Application of Modeling Tools in the Architectural Design Process Based on Compass Geometry Principles

Seyed Mohsen Mousavi [1], Reza Sameh [2]*

1. MSc in Architecture, Faculty of Architecture & Urbanism, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
2. Assistant Professor, Faculty of Architecture & Urbanism, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

(Received 22 May 2022, Accepted 17 Oct 2022)

In this study, a design method is presented based on the compass geometry. After invention and development of Cartesian coordinates system, world had undergone a significant change and it is said that every technological device and architecture software such as laser cutters, 3-D printers, AutoCad, 3Ds Max and so forth, has been working with the principles of this geometrical system. Therefore, the compass geometrical space is long forgotten since the invention of the Cartesian coordinates system. So, due to this considerable alteration, the application of this geometrical system in Iran's architecture had been forgotten after the world's major development. The compass had been the main Iranian architect's tool in the past eras and due to this fact, the designed products of that time were usually based on arcs, so it is argued that there has to be some fundamental differences with the compass geometry and Descartes geometry. There seems to be a relative approach in Cartesian geometrical system, on contrary, Iranian architects considered the geometry as a quite qualitative issue and because of this fact, the proportions between different parts of a building were much more important rather than the quantitative issues such as dimensions. The lack of architecture plans like the ones that are available in its current form regarded to be a crucial issue that has given rise to lack of acquaintance of methods and design devices of Iran's historical architecture. This research tried to express the characteristics of this geometric space and the challenges that an architect may come across in the design process with this system and also its fundamental differences between Descartes' geometric space. In addition, providing a simple model of a tool that can produce form in this geometric space is considered to be another important objective of this research. In order to achieve this purpose, at first, a paradigm based on the compass geometry space was simulated. At the next step, nine prototype tools with different capabilities were presented based on the simulated paradigm. And finally, a tool was designed and after that, a related architectural design was modeled with the designed tool. Presenting this tool and designing a prototype based on it are among the results of this article. The main questions of this research are: what are the origins of the compass geometry, what tools are needed, and how they can be used. Pursuing these questions would give rise to the results such as reproducing Persian architecture, more accurate analysis of this architecture, and providing a new tool that is compatible with Iranian culture. The methodology of this research was conducted based on a scientific paradigm which is associated with analogical reasoning that three strategies- comparison of Cartesian and the Compass geometry, logical strategy, and the simulation of the Compass geometry- have been carried out. To achieve this goal, at the first step, the roots of the current western architecture was explained and a comparative study between Descartes' and compass geometry in Iran's architecture was carried out. Then, the characteristics of compass geometry and the rules based on this geometrical space were explained. In the next step, the compass' geometrical space was simulated based on this system. And finally, a design pattern was modeled and presented based on this geometry.

Keywords: Geometry; Compass; Descartes; Modeling Tools; Architectural Design.

* Corresponding author. E-mail: rsameh@arc.ikiu.ac.ir

مقالهٔ پژوهشی

DOI: 10.52547/ciauj.7.2.193

سال هفتم، شماره دوم – پاییز و زمستان ۱۴۰۱

کاربست ابزار مدل‌سازی در فرآیند طراحی معماری براساس اصول هندسهٔ پرگار*

سیدمحسن موسوی[۱]، رضا سامه[۲] **

[۱] کارشناسی‌ارشد معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران.

[۲] استادیار، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام‌خمینی(ره)، قزوین، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۰۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۲۵)

چکیده

ابداع دستگاه مختصات دکارت و تحولاتی که در دنیا بر اساس آن به‌وجود آمد، باعث فراموشی فضای هندسهٔ پرگار شد تاجایی‌که امروزه استفاده از این هندسه جایی در معماری ایران ندارد. ابزار معماران ایرانی در گذشته پرگار بوده و محصول طراحی آن دوره غالباً بر مبنای قوس و کمان استوار بود. سازوکاری که امروز به‌طور کاملاً متفاوت در مدارس معماری پیگیری می‌شود و اهمیت بازخوانی آن در دوران معاصر را دوچندان می‌سازد. لذا هدف مقاله به‌نوعی به‌روزرسانی و کارآمدسازی روش طراحی معماری گذشته ایران است. در این راستا، ابتدا ویژگی‌های فضای هندسی پرگار بیان شده و در ادامه یک مدل ساده از ابزاری که قابلیت تولید فرم در این فضای هندسی را در کنار دیگر ابزار و روش‌های مورد استفاده در حال حاضر داشته باشد، ارائه گردیده و به آزمون گذاشته شده است. پرسش اصلی تحقیق این بوده است که ریشه‌های اصولی فضای هندسهٔ پرگاری چیست، نیاز به چه ابزار و لوازمی دارد و چگونه می‌توان آن را به‌کار برد؟ پیگیری این پرسش، موجب نتایجی چون قابلیت بازتولید صحیح معماری اصیل ایرانی، داشتن قرائت صحیح‌تر و تحلیل دقیق‌تر این معماری و همچنین فراهم‌آوردن ابزاری نوین که متناسب با فرهنگ گذشته باشد، خواهد بود. مقاله بر اساس یک پارادایم علمی طرح شده و با استدلال قیاسی همراه است که در راستای آن، سه راهبرد تطبیقی در مقایسهٔ دو هندسهٔ دکارتی و پرگار، راهبرد منطقی و نهایتاً شبیه‌سازی دنبال شده است.

واژگان کلیدی

هندسه، پرگار، دکارت، ابزار مدل‌سازی، طراحی معماری.

*مقاله حاضر برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای سیدمحسن موسوی با عنوان «طراحی کنسرت هال تهران بر اساس اصول هندسه پرگار» با راهنمایی دکتر رضا سامه در دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) انجام پذیرفته است.

** نویسنده مسئول مکاتبات: rsameh@arc.ikiu.ac.ir

مقدمه

با ابداع دستگاه مختصات توسط دکارت، دنیا دچار تحوّل و دگرگونی شد. امروزه، پس از گذشت چهار صد سال، هر چیزی که در دنیا ساخته می‌شود و نشان از تکنولوژی روز دارد، با آن مبنا عمل می‌کند. در رشتهٔ معماری، می توان به انواع نرم‌افزارها، دستگاه های چاپ و بُرش، حکاکی و ... اشاره کرد که بدون مبنای دکارتی قادر به کار نخواهد بود. از سویی، ابزار معماران در گذشتهٔ ایران پرگار بوده و به‌طبع محصول طراحی آن دوره غالباً بر مبنای هندسهٔ قوس و کمان استوار بود. هندسه همواره به‌عنوان یک موضوع کیفی در نظر معمار ایرانی بوده است و به همین دلیل در آن بحث «اندازه» مطرح نبوده و تناسبات حاکمیت بیشتری داشت. نسبت حجمی و به‌طور کلی، رابطهٔ میان اندازه‌ها و تناسبات کالبدی برای معماری ایرانی، برخلاف آنچه معمولاً تصوّر می‌شود و گاه نیز به جدیت عنوان می‌گردد، مورد به مورد تعیین می شد. درحالی‌که معماری مدرن، به سراغ خوانش و نگارش داده ها و یا یافته های متریک معماری بود (Falamaki 2013).

معماری به‌مثابهٔ یک دانش تجربی، در ادبیات مکتوب فارسی پیشینهٔ گسترده ندارد و شکل تازهٔ آموزش معماری در ایران، در شرایطی خاص به میدان آمده است. معماری ایران بدون شناخت سنت‌ها، ارزش‌ها و فرهنگ محیط که آن را شکل می‌دهند، قابل سنجش و فهم نیست و هرگز به‌درستی تحلیل و سنجیده نشده است. عدم وجود نقشه به شکل رایج کنونی یا بی‌نیازی به آن، موضوعی است که باعث فقدان شناخت مستند روش‌ها و ابزارهای طراحی معماری در گذشته شده است. درحالی‌که تحلیل معماری به شیوه‌ای فارغ از آنچه فضای آموزشی امروز، زمینه را برای پرداختن به تدوین اندیشه‌های نو و به پیمودن راهی جدید و جایگزینی ارزش‌هایی تازه برای تولید معماری آینده کشور فراهم می‌آورد (Falamaki 2013). اینجاست که دانشجویان در گزینش یکی از دو راه معماری غرب و معماری سنتی ایران در سردرگمی باقی می‌مانند.

هدف مقالهٔ حاضر به‌روزرسانی روش طراحی معماری گذشته ایران است. امروزه اهمیت وجود روش‌های طراحی که متناسب با سابقهٔ فرهنگی کشور بوده، بیش از پیش آشکار و با توجه به اینکه معماری ایران از گنجینهٔ عظیمی برخوردار است، لزوم بازخوانی این روش‌ها که دچار فراموشی و گسست شده‌اند، ضروری به‌نظر می‌رسد. البته مقاله به‌دنبال نشان‌دادن برتری این روش در مقابل روش‌های دیگر نیست بلکه در تلاش است ضمن معرفی این فضای هندسی، به بیان روش طراحی در فضای هندسهٔ پرگار پرداخته تا در کنار دیگر ابزار و روش‌هایی که در حال حاضر مورد استفاده هستند، بتوان از امکانات و قابلیت‌های این روش نیز بهره برد.

