نشریه هنرهای زیبا- هنرهای تجسمی ● شماره ۵۰ ● تابستان ۱۳۹۱

مقایسه نظم شبه تناوبی شاه‌گره با ساختار شبه بلوری سیلیکون

صاحب‌محمدیان‌منصور*[۱]، سینافرامرزی[۲]

[۱] عضو هیئت علمی دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

[۲] دانشجوی کارشناسی معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۲/۳، تاریخ پذیرش نهایی: ۹۱/۳/۷)

چکیده

تزئینات در هنرهای اسلامی به طور کلی به سه قسم گیاهی، هندسی و کتیبه‌ای قابل تقسیم است. تزئینات هندسی را در ایران گره چینی یا گره سازی می نامند. در این مقاله به بررسی، کشف و توصیف ساختار هندسی گره چینی و مقایسه نظم موجود در آن با نظم موجود در ساختار های طبیعی بر مبنای روش تحقیق توصیفی پرداخته شده است و این فرضیه را مطرح می سازد که علت تشابه میان برخی اجزای معماری سنتی با بعضی ساختارهای طبیعی، تقلید عینی از طبیعت نیست، بلکه رجوع و وقوف معماران سنتی به قدر و هندسه و اصولی است که مبنای شکل گیری مخلوقات عالم نیز می باشند. به جهت اثبات فرضیه تحقیق ابتدا به بررسی ادبیات و پیشینه تحقیق پرداخته شده و در این راستا تاریخچه گره چینی، انواع گره چینی و روش های ترسیم گره و شیوه های گسترش هندسی گره چینی را مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت نیز به مقایسه نظم شبه تناوبی موجود در گره های خود متشابه (شاه گره) با نظم شبه تناوبی شبه بلور ها پرداخته شده است. و در این مقایسه، نمونه موردی گره های خود متشابه، شاه گره ایوان غربی مسجد جامع اصفهان و نمونه موردی شبه بلور ها، ساختار شبه بلور عنصر سیلیکون در نظر گرفته شده است.

واژه‌های کلیدی

هندسه، گره چینی شبه تناوبی، شاه گره، شبه بلور، سیلیکون.

*نویسنده مسئول: ۰۸۱۱-۴۲۲۰۴۶۵، نمابر: ۰۸۱۱-۴۲۲۷۸۵۲، E-mail: mansoor@basu.ac.ir.

مقدمه

هندسه در دنیای سنت جایگاهی ویژه و ممتاز داشته است به طوری که در علوم و معارف دینی نیز بر اهمیت آن تاکید شده است. خداوند متعال در قرآن کریم می فرماید: "و ما ننزله الا به قدر المعلوم" (حجر، ۲۱). بر اساس تفسیر علمای دین، قدر در کلام الهی به معنی هندسه است (ندیمی، ۱۳۷۸، ۳۰۷) و بنابراین آنچه که از معنای آیه مستفاد می شـود اینست که، خلق خداوند دارای هندسه و اندازه معلوم است. این مطلب به طور ضمنی اشاره به قدسیت حساب و ریاضیات و هندسه در جهان بینی اسلامی دارد و بنا به نظر اندیشمندان اسلامی تقدس ریاضیات و هندسه در هیچ جا بیشتر از هنر ظاهر نشده است، در هنر ماده به کمک هندسه و حساب شرافت می یابد(Nasr, 1976, 75) .

هندسه دستمایه اصلی معماران ایرانی در خلق آثار معماری بوده اسـت به طوری که به اعتقاد بعضی اندیشـمندان نظیر گلوم بک و ویلبر؛ هندسی کردن طرح، سازه، تزئینات و فضا نیروی وحدت بخش معماری دوره تیموری است. هندسه در معماری [ایرانی] دوره تیموری تنها ابزاری برای نیل به مقصودی نیسـت، بلکه خود مقصود اسـت. هندسه معنایی نهفته در این معماری و قاعده ای زیباشناختی برای آن است(نجیب اوغلو، ۱۳۷۹، ۵۸). مطالعاتی که در سال های اخیر روی رابطه میان ریاضیات و هندسه و هنر ایرانی صورت گرفته است حاکی از این است که هنرمندان مسلمان ایرانی در قرون میانی پیشرفت های شگرفی در ریاضیات و هندسه داشته اند.

هندسـه همچنین موضوع رسـائل علمی بسـیاری بوده اسـت. دانشمندانی نظیر فارابی در احصاء العلوم در تقسیم بندی علوم سنتی، معماری و مکانیک (علم الحیل) را ذیل هندسه عملی و هندسه را نیز ذیل علوم ریاضی طبقه بندی نموده اند و این نشـانگر جایگاه ممتاز ریاضیات و هندسه در علوم سنتی است(نجیب اوغلو، ۱۳۷۹، ۱۸۸). این جایگاه ممتاز موجب شده است تا هندسه به عنوان موضوعی مستقل در کتب و رسائلی نظیر "فی ما یحتاج الیه العمال و الصناع من الاشکال (اعمال) الهندسیه" تالیف ابوالوفای بوزجانی و "مفتاح الحساب" تالیف غیاث الدین جمشید کاشانی مورد بررسی قرار گیرد.

در ایـن پژوهش بـه جهت اثبات میزان تسـلط و وقوف معماران سـنتی بر مباحث هندسی، نظم و هندسه بسیار پیشرفته موجود در گره چینی‌های اسلامی، که از طرفی نیز با ساختار شبه بلور ها مشابهت دارد، مورد بررسی قرار می گیرد. با اثبات وجود نظم شبه تناوبی در گره چینی های اسلامی، این سوال مطرح است که؛ آیا این نظم از طبیعت تقلید شـده یا ظهور آن منشاء دیگری دارد؟ و بطور کلی هدف از این پژوهش روشن نمودن اهمیت مبحث هندسه، به عنوان یکی از اصول اساسـی حاکم بر خلق جهان هستی و طراحی آثار معماری است که متاسفانه در معماری معاصر ما بسیار کم رنگ و بی فروغ است.

۱) تاریخچه گره چینی

تزئینات[1] در هنرهای اسـلامی به طور کلی به سـه قسم گیاهی، هندسـی و کتیبه ای قابل تقسیم است. تزئینات هندسی را در ایران گره چینی یا گره سازی می نامند و معمولاً ترکیبی است از شمسه[2]ها و آلت‌های چند ضلعی که در ترکیبی موزون با یکدیگر قرار گرفته اند.

معمولاً خاستگاه تزئینات هندسی را در معماری اسلامی شمال و شمال غرب ایران و توران (آسیای مرکزی) در قرن چهارم هجری قمـری می دانند و می گویند از آنجا به غرب رفته اسـت (نجیب اوغلو، ۱۳۷۹، ۱۳۷).

محققانی چون ارنسـت دایز و اکتای اسلاناپا و سلجوق ملایم، انتشار نقوش هندسـی را به ترکان صحرا نشین نسبت می دهند (نجیب اوغلو، ۱۳۷۹، ۱۳۸).

اپهام پوپ بر خلاف نظر ایشـان اسلوب هندسی عصر سلجوقی و یـا همان گره چینی را، ابداعـی ایرانی می داند تا ترکی (نجیب اوغلو، ۱۳۷۹، ۱۳۸).

از آنجا که در بین محققان اتفاق نظر در مورد منشاء ظهور تزئینات هندسـی وجود نـدارد و ارائه نظر در این مـورد خود نیاز به پژوهش تاریخی مفصلـی دارد، لذا نگارندگان در ادامه فقط به ذکر تعدادی از اولین نمونه‌های یافت شده در معماری اسلامی اکتفا می نمایند.

● تزئینات مسجد ری (قرن سوم و چهارم)

در کتیبه‌های به جا مانده از دیوار مسجد ری، که هم اکنون در موزه ملی نگهداری می شود، گره‌های ۶، ۸ و ۱۰ قابل تشخیص است و با توجه به آلات غیرمعمول گره ها، قدمت و ابتدایی بودن آنها به خوبی مشهود است. گره ۱۰ بکار رفته در مسجد ری را می توان قدیمی ترین گره ۱۰ شناخته شده در تاریخ گره چینی دانست.

● مقبره امیر اسماعیل سامانی (نیمه اول قرن چهارم)

این بنا در نیمه اول قرن چهارم هجری قمری در شهر بخارا احداث گردیده و مدفن بنیانگذار سلسـله سامانیان است. اگر چه در این بنا گره چینی خاصی دیده نمی شود اما تزئینات آجری هندسی موجود در آن شباهت‌هایی با گره چینی دارد و می تواند ریشه‌های اولیه گره چینی باشد.

● تزئینات روی ستون‌های مسجد جامع نائین (قرن چهارم)

ستون‌های مدور مجاور قبله در مسجد جامع نائین در قرن چهارم هجری سـاخته شده اند(حاجی قاسمی، ۱۳۸۳، ۱۱۰). البته با توجه به مشابهت تزئینات بخش مجاور قبله با تزئینات منقور سامرایی، به نظر می رسـد که این تزئینات قدمت بیشـتری داشته باشند. در هر صورت نمونه هایی از شمسه‌های ۸ ضلعی در تزئینات روی ستون‌ها و کتیبه‌های این مسجد وجود دارد.

