تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۲۱ | تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۰۶/۰۵
نوع مقاله: پژوهشی
شماره صفحه ۱۰۱-۱۱۶

واکاوی هندسه به‌کار رفته در مدرسه غیاثیه خرگرد با تأکید بر هندسه عملی ابوالوفا بوزجانی*

احد نژاد ابراهیمی
دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران (نویسنده مسئول مکاتبات)
E-mail : Ahadebrahimi@tabriziau.ac.ir

محیا توران‌پور
کارشناس ارشد معماری اسلامی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران
E-mail : m.tooranpoor@tabriziau.ac.ir

چکیده

هندسه در متون تخصصی هندسی به دو دسته هندسه عملی و نظری تقسیم‌بندی می‌شود. این متون، هندسه عملی را جوهره کار صنعتگران، نقشه‌برداران و بنایان دانسته و مهم‌ترین نماد بیرونی آن را معماری قلمداد می‌کنند. در بین متون، رساله هندسه عملی بوزجانی از منابعی است که در آن هندسه با روش‌های متعدد و راه‌حل‌های ساده‌تر بیان شده است. قوام‌الدین شیرازی در متون کهن به‌عنوان مهندس و معمار در عصر تیموری یاد شده و مدرسه غیاثیه یکی از ماندگارترین بناهای ساخته شده توسط او است. در این پژوهش با روش تاریخی-تحلیلی، هندسه مدرسه غیاثیه مورد مطالعه قرار گرفته و سپس با هندسه بوزجانی تطبیق داده شده است تا پاسخگوی این سوال‌ها باشد: کاربست هندسه عملی در مدرسه غیاثیه چگونه صورت گرفته است؟ و شبکه‌های شطرنجی در طراحی این مدرسه به چه صورتی مورد استفاده بوده است؟ برای یافتن پاسخ، ابتدا هندسه عملی از منظر اندیشمندان غربی و ایرانی بررسی شد و سپس پلان و نمای مدرسه غیاثیه با توجه به روش‌های بوزجانی مورد بازنگری قرار گرفت. در نتیجه این تحقیق با اعمال شبکه مدولار بر پلان با توجه به ابعاد گنبدخانه و نیز تطبیق شکل‌گیری فضاها با هندسه بوزجانی، استفاده قوام‌الدین از روش‌های خاص هندسی و نیز از مدول مربعی مشخص در طراحی و ساخت بناها محرز گردید.

کلیدواژه‌ها: مدرسه غیاثیه خرگرد، ابوالوفا بوزجانی، قوام‌الدین شیرازی، هندسه عملی

* این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد محیا توران‌پور با عنوان «بازخوانی هندسه و تناسبات در معماری دوره تیموری با تأکید بر آثار قوام‌الدین شیرازی» است که با راهنمایی دکتر احد نژادابراهیمی در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه هنر اسلامی تبریز انجام شده است.

مقدمه

فارابی، خوارزمی، اخوان‌الصفا و ابن هیثم را می‌توان از دانشمندانی دانست که در کتب خود به طبقه‌بندی علوم پرداخته‌اند. هندسه از شاخه‌های علم ریاضی است که خود با توجه به نظریات هندسه‌دانان به دو بخش نظری و عملی تقسیم‌بندی می‌شود. هندسه عملی در واقع دانشی است که در صناعت و معماری و مساحی و نقشه‌برداری مورد استفاده بوده است. یکی از رساله‌های هندسه که می‌توان در خصوص کاربست هندسه عملی در صناعت مورد بررسی قرار داد، رساله هندسه عملی ابوالوفا بوزجانی است. در این رساله سعی شده مسائل هندسی با ساده‌ترین روش‌ها و به صورت شکل‌های تصویری ساده بیان شوند. ترجمه‌های گوناگون از این رساله به زبان‌های فارسی و عربی نشان از اهمیت آن دارد. در دوره تیموری ابواسحاق کوبنانی یزدی نسخه‌ای از این رساله را به زبان فارسی ترجمه کرده که در کتابخانه الغ‌بیگ نگهداری می‌شده است. آشکار است بنا بر آن چه در رساله مفتاح الحساب آمده و اسناد یافت شده از موزه توپقاپی و تاشکند که مؤید آن است، روند طراحی معماران عصر تیموری نه بر محاسبات حسابی بلکه بر طرح پیشنهادی مجموعه‌ای از ترسیم‌های هندسی استوار بوده است (Kostof, 1977). مدرسه غیاثیه خرگرد از جمله بناهای به‌جا مانده از دوره تیموری است که معمار قوام‌الدین شیرازی سازنده آن است. استفاده و کاربست هندسه در این بنا مشهود بوده اما می‌توان با بررسی و مطالعه از منابع و پژوهش‌های میدانی بر یافتن روشی در استفاده از هندسه این بنا اهتمام نمود. تکیه بر کتاب بوزجانی و روش‌های او، در بسیاری از موارد می‌تواند راه‌گشای مسائل طراحی در معماری شود. ازاین‌رو، این پژوهش در پی یافتن نقاط اشتراکی میان هندسه به‌کار رفته در مدرسه غیاثیه با روش‌های هندسی ابوالوفا بوزجانی است تا بتواند راهی برای اثبات کاربست هندسه بوزجانی در معماری پیشین بیابد؛ به نظر می‌رسد بتوان این رویکرد را در بناهای دیگر نیز اشاعه داد. این رساله با توجه به اهمیت حل روش‌های هندسی می‌تواند راه‌حل درستی را در به‌کارگیری هندسه عملی توسط معماران در نقشه‌های دیگر معماری کهن نشان دهد. هدف تحقیق حاضر بررسی و تحلیل هندسه و تناسبات مدرسه غیاثیه خرگرد هست تا به این سؤال پاسخ داده شود: روش استفاده از هندسه عملی و شبکه شطرنجی در مدرسه غیاثیه در تطبیق با هندسه بوزجانی به چه صورت است؟ فرضیه را می‌توان این‌گونه بیان نمود که با توجه به اسناد به‌جا مانده از دوره تیموری و همچنین ویژگی‌های معماری قوام، کاربرد هندسه و هندسه عملی در این بناها با توجه به روش معینی صورت گرفته است که دارای سندیت تاریخی می‌باشند.

پیشینه تحقیق

ردپای مطالعات و بررسی تأثیر و پیوند هندسه با معماری را از قرون گذشته می‌توان در بسیاری از مقالات و کتب مشاهده نمود. مفهوم هندسه و هندسه عملی و دسته‌بندی موضوعات مرتبط با آن را می‌توان در نسخ کهن ایرانی همچون خوارزمی (1989) و فارابی (۱۳۸۹) مشاهده نمود. بعد از این اندیشمندان کسانی همچون ابوالوفا بوزجانی و غیاث‌الدین کاشانی سعی بر پیوند ریاضیات و هندسه به معماری را داشته‌اند. هم‌زمان با برخی از هندسه‌دانان ردپایی از معمارانی چون قوام‌الدین شیرازی در متون با عنوان پیشرو مهندسان یافت می‌شود که به وضوح با توجه به معنای مهندس که برگرفته از هندسه و دانستن آن است محرز می‌گردد. برخی پژوهشگران بناهای او را به لحاظ آرایه‌های معماری زیباترین می‌شمارند: «مدرسه غیاثیه خرگرد زیباترین مدرسه ایران است. مقرنس‌های آن شگفت‌آور است» (پیرنیا، ۱۳۶۹، ۲۵۱). بنا بر مستندات موجود تاریخی «در بین معماران ایرانی مسلمان بیشترین ذکر در کتب ادبی و تاریخی از ایشان گردیده» (ویلبر و گلمبک، ۱۳۷۴، ۳۷) و چنان معروفیتی داشته که بعد از مرگ، بدل به شخصیتی افسانه‌ای شده است (گلچین عارفی، ۱۳۸۸، ۸۲). در بین آثار قوام‌الدین شیرازی مدرسه غیاثیه خرگرد درخور توجه بوده است. در خصوص هندسه عملی در

معماری به ویژه معماری تیموری و مدرسه غیاثیه خرگرد تحقیقاتی صورت گرفته است که در هر یک به گونه‌ای به شناخت موضوعات پرداخته‌اند. در پژوهش «ارزیابی هندسه کاربردی در نقشه سه بنای بقعه ابوبکر تایبادی، مسجد گوهرشاد و مدرسه غیاثیه خرگرد» نگارندگان (آذرخرداد و دیگران، ۱۳۹۷الف) سعی بر آن داشته‌اند که با توجه به اهمیت سیستم تناسبات فرمول‌های هندسی از جمله مربع دینامیک و هندسه کاربردی در معماری عصر تیموری به تحلیل سه بنای مذکور بپردازند. در پژوهشی دیگر از آذرخرداد و دیگران (۱۳۹۷ب) با عنوان «بازشناسی تناسبات و الگوهای هندسی کاربردی در معماری تیموری (مطالعه موردی مدرسه غیاثیه خرگرد)» ادعا می‌شود که قوام‌الدین از چهار سیستم تناسباتی استفاده کرده است که این فرمول‌ها شامل مربع و مثلث و مشتقات آنها، نیم مربع، و ریشه ۵ مستطیل هستند. این پژوهش سعی در روشن ساختن تناسبات هندسه عملی و به‌کارگیری پیمون و مقیاس در ساخت مدرسه غیاثیه کرده است. صادقی و احمدی (۱۳۸۹) در پژوهش «تأملی بر اصول معماری در دوره تیموری با تأکید بر بازشناخت بنای مدرسه غیاثیه خرگرد» مدرسه غیاثیه را با توجه به منابع و اسناد کتابخانه‌ای مورد بررسی قرار داده و خصوصیات آن را شرح می‌دهند. «بررسی روش‌های ابوالوفاء بوزجانی درباره تقسیم و ترکیب مربع‌ها: مربوط به الگوهای هندسی موجود در هنرهای اسلامی شهر اصفهان» از عصارزادگان (۱۳۸۹) تلاشی است برای بررسی روش‌های ابوالوفا در تقسیم یک مربع به چند مربع و ساختن یک مربع از ترکیب چند مربع و کاربرد آن در هنرهای اسلامی اصفهان.

