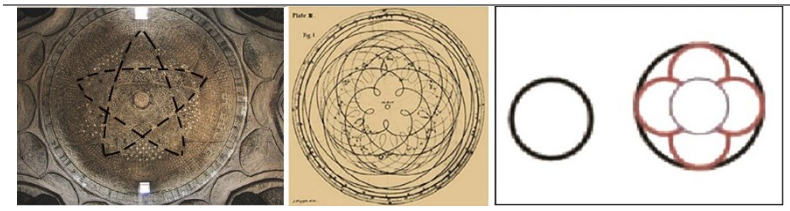
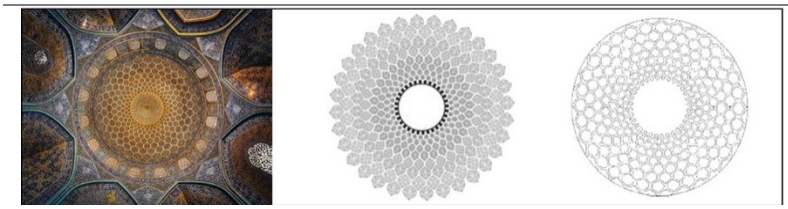
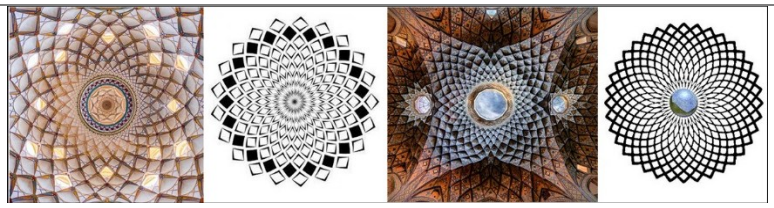
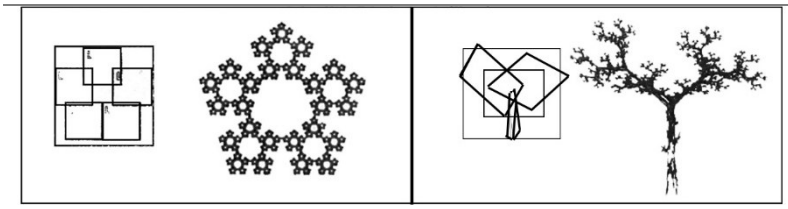
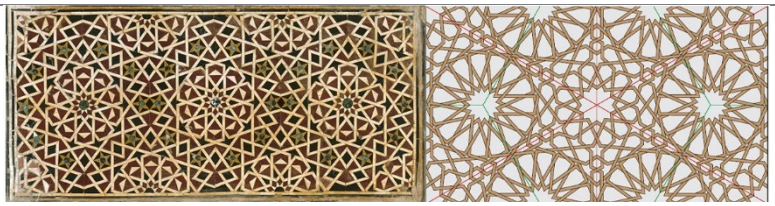
تصویر ۲. هندسهٔ فرکتال در مقیاس کلان

راست: روستای ابیانه. منبع: https://www.sedayemiras.ir ؛ چپ: روستای کندوان. منبع :https://irantrawell.com

بیشتر از هر میراث فرهنگی دیگر، کار هنرمندان مسلمان در مصادیق مختلف معماری اسلامی طی قرن‌های گذشته زیبایی بصری را نشان می‌دهد که برخاسته از ذات هندسه است. الهام گرفتن از هندسه منجر به وفور نوآوری‌های زیبایی‌شناسانه در طراحی معماری اسلامی شد (Bonner, 2017, vii).

یکی از رازآمیزترین و گسترده‌ترین تزئینات آثار معماری دورهٔ اسلامی به‌ویژه در مکان‌های مقدس، نقوش هندسی است. در دورهٔ اسلامی، معماری ایرانی یکی از زمینه‌های ظهور مجموعهٔ نقوش هندسی زیبا و منحصربه‌فرد است. براساس آثار موجود می‌توان تاریخی شش‌هزارساله برای کاربرد نقوش هندسی در تزئین بناهای معماری و به‌ویژه اماکن مقدس فرض کرد (Abeddoust & Kazempour, 2017, 41-58).

