



نوع مقاله: پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۱۸

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۰۶

صفحات: ۱۰۷-۱۲۱

doi 10.52547/mmi.2352.14020718

ارائه شیوه‌ای برای انتقال گره‌های ایرانی بر روی پوسته‌های فرم آزاد (نمونه مورد مطالعه: گره ده تند)

حامد حیاتی* حسن اکبری** مرضیه مرادی***

چکیده

هندسه، شاخصه اصلی معماری و هنر سنتی ایرانی-اسلامی است. می‌توان گفت تمامی تزییناتی که در معماری سنتی در گچ‌بری‌ها، آجرکاری‌ها یا کاشی‌کاری‌ها به چشم می‌خورد، براساس قواعدی هندسی است. این هندسه، تماماً براساس قواعد ترسیمی دوطبقه است؛ و نیز، با خط‌کشی ساده و پرگار نیز قابل پیاده‌سازی می‌باشد. بااینکه چنین هندسه‌هایی با ابزاری ساده ترسیم می‌شوند، از چنان پیچیدگی و خلاقیتی برخوردارند که مجموعه‌ای ارزشمند از ترسیمات هندسی را تشکیل داده‌اند. یکی از این مجموعه‌ها، انواع گره‌سازی‌های اسلامی است. در بسیاری از کتیبه‌ها و آرایه‌های معماری، ردپایی از گره‌سازی وجود دارد. برخلاف توسعه ابزار و روش‌های ترسیمی در عصر حاضر، کمتر روشی برای ترسیم یا انتقال این گره در سطحی غیرمسطح، به‌خصوص سطوح و صفحاتی با فرم آزاد، ارائه شده است. اکنون، سؤال این‌جاست که با چه روشی می‌توان به ترسیم و انتقال گره‌ها بر روی صفحات فرم آزاد پرداخت؟ با مبنا قرار دادن این سؤال؛ پژوهش حاضر بر آن است تا با تبدیل منطق ترسیمی گره ده تند به زبان الگوریتم‌ها، شیوه‌ای را برای انتقال مدول یک گره به صفحات فرم آزاد، ارائه کند. این شیوه، با ایجاد تناظر بین دامنه دوطبقه صفحه مدول گره و صفحه فرم آزاد، موقعیت نقاط را بر روی صفحه مبدأ مشخص و نقطه متناظر آن را بر روی صفحه مقصد، جانمایی می‌کند. در نهایت، مدول گره ده تند به صفحه فرم آزاد منتقل می‌شود و قابلیت تکثیر یا تغییر را نیز به‌صورت هم‌زمان خواهد داشت. ازطرفی هر مدول منتقل‌شده بر روی صفحه فرم آزاد، می‌تواند به‌صورت جداگانه عمل کند. با تعریف متغیر جداگانه برای هر کدام، هندسه هر مدول گره، قابلیت کنترل و تغییر را دارد.

واژگان کلیدی: گره ده تند، گرسه‌پایر، صفحه فرم آزاد، ترسیم پارامتریک.

* استادیار، گروه معماری، دانشگاه قم، قم، ایران.

** کارشناس ارشد معماری، گروه معماری، دانشگاه قم، قم، ایران.

*** کارشناس ارشد معماری، گروه معماری، دانشگاه قم، قم، ایران (نویسنده مسئول).

مقدمه

معماری سنتی ایران سرشار از آرایه‌های هندسی است. این هندسه، از مرحله طرح‌ریزی اولیه تا تزیینات نهایی، ابزار دست معمار است. بخش مهمی از تزیینات معماری ایرانی را آرایه‌های هندسی تشکیل می‌دهند. استفاده از هندسه در تزیینات معماری ایرانی، قدمتی چند هزار ساله دارد (عابد دوست و کاظم‌پور، ۲۰۱۶: ۹۶). استفاده از این تزیینات در معماری امروز ایران به دلیل تأثیر مدرنیته (انصاری، ۱۳۸۱: ۱۲۵)، تغییر در فرهنگ و سبک زندگی، پیشرفت تکنولوژی ساخت، و تغییر در مصالح مصرفی بسیار محدود شده و تقریباً از بین رفته است. از طرفی، فوت یا کناره‌گیری استادکارانی که اصول صحیح ترسیم و استفاده از این آرایه‌ها را می‌دانستند، بسیاری از تزییناتی که امروز به عنوان تزیینات ایرانی-اسلامی به کار می‌رود، ضعف و اشکال دارد. در واقع در ساختمان‌های امروزی آنچه به عنوان تزیینات یا آرایه اسلامی شناخته می‌شود، بر مبنای اصول معماری سنتی ایران نیست و تنها، تشابهی با گذشته دارد.

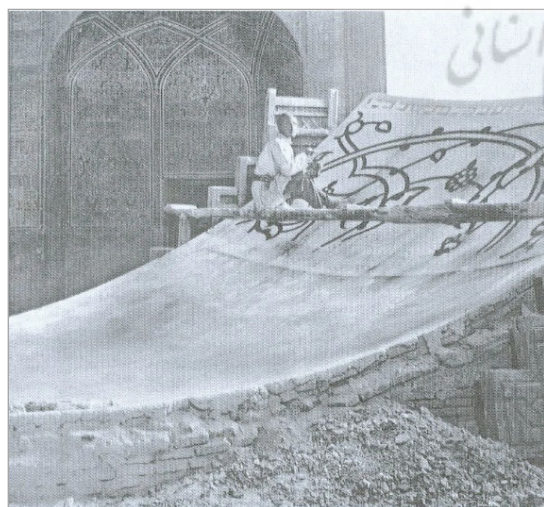
شاید بتوان گفت یکی از دلایل استفاده نکردن از تزیینات ایرانی، پیشرفت نکردن شیوه‌های ترسیم گره‌ها و نیز ضعف در تطابق آن‌ها با شرایط و فرم‌پردازی‌های گونه‌گون است. در گذشته، استفاده از این گره‌سازی‌ها اغلب بر روی کتیبه‌ها و صفحات تخت بوده است، یا صفحه مورد نظر برای انطباق با گره انتخابی، به صفحات تخت ریزتری تقسیم می‌شده است. همچنین، زمانی که نیاز بوده این گره‌سازی‌ها در جایی پیچیده‌تر همچون گنبد استفاده شود، استادکاران، راهکاری مختص انتقال گره به پوسته گنبد را ارائه داده‌اند (Hankin, 1991: 30). برای انتقال گره به پوسته داخلی یا خارجی یک گنبد، ابتدا قطعه‌ای از آن (معمولاً یک‌هشتم پوسته گنبد) بر روی زمین ساخته می‌شد سپس گره انتخابی با این قطعه، منطبق می‌شده است. پس از آن، گره بر روی این قطعه ترسیم می‌شده و چینش آجر یا کاشی بر روی آن، صورت می‌گرفته است. در نهایت، این گره‌سازی به پوسته گنبد انتقال می‌یافته است. در برخی تاق‌ها، مانند کاربندی یا یزدی‌بندی نیز از تزیینات هندسی خاصی استفاده می‌شود. این تزیینات وابسته به شرایط و تعداد تقسیمات سازه اصلی است. این نوع تزیینات هندسی در این تاق‌ها بیشتر بر اساس هندسه اصلی خود تاق هستند و در اغلب مواقع، با خرد کردن تقسیمات اعضای اصلی سازه تاق به دست می‌آیند. می‌توان گفت به جز موارد ذکر شده، در سایر موارد، گره‌ها در کتیبه‌ها و صفحات تخت به چشم می‌خورند. حال، سؤال این جاست که چگونه

می‌توان این گره‌های هندسی را در سطوحی غیر از آنچه در گذشته وجود داشته است، به کار برد؟ در صورت امکان، آیا می‌توان به روشی واحد برای انتقال گره از سطحی دوبعدی به صفحه‌ای سه‌بعدی، دست یافت؟

با مبنا قرار دادن این سؤال، این پژوهش بر آن است تا با استفاده از ابزارهای طراحی محاسباتی،^۱ به شیوه‌ای برای انتقال گره به یک صفحه با فرم آزاد، دست یابد. در این راستا، گره تند ۱۰ (گودرزی سروش، ۱۳۹۴: ۳۳-۳۰) برای مدل‌سازی به صورت پارامتریک انتخاب شد. برای این کار، لازم است تا منطق هندسی ترسیم این گره به زبان الگوریتم‌نویسی ترجمه شود. پس از ترسیم گره و نوشتن الگوریتم مربوط به آن، با ایجاد تناظر بین دامنه صفحه حاوی گره و صفحه مقصد، می‌توان نقاط مرتبط با هر پاره‌خط از گره را به صفحه جدید انتقال داد. از طرفی، به دلیل ایجاد گره به صورت پارامتریک، می‌توان با کنترل متغیرهای سازنده گره، تغییراتی در آن ایجاد کرد. در نتیجه این تغییرات، می‌توان به ترسیمات متفاوت و جدیدی بر مبنای منطق ترسیمی گره تند ۱۰، رسید. بنابر این، بخش اول به بررسی پژوهش‌های مشابه در زمینه گره‌های اسلامی، می‌پردازد. بخش دوم، انواع روش‌های ترسیم گره ده تند را توضیح می‌دهد، و در نهایت، روش انتخابی این پژوهش را شرح می‌دهد. در انتها، بخش سوم به تبیین راهکار اتخاذ شده برای انتقال گره به صفحات فرم آزاد، خواهد پرداخت. شکل ۲، فرایند پیشرفت این تحقیق را نشان می‌دهد.

