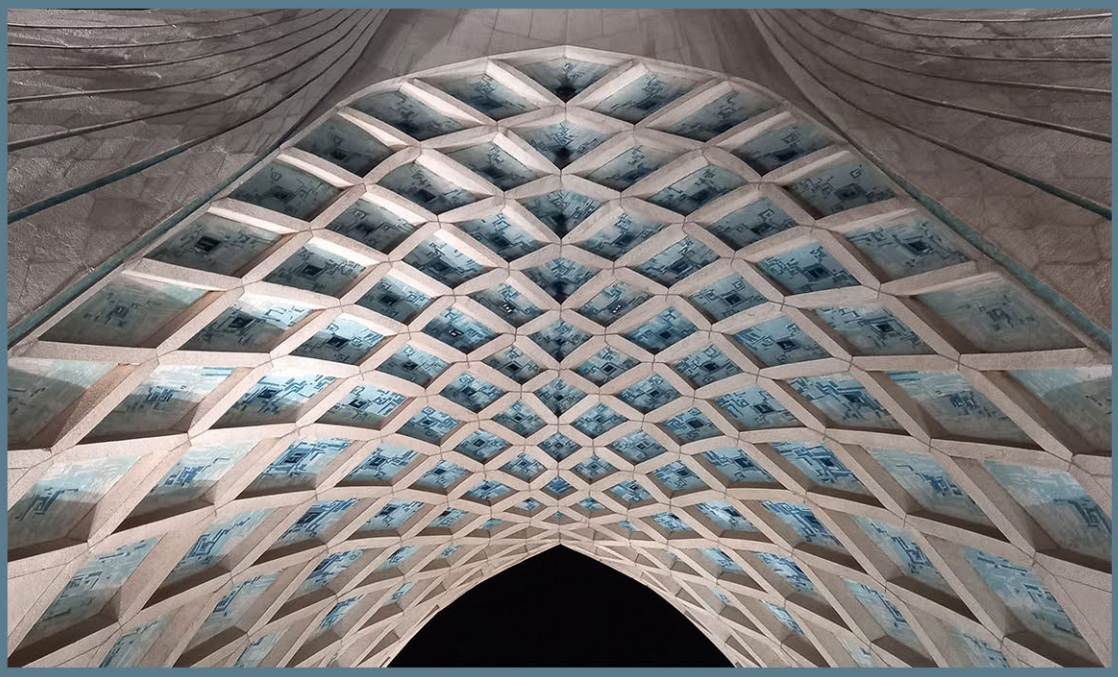
مطالعات معماری ایران ۲۹

دوفصلنامه علمی دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

سال پانزدهم، شماره ۲۹، بهار و تابستان ۱۴۰۵



◆ تاریخ‌شناسی معماری مسجد جامع آمل و نسبت آن با شهر در سده‌های نخست هجری
● ذات‌الله نیک‌زاد

◆ بازتعریف محدودهٔ قیصریه در بازار کاشان و شکل‌گیری یک مرکز جدید شهری در نیمهٔ دوم دورهٔ قاجاریه
● یاسمن صفیان/ حمیدرضا جیحانی/ سید محمود سادات

◆ سنجش ارزش‌های قلعه‌رودخان به‌عنوان میراث جهانی از منظر منشور ایکوفورت و دستورالعمل اجرایی کنوانسیون میراث جهانی
● ابوذر جانعلی‌پور/ پیروز حناچی/ محمدحسن طالبیان

◆ بهبود حد نهایی پایداری جانبی سازهٔ یک دهانهٔ متشکل از طاق‌آهنگ بر روی پایه در صفحهٔ قوس
● فرزین ایزدپناه

◆ ارزیابی عملکرد پوستهٔ مشبک آجری در کنترل تابش و نور در اقلیم گرم و نیمه‌خشک دزفول
● کلثوم کامکار/ کورش مؤمنی/ اکبر موسی ئی جو

◆ از باغ به میدان: ظهور نرده و آشکار شدن فضای سلطنتی در شهر عصر ناصری
● کاوه رشیدزاده/ گلنار حکمت

◆ بررسی هندسی جلوه‌های گره‌چینی در نمونه‌های تاریخی ایران به روش الگوریتمی
● مهدی عزیزی همدانی/ مجتبی ثابت‌فرد

◆ ابعاد و ویژگی‌های مفهومی استدلال حدسی در عمل طراحی
● علی قریشوندی ابراکی/ علی علائی/ کیوان جورابچی/ سعید نوروزیان ملکی

◆ نقش پیکره‌بندی فضا در ایجاد اجتماع‌پذیری مراکز تجاری شهر اصفهان با مقیاس اجتماعی
● مریم گروهی/ نرگس دهقان/ منصوره کیان‌ارثی/ سمیه رفیعی

◆ ارزیابی پراگماتیک: فرصتی برای اصلاح سیاست‌ها و رویه‌های مداخله در محدوده‌های هدف (مورد انضمامی: سندملی بازآفرینی)
● مرتضی‌هادی جابری‌مقدم/ شیما سقندلی

◆ از رویدادسازی تا شخصیت‌پردازی موزه‌یادمان‌ها
● فائزه تفرشی/ منوچهر معظمی/ نیکلاس وایز

◆ اثر حذف درختان کهن‌سال در معماری معابر ایلام بر تغییر آسایش حرارتی عابران براساس دینامیک سیالات محاسباتی CFD
● کارن فتاحی/ نسرین سیاوش

مطالعات معماری ایران

دوفصلنامه علمی دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

سال پانزدهم، شماره ۲۹، بهار و تابستان ۱۴۰۵
صاحب امتیاز: دانشگاه کاشان
مدیر مسئول: دکتر علی عمرانی‌پور
سردبیر: دکتر غلامحسین معماریان
مدیر داخلی: دکتر بابک عالمی

هیئت تحریریه (به‌ترتیب الفبا):
دکتر عباس اکبری. دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر حمیدرضا جیحانی. دانشیار دانشگاه شهید بهشتی
دکتر پیروز حناچی. استاد دانشگاه تهران
دکتر شاهین حیدری. استاد دانشگاه تهران
دکتر مارکوس ریتر. استاد دانشگاه وین
دکتر محمدصادق طاهر طلوع دل. دانشیار دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دکتر بابک عالمی، دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر علی عبد الرئوف. استاد دانشگاه حمد بن خلیفه قطر
دکتر علی عمرانی‌پور. دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر فاطمه کاتب. استاد دانشگاه الزهرا (س)
دکتر حسین کلانتری. استاد جهاد دانشگاهی
دکتر اصغر محمد مرادی. استاد دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر غلامحسین معماریان. استاد دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر محسن نیازی. استاد دانشگاه کاشان

درجه علمی پژوهشی دوفصلنامه مطالعات معماری ایران طی نامه شماره ۱۶۱۶۷۶ مورخ ۱۳۹۰/۰۸/۲۱ دبیرخانه کمیسیون نشریات علمی کشور، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری ابلاغ گردیده است.

پروانه انتشار این نشریه به شماره ۹۰/۲۳۰۳۰ مورخ ۹۱/۹/۷ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی صادر شده است.

این نشریه حاصل همکاری مشترک علمی دانشگاه کاشان با دانشکده معماری دانشگاه تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشگاه الزهرا (س)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه شهید رجایی، پژوهشکده فرهنگ، هنر و معماری جهاد دانشگاهی و انجمن علمی انرژی ایران است.

نشریه مطالعات معماری ایران در پایگاه استنادی علوم کشورهای اسلامی (ISC)، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)، پایگاه مجلات تخصصی نور (noormags.ir)، پرتال جامع علوم انسانی (ensani.ir) و بانک اطلاعات نشریات کشور (magiran.com) نمایه می‌شود.

تصاویر بدون استناد در هر مقاله، متعلق به نویسنده آن مقاله است.

(نسخه الکترونیکی مقاله‌های این مجله، با تصاویر رنگی در تارنمای نشریه قابل دریافت است.)

عکس روی جلد: علی عمرانی‌پور
(بنای میدان آزادی)

ویراستار ادبی فارسی: معصومه عدالت‌پور
همکار اجرایی: فائزه تفرشی

دورنگار: ۵۵۹۱۳۱۳۲-۰۳۱

نشانی دفتر نشریه: کاشان، بلوار قطب راوندی، دانشگاه کاشان، دانشکده معماری و هنر، کدپستی: ۵۳۱۵۳-۸۷۳۱۷

رایانامه: j.ir.arch.s@gmail.com
پایگاه اینترنتی: jias.kashanu.ac.ir

شاپای الکترونیکی: ۵۰۲۰-۲۶۷۶

فهرست

۵ **تاریخ‌شناسی معماری مسجد جامع آمل و نسبت آن با شهر در سده‌های نخست هجری**
ذات‌الله نیک‌زاد

۲۵ **بازتعریف محدودهٔ قیصریه در بازار کاشان و شکل‌گیری یک مرکز جدید شهری در نیمهٔ دوم دورهٔ قاجاریه**
یاسمن صفیان/ حمیدرضا جیحانی/ سید محمود سادات

۵۷ **سنجش ارزش‌های قلعه‌رودخان به‌عنوان میراث جهانی از منظر منشور ایکوفورت و دستورالعمل اجرایی کنوانسیون میراث جهانی**
ابوذر جانعلی‌پور/ پیروز حناچی/ محمدحسن طالبیان

۸۵ **بهبود حد نهایی پایداری جانبی سازهٔ یک دهانهٔ متشکل از طاق‌آهنگ بر روی پایه در صفحهٔ قوس**
فرزین ایزدپناه

۱۰۹ **ارزیابی عملکرد پوستهٔ مشبک آجری در کنترل تابش و نور در اقلیم گرم و نیمه‌خشک دزفول**
کلثوم کامکار/ کورش مؤمنی/ اکبر موسی ئی جو

۱۳۷ **از باغ به میدان: ظهور نرده و آشکار شدن فضای سلطنتی در شهر عصر ناصری**
کاوه رشیدزاده/ گلنار حکمت

۱۶۱ **بررسی هندسی جلوه‌های گره‌چینی در نمونه‌های تاریخی ایران به روش الگوریتمی**
مهدی عزیزی همدانی/ مجتبی ثابت‌فرد

۱۷۹ **ابعاد و ویژگی‌های مفهومی استدلال حدسی در عمل طراحی**
علی قریشوندی آبراکی/ علی علائی/ کیوان جورابچی/ سعید نوروزیان ملکی

۲۰۵ **نقش پیکره‌بندی فضا در ایجاد اجتماع‌پذیری مراکز تجاری شهر اصفهان با مقیاس اجتماعی**
مریم گروهی/ نرگس دهقان/ منصوره کیان‌ارثی/ سمیه رفیعی

۲۲۹ **ارزیابی پراگماتیک: فرصتی برای اصلاح سیاست‌ها و رویه‌های مداخله در محدوده‌های هدف (مورد انضمامی: سندملی بازآفرینی)**
مرتضی‌هادی جابری‌مقدم/ شیما سقندلی

۲۵۳ **از رویدادسازی تا شخصیت‌پردازی موزه‌یادمان‌ها**
فائزه تفرشی/ منوچهر معظمی/ نیکلاس وایز

۲۷۳ **اثر حذف درختان کهن‌سال در معماری معابر ایلام بر تغییر آسایش حرارتی عابران براساس دینامیک سیالات محاسباتی CFD**
کارن فتاحی/ نسرین سیاوش

۲۹۵ **بخش انگلیسی**

بررسی هندسی جلوه‌های گره‌چینی در نمونه‌های تاریخی ایران به روش الگوریتمی

علمی‌پژوهشی

مهدی عزیزی همدانی*
مجتبی ثابت‌فرد**

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۳/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۵/۲۷

