کاربرد لایه پنهان در توسعه گره‌چینی بر مبنای مستندات تاریخی در ایران

چکیده:
گره‌ها یکی از پیچیده‌ترین الگوهای هندسی هستند که در دوران اسلامی بسیار توسعه یافتند و معماران ایرانی سهم عمده‌ای در توسعه آن داشتند. یکی از مسایل مهم در مطالعه گره‌ها روش‌شناسی تولید گره‌ها هست. براساس اسناد مکتوب منتشرشده از استادان سنتی این هنر چنین برداشت می‌شود که روش تولید گره‌ها در معماری ایران مبتنی بر روش فلکی بوده است. اما بررسی اسناد تاریخی نشان می‌دهد، روش چندضلعی‌ها در توسعه گره‌ها در معماری ایرانی نقش داشته است. این پژوهش با روش توصیفی-تحلیلی و استدلالی برای شناسایی ساختار و روش‌شناسی‌های طراحی گره‌ها با روش جمع‌آوری اطلاعات به طریق کتابخانه‌ای و میدانی در پی پاسخ به این پرسش‌ها است: ۱) مستندات تاریخی نشان‌دهنده کاربرد فن چندضلعی برای تولید گره‌ها در هنر و معماری ایران کدامند؟ ۲) سیر کاربرد فن چندضلعی در توسعه گره‌ها در معماری ایران چگونه بوده است؟ ۳) چرا با وجود فن چندضلعی، استادان ایرانی روش ترسیم فلکی را در کتاب‌های خود معرفی کرده‌اند؟ مدارک مورد استناد در این پژوهش علاوه بر طومار برجای مانده، دربردارنده کاربرد فن چندضلعی در گره‌های برخی بناها نیز است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد: تاریخ توسعه گره‌ها وابسته به فن چندضلعی بوده است و موزاییک‌کاری‌ها در ابتدا، به‌صورت ساده بوده است و در ادامه، توسعه یافتند و پیچیده‌تر و متنوع‌تر شده‌اند. در این توسعه خود گره‌ها نیز به‌عنوان در موزاییک‌کاری مولد پایه به‌کار گرفته شده‌اند و در ترکیب با گره پیلی بروز یافته‌اند. هم‌چنین، با خردکردن موزاییک‌کاری پایه در آلت‌های گره اصلی، شاه‌گره‌ها به‌وجود آمدند که با استفاده از فن چندضلعی گره دیگری با مقیاس کوچک‌تر در داخل گره اصلی نقش بسته است. به‌نظر می‌رسد کاربرد روش فلکی برای طراحی و توسعه گره‌ها نبوده، بلکه برای پیاده‌سازی گره در زمینه‌های مختلف بوده باشد.

واژگان کلیدی: هندسه و کاشی‌کاری، گره‌چینی، روش‌شناسی‌های طراحی و ترسیم، روش چندضلعی، روش فلکی

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۷

احد نژاد ابراهیمی
(نویسنده مسئول)
استاد، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.
Email:
ahadebrahimi@tabriziau.ac.ir

عارف عزیزپور شوبی
دانشجوی دکتری معماری اسلامی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.
Email:a.azizpour@tabriziau.ac.ir

DOI: شناسه دیجیتال
10.22051/jtpva.2022.38900.1376

*مقاله حاضر مستخرج طرح پژوهشی با عنوان «*مطالعه نقوش هندسی بناهای ترکمانان آذربایجان شرقی برای بازآفرینی نقوش هندسی مسجد حسن پادشاه تبریز*» با شماره قرارداد ۱۴۶۳ مورخ ۱۳۹۹/۰۱/۱۶ است که با حمایت مالی دانشگاه هنر اسلامی تبریز انجام گرفته است.

مقدمه

هنرهای تزیینی در شیوه‌های مختلف در جهان اسلام ظهور یافته‌اند که گره‌ها یکی از پیچیده‌ترین آن‌ها هستند و بخش مهمی از هنرهای جهان اسلام را تشکیل می‌دهند. این الگوها وابسته به قواعد هندسی در علوم ریاضی هستند و در طی زمان توسعه یافته‌اند. «تزیینات هندسی را در ایران گره چینی یا گره‌سازی می‌نامند و معمولا، ترکیبی است از شمسه‌ها[1] و آلت‌های[2] چندضلعی هستند که در ترکیبی موزون با یک دیگر قرارگرفته‌اند (Necipoğlu & Al-Asad, 1995: 137). یکی از مسایل مهمی که در حوزه پژوهش گره‌ها بسیار مطرح است دانش روش‌شناسی طراحی و ترسیم آن‌ها است که محققان مختلف بر روی روش‌های متفاوت تاکید دارند. دانش روش‌شناسی طراحی گره‌ها ارتباط بسیار نزدیکی با زیبایی‌شناسی و اصالت آن‌ها دارد. معماری اسلامی ایران سهم زیادی در توسعه گره‌ها داشته، اما ارتباط آن با دانش روش‌شناسی تولید گره‌ها آشکار نبوده است. بسیاری از محققان روش توسعه گره‌ها در ایران را مبتنی بر روش فلکی می‌دانند که بر اساس منابع مکتوب بر جای مانده از آخرین استادان سنتی ایران، مانند شفایی (۱۳۹۹)، شعرباف (۱۳۸۵)، لرزاده (۱۳۷۴)، گلیار (۱۳۹۹)، زمرشیدی (۱۳۶۵) و حلی (۱۳۶۵) می‌باشد. این اسناد روش ترسیم تمامی گره‌های معماری ایران را مبتنی بر روش فلکی می‌دانند و تقریبا این طور استناد می‌شود که هنرمندان ایرانی از روش چندضلعی آگاهی نداشتند. اما مطالعات بر روی اسناد تاریخی مانند طومار توپقاپی و گره‌ها برجای مانده بر دیوارهای گنبد سلطانیه بیانگر آن است که معماران و هنرمندان ایرانی از روش چند ضلعی و فنون تولید گره برمبنای آن آگاهی کامل داشتند و برای توسعه گره‌ها در معماری ایران از آن بهره برده‌اند. لذا، این پژوهش سعی دارد تا اسناد تاریخی به جا مانده از توسعه تاریخی گره‌ها را بررسی کند و به نقش فن چندضلعی در توسعه گره‌ها در معماری ایرانی بپردازد و هم‌چنین، نسبت فن چندضلعی را با روش فلکی بررسی کند، تا جایگاه هریک مشخص شود. اهمیت این پژوهش از آن جا است که دانش روش‌شناسی ایجاد گره ارتباط مستقیمی با توسعه و ایجاد گره‌های جدید دارد که دارای اصالت تاریخی خود هستند، بنابراین، شناخت جایگاه و کاربرد آن در طراحی گره‌ها می‌تواند روزنه‌ای برای ادامه توسعه گره‌ها در بستر تاریخی‌شان باشد. از این رو، این پژوهش در پی پاسخ به این پرسش‌ها است: ۱) مستندات تاریخی نشان‌دهنده کاربرد فن چندضلعی برای تولید گره‌ها در هنر و معماری ایران کدامند؟ ۲) سیر کاربرد فن چندضلعی در توسعه گره‌ها در معماری ایران چگونه بوده است؟ ۳) چرا با وجود فن چندضلعی، استادان ایرانی روش ترسیم فلکی را در کتاب‌های خود معرفی کرده‌اند؟ بر اساس پرسش‌های پژوهش، بعد از شرح مبانی نظری (بررسی پژوهش‌های پیشین، روش‌شناسی تولید گره و تشریح ساختار گره بر اساس فن چندضلعی)، اسناد تاریخی -که کاربرد فن چند ضلعی در آن مشهود است- بررسی می‌شود تا کاربرد فن چند ضلعی برای تولید گره‌ها در اسناد تاریخی مکتوب و معماری گذشته ایران آشکار شود. این اسناد شامل طومار توپقاپی و طرح گره‌های برجای مانده در گنبد سلطانیه هستند. گره‌های گنبد سلطانیه روزنه تازه‌ای در توسعه فن چند ضلعی آشکار می‌کند. به‌طوری‌که، خود گره به‌عنوان موزاییک‌کاری پایه در توسعه گره‌های بعدی کاربرد داشته است. بنابراین، کاربرد گره به‌عنوان موزاییک‌کاری پایه در توسعه گره‌های پیلی و توسعه شاه‌گره‌ها پیگیری می‌شود؛ تا فرصت استدلال کاربرد فن چندضلعی در توسعه گره‌چینی ایران حاصل شود و در نهایت، تلاش بر این است تا با مقایسه فن چندضلعی و شیوه استادان سنتی ایران -که به روش فلکی مرسوم است- بتوان به جایگاه کاربرد هریک و دلایل توسعه آن‌ها پرداخته شود.

روش پژوهش

این پژوهش با روش توصیفی-تحلیلی و استدلالی با روش جمع‌آوری اطلاعات به طریق کتابخانه‌ای و میدانی به انجام رسید.

پیشینه پژوهش

با توجه به اهمیت گره‌ها در هنر اسلامی پژوهش‌های انجام شده در رابطه با این زمینه بسیار گسترده هستند که شرح همه آن‌ها فراتر از مجال این مقاله است. بنابراین در این جا صرفا به پژوهش‌هایی که دربردارنده روش‌شناسی‌های طراحی و ترسیم گره‌ها می‌شوند، بسنده شده است. در بررسی این آثار با چند دسته آثار مواجه می‌شویم؛ یک دسته، شامل آثار استادان سنتی این حوزه می‌شود که دانش به ارث برده از نسل‌های پیشین خود را به‌صورت کتاب منتشر کرده‌اند: استاد حسین لرزاده (۱۳۷۴)، در بخش چهارم کتاب «احیای هنرهای از یاد رفته؛ مبانی معماری