در مقالهٔ حاضر کوشش بر این است ابتدا به بیان هندسهٔ پرگاری به‌عنوان مبنای متفاوت معماری گذشتهٔ ایران و ویژگی‌های آن پرداخته و همچنین چالش‌های طراحی در این فضای هندسی و قواعد و قانون‌مندی‌های آن بیان شود. سپس یک روش‌شناسی و الگوی طراحی بر اساس هندسهٔ پرگار ارائه گردد تا به کمک آن بتوان به تولید فرم و فضای معماری پرداخت. پرسش‌هایی که در دستور کار پژوهش قرار می‌گیرند، عبارت از این است که ریشه‌های اصولی فضای هندسهٔ پرگاری چیست، نیاز به چه ابزار و لوازمی دارد و چگونه می‌توان آن را به‌کار برد؟

بر اساس اینکه امروزه با استفاده از ابزار و محیط‌های نرم‌افزاری دوبُعدی، فضاهای سه‌بُعدی خلق و ویرایش می شوند، به‌نظر می‌رسد اگر ابزار طراحی را از دوبُعد به بُعد سوم ارتقا دهیم، می‌توان فضای با ابعاد پیچیده‌تر را نیز در آفرینش معماری تجربه کرد و هندسهٔ پرگار به‌واسطهٔ ماهیت خود که یک ابزار سه‌بُعدی است، توانایی انجام چنین کاری را دارد. این هندسه قبلاً در معماری ایران مورد استفاده قرار گرفته و تنها لازم است به سطح جدیدی از فناوری رسانده شود.

۱. پیشینهٔ پژوهش

همان‌طورکه در بخش مقدمه بیان شد، به موضوع آن‌گونه که باید پرداخته نشـــده اســـت و تنها مواردی را می‌توان یافت که حکایت از توصـیف یا گرایش نسـبت‌به کاربرد هندســه در معماری گذشــته دارند. ازجمله مطالعاتی که به‌تازگی در پیشـینهٔ پژوهش می‌توان یافت، به چند نمونه باید اشاره کرد:

در پایان نامه‌ای با عنوان «روش های رســـم و کاربرد چند ضلعی منتظم در ریا ضیات دورهٔ ا سلامی (ت صحیح، ترجمه و شرح رسالهٔ اشکال متساوی‌الاضلاع عبدالرحمن صــوفی)» که در دانشــگاه تربیت مدرس و رشــتهٔ تاریخ ریاضـیات در تمدن اسـلامی به سـرانجام رسـیده اسـت، روش‌های رســم و کاربرد چندضــلعی منتظم با پرگار با دهانهٔ ثابت توسط عبدالرحمان صوفی و ابوالوفا بوزجانی و مقایســـهٔ آن‌ها با یکدیگر مورد بررســـی قرار گرفته‌اند (Eezadpanah 2016). مقا له‌ای نیز با عنوان «بازخوانی میراث ابوالوفا بوزجانی در صناعات معماری» به برر سی تطبیقی روش‌های هندســـی و میزان عملی بودن آن‌ها با روش‌های معماران و صنعتگران پرداخته ا ست (Taheri & Nadimi 2012). هدف این مقاله رو شن ساختن میراث ابوالوفا در ریاضـیات و میان اصـحاب و دسـت‌اندرکاران معماری با تکیه بر روش تحلیل (شـــباهت ســـاختاری) تاریخی اســـت. در مقاله‌ای دیگر با موضـــوع «مقایســـهٔ روش های ابوالو فا بوز جانی، آلبرش دورر و لئو ناردو داوینچی در ترسیم پنج‌ضلعی منتظم»، خواص پنج‌ضلعی منتظم و روش‌های رسم آن با خط‌کش و پرگار بیان شده و روش‌های ترسیم ابوالوفا، داوینچی و دورر با ذکر نقاط ضـــعف و قوت، مورد تحلیل قرار گرفته‌اند (Aghayani Chavoshi 2005).

همچنین مقاله‌ای با نقد کتاب «النجاره» بوزجانی و ارائهٔ راه‌حل‌های مختلف برای مسائل هند سی که در صناعات مع ماری کاربرد فراوان دارد، مب نایی علمی از کاربرد هند سه در این صناعات را ارائه می‌دهد (Taheri 2009). مقالهٔ «کمان‌های پرگار در دیاگرام‌های چاپ‌شـدهٔ رسـالهٔ اقلیدس» به بیان خلاصـه‌ای از پیشـینهٔ روش اسـتفاده و ترسـیم نمودارهایی که در رسـالهٔ اقلیدس وجود داشـت، پرداخته اســـت (Lee 2018) و مقالهٔ «نظریه‌های نو برای ابزارهای جدید: پر گار تناســـباتی فابریتزیو موردنته و تکوین هندسه برونو» به شرح نوشته‌های برونو[1] بر پرگار تناســـباتی موردنته[2] پرداخته اســـت (Rossini 2018). در کتاب «هند سهٔ پرگار» نیز تاریخچهٔ تر سیم ساختمان‌های هند سی به کمک پرگار و خط‌کش طرح شده و نویسنده اثبات کرده که پر گار وســـیله‌ای دقیق‌تر و کا مل‌تر از خط‌کش است (Kostovskii 1988).

۲. روش پژوهش

موضوع مقالهٔ حاضر، روش‌شناسی طراحی و مدل‌سازی بر مبنای چارچوب هندسهٔ پرگار است. بنابراین، در گام نخست، به بیان اجمالی مبناهای معماری امروز که ریشه در اصـول حاکم بر معماری غرب دارد و مقایسـهٔ آن با معماری ایران پرداخته شـده اسـت. در ادامه، تاریخچهٔ هند سهٔ پرگار، ریشه‌های ا صولی آن، کاربرد این فضای هندسی در معماری و ویژگی‌های آن بیان گردیده است. در مرحلهٔ بعد ابزارهای ارائه شده بر ا ساس این فضای هندســی مقایســه و بر اســاس آن‌ها یک فرایند طراحی پی شنهاد می شود. در آخرین گام، فضای هند سهٔ پرگار مدلسازی شده و بر اساس آن یک الگوی طراحی مبتنی بر آن ارائه خواهد شـــد. مقاله بر اســـاس یک پارادایم علمی طرح شده و با استدلال قیاسی همراه است که در راسـتای آن، سـه راهبرد تطبیقی در مقایسـه دو هندسـهٔ دکارتی و پرگار، راهبرد منطقی و نهایتاً شبیه‌سازی دنبال می‌شود.

۳. هندســـهٔ دکارت؛ مبنای شـــکل‌گیری معماری مدرن

همان‌طوری که علوم جدید بر اصـــول مدرنیزم بنا شـــده، تقسیم‌بندی تاریخ معماری صد سال اخیر نیز بر این مبنا بنیان‌گذاری شده است. این تقسیم‌بندی که ریشه در قرن

۱۹ میلادی دارد، بر اساس یک مدل ساده و قابل فهم توسعهٔ تاریخی شکل گرفته است (Williams Goldhagen 2005). در معماری، واژهٔ «مدرن» تنها به معاصربودن دلالت ندارد بلکه به یک جنبش طراحی به‌خصوص اشاره دارد؛ یک جنبش فکری که احساس می کرد شکل سنتی هنر، معماری، ادبیات و بنیان های اجتماعی در دنیای صنعتی‌شده منسوخ شده است (Gere 2009). در واقع، فناوری به‌عنوان اساسی‌ترین مبنای معماری مدرن به شمار می‌رفت و در به‌کارگیری مصالح، سودمندی و جنبه‌های فنی نسبت‌به ارزش‌های فرهنگی و معنایی آن ارجح‌تر بود. لذا برخلاف جنبه‌های خاطره‌پذیری و دیرپایی اثر معماری، بر تکنیک تأکید فراوان وجود داشت و معماران آن دوره برای بریدن از گذشتهٔ خود و مفاهیم تاریخی و اجتماعی نمادها بسیار مصمّم بودند (Wijdeveld 1994). معماری مدرن به‌عنوان سبکی برای دوران صنعتی و تلاش برای قطع خود از سنت‌های گذشته به‌وجود آمد و در آن تزئینات با سادگی جایگزین شد (Levine 2018; Morgenthaler 2016). اما آیا معماری مدرن را می‌توان تنها طراحی عملکردی بر اساس ویژگی‌های مصالح جدید در ساختمان‌های صنعتی مانند شیشه، فولاد و بتن مسلح دانست؟

برای درک بُعد تازه‌ای از معماری مدرن باید یک روش نوین یافت؛ زیرا هنر مدرن از طریق اصول زیبایی‌شناسی و تاریخی قابل استنباط نیست. تاریخ‌شناسان و نظریه‌پردازان هنر به موضوع طی دهه‌های پایانی قرن ۱۹ بسیار توجه نموده‌اند. برای مثال، آلویس ریگل[۳] بیان کرده که رابطهٔ بین هندسه و هنرهای تجسمی مانند رابطهٔ بین ریاضی و طبیعت است (Wijdeveld 1994). برخی از طراحان و فلاسفه معتقد بودند که معماری مدرن دربرگیرندهٔ معنا و مفهومی خاص است تا آنکه تنها دربارهٔ سازه و ساختار بنا باشد (Levine 2018). دونالد اولسن[۴] چنین می‌نویسد: «معماری خلق یک اثر هنری که تنها به‌دنبال لذت باشد، نیست؛ بلکه باید ایده، ارزش و بیان قابل لمسی از یک سیستم فکری باشد» (Olsen 1986). درصورتی‌که معماری مدرن با اتکا بر سیستم دکارتی و مبتنی‌بر درازا، پهنا و بلندا رواج یافته است. دکارت با ابداع محور مختصات، یک مبدأ به مختصات (۰،۰،۰) در نظر گرفت و تمام نقاط دیگر در این فضا را نسبت‌به این مبدأ با مختصات (X,Y,Z) موقعیت‌یابی کرد. وی به کمک این دستگاه، تبیین جدیدی ارائه داد و تمام معارف بشر را تابع خویش کرد. در ریاضیات جدید این مبدأ به حالت تعلیق درآمد و به جای مختصات‌یابی نقطه نسبت به مبدأ، دستگاه مختصاتی را روی تمام نقاط موجود در فضا پایه‌ریزی کردند.