چکیده

نقوش هندسی اسلامی از مهم‌ترین جلوه‌های تزیینی معماری اسلامی به شمار می‌روند و تاکنون پژوهش‌های متعددی به دسته‌بندی، تحلیل و بازترسیم آن‌ها پرداخته‌اند. بااین‌حال، بخش عمدهٔ این مطالعات بر ساختار هندسی انتزاعی و منطق مولد نقوش متمرکز بوده و جنبه‌های اجرایی و نحوهٔ ظهور بصری آن‌ها در آثار تاریخی کمتر به‌صورت مستقل مورد بررسی قرار گرفته است. پژوهش حاضر با معرفی مفهوم «جلوه» در برابر «طرح»، به تحلیل شیوه‌های مختلف بروز و نمایش نقوش گره‌چینی در معماری اسلامی ایران می‌پردازد. هدف پژوهش، شناسایی، طبقه‌بندی و استخراج قواعد هندسی و الگوریتمی حاکم بر جلوه‌های اجرایی گره‌ها و همچنین ارزیابی میزان انطباق این قواعد با نمونه‌های تاریخی است. این تحقیق با راهبرد استدلال منطقی و روش تحلیل هندسی انجام شده است. داده‌های پژوهش از منابع کتابخانه‌ای، بررسی آثار تاریخی و ترسیمات استادکاران سنتی گردآوری شد. سپس روندهای هندسی ایجاد جلوه‌های مختلف به‌صورت الگوریتمی در محیط گرس‌هاپر مدل‌سازی گردید و نتایج حاصل با نمونه‌های تاریخی مقایسه شد. یافته‌ها نشان می‌دهد که جلوه‌های اجرایی گره‌چینی را می‌توان در قالب شش گروه یک‌درمیان کردن کاشی‌ها، ضخیم کردن خطوط، لبه‌دار کردن، تأکید بر تقاطع‌ها، درهم‌بافتگی خطوط و شاه‌گره طبقه‌بندی کرد. مدل‌سازی الگوریتمی قواعد، پیش‌نیازی جلوه‌ها و همچنین ملاحظاتی در طرح گره را نشان داد و همچنین معلوم شد که استادکاران سنتی در بسیاری از موارد قواعد هندسی را در جهت دستیابی به کیفیت‌های بصری و اهداف هنری تعدیل کرده‌اند. پژوهش حاضر ضمن ارائهٔ چارچوبی جدید برای تحلیل نقوش گره‌چینی، امکان بهره‌گیری از قواعد استخراج‌شده در تولید الگوهای جدید را فراهم می‌سازد.

کلیدواژه‌ها:

نقوش هندسی، گره‌چینی، شاه‌گره، جلوه، بازتولید الگوریتمی.

* دکترای معماری، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران
** استادیار، دانشکدگان هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، نویسنده مسئول، mojtabasabetfard@ut.ac.ir

مطالعات معماری ایران
دو فصلنامه معماری ایرانی
شماره ۲۹ ـ بهار و تابستان ۱۴۰۵
صفحات ۱۷۷-۱۶۱ ۱۶۱

پرسش‌های پژوهش

۱. پس از تعیین طرح گره‌چینی، آن را با چه جلوه‌هایی می‌توان ارائه داد؟ هنرمندان سنتی طرح‌ها را به چه شیوه‌هایی بروز و ظهور داده‌اند؟

۲. در نمونه‌های واقعی گره‌چینی در آثار تاریخی، آیا می‌توان با الگوریتمی کردن قواعد دقیقاً به همان نتایج رسید؟ آیا هنرمند سنتی مانند یک الگوریتم قواعد هندسی را اجرا کرده یا در آن دخل و تصرفی نیز کرده است؟

مقدمه

نقوش هندسی اسلامی یا گره‌چینی‌ها همیشه مورد توجه طراحان و محققان معماری اسلامی بوده‌اند. تاریخ جمع‌آوری و دسته‌بندی نقوش هندسی اسلامی از قرن نوزدهم شروع می‌شود. در این دوره الگوهای گره‌چینی خاص در دسترس هنرمندان غربی بود که با زیبایی‌شناسی جدید کار می‌کرد (نجیب اوغلو ۱۳۸۹). در این تحقیقات روش‌های دسته‌بندی مختلفی پیشنهاد شده است؛ گونه‌بندی براساس انواع واگیره (شکل چهارچوب) و گونه براساس گروه‌های تقارنی و دسته‌بندی براساس نوع شمسه‌ها و دسته‌بندی براساس شیوهٔ ترسیم نقوش هندسی (عزیزی همدانی، معماریان، و محمدمرادی ۱۴۰۴) ازجمله این دسته‌بندی‌هاست. اما در گام بعدی که بسیار سازنده است، مجموعه قواعد متنوعی برای طراحی و تولید نقوش هندسی کشف و ارائه شده است. محققان خارجی مانند بونر[۱] (۲۰۱۷) و ماجیسکی[۲] (۲۰۲۲) اصولی را برای یافتن مجموعه قواعد تعیین کرده‌اند که استادکاران سنتی مانند لرزاده (رئیس‌زاده و مفید ۱۳۹۸) و شعرباف (۱۳۸۵) نیز به‌اختصار به بعضی از آن‌ها اشاره داشته‌اند. ازجمله این اصول می‌توان داشتن منطق داخلی روش مورد نظر، جامع بودن و امکان ایجاد نقوش جدید را نام برد. در پژوهش‌های متأخر شیوه‌های جدیدی برای ترسیم نقوش هندسی پیشنهاد شده است (عزیزی همدانی، معماریان، و محمدمرادی ۱۴۰۳). همچنین پژوهشگرانی در پیاده‌سازی الگوریتم‌ها روش‌های جدید طراحی پیشنهاد داده‌اند (امین‌پور و دیگران ۱۳۹۴).

اکثر این تحقیقات به بررسی طرح هندسی اصلی می‌پردازند و کمتر به جزئیاتی مانند ضخامت خطوط، نوع تقاطع‌ها و تفکیک کاشی‌ها پرداخته شده است. برخی محققان به بعضی از این مسائل در کنار بررسی طرح اصلی پرداخته اما آن را به‌طور مستقل مورد توجه قرار نداده‌اند. هدف این مقاله بررسی و دسته‌بندی جلوه‌های بروز و ظهور طرح‌های هندسی در نمونه‌های واقعی است. در این مقاله به شیوه‌های بروز و ظهور طرح‌های هندسی پرداخته می‌شود و به‌جای تحلیل هندسی انتزاعی، اولویت به تحلیل آثار تاریخی واقعی داده شده است. بدین منظور طرح‌های اجراشده با ضخامت، رنگ و انواع تقاطع‌ها بررسی می‌گردد. تحلیل الگوریتمی این موارد نکات جدیدی را دربارهٔ طرح هندسی اصلی نیز روشن می‌کند.

راهبرد این مقاله مقایسهٔ آثار واقعی با بازتولیدهای الگوریتمی است تا مشخص شود آیا می‌توان با الگوریتمی کردن قواعد دقیقاً به همان نتایج رسید؟ به عبارت دیگر، آیا هنرمند سنتی مانند یک الگوریتم قواعد هندسی را اجرا کرده یا در آن دخل و تصرفی نیز کرده است؟

۱. پیشینهٔ استفاده از الگوریتم‌ها برای تحلیل گره‌چینی

انتخاب الگوریتم به‌عنوان ابزاری برای بررسی روش‌های ترسیم نقوش هندسی واجد نوعی توجیه درونی است. الگوریتم رایانه‌ای را می‌توان به‌راحتی با دستورالعمل‌های طراحی در سنت معماری قابل مقایسه دانست. نجیب اوغلو معتقد است مجالست معماران و ریاضی‌دانان موجب شد بزرگانی نظیر خوارزمی، بوزجانی، ابن‌هیثم و خیام، کتاب‌هایی را در باب مسائل عملی بنویسند؛ لیکن اغلب این کتاب‌ها برخلاف کتاب‌های دیگر خالی از استدلال‌های پیچیده و حاوی روش‌ها و دستورالعمل‌های ساده‌شده و تقریبی برای سهولت کاربرد صنف معماران بوده است (نجیب اوغلو ۱۳۸۹، ۱۸۷). ایوز در کتاب *آشنایی با تاریخ ریاضیات* می‌گوید: «در تمام ریاضیات شرق باستان، حتی یک مورد از آنچه که امروزه آن را برهان

می‌نامیم نمی‌توان پیدا کرد. به‌جای استدلال، صرفاً توصیفی از یک سلسله عملیات وجود دارد. به شخص دستور داده می‌شود که: چنان کن و چنین کن» (ایوز ۱۳۷۹، ۳۴). الگوریتم روشی برای حل مسئله، متشکل از چند مرحله است که در هر مرحله یک ورودی، و پس از انجام اعمال خاص تنها یک خروجی بیرون داده می‌شود. نقوش هندسی پایه تکوین و تحولشان دستورالعمل‌های پیاپی و الگوریتمی است (بنی‌هاشمی و بیتی ۱۳۹۸، ۱۱۴). منطق مستحکم ریاضی درون نقوش هندسی اجازهٔ الگوریتم‌نویسی درخصوص نوع ترسیم و جلوه‌های گوناگون نقوش هندسی را می‌دهد.

پیشرفت ابزارهای محاسباتی شیوه‌های جدیدی برای فهم و بازترسیم نقوش هندسی ایجاد کرده است (Kaplan 2002). این ابزار نیاز به تبدیل نقوش به گزاره‌های ریاضی دارد. اولین بررسی‌ها از این جنبه توسط تونی لی[۳] در دست‌نوشتهٔ سال ۱۹۶۶ مشاهده می‌شود. او در این دست‌نوشته از روش PIC[۴] کمک گرفته است (Lee 1975) این محاسبات ریاضی به روش مثلثاتی تکمیل شده است (Wichmann and Wade 2017).

استفاده از افزونهٔ گرس‌هاپر[۵] در نرم‌افزار راینو[۶] برای ترسیم نقوش هندسی شمسهٔ مرکزی، یکی از شیوه‌های ترسیم نقوش هندسی است. این روش برای ترمیم نقوش هندسی به کار برده شده و روش‌های محاسباتی ریاضی در مرحله‌ای کاربردی شده است (حاجبی ۱۳۹۵). این روش نه‌تنها دقت را بهبود می‌بخشد، بلکه امکان تحلیل سریع و خودکار الگوهای پیچیدهٔ تاریخی را فراهم می‌کند (Hajebi and Hajebi 2024). همچنین در تلاشی دیگر براساس نظریهٔ «گروه تقارن»، اشکال به ناحیهٔ زایا و یا کوچک‌ترین بخش تقسیم شده و سپس به الگوی کامل جهت بازتولید نقوش هندسی رسیده‌اند؛ لیکن همچنان ترسیمات محدود به شمسه‌های مشابه و تک‌کانون می‌شود که با یک شمسه قابل ترسیم است (Azizi Naserabad and Ghanbaran 2023). توسعهٔ ترسیم نقوش به روش چندضلعی در دو گروه تقارنی محدود این نتایجی را داشته است (Khamjane et al. 2023). مقالهٔ «الگوریتم‌های هندسی اسلامی؛ مروری بر روش‌های طراحی و تحلیل»، با دسته‌بندی ۱۲ پژوهش، الگوریتم‌های هندسی در شیوه و تکنیک پایه و استفادهٔ اصلی و مزیت‌ها و معایب نشان می‌دهد که حوزهٔ الگوریتم‌های هندسی اسلامی نوپاست و تحقیقات محدودی در این زمینه انجام شده است (Akbari and Bastanfard 2021).

امروزه ابزارهای الگوریتمی پیشرفته‌ای برای تولید طرح‌های هندسی گره‌چینی وجود دارد. افزونهٔ پاراکیت از اسماعیل متقی و آرمان خلیل‌بیگی (۲۰۲۲) در گرس‌هاپر با در بر گرفتن شبکه‌های زیرکار، شیوه‌های تقارن، بعضی گره‌های اولیه و مقادیر قابل تنظیم زوایا و اندازه‌ها طیف گسترده‌ای از نقوش هندسی اسلامی را تولید می‌کند. بااین‌حال برای بررسی جلوه‌های مختلف بروز و ظهور نقوش هندسی در آثار واقعی در این تحقیق هنوز نیاز به نوشتن الگوریتم‌های جدیدی است.

