

Reproduction and Application of the Geometric Pattern of Girih in Contemporary Monuments of Iran*

Abstract

Problem Statement: The present study examines the use of the geometric pattern of girih in the design of contemporary monuments across Iran. By employing a geometrical approach, this study analyzes how traditional girih patterns are used in contemporary designs through Salingaros' pattern theory. It also explores the creation of new girih patterns based on the structure of traditional girih through geometric transformation in specific case examples. The key research questions are: 1. How have geometric girih patterns been used in the contemporary monuments of Iran during the 1930s and 1940s?, 2. What is the role of girih in forming structuring patterns and shaping the form of memories?, 3. How does the flow of girih geometry transform from traditional to contemporary? **Research Methodology:** This study presents a method for analyzing, transforming, and reproducing the geometry of traditional patterns. This method is implemented using a mathematical-geometrical model. The paper explores the geometry of Iranian girih as a bridge connecting contemporary architecture and historical architecture. It begins by analyzing the girih pattern and its fundamental unit, then examines how the geometric pattern of Iranian girih is used as a structuring and aesthetic concept in contemporary monuments of Iran. Geometric analysis is used to illustrate the metamorphosis of these patterns based on changes in the critical points of the girih. The methodology integrates logical reasoning with case study research. The findings were analyzed through geometric and mathematical analysis, followed by data interpretation using Excel and SPSS software. **Objective:** This study aims to explore how girihs were used in contemporary Iranian monuments in the 1940s and 1950s, the geometric techniques employed to modify girih geometry, and how traditional hidden geometry evolved into new forms in practical geometry (building designs and volumes). Another key objective is to investigate the influence of the geometric pattern of girih on the structure and arrangement of contemporary monument forms. **Research Background:** Theorists such as Ardalan, Bakhtiar, Burkhardt, and Nasr have addressed Islamic geometric decorations from a philosophical perspective, while Cromwell and Critchlow have examined them from mathematical and geometric viewpoints (Khwarazmi, 2012: 14). In terms of domestic research, the literature on Islamic girih patterns focuses on the principles of drawing traditional girih, particularly in discussions of their geometric

Received: 22 Oct 2023

Received in revised form: 13 Dec 2023

Accepted: 10 Mar 2024

Mahsa Rezazadeh^{1} iD** (Corresponding Author)

Faculty Member of Department of Architecture, Toos Institute of Higher Education, Mashhad, Iran. E-mail: rezazade@toos.ac.ir

Hamed Kamelnia² iD

Associate Professor, Department of architecture, Faculty of Architecture and Urbanism, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: kamelnia@um.ac.ir

DOI: <https://doi.org/10.22059/jfaup.2025.383550.673011>

recognition. **Conclusion:** Based on the results of this research, it is possible to contemporize the pattern of geometric girih. This study demonstrates how the hidden geometry of traditional patterns serves as a connection between the past and present in architecture. It highlights how changing the fundamental points of the smallest component of the girih (the base unit or sub-girih) can alter the overall geometry while maintaining the structural connection of the components.

Keywords

Hidden Geometry, Girih Pattern, Metamorphosis, Monument

Citation: Rezazadeh, Mahsa; Kamelnia, Hamed (2024). reproduction and application of the geometric pattern of girih in contemporary monuments of iran, *Journal of Fine Arts: Architecture and Urban Planning*, 29(1), 79-95. (in Persian)



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

*This article is extracted from the first author's doctoral dissertation, entitled: "Designing a cinema-cultural complex (development of the correct model for the use of various drawings in the design process)" under the supervision of the second author at the University of Tehran.

بازتولید و کاربرد الگوی هندسی گره در یادمان‌های معاصر ایران*

چکیده

هنده‌یک ابزار ارزشمند به منظور خلق فرم در گذشته و حال بوده است؛ امروزه ابزارهای بسیار بیشتری برای بهره‌برداری از هندسه در معماری در اختیار داریم. در حال حاضر به منظور درک و استفاده از کالبدی‌های معماری گذشته و درک نظم پنهانی آن باید روشی برای آنالیز به کار برد شود که علاوه بر کشف نظم موجود، امکان بازتولید آن نیز فراهم شود. پژوهش

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۷/۳۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۲۲
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰
مهم‌سازنده‌ای^۱ (نویسنده مسئول): عضو هیأت علمی گروه معماری، مؤسسه آموزش عالی توس، مشهد، ایران.
E-mail: rezazade@toos.ac.ir
حامد کامل‌نیا^۲: دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
E-mail: kamelnia@um.ac.ir
DOI: <https://doi.org/10.22059/jfaup.2025.383550.673011>

حاضر به کارگیری الگوی هندسی گره را در فرم یادمان‌هایی معاصر بررسی می‌کند و با استفاده از رویکرد هندسی، چگونگی کاربرد الگوهای سنتی گره را در فرم‌های معاصر بر اساس نظریه‌ی الگوی سالینگاروس تحلیل و بیان می‌کند، اینکه چطور هندسه‌ی گره‌های ایرانی در یادمان‌هایی معاصر به کار گرفته شدند و از چه تکنیک‌های هندسی برای تغییر هندسه‌ی گره استفاده شده است؛ که در عین استفاده از الگوی سنتی گره (هندسه‌پنهان)، در هندسه‌ی پیدا (فرم‌بنا) شکل جدیدی به خود گرفته است. هم‌چنین بررسی تأثیر الگوی هندسی گره بر ساختار و آرایش فرم یادمان‌هایی معاصر از اهداف پژوهش می‌باشد. این مقاله هندسه‌ی گره‌های ایرانی را به عنوان عامل اتصال معماري معاصر و معماري گذشته تحلیل می‌کند. روشی که در این فرایند به کار برد می‌شود استدلال منطقی در ترکیب با گونه‌پژوهش موردي است. با استفاده از نتایج این تحقیق می‌توان بر روی معاصرسازی الگوی گره‌های هندسی کار کرد؛ در واقع این پژوهش نشانداد چطور هندسه‌پنهان الگوهای سنتی، عامل ارتباط گذشته و حال در معماری می‌شود. این تحقیق، راه کارهای طراحی در رابطه با خلق مجدد بر اساس ساختار تشکیل‌دهنده الگوی گره به وسیله‌ی دگردیسی هندسی، ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی

هنده‌سی‌پنهان، الگوی گره، واحد پایه، دگردیسی، یادمان

استناد: رضازاده، مهسا؛ کامل‌نیا، حامد (۱۴۰۳)، بازتولید و کاربرد الگوی هندسی گره در یادمان‌های معاصر ایران، نشریه هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی، (۱)۲۹.

مقدمه

ایجاد یک معماری جدید که یادآور معماری ایرانی و هم‌زمان پاسخگوی زمان معاصر باشد از دغدغه‌های معماران معاصر ایران می‌باشد. اینکه چگونه یک معماری پاسخگوی نیازهای زمان خودش باشد و در عین حال به فرهنگ و تاریخ خود نیز پاسخ بگوید سؤال خوبی است. در استفاده از تکنیک‌های گذشته در معماری روش‌های مشخص و معینی تعریف نمی‌شود، معمولاً خلاقیت معمار، فرم و تکنیک به کارگیری گذشته را در کالبد جدید معماری ارائه می‌کند.

ارنست گمبریچ^۱ در کتاب حس نظم در رابطه با ترس از خلا^۲ (خالی ماندن)، انگیزه‌ی طراح را برای پرکردن هر فضای خالی با طراحی الگوهای پیچیده، مورد پرسش قرار می‌دهد (رضازاده، اعتصام، کامل نیا، خوشنویس، ۱۳۹۹، ۷). از طرف دیگر، استدلال منطقی اساساً فرایندی رابطه‌ای است، به این معنی که ذهن، حرکت پیوسته خود را از مقدمات به سمت نتایج، از طریق برقراری ارتباط بین دانسته‌های قبلی خود می‌پرسد؛ به عبارت دیگر برقراری رابطه، منشأ حرکت کلی در فرایند استدلال منطقی است (همان، ۷). گروت و وانگ در کتاب روش‌های تحقیق در معماری اجزای اصلی راهبرد استدلال منطقی را بر اساس سه مرحله بیان می‌کنند که در ادامه، فرایند تحقیق بر اساس آن شرح داده شده است:

۱. تعریف: سامانه‌های اولیه به دلیل بدیع بودن و جایگاه الگوواره‌ای، فهرستی از واژه‌های فنی را معرفی می‌کنند (همان، ۷). در این پژوهش نیز ابتداء شناخت فنی کلیدوازه‌های بر اساس دیدگاه‌های موجود پرداخته شده است و تعاریف و واژگان تخصصی مورد نیاز استخراج شدن، سپس نگارندهای بر اساس شکل و محتوى پژوهش، تعاریف و واژگان را معرفی و بازتعریف کرده‌اند. مفاهیمی از قبیل هندسه‌ی پیدا و پنهان گره، سلول، واحد پایه و مفهوم دگردیسی هندسی که در ادامه بیان شده است.

۲. رابطه: پس از شفاف ساختن تعاریف فنی، چارچوبی سیستماتیک از رابطه بین گزاره‌ها، مسیر طولانی دستیابی به سامانه‌ی منطقی را هموار می‌کند (گروت و وانگ، ۱۳۸۴.۳۲۲). ابتدا بر روی آنالیز و کشف اجزا بنیادین الگوی هندسی گره پرداخته می‌شود، سپس بازتولید و خلق الگوی هندسی جدید بر اساس هندسه‌ی پنهان گره سنتی تحلیل می‌شود. در این قسمت با استفاده از مدل‌های ترسیمی و هندسی به کشف فرایند تغییر هندسی الگوی گره بر اساس تغییر کوچک‌ترین جز گره در نمونه‌ی موردي پرداخته می‌شود. در این بخش به تحلیل دقیق هندسی مصدق‌های بر اساس روش‌های ترسیمی و دستگاه‌های هندسی پرداخته شده است.

۳. بیان: در این مرحله به کمک تدابیری از قبیل مدل‌های فنی، دستگاه‌های ریاضی و یا دیاگرام‌های مفهومی، انتقال مفاهیم صورت می‌گیرد. در این بخش نتایج یافته‌های پژوهش با نرم‌افزار تبدیل به نمودارها و دیاگرام‌های مفهومی شده است. تحلیل یافته‌ها در بخش اول توسط تحلیل‌های هندسی و ریاضی و در بخش دوم با استفاده از نرم‌افزار اکسل و SPSS صورت گرفته است.

پیشنهاد پژوهش

در زمینه‌ی تربیبات هندسی اسلامی، نظریه‌پردازهایی چون ارلان، بختیار، بورکهارت و نصر از جنبه‌ی ماورای طبیعی به موضوع پرداخته‌اندو از بعد ریاضی و هندسی می‌توان به کرومول و کریچلو اشاره کرد (خوارزمی، ۱۳۹۲، ۱۴). در مورد پژوهش‌های داخلی، در منابع چاپ شده در باب گره‌های اسلامی، بررسی‌های انجام شده به اصول ترسیم سنتی گره پرداخته‌اند که در بحث شناخت هندسی گره بسیار مفید است، مانند کتاب‌هایی چون طرح و اجرای نقش در کاشی کاری ایران دوره‌ی اسلامی

گره‌هایی توانند در درون خود بیپیچند و ادامه‌ی بیان؛ این موضوع ممکن است نشان دهد که یک نقش فقط به مثابه بافت برای نما استفاده نمی‌شود بلکه طرح کلی پلان و نما خودش را پای نقش در مقیاس خیلی بزرگ تر هست (رضازاده، اعتصام، کامل نیا و خوشنویس، ۱۳۹۹، ۲)، به این معنی که در فرایند شکل گیری‌بنا، الگوی نقش در هندسه‌ی پنهان و دویعده شکل می‌گرفته و در قدم بعدی توده و فضا بر اساس این هندسه‌ی پنهان در هندسه‌ی پیدای سه‌بعدی آشکار می‌شند؛ به صورتی که پلان‌های پایه و ناماها از منطق و هندسه‌ی پنهان نقش و گره حاصل شده‌اند و سپس در بعدهای افقی و عمودی به منظور خلق توده و فضا، اکستروه شده‌اند (همان، ۹)؛ همین تکنیک در طراحی یادمان‌هایی معاصر ایران نیز به کار رفته است که در ادامه بحث خواهیم کرد.