ازطرفی، در معماری کهن ایران به دلیل نبود دسترسی به نوشته‌ها و فقدان نقشه، طرح‌های معماری هرگز تحلیل نشده‌اند و هربار که گرایشی نسبت‌به آن تحقّق پذیرفته، جز چیزی در حد تکرار و تقلید محدود و نسبی نبوده است (Falamaki 2013). در این خصوص، سالینگاروس[۵] دربارهٔ استفاده از تکنیک‌های ریاضی در طراحی می‌گوید: «ساختمان‌های معاصر در دستیابی به کیفیت‌های انسانی ساختمان‌های قدیمی‌تر ناکام هستند؛ زیرا این کیفیت‌ها از یک سنت ساخت برمی‌خاستند که الگوها در آن غنای بیشتری داشتند. غرب، سبک‌های طراحی و گونه‌های نامعقول و ناسازگاری را صادر می‌کند که حاصل صنعتی سازی است و سنت‌های محلی پایدار را محو می‌سازند. پوشش رسانه‌های جمعی نیز در کنار جهانی شدن، باقی جهان را متقاعد می‌کنند که فرهنگ ساخت‌و ساز خود را ادامه دهند» (Salingaros 2007). بنابراین، امروزه می‌توان مدعی بود که هویت ما تا حد زیادی معطوف به نظام دکارتی شده است. برخلاف گذشته که به معماری به‌عنوان یک پدیدهٔ کیفی می‌نگریست؛ امروزه، آموزش معماری در ایران مبتنی‌بر سیستم مختصات دکارتی بوده و به معماری به‌مثابهٔ یک پدیدهٔ کمی و بر اساس داده‌های متریک توجه می‌شود. بدیهی است با این شیوه، محصولاتی مشابه قبل صورت نمی‌پذیرد.

٤. هندسهٔ پرگار و کاربرد آن

هنوز ارتباط میان معماری و ریاضی به‌طور کامل روشن نشده است و ریاضی‌دانان علی‌رغم اشتراکات زیادی با معماران، به‌صورت مجزا از هم کار می‌کردند (Necipoglu 2015; Bier 2012; Berggren 2008). ابوالوفا که از این شکاف آگاهی داشت، در نوشته‌های خود پیشنهاد ارتباط مستقیم مانند گفت‌وگو و مباحثه میان صنعت‌گران و ریاضی‌دانان می‌دهد (Ozdural 1995; Chorbach & Loeb 1992). ریاضیات و علم مصالح در هنر اسلامی، به‌خصوص در ساخت ابزاری مانند اصطرلاب که نیازمند قرارگیری دقیق علائم و نمایانگر فضای سه‌بُعدی در دوبُعد است، با هم درهم‌تنیده هستند. از این ابزارها برای یافتن جهت و محاسبات فضایی و محاسبهٔ فاصله‌ی دو مکان استفاده می‌شد (King 1999). ریاضیات دوران اسلامی نیز در قید و بند جهان ماده نبوده است. در هیچ جای دیگر ویژگی قدسی ریاضیات در نگرش اسلامی، بهتر از هنر آشکار نمی شود که در آن به کمک هندسه و حساب، ماده شرافت می‌یابد (Nasr 1992). با توجه به اینکه ایرانیان همواره از معماری غنی برخوردار بودند و ازطرفی در ساخت ابزار نجومی مهارت داشتند، به‌وجودآمدن هندسهٔ پرگاری نزد آن‌ها چندان عجیب و دور از ذهن نیست.

بوزجانی و صوفی از منجمان مشهور دورهٔ اسلامی که مخترع ابزار نجومی نیز بوده‌اند، نخستین کسانی هستند که ترسیمات هندسی را با پرگار و دهانهٔ ثابت آن انجام داده‌اند. بوزجانی در رسالهٔ خود مباحثی جهت آسان‌نمودن کار معماران به رشتهٔ تحریر درآورد که شامل چهار مقولهٔ زیر می‌باشد: الف) معرفی و روش‌های ترسیم اَشکال (دو و سه‌بُعدی) پایهٔ هندسی؛ ب) ساختارهای ترکیبی هندسه؛ پ) مصادیق عملی صناعات معماری؛ و ت) ابزارآلات ترسیمی. در یونان باستان برخلاف دوران اسلام، نشانه‌ای از کاربرد هندسهٔ عملی مشاهده نمی شد (Taheri 2009). بوزجانی ترسیماتی را با دهانهٔ ثابت پرگار به‌منظور بالارفتن دقت ترسیمات و تسهیل کار معماران انجام داده است که این روش در بین معماران، به‌تدریج وارد هندسهٔ نظری نیز شد و هندسه‌دانان اروپایی عصر رنسانس بدان علاقه‌مند گردیدند.

البته شواهد کاربرد ابزار ترسیم تا قرن ۱۵ میلادی نامشخص بوده است. اگرچه می‌توان برداشت کرد که یک پرگار و خط‌کش در پشت ترسیم خطوط و دایره‌ها قرار داشته، نشانه‌هایی از این ابزارها روی کاغذ وجود نداشت. در اوایل قرن ١٦ میلادی، نهضت جدیدی برای استفاده مجدّد از این ابزارها آغاز شد و طراحان به معرفی روش‌های کاربردی‌تر برای ترسیمات خود پرداختند. ترسیمات این دوران در برخی اجزا همچنان با همان روش‌های قدیمی انجام می‌شد. در نتیجه شکل‌ها با کمان‌های پرگار و استفادهٔ آزادانه‌تر از دایره که نشان‌دهندهٔ استفادهٔ موثر این ابزار بود، کشیده می‌شد.

رابرت ریکورد[6] در کتاب «مسیر دانش» که در سال ۱۵۵۱ میلادی نگاشته بود، از ترسیم با پرگار پرده برداشت. وی قدرت مطلق این ابزار ترسیم را این‌گونه شرح داده: «ورای هر مرکزی، یک دایره با هر ابعادی که بخواهید می‌تواند ساخته شود.» پترس راموس[7] نیز در کتابش که به بیان کاربرد هندسه پرداخته و پرگار را به‌عنوان عالی ترین ابزار هندسی بیان کرده است. ابزاری که اعتقاد داشتند توسط دایدالوس[8] ابداع شده و آلبرتی[9] و کاردانو[10] توانستند تمام مسائل رسالهٔ المنتس[11] را به کمک آن حل کنند (Lee 2018).

شکل ۱: تصویر پرگار در کتاب پترس راموس؛ منبع: راموس، ۱۶۲۷ (کتابخانهٔ دانشگاه استنفورد)

Fig. 1: Compass in Petrus Ramus. Source: Lee 2018.

لورنتسو ماسکه‌رونی[12]، ریاضی‌دان ایتالیایی و استاد دانشگاه پاویا[13] در سال ۱۷۹۷، اثر بزرگ خود به نام «هندسهٔ پرگار» را

چاپ کرد که در آن، حکم زیر ثابت شده است: «هر مسئلهٔ ساختمانی را می‌توان با دقت و تنها به کمک پرگار حل نمود.» کوستوفسکی[14]، ریاضیدان مشهور، در کتابی مشابه به همان نام چنین بیان می‌کند: «شاخه‌ای از هندسه که به مطالعهٔ ساختمان‌های هندسی تنها به کمک یک پرگار می‌پردازد، هندسهٔ پرگار می‌نامند.» در حکاکی ورقه‌های نازک فلزی، برای نشان‌گذاری روی ابزارهای نجومی، به این حقیقت توجه شده است و معمولاً تنها از پرگار استفاده می‌شود (Kostovski 1988). احتمالاً همین نیاز، انگیزهٔ بررسی ساختمان‌های هندسی تنها به کمک پرگار بوده است.

کاربرد هندسه از سه منظر متفاوت برای کاربردهای عملی و نظری در علوم دیگر مثل نجوم و ریاضیات محض مورد مطالعه قرار گرفته است. نخستین ردپای دانش ریاضیات معماری در متون ریاضی دورهٔ اسلامی توسط فرانتس وپکه[15] (۱۸۵۵م) یافت شده است. او با تحلیل انتقادی ترجمه‌ای فارسی از اعمال هندسی، توجه دیگر پژوهشگران تاریخ علم و بعدها تاریخ هنر و معماری را به متون ریاضیات کاربردی برای اهل فن جلب نمود. به‌دنبال وی شماری از تاریخ‌نگاران هنر اظهار کردند به‌نظر می‌رسد نقش‌های پیچیدهٔ هندسی و آثار هنری در جهان اسلام مبتنی‌بر دانش ریاضی بوده که در رساله‌های مربوط به هندسهٔ عملی آمده است (Necipoglu 1999).