سنتی در ایران» به گره‌سازی می‌پردازد که پس از معرفی گره و آلت‌های آن روش ترسیم ام‌الگره (گره مادر) را گام به گام با روش فلکی شرح می‌دهد و در مراحل بعدی، به‌واسطه خرد کردن گره، انواع گره‌های دیگر را از آن استخراج می‌کند. استاد شعرباف (۱۳۸۵)، در کتاب «گره و کاربندی» گره‌ها را تزییناتی بر اساس قاعده معین بر روی انواع سطوح می‌داند که هر کدام از آن‌ها در زمینه (قاب) مخصوص به خود محدود می‌شوند. بنابراین، وی اولین مرحله ترسیم گره را ترسیم زمینه می‌داند که بعد از آن به تناسب زمینه مورد نظر روش فلکی را برای ترسیم انواع گره‌ها به‌کار می‌گیرد. زمرشیدی (۱۳۶۵)، در کتاب «گره چینی در معماری اسلامی و هنرهای دستی» دو روش را برای ترسیم انواع گره‌ها به‌کار می‌گیرد که بعضی از گره‌ها بر اساس روش فلکی و برخی دیگر بر اساس روش شبکه‌ای ترسیم می‌شوند. سید علی‌اکبر حلی (۱۳۶۵)، در کتاب «گره‌ها و قوس‌ها در معماری اسلامی» نیز مانند زمرشیدی در ترسیم گره‌ها از هر دو روش ترسیم شبکه‌ای و فلکی را بهره برده است که علاوه بر آن در ترسیم گره پیلی منتخب به ترسیم گره کند دو و پنج به‌عنوان ساختار پایه نیز اشاره می‌کند. استاد محمود ماهر النقش (بی‌تا)، در پژوهش «طرح و اجرای نقش در کاشی‌کاری ایران دوره اسلامی؛ دفتر اول گره‌کشی» نیز در دفاتر گره خود از انواع روش‌های فلکی و شبکه‌ای در ترسیم گره استفاده می‌کند. استاد گلیار (۱۳۹۹)، در کتاب «دفتر گره: روش طراحی گره‌ها در معماری اسلامی ایران» در ترسیم گره‌ها متکی بر روش فلکی است. شفایی (۱۳۹۹)، در کتاب «هنر گره‌سازی در معماری و درودگری» نیز روش فلکی را در ترسیم گره‌ها به‌کار می‌گیرد. دسته دیگر محققان غربی هستند که برای شناخت گره‌ها و ارتباط آن‌ها با ریاضیات و حکمت اسلامی تلاش کرده‌اند. کریچلو (۱۹۷۶)، در پژوهش «تحلیل مضامین جهان شناختی نقوش اسلامی» ساختار گره‌ها را مبتنی بر دایره -که ریشه در حکمت اسلامی دارد- معرفی می‌کند و برای ترسیم گره نیز از روش فن نقطه اتصال (مراکشی) استفاده می‌کند. در دنباله روش وی افرادی چون اریک بورگ (۲۰۱۳)، در پژوهش «طرح‌های هندسی اسلامی» و العصام السعید و عایشه پارمان (۱۹۸۹)، در پژوهش «مفاهیم هندسی در هنر اسلامی» نیز از این روش برای ترسیم گره‌ها استفاده می‌کنند. در بین طراحان و محققان غربی نیز ژان مارک کاسترا (۲۰۲۱)، در پژوهش «تند به تند: خود متشابهی الگوهای تند ایرانی، از طریق منطق کاشی‌های X» در توسعه روش شبکه‌ای می‌کوشد. محققانی چون گل‌رو نجیب اوغلو (۱۹۹۵)، در پژوهش «هندسه و تزیین در معماری اسلامی؛ طومار توپقاپی» در پی یافتن ارتباط بین شکل‌گیری گره‌ها و توسعه ریاضیات می‌باشد و ترسیم گره‌های ارایه شده در کتابش مبتنی بر روش فلکی است که در میان استادان ایرانی رواج داشته. هرچند نجیب اوغلو (۲۰۱۷)، در کتاب متاخرترش «هنرهای تزیین هندسی» به کاربرد فن چندضلعی در توسعه گره‌چینی نیز اشاراتی داشته است. شروع پژوهش در ارتباط شکل‌گیری گره‌ها و فن چندضلعی با کشف ارنست هنبوری هنکین (۱۹۲۵)، در پژوهش «ترسیم الگوهای هندسی در هنر سارسانیک» همراه بود؛ که وی در حال بازدید از یک حمام هندی متوجه ترسیماتی از چندضلعی‌ها به‌عنوان شبکه پایه در گره‌ها شد و به واسطه این کشف روش چندضلعی برای اولین بار به دنیای معاصر معرفی گشت. هم‌چنین، بعدتر با مطالعه اسناد تاریخی از جمله طومار توپقاپی متوجه کاربرد گسترده این روش شد. بونر (۱۴۰۰)، از افراد بسیار تاثیرگذار در این حوزه بود که در کاربست و تدقیق روش کشف شده توسط هنکین بسیار کوشید. وی در کتاب «الگوهای هندسی اسلامی؛ توسعه تاریخی و روش‌های سنتی ساخت» به توسعه تاریخی الگوهای هندسی در فرهنگ‌های اسلامی پرداخت و در فصلی دیگر از قابلیت‌های فن چندضلعی در مقایسه با سایر روش‌ها بحث کرد و در فصل سوم این کتاب، به دسته‌بندی گره‌ها بر اساس موزاییک‌کاری پایه در دو شاخه قاعده‌مند و غیرقاعده‌مند و طرح‌های دو-سطحی و کاربست گره در سطوح گنبدها پرداخت و در نهایت، فصل چهارم این کتاب که توسط کریج کاپلن تالیف شده به تولید رایانشی گره‌ها بر اساس فن چندضلعی اختصاص دارد. هم‌چنین، بونر (۲۰۱۶)، در مقاله «اهمیت تاریخی طرح‌های هندسی گنبدخانه شمال شرقی مسجد جامع اصفهان» از اهمیت گره‌ها گنبدخانه تاج‌الملک در مسجد جامع اصفهان در روند توسعه گره‌ها بحث می‌کند. نژاد ابراهیمی و عزیزپور (۲۰۲۰)، در مقاله «راهبردهای انتقال گره بر سطح گنبدهای تاریخی ایران» کاربرد فن چندضلعی را در انتقال گره به سطوح گره تحت عنوان روش‌های چندوجهی و گام عددی بررسی کردند. کرمول (۲۰۱۲)، نیز در مقاله «تحلیل طرح‌های چند لایه در مسجد جامع یزد» از این روش در تجزیه و تحلیل شکل‌گیری گره‌های دو سطحی در پیشانه مسجد جامع یزد استفاده کرده است.

دسته بعدی، پژوهشگرانی هستند که روش‌های ترسیم با دیدگاه‌های نوین را توسعه دادند. کاپلن و سلسین (۲۰۰۴)، در پژوهش «الگوهای ستاره اسلامی در هندسه محض» بر اساس فن چندضلعی روشی تحت عنوان نجم ارایه می‌دهند که قابلیت کاربست در سطوح کروی را دارد و با الگوریتم‌های رایانشی مطابقت پیدا می‌کند. ریما العجونی (۲۰۱۲)، در پژوهش «طیف وسیع نظم جهانی الگوهای شبه‌تناوبی در معماری اسلامی» برای ترسیم گره‌ها بر اساس نظم شبه‌تناوبی روشی مبتنی بر ساختارهای تقارن‌های شبه‌تناوبی ارایه می‌دهد. امین پور و همکاران (۱۳۹۵)، در مقاله «ارایه دو روش جدید در ترسیم گره و مقایسه آن‌ها» فن چندضلعی را برای تولید پارامتریک گره‌ها به‌صورت الگوریتمیک و زبان برنامه‌نویسی در برنامه متلب به‌کار گرفتند؛ تا بر اساس شبکه زیرساختی گره‌های مختلف تولید شود. ولی بیگ و همکاران (۱۳۹۶)، در مقاله «مطالعه مقایسه‌ای گره مادر در گستره شیوه‌های ترسیم با ارایه و معرفی شیوه‌ای نامکتوب» روش فلکی را که به‌صورت غیر مکتوب توسط استادان برای ترسیم گره مادر ارایه شده بود، به‌صورت گام‌به‌گام شرح داده‌اند. دهشتی و همکاران (۱۳۹۸)، در مقاله «روشی نو در ترسیم نقش‌مایه‌های گره ده تند و کند» بر اساس ساختار گره روشی را تحت عنوان ستاره طلایی برای تند و کند کردن آلت‌های گره ارایه می‌دهند که مبتنی بر ساختار چندضلعی پایه است. با وجود تلاش‌های افرادی چون هنکین، بونر و کرمل در ارتباط با توسعه گره‌ها و فن چندضلعی، آن چیزی که در مقاله حاضر روزنه‌ای تازه را نسبت به موضوع عیان می‌کند، این است که، مدارک جدیدی از گره‌های برجای مانده در سطوح بناهای تاریخی کاربرد فن چندضلعی در معماری ایرانی را ارایه می‌کند و به‌واسطه آن‌ها، روش‌های کاربرد فن چندضلعی برای توسعه گره در معماری ایرانی بسط داده می‌شود. هم‌چنین، این مدارک مسیر تازه‌ای از توسعه گره‌های ایرانی را نشان می‌دهد که نمایانگر کاربرد گره به‌عنوان موزاییک‌کاری پایه در تولید گره‌های پیچیده‌تر، مانند گره‌های پیلی و شاه‌گره‌ها است، که در این پژوهش بررسی می‌شود. هم چنین، با وجود این‌که بر اساس روش ارایه شده در منابع مکتوب استادان ایرانی، باور بر این است که توسعه گره‌چینی در ایران مبتنی بر روش فلکی بوده است. منابع تازه نشان از کاربرد فن چندضلعی در توسعه گره‌های ایرانی دارد که در نهایت، این پژوهش به ارتباط بین روش‌های فلکی و چندضلعی و دلیل توسعه روش فلکی نیز می‌پردازد.

روش‌شناسی‌های تولید گره

دانش طراحی و پیاده‌سازی گره معمولا، دانشی خانوادگی و در اختیار افراد خاصی از جامعه بود و معماران برای عدم فاش شدن این علم، این روش‌ها را به‌صورت سینه به سینه از یک نسل به نسل دیگر منتقل می‌کردند و معمولا، اجازه انتقال به راحتی هم اتفاق نمی‌افتاد. «حاج محمد[۳] طومارهایی از انواع کاربندی و گره‌ها را از زمان طفولیت و جوانی نزد پدر و دیگر استادان تهیه کرده بود که حسب ضرورت بر روی آن مرور می‌کرد، اما نشان کسی نداده بود» (پورنادری، ۱۳۷۹: ۱۴). علی‌رغم این محدودیت‌ها روش‌های ایجاد و به‌کارگیری گره‌ها در شاخه‌های مختلف توسعه یافتند. هرچند که روش‌های تولید گره بسیار گسترده و متنوع است و حتی بعضی از هنرمندان و محققان معاصر روش‌های ترسیم مختص به خود را ابداع کردند، اما چهار روش فلکی، فن نقطه اتصال (مراکشی)، شبکه و چندضلعی در بین طراحان و محققان این هنر بسیار رایج است و کاربرد گسترده‌ای دارد که در ادامه، شرح داده می‌شود و ترسیم گره با هر کدام از این روش‌ها به‌صورت گام به گام در جدول ۱، ارایه می‌گردد.

روش فلکی: این روش متداول‌ترین شیوه در بین استادان ایرانی از جمله لرزاده، شعرباف، حلی و فرشته نژاد است. در این روش ابتدا، با استفاده از یک ماتریس شعاعی (فلکی) دامنه بنیادی ام‌الگره را ترسیم می‌کنند که در این فرایند ابتدا، یک خط رمز در زمینه (کادر) ترسیم می‌شود که از روی خط رمز ماتریس‌های شعاعی ترسیم می‌شوند که شبکه شعاعی زیرساختی به دست می‌آید و این شبکه شعاعی را زمینه می‌نامند. از این شبکه واگیره را ترسیم کرده و پس از به دست آوردن واگیره و اعمال تقارن گره را گسترش می‌دهند (شعرباف، ۱۳۸۵؛ لرزاده، ۱۳۹۳؛ حلی، ۱۳۶۵).

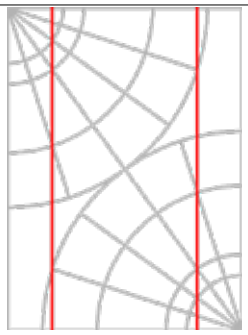
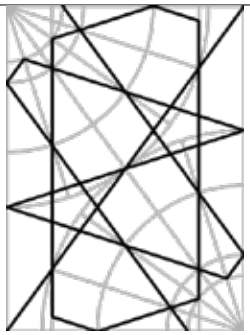
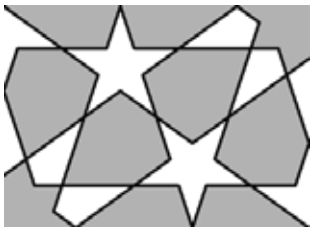
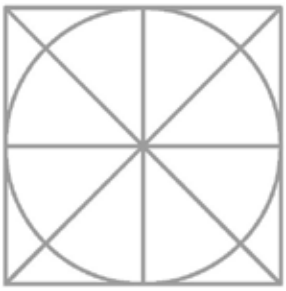
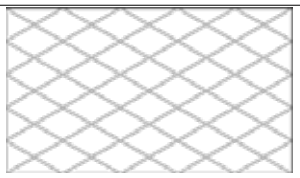
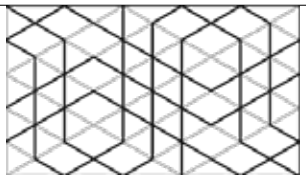
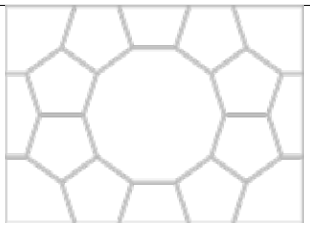
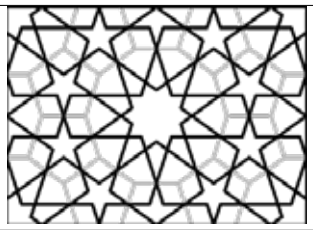
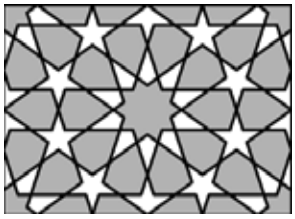
روش فن نقطه اتصال (مراکشی): در این روش الگو با استفاده از خط مستقیم و دایره ساخته می‌شود (El-Said, 1989; Grube & Michell, 1995). این روش یکی از رایج‌ترین روش‌هایی است که توسط محققین در کتاب‌های مختلف ارایه شده است و اغلب، نامی برای آن ارایه نداده‌اند. اما این روش توسط جی بونر به نام فن نقطه اتصال ارجاع داده شده (بونر، ۱۴۰۰: ۲۰۲). «روش معمول شامل استفاده از یک پرگار و خط‌کش می‌باشد: به‌طور

معمول، با یک دایره شروع می‌شود که برای تولید یک واگیره مربع یا شش‌ضلعی منتظم به قسمت‌های جزتقسیم می‌شود که تقسیمات بعدی منجربه ساخت یک ماتریس مختصات هندسی می‌شود که براین اساس بروگ گره‌ها را در سه ساختار چهارگانه، پنج‌گانه و شش‌گانه تقسیم‌بندی کرده است» (Broug, 2013: 41).

