

Practical Geometry in Applied Arts (Case Study: Geometric Proportions in the Architecture of Khan School in Shiraz)

Reyhaneh Raisi¹, Mohammad Sadegh Mirzaabolghasemi²(Corresponding Author), Kaveh Fattahi³

¹ Master's Graduate, Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

² Associate Professor, Department of Art, Faculty of Art and Architecture, Shiraz university, Shiraz, Iran.

³ Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, Shiraz university, Shiraz, Iran.

(Received: 25.04.2024, Revised: 10.06.2024, Accepted: 12.06.2024)

<https://doi.org/10.22075/aaj.2024.33922.1239>

Abstract:

This paper investigates the possible geometric proportions in the architecture of Khan School in Shiraz. The investigation is conducted at two levels: the geometric analysis of the plan and the geometric analysis of the facade. The analysis is based on the building components and spaces that have remained unchanged during the damages and repairs of the school. The detailed maps of Khan School from the 1950s serve as the basis for the analysis, although some architectural elements of the school complex have been newly surveyed and drawn.

The research methodology examines the drawing methods proposed by Abū al-Wafā Būzhjānī (940-998) in practical geometry. Consequently, the geometric features of the surveyed plans and facades are compared and evaluated based on Būzhjānī's writings on practical geometry in his books and treatises.

The results of this study demonstrate that the architecture of Khan School, both in its plans and facades, follows a checkerboard grid system. Each square in the checkerboard grid precisely corresponds to the square that encloses the outer boundaries of the main entrance's vestibule. The placement of the iwans, the octagonal pool, the western porch, and the exterior boundaries of most of the students' cells, as well as the eastern iwan of the school, also align with the Western Golden proportions. It appears that the architect of Khan School relied heavily on this ratio system, denoted as "nesbate-zat-vasatein-va-tarafeyin" or "the ratio of the middles and the sides" in Būzhjānī's treatise, to determine and design the geometric proportions of this school.

Keywords: Khan School, Geometric Proportions, Practical Geometry, Abū al-Wafā Būzhjānī, Shiraz, Safavid Period.

1-Email: reyhanehrais@gmail.com

2-Email: mirzaabolghasemi@shirazu.ac.ir

3-Email: ka_fattahi@shirazu.ac.ir

هندسه عملی در هنرهای کاربردی (نمونه موردی): تناسبات هندسی در معماری مدرسه خان شیراز

ریحانه رئیسی^۱

محمدصادق میرزا ابوالقاسمی (نویسنده مسئول)^۲

کاوه فتاحی^۳

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
^۲ دانشیار، گروه هنر، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
^۳ استادیار، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۲/۰۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۲۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۳/۲۳)

مقاله علمی-پژوهشی <https://doi.org/10.22075/aaj.2024.33922.1239>

چکیده

موضوع این مقاله بررسی نقش هندسه عملی در هنرهای کاربردی در دوره اسلامی است. به‌طور کلی هنرهای کاربردی از مهم‌ترین صنایعی است که در فرهنگ اسلامی با هندسه عملی پیوند پیدا می‌کند. در متون مربوط نیز معمولاً به این هنرها، خصوصاً معماری، اشاره می‌شود. این موضوع در مقاله حاضر با توجه به تناسبات هندسی در معماری مدرسه خان شیراز مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. این بررسی در دو سطح تحلیل هندسی پلان و تحلیل هندسی نما صورت پذیرفته و بر اجزایی از بنا متمرکز است که در آسیب‌ها و تعمیرات مدرسه دست‌خوش تغییر نشده باشد. نقشه‌های دقیقی که در دهه پنجاه شمسی از مدرسه خان تهیه شد مبنای این تحلیل‌ها است، هرچند برخی عناصر معماری بنا نیز از نو برداشت شده‌است. در این فرایند شیوه‌های ترسیمی پیشنهادی ابوالوفا بوزجانی در هندسه عملی مطمح نظر بوده و معیار تطبیق قرار گرفته‌است. روش کلی این پژوهش توصیفی-تحلیلی است و داده‌های آن بر اساس مطالعات میدانی و اسنادی گردآوری شده‌است. سوال پژوهش نیز بدین صورت مطرح می‌شود که تناسبات هندسی در معماری مدرسه خان در دو سطح پلان و نما چگونه ارزیابی می‌شود و چه نسبتی با هندسه عملی پیدا می‌کند؟

نتایج این بررسی نشان می‌دهد که نقشه معماری مدرسه خان می‌تواند بر یک شبکه شطرنجی ترسیم شده‌باشد که هر خانه آن مطابق مربع محیط بر هشتی دستگاه ورودی است. جانمایی ایوان‌ها، حوض، پیش‌خان سردر غربی، همچنین چارچوب اغلب حجره‌ها و ایوان شرقی مدرسه نیز از تناسب طلایی یونانی (غربی) برخوردار است. به‌نظر می‌رسد، تناسب طلایی - که در رساله ابوالوفا بوزجانی با عنوان «نسبت ذات وسطین و طرفین» تعریف می‌شود مهم‌ترین رویکرد معمار مدرسه خان در طراحی و تناسبات هندسی این بنا بوده‌است.

واژه‌های کلیدی: مدرسه خان، تناسبات هندسی، هندسه عملی، ابوالوفا بوزجانی، شیراز، دوره صفوی.

1_ Email: reyhanehraisai@gmail.com

2_ Email: mirzaabolghasemi@shirazu.ac.ir

3_ Email: ka_fattahi@shirazu.ac.ir

مقدمه

تناسب از کهن‌ترین شاخصه‌های زیباشناسی در هنر به‌شمار می‌آید. به‌عبارتی در مبانی زیبایی‌شناسی پیشامدرن بدون حفظ تناسب نمی‌توان اثری هنری خلق کرد. این شاخصه معمولاً در قالب هندسه مفهوم می‌شود. هندسه - به‌معنای لغوی اندازه و شکل - علم شناختی محیط اجسام در فضا را می‌گویند. این مفهوم، مثل تناسب، در قلمرو ریاضی می‌گنجد و در احصاء علوم اسلامی به دو شاخه نظری و عملی تقسیم می‌شود. ظاهراً فارابی (۳۳۹-۲۵۹هـ.ق) مؤسس این واژگان در علوم اسلامی بود. او کاربرد عینی هندسه، یا به بیان ساده‌تر هندسه‌ای که در عمل به‌کار می‌رفت، را هندسه عملی می‌دانست. با این تعریف، علم اندازه و مساحی و تناسبی که نیاز صنعت‌گران بود تماماً ذیل هندسه عملی قرار می‌گرفت.