● تزئینات مسجد سرمج کرمانشاه (نیمه دوم قرن چهارم)

در تزئینات کتیبه ای مسـجد سرمج کرمانشـاه مربوط به دوران حسـنویه برزکانی بین سال‌های ۳۴۸-۳۶۹ هجری قمری نیز گره ۶

کاملی به چشم می خورد (آزاد،۱۳۸۱، ۹۸).

● مقبره عرب عطا (نیمه دوم قرن چهارم)

مقبره عرب عطا بنایی قراخانی در تیم ازبکستان است که در ۳۷۶ هجری قمری ساخته شده و دارای گره چینی‌های ۶ کاملی است (نجیب اوغلو، ۱۳۷۹، ۱۳۸).

● سر در مسجد جورجیر (نیمه دوم قرن چهارم)

مسجد جورجیر به دستور صاحب کافی الکفاه ابوالقاسم اسماعیل بن عباد وزیر دو تن از سلاطین آل بویه در نیمه دوم قرن چهارم هجری قمری ساخته شده است. از این بنا امروزه تنها سر دری باقی مانده که در قسمت شمال غربی مسجد حکیم قرار گرفته است. این بنا نقش‌های مستقیم الخط ساده ای دارد که هر چند در آن هیچ نشانی از ستاره‌ها و چند ضلعی‌های در هم تنیده که شاخصه اسلوب گره است دیده نمی شود اما به نظر می رسد می تواند جزء نمونه‌های اولیه گره چینی باشد.

● برج‌های خرقان (نیمه دوم قرن پنجم)

برج‌های آرامگاهی خرقان در آبگرم قزوین قرار دارد و در سال ۴۶۰ و ۴۸۶ هجری قمری ساخته شده اند. در این دو مقبره نیز نمونه هایی متکاملی از گره چینی‌های ۶ و ۱۲ در هم تنیده و بافته ای وجود دارد.

● مسجد جامع اصفهان (نیمه دوم قرن پنجم)

تزئینات هندسی گره چینی در مسجد جامع اصفهان، پایتخت سلجوقیان نیز به کار برده شده است و از آن بعد پیوسته در بناها و منارهای آجری ممالک سلجوقی به کار رفته است.

۲) انواع گره چینی

یکی از خصوصیات بارز گره که موجب شده است در طول تاریخ هزار ساله خود زنده و پویا بماند، خاصیت زایندگی و تنوع پذیری آن است. چنانکه گفته شده است گره هفتاد و دو بطن دارد که از درون یکدیگر زایش یافته و گره هایی نو را به وجود می آورند. گره در دوره‌های مختلف تاریخ ایران و سایر کشورهای اسلامی دارای انواع و گونه‌های فراوانی گشته است به طوری که ذکر تمامی انواع آن تقریباً غیر ممکن است. از جمله مهم ترین گره‌ها در حوزه جغرافیایی ایران می توان به گره کند، گره تند، گره شل، گره کند وشل، گره تند و شل، گره در گره و شاه گره اشاره کرد، البته گونه‌های بسیار دیگر نیز وجود دارد که به جهت رعایت اختصار از ذکر آنها خودداری می کنیم. علاوه بر تقسیم بندی یاد شده گره‌ها را بر اساس نوع شمسه‌های بکار رفته در آن نیز طبقه بندی می کنند، گره‌های ۶، ۸، ۱۰، ۱۲ و ... همچنین گره‌های چند زمینه ای که دارای شمسه‌های گوناگون هستند (رئیس زاده، مفید، ۱۳۷۴، ۱۴۲).

در این مقاله به منظور شناخت نسبی از ساز و کار گره فقط به معرفی اجمالی گره کند ۱۰ و بعضی از انواع آن می پردازیم.

۲-۱) گره کند ۱۰

گره کند به گره ای گفته می شود که از آلات مخصوص گره کند، که عبارتند از: سرمه دان، پنج کند، طبل، ترنج و شمسه ۱۰ ضلعی (رجوع کنید به رئیس زاده، مفید، ۱۳۷۴، ۱۴۵) تشکیل شده باشد. با توجه به ویژگی‌های این آلات که همگی از نظر اندازه، نسبت هایی از عدد طلایی و از نظر زوایا نیز نسبتی از ۳۶ درجه می باشند، قابلیت انطباق و ترکیب بسیار زیادی بین این آلات وجود دارد. این مسئله سبب می شود که بی نهایت امکان چیدمان متفاوت بین این آلات بوجود آید. از جمله گره‌های کند که توافق بیشتری بر روی نام آنها وجود دارد می‌توان به گره کند دو پنج، گره کند طبل قناس، گره کند سرمه دان و گره کند سرمه دان چهار شمسه اشاره کرد.

۳) روش‌های ترسیم گره

سال‌های متمادی بسیاری از ریاضیدان‌ها و تاریخ دانان هنری فعالیت‌های زیادی جهت شناخت ساز و کار و رموز گره انجام داده‌اند و تکنیک‌های زیادی نیز برای رسم گره چینی پیشنهاد نموده‌اند که همگی نیز تاحدودی و برای اقسام خاصی موفق می‌باشند (Kaplan,2002,47).

تقریباً آنچه که در تمام روش‌های ترسیم، چه در شیوه‌های تاریخی و چه در شیوه‌های ابداعی محقیق معاصر مشترک است وجود یک شبکه زیر ساختی[۳] است که برای رسم گره از آن استفاده می شود.

در ادامه به دو روش اصلی ترسیم گره که عمومیت بیشتری در میان پژوهشگران دارند می پردازیم. روش اول، شبکه زیر ساختی شعاعی با دوایر هم مرکز نام دارد که به اختصار آن را روش **شبکه زیر ساختی شعاعی** می نامیم و روش دوم، شبکه زیر ساختی چند ضلعی‌های مرتبط نام دارد که به اختصار آن را **شبکه زیرساختی چندضلعی** می نامیم.

۳-۱) شبکه زیرساختی شعاعی

قبل از توضیح در خصوص روش ترسیم شبکه زیر ساختی شعاعی، در مورد تاریخچه این روش و افرادی که روی این روش به مطالعه پرداخته اند مطالبی را ذکر می نماییم.

نخستین بار پریس دوان از ارتباط مستقیم کتاب اعمال الهندسه[۴] ابوالوفای بوزجانی (۳۸۸-۳۲۸ ه. ق) با نقوش هندسی اسلامی سخن گفت (نجیب اوغلو، ۱۳۷۹، ۱۸۲). این ارتباط مربوط است به رساله‌ای منضم به کتاب بوزجانی که " فی تداخل الاشکال المتشابهه و المتوافقه" نام دارد[۵]. این رساله قدیمی ترین متن کاربردی موجود در خصوص روش ترسیم گره‌های دو بعدی است و روش ارائه شده در آن روش شبکه زیر ساختی شعاعی با دوایر هم مرکز می باشد (جذبی، ۱۳۸۳، ۹۱).

در طومارهای تاشکند (منسوب به یک معمار ازبک [ایرانی] اهل بخارا) مربوط به قرن دهم نیز از هر دو روش همزمان استفاده شده است.

در طومارهای منسوب به میرزا اکبر متعلق به قرن سیزدهم و چهاردهم نیز از روش شبکه زیر ساختی شعاعی استفاده شده است. آرچیبالد اچ. کریستی، در کتاب روش‌های سنتی طراحی نقش، در باب طومار میرزا اکبر می گوید: نقوش متشکل از ستاره‌ها و چند ضلعی‌های

در هم تنیدۀ طومارهای میرزا اکبر به وسیله تعدادی دوایر هم مرکز ترسیم شده که آنها را با شعاع هایی تقسیم و منظومه پیچیده ای از تقارن شعاعی ایجاد کرده اند(نجیب اوغلو، ۱۳۷۹، ۲۹).

روش شبکه زیرساختی شعاعی همچنین روش غالب و مرسوم در رسم گره در کتب متاخر فارسی؛ نظیر: احیاء هنرهای از یاد رفته(رئیسیان، مفید)، گره چینی (حسین زمرشیدی)، گره و کاربندی (اصغر شعرباف) نیز هست. روش شبکه زیر ساختی شعاعی توسط محققین غیر ایرانی ذیل نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

برانکو گرونبام[۶] ۱۹۲۹، پروفسور ریاضی دان دانشگاه واشنگتن به همراه شِپرد[۷] نیز در کتاب ،Tilling's & Patterns، مطالعاتی روی استخراج هندسه زمینه طرح انجام داده و روی روشی مشابه روش شبکه زیر ساختی شعاعی کار نموده اند(Kaplan, 2002, 49).

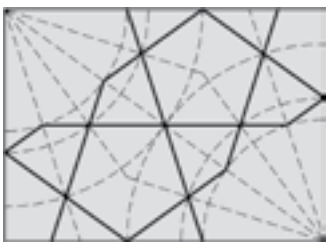
عصام السعید و عایشه پارمان در کتاب نقش‌های هندسی در هنراسلامی نیز بر مبنای روش شبکه زیر ساختی شعاعی عمل نموده‌اند و برای این روش نیز تعبیرات عرفانی ارائه نموده اند.

اریک بروک[۸] نیز در کتاب نقوش هندسی اسلامی، روشی مشابه روش شبکه زیر ساختی شعاعی را مطرح نموده است (بروک، ۱۳۸۷، ۱۰۰).

