

مقایسه هندسه و روش ترسیم طاق کاربندی

نمونه‌های مطالعاتی کاربندی‌های زمینه ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۶^۱

فرهاد تهرانی^۴

دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی

شهرزاد آینه‌چی^۲

نیما ولی‌بیگ^۳

استادیار دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان

دریافت: ۲۱ تیر ۱۳۹۷
پذیرش: ۱۴ اسفند ۱۳۹۷
(صفحه ۹۱-۷۳)

کلیدواژگان: هندسه نظری، کاربندی، خطای ترسیم، شیوه‌های ترسیمی مکتوب.

چکیده

گستره شیوه‌های ترسیمی عرصه‌ای است برای دسته‌بندی ویژگی‌های هندسه نظری کاربندی‌های زمینه مربع و مستطیل که شباهت‌ها و تفاوت‌های گوناگون آن‌ها را آشکار می‌کند. تحلیل تفاوت‌ها و شباهت‌ها می‌تواند ویژگی خاص و عام ساختار هندسی این کاربندی‌ها را مشخص کند. با روش مطالعه مقایسه‌ای راهکاری برای تحلیل چگونگی و چرایی شباهت‌های هندسه نظری کاربندی‌های زمینه مربع و مستطیل در گستره شیوه‌های ترسیمی با وجود تفاوت‌ها عرضه می‌شود. در متون فارسی طراحان سنتی درباره روش‌های گوناگون ترسیم به طور مجزا سخن فراوان گفته‌اند. ولی تا کنون گستره شیوه‌های ترسیمی برای یک مطالعه مقایسه‌ای به منظور دسته‌بندی هندسه نظری کاربندی‌های زمینه مربع و مستطیل به کار بسته نشده است. در این مقاله کاربندی‌هایی با زمینه یادشده بررسی شده است. از هر کدام دو نمونه پرکاربردتر انتخاب می‌شود. در این پژوهش چگونگی و چرایی تفاوت‌ها و شباهت‌های پدیدآمده در حوزه تمایز دیدگاه‌های مختلف در روش ترسیم این کاربندی‌ها

۱. مقدمه

تحلیل می‌گردد. نتیجه حاصل از تحقیق مبین این مطلب است که روش ترسیمی پیرنیا و بزرگمهری خطاهایی در اندازه ابعاد مستطیل زمینه دارد که از طریق مقایسه با سایر روش‌ها می‌توان به آن‌ها پی برد. شعرباف و لرزاده از زمینه‌های کاربندی و تناسب ابعادی آن‌ها سخنی به میان نیاورده‌اند. شیوه پیرنیا نسبت به سایر روش‌های ترسیمی عملی‌تر و با ابزارهای سنتی به‌سادگی قابل اجرا است. با روش‌های پیرنیا و بزرگمهری تعداد بیشتری از کاربندی‌ها را می‌توان به‌سادگی کشید.

کاربندی پیشرفته‌ترین شیوه انتقالی و حاصل شناخت معماران ایرانی نسبت به علم هندسه و ریاضیات پیشرفته است.^۵ برخلاف سایر تزیینات هندسی معماری، در کاربندی به زمینه دقیق و منظم نیاز است. هرچند زمینه‌های مناسب برای اجرای کاربندی به طور تجربی با آماده‌سازی زمینه از طریق تغییرات در پای کار مهیا می‌شده‌اند، نقاط ابهامی در تناسب ابعادی زمینه کار و نوع کاربندی متناسب بوده است. همچنین راهکارهای عرضه‌شده خالی از اشکال نیست.^۶

۱. این مقاله برگرفته از بخشی از رساله دکتری نویسنده اول در رشته مرمت و احیای بناها و بافت‌های تاریخی است با عنوان تحلیل اثر ساختار فرمی بر فناوری ساخت و مرمت کاربندی‌های بازار تبریز که با راهنمایی نویسندگان دوم و سوم در دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، در دست تهیه است.

۲. دانشجوی دکتری مرمت و احیای بناها و بافت‌های تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان

۳. نویسنده مسئول،

n.valibeig@aui.ac.ir

4. F_tehrani@cc.sbu.ac.ir

(استاد ارجمند جناب آقای دکتر فرهاد فخار تهرانی به افتخار سال‌ها خدمت در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی در ۱۵ بهمن‌ماه ۱۳۸۹ بازنشسته شده‌اند. فصلنامه صفا از ایشان قدردانی می‌کند.)

پرسش‌های تحقیق

۱. چه شباهت‌ها و تفاوت‌هایی بین روش‌های مختلف ترسیم پلان کاربردی‌های زمینه مربع و مستطیل وجود دارد؟
۲. دلایل وجود شباهت و تفاوت بین شیوه‌های گوناگون ترسیم پلان کاربردی‌های زمینه مربع و مستطیل چیستند؟
۳. چگونه، با مقایسه شیوه‌های گوناگون ترسیم کاربردی، مزایا و معایب آن‌ها آشکار می‌شود؟

کاربندی بر اساس نوع زمینه به دسته‌های مختلف تقسیم می‌شود که هر یک روش ترسیمی خاص دارد. فقدان ادبیات مشترک میان معدود منابع موجود در زمینه‌های ترسیم کاربردی هرکدام مانعی در درک درست این شیوه‌ها است. از میان همه اسناد برجای‌مانده از کاربردی، آموزه‌های استادکاران سنتی بیش از دیگر اسناد راه‌گشای فهم روش‌های ترسیم سنتی است. در این خصوص این پرسش‌ها مطرح است: چه شباهت‌ها و تفاوت‌هایی بین روش‌های مختلف ترسیم پلان کاربردی‌های زمینه مربع و مستطیل وجود دارد؟ دلایل وجود شباهت و تفاوت بین شیوه‌های گوناگون ترسیم پلان کاربردی‌های زمینه مربع و مستطیل چیستند؟ چگونه، با مقایسه شیوه‌های گوناگون ترسیم کاربردی، مزایا و معایب آن‌ها آشکار می‌شود؟

در این پژوهش به گام‌های ترسیم کاربردی‌ها در زمینه مربع و مستطیل پرداخته می‌شود. در مقایسه شیوه‌های ترسیم ویژگی‌های مشترک و متفاوت آن‌ها مشخص خواهد شد.

۲. روش پژوهش

در این پژوهش پس از بازخوانی متون مکتوب در مورد شیوه‌های ترسیمی پلان کاربردی‌ها، فرایند ترسیم هر یک از آن‌ها به شکل دقیق بررسی و گام‌به‌گام پیاده‌سازی می‌شود. سپس، از بین گونه‌های متفاوت کاربردی، شیوه‌های ترسیم کاربردی‌های ۱۰ با نسبت اضلاع (۵/۱۹×۳)، ۱۲ با نسبت اضلاع (۴/۱۲×۳)، ۱۴ با نسبت اضلاع (۵/۰۱۵۸×۴)، ۱۶ با نسبت اضلاع (۵/۹۸۶۴×۴)، انتخاب شده‌اند. نحوه انتخاب کاربردی‌ها با توجه به فرایند ترسیم و چگونگی قرار گرفتن آن‌ها در زمینه است. کاربردی‌هایی که زمینه آن‌ها مضرب ۴ است و آن‌هایی که زمینه آن‌ها مضرب ۴ نیست برای زمینه‌های مربع و مستطیل استفاده می‌شوند، ویژگی‌های شکلی متفاوتی دارند و در زمینه‌های متفاوت اجرا می‌شوند. به همین خاطر از هر گونه دو زمینه پرکاربردتر انتخاب شده است. با توجه به جنبه‌های مختلف مقایسه، ویژگی‌های مشترک و متفاوت آن‌ها آشکار و دلایل این ویژگی‌ها مشخص می‌گردد. روش داده‌اندوزی به صورت کتابخانه‌ای و محاسباتی و بازترسیم شیوه‌های مختلف ترسیم کاربردی، با استفاده از نرم افزار اتوکد، صورت گرفته است.

۵. نک:

J.Lu Peter & Paul J. Steinhardt, "Decagonal and Quasi-Crystalline Tilings in Medieval Islamic Architecture".

۶. نک: محمدرضا فرشچی و دیگران، «نظام هندسی زمینه‌های رسمی‌بندی یک‌پا، برگرفته از دایره محیطی».

۳. پیشینه پژوهش

اساس مقایسه شیوه‌های گوناگون ترسیم کاربندی‌های مختلف، مطالب چندانی بیان نکرده است. همین نکته با عنوان وجه نوآورانه این پژوهش مطرح می‌گردد (جدول ۱).

در بیشتر اسناد قدیم و متون جدید، ترسیم نقشه هندسی کاربندی افقی و دوبعدی بوده که مبنای اجرای کار محسوب می‌شده است. در متون فارسی درباره روش‌های گوناگون ترسیم بسیار سخن گفته‌اند. برخی از روش‌های ترسیم بر اساس دایره محاطی ماربر رئوس زمینه و برخی دیگر با شعاع‌ها و فلک‌ها است. در رویکرد مدرن به ترسیم کاربندی پژوهشگران دیگری نیز تلاش‌هایی برای رفع ابهام از این روش ترسیم داشته‌اند. در بررسی پژوهش‌های گوناگون، گرچه مباحث نظری متعددی در خصوص نحوه ترسیم هندسه طاق کاربندی انجام گرفته، بر

۴. مبانی نظری پژوهش:

۴.۱. هندسه در معماری اسلامی

به طور کلی هندسه در ایران باستان به دو شاخه هندسه عملی و هندسه نظری تقسیم می‌شد. توجه و تلاش ایرانیان قدیم بیشتر به شاخه عملی بود. هندسه عملی یا به قول امروزی‌ها هندسه کاربردی هندسه‌ای است که در مشاغل و کارهای مختلف

نام نویسنده	مشخصات
پاپادوپولو	پاپادوپولو (فرانسوی) هندسه کاربندی را برگرفته از شیوه مربع‌های گردان در یک دایره می‌داند (معماری اسلامی، ص ۴۴).
بوزجانی	قواعد هندسی در کتابی به نام تجارت، فی ما يحتاج الیه العمال و الصناع من اشکال الهندسیه آموزش داده شده، در این کتاب بخصوص به نحوه ایجاد چندضلعی‌های منتظم در داخل دایره پرداخته شده است و می‌تواند راهنمایی در ترسیم کاربندی باشد (هندسه ایرانی - کاربرد هندسه در عمل، ص ۱۲).
نجیب‌اوغلو	بر اساس شواهد موجود در تومارهای متعلق به میرزا اکبر، معمار دوره قاجار، در گذشته برای معرفی و رسم کاربندی از تصویر پلان استفاده شده است (هندسه و تزئین در معماری اسلامی، ص ۲۱).
پیرنیا و بزرگمهری	روش ترسیم پیرنیا و بزرگمهری بر پایه ابعاد مستطیل زمینه و تقسیم‌بندی دایره محیطی دربرگیرنده رئوس آن مستطیل و در نهایت به هم وصل کردن نقاط تقسیم روی دایره برای به دست آوردن چندضلعی مورد نظر است (پیرنیا، درس‌نامه معماری اسلامی؛ بزرگمهری، هندسه در معماری).
رئیس‌زاده و مفید	ایشان روش ترسیم رسمی‌بندی را بر اساس زمینه تمام و نیمکار بیان داشته‌اند. نیمکارها را به سه دسته نیمکار سالم، تنک، و نقل تقسیم می‌کنند. شکل‌گیری شمسه و سایر آلات رسمی را بر اساس تقسیم‌بندی روی فلکه دلخواه از وسط نیمکار بیان می‌دارد (احیای هنرهای از یاد رفته).
پورنادری	بخشی دیگر از ترسیمات کاربندی را در زمینه‌های تمام و نادر بیان نموده است (شعرباف و آثارش، جلد دوم: گره و کاربندی).
شعرباف	شیوه ایشان بر اساس تقسیم فلکه از مرکز دهانه و امتداد آن تا روی نیمکار است. شیوه وی در دو دسته: شاغولی و سرسفت برای رسمی‌های یک‌پا و دوپا است. شعرباف از زمینه‌های کاربندی و تناسب ابعادی آن سخنی به میان نیاورده است (شعرباف، گره و کاربندی، ج ۱).
نوابی و حاجی‌قاسمی، معماریان	به بازخوانی روش‌های ترسیمی پیرنیا و شعرباف پرداخته‌اند (خست و خیال: شرح معماری اسلامی ایران؛ معماری ایران نیارش؛ معماری ایران نیارش).
رئیس، پمیان و تهرانی	طرح شبکه هندسی کاربندی را مبتنی بر تقسیم دایره به کمان‌های مساوی و ترسیم وترهای متقاطع و متساوی بین نقاط تقسیم بیان کرده‌اند. کاربندی‌های مختلف از طریق استقرار «یک قوس مینا» ی شاقول بر دو سر «تمام وترهای برابر چندضلعی منتظم» ایجاد می‌شوند (کاربرد هندسه و تناسبات در معماری؛ کاربندی درآمدی بر ادبیات موضوع).
Garofalo	تحلیل هندسه پیچیده کاربندی هشتی باغ دولت‌آباد یزد و همچنین تناسبات پلان خود هشتی ("The Geometry of a Domed Architecture: A Stately Example of Karbandi at Bagh-e- Dolat Abad in Yazd").
PourAhmadi	بیان استاندارد جدید برای نام‌گذاری کاربندی بر طبق ویژگی‌های هندسی آن‌ها بعد از آنالیز ۳ روش اصلی نام‌گذاری در منابع فارسی ("A Basic Method for Naming Persian Karbandis Using a Set of Numbers").