پرسش‌های پژوهش

الگوی هندسی گره از چه طریقی در یادمان‌هایی معاصر ایران در دهه‌ی سی و چهل شمسی جاری شده است؟ گره چه نقشی در شکل گیری الگوهای ساختار دهنده و آرایش دهنده‌ی فرم یادمان‌هایی دارد؟ چگونگی شکل جاری شدن هندسه گره و فرایند دگردیسی از شکل سنتی به معاصر؟

روش پژوهش

در پژوهش حاضر آنالیز دگردیسی الگوهای هندسی سنتی گره با استفاده از تحلیل هندسی ارائه شده است. این روش چگونگی استفاده از هندسه سنتی در المان‌های معاصر را بررسی می‌کند و در نهایت عملیات دگردیسی را بر اساس تغییر کوچک‌ترین جز گره (واحد پایه) تحلیل می‌کند؛ و بر اساس نظریه‌ی الگوی سالینگاروس کاربرد الگوی هندسی

حاصل نگردیده است.

هم‌چنین در مقالات بین‌المللی می‌توان به مقاله‌ی «تناسبات هندسی: ساختار فرایند طراحی برای الگوهای معماری اسلامی (گره)» اشاره کرد در این مقاله، دابور (۲۰۱۲) به فرایند تحلیل هندسه‌ی پنهان و ایده‌هایی که الگوهای گره از طبیعت گرفته است می‌پردازد. ابراهیمی و علی‌آبادی (۲۰۱۵) در مقاله‌ای با عنوان «نقش ریاضیات و هندسه در شکل‌گیری معماری ایرانی» اثیر الگوی گره بر ساختار شکل‌دهنده‌ی معماری بررسی می‌شود. مامون سکال (۲۰۱۸) در مقاله‌ی «مربع‌های متقاطع: هندسه‌ی کاربردی در معماری» فرایند تحلیل جالبی از الگوهای هندسی ارائه می‌دهد که در مطالعات پژوهش‌های هندسی کاربرد دارد. هم‌چنین باریوس و الانی (۲۰۱۵) در مقاله‌ی «آنالیز پارامتریک طرح‌های هندسی اسلامی» روی تحلیل پارامتریک الگوهای هندسی گره‌های اسلامی به وسیله‌ی ایزوله کردن سلول گره کار کرده‌اند. مهدوی‌نژاد و همکاران (۲۰۲۳) کاربردهای الگوهای گره را در بستر مورد تحلیل قرار دادند، جدول (۱).

مبانی نظری پژوهش

با توجه به اینکه، در سرزمینی زیست می‌کنیم که معماری کهن و بسیار ارزشمندی دارد، در نتیجه شناخت، کشف و معاصرسازی الگوهای معماری ایرانی می‌تواند برای معماران ایرانی شروع مسیری باشد که مشابه همتایان خود در گذشته شاهکارهای ماندگاری خلق کنند. در این میان الگوهای هندسی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ به منظور درک، کشف و تحلیل روابط بین هندسه و معماری، یک روش دقیق ارائه، لازم است؛ چراکه دستگاه‌های هندسی چه در فرم سه‌بعدی و پیمای معماری

(ماهرالنقش، ۱۳۶۱)، گره چینی در معماری اسلامی و هنرهاستی (زمرشیدی، ۱۳۶۵) و گره و کاربندی (شعراف، ۱۳۸۵) که از نمونه‌های ارزشمند داخلی در زمینه‌ی گره هستند. در نمونه‌های خارجی می‌توان به کتاب نجیب‌اگلو (۱۹۹۶) با عنوان هندسه و تزیین در معماری اسلامی اشاره کرد. کتاب هندسه و نقش ریاضیات و هندسه در هنر اسلامی اثر عصام سعید و عایشه پارمان نیز پرداخت خوبی به موضوع داشته‌اند. در مقالات داخلی که در باب گره‌های اسلامی کار شده‌اند، گروه محدودتری، به شکل معاصر گره در بنا اشاره کرده‌اند که می‌توان به چند نمونه اشاره کرد. نوریان و کسرایی (۱۳۹۵) در مقاله «مقایسه گره‌های سنتی و الگوهای معاصر اسلامی با تمرکز بر کاربرد در معماری معاصر»، با بررسی جمله روش‌های سنتی و معاصر طراحی گره‌های هندسی به این نتیجه می‌رسند که میان روش‌های سنتی و پژوهش‌های معاصر تفاوت‌هایی در رویکرد و روش طراحی وجود دارد. روش‌های سنتی طراحی گره‌های هندسی در تفاوتی عمدۀ با یافته‌های پژوهشگران غربی بر هندسه و ویژگی‌های بستر طراحی گره تکیه دارند. این گره‌ها با به کارگیری اصول دستگردانی از سوی معمار سنتی، به صورت چند زمینه و در تناسب با شکل هندسه بستر طراحی می‌شوند.

منتظر و سلطان‌زاده (۱۳۹۷) در مقاله‌ی «بازتاب نقش پنج ضلعی منتظم در تنوش هندسی معماری ایران» به تأثیر شکل‌های خاص در واحد پایه‌ی گره می‌پردازد؛ و نیز حیاتی (۱۳۹۵) در مقاله‌ی «بررسی ویژگی‌های هندسی گره در معماری اسلامی» نتیجه‌گیری می‌کند که ویژگی‌هایی هندسی گره‌ها، قابل قیاس با ویژگی‌های هندسی فرکتال است که این ویژگی‌های در هندسه‌ی تزیین‌های اسلامی به صورت تصادفی

جدول ۱. کاربردهای الگوی گره در بنایهای سنتی. مأخذ: (Ranjazmay Azari, Bemanian, & Mahdavinejad, 2023)

نمونه‌ها	نمونه‌ها	مکان	کاربرد
		دیوار / سقف: مقرنس، یزدی بندی	زیبایی‌شناسی
		ورودی، پنجره، جداگانه‌های ارسی	پایداری
		کاربندی، گند، مقرنس	سازه‌ای

در تحلیل پیش رو منظور از الگوهای ساختار دهنده، نظام کلی و غالباً پنهانی است که هماهنگ کننده‌ی کل اجزا بنا با هم است که مصدق آن در نمونه‌های موردنی، هندسه پنهان و پیدای سه‌بعدی در ساختار اصلی پلان و ساختار کلی حجم و توده‌ی بنا، مدنظر است. درواقع هندسه و نظم اصلی که ساختار توده را شکل می‌دهد (هندسه پنهان و پیدای پلان و فرم و حجم بنا).

الگوهای آرایش دهنده و الگوهایی که ساختارها را می‌آرایند در معماری ایرانی دریابی می‌کرآن است. در این نوشتار، الگوهای آرایش دهنده، هندسه پیدا و پنهان دو بعدی گره‌های ایرانی (دستگاه هندسی و حسابی تریبیتات) در نظر گرفته شده است: (بافت و الگوهای شکلی). در معماری سنتی دستگاه هندسی و حسابی گره‌ها در هر سه مقیاس در طیف الگوها، در بنا کاربرد داشته‌اند.

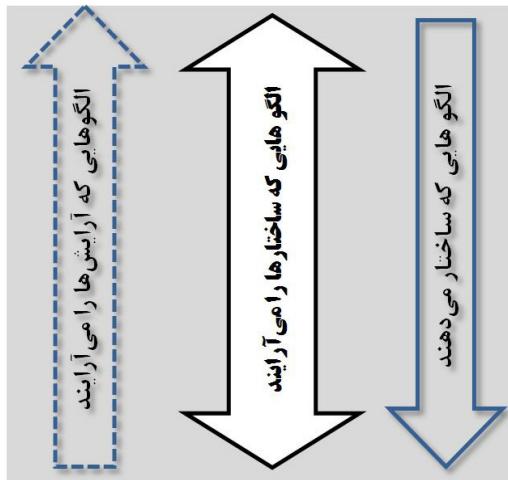
در جدول (۲) کاربرد الگوی گره بر اساس سه طیف الگوها، در بناهای سنتی نشان داده شده است؛ مقیاس اول الگوی هندسی گره در نقش ساختار دهنده است، زمانی که گره در نقش سازه‌ای و شکل دهنده اصلی فضای کار برده شده است در این نقش نما و سازه از هم جدا نیستند. مقیاس دوم، گره در نقش الگوهایی که سقف، عناصر سازه‌ای و فرم اصلی را آرایش می‌دهند به کار رفته است. در طیف اول و دوم، الگوهای هندسی گره در هندسه سه‌بعدی بسیار تأثیرگذار بوده‌اند. زمانی که گره فقط به صورت دو بعدی و فقط در نقش آرایش دهنده در بنا جاری می‌شود در مقیاس سوم الگوها قرار می‌گیرد.

این پژوهش با استفاده از نظریه سالینگاروس در باب الگوها، کاربرد الگوی هندسی گره را در هندسه پنهان و پیدای یادمان‌هایی معاصر تحلیل می‌کند؛ و به این موضوع می‌پردازد که الگوی هندسی گره در نظریه الگوها در چه طیفی قرار می‌گیرد، آیا الگوی هندسی گره در بناهای معاصر مانند معماری سنتی می‌تواند در سه طیف الگوها کاربرد داشته باشد؟

و چه در دو بعدی و پنهان، عنصر سامان دهنده و نظم دهنده در معماری ایرانی هستند. این پژوهش در بین دستگاه‌های هندسی معماري ایرانی به الگوی هندسی گره‌های اسلامی و چگونگی بازتولید این الگو در یادمان‌هایی معاصر می‌پردازد.

در تصویر (۱) ارتباط کلی الگوهای ساختار داده شده است. در این تصویر، الگوهای ساختار ساز وجود دارند که در ابتدای طیف الگوها قرار می‌گیرند، سپس الگوهای با مقیاس کوچک‌تر و اعتباری‌تر که اجزای این ساختارها محسوب می‌شوند و پس از آن الگوهایی که در انتهای طیف این اجزا قرار دارند و ساختار الگوهای بزرگ‌تر از خود را می‌آرایند، جای گرفته‌اند (رضازاده، ۱۳۹۹).

الگوهای حقیقی ساختار دهنده، و الگوهای اعتباری آرایش کننده‌اند



تصویر ۱. نمودار کلی ساختار و ارتباط الگوهای با یکدیگر و وزن قرارگیری آن‌ها در طیف الگوها.
مأخذ: (سالینگاروس، ۱۳۸۷، ۹۰)

جدول ۲. کاربرد گره در بناهای سنتی با در نظر گرفتن مقیاسی که گره در طیف الگو داشته است.

الگوهایی که آرایش را می‌آرایند	الگوهایی که ساختارها را می‌آرایند	الگوهایی که ساختار می‌دهند

پیش‌ورودی مسجد امام اصفهان

مسجد جامع بزد	تیمچه امین‌الدوله بازار کاشان	تیمچه مظفریه بازار تبریز

می‌نماییم؛ با توجه به مکانی که این هندسه در بنا جاری می‌شود، پیدای دوبعدی و یا پیدای سهبعدی شکل می‌گیرد (تصاویر ۲، ۳).