روش شبکه: در این روش بر اساس ترسیم گره بر اساس نقطه‌یابی و ترسیم خطوط براساس شبکه زیرنقش است، «انواع شبکه برای ترسیم گره‌ها در دسته‌های شبکه مربع، مربع مورب، لوزی و مثلث قرار می‌گیرد» (عنبری یزدی، ۱۳۹۴: ۲۴). از جمله استادان ایرانی که از این روش برای ترسیم گره استفاده می‌کند، استاد محمود ماهرالنقش است (ماهرالنقش، بی‌تا: ۱۰۵-۱۶۴).

روش چندضلعی: جی بونر این روش را برترین روش مولد می‌داند و معتقد است درحالی‌که طرح‌های ابتدایی می‌توانند برروش‌های جایگزین تولید شوند، فن چندضلعی تنها روش موجود است که الگوهای پیچیده‌تر را در این سنت تولید می‌کند (بونر، ۱۴۰۰: ۱۸۷). این روش در ایجاد ستاره‌های اصلی، کاربرد دارد. خطوط الگو اغلب، به‌وسیله خطوط ترسیم -که نقاط میانی چندضلعی پایه اصلی را متصل می‌کند- تعیین می‌شود. روش ارایه شده به‌طور تقریبی پیرو نام‌گذاری ج. لی باستان‌شناس است که با شناسایی تعداد اضلاع چندضلعی اصلی نسبت به تعداد اضلاع متوالی در نقطه میانی به نقطه میانی خط برای ایجاد یک ستاره معین کاربرد دارد (AJ Lee, 1987: 182–197).

جدول۱. انواع روش‌های طراحی گره (نگارنده).

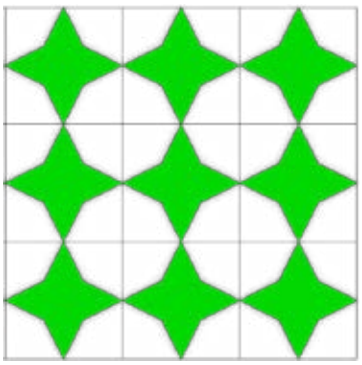
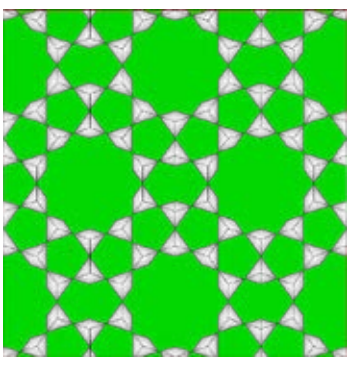
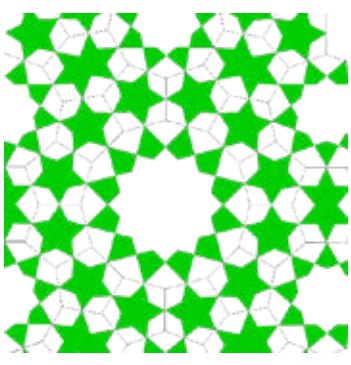
روش	گام اول	گام دوم	گام سوم
فلکی			
نقطه‌اتصال			
شبکه			
چندضلعی			

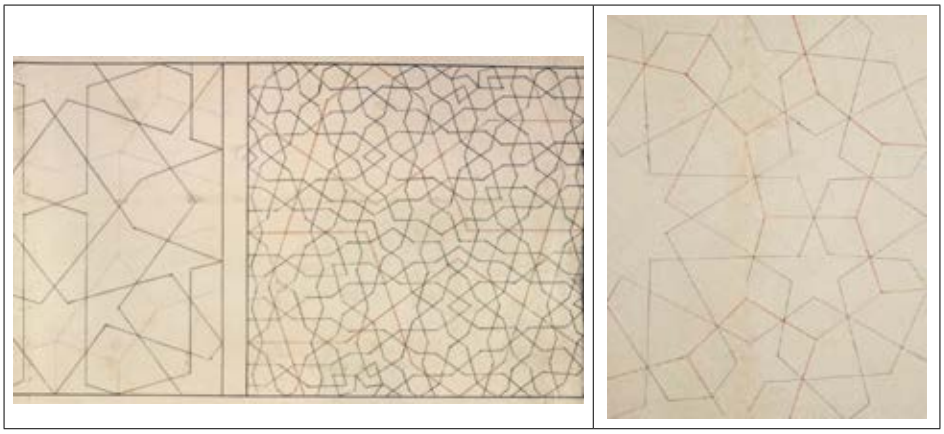
تشریح ساختار گره بر اساس فن چندضلعی

هندسه کاشی‌کاری نقش اصلی را در هنر اسلامی بازی می‌کند (Kappraff, 2001:168). الگوهای برجای مانده در سطوح معماری اسلامی نشان دهنده آگاهی طراحان آن‌ها از اصول ریاضی هستند. (Sarhangi, 2012: 345) «ساختار طراحی یک خصیصه مهم سبک در سنت‌های فرهنگی است که در گره‌ها این ساختار طراحی مبتنی بر شکل‌های تعریف شده (ستاره و چندضلعی‌ها) در ساختار پایه و تقارن‌ها است (Cromwell, 2010: 10). خصیصه نمادین گره‌ها بر اساس شمسه شکل می‌گیرد (Wichmann & Wade, 2017: 67). نقش شمسه‌ها در گره‌ها آنقدر با اهمیت است که بسیاری از پژوهشگران معاصر از واژه الگوهای ستاره اسلامی برای معرفی گره‌ها استفاده می‌کنند (AJ Lee, 1987: 1; Kaplan & Sales-in, 2004: 97). استادان سنتی این هنر نیز گره‌ها را بر اساس تعداد شمسه آن‌ها دسته‌بندی می‌کنند؛ مانند: گره‌های زمینه، یک‌زمینه و چندزمینه، و برای نام‌گذاری گره‌ها نیز از تعداد پرهای شمسه استفاده می‌کنند (لرزاده، ۱۳۷۴: ۱۴۵). اما مسال‌های که ساختار گره‌ها را بسیار پیچیده و جذاب کرده، صرفا، جذابیت شکلی آن‌ها نیست، بلکه در ساختار نامریی و انتظام دهنده آن‌ها است؛ «در زیر شکل‌های شمسه یا آلت‌های گره ساختار چندلایه‌ای وجود دارد که شبکه و موزاییک‌کاری نام دارد و شکل شمسه یا آلت‌ها بر اساس آن‌های جانمایی می‌شود» (Nejad Ebrahimi & Azizpour Shoubi, 2020: 243). بسیاری از طراحان گره‌ها از همین ساختارها برای ترسیم گره‌ها استفاده می‌کنند.

۱) موزاییک‌کاری مولد پایه در گره‌ها: موزاییک‌کاری‌ها شکلی از طراحی هستند که برای هزاران سال در فرهنگ‌های مختلف استفاده شده‌اند (Willson, 1983: 1). آن‌ها در طول زمان توسعه یافتند و خودشان پایه شکل‌گیری طرح‌های بعد از خود شدند. موزاییک‌کاری‌ها زیرمجموعه علم کاشی‌کاری هستند. «در حقیقت، کاشی‌کاری پوشش سطح با ترکیب مجموعه‌ای مشخص از اشکال بدون فاصله و هم‌پوشانی است» (Jablan, 2002: 12). به‌طور کلی، موزاییک‌های مولد پایه -که در گره‌ها استفاده شده است- غالبا در دو دسته منتظم و نیمه منتظم جای می‌گیرند. «کاشی‌کاری منتظم ترکیبی از یک شکل منتظم است که به‌تنهایی می‌تواند یک سطح را به‌صورت راس‌به‌راس بپوشاند. تنها چندضلعی‌های منتظمی که می‌توانند به‌تنهایی یک صفحه را به‌صورت راس‌به‌راس بپوشانند، شامل مثلث، مربع و شش‌ضلعی می‌شوند» (Kappraff, 2001: 173). و این موزاییک‌کاری‌های پایه گره‌های زمینه را می‌سازند (ستون سمت راست در جدول ۲). موزاییک‌کاری نیمه منتظم یا ارشمیدوسی ترکیبی از چندضلعی‌های منتظم است، که بدون فاصله یا هم‌پوشانی به‌صورت لب‌به‌لب صفحه را می‌پوشاند (Grünbaum & Shephard, 1987:58-59). اگر موزاییک‌کاری مولد پایه دارای یک چندضلعی اصلی (بزرگ) باشد «گره یک زمینه» را می‌سازد (ستون میانی در جدول ۲)؛ و اگر موزاییک‌کاری مولد پایه دارای بیش‌تر از یک چندضلعی اصلی (بزرگ) باشد سازنده «گره چندزمینه» هست (ستون سمت چپ در جدول ۲). در این روش قرارگیری ستاره‌ها و سایر آلت‌ها بر اساس تعداد اضلاع و نقطه میانی چندضلعی پایه است و در کنار یک‌دیگر انتظام می‌یابند (بونر، ۱۴۰۰). بر این اساس ستاره‌ها یا آلت‌های قرار گرفته در داخل چندضلعی پایه اشکال مجاور خودشان را پدید می‌آورند و شکل گره کامل می‌شود. «گره‌ها به مجموعه‌ای از موتیف‌ها/ عناصر محدود می‌شوند که در

جدول ۲. ارتباط بین گره زمینه، یک زمینه و چندزمینه و موزاییک‌کاری مولد پایه (نگارنده).

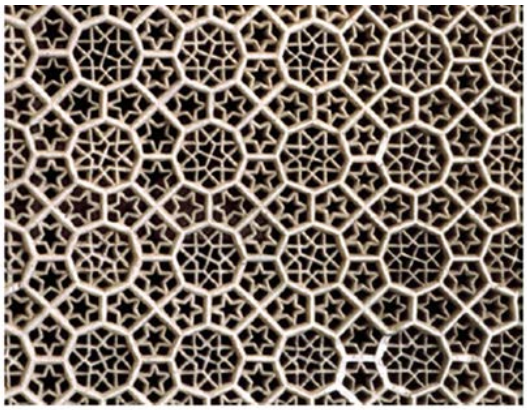
گره زمینه (موزاییک‌کاری منتظم)	گره یک‌زمینه (موزاییک‌کاری نیمه منتظم)	گره چندزمینه (موزاییک‌کاری نیمه منتظم)
		



تصویر۱- روش چندضلعی در طومار توپقاپی. به ترتیب (Necipoğlu, 2017: 49) و جلد (Necipoğlu & Al-Asad, 1995: 399).

یک محدده یا موقعیت قرارگرفته‌اند» (Makovicky, 2016: 1)؛ که با اعمال انواع حالت‌های تقارنی در سلسله مراتب متفاوت این قابلیت را دارند که گسترش پیدا کنند و سطح را کامل کنند (Abas & Salman, 1995: 44-72). در حقیقت، هر موتیف یک نگاشت سطحی است که رئوس آن در نقطه میانی چندضلعی پایه قرار می‌گیرد (Kaplan & Sales-in, 2004: 102). از آن جا که «در روابط هندسی، تعیین موقعیت یک شکل نسبت به موقعیت شکل‌های دیگر، از اهمیت بیش‌تری نسبت به خود شکل برخوردار است» (Swoboda & Vighi, 2016: 22)؛ در گره‌ها نیز شکل‌گیری آلت‌ها در موزاییک‌کاری پایه تحت تاثیر شمسه (ستاره اصلی) شکل‌گرفته در چندضلعی بزرگ‌تر در موزاییک‌کاری پایه است که تاثیر شمسه‌ها بر ساختار گره در جدول ۲، نشان داده شده است.