جدول ۱. منابع موجود در گستره نحوه ترسیم کاربندی‌های گوناگون، گردآوری: نگارندگان.

استفاده می‌شود.^۷ در هندسه نظری سخن از خطوط و سطوح احجام است و در هندسه عملی از دانش هندسه روی چوب، فلز، آجر، و دیگر محسوسات^۸.

۱. بخش اول طراحی بر روی کاغذ،
۲. بخش دوم پیاده‌سازی طرح روی کاغذ بر روی زمین و سپس اجرا.

۳.۴. روش‌های گوناگون ترسیم

انطباق یک چندضلعی با عنوان زمینه با هر ترسیمی که به روش یادشده در دایره صورت پذیرد از قواعد خاصی پیروی می‌کند.^{۱۰}

۱.۳.۴. ترسیم کاربردی به روش استاد شعریاف (ت ۱ تا ۸) - رسمی^{۱۱} ده دویا قالب شاغولی^{۱۲}:

الف) AB دهانه ایوان است. به مرکز O و به شعاع دلخواه فلکهای رسم و آن را به ده قسمت مساوی تقسیم و اشعه‌ها را رسم می‌کنیم. شعاع سوم از مبنای OB عمود خارج شده از B بر خط AB را در نقطه B' قطع کند. به مرکز O و شعاع OB' فلکهای می‌زینم تا شعاع پنجم را در نقطه B" قطع کند. از B" خطی به موازات AB رسم می‌کنیم تا عمود خارج شده از نقطه A بر AB را در نقطه D قطع کند. ABCD زمینه کار است.

ب) از B' به موازات AB می‌کشیم تا شعاع وسط (عمود بر AF) را در نقطه E قطع کند (OE شعاع بزرگ‌ترین شمشه است). پ) به مرکز O وسط AB و به شعاع‌های OE و OG فلک‌هایی رسم می‌کنیم.

ت) شروع ترسیم رسمی از نقطه B' است که به F وصل می‌شود و از F به K که امتداد آن از A و G و B" می‌گذرد. سپس از M به L که امتداد آن از P، F، N، و S می‌گذرد.

کار را به همین ترتیب ادامه می‌دهیم. B'E ادامه می‌یابد تا ضلع AD را قطع کند.

- رسمی دوازده دویا^{۱۳} قالب شاغولی:

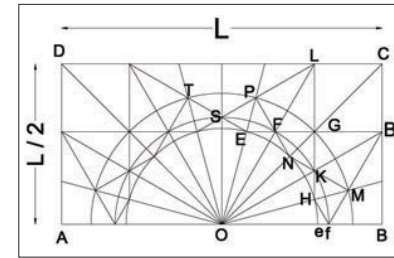
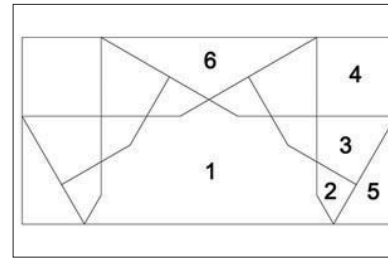
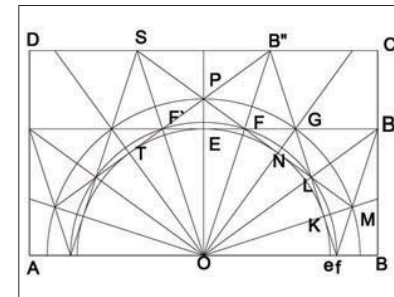
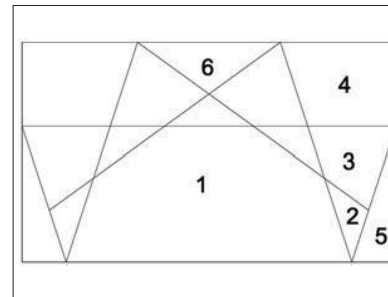
الف) AB دهانه ایوان است. به مرکز O و به شعاع دلخواه فلکهای رسم و آن را به ۱۲ قسمت مساوی تقسیم و اشعه‌ها را رسم می‌کنیم. شعاع چهارم از مبنای OB عمود خارج شده از B بر خط AB را در نقطه C قطع می‌کند. زمینه را می‌بندیم که

۲.۴. کاربردی

کاربردی یک نظام ساختمانی زیبا در پوشش‌های معماری سنتی است که هم‌زمان دو وجه دارد:

- هندسه نظری (وجه هندسی) کاربردی: از تقاطع و ترکیب وترها، شعاع‌ها، و محدوده کارشيو، طبق قوانین ریاضی و هندسی، در وسط اشکال منظم بی‌شماری به دست می‌آید.

- هندسه عملی (وجه اجرایی) کاربردی: از تقاطع باریکه طاق‌های اریب و هم‌شکل در فضا به وجود می‌آید، که برای پوشاندن زمینه، همه یا برخی از آن‌ها نقش برابر دارند.^۹ در فرایند طراحی و اجرای کاربردی در زمینه‌های گوناگون بخش طراحی خود در دو قسمت انجام و سپس به اجرا می‌رسد:



۷. محمدرضا بمانیان و دیگران، کاربرد هندسه و تناسبات در معماری، ص ۴۴.

ت ۵ (بالا، راست). نحوه ترسیم رسمی چهارده دوپا قالب شاغولی، مأخذ: همان، ص ۱۰۳.

ت ۶ (بالا، چپ). آلت‌های رسمی چهارده دوپا قالب شاغولی، مأخذ: همان.

ت ۷ (پایین، راست). نحوه ترسیم رسمی شانزده دوپا قالب شاغولی، مأخذ: همان، ص ۱۱۲.

ت ۸ (پایین، چپ). آلت‌های رسمی شانزده دوپا قالب شاغولی، مأخذ: همان.

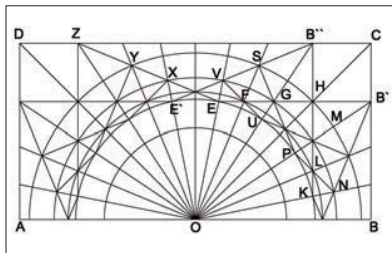
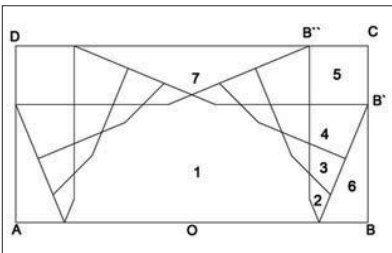
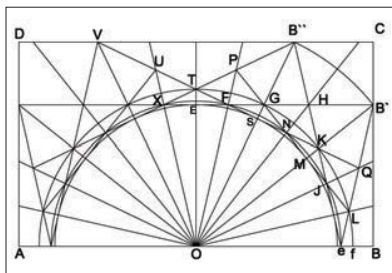
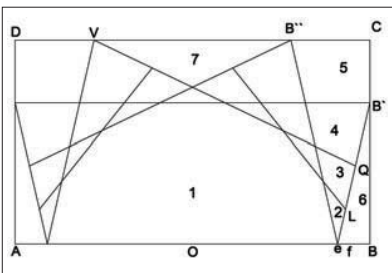
الف) دهانه ایوان است. به مرکز O وسط AB و به شعاع دلخواه OR فلکهای رسم و آن را به ۱۶ قسمت مساوی تقسیم و اشعه‌ها را رسم می‌کنیم. شعاع پنجم از مبنای OB عمود خارج شده از B بر خط AB را در نقطه C قطع می‌کند.

ب) از نقطه B خطی به موازات AB می‌کشیم تا شعاع ماقبل شعاع وسط را در نقطه E قطع کند. (OE شعاع شمس است که بزرگ‌ترین شمس رسمی‌های ۱۶ است).

پ) فلک‌هایی به مرکز O و به شعاع‌های OG، OF، OE، OH رسم می‌کنیم.

ت) شروع ترسیم رسمی از نقطه B واقع بر BC است. از آنجا به F وصل می‌کنیم، نقاط N و T روی این خط قرار دارند. از F به K و از K به L وصل می‌کنیم. ادامه آن از نقاط H، M، و B'' می‌گذرد. از N به P وصل می‌کنیم که از L نیز می‌گذرد. کار را ادامه می‌دهیم تا رسمی ترسیم شود.

آلت‌های این رسمی: ۱. شمس، ۲. ترنج، ۳. ترنج، ۴. پاباریک، ۵. هفتی، ۶. نصف سوسنی، و ۷. سوسنی.



ABCD می‌شود.

ب) از B محل تلاقی شعاع سوم از مبنای OB و خط BC به موازات AB رسم می‌کنیم تا شعاع ماقبل شعاع وسط را در نقطه E قطع کند.

پ) فلک‌هایی به مرکز O و به شعاع‌های OE و OF و OG رسم می‌کنیم.

ت) از B پای پاباریک شروع به رسم این رسمی می‌کنیم. یعنی از B به F، از F به H و از H به K وصل می‌کنیم و آن را امتداد می‌دهیم تا از نقاط G و L بگذرد. از M به N وصل می‌کنیم تا از K می‌گذرد. این کار را ادامه می‌دهیم تا رسمی رسم شود.^{۱۴}

- رسمی چهارده دوپا قالب شاغولی:

الف) دهانه ایوان است. به مرکز O وسط AB و به شعاع دلخواه OR فلکهای رسم و آن را به ۱۴ قسمت مساوی تقسیم و اشعه‌ها را رسم می‌کنیم. شعاع چهارم از مبنای OB عمود خارج شده از B بر خط AB را در نقطه B' قطع می‌کند. به مرکز O و شعاع OB' فلک‌ای می‌زنیم تا شعاع پنجم را در نقطه B'' قطع کند. زمینه را می‌بندیم. از B'' خطی به موازات AB رسم می‌کنیم تا عمود خارج شده از نقطه A بر AB را در نقطه D قطع کند.

ب) از B به موازات AB می‌کشیم تا شعاع وسط را در نقطه E قطع کند.

