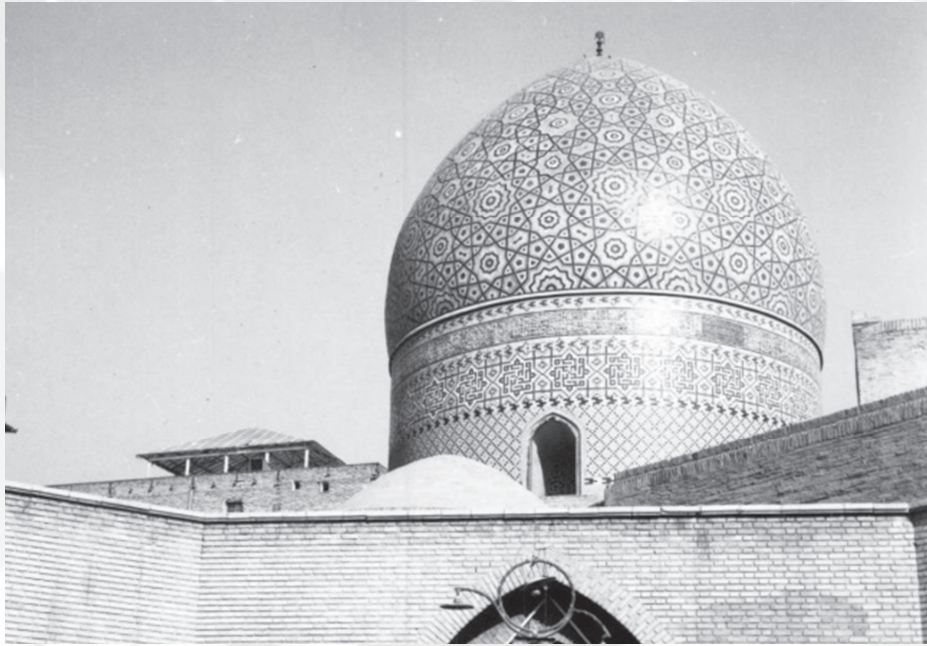




نقش گره بر گنبد



محمد رضا بمانیان

دانشیار دانشکده معماری دانشگاه تربیت مدرس

مجید حیدری دلگرم

دانشجوی دکترای معماری دانشگاه تربیت مدرس

توپقایی که از گره‌هایی است که برای گنبد طراحی شده، سعی می‌شود به روش سنتی طراحی و ترسیم آن پی ببریم و نشان دهیم چگونه استادکار در گذشته، گرهی خاص را برای سطح گنبد طراحی می‌کرد و در پایان کار آن را دست‌گردان می‌کرد و آن را روی سطح گنبد اجرا می‌نمود. همچنین نشان داده می‌شود که چگونه طرح همان گره را با تغییرهایی مختصر متنوع می‌کرد.

واژه‌های کلیدی:

گره، گنبد، هندسه، هندسه کروی، ترسیم، دست‌گردان طومار توپقایی.

مقدمه

گره نوعی نقش هندسی، و متضمن وجوه مختلف است: وجه معنایی، وجه تاریخی، وجه ترسیمی. پرسش این مقاله از وجه ترسیمی گره، با توجه به وجه تاریخی آن است. در این مقاله روش گذشتگان درباره ترسیم گره‌ها بر سطوح کروی گنبد مورد بررسی قرار می‌گیرد.

منابع مطالعه درباره وجه ترسیمی گره‌ها

منابع مکتوب در دسترس ما درباره تحقیق درباره وجه ترسیمی گره‌ها محدودند. تقریباً همه این منابع در دوره معاصر نوشته شده‌اند. روش همه آنها یکسان نیست. با توجه به نویسندگان این تحقیق‌ها و روششان می‌توان آنها را به دو دسته کلی تقسیم کرد.

یک گروه از این تحقیق‌ها را محققانی نوشته‌اند که گره‌های باقی‌مانده از گذشته را با روش‌های هندسی تحلیل کرده‌اند. عمده این تحقیق‌ها را در قرن نوزدهم، محققان غربی انجام داده‌اند. هنوز این گونه تحلیل‌ها ادامه دارد. هدف این تحقیق‌ها دست‌یافتن به روش‌ها یا الگوریتم‌های کلی است که به کمک آنها گره طراحی می‌شده است. بسیاری از روش‌هایی که در این

چکیده:

گره‌ها از نقش‌های هندسی هستند که در معماری ایران بسیار به کار رفته‌اند. این نقش‌ها از جنبه‌های مختلف قابل بررسی‌اند. دو جنبه مهم، جنبه ترسیمی و جنبه تاریخی این گره‌ها است. در این مقاله روشی که گذشتگان برای طراحی گره‌های گنبد به کار می‌بستند و گره‌هایی خاص بودند نشان داده شده است. برای این کار ابتدا روش منابع معاصر مختلفی که به مسئله ترسیم گره‌ها پرداخته‌اند بررسی می‌شود و سپس نشان داده می‌شود آنها درباره روش‌های ترسیم گره‌های گنبد سکوت کرده‌اند. این منابع معاصر با توجه به نویسندگانشان به دو دسته کلی تقسیم شده است. دسته اول تحقیق‌های دانشگاهی است که بسیاری‌شان در قرن نوزدهم و اوایل قرن بیست انجام شده است. دسته دوم کتاب‌های آخرین نسل استادکاران سنتی و شاگردهای آنهاست. هر دو دسته این منابع درباره گره‌هایی که بر سطوح کروی گنبد قابل طرح‌اند سکوت کرده‌اند و دسته اول جز این، به روش سنتی ترسیم و طراحی گره‌ها نیز بی‌اعتناست. در این مقاله با تحلیل نمونه‌ای تاریخی از طومار

دسته معرفی می‌شوند از جنس تقارن و تکثیر و انتقال است و به درستی این روش‌ها را «بلورشناسانه» نامیده‌اند. (نجیب‌اوغلو، ۱۳۷۹: ۹۸-۱۰۱) روش گذشتگان در ترسیم گره‌ها در این دسته از کارها اهمیتی ندارد و تحقیق نمی‌شود. موضوع تکثیر خود نقوش است به هر روشی. در سال‌های اخیر رایانه هم به ابزارهای این دسته از تحقیق‌ها پیوسته است و نقوش را به کمک الگوریتم‌هایی رایانه‌ای تولید می‌کند.

دسته دوم منابعی است که متأثر از آخرین نسل‌های استادکاران معماری است. در بخشی از آموزش‌های آنان در کتاب‌هایی که خودشان یا شاگردان‌شان تألیف کرده‌اند آمده است. کتاب‌هایی که استاد لرزاده و شاگردان‌شان تألیف کرده‌اند و کتاب‌هایی که آموزش‌های استاد شعرباف در آنها آمده است از همین دسته‌اند. عمده روش‌هایی که در این کتاب‌ها معرفی می‌شوند درباره «طراحی» گره به آن معنی که در دسته اول آمده نیستند، بلکه روش ترسیم گره‌هایی هستند که بسیاری‌شان نام و نشان دارند. در جامعه دانشگاهی تمایلی هست که به نظام‌ها یا فرمول‌هایی که گره در آنها طراحی می‌شده (دستور زبان) دست پیدا کنند تا بتوانند در همان نظام هندسی، طرح‌های نو بیندازند. در این دسته کتاب‌ها مستقیماً سرنخ‌های چندانی درباره این نوع طراحی نمی‌یابیم، بلکه برای محققان دانشگاهی بیشتر شبیه نوعی حل‌المسائل گره‌های مختلف، یا نهایتاً مقدمه طراحی گره‌ها (نوایی، ۱۳۹۰: ۱۷۸) به نظر می‌رسند. عمده این راه‌حله‌ها، هم بر مبنای روش‌های هندسی‌ای است که ابزارش از قبیل پرگار و خط کش و دیگر ابزار کارگاهی باشد.

باید تفکیکی که میان این دو دسته منبع هست درک کنیم. یک دسته ادامه سنتی است که میان معماران ایرانی بوده است کمتر مکتوب شده است. (نجیب‌اوغلو، ۱۳۷۹: ۲۲۵) و استادکاران متأخر و شاگردان‌شان برای حفظ روش‌ها مکتوبش کرده‌اند، کار دسته دیگر اساساً کاری جدید است و لزوماً به دنبال یافتن روش یا منش استادکاران در ترسیم گره‌ها نیست، بی‌توجه به وجه تاریخی گره، هدفش تولید این نقوش (نجیب‌اوغلو، ۱۳۷۹: ۹۱) از هر راه تحلیلی یا هندسی یا

اصطلاحاً مهندسی معکوس است. نیاز به تولید چنین نقش‌هایی در اروپای قرن نوزدهم و بیستم احساس شد و البته خود نقش و الگوریتم‌های درونی‌اش مهم بود نه روش ترسیمش. (همان: ۸۷)

نویسندگان	
دسته اول	محققان دانشگاهی و غیر دانشگاهی، که بسیاری‌شان در قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم بودند. هنوز هم محققانی این چنین کارهایی انجام می‌دهند.
دسته دوم	آخرین نسل استادکاران سنتی و شاگردان آنها

مسئله و روش	
دسته اول	مسئله کشف الگوریتم‌های گره‌ها به روش‌های تحلیلی. این روش‌ها را بلورشناسانه نامیده‌اند.
دسته دوم	ادامه سنت طومار نگاری که در میان معماران بوده است. روش‌های هندسی ایشان قابل اجرا با ابزارهای ساده مانند پرگار و خط‌کش است.