جدول ۲. ویژگی‌های مشترک میان هندسهٔ فرکتال و معماری اسلامی. منبع: نگارندگان

ویژگی‌های مشترک میان هندسهٔ فرکتال و معماری اسلامی	نمونهٔ موردی
خودمتشابهی	
سوق بصری به سمت اجزای بی‌نهایت	
تکرارشوندگی	
خاصیت دو بعدی	
پیچیدگی	

۴. بحث و تحلیل

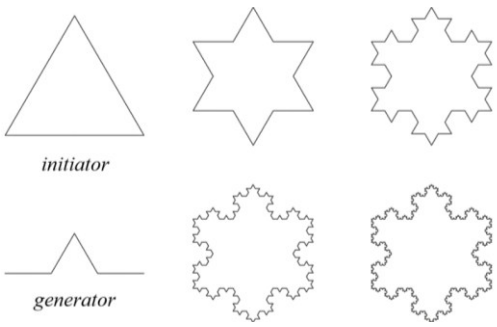
اَریستیدلیندنمایر مجارستانی را به‌عنوان پدر نظریهٔ Lindenmayer systems و یا به‌صورت مختصر L-systems می‌نامند که لغت نگارال، معادل فارسی برگزیده‌شده برای آن است. نگارال امروزه به‌جز در شبیه‌سازی رشد سلول‌های گیاهی که هدف اصلی طراحی آن بوده، در گرافیک رایانه‌ای نیز برای تولید شکل‌های فرکتالی به مانند گیاهان کاربرد دارد.

کشف لیندنمایر به یکی از نظریه‌های زیبای بین‌رشته‌ای تبدیل شده است. به گونه‌ای که پیشرفت در این نظریه، ایده‌ها و نتایج جدیدی را در دیگر حوزه‌های علوم به وجود آورده است. به‌طور کلی، مهم‌ترین ویژگی نگارال اجرای قوانین به‌صورت موازی و هم‌زمان بر روی متغیرها است (Jafari, 2018, 59).

یک مدل برای توصیف رشد ساختارهای چند سلولی، زمانی مناسب است که در آن، عمل رشد به‌صورت هم‌زمان در هر واحد زمانی برای تمام سلول‌های آن رخ بدهد؛ زیرا هریک از این زیرواحدهای سلولی ساختار ژنتیکی یکسانی دارند و زمان نیز به‌صورت یکسان برای تمامی سلول‌ها گذر می‌کند، پس در شرایط استاندارد نمی‌توانیم قواعد رشد را به‌صورت غیرهم‌زمان بر روی یکی از سلول‌ها و سپس دیگری اعمال کنیم.

به‌عنوان مثال می‌توانیم به شیء گرافیکی برف‌دانهٔ کخ که به‌وسیلهٔ قوانین بازنویسی موازی تولید می‌شود اشاره کنیم (تصویر ۳). مندلبروت این ساختار را به گونهٔ زیر توصیف کرده است:

ابتدا برای تولید آن از دو شکل آغازگر (initiator) و مولد (generator) استفاده می‌کنیم. مولد یک خط شکستهٔ جهت‌دار است که از N قسمت هم‌اندازه به‌طول متغیر r تشکیل شده است. از شکل آغازگر شروع می‌کنیم و در هر مرحله، به‌ازای هر خط راست موجود در آن، یک مولد هم‌جهت را به گونه‌ای جایگزین آن می‌کنیم که نقاط انتهایی‌شان بر روی هم قرار گیرند. هر مرحله زمانی به اتمام می‌رسد که تمام خطوط راست در مرحلهٔ قبلی، با یک مولد هم‌اندازه و هم‌جهت خود جایگزین شده باشند (Lindenmayer, 1990, 1).



تصویر ۳. ساختار برف‌دانهٔ کخ منبع: A.Lindenmayer 1990, 2

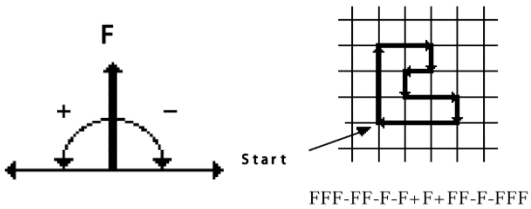
۴.۱. مفسر لاک‌پشتی

برای مدل‌سازی گیاهان پیچیده، به یک مفسر گرافیکی پیشرفته‌تر برای نگارال نیازمندیم. یکی از این مفسرها براساس ایدهٔ هندسهٔ لاک‌پشتی (Turtle) ارائه شده است:

یک لاک‌پشت بر روی یک کاغذ قرار دارد و ما به آن دستورات مشخصی می‌دهیم. دم لاک‌پشت کثیف است و در صورت تماس با کاغذ از خودش رد باقی می‌گذارد (Jafari, 2018, 64). دستورات داده‌شده به لاک‌پشت براساس نمایه‌ها و معانی پیش‌فرض به شکل زیر است:

جدول ۳. نمادها و معانی دستورات در زبان L- system

نمایه	مفهوم
F	حرکت به‌اندازهٔ یک واحد به‌صورت مستقیم با جای‌گذاری اثر حرکت
f یا	حرکت به‌اندازهٔ یک واحد به‌صورت مستقیم بدون جای‌گذاری اثر حرکت
+	چرخش به سمت چپ به‌اندازهٔ زاویهٔ α
−	چرخش به سمت راست به‌اندازهٔ زاویهٔ α
[	ذخیره و حفظ موقعیت فعلی در آن نقطه و انجام سایر دستورات
]	بازگشت به همان موقعیت ذخیره‌شده با حفظ زاویه، رنگ و پهنای خط



تصویر ۴. زبان L- system. منبع: A.Lindenmayer 1990,

مثال سادهٔ منحنی کخ (Koch curves) :

Variables: F
Constants: + -
Axiom : F
Rules: (F F + F – F – F + F) →
Angle: 90º

n = 0: F
n = 1: F + F – F – F + F
n = 2: F + F – F – F + F + F + F – F – F + F – F + F – F – F + F – F + F – F – F + F + F + F – F – F + F

n = 0 n = 1 **n** = 2
تصویر ۵. منحنی کخ. منبع: A.Lindenmayer , 1990

اکنون که اندکی با قوانین و زبان L- system آشنا شدیم، قصد داریم به‌وسیلهٔ این روش مطابق با الگوهای به‌کاررفته در نقوش و تزئینات معماری درنظرگرفته‌شده، به تبیین دستوراتی کم‌حجم برای تولید اشکال فرکتالی در رایانه و به کمک نرم‌افزار studio L- system بپردازیم.

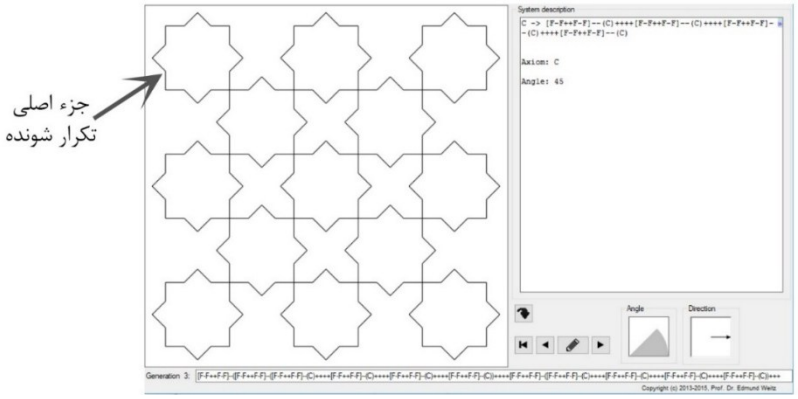
۴. ۲. گره هشت‌بازوبندی (شمسهٔ چلیپا)

در دورهٔ ایلخانی، پدیده‌ای نو از به کار گرفتن کاشی‌های «خشتی هندسی» به نام «کوکبی» با نقش هشت «هشت ضلعی» و چهارلنگه «ستارهٔ چهارپر تند» به رنگ‌های فیروزه‌ای و لاجوردی ناب، زینت‌بخش مقبرهٔ پیر بکران و ایوان مقبرهٔ عمو عبدالله (منارجنبان) اصفهان شد (Zomorshidi, 2012, 54).