واگیره (سلول): کوچکترین جزء قابل تکرار هر گره است که در یک چارچوب مشخص به روشنی معین ترسیم می‌شود (رضازاده، اعتماص، کامل نیا و خوشنویس، ۱۳۹۹، ۵). واگیره به تنها یکی در اجرای گره به کار نمی‌رود، بلکه پس از تکرار در جهت‌های خاص، گره نمایان می‌شود؛ در پژوهش‌های معاصر به این جز از گره، سلول گره نیز می‌گویند.

زمینه گره: قسمتی از گره است که از تکرار سلول گره حاصل می‌شود و همه‌ی ویژگی‌های گره در آن آشکار است. (همان، ۲۰) واحد کل گره را، هم می‌توان به تنها یکی در اجرای گره به کار گرفت و هم در چارچوب وسیع گسترش داد (تصویر ۴).

واحد پایه‌ی گره (آلت گره): عبارت است از هر واحد از مجموع نقوش و شکل‌های هندسی که در یک سلول قرار گرفته باشد؛ لذا واحد کار در گره چینی و گره‌سازی را آلت گره می‌گویند. در واقع آلت، کوچکترین جز هندسی گره است.

زمانی که این عناصر (تشکیل دهنده‌ی گره) تغییر داده می‌شوند خلق الگوی جدید امکان پذیر می‌شود، تغییرات با تغییر هندسه‌ی سلول (واگیره) و یا ساختار کلی الگو (واحد) می‌تواند ایجاد شود. تمرکز این پژوهش بر تغییرات واحد پایه (آلت گره) است.

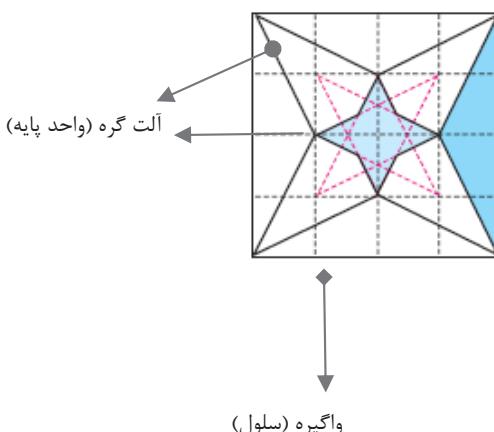
شناخت و تحلیل واحد پایه (آلت): در بسیاری از نمونه‌های گره امکان بررسی الگوی هندسی سلول‌ها و یافتن تقارن هندسی سلول وجود دارد؛ در فرایند تجزیه سلول به واحدهای کوچک‌تر تاریخی که به قسمت نامتقارن (غیرقابل تکرار) دست پیدا کنیم، واحد پایه به دست می‌آید. واحد پایه در سلول، گروهی از عناصر و اشکال هندسی با اجزا غیرقابل تکرار هستند (Alani, 2015, 2). تصویر (۵) یک سلول و استخراج جزء نامتقارن هندسی (واحد پایه) را نشان می‌دهد. در اصول و مبانی هندسی الگوهای گره، کوچکترین موتیوی که قابل دستیابی با تقارن نیست را واحد پایه می‌نامند، بهطوری که در صورت تکرار با سیستم گره، واحد گره تولید نمی‌شود به این معنا که وقتی واحد پایه تکرار می‌شود زمینه‌ی

تحقیقات زیادی در باب این سؤال که چطور هم‌زمان الگوهای سنتی و جدید گره را در یک بنا خلق کنیم به شکلی که هم یادآور شکل سنتی معماری باشد و هم زیبایی‌شناسی جدید را ارائه کند، انجام نگفته است؛ این پژوهش، هندسه را به عنوان یکی از ابزار اتصال معماری قدیم و جدید بررسی می‌کند و به فرایند چگونگی تغییر الگوی هندسی گره می‌پردازد؛ در واقع چگونگی بازتولید الگوی هندسی گره به شکل معاصر، مستله‌ی پژوهش حاضر است. در بحث پیش رو از لایه‌های پنهان هندسی بهمنظور درک فرایند تغییر الگوی گره بر اساس اجزا و عوامل گره کمک گرفته شده است این فرایند تدریجی تغییر را در این بحث، دگردیسی هندسی گره نام‌گذاری کردیم. در این مقاله به عوامل معنایی و مفاهیم فلسفی گره و یادمان پرداخته نشده است؛ بلکه به چگونگی استفاده‌ی الگوی هندسی گره در یادمان‌هایی معاصر ایران از جنبه‌ی هندسی و ریاضی پرداخته می‌شود.

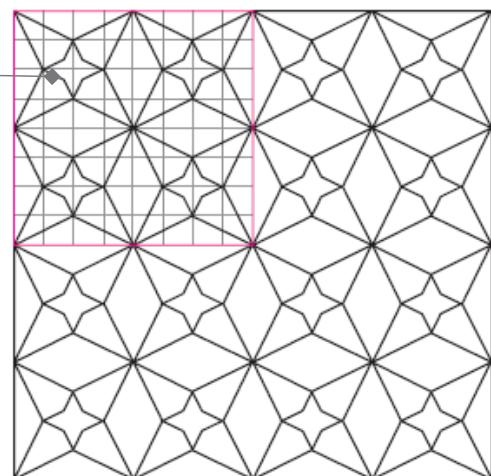
بیان مفاهیم

نقش هندسی یا گره: نقش هندسی که اهل فن آن را «گره» می‌نامند، یک شاخه از هنر نقش‌پردازی اسلامی را تشکیل می‌دهد. در بیشتر گره‌های مرکز، عامل نظم‌دهنده‌ی مهمی است؛ این کیفیت، حاصل دوران آلت‌های گره در دوایر مختلف و سلسله‌مراتب معینی به دور آلت مرکزی یعنی «شمسه» است. آلت‌های گره در عین هماهنگی کامل با یکدیگر دارای شخصیت و استقلال نیز هستند و هر یکی نامی دارند که بر طبق آن، شکل، زاویه و نسبت اندازه‌های در آلت مذبور معلوم می‌شود (نوایی، ۱۳۹۰، ۱۷۶). در یک گره ممکن است شکل یک آلت را، در یک محدوده‌ی وسیع، شامل آلت‌های متعدد مشاهده کنیم (همان، ۱۷۶)؛ این ویژگی، هر جز را به صورت یک کل جلوه‌گر می‌سازد و اصل شباهت جزو کل را در معماری ایرانی، به یاد می‌آورد که این پژوهش زیرنقش‌هایی که بهمنظور رسیدن به نقش اصلی گره ارتباط جزو کل هست؛ جزوی که خود، کل را رقم می‌زند.

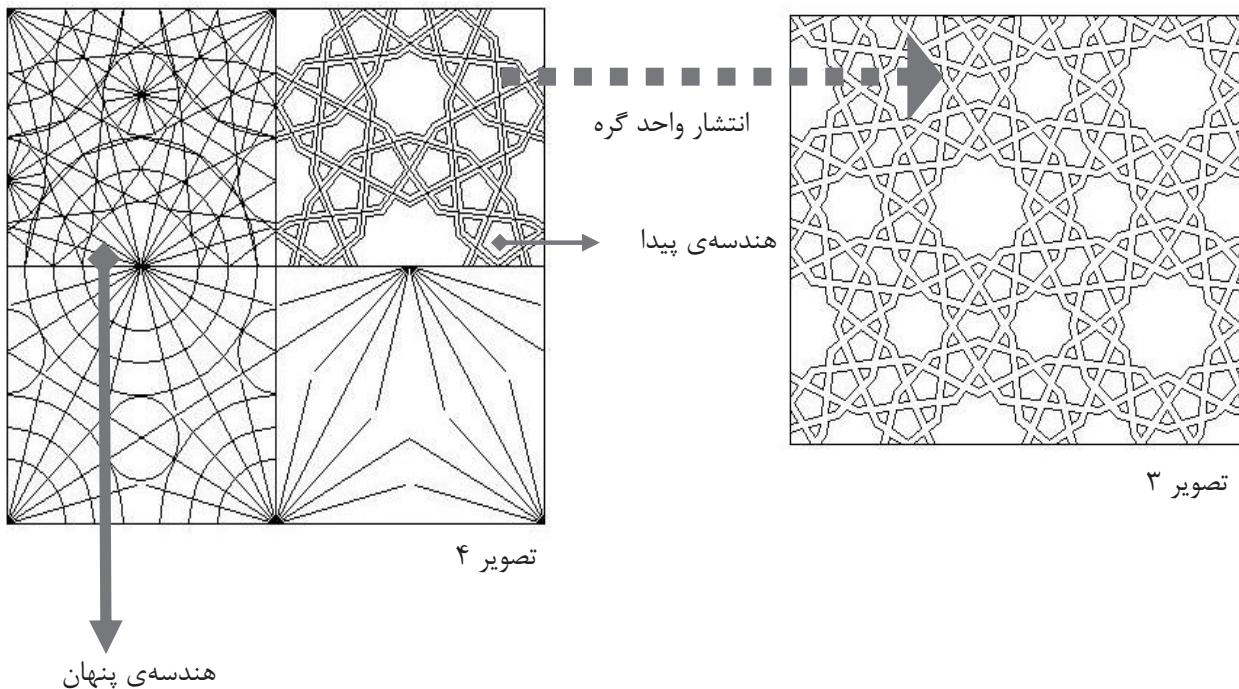
گره اقسام دوبعدی و سهبعدی دارد که همه از زیرنقش‌های مشابهی (هندسه‌ی پنهان مشترک) به دست می‌آید (رضازاده، اعتماص، کامل نیا و خوشنویس، ۱۳۹۹، ۹)؛ بنابراین مقرنس نیز نوعی گره است. (همان، ۹). در این پژوهش زیرنقش‌هایی که بهمنظور رسیدن به نقش اصلی گره ترسیم می‌شوند، هندسه‌ی پنهان و نقش اصلی و نمایان را هندسه‌ی پیدا



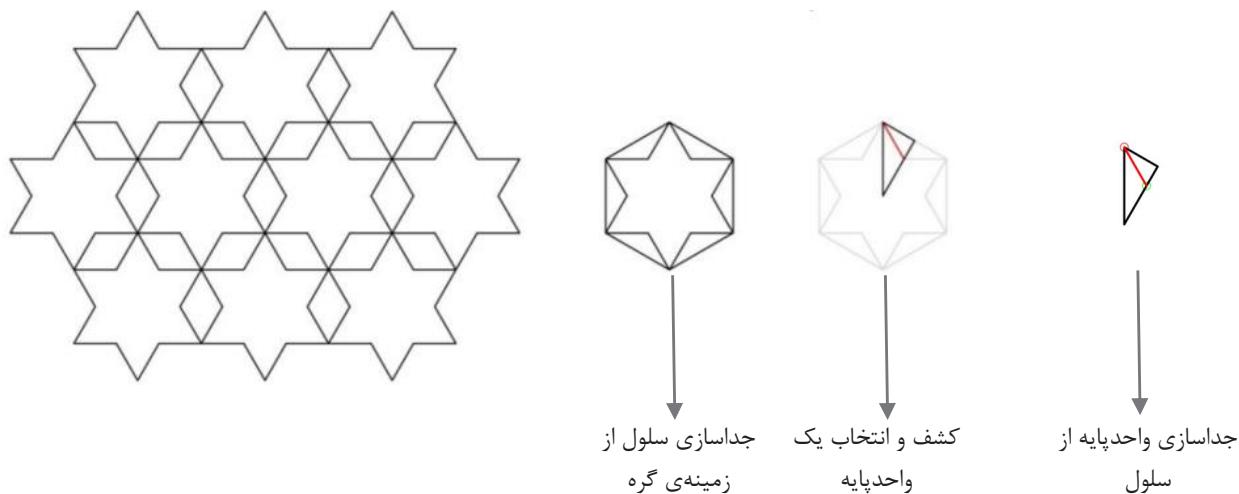
واحدک گره (زمینه)



تصویر ۲. اجزاء عناصر گره (گره هلوزو چهارلنگه)، مأخذ: (شعریاف، ۱۳۷۷)



تصویر ۳. فرآیند تبدیل هندسه‌ی پنهان به پیدا. مأخذ: (رضازاده، اعتضام، کامل‌نیا و خوشنویس، ۱۳۹۹)



تصویر ۵. ایزوله کردن اجزا هندسی گره: سلول و واحدپایه جدا از بستر گره. مأخذ: (Alani, 2015, 7)

آن بهمنظور احیا و دوباره ساختن الگوی مربوطه کار کرده‌اند. در این پژوهش این تحلیل را بهمنظور تحلیل تغییرات الگوی هندسی گره بر روی بنایه‌ای معاصر بررسی می‌کنیم. ایزوله کردن هندسی به معنای ترسیم جدالگانه هندسه‌ی مورد نظر خارج از زمینه و بستر موجود می‌باشد؛ به طور مثال ایزوله کردن سلول به معنای ترسیم هندسه‌ی سلول جدای از بستر گره هست؛ و ایزوله کردن واحدپایه به معنای ترسیم واحدپایه خارج از سلول تصویر (۶). در ادامه مدل ارائه بهمنظور ساخت الگوهای هندسی با ویژگی‌های قابل تغییر ترسیم شده است (تصاویر ۶-۸).