از سده چهارم رسالات متعددی در هندسه عملی نوشته شده‌است. محتوای این رسالات اغلب شامل شیوه‌های ترسیم و تقسیم اشکال منتظم هندسی است، با این فرض که سودمند اهل صنایع است و در امر ساختن به‌کار می‌آید. نقش واقعی رسالات مذکور در فرهنگ اسلامی در میان محققان محل مناقشه بوده‌است. این نکته برای سایر متون مکتوب در فن و هنر، مثل آداب‌نامه‌های مشق یا فتوت‌نامه‌ها، نیز کم‌وبیش صادق است (ایرانپور و شیرازی، ۱۳۹۷: ۱۵۲-۱۲۹)؛ دست‌کم، کاربرد مستقیم عملی و آموزشی آن‌ها مسجل نشده‌است. در عین حال، نمی‌توان برخی تشابه روش‌های پیشنهادی این رسالات و شیوه‌های تجربی اهل فن را نادیده انگاشت. این موضوع بهانه‌ای در دست محققان است تا در صدد سنجش ارتباط‌های احتمالی میان هندسه عملی و شیوه‌های تجربی، بر اساس متون مکتوب و شواهد ملموس، برآیند.

به‌طور کلی هنرهای کاربردی از مهم‌ترین صنایعی است که در فرهنگ اسلامی با هندسه عملی پیوند

پیدا می‌کند. در متون مربوط نیز معمولاً به این هنرها، خصوصاً معماری، اشاره می‌شود؛ مثلاً فارابی (۲۵۹-۳۳۹هـ.ق) و ابوالحسن عامری (۳۸۱-۳۰۰هـ.ق) و ابن خلدون (۸۰۸-۷۳۲هـ.ق) و ابن اکفانی (وفات ۷۴۹هـ.ق) در تشریح موضوع هندسه عملی به‌صراحت از بنایان و معماران نام می‌برند (نجیب‌اوغلو، ۱۳۸۹: ۱۸۱-۱۸۰). در این میان رساله «فی ما یحتاج الیه العمال والصناع من الاشکال الهندسیه و فی ما یحتاج الیه الکتاب و العمال و غیرهم من علم الحساب» بیش از همه در مطالعات معماری دوره اسلامی مورد توجه قرار گرفته است. این رساله‌ها را ابوالوفا بوزجانی (۳۲۸-۳۸۸هـ.ق) با تأسی از فارابی نوشت. از او آثار دیگری نیز در هندسه و ریاضی، مثل «فی ما یحتاج الیه الکتاب و العمال من علم الحساب»، شناخته شده است (قاسملو، ۱۳۷۵: ۲۰۵۳). چنان که از عنوان و محتوای رساله‌ها بر می‌آید بوزجانی به دنبال ارائه راهکارهایی ساده، اما سودمند، در ترسیم اشکال هندسی برای اهل صنایع بود.

محققان دست‌کم در دو سطح به مقایسه آموزه‌های رسم هندسی و هنرهای وابسته معماری پرداخته‌اند: یکی رسم‌های گره هندسی در تزئینات معماری که با مطالعات گل‌رو نجیب‌اوغلو درباره طومارهای موزه توپقاپی شکفت؛ دیگر ضمن مفاهیم پیمون و تناسب طلایی و نظایر آن که بر مساحی و نسبت‌های مناسب پلان‌ها و نماها در معماری اسلامی متمرکز بود. مقاله پیش رو، با بررسی موردی تناسبات هندسی در معماری مدرسه خان شیراز، به رویکرد دوم نزدیک‌تر است؛ بدون اینکه بر وجود پیمون و تناسب طلایی پافشاری کند یا پیش‌فرضی از این قبیل داشته‌باشد.

مدرسه خان از محدود بناهای شاخص شیراز در دوره صفوی است و تاریخ ساخت آن (حدود ۱۰۲۴ هـ.ق) بر بیشتر مدارس شاخص صفوی موجود در ایران مقدم است. بنایان این مدرسه، الله‌وردی خان (وفات ۱۰۲۲ هـ.ق) و امام‌قلی خان (وفات ۱۰۴۲ هـ.ق)، حاکمان

فارس در دوره شاه‌عباس صفوی (۱۰۴۲-۱۰۰۴ هـ.ق)، بودند. مدرسه خان در دو طبقه با ابعادی وسیع و شکوهمند ساخته شده‌است. کرسی درس ملاصدرا در این مدرسه نیز بدان شهرتی افسانه‌ای بخشیده‌است. روایت‌هایی نیز وجود دارد که برخی نسبت‌های معماری مدرسه را با اعداد مقدس مطابق می‌کند. این روایت‌های نازآمده در متون تاریخ معماری بازتاب گسترده‌ای دارند (پیرنیا، ۱۳۸۳: ۳۲۵-۳۲۴؛ معماریان، ۱۳۸۷: ۳۵۳-۳۵۲). با این اوصاف، بررسی تناسبات هندسی در مدرسه خان می‌تواند گزینه مناسبی از بررسی نقش هندسه عملی در هنرهای کاربردی در دوره صفوی باشد؛ ضمناً صحت و سقم برخی ادعاها درباره تناسبات مدرسه خان را معلوم کند. از این رو، در این مقاله، با هدف ارزیابی مباحث مطروحه درباره هندسه عملی و سهم آن در هنرهای کاربردی، به بررسی تناسبات هندسی در معماری مدرسه خان در دو سطح پلان و نما پرداخته می‌شود. سوال پژوهش نیز بدین صورت مطرح می‌شود که تناسبات هندسی در معماری مدرسه خان در دو سطح پلان و نما چگونه ارزیابی می‌شود و چه نسبتی با هندسه عملی پیدا می‌کند؟ این پژوهش به روش توصیفی-تحلیلی و بر اساس مطالعات میدانی و اسنادی صورت پذیرفته‌است.

پیشینه پژوهش

سابقه پژوهش در زمینه هندسه عملی و نقش آن در هنرهای کاربردی را می‌توان در دو دسته کلی خلاصه کرد: دسته اول منابعی است که به بررسی و تحلیل آثار مکتوب دانشمندان مسلمان در حوزه هندسه عملی و ارتباط آن با صنایع اسلامی می‌پردازد؛ مثلاً با توجه به نظریات ابوالوفا بوزجانی در کتاب «هندسه ایرانی» (۱۳۹۸) به شیوه ترسیم هندسه عملی و کاربست آن در معماری پرداخته شده‌است یا نجیب‌اوغلو در فصولی از کتاب «هندسه و تزئین در

معماری اسلامی» (۱۳۸۹) با استناد به طولمرهای معماران به ارتباط میان طراحی معماری و علم هندسه پرداخته‌است. روح‌الله مجتهدزاده (۱۴۰۰) نیز نسبت صنعت معماری و علوم در دوران اسلامی را از منظر طبقه‌بندی علوم مد نظر قرار داده و مراتب علمی در صنعت معماری را کاویده و نکاتی تازه پیش رو نهاده‌است. این نوع بررسی‌ها نمونه‌های خردتر نیز دارند که اتفاقاً اغلب متوجه نظریات ابوالوفا بوزجانی در هندسه عملی است؛ مثلاً جعفر طاهری، با هدف بازنگری در سهم متون هندسه عملی در هنر و معماری اسلامی، کوشیده‌است نقش افرادی چون ابوالوفا بوزجانی را در «فضای عقلانی و با رفتار اجتماعی علم در سده چهارم هجری» (۱۴۰۰) مورد بحث و بررسی قرار دهد. «بازخوانی میراث ابوالوفا بوزجانی در صنعت معماری» (۱۳۹۱) نوشته طاهری و ندیمی و «نقش رساله هندسه عملی بوزجانی در شکل‌گیری تزیینات هندسی آثار سلجوقی» (۱۳۹۶) نوشته بهشتی‌نژاد و همکاران «واکاوی هندسه به‌کار رفته در مدرسه غیاثیه خرگرد با تأکید بر هندسه عملی ابوالوفا بوزجانی» (۱۳۹۹) نوشته نژاد ابراهیمی و توران‌پور از تحقیق‌های مشابه در این زمینه‌است.