کاربرد الگوهای دوبُعدی و سه‌بُعدی هندسهٔ پرگار یکی از مشخصه‌های کلیدی هنر و معماری دنیای اسلام در بسیاری از سنت‌های فرهنگی سرزمین‌های مرکزی اسلامی در خاورمیانه تا اسپانیا، هند، اندونزی و افریقا است (Bloom & Blair 2009; Broug 2013). اگرچه هندسهٔ این الگوها در حال حاضر با انتخاب‌های آگاهانه مردم در طراحی و به‌عنوان یک ویژگی ذاتی تولیدات معماری هستند، به‌نظر می‌رسد این موضوع که اهمیت بیشتری در تمدن‌های اسلامی دارد، اغلب به ممنوعیت به‌کارگیری تصاویر چهره نسبت داده می‌شود. زیرا از لحاظ مذهبی مخالفت شدید مسلمانان با هرگونه تزئینات تصویری که جنبه‌ای از بت‌پرستی به‌شمار می‌آمد، باعث توجه شدید ایشان به تزئینات انتزاعی شده است (Burckhardt 2009; Grabar 1992) این برداشت تنها از نقاشی دیواره‌های قصرها، کارهای چوبی و کتاب‌های چاپ‌شده به‌وجود نیامده است بلکه توضیحات منطقی دیگری برای تأکید بر کاربرد هندسهٔ پرگار در به‌وجودآمدن اشکال هندسی وجود دارد (Allen 1988; Freedberg 1989; Belting 2011). در طول تاریخ، انسان‌ها از تزئینات برای آراستن ساختمان‌ها، ابزارها و متعلّقاتشان استفاده می‌کردند. وجود هندسهٔ پرگار در یادمان‌های اسلامی مانند گنبد سنگی اورشلیم در اواخر قرن ۱۷ که با نقشه‌های هشت‌گوش و ساختار منشوری و تزئینات گنبد کبود مراغه کاملاً مشهود است (Grabar 2006). لذا در ایجاد طرح‌های هندسی در بعضی از هنرهای سنتی اسلامی چون معماری، پرگار و خط‌کش دو ابزار اساسی شمرده می‌شدند.

از دیدگاه فلسفی برخلاف معماران غربی که نگاه مختصاتی به جهان دارند، نگاه معمار ایرانی در هندسه، «مرکز- پیرامون» است. منشأ این دیدگاه که معمار ایرانی به هندسه به‌عنوان یک موضوع کیفی می‌نگریسته و تناسبات یک ساختمان را در یک دایرهٔ مبنا منتقل می‌کرده، یک باور توحیدی بوده که وحدت، سرچشمه و نقطهٔ پایانی به هم رسیدن تمام کثرت‌هاست.

۵. ابزار و روش در هندسهٔ پرگار

در قرون وسطا نجارها و بنّاها از پرگار استفاده می‌کردند؛ یک پرگار با یک پایهٔ ثابت و یک پایهٔ متحرّک که برای ترسیم روی سنگ و یا چوب و یا تقسیم دهانه‌ها کاربرد داشت (Smith 2007). در ریاضی مدرن، چنین فرض می‌شود که طراحان گذشته به این ابزار آگاهی داشتند. کاربرد ابزار امروزی، مستلزم استفاده از اصول هندسه و دانش سنتی است (Rosin & Duvernoy 2015). در گذشته، دایره مبنا و شکل پایهٔ ترسیم غالب اَشکال، نقوش و حتی ساختار کلی ابنیه بوده است. تنها چیزی که معماران سنتی برای ترسیم نقشه‌های ساختمانی، در مقیاس واقعی در اختیار داشته‌اند، یک‌تکه طناب بود. آن‌ها یک سرِ این

طناب را به نقطه‌ای ثابت می‌بستند و تکه‌چوبی را به سرِ دیگر آن وصل می‌کردند؛ سپس با کشیدن طناب در راستای افق، حول نقطهٔ ثابت حرکت می‌کردند. به این ترتیب، می‌توانستند دایره‌ای کامل رسم کنند که اندازهٔ شعاع آن به‌وسیلهٔ طول طناب تعیین می‌شد. خطوط راست نیز با کشیدن طناب بین دو نقطهٔ ثابت رسم می‌شد. ازآنجاکه برای طرح‌های کوچک، استفاده از طناب چندان مناسب نبود، بنابراین استفاده از پرگار و خط‌کش جایگزین شد (Broug 2013; Isaam 2018). در این روش که مبتنی بر هندسهٔ پرگار بود، رسم اشکال و اندازه‌گیری تنها با پرگار دهانهٔ ثابت و خط‌کش غیرمدرج بوده است.

موردنته مبدع اولین پرگار بر مبنای نسبت بود. ابزاری که بر اساس اصول مثلثات برای حل مسائل هندسی و حساب ساخته شده بود. پرگار او به‌واسطهٔ آنکه زیر سایهٔ یک پرگار ابداع شده توسط گالیله[16] قرار داشت، تا اواخر دههٔ ۱۸۰۰ میلادی ناشناخته ماند. علی‌رغم اهمیت پرگار موردنته در تاریخ علم، درک تفاوت پرگار کاهشی و تناسباتی ضروری به‌نظر می‌رسد. هدف اصلی «پرگار کاهشی» کوچک یا بزرگ‌کردن ترسیمات بود. ازطرف دیگر، «پرگار تناسباتی» قابلیت انجام چند عملیات ریاضیاتی را داشت و می‌توانست اولین ابزار برای محاسباتی مانند تقسیم یک قطعه به تعداد بخش‌های برابر باشد.

موردنته با مطالعهٔ دقیق ابزارهایی مانند اصطرلاب دریافت که دقت آن‌ها نسبت مستقیم با تعداد بخش‌هایی دارد که قوس آن‌ها تقسیم شده است. از نظر تئوری، پرگار وی قابلیت تقسیم درجه‌های یک کمان به بی‌نهایت بخش را داشت. وی استفاده از این پرگار را به‌عنوان روشی برای افزایش دقت ابزار نجوم معرفی نمود (Rossini 2018). بی هیچ شکی، پرگار گالیله خاکستر اشتیاق ابزارسازان برای ساخت ابزار نجوم را برافروخته کرد و در ادامه، یک سری کتاب دربارهٔ کاربرد و ساخت پرگار، به‌سرعت، منتشر شد. فرانسیس بیکن[17] دربارهٔ قدرت آن چنین می‌نویسد: «هیچ کس توانایی زیادی در ثابت‌ماندن دست‌ها برای ترسیم خط راست و یک دایره کامل حتی با تمرین زیاد ندارد؛ اگرچه این موضوع به‌راحتی با کمک یک پرگار و خط‌کش قابل انجام است» (Lee 2018).

امروزه، کاربرد ابزارهای مدرن با دقت و سرعت بسیار بالای خود در معماری گسترش یافته است. اولین ابزارهای هندسی مدرن مانند اسکچ‌پد[18] در دههٔ ۱۹۸۰ میلادی به‌وجود آمده و راه خود را به تمام مدارس دنیا باز کردند. طی سال‌ها، انواع ابزارهای هندسی هوشمند قابلیت‌های جدیدی به خود گرفتند (Selakovic et al. 2020). و به‌تازگی کاربرد دستگاه‌های لمسی (تبلت‌ها) در ابزارهایی چون اسکچومتری[19] به‌شکل فزاینده‌ای افزایش یافته است (Cheema et al. 2012). نظام رسمی آموزش معماری ترسیمی نیز با اتکا بر سیستم مانژ و دکارت، تنها سراغ نگارش داده‌های کمی رفته است.

شکل ۲: تصویر پرگار کاهشی از مجموعهٔ مدیچی؛ منبع: موزه گالیله، فلورانس، (Rossini 2018)

Fig. 2: An example of a reduction compass from the Medici Collections. Source: Rossini 2018

شکل ۳: تصویر پرگار موردنته؛ منبع: موزه گالیله، فلورانس، (Rossini 2018)

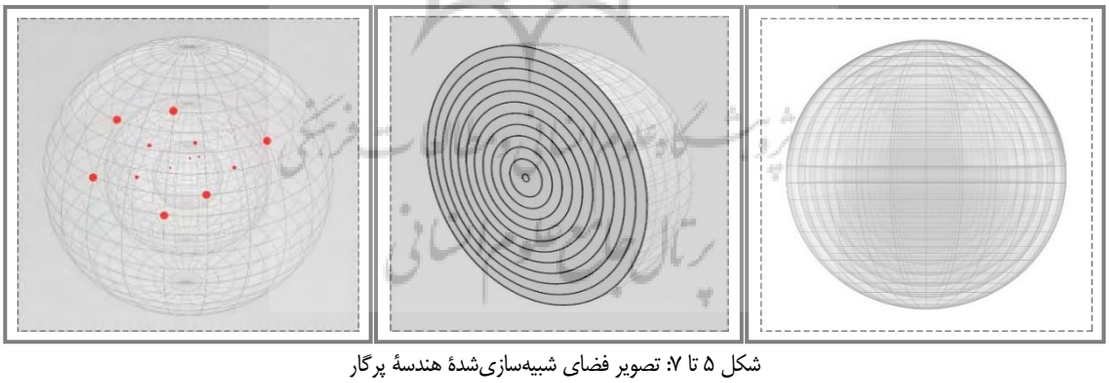
Fig. 3: The compass of Mordente. Source: Rossini 2018

شکل ۴: نمودار روش، ابزار و کاربرد هندسهٔ پرگار

Fig. 4: Methods, tool and application of compass geometry

٦. شبیه‌سازی ابزار طراحی برمبنای هندسهٔ پرگار

هدف از پیشنهاد الگوی شبیه‌سازی، ارائهٔ روشی برای ساخت ابزار سه‌بُعدی طراحی است تا به کمک آن بتوان بُعد چهارم را خلق و تجربه کرد. مطابق این الگو، کره که حجم سه‌بُعدی دایره است، به قسمت‌های برابر در مدارها و نصف‌النهارها تقسیم شده و چند کرهٔ فرضی نیز به تعداد مدارها به انواع کوچک‌تر و به مرکز آن تکرار شده‌اند. نقاط برخورد مدارها در کره‌ها به‌عنوان نقاط مختصات این فضای هندسی شناخته می‌شود. در الگوی شبیه‌سازی شده، ابزار باید بتواند بر محوریت پرگار کار کند و همچنین باید تبیین شود که یک ابزار خارجی مانند پرگار چگونه و در چه حالت‌هایی می‌تواند با کرهٔ فرضی ترکیب شود.