تصویر ۶. گره هشت‌بازوبندی. منبع: نگارندگان

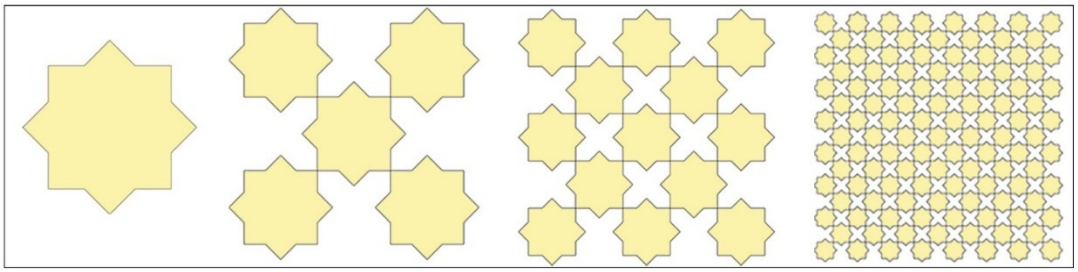
۴. ۳. مراحل بازتولید الگوی گره هشت‌بازوبندی در L- system

۱. شناسایی کوچک‌ترین جزء اصلی تکرارشونده در کل آرایه؛
۲. استخراج الگوی کلی چینش اجزاء در کنار یکدیگر (الگوی توسعهٔ جزء اصلی در تمام صفحه)؛
۳. تعریف الگوریتم مناسب برای جزء اصلی تکرارشونده به زبان L- system :F-F++F-F؛
۴. شناسایی زاویهٔ مناسب جهت چرخش صحیح جزء اصلی؛
۵. تعریف الگوریتم نهایی برای توسعهٔ جزء اصلی در تمام صفحه.



تصویر ۷. تعریف الگوریتم نهایی گره هشتبازوبندی برای توسعهٔ جزء اصلی در تمام صفحه توسط رایانه تا مرحلهٔ سوم. منبع: نگارندگان

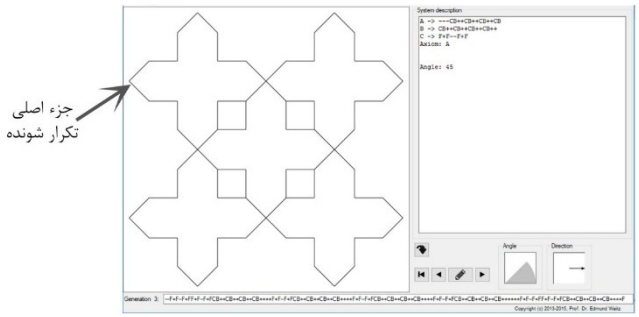
C -> [F-F++F-F]--(C)++++[F-F++F-F]--(C)++++[F-F++F-F]--(C)++++[F-F++F-F]--(C)
Axiom: C
Angle: 45



تصویر ۸. مراحل مختلف شکل‌گیری گره هشت بازوبندی. منبع: نگارندگان

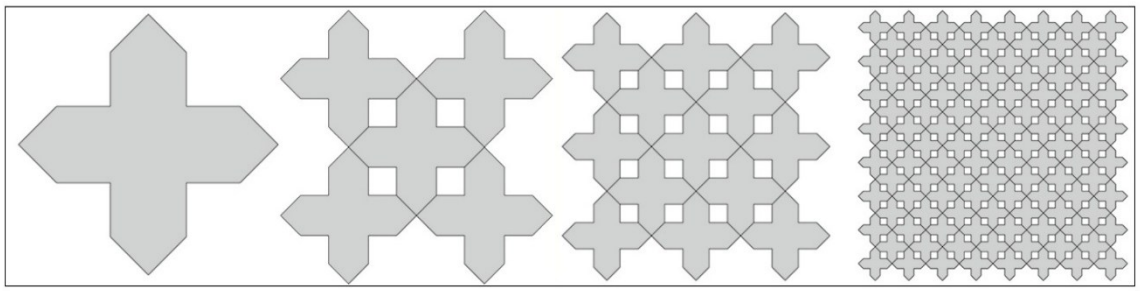
۴. ۴. نقوش چلیپایی

نقوش چلیپایی در ادوار پیش‌از اسلام برای تزئین هنرهای مختلف به کار رفته است و این نقوش در تزئینات معماری دورهٔ اسلامی نیز از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. هنرمندان متفکر دوران اسلامی از همان ابتدا به اهمیت نمادگرایی و زیبایی‌شناسی این نقوش پی بردند و بر همین اساس با کاربرد آن‌ها، این نقوش را به یکی از عناصر اصلی تزیینی دورهٔ اسلامی تبدیل کردند. در این راستا آن‌ها را به‌صورت جداگانه یا با تلفیق با سایر نقوش هندسی و کتیبه‌ای، در زمینه‌های مختلف هنری به کار بستند (Rezalu et all, 2012, 15).