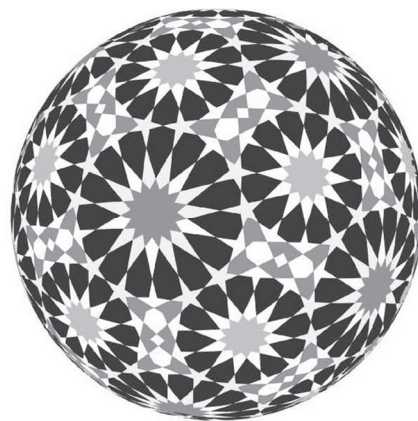
نمونه‌ها	
دسته اول	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Jules Bourgoïn, <i>les arts arabes</i>. Paris: Veuve A. Morel, 1837. ◆ J Collin, <i>Etude partique de la decoration polygonale arabe</i>. Paris: Librarite de la construction Moderne. 1911. ◆ عصام السعید، عایشه پارمان. <i>نقش‌های هندسی در هنر اسلامی</i>. ترجمه مسعود رجب‌نیا. تهران: سروش ۱۳۶۳. ◆ کامبیز نوایی، کامبیز حاجی‌قاسمی. «نقش عجب» در <i>خشت و خیال</i>. تهران: سروش ۱۳۹۰.
دسته دوم	<ul style="list-style-type: none"> ◆ حسین لرزاده. <i>احیاء هنرهای از یاد رفته</i>. ◆ اصغر شعرباف. <i>گره و کاربندی</i>. تهران: سازمان میراث فرهنگی، ۱۳۷۲. ◆ مهناز رییس‌زاده، حسین مفید. <i>احیای هنرهای از یاد رفته</i>. تهران: مولی ۱۳۷۴. ◆ حسین پورنادری، شعرباف و آثارش، تهران: سازمان میراث فرهنگی، ۱۳۷۹.

در این دو دسته منبع، درباره گره‌ها بر سطوح کروی چه آمده است؟

در این بخش بررسی می‌کنیم که در هر کدام از این دو دسته منبع درباره گره‌ها بر روی سطوح گنبد چه گفته‌اند.

در دسته اول منابع، عمده آنچه درباره ترسیم و تکثیر گره گفته‌اند، بیشتر نوع تکثیر این هندسه بر سطوح صاف است. شاید علت کثرت این نوع تحقیق‌ها نوع علاقه اروپاییان در دوره‌های خاصی به این موضوع باشد. مخصوصاً علاقه آنان در اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم به نقوش انتزاعی که بتوان تولید انبوه کرد، مثلاً برای کفپوش یا پارچه یا کاغذ دیواری یا آهنکاری. همه اینها سطوحی صاف بودند که نقوشی برایشان طراحی می‌شد. (نجیب‌اوغلو، ۱۳۷۹: ۹۸)

تنها نمونه‌هایی را که در این دسته یافت شد و در آنها به مسئله‌ای شبیه مسئله گره‌ها بر گنبد توجه شده است نویسنده‌ای به نام کپلان (Kaplan:2004) است که در چند مقاله با تحلیل‌های هندسی به کمک رایانه سعی کرده است روش‌هایی را برای تصویر گره‌ها بر کره‌ها معرفی کند. (تصویر ۱) روش کپلان از دو حیث با روش این مقاله متفاوت است.



تصویر ۱- طرح گره بر سطح کروی (مأخذ: Kaplan, 2004:113)

تفاوت اول این است که این مسئله درباره سطح کروی است که با گنبد متفاوت است. به علت تفاوت مقطع کره با مقطع گنبدهای ایرانی، تفاوت‌هایی در گرهی که بر گنبد نقش

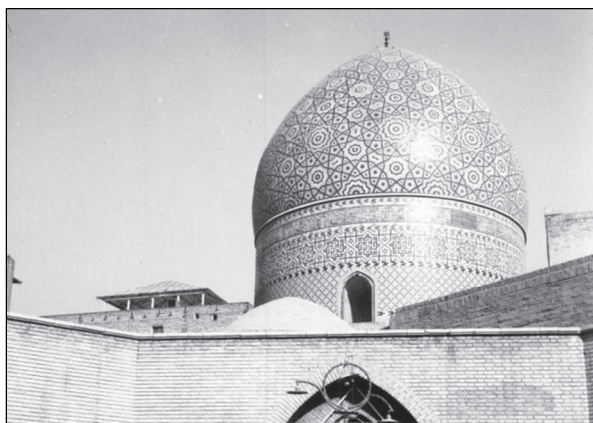
شده است و گرهی که بر کره است خواهد بود و اگر گرهی را که بر کره تصویر می‌شود بر گنبد تصویر کنیم، آلت‌های آن معوج خواهد شد.

تفاوت دوم این است که کپلان به روش ترسیم سنتی توجهی ندارد. در واقع در نوع نگاه این دسته از منابع، مسئله روش ترسیم به کمک ابزارهای هندسی یا روش گذشتگان اصلاً مطرح نیست. آنچه بدان توجه می‌شود قابلیت‌های این نقش‌ها در پوشاندن و پر کردن سطوح است.^۱

در کتاب‌های استادکاران متأخر هم سخن از ترسیم گره‌ها بر سطوح صاف است. روش کار هم معمولاً چنین است که ابتدا زمینه را ترسیم می‌کنند، سپس در آن تقسیماتی ایجاد می‌نمایند و خطوط راهنمایی می‌کشند که در ترسیم نهایی گره کمکشان می‌کند. چنان که پیشتر توضیح داده شد تقریباً همه کارشان را با پرگار و خط‌کش ترسیم می‌کنند.