اوزدورال (۱۳۸۰) در پژوهش «عمر خیام و معماری» سعی در اثبات ارتباط بین ریاضی‌دانان و هنرورزان را داشته تا بر استفاده از هندسه عملی تأکید کند. همچنین اوزدورال (۱۳۸۰) در تحقیق «ریاضیات و هنر: پیوند بین تئوری و عمل در جهان اسلام قرون وسطایی» سعی در بازشناخت و تأیید ارتباط بین علم ریاضیات به‌ویژه هندسه عملی با صناعت را داشته است. «بازخوانی میراث ابوالوفا بوزجانی در صناعات معماری» از طاهری و ندیمی (۱۳۹۱) روش‌های هندسی ابوالوفا و میزان عملی بودن آنها را با روش‌های معماران و صنعتگران در کنار یکدیگر بررسی کرده و تطبیق می‌دهد. «نقش ریاضی‌دانان در معماری به روایت متون دوره اسلامی» از طاهری (۱۳۹۰) به بررسی الگویی توصیفی از نقش ریاضی‌دانان و کاربرد دانش ریاضی ایشان در فرایند تکوین معماری از روزنه متون تاریخی سده‌های دوم تا یازدهم هجری عرضه می‌کند. «مناسبات معماری با علوم دقیقه در متون علمی دوره اسلامی» از طاهری (۱۳۹۴) به بررسی پیوند بین ریاضیات و معماری می‌پردازد. محققین دیگری از جمله کورباچی (1989)، بولاتف (1978)، خیراندیش و نجیب‌اغلو در خصوص هندسه عملی و هندسه‌دانانی که در خصوص این مسئله به انجام تحقیق پرداخته‌اند، صحبت می‌کنند. برای مثال به تشریح دو رساله بوزجانی و همچنین رساله فی تداخل الاشکال المتشابه و المتوافقه پرداخته‌اند. در پژوهش حاضر با توجه به فقدان بررسی هندسه عملی در معماری قوام با توجه به راه‌حل‌های مسائل هندسه‌های عملی که در برخی رساله‌ها از جمله رساله ابوالوفا ارائه شده و راهبردهایی اساسی و متقن در این رابطه هستند، نگارندگان بر آن شدند تا معماری مدرسه خرگرد قوام‌الدین شیرازی را از منظر روش‌های ابوالوفا مورد تحلیل و مطالعه قرار دهند. در این پژوهش سعی بر آن شده تا با روش‌های حل مسائل هندسی بوزجانی نقشه‌های مدرسه خرگرد در خصوص راه‌های به‌کارگیری هندسه در این بنا در شکل‌گیری فضاها و استفاده از مدول و پیمونی خاص، مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد.

روش تحقیق

در اسناد به‌جامانده از طومار تاشکند و تحقیقات انجام‌شده بر روی این طومارها به نظر می‌رسد (نجیب‌اغلو، ۱۳۹۶؛ هیلن برند، ۱۳۸۷)، در دوره تیموری از صفحه‌های مشبک و شطرنجی در طراحی بناها استفاده می‌شده است. یزدی (۱۳۸۷) بیان می‌کند که: «به تعمیر آن [مزار خواجه احمد یسوی] اشارت عالی ارزانی

داشت و عمارتی معتبر بر اساس انداخت مشتمل بر طاقی وسیع رفیع با دو منار و گنبدی مربع سی گز در سی گز و گنبدی دیگر ۱۲ گز در ۱۲ گز با چهار صفه برای مرقد منور در قبله گنبد بزرگ متصل به آن و در دو جانب گنبد چهار صفه دیگر هر یکی ۱۳ گز و نیم در ۱۶ گز و نیم جهت جماعت خانه و دیگر حجرات» (یزدی، ۱۳۸۷، ۸۶)، با توجه به صحبت‌های وی می‌توان به این نکته پی برد که گنبد خانه عنصر مهم و مستقلی در معماری دوره تیموری به حساب می‌آید. در ابتدا با توجه به صحبت‌های اوکین (۱۳۸۶) در خصوص اندازه پیمون، ابعاد عرض درها مورد تطبیق با پلان‌ها قرار گرفت و شبکه شطرنجی با در نظرگرفتن اندازه عرض درها ایجاد شد. با بررسی‌های صورت گرفته این ابعاد با پلان مورد تطبیق نبوده و بار دیگر با توجه به گفته یزدی (۱۳۸۷) این امر محتمل شد که در معماری دوره تیموری از گنبدخانه به‌عنوان مدول و یا پیمون استفاده شده باشد. ازاین‌رو، در پلان غیاثیه خرگرد نیز این فضا به عنوان مقیاس و یا پیمون برای به دست آوردن شبکه مدولار و شطرنجی انتخاب شد. با بررسی و تحلیل‌های انجام‌گرفته این خطوط رسم و به بخش‌های کوچک‌تری تقسیم شد. سپس با مطالعه دانش هندسه عملی، به ویژه هندسه عملی بوزجانی از رساله او یعنی، فیما یحتاج الیه‌الاعمال و الصناع من اعمال هندسه، روش‌های مورد نیاز برای تحلیل و تطبیق هندسه پلان و نمای مدرسه غیاثیه با هندسه ابوالوفا استخراج شده و مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش ابتدا جمع‌آوری اطلاعات و به دست آوردن نقشه‌های مورد اطمینان به صورت کتابخانه‌ای و میدانی انجام شده و سپس به تحلیل نقشه‌های موجود از بنای غیاثیه خرگرد پرداخته است. این تحلیل بر مبنای اشکال هندسی مورداستفاده قوام در طراحی انجام شده و بعد از آن مورد تطبیق با مسائل هندسی بوزجانی قرار گرفته است.

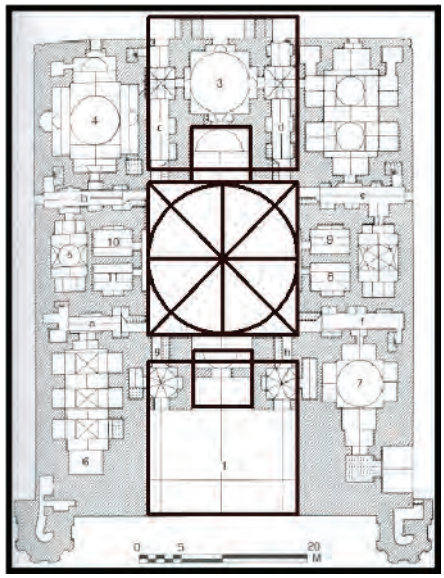
هندسه و هندسه عملی

به گفته نجیب‌اغلو (۱۳۹۶) عامری ریاضیات را به پنج شاخه (حساب، هندسه، نجوم، موسیقی، علم‌الحیل) تقسیم‌بندی می‌کند. از نظر فارابی و پیشینیان ریاضیات از مقوله کمیات یا مجرد و عقلی‌اند که ریاضیات نظری را تشکیل می‌دهد و یا در ماده بروز دارند که ریاضیات عملی عهده‌دار بیان آنها است (بکار، ۱۳۸۱، ۱۲۹). فارابی (۱۳۸۹) علم هندسه را در احصاء العلوم به دو بخش هندسه نظری و عملی دسته‌بندی می‌نماید. وی هندسه عملی را خطوط و سطوحی می‌داند که هرکسی چه نجار باشد و چه آهنگر و هر یک از مشاغل دیگر، با ماده خارجی که با آن سرکار دارد در ذهن خود مجسم می‌کند. در واقع هندسه عملی را کاربرد عینی مفاهیم و اصول ذهنی در اجسام، حِرف و صناعات عملی می‌داند. هندسه نظری نیز در نظر او به طور کلی پرداختن به سطوح و خطوط اجسام به صورت مطلق و کلی است که به هیچ جسم خارجی که در نظر بیننده باشد تعلقی ندارد. خوارزمی (1989) نیز در بخش اول رساله خود به مسائلی از قبیل تقسیم میراث و تجارت و در بخش دوم به امور عملی هندسی از قبیل مساحی و محاسبه تقریبی مساحت و انواع سطوح و حجم‌های هندسی می‌پردازد. هندسه عملی شاخه‌ای از هندسه است که با توجه به سخن اندیشمندان در صناعات مختلف که نیاز به تدقیق اندازه‌گیری، تقسیم و تکثیر اشکال و مساحی و پیمایش مورد استفاده قرار می‌گرفته است. هندسه عملی با شاخه‌هایی از صنعت و هنر عجین شده که می‌توان بروز این علم را در هنر هنرمندان، صنعتگران، معماران و حتی مساحان و نقشه‌برداران تاریخ ملاحظه نمود. در رابطه با هندسه عملی می‌توان به هندسه‌دانانی اشاره نمود که برای دسترسی هرچه بیشتر صنعتگران، معماران و نقشه‌برداران به نگارش کتبی دست برده‌اند که بتوان با رعایت این اصول مسائل هندسی را در عمل راحت‌تر حل نمود. فی ما یحتاج الیه الاعمال و الصناع من اعمال هندسه (کاربرد هندسه در عمل)، فی تداخل الاشکال المتشابهه و المتوافقه، العقود الابنیه، مفتاح الحساب و الایضاح از جمله متون کهنی هستند که در خصوص هندسه عملی سخن به