بررسی پژوهش‌های انجام‌شده بر روی گره‌سازی

از آنجایی که گره‌سازی مبنایی تماماً هندسی دارد و فقط به ایران محدود نمی‌شود، پژوهشگران مختلفی به تحقیق و



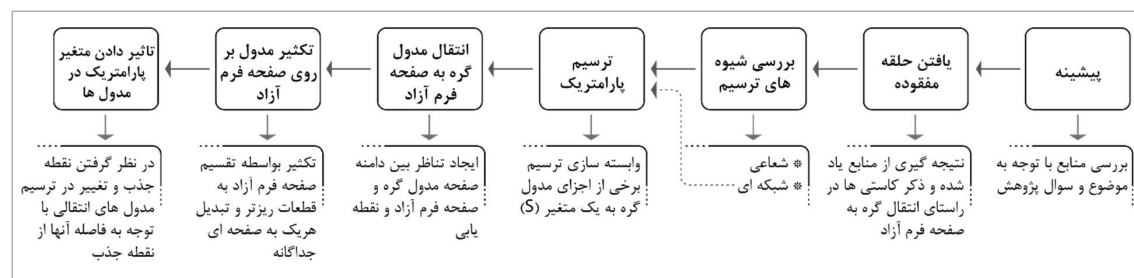
شکل ۱. نمونه‌ای از قطعه گنبد ساخته‌شده برای کاشی‌کاری گنبد شیخ لطف‌الله (بمیان و حیدری دلگرم، ۱۳۹۱)

"بیرقی و همکاران" (۱۳۹۶)، در پژوهش خود زبان-الگوی یزدی‌بندی کوشک هشت‌بهشت اصفهان را تحلیل می‌کنند. آن‌ها ابتدا با استفاده از برنامه‌نویسی تصویری در افزونه گرسه‌پار، در چهارده مرحله، به مدل‌سازی یزدی‌بندی انتخابی می‌پردازند. در ادامه، سازه یزدی‌بندی را به‌عنوان سازه‌ای فضاکار و تک‌لایه در نظر می‌گیرند و آن را در پلان‌های مختلف و نیز در پوسته‌های فرم آزاد، تحلیل سازه‌ای می‌کنند. آن‌ها سازه‌های مختلفی را با نسبت دهانه به ارتفاع متفاوت، آزمایش می‌کنند. در این زمینه بیان می‌کنند که این هندسه در سازه‌های فرم آزاد عملکرد مطلوبی را از خود نشان نمی‌دهد (بیرقی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۵). البته باید در نظر داشت، تحلیل و بررسی هندسه این سازه مستقیم انجام شده است. در صورت تبدیل منطق هندسی یزدی‌بندی به زبان الگوریتم‌نویسی، می‌توان توسعه‌های بیشتری را در این زمینه، ایجاد کرد. "دهشتی و همکاران" نیز به بررسی گره ده تدد و کند از منظر مفهومی و هندسی، می‌پردازند. آن‌ها سعی می‌کنند با نگاه به این دو گره، گره‌سازی‌های جدیدی را معرفی کنند که در آن‌ها نظم متقارن وجود ندارد و اجزای آن‌ها براساس چرخش دورانی، حول شمس گره به وجود می‌آیند (دهشتی و همکاران، ۱۳۹۷).

"هنکین" یکی از مهم‌ترین پژوهشگران غیرایرانی است که بر روی گره‌های اسلامی کار کرده است. وی که شیوه ابداعی مخصوص به خود را برای ترسیم گره اسلامی دارد،^۴ در پژوهش‌های مختلفی سعی کرده است با استفاده از شیوه خود، روش ترسیم برخی از گره‌های پیچیده هندسی را کشف کند (Hankin, 1936: 123). شیوه ترسیمی هنکین، می‌تواند توسعه‌های مختلفی را در ترسیم گره‌های اسلامی رقم بزند. از این رو، پژوهشگران مختلفی این شیوه را اساس بررسی خود در گره‌سازی قرار داده‌اند (Hankin, 1991: 112). در این پژوهش نیز، از شیوه هنکین برای ترسیم گره تن ۱۰ استفاده می‌شود. "کاپلان"، یکی از پژوهشگرانی است که بخش مهمی از پژوهش‌های خود را براساس شیوه ترسیمی هنکین، بر روی گره‌سازی گذاشته است. وی در پژوهشی،

توسعه در این حوزه پرداخته‌اند. آن‌ها سعی کرده‌اند تا این اندوخته هندسی معماری سنتی را توسعه بیشتری بخشند. در این بخش ابتدا، برخی کارهای مشابه پژوهشگران داخلی بررسی می‌شود. سپس کارهای مشابه پژوهشگران غیرایرانی ارائه می‌گردد.

حاجبی در سه پژوهش مختلف بر روی برخی گره‌های ایرانی کار کرده است. او در این پژوهش‌ها، سعی کرده است روش‌هایی برای ترسیم گره به استفاده از ابزار پارامتریک، ارائه دهد. وی در (امین‌پور و همکاران، ۱۳۹۴: ۸۶) با استفاده از قابلیت مدل‌سازی پارامتریک نرم‌افزار آرشیكد و نیز با استخراج روابط ریاضی-هندسی، سعی کرد به ایجاد منطق هندسی ترسیم گره بر مبنای روش‌های ترسیم شعاعی و شبکه‌ای بپردازد. در این شیوه، سعی بر آن است تا با ایجاد بستری پارامتریک، کاربر در نهایت بتواند با مشخص کردن پارامترهای ورودی و بدون نیاز به طی مراحل ترسیم گره، گره مورد نظر خود را ایجاد کند. به‌علاوه، کاربر می‌تواند با تغییر در پارامترها، گره ترسیمی نهایی را تغییر دهد. از طرفی، استفاده از ابزار پارامتریک باعث گسترش شیوه‌های ترسیم موجود و ایجاد ترکیبات هندسی جدید می‌شود. وی در پژوهش دیگری (امین‌پور و همکاران، ۱۳۹۵: ۳۷) دو روش جدید را در ترسیم گره معرفی می‌کند که هر دو براساس قواعد طراحی پارامتریک هستند. همچنین وی در (حاجبی و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۴) گره کند طبل‌قناس را انتخاب می‌کند و با استفاده از روش ابداعی الگوریتمیک خود سعی می‌کند این گره را به شیوه پارامتریک ترسیم کند. با استفاده از این روش، گره در دو بستر گرسه‌پار^۵ و متلب ترسیم می‌شود، که هر کدام ضعف و قوتی دارند. به‌وسیله آن‌ها می‌توان حالات مختلفی از یک واحد (Tile) گره را ایجاد کرد و یا حتی تعداد تقسیمات شمس آن‌ها را تغییر داد. در نهایت او، این گره را با استفاده از الگوریتم‌نویسی بر روی پوسته یک گنبد ایجاد می‌کند. البته، دقت شیوه به‌کارگرفته‌شده برای انتقال گره به پوسته گنبد، کمی پایین است.^۶



شکل ۲. دیاگرام فرایندهای طی شده در مقاله (نگارندگان، ۱۴۰۳)

برنامه‌ای را تحت وب و با استفاده از جاوا ایجاد کرده است. در این برنامه بر مبنای چینش هشت ضلعی‌های منتظم، می‌توان به گره‌های متفاوتی دست پیدا کرد (Kaplan, 2000: 75). وی در پژوهش دیگری سیستمی را برای رسیدن به شبکه چندضلعی‌های پایه، معرفی می‌کند. کاپلان سعی می‌کند با ترسیم گره‌ها، آن‌ها را بر روی سطوح مختلفی ترسیم کند (Kaplan & Salesin, 2004: 98). او در پژوهش بعدی خود، این شیوه را بهبود بخشیده است تا گره‌های جدیدی را بر اساس تلاش‌های پیشین خود تولید کند (Kaplan, 2005: 65). به غیر از این تلاش‌ها (مطالعات/ پژوهش‌ها) کاپلان، در راستای ترسیم کامپیوتری و پارامتریک گره‌ها در پژوهشی بر اساس کار "رولوفس" (Roelofs, 2016: 25)، از منظر دیگری گره‌ها را بررسی کرده است. او می‌خواهد یک گره را به دو شبکه خطوط مجزا تبدیل کند. در نتیجه، شبکه‌ای درهم‌تخته از اجزای سه‌بُعدی بر اساس گره انتخابی ایجاد و این شبکه بر روی اشکال هندسی مختلف تصویر می‌شود (Kaplan, 2017: 47).

"لی" نیز از دیگر کسانی است که بر روی گره‌سازی کار کرده است. وی در یک پژوهش، روش واحدی را برای معرفی و شناسایی موتیف‌های ستاره شکل اسلامی ارائه می‌کند که بر اساس تعداد اضلاع ستاره و نحوه اتصال رئوس آن‌ها به یکدیگر، استوار است. سپس، روش ترسیم چند گره اسلامی که دارای موتیف‌های ستاره شکل هستند، بررسی می‌شود. وی قاعده دیگری را نیز برای گره‌های اسلامی بیان می‌کند: در صورت رنگ کردن مدول‌های یک گره اسلامی با دو رنگ، هیچ دو چندضلعی با رنگ مشترک، ضلع مشترک نخواهند داشت (A. J. Lee, 1987: 26). بر اساس این قاعده، می‌توان گره‌سازی صحیح و قاعده‌مند را بازیابی و شناسایی کرد. یونگ‌لی نیز بر روی یک گره اسلامی بر اساس شیوه ترسیم هنکین، کار کرده است. وی مدول پایه این گره را به صورت پارامتریک ایجاد می‌کند و با معرفی چهار شیوه مختلف، راه کنترل و تغییر این مدول را بیان می‌کند. سپس با تکثیر این مدول و کامل کردن گره در فضایی دوبُعدی، با تعریف نقطه جذب^۵ هندسه، هر مدول را به صورت جداگانه کنترل می‌کند (J. Y. Lee, Kim & Jeon, 2015: 86). در این پژوهش راهکاری برای ترسیم گره در فضایی سه‌بُعدی ارائه نشده است و گره‌سازی تنها در فضایی دوبُعدی اتفاق می‌افتد. اما لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر روش و دیدگاهی مشابه با پژوهش مذکور، در نظر گرفته شده است.

در اغلب پژوهش‌های ذکر شده، تنها ترسیم گره مسئله اصلی است و راهکاری برای انتقال گره به سطوح فرم

آزاد، ارائه نشده است، یا راهکار ارائه شده دقت و شمول گسترده‌ای ندارد. از طرفی، فقط در پژوهش یونگ‌لی، گره بر اساس اصول مدل‌سازی پارامتریک، مدل‌سازی شده است، که در نتیجه آن هر مدول از گره، به صورت جداگانه قابلیت کنترل پارامترها را دارد. این پژوهش بر آن است تا هم یک گره را با قابلیت کنترل جداگانه مدول‌ها، مدل‌سازی کند، هم راهکاری برای انتقال این گره به صفحات فرم آزاد ارائه نماید. جدول ۱، خلاصه‌ای از منابع بررسی شده و نگاه هر کدام از آن‌ها را شرح می‌دهد.

روش تحقیق

روش این پژوهش، روشی ترکیبی با توجه به اقتضات مراحل مختلف تحقیق است. این پژوهش به لحاظ معرفت‌شناسی در پارادایم تفسیری یا برساختی (ساختارگرایی)؛ به لحاظ جهت‌گیری، نظری؛ به لحاظ رویکرد (شیوه استدلال)، تطبیقی؛ به لحاظ نوع داده‌ها، کمی؛ به لحاظ نوع نتایج، تحلیلی؛ و به لحاظ رهیافت، تاریخی-تفسیری است، که به شیوه تحلیل گونه‌شناختی و با شیوه گردآوری داده از کتابخانه و ابزار نقشه‌خوانی و سندخوانی انجام شده است. مطالعات ابتدایی پژوهش بر اساس روش یادشده صورت گرفت. در گام نهایی، در راستای توسعه هندسی گره انتخابی، از روش مدل‌سازی کامپیوتری استفاده شد، تا با ابزارهای مرتبط با آن، به شبیه‌سازی مراحل ترسیم پرداخته شود. شکل ۳، مسیر پژوهش صورت گرفته و چگونگی قرارگیری دو سؤال پژوهش را در کنار یکدیگر، نشان می‌دهد.