قابلیت رسم گره بر گنبد

چنان که پیشتر آمد، گره قابل ترسیم بر سطوح کروی گنبد است. نتیجه چنین رسمی ساختار هندسی پیچیده‌ای از حرکت خطوط در فضای سه‌بعدی، است. این ساختار سه بعدی متفاوت با مقرنس و رسمی‌بندی است. نمونه‌هایی از چنین گنبدهایی از دوره‌های مختلف وجود دارد. مثل گنبد مسجد جامع ساوه، گنبد مقبره شاه نعمت‌الله ولی، گنبد امامزاده زید در بازار تهران. (تصویر ۲)



تصویر ۲- گنبد امامزاده زید در بازار تهران. (مأخذ: eiah.org)

مانند تصویر ۴ به دست خواهد آمد که بسته به قوس مقطع و تعداد قطاع‌های گنبد کمی متفاوت خواهد بود. با توجه به مقطع گنبد می‌شود به صورت هندسی این قطاع مسطح را ترسیم کرد. (تصویر ۴)



تصویر ۴- زمینه قطاع گسترده نقش دور گنبد (مأخذ: نگارندگان)

به نظر می‌رسد معمار پیش از آن‌که گره را بر قطاع اصلی رسم کند، نمونه کوچکی از آن را بر زمینه مسطح کاغذ طراحی می‌کرده است. شاهد این ادعا نمونه‌ای است که از طومار توپقاپی سراغ داریم که به نام نقش شماره 10.b شناخته می‌شود. در این بخش از طومار، سه نقش ترسیم شده است زمینه دو نقش کناری مثالی است و نقش وسط زمینه‌ای دارد که همان زمینه تسطیح‌شده قطاع گنبد است. دو نقش کناری نیز چنان که نجیب‌اوغلو پیشنهاد کرده است، طرح مقرنس‌هایی برای زیرقطاع طاق یا منطقه گذار طاق است (نجیب‌اوغلو، ۱۳۷۹: ۳۲۸) و این نیز باز این گمان را که محتمل است نقش وسط مربوط به گنبد باشد تقویت می‌کند. (تصویر ۵)

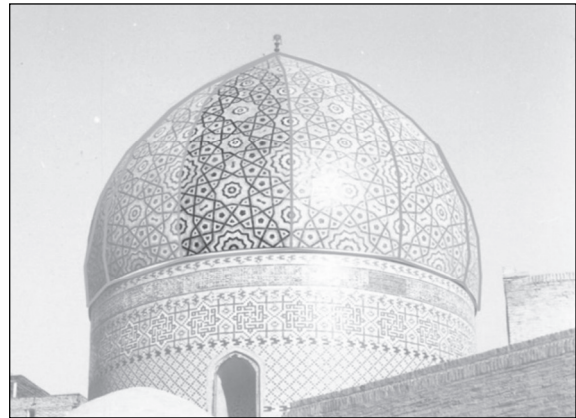
پس از آن‌که این نمونه طراحی می‌شد، قالب معکوسی از یک قطاع گنبد بر زمین می‌ساختند و نقش گره را بر آن قالب ترسیم می‌کردند و کاشی‌ها را قبل از سوار کردن بر گنبد بر این قالب می‌چیدند، و پشت کاشی‌ها ملاط می‌ریختند و قطعه قطعه آنها را بر گنبد می‌چسبانند. (تصاویر ۶ تا ۸)

اما گره را چگونه برای سطح کروی طراحی و نقش می‌کرده‌اند؟

چنان‌که گفتم کتاب‌هایی که مستقیم یا غیرمستقیم حاصل کار استادکاران متأخر است، درباره چنین رسم‌هایی سکوت کرده‌اند. در کتاب‌های تحلیلی هم از روش رسم گره بر گنبد چیزی نگفته‌اند. از آنجا که آموزش‌های استادکاران که به روش سنتی عنایت دارند، مستقیماً ما را هدایت نمی‌کنند، باید با روش تحلیل هندسی شروع کنیم، و سپس با توجه به روش‌های کلی، ترسیمی که استادکاران به کار بسته‌اند و در کتاب‌هایشان برای گره‌های مسطح معرفی کرده‌اند روشی را پیشنهاد کنیم که گره را با همان ابزارها و روش‌ها قابل ترسیم بر گنبد کند. البته نمونه‌ای تاریخی نیز معرفی شده است که روش معرفی شده مقاله قابل سنجش با آن است.

