



## ORIGINAL RESEARCH PAPER

## Verification of parametric thinking in residential centers of Iranian-Islamic Architecture; Case study: Madarshah, Natanz and Jam caravanserais \*

Khayyam Mohammadi <sup>1,</sup> , Fariborz Karimi <sup>2,\*,</sup>

<sup>1</sup> M.A. in Architecture, Department of Architectural Engineering, Faculty of Architecture and Urbanism, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran.

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Architectural Engineering, Faculty of Architecture and Urbanism, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran.

## ARTICLE INFO

## Article History:

Received 2022/12/06  
Revised 2023/03/01  
Accepted 2023/05/30  
Available Online 2024/08/26

## Keywords:

Parametric Architecture  
Accommodation Centers  
Iranian-Islamic Architecture  
Geometry

## Extended ABSTRACT

**B**ACKGROUND AND OBJECTIVES: The history of Iranian-Islamic architecture is filled with remarkable and magnificent works created by artists who utilized geometric knowledge and principles. Geometry served as a common language among architects in designing these structures. With advancements in technology and new geometric knowledge, innovative design methods have emerged. Parametric architecture is one of the approaches that enables the exploration of relationships between masses and complex shapes within computer environments. Experts suggest that these architectural works stem from the application of parametric design thinking throughout the planning and design processes. However, examining these principles within architectural knowledge is challenging due to the diversity across various fields, including functional and structural and other aspects. This research focuses on this process as it pertains to temporary residences, such as caravanserais.

**M**ETHODS: This research relies on bibliographic studies and computational methods to identify the geometric and mathematical principles used in the design of notable suburban caravanserais. The data are analyzed using reliable software that algorithmizes and simulates parametric problems, visually displaying results to support the hypothesis.

**F**INDINGS: The findings indicate that artists skillfully controlled and recreated design principles according to the existing criteria and conditions of their time, resulting in remarkable works that fulfilled contemporary needs. The design process explored in this study is confined to producing square or rectangular plans, though this constraint can be adjusted by parameterizing the initial information to generate polygonal plans such as hexagons or octagons. This approach also elucidates several hexagonal and octagonal designs in Iranian-Islamic caravanserais, which closely resemble quadrilateral plans in spatial organization. A notable characteristic of Islamic architecture is its multi-functionality; Iranian-Islamic architecture produced “complete building forms” adaptable for various purposes. A single building plan might serve for both fortresses and caravanserais, often making it difficult to differentiate them by plan alone. Thus, the parametric framework established in this project can apply not only to caravanserai buildings but also to desert castles, palaces, and schools with similar designs. It is important to note that the diversity of Islamic architectural types means that the parametric order developed here does not claim to encompass all caravanserais. Rather, it offers a design approach rooted in Iranian-Islamic principles, analyzed through Grasshopper software using three case studies.

**C**ONCLUSION: Parametric design is a design paradigm where the relationships between elements dictate the reproduction of geometry and complex forms, allowing the outcome of a system or equation to be modified by adjusting specific parameters and variables. The results indicate that this rule-based methodology aligns with the geometric design production techniques of Iranian-Islamic architecture. By introducing constituent parameters and employing algorithmization in Grasshopper software, the

Use your device to scan  
and read the article online



Number of References

35



Number of Figures

15



Number of Tables

2

\* This article is derived from the first author's master thesis entitled “Design of Shurabil Accommodation and Tourism Center with Parametric Architecture Approach and Emphasis on Iranian-Islamic Patterns”, supervised by the second author, at Imam Khomeini International University (IKIU).

\*\* Corresponding Author:  
Email: [f.karimi@arc.ikiu.ac.ir](mailto:f.karimi@arc.ikiu.ac.ir)  
Phone: +98(912)3817526

**Extended ABSTRACT**

parameterization of the overall plans for four-balcony out-of-town caravanserais is validated. This conclusion can extend to caravanserai plans and similar building functions, such as schools, in other architectural styles, including double-sided and polygonal designs. Furthermore, the significant advancements in architectural technology allow designers to leverage the rich knowledge of historical architecture using contemporary programming languages. Consequently, applying parametric architecture principles and tools like Grasshopper enables programming based on crucial parameters that influence the creation and development of valuable architectural works. The principles and rules governing algorithm creation are derived from the knowledge of Iranian-Islamic architectural design, allowing for the development of algorithms in parametric language through the analysis of caravanserai plans.

**HIGHLIGHTS:**

- The parametric order created in this project can be created not only for caravanserai buildings, but also for desert castles and palaces and schools with similar designs.
- The design process introduced in this project is limited to the production of square or rectangular plans. This constraint can also be programmed by parameterizing the initial information to generate polygonal plans such as hexagons or octagons.

**ACKNOWLEDGMENTS:**

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

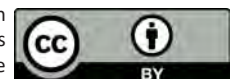
**CONFLICT OF INTEREST:**

The authors declared no conflicts of interest.

**COPYRIGHTS**

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Journal of Iranian Architecture & Urbanism (JIAU). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**HOW TO CITE THIS ARTICLE**

Mohammadi, Kh.; Karimi, F., (2024). Verification of parametric thinking in residential centers of Iranian-Islamic Architecture; Case study: Madarshah, Natanz and Jam caravanserais. *Journal of Iranian Architecture & Urbanism.*, 15(1): 109-125.

 <https://doi.org/10.30475/isau.2024.375271.2011>

 [https://www.isau.ir/article\\_201102.html](https://www.isau.ir/article_201102.html)



## راستی آزمایی تفکر پارامتریک به کار رفته در مراکز اقامتی معماری ایرانی - اسلامی؛

نمونه‌های موردی: کاروانسرای مادرشاه، نطنز و جم\*

خیام محمدی<sup>۱</sup>، فریبرز کریمی<sup>۲\*</sup>

۱. کارشناسی ارشد معماری، گروه مهندسی معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.  
۲. استادیار، گروه مهندسی معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

مشخصات مقاله	چکیده
تاریخ ارسال ۱۴۰۱/۰۹/۱۵	<p>تاریخ معماری ایرانی - اسلامی همیشه مملو از شگفتی و آثار باشکوهی بوده که هنرمندان این سرزمین با بهره جستن از دانش هندسه و اصول آن به خلق آن‌ها دست یافته‌اند. هندسه در طراحی این آثار زبان مشترک تمام معماران بوده است. از طرفی با پیشرفت تکنولوژی و ظهور دانش نوین هندسه روش‌های طراحی جدیدی پا به عرصه ظهور گذاشته‌اند. معماری پارامتریک یکی از رویکردهایی است که بررسی رابطه میان توده‌ها و شکل‌های پیچیده را در فضای رایانه میسر می‌سازد. با توجه به اصول و قواعدی که برای این رویکرد توسط صاحب‌نظران ارائه شده است، به نظر می‌رسد شکل‌گیری این آثار منتج از بکارگیری تفکر طراحی پارامتریک از برنامه‌ریزی تا طراحی بوده است. بررسی این اصول در دانش معماری به دلیل گستردگی و تنوع در حوزه‌های مختلف آن از جمله بخش‌های عملکردی، سازه‌ای و ... کاری بس دشوار است، به همین خاطر پژوهش پیش‌رو این فرآیند را در اقامتگاه‌های موقت (کاروانسراها) بررسی می‌کند. هدف از پژوهش کنترل و بازآفرینی قواعدی است که هنرمندان ما به صورت کاملاً اصولی و مطابق با معیارها و شرایط موجود بکار برده‌اند تا آثار شگرفی که پاسخگوی نیازهای عصر خود باشد، به وجود آورند. در همین راستا با استفاده از نرم‌افزار گرس‌هایپر، پارامتروار بودن این بناها کنترل شده است. داده‌های این تحقیق بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای و روش محاسباتی در راستای بازشناسی بخشی از اصول هندسی و ریاضی به کار رفته در طرح پلان‌های کاروانسراهای شاخص برون شهری انجام پذیرفته است. نتایج پژوهش در بررسی نمونه‌های موردی نشان می‌دهد که استفاده از چنین روش‌شناسی مبتنی بر قاعده با تکنیک‌های تولید طراحی هندسی معماری ایرانی - اسلامی مطابقت دارد و با معرفی پارامترهای تشکیل‌دهنده و الگوریتم‌سازی در فضای نرم‌افزار گرس‌هایپر، پارامتروار بودن کلیت پلان کاروانسراهای برون شهری چهارایوانی تایید می‌شود. این نتیجه‌گیری را می‌توان برای پلان کاروانسراها و کاربری‌های مشابه به مانند مدرسه در سبک‌های دیگر مثل دو ایوانی و چندضلعی نیز بسط داد.</p>
تاریخ بازنگری ۱۴۰۱/۱۲/۱۰	
تاریخ پذیرش ۱۴۰۲/۰۳/۰۹	
تاریخ انتشار آنلاین ۱۴۰۳/۰۶/۰۵	
<b>واژگان کلیدی</b>	
معماری پارامتریک	
مراکز اقامتی	
معماری ایرانی - اسلامی	
هندسه	
	<b>نکات شاخص</b>
	<p>- برنامه پارامتریکی ایجاد شده در این پروژه نه تنها برای بناهای کاروانسرا، بلکه برای قلعه‌ها و کاخ‌های کویری و مدرسه‌ها با طرح‌های مشابه نیز می‌تواند ایجاد شود.</p> <p>- فرآیند طراحی معرفی شده در این پروژه به تولید پلان‌های مربع یا مستطیل محدود می‌شود. این محدودیت را می‌توان با پارامترسازی اطلاعات اولیه برای تولید پلان‌های چند ضلعی به مانند شش یا هشت ضلعی نیز برنامه‌نویسی کرد.</p>

### نحوه ارجاع به مقاله

محمدی، خیام و کریمی، فریبرز، (۱۴۰۳). راستی آزمایی تفکر پارامتریک به کار رفته در مراکز اقامتی معماری ایرانی - اسلامی؛ نمونه‌های موردی: کاروانسرای مادرشاه، نطنز و جم، نشریه علمی معماری و شهرسازی ایران، ۱۵(۱)، ۱۲۵-۱۰۹.

\* این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده نخست با عنوان «طراحی مرکز اقامتی و گردشگری شورابیل با رویکرد معماری پارامتریک و با تأکید بر الگوواره‌های ایرانی - اسلامی» می‌باشد که به راهنمایی نویسنده دوم در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) انجام گرفته است.

\* نویسنده مسئول

تلفن: ۰۰۹۸۹۱۲۳۸۱۷۵۲۶

پست الکترونیک: [f.karimi@arc.ikiu.ac.ir](mailto:f.karimi@arc.ikiu.ac.ir)

## مقدمه

## پیشینه پژوهش

سهام تمدن اسلامی در عرصه معماری هم گسترده و هم متنوع است. تاثیری که این تمدن بر جوامع ایرانی در بخش‌های مختلف بخصوص معماری گذاشته بدون شک غیرقابل چشم‌پوشی است. امروزه مطالعات و تلاش‌های زیادی برای حفظ فرهنگ و تاریخ معماری ایرانی-اسلامی و جلوگیری از بین رفتن بافت‌های تاریخی صورت می‌گیرد که به همراه مدرن شدن و به روز شدن الگوها، سنت اصیل معماری حفظ شود. اما زمانی می‌توان شاهد این احیاء و بازآفرینی در حوزه‌ی معماری این سرزمین شد که اصول و قواعد حاکم بر آن را شناخت و با استفاده از دانش و تکنولوژی امروزه سعی در زندگی بخشیدن دوباره به آن داشت. به همین سبب این ضرورت پیش می‌آید، معماران و هنرمندان ما دانش کافی از این اصول را داشته باشند و ارتباطی درست بین فن و قواعد موجود در معماری پیشین با معماری حال حاضر و تکنولوژی عصر پیش رو برقرار کنند.