شکل ۵ تا ۷: تصویر فضای شبیه‌سازی‌شدهٔ هندسهٔ پرگار

Fig. 5- 7: Image of a simulated compass geometry space

ابزارهای طراحی شده بر اساس پارادایم پیشنهادی در چهار مجموعهٔ کلی ارائه شده‌اند. در دستهٔ اول، ابزار ترسیم در داخل کرهٔ فرضی و متصل به یک پایه قرار گرفته است. در دستهٔ دوم، ابزار ترسیم به خارج از کره برده شده و کار ترسیم را انجام می‌دهد. در گروه سوم، قلم ترسیم در داخل یک حلقه قرار گرفته که در خارج از کره کار ترسیم را انجام می‌دهد. این حلقه نیز خود در داخل یک حلقهٔ خارجی قرار دارد که قابلیت چرخش و حرکت در این حلقهٔ خارجی را دارد. در دستهٔ آخر، روش کار تقریباً مشابه نمونهٔ سوم است با این تفاوت که در نمونه‌های طراحی‌شدهٔ این گروه، قابلیت تبدیل ترسیمات فضای هندسهٔ پرگار به فضای هندسی دکارتی وجود دارد. یعنی بر اساس قرارگیری صفحهٔ

مختصات دکارتی، شکل ترسیم‌شده در فضای پرگاری می تواند روی این صفحهٔ مختصات تصویر شود. مدل و ابزارهای ارائه شده بر ا ساس این الگو بیشتر جنبهٔ مکانیکی به خود گرفته و ابزار پرگار نیز مانند بازوهای روباتی که با یک کره ترکیب شده‌اند، کار می‌کنند و هریک نقاط قوت و ضعف خود را دارند.

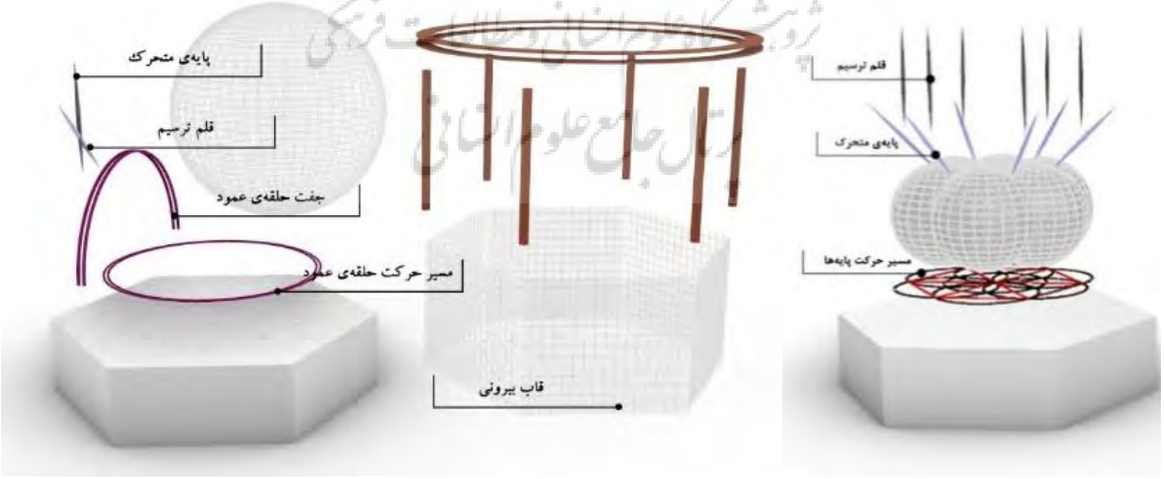
جدول۱: بررسی نقاط قوت و ضعف ابزارهای طراحی
Table 1: Cons and pros of the design tools.

دسته‌بندی		تصویر مدل	نقاط قوت	نقاط ضعف
گروه یکم	شمارهٔ ۱		– قلم تنظیم‌پذیر – چرخش در تمامی جهات حول مرکز گوی	– عدم عبور قلم ترسیم از پایه – عدم پوشش قلم در تمام سطح کره
	شمارهٔ ۲		– قلم تنظیم‌پذیر – چرخش در تمام جهات – قابلیت عبور قلم از داخل پایه – چرخش حول مرکز پایه – چرخش پایه حول محور دایره‌ای	– دشواری ترسیم به جهت نیازمندبودن چرخش‌های مکرر در دو محور متفاوت – قرارگرفتن پایه در داخل حجم کره
گروه دوم	شمارهٔ ۳		– قلم تنظیم‌پذیر – سهولت در ترسیم جهت مدارها – چرخش آسان حول محور دایره‌ای – بیرون‌بودن پایه و محورهای ترسیم خارج از حجم کره	– دشواری ترسیم در جهت نصف‌النهارها – دشواری ترسیم خطوط غیرمنحنی
	شمارهٔ ۴		– قلم تنظیم‌پذیر – قابلیت ترسیم در هر دو جهت مدار و نصف‌النهارها – قرار گرفتن پایه خارج از حجم کره – ترسیم آسان‌تر خطوط غیرمنحنی	– دشواری ترسیم به جهت داشتن دو محور متفاوت – دشواری چرخش حول محورهای گوی
	شمارهٔ ۵		– قلم تنظیم‌پذیر – قابلیت ترسیم در هر دو جهت مدار و نصف‌النهارها – قرار گرفتن پایه خارج از حجم کره – قابلیت عبور قلم ترسیم روی بازوی متحرک	– دشواری ترسیم به جهت داشتن دو محور متفاوت – دشواری چرخش حول محورهای گوی
گروه سوم	شمارهٔ ۶		– قلم تنظیم‌پذیر – چرخش در تمامی جهات – قابلیت تغییر محور ترسیم در دو محور متداخل دایره‌ای	– دشواری تغییر جهت پایه‌ها – چندمحوری بودن ترسیمات – دشواری چرخش حول مرکز گوی‌ها
	شمارهٔ ۷		– قلم تنظیم‌پذیر – قابلیت چرخش در دو محور – ترسیم راحت در دو محور مدار و نصف‌النهارها – بیرون بودن پایه و محورهای چرخش قلم خارج از کره	– فرم نامناسب – چندمحوری بودن قلم ترسیم

گروه چهارم	شمارهٔ ۸		– قلم تنظیم‌پذیر – قابلیت تصویر کردن به فضای دوبُعدی دکارتی – قابلیت چرخش در دو محور – ترسیم راحت در دو محور مدار و نصف‌النهارها	– عدم چرخش قاب بیرونی
	شمارهٔ ۹		– قلم تنظیم‌پذیر – قابلیت تصویر کردن به فضای دوبُعدی دکارتی – قابلیت چرخش در دو محور – ترسیم راحت در دو محور مدار و نصف‌النهارها – قابلیت تنظیم قاب بیرونی و چرخش آن	----

۱،٦. مدل ابزار ترکیبی پیشنهادی

پس از معرفی انواع ابزارها و بررسی نقاط قوت و ضعف آن‌ها، به ارائهٔ مدل پیشنهادی می‌پردازیم. این مدل در واقع ترکیبی از ابزارهای پیشین است و تلاش شده تا از نقاط قوت آن‌ها در این نمونه استفاده شود. به این منظور، ابتدا اجزای کلی هریک از ابزارها که شامل قلم ترسیم، پایه و محورهای حرکتی هستند، مشخص شده و شاخص‌های هریک از آن‌ها که در تمام نُه نمونهٔ ارائه‌شده مشترک است، تبیین شده است. در نهایت، ابزار پیشنهادی شامل یک جفت حلقه روی سطح زمین که به‌عنوان مسیر حرکتی یا ریل برای یک جفت حلقهٔ عمود بر آن است. یک پایه بین این دو حلقهٔ عمودی قرار گرفته که قابلیت حرکت و تغییر زاویه در داخل آن را دارد. قلم ترسیم نیز متصل به این پایه است و می‌تواند تغییر زاویه داده و روی محور پایه حرکت کند. مانند تمام نمونه‌های ذکرشده، قلم توانایی کوتاه و بلندشدن دارد. در خارج از این ابزار نیز قابی شبکه‌بندی‌شده با قابلیت چرخش حول مرکز کره وجود دارد و این امکان را فراهم می‌سازد تا از جهات مختلف، مدل ترسیم شده در فضای هندسهٔ پرگار را روی این قاب تصویر کرده و به فضای هندسی دکارتی تبدیل نماید.



