

بررسی وجود نظم شبه تناوبی در تزئینات گنبدخانه تاج‌الملک مسجد جامع اصفهان



نورالدین حضرتی

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده معماری، شهرسازی و هنر، دانشگاه ارومیه، ایران

ساحل دژپسند

استادیار، دانشکده معماری، شهرسازی و هنر، دانشگاه ارومیه، ایران

نویسنده‌ی مسئول: s.dejpasand@urmia.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۱۱ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۸/۱۷

چکیده

برای پوشاندن سطوح توسط اشکال هندسی، از دو شیوه تناوبی یا شبه‌تناوبی استفاده می‌شود. در روش تناوبی واحد تکرار بر مبنای تقارن انتقالی است؛ اما روش شبه‌تناوبی فاقد تقارن انتقالی و بسیار پیچیده‌تر از روش تناوبی است. نظم شبه‌تناوبی از جمله انتظام‌های خردمقیاس موجود در مواد طبیعی نیز هست. شبه‌بلورها - مواد دارای این نظم که در اواخر قرن بیستم به وجود آنها پی برده شد - تقارنی خاص از خود بروز می‌دهند و قواعد بلورنگاری متعارف را که بر مبنای تقارن انتقالی است؛ نقض می‌کنند. تحقیقات اخیر در این زمینه نشان می‌دهند که معماران ایرانی از قدیم با نظم شبه‌تناوبی آشنایی داشته‌اند. استفاده از این نظم تاکنون در تزئینات سه بنای تاریخی ایران به اثبات رسیده است که قدیمی‌ترین آنها گنبد کبود مراغه و مربوط به اواخر قرن ششم هجری (اواخر عهد سلجوقی (سلجوقیان عراق)) می‌باشد. سوال اصلی تحقیق این است که آیا بنای دیگر (قدیمی‌تری) در ایران وجود دارد که دارای تزئیناتی با نظم شبه‌تناوبی باشد؟ این مقاله با این فرضیه که معماران ایرانی حداقل از اوایل دوره سلجوقی سابقه آشنایی با این نظم خاص هندسی را داشته‌اند؛ هدف اصلی خود را در بررسی تزئینات گره‌چینی گنبدخانه تاج‌الملک (۵۴۸۱ق) - که از بناهای مهم این عصر است - قرار داده است. روش تحقیق این مقاله بر مبنای روش تحقیق توصیفی - تحلیلی و استدلال منطقی می‌باشد؛ که بر طبق آن، شبکه زیرساختی هندسی در تزئینات گره‌چینی بناهای مطالعه شده قبلی مورد مقایسه قرار گرفته و مبنایی جهت دستیابی به نتایج جدید در این تحقیق شده‌اند. با مقایسه نظم موجود در نقوش گنبدخانه تاج‌الملک با ساختار شبه‌بلورها، مشخص شد که حداقل یکی از گره‌چینی‌های داخلی آن دارای چینی با نظم شبه‌تناوبی (از نوع تقارن دورانی درجه هفت) می‌باشد. بدین ترتیب، این قدیمی‌ترین نمونه معماری از هنر هندسه دارای نظم شبه‌تناوبی در ایران می‌باشد که تاکنون شناسایی و معرفی شده است و قدمت استفاده از نظم شبه‌تناوبی در معماری ایرانی به اواخر قرن پنجم هجری انتقال می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: تزئینات هندسی، گره‌چینی، نظم شبه‌تناوبی، شبه بلور، گنبد تاج‌الملک.



مقدمه

هندسه در دنیای سنت و در فضا سازی اسلامی جایگاهی ویژه و ممتاز داشته است؛ به طوری که در علوم و معارف دینی نیز بر اهمیت آن تأکید شده است. از آنجایی که در معماری، فضا با سطوح تعریف می‌شود و سطوح در اغلب موارد با تزئینات همراه هستند؛ ارتباط درونی در معماری اسلامی بین هندسه و تزئینات وجود دارد. لیکن اندیشه هنرمندان اسلامی آن‌چنان پر رمز و راز است؛ که هنوز شیوهٔ هنروری آن به روشنی کشف نگردیده است.

خداوند متعال در قرآن کریم می‌فرماید: «وَمَا نَنْزِلُكَ إِلَّا بِقَدْرِ الْمَعْلُومِ (حجر / ۲۱)». بر اساس تفسیر علمای دین، قدر در کلام الهی به معنی هندسه است (ندیمی ۱۳۷۸، ۳۰۷)؛ بنابراین آنچه که از معنای آیه مستفاد می‌شود؛ این است که خلق خداوند دارای هندسه و اندازه معلوم است. این مطلب به‌طور ضمنی اشاره به قدسیت حساب و ریاضیات و هندسه در جهان بینی اسلامی دارد و بنا به نظر اندیشمندان اسلامی تقدس ریاضیات و هندسه در هیچ جا بیشتر از هنر ظاهر نشده است؛ و در هنر، ماده به کمک هندسه و حساب شرافت می‌یابد. الگوهای هندسه اسلامی بر پایه معادلات دقیق ریاضی استوار بوده و طبیعت با دارا بودن الگوهای پیشرفته ریاضی همواره سرمشق و منبع الهام مهندسان و هنرمندان در دنیای اسلام بوده است (نصر ۱۹۷۶، ۷۵).

در حدیثی منسوب به حضرت علی علیه السلام آمده است که «محمّدٌ بشرٌ لَأَ كَالْبَشَرِ بَلْ هُوَ كَالْيَاقُوتِ بَيْنَ الْحَجَرِ: محمد(ص) بشر است؛ لکن نه مانند بشرهای دیگر، بلکه مانند یاقوت بین احجار» (نوابی و حاجی قاسمی ۱۳۹۱، ۹۲). در این روایت در میان بخش‌های مختلف طبیعت، بین سنگ که ساختاری غیربلورین و غیرمنظم و به همین جهت غیرشفاف دارد؛ و یاقوت که ساختاری بلورین، منظم و شفاف دارد؛ فرق گذاشته شده است. انسان کامل ساختار درونی وجود خود را همچون بلور یاقوت منظم ساخته و به همین جهت به شفافیت رسیده است و نور الهی را از خود عبور می‌دهد؛ و معماری اسلامی نیز در میان ساختار ارگانیک شهر حالتی بلورین و منظم همچون یاقوت به خود می‌گیرد و نماد انسان کامل را با نظم یافتن در خود متجلی می‌کند. به همین جهت، مرحله نظم‌گیری و شکل‌گیری نقشه کف در معماری اسلامی در دل طبیعت را می‌توان مرحله تبلور یا «بلوری شدن» نامید و برای تبلور طبیعت و نظام یافتن آن باید به قول نصر، طبیعت را مطهر

یافت و جنبه‌های باطنی آن را مشاهده کرد (نقره‌کار ۱۳۹۳، ۱۱۲). تحقیقات جدید از سوی تنی چند از محققان که به مدد میکروسکوپ‌های الکترونیکی و تکنیک‌های امروزی انجام گرفته است؛ شباهت‌های خیره‌کننده بین نقش‌های هندسی اسلامی و ساختار درونی و نظم مولکولی مواد طبیعی که تازگی‌ها شناخته شده نشان داده است. چنین می‌نماید که مسلمانان توانسته باشند بدون شکافتن مولکول‌ها و اتم‌ها از ساختمان درونی ماده آگاهی پیدا کنند (نصر ۱۳۹۴، ۱۰۰). اما به نظر می‌رسد که وجود تشابه حیرت‌انگیز میان برخی از گره‌چینی‌ها با ساختارهای میکروسکوپی حاصل تقلید از طبیعت نیست؛ چرا که امکان مشاهده این ساختارهای میکروسکوپی برای معماران سنتی مقدور نبوده است و لذا باید علت این تشابه را رجوع مستقیم معماران سنتی به سرچشمه‌ای به نام هندسه دانست.

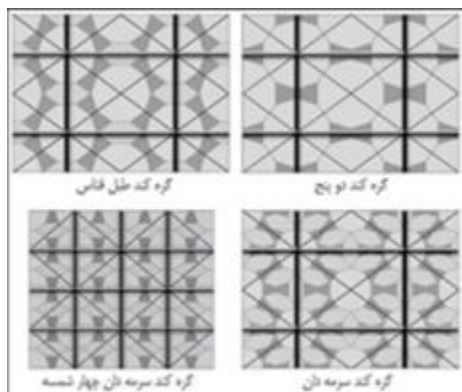
هنرمندان اسلامی قرن‌ها قبل از دستیابی غرب به نقوش کاشی‌کاری پنبروز و مواد شبه‌بلور که در آنها الگوی چینش کاشی‌ها و اتم‌ها از یک نظم خاص هندسی با عنوان نظم شبه‌تناوبی تبعیت می‌کند؛ الگوهای بلور مانند پیچیده و تکامل یافته‌ای را با استفاده از این نظم در تزئینات معماری به وجود آورده بودند که قدیمی‌ترینشان در بنای گنبد کبود مراغه واقع در آذربایجان شرقی و مربوط به دوره سلجوقیان عراق مورد مطالعه قرار گرفته است. این مقاله، جهت دستیابی به پاسخ سوال تحقیق مبنی بر احتمال وجود نمونه‌های دیگر و احیاناً قدیمی‌تر دارای نظم شبه تناوبی، هدف خود را در جستجو و بررسی این نظم در تزئینات سایر آثار معماری در ایران قرار داده است. در این راستا و بر مبنای روش تحقیق توصیفی-تحلیلی و استدلال منطقی، به بررسی تحقیقات قبلی در این خصوص پرداخته شده است و به جهت اثبات میزان تسلط و وقوف معماران سنتی بر نظم شبه-تناوبی، نقوش هندسی یکی از بناهای مهم اوایل عصر سلجوقی یعنی گنبدخانه تاج‌الملک مسجد جامع اصفهان به لحاظ میزان تطابق با ساختار شبه‌بلورها و نظم شبه‌تناوبی مطالعه شده است.