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های معماری اسلامی که آن را به موضوعی برای روش‌های تحلیل‌های مبتنی بر قاعده تبدیل می‌کند، مبنای آن بر مفاهیم پیشرفته هندسه و ریاضیات و استفاده از سیستم‌های طراحی مدولار بود (Sevcenko, 1988: 2). هندسه و ریاضیات یک مولد طراحی ضروری در سبک معماری ایرانی-اسلامی است. در نقوش اسلیمی، هندسه نمایانگر نظم، هماهنگی و زیبایی در محاسبات، مقیاس و تناسب است. به وضوح در طراحی پلان‌ها، نما، زیورآلات و نقوش وجود دارد، بیان‌کننده بسیاری از مفاهیم اسلام از جمله وحدت و یگانگی خداوند است (Azad, 2020: 8). هندسه به دلیل دارا بودن ابعاد کمی و کیفی خویش می‌تواند بر تمامی ابعاد کالبدی و زیبایی هر اثر معماری تأثیرگذار باشد (Hoseini, 2011: 9). همچنین موجب می‌گردد تا نظمی واحد در تمامی ابعاد آن پدیدار شود (Alia, 2007: 68). دنیای تجزیه و تحلیل دیجیتال تقریباً از دهه ۱۹۶۰ به کمک طراحی معماری آمد (Gholabchi & Andaji, 2012: 26). در دهه‌های اخیر تلاش‌های بسیاری در جهت خلق نوآوری‌های هندسی توسط معماران بزرگ صورت گرفته است. معماری پارامتریک<sup>۱</sup> به‌عنوان سبکی نوظهور در راستای سهولت استفاده قانون‌مند از روابط هندسی و ریاضی بر پایه اصولی معین است که هر کدام از پارامترهای بخصوصی تبعیت می‌کنند. در حال حاضر ثابت شده است که استفاده از تفکرات پارامتریک به دوران مصر باستان نیز می‌رسد (El Iraqi & El Daly, 2017: 601). از همین رو در پژوهش پیش رو سعی شده است با استفاده از نرم‌افزارهای مرتبط، ردپای این تفکر را در هندسه و ریاضیات استفاده شده در طراحی مجموعه‌های اقامتی موقت یعنی کاروانسراها جست‌وجو کرد تا کمک کوچکی برای احیای اصول معماری غنی ایرانی-اسلامی به سبکی نو باشد.

پژوهش‌های متعددی توسط مؤلفان مختلف در مورد کاروانسراها منتشر شده است که هر کدام از جنبه‌های متفاوت این بناهای اقامتی موقت را مورد بررسی و واکاوی قرار داده‌اند. از کتاب‌ها و منابع معتبری که در این راستا انتشار یافته‌اند می‌توان به کتاب «کاروانسراهای ایران و ساختمان‌های کوچک میان راه» (Sirox, 1949) اشاره کرد که در آن مؤلف نخست به راه‌های بازرگانی ایران و خط سیرهای مهم کاروانی اشاره کرده و در ادامه ضمن معرفی کاروان‌ها و وسایل حمل و نقل، کاروانسراها را بر اساس منابع مالی ساخت به انواع کاروانسراهای شاهی، کاروانسراهای خصوصی و کاروانسراهای خیریه و با توجه به موقعیت جغرافیایی و شیوه ساخت به دو گروه کوهستانی و کاروانسراهای دشت تقسیم کرده است. همچنین ماکسیم سیرو<sup>۲</sup> در کتابی دیگر به معرفی راه‌های پیرامون شهر اصفهان پرداخته و در ادامه به تحلیل کاروانسراها و زمان ساخت بناهای وابسته به راه‌ها از دوره ساسانی تا دوره قاجاریه پرداخته است (Sirox, 1978). این دو کتاب منابع ارزشمندی است که مطالب آن به دفعات در سایر منابع بازگو شده است. بعد از ماکسیم سیرو، پیرنیا و معاریان نیز مطالعات گسترده‌ای در مورد کاروانسراها داشته‌اند. از جمله آن‌ها می‌توان به بخش هشتم کتاب «آشنایی با معماری اسلامی ایران؛ ساختمان‌های درون‌شهری و برون‌شهری» (۱۳۷۸) بخش بیست و یکم کتاب «معماری ایرانی» (۱۳۹۵) به راه‌ها و بناهای وابسته اشاره کرده و علاوه بر تعریف واژگان مربوط به بناهای بین راهی، ویژگی‌های معماری نمونه‌های شاخص کاروانسراهای دوره‌های مختلف را ارائه کرده‌اند. در مجلد هفدهم کتاب «گنجنامه؛ کاروانسراها» (Ha-ijghasemi, 2005) ویژگی‌های معماری و تاریخچه کاروانسراهایی از مناطق مختلف ایران همراه نقشه‌ها و عکس‌های مناسب ارائه شده است. هادی‌زاده کاخکی در کتاب «کاروانسرا در ایران» به انواع راه‌های کاروانی، بناهای وابسته به راه و کاروان، کارکردهای کاروانسرا و معماری کاروانسرا می‌پردازد و متأثر از یوسف کیانی، گونه‌های مختلف کاروانسراها را بر اساس اقلیم و فرم تقسیم‌بندی می‌کند (Hadizadeh, 2014).

با اینکه پژوهش‌های زیادی مختص معماری پارامتریک صورت گرفته و در چند دهه اخیر به کرات به این موضوع پرداخته شده است اما در تلفیق معماری ایرانی-اسلامی با معماری پارامتریک منابع آنچنان متعددی در دسترس نیست. کتاب «معماری پارامتریک» اثر پاتریک شوماخر<sup>۳</sup> را می‌توان اصلی‌ترین منبع رویکرد پارامتریک دانست که توسط نظریه پرداز اصلی آن نوشته شده است. وی در این کتاب به تعریف این سبک و اصول و قواعد آن می‌پردازد (Schumacher, 2021). در ایران نیز صاحب نظرانی به تبیین این رویکرد با توجه به اصولی که برای آن ارائه شده پرداخته‌اند که





از جمله می‌توان به کتاب «معماری پارامتریک و روباتیک» اشاره کرد (Gholabchi & Mahmudineh, 2020). فائزه سادات حسینیان در کتاب خود علاوه بر معرفی معماری پارامتریک در بخشی روابط آن را با نقوش اسلامی نیز بررسی کرده و با استفاده از نرم‌افزارهای طراحی پارامتریک این دو رویکرد را به نوعی با هم مرتبط دانسته است (Hoseinian, 2017). از دیگر کتاب‌های منتشر شده در زمینه طراحی پارامتریک «مورفه: فرآیند طراحی پارامتریک، از پیچیدگی تا ظرافت» است که در آن فرآیند طراحی پروژه‌ای به نام «مورفه» به سبک طراحی پارامتریک توسط گروه معماری «م آر جی دی»<sup>۱</sup> و توسط خود آنان تالیف شده است (MRJD, 2014). از دیگر منابع مهم این رویکرد می‌توان به کتاب «پارادایم معماری الگوریتمیک» اشاره کرد که در آن نویسنده معتقد است طراحی و مدل‌سازی پارامتریک علاوه بر دانش نرم‌افزاری، به دانش تئوری نیز نیاز دارد. شناسایی روش‌های مختلف طراحی کمک می‌کند تا بتوانیم ایده‌های تازه و متنوعی را با استفاده از نرم‌افزارهای خاص به سرانجام برسانیم. از همین رو نویسنده در این کتاب مفاهیم و اصطلاحات معماری پارامتریک را شرح می‌دهد و منبع و مرجعی معتبر برای آشنایی با معماری پارامتریک و طراحی و مدل‌سازی به شمار می‌رود (Khabbazi, 2016).

از جمله مقالات مرتبط با موضوع و ارزشمندی که در این راستا صورت گرفته، بر روی بررسی مختصری از اصول طراحی اسلامی تکیه دارد که به ایجاد حس معناداری از روند طراحی بناهای تاریخی اسلامی کمک می‌کند. این استنتاج اصول از پیشینه ساختمان‌های تاریخی به عنوان یک عامل حیاتی برای محاسبه طرح‌های معنادار ساختمان‌های آینده، مفید تلقی می‌شود. در این مقاله یک دستور زبان پارامتریک شکل برای تولید نقشه‌های زمینی کاروانسراهای آسیای مرکزی توصیف می‌شود و کاربرد آن را برای نمایش طرح‌های موجود و همچنین ایجاد طرح‌های جدید به سبک کاروانسرا نشان می‌دهد (Sumbul & Chase, 2004). بدلیل اینکه پژوهش تخصصی و چشم‌گیری در جهت امکان‌سنجی فرآیند یک طراحی پارامتریک منطبق بر مفاهیم معماری سنتی در حوزه کاروانسراها صورت نگرفته بود و منابع زیادی در این حوزه در دست نبود، به همین دلیل پژوهش پیش رو در جهت فقدان این موضوع انجام شده است.

از مقالات ارزشمند دیگری که در مجلات معتبر بین‌المللی در حوزه معماری پارامتریک و نقوش هندسی معماری ایرانی-اسلامی به چاپ رسیده، می‌توان به بلیان و حسن‌پور اشاره کرد که نقوش و الگوهای هندسی موجود در بناها و تمام آثار هنری روستای ابیانه را مورد بررسی قرار داده و روابط موجود بین آن‌ها را با استفاده از نرم‌افزارهای ترسیمی پارامتریک تحلیل کرده‌اند (Balilan & Hasan, 2019).

مؤلف دیگری معتقد است در دوران اخیر، زیبایی‌شناسی معاصر به هنر و معماری جوامع مسلمان راه یافته است. تلاش‌هایی برای مدرن کردن سبک اسلامی با تلفیق آن با سبک معاصر صورت گرفته است که در نتیجه هنر و معماری در هم آمیخته شده است که هم مورد تحسین و هم نقد قرار می‌گیرد. سبک اسلامی در نقاط مختلف جهان با ویژگی‌های متفاوتی، اعم از جایگزینی گنبد‌ها با سازه‌های زاویه‌دار یا نقوش هندسی با طرح‌های پارامتریک در حال تغییر نام است (Azad, 2020: 2) و دیگر مقالات که هر کدام از جنبه‌های مختلف ارتباط بین هنر اسلامی و رویکرد پارامتریک را مورد بررسی قرار داده‌اند.

### مبانی نظری

مفهوم کاروانسرا (مراکز اقامتی موقت معماری ایرانی-اسلامی)

کاروانسراها استراحتگاهی برای کاروان‌ها بودند که در مسیرهای تجاری بین شهرهای آسیای مرکزی در قرون وسطی ساخته می‌شدند. چندین نوع کاروانسرا از قرن دهم میلادی به بعد در ایران و منطقه خاورمیانه توسعه یافت که بر اساس زمان و مکان متفاوت بودند. کاروانسراها به عنوان یک بنای مستحکم با حیاط مرکزی و رشد سلولی اتاق‌هایی که در اطراف آن طراحی شده بود شناخته می‌شد. پلان آن‌ها مربع، گرد یا هشت ضلعی، ماهیت متحدالمرکز، با سنگرهایی که دیوار استحکامات و برج‌ها را در زوایای آن مشخص می‌کردند، جلوه می‌کرد. دسترسی اغلب از طریق یک درگاه منفرد که در مکانی روی محور متعامد قرار گرفته بود، انجام می‌شد. غالباً، حیاط کاروانسرا با طاق‌هایی احاطه شده بود که بر نمای درونی، طبق طرح‌های سنتی چهار ایوانی تأکید می‌داشت (Pope, 2014).