۲. روش پژوهش

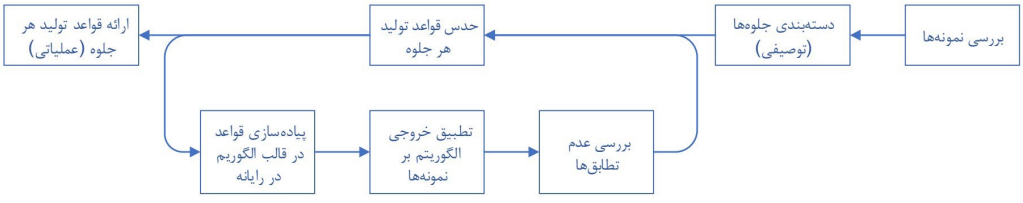
این پژوهش با راهبرد استدلال منطقی انجام شده است. در این روش، سلسله عوامل و پدیده‌های به‌ظاهر متفاوت می‌توانند در یک سامانه تبیین شوند و با یکدیگر مرتبط گردند (گروت و وانگ ۱۳۸۸). روش مورد استفاده در این راهبرد تحلیل ریاضی است. پس از مشاهدهٔ نمونه‌ها، جلوه‌های مختلف بروز طرح‌های گره‌چینی دسته‌بندی شد. در مرحلهٔ بعد، قواعدی هندسی برای بازتولید این جلوه‌ها پیشنهاد شد. در انتها برای سنجش عملیاتی بودن مجموعه قواعد پیشنهادی، آن‌ها در قالب الگوریتم‌های رایانه‌ای پیاده‌سازی شدند. در یک فرایند بازگشتی، عدم تطابق‌های قواعد پیاده‌سازی‌شده با تصاویر آثار واقعی باعث اصلاح و ارتقای قواعد پیشنهادی گردید و نکات و لطایفی را در جلوه‌ها روشن نمود. این روند در تصویر ۱ قابل مشاهده است.

برای گردآوری داده‌ها از منابع کتابخانه‌ای استفاده شد که شامل تصاویری از کاشی‌کاری بناهای سنتی ایران، ترسیمات استادکاران معماری سنتی ایرانی و ترسیمات محققان معاصر ایرانی و خارجی بود. به‌طور خاص از آثار حسین لرزاده، اصغر شعرباف، ابراهیم گلیار و همچنین جی بونر، ژان ـ مارک کاسترا، اریک بروگ[۷] و... استفاده گردید. بخش تصاویر با مجموعه شخصی نگارندگان که به‌شیوهٔ در دسترس جمع‌آوری شده بود تکمیل شد. در این پژوهش، برای

توسعهٔ چشم‌انداز و تعدد دسته‌بندی‌ها، تلاش شد تا مجموعه گره‌ها دارای تنوع کافی باشد و از دوره‌های تاریخی مختلف، شامل انواع گره‌های ایرانی/مغربی، زمینهٔ شش/هشت/ده و بیشتر، شمسه‌های همسان/ترکیبی، تند/کند/شل، منتظم/دست‌گردان و... باشد. گره‌ها از انواع واگیره (گروه‌های تقارن) انتخاب شد. اغلب گره‌ها الگوی تکرار مستطیلی داشتند و برای گره‌هایی که الگوی تکرار مثلث، متوازی‌الاضلاع یا شش‌ضلعی داشتند، الگوی مستطیلی معادل آن در نظر گرفته شد. برای این پژوهش، هر الگوی نقوش هندسی به‌صورت وکتور بازترسیم شد تا بتوان تحلیل‌های الگوریتمی را روی آن‌ها انجام داد. با توجه به اختلاف در زوایا و اندازه‌های گره‌های دست‌گردان میان استادکاران مختلف باهم و با محققان، در بازترسیم رایانه‌ای، نهایت وفاداری به منبع به‌صورت تطبیق کامل ترسیم طرح با منبع رعایت شد.

برای تحلیل داده‌ها از روش استدلال منطقی استفاده شد. روش‌های جلوه دادن به گره‌ها پس از مطالعهٔ شرح آن‌ها در متون و بررسی نمونه‌ها هریک به‌صورت روندی شامل مجموعه دستورالعمل‌های هندسی درآورده شد. سپس با ترجمه به زبان ماشین، الگوریتم‌هایی مدل‌سازی و شبیه‌سازی شد که طرح یک‌خطی را گرفته و جلوه‌های مختلف را بر آن پیاده می‌کند. این کار در افزونهٔ گرس‌هاپر انجام شد. فرایند الگوریتم مذکور شامل سه مرحلهٔ اصلی رفع خطای طرح یک‌خطی (خط روی خط، خط دوتکه، عدم تطبیق نقاط و... در اتوکد[۸] و راینو)، استخراج دادهٔ محاسباتی (اضلاع و آلات و تحلیل‌های مبتنی‌بر نظریهٔ گراف به کمک افزونهٔ هترویترا[۹]) و پیاده‌سازی روند هندسی جلوه دادن به گره‌ها بود. برای روند جلوه دادن به گره‌ها افزونه‌ای از قبل وجود ندارد و این بخش توسط محققان نوشته شد. در این بخش برای تسریع اعمال هندسی مانند تداخل[۱۰] و لبه‌دار کردن[۱۱] از کتابخانهٔ سی‌گل[۱۲] بهرهٔ بسیار برده شد. بعضی روندها صرفاً مسیری خطی از دستورالعمل‌های پی‌درپی بود و بعضی دیگر مشتمل بر مراحل تشخیص و تصمیم‌گیری نیز بود.

برای اعتبارسنجی مجموعه قواعد و دستورالعمل‌های تولید جلوهٔ گره‌ها و همچنین اعتبارسنجی الگوریتم در این روند، خروجی الگوریتم بر تصاویر آثار تاریخی تطبیق داده شد. بعضی عدم تطبیق‌ها ناشی از خطا در قواعد پیشنهادی و تشخیص غلط بود که به‌تدریج اصلاح شد و ارتقا پیدا کرد. بعضی دیگر از عدم تطبیق‌ها نکاتی پنهان و ناگفته در فرایندهای استادکاران سنتی را نشان داد که در بخش یافته‌ها تشریح می‌گردد. همچنین با پیاده کردن قواعد مذکور بر گره‌های ابتکاری محققان و طراحان معاصر، ناهمخوانی‌هایی پیدا شد که شرح داده می‌شود.



تصویر ۱: نمودار فرایند تحقیق: روند بررسی نمونه‌ها تا رسیدن به قواعد عملیاتی

۳. جلوه در مقابل طرح

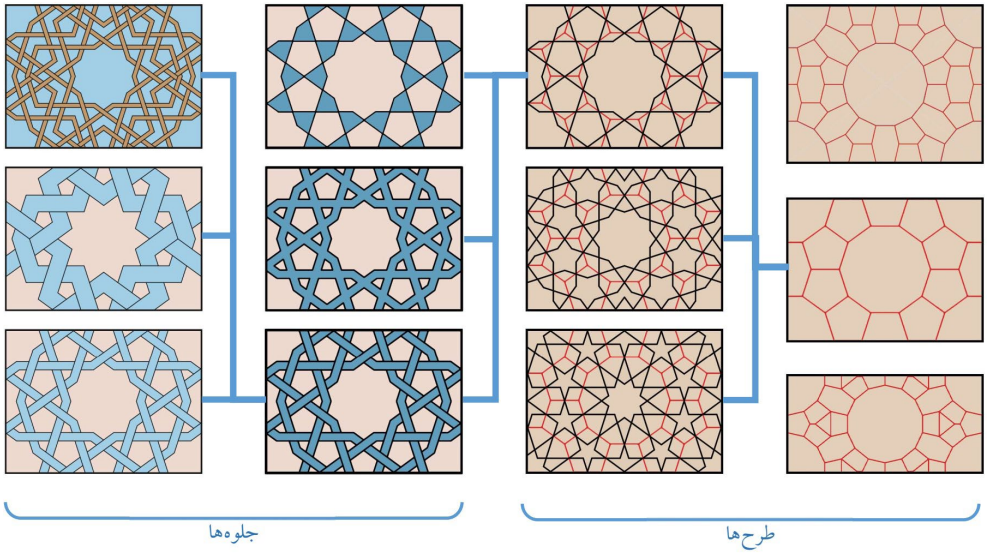
توجه به انواع جلوه‌ها در گره‌چینی یکی از شیوه‌های دسته‌بندی است که کمتر بدان پرداخته شده است. تاریخ جمع‌آوری و دسته‌بندی نقوش هندسی اسلامی از قرن نوزدهم شروع می‌شود (نجیب اوغلو ۱۳۸۹). این دسته‌بندی‌ها عموماً جامع نبوده و تعداد محدودی از این نقوش را شامل می‌شده است. فهم وسعت این سنت تزیینی نیاز به گونه‌بندی دقیق از نقوش هندسی براساس معیارهایی مانند تقارن در چارچوب‌ها و نقشه‌های تکرارشونده و کیفیت‌های عددی و روش‌شناسی ترسیمات مولد را مشخص می‌کند. تنها ازطریق نگاه جامع و دسته‌بندی دقیق این هنر سنتی است که امکان بازترسیم نقوش هندسی فراهم خواهد شد (عزیزی همدانی، معماریان، و محمدمرادی ۱۴۰۴). چهار شیوهٔ چندضلعی‌ها[۱۳]، شیوهٔ زیرساخت شعاعی (استادکاران)، شیوهٔ زیرساخت شعاعی شمسهٔ مرکزی[۱۴] و شیوهٔ شبکه‌ای (شطرنجی)[۱۵] عمده شیوه‌های دارای منطق درونی و اصول مشخص است که برای ترسیم نقوش هندسی استفاده شده است (عزیزی همدانی،

معماریان و محمدمرادی ۱۴۰۳).

نوع دیگر گونه‌بندی نقوش براساس نوع شمسه است. طرح‌های مختلف گره‌چینی براساس نوع زمینه (پنج، شش، هشت یا...) و همچنین نوع ترسیمات شامل تند[۱۶] و شل[۱۷] و کند[۱۸] و دو نقطه‌ای[۱۹] (Bonner 2017, 225) تقسیم می‌شوند. گونه‌ها براساس نوع شمسه در سیر تاریخی نیز مورد بررسی قرار گرفته و او نشان می‌دهد که شمسه‌های شش و هشت ابتدا مورد استفاده قرار گرفته و سپس گره‌های ده و دوازده در قرن پنجم هجری رواج یافته‌اند (Abdullahi and Embi 2013).

علاوه‌بر گونه‌بندی براساس ترسیمات مولد، گروه تقارنی و نوع شمسه و یا شیوهٔ طراحی می‌توان نقوش هندسی را براساس جلوه و یا نوع ظهور آن دسته‌بندی کرد. جلوه یا روش اجرا به چگونگی ظهور و نمایش نگاره‌های طراحی‌شده با نماهای گوناگون اشاره می‌کند. کشاورزی میاندشنی (۱۴۰۲) در «بنای خط بنایی» جلوه را از منطق طراحی جدا کرده و نشان می‌دهد جلوه‌های ساده، یک‌رگی، سه‌رگی، و راسته‌خفته، بر شبکه‌های مختلف در شکل‌های گوناگون طراحی خط بنایی قابل پیاده‌سازی است، یا به عبارت دیگر هر طرح با جلوه‌های مختلفی قابل اجراست.