روش تحقیق

در این پژوهش ترکیبی از روش‌ها مورد استفاده قرار گرفته است که هر کدام در رسیدن به هدف پژوهش که پاسخگویی به سوالات تحقیق است یاری‌گر خواهند بود. در بخش معرفی نظم



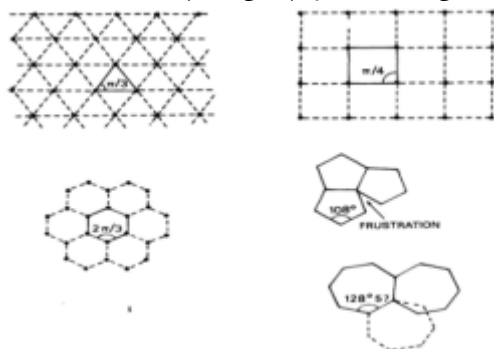
با ۲ محور تقارن است؛ با استفاده از تقارن انتقالی و با نظم تناوبی سطح پوشش داده می‌شود.



تصویر ۱. بعضی از انواع گره‌های کند با تقارن دوماحوری (واحد تکرار در این گره‌ها می‌تواند لوزی یا مستطیل باشد که هر دو دارای تقارن دوماحوری هستند) (مأخذ: محمدیان منصور و فرامرزی ۱۳۹۱، ۷۴)

ب) نظم شبه تناوبی

اصولاً پوشش دادن یک سطح با اشکالی با ۷، ۸، ۱۰ و ۱۲ محور تقارن، به شیوه تقارن انتقالی غیرممکن است و فضاهایی خالی در کاشی‌کاری شکل می‌گیرد یا اشکال باهم تداخل پیدا می‌کنند (تصویر ۲). پنج‌ضلعی‌ها، هفت‌ضلعی‌ها، و... نمی‌توانند به‌طور عادی یک سطح را پوشش دهند. این بدان معنی است که نمی‌توان ویژگی‌های یک کاشی‌کاری معمولی با تقارن انتقالی را که شامل «کنار هم قرار گرفتن اشکال به‌طور منظم و بدون ایجاد فاصله، تکرار همسان و مجاورت همه اضلاع با شکل مشابه خود» است؛ در آن‌ها مشاهده کرد (همان، ۲۰۰۲).



تصویر ۲. اگر تقارن از درجه ۲، ۳، ۴ و ۶ باشد؛ فضا به‌طور کامل و منظم پر می‌شود؛ اما اگر تقارن از درجه ۵، ۷، و... باشد، نقض کمبود یا همپوشانی اضلاع رخ می‌دهد و نظم بلنددامنه از بین می‌رود (مأخذ: www.researchgate.net/publication/3915130)

شبه‌تناوبی و به منظور بازشناخت کامل و نسبتاً جامع از گره‌چینی دارای این نظم در گنبدخانه تاج‌الملک از روش تحقیق توصیفی-تحلیلی بهره گرفته شده است. برای مطالعه تطبیقی این گره‌چینی با گره‌چینی‌های قبلی و ساختارهای موجود در مواد طبیعی از روش تحقیق استدلال منطقی استفاده شده است. در این مسیر مراجعه به اسناد و بناهای مشابه و مطالعات کتابخانه‌ای ابزارهای تحقیق را تشکیل می‌دهند.

انتظام‌های هندسی گره‌چینی

تزئینات در هنرهای اسلامی به‌طور کلی به سه قسم گیاهی، هندسی و کتیبه‌ای قابل تقسیم است. تزئینات هندسی را در ایران گره‌چینی یا گره‌سازی می‌نامند و معمولاً ترکیبی است از شمسه‌ها یا قطعات چندضلعی که در ترکیبی موزون با یکدیگر قرار گرفته‌اند. گره‌چینی ایرانی یکی از رشته‌های سنتی است که به نقوش هندسی تکیه دارد و بیننده در اولین برخورد با این هنر، ناخودآگاه تحت تأثیر نظم آن قرار می‌گیرد؛ بنابراین اولین ویژگی‌اش همان نظم هندسی و تعادل آن است.

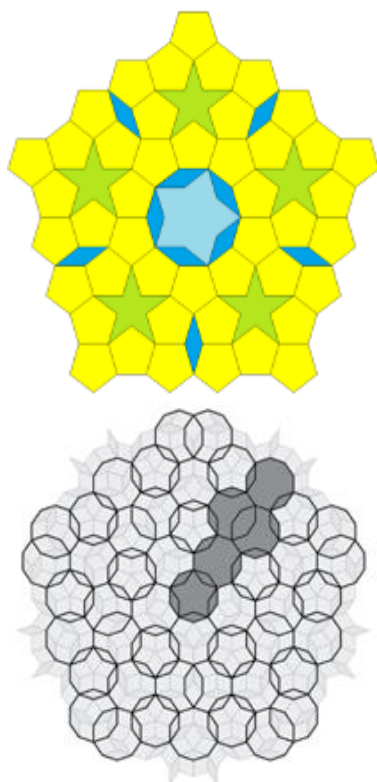
در معماری ایرانی اصولاً به دو شیوه نظم تناوبی و نظم شبه‌تناوبی، گره‌ها را برای پوشاندن سطوح گسترش می‌دهند. در روش تناوبی واحد تکرار بر مبنای تقارن انتقالی تکرار می‌شود؛ اما روش شبه‌تناوبی فاقد تقارن انتقالی است.

الف) نظم تناوبی

گره‌چینی با نظم تناوبی گونه‌ای از کاشی‌کاری است که در آن تقارن انتقالی وجود دارد و در سرتاسر جهان اسلامی عمومیت دارد. ریاضیدانان در دنیای غرب تا قبل از دهه ۱۹۷۰ چنین می‌پنداشتند که پوشاندن سطح فقط با اشکالی که ۲، ۳، ۴ و ۶ محور تقارن دارند، ممکن است و تصور می‌کردند که با اشکالی که ۵، ۷، ۸، ۱۰ و ۱۲ محور تقارن دارند؛ نمی‌توان سطوح را پوشش داد (اشتیوری ۲۰۰۴، ۳۹۲).

در تصویر ۱ مشخص است که می‌توان به‌راحتی یک سطح را با اشکالی نظیر لوزی (۲ محور تقارن)، مستطیل (۲ محور تقارن)، مثلث (۳ محور تقارن)، مربع (۴ محور تقارن) و شش‌ضلعی (۶ محور تقارن) با استفاده از تقارن انتقالی و با نظم تناوبی پوشش داد. در گره‌چینی‌های با نظم تناوبی نیز چون واحد تکرار مستطیل





ادامه تصویر ۳. انواع مختلف کاشی کاری پنروز و ده‌ضلعی‌های متداخل
زیرساختی (مأخذ: محمدیان منصور و فرامرزی ۱۳۹۱، ۷۵)

تا دهه ۱۹۸۰ نیز، دانشمندان بر این باور بودند که ساختار هر جامدی یا به صورت بلوری است یا به صورت بی‌ریخت (اشتیوری) (۲۰۰۴، ۳۹۲). مواد بی‌ریخت یا بی‌نظم (آمورف) موادی هستند که دارای آرایش منظم و گسترده‌ای نیستند و ساختار آنان فاقد هندسه و نظام مشخص است. مشهورترین این مواد شیشه و جامداتی است که معمولاً به آرامی و با خمیری شدن ذوب می‌شوند (ویل^۴ ۱۰۵۲، ۵۲).

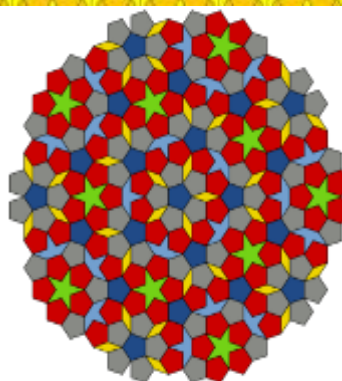
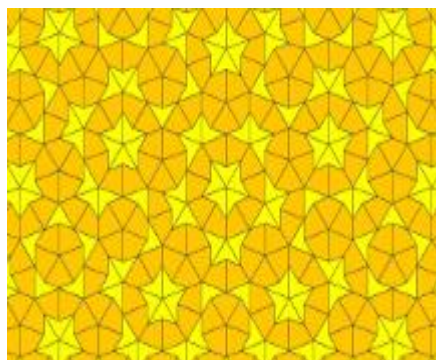
مواد بلوری یا دارای نظم هم دارای این خاصیت هستند که ذرات با قاعده سامان می‌یابند و به عبارتی تقارن انتقالی (نظم تناوبی) دارند. بلورها برخلاف اشتباه لفظی حتماً موادی نور گذران نیستند و فلزها، نمک‌ها، مواد یونی و در کل موادی با ذوب ناگهانی نیز معمولاً دارای ساختار نظام‌مند هستند (همان، ۲۰۹). تمامی بلورها طبق قانون محدودیت بلور دارای دو شرط اساسی هستند:

- اجزا با تقارن انتقالی فضا را پر می‌کنند؛ یعنی نظم تناوبی دارند.
- تعداد محور تقارن در ساختار بلور ۲، ۳، ۴ و ۶ عدد می‌باشد.