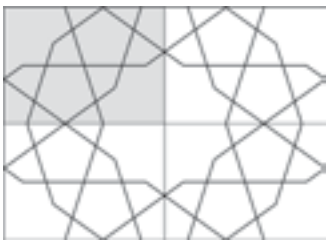
۳-۱-۱) روش رسم (گره کند دو پنج)

ابتدا شبکه زیر ساختی گره در ربع یک زمینه کامل (واحد تکرار یا واگیره)[۹] از گره، ترسیم می شود (رجوع کنید به رئیس زاده، مفید، ۱۳۷۴، ۱۴۵). لازم به ذکر است که در این روش، شروع رسم از زوایای قائمه ای صورت می گیرد که مراکز شمسه هاست، به عبارت دیگر، این روش رسم، وابسته به وجود شمسه می باشد. سپس گره را روی آن ترسیم می نمایند (تصویر ۱).

با رسم سه چهارم دیگر از این گره یک زمینه کامل (واحد تکرار یا واگیره) آن را رسم می نماییم و با تکرار این واحد تکرار می توانیم گره را تا جایی که می خواهیم بسط دهیم (تصویر۲).



تصویر ۱- رسم گره (کند دو پنج) روی شبکه زیر ساختی شعاعی با دوایر هم مرکز.



تصویر ۲- یک زمینه کامل (واحد تکرار یا واگیره) از گره.

۳-۲) شبکه زیر ساختی چند ضلعی

در این روش نیز قبل از توضیح در خصوص روش ترسیم شبکه زیرساختی چند ضلعی، در مورد تاریخچه این روش و افرادی که روی این روش به مطالعه پرداخته اند مطالبی را ذکر می نماییم.

در سال ۱۹۰۵ میلادی ارنست هانبری هنکین در دو حمام در مجموعه کاخی متعلق به قرن دهم هجری (شانزدهم میلادی) در فاتحپور سیکری هند، چندین نمونه نقش هندسی در هم بافته کشف کرد که با کمک شبکه‌های مثلث و چند ضلعی، کمرنگ بر دیوارهای گچی کشیده بودند. هنکین نتیجه گرفت که این شبکه‌های حاصل از چند ضلعی‌های پیوسته را شاید با استفاده از الگوهایی که چون خطوط راهنما برای ایجاد نقش عمل می کرده بر دیوار انداخته باشند(نجیب اوغلو، ۱۳۷۹، ۶۸).

هنکین در مقاله ای تحت عنوان «ترسیم الگوهای هندسی در هنر اعراب» در سال ۱۹۲۵ روش شبکه زیر ساختی چند ضلعی‌های مرتبط را ارائه داد(Hankin, 1925, 8-15). بدین ترتیب هنکین اولین کسی است که این روش سنتی را به دنیای معاصر معرفی کرد.

در طومار توپقاپی، که بنابرنظر خانم نجیب اوغلو متعلق به قرن نهم یا دهم هجری است و در ایران[۱۰] تهیه شده است، برای ترسیم گره از روش شبکه زیر ساختی چند ضلعی استفاده شده است.

در طومار تاشکند (منسوب به یک معمار ازبک [ایرانی] اهل بخارا) مربوط به قرن دهم نیز از هر دو روش بطور همزمان استفاده شده است.

شبکه زیر ساختی چند ضلعی همچنین توسط محققین ذیل مورد بررسی قرار گرفته است.

دیوید وِید[۱۱] در کتابی به نام «نقوش در هنر اسلامی» به بسط روش شبکه زیر ساختی چند ضلعی‌های مرتبط پرداخت و تکنیک نقاط اتصال را در تکمیل این روش ارائه داد.

جِی بونر[۱۲] یک متخصص در زمینه تزیینات معماری اسلامی است و زمان و انرژی بسیار زیادی برای طبقه بندی و طراحی نقوش ستاره ای گذارده است. بونر نیز بر اساس روشی که مشابهت زیادی با روش هنکین (شبکه زیرساختی چند ضلعی‌های مرتبط) دارد کار می کند.

گریک کاپلن[۱۳] دانشیار رشته علوم کامپیوتر دانشگاه واترلو کادانا است وی مطالعات گسترده ای روی گره چینی و تزیینات اسلامی انجام داده است و نتیجه این تحقیقات را در قالب طراحی چندین نرم افزار کامپیوتری گره چینی، از جمله تاپریتس[۱۴] ارائه نموده است. این نرم افزار بر اساس روش شبکه زیر ساختی و تکنیک نقاط اتصال کار می کند.

۳-۲-۱) روش رسم (گره کند دو پنج)

ابتدا شبکه زیرساختی گره مورد نظر را، که در مورد گره کند دو پنج عبارتست از ترکیبی از ۱۰ ضلعی منتظم (شمسه ۱۰) و شش ضلعی پاپیونی شکل، ترسیم می نماییم (تصویر۳).

از هریک از اضلاع شبکه زیر ساختی دو پرتو متقاطع با زاویه θ مطابق تصویر ۴ عبور می دهیم(لازم به ذکر است که برای رسم گره‌های کند، زاویه θ می بایست برابربا ۵۴ درجه می باشد) (تصویر۴).

در روش شبکه زیرساختی چند ضلعی، مهم ترین مسئله نوع

چیدمان شبکه زیر ساختی است. در ادامه بعضی از انواع شبکه‌های زیر ساختی چند ضلعیِ گره کند، که با گذراندن پرتوهای متقاطع از اضلاع آنها گره کند ساختهَ می شود، معرفی شده اند (تصویر ۵).

در انواع شبکه‌های زیر ساختی چندضلعی فوق الذکر اجزای شبکه زیرساختی متشکل سه عضو است که در هرکدام چیدمان خاصی به خود گرفته اند. این اجزا که در تصویر۶ ترسیم شده اند عبارتند از:

۱) ۱۰ ضلعی
۲) شش ضلعی کشیده
۳) شش ضلعی پاپیونی شکل (گیوه)

نکتــه جالب توجهی که موجب افزایش قابلیت‌های این اجزاء می شــود و در مباحث بعدی بدان پرداخته خواهد شد، اینست که؛ این اشکال از تلاقی ۱۰ ضلعی‌های منتظم نیز ایجاد می شوند(تصویر۱۴).

۴) شیوه‌های گسترش هندسی گره چینی

در معماری ایرانی اصولاً به دو شیوه ی تناوبی و شبه تناوبی، گره‌ها را برای پوشــاندن سطوح گســترش می دهند. در روش تناوبی واحد تکرار بر مبنای تقارن انتقالی تکرار می شود اما روش شبه تناوبی فاقد تقارن انتقالی است. این شیوه به نظر می رسد که از ابداعات ایرانیان اســت، چرا که در سایر نقاط نمونه مشابهی ندارد، در معماری سنتی ایران در دو گونه از گره‌ها نظم شبه تناوبی وجود دارد، دسته اول گره در گره و دسته دوم شاه گره نامیده می شوند.

۴-۱) نظم تناوبی

گره چینی با نظم تناوبی چنانکه گفتیم گونه ای از کاشــیکاری است که در آن تقارن انتقالی وجود دارد و در سرتاسر جهان اسلامی عمومیــت دارد. ریاضیدانــان در دنیای غرب تا قبــل از دهه ۱۹۷۰ چنین می پنداشتند که پوشاندن سطح فقط با اشکالی که ۲، ۳، ۴ و ۶ محور تقارن دارند، ممکن است و تصور می کردند که با اشکالی که ۵، ۸، ۱۰و ۱۲ محور تقارن دارند نمی توان سطوح را پوشش داد (Steurer, 2004, 392).

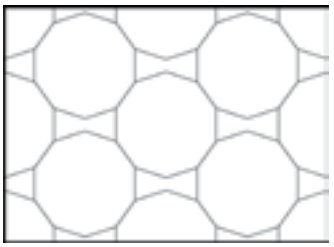
در تصویر ۷ جدولی از اشکالی که با تقارن انتقالی می توانند سطوح را پوشــش دهند ارائه شده است. در ستون واحد تکرار، اشکال؛ لوزی (۲ محور تقارن)، مستطیل (۲ محور تقارن)، مثلث (۳ محور تقارن)، مربع (۴ محور تقارن) و شش ضلعی (۶ محور تقارن) ترسیم شده اند.

در گره چینی‌های با نظم تناوبی نیز چون واحد تکرار مستطیل با ۲ محور تقارن است، با استفاده از تقارن انتقالی و با نظم تناوبی سطح پوشش داده می شود(تصویر ۸).

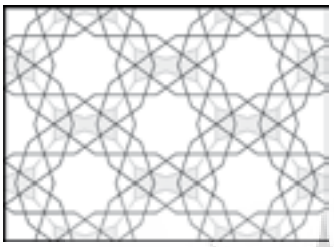
۴-۲) نظم شبه تناوبی

اصولاً پوشــش دادن یک سطح با اشکالی با ۵، ۸، ۱۰و ۱۲ محور تقارن، به شــیوه تقارن انتقالی غیر ممکن است و فضاهایی خالی در کاشیکاری شکل می گیرد.