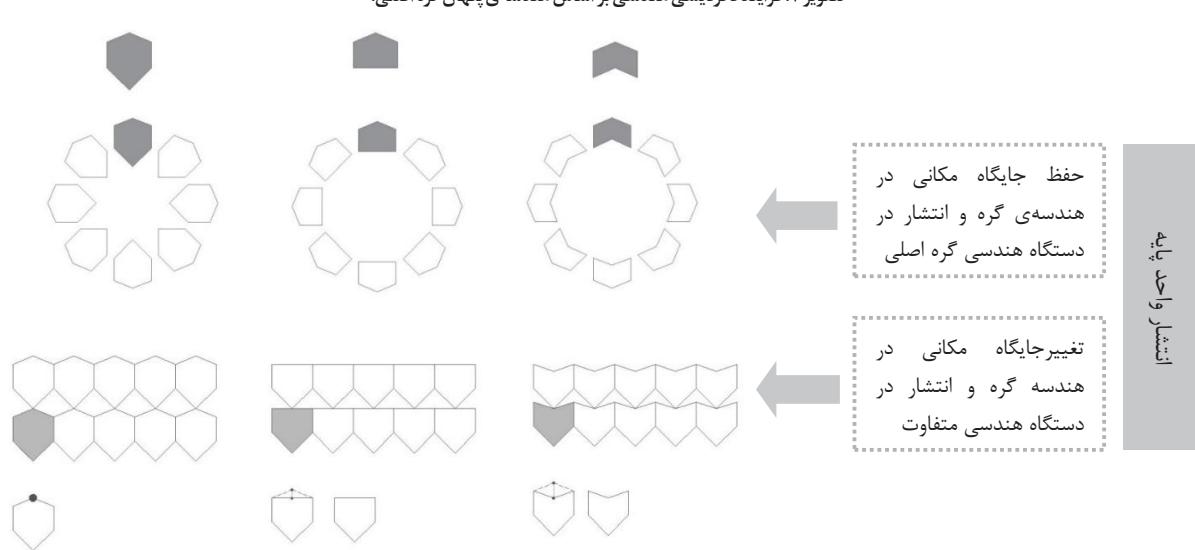
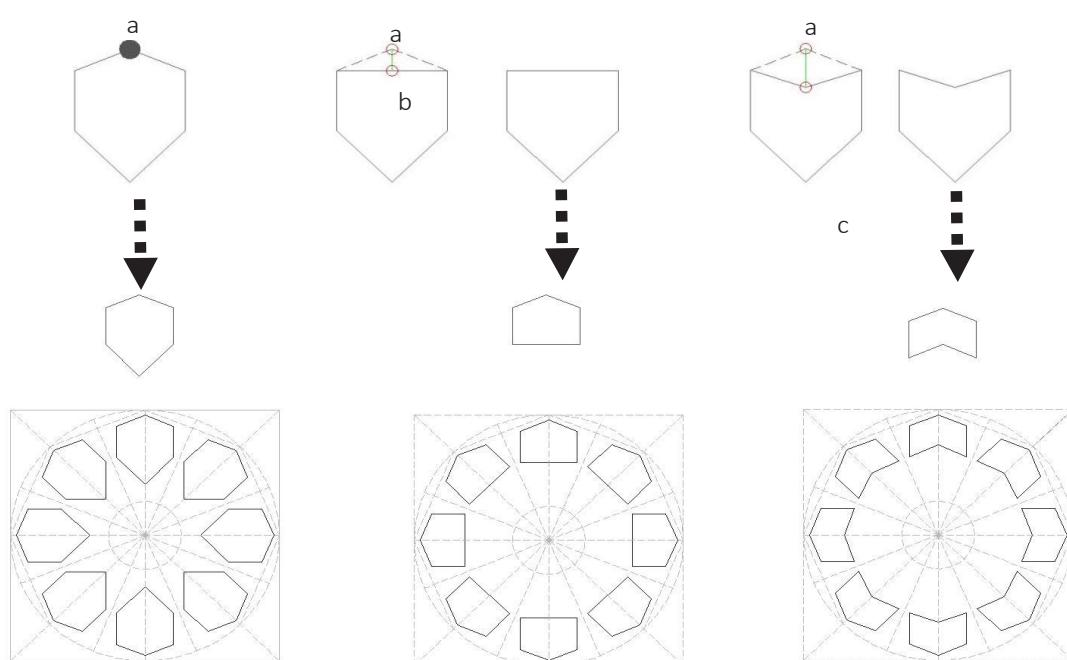
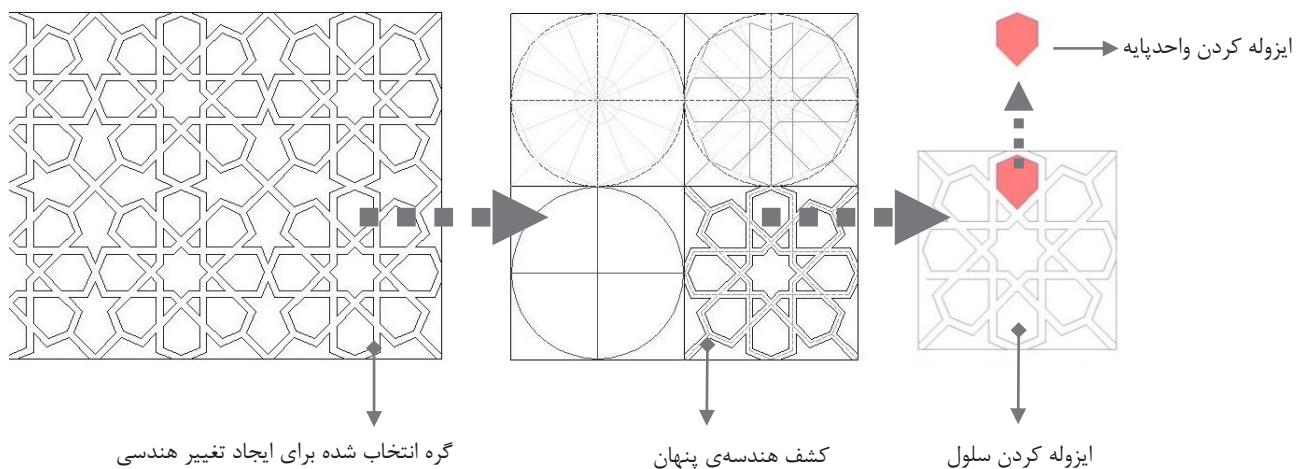
در تصویر (۷) یک نمونه‌ی ساده از جداسازی و تغییر نقاط در واحد پایه نشان داده شده است. در این تصویر رأس‌های شکل آلت گره بهمنظور تغییر هندسی واحدپایه به جایه‌جا شدند. در تصویر (۹) نقطه‌ی (a) در

گره به دست نمی‌آید در صورتی که با تکرار سلول گره، زمینه‌ی گره ایجاد می‌شود.

بر اساس تحقیقات انجام‌شده سلول ناحیه‌ای است همراه با موتیوهایی که برای خلق کل هندسه ممکن است تکرار شوند، در صورتی که واحدپایه، جزئی از یک ترکیب‌بندی هندسی تکرار شده است. تفاوت دو هندسه این است که سلول یک طرح نامحدود خلق می‌کند در حالی که واحدپایه این چنین نیست (همان، ۲)؛ بنابراین بین سلول و واحدپایه از نتایجی که آن‌ها بعد از تکرار خلق می‌کنند تفاوت قابل می‌شویم.

مقدمه‌ای بر چگونگی ایجاد تغییر در الگوی هندسی گره

همان‌طور که در پیشینه‌ی پژوهش اشاره شد برخی از محققین بر روی تحلیل هندسی گره‌های اسلامی به‌وسیله‌ی ایزوله کردن سلول و انتشار





تصویر ۹. نمودار معرفی بنا.

معماری گذشته، به شکل جدیدی جاری شده است (جدول ۳). این بناهای، به فراخور تفاوت در جنبه‌ها و عوامل مختلف، قابل تحلیل و بررسی می‌باشند؛ در این پژوهش از منظر چگونگی کاربرد هندسه‌ی گره و تغییر الگوی هندسی موربدی ثابت شد.

تحلیل نمونه‌های موردی پژوهش

ابتدا آنالیز هندسی دو نمونه از یادمان‌ها بهتفصیل بیان می‌شوند. در مقبره حافظ گره به شکل سنتی خودش به کار گرفته شده است؛ و در یادمان خیام گره از حالت سنتی خودش خارج شده است و معاصر سازی شده است.

در ادامه، تحلیل‌های با رسم شکل و نقطه‌یابی هندسی بهتفصیل توضیح داده شده است.

مراحل تحلیل هندسی نمونه‌های موردی؛

- تحلیل هندسه‌ی پنهان دوبعدی و ترسیم ساختار تشکیل دهنده گره؛
- زمینه و بستر گره، سلول (واگیره)؛
- ایزوله سازی سلول و واحد پایه گره؛
- تحلیل هندسه‌ی پیدای دوبعدی و سه بعدی؛
- چگونگی جاری شدن هندسه‌ی پنهان و پیدا در ساختار و آرایش بنا؛
- بررسی مکان و مقیاس کاربرد الگوی گره در بنا.

آرامگاه حافظ

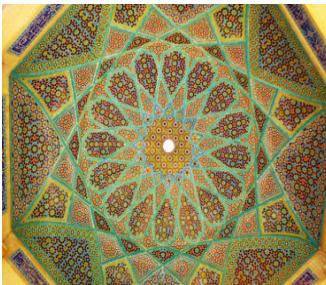
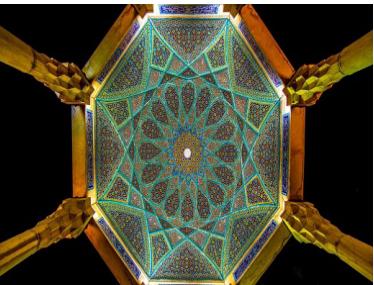
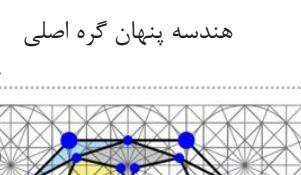
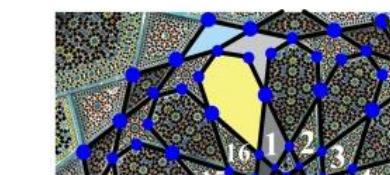
در تصویر (۱۰) هندسه‌ی گرهی بکار رفته در سقف ترسیم شده است، هندسه‌ی پنهان و پیدا ترسیم شده‌اند و آلت‌های گره مشخص شده‌اند.