این تعریف جلوه در مقابل طرح در نقوش هندسی نیز می‌تواند مبنایی برای تحلیل آثار تاریخی و فهم دقیق‌تر نقوش هندسی باشد. این معیار هنگام اولین مشاهدهٔ هر طرح، به‌راحتی قابل تشخیص است. از بررسی تحقیقات بونر (۲۰۱۷) می‌توان چهار مرحله را برای طراحی گره‌ها استنباط کرد: ۱. شبکهٔ پایه (چندضلعی‌ها)؛ ۲. زاویه‌ها (تند، کند، شل)؛ ۳. جلوه‌ها (شطرنجی، لبه‌دار، پهن)؛ ۴. اندازه‌ها و جزئیات. دو مرحلهٔ اول، طرح گره را معین می‌کنند و دو مرحلهٔ دوم، جلوهٔ آن را (تصویر ۲). تفاوت در نحوهٔ پرداخت خطوط می‌تواند ظاهر کلی یک الگو را تا حد زیادی تغییر دهد، گاهی اوقات تا جایی که شباهت بین نمونه‌هایی از یک طرح را غیرقابل تشخیص می‌کند. گونه‌بندی براساس جلوه می‌تواند فارغ از سایر گونه‌بندی‌ها بررسی و تحلیل شود.



تصویر ۲: مراحل طراحی گره‌چینی، از راست به چپ: شبکهٔ زیرکار، زوایا (انواع تند، کند و شل)، جلوه‌ها، اندازه‌ها و جزئیات (ترسیمات از بونر، ۲۰۱۷، دسته‌بندی از نویسندگان)

در کتب استادکاران نیز بدین موضوع پرداخته شده است. می‌توان به دیدگاه استادکاران در منابع مکتوبشان مانند حسین لرزاده (رئیس‌زاده و مفید ۱۳۹۸)، اصغر شعرباف (۱۳۸۵)، علی‌اکبر حلی (۱۳۶۵)، محمود ماهرالنقش (۱۳۶۱)، حسین زمرشیدی (۱۳۶۵) و محمدگلیار (۱۳۹۹) اشاره کرد. همچنین محققانی که با ابزار و نرم‌افزارهای جدید نقوش

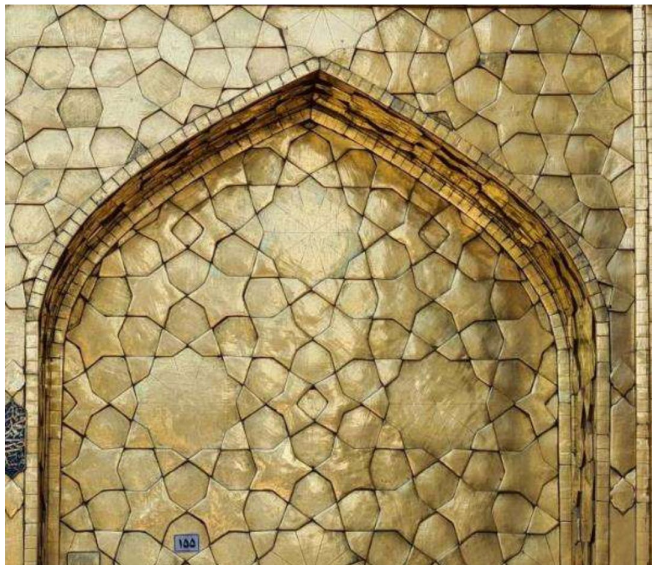
هندسی را ترسیم کرده‌اند ازجمله میروسلاو ماجیسکی (۲۰۲۲) و ژان ـ مارک کاسترا[۲۰] (۲۰۱۶) که به ترسیم نقوش هندسی با جلوه‌های متفاوت پرداخته‌اند.

٤. انواع جلوه در نمونه‌های تاریخی

بونر جلوه‌های نقوش هندسی را به سه دستهٔ کلی تقسیم کرده است: ۱. خط پایه بدون پهن شدن که تقریباً همیشه با رنگ‌های متمایز سطوح تفکیک می‌شود؛ ۲. خطوط ضخیم‌شده؛ ۳. خطوط درهم‌تنیده (بندکشی). ضخامت خطوط ضخیم‌شده و درهم‌تنیده متغیر است و با معیارهای مختلفی ازجمله محدودیت‌های هنری، فرهنگی، هماهنگی هندسی و ترجیحات زیبایی‌شناختی هنرمند تعیین شده است (Bonner 2017, 220). علاوه‌بر سه جلوهٔ مورد اشاره توسط بونر، با بررسی نمونه‌های تاریخی می‌توان چند جلوهٔ دیگر را نیز شناسایی کرد. در ادامه، جلوه‌های مورد اشارهٔ بونر اصلاح و تکمیل شده و جلوه‌های بیشتری نیز ذکر می‌شود.

٤. ۱. یک‌درمیان کردن کاشی‌ها

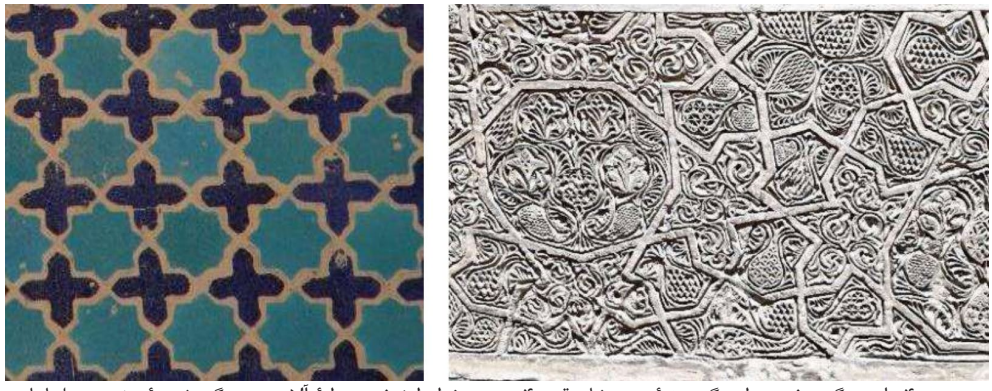
در این روش مرز بین کاشی‌ها همان خطوط ساده ترسیمی نقش هندسی است، اما آلات نقوش هندسی با رنگ‌های متفاوت کنار یکدیگر قرار می‌گیرند، به‌طوری‌که هیچ دو کاشی همرنگی مجاور یکدیگر قرار نگیرد. این جلوه از نقوش هندسی ساده‌ترین حالت ممکن جلوهٔ نقوش هندسی است. در آثار گچی و یا آجری قرن چهارم تا هشتم، این آثار کمتر مشاهده می‌شود ولی با ظهور کاشی در آثار و ابنیه در نقوش هندسی با تفاوت رنگ‌ها تنوع و زیبایی نقوش فراهم شده و بدون بندکشی خاصی آلات در کنار هم قرار گرفته‌اند. در دورهٔ تیموری و صفوی در ابنیهٔ مذهبی تعداد زیادی از این نمونه‌ها مشاهده می‌شود. در این جلوه معمولاً دو رنگ به کار گرفته می‌شود، اما نمونه‌هایی با تنوع رنگی بیشتر نیز وجود دارد. با توجه به شروع استفادهٔ گسترده از کاشی فیروزه‌ای و لاجوردی از قرن شش و هفت هجری از آثار و ابنیه مانند ورودی مسجدجامع هرات در آل کرت انتظار وجود این شیوه در دوره‌های قبل را نباید داشت. به‌جای استفاده از رنگ‌ها، مفاهیم دوگانهٔ دیگری مانند برجسته و فرورفته (تصویر ۳)، پر و خالی، ساعتگرد و پادساعتگرد یا... نیز دیده می‌شود. کاسترا (۲۰۱۶) برای توصیف این جلوه از اصطلاحات مثبت و منفی و همچنین شطرنجی کردن استفاده کرده است. این جلوه می‌تواند مبنای تولید بعضی دیگر از انواع جلوه (مانند درهم‌بافتگی) قرار بگیرد.



تصویر ۳: گره ده شل با جلوهٔ یک‌درمیان برجسته و فرورفته، حرم مطهر رضوی، قرن ۱۱ هجری

٤. ٢. ضخیم کردن خطوط

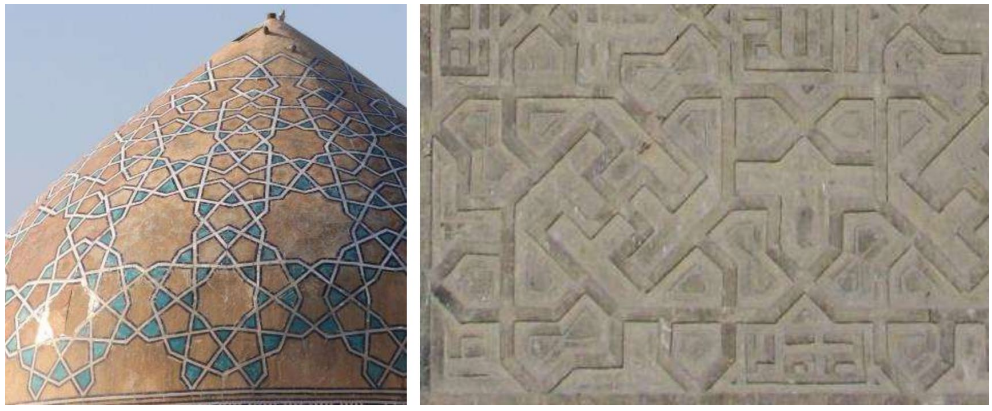
این جلوه براساس مصالح مورد استفاده در روی خطوط نقوش هندسی ترسیمی قابل تحقق است. قرارگیری بند سفالی در روی خطوط می‌تواند یک نقش با ضخیم کردن خطوط به‌صورت محوری ایجاد کند. تعدادی از لوح‌های گچی به‌دست‌آمده از قرن ۴ و ۵ در موزهٔ ملی ایران گره‌هایی با آرایه در آلات را نمایش می‌دهند که خطوط بین آلات به‌صورت ضخیم‌شده مرز بین آلات را تعریف نموده است. نمونهٔ بندها در بین کاشی‌های سفالی فیروزه‌ای در بنای بقعهٔ پیر بکران را می‌توان ساده‌ترین حالت ضخیم کردن خطوط در نظر گرفت. در حالت دیگر، هر آلات لبه‌ای مجزا دارد که در مقبرهٔ خواجه عبدالله انصاری در گره هجده و شش و یا مدرسهٔ دو در مشاهده کرد. ضخامت خطوط به نوع گره، نوع مصالح و مراحل احتمالی بعدی کار وابسته است. این جلوه به‌لحاظ هندسی مبنای تولید بعضی جلوه‌های دیگر است (تصویر ۴).



تصویر ۴: راست: گره هفت در لوح گچی تپهٔ سبزپوشان قرن ۴ هجری خطوط ضخیم در لبهٔ آلات؛ چپ: گره شمسهٔ هشت و چلیپا با خطوط ضخیم‌شده بین آلات بقعهٔ پیر بکران قرن ۸ هجری

٤. ٣. لبه‌دار کردن

این جلوه ترکیبی از خطوط ضخیم است که می‌تواند با دو یا سه لبه انجام شود. در حالتی نیز می‌تواند به‌صورت بند آمیخته ترکیب شود (تصویر ۵). بندهای سه‌تایی به‌علت زیبایی و نکات کارکردی در تعداد زیادی از اشکال سه‌بعدی ازجمله گنبدها مورد استفاده قرار گرفته است.



تصویر ۵: راست: گره هشت‌پیلی دوخط در آلات به‌جز کلید مسجدجامع اصفهان قرن ۵ هجری؛ چپ: گره هشت و دوازده با بند سه‌خطی در گنبد مسجدجامع ساوه قرن ۵ هجری

٤. ٤. تقاطع خطوط

در این جلوه، پس از ضخیم کردن خطوط، محل تقاطع آن‌ها ازطریق تغییر رنگ یا برجستگی، مورد تأکید بصری قرار می‌گیرد. آلت شش شل و ستاره شش دارای بله هستند. در مسجد کبود تبریز تعریض محوری ساده بوده ولی در محل تقاطع کاشی متفاوت نصب شده است (تصویر ۶).