۲)کاربرد روش چندضلعی در اسناد تاریخی: منابع تاریخی که روش‌های ترسیم گره‌ها را به صورت مکتوب شرح دادند، شامل طومارهای تاریخی می‌شود که استادان سنتی از آن برای انتقال دانش خود از یک نسل به نسل دیگر استفاده می‌کردند. یکی از این طومارهای تاریخی که نشان‌دهنده روش چندضلعی در گره‌ها است، طومار توپقاپی می‌باشد. در این طومار در زیر خطوط سیاه گره‌ها موزاییک‌کاری پایه با خط نازک‌تر به رنگ قرمز ترسیم شده است که طرح‌های از این طومار در تصویر۱ ارایه شده است. یک منبع تاریخی دیگر -که نظر محققان این حوزه را جلب کرده- مشربیه مرمری در مقبره سلیم چشتی در فاتح پورسیکری در هند است که در تصویر۲ نشان داده شده است. در مشربیه این مقبره، موزاییک‌کاری پایه در طرح نهایی حفظ شده و در داخل آن، شکل آلت‌ها و ستاره‌ها نشان داده شده است. تصاویر۱ و ۲، به‌خوبی نشان می‌دهد که طراحان نسبت به فن چندضلعی آگاهی داشتند و از این فن چندضلعی‌ها برای طراحی گره‌های خودشان استفاده می‌کردند و حتی گاهی اوقات از نشان دادن آن در طرح نهایی نمی‌هراسیدند.



تصویر۲- مشربیه مقبره سلیم چشتی (بونر، ۱۴۰۰: ۱۲۵).

کاربرد فن چندضلعی در توسعه گره در ایران

در ابتدا، این طرح‌ها بسیار ساده بودند و اگر این موارد با موزاییک‌کاری پایه تطبیق یابند، موزاییک‌کاری پایه آن‌ها از نوع منتظم است، برای نمونه کاربرد شبکه متعامد[۴] در مقبره امیر اسماعیل سامانی قابل مشاهده است؛ حتی زمانی که معمار از مدول آجر خارج می‌شود و برای تزیین از دوایر استفاده می‌کند، انتظام آن‌ها بر اساس موزاییک‌کاری مولد پایه متعامد است. البته، نمونه این نوع تزیینات را می‌توان در سردر مسجد جوجیر در اصفهان نیز مشاهده کرد که حرکت آجرها در تزیین بنا بر اساس شبکه متعامد شکل گرفته است. هم‌زمان در منار مسعود و اکبرشاه و مناره بهرام شاه در غزنی، افغانستان نیز می‌توان نمونه‌های مشابه

استفاده از این ترکیب‌بندی‌های شکلی ساده را مشاهده نمود. در ادامه، کاربرد و توسعه تزیینات هندسی می‌توان خارج شدن از مدول آجر، برای رسیدن به شکل‌های هندسی پیچیده‌تر را مشاهده نمود که با استفاده از آلت‌های ستاره شکل و آلت‌های هماهنگ با آن صورت گرفته است. در این مرحله، هنوز موزاییک‌کاری پایه منتظم است؛ اما آن چیزی که حایز اهمیت است، برای اولین بار، با ورود شکل ستاره (شمسه) به ترکیب موزاییک‌کاری‌ها، گره و شکل آلت‌ها تعریف می‌شود که به سبب آن اسلوب ساختاری گره شکل می‌گیرد. این روند توسعه گره‌ها به‌واسطه به‌کارگیری کاشی در بنا بسیار توسعه یافت و به واسطه ترکیب شمسه با اشکال دیگر- در ابتدا، چندضلعی‌های منتظم، مانند منار چهل دختران اصفهان- ترکیبات بسیار متنوع شدند و حتی توسعه موزاییک‌کاری پایه تا آن جا بود که خودشان نیز به‌عنوان چشم‌گیر است. تزیینات به‌صورت متنوع و گسترده در آن به‌کار برده شده است و تنوع بالایی از گره‌ها، بخش زیادی از این تزیینات را شامل می‌شوند. در میان این گره‌ها، چند گره آشکارا کاربرد فن چندضلعی را نشان می‌دهند؛ اما نکته جالب توجه در این است که، در چند گره، طراح کاربرد فن چندضلعی را به‌عنوان موزاییک‌کاری پایه در طرح نهایی حفظ کرده است. یکی از این گره‌ها، یک گره هشت واسطه است که از یک موزاییک‌کاری (۴٫۸[۲])[۵] به‌عنوان موزاییک‌کاری پایه استفاده می‌کند و محل اضلاع موزاییک‌کاری مولد پایه با آلت لوزباریک، که از راس تا نقطه میانی اضلاع کشیده شده، نشان داده شد و رنگ این لوزها نیز سفید رنگ است؛ تا تمایز رنگی آن‌ها با زمینه، تشخیص را آسان نماید (ستون شکل‌گیری گره در نقطه میانی، جدول ۳). علاوه بر این، یک گره هشت دیگر به وسیله

تصویر۳- توسعه تاریخی موزاییک‌کاری‌ها در گره‌ها (نگارنده).

اصلی در بنا به‌کار برده شدند که نمونه آن را می‌توان در پیشانه ایوان شمالی مسجد گوهرشاد در مشهد مشاهده نمود. این روند توسعه تاریخی موزاییک‌کاری‌ها در تصویر ۳ ارایه شده است. علاوه بر این، در بعضی از موارد نیز طراح، موزاییک‌کاری پایه را در ترکیب با شکل گره در طرح نهایی حفظ کرد؛ از این نمونه‌ها، می‌توان به کاشی‌کاری گنبد سلطانیه در دوره ایلخانی اشاره کرد.

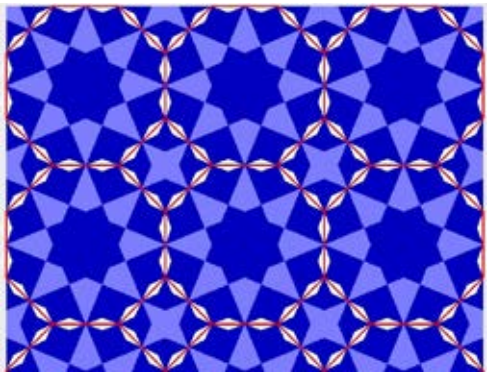
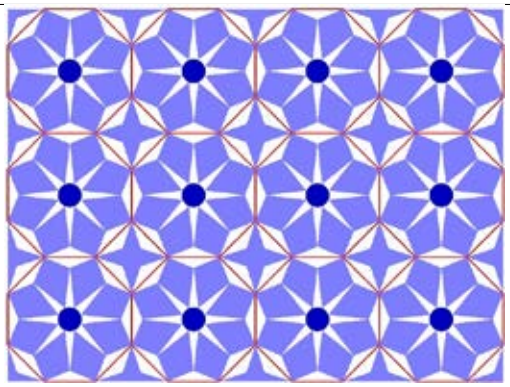
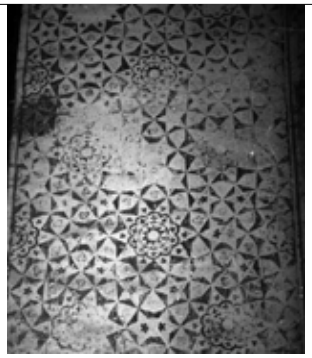
۱) موزاییک‌کاری پایه در گنبد سلطانیه: یکی از ابنیه‌های مهم دوره ایلخانی بنای گنبد سلطانیه است. این بنا از نظر مقیاس بنا و فنون ساخت سازه‌ای و تزیینات بسیار

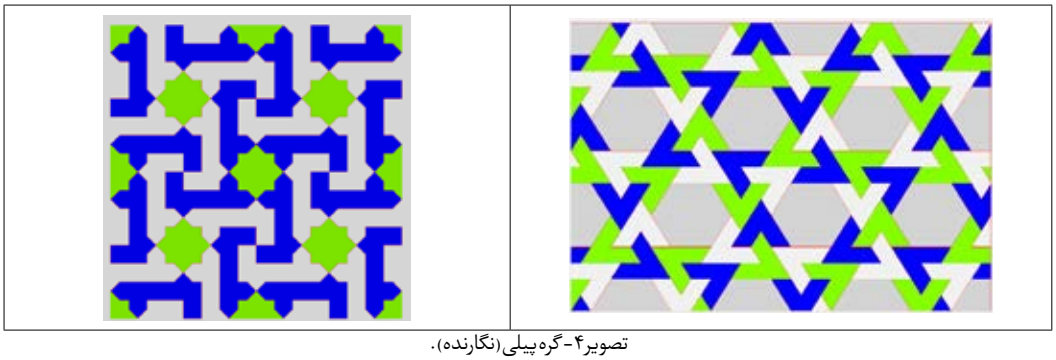
همین موزاییک‌کاری پایه ایجاد می‌شود، این گره از آن جا حایز اهمیت است که نوع جدیدی از کاربرد فن چندضلعی در تولید گره‌ها را نشان می‌دهد. «محققانی که کاربرد فن چندضلعی را معرفی کرده‌اند، شکل‌گیری گره‌ها را بر اساس نقطه میانی اضلاع چندضلعی در موزاییک‌کاری پایه دانسته‌اند» (بونر، ۱۴۰۰: ۱۸۹؛ Cromwell, 2010: 120.). اما این گره نشان می‌دهد، هنرمند یا معمار خود را صرفا، ملزم به استفاده از نقطه میانی اضلاع در موزاییک‌کاری پایه نمی‌دانسته و برای ایجاد تنوع در کاربرد فن چندضلعی تغییر ایجاد می‌کرده است. این گره نیز که یک گره هشت است، از

یک موزاییک‌کاری مولد پایه ۴،۸[۲] استفاده کرده است که اضلاع شمسه هشت‌پر و آلت چهارلنگه بر اساس رئوس چندضلعی پایه انتظام یافته‌اند و مکان اضلاع موزاییک‌کاری پایه نیز پایین‌تر و با رنگ دیگر مشخص شده‌اند (ستون شکل‌گیری گره در رئوس چندضلعی، جدول ۳). انتظام بر اساس رئوس سبب می‌شود که سه آلت شمسه در یک نقطه (در راس‌ها) با یک دیگر برخورد داشته باشند؛ در حالی که در انتظام بر اساس نقطه میانی دو آلت باهم برخورد دارند. علاوه بر این، این بنا از این رو، به لحاظ فن چندضلعی حایز اهمیت است که علاوه بر کاربرد موزاییک‌کاری نیمه‌منتظم در تزیینات زیریک خوش‌نویسی، کاربرد گره‌ها به‌عنوان موزاییک‌کاری پایه برای به‌وجود آوردن گره‌های دیگر را نیز نشان می‌دهد (تصاویر ردیف آخر، جدول ۳). این امر سبب شکل‌گیری گره‌های پیچیده‌تر شد. برای همین گنبد سلطانیه علاوه بر مقیاس عظیم ساخت و ساز، در مطالعه تاریخ توسعه گره‌ها نیز بسیار مهم می‌نماید.

۲) کاربرد گره به‌عنوان چندضلعی پایه برای تولید گره‌های پیلی: گره‌های پیلی شکل‌های مختلفی دارند. این گره‌ها دارای آلت‌های مخصوص به خود هستند که در شرح این گره‌ها استاد حلی این‌طور نقل می‌کند: «آلت‌های آن در داخل هم قفل و بست می‌شود و بیننده را نسبت به درهم بافتگی خودش متعجب می‌سازد» (حلی، ۱۳۶۵: ۱۶۲). همان‌طور که از تعریف این گره مشخص می‌شود، ویژگی‌های این گره براساس ویژگی درهم بافتگی آن شکل

جدول ۳. موزاییک‌کاری مولد پایه در گنبد سلطانیه (نگارنده).

شکل‌گیری گره در نقطه میانی چندضلعی	شکل‌گیری گره در رئوس چندضلعی
	
موزاییک کاری‌های نیمه منتظم برای تزیین و کاربرد گره به‌عنوان موزاییک کاری مولد پایه	
	

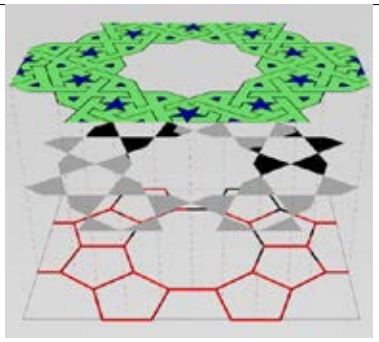


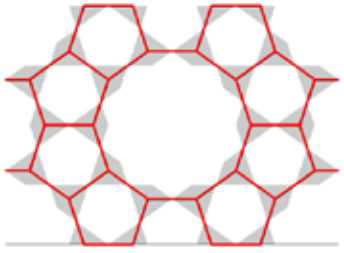
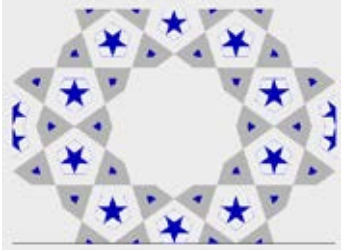
تصویر۴- گره پیلی (نگارنده).