روش رسم گره بر گنبد

برای فهم روش گذشتگان باید از تحلیل گنبدهایی که بر سطح‌شان گره رسم شده است شروع کنیم و سپس حدس بزنیم آنان چگونه آن را رسم می‌کرده‌اند. گره‌هایی که بر گنبدها رسم شده‌اند همواره تکرار یک قطاع به دور گنبد هستند. (تصویر ۳)



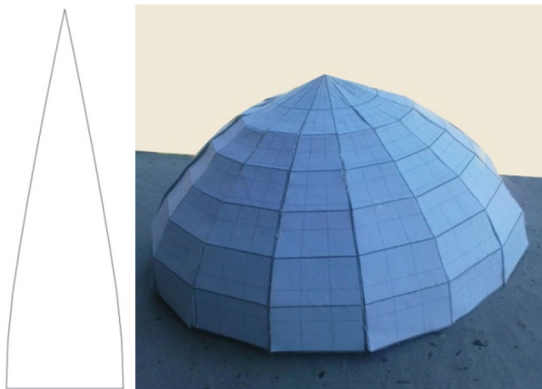
تصویر ۳- قطاع‌های تکرارشونده نقش کاشیکاری گنبد امامزاده زید تهران (مأخذ: Eiah.org)

پس برای شروع کار باید یکی از این قطاع‌ها را باز کنیم. اگر یکی از این از این قطاع‌ها را تسطیح کنیم تقریباً زمینه‌ای

اما باز به سؤال اصلی بازمی‌گردیم، گره را چگونه در این زمینه طراحی می‌کردند؟

مرحله اول ترسیم زمینه است که البته کار ساده‌ای نبود. برای این کار باید تصمیم گرفته شود که نقش چند بار دور گنبد باید تکرار شود.

مثلاً فرض کنیم اگر قطاعش یک شانزدهم گنبد در نظر گرفته شود، پس به کمک مقاطع عمودی و افقی می‌توان گستره یک واگیره یا قطاع را رسم نمود که در واقع زمینه ترسیم گره بود.

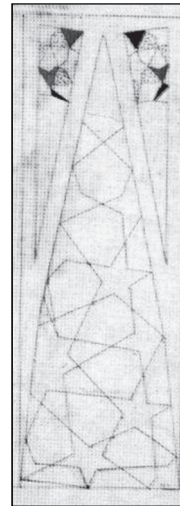


تصویر ۸- شکل گسترده یک واگیره یا قطاع گنبد که از کنار هم قرار گرفتن شان گنبد شکل می‌گیرد (مأخذ: نگارندگان)

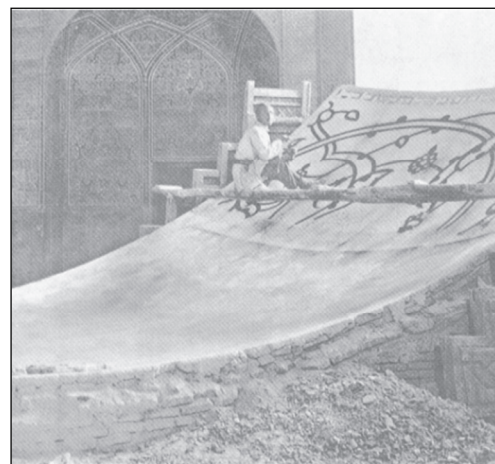
ابتدا گره‌های اصلی را برای زمینه‌های مربع و مستطیل طراحی می‌کردند، و جا دادن آن در زمینه‌های دیگر مستلزم حل مسئله هندسی بود.

از آنجا که موضوع جا دادن گره اصلی در زمینه جدید حل مسئله‌ای هندسی است، برای طرح گره‌های مختلف به روش‌های مختلف باید عمل کرد و روش کلی وجود ندارد. در این مقاله یک روش ممکن معرفی می‌شود.

ابتدا سعی شد روش هندسی‌ای که بر اساس آن نقش قطاع گنبدی که در طومار تویقایی به دست آمده، پیدا گردد. ابتدای کار از یک گره ساده که در زمینه مستطیل ترسیم می‌شود آغاز گردید. (تصویر ۹)



تصویر ۵- بخشی از طومار تویقایی شامل سه نقش. به نظر می‌رسد نقش وسط را برای تصویر بر سطح گنبد طراحی کرده‌اند (مأخذ: نجیب‌اوغلو: ۱۹۳۷)

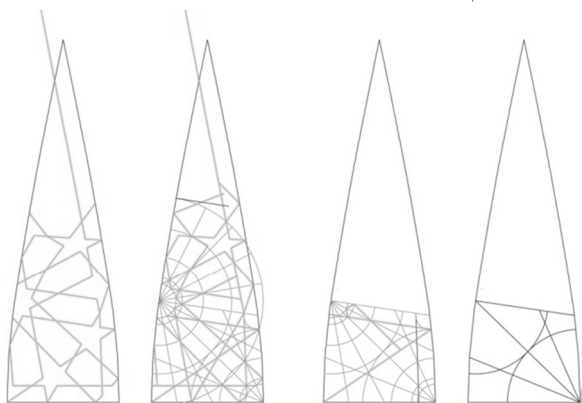


تصویر ۶- ترسیم نقش بر روی قالب (مأخذ: Pope: 1931)



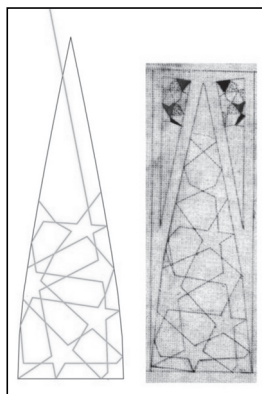
تصویر ۷- قالب معکوس یک قطاع گنبد. (مأخذ: Pope: 1931)

تلاش شد آن را در زمینه قطع گنبد ترسیم گردد که
مراحل ترسیم در تصاویر ۱۲ قابل مشاهده است.