تصویر ۹. تعریف الگوریتم نهایی نقش چلیپایی برای توسعهٔ جزء اصلی در تمام صفحه توسط رایانه تا مرحلهٔ دوم. منبع: نگارندگان

A -> ---CB++CB++CB++CB
B -> CB++CB++CB++CB++
C -> F+F--F+F
Axiom: A
Angle: 45

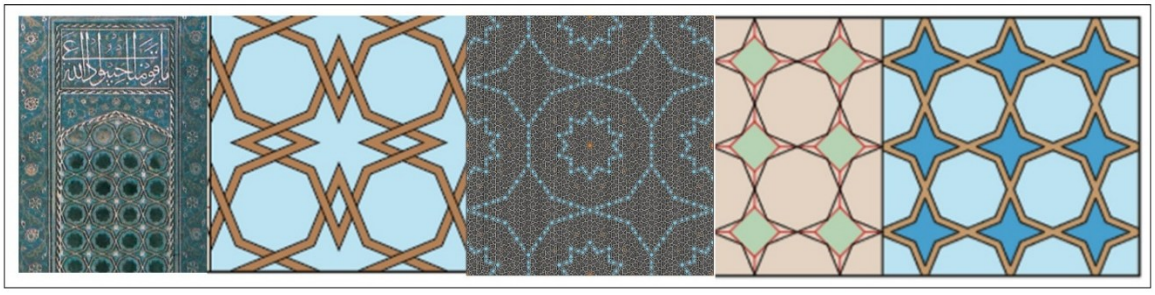


n = 1 n = 2 n = 3 n = 8

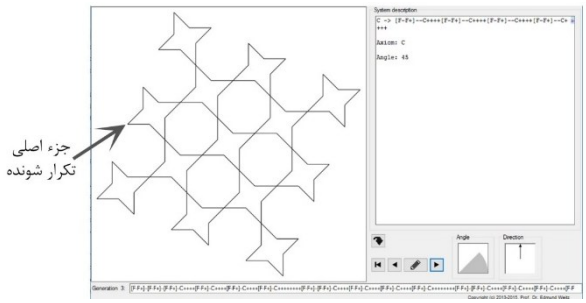
تصویر ۱۰. مراحل شکل‌گیری نقوش چلیپایی. منبع: نگارندگان

۴. ۵. گرهٔ چهارلنگه الماس‌تراش

یکی از جالب‌ترین روش‌های طراحی هنرمندان ایرانی، ابداع شکل‌هایی است که فاصلهٔ میان ستاره‌های هشت‌پر یا چندضلعی‌های منتظم را پر می‌کند؛ مانند نقوش هندسی ستارهٔ چهارلنگه و چلیپا. طراحان این نقش‌ها را براساس قواعد هندسی طراحی می‌کنند و با تکرار منظم آن‌ها در فاصلهٔ میان نقوش اصلی تمام سطح را پوشش می‌دهند (Ayatollahi et all, 2018, 111).



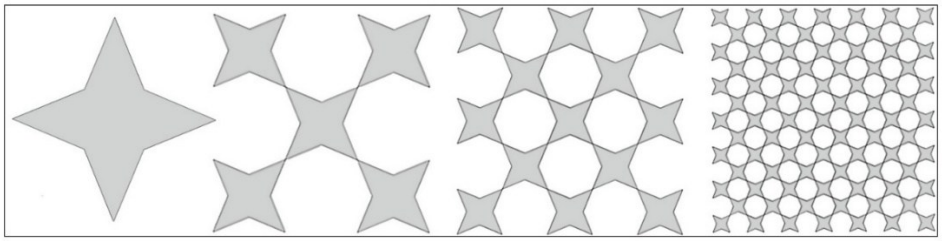
تصویر ۱۱. گره چهار لنگهٔ الماس‌تراش منبع: نگارندگان



تصویر ۱۲. تعریف الگوریتم نهایی گره چهارلنگه برای توسعهٔ جزء اصلی در تمام صفحه توسط رایانه تا مرحلهٔ سوم. منبع: نگارندگان