می‌گیرد. با مقایسه گره‌های مختلف پیلی متوجه می‌شویم این گره‌ها دارای آلت‌های تعریف‌شده‌ای نمی‌باشند که در همه آن‌ها عمومیت داشته باشد. بلکه شکل آلت‌ها براساس موزاییک‌کاری پایه شکل می‌گیرد و هدف از طراحی گره پیلی درهم آمیختگی آلت‌ها است که نمونه‌های از این گره‌ها در تصویر۴ ارایه شده است.

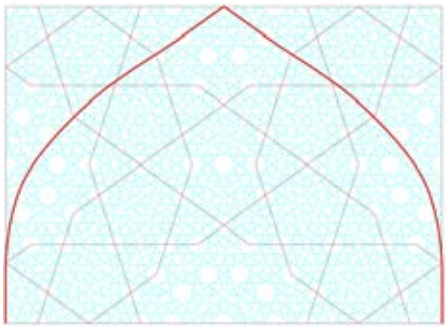
مسجد جامع یزد از بناهای مهم معماری اسلامی است که در ادوار مختلف دستخوش برنامه‌های مرمتی و توسعه‌ای شده است؛ گره‌های پیلی که از دوره مظفریه در این مسجد برجای مانده است، از حیث پیچیدگی بسیار چشم‌گیر هستند (تصویر، جدول ۴). در تحلیل ساختار این گره‌ها، شبکه چند لایه آن آشکار می‌شود؛ چنان‌که موزاییک‌کاری پایه آن بر روی یک ده کند شکل گرفته است (ساختار چند لایه پیلی، جدول ۴). بنابراین برای رسم این گره، ابتدا، می‌بایست با استفاده از موزاییک‌کاری پایه (۵(۵٫۱۰٫۶)۲) گره ده کند را رسم کرد (گام اول، جدول ۴). سپس براساس آفست خطوط پنج‌ضلعی به سمت داخل ستاره‌های داخلی تعریف می‌شوند (گام دوم، جدول ۴). براساس ستاره‌های ایجاد شده و خطوط لبه‌های پنج‌ضلعی پایه شکل آلت‌های جدید برای درهم‌بافتگی بین آلت‌های پنج و ترنج شکل می‌گیرد و کل گره درهم بافته می‌شود (گام نهایی، جدول ۴). در این جا می‌توان مشاهده کرد که گره موزاییک‌کاری پایه گره نسل بعد از خود می‌شود. البته، نوع انتظام یافتن آلت‌ها در این دوره، متمایز از ادوار پیشین است و دیگر از نقطه میانی و رئوس چندضلعی پایه برای انتظام‌دهی استفاده نمی‌شود. بلکه از موزاییک‌کاری به‌عنوان یک زمینه برای شکل‌گیری

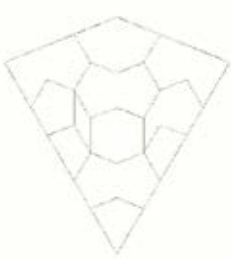
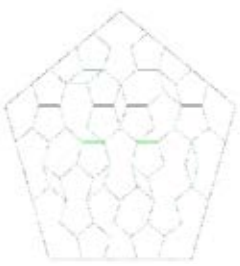
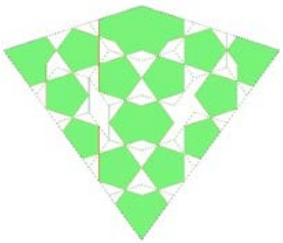
جدول ۴. گره پیلی در مسجد جامع یزد (نگارنده).

ساختار چندلایه گره پیلی	تصویر
	

گام اول	گام دوم	گام نهایی
		

جدول ۵. موزاییک‌کاری در شاه‌گره نقش بسته در پیشانه امامزاده درب (نگارنده).

ام‌الگره به‌عنوان ساختار اولیه	تصویر
	

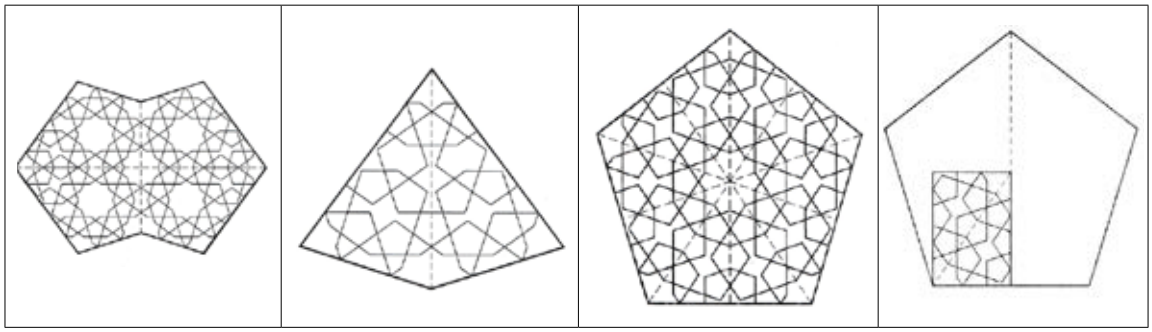
شکل الف	شکل ب	شکل ج: پنج‌ضلعی	شکل د: ترنج
			

آلت‌های درهم‌آمیخته استفاده می‌شود. بنابراین، گره پیلی در لایه‌های زیرین خود به‌جای یک موزاییک‌کاری پایه، دو موزاییک‌کاری پایه دارد که شامل گره زیرین در نقش موزاییک‌کاری گره پیلی و موزاییک‌کاری مولد پایه گره زیرین است (ساختار چند لایه پیلی، جدول ۴).

۳)کاربرد موزاییک‌کاری پایه در تولید شاه‌گره‌ها: در ادامه توسعه کاربرد گره به‌عنوان موزاییک‌کاری مولد پایه شاه‌گره‌ها ابداع شدند. استاد لرزاده در تعریف شاه گره‌ها این‌طور نقل می‌کند: «هرگاه آلت‌های گره در درون خود خُرد شوند، به‌نوعی که گره‌های درونی با یک‌دیگر تشکیل یک زمینه کامل بدهند شاه‌گره خواهیم داشت» (لرزاده، ۱۳۷۴: ۱۵۹). شاه‌گره‌ها دستاورد مسلمانان در توسعه گره‌ها بود. «بعد از این، به‌دلیل ورود نقش مایه‌های گیاهی مانند اسلیمی‌ها از رواج و کاربرد گره‌ها در بناها کاسته شد» (مکی‌نژاد، ۱۳۸۸: ۳۲). بونر، شاه‌گره‌ها را در چهار شاخه[۶] دسته‌بندی می‌کند (بونر، ۱۴۰۰: ۴۹۰-۵۲۶). شاه‌گره تحلیل شده در این پژوهش را در پیشانه امامزاده درب امام اصفهان می‌بینیم که متعلق به دوره قراقوینلو است (تصویر، جدول ۵). این شاه‌گره براساس یک ام‌الگره (گره ده‌پر) کُند به‌عنوان گره اصلی و موزاییک‌کاری انتظام‌دهنده گره ثانویه ساخته شده است (ام‌الگره به‌عنوان ساختار اولیه، جدول ۵). برای تعریف گره ثانویه در داخل آلت‌های گره اصلی، باید موزاییک‌کاری طرح ثانویه شکل بگیرد که مبتنی بر طرح اصلی است. برای این کار، آلت‌های گره اصلی خرد می‌شود و در داخل آن موزاییک‌کاری مولد پایه شکل می‌گیرد؛ که مدول‌های این موزاییک‌کاری پایه در این طرح شامل مدول‌های پنج‌ضلعی، لوزتند، شش دواتی و ده‌ضلعی است؛ برای نمونه خرد شدن آلت ترنج از طرح اصلی در شکل الف در جدول ۵، به‌تصویر کشیده شده است. به دلیل این‌که، طرح‌های ثانویه در داخل آلت‌های اصلی باید به گونه‌ای انتظام یابد که هماهنگ با طرح ثانویه دیگر در آلت مجاور باشد؛ موزاییک‌کاری این انتظام براساس ساختار تناوبی امکان ندارد. در این طرح مرکز ده‌ضلعی‌ها در تقاطع خطوط گره اصلی متمرکز شده تا براساس آن‌ها شمسه‌های طرح ثانویه تعریف شود (شکل الف و ب، جدول ۵). براین اساس سایر مدول‌های مولد موزاییک‌کاری پایه انتظام می‌یابد که از یک انتظام ده‌گانه شبه‌تناوبی پیروی می‌کنند و براساس موزاییک‌کاری مولد پایه‌شان شکل می‌گیرند (شکل ج و د، جدول ۵). انتظام این شمسه‌ها در طرح ثانویه براساس طرح اصلی نشان از کاربرد فن چندضلعی برای تولید این طرح

می‌دهد. زیرا با روش فلکی نمی‌توان به این انتظام دست یافت و تکرار واحد بر اساس تقارن، این انتظام را به‌وجود نمی‌آورد؛ بلکه از طریق دست‌کاری یا تعریف موزاییک‌کاری پایه است که این انطباق طرح اصلی و شمسه‌ها در گره ثانویه قابل دست‌یابی است.

همین شاه‌گره توسط استاد لرزاده در کتاب احیای هنرهای از یاد رفته ترسیم شده است که یک واگیره براساس یک ساختار پنج‌ضلعی منتظم خرد شده است. سپس، با استفاده از تقارن در سرتاسر پنج‌ضلعی تکرار می‌شود و کل پنج‌ضلعی پر می‌شود. سپس، توضیح داده می‌شود که، آلت‌های دیگر براساس مجاورت با پنج‌ضلعی خرد می‌شود (لرزاده، ۱۳۷۴: ۱۵۹-۱۶۱). اما آن چیزی که در این جا مهم است و در این کتاب بیان نمی‌شود، طریقه خرد کردن است، که برچه اساسی این شکل خرد شده است و آلت‌ها کنار یک‌دیگر انتظام یافته‌اند. رسیدن به چنین طرحی براساس روش فلکی ارایه شده در آن کتاب دست‌یافتنی نیست. فرایندی استاد لرزاده برای شاه‌گره در تصویر۵، ارایه کرده است. مطابق اظهار کسانی که با استاد شعرباف کار کردند، ایشان در زمان طراحی گره بر ساختار آلت‌ها کامل تسلط داشت و گره نه براساس ترسیم، بلکه با چینش اشکال کنار هم به‌دست می‌آمد.[۶] اگر با نگاهی عمیق‌تر این نقل قول را بررسی کنیم به این نتیجه می‌رسیم که، با کار زیادی که استادان سنتی بر روی آلت‌ها انجام می‌دادند در ناخوداگاه خود (شاید هم در خودآگاه) از این ساختار موزاییک‌کاری پایه آگاهی داشتند و با آگاهی کامل به این‌که کدام آلت‌ها در تطابق با هم دیگر هستند، به موزاییک‌کاری پایه آن‌ها نیز انتظام می‌دادند.