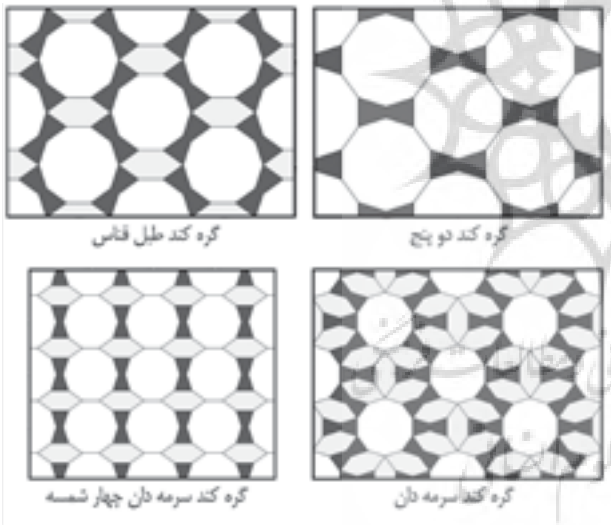
در کاشــیکاری با نظم تناوبی، هرچند که دارای فرم‌های مثلاً ۱۰ ضلعی است، اما مشکل فضاهای خالی با استفاده از اشکالی دیگر حل



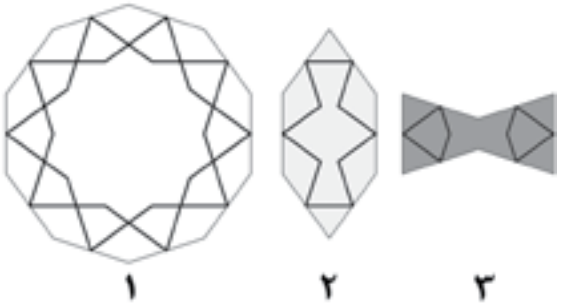
تصویر ۳- شبکه زیر ساختی گره کند دو پنج، متشکل از ۱۰ ضلعی منتظم (شمسه ۱۰)، شش ضلعی پاپیونی شکل (گیوه).



تصویر ۴- عبور پرتوهای متقاطع با زاویه ۵۴ درجه از همه اضلاع شبکه زیر ساختی.



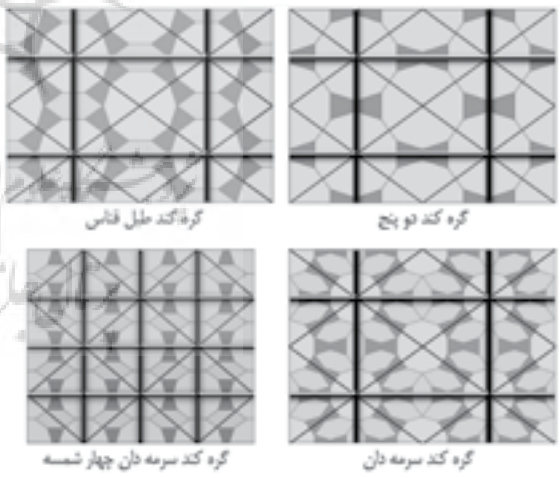
تصویر ۵- شبکه زیر ساختی چند ضلعی چند نمونه از گره‌های کند.



تصویر ۶- اجزاء شبکه زیر ساختی گره‌های کند.

گسترش هندسی با تقارن انتقالی	واحد تکرار	محور تقارن
		۲
		۲
		۳
		۴
		۶

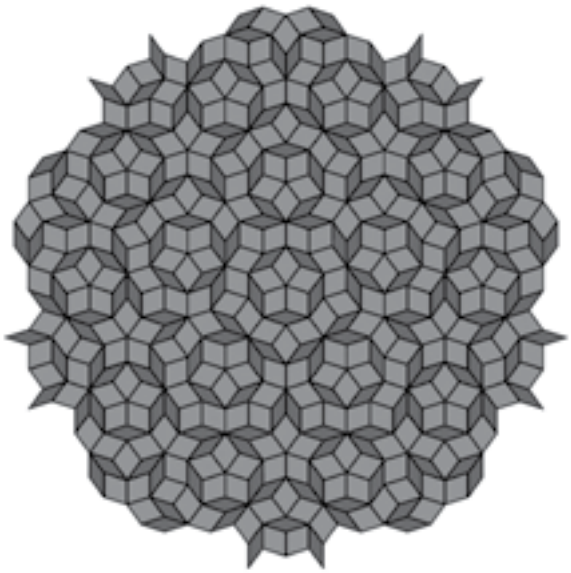
تصویر ۷- نمایش نحوه پوشش سطح توسط اشکالی با ۲، ۳، ۴ و ۶ محور تقارن. در این جدول هر واحد تکرار با یک تقارن انتقالی تبدیل به یک شبکه کاشیکاری شده است.



تصویر ۸- بعضی از انواع گره‌های کند با تقارن دو محوری. واحد تکرار در این گره‌ها می تواند لوزی یا مستطیل باشد که هر دو دارای تقارن دو محوری هستند.

شده است. به عنوان مثال در گره کند دو پنج (تصویر ۳) فضاهای خالی بین ۱۰ ضلعی‌ها با شش ضلعی‌های پاپیونی شکل پر شده است که تقارن دو محوری دارند.

در دهه ۱۹۷۰در ریاضیات گونه از کاشیکاری ارائه شد که می‌توانست بدون تقارن انتقالی کل سطح را پوشش دهد، در دهه ۱۹۸۰ نیز موادی به نام شبه بلور که فاقد تقارن انتقالی بودند کشف



تصویر ۹-کاشیکاری پنروز.

شد. در سال ۲۰۰۷ نیز مسئله وجود نظم شبه تناوبی در گونه ای از گره‌های اسلامی توسط پروفسور پیتر جیمز لو به اثبات رسید.

در ادامه نظم شبه تناوبی را در کاشیکاری شبه تناوبی پنروز، در گره‌های خود متشابه و در شبه بلورها مورد بررسی قرار خواهیم داد.

۴-۲-۱) کاشیکاری پنروز

در سال ۱۹۷۳ راجر پنروز[15] گونه ای از کاشیکاری را با دو کاشی لوزی شکل ارائه داد که می توانست سطح را بدون تقارن انتقالی پوشش دهد این کاشیکاری بعدها به نام کاشیکاری پنروز نامگذاری شد. در این کاشیکاری تقارن ۵ محوری است و به صورت شعاعی توزیع شده است (تصویر ۹).

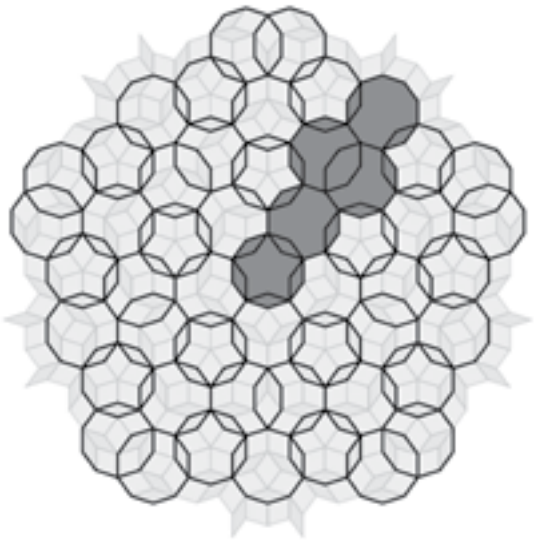
چنانچه گفتیم در نظم تناوبی امکان استفاده از فرم هایی با ۵، ۸، ۱۰ و ۱۲ محور تقارن وجود ندارد، اما در کاشیکاری پنروز می توان چینشی از ۱۰ ضلعی‌ها را روی آن منطبق کرد که کل سطح پوشش داده شود اما با این تفاوت که ۱۰ ضلعی‌ها ممکن است گاهی با هم تداخل پیدا کنند. اصولاً نظم شبه تناوبی بر مبنای همین تداخل واحدهای تکرار امکان پذیر می گردد و به طور کلی نیز در کوتاه برد فاقد تقارن انتقالی است(تصویر ۱۰).

۴-۲-۲) گره‌های خود متشابه (شاه گره)

اگر قسمتی از یک شکل با کل شکل مشابه باشد، آن شکل خود متشابه[16] نامیده می‌شود. خود متشابهی یکی از سه[17] ویژگی اشکال فراکتالی است که در شاه گره، که از انواع گره چینی‌ها در معماری اسلامی است، دیده می شود.

چنانچه هر یک از آلت‌های یک زمینه تند یا کند گره ۱۰ را توسط یک گره کوچک تر کند یا تند یا شل خرد شود، گره چینی بوجود آمده را شاه گره می نامند (رئیس زاده و مفید، ۱۳۷۴، ۱۴۵).

گره‌های خود متشابه (شاه گره) علاوه بر ویژگی فراکتالی دارای نظم شبه تناوبی نیز هستند. آنچه که در مورد کاشی کاری پنروز،



تصویر ۱۰- چیدمان ۱۰ ضلعی‌های متداخل در یکدیگر به صورت شبه تناوبی منطبق بر کاشیکاری پنروز.

در خصوص انطباق ۱۰ ضلعی‌های منتظم گفتیم در گره چینی خود متشابه (شاه گره) ارائه شده در تصویر ۱۱ نیز مصداق دارد.