حیاط به عنوان مکانی برای بستن حیوانات استفاده می‌شد، در حالی که سلول‌ها فضای زندگی مسافران را فراهم می‌کردند. عناصر بهداشتی در برج‌های گوشه و کنار ساختمان قرار داده شده بودند. در کاروانسراهای بعدی، یک منطقه اضافی بین محل زندگی و دیوار پیرامونی ایجاد شد تا اصطبل حیوانات را در خود جای دهد. از آنجایی که کاروانسراها اغلب پاسگاه‌های منزوی روستایی بودند، نقش پایگاه‌های دفاعی را نیز ایفا می‌کردند (Memarian, 2016). اغلب طرح چهار ایوان برای کاروانسرا اتخاذ می‌شد. در این نوع بناها بر ایوان‌های مرکزی روی محورهای متعامد تأکید می‌شد که به اتاق‌های بزرگ و طاق‌دار و رو به بارگاه باز می‌شدند (Michell, 1978).



چهار ایوانی کاروانسراهای برون شهری (Kavian & Gholami, 2016)، در پژوهش پیش رو نمونه موردی انتخاب شد که هم عضوی از این فراوانی باشد و هم از طرفی نوع تکامل یافته کاروانسراهای چهار ایوانی برون شهری به حساب آید که از نظر پیچیدگی در سبک پلان بیشترین سهم را داشته باشد. در واقع انتخاب این سبک از پلان‌ها نشان می‌دهد که به مراتب الگوریتم‌سازی پلان‌های ساده‌تر امکان‌پذیرتر است. شکل ۱ سیر تحول کاروانسراهای حیاطدار ایران را نشان می‌دهد.

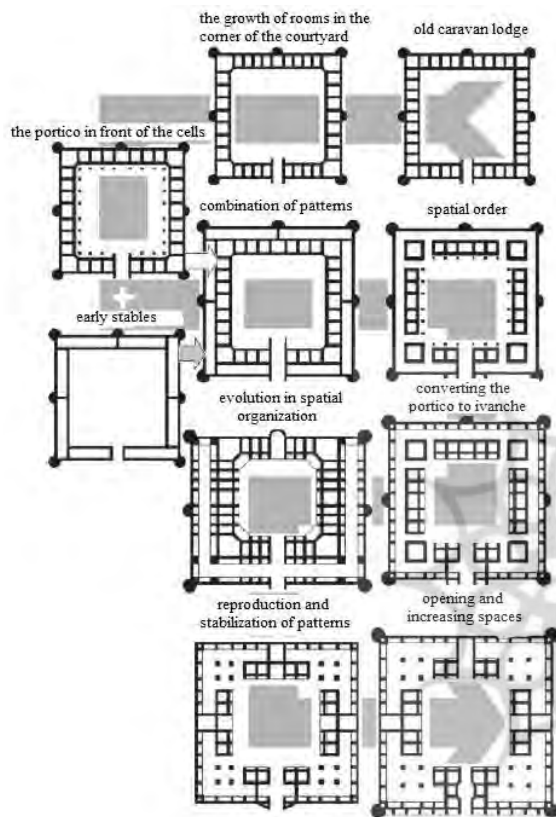


Fig. 1. Evolution of courtyard caravanserais in Iran (Kavian, & Gholami, 2016: 65)

### مفهوم تفکر پارامتریک

طراحی پارامتریک قلمروی نا آشنایی برای معماران نیست. از اهرام قدیمی تا بناهای معاصر، ساختمان‌ها در رابطه با متغیرهای فراوانی مانند آب‌وهوا، تکنولوژی، کاربری، طبیعت، فرهنگ و... طراحی و ساخته شده‌اند. کامپیوتر معماران را قادر می‌سازد، ساختمان‌هایی نوآورانه با شرایط کیفی و کمی بیشتر، طراحی کنند و بسازند (Schumacher, 2008). در طراحی پارامتریک اهداف به پارامترهای طراحی تبدیل می‌شوند، سیستم‌های پارامتریک عمدتاً بر نمادهای الگوریتمی تکیه می‌کنند که به بیان رویه‌ها برای حل مسائل طراحی کمک کنند (Diarte et al., 2019). استفاده از رویکرد پارامتریک، فرآیند بهره‌برداری از تکنیک‌های محاسبات را برای یکپارچه‌سازی ارزیابی عملکرد الزامات طراحی با تکنیک‌های بهینه‌سازی برای ایجاد و آزمایش راه‌حل‌های طراحی مختلف به صورت خودکار بدون نیاز به ترسیم مجدد هر راه‌حل مانند روش سنتی

### اصول طراحی ایرانی-اسلامی مرتبط با کاروانسراها

یکی از ویژگی‌های مهم بناها در اصول معماری ایرانی-اسلامی، اتکای اساسی آن به ریاضیات و هندسه برای برنامه‌ریزی و ساخت و ساز بود (Mi-chell, 1978). به استفاده از هندسه یک بعد باطنی نسبت داده شده است، زیرا به عنوان وسیله‌ای برای تجلی آموزه‌های اسلامی تلقی می‌شود (Azad, 2020: 10). اصول بنیادی هندسی مانند تقارن، سلسله مراتب و محوری بودن برای ایجاد «فرم‌های کامل» استفاده می‌شود (Michell, 1978). تقارن اغلب به عنوان اصل اساسی طراحی در معماری اسلامی دیده می‌شود که شامل متعادل کردن بخش‌های مشابه، نه لزوماً یکسان، از یک طرح در طرف مقابل یا محور مشخص بود (Hajghasemi, 2005). سلسله مراتب به عنوان ابزار اولیه برای تقسیم‌بندی یک بنا و برجسته کردن برخی عناصر فضایی بر دیگری استفاده می‌شود (Hillenbrand, 1994).

در طراحی این بناها یک چارچوب متناسب نه تنها برای توسعه جزئیات، بلکه برای توسعه چیدمان و فرم، با این هدف که همه بخش‌های ساختمان را در یک رابطه هماهنگ با یکدیگر قرار دهند، استفاده می‌شود (Sumbul & Chase, 2004: 46). طرح‌های این بناها بر روی شبکه‌های مبتنی بر مدول‌هایی بود که در بیشتر مواقع هماهنگ با اندازه آجر بودند و روی آن توسعه می‌یافتند. ابعاد بخش‌های مختلف ساختمان بر اساس نسبت‌های ساده این مدول‌ها بود (Memarian, 2016). بنابراین، ساختمان‌های ایرانی-اسلامی را می‌توان به عنوان پیکربندی عناصر فضایی که روابط معینی با یکدیگر دارند در نظر گرفت.

کاروانسرا بیش از انواع دیگر بناهای اسلامی تابع قاعده است. معمولاً نقشه آن مربع یا مستطیل است. دارای یک سردرب بزرگ پیش آمده با ارتفاع چشمگیر است. برج‌های دیدبانی گوشه‌ها و وسط اضلاع را مشخص می‌کند و روی سکوه‌های بالا آمده که در دور تا دور حیاط کاروانسرا می‌گردد طاق نما وجود دارد که نمای داخلی حیاط را شکل می‌دهد و در این طاق نماها حجره‌های کوچکی برای اقامت مسافران ساخته شده است. کاروانسراها دارای اصطبل و انبار و طویله نیز بودند. معماری کاروانسراهای ایران بسیار متنوع است. معماران با توجه به موقعیت اقلیمی سرزمین ایران، کاروانسراهایی با ویژگی‌های گوناگون احداث کرده‌اند. در ساخت کاروانسراهای برون شهری از نقشه چهار ایوانی، دو ایوانی، هشت ضلعی، مدور، کوهستانی و نوع کرانه خلیج فارس استفاده شده است. در احداث کاروانسراها مانند مساجد و مدارس بیشتر از طرح چهار ایوانی استفاده شده است (Memarian, 2016).

طبق پژوهش انجام شده به خاطر فراوانی نوع



سه‌بعدی در هنر و ساختارهای پارامتریک جدید در معماری شد. در حال حاضر، امکانات هنر و ایده‌های معماری به دست آمده توسط ریاضیات، الگوریتم‌ها و روش‌های ریاضی معاصر، راه جدیدی برای تفکر در مورد رابطه بین ریاضیات و سیستم‌های محاسباتی در تولید ساختارهای پارامتری جدید باز می‌کند (Sergeeva et al., 2019). تجزیه و تحلیل نمونه‌های مختلف که در آن دستاوردهای ریاضی، الهام‌بخش هنر و معماری هستند، روابط بین شکل‌گیری اشکال فضایی، ساختارهای پارامتریک و قوانین ریاضیات را نشان می‌دهد. توسعه این اثر در بازه‌های زمانی مختلف مشهود است، زیرا روش‌های متفاوتی را در معماری باستان تا معماری معاصر نشان می‌دهد (Al-Bqour, 2020: 519).

### معماری پارامتریک در بناهای تاریخی ایرانی - اسلامی

هندسه ایرانی علاوه بر استنباط‌های اصلی، ابزاری برای برقراری نظم و همبستگی کلی میان همه عوامل مثبت است. روش‌های ترسیم، دستیابی به فرم‌ها، روش‌های نقوش، انتخاب تطابق و ... در معماری مورد استفاده قرار می‌گیرد و همچنین نوع ارائه و تعمیم خطوط ترتیبی در آن‌ها، هندسه ایرانی را از هندسه اروپایی متمایز می‌کند (Mahdavejad et al., 2012). نقوش هندسی به عنوان بخشی از هنرهای اسلامی زمینه‌ای برای برنامه‌ریزی پارامتریک را دارد. نقوشی که از هندسه سنتی ایران برخاسته و می‌تواند به یک الگوی هوشمند تبدیل شود عبارتند از:

۱. نقوش هندسی مورد استفاده در تزئینات گنبد مانند قطعه‌کاری، تزئینات یزدی، مقرنس‌ها و ...
۲. نقوش هندسی مورد استفاده در تزئینات درهای چوبی مانند گره‌های هندسی

با این حال نقوش گره‌های هندسی که در تزئینات معماری اسلامی استفاده می‌شود، به دلیل داشتن منطق هندسی ساده، قابلیت تبدیل به الگوی هوشمند و پارامتریک شدن و قابلیت بسط و استفاده در کاربردهای مختلف را دارند. یکی از این الگوها در شکل ۲ مشخص شده است. در شکل ۳، هندسه آرایه داخلی مسجد شیخ لطف‌الله که از هندسه فراکتال پیروی می‌کند و بر اساس اصول معماری پارامتریک می‌توان آن را بیان کرد، نشان داده شده است.

### روش پژوهش

داده‌های این تحقیق بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی از یک سو و روش محاسباتی از سویی دیگر در راستای بازشناسی بخشی از اصول هندسی و ریاضی به‌کار رفته در طرح پلان‌های کاروانسراهای شاخص برون شهری انجام پذیرفته است. پلان نمونه‌های موردی پژوهش پس از شناسایی با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای ترسیمی، مستندسازی و سپس نظام طراحی، مورد واکاوی قرار گرفته است.

فرآیند طراحی معماری تسهیل می‌کند. سپس براساس معیارهای بهینه‌سازی، راه‌حل‌های بهینه انتخاب می‌شوند و راه‌حل‌های بد حذف می‌شوند (Farouk et al., 2019: 770). در این معماری، اجزای اصلی یعنی ایده، الگوریتم‌های منجر به ایده، پارامترهای مؤثر بر طراحی و رایانه به عنوان دستگیری در جهت طی نمودن فرآیند طراحی در کنار طراح، نقش اصلی را ایفا می‌کنند (Schumacher, 2008). اعمال پارامترهای مختلف مؤثر بر طرح در الگوریتم‌های طراحی به عنوان مهم‌ترین ویژگی معماری پارامتریک بیان می‌شود. معماری در فضایی متأثر از پارامترهای مختلف مؤثر بر پروژه و تعریف نحوه تأثیرگذاری آن‌ها شکل می‌گیرد (Mo-stagni & Alimardani, 2016: 106). خبازی در مورد نحوه کاربرد پارامترها در این معماری می‌افزاید که «طراحی در یک چرخه تکرارشونده از تأثیرپذیری و وزن‌گذاری پارامترها و تولید گزینه‌ها و تحلیل آن‌ها و دریافت بازخوردها و اعمال مجدد آن‌ها بر پارامترهای طراحی تا تولید گزینه‌های اصلاح شده صورت می‌گیرد و باز تکرار می‌شود تا در نهایت نتیجه‌های مطلوب که خواسته‌ها را به بهترین شکل ممکن پاسخ گفته‌اند، به‌عنوان طراحی نهایی انتخاب شوند» (Khabbazi, 2016: 18).