پ) به مرکز O وسط AB و به شعاع‌های OF، OE، OG و فلک‌های رسم می‌کنیم.

ت) شروع ترسیم رسمی از نقطه B' واقع بر BC است که به E وصل می‌شود. از E به A وصل می‌کنیم و امتداد می‌دهیم. نقاط H، K، L و B'' نیز بر این امتدادند. همین‌طور از L به M وصل می‌کنیم، نقاط G، N، L و P در امتداد همین خط هستند. کار را ادامه می‌دهیم تا رسمی کامل شود.

آلت‌های این رسمی: ۱. شمس، ۲. ترنج، ۳. ترنج، ۴. پاباریک، ۵. هفتی، ۶. نصف سوسنی، ۷. سوسنی.

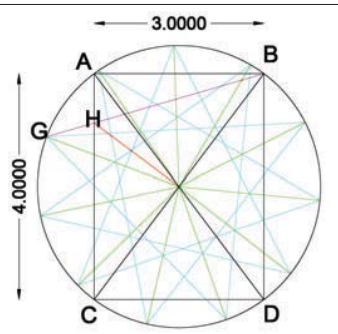
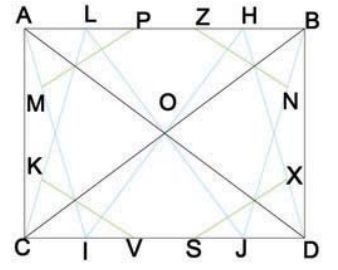
- رسمی شانزده دوپا قالب شاغولی:

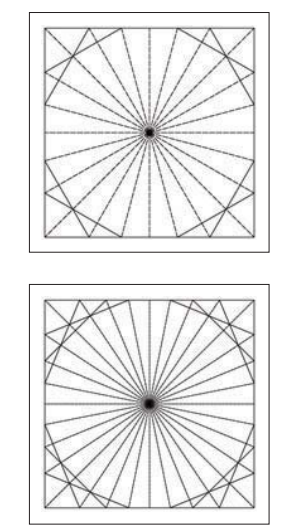
۲.۳.۴. ترسیم کاربندی به روش استاد لرزاده (ت ۹ و ۱۰) - ترسیم کاربندی ۱۶:
 الف) رسم مربع
 ب) مربع را با کمک شعاع‌هایی با زاویه $۱۶:۱۸۰ = ۲۵,۱۱$ درجه به ۱۶ ضلعی تبدیل می‌کنیم.

۳.۳.۴. روش ترسیم کاربندی ۱۰ و ۱۲ و ۱۴ و ۱۶ به نقل از پیرنیا
 الف) رسم مربع
 ب) مربع را با کمک شعاع‌هایی با زاویه $۱۲:۱۸۰ = ۱۵$ درجه به ۱۲ ضلعی تبدیل می‌کنیم.
 در «جدول‌های ۲ تا ۵» روش محمدکریم پیرنیا قابل مشاهده است.

۸ ابوالنصر محمد فارابی، احصاء العلوم، ص ۷۷.
 ۹. فرهاد تهرانی و مهدی رئیسی، کاربندی درآمدی بر ادبیات موضوع، ص ۲۳.

ت ۹ (راست، بالا). رسمی ۱۲، مأخذ: رئیس‌زاده و مفید، احیای هنرهای از یاد رفته، ص ۳۵.
 ت ۱۰ (راست، پایین). رسمی ۱۶، مأخذ: همان، ص ۳۶.
 جدول ۲ (چپ). روش‌های ترسیم از دیدگاه محمدکریم پیرنیا برای کاربندی ۱۰، مأخذ: محمدکریم پیرنیا، درس‌نامه معماری اسلامی.

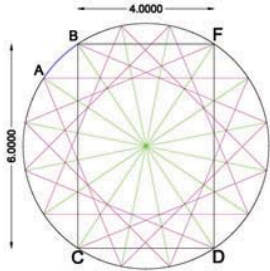
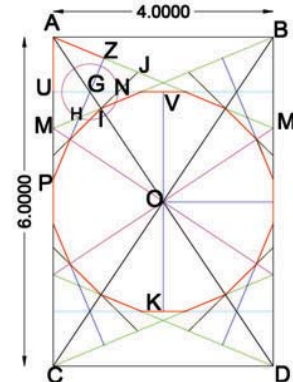
شکل هندسی	روش اول ترسیم یک کاربندی رسمی ۱۰	ردیف
	<p>۱. ترسیم زمینه مستطیل طبق فرمول: تعداد اضلاع کاربندی $= 2(a+b-2)$ که در اینجا مستطیل ۴×۳ در نظر می‌گیریم. ۲. قطرهای مستطیل ABCD را رسم می‌کنیم. ۳. از مرکز مستطیل عمودی بر یکی از قطرهای مستطیل خارج می‌کنیم. ۴. به مرکز مستطیل و به شعاع نصف قطر یک دایره می‌زنیم. ۵. از رأس مستطیل خطی به نقطه برخورد عمود H با ضلع مستطیل وصل می‌کنیم و ادامه می‌دهیم تا محیط دایره را قطع کند. کل دایره را بر اساس کمان به دست‌آمده AG تقسیم می‌کنیم. ۶. متوجه می‌شویم کمان AG طول مستطیل را به سه قسمت مساوی تقسیم کرده است. پس اتصال کمان‌ها سه به سه انجام می‌گیرد.</p>	۱
<p>مشکل ترسیم: با تقسیم دایره محیطی به اندازه کمان AH، به جای ۱۰ ضلعی، یک ۱۱ ضلعی نامنتظم به دست می‌آید.</p>		
شکل هندسی	روش دوم ترسیم یک کاربندی رسمی ۱۰	۲
	<p>۱. ترسیم زمینه مستطیل طبق فرمول: تعداد اضلاع کاربندی $= 2(a+b-2)$ که در اینجا مستطیل ۴×۳ در نظر می‌گیریم. ۲. ترسیم قطرهای مستطیل. ۳. از O عمودی بر AD رسم می‌کنیم تا AB را در نقطه H قطع کند. ۴. به فاصله HB در چهار گوشه جدا می‌کنیم یا عمود منصف‌ها را می‌کشیم تا نقاط I, L, R, S بدست آید. ۵. از L به C، از H به D، از B به I، از A به I وصل می‌کنیم. ۶. فاصله AL را روی AI جدا می‌کنیم تا M به دست آید. به این ترتیب نقاط N, K, X هر ۴ طرف به دست می‌آیند. ۷. از M به تقاطع قطر AD و CL وصل می‌کنیم و ادامه می‌دهیم تا ضلع AB را قطع کند و نقطه P به دست آید. همین کار را در ۴ طرف انجام می‌دهیم. به این ترتیب نقاط Z, S, V به دست می‌آیند.</p>	۳
<p>مشکل ترسیم: ده ضلعی به دست آمده منتظم نیست.</p>		



۱۰. نوایی و حاجی قاسمی، خشت و خیال: شرح معماری اسلامی ایران، ص ۱۰۰.
 ۱۱. در برخی از کتب فارسی (مهناز رئیس‌زاده و حسین مفیدی، احیای هنرهای از یاد رفته، ص ۳۳؛ اصغر شعریاف، گره و کاربندی، ج ۱، ص ۹؛ مریم ستارپور و دیگران، «تعاملات معماری و کاربندی در سازه‌های بازار تبریز») بدون توجه به تفاوت‌های کاربندی با رسمی‌بندی این پوشش رسمی خوانده شده است.
 ۱۲. رسمی قالب شاقولی رسمی‌ای است که قالب‌های (تویزه) تشکیل‌دهنده آن‌ها در امتداد یکدیگر و در یک صفحه قرار دارند و کل رسمی مثل برابر عمل می‌کند (شعرباف، همان، ص ۱۰).
 ۱۳. واژه یک‌پا بدین معنا است که در ربع پلان کاربندی فقط یک عضو برابر وجود دارد. واژه یک‌پا و دوپا مأخوذ از نام‌گذاری کتاب گره و کاربندی شعرباف است (همان، ص ۱۷۶).
 ۱۴. همان، ص ۹۶.

جدول ۳ (بالا). روش‌های ترسیم از دیدگاه پیرنیابرای کاربندی ۱۲، مأخذ: همان.
 جدول ۴ (پایین). روش‌های ترسیم از دیدگاه پیرنیابرای کاربندی ۱۴، مأخذ: همان.

ردیف	روش اول ترسیم یک کاربندی رسمی ۱۲	شکل هندسی
۱	<p>۱. ترسیم زمینه مستطیل طبق فرمول: تعداد اضلاع کاربندی $= 2(a+b) - 2$ که در اینجا مستطیل 3×5 در نظر می‌گیریم. ۲. رسم قطرهای مستطیل ABCD ۳. رسم دایره محیطی به اندازه شعاع نصف قطر ۴. رسم عمودمنصف قطر CB و ادامه آن تا محیط دایره تا کمان AH به دست آید. تقسیم کل دایره بر اساس کمان به‌دست‌آمده AH ۵. طول مستطیل ۴ تا کمان AH را در بر می‌گیرد. پس نقاط تقسیم‌شده روی محیط دایره را ۴ به ۴ به هم وصل می‌کنیم.</p>	
	مشکل ترسیم: با تقسیم دایره محیطی به اندازه کمان AH، به جای ۱۲ ضلعی، یک ۱۳ ضلعی نامنتظم به دست می‌آید.	
۲	روش دوم ترسیم یک کاربندی رسمی ۱۲	شکل هندسی
۳	<p>۱. رسم مستطیل ۲. رسم قطرهای مستطیل ۳. عمود EO را بر قطر AD رسم می‌کنیم تا نقطه E به دست آید. همین کار را در ۴ طرف ادامه می‌دهیم تا نقاط H, T, D به دست آید. ۴. از D به E، از C به H، از B به D، از A به T وصل می‌کنیم. ۵. از نقطه O بر ضلع AB عمودی رسم می‌کنیم. نقطه P به دست می‌آید. $OP=OH$. از نقطه H به طول‌های مستطیل عمود می‌کنیم، نقاط L و R به دست می‌آید. در طرف دیگر نیز این کار را انجام می‌دهیم. ۶. به اندازه AI روی ضلع AT جدا می‌کنیم، نقطه J به دست می‌آید. از این نقطه به محل تلاقی قطر و ضلع IY وصل می‌کنیم و امتداد می‌دهیم تا ضلع AB را در نقطه F قطع کند. همین کار را در ۴ طرف ادامه می‌دهیم.</p>	
	مشکل ترسیم: چندضلعی به‌دست‌آمده منتظم نیست.	
ردیف	روش پیرنیا برای ترسیم یک کاربندی رسمی ۱۴	شکل هندسی
۱	<p>۱. ترسیم مستطیل 4×5 که کاربندی ۱۴ ضلعی می‌دهد. ۲. ترسیم قطرهای مستطیل ۳. ترسیم عمودمنصف قطرها و وصل از گوشه‌های مستطیل زمینه به محل تلاقی این عمودمنصف‌ها و طول مستطیل در هر ۴ طرف ۴. به اندازه AM' روی AW جدا می‌کنیم. نقطه N به‌دست‌آمده را به M (محل تلاقی قطر و خط مورب) وصل می‌کنیم و امتداد می‌دهیم تا طول مستطیل را در نقطه Z قطع کند. ۵. به اندازه MM' روی AB جدا می‌کنیم، نقطه A' به دست می‌آید. به اندازه MN روی خط AW جدا می‌کنیم، نقطه O' به دست می‌آید. ۶. A' را به نقطه تلاقی عمودمنصف و خط واصل NZ وصل می‌کنیم تا نقطه J به دست آید. J را به M وصل می‌کنیم. ۷. به اندازه MJ روی $M'C$ جدا می‌کنیم، نقطه P به دست می‌آید. P را به O' وصل می‌کنیم. همین کار را در ۴ طرف ادامه می‌دهیم.</p>	
	مشکل ترسیم روش استاد پیرنیا: ۱. مستطیل زمینه دارای تناسبات کاملاً درست نبوده است. ۲. چندضلعی به‌دست‌آمده منتظم نیست.	

