
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



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، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (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 تا جایی که 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 پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آقای سیدمحسن موسوی با عنوان «طراحی کنسرت‌هال تهران بر اساس اصول هندسه پرگار» با راهنمایی دکتر رضا سامه در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) انجام پذیرفته است.

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

مقدمه

معماری سنتی ایران در سردرگمی باقی می‌ماند. هدف مقاله حاضر به روزرسانی روش طراحی معماری گذشته ایران است. امروزه اهمیت وجود روش‌های طراحی که متناسب با سابقه فرهنگی کشور بوده، بیش از پیش آشکار و با توجه به اینکه معماری ایران از گنجینه عظیمی برخوردار است، لزوم بازخوانی این روش‌ها که دچار فراموشی و گسست شده‌اند، ضروری به نظر می‌رسد. البته مقاله به دنبال نشان دادن برتری این روش در مقابل روش‌های دیگر نیست بلکه در تلاش است ضمن معرفی این فضای هندسی، به بیان روش طراحی در فضای هندسه 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 مقاله حاضر کوشش بر این است ابتدا به بیان هندسه پرگاری به عنوان مبنای متفاوت معماری گذشته ایران و ویژگی‌های آن پرداخته و همچنین چالش‌های طراحی در این فضای هندسی و قواعد و قانون‌مندی‌های آن بیان شود. سپس یک روش شناسی و الگوی طراحی بر اساس هندسه 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 هندسه پرگاری چیست، نیاز به چه ابزار و لوازمی دارد و چگونه می‌توان آن را به کار برد؟

بر اساس اینکه امروزه با استفاده از ابزار و محیط‌های نرم‌افزاری دوتبعی، فضاهای سه‌بعدی خلق و ویرایش می‌شوند، به نظر می‌رسد اگر ابزار طراحی را از دوتبع به بُعد سوم ارتقا دهیم، می‌توان فضای با ابعاد پیچیده‌تر را نیز در آفرینش معماری تجربه کرد و هندسه پرگار به واسطه ماهیت خود که یک ابزار سه‌بعدی 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.

با ابداع دستگاه مختصات توسط دکارت، دنیا دچار تحول 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 رشته معماری، می‌توان به انواع نرم‌افزارها، دستگاه‌های چاپ و بُرش، حکاکی و ... اشاره کرد که بدون مبنای دکارتی قادر به کار نخواهد بود. از سویی، ابزار معماران در گذشته ایران پرگار بوده و به طبع محصول طراحی آن دوره غالباً بر مبنای هندسه قوس و کمان استوار بود. هندسه همواره به عنوان 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 به طور کلی، رابطه میان اندازه‌ها و تناسبات کالبدی برای معماری ایرانی، برخلاف آنچه معمولاً تصور می‌شود و گاه نیز به جدیت عنوان می‌گردد، مورد به مورد تعیین می‌شد. در حالی که معماری مدرن، به سراغ خوانش و نگارش داده‌ها و یا یافته‌های متریک معماری بود (Falamaki 2013).

معماری به مثابه یک دانش تجربی، در ادبیات مکتوب فارسی پیشینه گسترده ندارد و شکل تازه 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 به درستی 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. در حالی که 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

۱. پیشینه پژوهش

همان‌طور که در بخش مقدمه بیان شد، به موضوع آن‌گونه که باید پرداخته نشده است و تنها مواردی را می‌توان یافت که حکایت از توصیف یا گرایش نسبت به کاربرد هندسه در معماری گذشته دارند. از جمله مطالعاتی که به تازگی در پیشینه پژوهش می‌توان یافت، به چند نمونه باید اشاره کرد:

در پایان نامه‌ای با عنوان «روش‌های رسم و کاربرد چند ضلعی منتظم در ریاضیات دوره اسلامی» (تصحیح، ترجمه و شرح رساله اشکال متساوی الاضلاع عبدالرحمن صوفی) که در دانشگاه تربیت مدرس و رشته تاریخ ریاضیات در تمدن اسلامی به سرانجام رسیده است، روش‌های رسم و کاربرد چند ضلعی منتظم با پرگار با دهانه ثابت توسط عبدالرحمان صوفی و ابوالوفا بوزجانی و مقایسه آن‌ها با یکدیگر مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Eezadpanah 2016). مقاله‌ای نیز با عنوان «بازخوانی میراث ابوالوفا بوزجانی در صناعات معماری» به بررسی تطبیقی روش‌های هندسی و میزان عملی بودن آن‌ها با روش‌های معماران و صنعتگران پرداخته است (Taheri & Nadimi 2012). هدف این مقاله روشن ساختن میراث ابوالوفا در ریاضیات و میان اصحاب و دست‌اندرکاران معماری با تکیه بر روش تحلیل (شباهت ساختاری) تاریخی است. در مقاله‌ای دیگر با موضوع «مقایسه روش‌های ابوالوفا بوزجانی، آلبرش دورر و لئوناردو داوینچی در ترسیم پنج ضلعی منتظم»، خواص پنج ضلعی منتظم و روش‌های رسم آن با خط‌کش و پرگار بیان شده و روش‌های ترسیم ابوالوفا، داوینچی و دورر با ذکر نقاط ضعف و قوت، مورد تحلیل قرار گرفته‌اند (Aghayani 2005).

همچنین مقاله‌ای با نقد کتاب «النجاره» بوزجانی و ارائه راه‌حل‌های مختلف برای مسائل هندسی که در صناعات معماری کاربرد فراوان دارد، مبنایی علمی از کاربرد هندسه در این صناعات را ارائه می‌دهد (Taheri 2009). مقاله «کمان‌های پرگار در دیگرام‌های چاپ‌شده رساله

اقلیدس» به بیان خلاصه‌ای از پیشینه روش استفاده و ترسیم نمودارهایی که در رساله اقلیدس وجود داشت، پرداخته است (Lee 2018) و مقاله «نظریه‌های نو برای ابزارهای جدید: پرگار تناسباتی فابریزیو موردنظر و تکوین هندسه برونو» به شرح نوشته‌های برونو^۱ بر پرگار تناسباتی موردنظر^۲ پرداخته است (Rossini 2018). در کتاب «هندسه پرگار» نیز تاریخچه ترسیم ساختمان‌های هندسی به کمک پرگار و خط‌کش طرح شده و نویسنده اثبات کرده که پرگار وسیله‌ای دقیق‌تر و کامل‌تر از خط‌کش است (Kostovskii 1988).

۲. روش پژوهش

موضوع مقاله حاضر، روش‌شناسی طراحی و مدل‌سازی بر مبنای چارچوب هندسه پرگار است. بنابراین، در گام نخست، به بیان اجمالی مبانی معماری امروز که ریشه در اصول حاکم بر معماری غرب دارد و مقایسه آن با معماری ایران پرداخته شده است. در ادامه، تاریخچه هندسه پرگار، ریشه‌های اصولی آن، کاربرد این فضای هندسی در معماری و ویژگی‌های آن بیان گردیده است. در مرحله بعد ابزارهای ارائه شده بر اساس این فضای هندسی مقایسه و بر اساس آن‌ها یک فرایند طراحی پیشنهاد می‌شود. در آخرین گام، فضای هندسه پرگار مدل‌سازی شده و بر اساس آن یک الگوی طراحی مبتنی بر آن ارائه خواهد شد. مقاله بر اساس یک پارادایم علمی طرح شده و با استدلال قیاسی همراه است که در راستای آن، سه راهبرد تطبیقی در مقایسه دو هندسه دکارتی و پرگار، راهبرد منطقی و نهایتاً شبیه‌سازی دنبال می‌شود.