در این گره چینی کل سطح با آلت‌های گره کند شامل، ترنج، پنج ضلعی، طبل قناس، ســرمه دان و شمسه ده ضلعی و دو آلت گره شل یعنی، شش شل و گیوه، پوشش داده شده است. با رسم شبکه زیرساختی این گره، آلت‌های آن به سه آلت ده ضلعی، شش ضلعی کشیده و شش ضلعی پاپیونی، به علاوه یک لوزی که در زمینه زیر ساختی گره‌های شل ایجاد می گردد خلاصه می شود (تصاویر ۱۲ و ۱۳).

شبکه زیر ساختی ارائه شده در تصویر ۱۳ متشکل از چهار عنصر، ده ضلعی منتظم، شش ضلعی پاپیونی، شش ضلعی کشیده و لوزی می باشد. این چهار عنصر مطابق تصویر ۱۴ از تلاقی ۱۰ ضلعی‌های منتظم ایجاد می گردند.

لذا می توان روی شبکه زیر ساختی شاه گره مذکور (تصویر ۱۳) چیدمانی از ۱۰ ضلعی‌های منتظم منطبق نمود (تصویر ۱۵).

بدین ترتیب می توان با چیدمان شعاعی از ۱۰ ضلعی‌های منتظم، منطبق بر شبکه زیر ساختی شاه گره و با تداخل با یکدیگر کل سطح را پوشش داد. این چیدمان دارای نظم شبه تناوبی است و در کوتاه برد فاقد تقارن انتقالی است.

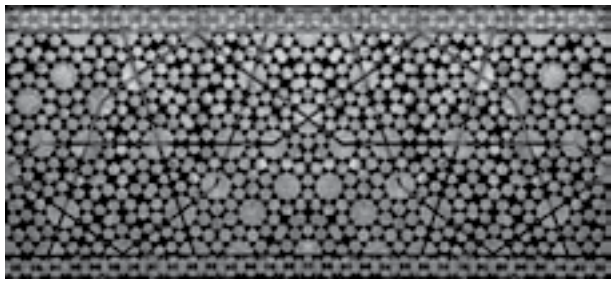
تحقیقات نشــان از آن دارند که طراحان مسلمان [ایرانی] در گره چینی‌های خود متشابه (شاه گره) از نظم شبه تناوبی استفاده کرده‌اند، اما اینکه طراحانِ چنین الگوهای پیچیده ای چه کســانی بوده اند و چگونه توانســته اند چنین مهارت هندسی شــگف انگیزی را بوجود بیاورند هنوز نامعلوم است(Lu, 2007, 1109).

۴-۲-۳) شبه بلور

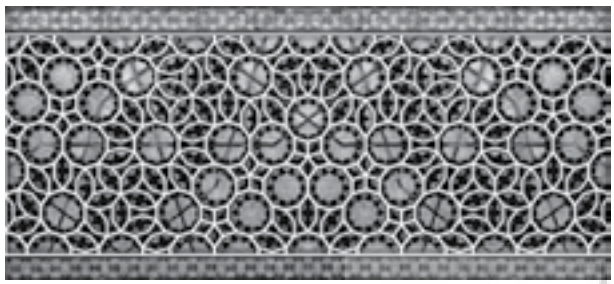
تا دهه ۱۹۸۰ دانشمندان بر این باور بودند که ساختار هر جامدی یا به صورت بلوری است یا به صورت بی ریخت (Steurer, 2004, 392).

الف- بی ریخت یا بی نظم[۱۸]

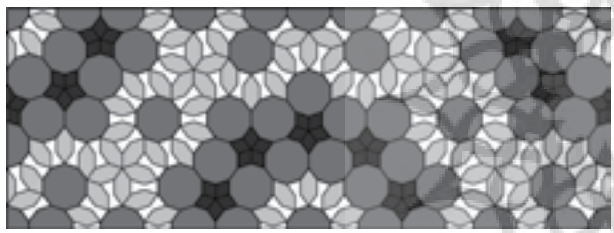
یعنی موادی که دارای آرایش منظم و گسترده ای نیستند و ساختار



تصویر ۱۱- شاه گره، گره کند دو پنج خرد شده بوسیله گره کند و شل مسجد جامع اصفهان، ایوان غربی، صفه استاد.

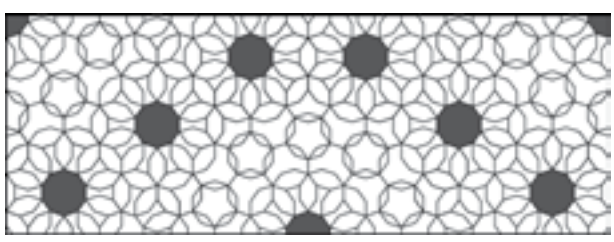


تصویر ۱۲-انطباق شبکه زیر ساختی بر روی گره خود متشابه (شاه گره).



تصویر ۱۳- شبکه زیر ساختی گره خود متشابه (شاه گره) مسجد جامع اصفهان. اجزاء این شبکه زیر ساختی از ده ضلعی، شش ضلعی پاپیونی، شش ضلعی کشیده و لوزی تشکیل شده است.

تصویر ۱۴- ایجاد اجزاء عناصر زیر ساختی شاه گره ایوان غربی مسجد جامع اصفهان با استفاده از ترکیب ۱۰ ضلعی‌های منتظم.



تصویر ۱۵- چیدمانی از ۱۰ ضلعی، با نظم شبه تناوبی، منطبق بر شبکه زیر ساختی شاه گره.

آنان فاقد هندسه و نظام مشخص است. مشهورترین این مواد شیشه و جامداتی است که معمولاً به آرامی و با خمیری شدن ذوب می شوند (William and Sharp, 1983, 45). به این مواد بی‌نظم[۱۹] یا مواد شیشه ای[۲۰] نیز می گویند (Ledermann, 2006, 942).

ب- بلوری یا منظم[۲۱]

خاصیت بلور اینست که ذرات با قاعده سامان می یابند و اگر از نقطه ای دلخواه در جهتی اختیاری حرکت کنیم، پس از طی فاصله‌ای معین به نقطه ای مشابه نقطه اول می رسیم که پیرامون آن با نقطه ی آغازین یکسان است. یعنی به عبارتی تقارن انتقالی (نظم تناوبی) دارند. البته در مواد بلوری این واحد تکرار شونده دارای تقارن ۲ محوری (مستطیلی یا لوزی)، ۳ محوری (مثلثی)، ۴ محوری (مربع) و ۶ محوری (شش ضلعی) می باشد. بلورها بر خلاف اشتباه لفظی حتماً موادی نورگذران نیستند و فلزها، نمک ها، مواد یونی و در کل موادی با ذوب ناگهانی نیز معمولاً دارای ساختار نظام مند هستند (William and Sharp, 1983, 207-209).

تمامی بلورها طبق قانون محدودیت بلور دارای دو شرط اساسی هستند:

- اجزا با تقارن انتقالی فضا را پر کنند یعنی نظم تناوبی دارند.
- تعداد محور تقارن در ساختار بلور ۲، ۳، ۴ و ۶ عدد می باشد (Bamberg et al, 2003,202-209).

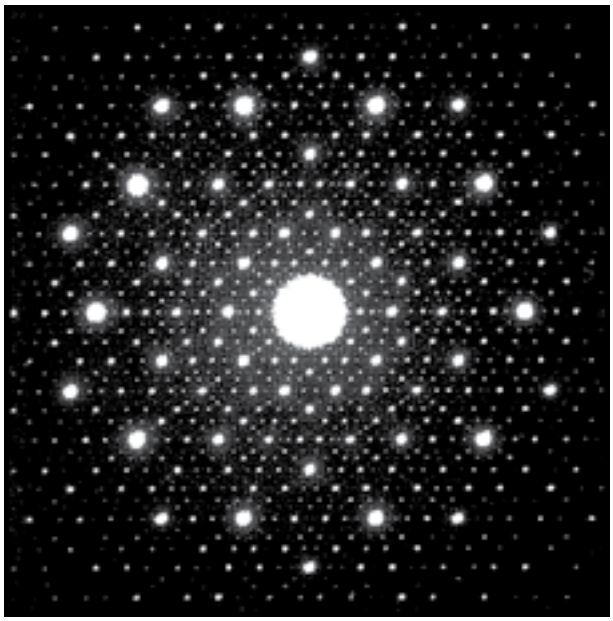
قوانین بلور نگاری که عمدتاً در قرن نوزده تدوین شده، هر تعداد تقارن غیر از ۲، ۳، ۴ و ۶ و شدیداً ۵ و ۱۰ محوری را برای یک ساختار غیر ممکن می دانست(Lu, 2007, 1106). به طوری که اعتقاد بر این بود که"هیچ کس نمی تواند تقارن پنج تایی را در بلورها که کامل ترین و دقیق ترین مخلوقات جهان هستند بیابد"(Weyl, 1952, 63).

دانیل ششمن نخستین بار در ۱۹۸۴ در یک آلیاژ، ساختاری کاملاً منظم را کشف کرد که در آن فضا با تقارن دورانی و با ۱۰ محور تقارن پر شده بود (Shechtman and Blech, 1984, 1951D). کشف او به تغییر نگاه در علم شیمی منجر شده و در ۲۰۱۱ جایزه ی نوبل را دریافت نمود. این مواد جدید شبه بلور[۲۲] نامیده شدند. شبه بلورها دسته ای جدید، از مواد منظم بوده و به طور اساسی دارای دو ویژگی می باشند:

- اجزاء فاقد تقارن انتقالی هستند و نظم شبه تناوبی دارند.
- تعداد محورهای تقارن آنها می تواند ۵، ۸، ۱۰ و ۱۲ محوری باشد(Steinhardt and Ostlund, 1987,1-15).