شکل هندسی	روش اول ترسیم یک کاربردی رسمی ۱۶	ردیف
	<p>۱. رسم مستطیل (۶×۴) ۲. رسم قطرهای ۳. رسم دایره محیطی ۴. عمود از محل تلاقی قطرهای رسم می‌کنیم تا دایره محیطی را در نقطه A قطع کند. کمان AB به دست آید. دایره محیطی را بر اساس کمان AB تقسیم می‌کنیم. ۵. چون طول مستطیل ۵ تا از کمان‌های AB را در بر می‌گیرد، نقاط تقسیم روی دایره را ۵ تا به ۵ تا به هم وصل می‌کنیم.</p>	۱
<p>مشکل ترسیم روش استاد پیرنیا: ۱۶ ضلعی به دست آمده منتظم نیست، اما رئوس چندضلعی به دست آمده بر رئوس مستطیل زمینه منطبق است.</p>		
شکل هندسی	روش دوم ترسیم یک کاربردی رسمی ۱۶	۲
	<p>۱. رسم مستطیل (۶×۴) ۲. رسم قطرهای مستطیل ۳. عمود منصف یک قطر را می‌کشیم تا ضلع را قطع کند. فاصله محل تلاقی تا گوشه را در چهار طرف جدا می‌کنیم. ۴. از محل‌های جدا شده به گوشه‌ها وصل می‌کنیم. ۵. به اندازه عمود وارده از محل تلاقی قطرهای مستطیل در دو طرف جدا می‌کنیم تا نقاط K و V به دست آید. از این نقاط خطی عمود بر طول مستطیل می‌کشیم تا نقطه U به دست آید. ۶. به اندازه AU روی خط AM' جدا می‌کنیم تا نقطه Z به دست آید. ۷. از نقطه Z به محل تلاقی قطر و خط افقی وصل می‌کنیم تا نقطه G به دست آید. ۸. خط ZG را ادامه می‌دهیم تا ضلع بزرگ مستطیل را در نقطه P قطع کند. ۹. به مرکز نقطه G و شعاع GH دایره‌ای می‌زنیم تا خط افق را در نقطه N قطع کند. ۱۰. از N به J وصل می‌کنیم و امتداد می‌دهیم. ۱۱. همین مراحل را در چهار طرف ادامه می‌دهیم. ۱۶ ضلعی در وسط به دست می‌آید.</p>	۳
<p>مشکل ترسیم روش استاد بزرگمهری: ۱. مستطیل زمینه دارای تناسبات کاملاً درست نبوده است. ۲. چندضلعی به دست آمده منتظم نیست.</p>		

اختلاف بسیار اندک آن را پوشش می‌دهد. ولی در مورد هندسه نظری، به دلیل نبود انطباق زمینه مورد نظر با پلان اصلی کاربردی، در ترسیم خطا اتفاق می‌افتد و شکل هندسی ترنج‌ها منتظم نمی‌شوند. بعضی مواقع حتی، با توجه به روش ذکر شده، تعداد نقاط تقسیم روی دایره بیشتر از تعداد ضلع کاربردی مورد نظر می‌شود.

۴.۳.۴. روش ترسیم بزرگمهری برای کاربردی ۱۰ و ۱۲ و ۱۴ و ۱۶

در «جدول ۶» روش ترسیم بزرگمهری دیده می‌شود. توضیح: با توجه به «جدول ۲ تا ۶»، روش‌های ترسیم پیرنیا و بزرگمهری برای استادکاری که به شکل عملی کار می‌کند (هندسه عملی) مشکل‌زا نیست. چون ضخامت آجر و ملات

جدول ۵. روش‌های ترسیم از دیدگاه پیرنیا برای کاربردی ۱۶، مأخذ: همان.

ردیف	روش ترسیم بزرگمهری برای یک کاربردی رسمی ۱۰	شکل هندسی
۱	<p>۱. ترسیم زمینه مورد نظر که یک مستطیل به ابعاد ۳ و ۴ است. و طبق فرمول کاربردی ۱۰ ضلعی خواهیم داشت.</p> <p>۲. رسم قطرهای مستطیل</p> <p>۳. ترسیم دایره محیطی مستطیل</p> <p>۴. تقسیم دایره محیطی به ۱۰ قسمت مساوی</p> <p>۵. چون طول مستطیل سه تا از تقسیمات دایره را در بر می گیرد، نقاط دایره را سه به سه به هم وصل می کنیم.</p>	
	مشکل ترسیم: ده ضلعی به دست آمده منتظم است، اما رئوس چندضلعی منتظم بر رئوس مستطیل زمینه منطبق نیست.	
۲	روش ترسیم بزرگمهری برای یک کاربردی رسمی ۱۲	شکل هندسی
۳	<p>۱. رسم مستطیل (۳×۵)</p> <p>۲. رسم قطرهای</p> <p>۳. رسم دایره محیطی</p> <p>۴. تقسیم دایره به ۱۲ قسمت مساوی</p> <p>۵. طول مستطیل چهار قسمت از کمان های تقسیم شده روی دایره را در بر می گیرد. پس نقاط روی دایره محیطی را ۴ تا ۴ تا به هم وصل می کنیم.</p>	
	مشکل ترسیم: چندضلعی به دست آمده منتظم است، اما رئوس ۱۲ ضلعی به دست آمده بر رئوس مستطیل زمینه منطبق نیست.	
۴	روش ترسیم بزرگمهری برای یک کاربردی رسمی ۱۴	شکل هندسی
۵	<p>۱. رسم مستطیل (۴×۵)</p> <p>۲. رسم قطرهای</p> <p>۳. رسم دایره محیطی</p> <p>۴. تقسیم دایره به ۱۴ قسمت مساوی</p> <p>۵. طول مستطیل چهار قسمت از کمان های تقسیم شده روی دایره را در بر می گیرد. پس نقاط روی دایره محیطی را ۴ تا ۴ تا به هم وصل می کنیم.</p>	
	مشکل ترسیم: ۱. مستطیل زمینه دارای تناسبی کاملاً درست نبوده است. ۲. چندضلعی به دست آمده منتظم نیست	

جدول ۶ روش های ترسیم از دیدگاه بزرگمهری برای کاربردی های ۱۰ و ۱۲ و ۱۴ و ۱۶. مأخذ: همان ←

شکل هندسی	روش ترسیم بزرگمهری برای یک کاربردی رسمی ۱۶	۶
	<p>۱. ترسیم مستطیل با ابعاد (۶×۴) طبق فرمول: $۱۶ = (۴+۶-۲) \times ۲$ اضلعی</p> <p>۲. رسم قطرهای</p> <p>۳. رسم دایره محیطی</p> <p>۴. تقسیم دایره به ۱۶ قسمت مساوی</p> <p>۵. چون طول مستطیل مقابل ۵ قسمت از تقسیمات دایره قرار می‌گیرد، تقسیمات را پنج به پنج به هم وصل می‌کنیم. شکل حاصل در مستطیل زمینه کاربردی مطلوب است.</p>	۷
<p>مشکل ترسیم: چندضلعی به دست آمده منتظم است، اما رئوس ۱۲ ضلعی به دست آمده بر رئوس مستطیل زمینه منطبق نیست.</p>		

IF: $A=۴, B=۳ \longrightarrow ۲(۳+۴-۲)=۱۰$

IF: $A=۴, B=۲,۹۰۶۲ \longrightarrow$

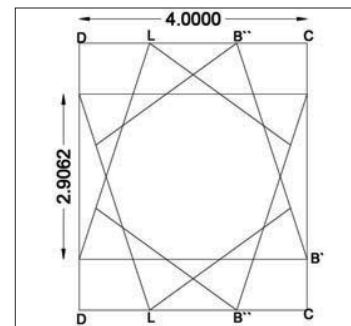
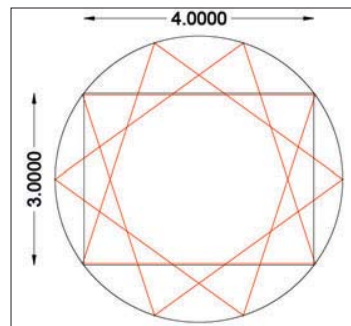
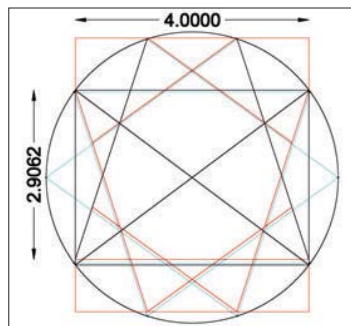
IF: $A=۴,۱۲۹۱, B=۳$

مشکل هندسه نظری کاربردی ۱۰ ضلعی بر طرف می‌شود توضیح: بر اساس شیوه ترسیم بزرگمهری، ترسیم زمینه مستطیل طبق فرمول $۲(a+b-۲)$ تعداد اضلاع کاربردی خواهد بود که در کاربردی ۱۰ مستطیل ۴×۳ در نظر گرفته می‌شود، اما ترسیم با این ابعاد دارای خطا است، در نتیجه ابعاد مستطیل زمینه $۴ \times ۲,۹۰۶۲$ است.

۴.۴. مطالعه مقایسه‌ای روش ترسیم کاربردی ۱۰ ضلعی شعریاف با بزرگمهری

اگر رسمی ده دویا قالب شاغولی ترسیم شعریاف بر روی کاربردی ۱۰ ضلعی ترسیم بزرگمهری منطبق شود، خطاهای موجود در تناسبات مستطیل زمینه ترسیم شده در روش بزرگمهری آشکار می‌شود (ت ۱۱ تا ۱۴).

بنابراین نتیجه می‌گیریم که روش بزرگمهری دارای خطا است و قدرت کافی را ندارد. با فرض اینکه طول مستطیل A و عرض مستطیل B هست:



→ ادامه جدول ۶ (بالا). روش‌های ترسیم از دیدگاه بزرگمهری برای کاربردی‌های ۱۰ و ۱۲ و ۱۴ کاربردی، مأخذ: همان، ۱۶.

ت ۱۱ (پایین، راست). کاربردی ۱۰ ضلعی ترسیم شده به شیوه شعریاف، ترسیم: نگارندگان.

ت ۱۲ (پایین، میان) کاربردی ۱۰ ضلعی ترسیم شده به شیوه بزرگمهری، ترسیم: نگارندگان.

ت ۱۳ (پایین، چپ). انطباق این دو شیوه ترسیم بر روی هم، ترسیم: نگارندگان.

۵.۴. مطالعه مقایسه‌ای روش ترسیم کاربردی ۱۲ شعرباف با بزرگمهری، و تصحیح پیرنیا

اگر رسمی ۱۲ دوبا قالب شاغولی ترسیم شعرباف بر روی کاربردی ۱۲ اضلعی ترسیم بزرگمهری منطبق گردد، معلوم می‌شود که تناسبات مستطیل زمینه ترسیم بزرگمهری درست نیست و باید کمی تغییر یابد (ت ۱۵ تا ۱۸).