تصویر ۶: راست: خط ضخیم‌شده با نقاط تقاطع طلایی گره شش در مسجد کبود تبریز قرن ۹ هجری؛ چپ: گره هشت و دوازده با خط ضخیم‌شده و تقاطع تأکیدشده، مسجدجامع یزد (Burckhardt 2009)

٤. ٥. درهم‌بافتگی خطوط

این روش براساس امتداد یافتن خطوط ضخیم محوری طراحی می‌شود که در آن هر بند در تقاطع با بند دیگر به‌صورت رو یا زیر ترسیم خواهد شد. رو یا زیر بودن در این تقاطع‌ها به‌صورت یک‌درمیان خواهد بود و به‌مانند تاروپود فرش یک شبکه را ایجاد خواهند کرد. تیتوس بورکهارت[۲۱] (۲۰۰۹) درهم‌بافتگی را، پس از بیان انتزاعی، دومین ویژگی مهم همهٔ تزیینات اسلامی می‌داند.

اولین نمونه‌های گره درهم‌بافته در آلات منفرد در مسجد اشترجان در اصفهان مشاهده می‌شود (تصویر ۷ راست). صرفاً آلات پنج و ترقه دارای لبهٔ بنددار درهم‌بافته هستند. در همین بنا نمونهٔ کاملی از گره بنددار زیر و رو در زیر قوس محراب فرعی قابل مشاهده است. مصالح ساختمانی استفاده‌شده در این زمینه گچی است. نمونهٔ دیگر در مسجدجامع نائین به‌صورت گره کمانی با شمسهٔ شش وجود دارد (تصویر ۷ چپ).



تصویر ۷: راست: گره هشت و دوازده با بندکشی در آلات ستاره و ترقهٔ گنبدخانهٔ مسجد اشترجان قرن ۸ هجری؛ چپ: گره شش‌کمانی با بندکشی زیر و رو با مصالح آجر در مسجدجامع گلپایگان قرن ۵ هجری

نمونهٔ تاریخی دیگر در مسجدجامع برسیان است (تصویر ۸ راست). استفاده از مصالح اجری و تراشیدن آجر برای نشان دادن بندها زیبایی دوچندانی دارد. همچنین از اجرهای تراشیده در خط کوفی از گره‌های بنددار در مسجدجامع گلپایگان استفاده شده است (تصویر ۸ چپ).



تصویر ۸: راست: گره هشت و چلیپا بندکشی زیر و رو در محراب مسجدجامع برسیان قرن ۵ هجری؛ چپ: گره کمانی هشت با بندکشی زیر و رو مسجدجامع نایین قرن ۴ هجری

٤. ٦. شاه‌گره

اگرچه بونر (۲۰۱۷) شاه‌گره را جزو طرح‌ها به حساب آورده، آن را می‌توان یک جلوه نیز محسوب کرد؛ زیرا در شاه‌گره، گره مادر و گره خرد، لزوماً از یک نوع نیستند. گاهی در خرد کردن گره مادر بعضی آلات با نقوشی غیر از گره (مانند اسلیمی یا خط بنایی) پر می‌شود. در جلوه‌ای که آن را شاه‌گره می‌نامیم، بند بین آلات، خود گرهی در سطح پایین‌تر است. در شاه‌گره، طبق تعریف لرزاده باید کل آلت‌ها خرد شوند (رئیس‌زاده و مفید ۱۳۹۸)، اما در این جلوه تمام گره خرد نشده است؛ بااین‌حال از این جهت که این جلوه مبتنی بر خرد کردن است، آن را می‌توان زیرمجموعه‌ای از شاه‌گره محسوب کرد. در مسجدجامع اصفهان صفهٔ استاد نقش گره هشت با بندهای خردشده و در مسجد گوهرشاد نیز به همین روش نقوش هشت لبهٔ گره را شکل داده است (تصویر ۹).



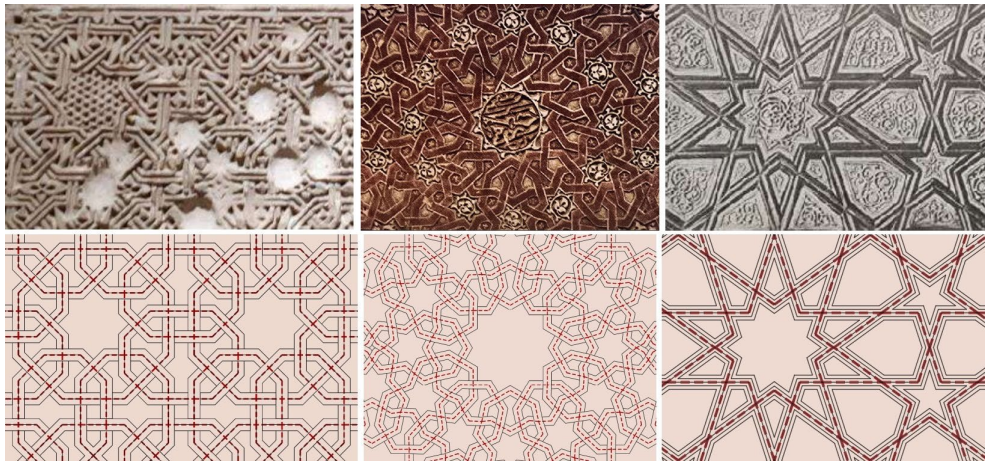
تصویر ۹: راست: گره هشت چلیپا و سرمه‌دان شاه‌گره با بندکشی گره هشت و چلیپا در مسجد گوهرشاد قرن ۱۴ هجری؛ چپ: شاه‌گره هشت و طبل با بندکشی گره هشت و چلیپا صفهٔ استاد در مسجدجامع اصفهان قرن ۱۰

جدول ۱ نمونه‌های بارزی از انواع جلوه در گره‌های اجراشده در آثار تاریخی را با مشخصات کامل‌تری طبقه‌بندی و مقایسه می‌کند.

جدول ۱: انواع جلوه‌ها در نمونه‌های از گره به تفکیک نوع مصالح و بندکشی

انواع جلوه	نوع گره	تاریخ (قرن هق)	بنا	نوع مصالح	طراحی آلات	طراحی بند
یک‌درمیان کردن کاشی‌ها	گره ده شل	۱۱	حرم امام رضا(ع)	طلا	ساده	ندارد
ضخیم کردن خطوط	گره ترکیبی	۹	مدرسه دو در	کاشی بدون لعاب و لعاب‌دار	طرح اسلیمی و ختایی	ساده
	گره هشت و طبل	۴	تپهٔ سبزپوشان	گچ	طرح‌دار	ساده
	گره هشت	۸	مقبره پیر بکران	کاشی بدون لعاب و لعاب‌دار	ساده	ملات
لبه‌دار کردن	گره هشت‌پیلی	۵	مسجدجامع اصفهان	سفال بدون لعاب	ساده	ساده
	گره ترکیبی	۵	مسجدجامع ساوه	کاشی لعاب‌دار	ساده	دورنگ ـ ساده
تقاطع خطوط	گره هشت و دوازده	۸	مسجدجامع یزد	کاشی بدون لعاب و لعاب‌دار	اسلیمی	دورنگ ـ ساده
	گره شش	۹	مسجد کبود تبریز	کاشی لعاب‌دار	ساده	دورنگ ـ ساده
درهم‌بافتگی	گره شش‌کمانی	۴	مسجدجامع نائین	گچ	اسلیمی	طرح‌دار
	گره ده	۵	مسجدجامع برسیان	گچ	طرح دار	ساده
	گره هشت	۸	مسجدجامع اشترجان	آجری	طرح دار	ساده
	گره شش‌کمانی	۵	مسجدجامع گلپایگان	آجر	ساده	ساده
شاه‌گره	گره هشت	۱۰	مسجدجامع اصفهان	کاشی لعاب‌دار	اسلیمی و ختایی	گره هشت
	گره هشت چلیپا	۱۴	مسجد گوهرشاد	کاشی لعاب‌دار و سنگ	اسلیمی و ختایی	گره هشت

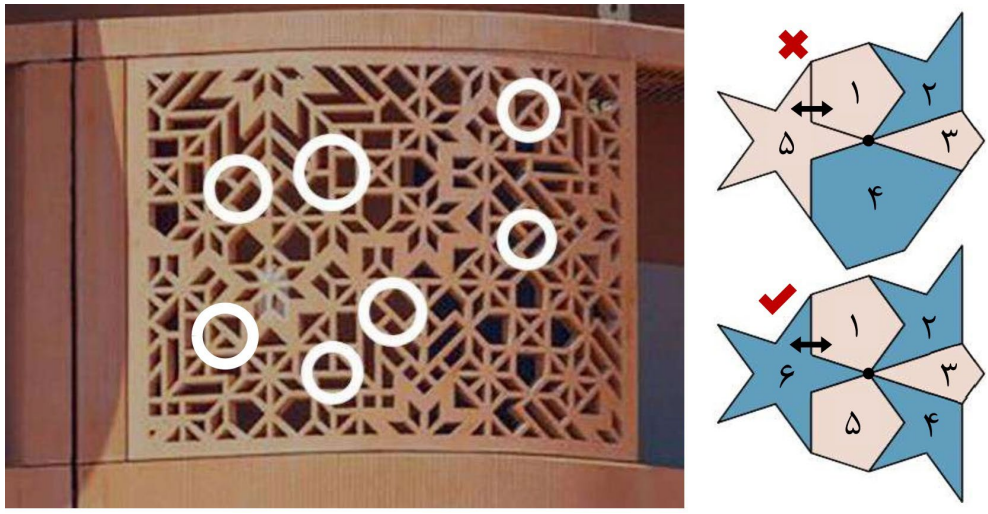
۵. یافته‌های حاصل از مقایسهٔ خروجی الگوریتم‌ها با نمونه‌های تاریخی



تصویر ۱۰: بازسازی الگوریتمی بعضی جلوه‌ها. بالا: تصاویر اصلی از راست به چپ: ورق لعاب‌دار بند ضخیم با پخ هر آلت قرن ۹ قاهره (El-Said and Parman 1976)؛ گره هفت و دوازده با بندکشی زیر و رو گنبد سلطانیه قرن ۸ هجری (نوایی و حاجی‌قاسمی ۱۳۹۰)، و محراب گچی مسجدجامع اشترجان گره هشت و سرمه‌دان با بندکشی زیر و رو با دو خط. پایین: بازترسیم طرح با خط چین قرمز و جلوه با خط سیاه.

پس از مقایسهٔ خروجی الگوریتم با تصاویر نمونه‌های تاریخی و معاصر (تصویر ۱۰) مشخص شد برای اینکه بتوان جلوهٔ یک‌درمیان را پیاده کرد، لازم است در هر نقطه‌ای که آلت‌ها گوشه‌به‌گوشه قرار می‌گیرند، تعداد زوجی از آلت‌ها را داشته باشیم، یا به عبارت دیگر تعداد زوجی از خط‌ها به یک نقطه برسند. با اصطلاحات نظریهٔ گراف، باید درجهٔ این رأس زوج

باشد. در غیر این صورت، دو رنگ یکسان کنار هم قرار خواهند گرفت و جلوهٔ مورد نظر ایجاد نخواهد شد. تصویر ۱۱ غیرقابل حل بودن یک تقاطع با تعداد فرد آلت‌ها یا خطوط (پنج خط) را که در یک نقطه تقاطع کرده‌اند، با نمونه‌ای که تعداد خطوط و آلات آن زوج است مقایسه می‌کند. چنین کمبودی (عدم امکان جلوهٔ یک‌درمیان) اگرچه در نمونه‌های تاریخی نیز دیده می‌شود، در بازتعریف‌های مدرن گره‌چینی متداول‌تر است. در ادامه، نشان داده خواهد شد که جلوهٔ یک‌درمیان پیش‌نیاز جلوهٔ درهم‌بافتگی است و اگر طرح را نتوان یک‌درمیان کرد، قطعاً آن را نمی‌توان درهم‌بافته کرد.