دسته دوم از تحقیقات مذکور شامل آثاری می‌شود که صرفاً بر تحلیل هندسه و تناسبات اجزای یک یا چند بنا استوار شده‌است؛ مثلاً در مقاله رضازاده اردبیلی، ثابت‌فرد (۱۳۹۲) کم‌وکیف تناسبات هندسی عمارت قصر خورشید کلات نادری مورد بررسی قرار گرفته‌است و با نمونه‌های مشابه مطابقت داده شده‌است. این تحقیق نشان می‌دهد که مبنای هندسه پنهان در قصر خورشید شش‌ضلعی منتظم است. در همین سال در مقاله‌ای دیگر از ده‌ار و علی‌پور (۱۳۹۲) تناسبات پلان مسجد شیخ لطف‌الله در اصفهان تحلیل شده و گمانه‌هایی درباره ارتباط هندسی فضای نمازخانه و جلوخان این مسجد مطرح گردیده‌است. تحلیل هندسی مدرسه شوکتیه بیرجند از هاشمی زرج آباد و

احتمال وجود دارد که در تعمیرهای متناوب مدرسه اندازه‌ها و نسبت‌های برخی عناصر بنا دست‌خوش تغییر شده باشد. از این رو بررسی تناسب هندسی در این مقاله بر بخش‌هایی از بنا متمرکز است که به‌ظن قوی بر همان وضع اولیه باقی مانده باشد؛ مثلاً می‌توان اطمینان داشت پلان کلی حیاط مدرسه تغییری نکرده، یا هشتی ورودی و حوض هشت‌وجهی آن بر جای خود است. این بررسی‌ها در دو بخش کلی تنظیم شده‌است: اول تحلیل هندسی پلان؛ و دوم تحلیل هندسی نما. در تحلیل‌های بخش اول شبکه شطرنجی، جانمایی‌ها، و تناسب هندسی محتمل در پلان مدرسه مورد بررسی قرار گرفته‌است. در تحلیل‌های بخش دوم نیز، ضمن تطبیق شبکه شطرنجی با نماهای داخلی و خارجی، به تناسب احتمالی در چارچوب ایوان‌ها توجه شده‌است.

در دهه پنجاه شمسی نقشه‌های نسبتاً دقیقی از مدرسه خان تهیه شده‌است که می‌تواند راهنمای مناسبی از ابعاد و اشکال هندسی عناصر معماری مدرسه باشد. در تحلیل‌های مذکور به این نقشه‌ها اتکا می‌شود. با این حال، اجزای مورد سنجش تا حد ممکن از نو نیز برداشت و پیمایش شده‌است.

همکاران (۱۳۹۴) و آرامگاه شیخ زاهد گیلانی از پوراحمدی (۱۳۸۹) را می‌توان از دیگر بررسی‌های مشابه در این خصوص برشمرد. گاهی این رویکرد در بررسی و تطبیق همزمان چندین بنا نیز به‌کار گرفته شده‌است؛ مثلاً پورمند و همکاران (۱۳۹۲) تناسب هندسی را در نمای سردر چهار بنای صفوی اصفهان (اعم از مسجد شیخ لطف‌الله، مسجد جامع عباسی، مسجد حکیم و مدرسه چهارباغ) بررسی و با تناسب ایرانی پنج‌ضلعی و شش‌ضلعی تطبیق داده‌اند. از این میان، نمای سردر مسجد جامع عباسی تناسب کاملاً متمایزی نسبت به سایرین داشته‌است. ظاهراً این دست تحقیقات بیشتر جویای هندسه پنهان و تناسب طلایی در آثار معماری است.

روش پژوهش

این پژوهش به‌صورت توصیفی-تحلیلی انجام شده و داده‌های آن بر اساس مطالعات میدانی و اسنادی گردآوری شده‌است. شیوه‌های ترسیمی پیشنهادی ابوالوفا بوزجانی در هندسه عملی نیز معیار بررسی تناسب هندسی در معماری مدرسه خان بوده‌است. می‌دانیم که مدرسه خان در مرور زمان بارها در معرض آسیب‌های جزئی و کلی قرار گرفته‌است. این



تصویر ۱- نمای کلی مدرسه خان از دید ایوان غربی. منبع: (نگارندگان)

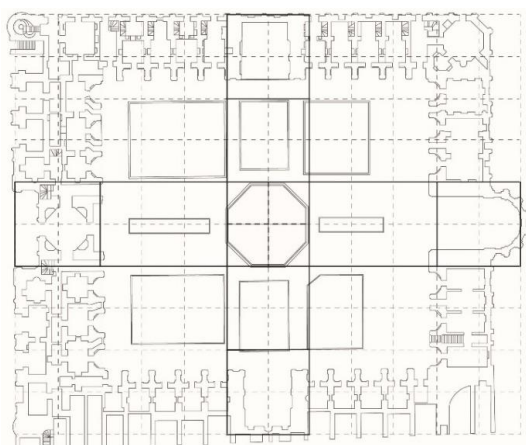
تناسبات هندسی

تطبیق شبکه شطرنجی و پلان

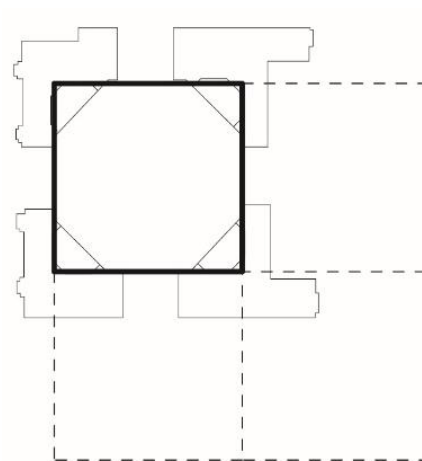
استفاده از شبکه شطرنجی یکی از فرض‌های محتمل در ترسیم نقشه معماری مدرسه خان است. معماران ایرانی از قدیم این شیوه را می‌شناختند و برای طراحی و مساحی از آن بهره می‌بردند. دست‌کم از سده چهارم هجری قمری شواهدی از این نقشه‌ها - که بدان «لوح شطرنجی» نیز گفته می‌شود - به دست آمده است. استفاده از لوح شطرنجی در معماری دوره تیموری و صفوی رایج بوده است (نجیب‌اوغلو، ۱۳۸۹: ۹-۱۱؛ پوگانکووا، ۱۳۸۷: ۳۱-۳۰).

در مطالعات مربوط، دو پیشنهاد کلی برای تطبیق احتمالی شبکه شطرنجی و نقشه معماری در بناهای اسلامی مطرح شده است: یکی واحد پیمون ناظر به عرض درگاه‌ها یا ضخامت جرزها (اوکلین، ۱۳۸۶)؛ دیگر واحد پیمون معادل مربع محیط بر گنبدخانه یا هشتی دستگاه ورودی بنا (یزدی، ۱۳۸۷: ۸۶/۱).