گره و کره چینی

قبل از ورود به بحث و مراحل پژوهش، باید تعریف درستی از گره ارائه داد. در تمامی مراتب معماری ایران، نقش هندسه انکارناشدنی است به گونه‌ای که در هنرهای تزئینی همواره از هندسه استفاده شده است. گره چینی را می‌توان هنر تقسیم‌بندی هندسی فضا دانست (حصوری، ۱۳۸۹: ۱۳۳). همچنین، گره چینی در دایره‌المعارف هنر «روش سازماندهی نقوش هندسی به نحوی که طرحی درهم‌بافته و موزون حاصل آید»، تعریف شده است (پاکباز، ۱۴۰۰: ۴۵۲). در نگاهی جامع، می‌توان انواع نقوش تزئینی در معماری ایران را به گروه‌های اصلی: نقوش حیوانی، نقوش گیاهی، کتیبه‌های حاوی خطوط تزئینی و نقوش هندسی یا گره تقسیم‌بندی کرد (دهقان‌نژاد، ۱۳۸۳: ۱۸۴). انواع مختلفی از گره چینی در معماری سنتی ایران موجود است. این پژوهش، گره ده تند را برای بررسی، انتخاب کرده است.

بررسی شیوه‌های ترسیم موجود برای گره ده تند

می‌توان گفت تمامی ترسیمات هندسی در معماری سنتی ایران تنها با استفاده از پرگار و خط‌کشی ساده، قابل دسترسی است. این استفاده خلاقانه از هندسه و تطبیق آن با سطح تکنولوژی موجود، از مواردی است که در معماری سنتی ایران

به چشم می‌خورد. ترسیم گره‌های مختلف، یکی از نمونه‌های آن است. به‌طور کلی، برای ترسیم گره‌ها دو روش موجود است، روش شعاعی و روش شبکه‌ای. در اکثر منابع موجود در ایران، روش ترسیم گره، شعاعی است. بدین شیوه که ترسیم گره از زمینه مورد نظر آن شروع می‌شود و با ترسیم کمان‌ها و خطوط

جدول ۱. خلاصه منابع بررسی شده مرتبط با موضوع پژوهش

منبع	سال	خلاصه پژوهش
امین پور و همکاران	۱۳۹۴	ارائه شیوه مدل‌سازی پارامتریک بر مبنای روش‌های شعاعی و شبکه‌ای. خودکارسازی مراحل ترسیم گره. قابلیت ایجاد ترسیمات مختلف با تغییر در پارامترهای ورودی.
امین پور و همکاران	۱۳۹۵	ارائه دو روش برای ترسیم پارامتریک گره‌های انتخابی پژوهش. خودکارسازی مراحل ترسیم گره.
حاجبی و همکاران	۱۳۹۵	ترسیم پارامتریک گره کند طبل قناس در دو بستر گرسه‌پا و متلب. خودکارسازی مراحل ترسیم گره. انتقال گره نهایی بر پوسته گنبد.
بیرقی و همکاران	۱۳۹۶	ترسیم و مدل‌سازی هندسه ی‌زدی‌بندی با استفاده از گرسه‌پا. بررسی مدل نهایی از نظر عملکرد سازه‌ای.
دهشتی و همکاران	۱۳۹۷	بررسی گره ده تند و کند از منظر هندسی و مفهومی. ایجاد گره‌سازی‌های جدید بدون نظم متقارن بر پایه گره انتخابی.
Hankin	1925, 1934, 1936	ارائه شیوه ترسیم Polygon in Contact یا شیوه ترسیم چندضلعی‌های مماس. ترسیم یک گره اسلامی در هریک از این مقالات با استفاده از شیوه توسعه داده شده.
Hankin	1991	معرفی شیوه ترسیم Polygon in Contact یا شیوه ترسیم چندضلعی‌های مماس. معرفی انواع شبکه‌های پایه مانند مربعی، شش‌ضلعی، هشت‌ضلعی. ترسیم گره‌های مختلف اسلامی با استفاده از این شبکه‌های چندضلعی. ارائه روش انتقال گره بر روی گنبد با استفاده از روش توسعه داده شده.
Kaplan	2000	ارائه برنامه تحت وب برای ترسیم برخی گره‌ها بر اساس شبکه هشت‌ضلعی پایه (استفاده از روش چندضلعی‌های مماس).
Kaplan and Salesin	2004	ارائه روشی الگوریتمیک برای رسیدن به شبکه چندضلعی‌های پایه هر گره. انتقال گره‌ها بر روی سطوح مختلف و پیچیده سه‌بعدی.
Kaplan	2005	بهبود روش ارائه شده پیشین برای پوشش ترسیمات مختلف و گره‌های متفاوت تر.
Kaplan	2017	تبدیل خطوط سازنده یک گره اسلامی به دو دسته و تبدیل این دو گروه، به خطوط درهم بافته شده بر اساس کار رولوف. تعریف این شبکه درهم بافته شده بر روی پوسته‌های مختلف هندسی و غیرهندسی.
Lee	1987	معرفی واحدی برای شناسایی موتیف‌های ستاره‌شکل اسلامی. معرفی یک قاعده برای شناسایی گره‌های اسلامی: در صورت رنگ کردن اجزای سازنده یک گره با دو رنگ، هیچ دو جزئی ضلع مشترک نخواهد داشت.
Lee et al.	2015	ترسیم یک گره اسلامی با منطق پارامتریک و وابسته‌سازی مراحل ترسیم به یک پارامتر. تعریف نقطه جذب برای چینش مدول‌ها در کنار یکدیگر در یک چینش دوبعدی.

(نگارندگان، ۱۴۰۳)

با برخورد مختلف، نقاط تشکیل دهنده گره به دست می‌آیند و به یکدیگر متصل می‌شوند. شکل ۴، مراحل به دست آمدن گره ده تند را با روش استاد شعرفاف، نشان می‌دهد (شعرفاف، ۱۳۸۵: ۲۳-۲۲). این روش با توجه به استفاده از کمان زدن برای به دست آوردن نقاط سازنده گره، قابلیت تغییر بسیار کمی دارد. از طریق آن، فقط می‌توان همین گره را ترسیم کرد. اما از طرفی با استفاده از این روش، می‌توان فقط با یک پرگار و خط‌کش ساده به ترسیم گره پرداخت، که با توجه به محدودیت ابزارها در گذشته، بسیار متناسب است.

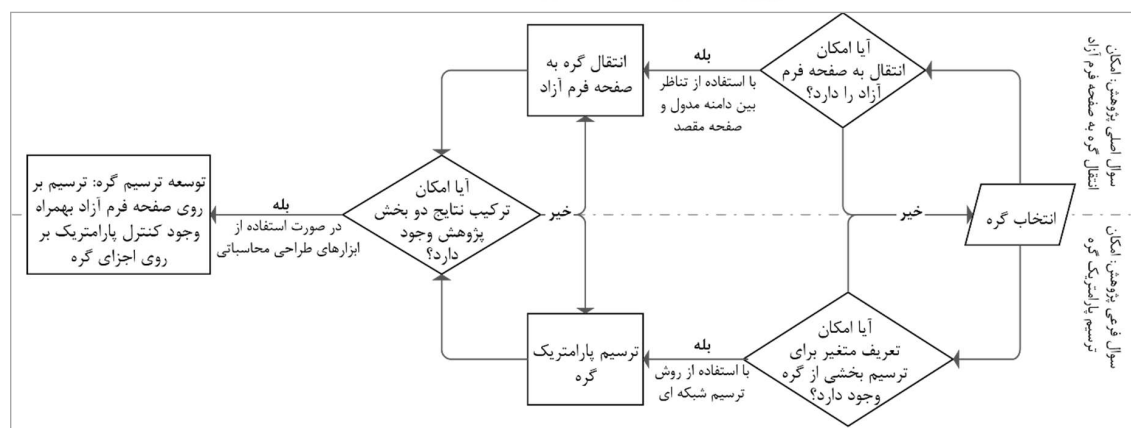
روش دیگر موجود برای ترسیم گره، روش هنکین^۳ است (Hankin, 1991: 132). وی برای رسیدن به یک گره ابتدا شبکه‌ای از چندضلعی‌های ساده‌تر را ایجاد می‌کند. سپس از مرکز اضلاع هر کدام از چندضلعی‌ها، دو خط به شکل V ترسیم می‌کند، که با زاویه‌ای خاص با یکدیگر برخورد می‌کنند و وارد چندضلعی بعدی می‌شوند (شکل ۵). در این شیوه ترسیم، به دلیل امکان تغییر زاویه برخورد خطوط، امکان ایجاد گره‌های مختلفی از یک شبکه چندضلعی‌ها، وجود دارد (شکل ۶). این شیوه ترسیم، علاوه بر استفاده از خط‌کش و پرگار، به تعیین زاویه برخورد خطوط نیز نیاز دارد. در نتیجه احتمال استفاده از آن در گذشته، کاهش می‌یابد. اما با توجه به وجود ابزارهای متعدد ترسیم در حال حاضر، ترسیم گره‌ها به این شیوه امکان‌پذیر است. از طرفی، با استفاده از یک شبکه چندضلعی ثابت و تنها تغییر در ترتیب اتصال خطوط، ترسیم گره‌های مختلف موجود در معماری اسلامی، امکان‌پذیر است. نمونه‌های مختلفی از این شبکه‌های چندضلعی و گره‌سازی‌ها در کتاب هنکین آورده شده است (همان).

با توجه به توضیحات ارائه شده، می‌توان برای گره ده تند نیز شبکه‌ای از چندضلعی‌ها را در نظر گرفت. در این شبکه، با اتصال خطوط از میان اضلاع به یکدیگر، گره ده تند قابل

دسترسی است. شکل ۷، این شبکه چندضلعی قرار گرفته در زیر گره ده تند را نشان می‌دهد. ابتدا، شیوه رسیدن به این شبکه به اختصار توضیح داده خواهد شد. در نهایت، این شیوه ترسیم با کمک ابزار برنامه‌نویسی تصویری گرسه‌پار، توسعه داده خواهد شد.

ترسیم پارامتریک گره ده تند

همان‌گونه که گفته شد، در این پژوهش از شیوه ترسیم شبکه‌ای هنکین، استفاده خواهد شد. برای هریک از گره‌سازی‌های اسلامی می‌توان یک شبکه چندضلعی را در نظر گرفت. گره ده تند نیز دارای یک شبکه چندضلعی است که "بودنر" مراحل دستیابی به آن را به تفصیل توضیح داده است (شکل ۷). در اینجا برای اختصار، به آن اشاره نخواهد شد (Bodner, 2008: 231). بعد از دسترسی به این شبکه که درواقع همان مدول سازنده گره نیز هست، از مرکز اضلاع هریک از این چندضلعی‌ها دو خط به شکل V خارج می‌شوند. این دو خط، گره نهایی را خواهند ساخت. برای دسترسی به این خطوط می‌توان مرکز اضلاع هریک از پنج ضلعی‌ها را به صورت ۵:۲، به یکدیگر متصل کرد.^۴ ستاره ده ضلعی محاط در ده ضلعی مرکزی نیز، به صورت ۱۰:۴، ترسیم می‌شود. برای ترسیم خطوط باقی‌مانده از مدول گره، می‌توان بدین صورت عمل کرد: خطوط حاصل از ترسیم ستاره‌های پنج و ده ضلعی ادامه می‌یابند تا از سایر چندضلعی‌ها نیز عبور کنند (شکل ۸ - الف). در این مرحله، با پاک کردن خطوط اضافی، خطوط گره ده تند به دست می‌آید (شکل ۸ - ب). طی مراحل توضیح داده شده، مدول گره ایجاد می‌شود. در ادامه، نیاز است تا منطق هندسی دستیابی به مدول این گره، الگوریتم‌نویسی شود. بعد از دستیابی به این الگوریتم، می‌توان توسعه‌هایی را در ترسیم این گره ایجاد کرد.