### استفاده از هندسه و ریاضیات در ساختارهای پارامتریک

برای درک فرآیند مدل‌سازی ساختارهای پارامتریک با استفاده از مدل‌سازی رایانه‌ای، باید روی زبان ریاضی تمرکز کرد زیرا منبع الهام برای ایجاد فرم‌های فضایی سه‌بعدی در هنر و معماری است. بنابراین، تجزیه و تحلیل نمونه‌های مختلف نشان‌دهنده روابط بین شکل‌گیری ساختارهای پارامتری و قوانین ریاضیات است. این امر در بازه‌های زمانی مختلف، الگوهای مختلف و رویکردهای متفاوت برای اندیشیدن و خلق هنر و معماری به وجود می‌آورد. نقطه شروع این تحلیل، نسبت طلایی نمادین و ویتروویوس<sup>۵</sup> و تأثیر آن بر اصول تشکیل ساختارهای پارامتریک است (Al-Bqour, 2020: 519). برای شروع فرآیند خلاقیت در هنرهای تجسمی، آگاهانه یا ناآگاهانه از روش‌های محکم، منطقی و قابل اندازه‌گیری استفاده می‌شود. در معماری ابزار اولیه شکل‌گیری، ویژگی‌های هندسی شکل، تقسیم‌بندی‌ها، ریتم، تقارن، سلسله مراتب، تناسب و در نهایت رنگ و بافت است (Choudhary et al., 2014).

ایجاد یک ساختار پارامتریک معماری به ترکیب این عناصر مربوط می‌شود. بنابراین در این مرحله از فرآیند خلاقیت ما باید با چنین معیارهایی برخورد کنیم که پس از به هم پیوستن، وابستگی‌های عملکردی ایجاد می‌کنند. توسعه قابلیت‌های ریاضیات و الگوریتم‌های مدرن در زمینه تولید ساختارهای پارامتری جدید، منجر به استفاده از زبان ریاضی به عنوان منبع الهام برای ایجاد فرم‌های فضایی



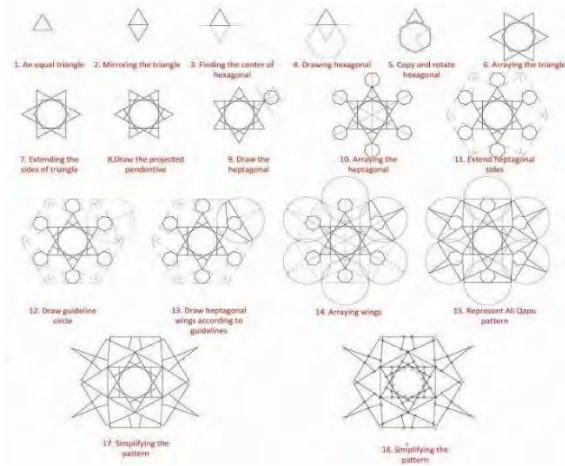


Fig. 2. Traditional models that have the ability to become smart and parametric models (Mahdavinjad et al., 2012)

در بررسی‌های انجام شده مهم‌ترین عواملی که به آن‌ها پرداخته شده نحوه طراحی و فرم کلی پلان کاروانسرا است. چون برای طراحی آن در محیط نرم‌افزار گرس‌هاپر فرم کلی پلان مدنظر است و نگارندگان سعی کرده‌اند با پیروی از این اصول پلانی طراحی کنند تا با تغییر پارامترهای خاص فرم کلی پلان دسوخوش تغییرات شود. برای مثال با تغییر یک پارامتر خاص تعداد حجره‌ها و ابعاد آن در فرم کلی تغییر کند که البته این تغییر از اصول منطقی پیروی کند و یک طرح معقول بدست آید نه اینکه در جهت بهم‌ریختن طرح یا ایجاد یک طرح جدید با قوانین غیرمعقول و به دور از اصول طراحی کاروانسراها باشد.

در پژوهش فوق هدف صرفاً رسیدن به پلانی در قالب پلان کاروانسراهای برون‌شهری با حیاط مرکزی و با ویژگی‌های پارامتریک می‌باشد که می‌تواند با تغییر پارامترها به اشکال و مدل‌های متفاوتی از پلان کاروانسراها دست یافت. پلان کاروانسرای به مانند نطنز که ابعاد ۶۷/۵ در ۵۸/۵ دارد و از تناسب مستطیل طلائی ایرانی پیروی می‌کند دارای طرح مشخص چهار ایوانی با حیاط مرکزی است که به نسبت همین تناسب از آکس‌بندی مشخص و تعداد و ابعاد حجره‌های مشخص تشکیل شده است و جزئیات دیگر نیز هم راستا با اصول کلی و فرم مشخص آن تشکیل شده‌اند.

حال می‌توان با طراحی پارامتریک این نوع از پلان را با همان اصول و فرم طراحی در بخش‌های مختلف گسترش داد و یا با تغییر پارامتر جزئیات آن به مانند ابعاد کلی، تعداد حجره‌ها در هر ضلع، ابعاد حجره، ابعاد ایوان، ابعاد حیاط مرکزی، آکس‌بندی‌های کلی و ... را تغییر داد تا به فرم مناسبی از پلان کاروانسرا که مناسب با شرایطی که بر سایت، طرح و یا اجرا حاکم است دست یافت.

در جدول ۱ نمونه‌های پژوهشی معرفی و فرم و اصول کلی طراحی پلان کاروانسراها مورد بررسی قرار گرفته است. در این جدول پلان‌ها از منظر پیروی از

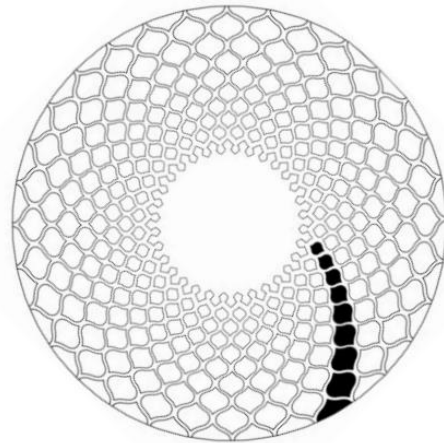


Fig. 3. The geometry of the interior array of Sheikh Latfullah Mosque, which follows fractal geometry and can be expressed based on the principles of parametric architecture (Mostagni & Alimardani, 2016)

استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای و افزونه‌های آن در جهت تفهیم اصول پارامتریک موجود در طرح صورت گرفته که با مطالعات دستی قادر به الگوریتم‌نویسی و بیان آن نیست. این مطالعات بر اساس چستی، به روش کمی و کیفی، به لحاظ هدف، کاربردی و در گستره‌ای زمانی استفاده از اصول گذشته در راستای بهره‌مندی در آینده و آینده‌نگر است.

بطور کلی پژوهش پیش‌رو دو هدف اصلی را دنبال می‌کند: اول اینکه مؤلفه‌ها و پارامترهای تشکیل‌دهنده معماری سنتی کاروانسراها را مشخص کرده و داده‌های بدست آمده را در حوزه اطلاعات رویکرد نوین معماری پارامتریک تحلیل و بررسی کند تا ارتباط این دو فرآیند مشخص شود؛ هدف دوم امکان‌سنجی یک فرآیند طراحی است که منطبق با مفاهیم معماری سنتی باشد، در حالی که بتوان با استفاده از ابزار و تکنیک‌های حال حاضر در حوزه معماری پارامتریک بخصوص استفاده از نرم‌افزارهای طراحی، فرآیند رسیدن به این هدف را به نمایش گذاشت.

### نمونه‌های مورد مطالعه

در این بخش به بررسی فاکتورهای پارامتریک موجود در طراحی پلان کاروانسراها پرداخته می‌شود و با استفاده از نرم‌افزارهای ترسیمی پارامتریک (گرس‌هاپر) سعی می‌شود قوانین موجود را به صورت یک پلان واحد برای طراحی این سبک از کاروانسراها برنامه‌نویسی یا الگوریتم‌سازی کرد. منظور از برنامه‌نویسی ارائه دستور ترسیمی با استفاده از ابزار نرم‌افزار گرس‌هاپر و قوانین حاکم بر طراحی این نوع از پلان‌ها است. به همین منظور برای دستیابی به قوانین و اصول طراحی و همچنین رعایت ابعاد و تناسب موجود از سه نمونه پژوهشی که پلان کاروانسراهای مادرشاه، کاروانسرای نطنز و کاروانسرای جم را شامل می‌شود استفاده شده است. پلان‌های نمونه پژوهشی از کتاب «کاروانسراهای ایران و ساختمان‌های کوچک میان‌راه» (Sirox, 1949) انتخاب شده است.


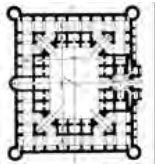
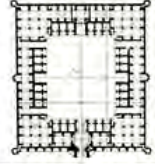
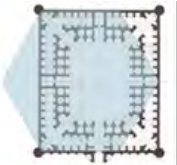
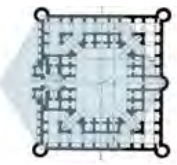
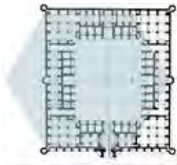
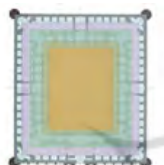



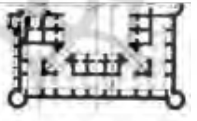
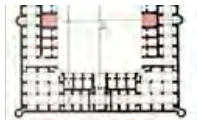


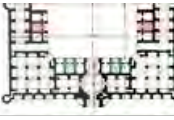
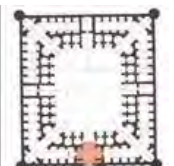
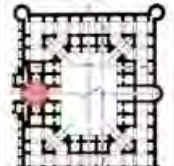
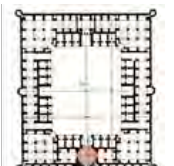


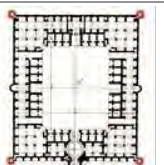




یک مستطیل در درون یک شش ضلعی بدست می آید (شکل ۴). در خانه‌هایی با حیاط مرکزی تناسبات حیاط، پنج‌دری، سه‌دری و عناصر دیگر بر مبنای همین تناسب بوده است. لازم به یادآوری است شش ضلعی شکلی است که نمی‌توان آن را اشتباه ترسیم کرد؛ زیرا در ساخت آن از مثلث متساوی‌الاضلاع استفاده شده است (Zakeri et al., 2016).