بنا بر این نتیجه می‌گیریم که روش بزرگمهری دارای خطا است و قوت کافی را ندارد. با فرض اینکه طول مستطیل A و عرض مستطیل B هست:

$$\text{IF: } A=5, B=3 \longrightarrow 2(3+5-2)=12$$

$$\text{IF: } A=5, 1962, B=3 \longrightarrow$$

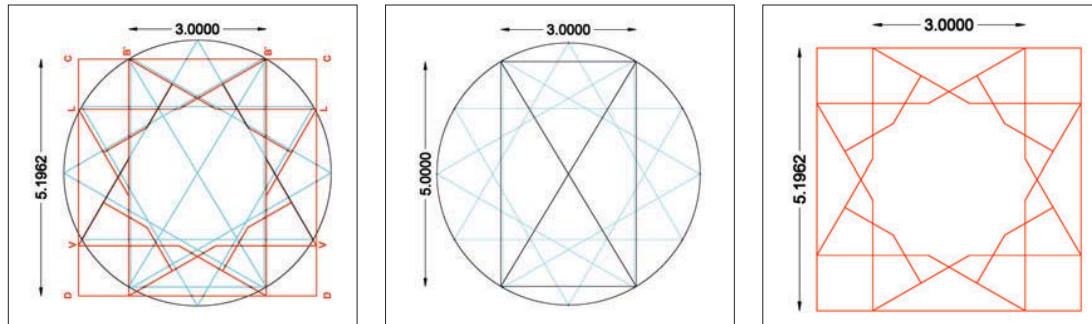
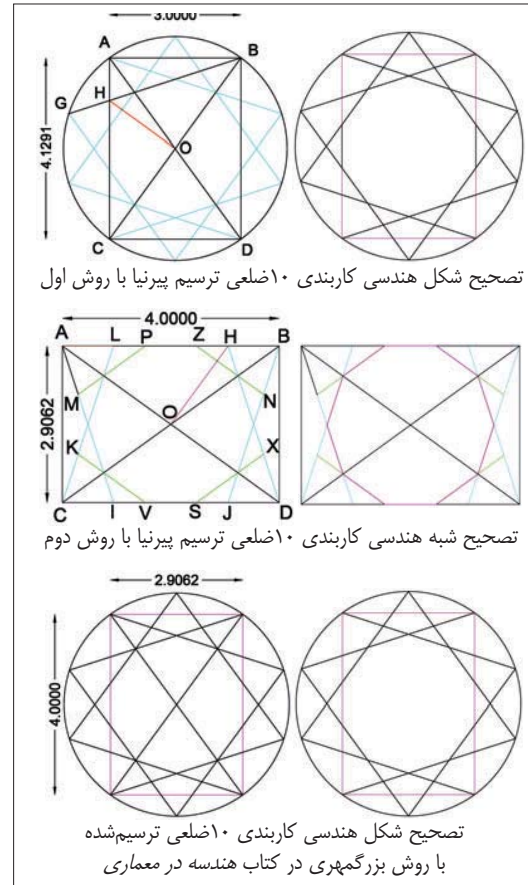
$$\text{IF: } A=5, B=2, 8868$$

مشکل هندسه نظری کاربردی ۱۲ اضلعی برطرف می‌شود. توضیح: بزرگمهری روش ترسیم کاربردی را بر اساس زمینه موجود بیان می‌دارد. زمینه‌ها را در کل مستطیل و بنا بر ابعاد مستطیل، نوع کاربردی را از فرمول $2(a+b-2)$ تعیین می‌کند.^{۱۵} او ابعاد مشخصی را نیز برای نوع کاربردی بیان می‌کند، می‌توان زمینه ابعادی که تطابق نداشته باشد را با تغییر و نزدیک کردن به نسبت‌های مینا مناسب کرد. او همچنین تغییرات زمینه در پای کار هنگام اجرا از سوی معمار را راهی برای اجرای دقیق می‌داند. در کاربردی ۱۲ مستطیل ۳×۵ در نظر گرفته شده است؛ اما ترسیم با این ابعاد دارای خطا است، در نتیجه ابعاد مستطیل زمینه $2, 8868 \times 5$ است.

۱۵. زهره بزرگمهری، هندسه در معماری.

ت ۱۴ (بالا). تصحیح شکل هندسی پلان‌ها، ترسیم: نگارندگان.

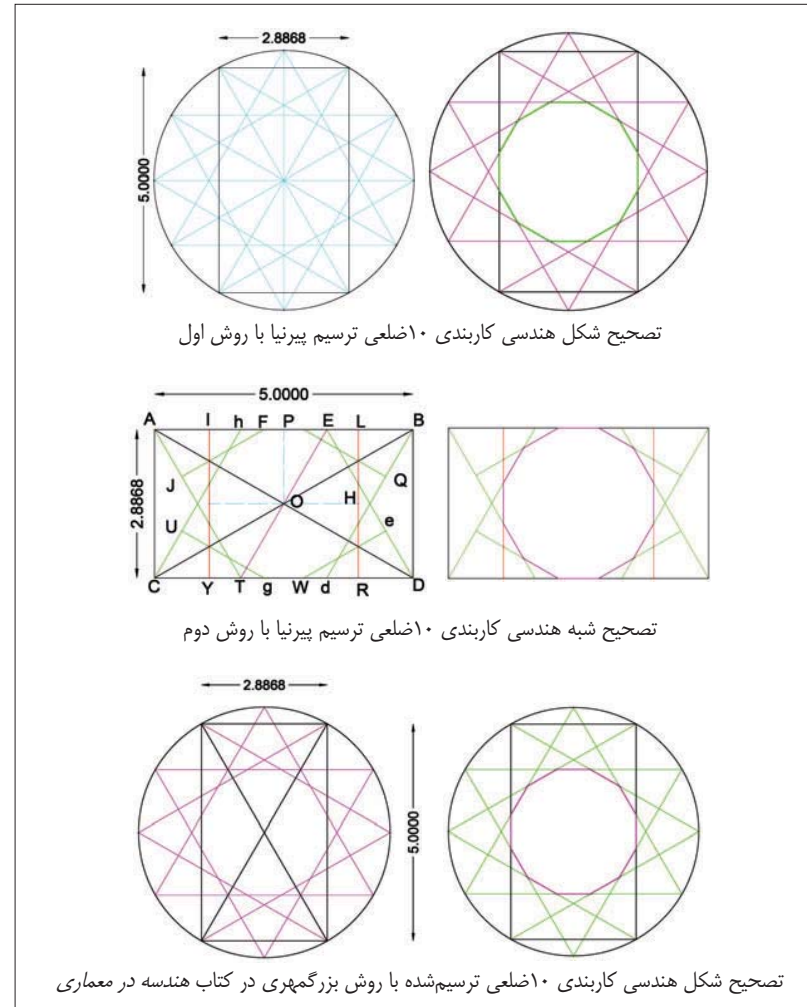
ت ۱۵ (پایین، راست). کاربردی ۱۲ اضلعی ترسیم‌شده به شیوه شعرباف، ترسیم: نگارندگان. ت ۱۶ (پایین، میان). کاربردی ۱۲ اضلعی ترسیم‌شده به شیوه بزرگمهری، ترسیم: نگارندگان. ت ۱۷ (پایین، چپ). انطباق این دو شیوه بر روی هم، ترسیم: نگارندگان.



۶.۴. مقایسه تطبیقی روش ترسیم کاربندی ۱۴ استاد شعرباغ با روش ترسیم بزرگمهری، و تصحیح پیرنیا

اگر رسمی ۱۴ دوپا قالب شاغولی ترسیم استاد شعرباغ را روی کاربندی ۱۴ ضلعی رسم بزرگمهری منطبق می‌کنیم، می‌بینیم

ت ۱۸. تصحیح شکل هندسی پلان‌ها، ترسیم: نگارندگان.



تناسبات مستطیل زمینه رسم شده بزرگمهری درست نیست و باید کمی تغییر یابد (ت ۱۹ تا ۲۲).

بنا بر این نتیجه می‌گیریم که روش بزرگمهری دارای خطا است و قدرت کافی ندارد. با فرض اینکه طول مستطیل A و عرض مستطیل B هست:

$$IF: A=5, B=4 \longrightarrow 2(2-4+5)=14$$

$$IF: A=5,0158, B=4 \longrightarrow$$

$$IF: A=5, B=3,9874$$

مشکل هندسه نظری کاربندی ۱۴ ضلعی برطرف می‌شود. توضیح: در کاربندی ۱۴ مستطیل ۵×۴ در نظر گرفته شده است، اما ترسیم با این ابعاد دارای خطا است، در نتیجه ابعاد مستطیل زمینه ۳,۹۸۷۴×۵ است.

۷.۴. مقایسه تطبیقی روش ترسیم کاربندی ۱۶ استاد شعرباغ با روش ترسیم بزرگمهری، و تصحیح پیرنیا

اگر رسمی ۱۶ دوپا قالب شاغولی ترسیم استاد شعرباغ را روی کاربندی ۱۶ ضلعی ترسیم بزرگمهری منطبق می‌کنیم، می‌بینیم تناسبات مستطیل زمینه رسم بزرگمهری درست نیست و باید کمی تغییر یابد (ت ۲۳ تا ۲۶).

بنا بر این نتیجه می‌گیریم روش بزرگمهری دارای خطا است و قدرت کافی ندارد. با فرض اینکه طول مستطیل A و عرض مستطیل B هست:

$$IF: A=6, B=4 \longrightarrow 2(2-6+4)=16$$

$$IF: A=5,9864, B=4 \longrightarrow$$

$$IF: A=6, B=4,0091$$

مشکل هندسه نظری کاربندی ۱۶ ضلعی برطرف می‌شود. توضیح: در کاربندی ۱۶ مستطیل ۶×۴ در نظر گرفته شده است، اما ترسیم با این ابعاد دارای خطا است، در نتیجه ابعاد مستطیل زمینه ۵,۹۸۶۴×۴ است.

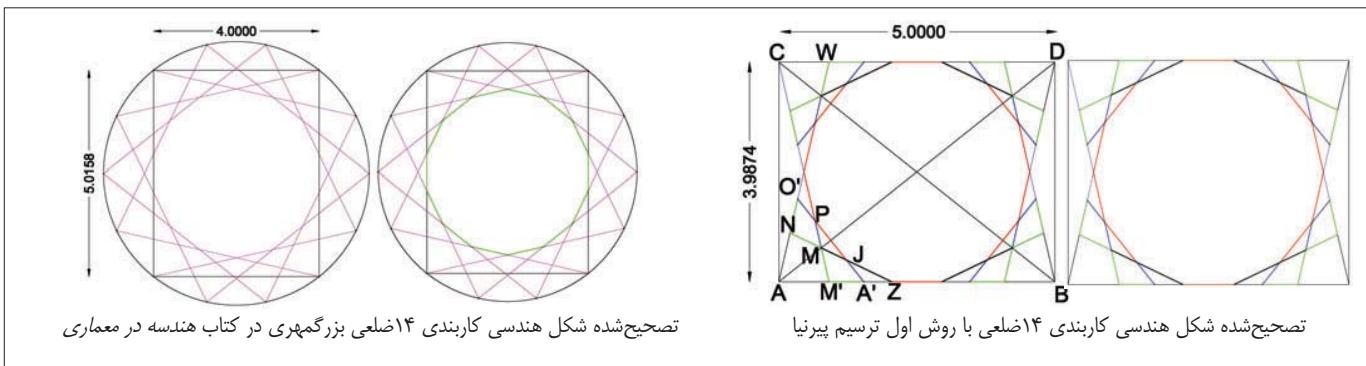
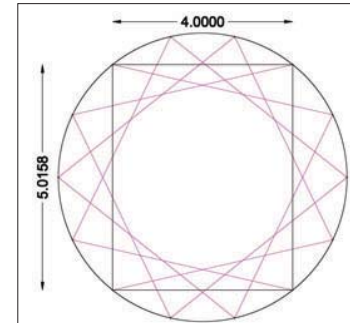
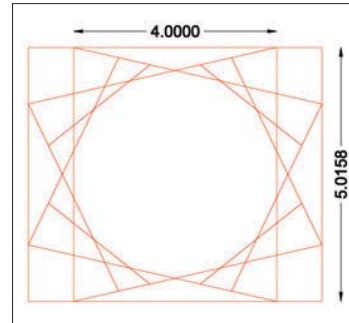
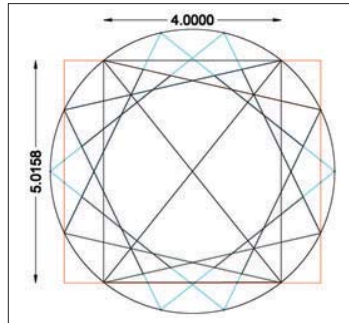
۵. نتیجه‌گیری