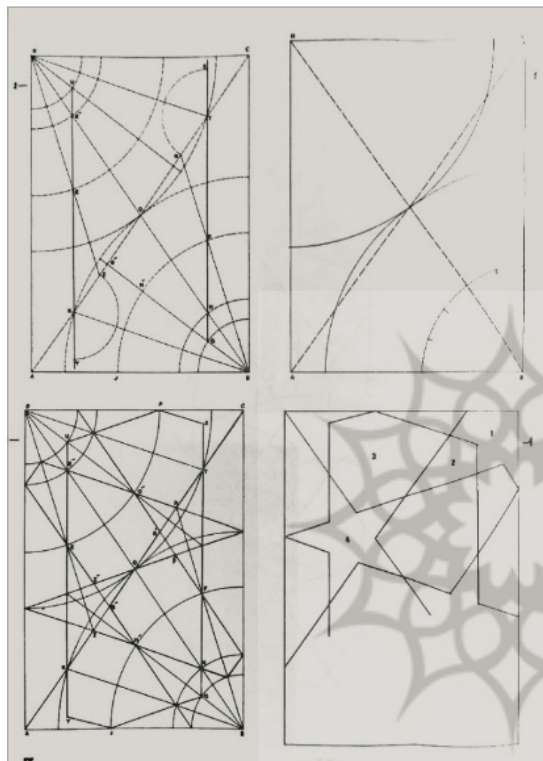


شکل ۳. نمودار فرایند تحقیق و قرارگیری مسیر دو سؤال اصلی و فرعی پژوهش در کنار یکدیگر (نگارندگان، ۱۴۰۳)

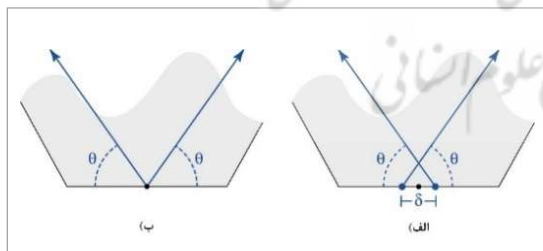
انتقال خطوطِ گره دو بُعدی به صفحاتِ فرم آزاد تعریف شده در سه بُعد

صفحاتِ فرم آزاد

صفحه، همان پوسته سازنده هر شیء است؛ اجسام در محیط اطراف ما، به واسطه صفحه (پوسته) خودشان، درک

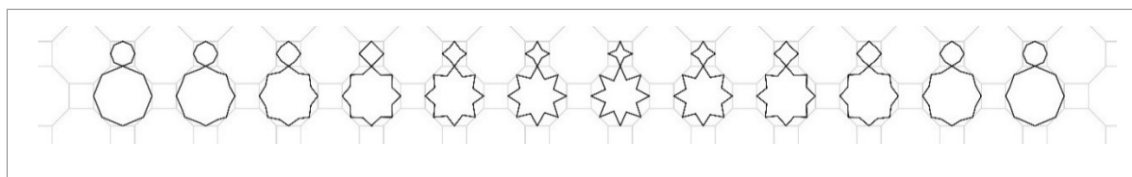


شکل ۴. مراحل ترسیم مدول یک چهارم گره تند ده (شعرباف، ۱۳۸۵)

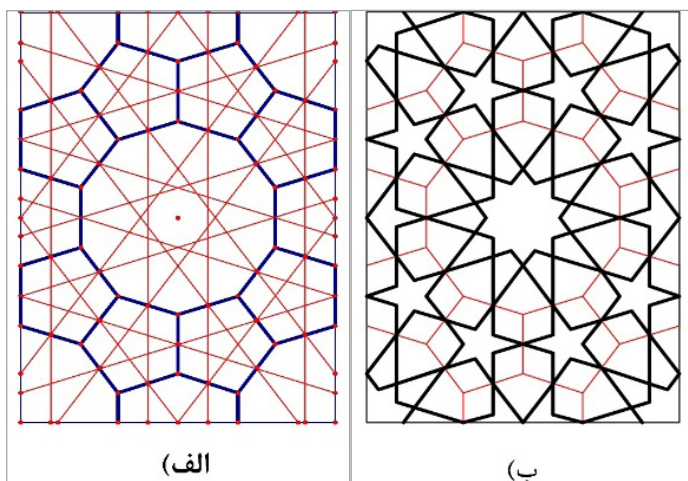


شکل ۵. شیوه برخورد خطوط V شکل و زاویه متغیر آن‌ها در یک چندضلعی:
الف. برخورد خطوط در بالاتر از مرکز ضلع یک چندضلعی، ب. برخورد
خطوط در مرکز ضلع یک چندضلعی (C.S. Kaplan, 2005)

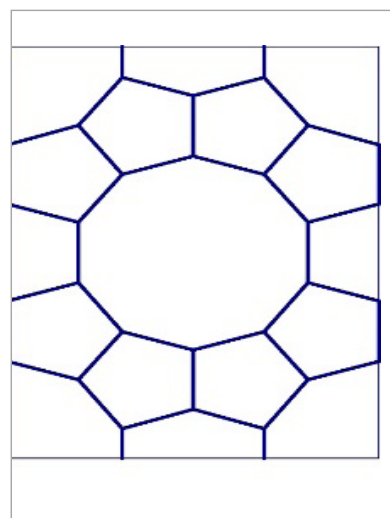
با در نظر گرفتن شبکه چندضلعی‌ها در شکل ۷، می‌توان به گونه دیگری به اجزای این گره، نگاه کرد. هر کدام از پنج یا ده ضلعی‌های موجود در این شبکه، بخشی از خطوط گره را در بر می‌گیرند، یعنی حامل یک ستاره پنج یا ده پر از خطوط گره هستند. در صورت ثابت نگه داشتن محل رؤس ستاره‌ها، می‌توان تغییراتی را در آن‌ها و در نهایت، در مدول گره به وجود آورد. شکل ۱۰، سه حالت مختلف از ستاره ده پر مرکزی را نشان می‌دهد. در هر کدام از این سه حالت، رؤس ستاره ثابت نگاه داشته شده‌اند، اما شعاع ده ضلعی منتظم مرکز این ستاره، تغییر یافته است. شکل ۱۱ نیز، همین تغییر را در ستاره‌های پنج ضلعی موجود در این گره نشان می‌دهد. در هر دو تصویر، نسبت شعاع چندضلعی مرکزی به شعاع چندضلعی محیطی عددی، بین ۰ تا ۱ است، که می‌تواند به عنوان متغیر (S) در ترسیم پارامتریک این گره، عمل کند. در دامنه تعریف شده برای این متغیر، تعداد حالات مختلفی برای ترسیم ستاره پنج و ده پر وجود دارد و تنها در یکی از حالات، نتیجه نهایی همان گره ده تند است. در صورتی که نسبت شعاع چندضلعی مرکزی به شعاع چندضلعی محیطی در هر دو ستاره پنج و ده پر عدد ۰٫۳۸ باشد، گره ترسیمی همان گره ده تند است، در غیر این صورت، گره ترسیمی هندسه‌ای جدید بر مبنای هندسه ترسیمی گره ده تند، خواهد داشت. شکل ۱۲، ترکیب مقادیر مختلف را برای متغیر S در مدول‌های متصل به هم نشان می‌دهد. همان گونه که مشخص است در حالی که متغیر تعریف شده در هر مدول گره متفاوت است، خطوط هر مدول در امتداد خطوط مدول بعدی قرار گرفته است. در صورت تکثیر گره، یکپارچگی ترسیم حفظ خواهد شد. در این بخش، گره ده تند با استفاده از شیوه ارائه داده شده توسط هنکین و همچنین استفاده از روش‌های طراحی پارامتریک، ترسیم شد. علاوه بر آن، فرایند ترسیم به گونه‌ای تغییر پیدا کرد که با تعریف یک متغیر می‌توان به زوایای حادتر یا منفرجه‌تری برای ستاره‌های ده پر و پنج پر موجود در گره، دست پیدا کرد. با توجه به ایجاد منطق و مراحل ترسیم به صورت پارامتریک، می‌توان از الگوریتم ایجاد شده در راستای انتقال آن به صفحات فرم آزاد، استفاده کرد.



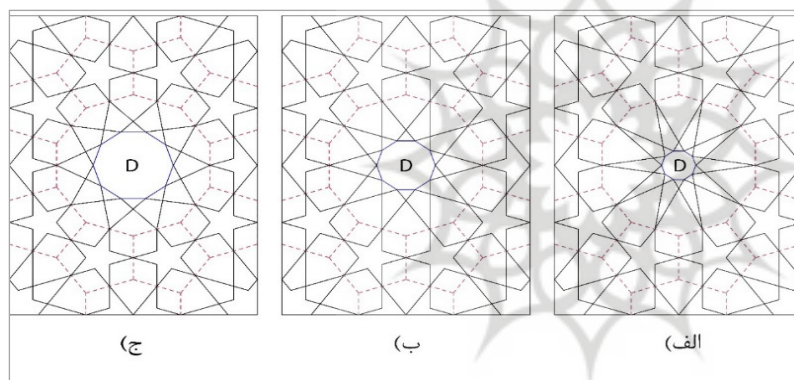
شکل ۶. امکان ایجاد هندسه‌های مختلف از یک شبکه چندضلعی (C.S. Kaplan, 2005)



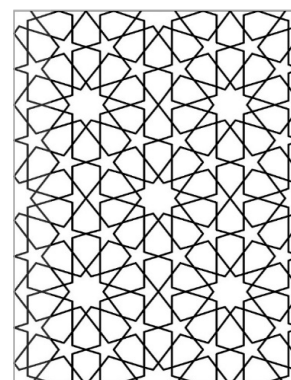
شکل ۸. الف. ترسیم ستاره‌های ۵ و ۱۰ ضلعی درون چندضلعی‌های منتظم، ادامه دادن اضلاع ستاره‌ها درون چندضلعی‌های نامنتظم، ب. پاک کردن خطوط اضافی و ترسیم خطوط نهایی گره ده تند (Bodner, 2008)