وجود نظم شبه‌تناوبی در ساختار کاشی کاری پنروز و سپس در مواد شبه بلور^۳ و سپس در گونه‌ای از گره‌سازی اسلامی اواخر دوره تیموری (قراقوبولوها) و اواخر دوره سلجوقی (سلجوقیان عراق) به اثبات رسیده است.

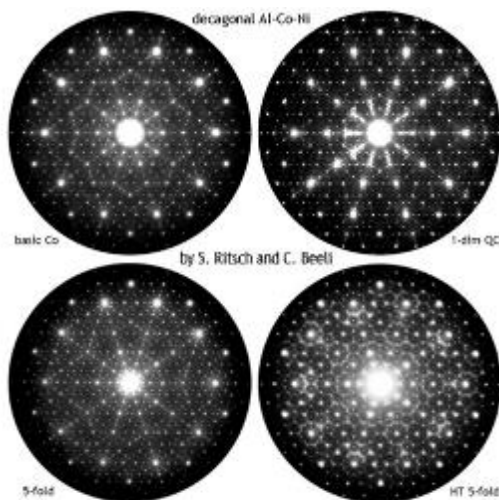
در سال ۱۹۷۳ راجر پنروز گونه‌ای از کاشی کاری ارائه داد که می‌توانست سطح را بدون تقارن انتقالی پوشش دهد. این کاشی کاری بعدها به نام کاشی کاری پنروز نام‌گذاری شد. در این کاشی کاری تقارن ۵ محوری وجود دارد و به صورت شعاعی توزیع شده است؛ یعنی دارای تقارن دورانی است.

چنانچه گفته شد؛ در نظم تناوبی امکان استفاده از فرم‌هایی با ۵، ۷، ۸، ۱۰ و ۱۲ محور تقارن وجود ندارد؛ اما در کاشی کاری پنروز می‌توان چپشی از ده‌ضلعی‌ها را روی آن منطبق کرد که کل سطح پوشش داده شود؛ با این تفاوت که ده ضلعی‌ها ممکن است گاهی باهم تداخل پیدا کنند. اصولاً نظم شبه‌تناوبی بر مبنای همین تداخل واحدهای تکرار امکان‌پذیر می‌گردد و به‌طور کلی نیز در کوتاه برد فاقد تقارن انتقالی است (تصویر ۳).



تصویر ۳. انواع مختلف کاشی کاری پنروز و ده‌ضلعی‌های متداخل
زیرساختی (مأخذ: محمدیان منصور و فرامرزی ۱۳۹۱، ۷۵)





ادامه تصویر ۴. ساختار انواع مختلف شبه بلورها (مأخذ: هنری^{۱۰}، ۲۰۰۷، ۸)

پیشینه تحقیق

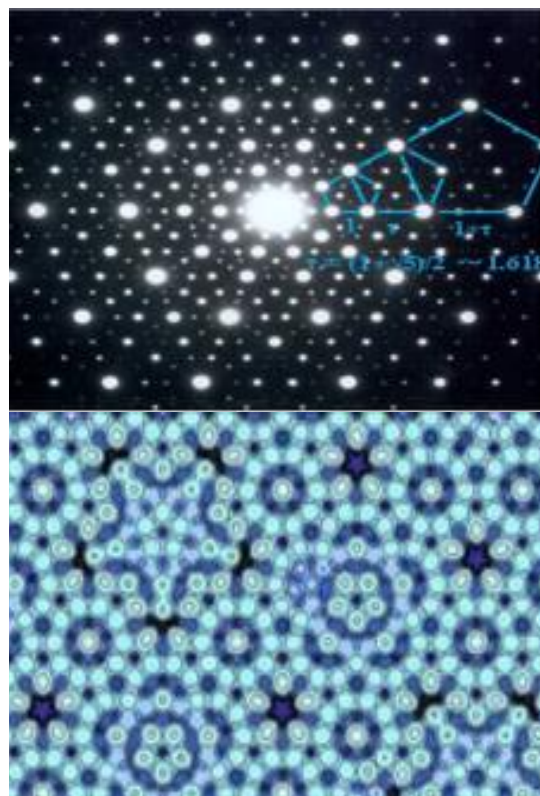
تحقیقات موجود در زمینه استفاده از نظم شبه تناوبی در تزئینات معماری به خصوص تزئینات معماری ایرانی تنها شامل سه بنا می‌باشند که به طور مبسوط در این بخش آورده شده‌اند. مقاله‌ای که پروفیسور لو و همکارش در سال ۲۰۰۷ در مجله ساینس به چاپ رساندند؛ مشخص نمود که ایرانیان از دوره تیموری (قراقویونلوها) با نظم شبه تناوبی ده‌محوری آشنایی داشته‌اند و از آن در ساختار شاه‌گره‌های دوره‌های تیموری و بعد از آن استفاده نموده‌اند. او ادعا کرد که چنین کاشی‌هایی در امامزاده درب امام اصفهان (۸۵۷ ه.ق) یافته است: «هنرمندان مسلمان در قرون وسطی راهی برای ساخت موزاییک‌های پازل مانند پیدا کرده بودند که در نهایت به ابداع الگوهای تازه‌ای در پوشش سطح منجر شده است؛ الگوهایی که ریاضیدانان غرب تقریباً ۵۰۰ سال بعد آن‌ها را کشف کردند. کاشی‌کاری بعضی از ساختمان‌های متعلق به قرن پانزدهم میلادی در ایران، از الگوهایی پیروی می‌کند که باوجود متقارن بودن، از تکرار منظم یک طرح خاص به وجود نمی‌آید و در واقع شبه بلور هستند» (لو و اشتاینهارت^۹، ۲۰۰۷، ۱۱۰۹).

امامزاده درب امام را بعید است کسی به جز اصفهانی‌های قدیمی بشناسد. بقعه‌ای در شرق خیابان چارباغ پایین در قبرستان قدیمی جمیلان (سنبلستان) شامل دو گنبد بزرگ و کوچک، سردر

قوانین بلورنگاری که عمدتاً در قرن نوزده تدوین شده، هر تعداد تقارن غیر از ۲، ۳، ۴ و ۶ و شدیداً ۵ و ۱۰ محوری را برای یک ساختار غیرممکن می‌دانست (لو^۵ و اشتاینهارت^۶، ۲۰۰۷، ۱۱۰۶). به طوری که اعتقاد بر این بود که هیچ کس نمی‌تواند تقارن پنج‌تایی را در بلورها که کامل‌ترین و دقیق‌ترین پدیده‌های طبیعی هستند؛ بیابد (ویل^۷، ۱۹۵۲، ۶۳).

اما دانیل شختمن نخستین بار در ۱۹۸۴ در یک آلیاژ، ساختاری کاملاً منظم را کشف کرد که در آن فضا با تقارن دورانی و با ۱۰ محور تقارن پر شده بود (شچمن^۷ و بلج^۸، ۱۹۸۴، ۱۹۵۱). این مواد جدید «شبه‌بلور (شبه کریستال)» نامیده شدند (تصویر ۴). شبه‌بلورها حالت سومی از مواد جامد هستند که بینابین مواد آمورف و بلور (کریستال)ها قرار می‌گیرند و به طور اساسی دارای دو ویژگی می‌باشند:

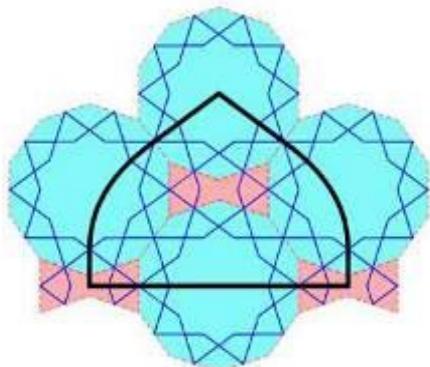
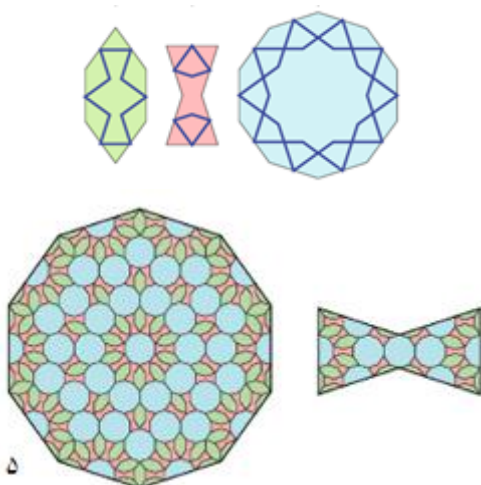
- اجزا فاقد تقارن انتقالی هستند و نظم شبه‌تناوبی دارند.
- تعداد محورهای تقارن آن‌ها می‌تواند ۵، ۷، ۸، ۱۰ و ۱۲ محوری باشد (اشتاینهارت و اوستلاندر^۹، ۱۹۸۷، ۱۵).