میان آورده‌اند. برای اثبات کاربست هندسه عملی، نجیب‌اغلو (2017) معتقد است که بین مفاهیم حوزه‌های عملی ریاضی و صنعتگران و معماران همگرایی وجود دارد و در منابع مختلف، چه به صورت تلویحی و چه صریح، به خصوص توسط تاریخ‌دانان هنر اسلامی این موضوع اشاره شده است. تأکید بی‌سابقه مکتب بغداد بر توازن میان علم نظری و کار عملی تأثیر انکارناپذیری بر فرهنگ بصری اسلامی می‌گذارد. این ارتباط تنگاتنگ میان نظر و عمل را می‌توان در بعضی از فرهنگنامه‌های مربوط به طبقه‌بندی علوم برداشت کرد (نجیب‌اغلو، ۱۳۹۶). عامری نیز به کاربست هندسه در صنایع مختلف اشاره دارد: «وانگهی هندسه جمله معماران و نجاران و حجاران و زرگران نیکو قریحه را سودمند است.»(Rosenthal, 1975). افندی (۱۳۸۹) در رساله معماریه اشاره به آموزش استادکاران کارگاه صدف کاری در قلعه توپقاپی به شاگردان خود از روی کتب هندسه عملی دارد. بوچر (1972) اذعان می‌دارد از آنجا که روش‌های هندسی حرفه‌های مختلف را با یکدیگر مرتبط می‌ساخت هندسه عملی کم‌کم به صورت نوعی نظریه زیبایی‌شناسی با منطق صوری خاص خود درآمد. از سویی دیگر نیز با توجه به بیانات طاهری (۱۳۹۴) می‌توان هندسه عملی را با در نظر داشتن متون به‌جامانده از عصرهای تاریخی مشتمل بر تدقیق و گردآوری مبانی پایه ترسیمات مورد نیاز طراحی هندسی و همچنین محاسبات ابنیه و عمارات دانست. با توجه به توضیحات ارائه شده می‌توان به طور کلی بیان نمود که متفکران اسلامی بر این نظر بودند که علم، دانش نظری و صناعت، دانشی عملی است (Rosenthal, 1975).

برای مثال می‌توان از مزار خواجه احمد یسوی نام برد که به وضوح کاربرد هندسه در این بنا مشخص است. تحقیقات بسیاری از محققان روسی چون رمپل(1936)، پوگاچنکووا (۱۳۸۷)، منکوفسکایا (۱۳۷۹) و کامل‌تر از همه بولاتوف (1988) به وضوح نشان می‌دهد که از همان آغاز دوران اسلامی، معماران آسیای میانه، چه در طراحی چه در برافراشتن بناهایشان، طبق قواعد دقیق نسبت، از قبیل قانون ریشه دوم یا مثلث متساوی‌الساقینی که درون دایره رسم شده است، عمل می‌کردند (هیلن برند ، ۱۳۸۷). از طرفی استفاده از اشکال هندسی و داشتن رابطه‌ای منطقی بین آنها نیز می‌تواند به نوعی نمایش کاربست هندسه عملی را در پی داشته باشد. همچنین با توجه به مقیاس و اندازه‌ها می‌توان گمان نمود که گنبدخانه‌ای با ابعاد ۳۰ گز در ۳۰ گز احداث و مطابق با آن باقی بنا را ساخته‌اند.

هندسه عملی در صناعت نقش دانش آن را داشته و دفعات متعددی در منابع متعدد مورد تأکید قرار گرفته و توسط بسیاری از فرهیختگان علمی عصرهای مختلف تاریخ اشاعه داده شده است. صنعتگران، معماران و به‌خصوص معماران دوره تیموری که نام برخی از آنها چنانچه در متون کهن به عنوان مهندس نیز ذکر شده است، از این امر مستثنی نبوده‌اند و در آثار خود با کاربست هندسه عملی دست به طراحی و ساخت بناهای متعددی زده‌اند. با توجه به اِعمال علوم ریاضی به ویژه هندسه عملی در صنایع و هنرهای گوناگون بروز آن در معماری به واقع مشهود بوده و لازم به بررسی شواهد و مدارک بیشتری چه در زمینه مطالعات کتابخانه‌ای و چه تحلیل‌های هندسی مدارک به‌جامانده از بناها و یا آثار پابرجای دارد.



شکل ۱. پلان آرامگاه خواجه احمد یسوی نمایش گنبدخانه و ابعاد آن

ابوالوفا بوزجانی و هندسه

ابوالوفا بوزجانی (۳۲۸-۳۸۸ ق) ریاضی‌دانی است که در عرصه‌های نظری و عملی ریاضیات در صناعات معماری دوره اسلامی کار کرده است. جایگاه او در این حوزه میان‌رشته‌ای مدیون آثاری در حساب و به ویژه هندسه عملی است که برای برآوردن نیازهای دست‌اندرکاران و اصحاب صناعات معماری به علوم ریاضی پدید آورد. کتاب اعمال هندسی او به عنوان رساله‌ای منحصربه‌فرد در هندسه عملی و نیز یکی از معدود اسناد مکتوب در تاریخ معماری دست‌مایه بررسی و تحلیل بسیاری از پژوهشگران معاصر بوده است (طاهری و ندیمی، ۱۳۹۱). در اسناد به‌دست‌آمده از ریاضی‌دانان ایرانی و دیگر حکومت‌ها از جمله عثمانی این‌گونه برمی‌آید که ظاهراً همکاری‌های تنگاتنگی بین هندسه‌دانان و معماران هنرورز صورت می‌گرفته و از سوی دیگر این فکر را القا می‌کند که باید رابطه مشترکی بین تکامل این هندسه و معماری وجود داشته باشد. همچنین اذعان می‌دارد که در بغداد و عثمانی گردهمایی‌هایی بین هندسه‌دانان و معماران در خصوص استفاده از هندسه در معماری شکل می‌گرفته و ابوالوفا نیز از شرکت در یکی از این مجالس صحبت به میان آورده است (اوزدورال، ۱۳۸۰). هندسه عملی ابوالوفا از یکسو بسیار نزدیک به نظریه‌های عملی و نظری هندسه یونانی است و از سویی دیگر نزدیک به زمینه‌های سنتی نقشه‌برداران از نظر حسابی و عددی است (Necipoğlu, 2017).

نجیب‌اغلو (Necipoğlu, 2017) بر آن است که این رساله نشان‌دهنده آشنایی نویسنده با هندسه نظری و عملی است، همچنین نبوغ و ابتکار او در روش آموزش تکنیک‌ها در مثال‌هایی آورده شده است. منظور او برای تعلیم و تربیت در پشت آن کاملاً واضح بوده و بوزجانی در مورد رساله‌اش به این موضوع اشاره دارد که با افراد مراجعه‌کننده به رساله با وجود روش‌های درست و نادرست در کنار هم در آن دچار اشتباه نمی‌شوند. رسائل دست‌نویس کتابخانه ملّی پاریس به شماره ۱۶۹، مشتمل بر ۲۵ رساله عملی موجز فارسی و عربی در حساب، هندسه، نجوم و کاربرد آنها در معماری و صناعات است. این مجموعه افزون بر ترجمه فارسی ابواسحاق کوبنانی (۹ ق/۱۵ م) از اعمال هندسی ابوالوفا و رساله فی تداخل الاشکال متشابهه و متوافقه (رساله ناشناس)، شامل رسائلی درباره راستای قبله چهار شهر ایران و نیز مساحی و اندازه‌گیری ارتفاع است. در مورد این دو رساله معروف در خصوص هندسه عملی، اوزدورال (۱۳۸۰) معتقد است که رساله ناشناس با توجه به ساختار آن، پیوند این دو رساله را نشان می‌دهد؛ او ارتباط بین صنعتگران و هندسه را ماهیتی تغییرناپذیر می‌نامد.

با وجود این، تاکنون سهم واقعی ابوالوفا در صناعات معماری در سایه جایگاه علمی او پنهان و ناشناخته مانده است؛ اما آنچه از اعمال هندسی برمی‌آید آن است که ابوالوفا خود به عملی نبودن برخی راه‌حل‌های پیشنهادی‌اش و یا عدم استفاده صنعتگران از آنها تا حدودی واقف بوده است (طاهری و ندیمی، ۱۳۹۱). این موضوع گسترش و استفاده معماران و صنعتگران از این کتاب را با تردید مواجه می‌سازد؛ هرچند نمی‌توان در نقش این کتاب در تدقیق و پیشنهاد روش‌های جدید میان جماعتی از اصحاب معماری تردید کرد اما مسلماً با وجود نسخه‌های فارسی و عربی کتاب هندسه عملی بوزجانی در کتابخانه الغ‌بیگ، بخش ۴ رساله کتاب مفتاح‌الحساب کاشانی و نیز آشنا بودن قوام‌الدین شیرازی با علم نجوم، ریاضی و هندسه می‌توان او را از معمارانی دانست که با توجه به اسناد موجود از هندسه عملی در طراحی‌هایش استفاده می‌کرده است.