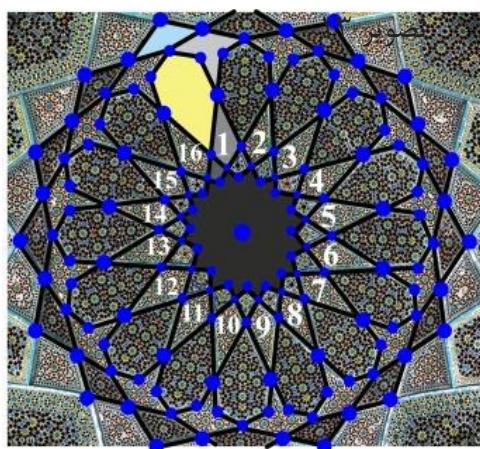
واحد پایه به نقطه‌ی (b) و در نمونه‌ای دیگر به نقطه‌ی (c) انتقال یافته است، با این جایه‌جایی به آلت جدید می‌رسیم و واحد پایه تغییر می‌کند؛ در نهایت هندسه‌ی سلول و طرح کل الگو تغییر می‌کند (ایجاد تغییر در واحد پایه به کل گره انتقال پیدا می‌کند)؛ این تغییر تدریجی را در این پژوهش، دگردیسی هندسی اطلاق می‌کنیم.

تعريف و شناخت نمونه‌های موردی پژوهش

در دوره‌ی معاصر برای رسیدن به الگوی ایدئوگرافی یکی از راه‌های منطقی، تحلیل آثار موفق در ایجاد معماری معاصر با هویت ایرانی است. یادمان گرانی، یکی از گرایش‌های تاثیرگذار در معماری معاصر به شمار می‌رود. معماری یادمانی نوعی از معماری است که آن را اوج طراحی معماري دانسته‌اند (مهدوی‌نژاد، بهرامی، ۱۳۹۳، ۱) . در دوره‌ی معاصر معماری ایران نیز یکی از بهترین معماری‌ها در یادمان‌های دهه‌ی سی و چهل شمسی (دوره‌ی پهلوی اول و دوم) بروز کرده است. تمامی یادمان‌های آرامگاهی ایران معاصر در این دهه‌ها زیر نظر و به سفارش «انجمن آثار ملی» طراحی و ساخته شده‌اند (خواجه سعید، بليلان اصل، ۱۴۰۲) . این انجمن در دوره فعالیت خود در حدود ۳۰ یادمان آرامگاهی طراحی و یا مرمت کرده‌اند. نمونه‌های موردی این پژوهش یادمان‌هایی هستند که به‌منظور بزرگداشت شخصیت‌های فرهنگی و ادبی ایران زمین طراحی و ساخته شده‌اند (تصویر ۹). معیار انتخاب این نمونه‌ها پراکندگی جغرافیایی، پراکندگی در دوره زمانی موردنظر پژوهش، در دسترس بودن اسناد و مدارک و موجود بودن منابع معتبر برای بررسی زمینه طراحی و ساخت این بناهاست. در این یادمان‌ها،

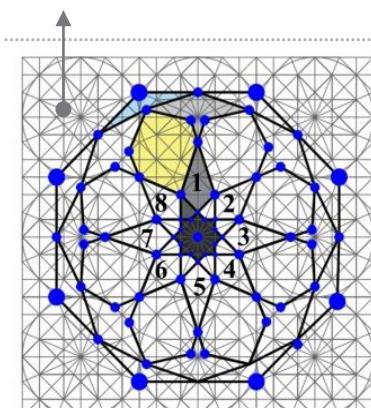
جدول ۳. شناخت نمونه‌های موردی.

ردیف نام بنا	ساختمان کلی حجم	هنر سقف	بافت، رنگ و شکل آرایه‌ها
۱ باباطاهر			
			
۲ حافظ			
			
۳ سعدي			
			

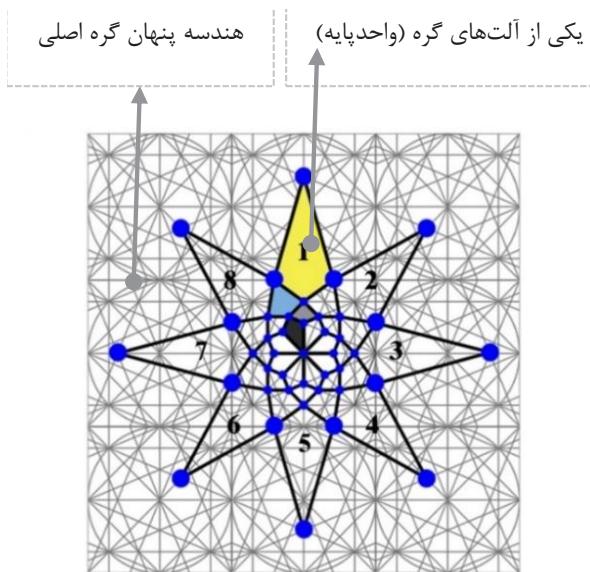


تصویر ۱۱. هندسه پیدا و پنهان زیر سقف.

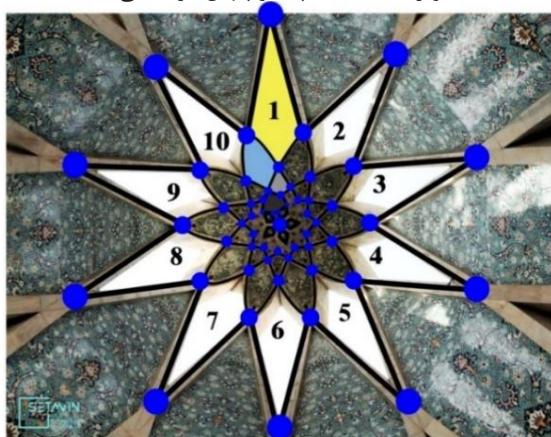
هندسه پنهان گره اصلی



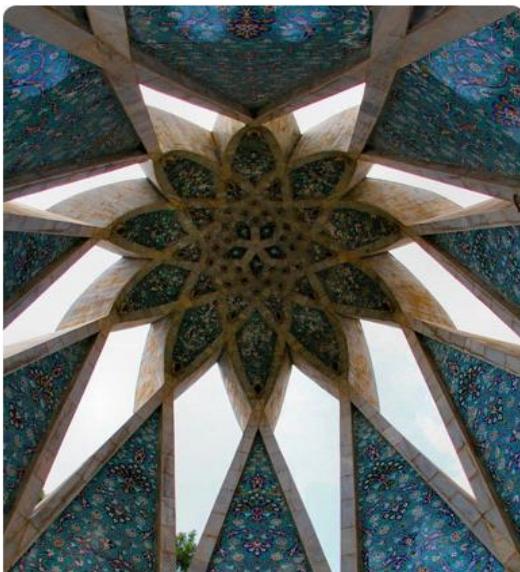
تصویر ۱۰. هندسه پیدا و پنهان الگوی هندسی گره.



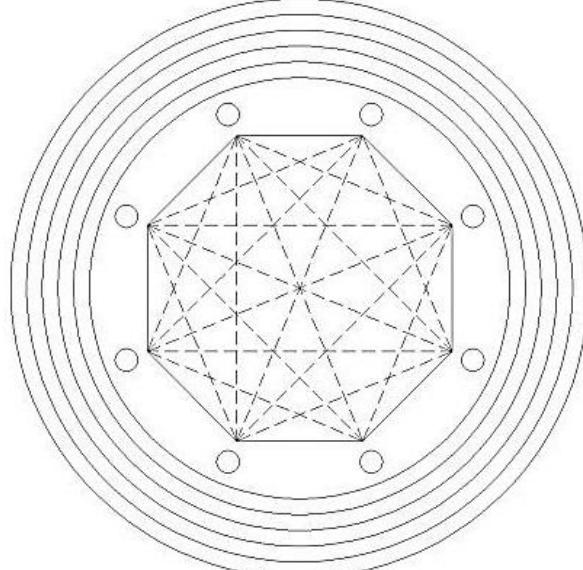
تصویر ۱۴. هندسه پیدا و پنهان گره اصلی.



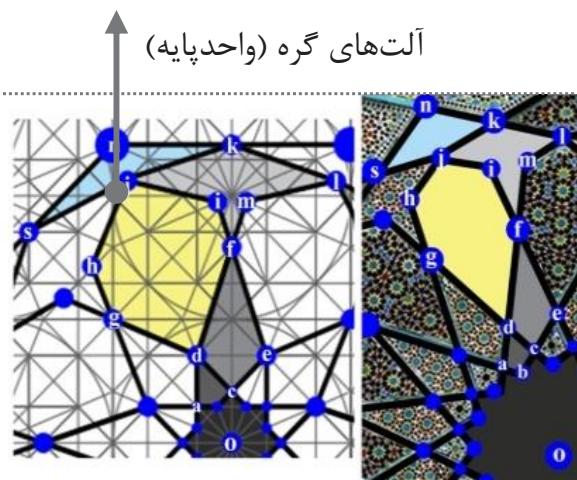
تصویر ۱۵. هندسه پیدا و پنهان زیرسقف آرامگاه و انتخاب واحد پایه که بر اساس این واحد، فرم المان گرفته است.

تصویر ۱۶. تغییر بعد گره از دو نمودار به سه بعدی.
مأخذ: (<http://en.irna.ir/news/Khayyam-s-school-of-thought>)

الگوی هندسی گره فقط در هندسه‌ی زیر سقف بکار گرفته شده است (تصویر ۱۱) و این الگو ساختار اصلی سقف را آرایش می‌دهد؛ فرم گره نقش سازه‌ای ندارد. همان‌طور که می‌بینیم گره در طرح، رنگ و مکان جاری شدن در سقف مشابه الگوی سنتی، به کار گرفته شده است.



تصویر ۱۲. پلان آرامگاه.



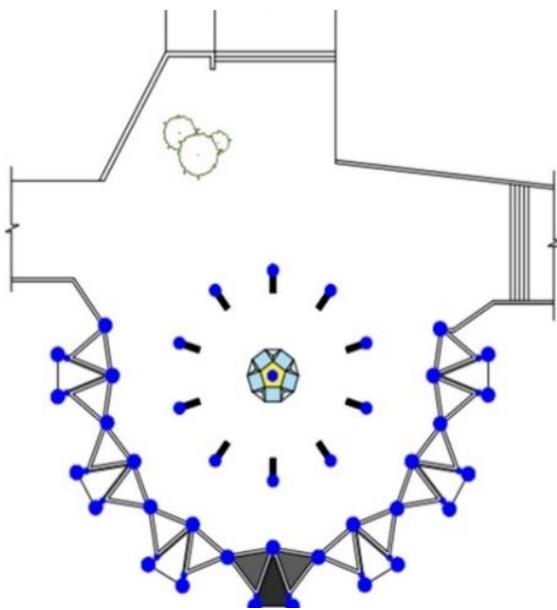
تصویر ۱۳. نمایش واحدهای پایه در سلول.