تصویر ۴. ساختار انواع مختلف شبه بلورها (مأخذ: هنری^{۱۰}، ۲۰۰۷، ۸)

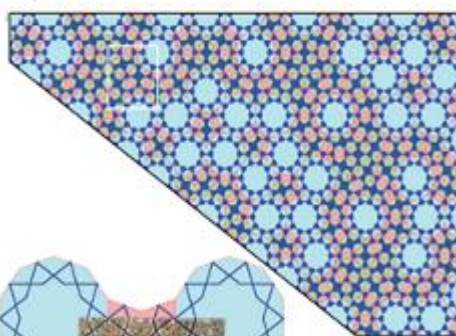
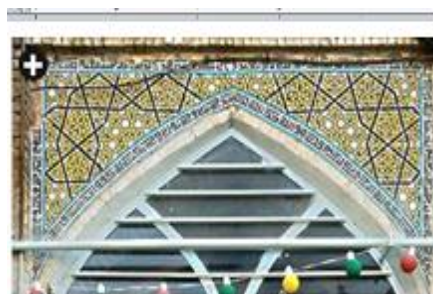


کاشی‌کاری و سه صحن که ساختش به زمان حکومت قراقویونلوها برمی‌گردد.

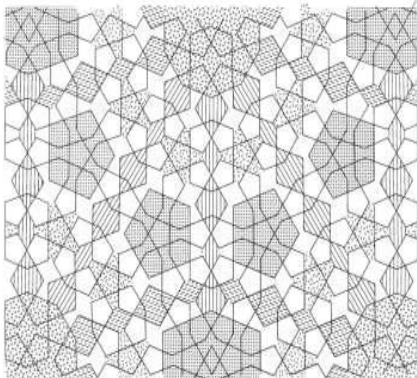
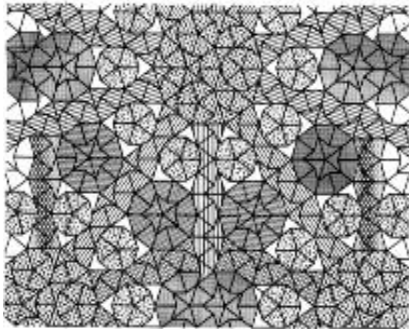
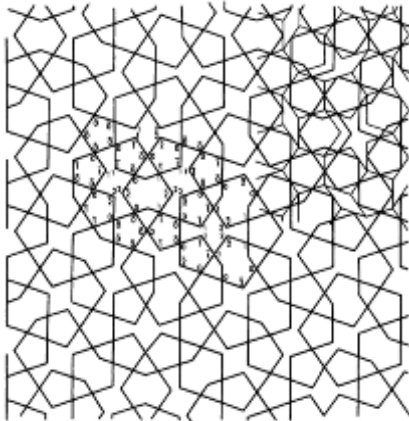


تصویر ۵. ۱. حیاط داخلی امامزاده درب امام اصفهان؛ ۲. و ۳. نمای نزدیک گره‌چینی سردر «الف»، ۴. هندسه زمینه گره‌چینی سردر «الف»، ۵. گره‌چینی داخل اشکال زمینه که دارای نظم شبه‌تناوبی است (در هر دو سردر همین گره‌چینی اجرا شده است)؛ ۶. نمای نزدیک گره‌چینی سردر «ب»؛ ۷. هندسه زمینه گره‌چینی سردر «ب» (مأخذ: لو و اشتاینه‌ه‌ارت ۲۰۰۷، ۱۱۰۹)

معمار زبردست بنا توانسته است اشکال زمینه این گره‌چینی (ده‌ضلعی منتظم و شش‌ضلعی پاپیونی) را توسط گره‌چینی دیگری خرد کند. همانطور که مشاهده می‌شود؛ گره‌چینی خردکننده این



طبق ادعای مکویکی، الگوی گره‌چینی گنبد کبود مراغه قابل انطباق با انواع الگوی کاشی کاری پرنور می‌باشد (مأخذ: مکویکی^{۱۲} ۱۹۹۲، ۸۵). همچنین پرتوهای متقاطع زمینه گره‌چینی دارای زاویه ۱۰۸ درجه می‌باشند که این اندازه مربوط به زاویه داخلی و هندسه پنج‌ضلعی منتظم (محاط در ده‌ضلعی منتظم) می‌باشد. شبکه زیرساختی آن نیز از تداخل پنج‌ضلعی‌های منتظم تشکیل شده است که به حالت دورانی چیده شده‌اند (مکویکی ۲۰۱۶، ۱۸).



تصویر ۷. انطباق گره‌چینی بنای گنبد کبود مراغه با کاشی کاری پرنور (مأخذ: مکویکی ۱۹۹۲، ۷۹)

اشکال شامل سرمه‌دان، ترنج و ستاره‌های ده‌پر است. با رسم شبکه زیرساختی این گره، آلت‌های آن به ده‌ضلعی منتظم، شش‌ضلعی کشیده و شش‌ضلعی پایبونی خلاصه می‌شود. این عناصر از تناسبات پنج‌ضلعی یا تلاقی ده‌ضلعی‌های منتظم (مشابه تصویر ۱۰-۴) به دست می‌آیند. طبق تصویر ۵-۵، این گره‌چینی دارای نظم شبه‌تناوبی با تقارن دورانی درجه ده می‌باشد و در کوتادبرد فاقد نظم تناوبی و فاقد تقارن انتقالی است. در واقع، این طرح‌ها چیزی پیچیده‌تر از بلورهای منتظم تکراری به نظر می‌آید و بیشتر شبیه الگوی چینش اتم‌ها در برخی از آلیاژهای فلزی بود (همان ۱۱۱۰).

لو در این مقاله تأکید دارد که ایرانیان از قرن پانزدهم میلادی (قرن هشتم هجری یا دوره تیموری، یعنی حدود ۵۰۰ سال قبل) با نظم شبه‌تناوبی آشنائی داشته و طرح‌های مشابه احتمالی دوره‌های قبل را فاقد این نظم می‌دانند. این در حالیست که امیل مکویکی در ۱۹۹۲ مشابَهت کاشی کاری گنبد کبود مراغه (۱۱۹۶ م، ۵۹۳ ه.ق، دوره سلجوقیان) را با ساختار کاشی کاری پرنور مطرح کرده بود؛ یعنی حدود ۸۰۰ سال قبل از دستیابی غرب به اصول و قواعد نظم شبه‌تناوبی.

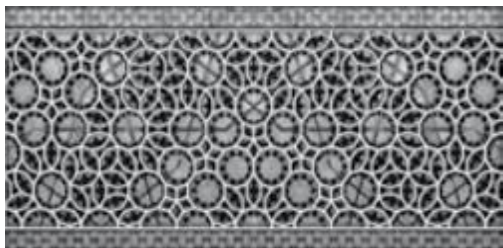
گنبد کبود مراغه از بناهای دوره سلجوقیان در شهر مراغه و دارای پلان ده‌ضلعی منتظم می‌باشد. تزئینات به کار رفته در این بنا در مقایسه با سایر بناهای دوره سلجوقیان کم‌نظیر است. متخصصان این گنبد را به لحاظ تحولاتی که در ساختار گره هندسی و تزئینات معماری ایجاد کرده؛ نقطه بین پیوند تاریخ هنر با تاریخ معماری و با تاریخ ریاضیات می‌دانند (بایر^{۱۱} ۲۰۰۲، ۷۱).