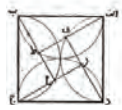
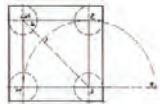
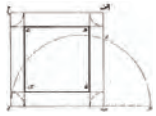
رساله «هندسه عملی» بوزجانی، از معدود رساله‌های نگاشته شده در هندسه عملی است که از سده‌های میانه اسلامی به‌جا مانده است. مدعای رساله ارائه راهکارهایی برای استفاده صنعتگران است و میزان کارآمدی آن موضوعی است که همواره در گفتگوی میان پژوهشگران هنر و معماری اسلامی، به ویژه در حوزه تزئینات هندسی، با اختلاف نظر همراه بوده و آراء متفاوتی را از «نداشتن کاربرد مفید و مؤثر» تا «ارائه دستوراتی ویژه به منظور طراحی» نتیجه داده است (بهشتی‌نژاد و دیگران، ۱۳۹۶). نجیب اغلو (2017) اشاره دارد که این رساله یک کتاب درسی نیست بلکه مجموعه‌ای از رویه‌ها و روش‌های مفید برای صنعتگران خواهد بود و هدف

او این نبود که هندسه را از صنعتگران دریابد زیرا اکثر آنها بی‌سواد بودند، بلکه خواستار آموزش صحیح هندسه بود تا به کمال برسند. کتاب هندسه عملی بوزجانی شیوه‌های اساسی دستی برای ترسیم و تقسیم متناسب و تکثیر متشابه اشکال هندسی را مطرح می‌کند و به علاوه آنها را با اکتفا به استفاده از پرگار با دهانه ثابت آسان می‌سازد (Weopchke, 1855).

چنان‌که از مقدمه رساله برمی‌آید (قربانی، شیخان، ۱۳۷۰، ۱۱۲) دلیل تحریر اطاعت امر ملک ابو ناصر بهاءالدوله (حک: ۳۷۹-۴۰۳ ق) بوده است و به منظور استفاده صنعتگران با در نظر گرفتن دور حکومت بهاءالدوله و نیز تاریخ وفات ابوالوفاء بوزجانی، یعنی ۳۸۷ ق، می‌توان تاریخ تألیف این رساله را سال‌های پایانی سده چهارم هجری دانست.

هندسه‌های مورد استفاده برای تحلیل پلان حاضر از کتاب هندسه عملی بوزجانی مستخرج شده است. این مسئله‌ها عبارت‌اند از: تبدیل مستطیل به مربع (مسئله ۹)، روش ترسیم هشت‌ضلعی در مربع (مسئله ۱۰۰)، بزرگ کردن مربع به اندازه خودش (مسئله ۱۴۰)، کوچک کردن مربع به اندازه نصف آن (مسئله ۱۴۲)، به دست آوردن مربعی در وسط مربع دیگر (مسئله ۱۵۹).

جدول ۱. روش‌های منتخب ترسیمی هندسی در رساله بوزجانی

	پیدا کردن مربع در مربع دیگر	بزرگ کردن مربع	رسم هشت‌ضلعی	کوچک کردن مربع	تبدیل مستطیل به مربع
روش‌های ترسیمی هندسی بوزجانی					

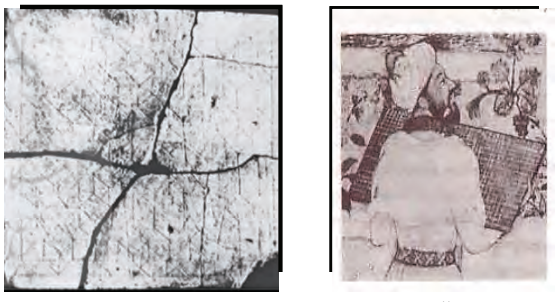
هندسه عملی و معماری

حوزه مهمی از کاربرد هندسه از آن معماری است و بروز هندسه در معماری در طول تاریخ مشهود بوده و استفاده از آن نیز در این حرفه مورد بحث و گفتگو است. به گفته حجازی (2004) مهندس در زبان عربی و فارسی از ریشه هندسه به معنای اندازه گرفتن گرفته شده است و دانش هندسه ابزاری قدرتمند از مهندسان فارسی بود که با استفاده از آن توانستند نسبت‌های بهشت را اندازه بگیرند و تعادل، هارمونی و زیبایی را بر روی زمین ایجاد کنند. در واقع هندسه از علم و زیبایی متشکل می‌شود. نخستین مدارک از کاربست دانش ریاضیاتِ معماری در متون کهن ریاضیات دوره اسلامی را فرانتس ووپکه (1855) کشف نمود. او با تحلیل انتقادی ترجمه‌ای فارسی از کتاب اعمال هندسی، نوشته ابوالوفا بوزجانی (۳۸۸ - ۳۲۸ ق)، توجه دیگر دانشوران تاریخ علم و معماری را به متون ریاضیات عملی برای معماران و صنعتگران جلب نمود (طاهری و ندیمی، ۱۳۹۱، ۶۷). بعد از وی نیز اوزدورال (۱۳۸۰)، گلمبک و ویلبر (۱۳۷۴)، نجیب‌اغلو (2017؛ ۱۳۹۶)، و بولاتف (1978) به بررسی دانش ریاضیات و هندسه عملی در معماری پرداختند. دانش ریاضیات معماری در متون ریاضیات که محصول پیوند ریاضی‌دانان و اصحاب معماری است، بر وجود مرزهای تعامل و پیوند علوم ریاضی با معماری در فرآیند ساخت بنا در دوره اسلامی روشنی می‌افکند (طاهری، ۱۳۹۴). برخلاف ریاضی‌دانان مجرب که در ریاضیات محاسباتی پیشرفته، ماهر بودند معماران ممالک اواخر تیموری تنها به اطلاعات پایه در عملیات ساده حساب، در عین حال به اطلاعات بسیار استوارتری در هندسه عملی نیاز داشتند (نجیب‌اغلو، ۱۳۹۶). در مقابل افول نسبی علوم، مقارن با حکمرانی ایلخانی و تیموری، پیشرفت‌های عمده‌ای در حوزه معماری رخ داد. به عبارتی در سده‌های ۸ و ۹ قمری (۱۴ و ۱۵ میلادی) در مقایسه با دوران پیشا مغولی، مرحله‌ای نو در توسعه معماری آسیای میانه قلمداد می‌شود (پوگاچنکووا، ۱۳۸۷، ۱۰۳).

در ادامه بررسی بروز دانش هندسه در معماری تیموری انجام گرفته است. مطالعه هندسه مدولار و استفاده از شبکه‌های شطرنجی در طرح‌ریزی بناهای بزرگ و یا در طراحی تزئینات در برخی منابع با توجه به اسناد به‌جامانده انجام گرفته که این پژوهش در پی اثبات کاربرد آن در معماری است و همچنین به بررسی کاربرد هندسه عملی یعنی کاربست هندسه در طراحی بناها و استفاده از کتب هندسه عملی نیز پرداخته شده است.

هندسه عملی در معماری تیموری: زمینه مشبک

کهن‌ترین اثر موجود در خصوص استفاده هندسه در معماری استفاده از زمینه مشبک است. قدیمی‌ترین نقشه‌های کاغذی بازمانده از معماری اسلامی، از آسیای میانه به دست آمده و مربوط به بناهای خاندان شیبانی در سده دهم / شانزدهم است. نکته جالب اینکه این نقشه‌ها روی کاغذ شطرنجی رسم شده است (هیلن برند، ۱۳۸۷). در منابع متفاوتی از معماری مدولار و یا معماری با استفاده از نقشه‌های مشبک و شطرنجی یاد شده که گاهی از آن به عنوان پیمون نام برده شده است. مسئله پیمون در معماری امروز ما هنوز دارای ابهاماتی است که در این پژوهش جای نمی‌گیرد؛ اما با توجه به مشاهدات انجام‌شده می‌توان این گمان را داشت که در دوره تیموری از پیمون و نظام شبکه‌بندی استفاده می‌شده است. گلمبک و ویلبر (۱۳۷۴) و منکوفسکایا (۱۳۷۹) بر این عقیده‌اند که نشان دیگر و حرفه‌گرایی رو به افزون معماری تیموری استفاده از واحدهای استاندارد برای نقشه‌هاست. محققان بر این گمان‌اند که بقعه احمد یسوی را بر پایه نقشه شطرنجی با خانه‌های یک زراعی (گز) معادل ۶۰/۶ سانتی‌متر طرح‌ریزی کرده‌اند. همان‌طور که بیان شد یزدی (۱۳۸۷) به ساخت آن توسط تیمور و یا سرکارگر مربوطه بر اساس دو گنبدخانه مربع ۳۰ گز در ۳۰ گز و ۱۲ گز در ۱۲ گز اشاره دارد. محققان شوروی گفته‌اند که نظام شبکه هندسی و اقسام نقوشی که در طومارهای تاشکند آمده، کاملاً با زبان طراحی بناهای شاخص موجود ازبک در توران موافق است. هیلن برند (2005; 1999) به تخته‌رسم‌های مشبکی اشاره دارد که ناظران برای طرح‌ریزی باغ‌ها و کنترل فضاهای بزرگ‌تر و فهم بیشتر فضا و تشویق معماران به مدولار کردن در فضاهایی که عناصر با یکدیگر مرتبط هستند، استفاده می‌کرده‌اند. وی در اثبات این امر به نقشه‌های قرن ۱۵ و ۱۶ استانبول و تاشکند اشاره دارد که در میان بسیاری موارد، تزئینات و یادداشت‌های پلان‌هایی شامل طرح‌های طاق و مقرنس را نمایش می‌دهند. آذرخرداد (۱۳۹۷الف) نیز در این خصوص پیمون را گونه‌ای الگو می‌داند و آن را یک هندسه مشخص شکل‌دهنده اجزای دوبعدی و سه‌بعدی در معماری تعریف می‌کند. تعریف الگوهای هندسی از نظر وی سبب می‌شود که ساخت و شکل‌گیری معماری آسان و گسترش آن قابل‌کنترل شود. کورباچی (1989) در بررسی رساله فی تداخل الاشکال به این نکته اشاره دارد که در آن مثال‌هایی از طراحی هندسی با سازوکاری خاص، برای مشخص کردن نقاط قوت و ضعف آن، به منظور تعیین زیرشاخه‌های هندسی آورده شده است. این زیرشاخه‌ها برای درهم‌تنیدن و پر کردن فضاها به‌کار رفته و نشان‌گر این مورد است که از ابتدای امر از نسبت‌های معین کوچک و بزرگ (پیمون) استفاده شده است.