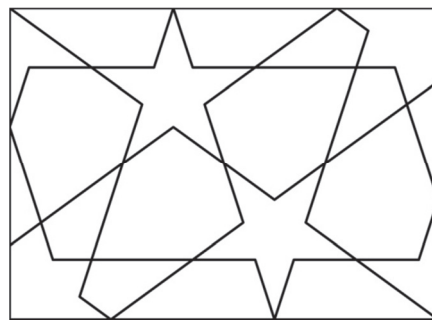


تصویر ۱۲- مراحل ترسیم بخش دوزنقه‌ای در زمینه قطع
(مأخذ: نگارندگان)

البته آلت‌های گره معوج از کار درآمده است چون زمینه
کار تغییر کرده است، همچنین رأس گنبد خالی است.
در اینجا طرح گره را اصطلاحاً «دست‌گردان» می‌کردند.
دست‌گردان کردن گره، مرحله استادی در گره بوده است. در
واقع استاد گره‌سازی، در گره ترسیم شده با ذوق خودش
تغییراتی می‌داده است. (شعرباف، ۱۳۸۵: ۱۱)
پس چنین گرهی را هم دست‌گردان می‌کرد یعنی در
این زمینه خاص آلت‌های آن را هم شکل و منظم می‌نمود و
رأس آن را پر می‌کرد. پس می‌توانست رسم گره مورد نظر را
تکمیل کند. (تصویر ۱۳ و ۱۴)



تصویر ۱۳ و ۱۴- سمت راست: از نجیب اوغلو ۱۳۷۹ گرهی که پس از
دست‌گردان کردن گره ناقص به دست می‌آید تصویر سمت چپ تکمیل
شده است و آلت‌هایش را منظم کرده‌اند (مأخذ: نگارندگان)

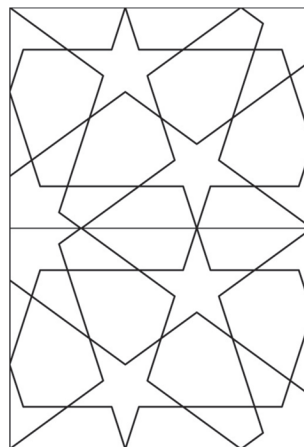


تصویر ۹- واگیره گره تند ده در زمینه مستطیل (مأخذ: شعرباف، ۱۳۷۲)

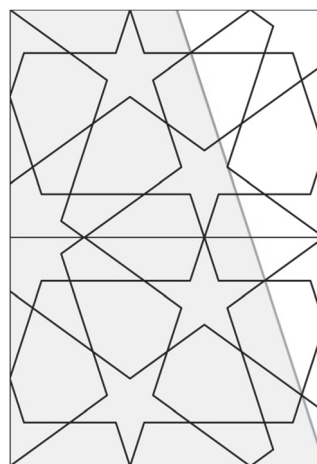
نام این گره گره تند ده است. روش رسم آن در
(شعرباف، ۷۲: ۲۲) آمده است.

واگیره‌اش تکرار شد تا مستطیلی عمودی به دست آید.

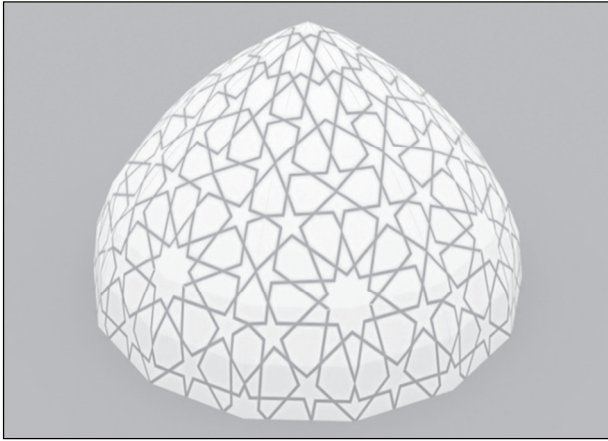
(تصویر ۱۰ و ۱۱)



تصویر ۱۰- تکرار واگیره جهت ایجاد یک مستطیل عمودی (مأخذ:
شعرباف)