کاوسی، ۱۳۸۹: ۱۵۵). بر اساس بررسی‌های انجام‌شده، از روی عرض درگاه‌ها و ضخامت جرزها نمی‌توان به تناسب معناداری در نقشه معماری مدرسه خان رسید. به عبارتی، شبکه شطرنجی حاصل از محاسبه عرض درگاه‌ها یا ضخامت جرزها بر پلان بنا منطبق نمی‌شود. در عین حال، هشتی دستگاه ورودی در مربعی محاط می‌شود که دقیقاً چهار برابر سطح مقطع حجره‌ها و یک‌چهارم مربع محیط بر حوض هشتی مدرسه است. با این حساب، می‌توان مربع محیط بر هشتی دستگاه ورودی را معادل واحد پیمون فرض کرد و آن را برابر یک خانه از لوح شطرنجی معمار گرفت. اگر این خانه از هسته مرکزی مدرسه گسترش یابد، چارچوب کلی نقشه مدرسه تقریباً بر روی یک شبکه شطرنجی با ابعاد ده در دوازده خانه می‌افتد. دست‌کم، برخی عناصر مانند ایوان‌ها و حوض نیز با این خانه‌بندی منطبق به نظر می‌رسد (تصویر ۲).



تصویر ۲- مربع محیط بر هشتی ورودی و ایجاد شبکه شطرنجی گسترده بر پلان مدرسه خان. منبع: (نگارندگان)



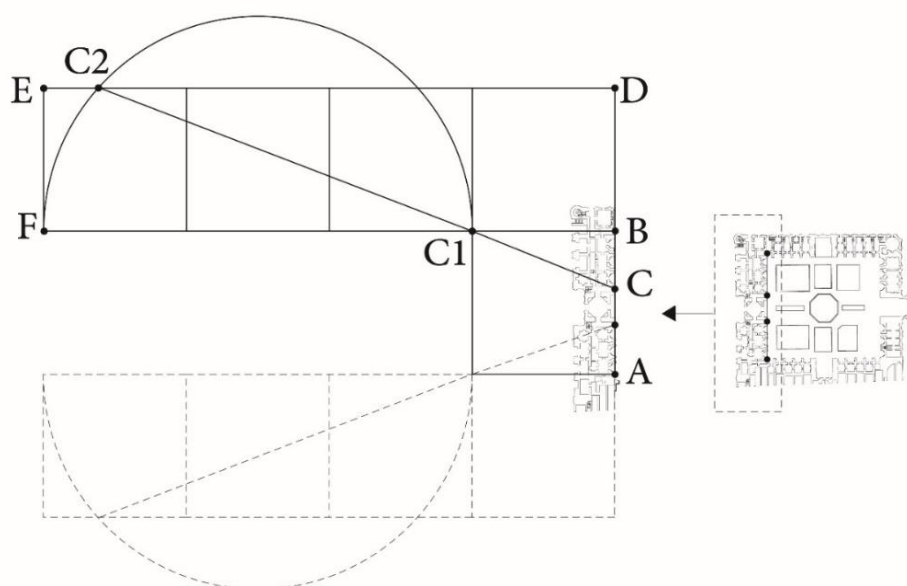
جانمایی ایوان‌ها با نسبت ذات وسطین و طرفین

«ذات وسطین و طرفین» یا «تقسیم توافقی» از شیوه‌های محاسبه تناسب در هندسه عملی بوزجانی است. این تناسب معادل تناسب طلایی یونانی (غربی) است. بوزجانی نسبت ذات وسطین و طرفین را در

رسم پاره‌خط (دو شیوه) و مستطیل به دست آورده - است (بوزجانی، ۱۳۹۸). برای جانمایی ایوان‌ها می‌توان از یکی از شیوه‌های پیشنهادی او در تقسیم پاره‌خط استفاده کرد (بوزجانی، ۱۳۹۸: ۱۲۴ و ۱۲۵). بنا بر این روش، ابتدا پاره خطی معادل طول ضلع منتخب

امتداد داده تا پاره خط AB را قطع کند. نقطه حاصل (C) حدّ یک طرف ایوان در ضلع منتخب پلان را مشخص می‌کند. اگر، به همین ترتیب و به صورت قرینه، نسبت طلایی بر پاره خط AB دنبال شود حدّ طرف دیگر ایوان ضلع منتخب نیز حاصل خواهد شد (تصویر ۳). جانمایی هر چهار ایوان مدرسه خان دقیقاً با این شیوه ترسیم منطبق است.

پلان ترسیم کرده (AB) و به همان اندازه امتداد داده می‌شود (BD) . سپس از این دو پاره خط مساوی دو مربع ساخته و مربع دوم (از پاره خط BD) را در جهت عمود، با ترسیم سه مربع برابر دیگر، گسترش داده تا پاره خط DE به دست آید. سپس به قطر FC_1 - پاره خط حاصل از طول سه مربع مذکور - کمان زده می‌شود. این کمان پاره خط DE را در دو نقطه قطع می‌کند. حال پاره خط C_1C_2 را ترسیم کرده و آن را

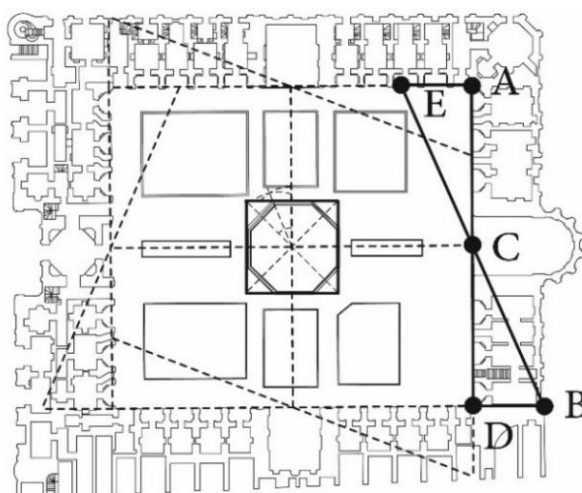


تصویر ۳- جانمایی ایوان غربی مدرسه خان با نسبت ذات وسطین و طرفین. منبع: (نگارندگان)

(AC) و (BD) . امتداد این دو خط می‌بایست در جهت مخالف یکدیگر باشد. اتصال نقاط C و D طول ضلع منتخب بنا، یا همان پاره خط AB ، را در نقطه (E) نصف می‌کند. اگر این شیوه در اضلاع دیگر نیز تکرار شود مرکز چهار ضلع مدرسه به دست خواهد آمد. حال نقاط متناظر به هم متصل می‌شود تا از تقاطع آن‌ها مرکز صحن مدرسه مشخص گردد. این نقطه دقیقاً با مرکز حوض هشت ضلعی مدرسه منطبق است (تصویر ۴).