۳. هندسه دکارت؛ مبنای شکل‌گیری معماری مدرن

همان‌طوری که علوم جدید بر اصول مدرنیسم بنا شده، 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 توسعه تاریخی شکل گرفته است (Williams Goldhagen 2005). در معماری، واژه «مدرن» تنها به معاصر بودن دلالت ندارد بلکه به یک جنبش طراحی به خصوص اشاره دارد؛ یک جنبش فکری که احساس می کرد شکل سنتی هنر، معماری، ادبیات و بنیان های اجتماعی در دنیای صنعتی شده منسوخ شده است (Gere 2009). در واقع، فناوری به عنوان اساسی ترین مبنای معماری مدرن به شمار می رفت و در به کارگیری مصالح، سودمندی و جنبه های فنی نسبت به ارزش های فرهنگی و معنایی آن ارجح تر بود. لذا برخلاف جنبه های خاطره پذیری و دیرپایی اثر معماری، بر تکنیک تأکید فراوان وجود داشت و معماران آن دوره برای بریدن از گذشته خود و مفاهیم تاریخی و اجتماعی نمادها بسیار مصمم بودند (Wijdeveld 1994). معماری مدرن به عنوان سبکی برای دوران صنعتی و تلاش برای قطع خود از سنت های گذشته به وجود آمد و در آن تزئینات با سادگی جایگزین شد (Levine 2018; Morgenthaler 2016). اما آیا معماری مدرن را می توان تنها طراحی عملکردی بر اساس ویژگی های مصالح جدید در ساختمان های صنعتی مانند شیشه، فولاد و بتن مسلح دانست؟

برای درک بُعد تازه ای از معماری مدرن باید یک روش نوین یافت؛ زیرا هنر مدرن از طریق اصول زیبایی شناسی و تاریخی قابل استنباط نیست. تاریخ شناسان و نظریه پردازان هنر به موضوع طی دهه های پایانی قرن ۱۹ بسیار توجه نموده اند. برای مثال، آلویس ریگل^۳ بیان کرده که رابطه بین هندسه و هنرهای تجسمی مانند رابطه بین ریاضی و طبیعت است (Wijdeveld 1994). برخی از طراحان و فلاسفه معتقد بودند که معماری مدرن دربرگیرنده معنا و مفهومی خاص است تا آنکه تنها درباره سازه و ساختار بنا باشد (Levine 2018). دونالد اولسن^۴ چنین می نویسد: «معماری خلق یک اثر هنری که تنها به دنبال لذت باشد، نیست؛ بلکه باید ایده، ارزش و بیان قابل لمسی از یک سیستم فکری باشد» (Olsen

1986). در صورتی که معماری مدرن با اتکا بر سیستم دکارتی و مبتنی بر 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 نسبت به این مبدأ با مختصات (X,Y,Z) موقعیت یابی 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 مختصات یابی نقطه نسبت به مبدأ، دستگاه مختصاتی را روی تمام نقاط موجود در فضا پایه ریزی کردند.

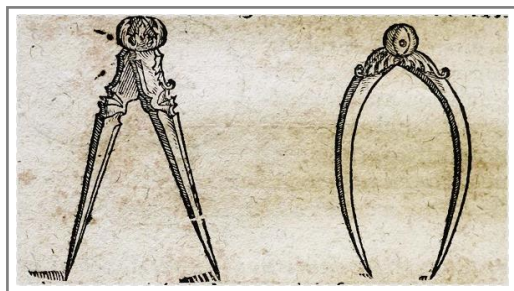
از طرفی، در معماری کهن ایران به دلیل نبود دسترسی به نوشته ها و فقدان نقشه، طرح های معماری هرگز تحلیل نشده اند و هر بار که گرایشی نسبت به آن تحقق پذیرفته، جز چیزی در حد تکرار و تقلید محدود و نسبی نبوده است (Falamaki 2013). در این خصوص، سالینگاروس^۵ درباره استفاده از تکنیک های ریاضی در طراحی می گوید: «ساختمان های معاصر در دستیابی به کیفیت های انسانی ساختمان های قدیمی تر ناکام هستند؛ زیرا این کیفیت ها از یک سنت ساخت برمی خاستند که الگوها در آن غنای بیشتری داشتند. غرب، سبک های طراحی و گونه های نامعقول و ناسازگاری را صادر می کند که حاصل صنعتی سازی است و سنت های محلی پایدار را محو می سازند. پوشش ر سانه های جمعی نیز در کنار جهانی شدن، باقی جهان را متقاعد می کنند که فرهنگ ساخت و ساز خود را ادامه دهند» (Salingeros 2007). بنابراین، امروزه می توان مدعی بود که هویت ما تا حد زیادی معطوف به نظام دکارتی شده است. برخلاف گذشته که به معماری به عنوان یک پدیده کیفی می نگریست؛ امروزه، آموزش معماری در ایران مبتنی بر سیستم مختصات دکارتی بوده و به معماری به مثابه یک پدیده کمی و بر اساس داده های متریک توجه می شود. بدیهی است با این شیوه، محصولاتی مشابه قبل صورت نمی پذیرد.