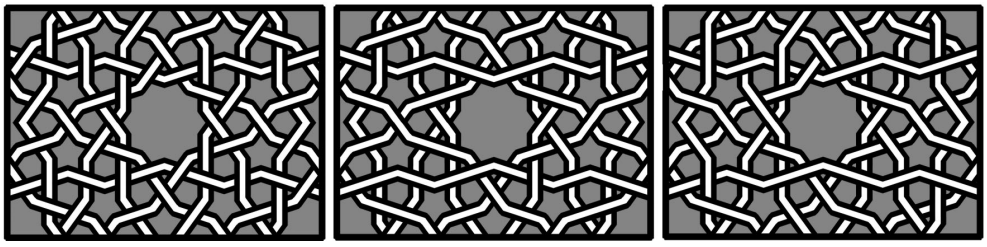


تصویر ۱۱: راست بالا: تعداد فرد آلات گوشه‌به‌گوشه در یک نقطه که نمی‌تواند یک‌درمیان شود؛ راست پایین: تعداد زوج آلات گوشه‌به‌گوشه در یک نقطه که می‌تواند یک‌درمیان شود؛ برداشت مدرنی از گره‌چینی در مؤسسهٔ مصدر، نقاطی با تعداد فرد آلت مجاور.

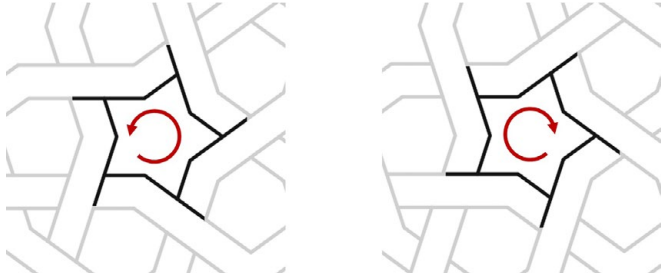
ازطرف دیگر برای اینکه بتوان جلوهٔ درهم‌بافتگی را پیاده کرد، لازم است در هر تقاطع دقیقاً چهار آلت گوشه‌به‌گوشه قرار گیرند، یا به عبارت دیگر چهار پاره‌خط به یک نقطه برسند. هر دو پاره‌خطی که تقریباً یا دقیقاً هم امتداد باشند، یک مسیر را تشکیل می‌دهند. چهار پاره‌خط دو مسیر را تشکیل می‌دهند که یکی رو و دیگری زیر قرار می‌گیرد. امکانی برای مسیر سوم نیست. بنابراین تقاطع شش، هشت یا بیشتر پاره‌خط (که سه چهار یا بیشتر مسیر را تشکیل می‌دهند) غیرممکن است. در نمونه‌های تاریخی، اکثراً این اصل رعایت گردیده و حتی خطوط در نقطهٔ تقاطع دچار شکست نمی‌شده‌اند.

همچنین اینکه کدام خط از روی کدام‌یک رد شود، دارای قاعده‌ای است. تصمیمات اتفاقی الگوریتم یا قواعد قراردادی دربارهٔ اینکه کدام خط از روی کدام عبور کند، جلوه‌ای نامطلوب ایجاد می‌کند. در نمونه‌های تاریخی، از یک طرف می‌بینیم درهم‌بافتگی خطوط دارای تقارن دورانی حول شمسه‌ها و پنج‌ها و سایر آلات است و ازطرف دیگر مشاهده می‌شود هر خط ممتد به‌طور یک‌درمیان از رو و زیر سایر خطوط عبور می‌کند. این دو کیفیت با تصمیم‌گیری اتفاقی در تقاطع‌ها یا تصمیم یکسان برای کل تقاطع‌ها قابل حصول نیست. به عبارت دیگر، اگر الگوریتم در هر تقاطع تصمیم درستی دربارهٔ اینکه کدام خط از رو و کدام خط از زیر رد شود نگیرد، جلوهٔ مطلوب به دست نمی‌آید (تصویر ۱۲). مهم‌ترین قاعده در این میان یکنواختی جهت بافت به دور هر آلت است. جهت گردش تقاطع‌ها حول هر آلت می‌تواند ساعتگرد یا پادساعتگرد باشد. بنابراین باید برای هر آلت یکی از دو وضعیت ساعتگرد یا پادساعتگرد را تعیین کرد (تصویر ۱۳). ازطرفی، دو آلت مجاور پهلوبه‌پهلو نمی‌توانند هر دو ساعتگرد یا پادساعتگرد باشند زیرا هر تقاطع از هر طرف، جهت متفاوتی پیدا می‌کند. بنابراین وضعیت‌های دوگانهٔ ساعتگرد و پادساعتگرد باید به‌نحوی به آلت‌ها تخصیص داده شود که هیچ دو آلت یکسانی کنار یکدیگر قرار نگیرد (تصویر ۱۴). این تخصیص کیفیت دوگانه نوعی از جلوهٔ یک‌درمیان است.

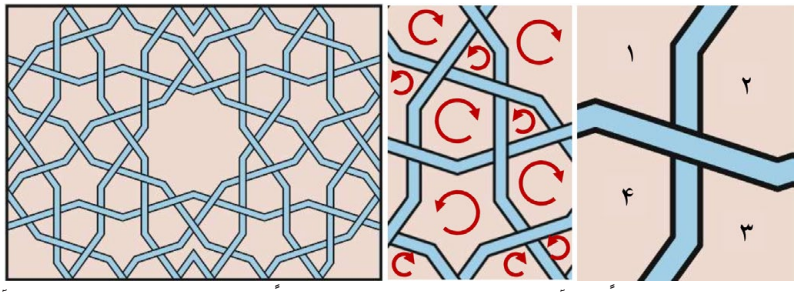
به عبارت بهتر، برای اجرای جلوهٔ درهم‌بافتگی باید ابتدا جلوهٔ یک‌درمیان را اجرا کرد. بنابراین برای اجرای درهم‌بافته در طرح یک‌خطی باید به‌ترتیب، خطوط را ضخیم کرد، آلت‌ها را یک‌درمیان کرد (ساعتگرد و پادساعتگرد)، تقاطع‌ها را براساس جهت گردش آلت‌ها از رو یا از زیر عبور داد (تصویر ۱۵).



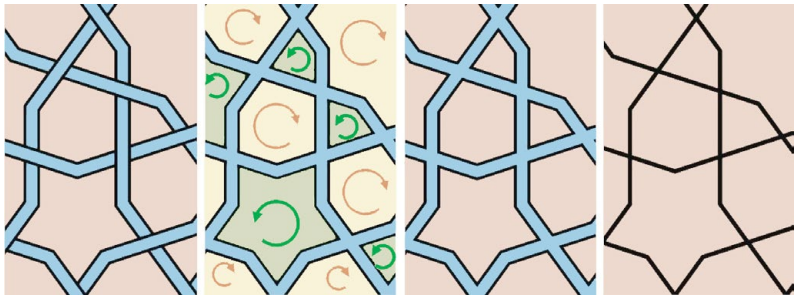
تصویر ۱۲: تصمیم‌گیری الگوریتمی دربارهٔ تقاطع‌ها در جلوهٔ درهم‌بافته: راست: اتفاقی، وسط: یکنواخت در همهٔ تقاطع‌ها (همیشه امتداد نزدیک به زاویهٔ خاصی از رو رد شود)؛ چپ: مبتنی‌بر آلات یک‌درمیان ساعتگرد و پادساعتگرد



تصویر ۱۳: جهت ساعتگرد یا پادساعتگرد آلت تعیین می‌کند در تقاطع‌ها کدام خطوط از رو یا از زیر عبور کند.

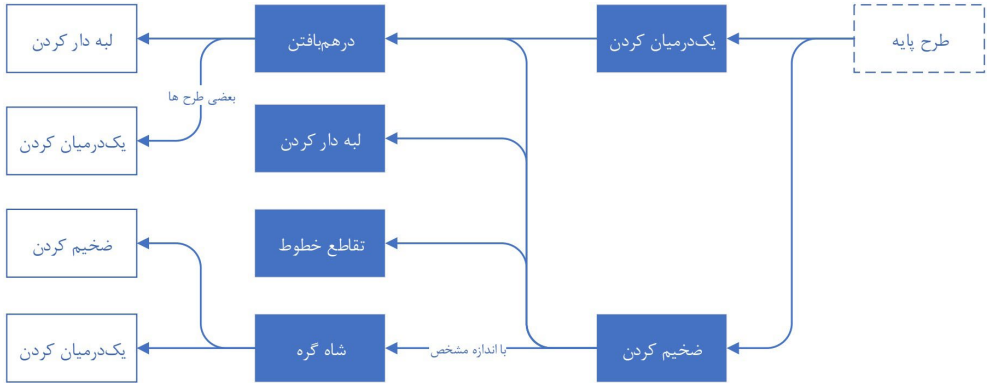


تصویر ۱۴: راست: در هر تقاطع دقیقاً چهار آلت باید گوشه‌به‌گوشه قرار گیرند تا دقیقاً چهار پاره‌خط به تقاطع برسند؛ وسط: آلت‌ها باید یک‌درمیان ساعتگرد و پادساعتگرد شوند؛ چپ: یک زمینهٔ کامل با جلوهٔ درهم‌بافته



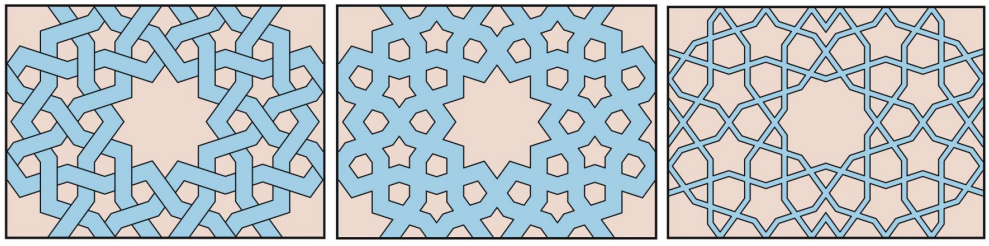
تصویر ۱۵: مراحل تولید جلوهٔ درهم‌بافته. راست به چپ: طرح یک خطی؛ ضخیم کردن خطوط؛ یک‌درمیان کردن آلات به ساعتگرد و پادساعتگرد؛ زیر و رو بردن خطوط

مانند نمونه‌ای که در بالا ذکر شد، بعضی جلوه‌ها پیش‌نیاز بعضی دیگرند. تصویر ۱۶ ساختار این پیش‌نیازی را نمایش می‌دهد. جلوه‌هایی که با رنگ آبی نمایش داده شده‌اند، می‌توانند خود به‌عنوان خروجی نهایی ظاهر شوند یا به‌عنوان پیش‌نیاز جلوه‌ای دیگر و بخشی از روند ایجاد آن جلوه باشند. همچنین بعضی جلوه‌ها را می‌توان بر جلوهٔ دیگری پیاده کرد. به همین علت دو یا چند بار در این ساختار دیده می‌شوند. قرارگیری هر جلوه برای دفعهٔ دوم به بعد با رنگ سفید نمایش داده شده است.