الف ب

شکل ۲. الف) صفحه مشبک در منیاتور کمال الدین بهزاد؛ ب) پلان ربع مقرنس گچی

منبع: طومار توپقاپی

هندسه عملی در معماری تیموری: کاربست علوم ریاضی

معماران عصر تیموری به اجرای تجربیات نسل‌های پیشین اکتفا نمی‌کردند، بلکه به تدوین نظریات معماری مبتنی بر ریاضیات که در شرق از غرب جلوتر بود، می‌پرداختند. در شرق از اواخر قرن نهم هجری قمری ریاضیات نظری (هندسه) و کاربرد (مساحی) از یکدیگر تفکیک شده بود (Hillenbrand, 2005). از سویی، وجود مستنداتی درخصوص استفاده معماران دوره تیموری از طراحی و رعایت اصول هندسی و کاربست آن در بناها را تقویت می‌کند. در این دوره با توجه به وجود غیاث‌الدین جمشید کاشانی و بخش ۴ رساله وی می‌توان اذعان داشت که اعداد تقریبی کاشانی با توجه به اشکال معمارانه‌ای به دست آمده که بنایان دوره تیموری بر طبق شیوه‌های هندسه عملی ترسیم کرده‌اند. کتاب مطلع العلوم و مجمع الفنون اثر واجد علی است. وی که از فرزندان یکی از خاندان‌های دربار تیمور بود، برای تألیف این اثر از منابعی متعدد خصوصاً رسالات قدیمی علمی و فنی بهره گرفت. فصل مربوط به هنر معماری به ۱۴ بخش تقسیم می‌گردد که عبارت‌اند از: انتخاب مکان، پی‌ریزی، ساخت قاعده بنا و دیوارها، پوشش، تهویه و تناسب ابعاد (آذرخرداد و دیگران، ۱۳۹۷الف). همچنین وجود ترجمه‌ای از رساله هندسه عملی بوزجانی در کتابخانه الغ‌بیگ که توسط کوبنانی یزدی ترجمه شده است، خود مؤید این امر است که در این دوره از هندسه به عنوان دانشی عملی بهره می‌گرفته‌اند. به گفته نجیب‌اغلو (۱۳۹۶) روند طراحی معماران تیموری نه بر محاسبات حسابی که بر مجموعه‌ای از ترسیمان تناسبی هندسی مبتنی بوده است. طومارهای تاشکند نیز این نتیجه را تأیید می‌کند. وی بیان می‌کند که شواهدی در دست است که نشان می‌دهد حکیمان یا مهندسان معماری مانند قوام‌الدین شیرازی و خاندان معماران لاهوری که شمارشان در دوره اسلامی چندان زیاد نبوده، دست‌کم بر علوم ریاضی دستی داشته یا توانایی بهره‌گیری از منابع علوم ریاضی را مستقلاً یا در ارتباط با ریاضی‌دانان داشته‌اند. قوام‌الدین شیرازی و استاد احمد لاهوری که از خاندانی از معماران تیموری بوده‌اند با سواد و جامع شعب مختلف علوم ریاضی بوده‌اند، اما علمشان در این رشته ظاهراً بیشتر عملی بوده است. از قوام‌الدین شیرازی در متون به عنوان مهندس (کسی که هندسه می‌داند)، معمار و طراح نام برده‌اند. بولاتف (1978) معتقد است با وجود دانشمندانی چون خوارزمی، بوزجانی و کاشانی، آشنایی معماران تیموری از جمله قوام‌الدین شیرازی با هندسه نظری و عملی کاملاً مشهود است؛ اما کسانی چون رمپل (1936) و پوگاچنکووا (۱۳۸۷) بیشتر معماران تیموری را زبردست خوانده که لزوماً با مبانی نظری هندسه عملی آشنایی زیادی نداشته‌اند.

نجیب‌اغلو (2017) در پاسخ به سالیبا (1999) که معتقد به ناچیز بودن ارتباط بین ریاضی و معماری است و از طومار توپقاپی برای اصرار وی به استفاده از کتب هندسه عملی انتقاد می‌کند، بیان می‌دارد که با دیدن طومارها و نسخ خطی می‌توان به راحتی دریافت که رساله‌ها سعی در انتقال راه‌حل‌های نظری به شکل ساده‌شده به نقشه‌برداران و صنعتگران را دارند که به تفاوت میان روش‌های دقیق و تقریبی پاسخ می‌دهد. ابوالوفا بوزجانی در کتاب خود یعنی کاربرد هندسه در عمل با تصاویر و دیاگرام‌های تصویری قابل‌درک تلاش می‌کند تا این موضوع را به سرانجام رساند. وی در ادامه اشاره به بوزجانی دارد که در رساله خود دست به دامن روش‌هایی است که بتواند راه‌حل‌هایی ساده و کاربردی را ارائه نماید. همچنین رساله فی تداخل الاشکال که رساله‌ای بی نام و نشان است در نسخه پاریس ضمیمه رساله بوزجانی در ترجمه کوبنانی یزدی است. این رساله با پیشرفت داشتن در بررسی برخی مسائل مانند تزئینات، برای علاقه‌مندان با مهارت نسبی پیشرفته‌تر، محققان، صنعتگران و استادان طراحی معماری است.

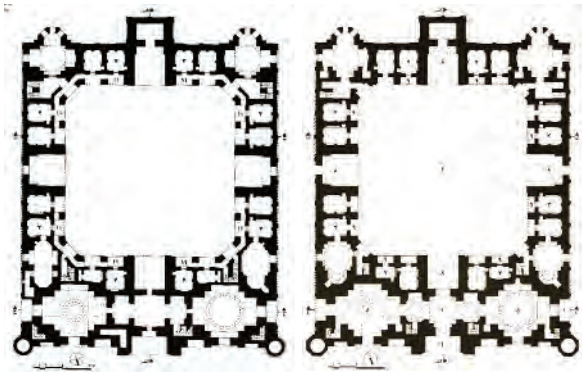
در نتیجه با توجه به مستندات موجود در کتاب یزدی و رساله‌های ذکرشده، کاشانی، واجدعلی و بوزجانی و همچنین طومار تاشکند، در دوره تیموری و ذکر نام قوام‌الدین شیرازی در کتب کهن به عنوان مهندس می‌توان اذعان داشت که وی با توجه به هندسه و تحلیل‌های هندسی به امر طراحی بناها با توجه به ریاضیات و هندسه عملی مشغول بوده است. هرچند با وجود وابستگی عمیق صناعات معماری به علوم دقیقه، شناخت و سازوکار

علوم ریاضی در اصناف معماران و رویکردشان به این علوم، تنها از طریق بررسی متون حاصل نمی‌شود طاهری (۱۳۹۴) و باید تحلیل‌های مهم‌تری با استناد به مدارک و همچنین بررسی‌های عمیق‌تر با در نظر گرفتن روش‌های هندسی و ریاضی و شواهد موجود در رابطه بین هندسه و معماری، در این باب صورت گیرد. در ادامه به مطالعه هندسه بوزجانی پرداخته شده که از مهم‌ترین مراجع در خصوص کاربرد هندسه در صناعت است.

مدرسه غیاثیه خرگرد

یکی از مهم‌ترین و زیباترین بناهای ناحیه شرق ایران واقع در خراسان است که در سال ۸۴۸ هجری به دستور غیاث‌الدین پیر احمد خوافی، وزیر شاهرخ تیموری و هنرمندترین معماران آن زمان، یعنی استاد قوام‌الدین و غیاث‌الدین شیرازی، ساخته شد.