جانمایی حوض با نسبت ذات وسطین و طرفین

بر اساس محاسبات پیشین، حوض مدرسه خان در چهارخانه از صفحه شطرنجی معمار محاط می‌شد. از ظواهر چنین بر می‌آید که حوض و مربع محیط آن درست در مرکز نقشه افتاده باشد. این جانمایی با شیوه ترسیم مرکز پاره خط در هندسه عملی قابل ارزیابی است (بوزجانی، ۱۳۹۸: ۱۷). برای این کار، ابتدا به طول ضلع منتخب نما یک پاره خط رسم کرده (AB) و سپس بر دو رأس آن دو خط مساوی عمود می‌شود

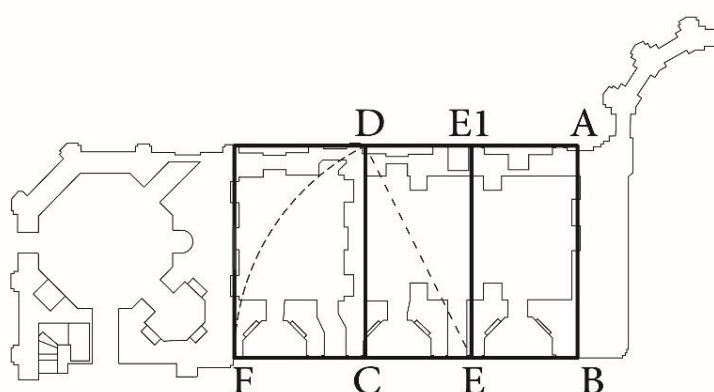


تصویر ۴- جانمایی حوض با نسبت ذات وسطین و طرفین. منبع: (نگارندگان)

نسبت ذات وسطین و طرفین در حجره‌ها

مستطیل طلایی از شیوه‌های مرسوم دستیابی به تناسب در هندسه عملی در دوره اسلامی است، و همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، بوزجانی آن را زیر عنوان نسبت ذات وسطین و طرفین مطرح می‌کند (بوزجانی، ۱۳۹۸: ۱۲۳-۱۲۲). چارچوب کلی حجره‌ها در هر طرف از ایوان‌های مدرسه خان با این شیوه قابل محاسبه است. بدین منظور، ابتدا عمق یکی از حجره‌های ضلع منتخب را به عنوان واحد در نظر گرفته (AB) و با آن مربع شاخص ساخته می‌شود

(ABCD). سپس وسط یکی از اضلاع (BC) را به دست آورده و از آن نقطه (E)، با یک پاره‌خط (EE1)، مربع شاخص به دو نیم تقسیم می‌گردد. حال از همان نقطه، به شعاع قطر یک نیمه مربع شاخص (ED)، کمانی زده تا امتداد پاره‌خط BC را قطع کند (F). پاره‌خط بدست آمده (BF)، که معادل ضلع بزرگ‌تر مستطیل طلایی است، طول چارچوب مجموع حجره‌های ضلع منتخب را معلوم خواهد کرد (تصویر ۵).

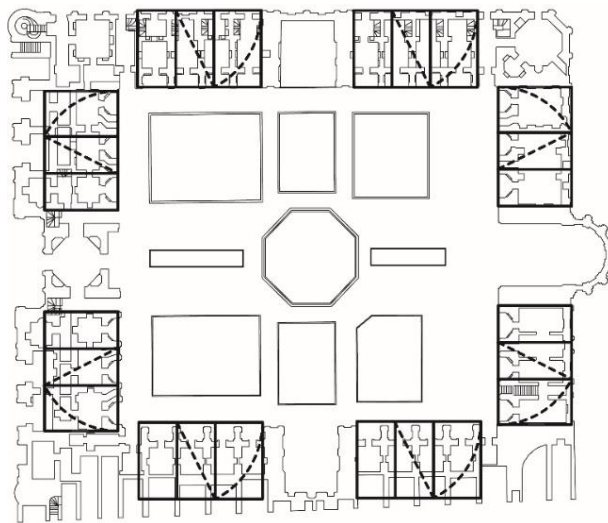


تصویر ۵- نسبت ذات وسطین و طرفین در حجره‌های مدرسه خان. منبع: (نگارندگان)

رسم مستطیل طلایی به شیوه مذکور بر پلان مجموع حجره‌های هریک از طرفین ایوان‌های غربی و شرقی مدرسه خان منطبق است، اما در اضلاع شمالی و

جنوبی قدری متفاوت می‌شود. در هر طرف ایوان‌های متناظر شمالی و جنوبی پنج طاق بسته شده است. طاق پنجم از هر طرف - که در چهار کنج مدرسه

می‌نشینند - پهنای کمتری نسبت به دهانه سایر حجره‌ها دارد. اگر این دهانه و حجره پشت آن استثنا شود، رسم مستطیل طلایی بر مجموع چهار حجره دیگر در هر طرف ایوان‌ها منطبق می‌گردد (تصویر ۶).

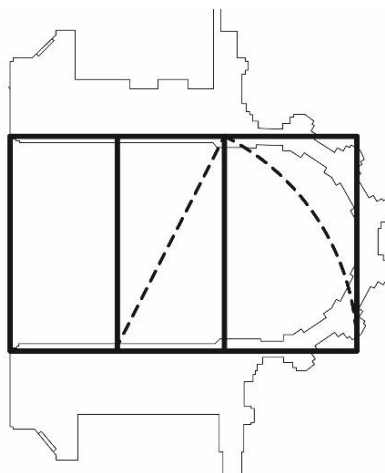


تصویر ۶- انطباق نسبت ذات وسطین و طرفین (مستطیل طلایی) بر حجره‌های چهار ضلع مدرسه خان. منبع: (نگارندگان)

ایوان‌ها با تناسب طلایی به‌دست آمده‌است. حال اگر عرض ایوان شرقی معادل ضلع مربع شاخص در نظر گرفته شود و با آن یک مستطیل طلایی رسم گردد، عمق ایوان به‌دست خواهد آمد. این بدان معنی است که ایوان شرقی مدرسه خان چه در جانمایی و چه در چارچوب کلی از تناسب طلایی برخوردار است (تصویر ۷). تناسب طلایی در چارچوب سایر ایوان‌ها صدق نمی‌کند.

نسبت ذات وسطین و طرفین در ایوان شرقی

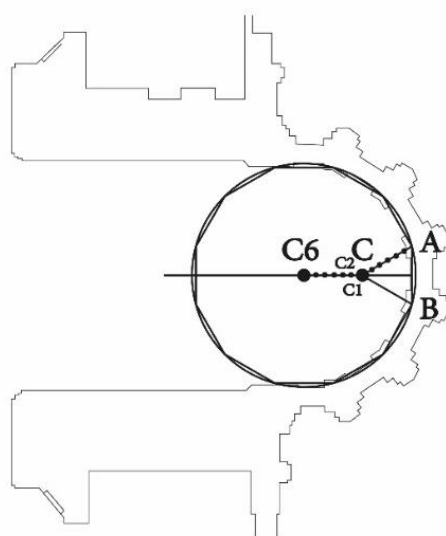
ایوان شرقی بزرگ‌ترین ایوان مدرسه خان است. این ایوان در ابعاد نما با ایوان متناظر خود تقریباً برابری می‌کند، اما برخلاف آن عمیق و وسیع ساخته شده‌است. از همین رو، پوشش طاق نسبتاً گسترده‌ای نیز پیدا کرده‌است. این طاق بازسازی شده، اما چارچوب کلی ایوان برجای خود است. پیش‌تر گفتیم که جانمایی ایوان‌ها با نسبت ذات وسطین و طرفین (به‌شیوه رسم پاره‌خط) تطبیق می‌کند. به عبارتی عرض