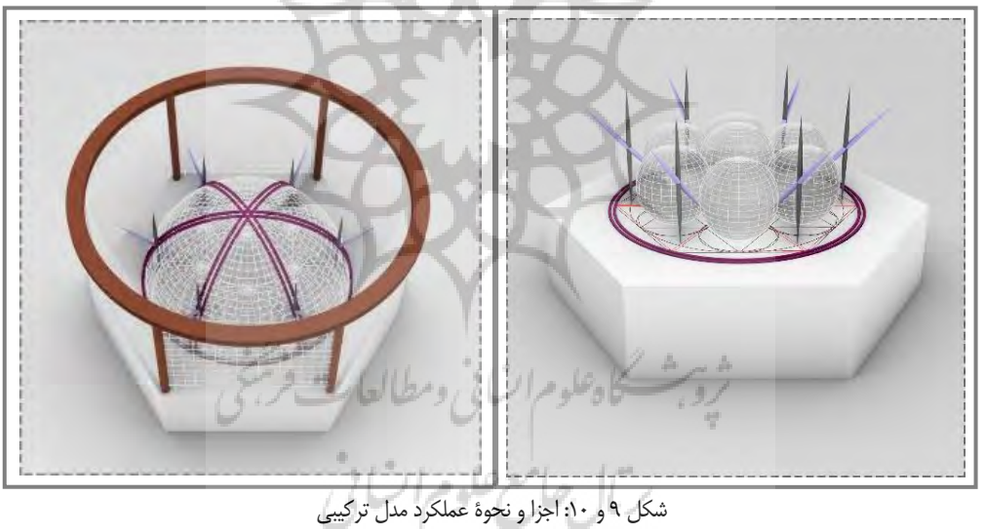
شکل ۸: اجزای ابزار ترکیبی برای مدل‌سازی
Fig. 8: Features of hybrid model.

جدول ۲: شاخص‌ها و امکانات مشترک ابزارهای طراحی
Table 2: Indicators and common features of design tools

اجزا	شاخص‌ها	امکانات
قلم	تنظیم‌پذیربودن قلم	قابلیت کوتاه و بلند شدن قلم متناسب با نوع ترسیم
	قابلیت ترسیم و حرکت در تمامی محورها	سهولت ترسیم در مدار و نصف‌النهارها و ترسیم راحت خطوط غیرمنحنی
پایه	چرخش راحت قلم برروی محورها	قابلیت ترسیم در تمامی محورها و بی‌نیازکردن تغییر جهت مداوم پایه‌ها
	محل قرارگیری مناسب و تغییر جهت پایه‌ها	قرارگیری پایه در خارج و چرخش راحت حول محورهای حرکتی
محورهای حرکتی	پوشش کامل سطح منحنی	ترسیم راحت و عدم تداخل محورها و قلم در هنگام ترسیم
	فرم مناسب محورها	حرکت راحت قلم حول محورهای ترسیم و داخل آن‌ها

۲,٦. روش استفاده از ابزار ترکیبی در ترسیم هندسهٔ پایه

بر اساس ابزار ترکیبی پیشنهادی، در این قسمت به کمک آن مدل سازی در یک نمونهٔ ساده انجام می شود. بدین منظور، ابتدا یک نقطه به‌عنوان پیش‌فرض در نظرگرفته شده که در ادامه به شبکه‌ای از نقاط رسیده است. سپس بین هر دو نقطه، ریل‌های متصل‌کنندهٔ شبکهٔ نقاط به یکدیگر ایجاد شده‌اند؛ یعنی بین هر دو نقطه یک ریل در نظر گرفته شده است.

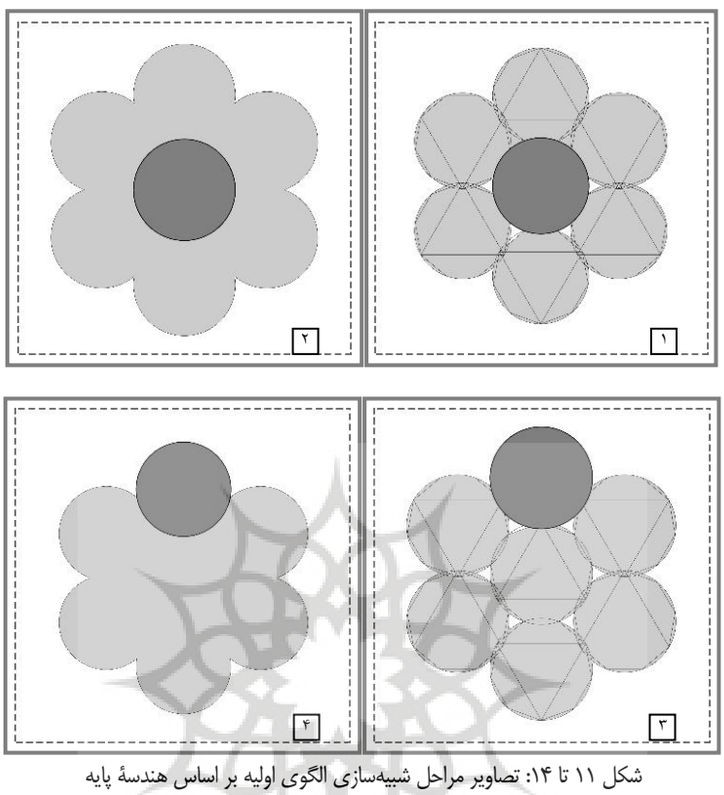


شکل ۹ و ۱۰: اجزا و نحوهٔ عملکرد مدل ترکیبی
Fig. 9 to 10: Features of hybrid model.

محور عمودی یا پایه‌ها نیز در داخل این شیارها حرکت می‌کنند. همچنین قلم تر سیم به پایه‌ها متّصل شده و کاملاً آزاد هستند. روش کار این ابزار مثل پرگاری است که یک بازوی آن روی زمین و متحرک و دیگری روی هوا می‌تواند زوایای مختلف را تولید نماید. محورهای عمودی با حرکت خود مختصات‌های مختلفی ایجاد و بازوها با تغییر زاویهٔ خود، فرم را متغیّر می‌کنند. در این حالت دایره دیده نمی‌شود، ولی در تمام ترسیمات یک دایرهٔ پنهان وجود دارد.

طرح اولیهٔ ارائه‌شده به این صورت است که ابتدا یک مثلث متساوی‌الاضلاع و یک نه‌ضلعی را در داخل یک دایره به مرکز و شعاع دلخواه محاط کرده، سپس شکل به‌وجودآمده را حول محور یکی از اضلاع نه‌ضلعی ترسیم می‌کنیم. نتیجهٔ شش مرتبه حول مرکز دایره تکرار می‌شود. در نهایت، قسمت‌هایی را که داخل دایرهٔ اصلی وجود دارد، پاک می‌کنیم. شکل حاصل از ترکیب چند دایره با چند مرکز

مجزا تشکیل شده است، در حرکت هستند و مرکز مشخصی ندارند. در نمونهٔ بعدی یکی از دایره‌های اطراف شـــکل را به‌عنوان دایرهٔ اصـــلی در نظر می‌گیریم و همین مراحل ادامه می‌یابند. لازم به ذکر اســت که این طرح هندســی، تنها یک نمونهٔ ابتدایی و ساده مبتنی‌بر ابزار پیشنهادی است.



شکل ۱۱ تا ۱۴: تصاویر مراحل شبیه‌سازی الگوی اولیه بر اساس هندسهٔ پایه

Fig. 11 to 14: Images of the initial pattern simulation steps based on basic geometry

۷. ۸. تکوین هندسه برای دستیابی به الگوی طراحی

همان‌طورکه بیان گردید، فضـــای هندســهٔ پرگار در الگوی پیشـنهادی به‌صـورت یک کره فرض شـد که سـطح آن به قسمت‌های مساوی در مدار و نصف‌النهارها تقسیم شده است. سپس، کرهٔ فرضی به قسمت‌های کوچک‌تر به مرکز کرهٔ بزرگ‌تر تکرار و ســطح هرکدام از کره‌های متداخل نیز مانند بزرگ‌ترین کره، شــبکه‌بندی شــده اســت. از برخورد مدار و نصف‌النهارها نقاطی به‌دست می‌آید که اگر این نقاط به یکدیگر و به دیگر نقاط کره‌های دیگر وصل شود، فضای ترسیمی هندسهٔ پرگار شکل خواهد گرفت. سپس، ابزارهای طراحی بر اساس این الگو پدید آمدند که منجر به تولید یک ابزار ترکیبی جهت مدل‌ســـازی گردید و در نهایت یک هندسهٔ پایه (برای نمونه) برای دستیابی به طرح و آزمون در نظر گرفته شـد. سـرانجام، بر اسـاس اصـول هندسـهٔ پایه، الگویی برای تکوین کار ارائه شـده که گام‌های آن به شـرح زیر است:

۱- ترسیم یک دایره به مرکز و شعاع دلخواه؛ تقسیم آن به نُه قسمت و اتصال نقاط به‌وسیلهٔ نُه خط از مرکز دایره؛

۲- ترسیم یک مثلث متساوی‌الاضلاع و سه مرتبه تکرار آن حول مرکز دایره؛

۳- رسم یک نُه ضلعی حول مرکز دایره و اتصال هر رأس آن به رأس روبه‌رو و نظیر آن؛

٤- تکرار شـکل به‌دسـت‌آمده حول محور یکی از اضـلاع نُه‌ضلعی؛

۵- ترســیم دایره‌ای به مرکز دایرهٔ تکرارشـــده به‌طوری‌که محیط آن مرکز دایرهٔ اصلی را قطع کند؛