آرامگاه خیام

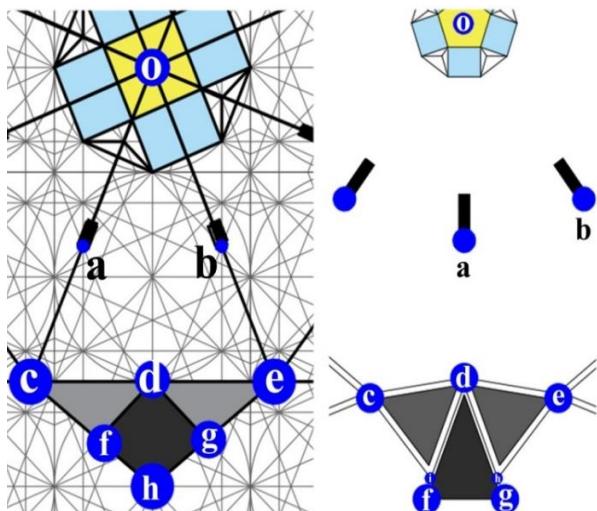
تحلیل الگوی هندسی زیر سقف یادمان

در تصویر (۱۴) هندسه پیدا و پنهان گره اصلی در سقف مقبره ترسیم شده است همچنین واحد پایه (آلت) که بر اساس این واحد، فرم المان شکل گرفته است، مشخص شده است. در تصویر (۱۵) با جایگذاری هندسه گره بروی سقف، دگردیسی هندسی گره بررسی شده است.

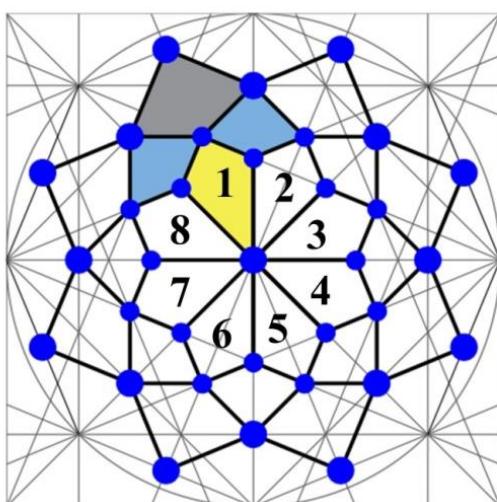
با بررسی تمام اجزا و جایگذاری نقاط کلیدی هندسه گره، تغییرات هندسی محسوس می‌گردد. تغییر بعد گره از دو بعدی به سه بعدی در تصویر (۱۶) نشان داده شده است؛ همچنین تغییر مقیاس واحد پایه گره و در ادامه تغییر مقیاس کل گره صورت گرفته است (تصاویر ۱۷-۱۸).



تصویر ۲۰. جاری شدن الگوی هندسی گره در سایت پلان.



تصویر ۲۱. بزرگنمایی و نامگذاری تصاویر ۱۹ و ۲۰.



تصویر ۲۲. هندسه‌ی پیدا و پنهان نما از بالا.



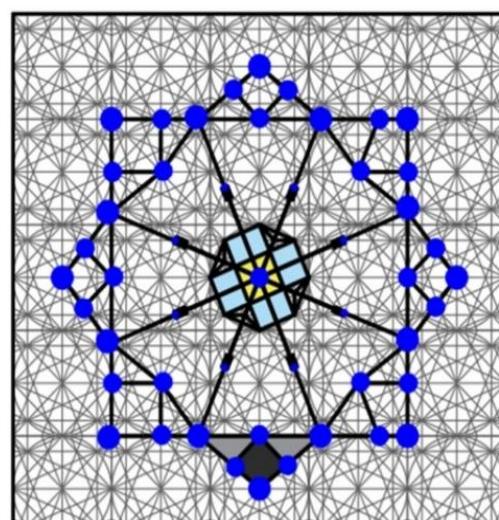
تصویر ۱۷. نمایی از سایت. مأخذ: (irangard.com/mag)



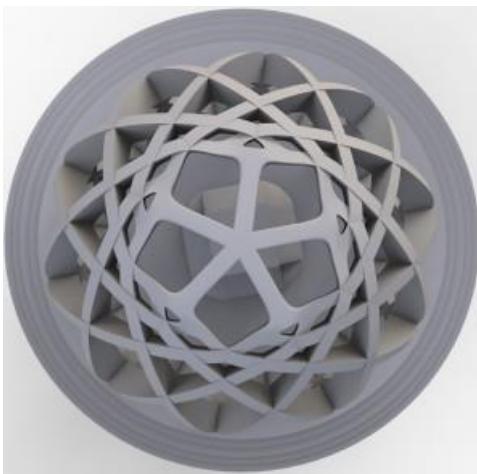
تصویر ۱۸. فرم مقبره. مأخذ: (en.irna.ir/news/Khayyam-s-school-of-thought-)

جاری شدن الگوی گره در هندسه‌ی حجم و سایت پلان

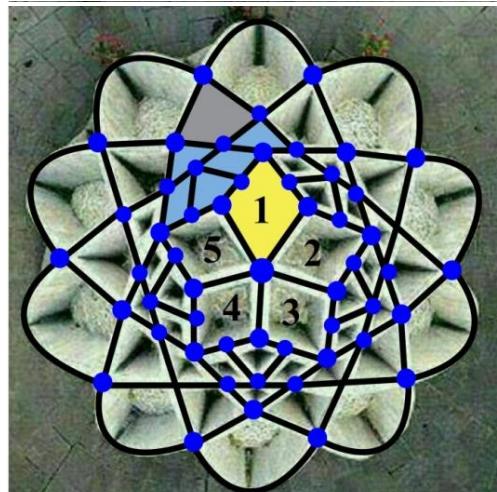
تصاویر (۱۹) تا (۲۱) به جاری شدن الگوی هندسی گره در سایت پلان می‌پردازد، همان‌طور که در تصاویر مشاهده می‌کنیم هندسه‌ی گره در مقیاس سایت پلان نیز قابل مشاهده است؛ موقعیت مقبره در هندسه‌ی پلان مشخص شده است. در تصویر (۲۲) هندسه‌ی گره اصلی رسم شده است که با جایگذاری الگوی گره در حجم تغییر هندسی قابل مشاهده می‌باشد تصویر (۲۳).



تصویر ۱۹. هندسه‌ی پیدا و پنهان الگوی گره در سایت و فرم مقبره.

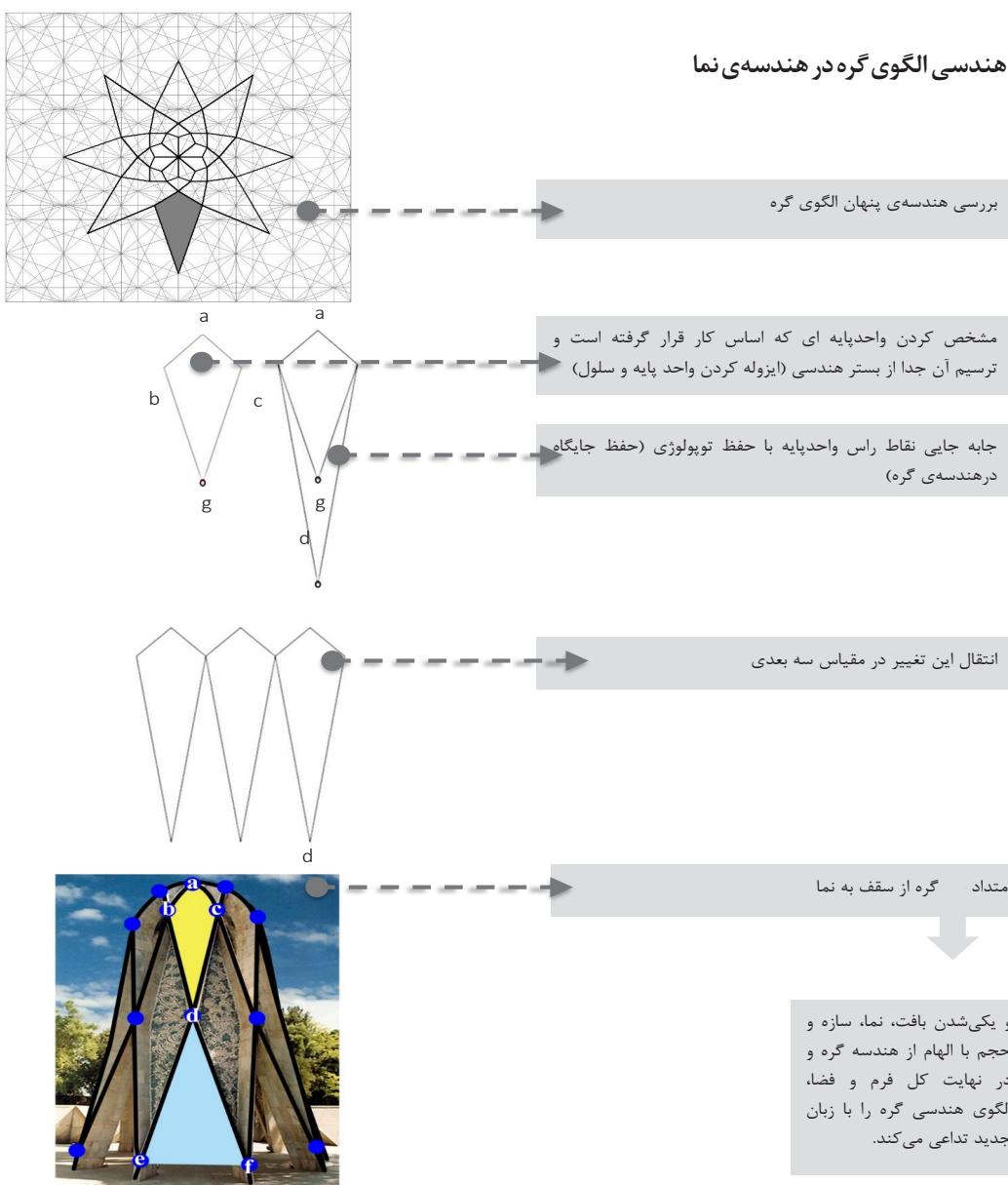


تصویر ۲۴. سه‌بعدی ساخته شده از حجم آرامگاه. مأخذ: (www.fileavaran.ir)



تصویر ۲۳. دگردیسی هندسه‌ی گره و جاری شدن در حجم آرامگاه.

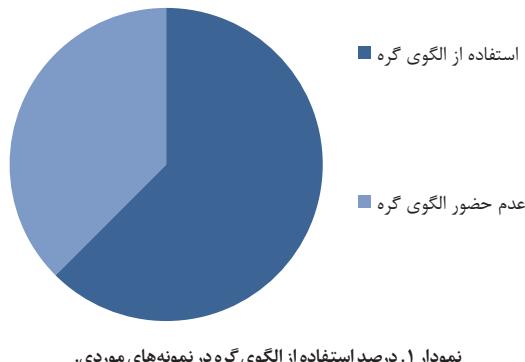
تحلیل دگردیسی هندسه‌ی الگوی گره در هندسه‌ی نما



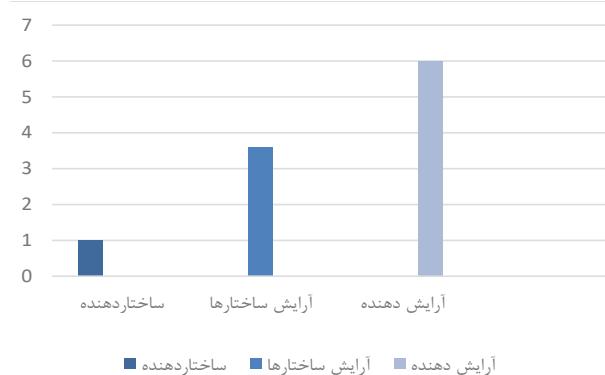
تصویر ۲۵. دگردیسی هندسه‌ی گره و جاری شدن در نما و حجم.