C -> [F-F+]--C++++[F-F+]--C++++[F-F+]--C++++[F-F+]--C++++

Axiom: C
Angle: 45



n = 1 n = 2 n = 3 n = 8

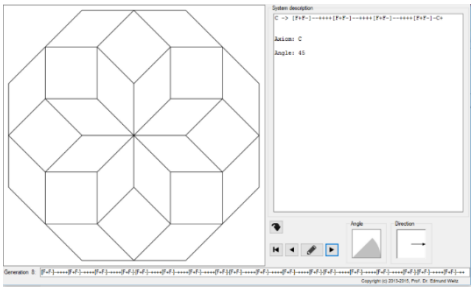
تصویر ۱۳. مراحل شکل‌گیری گره چهارلنگه. منبع: نگارندگان

۴. ۶. نمونه‌هایی از نقوش تزئینی با الگوی دورانی

۴. ۶. ۱. نمونهٔ اول

نمونهٔ اول:

C -> [F+F-]--++++[F+F-]--++++[F+F-]--++++[F+F-]-C+
Axiom: C
Angle: 45



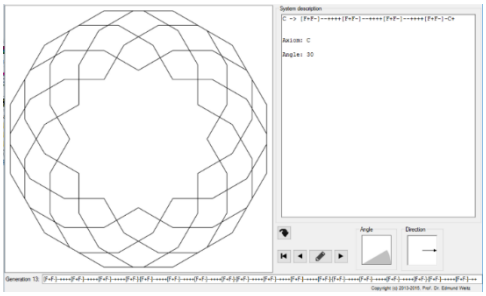
تصویر ۱۴. تعریف الگوریتم نهایی برای نمونهٔ اول
منبع: نگارندگان

۴. ۶. ۲. نمونهٔ دوم

نمونهٔ دوم :

این نمونه تنها با تغییر جزئی در اندازهٔ زاویهٔ نمونهٔ ۱ به دست آمده است.

C -> [F+F-]--++++[F+F-]--++++[F+F-]--++++[F+F-]-C+
Axiom: C
Angle: 30



تصویر ۱۵. تعریف الگوریتم نهایی برای نمونهٔ دوم

منبع: نگارندگان

۵. نتیجه‌گیری

قاعدهٔ توسعهٔ هندسهٔ فرکتالی برپایهٔ تکرار و دستیابی از کل به جزئی خرد و متشابه است. این روند تکرار و سیر از کل به جزء علاوه‌بر زیبایی و غنای بصری حامل پیام و مفهومی بس عمیق و شگرف است؛ مفهومی که موجب پدید آمدن چنین وحدت و هماهنگی عظیمی بین اجزا شده است. وظیفهٔ والای هر انسان جست‌وجوگر تلاش در جهت دستیابی به حقیقت و رمزوراز نهفته در جهان خلقت است. با اندکی تأمل در نقوش و آثار معماری دوران اسلامی درمی‌یابیم که معماران این آثار به‌خوبی به وظیفهٔ خود آگاه بوده و تمام و کمال به آن پرداخته‌اند.

آنان با توجه و تفکر در آفاق دست به خلق فضاهایی سازگار با طبیعت و فطرت انسان و ماندگار برای تمامی ادوار زدند. این در حالی است که امروزه با پیشرفت علمی و توسعهٔ تکنولوژی می‌توان همان اصول و مفاهیم عمیق را به عاریت گرفت و به کمک ابزارها و علوم پیشرفته گامی بلند در جهت توسعه، درک بهتر مفاهیم و سهولت بهره‌وری از آن‌ها برداشت. استفادهٔ هدفمند از این امکانات در معماری قابلیت‌ها و مزایای فراوانی برای نسل جدید معماران به‌دنبال دارد که از جملهٔ این مزایا که طی این پژوهش با استفاده از L- system تأمین شد می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

. افزایش سرعت و کاهش چشم‌گیر خطا در روند طراحی نقوش هندسی؛

. سهولت بیشتر در رسیدن به نتیجهٔ نهایی؛

. دست‌یابی به فرم‌ها و الگوهای نوین و پیچیده‌تر تنها با ایجاد تغییرهای جزئی در داده‌های سیستم.

منابع

Ayatollahi, Minou et al. (2018). Culture and Art. Iran Book Printing and Publishing Company Tehran.

Eftekharzadeh, Sanaz. (2013). From the Chaos of Perception to the Cognition of Architecture. Simaye Danesh Publications, Tehran.

Bagheri, Vahideh and Babaei Eskoui, Solmaz. (2011). Digital Architecture and Its Impact on the Process of Architectural and Structural Design in Architects' Projects. The Second International Conference on Architecture and Structure, University of Tehran, 1-10.