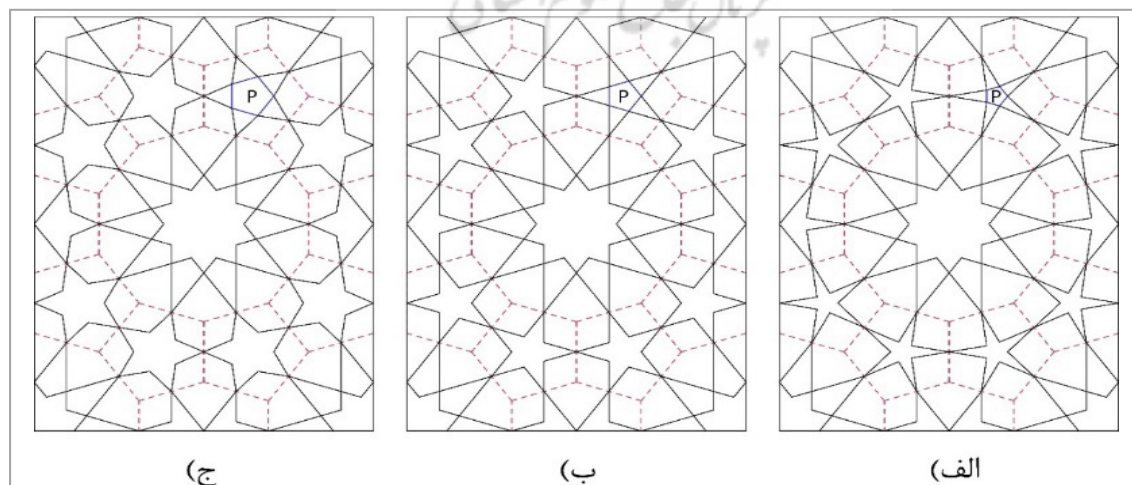
شکل ۷. شبکه چندضلعی‌های ایجادکننده گره ده تند (Bodner, 2008)



شکل ۱۰. ایجاد تغییر در ستاره ده‌پر مرکز مدول با تغییر شعاع ده‌ضلعی D در مرکز این ستاره (نگارندگان، ترسیم با استفاده از گرسه‌پار و پایتون، سال ۱۴۰۳)



شکل ۹. تکثیر مدول سازنده گره ده تند (Bodner, 2008)



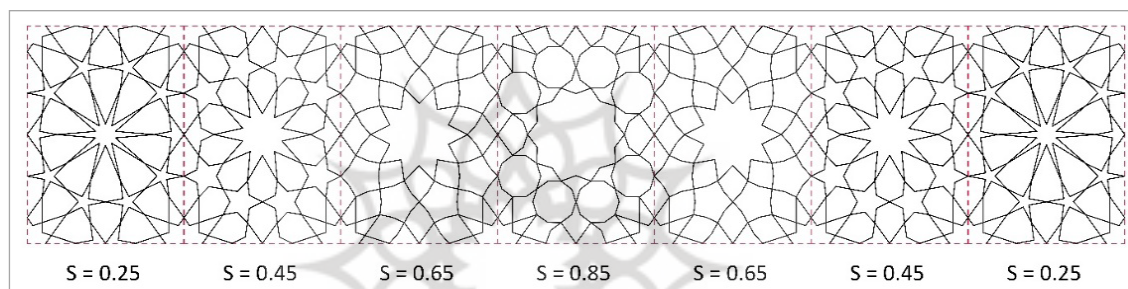
شکل ۱۱. تغییر در ستاره‌های پنج‌پر حول ستاره اصلی با تغییر شعاع پنج‌ضلعی P در مرکز آن‌ها (نگارندگان، ترسیم با استفاده از گرسه‌پار و پایتون، ۱۴۰۳)

آن‌ها نیز، پیچیده‌تر است. به این‌دست از صفحات که در هر مقطع، از منحنی متفاوتی تشکیل شده‌اند، صفحات فرم آزاد اطلاق می‌شود (Gheorghiu & Dragomir, 1978: 38).

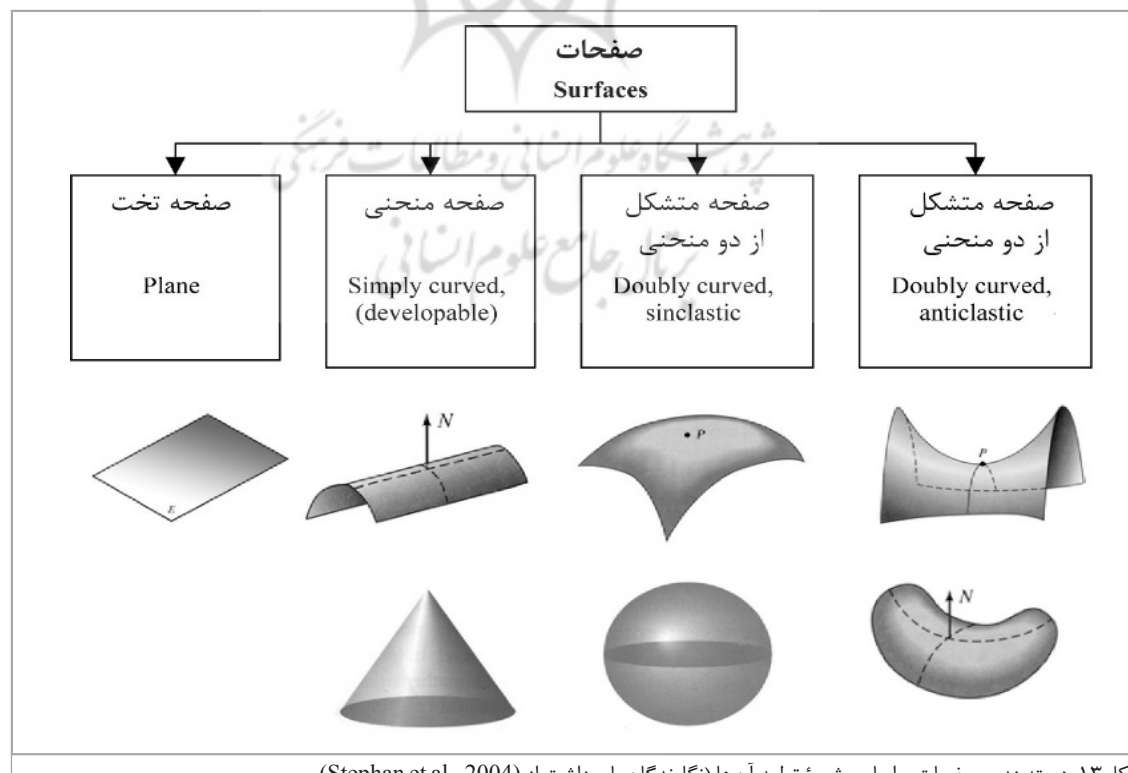
شیوه انتقال گره به صفحه فرم آزاد

شیوه ترسیم تمامی گره‌های ایرانی، براساس ترسیم فضایی دوبعدی است. در انتقال یک گره به پوسته بیرونی یا درونی یک گنبد نیز، اساس کار قطاعی گنبد این است که مجدداً پیاده‌سازی گره بر روی آن در حالتی دوبعدی، صورت می‌پذیرد. در ریاضیات مرتبط با مدل‌سازی صفحات، برای هر صفحه یک دامنه دوبعدی در نظر گرفته و هر نقطه بر روی صفحه در موقعیتی خاص از دامنه صفحه، تعریف می‌شود. در این صورت می‌توان با ایجاد تناظری بین

و دیده می‌شوند. فضا می‌تواند به واسطه صفحاتی تعریف شود که آن را احاطه و محدود کرده‌اند. صفحات، اشکالی دوبعدی و ادامه‌دار هستند که در فضای سه‌بعدی هندسی اقلیدسی تعریف می‌شوند (Stephan, 2004: 154). در نتیجه، صفحات می‌توانند از اجزای مختلفی شامل نقاط، خطوط راست یا منحنی و شبکه خطوط، تشکیل شده باشند. صفحات براساس شیوه تولید خود به دسته‌های مختلفی تقسیم می‌شوند، صفحات تخت، صفحات منحنی و صفحات متشکل از دو منحنی. شکل ۱۳، انواع این صفحات را نشان می‌دهد. صفحات تخت یا منحنی دارای فرمولی مشخص هستند که به سادگی ترسیم می‌شوند، اما اغلب صفحات متشکل از دو منحنی، دارای ساختار پیچیده‌تری بوده و فرمول تعریف‌کننده

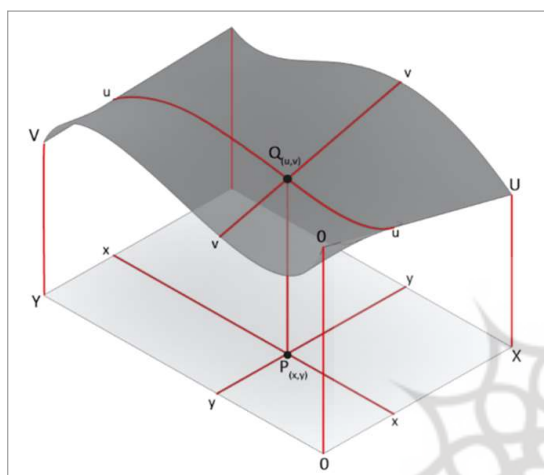


شکل ۱۲. استفاده از نسبت‌های مختلف برای متغیرهای ایجادکننده گره ده تند. انتخاب هر عددی بین ۰ تا ۱ برای متغیر ایجادشده، امکان‌پذیر است (نگارندگان، ترسیم با استفاده از گرسه‌پرو و پایتون، ۱۴۰۳)

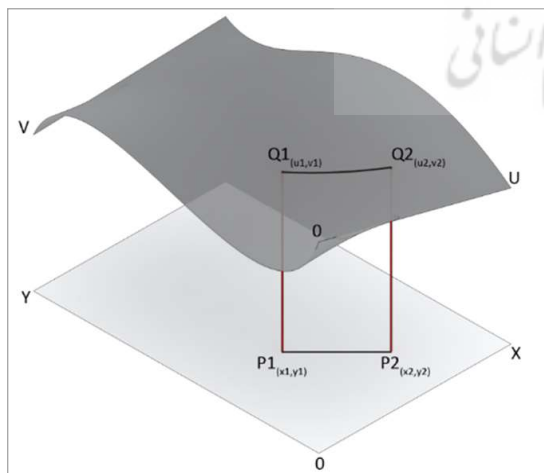


شکل ۱۳. دسته‌بندی صفحات براساس شیوه تولید آن‌ها (نگارندگان با برداشت از (Stephan et al., 2004)

استفاده از این روش نه تنها خطوط مدول گره ده تند به صفحه فرم آزاد انتقال پیدا می‌کند بلکه می‌توان با استخراج دامنه هر مدول گره‌ای، آن را به صفحه‌ای با فرم آزاد منتقل کرد. در نتیجه این روش، شامل تمامی حالات و گره‌های موجود در معماری اسلامی می‌شود و وابسته به شرایط خاص یا هندسه‌ای خاص نیست.