تصویر ۷- انطباق نسبت ذات وسطین و طرفین (مستطیل طلایی) بر ایوان شرقی مدرسه خان. منبع: (نگارندگان)

انتهای ایوان شرقی با دیواری شعاعی (قطاعی از یک چندضلعی منتظم) بسته شده است. این دیوار به صورت زائده ای از پشت مدرسه بیرون زده و به واسطه پنجره های مشبکی که دارد نور خورشید را به درون ایوان هدایت می کند. یکی از قواعد پربسامد هندسه عملی نزد بوزجانی شیوه ترسیم چندضلعی هاست (بوزجانی، ۱۳۹۸: ۱۱۱). توصیه های او در این شیوه از ترسیم چندضلعی ها ابداعی است، پس با علم به این موضوع، در این بخش به روش پیشنهادی او اکتفا می شود. بدین منظور، مساوی ضلع میانی دیوار شعاعی انتهای ایوان، پاره خطی رسم کرده (AB) و از آن یک مثلث متساوی الاضلاع ایجاد می گردد (ABC). سپس یکی از اضلاع را شش قسمت کرده و معادل یک ششم آن را از رأس مثلث متساوی الاضلاع بر محور عمود بر

پاره خط AB امتداد داده تا نقطه C1 به دست آید. از این نقطه باید به شعاع AC1 - یا BC1 - یک دایره رسم شود. این دایره بر یک چندضلعی فرضی محیط می گردد، اما با دیوار شعاعی ایوان منطبق نیست. بنابراین یک ششم دیگر بر محور عمود بر پاره خط AB افزوده (C2) و از آنجا با شعاع AC2 دایره ای دیگر رسم می شود؛ و این کار را باید، تا وقتی که دایره حاصل بر دیوار شعاعی ایوان محیط شود، ادامه داد. این اتفاق در نقطه ششم (C6) رخ می دهد. حال می توان با پرگار دایره مذکور را به اندازه پاره خط AB - که معادل یک ضلع از دیوار شعاعی ایوان بود - تقسیم کرد. این دایره دقیقاً دوازده قسمت می شود. به عبارتی دیوار شعاعی انتهای ایوان قطاعی از یک دوازده ضلعی منتظم بوده است (تصویر ۸).



تصویر ۸- تحلیل هندسی چندضلعی حاکم بر ایوان شرقی مدرسه خان. منبع: (نگارندگان)

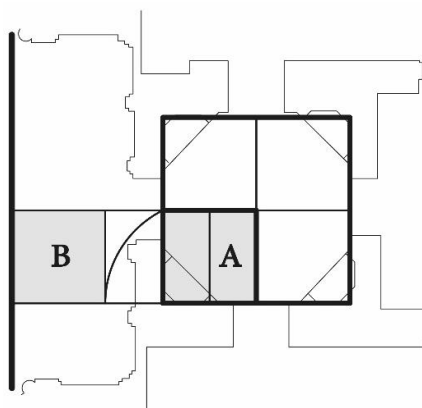
جانمایی پیش خان سردر غربی با نسبت ذات وسطین و طرفین

در پیش ایوان بزرگ سردر غربی مدرسه خان پیش خانی تعبیه شده است. به احتمال، ارتفاع این پیش خان - که از سطح پیرامون پایین تر افتاده - در کف سازی خیابان در سده معاصر اندکی تغییر کرده - باشد، اما می توان به اصالت چارچوب آن اطمینان داشت. طول چارچوب پیش خان متناسب با پهنای

سردر در نظر گرفته شده است. اندازه عرض آن نیز با قاعده مستطیل طلایی قابل دستیابی است. پیش تر گفته شد، هشتی ورودی بر مربعی محاط می شود که معادل یک خانه از صفحه شطرنجی احتمالی معمار است. مربع محیط بر هشتی را می توان بر چهار خانه کوچک تقسیم کرد. حال، یکی از این خانه های کوچک را به عنوان مربع شاخص (A) برای رسم مستطیل طلایی در نظر گرفته و مطابق شیوه بوزجانی، در بحث

نسبت ذات طرفین و وسطین، ضلع بزرگ‌تر مستطیل طلایی را به دست می‌آوریم. عرض پیش‌خوان دقیقاً برابر با این ضلع می‌شود. به عبارتی، اندازه عرض پیش‌خان مدرسه خان از تناسب طلایی مربع شاخصی به دست می‌آید که برابر با یک‌چهارم از خانه صفحه شطرنجی معمار است. این محاسبه به صورت معکوس

نیز قابل حساب است؛ بدین ترتیب که از خط حدگاه پیش‌خان به اندازه یک خانه کوچک (یک‌چهارم خانه صفحه شطرنجی) جدا کرده (B) و به مستطیل طلایی توسعه داده می‌شود. این مستطیل با مربع محاط بر هشتی مماس می‌گردد (تصویر ۹).

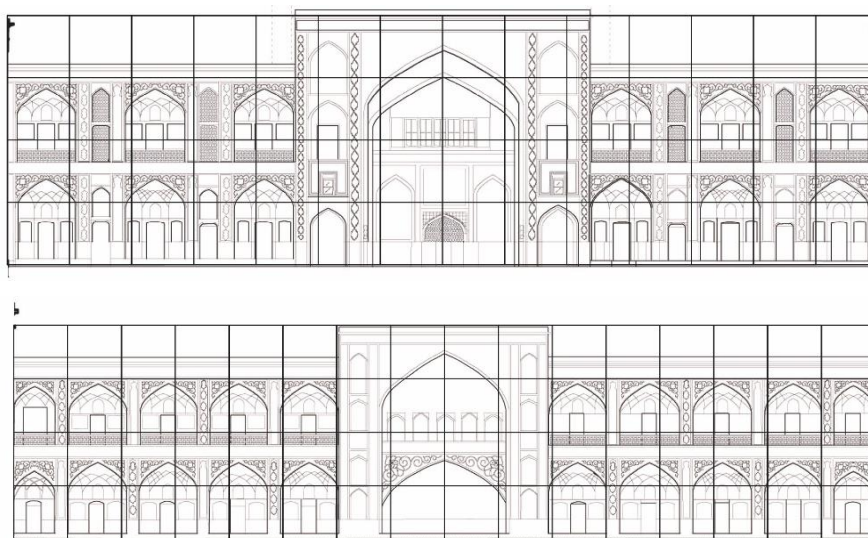


تصویر ۹- جانمایی پیش‌خان سردر غربی مدرسه خان با نسبت ذات وسطین و طرفین. منبع: (نگارندگان)