از ۱۹۸۴ تا کنون صدها شبه بلور گزارش شده و اگرچه بیشتر در آلیاژها این ساختار دیده شده، اما در پلیمرها، ترکیبات آلی و حتی نمونه هایی در سنگ رودخانه ای هم کشف شده است(Bindi, 2009, 1306-1309).

ساختار هندسی بلورها و شبه بلورها با پراش پراگ[۲۳] آشکار می‌شود و میکروسکوپ الکترونی نیز از سطح آنها عکس برداری می نماید. آلیاژهای آلومینیوم تقریباً فراوان ترین مواد شبه بلوری هستند، شبه بلور ده محوری آلومینیوم-نیکل-کبالت با فرمول $AL_{70}Ni_{15}Co_{15}$ یکی از آلیاژهای آلومینیوم است که دارای تقارن ۱۰ محوری می باشد. در



تصویر ۱۶- تصویر پراش پراگ از آلیاژ $AL_{70}Ni_{15}Co_{15}$.
ماخذ: (Hiraga,1991,309)

تصویر پراش پراگ این آلیاژ تقارن شعاعی ۱۰ محوری آن به وضوح قابل رویت می باشد (تصویر۱۶).

با توجه به ساختار شعاعی و ۱۰ ضلعی آلیاژ $AL_{70}Ni_{15}Co_{15}$ انطباق کاملی از نظر هندسی بین این آلیاژ و یک واحد تکرار از گره‌های ۱۰ وجود دارد. گره‌های با نظم تناوبی فقط در محدوده واحد تکرار خود می توانند دارای ساختار شعاعی باشند و بعد از محدوده واحد تکرار، با نظم تناوبی و تقارن انتقالی رشد می نمایند اما آلیاژ $AL_{70}Ni_{15}Co_{15}$ در ساختار رشد یافته خود دارای نظم شبه تناوبی است.

در تصاویر ۱۷ و ۱۸ برای آشکار شدن مشابهت نظم آلیاژ $AL_{70}Ni_{15}Co_{15}$ با ساختار گره‌های ۱۰، یک واحد تکرار از گره کند و تند دو پنج را در مقیاس‌های مختلف بر تصویر پراش پراگ آلیاژ آلومینیم مذکور منطبق نمودیم و مشاهده شد که، در سه مقیاس امکان انطباق گره کند و تند بر ساختار این آلیاژ وجود دارد. این انطباق‌ها بر ما روشن ساخت که هندسه و نظم موجود در گره‌های اسلامی دارای نسبت‌هایی است که از نظم دقیقی که در ساختارهای بسیار متکامل شبه بلوری بکار رفته تبعیت می نماید و نکته دیگری که این انطباق بر ما روشن ساخت، وجود ساختار خود متشابه، در نظم این آلیاژ است که به صورت شعاعی رشد می نماید(تصاویر ۱۷ و ۱۸).

البته همانطور که گفته شد تصویر این آلیاژ در محدوده وسیع تر با ساختار گره‌های با نظم تناوبی انطباق ندارد و ممکن است با ساختار هندسی شاه گره منطبق باشد اما به دلیل عدم وضوح در تصاویر آلیاژ $AL_{70}Ni_{15}Co_{15}$ در محدوده وسیع، از ماده شبه بلوری دیگری برای انطباق بر شاه گره استفاده خواهد شد. که در ادامه به توضیح در مورد آن می پردازیم.

نظم شبه تناوبی موجود در شبه بلورها درهمه ی انواع آنها یک مقیاس نیست، این نظم معمولاً در مقیاس بسیار کوچک چند نانومتر و به ندرت در حدود چند میکرون قابل مشاهده است. از آن جایی که

تصویر ۱۷- انطباق گره کند دو پنج در سه مقیاس مختلف بر تصویر پراش پراگ از آلیاژ $AL_{70}Ni_{15}Co_{15}$.

تصویر ۱۸- انطباق گره تند دو پنج در سه مقیاس مختلف بر تصویر پراش پراگ از آلیاژ $AL_{70}Ni_{15}Co_{15}$.

بررسی این ساختارهای کوچک معمولاً تنها با اشعه الکترونی و پردازش رایانه ای امکان پذیر اســت. لذا در این مقاله برای بررســی و مقایسه موردی، شبه بلور سیلیکون که یکی از بزرگ ترین شبه بلورهایی است که تا کنون شناخته شده را برگزیدیم. این شبه بلور که در نشریه ی Nature گزارش شــده، توسط الکساندرا لدرمان از عنصر سیلیکون ســاخته شده و دارای نظم بسیار بزرگ مقیاسی نسبت به سایر شبه بلورهایی است که تاکنون شناخته شده اند، این مسئله موجب شده امکان تهیه ی تصاویری با نور مرئی و کیفیت بسیار بالا از یک شبه بلور میسر شود(Ledermann, 2006, 942) (تصویر ۱۹).

ســیلیکون با علامت اختصاری Si، عنصری بــا عدد اتمی ۱۴ در خانواده کربن می باشد و دومین عنصر سازنده ی پوسته ی زمین از نظر فراوانی پس از اکسیژن است. این عنصر در طبیعت در ترکیب با اکسیژن به صورت کانی سیلیس درآمده و تقریباً در همه ی سنگ‌ها و خاک‌ها یافت می شــود، به گونه ای که کربن را ســازنده ی جهان زنده(آلی) و سیلیسیم را سازنده ی جهان غیرزنده(معدنی) می دانند.

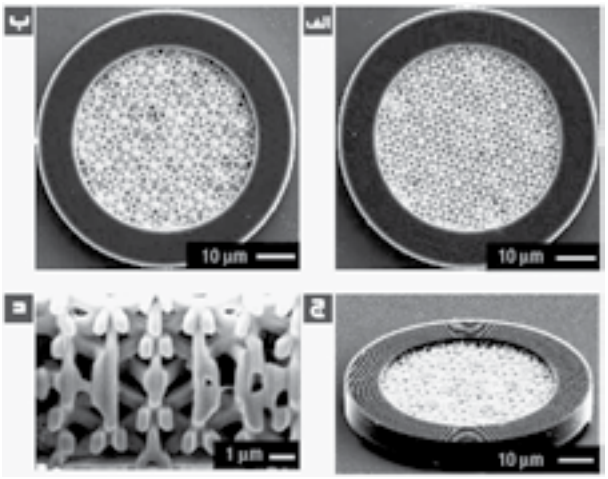
عنصر سیلیسیم هم به صورت بی ریخت (نامنظم) و هم به صورت بلوری در طبیعت موجود می باشــد و اخیراً نیز حالت شــبه بلور آن شناســایی شده است. این عنصر به صورت خالص مهم ترین ماده ی قطعات الکترونیکی است. اکسید ســیلیکون (SiO_2) یا سیلیس در خالص ترین شکل همان عقیق و دُر است و دارای ساختار بسیار منظم بلوری می باشد (William and Sharp, 1983, 207-209).

عنصر سیلیکون در حالت شبه بلوری خود همانند کاشیکاری پنروز و شاه گره دارای واحد تکرار ۱۰ ضلعی است. نحوه چینش ۱۰ ضلعی‌ها در شبکه شبه بلوری سیلیکون شعاعی و به طریقه شبه تناوبی است یعنی ۱۰ ضلعی‌ها با یکدیگر دارای تداخل هستند و بدین ترتیب کل سطح را پوشش داده اند (تصویر ۲۰).

از تداخل ۱۰ ضلعی‌های منتظم در شبکه شبه بلوری سیلیکون، اجزاء شــبکه زیر ساختی گره‌های کند یعنی: شش ضلعی کشیده و شش ضلعی پاپیونی به تعدد تکرار شده اند، البته اجزای دیگری نیز در این تداخل قابل تشخیص است که در شبکه زیر ساختی گره کند موجود نمی باشد.