شکل بنای این مدرسه مانند سایر بناهای مذهبی مشابه، چهار ایوانی است و هر ایوان آن چهار و نیم متر عرض و ۱۱ متر ارتفاع دارد. میان‌سرای مدرسه به شکل مستطیل در دو طبقه و با ۳۲ حجره برای استفاده طلاب علوم دینی ایجاد شده است. زیباترین قسمت مدرسه غیاثیه خرگرد تزئینات آن است که به خصوص از نظر کاشی‌کاری معرق بی‌نظیر است (لولویی، ۱۳۷۷). نمای درخور ستایش مدرسه غیاثیه خرگرد، کوتاه و پهن است. تمام نمای ساختمان، حالتی افقی و خوابیده را القا می‌کند که جنبه تازه‌ای در سبک معماری تیموریان بوده است. در مدرسه غیاثیه خرگرد می‌توان نواختی تنظیم‌شده را در نما دید که به واسطه طاقچه‌ها و قاب‌بندی‌ها پدید آمده است. معمار مدرسه غیاثیه به جای اینکه برای جان بخشیدن به نماهایش، همچون بناهای پیشین تیموری، تقریباً فقط به کاشی متوسل شود، ملاحظات فضایی را به کار بسته است؛ گو اینکه این کاربرد هنوز جنبه‌ای محافظه‌کارانه دارد (O'kane, 1976).



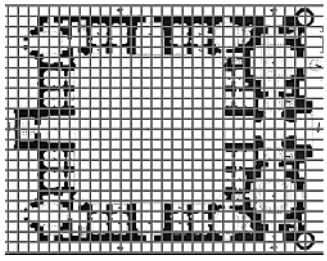
شکل ۳. پلان مدرسه غیاثیه خرگرد

منبع: گنجنامه مدارس

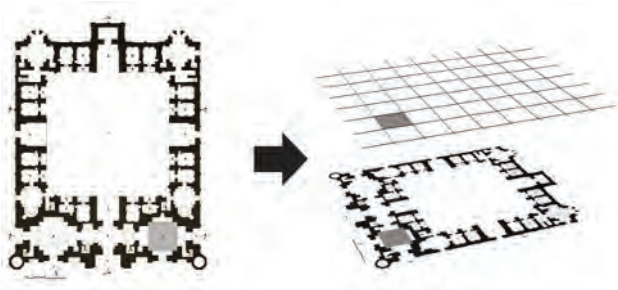
تحلیل پلان و نما

با توجه به مطالب گفته‌شده در ابتدای امر، خطوط اصلی برای به دست آوردن مدول مناسب و شبکه شطرنجی، انتخاب و پلان با آن‌ها سنجیده شد. عرض درها و دیوارها به گفته اوکین (۱۳۸۶) ممکن است پیمون طراحی در معماری تیموری قرار گرفته باشد. بر همین اساس در مرحله اول عرض درها به عنوان واحد (پیمون) در نظر گرفته شد. شبکه شطرنجی حاصله تطبیق زیادی با پلان موجود نداشت. سپس در ادامه با توجه به توضیحات یزدی (۱۳۸۷) ابعاد گنبدخانه به عنوان پیمون در به دست آوردن شبکه شطرنجی در نظر گرفته شد. در مدرسه غیاثیه گنبدخانه‌ها در طرفین ورودی و در کنار هشتی قرار داشته و در دوطبقه موجود بودند. با توجه به بزرگ بودن مدول (ابعاد گنبدخانه)، برای تقسیم آن به بخش‌های کوچک‌تر با استفاده از کوچک‌ترین اندازه موجود در پلان گنبدخانه

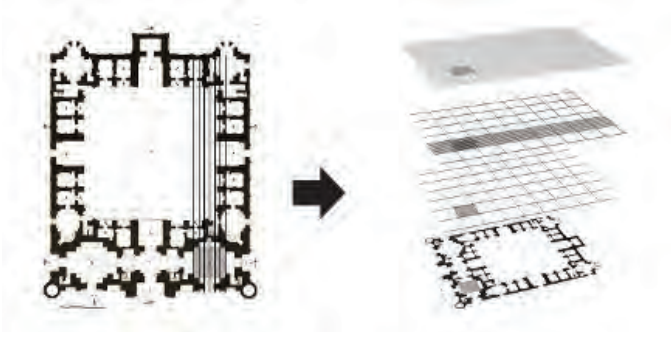
(فاصله بین نهاز و نخیرها) این شبکه شطرنجی شکل گرفت. این تقسیم‌بندی در سراسر پلان اعمال گردید و با به وجود آمدن شبکه شطرنجی و تطبیق آن با پلان موجود، شبکه به‌دست‌آمده دارای کمترین اختلاف با نقشه کف مدرسه غیاثیه خرگرد بود. بیشتر این واحدها با خطوط طراحی پلان و تقسیم‌بندی ایجادشده مورد تطبیق قرار گرفت.



شکل ۴. تقسیم‌بندی پلان با توجه به عرض درها

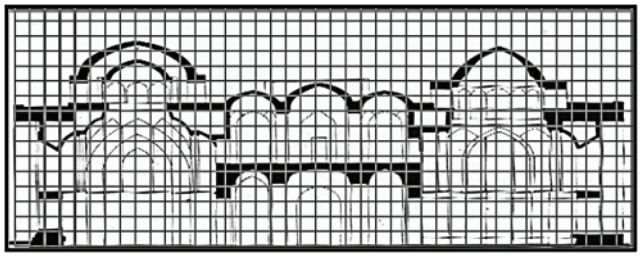


شکل ۵. شبکه‌بندی بر اساس ابعاد کلی گنبدخانه



شکل ۶. کوچک‌تر کردن مقیاس با توجه به کوچک‌ترین ابعاد گنبدخانه

با اعمال شبکه شطرنجی به‌دست‌آمده بر روی نمای طراحی‌شده توسط قوام‌الدین نیز می‌توان تطبیق آن را با شبکه حاصله مشاهده نمود.

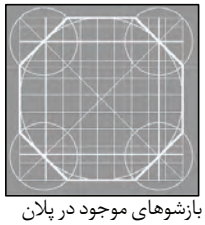
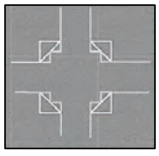
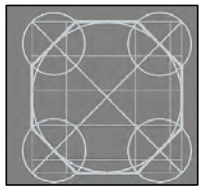
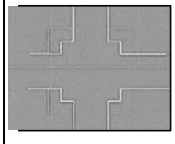
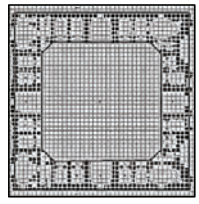
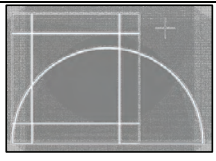
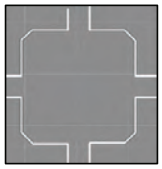


شکل ۷. تطبیق شبکه شطرنجی بر روی نما

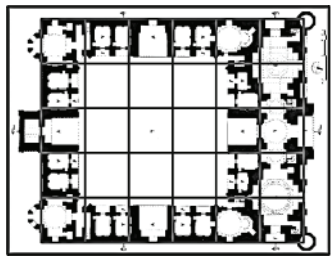
هندسه به‌دست‌آمده در بخش‌های مختلف بنا

در این بخش هندسه گنبدخانه، ورودی و حیاط بر اساس روش‌های بوزجانی در ترسیم اشکال هندسی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. برای به دست آوردن هندسه گنبدخانه، ابتدا مربع اصلی با توجه به مراحل گفته‌شده در هندسه بوزجانی، تبدیل به مربعی کوچک‌تر شده است. سپس هشت‌ضلعی درون مربع بزرگ‌تر، طبق دستورالعمل‌های بوزجانی ترسیم شده که محل ورودی‌ها را مشخص می‌کند. در قسمت ورودی نیز مربع اصلی و بزرگ‌تر تبدیل به مربعی کوچک‌تر شده و محل ورودی‌ها و بازشوها مشخص گردید. سپس با هشت‌ضلعی رسم شده پلان معکوس سقف و محل قرارگیری گنبد را نیز می‌توان مورد تطبیق با پلان اصلی قرار داد. در حیاط نیز مربع بزرگ‌تر تبدیل به مربعی کوچک‌تر شده و سپس در مرکز هر ضلع ایوان‌ها جای گرفته‌اند.