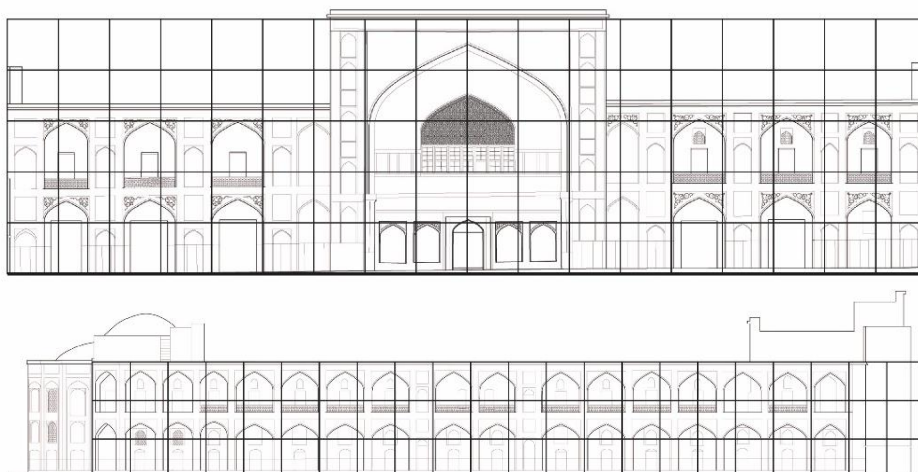
نماهای منتخب ضلع غربی و شمالی به هفت و هشت خانه و حداکثر ارتفاع آن‌ها (رأس ایوان‌ها) به دو خانه می‌رسد (تصویر ۱۰). طول و حداکثر ارتفاع نمای خارجی ضلع غربی نیز به نه و دوونیم خانه محدود می‌شود. به همین ترتیب، انطباق نسبی نماهای خارجی ضلع‌های شمالی تصویر (۱۱) با شبکه شطرنجی قابل تصور است.

تطبیق شبکه شطرنجی و نما

در تطبیق شبکه شطرنجی و پلان، مربع محاط بر هشتی دستگاه ورودی معادل پیمون یا یک خانه از صفحه شطرنجی احتمالی معمار فرض شد و بدین ترتیب پلان کلی مدرسه خان روی صفحه شطرنجی منطبق گردید. این انطباق قابل تعمیم به چارچوب کلی نماهای مدرسه نیز هست. بر این اساس، طول



تصویر ۱۰- تطبیق شبکه شطرنجی بر چارچوب کلی نمای داخلی اضلاع غربی و شمالی مدرسه خان. منبع: (نگارندگان)

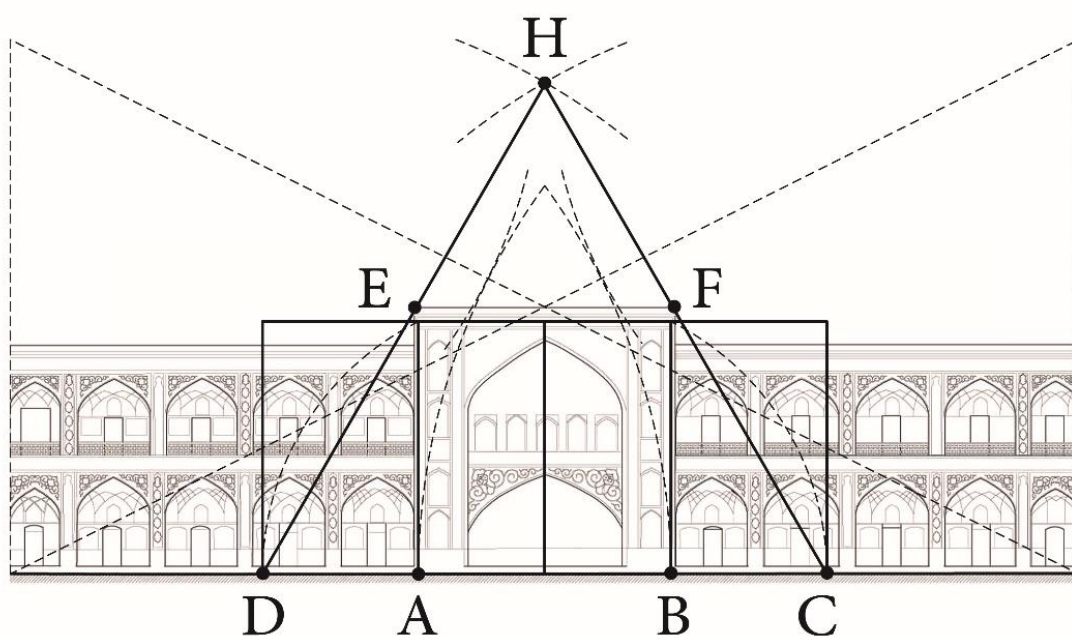


تصویر ۱۱- تطبیق شبکه شطرنجی بر چارچوب کلی نمای خارجی اضلاع غربی و شمالی مدرسه خان. منبع: (نگارندگان)

تناسبات هندسی در چارچوب ایوان‌ها

به‌طور کلی ضلع غربی و شمالی مدرسه خان نسبت به ضلع‌های متناظر کمتر در معرض آسیب بوده یا دست‌خوش تعمیر و تغییر شده‌است. پیش‌تر جانمایی ایوان‌ها بر اساس نسبت ذات وسطین و طرفین یا همان تناسب طلایی آزموده شد. حال در ایوان منتخب شمالی، به ضلع همین نقاط (AB) مربعی ترسیم کرده و آن را در هر دو سوی ایوان به مستطیل

طلایی گسترش داده تا پاره‌خط CD به‌دست آید. سپس، طبق این پاره‌خط، می‌توان یک مثلث متساوی‌الاضلاع رسم کرد (CDH). بدین ترتیب، ساقین مثلث با گوشه‌های بالای ایوان مماس می‌شود (نقاط E و F؛ تصویر ۱۲). این شیوه ترسیم را می‌توان در ایوان جنوبی نیز در نظر گرفت، اما در ایوان‌های غربی و شرقی به نتیجه نمی‌رسد.



تصویر ۱۲- تناسب هندسی در نمای ایوان شمالی. منبع: (نگارندگان)

نتیجه‌گیری

تحلیل هندسی پلان مدرسه خان نشان می‌دهد که نقشه معماری این مدرسه بر صفحه‌ای شطرنجی ترسیم شده که هر خانه آن مطابق مربع محیط بر هشتی دستگاه ورودی است. بدین ترتیب، می‌توان مربع محیط بر هشتی دستگاه ورودی را معادل واحد پیمون دانست. اگر این واحد از مرکز مدرسه گسترش یابد، چارچوب کلی نقشه مدرسه بر روی یک شبکه شطرنجی با ابعاد ده در دوازده خانه مطابق می‌شود. برخی اجزای مدرسه، مثل حوض و چهار ایوان، نیز با این خانه‌بندی منطبق می‌شوند. این شبکه شطرنجی قابل تعمیم به چارچوب کلی نماهای مدرسه نیز هست. با این حساب، مثلاً طول نماهای ضلع غربی و شمالی به ترتیب به هفت و هشت خانه می‌رسد و حداکثر ارتفاع آن‌ها (رأس ایوان‌ها) دو خانه می‌شود. این انطباق و حساب برای نماهای خارجی مدرسه نیز ممکن است.