شکل ۱۴. تناظر بین دامنه‌های سازنده دو صفحه. صفحه تخت پایین در دو بُعد تعریف شده و صفحه فرم آزاد بالایی در سه بُعد، ایجاد شده است. هر دو صفحه، دامنه‌ای دوبعدی دارند که می‌توان بین آن‌ها تناظر ایجاد کرد. نقطه P بر روی صفحه نخست، متناظر با نقطه Q بر روی صفحه دوم است. در اینجا برای نمایش بهتر، گرچه صفحه فرم آزاد حاصل تغییر شکل صفحه تخت است؛ اما الزامی در این زمینه وجود ندارد، و می‌توان تناظر بین دامنه‌های سازنده صفحات را بین هر دو صفحه دلخواه، در نظر گرفت (نگارندگان، ترسیم با استفاده از نرم‌افزار راینو، ۱۴۰۳)



شکل ۱۵. انتقال یک پاره خط از یک صفحه دوبعدی به صفحه سه‌بعدی با استفاده از نقاط ابتدایی و انتهایی سازنده پاره خط (نگارندگان، ترسیم با استفاده از نرم‌افزار راینو، ۱۴۰۳)

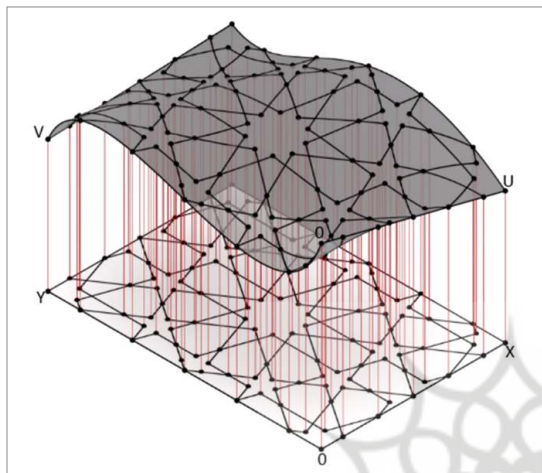
صفحه حاوی خطوط گره و صفحه فرم آزاد مقصد، موقعیت نقاط مدول گره را بر روی صفحه فرم آزاد، جانمایی کرد. شکل ۱۴، دو صفحه را نشان می‌دهد که یکی تخت و دیگری، حاصل تغییر شکل همان صفحه تخت است. نقطه P در صفحه تخت دارای موقعیت مختصاتی مشخصی در دامنه تعریف شده برای این صفحه است، و نقطه Q متناظر با آن بر روی صفحه فرم آزاد، انتخاب شده است. دامنه دوبعدی هر یک از صفحات، در دو راستای سازنده آن تعریف می‌شود. در صورت ایجاد تناظر بین دامنه‌های سازنده هر صفحه با صفحه‌ای دیگر (در اینجا دامنه‌های $\{0, Y\} = \{0, V\}$ و $\{0, X\} = \{0, U\}$ ، هر نقطه موجود در دامنه یک صفحه $(P_{(x,y)})$ ، متناظر با نقطه‌ای مشخص در دامنه سازنده صفحه دیگر است $(Q_{(u,v)})$. با فرض معلوم بودن مقادیر X و Y و همچنین معلوم بودن دامنه‌های هر دو صفحه، مقادیر U و V از طریق تساوی ذیل به دست خواهند آمد. با استفاده از این تساوی می‌توان هر نقطه از مدول گره را با توجه به موقعیت آن نقطه در دامنه دوبعدی صفحه گره، به صفحه‌ای دیگر انتقال داد. برای درک بهتر این انتقال در شکل‌های ۱۱ تا ۱۳، صفحه فرم آزاد حاصل تغییر شکل همان صفحه تخت زیرین خود است. این درحالی است که تناظر بین دامنه هر صفحه با صفحه دیگر، امکان‌پذیر است.

$$\frac{x}{X} = \frac{u}{U} \text{ و } \frac{y}{Y} = \frac{v}{V}$$

بعد از ایجاد این تناظر، موقعیت هر نقطه در مدول گره با موقعیت نقطه‌ای خاص در صفحه فرم آزاد، متناظر می‌شوند. در نتیجه، به‌ازای تمامی نقاط سازنده گره، نقطه‌ای یگانه بر روی صفحه فرم آزاد، وجود خواهد داشت. برای انجام این کار، ابتدا لازم است صفحه دربرگیرنده مدول گره ترسیم، دامنه این صفحه استخراج، و سپس دامنه صفحه فرم آزاد نیز استخراج شود. هر پاره خط به‌واسطه دو نقطه در فضا تعریف می‌شود، و مدول یک گره، متشکل از مجموعه‌ای از پاره‌خطها است که حاصل اتصال نقاط سازنده آن گره است. در این صورت، مجموعه‌ای از زوج نقاط وجود دارد که پاره‌خطهای مدول گره را می‌سازند. با استفاده از ابزار الگوریتم‌نویسی می‌توان تساوی ذکر شده بین دامنه‌ها را برای یافتن موقعیت نقاط، الگوریتم‌نویسی کرد. با دارا بودن این الگوریتم، مدول گره ده تند به‌عنوان ورودی مشخص و بر روی صفحات فرم آزاد، تصویر می‌شود. شکل ۱۵، انتقال یک پاره خط را بین دو صفحه و نیز شکل ۱۶، انتقال کامل مدول گره را به صفحه فرم آزاد، نشان می‌دهد. با توجه به توضیحات ارائه‌شده، با

تقطیع آن در لبه‌های مدول است. در اینجا نیز بعد از کنار هم قرار گرفتن مدول‌ها بر روی سطح صفحه فرم آزاد، گره‌سازی حالتی یکپارچه دارد. شکل ۱۸، فرایند تقسیم صفحه ابتدایی و انتقال گره را به صفحات ریزتر نشان می‌دهد.

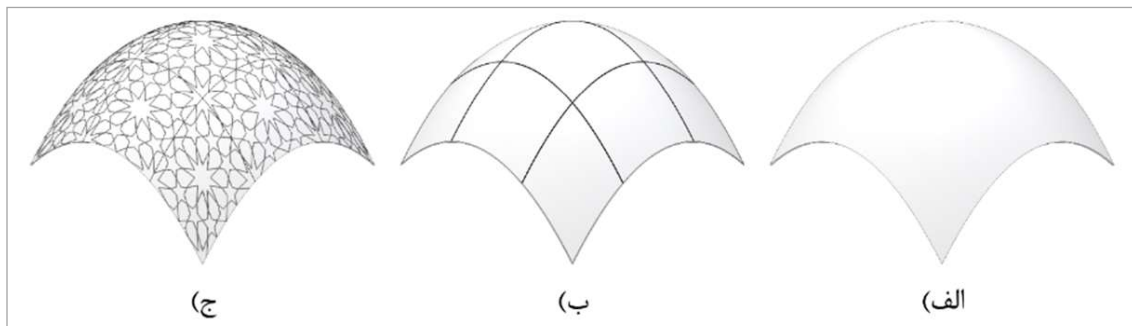
در بخش ترسیم پارامتریک گره ده تند مشاهده شد که علاوه بر تبدیل منطق هندسی این گره به زبان الگوریتم‌ها،



شکل ۱۶. انتقال مدول گره ایجاد شده در یک صفحه تخت بر روی یک صفحه فرم آزاد با استفاده از انتقال نقاط ابتدایی و انتهای پاره‌خط‌ها (نگارندگان، ترسیم با استفاده از نرم‌افزار راینو، ۱۴۰۳)



شکل ۱۷. انتقال گره ده تند به صفحه فرم آزاد حاصل تغییر شکل یک صفحه تخت مربعی، الف. انتقال یک مدول گره، ب. انتقال یک شبکه ۳×۳ تایی از گره بر روی پوسته (نگارندگان، ترسیم با استفاده از گرسه‌پا و پایتون، ۱۴۰۳)



شکل ۱۸. فرایند تکثیر گره بر روی سطح پوسته فرم آزاد الف. پوسته ابتدایی، ب. تقسیم‌بندی پوسته و تبدیل آن به ۹ صفحه کوچک‌تر، ج. انتقال مدول گره به هر کدام از صفحات خرد ایجاد شده در قدم پیشین (نگارندگان، ترسیم با استفاده از گرسه‌پا و پایتون، ۱۴۰۳)

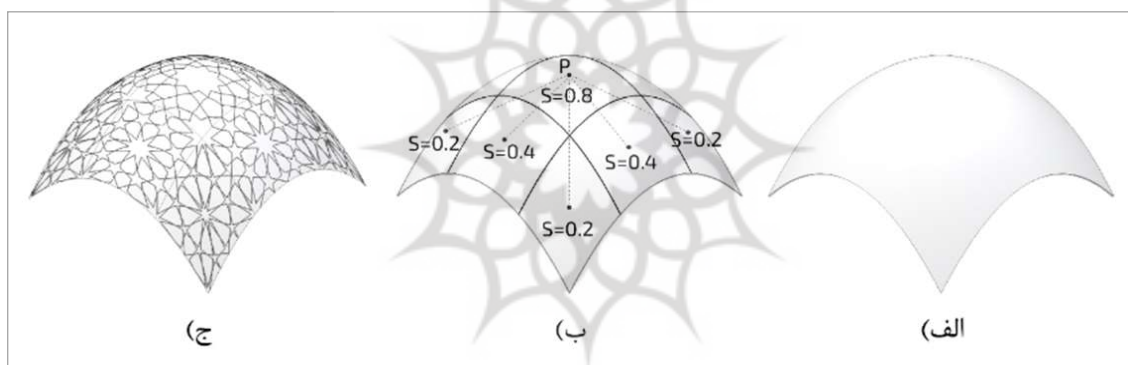
اتصال الگوریتم‌های ایجاد شده به یکدیگر و توسعه طراحی

تا به اینجا برای دو سؤال پژوهش، یعنی ترسیم پارامتریک گره ده تند و انتقال یک گره به صفحه‌ای با فرم آزاد، راه‌حلی الگوریتمیک ارائه شده است. با توجه به استفاده از الگوریتم‌نویسی برای هر دو بخش، اتصال این دو الگوریتم به یکدیگر در راستای رسیدن به پاسخ نهایی، امکان‌پذیر است. شکل ۱۶ برای نمونه، انتقال مدول گره را به صفحه‌ای با فرم آزاد نشان می‌دهد که براساس تغییر شکل، صفحه حامل مدول گره ایجاد شده است. اما با توجه به ایجاد تناظر بین دامنه صفحات مبدأ و مقصد این انتقال به هر نوع صفحه فرم آزادی که حاصل تغییر شکل یک صفحه تخت چهارضلعی باشد، قابل انجام است. شکل ۱۷-الف، انتقال گره را به صفحه فرم آزاد دیگری نشان می‌دهد. صفحه مذکور، حاصل تغییر شکل یک صفحه تخت مربعی است. مورد دیگری که نیاز است به آن پاسخ داده شود، تکثیر مدول گره در سطح صفحه است. در اغلب کتیبه‌ها و گره‌سازی‌های ایرانی، مدول گره به صورت تکی استفاده نشده و این مدول، به تعداد زیادی، تکثیر می‌شود. یکی از ویژگی‌های گره‌سازی‌های ایرانی، قطع نشدن گره در لبه‌های مدول است که باعث می‌شود در زمان تکثیر مدول‌ها، گره‌سازی یکپارچه‌ای ایجاد شود (Hankin, 1991: 12).