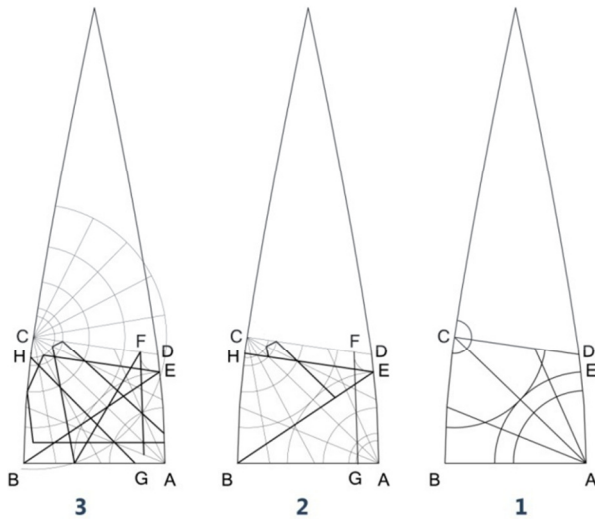


تصویر ۱۱- انتخاب بخش دوزنقه‌ای برای ترسیم در زمینه قطع
(مأخذ: نگارندگان)



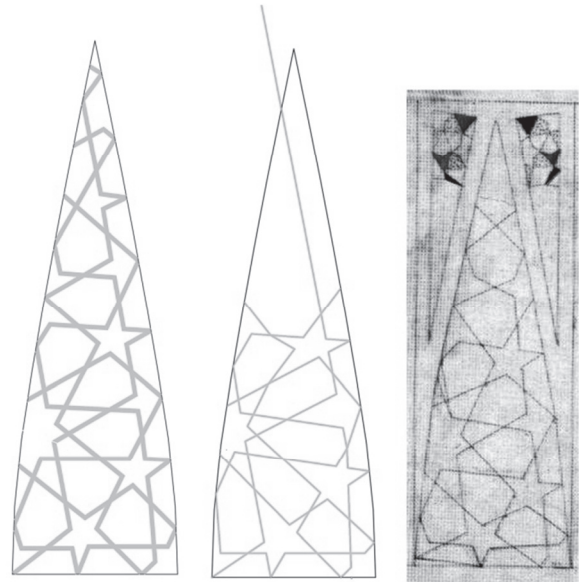
تصویر ۱۷- نتیجه رسم گرهی که به روش متفاوت با گره طومار توپقایی ترسیم شده است بر گنبد. (مأخذ: نگارندگان)

در پایان مقاله قدم به قدم روش هندسی ترسیم گره تشریح شده است. در ابتدا به کمک مقطع و پلان گنبد زمینه کار را ترسیم می‌کنیم. (تصویر ۱۸ و ۱۹)



تصویر ۱۸- راهنمای مراحل رسم گره بر روی زمینه قطاع گنبد (مأخذ: نگارندگان)

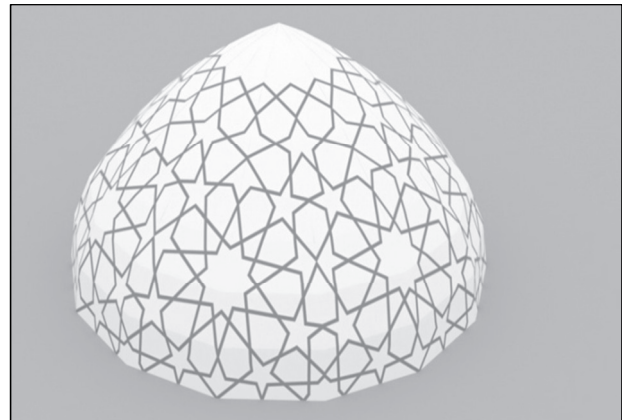
به مرکز نقطه A کمان دلخواهی رسم می‌کنیم و به چهار قسمت تقسیمش می‌کنیم. شعاع‌ها را امتداد می‌دهیم. امتداد شعاع دوم در لبه زمینه به نقطه C برخورد می‌کند. به مرکز C نیز دایره‌ای دلخواه رسم می‌کنیم و آن را به ده قسمت مساوی



تصویر ۱۵- گره‌های چپ و راست دو نتیجه مختلفی‌اند که از دست گردان کردن گره وسط به دست آمده‌اند (مأخذ: نگارندگان)

چون این کار به ذوق استاد طراح نیز بستگی داشت ممکن بود پس از دست گردان کردن نتیجه‌های مختلفی پیدا شود. مثلاً همین گره را به روش دیگری جز روشی که طراح گره طومار توپقایی ترسیم کرده نیز می‌شود تکمیل کرد. (تصویر ۱۵)

دو نتیجه مختلفی که از رسم این طرح‌ها بر گنبد به دست می‌آید چنین است: (تصویر ۱۶ و ۱۷)



تصویر ۱۶- نتیجه رسم گره طومار توپقایی بر گنبد. (مأخذ: نگارندگان)

رأس زمینه را هم چنان که در مقاله آمد می‌شود به روش‌های مختلف دست‌گردان و تکمیل کرد.

نتیجه‌گیری:

یکی از وجوه گره، وجه ترسیمی آن است. معمولاً درباره ترسیم و تکثیر آن بر سطوح صاف سخن گفته‌اند، اما گره را می‌شود بر سطوح کروی نیز رسم کرد که نتیجه‌اش نقشی سه‌بعدی بر سطحی کروی است. رسم گره بر سطوح کروی مستلزم حل مسئله هندسی و سپس «دست‌گردان» کردن گره است. از دست‌گردان کردن گره بر اساس ذوق استاد طراح ممکن است نتیجه‌های مختلفی به دست آید.