دارای دو مرحله و ساده‌تر از بقیه روش‌ها است و نیازی به دانستن ابعاد دقیق چهارضلعی زمینه نیست. در حالی که برای کاربردی‌های ۱۰ و ۱۴ این روش ذکر نشده است. در روش دوم پیرنیا برای کاربردی‌های ۱۰ و ۱۲ و ۱۶ ابتدا مستطیل زمینه با ابعاد محاسبه‌شده از قبل ترسیم شده است و بر اساس آن بقیه مراحل ترسیم ادامه می‌یابد؛ اما بقیه روش‌های ترسیمی پیرنیا و بزرگمهری بر اساس تقسیم دایره محیطی و ترسیم مستطیل زمینه برای به دست آوردن کاربردی ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۶ است (جدول ۷، ردیف ۶۱-۹۸). در روش لرزاده و شعراف خطوط کاربردی از به هم وصل کردن نقطه‌های پاکار حاصل از تقاطع شعاع‌های دایره یا نیم‌دایره با اضلاع چندضلعی زمینه به دست می‌آید (جدول ۷، ردیف ۶۱-۹۸). در هندسه عملی روش ترسیمی

روش مطالعه مقایسه‌ای، با استفاده از «جدول ۷»، چگونگی شباهت‌ها و تفاوت‌های کاربردی‌های ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۶ را در گستره شیوه‌های ترسیم (میزان خطای شکل پایه، نحوه ترسیم هندسه نظری و عملی، کاربست شکل‌های پایه گوناگون) آشکار می‌کند. نتیجه همه این روش‌ها به دست آوردن همه یا برخی از رؤس و وترهای چندضلعی منتظم محاط در دایره یا چهارضلعی است. روش اول پیرنیا و روش بزرگمهری برای اکثر کاربردی‌ها مشابه هم هستند. در روش شعراف برای ترسیم کاربردی‌ها دانستن ابعاد مستطیل زمینه تأثیری در فرایند طراحی ندارد^۶، اما در روش‌های پیرنیا و بزرگمهری تأثیرگذار است. در کل روش ترسیم لرزاده برای کاربردی ۱۲ و ۱۶ فقط

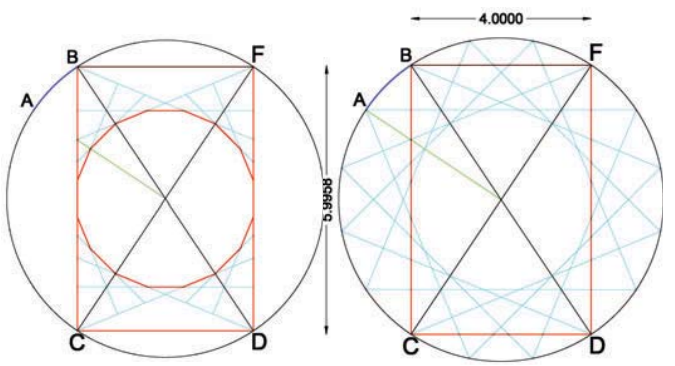
۱۶. نک: بخش ۳.۴

ت ۱۹ (بالا، راست). کاربردی ۱۴ ضلعی ترسیم‌شده به شیوه بزرگمهری، ترسیم: نگارندگان.
 ت ۲۰ (بالا، میان). کاربردی ۱۴ ضلعی ترسیم‌شده به شیوه شعراف، ترسیم: نگارندگان.
 ت ۲۱ (بالا، چپ). انطباق این دو شیوه بر روی هم، ترسیم: نگارندگان.
 ت ۲۲ (پایین). تصحیح شکل هندسی پلان‌ها، ترسیم: نگارندگان.

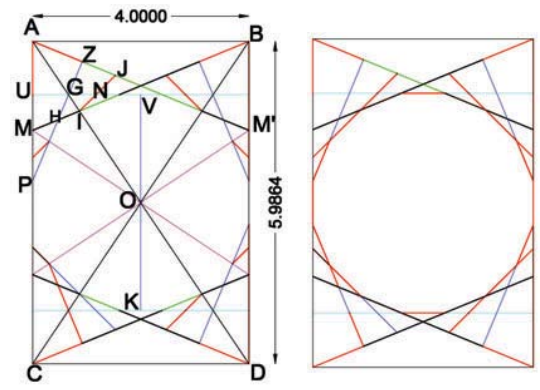
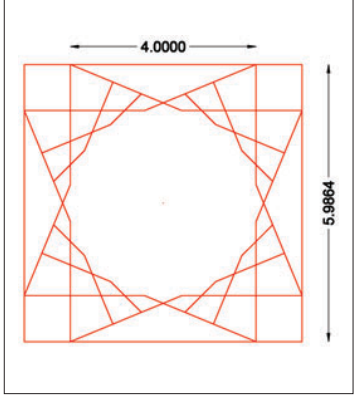


تصحیح‌شده شکل هندسی کاربردی ۱۴ ضلعی بزرگمهری در کتاب هندسه در معماری

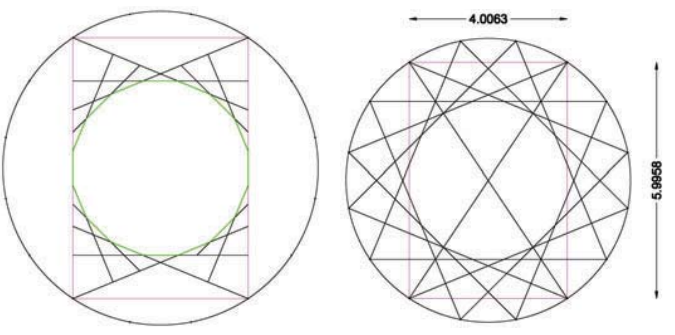
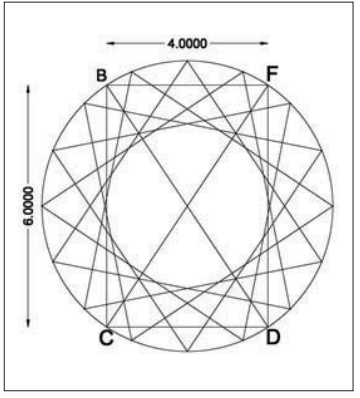
تصحیح‌شده شکل هندسی کاربردی ۱۴ ضلعی با روش اول ترسیم پیرنیا



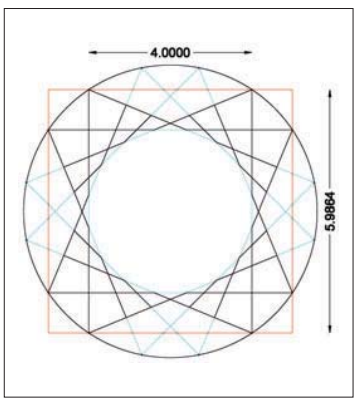
تصحیح شده شکل هندسی کاربردی ۱۶ ضلعی با روش اول ترسیم پیرنیا



تصحیح شده شکل هندسی کاربردی ۱۶ ضلعی با روش دوم ترسیم پیرنیا



تصحیح شده شکل هندسی کاربردی ۱۶ ضلعی با روش بزرگمهری در کتاب هندسه در معماری



ت ۲۳ (راست، بالا). کاربردی
 ۱۶ ضلعی ترسیم شده به شیوه
 بزرگمهری، ترسیم: نگارندگان.
 ت ۲۴ (راست، میان). کاربردی
 ۱۶ ضلعی ترسیم شده به شیوه
 شعریاف، ترسیم: نگارندگان.
 ت ۲۵ (راست، پایین). انطباق
 این دو شیوه بر روی هم، ترسیم:
 نگارندگان.
 ت ۲۶ (چپ). تصحیح شکل
 هندسی پلان‌ها، ترسیم:
 نگارندگان.

ردیف	گستره شبیه‌های ترسیمی	مطالعه مقایسه‌ای روش‌های مختلف ترسیم کاربردی ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۶
۱	پیرنیا: روش اول	کاربندی ۱۰ اندازه طول مستطیل در نظر گرفته شده برای کاربردی ۱۰ = ۴ سانتی‌متر اندازه اصلاح شده طول = ۴/۱۲ سانتی‌متر میزان خطا = ۰/۱۲ سانتی‌متر
۲		کاربندی ۱۲ اندازه طول مستطیل در نظر گرفته شده برای کاربردی ۱۲ = ۵ سانتی‌متر اندازه اصلاح شده طول = ۵/۱۹ سانتی‌متر میزان خطا = ۰/۱۹ سانتی‌متر
۳		کاربندی ۱۴ اندازه طول مستطیل در نظر گرفته شده برای کاربردی ۱۴ = ۵ سانتی‌متر اندازه اصلاح شده طول = ۵/۰۱۵۸ سانتی‌متر میزان خطا = ۰/۰۱۵۵ سانتی‌متر
۴		کاربندی ۱۶ اندازه طول مستطیل در نظر گرفته شده برای کاربردی ۱۶ = ۶ سانتی‌متر اندازه اصلاح شده طول = ۵/۹۸۶۴ سانتی‌متر میزان خطا = ۰/۰۱۳ سانتی‌متر
۵	پیرنیا: روش دوم	کاربندی ۱۰ اندازه طول مستطیل در نظر گرفته شده برای کاربردی ۱۰ = ۴ سانتی‌متر اندازه اصلاح شده طول = ۴/۱۲ سانتی‌متر میزان خطا = ۰/۱۲ سانتی‌متر
۶		کاربندی ۱۲ اندازه طول مستطیل در نظر گرفته شده برای کاربردی ۱۲ = ۵ سانتی‌متر اندازه اصلاح شده طول = ۵/۱۹ سانتی‌متر میزان خطا = ۰/۱۹ سانتی‌متر
۷		کاربندی ۱۴ اندازه طول مستطیل در نظر گرفته شده برای کاربردی ۱۴ = ۵ سانتی‌متر اندازه اصلاح شده طول = ۵/۰۱۵۸ سانتی‌متر میزان خطا = ۰/۰۱۵۵ سانتی‌متر
۸		کاربندی ۱۶ اندازه طول مستطیل در نظر گرفته شده برای کاربردی ۱۶ = ۶ سانتی‌متر اندازه اصلاح شده طول = ۵/۹۸۶۴ سانتی‌متر میزان خطا = ۰/۰۱۳ سانتی‌متر
۹	بزرگمهری	کاربندی ۱۰ اندازه طول مستطیل در نظر گرفته شده برای کاربردی ۱۰ = ۴ سانتی‌متر اندازه اصلاح شده طول = ۴/۱۲ سانتی‌متر میزان خطا = ۰/۱۲ سانتی‌متر
۱۰		کاربندی ۱۲ اندازه طول مستطیل در نظر گرفته شده برای کاربردی ۱۲ = ۵ سانتی‌متر اندازه اصلاح شده طول = ۵/۱۹ سانتی‌متر میزان خطا = ۰/۱۹ سانتی‌متر
۱۱		کاربندی ۱۴ اندازه طول مستطیل در نظر گرفته شده برای کاربردی ۱۴ = ۵ سانتی‌متر اندازه اصلاح شده طول = ۵/۰۱۵۸ سانتی‌متر میزان خطا = ۰/۰۱۵۵ سانتی‌متر
۱۲		کاربندی ۱۶ اندازه طول مستطیل در نظر گرفته شده برای کاربردی ۱۶ = ۶ سانتی‌متر اندازه اصلاح شده طول = ۵/۹۸۶۴ سانتی‌متر میزان خطا = ۰/۰۱۳ سانتی‌متر
۱۳	شعرباف	کاربندی ۱۰ ابعاد مستطیل زمینه در کاربردی ۱۰ مهم نیست.
۱۴		کاربندی ۱۲ ابعاد مستطیل زمینه در کاربردی ۱۲ مهم نیست.
۱۵		کاربندی ۱۴ ابعاد مستطیل زمینه در کاربردی ۱۴ مهم نیست.
۱۶		کاربندی ۱۶ ابعاد مستطیل زمینه در کاربردی ۱۶ مهم نیست.
۱۷	لرزاده	کاربندی ۱۰ -
۱۸		کاربندی ۱۲ ابعاد مربع زمینه مهم نیست.
۱۹		کاربندی ۱۴ -
۲۰		کاربندی ۱۶ ابعاد مربع زمینه مهم نیست.