در نتیجه، الگوریتم نوشته شده نهایی نیز، باید چنین قابلیت‌هایی داشته باشد. شکل ۱۷-ب، تکثیر مدول را بر روی سطح صفحه فرم آزاد نشان می‌دهد. برای تکثیر مدول بر روی سطح صفحه فرم آزاد می‌توان به گونه‌ای دیگر عمل کرد. برای این کار، صفحه فرم آزاد مقصد باید به قطعاتی ریزتر تقسیم شود. این قطعات ریزتر، همچنان صفحاتی با فرم آزاد هستند که در کنار یکدیگر صفحه ابتدایی را شکل می‌دهند. در نتیجه می‌توان، مدول گره را به هر کدام از این صفحات ریزتر، انتقال داد. پیش‌تر گفته شد، ویژگی ترسیمی یک گره اسلامی عدم

P، تعریف شده است. به بیان دیگر، با تعریف نقطه جذب بر روی یک صفحه، می‌توان متغیر سازنده گره را براساس میزان فاصله هر مدول از نقطه جذب، تعریف کرد (Tedeschi & Andreani, 2014: 112). شکل ۱۹، همان تقسیم‌بندی صفحه را در شکل ۱۸ نشان می‌دهد. البته در شکل ۱۹-ب، متغیر مرتبط با هریک از مدول‌ها با توجه به فاصله مرکز هریک از صفحات از نقطه جذب (P)، تعریف شده است. در این نمونه، دامنه تغییرات متغیر S از ۰.۲ تا ۰.۸ در نظر گرفته شده است. در شکل ۱۹-ج با اینکه گره بر روی صفحه تکثیر شده اما هر مدول گره دارای متغیر متفاوتی است؛ زیرا با دور شدن از نقطه جذب، مقدار عددی متغیر کاهش می‌یابد. در نتیجه، علاوه بر انتقال و تکثیر مدول گره ده تند بر روی صفحه فرم آزاد، می‌توان تغییرات دل‌خواهی را نیز در هر کدام از مدول‌ها به واسطه تغییر متغیر S به وجود آورد.

در ترسیم آن نیز، توسعه‌هایی ایجاد شده است. درواقع مدول گره نسبت به متغیری که برای آن تعریف شده است، ترسیم می‌شود. حال، باید دید آیا می‌شود در انتقال و نیز تکثیر گره بر روی صفحه فرم آزاد، تأثیر این متغیر را دید و با ایجاد تغییر، گره ترسیمی بر روی پوسته فرم آزاد را نیز تغییر داد؟ با توجه به ساختار داده^۸ ایجادشده برای الگوریتم ایجادکننده گره، می‌توان برای هر کدام از مدول‌های انتقال داده‌شده به صفحه فرم آزاد، مقدار متغیر S را جداگانه در نظر گرفت. در نتیجه، هر مدول گره می‌تواند با هندسه مشخصی در کنار مدول دیگری قرار بگیرد درحالی‌که عدد تعریف‌شده برای متغیر S در هر کدام از آن‌ها، با دیگری متفاوت است. ازطرفی، این متغیر که مقدار عددی بین صفر تا یک دارد، می‌تواند با منطق خاصی تعریف شود. به‌طور مثال در شکل ۱۹، میزان عددی متغیر S براساس موقعیت هریک از مدول‌ها نسبت به نقطه



شکل ۱۹. تعریف نقطه جذب برای مدول‌های گره بر روی پوسته فرم آزاد، الف. پوسته ابتدایی، ب. تقسیم‌بندی پوسته سپس تعریف نقطه جذب (P). در این‌جا میزان متغیر ترسیم‌کننده مدول گره (S) با توجه به فاصله نقطه جذب، از مرکز هر کدام از صفحات، تعیین می‌شود، ج. انتقال گره به سطح پوسته فرم آزاد و تعریف متغیر ترسیم برای هر کدام از مدول‌های گره (نگارندگان، ترسیم با استفاده از گرسه‌پار و پایتون، ۱۴۰۳)

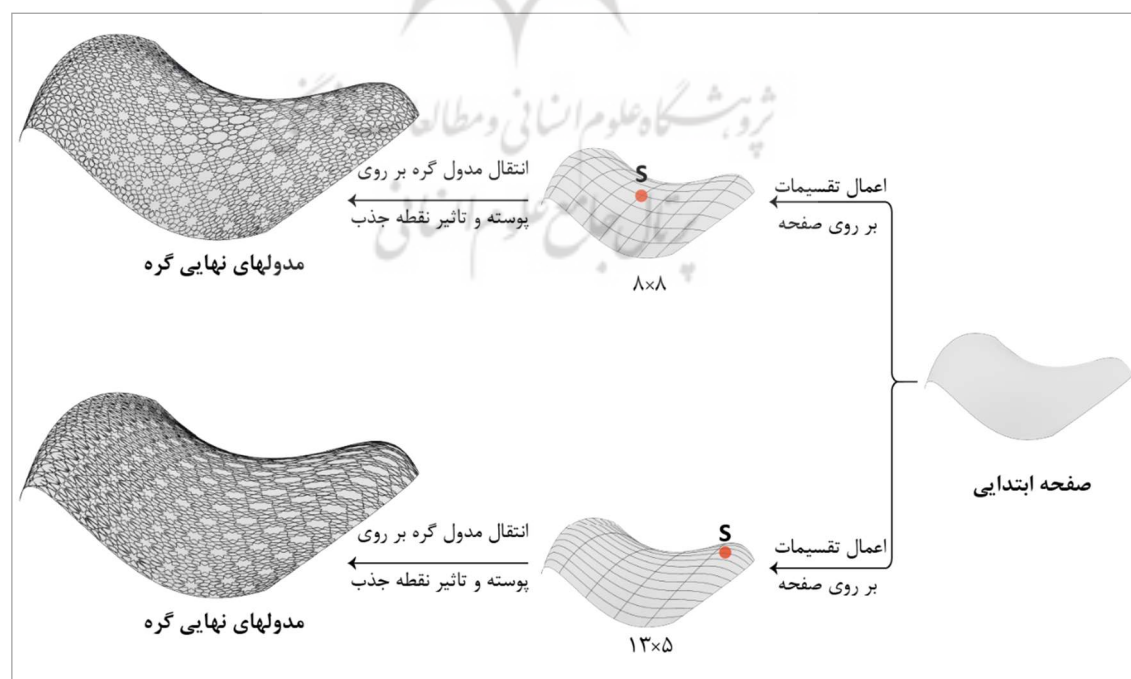
نتیجه‌گیری

این پژوهش، در راستای ایجاد نگاهی نو به ترسیم گره در معماری ایرانی، قدم برداشته است. در معماری امروز، گرچه روش‌ها و ابزارهای ساخت پیشرفت چشمگیری دارد و تنوع بسیاری در انتخاب مصالح، طرح‌ها و نقشه‌ها وجود دارد، اما ظهور مدرنیسم باعث حذف بسیاری از جزئیات و تزیینات از ساختمان‌ها شده است. در نتیجه، آرایه‌های معماری سنتی به‌خصوص گره‌سازی تا اندازه زیادی، فراموش شده است. برخلاف پیشرفت بسیاری که در روش‌های ساخت به وجود آمده است، روش‌های مرتبط با ساخت و چینش گره‌سازی‌ها در معماری ایرانی، همچنان بدون تغییر باقی مانده‌اند. این درحالی‌که ابزارهای تکنولوژی می‌توانند بستر مناسبی را برای ایجاد تغییر و پیشرفت در این ترسیمات هندسی، فراهم آوردند.

در این پژوهش، ابتدا گره ده تند به‌عنوان نمونه مورد مطالعه، انتخاب شد. در قدم بعدی، منطق هندسی ایجاد این گره با استفاده از ابزار الگوریتم‌نویسی تصویری گرسه‌پار به زبان الگوریتم‌ها، ایجاد شد. با توجه به استفاده از

الگوریتم‌ها برای این منظور، توسعه‌هایی در هندسه این گره به‌واسطه وابسته‌سازی ترسیم گره به متغیری خاص، پدید آمد. در قدم بعدی، روشی ارائه شد که با استفاده از آن می‌توان خطوط گره را از صفحه‌ای دوبعدی به صفحه‌ای سه‌بعدی با هندسه آزاد، انتقال داد. در این روش، تناظری بین دامنه دوبعدی سازنده صفحه مبدأ با صفحه مقصد، ایجاد می‌شود. با استفاده از روش مذکور، نقاط ابتدایی و انتهایی هر پاره‌خط از گره به صفحه فرم آزاد، انتقال پیدا می‌کند. در نهایت با اتصال این نقاط به یکدیگر، هندسه گره بر روی صفحه فرم آزاد، تشکیل می‌شود. در ادامه این پژوهش نیز، روشی برای تکثیر مدول گره بر روی صفحه فرم آزاد ارائه شد. در انتهای پژوهش حاضر به‌عنوان قدم نهایی، برای هریک از مدول‌های تکثیرشده بر روی صفحه فرم آزاد متغیر، ترسیم جداگانه‌ای براساس فاصله آن‌ها از نقطه‌ای خاص، تعریف شد. شکل ۲۰، صفحه‌ای فرم آزاد را با هندسه‌ای پیچیده نشان می‌دهد که یک‌بار با تقسیماتی مساوی در راستای طول و عرض (8×8) و بار دیگر با تقسیماتی با تناسب کشیده (13×5)، تقسیم‌بندی شده است. همان‌طور که مشخص است، در هر دو حالت، گره انتخابی کاملاً با تناسب تقسیمات صفحات منطبق شده و ترکیبی از مدول‌ها را در کنار یکدیگر به‌صورت یکپارچه ایجاد کرده است. در هر دو مرحله نیز نقطه جذب (متغیر S) برای مدول‌ها تعریف شده است که با فاصله گرفتن مدول از نقطه جذب، میزان گشودگی آن کمتر می‌شود.

همان‌گونه که مشاهده شد، این پژوهش روشی را برای ایجاد توسعه در ترسیم گره انتخابی و نیز تطبیق آن با هندسه‌های فرم آزاد، ارائه کرد. یکی از دستاوردهای این پژوهش، تزریق سرعت در فرایند ترسیم و استفاده از گره انتخابی است. با توجه به استفاده از الگوریتم‌نویسی و ایجاد منطق الگوریتمیک هندسه گره، نیازی به ترسیم دوباره آن در هر بار استفاده از الگوریتم، نیست. از طرفی، با استفاده از الگوریتم ایجادشده می‌توان مدول گره را با سطوح مختلفی، تطبیق داد. این مدول گره می‌تواند به‌عنوان اعضای سازنده یک سازه فضاکار تک‌لایه نیز، در نظر گرفته شود. در قدم‌های بعدی این پژوهش، می‌توان با انتخاب گره‌ای متفاوت یا انتخاب چند گره، به بررسی عملکرد سازه‌ای گره‌های انتخابی به‌عنوان اعضای سازه فضاکار بر روی صفحه‌ای فرم آزاد، پرداخت.