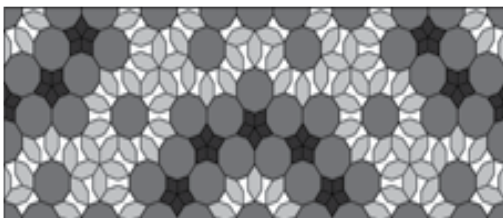
تصویر ۶. گره‌چینی بنای گنبد کبود مراغه (مأخذ: مکویکی ۱۹۹۲، ۸۱)



۱



۲



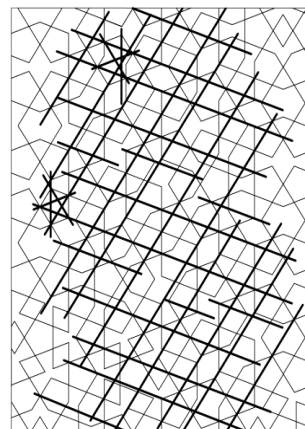
۳



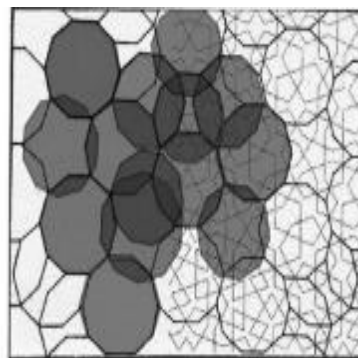
۴

تصویر ۱۰: ۱. شاه گره، گره کند دو پنج خرد شده بوسیله گره کند و شل مسجد جامع اصفهان، ایوان غربی، صفا استاد؛ ۲. انطباق شبکه زیرساختی بر روی گره خود متشابه (شاه گره)؛ ۳. شبکه زیرساختی شاه گره مسجد جامع اصفهان. اجزای این شبکه زیرساختی از ده ضلعی، شش ضلعی پاپیونی، شش ضلعی کشیده و لوزی تشکیل شده است؛ ۴. ایجاد اجزای عناصر زیرساختی شاه گره ایوان غربی مسجد جامع اصفهان با استفاده از ترکیب ده ضلعی‌های منتظم (مأخذ: محمدیان منصور و فرامرزی ۱۳۹۱، ۷۵)

این چهار عنصر مطابق تصویر ۱۰-۴، از تلاقی ده ضلعی‌های منتظم ایجاد می‌گردند. لذا می‌توان روی شبکه زیرساختی شاه گره مذکور (تصویر ۱۰-۳) چیدمانی از ده ضلعی‌های منتظم منطبق نمود (تصویر ۱۱).



تصویر ۸. عبور پرتوهای متقاطع با زاویه ۱۰۸ درجه از شبکه زیرساختی (مأخذ: مکویکی ۲۰۱۶، ۱۰۸)



تصویر ۹. شبکه زیرساختی شامل تلاقی ده ضلعی‌های منتظم (مأخذ: مکویکی ۲۰۱۶، ۱۰۶)

محمدیان منصور و فرامرزی در سال ۱۳۹۱ اثبات کردند که آنچه که در مورد کاشی کاری پنروز، در خصوص انطباق ده ضلعی‌های منتظم گفته شد در گره چینی‌های شاه گره^{۱۳} نیز مصداق دارد و نمونه‌ای را که متعلق به ایوان غربی (صفا استاد) مسجد جامع اصفهان می‌باشد؛ بررسی کرده‌اند. در این گره چینی کل سطح با آلت‌های گره کند شامل، ترنج، پنج ضلعی، طبل قناس، سرمه‌دان و شمسه ده ضلعی و دو آلت گره شل یعنی، شش شل و گیوه، پوشش داده شده است. با رسم شبکه زیرساختی این گره، آلت‌های آن به سه آلت ده ضلعی، شش ضلعی کشیده و شش ضلعی پاپیونی، به علاوه یک لوزی که در زمینه زیرساختی گره‌های شل ایجاد می‌گردد، خلاصه می‌شود (تصویر ۱۰-۲ و ۱۰-۳) (محمدیان منصور و فرامرزی ۱۳۹۱، ۷۴).



گنبد تاج‌الملک

گنبد تاج‌الملک یکی از زیباترین و خوش‌ساخت‌ترین گنبد‌های آجری جهان و یادگاری بی‌مانند از دوره سلجوقیان می‌باشد که در ضلع شمالی مسجد جامع اصفهان قرار دارد و در اواخر قرن پنجم هجری قمری به دستور ابوالغنائم تاج‌الملک خسرو فیروز شیرازی وزیر سلجوقی و احتمالاً در رقابت با گنبد جنوبی (گنبد نظام‌الملک) ساخته شد. این گنبد به گنبد خاگی مشهور است. قطر گنبد ۱۰ متر و بلندای آن ۲۰ متر می‌باشد.

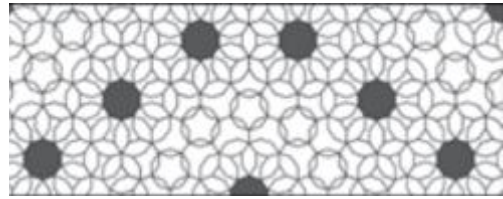
کتیبه کوفی داخل گنبد نام تاج‌الملک و سال ۴۸۱ هجری را در بردارد (گالدیری ۱۳۷۰، ۵۶). این گنبد اگرچه کوچک‌تر از گنبد نظام‌الملک است، ولی از لحاظ فرم و ظرافت بر آن برتری دارد. تزئینات آن زیبا و متفاوت هستند و می‌توان آن را به گنجینه‌ای بی‌نظیر و تکرار نشدنی در زمینه تزئینات دوره سلجوقیان تعبیر کرد. در واقع، این ساخت‌وساز سلجوقی یکی از مهم‌ترین نمونه‌های آجری تزئینی در کل جهان به حساب می‌آید. معماران با استفاده از برآمدگی و فرورفتگی آجرها و اجرای آن به نوعی از چیدمان دست یافتند که به ابداع غنی‌ترین و زیباترین فرم‌هایی انجامید که تا قبل از آن سابقه نداشت (پوپ ۱۳۹۰، ۷۵).



تصویر ۱۲. عکس هوایی مسجد جامع اصفهان و موقعیت گنبد

تاج‌الملک (مأخذ: <https://disamag.com>)

فضای داخلی گنبدخانه با کتیبه‌های آجری برجسته به خط کوفی ساده و تزئینات گچی و آجری بسیار زیبا و متنوع و ظریف مزین شده و نمای بیرونی با طاق‌نماها و تزئینات آجری نماسازی شده است. اما مسئله حائز اهمیت این است که شکل‌آفرینی با نقوش هندسی برجسته و فرورفته بر روی سطح دیوارها و سقف مسجد عملکردی فراتر از جنبه ساختمانی و معماریانه دارد و ایجاد جلوه‌های تجسمی بدین شکل، بی‌هیچ تردیدی کوششی آگاهانه برای دمیدن روح معنوی به مواد سخت مادی در فانی روحانی مسجد می‌باشد (حلیمی ۱۳۹۰، ۲۲۶).



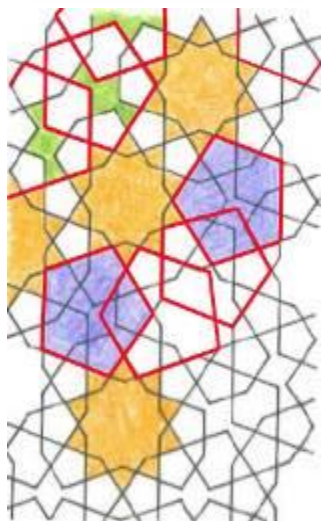
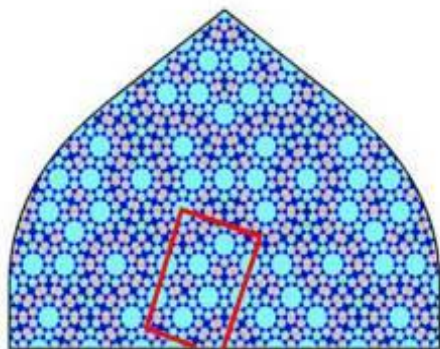
تصویر ۱۱. چیدمانی از ده ضلعی، با نظم شبه‌تناوبی، منطبق بر شبکه زیرساختی شاه‌گره (محمدیان منصور و فرامرزی ۱۳۹۱، ۷۵)

بدین ترتیب می‌توان با چیدمان شعاعی از ده‌ضلعی‌های منتظم، منطبق بر شبکه زیرساختی شاه‌گره و با تداخل با یکدیگر کل سطح را پوشش داد. این چیدمان دارای نظم شبه‌تناوبی است و در کوتاه‌برد فاقد تقارن انتقالی است. تحقیقات نشان از آن دارند که طراحان مسلمان [ایرانی] در گره‌چینی‌های شاه‌گره از نظم شبه‌تناوبی استفاده کرده‌اند. اما اینکه طراحان چنین الگوهای پیچیده‌ای چه کسانی بوده‌اند و چگونه توانسته‌اند چنین مهارت هندسی شگفت‌انگیزی را به وجود بیاورند هنوز نامعلوم است (محمدیان منصور و فرامرزی ۱۳۹۱، ۷۶).

با مرور پیشینه تحقیق مشاهده می‌شود که پوشش سطوح به شیوه نظم شبه‌تناوبی در آثار معماری ایران، تاکنون فقط در سه نمونه توسط محققان داخلی و خارجی گزارش شده است که قدیمی‌ترین آنها مربوط به گنبد کبود مراغه در ایران در اواخر عصر سلجوقی است (نمونه‌های مشاهده شده در خارج از ایران صرفاً محدود به کاشی‌کاری پرنور می‌باشد که همانطور که قبلاً گفته شد؛ مربوط به قرن بیستم یعنی حدوداً ۸۰۰ سال پس از عصر سلجوقی می‌باشد). بر مبنای مطالعاتی که تاکنون انجام شده است؛ به نظر می‌رسد که این شیوه از ابداعات ایرانیان است؛ یعنی هنرمندان اسلامی قرن‌ها قبل از دستیابی غرب به نظم شبه‌تناوبی در کاشی‌کاری پرنور و مواد طبیعی، این الگوهای بلور مانند پیچیده و تکامل‌یافته را در تزئینات معماری به وجود آورده بودند. بنابراین، با توجه به اهمیت موضوع و بدیع بودن آن و تحقیقات اندکی که در این خصوص صورت گرفته است؛ یافتن نمونه‌های بیشتر در این خصوص، ضروری می‌نماید.