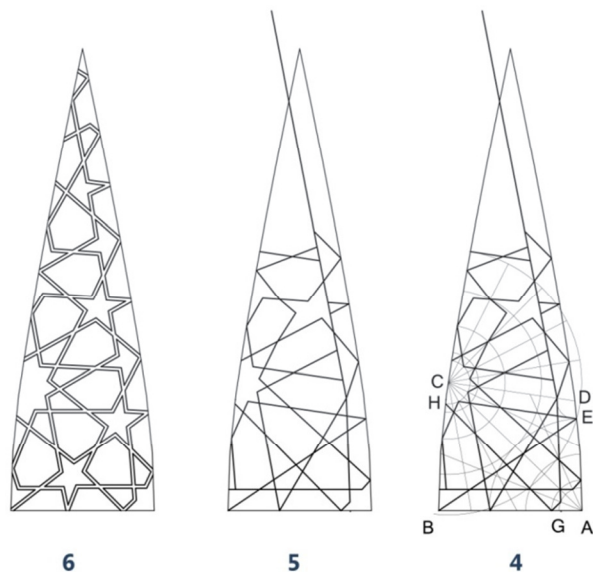
پانوشت‌ها:

۱- از یک نظر نتیجه این کار شبیه هندسه ژئودزی است.

منابع:

- السعید، عصام و عایشه پارمان. نقشهای هندسی در هنر اسلامی. ترجمه مسعود رجب‌نیا. تهران: سروش ۱۳۶۳.
- پورنادری، حسین. شعراب و آثارش. تهران: سازمان میراث فرهنگی، ۱۳۷۹.
- رییس‌زاده، مهناز و حسین مفید. احیای هنرهای از یاد رفته. تهران: مولی ۱۳۷۴.
- شعراب، اصغر. گره و کاربردی. تهران: سازمان میراث فرهنگی، ۱۳۷۲.
- شعراب، اصغر. گزیده آثار استاد اصغر شعراب: گره و کاربردی. به اهتمام مهدی مکی نژاد. تهران: فرهنگستان هنر، ۱۳۸۵.
- لرزاده، حسین. احیاء هنرهای از یاد رفته.
- نجیب‌اوغلو، گلرو. هندسه و تزئین در معماری اسلامی: طومار تویقایی. ترجمه مهرداد قیومی بیدهندی. تهران: روزنه، ۱۳۷۹.
- نوایی، کامبیز و کامبیز حاجی‌قاسمی. «نقش عجب» در خشت و خیال. ص ۱۷۳-۲۷۵. تهران: سروش ۱۳۹۰.
- Bourgojn, Jules. les arts arabes. Paris: Veuve A. Morel, 1837.
- Collin, J. Etude partique de la decoration polygonale arabe. Paris: Librarite de la construction Moderne. 1911.
- Kaplan, Craig S. David H. Salesin. "Islami star patterns in absolute geometry" in Acm Transactions

تقسیم می‌کنیم. پنج شعاع پایین را امتداد می‌دهیم و شعاع پنجم را در نقطه D قطع می‌کند. (تصویر ۱۸)



تصویر ۱۹- ادامه مراحل رسم گره بر روی زمینه قطاع گنبد (مأخذ: نگارندگان)

به مرکز A و C دو کمان به شعاع نصف AC می‌زنیم. نقطه E محل تقاطع دایره به مرکز A و شعاع نصف AC با خط AD است. به مرکز D و شعاع DE کمانی می‌زنیم تا CD را در F قطع کند. از F خطی موازی AD رسم می‌کنیم تا AB را در G قطع کند. از E نیز خطی موازی CD رسم می‌کنیم تا BC را در H قطع کند. در محل تقاطع FG با شعاع‌های به مرکز A کمان‌هایی به مرکز A می‌زنیم. در محل تقاطع HE با شعاع‌های به مرکز C نیز کمان‌هایی به مرکز C می‌زنیم. این کمان‌ها را بالای خط CD نیز امتداد می‌دهیم تا به لبه زمینه برسند. مانند شکل نقاط تقاطع کمان‌ها را وصل می‌کنیم تا گره پیش از دست‌گردان شدن به دست آید. در بالای خط CD نیز شعاع‌ها را از مرکز C امتداد می‌دهیم و به کمک محل تقاطع شعاع‌ها و کمان‌ها آلت‌ها را ترسیم می‌کنیم. (این قسمت ترسیم با ابزار هندسی نیست و باید آن را با دست گردان کردن تصحیح کرد)

2011-12-14: www.cgl.uwaterloo.ca/~csk/pubs.html
– Pope , Arthur Upham. “Colour in Persian Architecture” in Apollo 13(1931). pp 76-81

on Graphics (TOG). Volume 23 Issue 2, April 2004. pp 97-119.
– Kaplan, Craig S. publications web page accessed