Becola, Sandra. (2008). The Art of Modernism. Translated by Rooin Pakbaz and Helia Darabi. Farhang-e Moaser Publications, Tehran.

Balilan Asl, Lida et al. (2011). Investigation of the Geometrical Features of Knots in Islamic Decorations from the Perspective of Fractal Geometry. Journal of Iranian-Islamic City Studies, 2(6), 83-95.

Bemanian, Mohammadreza; Amirkhani, Arian and Lilian, Mohammadreza. (2010). Order and Disorder in Architecture. Tahan Publications, Tehran.

Tafaghodi Khajavi, Neda. (2016). Design of the International Convention Center of Mashhad Based on Reflection on the Position of Fractal Geometry in Iranian Architecture. Master's Thesis, Faculty of Art and Architecture, Yazd University.

Jafari, Pedram. (2018). Negaral: A Method for Generating Fractals. Mathematics and Society Journal, 3(2), 59-68.

Rezalu, Reza; Airmelou, Yahya and Mirza Aghajani, Asadollah. (2012). Study of the Evolution of Cross Motifs in the Architectural Decorations of the Islamic Period of Iran and Their Aesthetic and Symbolic Meanings. Fine Arts Journal – Visual Arts, 18(1), 15-24.

Rafiei Rahmat Talab, Mohammad. (2015). Design of a Residential Complex in Tehran Based on the Concepts of Fractal Geometry in Iranian Architecture. Master's Thesis, University of Science and Art of Yazd.

Zomorshidi, Hossein and Zomorshidi, Zahra. (2012). The Art of Tile Making and Tile Work in Iranian Architecture until the End of the Timurid Period. Journal of Iranian-Islamic City Studies, 3(10), 49-60.

Salingaros, Nikos. (1998). Fractals in New Architecture. Translated by Nasim Chitsazan and Nasim Iranmanesh. Memar Bi-Monthly Journal, 26, 27-28.

Saremi, Hamidreza; Hadianpour, Mohammad and Nosrati, Fatemeh. (2014). Application of Fractal Geometry in Islamic Architecture. National Conference on Urban Planning, Urban Management and Sustainable Development, Tehran, 1-15.

Abeddoust, Hossein and Kazempour, Ziba. (2017). Analysis of the Roots and Concepts of Geometric Motifs in Islamic Architecture within Ancient Iranian Art. Negarineh Honar-e Eslami Journal, 3(10), 41-58.

Farhang, Mahgan and Rezaei, Safieh. (2016). Fractal Art and Software Art with an Approach to Computational Geometry and Pattern Geometry. Exploration in Basic Science Education, 2(4), 11-24.

Ghobadian, Vahid. (2013). Fundamentals and Concepts in Contemporary Western Architecture Cultural Research Bureau Publications, Tehran.

Karami Fard, Raham. (2017). The Nature of Fractals and Their Impact on Architecture. Conference on Islamic and Historical Iranian Architectural and Urban Studies, Shiraz.

Gorouzi, Mehrdad. (2008). Visual Arts: Fractal Art. Ayeneh Khial Journal, 9, 19-30

Mirian, Meysam. (2011). The Role of Fractals in Geometry, Mathematics and Their Relation to Islamic Motifs in Iranian Buildings and Mosques. Ketab-e Mah-e Honar Monthly, 159, 86-95.

Noghrekar, Abdolhamid. (2010). Theoretical Foundations of Architecture. Payam Noor University Publications, Tehran.

Naghibi Rad, Parastou and Kord Jamshidi, Maria. (2014). Application of Fractal Geometry in the Physical-Spatial Form of Cities. First National Conference on Searching for Tomorrow's City, Tehran, 1-15.

Bovill, Carl. (1996). Fractal geometry in architecture and design, Brikhauser, Boston.

Prusinkiewicz, Przemyslaw. (1987). Applications of L-systems to computer imagery, In H.Ehrig, M.Nagl, A.Rosenfeld, and G .Rozenberg, editors, Graph grammars and their application to computer science; Third International Workshop, 534–548, Springer-Verlag, Berlin, LectureNotesinComputerScience 291

Prusinkiewicz, Przemyslaw and Lindenmayer, Aristid. (1990). The Algorithmic Beauty of Plants, Springer-Verlag,NewYork.

Bonner, Jay. (2017). Islamic geometric patterns: their historical development and traditional methods of construction. www.pinterest.com (In Persian).