جدول ۲. تحلیل پلان بر اساس هندسه عملی ابوالوفا بوزجانی

نام فضا	پلان	تبدیل مربع بزرگ به کوچک	ترسیم هشت‌ضلعی	هندسه نهایی
گنبدخانه	تطبیق پلان با شبکه شطرنجی	مرحله اول: مربع به مربع کوچک‌تری تبدیل شد مرحله دوم: مربع حاصله از عملیات قبلی نیز به مربع کوچک‌تری تبدیل گشت	ترسیم هشت‌ضلعی برای یافتن  بازشوهای موجود در پلان	
ورودی	تطبیق پلان با شبکه شطرنجی	مربع به مربع کوچک‌تری تبدیل شد	 ترسیم هشت‌ضلعی برای یافتن بازشوهای موجود در پلان	
حیاط		 مربع به مربع کوچک‌تری تبدیل شد	-	

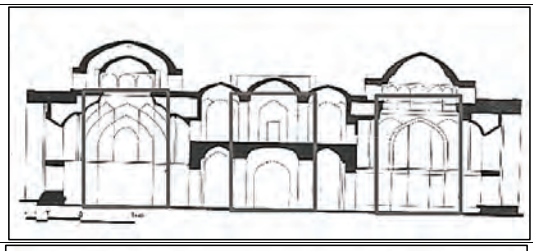
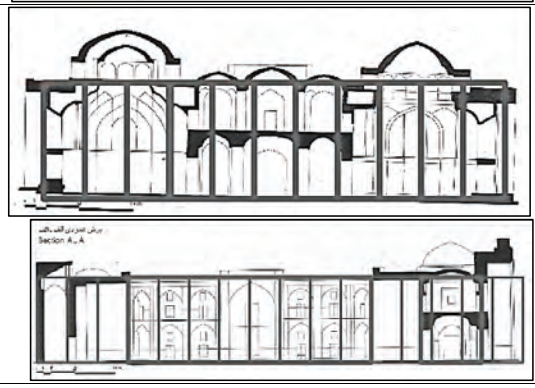
نکته دیگر در رابطه با این پلان این است که در وسط مربع حیاط با توجه به هندسه ترسیمی بوزجانی، مربعی جای می‌گیرد که می‌تواند مدول اصلی تقسیم‌بندی کلی پلان مدرسه غیاثیه باشد.

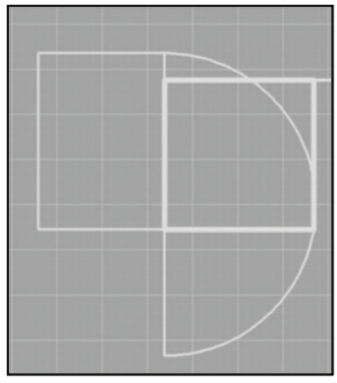


شکل ۸. طریقه یافتن مدول مربع و تعمیم آن در پلان

در نما و مقطع این مدرسه نیز با توجه به ابعاد گنبدخانه تحلیل‌های موردنظر انجام گرفته است. هم‌پوشانی ابعاد گنبدخانه در کل نما دیده شده و به عنوان مدولی برای تقسیم‌بندی فضاها استفاده شده است. همچنین مستطیل به‌دست‌آمده از ابعاد گنبدخانه در مقطع نمای این بنا با استفاده از روش‌های هندسه بوزجانی، می‌توان آن را به مربعی تبدیل کرد که مربع حاصله همان مربعی است که به عنوان مدول اصلی پلان مطرح شد.

جدول ۳. تطبیق ابعاد ارتفاعی گنبدخانه در نما و مقاطع

توضیحات	تطبیق نما و مقاطع با مدول مورد نظر
در نظر گرفتن ابعاد گنبدخانه به عنوان مدول برای بررسی نما	
تطبیق مدول به‌دست‌آمده با نما- مقطع غیاثیه. اندازه‌های به‌دست‌آمده از گنبدخانه با در نظر گرفتن نصف اندازه طولی آن، با نما مورد تطبیق قرار گرفته است و این اندازه با نما تطابق دارد.	



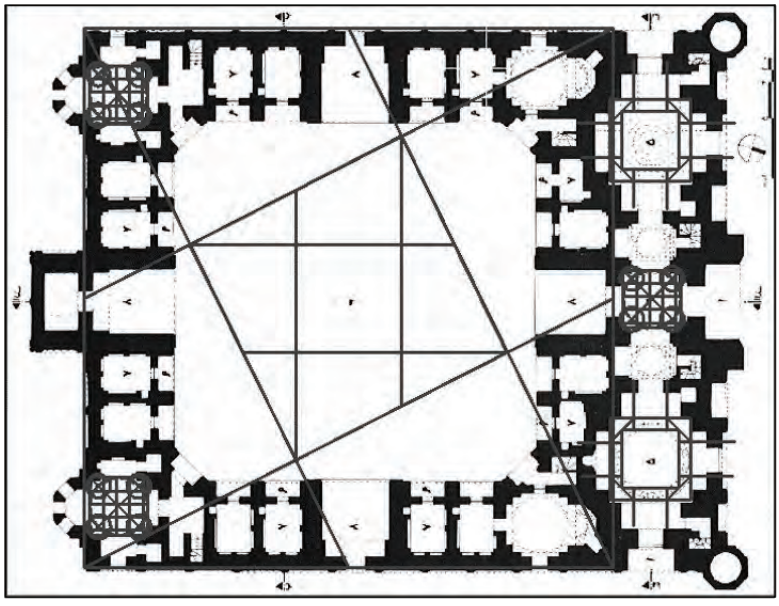
شکل ۹. تبدیل مستطیل (ابعاد گنبدخانه) به مربع و به دست آوردن مدول شکل‌گرفته در پلان

لازم به ذکر است که در خصوص هندسه مربع و کاربست آن در مدرسه می‌توان اذعان نمود که شکل مربع دارای فرمی ایستا و پرصلابت است که خشونت مثلث و محدودیت عملکردی آن را ندارد و برخلاف چندضلعی‌ها از لحاظ ساخت نیز راحت‌تر به دست می‌آید. چهار گوشه مربع و نقاط وسط هر ضلع مهم‌ترین نقاط یک مربع هستند. در ساختمان مدرسه، مدرس، شبستان در مسجد، ایوان‌ها در بهترین جای خود یعنی وسط اضلاع قرار گرفته است (انصاری، ۱۳۶۷، ۶۲).

تحلیل تطبیقی

مربع اساس اغلب ترسیمات هندسی بوزجانی است و قوام نیز از این عنصر استفاده نموده و پایه طراحی وی است. با توجه به شبکه شطرنجی ایجادشده، هندسه گنبدخانه که عنصری مستقل در معماری تیموری است مشخص گردید. مربع بزرگ‌تر به دو مربع کوچک در دل یکدیگر تقسیم می‌شود که با اصول و روش بوزجانی و با حداقل اختلاف انجام پذیرفته است. هشت‌ضلعی ایجادشده با روش بوزجانی ایجاد و محل‌های ورودی را مشخص می‌کند. همچنین با توجه به پلان معکوس سقف نیز این مسئله مشهود است. در آخر نیز هندسه گنبدخانه به‌دست‌آمده با روش ابوالوفا عیناً با هندسه پلانی غیاثیه مورد تطابق قرار گرفت. در قسمت ورودی نیز مربع پایه کوچک‌شده و هشت‌ضلعی ایجادشده محل ورودی‌ها را مشخص می‌کند. در این قسمت نیز با روش‌های ترسیمی بوزجانی هر دو مورد انجام گرفته است. حیاط با مربع اصلی تشکیل‌دهنده پلان در ارتباط بوده و با کوچک شدن آن هندسه اصلی حیاط به دست می‌آید. در وسط هریک از ضلع‌های مربع ایوان‌ها جای می‌گیرند. با توجه به اصول ترسیمی بوزجانی می‌توان در دل مربع پایه پلان، مربعی را به دست آورد که مدول اصلی تشکیل پلان است و کل آن را می‌پوشاند. در بررسی نما نیز با تبدیل مستطیل موجود (هندسه گنبدخانه در نما) به مربع با توجه به روش ترسیمی ابوالوفا، مربع حاصله با مدول به‌دست‌آمده در پلان برابری می‌کند.

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده در خصوص تطبیق هندسه اجزای مدرسه غیاثیه با هندسه‌های ترسیمی بوزجانی، استفاده معمار آن یعنی قوام‌الدین شیرازی از هندسه و نیز پیروی وی از کتاب رساله هندسه عملی مشهود است.