جدول ۷. مطالعه مقایسه‌ای روش‌های مختلف ترسیم کاربردی ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۶، تدوین: نگارندگان.





ردیف	گستره شیوه‌های ترسیمی	مطالعه مقایسه‌ای روش‌های مختلف ترسیم کاربردی ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۶					
۲۱	نحوه ترسیم هندسه نظری	نوع ابزار مورد نیاز برای ترسیم هندسه نظری	پیرنیا: روش اول	کاربندی ۱۰	پرگار، خطکش مدرج، گونیا	<p>شباهت‌ها:</p> <p>۱. در هندسه نظری امکان ترسیم همه کاربردی‌ها بر روی کاغذ با روش‌های هندسی هست.</p> <p>۲. در هندسه عملی برای اجرای همه کاربردی‌ها از ابزارهای متر، شمشه، و ریسمان استفاده می‌شود.</p> <p>تفاوت‌ها:</p> <p>۱. کاربردی‌هایی مانند ۱۲ و ۱۶ با روش‌های ساده‌تر هندسی و کاربردی‌هایی مانند ۱۰ و ۱۴ با روش‌های پیچیده‌تر ریاضی بر روی کاغذ قابلیت ترسیم دارند.</p> <p>۲. در هندسه عملی روش پیرنیا با ابزار سنتی به‌سادگی قابل اجرا است، اما بقیه روش‌ها با ابزار سنتی در مرحله تقسیم دایره به صورت چشمی و با خطا قابل اجرا هستند.</p> <p>دلایل شباهت‌ها:</p> <p>۱. همه کاربردی‌ها با سه ابزار خطکش، گونیا، و پرگار بر روی کاغذ ترسیم می‌شوند.</p> <p>۲. در هندسه عملی، برای ترسیم مربع و مستطیل زمینه، تقسیم دایره به کمان‌های مساوی، وصل کردن نقاط تقسیم، و... از ریسمان و متر استفاده می‌شود. رسم عمودمنصف از روش مثلث ۵ و ۳، ۴ با متر و ریسمان قابل اجرا است. برای امتداد دادن خطوط و کشیدن خط از شمشه استفاده می‌شود.</p> <p>دلایل تفاوت‌ها:</p> <p>۱. اعدادی مانند ۱۲ و ۱۶ مضرب ۴ هستند و به راحتی با روش‌های ساده ریاضی کاربردی‌هایی با این تعداد اضلاع ترسیم می‌شوند. اما اعدادی مانند ۱۰ و ۱۴ مضرب ۴ نیستند و ترسیم کاربردی‌هایی با این تعداد اضلاع بر روی کاغذ سخت‌تر است.</p> <p>۲. نحوه تقسیم دایره به چند قسمت مساوی در شیوه‌های ترسیمی بزرگمهری، شعرباف، و لرزاده بیان نشده است. در هندسه عملی عمدتاً تقسیم دایره به چند قسمت مساوی، اندکی خطا، به صورت چشمی و با ریسمان انجام می‌گرفت، اما پیرنیا نحوه تقسیم دایره به کمان‌های مساوی را در هنگام اجرا بیان کرده است. بنا بر این شیوه پیرنیا عملی‌تر است.</p>	
۲۲				کاربندی ۱۲	پرگار، خطکش مدرج، گونیا		
۲۳				کاربندی ۱۴	خطکش مدرج، گونیا		
۲۴				کاربندی ۱۶	پرگار، خطکش مدرج، گونیا		
۲۵			پیرنیا: روش دوم	کاربندی ۱۲	خطکش مدرج، گونیا		
۲۶				کاربندی ۱۰	خطکش مدرج، گونیا		
۲۷				-	-		
۲۸				کاربندی ۱۶	خطکش مدرج، گونیا		
۲۹			بزرگمهری	کاربندی ۱۰	پرگار، خطکش مدرج، گونیا		
۳۰				کاربندی ۱۲	پرگار، خطکش مدرج، گونیا		
۳۱				کاربندی ۱۴	پرگار، خطکش مدرج، گونیا		
۳۲				کاربندی ۱۶	پرگار، خطکش مدرج، گونیا		
۳۳			شعرباف	کاربندی ۱۰	پرگار، خطکش، گونیا		
۳۴				کاربندی ۱۲	پرگار، خطکش، گونیا		
۳۵				کاربندی ۱۴	پرگار، خطکش، گونیا		
۳۶				کاربندی ۱۶	پرگار، خطکش، گونیا		
۳۷			لرزاده	کاربندی ۱۰	-		
۳۸				کاربندی ۱۲	پرگار، خطکش، گونیا		
۳۹				کاربندی ۱۴	-		
۴۰				کاربندی ۱۶	پرگار، خطکش، گونیا		
۴۱		نحوه ترسیم هندسه عملی	نوع ابزار مورد نیاز برای ترسیم هندسه عملی	پیرنیا: روش اول	کاربندی ۱۰		ریسمان، متر، شمشه
۴۲					کاربندی ۱۲		ریسمان، متر، شمشه
۴۳					کاربندی ۱۴		ریسمان، متر، شمشه
۴۴					کاربندی ۱۶		ریسمان، متر، شمشه
۴۵				کاربندی ۱۰	ریسمان، متر، شمشه		
۴۶				کاربندی ۱۲	ریسمان، متر، شمشه		
۴۷				کاربندی ۱۴	-		
۴۸				کاربندی ۱۶	ریسمان، متر، شمشه		
۴۹				کاربندی ۱۰	ریسمان، متر، شمشه		
۵۰				کاربندی ۱۲	ریسمان، متر، شمشه		
۵۱			کاربندی ۱۴	ریسمان، متر، شمشه			
۵۲			کاربندی ۱۶	ریسمان، متر، شمشه			
۵۳			شعرباف	کاربندی ۱۰	ریسمان، متر، شمشه		
۵۴				کاربندی ۱۲	ریسمان، متر، شمشه		
۵۵				کاربندی ۱۴	ریسمان، متر، شمشه		
۵۶				کاربندی ۱۶	ریسمان، متر، شمشه		
۵۷			لرزاده	کاربندی ۱۰	ریسمان، متر، شمشه		
۵۸				کاربندی ۱۲	ریسمان، متر، شمشه		
۵۹				کاربندی ۱۴	ریسمان، متر، شمشه		
۶۰				کاربندی ۱۶	ریسمان، متر، شمشه		

→
ادامه جدول ۷. مطالعه مقایسه‌ای روش‌های مختلف ترسیم کاربردی ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۶، تدوین: نگارندگان.
←

ردیف	گستره شیوه‌های ترسیمی	مطالعه مقایسه‌ای روش‌های مختلف ترسیم کاربندی ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۶	
۶۱	گستره شیوه‌های ترسیم	کاربندی ۱۰	
۶۲		پیرنیا: کاربندی ۱۲	
۶۳		روش اول کاربندی ۱۴ روش ترسیم کاربندی ۱۴ توسط پیرنیا بر اساس رسم مستطیل زمینه است.	
۶۴		کاربندی ۱۶	
۶۵		پیرنیا: کاربندی ۱۰ روش دوم ترسیم کاربندی ۱۰ توسط پیرنیا بر اساس رسم مستطیل زمینه است.	
۶۶		روش دوم ترسیم کاربندی ۱۲ توسط پیرنیا بر اساس رسم مستطیل زمینه است.	
۶۷		کاربندی ۱۴	
۶۸		روش دوم ترسیم کاربندی ۱۶ توسط پیرنیا بر اساس رسم مستطیل زمینه است.	
۶۹		کاربندی ۱۰	
۷۰		بزرگمهری کاربندی ۱۲	
۷۱		کاربندی ۱۴	
۷۲		کاربندی ۱۶	
۷۳		شعرباف	
۷۴		لرزاده	
۷۵	ترسیم پیرنیا به مستطیل زمینه و تقسیم بندی دایره محیطی	روش اول پیرنیا بر اساس ترسیم مستطیل زمینه و سپس تقسیم بندی دایره محیطی دربرگیرنده رئوس آن مستطیل است.	
۷۶		پیرنیا: کاربندی ۱۲ روش اول پیرنیا بر اساس توضیح بالا است.	
۷۷		کاربندی ۱۴	
۷۸		روش اول پیرنیا برای کاربندی ۱۶ بر اساس ترسیم مستطیل زمینه و سپس تقسیم بندی دایره محیطی دربرگیرنده رئوس آن مستطیل است.	
۷۹		کاربندی ۱۰	
۸۰		پیرنیا: کاربندی ۱۲	
۸۱		روش دوم کاربندی ۱۴	
۸۲		کاربندی ۱۶	
۸۳		روش بزرگمهری بر اساس ترسیم مستطیل زمینه و سپس تقسیم بندی دایره محیطی دربرگیرنده رئوس آن مستطیل است.	
۸۴		روش ذکر شده توسط بزرگمهری بر اساس توضیح بالا است.	
۸۵		روش بزرگمهری بر اساس توضیح بالا است.	
۸۶		روش بزرگمهری بر اساس توضیح بالا است.	
۸۷		شعرباف	
۸۸		لرزاده	
۸۹	پیرنیا		
۹۰	بزرگمهری		
۹۱	ترسیم با شعاع ها و کمان دایره	روش شعرباف بر اساس ترسیم فلکهای با شعاع دلخواه تقسیم آن به ۱۰ قسمت مساوی است.	
۹۲		کاربندی ۱۲ روش شعرباف بر اساس ترسیم فلکهای با شعاع دلخواه تقسیم آن فلکه به ۱۲ قسمت مساوی است.	
۹۳		کاربندی ۱۴ روش شعرباف بر اساس ترسیم فلکهای با شعاع دلخواه تقسیم آن فلکه به ۱۴ قسمت مساوی است.	
۹۴		کاربندی ۱۶ روش شعرباف بر اساس ترسیم فلکهای با شعاع دلخواه تقسیم آن فلکه به ۱۶ قسمت مساوی است.	
۹۵		کاربندی ۱۰	
۹۶		روش لرزاده نیز بر اساس ترسیم دایره‌ای با شعاع دلخواه در داخل مربعی با اندازه ضلع دلخواه و تقسیم آن دایره به ۲۴ قسمت مساوی است.	
۹۷		کاربندی ۱۴	
۹۸		روش لرزاده نیز بر اساس ترسیم دایره‌ای با شعاع دلخواه در داخل مربعی با اندازه ضلع دلخواه و تقسیم آن دایره به ۳۲ قسمت مساوی است.	
			شبهات‌ها:
			۱. نتیجه همه روش‌ها برای کاربندی‌های ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۶ هندسه‌ای یکسان و دستوری هست.
			تفاوت‌ها:
			۱. در روش شعرباف برای کاربندی‌های ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۶ دانستن ابعاد مستطیل زمینه مهم نیست، اما در روش‌های پیرنیا و بزرگمهری مهم است. روش لرزاده برای کاربندی ۱۲ و ۱۶ ذکر شده، اما برای کاربندی ۱۰ و ۱۴ ذکر نشده است.
			دلایل شبهات‌ها:
			۱. نتیجه همه این روش‌ها به دست آوردن همه یا برخی از رئوس و وترهای چندضلعی منتظم محاط در دایره یا چهارضلعی است.
		دلایل تفاوت‌ها:	
		۱. در روش پیرنیا ترسیم بر اساس تقسیم بندی مساوی دایره محیط بر مستطیل زمینه و در نهایت به هم وصل کردن نقاط تقسیم روی دایره برای به دست آوردن چندضلعی مورد نظر است. اما در روش لرزاده و شعرباف از نقطه مرکز شعاع‌هایی با زاویه‌هایی مساوی خارج می‌گردد تا نقطه‌های پاکار روی خط زمینه مشخص شوند. ادامه شعاع‌ها به رئوس همان چندضلعی می‌رسد و نقطه‌های پاکار به دست آمده هم دقیقاً روی دایره محاطی همان چندضلعی منتظم قرار می‌گیرند.	
		۲. در روش پیرنیا و بزرگمهری، بنا بر ابعاد مستطیل، نوع کاربندی از فرمول $2(a+b)$ تعیین می‌شود.	