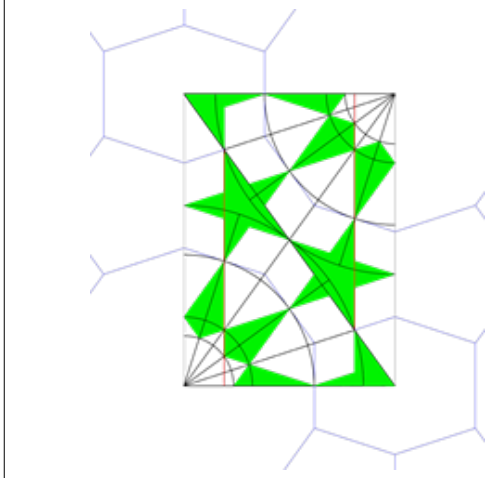
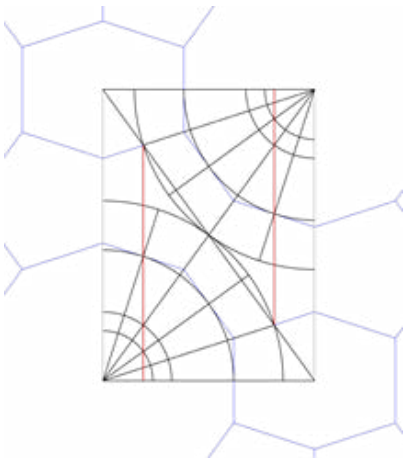
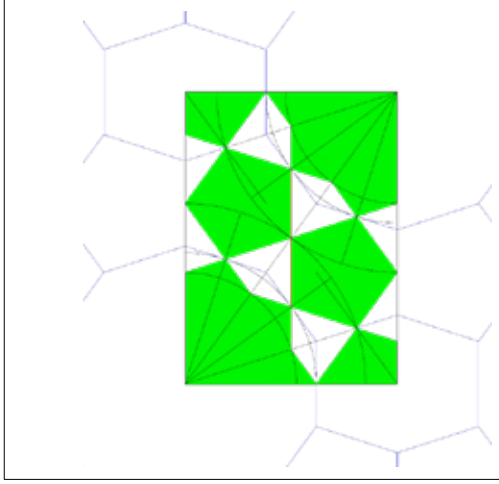
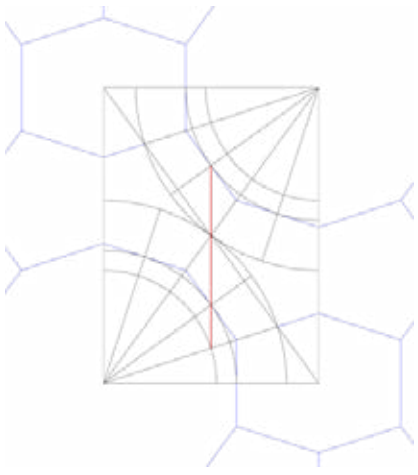


تصویر۵- طراحی شاه گره به روش استاد لرزاده (لرزاده، ۱۳۷۴: ۱۵۹-۱۶۰).

چالش بین روش‌شناسی فلکی و چندضلعی

وجود شبکه چند ضلعی در بستر طومارها و گره‌های باقی‌مانده از گذشته و هم‌چنین، با توجه به این‌که در سیر تحول گره‌چینی در معماری ایران کاربرد فن چندضلعی آشکار است، حال، این مساله مطرح می‌شود، جایگاه روش فلکی در این جا چیست؟ و به چه دلیلی این روش رواج یافت؟ مساله اصلی روش فلکی، عدم امکان طراحی گره‌های جدید است؛ هم‌چنین، تمام فرایند ترسیم گره در روش فلکی گام به گام است و نیاز است تا هنرمند تمام مراحل آن را حفظ باشد؛ هم‌چنین، در این روش طریقه مشخص کردن خط رمز، که باقی کمان‌ها از روی آن تعریف می‌شود، روشن نیست. آن چه در منابع مکتوب استادان این فن به تصویر کشیده شده به گونه‌ای ست که این خط از پیش تعیین شده است (خط قرمز در ترسیمات جدول ۶). در مقابل، روش چندضلعی مبتنی بر ترکیب چندضلعی‌های پایه است که این امکان را فراهم می‌کند. با فهم این موضوع بدون نیاز به حفظ کردن فرایند خاصی، می‌توان آلت‌های گره‌ها را در آن جای‌گذاری کرد و شکل گره را در آن ترسیم کرد و با تغییر آلت‌ها بر اساس موزاییک‌کاری پایه به طرح‌های متنوع دست یافت. برای نمونه در جدول ۶، برای گره‌های ده کند و تند نیاز به ترسیم روی ماتریس‌های شعاعی متمایز بود؛ اما همین دو گره از یک روش موزاییک‌کاری پایه به‌دست آمدند. از طرف مقابل، در روش فلکی پیاده‌سازی نقش گره در زمینه مورد نظر بسیار آسان‌تر و دقیق‌تر است. زیرا از ساختارهای مثلثاتی ساده‌تر پیروی می‌کند و این کار را برای معمار یا هنرمندی که با ریسمان یا خط‌کش و گونیا کار می‌کرد، بسیار آسان می‌نمود و باعث می‌شد تا درگیر موزاییک‌کاری پایه در زمینه مورد نظر نشود. علاوه بر این، می‌دانیم که روش طراحی گره‌ها در بین هنرمندان سنتی رازگونه بوده است. بنابراین، پیاده‌سازی به روش فلکی این امکان را می‌داد تا از فاش شدن روش طراحی جلوگیری شود. با دقت در موزاییک‌کاری پایه و ماتریس شعاعی به‌دست آمده در جدول ۶، مشخص

جدول ۶. انطباق روش چندضلعی و روش فلکی در ترسیم گره ده تند و کند (نگارنده).

گره ده تند	
	
گره ده کند	
	

می‌شود که ساختار زمینه و محل کمان‌ها و خطوط رمز با توجه به نقاط نگاشت آلت‌ها در موزاییک‌کاری پایه تعریف شده است. برای همین به‌نظر می‌رسد، هنرمندان از روش چندضلعی برای طراحی گره استفاده می‌کرده‌اند و از روش فلکی برای پیاده‌سازی آن بهره می‌بردند، و از آن‌جا که ورود نقش‌مایه‌های گیاهی به معماری ایرانی توسعه یافت و طراحی طرح‌های جدید متوقف شد؛ استفاده از روش چندضلعی نیز کم‌کم به فراموشی سپرده شد و هنرمندانی که در طومارهای‌شان از طرح‌ها موجود استفاده می‌کردند، روش فلکی را به‌کار می‌گرفتند و این سبب تداوم و ترویج این روش شد. اما شناخت این روش در زمانه معاصر، ایجاد طرح‌های جدید مبتنی بر اصالت تاریخی‌شان یا تعریف الگو در زبان‌های رایانشی را ممکن می‌سازد.

نتیجه‌گیری

هنر گره چینی که بخش عظیمی از فرهنگ جهان اسلام را تشکیل می‌دهد، به‌طور بارز در معماری ایران بروز یافته است. توسعه و پیشرفت گره‌ها به پیشرفت دانش روش‌شناسی آن‌ها نیز وابسته است و با پیشرفت علوم ریاضی توسعه می‌یافتند. ساختار گره‌ها زیرمجموعه علوم کاشی‌کاری محسوب می‌شوند؛ و اساس جای‌گذاری آلت‌ها مبتنی بر موزاییک‌کاری مولد پایه آن‌ها است. در این روش، این قابلیت وجود دارد که از یک موزاییک‌کاری مولد پایه گره‌های متنوع استخراج شود. و به‌طور کلی، ساختار اصلی گره و نوع آن تحت تاثیر موزاییک‌کاری مولد پایه است که استادان بر روی آن‌ها گره زمینه، یک زمینه و چند زمینه نام نهادند. این روش که اولین بار توسط هنکین کشف و به دنیای

معاصر معرفی شده است، کاربرد تاریخی نیز داشته است و علاوه بر اسناد تاریخی شناخته شده، مانند طومار توپقاپی و مشربیه مرمری در مقبره سلیم چشتی، در کاشی‌کاری گنبد سلطانیه نیز مشهود است. در این بنا، طراح موزاییک‌کاری پایه ۴٫۸[۲] را در طرح نهایی حفظ کرده است. علاوه بر این، همین موزاییک‌کاری پایه برای به‌وجود آوردن یک گره دیگر نیز استفاده شده است و به‌جای انتظام آلت‌ها بر نقطه میانی، آلت‌های گره بر اساس رئوس موزاییک‌کاری پایه انتظام داده شده است. این کار باعث شد که سه آلت شمسه در یک نقطه برخورد داشته باشند. بنابراین، برخلاف این‌که، محققان معاصر در کاربرد فن چندضلعی بر نقاط میانی چندضلعی‌ها در موزاییک‌کاری پایه تاکید دارند، این‌طور نبوده و طراحان از رئوس چندضلعی‌ها نیز استفاده کرده‌اند. علاوه بر این، کاربرد گره به‌عنوان موزاییک‌کاری مولد پایه برای تولید گره‌های پیچیده‌تر نیز در این بنا مشهود است که به سبب آن گره‌های نسل بعدی، مانند گره پیلی در مسجد جامع یزد به وجود آمده‌اند. در این گره‌ها، آلت‌های گره مولد به وسیله آلت‌های پیلی با یک دیگر درهم آمیخته شدند که به سبب آن تعداد لایه‌های پنهان افزایش پیدا کرد، زیرا علاوه بر گره مولد (موزاییک‌کاری گره پیلی)، یک موزاییک‌کاری پایه برای گره مولد نیز وجود دارد. آخرین مرحله توسعه گره‌ها، شاه‌گره‌ها (گره دوسطحی) هستند که از یک گره، به‌عنوان طرح اصلی برای طراحی گره ثانویه در داخل آلت‌های گره اصلی استفاده می‌شود و شمسه‌های گره ثانویه بر اساس رئوس گره اصلی تعریف می‌شوند؛ رسیدن به چنین طرحی با استفاده از روش فلکی یا اعمال تقارن یک گره خرد شده بر آلت دیگر وجود ندارد؛ بلکه می‌بایست چندضلعی‌ها در موزاییک‌کاری پایه دست‌کاری شوند و چندضلعی‌های اصلی در موزاییک‌کاری پایه که شکل دهنده شمسه‌ها هستند، در رئوس آلت‌های چندضلعی اصلی متمرکز شوند که این نیز کاربرد فن چندضلعی در تاریخ توسعه گره را نشان می‌دهد. علاوه بر این، طبق بررسی انجام شده کاربرد روش فلکی می‌تواند برای پیاده‌سازی گره در زمینه‌های مختلف بوده باشد که بر اساس ابزارهای معماران و هنرمندان دوران سنتی هم کار را برای آن‌ها ساده‌تر می‌کرد و هم مانع فاش شدن روش طراحی گره می‌شد.

پی‌نوشت

۱. شمسه: Rosette.

۲. آلت: Petals.

۳. حاج محمد: پدربزرگ استاد شعرباف و از استادان به نام زمانه خود.

۴. شبکه متعامد: شبکه‌ای تشکیل شده از خطوط عمود بر هم، مانند شبکه شطرنجی.

۵. موزاییک‌کاری (۴٫۸۲) یا (۵۲٫۱۰٫۶): موزاییک‌کاری‌ها بر اساس نوع چندضلعی‌ها و تعدادشان در یک مدول مشخص تقسیم‌بندی می‌شوند که برای مثال، عدد ۴٫۸۲ در موزاییک‌کاری نشان می‌دهد آن موزاییک‌کاری ترکیبی از چهارضلعی و هشت ضلعی منتظم است و توان ۲ روی عدد ۸ نشان می‌دهد که تعداد هشت‌ضلعی‌ها در یک مدول مشخص دو برابر ۴ ضلعی‌ها در همان مدول است. موزاییک‌کاری ۵۲٫۱۰٫۶ نیز از همین قاعده پیروی می‌کند. برای مطالعه بیش‌تر در این رابطه کتاب کاشیکاری‌ها و الگوها مطالعه شود (Grünbaum & Shephard, 1987).

۶. دسته‌بندی ارایه شده توسط جی بونر در رابطه با شاه‌گره‌ها:

۷. طرح‌های دو-سطحی نوع: A طرح اصلی داری ساختاری خطی که مدول‌های پایه چندضلعی ثانویه مقیاس کوچک‌تر را همراه با خطوط الگوی مرتبط خود با خطوط الگوی اولیه و ثانویه شامل می‌شوند (بونر ۱۴۰۰، ۴۹۰).

۸. طرح‌های دو-سطحی نوع: B به‌وسیله عریض کردن خطوط الگوی اولیه و پرکردن آن با الگوی ثانویه مشخص می‌شوند (همان: ۴۹۱)

۹. طرح‌های دو-سطحی نوع: C همانند با طرح‌های نوع B و طرح‌های دو-سطحی نوع C نیز الگوی اولیه را عریض می‌کند و الگوی ثانویه را داخل خطوط ضخیم شده اعمال می‌کند (همان).