در همین راستا یک بنای قدیمی‌تر در عصر سلجوقی یعنی گنبد تاج‌الملک (۴۸۱ ه.ق) که از بناهای مهم اوایل دوره سلجوقی بوده و دارای نقوش هندسی و گره‌چینی‌های قابل توجهی می‌باشد؛ مورد مطالعه قرار گرفته است.

مراغه به صورت جداگانه توسط لو و مکوویکی معرفی شده بود؛ به دست آمده است. در این مقایسه مشخص شد که شبکه زیرساختی در الگوی حاکم بر این دو گره‌چینی دارای یک طرح کلی و مشابه است (تصاویر ۱۴ و ۱۵).



تصویر ۱۴. طرح گره‌چینی امامزاده درب امام اصفهان، ترسیم هندسی و بزرگنمایی قسمتی از طرح (چرخش سطح بزرگنمایی شده به دلیل انطباق راحت‌تر با سطح نمای گنبد کبود انجام شده است) (مأخذ: نگارندگان)

محققان احتمال مشارکت احتمالی حکیم عمر خیام (۴۳۹-۵۱۰ ه.ق) را در ساخت گنبدخانه تاج‌الملک مسجد جامع اصفهان بیان کرده‌اند (هوجندیک^{۱۴}، ۲۰۱۲، ۴۰). طبق این نظریه، او نه به عنوان یک ریاضیدان و شاعر، بلکه به عنوان طراح روش‌های پیچیده هندسه اسلامی دوران خود مطرح می‌باشد. چنین تلاقی ریاضیات، شعر و هنر هندسه بسیار حیرت‌انگیز به نظر می‌آید. برای اجرای گنبد از بالای کتیبه کمربندی، هشت عدد باریکه طاق به ضخامت سه آجر زده شده که در تیزه به هم متصل می‌شود. هر یک از هشت طاق‌نما که منطقه تغییر حالت، یعنی تبدیل مربع به دایره را ایجاد می‌کند؛ مشتمل بر سه طاق‌نمای کوچک می‌باشد که انتهای آنها روی گوشواره‌ها تزئینات مقرنس دارد. هر یک از اضلاع آن از یک طاق‌نمای بزرگ در میان و دو طاق‌نمای باریک‌تر در طرفین آن تشکیل شده است. نقوش هندسی و گره‌چینی این طاق‌نماها در عین شباهت‌های ظاهری در جزئیات متفاوت از هم اجرا شده‌اند.

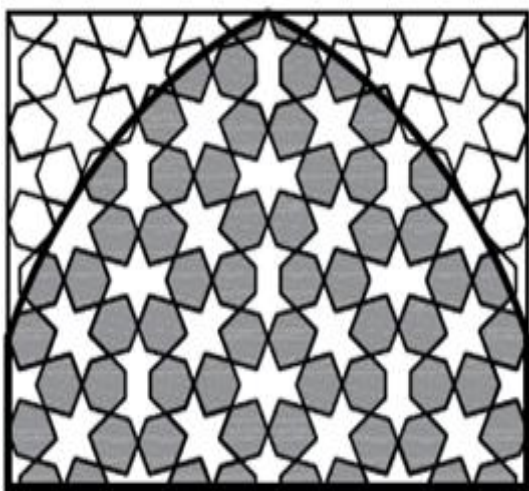


تصویر ۱۳. طاق‌نماهای گنبدخانه تاج‌الملک (مأخذ: دادخواه و حاتم ۱۳۹۲، ۹)

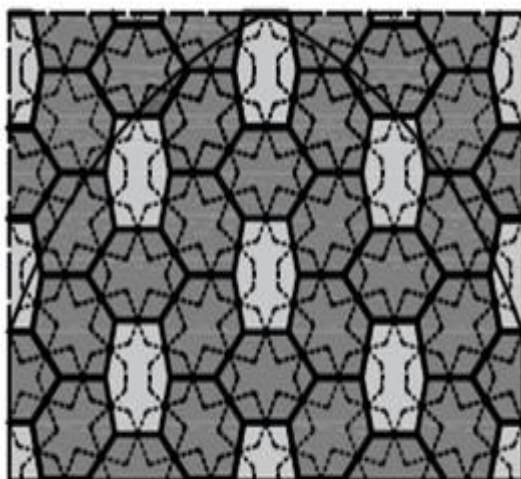
با بررسی شکل ظاهری نقوش هندسی طاق‌نماها، در برخی از آنها می‌توان تقارن انتقالی را مشاهده کرد. اما، حداقل در یکی از طاق‌نماها که در ضلع جنوب شرقی قرار گرفته است؛ تقارن انتقالی دیده نمی‌شود. بنابراین، گره‌چینی این طاق‌نما در گنبدخانه تاج‌الملک از حیث وجود نظم شبه‌تناوبی ملاک عمل قرار گرفته است.

یافته‌های تحقیق

یافته نخست تحقیق، طی مقایسه دقیق دو گره‌چینی خاص که قبلاً در سردر بنای امامزاده درب امام اصفهان و نمای گنبد کبود

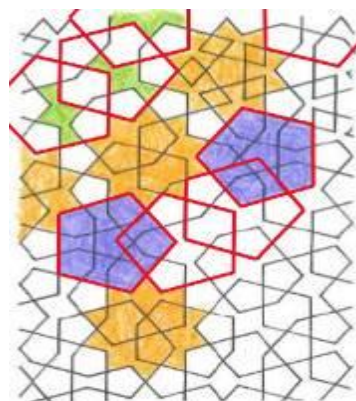


تصویر ۱۷. ترسیم تزئینات طاق نمای جنوب شرقی گنبدخانه (مأخذ: نگارندگان)



تصویر ۱۸. شبکه زیرساختی گره چینی، اجزای این شبکه زیرساختی از شش ضلعی دواتی و شش ضلعی کشیده تشکیل شده است (مأخذ: نگارندگان)

این عناصر مطابق تصویر ۱۹ از تلاقی هفت ضلعی‌های منتظم بوجود آمده (شش ضلعی کشیده) یا از تناسب هفت ضلعی منتظم و محاط در آن هستند (شش ضلعی دواتی). لذا می‌توان روی شبکه زیر ساختی گره مذکور (تصویر ۱۸) چیدمانی از هفت ضلعی‌های منتظم منطبق نمود. بدین ترتیب می‌توان با چیدمان شعاعی از هفت ضلعی‌های منتظم، منطبق بر شبکه زیرساختی گره و با تداخل با یکدیگر کل سطح را پوشش داد (تصویر ۲۱).



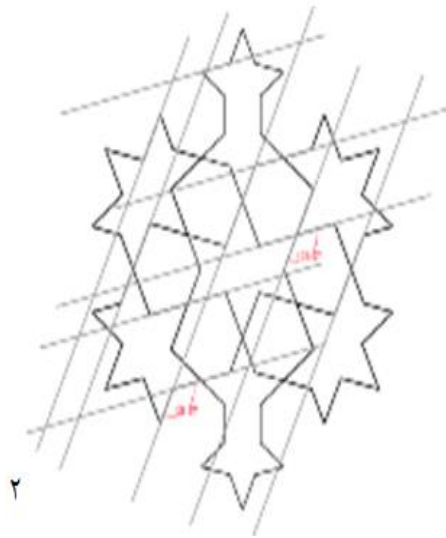
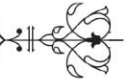
تصویر ۱۵. طرح گره چینی گنبد کبود مراغه (مأخذ: نگارندگان)

در هر دوی این الگوها، پنج ضلعی‌های متداخل و ستاره‌های ده‌پر با تقارن دورانی حول ده ضلعی مرکزی آرایش داده شده‌اند. آلت‌های سرمه‌دان سبز رنگ مرکزیت این دوران را نشان می‌دهند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که الگوی پایه گره چینی سردر ورودی امامزاده درب امام اصفهان که مربوط به دوره تیموری است؛ یک تکرار آگاهانه از الگوی گره چینی گنبد کبود مراغه مربوط به دوره سلجوقی می‌باشد و علی‌رغم تفاوت‌های جزئی، نظم شبه‌تناوبی با تقارن درجه ده در هر دو الگوی گره چینی مشاهده می‌شود.

یافته بعدی تحقیق با تدقیق در طاق نمای جنوب شرقی گنبدخانه تاج‌الملک به دست آمده است. این طاق نما نقوش تفکیک شده برجسته دارد. در این گره چینی کل سطح با آلت‌های سرمه‌دان قناس و قرقره شاخکدار پوشش داده شده است (تصاویر ۱۶ و ۱۷). با رسم شبکه زیرساختی این گره، آلت‌های آن به عناصر شش ضلعی کشیده و شش دواتی خلاصه می‌شود (تصویر ۱۸).