تناسبات طلایی در بخش‌های مختلف به مانند ابعاد کلی، ایوان‌ها و حجره‌ها بررسی شده است. همچنین در بخش‌های دیگر به مانند ترتیب قرارگیری کاربری‌ها و آکس‌بندی‌ها، نحوه ورودی و قرارگیری هشتی ورودی، برج‌های دیده‌بانی و ... بررسی شده است تا بتوان به اصول یکسانی از طراحی کاروانسراها دست یافت. مستطیل طلایی ایرانی از محاط شدن

Table 1. Examining the principles and rules of caravansary design by analyzing research samples

Research sample	Natanz Caravanserai	Jam Caravanserai	Madershah Caravanserai	Description
Research sample plan				All three selected caravanserais are of the suburban type with a central courtyard and are considered among the developed caravanserais.
Examining the golden proportions in the overall form of the plan				All three caravanserais follow the golden proportions in overall dimensions with a slight difference.
Base ratio = 1.15	Exact numerical fit = 1.15	Exact numerical fit = 1.13	Exact numerical fit = 1.17	
Examining the order of placement of users and design axis				All three examples have benefited from a similar design
	The arrangement of axis design from the outside to the inside: fortification wall-stable platform-stable corridor-chambers and Ivans-small Ivans of chambers-central yard	The arrangement of axis design from the outside to the inside: fortification wall-stable platform-stable corridor-chambers and Ivans-small Ivans of chambers-central yard	The arrangement of axis design from the outside to the inside: fortification wall-stable platform-stable corridor-chambers and Ivans-small Ivans of chambers-central yard	
Examining the proportions of the Ivans (Porch)				Following the dimensions of the Ivan from the golden proportions can be considered the principle of design
	The dimensional proportions of the Ivans follow the golden ratio, close to 1.73	Non-compliance of the dimensional proportions of the porch with the golden proportions	The dimensional proportions of the Ivan follow the golden ratio, close to 1.73.	
Examining the proportions of chambers and small Ivans (Porch)				Following the dimensions of chambers and small ivans from the golden proportions can be considered the principle of design
	The use of golden ratios closes to 1.73 in the design of chambers and small Ivans.	The use of golden ratios closes to 1.73 in the design of chambers and small Ivans.	Use golden ratios close to 1.73 in the south and north chambers.	
Checking the entry method (Entrance hall)				All three examples have an entrance hall (Hashti). Entry on the transverse side is preferred
	It has an entrance hall (Hashti) on the transverse side	It has an entrance hall (Hashti) on the longitudinal side	It has an entrance hall (Hashti) on the transverse side	
Investigating the location of observation towers				All three samples have circular observation towers with variable radius.
	It has observation towers in the square of the plan	It has observation towers in the square of the plan	It has observation towers in the square of the plan	

و یا تناسب نزدیک به آن استفاده شده و تناسبات نمونه‌های موردی نیز نزدیک به همین نسبت ارائه شده است. پس نخستین گام ترسیم یک مستطیل با استفاده از شش ضلعی منتظم به شعاع متغییر در یک بازه عددی معقول است که معرف دیوار استحکامات اطراف کاروانسرا است و مهم‌ترین پارامتر را در ترسیم پلان شکل می‌دهد. اندازه و ابعاد این مستطیل می‌تواند وابسته به پارامتر تعیین شده که شعاع این شش ضلعی منتظم می‌باشد تغییر کند. در شکل ۵ مشاهده می‌شود که با تغییر شعاع شش ضلعی منتظم در یک بازه معقول که در تصاویر ذکر شده برای نمونه روی پارامتر ۸۰ و ۱۰۰ نشان داده شده است، تغییرات اعمال می‌شود و طرح کلی نیز به نسبت همین تغییرات در تناسب ۱،۱۵ سامان می‌یابد و جزء به جزء عناصر تشکیل دهنده طرح، هماهنگ با این پارامتر در هر مقدار صحیحی از اعداد در بازه تعریف شده تغییر یافته و در پارامتر مشخص شده جدید منسجم می‌شوند.

**مرحله دوم:** در گام بعدی مشخص کردن محورهای مرکزی این مستطیل ترسیم شده انجام می‌شود که ایوان‌ها و ورودی کاروانسرا درست در مرکز این خط محورها قرار می‌گیرند و کل پلان را به دو جهت قرینه طولی و عرضی تقسیم می‌کنند. در شکل ۶ همانطور که مشاهده می‌شود کل پلان توسط دو محور عمود برهم به قسمت‌های قرینه تقسیم شده است و محورها اساس طراحی پلان را شکل می‌دهند.

**مرحله سوم:** جای‌گذاری برج‌های دیدبانی در هفت نقطه از هشت نقطه تلاقی محورها و کنج‌های مستطیل است که شعاع آن با توجه به نسبت نمونه موردی به کل مجموعه تعیین می‌شود و با بزرگ و کوچک شدن ابعاد کلی مجموعه می‌تواند با نسبت مشخص بزرگ و یا کوچک شود. این نسبت با توجه به بررسی نمونه موردی و پلان‌های دیگر متغیر بوده و یک بازه مشخص {۱۰-۲۰} را دربر می‌گیرد. نقطه هشتم در مرکز یکی از اضلاع عرضی مستطیل ورودی مجموعه را تشکیل می‌دهد (شکل ۷).

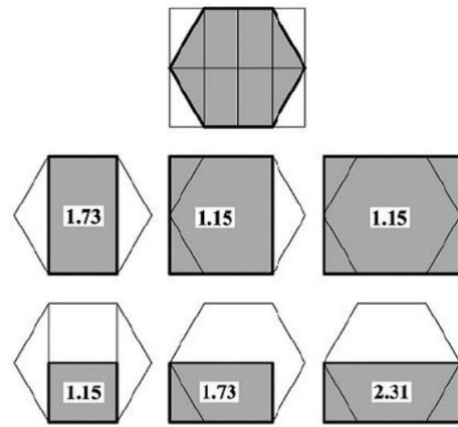


Fig. 4. Professor Pirnia pointed to the use of a rectangle surrounded by a regular hexagon with a ratio of 1.73 and half a rectangle with a ratio of 1.15 in the design of houses (Zakeri, et al., 2016)

نکته مهم قبل از ارائه دستورات ترسیمی این است که به دلیل سادگی و قابل فهم بودن دستورات برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار گرس‌هاپر و دوری از بهم‌ریختگی، نگارندگان تصمیم به طراحی و برنامه‌نویسی با تک خط گرفتند تا در پایان با تعیین ضخامت مشخص برای خطوط طراحی پلان نهایی ارائه شود.

#### قوانین دستوری ترسیم پلان کاروانسرا به صورت پارامتریک

**مرحله اول:** اولین و مهم‌ترین اصول و پارامتری که نه تنها در طراحی کاروانسراها بلکه در کاربری‌های دیگر معماری ایرانی-اسلامی نیز رعایت می‌شود پیروی از تناسبات مستطیل طلایی ایرانی است. در حین مطالعه درباره‌ی معماری ایران بارها سخن از مستطیل طلایی ایرانی به میان آمده، که بزرگانی همچون پیرنیا صحت این مطلب را تأیید و به طور صریح به این موضوع اشاره نموده‌اند. در طرح نقشه‌ی اتاق‌ها، حیاط و غیره از مستطیل طلایی ایرانی کمک می‌گرفتند.

با توجه به ابعاد و تناسبات کاروانسراها می‌توان دریافت که در طرح کلی آن از تناسب طلایی ۱.۱۵

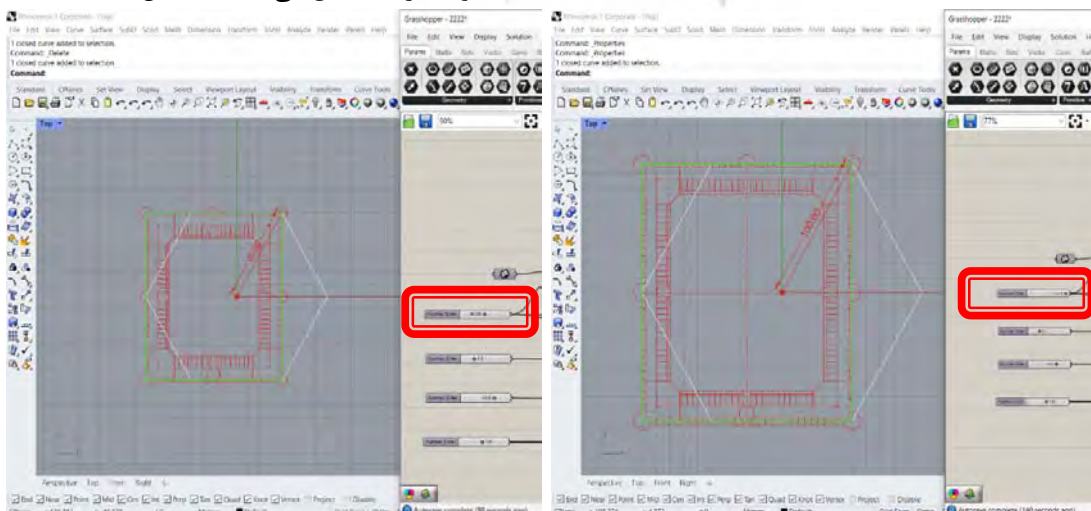


Fig. 5. The command to draw a rectangle enclosed in a hexagon with a ratio of 1.15. The parameter enclosed in the red box of the image is the first parameter of the outline formation, which will depend on the radius of the regular hexagon in a reasonable and defined interval



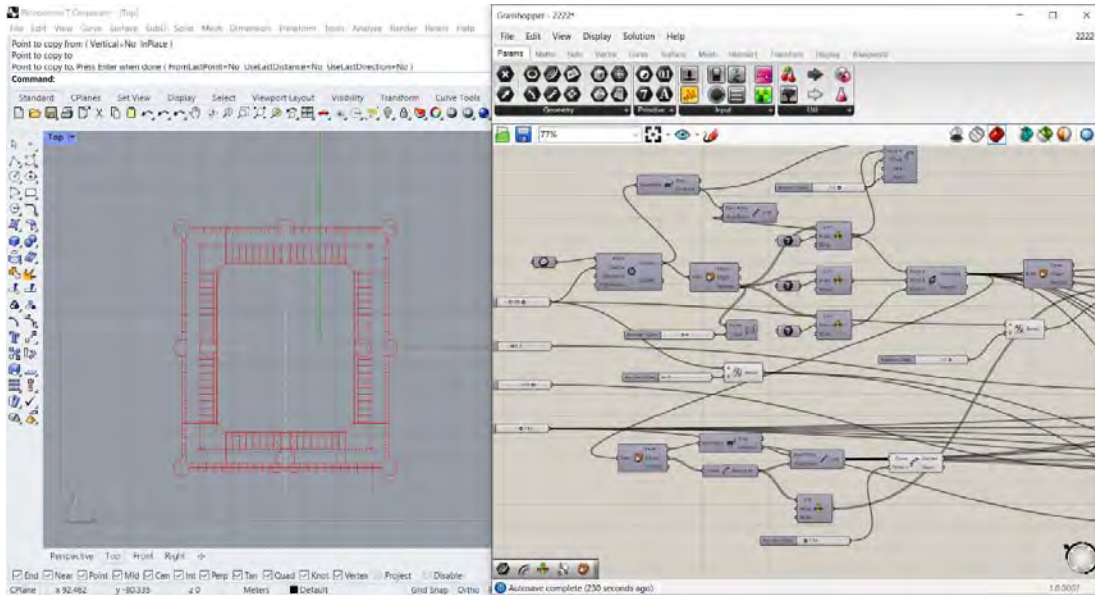


Fig. 6. Instructions for drawing the perpendicular axes of a rectangle enclosed in a hexagon (white axes in the image)

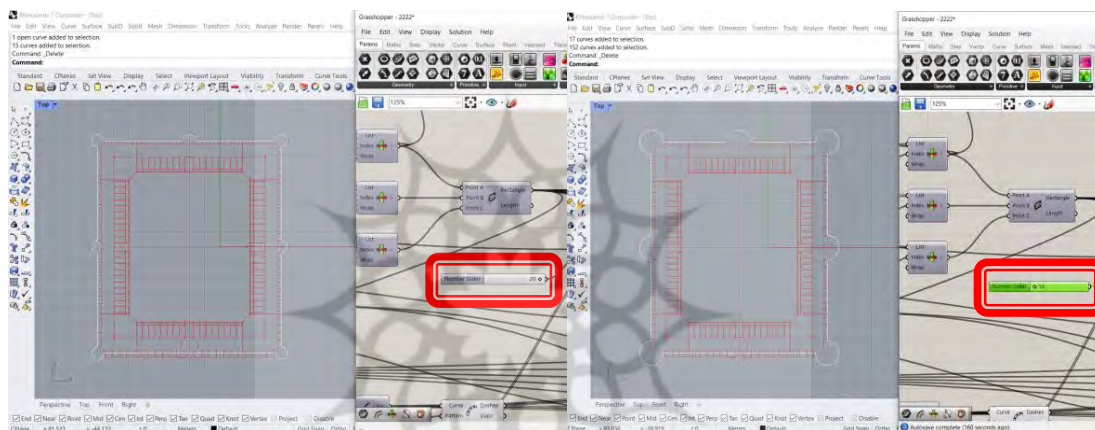


Fig. 7. Command for drawing observation towers with a radius dependent on the main ratio of the set, right side on parameter 20 and left side on parameter 10

نیز وابسته به نسبت طلایی کل مجموعه و پارامتر مرحله قبل است یعنی نسبت پارامترهای این مراحل می‌تواند تغییر کند و وابسته به آن‌ها است (شکل ۱۰). در ایوان سمت ورودی هشتی را نیز داریم (شکل ۱۱) که شعاع آن نیز با فرمول نویسی که صورت گرفته وابسته به پارامترهای دیگر می‌تواند متناسب و در یک بازه معقول بزرگ و کوچک شود. همانطور که در شکل ۱۰ نیز مشاهده شد با تغییر پارامترهای اصلی تشکیل دهنده به هیچ عنوان ابعاد ایوان از تناسب طلایی ۱.۷۳ که محاط در یک شش ضلعی منتظم است خارج نمی‌شود.