۴. هندسه پرگار و کاربرد آن

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 ۱۶ میلادی، نهضت جدیدی برای استفاده مجدد 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 استفاده آزادانه‌تر از دایره که نشان‌دهنده استفاده موثر این ابزار بود، کشیده می‌شد.

رابرت ریکورد^۶ 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 داد: «ورای هر مرکزی، یک دایره با هر ابعادی که بخواهید می‌تواند ساخته شود.» پترس راموس^۷ نیز در کتابش که به بیان کاربرد هندسه پرداخته و پرگار را به‌عنوان عالی‌ترین ابزار هندسی بیان کرده است. ابزاری که اعتقاد داشتند توسط دایدالوس^۸ ابداع شده و آلبرتی^۹ و کاردانو^{۱۰} توانستند تمام مسائل رساله‌المنتس^{۱۱} را به کمک آن حل کنند (Lee 2018).



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

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

لورنتسو ماسکرونی^{۱۲}، ریاضی‌دان ایتالیایی و استاد دانشگاه پادوآ^{۱۳} در سال ۱۷۹۷، اثر بزرگ خود به نام «هندسه پرگار» را

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 اصطرباب که نیازمند قرارگیری دقیق علائم و نمایان‌گر فضای سه‌بعدی در دو بُعد است، با هم درهم‌تنیده هستند. از این ابزارها برای یافتن جهت و محاسبات فضایی و محاسبه 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 نمی‌شود 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 از طرفی در ساخت ابزار نجومی مهارت داشتند، به‌وجود آمدن هندسه پرگاری نزد آن‌ها چندان عجیب و دور از ذهن نیست.

بوزجانی و صوفی از منجمان مشهور دوره اسلامی که مخترع ابزار نجومی نیز بوده‌اند، نخستین کسانی هستند که ترسیمات هندسی را با پرگار و دهانه ثابت آن انجام داده‌اند. بوزجانی در رساله خود مباحثی جهت آسان‌نمودن کار معماران به رشته تحریر درآورد که شامل چهار مقوله زیر می‌باشد: الف) معرفی و روش‌های ترسیم اشکال (دو و سه‌بعدی) پایه هندسی؛ ب) ساختارهای ترکیبی هندسه؛ پ) مصادیق عملی صناعات معماری؛ و ت) ابزارآلات ترسیمی. در یونان باستان برخلاف دوران اسلام، نشانه‌ای از کاربرد هندسه عملی مشاهده نمی‌شد (Taheri 2009). بوزجانی ترسیماتی را با دهانه ثابت پرگار به‌منظور بالارفتن دقت ترسیمات و تسهیل کار معماران انجام داده است که این روش در بین معماران، به‌تدریج وارد هندسه

چاپ کرد که در آن، حکم زیر ثابت شده است: «هر مسئله ساختمانی را می‌توان با دقت و تنها به کمک پرگار حل نمود.» کوستوفسکی^{۱۴}، ریاضیدان مشهور، در کتابی مشابه به همان نام چنین بیان می‌کند: «شاخه‌ای از هندسه که به مطالعه ساختمان‌های هندسی تنها به کمک یک پرگار می‌پردازد، هندسه پرگار می‌نامند.» در حکاکای ورقه‌های نازک فلزی، برای نشان گذاری روی ابزارهای نجومی، به این حقیقت توجه شده است و معمولاً تنها از پرگار استفاده می‌شود (Kostovski 1988). احتمالاً همین نیاز، انگیزه 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 دوره اسلامی توسط فرانتس وپکه^{۱۵} (۱۸۵۵م) یافت شده است. او با تحلیل انتقادی ترجمه‌های 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. به دنبال وی شماری از تاریخ‌نگاران هنر اظهار کردند به نظر می‌رسد نقش‌های پیچیده هندسی و آثار هنری در جهان اسلام مبتنی بر دانش ریاضی بوده که در رساله‌های مربوط به هندسه عملی آمده است (Necipoglu 1999).