تصویر ۱۶: ساختار پیش‌نیازی جلوه‌ها

نکتهٔ دیگری که از مقایسهٔ خروجی الگوریتم‌ها و نمونه‌های تاریخی می‌توان فهمید این است که هنرمندان سنتی قواعد هندسی را کورکورانه پیاده نکرده‌اند، بلکه در هر گام براساس اهداف و معیارهای هنری و فنی تصمیم گرفته‌اند. یکی از این معیارها یکنواختی و همگنی طرح است. در جلوهٔ ضخامت خطوط در نمونه‌های تاریخی هنگامی که مقدار ضخامت زیاد می‌شود، آلت‌های ضعیف (ریزدانه، باریک یا کمرباریک) حذف می‌شوند. این آلت‌ها با آلت دیگری ادغام می‌شوند و آلت جدیدی می‌سازند که نوع یا اندازهٔ متفاوتی دارد. این پدیده در جلوهٔ درهم‌بافته با ضخامت‌های متفاوت نیز رعایت می‌شود. در تصویر ۱۷ می‌توان نمونه‌ای از این فرایند را دید. در اینجا با افزایش ضخامت خطوط، ترنج‌های اطراف شمسه حذف شده است (شمسه بزرگ‌تر شده) و لوزی وسط سکرو در آن ادغام شده است (آلت جدید ایجاد شده است). در نمونه‌های تاریخی این تغییرات بعینه در جلوهٔ درهم‌بافته با همان ضخامت نیز دیده می‌شود.



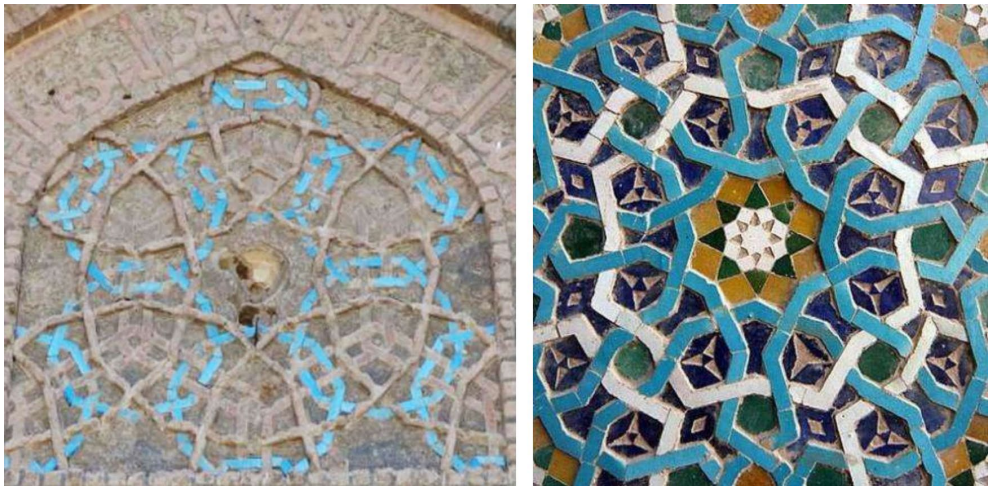
تصویر ۱۷: ترسیمات گره ده شل دوپنجی سکرودار از بونر (۲۰۱۷) با حذف آلت‌های ضعیف. راست: با ضخامت حداقلی؛ وسط: با ضخامت زیاد؛ چپ: با جلوهٔ درهم‌بافته

۵. ۱. استثناها و ترکیب جلوه‌ها

خروجی الگوریتم‌های مورد نظر، در اغلب موارد بر نمونه‌های واقعی انطباق کامل دارد، بدین معنا که دقیقاً همان ترکیب، زوایا، اندازه‌ها و جزئیاتی را که در تصویر واقعی هر اثر دیده می‌شود، می‌توان با تنظیم پارامترها از الگوریتم نیز گرفت. بااین‌حال استثنائاتی نیز دیده می‌شود. در بعضی نمونه‌ها تصویر واقعی بعینه توسط الگوریتم قابل بازتولید

نیست و بعضی ریزه‌کاری‌ها متفاوت است. اغلب چنین تفاوت‌هایی در نزدیک لبهٔ یک زمینه مشاهده می‌شود. قاعدهٔ امتداد خطوط در نقطهٔ برخورد با شبکهٔ زیرساخت چندضلعی برای به دست آوردن اشکال متقارن نقش هندسی گاهی نادیده گرفته شده است.

همچنین در بعضی نمونه‌ها استادکاران از قواعد مطرح‌شده در این مقاله فراتر رفته و به نمونه‌های یکتایی رسیده‌اند. در بعضی از این نمونه‌ها چند جلوهٔ مختلف هم‌زمان اجرا شده است؛ مثلاً در مسجدجامع کرمان یک طرح گره‌چینی با جلوهٔ درهم‌بافته ایجاد شده، بندهای بافته‌شده خود یک‌درمیان رنگ شده و آلات نیز به‌نحوی خرد شده است (تصویر ۱۸، راست). این اثر چند جلوهٔ مختلف را در کنار یکدیگر و در عین حال بر روی یکدیگر پیاده کرده است. تلاش برای بازتولید جلوهٔ یک‌درمیان روی بندهای درهم‌بافته نشان داد این کار فقط در بعضی گره‌های زمینهٔ زوج به‌شیوه‌ای خاص امکان‌پذیر است. در بعضی دیگر، مهارت طراح به‌گونه‌ای است که اثر هنری را نمی‌توان به طرح و جلوه تفکیک و توسط الگوریتم بازتولید نمود، مانند گره در گره ورودی گنبد سرخ مراغه (تصویر ۱۸، چپ).



تصویر ۱۸: راست: گره هشت با جلوهٔ درهم‌بافتهٔ یک‌درمیان‌شده و آلات خردشده، مسجدجامع کرمان، قرن ۸ و ۱۳ هجری (مسجدجامع کرمان، ۱۴۰۵)؛ چپ: گره در گره شش و طبل بندکشی زیر و رو بین دو گره ورودی گنبد سرخ مراغه، قرن شش هجری

٦. بحثی در یافته‌ها

درحالی‌که تحقیقات رایانشی بر گره چینی‌ها معمولاً با پیدا شدن هندسهٔ طرح پایان می‌یابد، بحث این مقاله از آن آغاز می‌گردد. پژوهشگرانی مانند بونر (۲۰۱۷) عمدتاً بر تولید خودکار عمومی طرح‌های هندسی متمرکزند، اما در این پژوهش علاوه‌بر آن نشان داده شد هنرمند کجا از الگوریتم فراتر رفته است. در آن تحقیقات، جلوه فرع بر طرح محسوب می‌شود، درحالی‌که پژوهش حاضر با استفاده از الگوریتم‌های هندسی نشان داد گاهی طرح در خدمت جلوه است و به نفع جلوه نقض می‌شود. البته برخی پژوهشگران دیگر نیز ادعای مشابهی دارند: به‌طور کلی، یک نقش برای هنرمندان ترکیبی از آلات هندسی است نه شبکه‌ای از خطوط؛ بنابراین تقارن اشکال مهم‌تر از دوشاخه یا خم شدن خطوط الگو بود (Majewski 2020, 98). کاسترا نیز در عمدهٔ آثار خود معتقد است بسیاری از استادکاران سنتی صرفاً قواعد ریاضی را پیاده نمی‌کردند، بلکه برای رسیدن به تعادل، خوانایی و کیفیات زیبایی‌شناختی، شهود و تشخیص هنری خود را در قواعد دخیل می‌کردند. یافته‌های این پژوهش چنین ادعاهایی را تأیید می‌کند و حدود آن را کمی روشن‌تر می‌نماید.

بعضی از جلوه‌هایی که در این مقاله معرفی شد، در ترسیمات محققانی مانند کاسترا، کاپلان و بروگ نیز دیده می‌شود. همچنین بعضی از جلوه‌هایی که در این مقاله معرفی شد، در متن آثار محققانی مانند بونر (۲۰۱۷) معرفی شده

است، با این تفاوت که مقالهٔ حاضر آن‌ها را به‌طور یکجا و مستقل از طرح بررسی، تکمیل و طبقه‌بندی نموده است. تفکیک جلوه از طرح، تدوین سلسله‌مراتب پیش‌نیازی جلوه‌ها و محدودیت‌های جلوه برای طرح در آثار سایر محققان دیده نمی‌شود.

توجه به مفاهیم توپولوژیک، علاوه‌بر هندسهٔ ترسیمی باعث شد یافته‌های محققان قبلی در این مقاله تکمیل شود. جلوهٔ درهم‌بافته را محققان پیشین مانند بونر و کاسترا به‌طور شهودی و عملی توصیف کرده بودند درحالی‌که در این مقاله به‌طور نظام‌مندی با قواعد هندسی معرفی شده است. کاسترا (۲۰۱۶) لزوم امتداد خطوط در تقاطع‌ها را به‌طور شهودی و تجربی توصیف می‌کند، اما در اینجا تلاش شد لزوم نظری آن اثبات شود. کاسترا همچنین در تعدادی از آثار خود به‌طور پراکنده دربارهٔ یک‌درمیان کردن کاشی‌ها با عنوان مثبت و منفی در یک جا و چرخش ساعتگرد و پادساعتگرد در جای دیگر برای درهم‌بافتگی اشاره کرده است؛ هرچند رابطهٔ بین این دو مفهوم را به‌شکل عینی که در این مقاله نشان داده شد برقرار نمی‌کند.

نتیجه

با الهام از پژوهش‌هایی که درزمینهٔ خط بنایی انجام شده بود، مفهوم جلوه در مقابل طرح در گره‌چینی مطرح شد. اکثر مطالعات پیشین متمرکز بر طرح گره‌چینی به‌معنای نقوش انتزاعی هندسی یک‌خطه بوده‌اند، درحالی‌که جلوه که در این مقاله مطرح شد، به‌معنای نقوش در عالم واقع است که دوخطه یا چندخطه و شامل رنگ، پهنا، ارتفاع، و سایر ترفندهاست. در این راستا جلوه‌های قابل اقتباس از پژوهش‌های قبلی اصلاح و تکمیل شد و موارد جدیدی نیز بر آن افزوده شد. در این مقاله، جلوه‌های ضخیم کردن خطوط، یک‌درمیان کردن، درهم بافتن، لبه‌دار کردن، تقاطع خطوط و شاه‌گره معرفی شد.

روش‌های ایجاد این جلوه‌ها در قالب الگوریتم‌هایی پیاده شد. بازتولید الگوریتمی نشان داد بین بعضی جلوه‌ها روابط پیش‌نیازی وجود دارد. جلوهٔ ضخامت خط پیش‌نیاز اکثر جلوه‌هاست و جلوهٔ یک‌درمیان پیش‌نیاز جلوهٔ درهم‌بافتگی است. همچنین این بازتولید نشان داد که برای پیاده کردن بعضی جلوه‌ها باید ملاحظاتی در طرح گره‌چینی رعایت شده باشد. برای جلوهٔ یک‌درمیان کردن کاشی‌ها فقط تعداد زوجی از آلات می‌تواند گوشه‌به‌گوشه قرار بگیرد و برای جلوهٔ درهم‌بافته دقیقاً چهار آلت باید گوشه‌به‌گوشه قرار گیرد. این دو الزام می‌تواند در تولید طرح‌های جدید گره‌چینی مورد توجه قرار گیرد و برای انعطاف بیشتر طرح‌ها در شیوه‌های اجرا باید رعایت شوند.

مقایسهٔ نقوش بازتولیدشده با تصاویر آثار واقعی نشان داد استادکاران لزوماً تابع منطق خشک قوانین نبوده‌اند، بلکه برای رعایت معیارهای بصری یا رسیدن به اهداف هنری در نقاط خاصی از آن‌ها عبور کرده‌اند. در ضخامت‌های زیاد خطوط، آلت‌های ضعیف حذف می‌شود یا به عبارت دیگر طرح به نفع جلوه تغییر داده می‌شود. آثار استثنایی نیز داریم که از تفکیک جلوه‌ها یا تفکیک طرح از جلوه عبور کرده و به نقوشی رسیده‌اند که با نظریات موجود قابل تحلیل هندسی و بازتولید الگوریتمی نیست.