**مرحله ششم:** این مرحله تعیین حجره‌ها و ایوانچه‌های طرح است که آن‌ها نیز به مانند ایوان‌ها از تناسب طلایی ۱.۷۳ پیروی می‌کنند و بصورت قرینه دور ایوان‌ها و حیاط مرکزی مجموعه قرار می‌گیرند. نکته مهم در طراحی حجره‌ها وابستگی ابعاد و اندازه آن‌ها به فاصله دهانه‌ای است که در مرحله چهارم تعیین شده است. این فاصله با استفاده از فرمول ریاضی باید پارامتری ایجاد کند تا نسبت طلایی همیشه و در هر صورتی در ابعاد حجره‌ها رعایت شود.

**مرحله چهارم:** تعیین آکس‌های داخلی مجموعه است که سکو و محوطه اصطبل‌ها، محل حجره‌ها، ایوانچه‌ها و حیاط مرکزی را مشخص می‌کند. تعیین این آکس نیز با توجه به نسبت مستطیل طلایی با محل‌های ذکر شده در نمونه موردی تعیین می‌شود. فواصل و ابعادی که در این آکس‌گذاری باید رعایت شود با توجه به تحلیل ابعاد نمونه موردی و چند پلان دیگر به دست آمده و به طریقی ضوابط کاروانسراسازی در آن دوران را مشخص می‌کند. برای مثال عرض راهروی اصطبل در طراحی کاروانسراها یک بازه عددی ۴ تا ۵.۵ متر را شامل می‌شود (شکل ۸). با ایجاد همین سه پارامتر می‌توان طراحی پلان را در بی‌نهایت پارامتر مشخص در بازه اعداد صحیح کنترل کرد و بهترین نمونه را برای طراحی برگزید. برای درک بهتر موضوع در شکل ۹ به چهار حالت از طراحی در پارامترهای متفاوت اشاره شده است. تعیین این پارامترها بدور از صحیح یا اشتباه بودن پلان است و صرفاً برای درک موضوع ارائه شده است.

**مرحله پنجم:** ترسیم ایوان‌های مجموعه و تعیین ورودی آن است. ابعاد ایوان نیز با وجود اینکه خود از تناسب طلایی ۱.۷۳ پیروی می‌کند، از طرفی



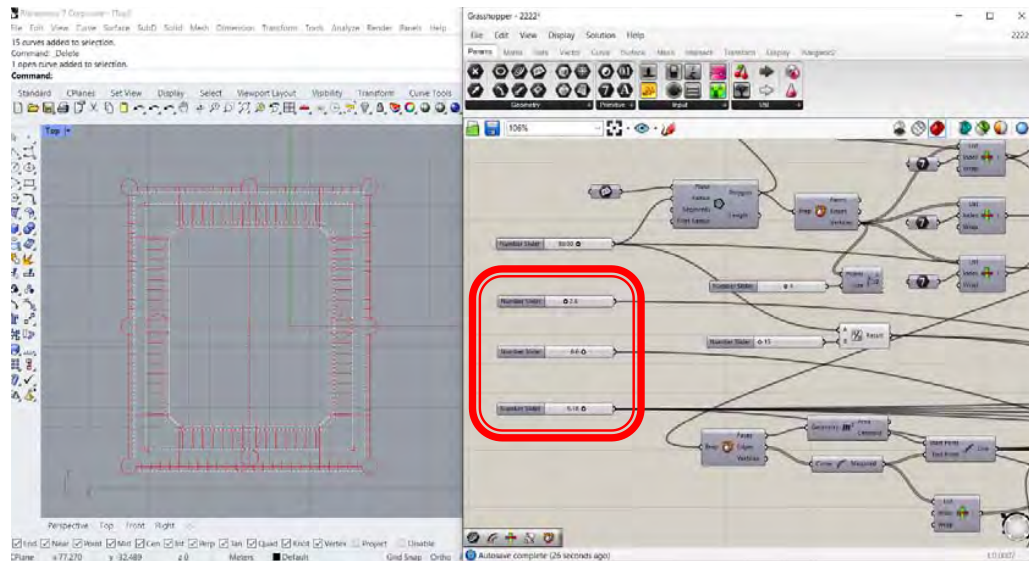


Fig. 8. Determining the axes of the design of the complex and creating the main parameters in the design of the plan of the caravanserai, creating three main axes of the design, that is, the axis of the stable, the cell and the central yard, each of which follows its own special parameter in the defined interval

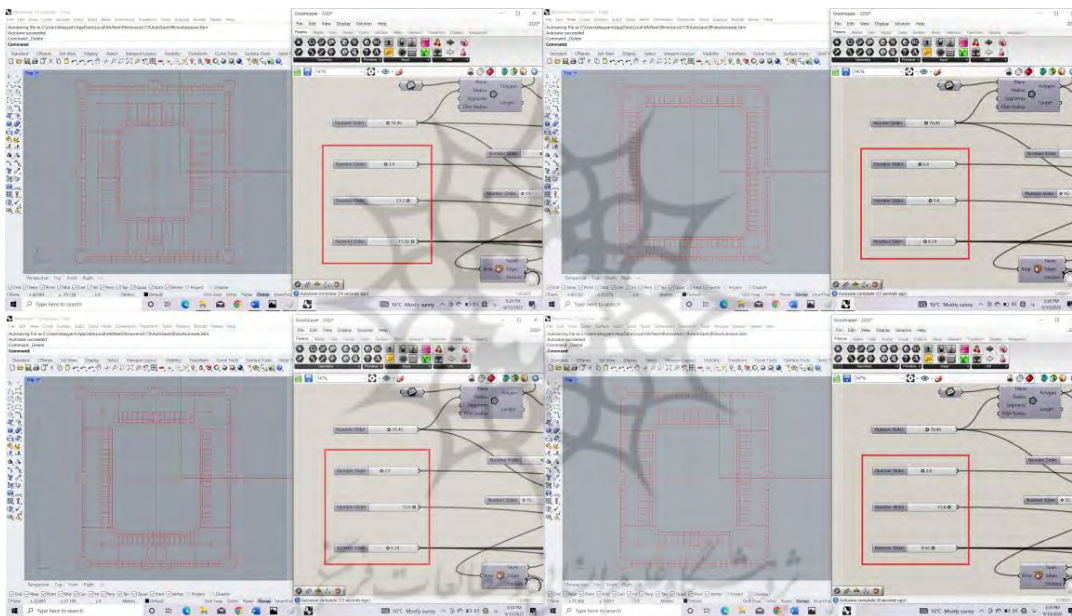


Fig. 9. Showing four examples of the design of the caravanserai plan by determining the parameters of the three main axes of the plan

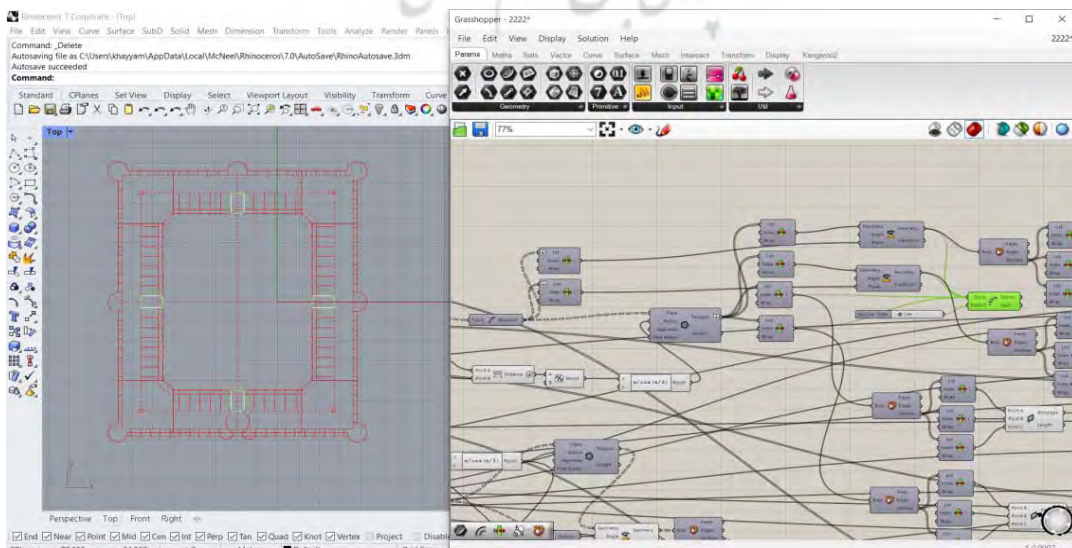


Fig. 10. Instructions for drawing and formulating the porches of the collection that do not deviate from the golden ratio of 1.73 under any conditions and in any parameter

دو فصلنامه علمی

معماری و شهرسازی ایران

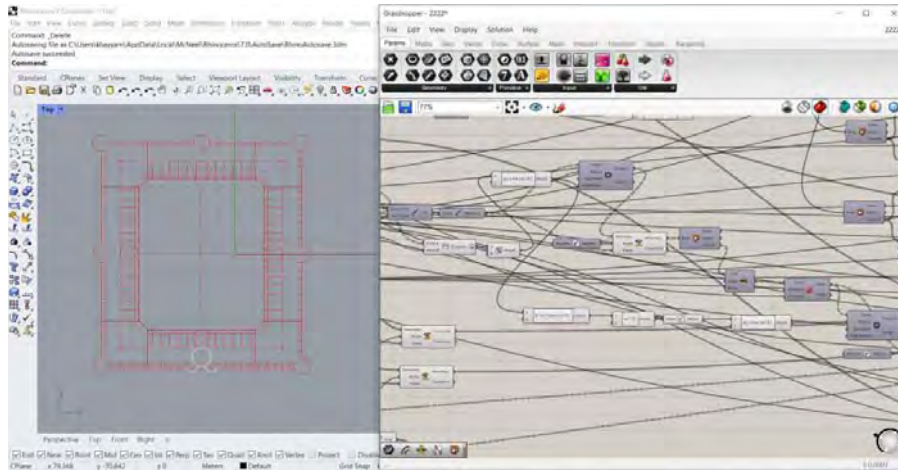


Fig. 11. The order of drawing and formulation of the entrance lobby and the entrance observation towers of the complex, which can be adapted to the plan set with different parameters according to the change of other parameters

مرحله هفتم: آخرین گام از مراحل طراحی، ترسیم جزئیات مجموعه مثل ورودی‌های فرعی، سکوهای بارانداز، سکوهای اصطبل‌ها و ... هستند که با پارامترها و ابعاد ثابت به مانند حجره‌ها به پارامترهای اصلی وابسته می‌شوند. شکل ۱۴، دستور ترسیم جزئیات مجموعه و اتمام برنامه‌نویسی بدون در نظر گرفتن ضخامت خطوط و نمایی از کل مراحل برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار گرس‌هاپیر برای طراحی پارامتریک پلان کاروانسراها و شکل ۱۵ کلیت پلان طراحی شده با در نظر گرفتن ضخامت خطوط طراحی در نرم‌افزار گرس‌هاپیر را نشان می‌دهند.