شکل ۱۰. تطبیق مدرسه غیاثیه با هندسه ابوالوفا بوزجانی

فهرست منابع

- آذرخرداد، فرشته، هاشمی‌زرج‌آباد، حسن، و زارعی، علی (۱۳۹۷الف). ارزیابی هندسه کاربردی در نقشه سه بنای بقعه ابوبکر تایبادی، مسجد گوهرشاد و مدرسه غیاثیه خرگرد. *مطالعات باستانشناسی پارسه*، ۴(۲)، ۱۲۱-۱۳۶.
- آذرخرداد، فرشته، هاشمی‌زرج‌آباد، حسن، و زارعی، علی (۱۳۹۷ب). بازشناسی تناسبات و الگوهای هندسی کاربردی در معماری تیموری (مطالعه موردی مدرسه غیاثیه خرگرد). *پژوهشنامه خراسان بزرگ*، ۳۰، ۸۱-۹۶.
- افندی، جعفر (۱۳۸۹). *رسالة معماریه* (مترجم: مهرداد قیومی بیدهندی). تهران: مؤسسه تألیف، ترجمه و نشر آثار هنری متن.
- انصاری، مجتبی (۱۳۶۷). *اصول طراحی معماری اسلامی و سنتی*. پایان نامه کارشناسی ارشد معماری، دانشگاه تربیت مدرس.
- اوزدورال، آلپای (۱۳۸۰). عمر خیام و معماری. *مجله فرهنگ* (پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی)، ۳۹-۴۰، ۱۸۹ - ۲۵۲.
- اوکین، برنارد (۱۳۸۶). *معماری تیموری در خراسان* (مترجم: علی آخشینی). خراسان رضوی: بنیاد پژوهش‌های اسلامی آستان قدس رضوی.
- بکار، عثمان (۱۳۸۱). *طبقه بندی علوم از نظر حکمای مسلمان* (مترجم: جواد قاسمی). مشهد: آستان قدس رضوی.
- بهشتی‌نژاد، مهدی، سامانیان، صمد، و مازیار، امیر (۱۳۹۶). نقش رساله هندسه عملی بوزجانی در شکل‌گیری تزئینات هندسی آثار دوره سلجوقی. *تاریخ علم*، ۲(۱۵)، ۱۳۱-۱۴۸.
- پوگاچنکووا، گالینا آناتولینا (۱۳۸۷). *شاهکارهای معماری آسیای میانه سده‌های چهاردهم و پانزدهم میلادی* (مترجم: داود طبایی). تهران: فرهنگستان هنر.
- پیرنیا، محمدکریم (۱۳۶۹). شیوه‌های معماری ایران (تدوین: غلامحسین معماریان). تهران: نشر هنر اسلامی.
- خوارزمی، محمد بن احمد (۱۹۸۹). *مفاتیح العلوم حقّقه و قدّم له و وضع فهارسه ابراهیم الأبیاری الطبعة الثانیه*. بیروت: دارالکتاب العربی.
- یزدی، شرف‌الدین علی (۱۳۸۷). *ظفرنامه* (تصحیح و تحقیق: سید سعید میر محمد صادق و عبدالحسین نوایی، جلد ۲). تهران: کتابخانه، موزه و مرکز اسناد مجلس شورای اسلامی.
- صادقی، علیرضا، و احمدی، فریال (۱۳۸۹). تأملی بر اصول معماری در دوره تیموری با تأکید بر بازشناخت بنای مدرسه غیاثیه خرگرد. *ماهنامه کتاب ماه هنر*، ۱۴۹.
- طاهری، جعفر (۱۳۹۴). مناسبات معماری با علوم دقیقه در متون علمی دوره اسلامی. *مطالعات معماری ایران*، ۴(۷)، ۱۲۷-۱۵۰.
- طاهری، جعفر (۱۳۹۰). نقش ریاضی‌دانان در معماری به روایت متون دوره اسلامی. *تاریخ علم*، ۱۰(۹)، ۳۹-۶۵.
- طاهری، جعفر، و ندیمی، هادی (۱۳۹۱). بازخوانی میراث ابوالوفا بوزجانی در صناعات معماری. *تاریخ علم*، ۱۳، ۶۵-۹۱.
- عصارزادگان، نرگس (۱۳۸۹). بررسی روش‌های ابوالوفاء بوزجانی درباره تقسیم و ترکیب مربع‌ها: مربوط به الگوهای هندسی موجود در هنرهای اسلامی شهر اصفهان. *کتاب ماه علوم و فنون*، ۱۲۹، ۳-۵.
- فارابی، محمدبن‌محمد (۱۳۸۹). *احصاءالعلوم* (مترجم: حسین خدیوجم). تهران: انتشارات علمی فرهنگی.
- قربانی، ابوالقاسم، و شیخان، محمدعلی (۱۳۷۰). *بوزجانی نامه*. تهران: انتشارات و آموزش انقلاب اسلامی.
- گلچین عارفی، مهدی (۱۳۸۸). قوام‌الدین شیرازی معمار افسانه. *گلستان هنر*، ۱۶، ۷۹-۸۵.
- لولویی، کیوان (۱۳۷۷). مدارس چهار ایوانی خراسان. هنر، ۳۸.
- منکوفسکایا ، آل. لو (۱۳۷۹). مطالعه اشکال در معماری آسیای مرکزی در پایان قرن ۱۴: آرامگاه خواجه احمد یسوی (مترجمان: بحرالعلومی و شیرازی). *ایران*، ۲۳، ۱۰۹-۱۲۷.
- نجیب اغلو، گلرو (۱۳۹۶). *هندسه و تزئین در معماری اسلامی* (مترجم: مهرداد قیومی بیدهندی). تهران: نشر روزنه.
- ویلبر، دونالد، و گلمبک، لیزا (۱۳۷۴). *معماری تیموری در ایران و توران* (مترجم: محمدیوسف کیانی). تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.
- هیلن برند، رابرت (۱۳۸۷). جنبه‌های معماری تیموری در آسیای میانه (مترجم: داوود طبایی). *گلستان هنر*، ۱۴، ۸-۶۵.

- Bulatov, M. S. (1978). *Геометрическая гармонизация в архитектуре средней азии IX-XV BB [Geometric Harmonization in Central Asian Architecture in the 9th-15th Centuries]* (2nd ed.). Moscow : Science.
- Bucher, F. (1972). The Drensdne Sketchbook of Vault Projection. *International Congress of the History of Art,* 22, 527-37.
- Chorbachi, W. K. (1989). *Beyond the Symmetries of Islamic Geometric Patterns : The Science of Practical Geometry and the Process of Islamic Design.* Doctoral Dissertation, Harvard University.
- Hejazi, M. (2005). Geometry in nature and Persian architecture. *Building and Environment,* 40(10), 1413-1427.
- Hillenbrand, R. (2005). The Timurid achievement in architecture. In A. Daneshvari (Ed.), *A Survey of Persian Art, Vol. XVIII : Islamic Period,* (83-126). Costa Mesa CA : Mazda Publishers.
- Hillenbrand, R. (1999). *Islamic art and architecture.* Thames and Hudson.
- Kostof, S. (1977). The Architect in the Middle Ages, East and West. In Kostof, S. (Ed.), The Architect : Chapters in the History of the Profession (59-95). New York : Oxford University Press.
- Necipoğlu, G. (2017). *The Arts of Ornamental Geometry : A Persian Compendium on Similar and Complementary Interlocking Figures. A Volume Commemorating Alpay Özdural* (Bilingual edition). Boston : Brill.
- O'kane, B. (1976). The Madrasa Al-Ghiyāsīyya at Khargird. *Iran,* 14(1), 79-92.
- Rempel, L. (1936). The Mausoleum of Isma'il the Samanid. *Bulletin of the American Institute for Persian Art and Archaeology,* 198-209.
- Rosenthal, F. (1975). *The Classic Heritage in Islam* (Translators : Emile Marmorstein and Jenny Marmorstein). London : Routledge and Kegan Paul.
- Saliba, G. (1999). Artisans and Mathematicians in Medieval Islam. *Journal of the American Oriental Society,* 119(4), 637-645.
- Woepcke, F. (1855). Recherches sur l'histoire des sciences mathematiques chez les orientaux, d'apres des analyes et extrait d un recueil de constructions geometriques par Aboul Wafa [ms persan 169, b.n]. *Journal asiatique,* 5(5), 218-56, 309-59.

Vol. 13 • No. 31 • Summer 2021

Received: 11 March, 2020 | Accepted: 26 August, 2020

Document Type: Research Paper

Investigating Geometry Used in Khargerd Ghiasieh School with Emphasis on Practical Geometry of Abolafa Bozjani

Ahad Nejad Ebrahimi
Associate professor, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran
(Corresponding Author)

Mahya Tooranpoor
M. A. in Islamic Architecture , Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran

Abstract

Geometry in ancient Persian texts according to the scholars such as Farabi, Kharazmi, Akhavan al-Safa, and Ibn Haytham is divided into two categories of practical and theoretical geometry. According to these texts, practical geometry is considered to be the essence of the work of craftsmen, surveyors, and builders, and the most important external symbol of the application of practical geometry is architecture. Practical geometry is the knowledge that has been used in industry, architecture, surveying, and mapping. Among the mentioned texts, Abulofa Buzjani's treatise on practical geometry is one of the sources in which an attempt has been made to express geometry by mentioning various methods together with simpler solutions in order to be useful for craftsmen. Practical geometry has played the role of knowledge in the industry and has been emphasized many times in various sources and by many scientific scholars of different eras. Craftsmen, architects, and especially architects of the Timurid period, some of whom are mentioned as engineers in ancient texts, were no exception to this and used practical geometry in their designs. The oldest known design regarding the use of geometry in architecture is the use of a grid background. Meanwhile, the name of the architect Ghavam al-Din Shirazi is mentioned in the ancient texts as an engineer in the Timurid era and Ghiasieh school is one of the most enduring Timurid buildings built by him in 848 Hijri, which is one of the most significant buildings in eastern Iran located in Khorasan. It was built at the Ghias-ud-Din Pir Ahmad Khafafi's command, the minister of Shahrokh Teymouri, and by the most talented architects of that time, Ghavam-ud-Din and Ghias-ud-Din Shirazi. The building of this school, like other similar religious buildings, has four porches and each porch is four and a half meters wide and 11 meters high. This research uses an analytical-comparative method, first by examining and analyzing the existing documents and literature and then by matching it with Abu al-Wafa geometry. It also seeks to answer two questions: How the practical geometry has been applied in designing the Ghiasieh school? And how the checkered grids have been used in the design of this school? To answer these questions, the practical geometry was examined and analyzed based on different views of Western and Iranian thinkers and then the plan and facade of Ghiasieh school were reviewed according to Abulofa Buzjani's methods regarding the connection between architecture and practical geometry and his solutions in solving geometric problems. The result of this research shows that by applying a checkered modular grid on the plan based on the dimensions of the dome and also matching the formation of spaces with Buzjani geometry, Ghavamuddin used special geometric methods along with a specific square module in the design and construction of the building.

Keywords: Khargerd Ghiasieh school, Abolafa Bozjani, Qavam-al-din Shirazi, practical geometry