۱۰. طرح‌های دو-سطحی نوع: D رنگ را به‌عنوان تنها روش متمایزسازی الگوهای اولیه و ثانویه استفاده می‌کند. این‌گونه طرح دو-سطحی الگوی اولیه را از طریق جدا کردن نواحی پس‌زمینه مناسب الگوی ثانویه نمایش می‌دهد (همان).

کتاب‌نامه

- آرنهایم، رودلف (۱۳۹۱). ***هنر و ادراک دیداری***، ترجمه مجید اخگر، تهران: سمت.

- امین‌پور، احمد؛ اولیا، محمدرضا؛ ابوئی، رضا و حاجبی، بیتا (۱۳۹۵). ***«ارایه دو روش جدید در ترسیم گره و مقایسه آن‌ها»***، معماری و شهرسازی ایران، شماره ۱۱، ۶۷-۸۳.

- بونر، جی (۱۴۰۰). ***الگوهای هندسی اسلامی؛ توسعه تاریخی و روش‌های سنتی ساخت***، ترجمه احد نژاد ابراهیمی و عارف عزیزپور شوبی، تبریز: دانشگاه هنر اسلامی.

- پورنادری، حسین (۱۳۷۹). ***شعرباف و آثارش؛ گره و کاربندی***، جلد ۲، تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.
- حلی، سید علی‌اکبر (۱۳۶۵). ***گره‌ها و قوس‌ها در معماری اسلامی***، کاشان: حلی.
- دهشتی، مجید؛ خوش‌نژاد، مهدی و رئیسی، محمدمنان (۱۳۹۸). ***«روشی نو در ترسیم نقش‌مایه‌های گره ده تند و کند»*** نگره، دوره ۱۴، شماره ۵۱، ۵۳-۶۳.
- زمرشیدی، حسین (۱۳۶۵). ***گره چینی در معماری اسلامی و هنرهای دستی***، شیراز: دانشگاه شیراز.
- شعرباف، اصغر (۱۳۸۵). ***گره و کاربندی***، تهران: سازمان میراث فرهنگی.
- شفایی، جواد (۱۳۹۹). ***هنر گره‌سازی در معماری و درودگری***، تهران: انجمن آثار و مفاخر فرهنگی.
- عنبری یزدی، فائزه (۱۳۹۴). ***هندسه نقوش***، تهران: چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
- گلیار، محمد (۱۳۹۹). ***دفتر گره: روش طراحی گره‌ها در معماری اسلامی ایران***، تهران: میراث اهل قلم.
- لرزاده، حسین (۱۳۷۴). ***احیای هنرهای از یاد رفته؛ مبانی معماری سنتی در ایران***، تدوین مهناز رئیس‌زاده و حسین مفید، تهران: مولی.
- ماهرالنقش، محمود (بی‌تا). ***طرح و اجرای نقش در کاشی‌کاری ایران دوره اسلامی***؛ دفتر اول گره کشی، بی‌جا.
- مکی نژاد، مهدی (۱۳۸۸). ***تاریخ هنر ایران در دوره اسلامی: تزیینات معماری***، تهران: سمت.
- ولی‌بیگ، نیما؛ نظریه، نوشین و رهروی پوده، ساناز (۱۳۹۶). ***«مطالعه مقایسه‌ای گره مادر در گستره شیوه‌های ترسیم با ارایه و معرفی شیوه‌ای نامکتوب»***، تاریخ علم، دوره ۱۵، شماره ۲، ۲۵۱-۲۷۴.

- Abas, S. J., & Salman, A. S. (1995). ***Symmetries of Islamic Geometrical Patterns***. Singapore: World Scientific. Retrieved from https://books.google.com/books/about/Symmetries_of_Islamic_Geometrical_Patter.html?id=GgaXOuqjqaYC.
- Al Ajlouni, R. (2012). The Global Long-Range Order of Quasi-Periodic Patterns in Islamic Architecture. ***Acta Crystallographica.*** March. 68. 235–243. doi:10.1107/S010876731104774X.
- Aminppour, A. & Olia, M.R & Abuee, R & Hajebi, B. (2016). The Presentation of Two New Methods in Drawing Girih: A Comparison Study. ***Journal of Iranian Architecture & Urbanism (JIAU).*** Spring and Summer. 1. doi: 10.30475/isau.2017.62018.
- Anbari Yazdi, F. (2017). ***Geometry of Designs***. Tehran: Iran Educational Books Publishing Company.
- Bonner, J. (2016). The Historical Significance of the Geometric Designs in the Northeast Dome Chamber of the Friday Mosque at Isfahan. ***Nexus Network Journal.*** November. 1. 55–103. doi:10.1007/s00004-015-0275-3.
- Bonner, J. (2021). ***Islamic Geometric Patterns***. (Translated A. Nejad Ebrahimi & A. Azizpour Shoubi). Tabriz: Islamic Art University.
- Broug, E. (2013). ***Islamic Geometric Design***. London: Thames & Hudson.
- Castera, J.-M. (2021). TOND to TOND: Self-Similarity of Persian TOND Patterns, Through the Logic of the X-Tiles. ***Handbook of Mathematics of the Arts and Sciences.*** doi:10.1007/978-3-319-57072-3_58.
- Critchlow, K. (1976). ***Islamic Patterns: An Analytical and Cosmological Approach***. London: thames and Hudson.
- Cromwell, P. R. (2010). Islamic Geometric Designs from the Topkapı Scroll II: A Modular Design System. ***Journal of Mathematics and the Arts***. August. 3. 119-136, DOI: 10.1080/17513470903311685.
- Cromwell, P. R. (2012). Analysis of a Multilayered Geometric Pattern from the Friday Mosque in Yazd. ***Journal of Mathematics and the Arts***. February. 4. doi:10.1080/17513472.2012.736816.
- Deheshti, M., Khosh Nejad, M., & Mannan Raeesi, M. (2019). A New Method for Depicting the Motifs of Acute and Obtuse 10 Point Girih. ***Negareh Journal***. October. 51. 53-63. doi: 10.22070/negareh.2019.3481.1947.
- El-Said, I. & Parman, A. (1989). ***Geometric Concepts in Islamic Art***. Portland: Dale Seymour.
- Grube, E. J., & Michell, G. (1995). ***Architecture of the Islamic World: Its History and Social Meaning: with A Complete Survey of Key Monuments and 758 Illustrations***. UK: Thames and Hudson.
- Grunbaum, B., & Shephard, G. C. (1987). ***Tilings and Patterns***. New York: W.H. Freeman.
- Gulyar, M. (2021). ***Gireh Book, The Method of Design Gireh in Iranian Islamic Architecture***. Tehran: Miras Ahle Qalam.
- Hankin, E. (1925). ***The Drawing of Geometric Patterns in Saracenic Art***. Calcutta: Government of India. Retrieved from https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=The+Drawing+of+Geometric+Patterns+in+Saracenic+Art.+Memoires+of+the+Archaeological+Society+of+India&btnG.
- Helly, S. A. (1986). ***Gireh and Arch in Islamic Architecture***. Kashan: Heli.
- Jablan, S. V. (2002). ***Symmetry, Ornament and Modularity. On Series on Knots and Everything*** (Vol. 30). Singapore: World Scientific. doi:10.1142/5031.
- Kaplan, C. S., & Salesin, D. H. (2004). ***Islamic Star Patterns in Absolute Geometry***. ACM Transactions on Graphics. April. 2. 97–119. doi:10.1145/990002.990003.
- Kappraff, J. (2001). ***Connections: The Geometric Bridge Between Art and Science***. American Journal of Physics. Singapore: World Scientific.
- Lee. A. J. (1987). ***Islamic Star Patterns***. Muqarnas. Retrieved from https://www.jstor.org/stable/1523103.

- Lorzadeh, H. (1996). ***Ehya-ye Honar Ha-ye Az Yad Rafteh (Revival of Forgotten Arts).*** Tehran: Mola.
- Mahr al-Naghsh, M. (nd). ***Designing and Execution of Motif in Iranian Tiling of the Islamic Period***.
- Makinejad, M. (2009). ***History of Iranian Art in the Islamic Period: Architectural Decorations***. Tehran: Samt.
- Makovicky, E. (2016). ***Symmetry: Through the eyes of old masters. Symmetry: Through the Eyes of Old Masters***. Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH. doi:10.1080/0889311x.2017.1286333.
- Necipoğlu, G. (2017). ***The Arts of Ornamental Geometry. The Arts of Ornamental Geometry***. BRILL. doi:10.1163/9789004315204.
- Necipoğlu, G., & Al-Asad, M. (1995). ***The Topkapı Scroll: Geometry and Ornament in Islamic Architecture: Topkapı Palace Museum Library MSNo Title***. Los_Angeles: Getty Center for the History of Art and the Humanities. doi:9780892363353.
- Nejad Ebrahimi, A., & Azizpour Shoubi, A. (2020). The Projection Strategies of Gireh on the Iranian Historical Domes. ***Mathematics Interdisciplinary Research***. September. 3. 239–257. doi:10.22052/mir.2020.212903.1187.
- Pornadari, H. (2000). ***Sharabaf and his Works; Gireh and Karbandi.*** Tehran: Cultural Heritage Organization.
- Sarhangi, R. (2012). Interlocking Star Polygons in Persian Architecture: The Special Case of the Decagram in Mosaic Designs. ***Nexus Network Journal***. June. 2. 345–372. doi:10.1007/s00004-012-0117-5.
- Shafaei, J. (2020). ***The Art of Gireh Work in Architecture and Carpentry***. Tehran: Anjuman Asar and Mafakher (Association of Cultural Works and Honors).
- Sharbaf, A. (2006). ***Gireh and Karbandi.*** Tehran: Cultural Heritage Organization.
- Swoboda, E., & Vighi, P. (2016). Early Geometrical Thinking in the Environment of Patterns, Mosaics and Isometries. ***ICME-13 Topical Surveys.*** Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-44272-3.
- Valibeig, N., Nazarieh, Nooshin, & Rahravi, S. (2018). Comparing Study of Mother Girih in the Drawing Methods Domain, with Offering an Unwrtiten Method. ***Journal for the History of Science***. July. 2. 251–274. doi:10.22059/jihs.2019.237807.371406.
- Wichmann, B., & Wade, D. (2017). Islamic Design: A Mathematical Approach. ***Mathematics and the Built Environment***. (Vol. 2). Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-69977-6.
- Willson, J. (John S. (1983). ***Mosaic and Tessellated Patterns: How to Create Them with 32 Plates to Color***. US: Dover Publications.
- Zomarshidi, H. (1986). ***Gireh Work in Islamic Architecture and Handicrafts***. Shiraz: Shiraz University.

Application of the Hidden Layer in the Development of Gireh Based on Iranian Historical Documentation and Monuments

Abstract:

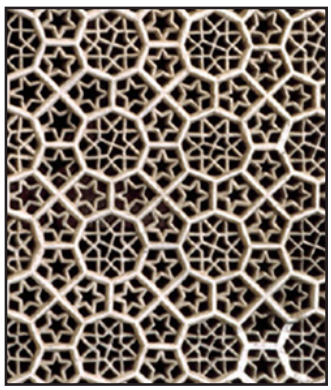
Decorative arts had emerged in various forms in the Islamic world, and Gireh is one of the most complex forms that constitute an essential part of the Islamic arts in the world, which had developed over time. These rely on the geometric rules in the mathematical sciences. One of the most critical issues in the studies of Gireh is the methodology knowledge of their designing and drawing that different researchers emphasize on different methods. Knowledge of the design methodology of Gireh is closely related to its aesthetics and originality. Iranian Islamic architecture significantly contributed to the development of Girehes, but their connection with their methodological knowledge was not obvious. Many scholars consider the method of developing Gireh in Iran based on the radial (Falaki) method, which has remained in the written sources of the last traditional Master of Iran. However, studies on historical documents such as the Topkapi scroll and the Girehs that remained on the Gonbad Soltanieh show that Iranian architects and artists were fully aware of the polygonal method and Gireh production techniques based on it and it used for developing Girehes in Iranian architecture. Therefore, this research seeks to answer the following questions with descriptive-analytical and reasoning methods by collecting information through libraries and field studies: 1- What evidences are left from the past that shows the use of polygonal technique to produce Girehes? 2- How had the application Process of the polygonal technique to the development of Girehes in Iranian architecture? 3- Why did the Iranian Master introduce the radial (Falaki) method to drawing in their books despite the polygonal technique? To answer these questions, after introducing the methodologies of Girehs production, the structure of Gireh is examined from the polygonal technique point of view along with its historical documents. Then, the developing process of Girehs in Iranian architecture is studied based on the development of underlying generative Tessellation. Finally, the radial and polygonal methods are compared, and Their application among the traditional Masters of Iran is examined. Despite numerous studies on the development of Girehs and polygonal technique, the new achievements of this research is new evidence of Girehs left on the surfaces of historic buildings, which presents the application of the polygonal technique in Iranian architecture. These expand the methods of using the polygonal technique to develop Girehs in Iranian architecture. These documents also show a new path in the development of Iranian Girehs, which indicates the use of the Gireh as an underlying tessellation in producing more complex Gireh such as Pili and dual-level Girehes, which is investigated in this study.