۵) تشابه هندسی شاه گره با ساختار شبه‌بلور سیلیکون

شاه گره‌ها به دلیل سه خاصیت، خود متشابهی، نظم شبه تناوبی و ساختار ۱۰ ضلعی، با شبه بلورهای ۱۰ ضلعی متشابهند. این تشابه هم در انطباق شــبکه زیرساختی شاه گره بر تصویر شبکه ساختاری سیلیکون به وضوح قابل رویت است و هم در انطباق خود شاه گره بر شبکه ساختاری سیلیکون. در ادامه به منظور بررسی و مقایسه تشابه

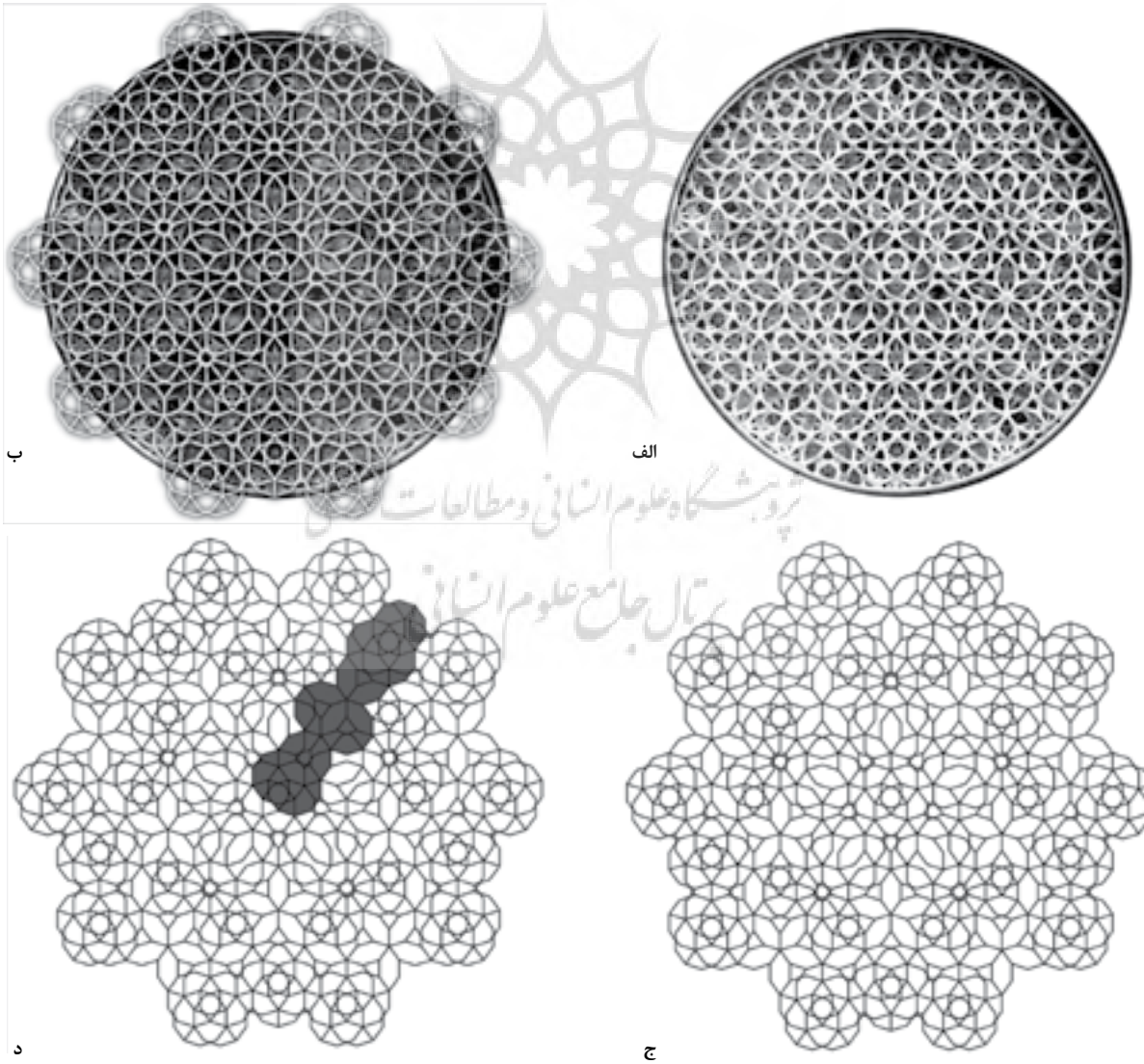


تصویر ۱۹- تصویر الف، اتم مرکزی در مختصات (۰،۰،۰) در مرکز ساختار قرار گرفته است در تصویر ب، مشابه الف اما اتم مرکزی در خارج ساختار قرار گرفته است. تصویر ج، نمایی مایل از تصویر الف و تصویر د، برشی با اشعه یونی از ساختار مشابه را نشان می دهد.
ماخذ: (Ledermann, 2006, 942)

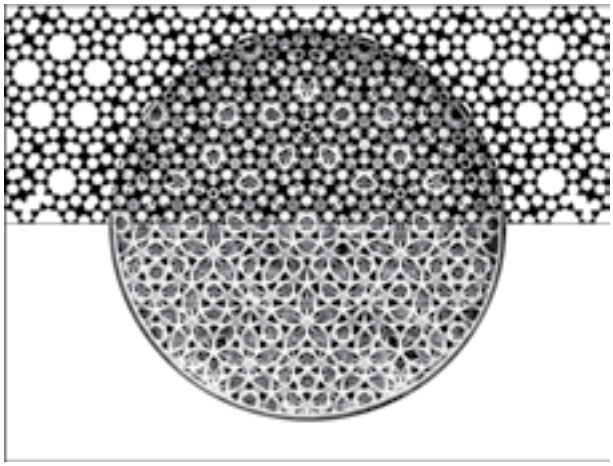
میان شـــاه گره‌ها و شبه بلورها، شاه گره موجود در ایوان غربی (صفه استاد) مسجد جامع اصفهان را، به دلیل زیبایی و دقت فوق العاده در اجرا با شبکه ساختاری شبه بلور سیلیکون مقایسه می نماییم.

با انطباق شاه گره ایوان غربی مسجد جامع اصفهان (تصویر ۱۱) بر ساختار شبه بلوری عنصر سیلیکون چنانکه در تصویر ۲۱ مشهود است، هر دو ساختار در تمامی قسمت‌ها از نظر نظم هندسی و دامنه برد بر هم منطبقند و در بعضی از قسمت‌ها نیز از نظر فرم کاملاً متشابه می باشند.

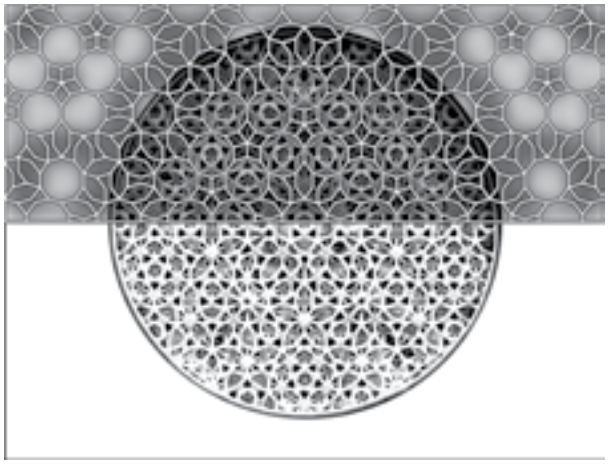
در انطباق شبکه زیر ساختی شاه گره مذکور (تصویر ۱۳) بر ساختار شبه بلوری عنصر سیلیکون نیز چنانکه در تصویر ۲۲ ارائه شده است انطباق بسیار کامل و جالب توجهی هم از نظر برد و دامنه و هم از نظر فرمی در بسیاری از قسمت‌ها برقرار است.



تصویر ۲۰- الف، تصویر عنصر سیلیکون در حالت شبه بلوری- ب، انطباق ۱۰ ضلعی‌های منتظم بر روی ساختار سیلیکون- ج، ترسیم ساختار سیلیکون متشکل از تلاقی ۱۰ ضلعی‌های منتظم- د، نمایش تلاقی ۱۰ ضلعی‌های منتظم با نظم شبه بلوری.



تصویــر ۲۱- انطبــاق شــاه گره ایوان غربی مســجد جامــع اصفهان بر روی ســاختار شبه‌بلوری سیلیکون.



تصویر ۲۲- انطباق شبکه زیر ساختی شاه گره ایوان غربی مسجد جامع اصفهان بر روی ساختار شبه بلوری سیلیکون.

نتیجه

هندســه در دنیای سنت جایگاهی ویژه و ممتاز داشته است و در حوزه‌هــای مختلفی نظیر علوم و معارف دینی، آثار معماری و کتب و رسائل علمی دارای تظاهر و نمود بوده است.

دلیل پرداختن به هنر هندسه در دوره اسلامی را شاید بتوان به دلیل ماهیت مذهبی و دینی هنر اسلامی دانست. چرا که به اعتقاد بعضی محققین تنها روش شایسته برای ارائه تعالی مذهبی در هنر، با ریاضیات و هندسه بلورین امکان پذیر است، ریاضیات در معماری اسلامی و آنچه اصطلاحاً هنرهای تزئینی اسلامی خوانده می شود نقش اساسی دارد، به طوری برخی پژوهشــگران در جهان بینی اسلامی برای ریاضیات نوعی تقدس قائل هستند. بعضی دیگر از متفکرین مسلمان نیز نظیر ابن خلدون برای هندسه ارزش ذاتی قائل بوده اند و آن را صافی ذهن می‌دانستند.

به هر حال دلیل پرداختن به هندسه هرچه که باشد، هندسه یکی از وجوه مشخصه هنر اسلامی-ایرانی است، اما متاسفانه در معماری معاصر ایرانی هندسه دیگر جایگاه گذشته را ندارد و آنچه که معماران تحصیل کرده امروزین در باب هندســه میدانند محدود به هندسه ترسیمی و هندسه مناظر و مرایا می باشد و متاسفانه در مباحث دانشگاهی در باب شناخت هندسه ایرانی- اسلامی سر فصلی وجود ندارد.