جانمایی ایوان‌ها، حوض، و پیش‌خان سردر غربی مدرسه نیز از تناسب طلایی یونانی (غربی) برخوردار

است. این تناسب، در هندسه عملی ابوالوفا بوزجانی با عنوان نسبت ذات وسطین و طرفین معرفی می‌شود و در قالب رسم پاره خط و مستطیل توضیح داده شده است. اتفاقاً، چارچوب حجره‌های مدرسه خان - به استثنای طاق پنجم طرفین ایوان‌های ضلع شمالی و جنوبی - نیز از این نسبت (به شیوه رسم مستطیل) به‌دست می‌آید. ایوان شرقی نیز همین تناسب را دارد. با این حال، تناسب طلایی در چارچوب سایر ایوان‌ها صدق نمی‌کند.

با توجه به جمیع این نکات، می‌توان از کاربرد هندسه عملی در طراحی مدرسه خان اطمینان حاصل کرد و تناسبات طلایی را رویکرد اصلی معمار مدرسه خان در طراحی بنا دانست. با این حال، این موضوع به تمام عناصر و اجزای معماری مدرسه خان قابل تعمیم نیست. به نظر می‌رسد، معمار مدرسه خان متکی به مساحی زمین و اقتضای طراحی از هندسه عملی استفاده کرده باشد.

منابع:

- اوکلین، برنارد (۱۳۸۶)، **معماری تیموری در خراسان**، ترجمه علی آخشینی، مشهد: بنیاد پژوهش‌های اسلامی آستان قدس رضوی.
- ایرانیپور، امین؛ شیرازی، علی‌اصغر (۱۳۹۷)، آرا و آداب معنوی در رسالات آموزشی خوشنویسی (رسالات فارسی سده‌های ۸ تا ۱۲ هجری، **آینه میراث**، شماره ۶۳، ۱۵۲-۱۲۹.
- بوزجانی، ابوالوفاء محمد بن محمد (۱۳۹۸)، **هندسه ایرانی: کاربرد هندسه در عمل**، ترجمه سید علی‌رضا جذبی، سروش: تهران.
- بهشتی‌نژاد، مهدی؛ سامانیان، صمد؛ مازیار، امیر (۱۳۹۶)، نقش رساله هندسه عملی بوزجانی در شکل‌گیری تزیینات هندسی آثار سلجوقی، **تاریخ علم**، شماره ۲، ۱۴۸-۱۳۱.
- پوراحمدی، مجتبی (۱۳۸۹)، هندسه در گنبد آرامگاه شیخ زاهد گیلانی: الگویی برای طراحی گنبد در کرانه جنوبی دریای خزر، **هنرهای زیبا**، شماره ۴۳، ۹۲-۸۳.
- پورمند، حسنعلی؛ یارعلی، زهرا؛ افهمی، رضا؛ عباسی، پوریا (۱۳۹۳)، بررسی تطبیقی تناسبات نمای سردر مساجد شیخ لطف‌الله، جامع عباسی، حکیم و مدرسه چهارباغ اصفهان، **نامه معماری و شهرسازی**، شماره ۱۲، ۱۶۳-۱۵۳.
- پوگانچنکووا، گالینا آناتولیونا (۱۳۸۷)، **شاهکارهای معماری آسیای میانه: سده‌های چهاردهم و پانزدهم میلادی**، ترجمه داوود طبایی، تهران: فرهنگستان هنر.
- پیرنیا، محمدکریم (۱۳۸۳)، **سبک‌شناسی معماری ایرانی**، تدوین غلامحسین معماریان، تهران: معمار.
- _ (۱۳۸۷)، **معماری ایرانی**، تدوین غلامحسین معماریان، تهران: سروش دانش.
- دهار، علی؛ علی‌پور، رضا (۱۳۹۴)، تحلیل هندسی معماری مسجد شیخ لطف‌الله اصفهان جهت تعیین ارتباط هندسی نمازخانه با جلوخان ورودی بنا، **باغ نظر**، شماره ۲۶، ۴۰-۳۳.
- رضازاده‌اردبیلی، مجتبی؛ ثابت‌فرد، مجتبی (۱۳۹۲)، بازشناسی کاربرد اصول هندسی در معماری سنتی، مطالعه موردی: قصر خورشید و هندسه پنهان آن، **هنرهای زیبا**، شماره ۱، ۴۴-۲۹.
- طاهری، جعفر؛ ندیمی، هادی (۱۳۹۱)، بازخوانی میراث ابوالوفا بوزجانی در صنعت معماری، **تاریخ علم**، شماره ۲، ۹۱-۶۵.
- قاسملو، فرید (۱۳۷۵)، **بوزجانی**، دانشنامه جهان اسلام، ج ۱، زیر نظر سیدمصطفی میرسلیم، تهران: دایرةالمعارف بزرگ اسلامی.
- کاوسی، ولی‌الله (۱۳۸۹)، **تیغ و تنبور: هنر دوره تیموریان به روایت متون**، تهران: فرهنگستان هنر.
- مجتهدزاده، روح‌الله (۱۴۰۰)، **مناسبات معماری و علوم در ایران دوران اسلامی**، تهران: فرهنگستان هنر.
- مهدی‌زاده سراج، فاطمه؛ فخاری تهرانی، فرهاد؛ ولی‌بیگ، نیما (۱۳۹۰)، به‌کارگیری مثلث‌های هنجار در محاسبات ریاضی و پیاده‌سازی هندسه در ساخت و اجرای معماری سنتی ایران، **نشریه مرمت و معماری ایران**، شماره ۱، ۲۶-۱۵.
- نجفقلی پورکلانتری، نسیم؛ اعتصام، ایرج؛ حبیب، فرح (۱۳۹۵)، بررسی هندسه و تناسبات طلایی در معماری ایران (نمونه مطالعاتی: خانه‌های سنتی شهر تبریز)، **مدیریت شهری**، شماره ۴۶، ۵۱۴-۵۰۰.
- نجیب‌اوغلو، گل‌رو (۱۳۸۹)، **هندسه و تزیین در معماری اسلامی**، ترجمه مهرداد قیومی بیدهندی، تهران: روزنه.
- نژادابراهیمی، احد؛ توران‌پور، محیا (۱۳۹۹)، واکاوی هندسه به‌کاررفته در مدرسه گیائیه خرگرد با تأکید بر هندسه عملی ابوالوفا بوزجانی، **نامه معماری و شهرسازی**، شماره ۳۱، ۱۱۶-۱۰۱.
- هاشمی زرج‌آباد، حسن؛ ضیایی‌نیا، محمدحسن؛ قربانی، حمیدرضا (۱۳۹۴)، بازخوانی تحلیل اصول هندسی و تناسبات طلایی در مدرسه شوکتیه، **پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران**، شماره ۹، ۲۲۵-۲۰۷.
- یزدی، شرف‌الدین علی (۱۳۸۷)، **ظفرنامه**، ج ۲، تصحیح و تحقیق سیدسعید میرمحمدصادق و عبدالحسین نوایی، تهران: کتابخانه، موزه و مرکز اسناد مجلس شورای اسلامی.