کاربرد الگوهای دوبعدی و سه‌بعدی هندسه 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 آفریقا است (Bloom & Blair 2009; Broug 2013). اگرچه هندسه این الگوها در حال حاضر با انتخاب‌های آگاهانه مردم در طراحی و به عنوان یک ویژگی ذاتی تولیدات معماری هستند، به نظر می‌رسد این موضوع که اهمیت بیشتری در تمدن‌های اسلامی دارد، اغلب به ممنوعیت به کارگیری تصاویر چهره نسبت داده می‌شود. زیرا از لحاظ مذهبی مخالفت شدید مسلمانان با هرگونه تزئینات تصویری که جنبه‌ای از بت پرستی به شمار می‌آید، 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 به وجود نیامده است بلکه توضیحات منطقی دیگری برای تأکید بر کاربرد هندسه پرگار در به وجود آمدن اشکال هندسی وجود دارد (Allen 1988; Freedberg 1989; Belting 2011). در طول تاریخ، انسان‌ها از تزئینات برای آراستن ساختمان‌ها، ابزارها و متعلقاتشان استفاده می‌کردند. وجود هندسه پرگار در یادمان‌های اسلامی مانند گنبد سنگی اورشلیم در اواخر قرن ۱۷ که با نقشه‌های هشت گوش 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 به عنوان یک موضوع کیفی می‌نگریسته و تناسبات یک ساختمان را در یک دایره مبنا منتقل می‌کرده، یک باور توحیدی بوده که وحدت، سرچشمه و نقطه پایانی به هم رسیدن تمام کثرت‌هاست.

۵. ابزار و روش در هندسه پرگار

در قرون وسطا نجارها و بناها از پرگار استفاده می‌کردند؛ یک پرگار با یک پایه ثابت و یک پایه متحرک 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 پایه ترسیم غالب اشکال، نقوش و حتی ساختار کلی ابنیه بوده است. تنها چیزی که معماران سنتی برای ترسیم نقشه‌های ساختمانی، در مقیاس واقعی در اختیار داشته‌اند، یک تکه طناب بود. آن‌ها یک سر این

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). بی‌هیچ شک، پرگار گالیله خاکستر اشتیاق ابزار سازان برای ساخت ابزار نجوم را برافروخته کرد و در ادامه، یک سری کتاب درباره کاربرد و ساخت پرگار، به‌سرعت، منتشر شد. فرانسیس بیکن^{۱۷} درباره 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^{۱۸} در دهه 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^{۱۹} 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 ۳: تصویر پرگار موردنظر؛ منبع: موزه گالیله، فلورانس، (Rossini 2018)
Fig. 3: The compass of Mordente. Source: Rossini 2018

طناب را به نقطه‌ای ثابت می‌بستند و تکه‌چوبی را به سر دیگر آن وصل می‌کردند؛ سپس با کشیدن طناب در راستای افق، حول نقطه ثابت حرکت می‌کردند. به این ترتیب، می‌توانستند دایره‌ای کامل رسم کنند که اندازه شعاع آن به‌وسیله طول طناب تعیین می‌شد. خطوط راست نیز با کشیدن طناب بین دو نقطه ثابت رسم می‌شد. از آنجاکه 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 هندسه پرگار بود، رسم اشکال و اندازه‌گیری تنها با پرگار دهانه ثابت و خطکش غیرمدرج بوده است.