پی‌نوشت‌ها

1. Jay Bonner
2. Miroslaw Lucjan Majewski
3. Tony Lee
4. Polygon in contact
5. Grasshopper
6. Rhino
7. Eric Broug

8. AutoCAD
9. Heteroptera
10. Boolean
11. Offset
۱۲. CGAL library که در افزونهٔ clipper استفاده شده است.
13. Polygonal Technique
14. Point-joining Technique
15. Grid Method
16. Acute
17. Median
18. Obtuse
19. Two-point
20. Jean-MarkCastera
21. Titus Burckhardt

منابع

ـ امین‌پور، احمد، محمدرضا اولیا، رضا ابوئی، و بیتا حاجبی. ۱۳۹۴. پیشنهاد مدلی برای ترسیم گره در تزیینات وابسته به معماری اسلامی. *نامهٔ معماری و شهرسازی* ۸ (۱۵): ۵۷ـ۷۸.
ـ ایوز، هاوارد و. ۱۳۷۹. *آشنایی با تاریخ ریاضیات*. ترجمهٔ محمدقاسم وحیدی اصل. تهران: مرکز نشر دانشگاهی.
ـ بنی‌هاشمی، محمدعلی، و حامد بیتی. ۱۳۹۸. بازخوانی رابطهٔ ریاضی و معماری از منظر الگوریتم، *پژوهش‌های معماری اسلامی* ۲۴ (۷): ۱۰۷ـ۱۲۴.
ـ حاجبی، بیتا. ۱۳۹۵. *ارائهٔ سامانهٔ هوشمند برای مرمت نقوش هندسی گره*. رسالهٔ دکتری مرمت و احیای بناها و بافت‌های تاریخی، دانشکدهٔ حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.
ـ حلی، علی‌اکبر. ۱۳۶۵. *گره و قوس‌ها در معماری اسلامی*. تهران: چاپخانهٔ مهر.
ـ رئیس‌زاده، مهناز، و حسین مفید، ۱۳۹۸. *احیای هنرهای از یاد رفتهٔ معماری اسلامی: جلد اول*. تهران: مولی.
ـ زمرشیدی، حسین. ۱۳۶۵. *گره‌چینی در معماری اسلامی و هنرهای سنتی*. تهران: مرکز نشر دانشگاهی.
ـ شعرباف، اصغر. ۱۳۸۵. *گره و کاربندی*. تهران: انتشارات سازمان میراث‌فرهنگی کشور.
ـ عزیزی همدانی، مهدی، غلامحسین معماریان، و اصغر محمدمرادی. ۱۴۰۳. تحلیل تطبیقی شیوه‌های ترسیم نقوش هندسی در هنر اسلامی و طراحی روشی بهینه در بازترسیم آثار. *مطالعات شهر ایرانی ـ اسلامی* ۵۷ (۱۵): ۱ـ۲۳.
ـ عزیزی همدانی، مهدی، غلامحسین معماریان، و اصغر محمدمرادی. ۱۴۰۴. بررسی و ترسیم گره با شمسه‌های ناهمگون با تکیه بر نظریات ریاضی تونی لی. *نامهٔ معماری و شهرسازی* ۱۸ (۴۸): ۱۳۶ـ۱۵۴.
ـ کشاورزی میاندشتی، ح. ۱۴۰۲. *بنای خط بنایی*. تهران: آرما.
ـ گروت، لیندا، و دیوید وانگ. ۱۳۸۸ *روش‌های تحقیق در معماری*. ترجمهٔ علی‌رضا عینی‌فر. تهران: دانشگاه تهران.
ـ گلیار، محمد. ۱۳۹۹. *دفتر گره: روش طراحی گره‌ها در معماری اسلامی ایران*. تهران: میراث اهل قلم.
ـ ماهرالنقش، محمود. ۱۳۶۱. *طرح و اجرای نقش در کارشی‌کاری ایران : دورهٔ اسلامی*. تهران: موزهٔ رضا عباسی.
ـ مسجدجامع کرمان – *ویکی‌پدیا، دانشنامهٔ آزاد*. مسجدجامع کرمان. برگرفته در خرداد ۱۴۰۵ از https://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%B3%D8%AC%_D8%AF%D9%85%D8%B9%D8%AC%_D8%A7%D9%85%D8%A7%D9%86%D8%B1%D9%85%D8%A7%D9%86

ـ نجیب اوغلو، گلرو. ۱۳۸۹. *هندسه و تزیین در معماری اسلامی*. ترجمهٔ مهرداد قیومی بیدهندی. تهران: روزنه.
ـ نوایی، کامبیز، و کامبیز حاجی‌قاسمی. ۱۳۹۰. *خشت و خیال، شرح معماری اسلامی ایران*. تهران: دانشگاه شهید بهشتی و سروش.
- Abdullahi, Yahya, and Mohamed Rashid Bin Embi. 2013. Evolution of Islamic geometric patterns. *Frontiers of Architectural Research* 2 (2): 243–51. https://doi.org/10.1016/j.foar.2013.03.002.
- Azizi Naserabad, Ali, and Abdulhamid Ghanbaran. 2023 Presenting a Method to Generate Existing and Novel Girihs Islamic Geometric Patterns for All Systems and Families Based on 7-Fold Patterns. *Computer-Aided Design* 154 (2): 103418.
- Bonner, Jay. 2017. *Islamic Geometric Patterns*: *Their Historical Development and Traditional Methods of Construction*. United States: Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0217-7.
- Broug, Eric. 2008. *Islamic Geometric Patterns* (Pap/Cdr edition). United Kingdom: Thames & Hudson.
- Burckhardt, Titus. 2009. *Art of Islam*: *Language and Meaning*. United States: World Wisdom.
- Castera, Jean-Marc. 2016. Persian Variations. *Nexus Network Journal* 18 (1): 223-274.
- Akbari, Elham and Bastanfard, Azam. 2021 "Islamic Geometric Algorithms: A survey," 2021 11*th International Conference on Computer Engineering and Knowledge* (ICCKE), Mashhad, Iran, Islamic Republic of, pp. 316-321, doi: 10.1109/ICCKE54056.2021.9721477.
- El-Said, Issam, and Ayse Parman. 1976. *Geometric Concepts in Islamic Art*. United Kingdom: World of Islam Festival Publishing Company Limited.
- Hajebi, Bita, and Pooya Hajebi. 2024 Improving Recognition of Deteriorated Historical Persian Geometric Patterns by Fusion Decision Methods. *Neural Computing and Applications* 36 (20): 11809-11831.
- Kaplan, Craig S. 2002. "*Computer Graphics and Geometric Ornamental Design*" dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, University of Washington.
- Khamjane, Aziz, Zouhair Ouazene, Abderrazak Taime, Imad Badi, Khalid El Fazazy, and Rachid Benslimane. 2023 The Polygonal Technique for Constructing Islamic Geometric Patterns. *Lecture Notes in Networks and Systems*.
- Lee, Tony. 1975. Islamic Star Patterns – Notes, unpublished manuscript available online as PDF file from.
- Majewski, Miroslaw. 2020. Understanding Geometric Pattern and its Geometry, Part 2 -Decagonal Diversity. *The Electronic Journal of Mathematics and Technology* 14 (3): 87-106.
- Majewski, Miroslaw. 2022. Understanding Geometric Pattern and its Geometry, Part 7—What can go wrong? *The Electronic Journal of Mathematics and Technology* 16 (2): 73-91.
- Mottaghi, Esmaeil, and Arman KhalilBeigi,. 2022. Parakeet. Computer software. *Parakeet| Food4Rhino*, March, 6.
- Wichmann, Brian, and David Wade. 2017 *Islamic Design*: *A Mathematical Approach*. Germany: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69977-6.

Classification and Algorithmic Analysis of Articulation Types in Historical Iranian Girih Patterns

Mahdi Azizi Hamedani
PhD in Architecture, School of Architecture and Environmental Design, Iran University of Science and Technology

Mojtaba Sabetfard
Assistant Professor, College of Fine Arts, University of Tehran

Islamic geometric patterns, constituting some of the most significant ornamental features of the Islamic architecture, have been the subject of numerous studies in terms of classification, analysis, and reconstruction. However, most previous research has focused on the abstract geometric structure and generative logic of these patterns, while their modes of visual manifestation and execution in historical works have received comparatively less independent attention. By introducing the concept of "articulation" as distinct from "design", the present study investigates different modes through which girih patterns are expressed and displayed in the Iranian Islamic architecture. The research aimed to identify and classify different articulation types, to extract the geometric and algorithmic rules governing the visual appearances of girih patterns, and to evaluate the extent to which these rules corresponded to historical examples. The study adopted a logical argumentation method combined with geometric analysis. Research data were collected from library sources, studies on historical monuments, and drawings created by traditional master craftsmen. Subsequently, the geometric procedures generating various appearances were modeled algorithmically in Grasshopper, and the results were compared with historical instances. The findings indicated that the visual appearances of girih patterns could be classified into six principal categories: alternating tiles, line thickening, edge offsets, emphasized intersections, interweaving, and Shah-Girih. Algorithmic modeling revealed prerequisite relationships and specific geometric requirements for the underlying design. Moreover, traditional craftsmen were not merely the executors of geometric rules. All in all, the current study contributes to the generation of new patterns in the Islamic architecture through providing a new framework for analyzing girih patterns.

Keywords: Islamic Geometric Patterns, Girih, Shah-Girih, Articulation, Algorithmic Reconstruction.

JIAS

Journal of Iranian Architecture Studies

University of Kashan
School of Architecture and Art

29

Vol. 29, Spring and Summer 2026
E-ISSN: 2676-5020

- **Historiography of the Architecture of Masjed-e Jāme' (Grand Mosque) of Amol and Its Relationship with the City in the Early Centuries after the Hijrah**
  Zatollah Nikzad
- **Redefinition of the Qaysariyyah Area in the Bazaar of Kashan and the Formation of a New Urban Center in the Second Half of the Qajar Period**
  Yasaman Safian, Hamidreza Jayhani, Seyed Mahmood Sadat Bidgoli
- **Assessing the Values of Rudkhan Castle as World Heritage from the Perspective of the ICOFORT Charter and the Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention**
  Aboozar Janalipoor, Pirouz Hanachi, Mohammad-Hassan Talebian
- **Enhancement of Lateral Stability Threshold of Barrel Vault Supported by Walls**
  Farzin Izadpanah
- **Evaluation of the Performance of Brick Lattice Screens in Controlling Solar Radiation and Daylight in the Hot and Semi-Arid Climate of Dezful**
  Kolsoom Kamkar, Kourosh Momeni, Akbar Mousaeijoo
- **From Royal Garden to Urban Square: The Emergence of the Mahjar and the Reconfiguration of the Iranian Cityscape in the Late Naseri Era**
  Kaveh Rashidzadeh, Golnar Hekmat
- **Classification and Algorithmic Analysis of Articulation Types in Historical Iranian Girih Patterns**
  Mahdi Azizi Hamedani, Mojtaba Sabetfard
- **Conceptual Dimensions and Characteristics of Abductive Reasoning in Design Practice**
  Ali Qoreishvandi Abraki, Ali Alai, Keivan Jourabchi, Saeid Norouzian Maleki
- **The Role of Spatial Configuration in Creating Sociability in Social-Scale Shopping Centers in Isfahan**
  Maryam Gorouhi, Narges Dehghan, Mansoureh Kianersi, Somayeh Rafiei
- **Pragmatic Evaluation: An Opportunity to Reform Policies and Practices in Targeted Areas (Concrete Case: National Regeneration Policy in Iran)**
  Morteza Hadi Jaberi Moghaddam, Shima Saghandali
- **From Eventification to Characterization of Memorial Museums**
  Faezeh Tafreshi, Manoochehr Moazzami, Nicholas Wise
- **The Effect of Removing Old-Growth Trees in the Architecture of Ilam's Streets on Pedestrian Thermal Comfort Changes Based on Computational Fluid Dynamics (CFD)**
  Karen Fatahi, Nasrin Siavash