نکته مهم دیگر در تعیین پارامتر حجره این است که تعداد آن‌ها در ابعاد مشخص که از تناسب طلایی ۱،۷۳ پیروی می‌کند بیشتر و کمتر می‌شود (شکل ۱۲). این تعداد در طراحی و تعیین پارامترهای دیگر باید صورتی باشد که فضای پرت و ناخالصی در طراحی پلان ایجاد نشود. البته این فضای پرت به دلیل پیروی ابعاد حجره از تناسب طلایی ایجاد می‌شود و در صورت خارج شدن ابعاد حجره از این تناسب می‌توان فضای پرت بوجود آمده را برطرف کرد. برای درک بهتر موضوع در شکل ۱۳ این موضوع نشان داده شده است.

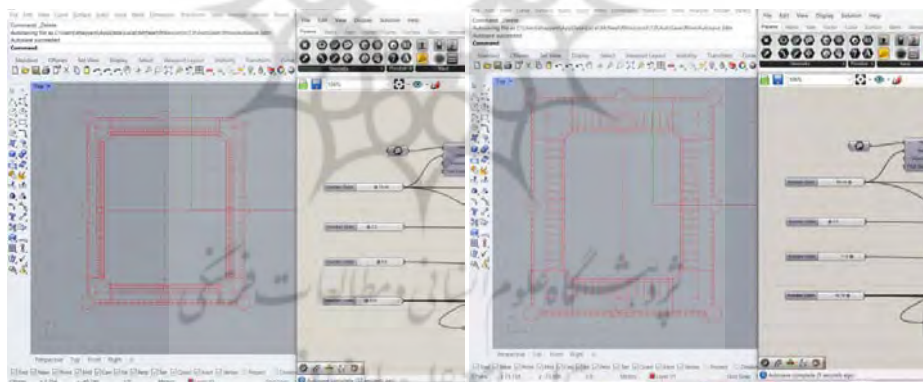


Fig. 12. As you can see, the programming and design of the cells is such that the number of cells changes in specific and proportional dimensions and increases and decreases with the change of parameters

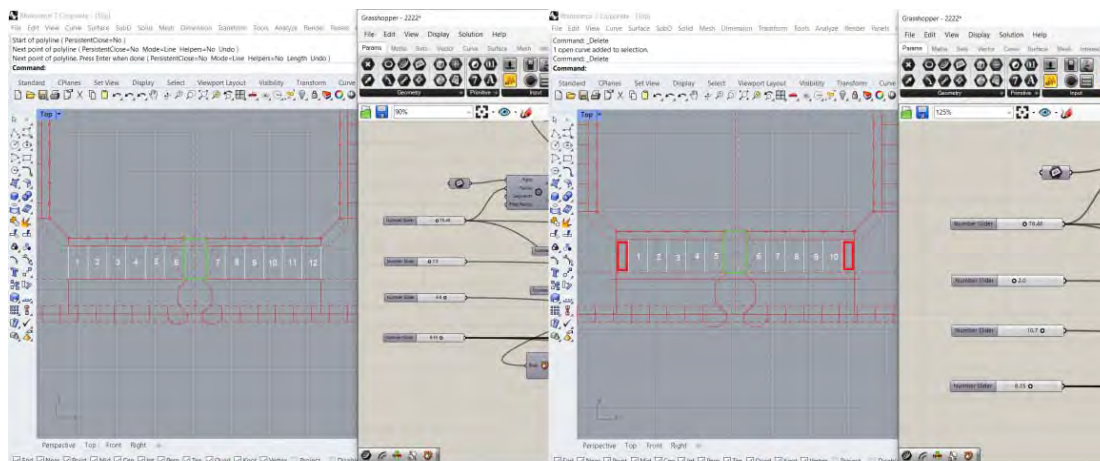


Fig. 13. South side and entrance of the complex, left image: design without extraneous space. Image on the right: design with extra space





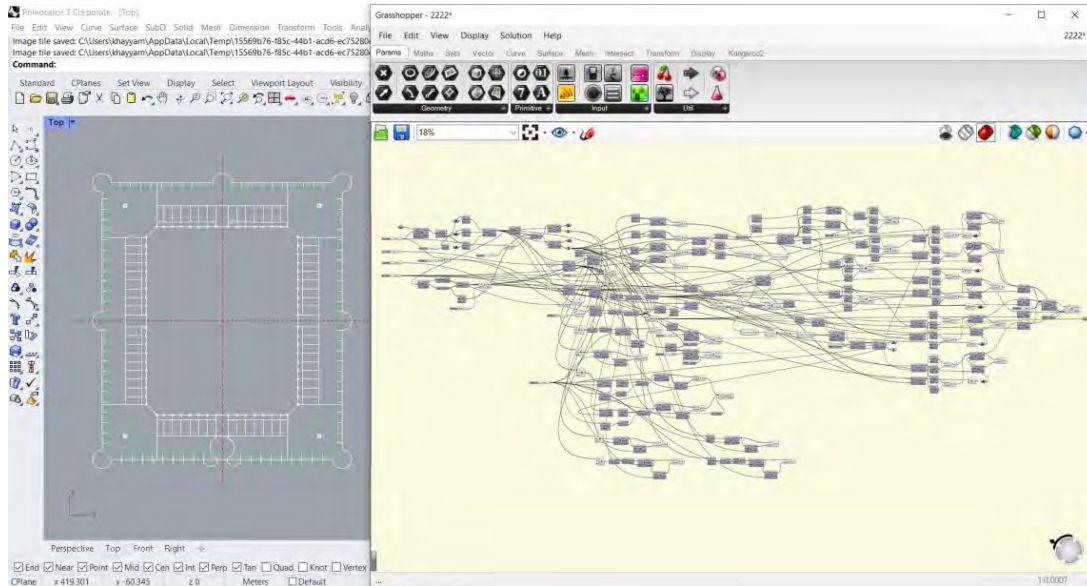


Fig. 14. The command to draw the details of the collection and complete the programming without considering the thickness of the lines and a view of the entire programming process in the Grass Hopper software environment for the parametric design of the plan of caravanserais

می‌گیرد. ویژگی خاص معماری اسلامی که مورد اذعان قرار گرفته است، چند کارکردی بودن طراحی ساختمان است. معماری ایرانی-اسلامی «فرم‌های ساختمانی کامل» را ایجاد کرد که می‌توانستند برای اهداف مختلف تطبیق داده شوند. همان پلان ساختمان را می‌توان برای دژها یا کاروانسراها استفاده کرد (Michell, 1978) و اغلب یک ساختمان از ساختمان دیگر با توجه به پلان آن به تنهایی قابل تشخیص نیست (Hillenbrand, 1994). از این رو دستور پارامتریکی ایجاد شده در این پروژه نه تنها برای بناهای کاروانسرا، بلکه برای قلعه‌ها و کاخ‌های کویری و مدرسه‌ها با طرح‌های مشابه نیز می‌تواند ایجاد شود. پژوهشی که با هدف مقایسه تطبیقی تناسبات حاکم بر کاروانسراهای حیاطدار مناطق مرکزی ایران انجام شده، نشان می‌دهد که پس از مطالعه منابع کتابخانه‌ای و اسنادی، مدارک مورد نیاز کاروانسراهای ایران گردآوری شده و پس از اندازه‌گیری ابعاد حاکم بر هر یک از نمونه‌ها با استفاده از روش‌های تحلیل آماری و نرم‌افزارهای آماری SPSS<sup>۱</sup> و R<sup>۲</sup> و همچنین با توجه به اینکه شرط لازم برای انجام آزمون‌های آماری و تعیین نوع آزمون، بررسی نرمال بودن داده‌ها است، در ابتدا نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفته و پس از تأیید نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون پارامتریک، فرضیه‌های تشابه و یا عدم تشابه تناسبات حاکم بر کاروانسراهای حیاطدار مناطق مرکزی ایران بررسی شده است. نتایج حاکی از آن هستند که فرضیه تشابه تناسبات حاکم بر کاروانسراهای حیاطدار مناطق مرکزی ایران تأیید شده و مورد قبول واقع شده است (Vasigh, et al., 2021). بررسی و تحلیل تناسبات حاکم بر اجزاء تشکیل‌دهنده کاروانسراها بدلیل گستردگی در چارچوب پژوهش انجام‌شده نمی‌گنجد، اما با توجه به پژوهش‌های انجام شده بطور مختصر در جدول ۲ بدان اشاره شده است.

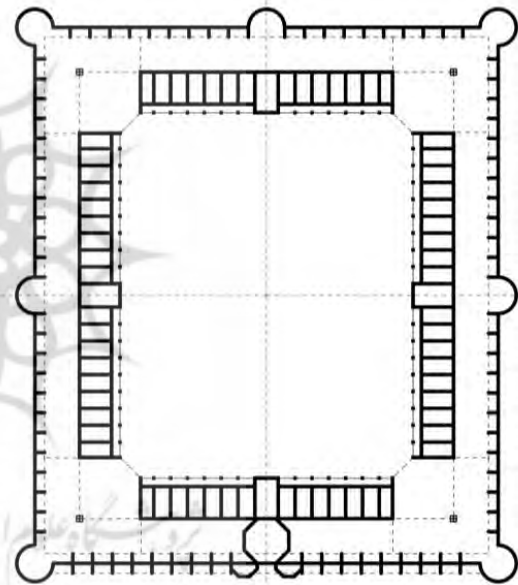


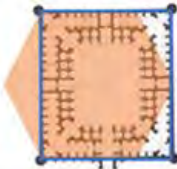



Fig. 15. The overall designed plan considering the thickness of the design lines

### یافته‌های پژوهش

فرآیند طراحی معرفی شده در این پروژه به تولید پلان‌های مربع یا مستطیل محدود می‌شود. این محدودیت را می‌توان با پارامترسازی اطلاعات اولیه برای تولید پلان‌های چند ضلعی به مانند شش یا هشت ضلعی نیز برنامه‌نویسی کرد. این فرآیند از طراحی می‌تواند تعدادی از طرح‌های شش ضلعی و هشت ضلعی کاروانسراهای معماری ایرانی-اسلامی را نیز توضیح دهد که از نظر سازمان فضایی شباهت زیادی به پلان‌های چهار ضلعی دارند. از آنجایی که انواع بناهای معماری اسلامی بسیار متنوع است، ادعا نمی‌شود که دستور پارامتریک نوشته شده در این پروژه، انواع کاروانسراهای موجود را توضیح دهد، بلکه احساس می‌شود که این دستور پارامتریک رویکردی برای طراحی بر اساس اصول ایرانی-اسلامی را دربر



Table 2. Introduction of the main algorithm parameters that can be changed to edit the structure of the plan

Row	The main parameter	Parameter introduction	Range of influence	Range of proportions	Parameter range	Image
1	Proportions of the golden rectangle in overall dimensions	The overall length and width of the plan of the caravanserai (Regular hexagonal beam)	By changing this parameter, the length and width of the plan of the caravanserai can be edited in an interdependent and limited mode following the proportions of the Iranian golden rectangle.	$x = \text{ratio of length to width in case samples.}$ $1.10 < x < 1.20$	$a = \text{hexagonal radius}$ $b = \text{length of caravanserai}$ $c = \text{width of caravanserai}$ $25 > a > 80$ $34.6 > b > 138.5$ $25 > c > 120$	
2	The distance between the axes of the design	Axes forming the stable platform, stable corridor, chambers and central yard	More simply, these axes are rectangles inside the main parameter 1, whose distance from each other can be changed and edited. Due to the dependence on parameter 1, they follow the same fit.	$Y = \text{the ratio of the longitudinal opening to the transverse opening of each rectangle.}$ $1.10 < y < 1.20$	$e = \text{width of the stable platform}$ $f = \text{the width of the steel corridor}$ $g = \text{length of chamber}$ $1.2 < e < 2.5$ $2.5 < f < 6.5$ $3.2 < g < 4.8$	
3	Number of chambers	The number of chambers formed in each side.	This parameter cannot be adjusted independently due to the limitation of following the golden ratio, its number cannot be edited in the above algorithm and the ratio can be messed up.	$z = \text{ratio of length to width of the chambers along with small iwan in case samples.}$ $1.5 < z < 1.8$	compared to the previous parameters can be specified. In fact, by adjusting other parameters, the number of cells can be adjusted in a completely principled manner in the sides of the caravanserai.	
4	Dimensions of the central courtyard	The length and width of the central courtyard	Of course, changing and editing this parameter also depends on the previous parameters	$w = \text{length to width ratio of the central courtyard}$ $1.15 < w < 1.27$	It is completely dependent on the length parameter of the cells (g), in fact, by adjusting it, the dimensions of the central yard are also adjusted.	