ادامه جدول ۷. مطالعه مقایسه‌ای روش‌های مختلف ترسیم کاربندی ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۶. تدوین: نگارندگان.

پیرنیا با ابزار سنتی به سادگی قابل اجرا است. اما بقیه روش‌ها با خطا قابل اجرا هستند. در هندسه نظری نحوه تقسیم دایره به چند قسمت مساوی در شیوه‌های ترسیمی بزرگمهری، شعرباف، و لرزاده بیان نشده است. البته همه شیوه‌ها با روش‌های پیچیده ریاضی قابلیت ترسیم بر روی کاغذ را دارند. تقسیم دایره به ۱۶ و ۱۲ قسمت مساوی با روش‌های ساده هندسی امکان‌پذیر است. چون این اعداد مضرب ۴ هستند، اما برای اعدادی مانند ۱۰ و ۱۴ این‌گونه نیست و نیاز به دانستن روش‌های پیچیده‌تر ریاضی است (جدول ۷، ردیف ۲۱-۶۰). در «جدول ۸» مزایا و معایب روش‌های ترسیم آمده است.

همه کاربردی‌های ۱۴، ۱۲، ۱۰، و ۱۶ در روش‌های ترسیمی پیرنیا و بزرگمهری دارای خطا هستند. تقسیم‌های به دست آمده روی دایره با خط‌کش و پرگار دقت کافی ندارد. میزان خطای اتفاق افتاده در طول مستطیل زمینه کاربردی‌های ۱۰ و ۱۲ در

نوع روش	نقد روش ترسیم
مزایا: روش شعرباف	<p>۱. مهم نبودن ابعاد مستطیل زمینه</p> <p>۲. قابلیت ترسیم کاربردی‌های با تعداد اضلاع فرد و کاربردی ۱۰ اضلعی</p> <p>۳. منطبق شدن رؤس چندضلعی منتظم به دست آمده بر نقاط تقسیم شکل زمینه</p> <p>۴. قابلیت ترسیم با استفاده از پرگار و خط‌کش غیر مدرج</p>
معایب:	<p>۱. کمی پیچیده بودن روش ترسیم و مشخص نکردن نحوه تقسیم دایره به چند قسمت مساوی (بخش ۳، ۴)</p> <p>۲. قابل اجرا بودن شیوه ترسیم با خطا و به صورت چشمی و به راحتی قابل اجرا نبودن با ابزار سنتی در مرحله تقسیم دایره</p>
مزایا: روش اول پیرنیا	<p>۱. بیان چندین روش ترسیم برای هر نوع کاربردی</p> <p>۲. عملی بودن شیوه‌های ترسیم، بدین منظور که با استفاده از ابزارهای سنتی معمار بتواند به راحتی ترسیم را انجام دهد.</p>
معایب:	<p>۱. مهم بودن ابعاد مستطیل زمینه و خطا داشتن در ابعاد ساختار زمینه</p> <p>۲. زیاد بودن تعداد مراحل ترسیم و نیاز داشتن به استفاده از پرگار و خط‌کش مدرج (جدول‌های ۲ و ۳ و ۵، ردیف ۱)</p>
مزایا: روش دوم پیرنیا	<p>۱. بیان چندین روش ترسیم برای هر نوع کاربردی</p> <p>۲. عملی بودن شیوه‌های ترسیم، بدین منظور که با استفاده از ابزارهای سنتی معمار بتواند به راحتی ترسیم را انجام دهد.</p> <p>۳. کم بودن تعداد ابزار ترسیم نسبت به بقیه (خط‌کش مدرج و گونیا)</p>
معایب:	<p>۱. مهم بودن ابعاد مستطیل زمینه و خطا داشتن در ابعاد ساختار زمینه</p> <p>۲. زیاد بودن تعداد مراحل ترسیم (جدول‌های ۲ و ۳ و ۵، ردیف ۲) و (جدول ۴، ردیف ۱)</p>
مزایا: روش بزرگمهری	<p>۱. قابلیت ترسیم وجود برای تمام انواع کاربردی‌ها</p> <p>۱. اثرگذار بودن ابعاد زمینه به منزله اصلی‌ترین عامل در پیدایش فرم پلان کاربردی و خطا داشتن در ابعاد ساختار زمینه (جدول ۶)</p> <p>۲. مشخص نکردن نحوه تقسیم دایره به چند قسمت مساوی</p> <p>۳. در هندسه عملی شیوه ترسیم با خطا و به صورت چشمی قابل اجرا است.</p>
مزایا: روش لرزاده	<p>۱. ساده‌ترین روش ترسیم نسبت به بقیه</p> <p>۱. قابلیت ترسیم تنها برای کاربردی‌هایی که تعداد اضلاعشان زوج هست به غیر از ۱۰، (بخش ۳، ۴)</p> <p>۲. شیوه ترسیم با خطا و به صورت چشمی قابل اجرا است. با ابزار سنتی در مرحله تقسیم دایره به راحتی قابل اجرا نیست.</p> <p>۳. مشخص نکردن نحوه تقسیم دایره به چند قسمت مساوی</p>

جدول ۸.
نقد روش‌های ترسیم،
تدوین: نگارندگان.

روش ترسیمی ذکرشده از سوی پیرنیا و بزرگمهری حدود ۰/۱ سانتی‌متر است. میزان خطا برای کاربردی‌های ۱۴ و ۱۶ حدود ۰/۰۱ سانتی‌متر است (جدول ۷، ردیف ۱ تا ۲۰). این میزان خطا از انطباق شکل ترسیمی شعرباف و لرزاده بر روی

روش‌های ترسیمی ذکرشده از سوی پیرنیا و بزرگمهری حدود ۰/۱ سانتی‌متر است. میزان خطا برای کاربردی‌های ۱۴ و ۱۶ حدود ۰/۰۱ سانتی‌متر است (جدول ۷، ردیف ۱ تا ۲۰). این میزان خطا از انطباق شکل ترسیمی شعرباف و لرزاده بر روی

منابع و مأخذ

سنتی در ایران به روایت استاد حسین لرزاده، تهران: مولی، ۱۳۷۴.
 رئیس، مهدی و دیگران. «بازنگری در مفهوم کاربردی بر مبنای هندسه نظری، عملی و نقش ساختمانی»، در *دوفصلنامه علمی- پژوهشی مرمت و معماری ایران*، ش ۵ (بهار و تابستان ۱۳۹۲)، ص ۳۳-۵۴.
 ستارپور، مریم و دیگران. «تعاملات معماری و کاربردی در سازه‌های بازار تبریز»، در *کنفرانس بین‌المللی علوم و مهندسی، دبی- امارات*، ۱۳۹۴.
 شعرباف، اصغر. *گره و کاربردی*، ج ۱، تهران: میراث فرهنگی کشور و سبحان نور، ۱۳۸۵.
 فارابی، ابوالنصر محمد. *احصاء العلوم*، تهران: علمی و فرهنگی، ۱۳۸۱.
 فرشچی، حمیدرضا و دیگران. «نظام هندسی زمینه‌های رسمی‌بندی یک‌پار، برگرفته از دایره محیطی»، در *دوفصلنامه مرمت و معماری ایران*، ش ۱۲ (پاییز و زمستان ۱۳۹۵)، ص ۱۲۷-۱۳۸.
 معماریان، غلامحسین. *معماری ایران نیارش*، تدوین هادی صفایی‌پور. تهران: موسسه انتشارات و موسسه فرهنگی هنری نغمه نواندیش، ۱۳۹۴.
 نجیب‌اوغلو، گل‌رو. *هندسه و تزئین در معماری اسلامی (طومار تویکاپی)*، ترجمه مهرداد قیومی بیدهندی، تهران: روزنه، ۱۳۸۹.
 نوایی، کامبیز و کامبیز حاجی‌قاسمی. *خشت و خیال: شرح معماری اسلامی ایران*، تهران: دانشگاه شهید بهشتی؛ سروش، ۱۳۹۰.

السعيد، عصام و عايشه پارمان. *نقش‌های هندسی در هنر اسلامی*، ترجمه مسعود رجب‌نیا، تهران: سروش، ۱۳۸۷.
 بوزجانی، ابوالوفا محمد بن محمد. *هندسه ایرانی- کاربرد هندسه در عمل*، ترجمه سیدعلیرضا جذبی، تهران: سروش، ۱۳۹۲.
 بزرگمهری، زهره. *هندسه در معماری*، تهران: میراث فرهنگی کشور و سبحان نور، ۱۳۷۱.
 بمانیان، محمدرضا و دیگران. *کاربرد هندسه و تناسب در معماری*، تهران: نشر هله و طحان، ۱۳۹۰.
 پایادوپولو، آکساندر. *معماری اسلامی*، ترجمه حشمت جزنی، تهران: رجا، ۱۳۶۸.
 پورنادری، حسین. *شعرباف و آثارش (جلد دوم گره و کاربردی)*، تهران: میراث فرهنگی کشور، ۱۳۷۹.
 پیرنیا، محمدکریم. *تحقیق در معماری گذشتۀ ایران*، تدوین غلامحسین معماریان، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۷۸.
 _____ . *درس‌نامه معماری اسلامی*، دانشگاه تهران، ۱۳۶۲.
 تهرانی، فرهاد و مهدی رئیس‌ی نافچی. *کاربردی درآمدی بر ادبیات موضوع*، درس سازه‌های سنتی دوره دکتری معماری، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۷.
 رئیس‌زاده، مهناز و حسین مفید. *احیای هنرهای از یاد رفته: مبانی معماری*

Ching, F.D.K. & M. Jarzombek & V. Prakash. *A Global History of Architecture*, New Jersey: Wiley & Sons, 2010.
 Garofalo, Vincenza. "The Geometry of a Domed Architecture: A Stately Example of Karbandi at Bagh-e-Dolat Abad in Yazd", in *Journal of the Nexus Network Architectural and Mathematics*, 18(1) (2016), pp. 169-195.
 Peter, J.Lu & Paul J. Steinhardt. "Decagonal and Quasi-Crystalline Tilings in Medieval Islamic Architecture", in

Science Journal, Vol. 315 (2007), pp. 1106-1110.
 Pope, Arthur Upham. *A Survey of Persian art from Prehistoric Times to the Present*, Vol. VIII, London: Oxford University, 2005.
 PourAhmadi, Mojtaba. "A Basic Method for Naming Persian Karbandis Using a Set of Numbers", in *Journal of the Nexus Network Architectural and Mathematics*, 16(2) (2014), pp. 313-343.