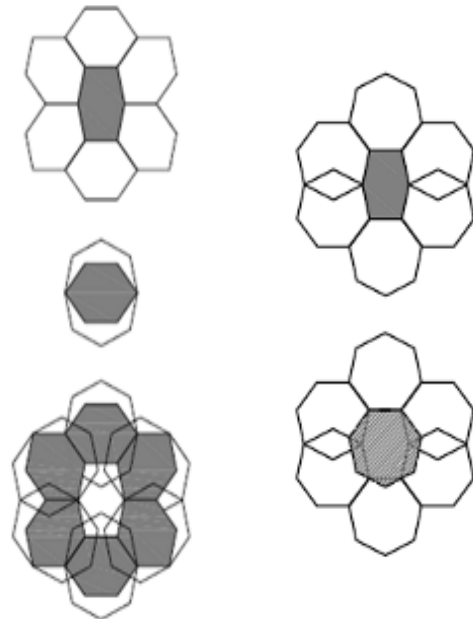


تصویر ۱۶. تزئینات طاق نمای جنوب شرقی گنبدخانه (مأخذ: <https://theonarmedcrab.com/masjed-e-jameh/>)



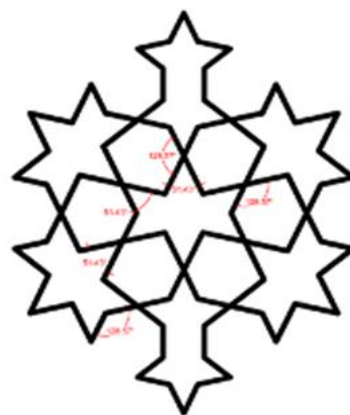
ادامه تصویر ۲۰. عبور پرتوهای متقاطع با زاویه ۱۲۸.۵۷ درجه از همه اضلاع شبکه زیرساختی (مأخذ: نگارندگان)

چنانچه گفته شد؛ در نظم تناوبی امکان استفاده از فرم‌هایی با ۵، ۷، ۹، ۱۰ و ۱۲ محور تقارن وجود ندارد؛ اما در این کاشیکاری می‌توان چپ‌نشی از هفت ضلعی‌ها را روی آن منطبق کرد؛ به طوری که کل سطح پوشش داده شود؛ با این تفاوت که هفت ضلعی‌ها ممکن است گاهی با هم تداخل پیدا کنند و اصولاً نظم شبه‌تناوبی بر مبنای همین تداخل واحدهای تکرار امکان‌پذیر می‌گردد. همچنین، گره‌های با نظم تناوبی فقط در محدوده واحد تکرار خود می‌توانند دارای ساختار دورانی باشند و بعد از محدوده واحد تکرار، با نظم تناوبی و تقارن انتقالی رشد می‌نمایند. اما، این چیدمان در طاق‌نمای گنبد تاج‌الملک در کل سطح دارای ساختار دورانی است (تصویر ۲۱). بنابراین، گره‌چینی طاق‌نمای جنوب شرقی گنبد تاج‌الملک؛ از مهم‌ترین بناهای عصر سلجوقی دارای نظم شبه‌تناوبی و تقارن دورانی درجه ۷ بوده و در کوتاه برد فاقد تقارن انتقالی است. طبق تحقیقاتی که تاکنون انجام شده، این قدیمی‌ترین نمونه شناخته شده از هنر هندسه با نظم شبه‌تناوبی و تقارن دورانی درجه ۷ در ایران خواهد بود که تاکنون شناسایی و معرفی شده است. به نظر می‌رسد؛ تزئینات قسمت جنوب‌غربی گنبدخانه نیز به تبعیت از نظم شبه‌تناوبی اجرا شده است؛ که مجال ارائه آن در این تحقیق فراهم نبوده و به‌عنوان پیشنهاد برای تحقیقات آتی ارائه می‌گردد.



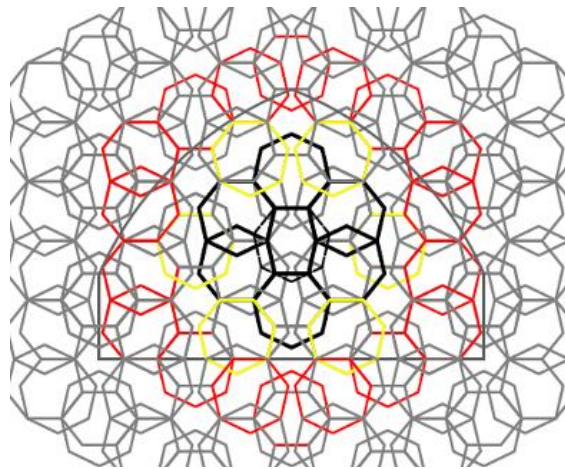
تصویر ۱۹. ایجاد اجزای عناصر زیرساختی گره با استفاده از ترکیب هفت ضلعی‌های منتظم (مأخذ: نگارندگان)

همچنین، مطابق تصویر ۲۰، این گره‌چینی با عبور پرتوهای متقاطع با زوایای ۱۲۸.۵۷ درجه از همه اضلاع شبکه زیرساختی به وجود آمده است. این اندازه، مربوط به زوایای داخلی هفت ضلعی منتظم و ذاتاً معرف هندسه این شکل می‌باشد. لذا، نمونه پیش‌رو در دسته تقارن دورانی درجه ۷ قرار دارد.



تصویر ۲۰. عبور پرتوهای متقاطع با زاویه ۱۲۸.۵۷ درجه از همه اضلاع شبکه زیرساختی (مأخذ: نگارندگان)





تصویر ۲۱. چیدمانی از هفت ضلعی‌ها منطبق بر شبکه زیر ساختی گره دارای نظم شبه تناوبی (متداخل، دارای تقارن دورانی و فاقد تقارن انتقالی در کوتاه‌برد) (مأخذ: نگارندگان)

نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده از این تحقیق حاکی از آن است که حداقل یکی از گره‌چینی‌های گنبدخانه تاج‌الملک (۴۸۱ ه.ق) که درون طاق‌نمای جنوب‌شرقی آن قرار گرفته؛ دارای نظم شبه‌تناوبی است. بنابراین می‌توان ادعا نمود که معماران ایرانی از اواخر قرن پنجم هجری (اوایل دوره سلجوقی) یعنی هشتصد سال قبل از اینکه دنیای معاصر غرب از نظم شبه‌تناوبی (که از انتظام‌های بسیار پیچیده هندسی است) در معماری و مواد طبیعی پرده بگشاید؛ با این چینش خاص آشنایی داشته‌اند. شایان ذکر است که قدیمی‌ترین نمونه مطالعه شده در این خصوص مربوط به گنبد کبود مراغه (۵۹۳ ه.ق) در اواخر قرن ششم می‌باشد و به نظر می‌رسد که سایر نمونه‌های معرفی شده (امامزاده درب امام اصفهان و مسجد جامع اصفهان)، یک برداشت آگاهانه از این الگوی گره‌چینی است و معماران آن را از این بنای تاریخی اقتباس کرده‌اند.

همچنین، هندسه و شبکه زیرساختی در این چند نمونه اندک اشاره شده در این خصوص، شامل پنج‌ضلعی‌های منتظم در تقارن دورانی درجه ده (شبکه‌های دهم‌محوری) می‌باشد. اما، نقش هندسی درون طاق‌نمای گنبدخانه تاج‌الملک در مسجد جامع اصفهان از این نظر قابل توجه است که آن قدیمی‌ترین نمونه از هنر هندسه با نظم شبه‌تناوبی و تقارن دورانی درجه ۷ در معماری است که تاکنون شناسایی و معرفی شده است.

در کل به نظر می‌رسد؛ مجموع الگوهای هندسی در گنبدخانه تاج-الملک نمایانگر یک پیشرفت چشمگیر در هنر تزئینات عصر سلجوقی و نشان‌دهنده یک نقطه عطف مهم در توسعه تاریخی این تکنیک باشد. شاید تحقیقات آتی در این خصوص، وجود نمونه‌های دیگر در این عصر تاریخی و یا قدیمی‌تر را به اثبات برسانند.