تسلط بیشتر بر تغییرات پلان امکان پذیر است.

### نتیجه گیری

همچنین این استنباط از پژوهش وجود دارد که پیشرفت چشمگیر تکنولوژی در عرصه معماری این امکان را به طراحان می دهد تا با استفاده از آن دانش غنی معماری گذشته را به زبان امروزی برنامه نویسی کنند. در نتیجه بهره گیری از اصول معماری پارامتریک و ابزارهای آن، همچون نرم افزار گرس هاپر امکان برنامه نویسی بر مبنای پارامترهای تعیین کننده و تاثیرگذار را در ایجاد و توسعه کالبدی آثار معماری با ارزش در گستره علم معماری فراهم آورده است.

از پژوهش انجام شده می توان نتیجه گرفت که این سبک از پلان کاروانسراها قابلیت الگوریتم نویسی در فضای نرم افزار گرس هاپر را دارا می باشند. تمامی اصول و قوانین حاکم بر الگوریتم نویسی برگرفته از دانش و علم طراحی معماری ایرانی- اسلامی است و با تحلیل این دانش طراحی در زمینه پلان کاروانسراها، امکان الگوریتم نویسی به زبان پارامتریک میسر می شود.

### پی نوشت

1. Parametric Architecture
2. Maxime Siroux
3. Patrik Schumacher
4. Morphe: MRGD
5. Marcus Vitruvius Pollio
6. Grasshopper
7. Statistical Package for the Social Science
8. R Studio

طراحی پارامتریک یک پارادایم طراحی است که در آن روابط بین المان ها، تکثیر هندسه و فرم های پیچیده را رقم می زند که در آن با استفاده از پارامترها و متغیرهای مشخص و تغییر آن ها می توان، نتیجه یک سیستم یا معادله را ویرایش کرد. با بهره گیری از قوانین و نرم افزارهای طراحی پارامتریک برای کاروانسراها، نشان داده شد که چگونه چنین روش شناسی مبتنی بر قاعده را می توان با تکنیک های تولید طراحی هندسی معماری ایرانی- اسلامی تطبیق داد. همانطور که مشاهده شد می توان اصول و قوانین حاکم بر طراحی این نوع از پلان ها را بصورت پارامتریک برنامه نویسی کرد و موقعیت پلان را از نظر سازگاری و اجرایی در شرایط مختلف سنجید و بهترین گزینه را برای پلان نهایی بدست آورد.

پارامترهای اصلی برای ویرایش و تغییر نتایج پلان در این تحقیق، در جدول ۲ معرفی شدند. مواردی که در جدول مطرح شده اند برای هر سه نمونه موردی صدق می کند. همانطور که پیش تر اشاره شد تغییرات با استفاده از پارامترهای معرفی شده محدود به کلیت پلان می شود و هدف تنها رسیدن به نتایج مختلف ولی در ساختاری یکسان است. فرآیندی که در این پژوهش معرفی شد، نشان داد که پلان کاروانسراهای برون شهری چهارایوانی و پلان کاربری های دیگر مشابه آن بمانند مدارس چهارایوانی، به دلایلی که در جدول ۱ توضیح داده شد پتانسیل طراحی بصورت پارامتریک را دارند. تعیین پارامترهای جزئی تر برای

اصول اخلاقی، حتی پس از انتشار مقاله، حق حذف مقاله و پیگیری مورد را به مجله می‌دهند.

### منابع مالی / حمایت‌ها

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

### مشارکت و مسئولیت نویسندگان

نویسندگان اعلام می‌دارند به‌طور مستقیم در مراحل انجام پژوهش و نگارش مقاله مشارکت فعال داشته و به‌طور برابر مسئولیت تمام محتویات و مطالب گفته‌شده در مقاله را می‌پذیرند.

### References

- Al-Bqour, N. (2020). Parametric Thinking for Designing structures in Contemporary Architecture. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 11(6), 517-525.
- Aliabadi, M. (2007). Eternal geometry (celestial geometry) in Islamic architecture. *International Journal of Engineering Sciences of the University of Science and Technology* 5: 67-73. [in Persian]
- Aminpour, A., Ollia, M., Abuee, R., & Hajabi, B. (2016). Suggesting a model for drawing knots in decorations related to Islamic architecture. *Journal of Architecture and Urbanism* 15: 57-78. [in Persian]
- Azad, A. (2020). Islamic Values in Islamic Art. *Astrolabe*, 1(3), 1-24.
- Balilan, L., & Hasanpour, S. (2019). Geometric patterns and golden proportions, the common language of architecture and art in the historical village of Abyaneh. *Journal of Hot and Dry Climate Architecture* 7(9): 45-68. [in Persian]
- Choudhary, A., Dogne, N., & Maheshwari, S. (2014). Mathematics and Architecture: Importance of Geometry. *Ncaict: National Conference on Advances in Information and Communication Technology*.
- Diarte, J., Vazquez, E., & Shaffer, M. (2019). Tooling Cardboard for Smart Reuse-Testing a Parametric Tool for Adapting Waste Corrugated Cardboard to Fabricate Acoustic Panels and Concrete Formwork. *Architecture in the Age of the 4th Industrial Revolution -Proceedings of the 37th eCAADe and 23rd SIGraDi Conference* (pp. 769-778). Porto: University of Porto.
- El Iraqi, A. M., & El Daly, H. T. (2017). parametric modeling development throughout analogue and digital ages. *Journal of Al-Azhar University Engineering Sector*, 12(43), 597-611.
- Farouk, A., Eldaly, H., & Dewidar, K. (2019). Parametric Design as a Tool for Performative Architecture. *Journal of Al-Azhar University Engineering Sector*, 14(50), 148-157.
- Gholabchi, M., & Mahmudinejhad, H. (2020). Parametric and robotic architecture. Tehran: Pars University. [in Persian]
- Gholabchi, M., Andaji G.A., & Bastani, H. (2012). Digital architecture: application of CAD/CAM/CAE technologies in architecture. Tehran:

### تشکر و قدردانی

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

### تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که در انجام این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافی برای ایشان وجود نداشته است.

### تأییدیه‌های اخلاقی

نویسندگان متعهد می‌شوند که کلیه اصول اخلاقی انتشار اثر علمی را براساس اصول اخلاقی COPE رعایت کرده‌اند و در صورت احراز هر یک از موارد تخطی از

- University of Tehran Printing and Publishing Institute. [in Persian]
- Hadizadeh, K. S. (2014). Caravanserai in Iran. Tehran: Cultural Research Office. [in Persian]
- Hajghasemi, K. (2005). Caravans. Tehran, Shahid Beheshti University. [in Persian]
- Hillenbrand, R. (1994). *Islamic Architecture: Form, Function and Meaning*. Edinburgh University Press.
- Hoseini, A., & Pournaderi, H. (2013). A comparative study of the architectural space of prominent Safavid caravansaries in Isfahan market, a case study of Shah, Sarutoghi and Madershah caravansaries. *Two Scientific-Research quarterly Journal of Comparative Art Studies* 8: 81-97. [in Persian]
- Hoseini, S. (2011). The decorative and conceptual use of Shameh in the collection of Sheikh Safiuddin Ardabili. *Two scientific-research quarterly journals of Islamic art studies* 14: 7-24. [in Persian]
- Hoseinian, F. (2017). Familiarity with parametric design. Tehran: Nazari Publications. [in Persian]
- Kavian, M., & Gholami, G. (2016). Investigating the evolution of the architecture of caravanserais with courtyards in the center of Iran. *The work of Scientific and Technical Quarterly, Henry* 75: 49-66. [in Persian]
- Khabbazi, Z. (2016). Algorithmic architecture paradigm. Tehran: Kasra Library. [in Persian]
- Kiani, M. (2007). History of Iranian architectural art in the Islamic period. Tehran: Organization for Studying and Compiling Humanities Books of Universities. [in Persian]
- Memarian, G. (2016). Persian architecture. Tehran: Moallef. [in Persian]
- Memarian, G., & Pirnia, M. (1999). Familiarity with the Islamic architecture of Iran; Inner city and outer city buildings. Tehran: Iran University of Science and Technology. [in Persian]
- Michell, G. (1978). *Architecture of the Islamic world: its history and social meaning*. London: Thames and Hudson .
- Moštagni, A., & Alimardani, M. (2016). Analyzing the use of nature geometry and fractal in parametric architecture by examining the internal array of the dome of Lotfollah Mosque.



- Quarterly Journal of Architecture and Urbanism 8 (16): 103-122. [in Persian]
25. MRGD. (2014). Morphe: The parametric design process, from complexity to elegance. (M. heydari, trans.). Tehran, Art designers.
  26. Pope, A. (2014). Persian architecture. (G. Sadri Afshar. Trans.). Tehran dot. [in Persian]
  27. Schumacher, p. (2008). Parametricism - A New Global Style for Architecture and Urban Design. (H. Castle, Ed.) AD Architectural Design - Digital Cities, 79.
  28. Schumacher, P. (2021). Parametric architecture: self-replicating architecture; A new framework for architecture. (F. Hamedei, & M. Mohammadi, Trans.). Tehran: Academic Jihad Publishing Organization. [in Persian]
  29. Sergeeva, E., Moskvina, E., & Torshina, O. (2019). The interaction between mathematics and architecture. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 675, p. 012018. IOP Publishing.
  30. Sevchenko, M. B. (1988). Theories and Principles of Design in the Architecture of Islamic Societies. Massachusetts, Cambridge: Aga Khan Program for Islamic Architecture.
  31. Sirox, M. (1978). Ancient roads of Isfahan district and related buildings. (M. Mashaikhi, trans.). Tehran: National Antiquities Protection Organization of Iran. [in Persian]
  32. Sirox, M. (1949). Iranian caravanserais and small buildings in the middle of the roads. (I. Behnam, trans.). Tehran: National Antiquities Protection Organization of Iran. [in Persian]
  33. Sumbul, a., & chase, s. c. (2004). Use of a parametric shape grammar for the analysis of historic Islamic architecture. 1st ASCAAD International Conference, e-Design in Architecture , (pp. 45-58). KFUPM, Dhahran, Saudi Arabia.
  34. Vasigh, B., Amini, Z., & Naseri, H. (2021). A comparative comparison of the proportions governing the architecture of caravanserais with courtyards in the central regions of Iran in the Safavid and Qajar periods. Scientific Journal of Restoration and Architecture of Iran 11 (20): 65-78. [in Persian]
  35. Zakeri, S., Ghahremani, A., Shahnazi, D., & Baziar, E. (2016). The test of two Iranian golden rectangle and Peymon theories in the houses of the Qajar period of Shiraz. Islamic Architecture Research Quarterly 4 (10): 16-28. [in Persian]





فصلنامه علمی

معماری و شهرسازی ایران