شکل ۲۰. ترسیم یک صفحه فرم آزاد دل‌خواه، ایجاد تقسیمات متفاوت در آن و انتقال گره به سطح این صفحه با توجه به تعداد تقسیمات ایجادشده. در هر مرحله نقطه جذب (S) برای مدول‌های نهایی تعریف شده است (نگارندگان، ۱۴۰۳)

پی‌نوشت

1. Computational Design
2. www.grasshopper3d.com
۳. در این پژوهش از قابلیت morph در نرم‌افزار گرسه‌پار استفاده شده است. این دستور، با ایجاد کشیدگی و جمع‌شدگی در شکل اولیه (در اینجا گره)، آن را به شکل مورد نظر (در اینجا صفحاتی که تقسیمات گنبد را می‌سازند)، تبدیل می‌کند.
۴. شیوه Polygon in Contact یا چندضلعی‌های مماس؛ در پژوهش حاضر، شیوه ترسیم شبکه‌ای، خوانده می‌شود.
5. Attractor Point
۶. نام لاتین این روش Polygon in Contact یا چندضلعی‌های مماس است.
۷. این نوع از کدگذاری برای ستاره‌های ترسیم‌شده در چندضلعی‌های منتظم است. بدین معنا که در یک ستاره پنج ضلعی که در یک پنج‌ضلعی منتظم محاط شده است، اتصال هر رأس به رأس دوم پس از خود، انجام می‌شود و تا رسیدن به نقطه اولیه، ادامه پیدا می‌کند. ر.ک: https://en.wikipedia.org/wiki/Star_polygon
8. Data Structure

فهرست منابع

- امین پور، احمد؛ اولیا، محمدرضا، ابوئی، رضا، و حاجبی، بیتا (۱۳۹۴). پیشنهاد مدلی برای ترسیم گره در تزیینات وابسته به معماری اسلامی. *نامه معماری و شهرسازی*، دوره ۱۱، 2015. <https://doi.org/10.30480/AUP.2015.11>: 78-57.
- (۱۳۹۵). ارائه دو روش جدید در ترسیم گره و مقایسه آن‌ها. *معماری و شهرسازی ایران*، دوره ۱۷ (۱). <https://doi.org/10.30475/ISAU.2017.62018>
- امین پور، احمد؛ اولیا، محمدرضا، ابوئی، رضا، و حاجبی، بیتا (۱۳۹۵). ارائه دو روش جدید در ترسیم گره و مقایسه آن‌ها. *معماری و شهرسازی ایران*، دوره ۱۷ (۱). <https://doi.org/10.30475/ISAU.2017.62018>
- انصاری، مجتبی. (۱۳۸۱). تزیین در معماری و هنر ایران (دوره اسلامی با تأکید بر مساجد). مدرس هنر. دوره ۱۱ (۱). ۵۹-۷۴.
- بمانیان، محمدرضا و حیدری دلگرم، مجید (۱۳۹۱). نقش گره بر گنبد. اثر، دوره ۳۳ (۵۹): ۱۴-۶. <http://journal.richt.ir/athar/article-1-112-fa.html>
- بیرقی، سارا؛ ستاری ساربانقلی، حسن، و محدث خراسانی، علی (۱۳۹۶). تحلیل مدل ترسیمی زبان-الگوی الگوریتمیک یزدی‌بندی آسمانه کوشک هشت‌بهشت اصفهان در راستای پایایی فرم سازه آزاد. *معماری اقلیم گرم و خشک*. دوره ۵ (۶): ۱۱۷-۱۴۵. <https://doi.org/10.29252/SMB.5.6.117>
- پاکباز، رویین (۱۴۰۰). *دایره‌المعارف هنر*. تهران: فرهنگ معاصر.
- حاجبی، بیتا؛ امین پور، احمد؛ اولیا، محمدرضا، و ابوئی، رضا (۱۳۹۵). رسم گره گنبد طبل قناس با استفاده از روش‌های ابداعی پارامتریک. *صفه*، دوره ۲۶ (۱): ۱۲۴-۱۰۹.
- حصوری، علی (۱۳۸۹). *مبانی طراحی سنتی در ایران*. جلد ۳، تهران: چشمه.
- دهشتی، مجید؛ خوش‌نژاد، مهدی، و حسینی، سیده‌مریم (۱۳۹۷). نگرشی هندسی و مفهومی به زمینه‌های گره ده تند و کند هنر گره‌چینی. *مطالعات هنر اسلامی*، دوره ۱۴ (۳۲): ۴۰-۲۱. <https://www.sid.ir/fA/Journal/ViewPaper.aspx?id=487687>
- دهقان‌نژاد، اکبر (۱۳۸۳). پژوهشی در روش‌های ریاضی موجود برای بررسی نقوش هندسی و جایگاه آن در هنر کاشی‌کاری اسلامی و ایرانی. *مجموعه مقالات دومین کنگره تاریخ معماری و شهرسازی ایرانی، ارگ بم - کرمان*. تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.
- شهرباف، اصغر (۱۳۸۵). *گره و کاربندی*. ویرایش ۳. تهران: سیحان نور، سازمان میراث فرهنگی کشور.
- عابد دوست، حسین و کاظم‌پور، زیبا (۱۳۹۴). تحلیل ریشه‌ها و مفاهیم نقوش هندسی معماری دوره اسلامی در هنر کهن ایرانی. *نگارینه هنر اسلامی*، دوره ۳ (۱۰): ۵۸-۴۱. <https://doi.org/10.22077/NIA.2016.777>
- گودرزی‌سروش، خلیل (۱۳۹۴). *گره‌سازی و کاربندی*. تهران: دانشگاه پیام نور.



- Bodner, B. L. (2008). Hankin's 'polygons in contact' grid method for recreating a decagonal star polygon design. *Bridges Leeuwarden: Mathematics, Music, Art, Architecture, Culture*, 21–28.
- Gheorghiu, Adrian., & Dragomir, Virgil. (1978). *Geometry of structural forms*. Applied Science Pub.
- Hankin, E. H. (1925). Examples of Methods of Drawing Geometrical Arabesque Patterns. *The Mathematical Gazette*, 12(176), 370–373. <https://doi.org/10.2307/3604213>
- _____. (1934). Some Difficult Saracenic Designs. *The Mathematical Gazette*, 18(229), 165–168. <https://doi.org/10.2307/3606813>
- _____. (1936). Some Difficult Saracenic Designs. III: A Pattern Containing Fifteen-Ray Stars. *The Mathematical Gazette*, 20(241), 318–319. <https://doi.org/10.2307/3607312>
- _____. (1991). *The Drawing of Geometric Patterns in Saracenic Art*. Swati Publications. <https://books.google.com.my/books?id=HzSvnQEACAAJ>
- Kaplan, C. S. (2000). Computer Generated Islamic Star Patterns. in R. Sarhangi, *Bridges: Mathematical Connections in Art, Music, and Science* (pp 105–112). Bridges Conference.
- _____. (2005). Islamic star patterns from polygons in contact. *Proceedings of Graphics Interface 2005*, 177–185.
- _____. (2017). Interwoven Islamic Geometric Patterns. in D. Swart, C. H. Séquin, & K. Fenyvesi (editors), *Proceedings of Bridges 2017: Mathematics, Art, Music, Architecture, Education, Culture* (pp 71–78). Tessellations Publishing.
- Kaplan, C. S., & Salesin, D. H. (2004). Islamic star patterns in absolute geometry. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 23(2), 97–119. <https://doi.org/10.1145/990002.990003>
- Lee, A. J. (1987). Islamic Star Patterns. *Muqarnas*, 4, 182. <https://doi.org/10.2307/1523103>
- Lee, J.-Y., Kim, S.-W., & Jeon, Y.-C. (2015). Study of the control of geometric pattern using digital algorithm (with focus on analysis and application of the Islamic star pattern). *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015.
- Roelofs, R. (2010). About Weaving and Helical Holes. in G. W. Hart & R. Sarhangi (editors), *Proceedings of Bridges 2010: Mathematics, Music, Art, Architecture, Culture* (pp 75–84). Tessellations Publishing.
- _____. (2016). The Elevation of Coxeter's Infinite Regular Polyhedron. in E. Torrence, B. Torrence, C. Séquin, D. McKenna, K. Fenyvesi, & R. Sarhangi (editors), *Proceedings of Bridges 2016: Mathematics, Music, Art, Architecture, Education, Culture* (pp 33–40). Tessellations Publishing.
- Stephan, S., Sanchez-Alvarez, J., & Knebel, K. (2004). Reticulated Structures on Free-Form Surfaces. *ReserchGate*. https://www.researchgate.net/publication/228563882_Reticulated_Structures_on_Free-Form_Surfaces
- Tedeschi, A., & Andreani, S. (2014). *AAD, Algorithms-aided Design: Parametric Strategies Using Grasshopper*. Le Penseur Publisher. <https://books.google.com/books?id=VWPcoQEACAAJ>



Presenting a Method for Transferring Iranian Knots onto Freeform Surfaces (Case Study: Dah Tond Knot)

Hamed Hayati* Hasan Akbari** Marzieh Moradi***

Abstract

Geometry is the main characteristic of traditional Iranian-Islamic architecture and art. It can be said that all the decorations seen in traditional architecture in stucco work, brickwork, or tile work are based on geometric rules. This geometry is entirely based on two-dimensional drawing rules; and can also be implemented with a simple ruler and compass. Although such geometries are drawn with simple tools, they possess such complexity and creativity that they have formed a valuable collection of geometric drawings. One of these collections is the various types of Islamic knotwork. In many inscriptions and architectural ornaments, there is a trace of knotwork. Despite the development of drawing tools and methods in the present era, fewer methods have been presented for drawing or transferring this knot on a non-flat surface, especially surfaces and planes with a freeform. Now, the question is, by what method can knots be drawn and transferred onto freeform surfaces? Based on this question, the present research aims to present a method for the modular transfer of a knot to freeform surfaces by converting the drawing logic of the Dah Tond knot into the language of algorithms. This method, by creating a correspondence between the two-dimensional domain of the knot module plane and the freeform surface, specifies the position of points on the source plane and places its corresponding point on the destination surface. Finally, the Dah Tond knot module is transferred to the freeform surface and will have the ability to be duplicated or changed simultaneously. On the other hand, each module transferred onto the freeform surface can function separately. By defining a separate variable for each, the geometry of each knot module has the ability to be controlled and changed.

Keywords: Dah Tond knot, Grasshopper, Freeform surface, Parametric drawing.

* Assistant Professor, Department of Architecture, University of Qom, Qom, Iran.

** Master of Architecture, Department of Architecture, University of Qom, Qom, Iran.

*** Master of Architecture, Department of Architecture, University of Qom, Qom, Iran (Corresponding Author).
marzieh