پی‌نوشت‌ها

۱. Nasr
۲. Steurer
۳. شبه بلور (Quasicrystal) اختصاری از واژه بلور شبه‌تناوبی (Quasiperiodic Crystal) می‌باشد.
۴. Weyl
۵. Peter J. Lu
۶. Steinhardt
۷. Shechtman
۸. Blech
۹. Ostlund
۱۰. Henry
۱۱. Bier
۱۲. Emil Makovicky
۱۳. چنانچه هر یک از آلت‌های یک زمینه تند یا کند گره ۱۰ توسط یک گره کوچک‌تر کند یا تند یا شل خرد شود، گره‌چینی به‌وجود آمده را شاه‌گره می‌نامند (رئیس‌زاده و مفید ۱۳۷۴، ۱۴۴).
۱۴. Hogendijk

منابع

۱. بلیلان اصل، لیدا، داریوش ستارزاده، مریم نوری، و ساناز خورشیدیان احمر. ۱۳۹۳. ارائه دیدگاه‌های جدید در رابطه با الگوهای گل و ستاره در تزئینات اسلامی. *هویت شهر* (۱۷): ۴۵-۵۴.
۲. پوپ، آرتور ایپهام، اریک شرودر، و فیلیس آکرمن. ۱۳۹۰. *شاهکارهای هنر ایران*. ترجمه‌ی پرویز خانلری. تهران: شرکت انتشارات علمی و فرهنگی.
۳. حلیمی، محمدحسین. ۱۳۹۰. *زیباشناسی خط در مسجد جامع اصفهان*. تهران: قدیانی.
۴. دادخواه پژمان، و غلامعلی حاتم. ۱۳۹۲. گنبدخانه تاج‌الملک، بازتاب هنر و زیبایی. *نقش‌مایه* (۱۴): ۷-۱۲.
۵. رئیس‌زاده، مهناز، و حسین مفید. ۱۳۷۴. *احیای هنرهای از یاد رفته*. تهران: مولی.
۶. گالدیری، اوژینو. ۱۳۷۰. *مسجد جامع اصفهان*. ترجمه‌ی عبدالله جیل‌عاملی. اصفهان: انتشارات میراث فرهنگی اصفهان.
۷. محمدیان منصور، صاحب، و سینا فرامرزی. ۱۳۹۱. مقایسه نظم شبه‌تناوبی شاه‌گره با ساختار شبه‌بلوری سیلیکون. *هنرهای زیبا- هنرهای تجسمی* (۵۰): ۶۹-۸۰.
۸. محمدیان منصور، صاحب، و سینا فرامرزی. ۱۳۹۲. بررسی وجود نظم شبه‌تناوبی در ساختار هندسی پتکانه. *هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی* ۱۸ (۲): ۴۳-۵۴.
۹. ندیمی، هادی. ۱۳۷۸. حقیقت نقش. *مجموعه مقالات دومین کنگره تاریخ معماری و شهرسازی ایران*. تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.
۱۰. نصر، سید حسین. ۱۳۹۴. *هنر و معنویت اسلامی*. ترجمه‌ی رحیم قاسمیان. تهران: حکمت.
۱۱. نقره‌کار، عبدالحمید. ۱۳۹۳. *مجموعه جزوات و فایل‌های الکترونیکی ارائه شده در کلاس‌های مقطع دکتری*. دانشگاه علم و صنعت ایران.
۱۲. نوایی، کامبیز، و کامبیز حاج قاسمی. ۱۳۹۱. *خشت و خیال*. تهران: انتشارات سروش با همکاری دانشگاه شهید بهشتی.

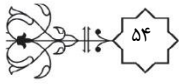
References

1. Balilan, Lida, Daryoush Satarzade, Maryam Nouri, and Sanaz Khorshidian. 2014. Representation of New Viewpoints on Rose and Star Patterns in Islamic Decorations. *Hoviatshahr* (17): 45-54.
2. Bier, C. 2002. Geometric Patterns and the Interpretation of Meaning: Two Monuments in Iran. In *Bridges: Mathematical Connections in Art, Music, and Science*: 67-78.
3. Bindi, L., J. Steinhardt, N. Yao, and P.J. Lu. 2009. Natural Quasicrystals. *Science* (324): 1306-1309.
4. Dadkhah Pezhman, Golamali Hatam. 2014. Taj Al-Molk Dome, a Reflection of Art and Beauty. *Nagshmaye* (14): 7-12
5. Galdiri, Orzhino. 1991. *Masjed Jamea Isfahan*. Translated by Abdollah Jabal Amoli. Isfahan: Cultural Heritage Corporation.
6. Halimi, Mohammadhosein. 2011. *Calligraphy in Isfahan Grand Mosque*. Zibashenasi Khat Dar Masjed Jamea Isfahan. Tehran: Gadyani.
7. Henry, R. 2007. Pattern, Cognition and Contemplation: Exploring the Geometric Art of Iran. Public lecture at the Middle East Association on 27 April. Published in *the Journal of the Iran Society*.



8. Hogendijk, J. 2012. Mathematics and Geometric Ornament in the Medieval Islamic World. *Newslette of the European Mathematical Society* (86): 37-43.
9. Lu, J, Paul, J, and J. Steinhardt. 2007. Decagonal and Quasi-Crystalline Tilings in Medieval Islamic Architecture. *Science* (315): 1106-1110.
10. Makovicky, E. 1992. 800-Year-Old Pentagonal Tiling from Maragha, Iran, and the New Varieties of a Periodic Tiling It Inspired. *Fivefold Symmetry*: 67-86.
11. _____. 2016. *Symmetry: Through the Eyes of Old Masters*. De Gruyter.
12. Mohammadian Mansour, Saheb, and Sina Faramazi. 2012. A Comparison Between Quasiperiodic Order of Shah Gereh and the Quasicrystal Structure of Silicon. *Honar-Ha-Ye Ziba, Honarhaye Tajassomi* (50):69-80.
13. Mohammadian Mansour, Saheb, and Sina Faramazi. 2013. Investigation of Quasi-Periodic Order in Geometrical Structure of Patkaneh. *Honar-Ha-Ye Ziba, Memari-Va-Sharsazi* (2): 43-54.
14. Nadimi, Hadi. 2000. The Truth of Pattern. *Proceedings of the Second Congress of the History of Architecture and Urban Planning in Iran*. Tehran: Cultural Heritage, Handcrafts and Tourism Organization.
15. Nasr, Seyed Hossein. 1976. *Islamic Science: An Illustrated Survey World of Islam*. London: Festival Publishing.
16. _____. 2014. *Islamic Art and Spirituality*. Translated by Rahim Gasemian. Tehran: Hekmat.
17. Navayi, Kambiz, and Kambiz Hajgasemi. 2013. *Khesht Va Khial*. Tehran: Soroush Publications in Collaboration with Shahid Beheshti University.
18. Nogrekar, Abdolhamid. 2015. *Collection of Pamphlets and Electronic Files Presented in PhD Classes*. Iran University of Science and Technology.
19. Pope, Arthur Upham, Rick Schroder, and Filis Akerman. 2011. *Masterpieces of Iranian Art*. Translated by Parviz Khanlari. Tehran: Elmi-va-Farhangi.
20. Rayiszade, Mahnaz, and Hosein Mofid. 1996. *Revival of Forgotten Arts*. Tehran: Mola.
21. Shechtman, D, I. Blech, D. Gratias, and W. J. Cahn. 1984. Metallic Phase with Long-Range Orientational Order and No Translational Symmetry. *Phys. Rev. Lett* (53): 1951-1984.
22. Steinhardt, J. and S. Ostlund. 1987. *The Physics of Quasicrystals*. Singapore: World Scientific Publishing.
23. Steurer, W. 2004. Twenty Years of Structure Research on Quasicrystals. Part I. Pentagonal, Octagonal, Decagonal and Dodecagonal Quasicrystals. *Zeitschrift für Kristallographie* (219): 391-446.
24. Weyl, H. 1952. *Symmetry (First Edition)*. Princeton University Press [Hardcover] Publishing.





Journal of Research in Islamic Architecture / No.34 / Spring 2022/ 39-54

Investigating the existence of quasi-periodic order in the decoration of the dome of Taj Al-Molk in Jame' Mosque of Isfahan

Nooraldin Hazrati

Master of architecture, University of Urmia

Sahel Dezhpasand

Assistant Professor in architecture, University of Urmia

Corresponding authors.dejpasand@urmia.ac.ir

Received: 01/11/2020

Accepted: 08/11/2021

Abstract

Two methods, periodic or quasi-periodic, are used to cover surfaces with geometric shapes. In the periodic method, the unit of repetition is based on transitional symmetry; But the quasi-periodic method lacks transitional symmetry and is much more complex than the periodic method. Quasi-periodic order is also one of the micro-scale arrangements found in natural materials. Quasi -crystals -materials of this order that were discovered in the late twentieth century- exhibit a special symmetry and violate the rules of conventional crystallography, which are based on transitional symmetry. Recent research in this field shows that Iranian architects have long been familiar with the quasi-periodic order. The use of this order has so far been proven in the decoration of three historical monuments of Iran, the oldest of which is the Gonbad-e-kabood of Maragheh and belongs to the late sixth century AH (late Seljuk era (Seljuks of Iraq)). The main question of the research is whether there is another (older) building in Iran that has decorations with a quasi-periodic order? This article, with the hypothesis that Iranian architects have been familiar with this particular geometric order at least since the early Seljuk period, aims to study the knotted decorations of the Taj al-Molk dome (481 AH), which is one of the most important buildings of this era. Is, put. Research method This article is based on descriptive-analytical research method and logical reasoning; according to which, the geometric infrastructure network in the knotted decorations of the previously studied buildings has been compared and has become the basis for achieving new results in this research. Comparing the order in the designs of Taj Al-Molk dome with the structure of quasi-crystals, it was found that at least one of its internal nodes has an arrangement with a quasi-periodic order (of the seventh-degree rotational symmetry type). Thus, this is the oldest architectural example of the art of geometry with quasi-periodic order in Iran, which has been identified and introduced so far, and the use of quasi-periodic order in Iranian architecture dates back to the late fifth century AH.

Keywords: Geometric decorations, knotting, quasi-periodic order, quasi-crystal, gonbad Taj Al-Molk.