Document Type:
Original/Research/Regular Article
Receive Date: 21 December 2021
Accept Date: 17 May 2022

Ahad Nejad Ebrahim
(Corresponding Author)Professor at the faculty of Architecture and Urbanism, Islamic Art University, Tabriz Branch, Tabriz, Iran
Email: ahadebrahimi@tabriziau.ac.ir

Aref Azizpour Shoubi
PhD Student of Islamic Architecture at the Faculty of Architecture and Urbanism, Islamic Art University, Tabriz Branch, Tabriz, Iran
Email: a.azizpour@tabriziau.ac.ir

DOI:
10.22051/jtpva.2022.38900.1376



*This paper is a part of a research plan entitled: "*The Study of Islamic Geometric Patterns in Monument of Turkmanid Period in East Azerbaijan for Recreation Islamic Geometric Patterns in Hasan Padshah Mosque)*" done by Ahad Nejad Ebrahimi and Aref Azizpour Shoubi at the faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University.

The Knowledge of Girehes designing and implementation was a family knowledge and available to certain people in the community that architects passed these methods from one generation to the next generation in a secure way to prevent the revealing of this knowledge and usually transfer permission of this knowledge didn't happen easily. Despite these limitations, methods of designing and applying Girehs were developed in various branches. Although the methods of producing Girehs are extensive and varied, some artists even invented their drawing methods. The four methods are prevalent among designers and researchers of this art and are widely used, including Radial (Falaki), Point-Jointed (Moroccan), the Grid, and the polygonal techniques. The polygonal method is the subject of this research discovered by Ernest Hanbury Hankin when he was visiting an Indian bath and was introduced to the contemporary world. Later, researchers realized that this method is historical by studying historical documents such as the Topkapi scroll. This method is often determined by drawing lines that connect from midpoints to each other's in the underlying main polygon to create the main stars and the application of pattern lines. The presented method approximately adheres to J. Lee Registration, which creates a given star by identifying the number of sides of the main polygon relative to the number of consecutive sides at the midpoint to the midpoint of the line.
Suppose the development Process of Girehs in the Islamic architecture of Iran is examined. In that case, it can be seen that the historical development Process of Girehs began with the formation of patterns on an orthogonal Grid and ended with a very complex tessellation. In addition to observing this method in the Topkapi scroll, the application of this method in the tiling of Gonbad Soltanieh is also evident; the designer kept the underlying generative tessellation in the final design. In addition, the same underlying generative tessellation was used to create another Gireh. Instead of arranging the Alāt (motif) at the midpoint, the Gireh was arranged according to the vertices of the underlying tessellation. It caused three Alāts of Shāmseh to meet at one point. Despite contemporary researchers emphasizing the midpoints of polygons in underlying tessellation in applying the polygonal technique. In addition, the use of Gireh as underlying generative tessellations is also evident in this building to produce Girehs, due to which the next generation of Gireh such as Pili Gireh was created in the Yazd Grand Mosque. In these Girehs, the Alāts of underlying generative Gireh were interweaved by Alāts. Due to this, the number of hidden layers increased. Because in addition to the generative Gireh (underlying tessellation of pili Gireh), there is also another underlying tessellation for the generative Gireh. The last stage of Gireh development is the dual-level Gireh (Shah-Gireh), which uses one Gireh as the preliminary design for the secondary Gireh inside the Alāts of primary Gireh. It is impossible to achieve such a design by using the radial method or applying the symmetry of a fragmented Alāts of Gireh. However, the polygons must be manipulated in the underlying tessellation, which shows the application of the polygonal technique in the history of Gireh development. The polygonal technique is evident from the existence of polygonal tessellation in the Topkapi scroll and Girehs on the remained surfaces of the monument and considering that in the evolution of Gireh in Iranian architecture. The main problem of the radial method is the impossibility to design a new Gireh, the whole process of drawing a Gireh in the radial method is step by step, and the artist needs to follow all the steps, the way of determining the secret line Also is not clear in this method which other arcs are defined. This line in the drawing of the written sources of the masters shows predetermined. In contrast, the polygon method is based on the combination of underlying polygons. Understanding this process makes it possible to place motifs in tessellation, draw the Gireh shape without following a special process, and change the tools based on the underlying tessellation. He came up with various designs. As well ass, it reached various designs by changing motifs based on tessellation. According to the study, the application of the radial method can be for implementing the Gireh on different bases that work be easier based on the tools of architects and artists of the classic era and prevented the disclosure of the design method of Gireh.

Keywords: Geometry And Tiling, Gireh, Design and Drawing Methodologies, Polygonal Method, Radial (Falaki) Method.

References:

- Abas, S. J., & Salman, A. S. (1995). ***Symmetries of Islamic Geometrical Patterns***. Singapore: World Scientific. Retrieved from https://books.google.com/books/about/Symmetries_of_Islamic_Geometrical_Patter.html?id=GgaXOuqjqaYC.
- Al Ajlouni, R. (2012). The Global Long-Range Order of Quasi-Periodic Patterns in Islamic Architecture. ***Acta Crystallographica***. March. 68. 235–243. doi:10.1107/S010876731104774X.
- Aminppour, A. & Olia, M.R & Abuee, R & Hajebi, B. (2016). The Presentation of Two New Methods in Drawing Girih: A Comparison Study. ***Journal of Iranian Architecture & Urbanism (JIAU).*** Spring and Summer. 1. doi: 10.30475/isau.2017.62018.
- Anbari Yazdi, F. (2017). ***Geometry of Designs***. Tehran: Iran Educational Books Publishing Company.
- Bonner, J. (2016). The Historical Significance of the Geometric Designs in the Northeast Dome Chamber of the Friday Mosque at Isfahan. ***Nexus Network Journal***. November. 1. 55–103. doi:10.1007/s00004-015-0275-3.
- Bonner, J. (2021). ***Islamic Geometric Patterns***. (Translated A. Nejad Ebrahimi & A. Azizpour Shoubi). Tabriz: Islamic Art Uni-

versity.
- Broug, E. (2013). ***Islamic Geometric Design***. London: Thames & Hudson.
- Castera, J.-M. (2021). TOND to TOND: Self-Similarity of Persian TOND Patterns, Through the Logic of the X-Tiles. ***Handbook of Mathematics of the Arts and Sciences.*** doi:10.1007/978-3-319-57072-3_58.
- Critchlow, K. (1976). ***Islamic Patterns: An Analytical and Cosmological Approach***. London: thames and Hudson.
- Cromwell, P. R. (2010). Islamic Geometric Designs from the Topkapı Scroll II: A Modular Design System. ***Journal of Mathematics and the Arts.*** August. 3. 119-136, DOI: 10.1080/17513470903311685.
- Cromwell, P. R. (2012). Analysis of a Multilayered Geometric Pattern from the Friday Mosque in Yazd. ***Journal of Mathematics and the Arts***. February. 4. doi:10.1080/17513472.2012.736816.
- Deheshti, M., Khosh Nejad, M., & Mannan Raeesi, M. (2019). A New Method for Depicting the Motifs of Acute and Obtuse 10 Point Girih. ***Negareh Journal.*** October. 51. 53-63. doi: 10.22070/negareh.2019.3481.1947.
- El-Said, I. & Parman, A. (1989). ***Geometric Concepts in Islamic Art***. Portland: Dale Seymour.
- Grube, E. J., & Michell, G. (1995). ***Architecture of the Islamic World: Its History and Social Meaning: with A Complete Survey of Key Monuments and 758 Illustrations***. UK: Thames and Hudson.
- Grunbaum, B., & Shephard, G. C. (1987). ***Tilings and Patterns***. New York: W.H. Freeman.
- Gulyar, M. (2021). ***Gireh Book, The Method of Design Gireh in Iranian Islamic Architecture***. Tehran: Miras Ahle Qalam.
- Hankin, E. (1925). ***The Drawing of Geometric Patterns in Saracenic Art***. Calcutta: Government of India. Retrieved from https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=The+Drawing+of+Geometric+Patterns+in+Saracenic+Art.+Memoires+of+the+Archaeological+Society+of+India&btnG.
- Helly, S. A. (1986). ***Gireh and Arch in Islamic Architecture***. Kashan: Heli.
- Jablan, S. V. (2002). ***Symmetry, Ornament and Modularity***. ***On Series on Knots and Everything (Vol. 30).*** Singapore: World Scientific. doi:10.1142/5031.
- Kaplan, C. S., & Salesin, D. H. (2004). ***Islamic Star Patterns in Absolute Geometry***. ACM Transactions on Graphics. April. 2. 97–119. doi:10.1145/990002.990003.
- Kappraff, J. (2001). ***Connections: The Geometric Bridge Between Art and Science***. American Journal of Physics. Singapore: World Scientific.
- Lee. A. J. (1987). ***Islamic Star Patterns.*** Muqarnas. Retrieved from https://www.jstor.org/stable/1523103.
- Lorzadeh, H. (1996). ***Ehya-ye Honar Ha-ye Az Yad Rafteh (Revival of Forgotten Arts).*** Tehran: Mola.
- Mahr al-Naghsh, M. (nd). ***Designing and Execution of Motif in Iranian Tiling of the Islamic Period***.
- Makinejad, M. (2009). ***History of Iranian Art in the Islamic Period: Architectural Decorations***. Tehran: Samt.
- Makovicky, E. (2016). ***Symmetry: Through the eyes of old masters***. ***Symmetry: Through the Eyes of Old Masters***. Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH. doi:10.1080/0889311x.2017.1286333.
- Necipoğlu, G. (2017). ***The Arts of Ornamental Geometry. The Arts of Ornamental Geometry***. BRILL. doi:10.1163/9789004315204.
- Necipoğlu, G., & Al-Asad, M. (1995). ***The Topkapı Scroll: Geometry and Ornament in Islamic Architecture: Topkapı Palace Museum Library MSNo Title***. Los_Angeles: Getty Center for the History of Art and the Humanities. doi:9780892363353.
- Nejad Ebrahimi, A., & Azizpour Shoubi, A. (2020). The Projection Strategies of Gireh on the Iranian Historical Domes. ***Mathematics Interdisciplinary Research***. September. 3. 239–257. doi:10.22052/mir.2020.212903.1187.
- Pornadari, H. (2000). ***Sharabaf and his Works; Gireh and Karbandi.*** Tehran: Cultural Heritage Organization.
- Sarhangi, R. (2012). Interlocking Star Polygons in Persian Architecture: The Special Case of the Decagram in Mosaic Designs. ***Nexus Network Journal***. June. 2. 345–372. doi:10.1007/s00004-012-0117-5.
- Shafaei, J. (2020). ***The Art of Gireh Work in Architecture and Carpentry***. Tehran: Anjuman Asar and Mafakher (Association of Cultural Works and Honors).
- Sharbaf, A. (2006). ***Gireh and Karbandi***. Tehran: Cultural Heritage Organization.
- Swoboda, E., & Vighi, P. (2016). Early Geometrical Thinking in the Environment of Patterns, Mosaics and Isometries. ***ICME-13 Topical Surveys***. Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-44272-3.
- Valibeig, N., Nazarieh, Nooshin, & Rahravi, S. (2018). Comparing Study of Mother Girih in the Drawing Methods Domain, with Offering an Unwrtiten Method. ***Journal for the History of Science***. July. 2. 251–274. doi:10.22059/jihs.2019.237807.371406.
- Wichmann, B., & Wade, D. (2017). Islamic Design: A Mathematical Approach. ***Mathematics and the Built Environment***. (Vol. 2). Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-69977-6.
- Willson, J. (John S. (1983). ***Mosaic and Tessellated Patterns: How to Create Them with 32 Plates to Color***. US: Dover Publications.
- Zomarshidi, H. (1986). ***Gireh Work in Islamic Architecture and Handicrafts***. Shiraz: Shiraz University.