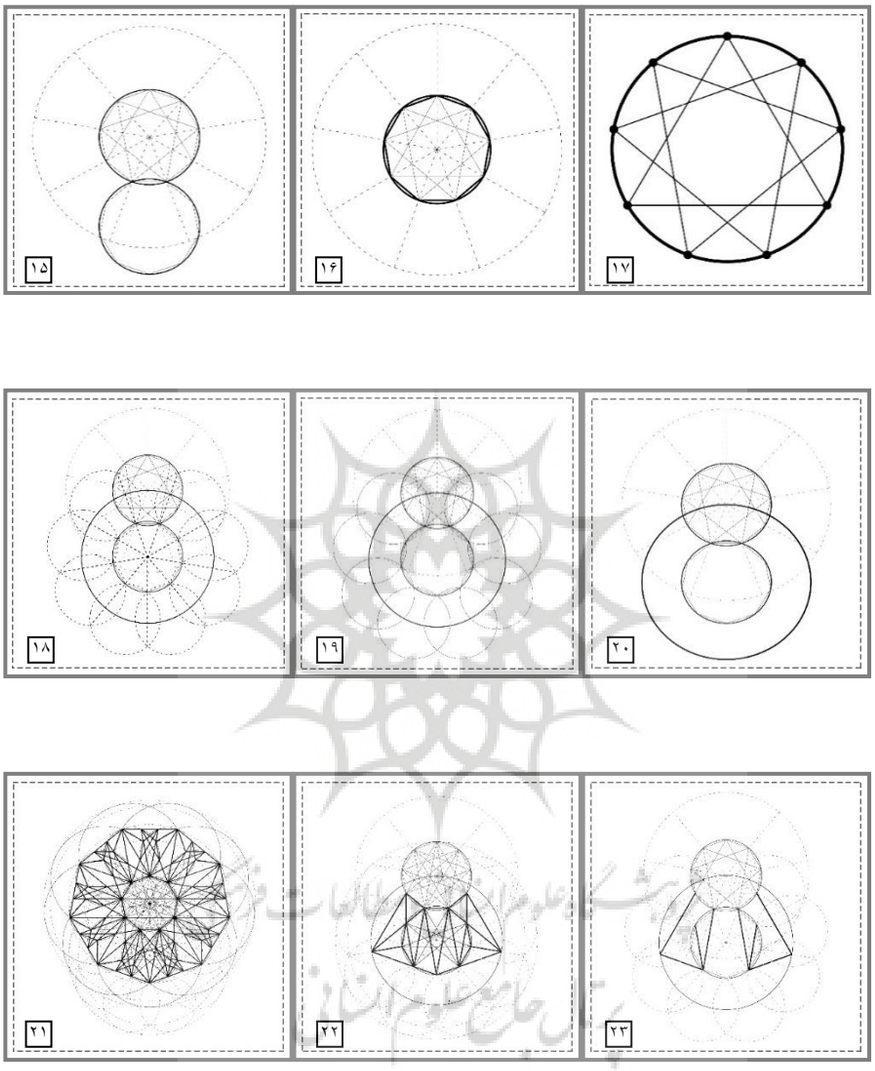
٦- تکرار دایرهٔ اصـــلی حول مرکز دایرهٔ بزرگ‌تر و به تعداد نُه عدد؛

۷- اتصـــال مرکز دایرهٔ بزرگ‌تر به محل تلاقی دایره‌های به‌دست‌آمده؛

۸- ترسیم امتداد دو ساق مثلث متساوی‌الاضلاع در دایرهٔ اصلی تاجایی‌که محیط دایرهٔ بزرگ‌تر را قطع کند؛

۹- اتصـــال دو رأس بالایی نه‌ضـــلعی به دو رأس نظیر و روبه‌روی آن؛ و

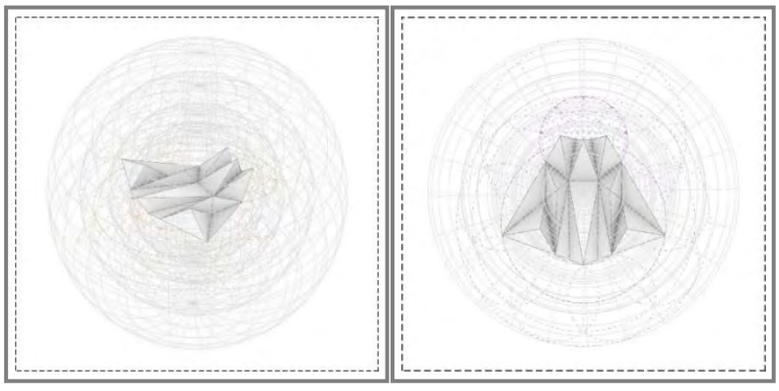
۱۰- تبدیل چهارضلعی‌های به‌دست‌آمده به سه‌ضلعی.



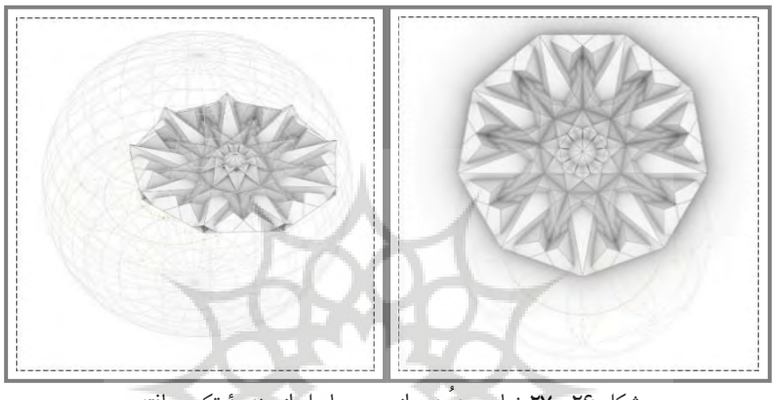
شکل ۱۵ تا ۲۳: مراحل تکوین مدل طراحی بر اساس هندسهٔ پایه

Fig. 15 to 23: The evolution of the design model based on the basic geometry.

در ادامه، سه ضلعی‌های حاصل از هندسهٔ تکوین‌یافته در فضای هندسهٔ پرگار به صورت صفحات سه‌بُعدی درآمده و ارتفاع آن‌ها تنظیم شـــده اســـت. در نهایت، صـــفحه‌های مورد نظر حول مرکز دایرهٔ اصـــلی و به تعداد نُه‌مرتبه تکرار شـــده اســـت. این روند به‌صـــورت اجرایی در شـــکل‌های ۱۵ تا ۲۳ به ترتیب به نمایش درآمده‌اند و فرآیند شبیه‌سازی آن کاملاً تجربی بوده است. مراحل بعد با تکیه بر ذوق و مهارت طراحان و درنظرگرفتن قواعد زیبا شناسی قابل پیگیری خواهند بود که حکایت از آزادی عمل و ارادهٔ طراح در انعطاف‌پذیری فرم‌ها دارند. شـــکل‌های ۲۴ تا ۲۷ مدل سه‌بُعدی حاصل از هندسهٔ تکوین‌یافته را نمایش می‌دهند.



شکل ۲۴ و ۲۵: نمای بالا از صفحات و حجم حاصل از هندسهٔ تکوین‌یافته
Fig. 24, 25: Top view of the surfaces derived from evolved geometry.



شکل ۲۶ و ۲۷: نمای سه‌بُعدی از حجم حاصل از هندسهٔ تکوین‌یافته
Fig. 26, 27: Perspective view of the surfaces derived from evolved geometry.

نتیجه‌گیری

ابداع دستگاه مختصات توسط دکارت موجب دگرگونی‌های اساسی در دنیا شد و ازطرف دیگر، فقدان شناخت درست از روش‌ها و ابزارهای طراحی معماری کهن ایران و عدم وجود نقشه به شکل رایج امروزی موجب فهم ناقص و نادرست از این معماری شده و نهایتاً فراموشی آن شده است. به همین منظور، بازتولید این معماری همواره با چالش‌های فراوانی مواجه بوده است. بنابراین، در مقالهٔ حاضر تلاش شد با تشریح فضای هندسهٔ پرگار و بیان ویژگی‌های آن، روش شناسی طراحی این فضای هندسی به‌روزرسانی گردد و امکان تحقّق و پیگیری آن به‌گونه‌ای فراهم باشد تا بتوان به کمک آن به تولید فرم‌های معماری متفاوت با دستگاه دکارتی پرداخت که پس از ارائهٔ ابزار مورد نظر برای طراحی در این فضای هندسی برای آزمون کار، یک طرح ابتدایی نیز با کمک این ابزار مدل‌سازی شد.

البته مقاله به‌دنبال نمایش برتری فضای هندسی پرگار نسبت‌به هندسهٔ دکارتی نبوده بلکه هدف آن نمایش قابلیت‌های این فضای هندسی و ضرورت کارآمدسازی آن و استفاده از آن در کنار دیگر امکانات و روش‌های موجود بوده است. روش حاضر می‌تواند مزایایی مانند قابلیت بازتولید صحیح معماری اصیل ایرانی، داشتن قرائت صحیح‌تر و تحلیل دقیق‌تر این معماری و همچنین فراهم‌آوردن ابزاری نوین که متناسب با فرهنگ گذشته ماست، داشته باشد. در ادامه و برای پژوهش‌های آتی نیز چنین پیشنهاد می‌گردد که ابزار مورد نظر کامل‌تر شده و به سطح جدید فناوری‌های امروز و در قالب ابزارهای نوین و نرم‌افزارهای معماری برسد. قطعاً این تلاش نخستین گام برای یک تحوّل اساسی در سازوکارهای آیندهٔ معماری به‌شمار خواهد رفت.