موردننه مبدع اولین پرگار بر مبنای نسبت بود. ابزاری که بر اساس اصول مثلثات برای حل مسائل هندسی و حساب ساخته شده بود. پرگار او به‌واسطه آنکه زیر سایه یک پرگار ابداع شده توسط گالیله^{۱۶} قرار داشت، تا اواخر دهه ۱۸۰۰ میلادی ناشناخته ماند. علی‌رغم اهمیت پرگار موردننه در تاریخ علم، درک تفاوت پرگار کاهشی و تناسباتی ضروری به‌نظر می‌رسد. هدف اصلی «پرگار کاهشی» کوچک یا بزرگ کردن ترسیمات بود. از طرف 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.

موردننه با مطالعه دقیق ابزارهایی مانند اصطربلاب دریافت که دقت آن‌ها نسبت مستقیم با تعداد بخش‌هایی دارد که



شکل ۴: تصویر پرگار کاهشی از مجموعه مدیچی؛ منبع: موزه گالیله، فلورانس، (Rossini 2018)

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



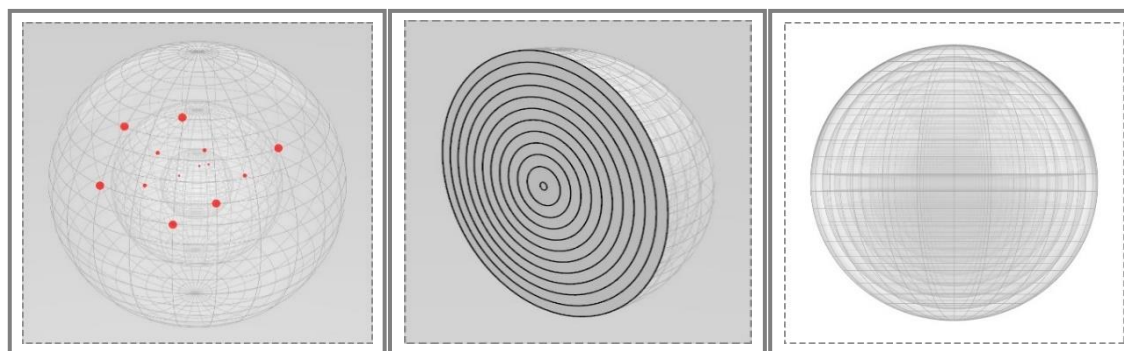
شکل ۴: نمودار روش، ابزار و کاربرد هندسه‌ی پرگار

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

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 کره فرضی ترکیب شود.

۶. شبیه‌سازی ابزار طراحی بر مبنای هندسه‌ی پرگار

هدف از پیشنهاد الگوی شبیه‌سازی، ارائه روشی برای ساخت ابزار سه‌بعدی طراحی است تا به کمک آن بتوان بُعد چهارم را خلق و تجربه کرد. مطابق این الگو، کره که حجم سه‌بعدی دایره است، به قسمت‌های برابر در مدارها و نصف‌النهارها تقسیم شده و چند کره فرضی نیز به تعداد



شکل ۵ تا ۷: تصویر فضای شبیه‌سازی شده هندسه‌ی پرگار

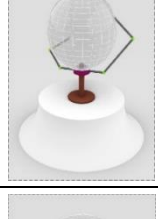

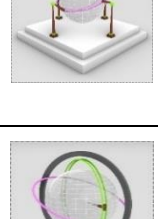
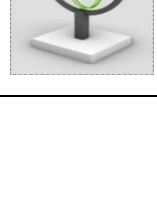
Fig. 5- 7: Image of a simulated compass geometry space

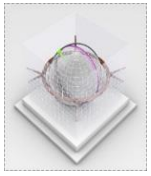
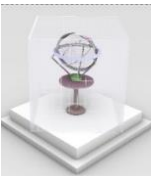
می‌دهد. این حلقه نیز خود در داخل یک حلقه خارجی قرار دارد که قابلیت چرخش و حرکت در این حلقه خارجی را دارد. در دسته آخر، روش کار تقریباً مشابه نمونه سوم است با این تفاوت که در نمونه‌های طراحی شده این گروه، قابلیت تبدیل ترسیمات فضای هندسه‌ی پرگار به فضای هندسی دکارتی وجود دارد. یعنی بر اساس قرارگیری صفحه