تصویر ۲۶. نمودار روند آنالیز نمونه موردی.

از الگوی گره استفاده کردند، گره در نقش الگوی آرایش دهنده وجود دارد و هم‌چنین حضور گره در آرایش ساختارها دیده می‌شود؛ فقط در آرامگاه خیام گره در سه مقیاس حضور پیدا کرده است و در نقش الگوی ساختاردهنده هم در طراحی به کار گرفته شده است (نمودار ۳).



نمودار ۱. درصد استفاده از الگوی گره در نمونه‌های موردي.



نمودار ۲. نقش و کاربرد الگوی هندسی گره با توجه به طیف الگوهای دیدمان‌های مورد مطالعه.

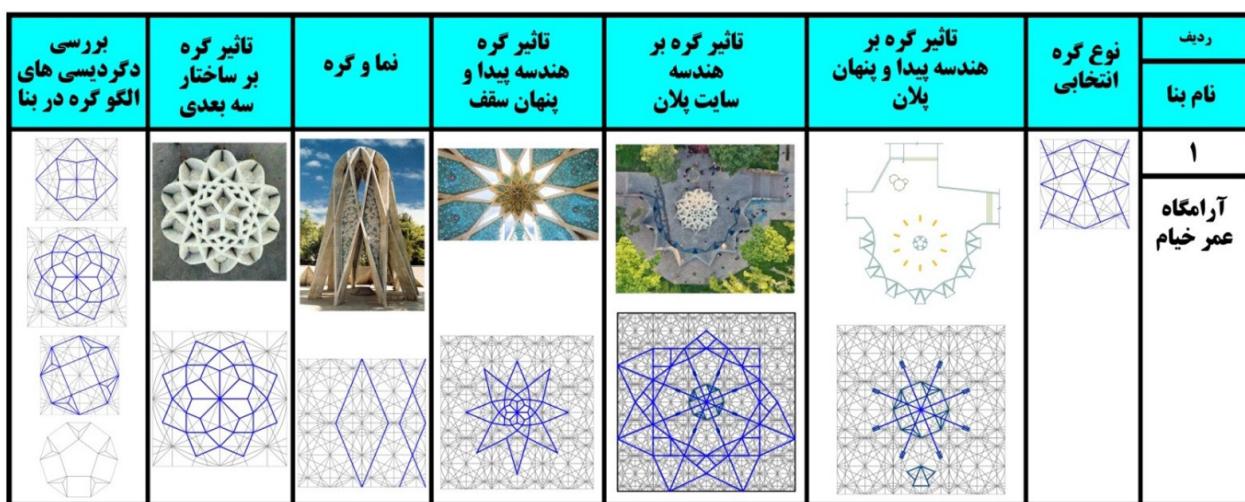
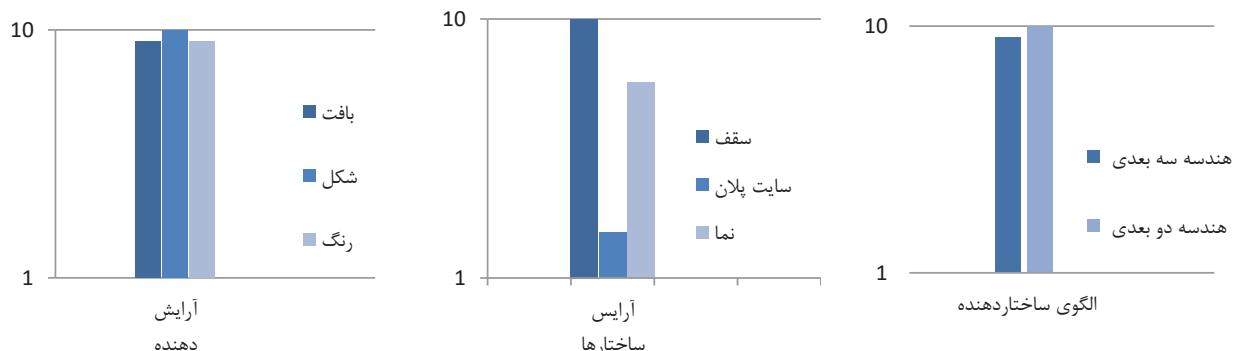
جدول ۴: جدول آنالیز نمونه‌های موردی پژوهش بر اساس کاربرد الگوها.

در تصویر (۲۵) دگردیسی گره اصلی از سطح دو بعدی به سه بعدی منتقال پیدا می کند؛ هندسه‌ی جدید در انتشار سه بعدی، حجم تولید می کند، در انتشار مجدد تعداد آلت گره کم می شود، واحد پایه انبساط پیدا می کند و گره اکسپو می شود. به جای اینکه روی گره پوشش داده شود، ساختار گره نمایان می شود و نما، تزیین، سازه و پوشش، تماماً الگوی تغییر بافتی، گره می شوند تصویر (۲۶).

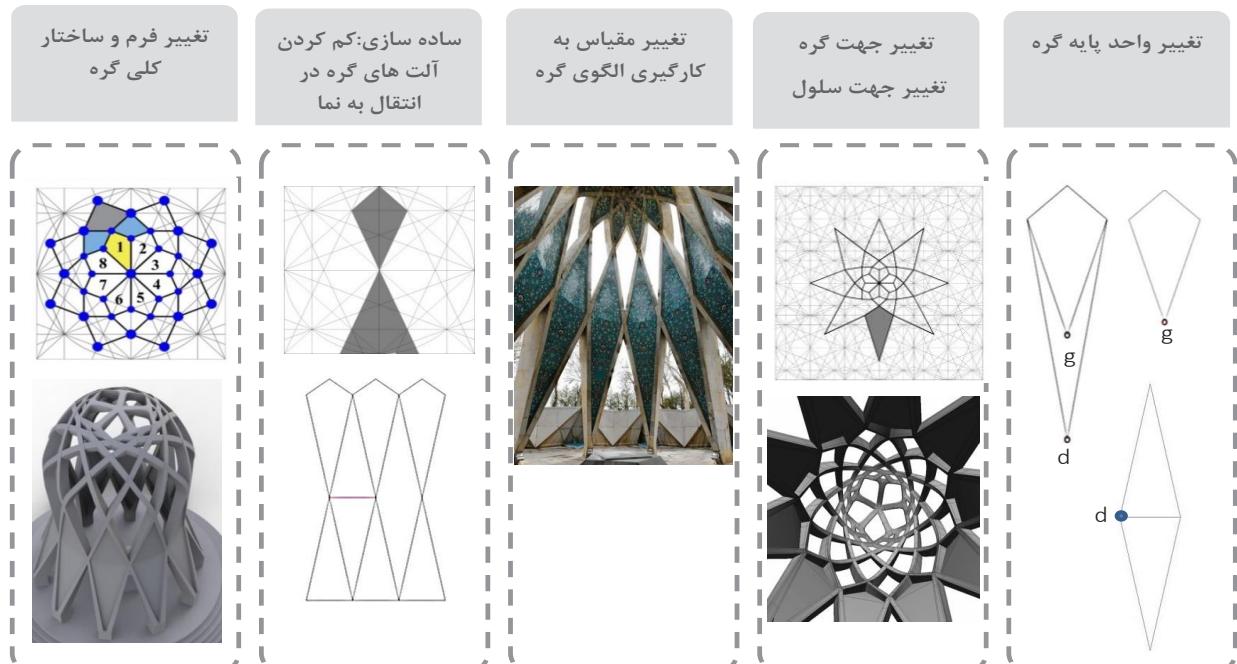
تحلیل یافته‌ها

در جدول (۴) حضور و کاربرد الگوی هندسی گره، بر اساس نظریه زبان الگو (سالینگاروس) در نمونه‌های مورد پژوهش بررسی شده است تصویر (۱). در این بررسی کاربرد گره و تأثیر گره بر اساس مقایس تعريف شده‌ی الگوها بررسی شده است و در هر بنا حضور و تأثیر گره در سه طیف الگوهای ساختاردهنده، الگوهایی که ساختارها را می‌آرایند و الگوهای آرایش دهنده تحلیل شده‌اند. بر اساس اینکه هندسه‌ی گره در چه طیفی از الگوها به کار رفته در مکان جاری شدن گره در بنا نقش داشته است (نمودار ۳)؛ اینکه الگوی گره به شکل سنتی در بنا جاری شده یا با فرم و شکل جدید به کار رفته است از بحث‌های این تحلیل هست. در میان نمونه‌های موردنی در آرامگاه خیام شکل جدیدی از کاربرد گره بر اساس الگوی هندسی سنتی گره به کار برد شده است؛ که در تصاویر و مدل‌های (۱۰ الی ۲۵) تحلیل شده است.

در میان نمونه‌های موردنی درصد از یادمان‌های از الگوی گره در طرح یادمان استفاده کردند (نمودار ۱). در این یادمان‌های الگوی هندسی گره در سه نقش ساختاردهنده، آرایش ساختارها و آرایش دهنده در بنا حضور پیدا کرده‌اند (تعریف این الگوها پیش‌تر در بیان مسئله توضیح داده شده است)؛ در چارت مندرج در نمودار (۲) میزان کاربرد هر الگو با توجه به طیف الگوهای پرسی شده است، در تمام بنایهای که

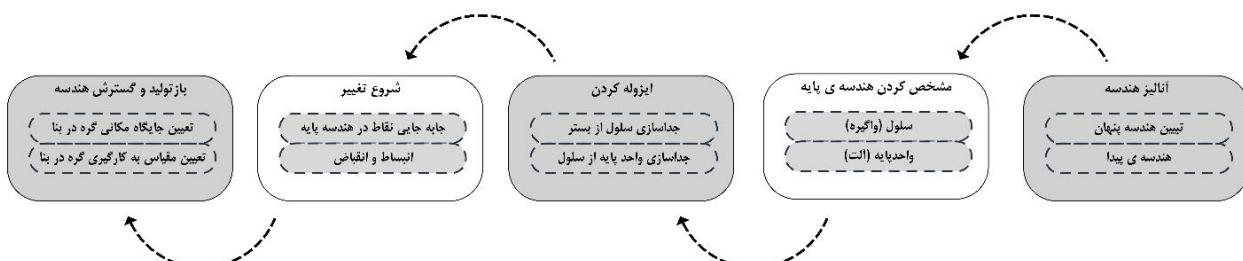


تصویر ۲۷. نقش و کاربرد الگوی هندسی گره در آرامگاه خیام.

تصویر ۲۸. تحلیل دگردیسی هندسی آرامگاه خیام. مأخذ: (تصاویر سه بعدی؛ www.fileavaran.ir)

۲۷-۲۸). در آرایش ساختارها در تمام بنایایی که الگوی هندسی گره به کار رفته است، هندسه‌ی زیر سقف از این الگو تأثیر پذیرفته است، در ۶۰ درصد بنایا، الگوی گره در نمایی جاری شده است؛ و در نهایت تمام یادمان‌هایی که از الگوی گره استفاده کرده‌اند، گره در بافت، رنگ و شکل (آراینده‌ها) به کار گرفته شده است (تصویر ۲۹).

در نمودار (۳) نقش هر الگو و مکان کاربرد الگو در بنا با توجه به مقیاس الگو در هر چارت به صورت جداگانه بررسی شده است. الگوی ساختاردهنده که شامل هندسه سه‌بعدی و دو‌بعدی می‌باشد در یادمان خیام که الگوی گره در نقش ساختاردهنده علاوه بر آرایش دهنده جاری شده است، در هندسه‌ی دو‌بعدی و سه‌بعدی تأثیرگذار بوده است (تصاویر



تصویر ۲۹. فرایند آنالیز و بازتولید هندسه‌ی گره.