آنچه که در مرتبه نخست از این پژوهش دریافت می شود، اینست که، وقوف و تسلط هنرمندان مسلمان بر هندسه، موجب شده است تا هنر ایشان، با کامل ترین و دقیق ترین مخلوقات جهان، یعنی بلورها و شبه بلورها، از نظر هندسی مشابهت بی نظیری بیابد (تصویر ۱۷ و ۱۸). نکته دیگری که این پژوهش بر آن تاکید دارد، اینست که، در طراحی گره‌های خود متشابه(شاه گره) از نظم شبه تناوبی استفاده شده است. یعنی معماران مسلمان ایرانی با مسئله نظم شبه تناوبی ۵۰۰ سال زودتر از دنیای غرب آشنایی داشته اند.

اما چنانچه در فرضیه این تحقیق عنوان شد علت تشابه میان بعضی از اجزاء معماری سنتی با ساختارهای طبیعی، تقلید عینی از طبیعت نیست یعنی به عبارتی روش رجوع به هندسه در نظام معماری سنتی به صورت دیاگرام زیر غیر مستقیم نبوده است.

معماری ← طبیعت ← هندسه (قدر المعلوم)

یافته‌های این تحقیق بر ما روشن ساخت که وجود تشابه حیرت انگیز میان گره چینی با ساختارهای شبه بلوری میکروسکوپی حاصل تقلید از طبیعت نیست، چرا که امکان مشاهده این ساختارهای میکروسکوپی برای معماران سنتی مقدور نبوده است و لذا باید علت این تشابه را رجوع مستقیم معماران سنتی به سرچشمه ای به نام هندسه دانست.

بنابراین معماران سنتی بدون تقلید عینی از طبیعت، بلکه با رجوع و وقوف به قدر و هندسه و اصولی که مبنای شکل گیری مخلوقات عالم نیز می باشند، آثاری را بوجود آورده اند که با طبیعت نیز دارای تشابهاتی خیره کننده است.

پی‌نوشت ها

۱ محقیقیــن غربی در نامگــذاری تزئینات هنرهای اســلامی از واژه عربانه (Arabesque) استفاده نموده اند، که در این مقاله به خاطر عدم وجود دلایل کافی برای اثبات اینکه این تزئینات ریشه عربی داشته باشند، از استفاده از واژه عربانه خودداری نمودیم. نکته جالب توجه اینست که اخیراً محققینی نظیر پروفسور لو برای تزئینات اسلامی هندسی از واژه ایرانی گره (girih) استفاده نموده اند.

۲ شمسه به معنای خورشید و یکی از اجزای اصلی گره چینی است. تاریخ نقوش خورشید گونه در تاریخ معماری بسیار کهن است نقش گردونه مهر یا خورشید یکی از همین نقوش کهن ایرانی است. این نشانه نخستین بار در خوزستان با قدمتی پنج

هزار ساله دیده شده و گواه بر این است که ریشه ای عمیق و ژرف در باورهای ایرانیان داشته است. نقش خورشید در سفال تپه گیان نهاوند در مقابر صخره ای مادی (قیز قاپان) و در هنر هخامنشی زیاد مورد استفاده بوده است.

۳ شبکه زیر ساختی ترجمه ایست از واژه Tiling based که در کتب و مقالات پژوهشگران غربی از آن استفاده شده است.

۴ عنوان کامل کتاب «فی ما یحتاج الیه العمال و الصناع من الاشکال (اعمال) الهندسیه» می باشد.

۵ این رساله بنا بر نظر مولف کتاب هندسه ایرانی (سید علیرضا جذبی) متعلق است به دانشمند و ریاضیدان قرن نهم هجری ابواسحاق ابن عبدالله کوبنانی که پس از ترجه کتاب بوزجانی (اعمال الهندسه) این رساله را بدان منضم نموده است. (جذبی، ۱۳۸۳) اما خانم نجیب اوغلو این رساله را مجهول المولف و متعلق به قرون پنجم تا هفتم می داند(نجیب اوغلو، ۱۳۷۹، ۱۸۲).

6 Branko Grrunbaum.

7 G. C. Shephard.

8 Eric Broug.

۹ یک زمینه کامل گره عبارتست از یک "واحد تکرار" (Repeat unit) که در معماری سنتی "واگیره" نامیده می شود.

۱۰ خانم نجیب اوغلو مولف کتاب هندسه و تزئین در معماری اسلامی، به دلایلی اعتقاد دارد تومار توپقاپی متعلق به ایران دوره تیموری است. از جمله این دلایل می توان به وجود نوعی کاشیکاری برجسته اشاره نمود که فقط در ایران وجود دارد و در نقاط دیگر وجود ندارد، همچنین ظهور مکرر نام‌های دوران یافته علی (ع) و محمد(ص) در طرح‌های طومار توپقاپی است که در ایران بسیار رواج دارد و در بناهای دیگر کشورهای مسلمان بسیار نادر است (نجیب اوغلو، ۱۳۷۹، ۵۰-۵۲).

11 David Wade.

12 Jay Bonner.

13 Craig S. Kaplan.

14 (Taprats)

۱۵ راجر پنروز (Roger Penrose) فیزیکدان و ریاضی دان برجسته انگلیسی است.

16 Self-similarity.

۱۷ تشابه به خود(self-similarity) ، تشکیل از راه تکرار (Iterative formation) و بعد کسری(fractional dimension) سه ویژگی کلی اشکال فراکتالی است.

18 Amorphous.

19 Disordered.

20 Glassy.

21 Crystalline.

۲۲ شبه بلور (Quasicrystal) اختصاری از واژه بلور شبه تناوبی (Quasiperiodic Crystal)می باشد.

۲۳ در اثر برخورد فوتون‌های نور با سطح جامدات طبق مقدار طول موج نور برخورد کننده به سطح جامد و زاویه برخورد آن می‌توان ضخامت لایه منعکس کننده نور را به دست آورد این پدیده را پراش پراگ می گویند. از پدیده پراش براگ در فیزیک سطح استفاده می‌شود.

فهرست منابع:

آزاد، میترا (۱۳۸۱)، *معماری ایران در قلمرو آل بویه*، انتشارات کلیدر، تهران.

بروک، اریک (۱۳۸۷)، *نقوش هندسی اسلامی*، ترجمه بهروز ذبیحیان، انتشارات مازیار، تهران.

جذبی، علیرضا (۱۳۸۳)، *هندسه ایرانی، کاربرد هندسه در عمل*، انتشارات سروش، تهران.

حاجی قاسمی، کامبیز (۱۳۷۵)، *گنجنامه*، دفتر هشتم، مساجد جامع، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، انتشارات روزنه، تهران.

رئیس زاده، مهناز و مفید، حسین (۱۳۷۴)، *احیای هنرهای از یاد رفته*، انتشارات مولی، تهران.

زمرشیدی، حسین (۱۳۶۵)، *گره چینی در معماری اسلامی و هنرهای دستی*، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.

شعرباف، اصغر (۱۳۸۵)، *گره و کاربندی*، انتشارات سازمان میراث فرهنگی کشور، سبحان نور، تهران.

شعرباف، اصغر (۱۳۸۵)، *گزیده آثار استاد اصغر شعر باف*، گره و کاربندی، به اهتمام مهدی مکی نژاد، فرهنگستان هنر، تهران.

نجیب اوغلو، گلرو (۱۳۸۷)، هندسه و تزیین در معماری اسلامی، ترجمه مهرداد قیومی بید هندی، انتشارات روزنه، تهران.

ندیمی، هادی (۱۳۷۸)، *حقیقت نقش*، مجموعه مقالات دومین کنگره تاریخ معماری و شهرسازی ایران، جلد دوم، سازمان میراث فرهنگی کشور، تهران.

نصر، سید حسین، (۱۳۷۵)، *هنر و معنویت اسلامی*، ترجمه رحیم قاسمیان، دفتر مطالعات دینی هنر، تهران.

Bamberg, John, Grant Cairns and Devin Kilminster (2003), The crystallographic restriction, permutations, and Goldbach's conjecture, *American Mathematical Monthly*, vol 110, p202–209.

Bindi, L, Steinhardt, P.J, Yao, N, and Lu, P.J. (2009), Natural quasicrystals, *Science*, 1306–1309.

Golombek, Lisa and Donald Wilber (1988), *The Timurid Architecture of Iran and Turan*, 2 vols, Princeton University press, Princeton.

Hiraga, Kenji (1991), Structure and Structural Change of Al-Ni-Co Decagonal Quasicrystal by High-Resolution Electron Microscopy, *Materials Transactions*, Vol. 32, No. 4, pp 308-314.

Kaplan, Craig (2002), *a dissertation submitted in partial fulfilment of the requirements*, for the degree of Doctor of Philosophy, University of Washington.

Lederman, Alexandra(2006), Three-dimensional silicon inverse photonic quasicrystals for infrared wavelengths, *Nature materials*, VOL 5, pp 942-945.

Lu J. Peter and Paul J. Steinhardt (2007), Decagonal and Quasi-crystalline Tiling's in Medieval Islamic Architecture. *Science*. Vol. 315, pp1106-1110.

Nasr, Syed Hossein, (1976), *Islamic Science: An Illustrated Survey*, World of Islam Festival Publishing, London.

Shechtman, D and I. Blech (1984), Metallic Phase with Long-Range Orientational Order and No Translational Symmetry, *Physical Revieve Letters*, Volume, pp 1951-1953.

Steinhardt J. Paul and Stellan Ostlund (1987), *The Physics of Quasicrystals*, World Scientific Publishing, pp 1-15.