پی‌نوشت‌ها

1. Bruno
2. Mordente
3. Alois Riegl
4. Donald J. Olsen
5. Nikos A. Salingaros
6. Robert Recorde
7. Petrus Ramus
8. Daedalus
9. Alberti
10. Gerolamo Cardano
11. Elements
12. Lorenzo Mascheroni
13. Pavia
14. A.N. Kostovskii
15. Franz Wöpcke
16. Galileo
17. Francis Bacon
18. SketchPad
19. Sketchometry

فهرست منابع

ایزدپناه، هدی. ۱۳۹۵. روش‌های رسم و کاربرد چندضلعی منتظم در ریاضیات دورهٔ اسلامی (تصحیح، ترجمه و شرح رسالهٔ اشکال متساوی‌الاضلاع عبدالرحمن صوفی). پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد رشتهٔ تاریخ ریاضیات در تمدن اسلامی، تهران: دانشگاه تربیت مدرس.

آقایانی‌چاوشی، جعفر. ۱۳۸٤. مقایسهٔ روش‌های ابوالوفا بوزجانی، آلبرش دورر و لئوناردو داوینچی در ترسیم پنج‌ضلعی منتظم. مجلهٔ آینه میراث، دورهٔ ۲۸ (۳): ۲۸-۱.

بروگ، اریک. ۱۳۹٤. نقوش هندسی در معماری اسلامی. ترجمهٔ مژگان هاتفی. تهران: نشر سیمای دانش.

سعید، عصام و عایشه پارمان. ۱۳۹۷. نقش‌های هندسی در هنر اسلامی. ترجمهٔ مسعود رجب‌نیا. تهران: انتشارات صدا و سیمای جمهوری اسلامی ایران.

طاهری، جعفر و هادی ندیمی. ۱۳۹۱. بازخوانی میراث ابوالوفا بوزجانی در صناعات معماری. مجلهٔ تاریخ علم، دورهٔ ۱۰ (۲): ۹۱-٦٥.

طاهری، جعفر. ۱۳۹۰. نقدی بر تحقیق و تصحیح (ترجمهٔ کتاب النجاره) بوزجانی. مجله علوم و فنون، دوره ۵ (۲): ۹-٤.

____ . ۱۳۸۸. مقدمه‌ای بر دانش ریاضیات در دورهٔ اسلامی: جستاری در بنیان‌های نظری و عملی پیوند ریاضیات با صناعات معماری اسلامی (سده‌های دوم تا یازدهم هجری). رسالهٔ دکتری معماری، دانشگاه شهید بهشتی.

فلامکی، محمدمنصور. ۱۳۹۲. شکل‌گیری معماری در تجارب ایران و غرب. تهران: نشر فضا.

____ . ۱۳۷۱. شکل‌گیری معماری در تجارب ایران و غرب. تهران: نشر فضا.

نصر، سید حسین. ۱۳٦٦. علم در اسلام. ترجمهٔ احمد آرام. تهران: انتشارات سروش.

نیکیتوویچ کوستوفسکی، الکساندر. ۱۳٦۷. هندسهٔ پرگار: ساختمان‌های هندسی به کمک پرگار. ترجمهٔ پرویز شهریاری. تهران: انتشارات سازمان علمی دانشجو.

منابع انگلیسی

Aghayani Chavoshi, Jafar. 2005. Comparing the methods of Abolufai Bozjani, Leonardo da Vinci and Albrecht Dürer in drawing regular pentagons. Ayenemiras 28 (3): 1-28. [In Persian]

Allen, T. 1988. Aniconism and figural representation in Islamic art. In T. Allen (Ed.), Five essays on Islamic art (pp. 17–37). Sebastapol, CA: Solipsist.

Belting, H. 2011. Florence and Baghdad: Renaissance art and Arab science (D. L. Schneider, Trans.). Cambridge, MA: Harvard

University Press.
Berggren, J. L. 2008. Episodes in the mathematics of medieval Islam. New York: Springer.
Bier, C. 2012. The decagonal tomb tower at Maragha and its architectural context: Lines of mathematical thought. Nexus Network Journal. Vol 14(2), 251–273.
Bloom, J.M., Blair, S.S. 2009. The grove encyclopedia of Islamic art and architecture. New York: Oxford University.
Broug, E. 2013. Islamic geometric design. London: Thames & Hudson.
Broug, Eric. 2013. Islamic geometric design in Islamic Architecture. (M. Hatefi Trans.). Simay E Danesh. [In Persian]
Burckhardt, Titus. 2009. Art of Islam: language and meaning. Indiana: World Wisdom.
Cheema, S., Gulwani, S., LaViola, J.J. 2012. Quickdraw: improving drawing experience for geometric diagrams. In: Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '12. Pp.1037–1064.
Chorbachi, W. K., & Loeb, A. D. 1992. An Islamic pentagonal seal (from scientific manuscripts of the geometry of design). In I. Hargittai (Ed.), Fivefold symmetry (pp. 283–305). Singapore: World Scientific.
Eezadpanah, Hoda. 2016. Drawing methods and application of regular polygon in Islamic mathematics. Masters thesis. Tarbiat Modares University. [In Persian]
El-Said, Issam. 2018. Geometric concepts in Islamic art. (M. Rajabnia Trans.). Seda o Sima press. [In Persian]
Falamaki, Mansour. 2013. The formation of architecture in the experiences of Iran and the West. Tehran: Faza press.
Freedberg, D. 1989. The power of images: Studies in the history and theory of response. Chicago/ London: University of Chicago Press.
Gere, Cathy. 2009. Knossos and the prophet of modernism. Chicago: University of Chicago press.
Grabar, O. 1992. The mediation of ornament. Princeton: Princeton university press.
Grabar, O. 2006. The Dome of the Rock. Cambridge MA: Belknap Press of Harvard University.
King, D. A. 1999. World-maps for finding the direction and distance to Mecca: Innovation and tradition in Islamic science. London/Leiden, Netherlands/Boston: Al-Furqān Islamic Heritage Foundation/Brill.
Kostovskii, A.N. 1988. Compass geometry. (P. Shahriari Trans.). Science Oraganization Press. [In Persian]
Lee, Eunsoo. 2018. Let the diagram speak: Compass arcs and visual auxiliaries in printed diagrams of Euclid's elements. Journal of endeavor. Vol (42), 78-98.
Levine, albert. 2018. Modern Architecture & Ideology: Mordernism as a political tool in Sweden and the Soviet Union. Journal of Momentum. Vol (5), 33-52.
Morgenthaler, Hans. 2016. The meaning of mordern architecture: Its inner necessity and an emphathetic reading. New York: Routledge.
Nasr, Seyyed Hossein. 1992. Science and Civilization in Islam. (A. Aram Trans.). Islamic Texts Society. [In Persian]
Necipoğlu, G. (Ed.) 2015. The arts of ornamental geometry: A Persian compendium on similar or complementary interlocking figures (A volume commemorating AlpayO¨ zdural). Leiden and Boston: E. J. Brill.
Necipoğlu, Gülru. 1999. The Topkapi Scroll—Geometry and Ornament in Islamic Architecture: Topkapi Palace Library1956; With an Essay on the Geometry of the Muqarnas by Mohammad al-Asad. Journal of Historia Mathematica. Vol (26), 166-172.
Olsen, Donald J. 1986. The city as a work of art: London, Paris, Vienna. New Haven: Yale university press.
Özdural, A. 1995. Omar Khayyam, mathematicians, and conversazioni with artisans. Journal of the Society of Architectural Historians. Vol 54(1), 54–71.
Rosin, Paul L & Sylvie Duvernoy. 2015. The compass, the ruler and the computer: An analysis of the design of the amphitheatre of Pompeii. Nexus. Vol (?), 21- 34.
Rossini, Paolo. 2018. New theories for new instruments: Fabrizio Mordente's proportional compass and the genesis of Giordano Bruno's atomist geometry. Vol (76), 60-68.
Salingaros, Nikos A. 2007. A Theory of Architecture. (S. Zarrin & Z. Mottaki Trans.). Urban planning & Architecture Research Center of Iran press. [In Persian]
Selaković, Milica; Vesna Marinković & Predrag Janičić. 2020. New dynamics in dynamic geometry: Dragging constructed points. Vol (97), 3-15.
Smith, Laurie. 2007. An introduction to Daisy Wheel and Vesica Piscis Compass Geometry. ?. Vol (?), 1- 4.
Taheri, Jafar & Hadi Nadimi. 2012. Re-appraisal of the Legacy of Abū al-Wafā Būzjānī in Art and Architecture. History of Science Journal. 10(2): 65-91. [In Persian]
Taheri, Jafar. 2009. An Introduction to the Knowledge of Mathematics in the Islamic Period: An Inquiry into the Theoretical and Practical Foundations of the Relationship between Mathematics and Islamic Architecture. Doctoral thesis. Shahid Beheshti University. [In Persian]
Taheri, Jafar. 2011. A criticism on the research and correction of Bozjani's "Translation of Al-Najara". Science and Technology Journal. 5(2): 4-9. [In Persian]
Wijdeveld, Paul. 1994. Ludwig Wittgenstein, Architect. Cambridge: MIT Press.
Williams goldhagen, Sarah. 2005. Something to Talk about: Modernism, Discourse, Style. Journal of the Society of Architectural Historians. Vol (64), 144-167.