در پاسخ به سؤال دوم پژوهش حاضر مشخص شد که الگوی هندسی گره در طیف الگوها در هر سه نقش کاربرد داشته است؛ و از تحلیل یافته‌ها درمی‌یابیم که در هندسه‌ی زیر سقف در آرایش ساختارها بیشترین استفاده از الگوی گره شده است و هم‌چنین در شکل و بافت در نقش آرایش دهنده در تمام یادمان‌ها استفاده شده است.

در مدل‌های هندسی بخش تحلیل یافته‌ها تکنیک‌های به کار رفته به منظور بازتولید شکل جدید گره در یادمان خیام بررسی شده است که این تکنیک‌ها پاسخ به سؤال سوم پژوهش می‌باشند.

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد یک مسیر مناسب به منظور ایجاد تغییرات (الگوی گره) از طریق دگردیسی هندسی است. دگردیسی هندسی یا تغییر تدریجی هندسه، امکان را برای کشف و ادامه‌ی تغییرات تدریجی طرح گره ایجاد می‌کند. به کار بدن این پروسه مزایای متعددی دارد؛ اول اینکه تغییرات، در یک شیوه‌ی تدریجی انجام می‌شود (یک پارامتر در یک‌زمان)، بنابراین تداوم را در تحولات فراهم می‌کند. دوم برای طراحان امکان استخراج انتخابی نمونه‌های مورد علاقه شان را به وجود می‌آورد، این نمونه‌های کلیدی یا اشکال کلیدی می‌توانند پایه‌ی مطالعات بعدی باشند.

نتیجه
در این پژوهش تحلیل و کاربرد الگوی هندسی گره و هم‌چنین بازتولید آن در یادمان‌هایی معاصر ایران بررسی شده است. از تحلیل یافته‌ها به این نتیجه می‌رسیم که هندسه در معماری ایرانی یکی از عوامل اصلی ایجاد ارتباط بین معماری سنتی و معاصر است. درک جامع هندسه‌ی گره‌ها و چگونگی بازتولید آن‌ها بر اساس هندسه‌ی پنهان گره سنتی، می‌تواند زمینه را برای استانداردهایی فراهم کند که پیوند گذشته و حال را در معماری تقویت می‌کند.

در پاسخ به سؤال اول پژوهش حاضر مشخص شد که در کل دوره‌ی کرد در استفاده گره در نمونه‌های موردی پژوهش دیده می‌شود:
رویکرد اول: حفظ شکل سنتی گره؛ در این رویکرد گره مشابه نقش و مکانی که در بنایای سنتی داشته است در فرم و بنای معاصر نیز به کار رفته است.

رویکرد دوم: تغییر هندسی گره و دگردیسی گره به طوری که فرم و شکل معاصر از گره ایجاد شده است تصاویر مانند آرامگاه حافظ. در نمونه‌های موردی رویکرد اول کاربرد بیشتری داشته است، فقط در مقبره خیام رویکرد دوم جاری شده است.

پی‌نوشت‌ها

1. Ernst Gombrich.

فهرست منابع

- خواجه سعید، فرناز و بیلان اصل، لیلا، (۱۴۰۰۲). بررسی گونه‌های معنایی در منظر یادمانی معاصر، مجله منظر، ۵۳، ۵۳-۸۶، ۷۵-۸۶.
<https://doi.org/10.30495/hoviatshahr.2023.70137.12282>
- خوارزمی، مهسا (۱۳۹۲). مطالعه‌ای در نقوش هندسی تزیینات معماری در مساجد گناباد، ملک وزن و فریومد. نشریه هنرهای زیبا: هنرهای تجسمی، ۱۷، (۳)، ۴۱-۲۵. <https://doi.org/10.22059/jfava.2013.29609>
- رضازاده، مهسا (۱۳۹۹). زبان الگوی معماری ایرانی. رساله دکتری معماری، دانشکده معماری، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
- رضازاده، مهسا، اعتصام، ایرج، کامل‌نیا، حامد و میرزاکوچک خوشنویس، احمد (۱۳۹۹). تبیین رابطه معنی دار بین الگوهای آرایش دهنده و ساختاردهنده در میل‌ها و آرمکاه‌های برجی خطه خراسان (غزنی و سلحوقی). پژوهش‌های معماری اسلامی، ۸ (پیاپی ۲۶)، ۱۰-۱۲۵. <http://noo.rs/vuqFe>
- رضوانی، محمد و شفیعی سراوری، مهرنوش (۱۳۹۶). طراحی و تولید سرامیک‌های نقش بر جسته در نمای ساختمان با الهام از شیوه‌های رسم گره‌های

- پورنادری، حسین (۱۳۹۹). شعریاف و آثارش / جلد دوم: گره و کاربندی. تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.
- حاجی قاسمی، کامبیز؛ نوابی، کامبیز (۱۳۹۹). خشت و خیال. تهران: انتشارات سروش.
- حیاتی، حامد؛ آقامحمدی، حسین (۱۳۹۵). بررسی ویژگی‌های هندسی گره در معماری اسلامی. مطالعات علوم کاربردی در مهندسی، ۱(۲)، ۱۳-۲۸. <https://civilica.com/doc/542816>
- خواجه سعید، فرناز؛ بیلان اصل، لیلا و ستارزاده، داریوش (۱۴۰۰). گونه‌شناسی منظر یادمانی معاصر با رویکرد نشانه‌شناسنامه‌ی پیرس. منظر، ۱۳، ۵۵-۴۷. <https://civilica.com/doc/1280761>

- and Geometry in Formation of Persian Architecture. *Asian Culture and History*. doi:10.5539/ach.v7n1p220
- Alberti, L. B., (1988). *On The Art of Building in Ten Books*, (translated by Joseph Rykwert, Neil Leach, & Robert Tavernor), MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Martens, B., & Brown, A. (2005), *Computer Aided Architectural Design Futures, and the 11th International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures*, Vienna University of Technology, 373-382. doi:10.1007/1-4020-3698-1
- Barrios, C., & Alani, M. (2015), *Parametric Analysis in Islamic Geometric Designs*, The Next City: 16th International Conference CAAD Futures, 304-322.
- Cromwell, P.R.(2010). Hybrid 1-point and 2-point constructions for some Islamic geometric designs. *Journal of Mathematics and the Arts*, 4, 21-28. doi:10.1080/17513470903267259
- Riether, G., & Baerlecken, D. (2012). Digital Girih, A Digital Interpretation of Islamic Architecture. *International Journal of Architectural Computing*. 10 (1), 1-12. doi:10.1260/1478-0771.10.1.1
- Gombrich, E. (1979), *the Sense of Order -A Study in the Psychology of Decorative Art*, Phaidon Press Limited, London.
- Ibrahim, I.; Al Shomely, K., & Eltarabishi, F. (2023), Sustainability Implications of Utilizing Islamic Geometric Patterns in Contemporary Designs, a Systematic Analysis, *Architectural Design, Urban Science, and Real Estate. Buildings*, 13(10), 2434; <https://doi.org/10.3390/buildings13102434>
- Dabbour, L. (2012). Geometric proportions: The underlying structure of design process for Islamic geometric patterns. *Frontiers of Architectural Research*. doi:10.1016/j foar.2012.08.005
- Ranjazmay Azary, M. & Bemanian, M. & Mahdavinejad, M. & Körner, A. & Knippers, J. (2023). *Application-based principles of islamic geometric patterns; state-of-the-art, and future trends in computer science/technologies: a review*. Heritage Science. <https://doi.org/10.1186/s40494-022-00852-w>.
- Sakkal, M. (2018). Intersecting squares: applied geometry in the architecture of Timurid Samarkand. *Journal of Mathematics and the Arts*. 12. 65-95. <https://doi.org/10.1080/17513472.2018.1468178>.
- هندسی. کنگره بین‌المللی فرهنگ و اندیشه دینی. <https://civilica.com/doc/713428>
- سالینگاروس، نیکاس آنجلوس(۱۳۸۶)، ساختار زبان‌های الگو، ترجمه سعید زرین‌مهر، *فصلنامه تحقیقات معماری*، ۴، ۱۰۳-۹۴.
- شریف، حمیدرضا، حبیبی، امین و جمال‌آبادی، عبدالله (۱۳۹۵). کارکرد اقلیمی هنر گره چینی در معماری اسلامی - نمونه موردی: بناهای مسکونی قاجاری شیراز. *پژوهش‌های معماری اسلامی*، ۴، ۷۳-۷۳.
- <http://noo.rs/Hfm7D>
- عاصم سعید، عایشه پارمان (۱۳۹۷). هندسه و نقوش اسلامی (نقش‌های هندسی در هنر اسلامی). ترجمه حمیدرضا زین الدین.
- کیانی، محمد یوسف (۱۳۷۶). *تزمینات وابسته به معماری دوران اسلامی*. تهران: سازمان میراث فرهنگی کل کشور.
- گروت، لیندا ووانگ، دیوید (۱۳۸۴). روش‌های تحقیق در معماری، ترجمه عینی فر. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- گلستانی، سعید (۱۳۹۶). جستاری در مفهوم پیوستگی فضای روند تحولات آن در مساجد ایران، نشریه هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی، ۴۲(۴). ۴۴-۲۹.
- <https://doi.org/10.22059/JFAUP.2018.65695>
- مشبکی، علیرضا (۱۳۹۷). مقایسه تطبیقی معماری مقابر دوره سلجوقیان و ایلخانیان در شهرستان مراغه. *دوفاعنایه علمی تخصصی پژوهش در هنر و علوم انسانی*، ۲، ۱۲-۱. ۱۵-۱۵.
- https://shij.ir/RAHS/upload/RAHS/Content/180724_12/RAHS-No10-J1-Digital.pdf
- منتظر، بهنام؛ سلطانزاده، حسین (۱۳۹۷). بازنگشتن نقش پنج ضلعی منتظم در نقوش هندسی معماری اسلامی ایران. *مطالعات هنر اسلامی*. ۱۴، ۳۰(۱۴)-۱۵.
- <https://www.sid.ir/paper/136760/fa.40>
- مهدوی نژاد، محمدجواد و بهرامی، منیره (۱۳۹۳). نسبت یادمان گرایی و پایداری در معماری معاصر ایران (مطالعه موردی: مساجد معاصر). *معماری و شهرسازی پایدار*. ۱(۱۲). ۵۶-۴۳.
- DOI: 20.1001.1.25886274.1393.2.1.4.7
- میرجانی، حمید (۱۳۸۹). استدلال منطقی به مثابه روش پژوهش. *نشریه صفحه*. ۵۰(۵۰). ۵۰-۵۶.
- <https://doi.org/20.1001.1.1683870.1389.20.2.3.6>
- نوریان، یحیی؛ کسرابی، محمدحسین (۱۳۹۴). مقایسه گره‌های سنتی و الگوهای معاصر اسلامی با تمرکز بر کاربرد در معماری معاصر. *فرهنگ معماری و شهرسازی اسلامی*. ۲(۲). ۶۳-۷۵.
- [https://doi.org/0.29252/ciauj.2.2.63.75-63](https://doi.org/10.1080/17513472.2013.03.002)
- Abdullahi, Y., & Embi, M. R. B. (2013). Evolution of Islamic geometric patterns. *Frontiers of Architectural Research*, 2(2), 243-251. <https://doi.org/10.1016/j foar.2013.03.002>
- Ebrahimi, A., & Aliabadi, M. (2015). The Role of Mathematics