ابزارهای طراحی شده بر اساس پارادایم پیشنهادی در چهار مجموعه کلی ارائه شده‌اند. در دسته اول، ابزار ترسیم در داخل کره فرضی و متصل به یک پایه قرار گرفته است. در دسته 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

مختصات دکارتی، شکل ترسیم شده در فضای پرگاری می تواند روی این صفحه مختصات تصویر شود. مدل و ابزارهای ارائه شده بر اساس این الگو بیشتر جنبه 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.

جدول ۱: بررسی نقاط قوت و ضعف ابزارهای طراحی
Table 1: Cons and pros of the design tools.

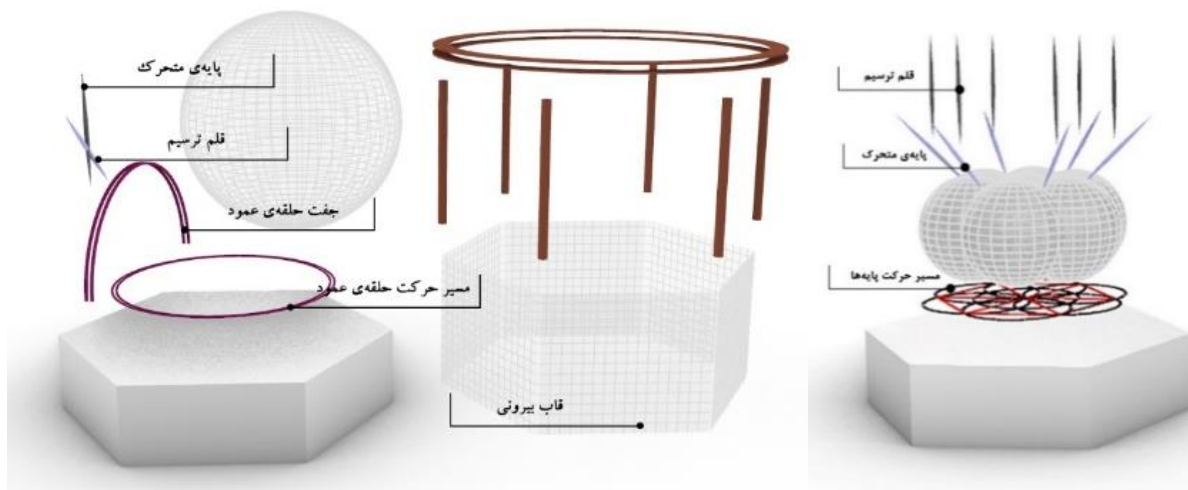
دسته‌بندی	تصویر مدل	نقاط قوت	نقاط ضعف
گروه یکم		<ul style="list-style-type: none"> - قلم تنظیم‌پذیر - چرخش در تمامی جهات حول مرکز گوی 	<ul style="list-style-type: none"> - عدم عبور قلم ترسیم از پایه - عدم پوشش قلم در تمام سطح کره
		<ul style="list-style-type: none"> - قلم تنظیم‌پذیر - چرخش در تمام جهات - قابلیت عبور قلم از داخل پایه - چرخش حول مرکز پایه - چرخش پایه حول محور دایره‌ای 	<ul style="list-style-type: none"> - دشواری ترسیم به جهت نیازمند بودن چرخش‌های مکرر در دو محور متفاوت - قرار گرفتن پایه در داخل حجم کره
گروه دوم		<ul style="list-style-type: none"> - قلم تنظیم‌پذیر - سهولت در ترسیم جهت مدارها - چرخش آسان حول محور دایره‌ای - بیرون بودن پایه و محورهای ترسیم خارج از حجم کره 	<ul style="list-style-type: none"> - دشواری ترسیم در جهت نصف‌النهارها - دشواری ترسیم خطوط غیر منحنی
		<ul style="list-style-type: none"> - قلم تنظیم‌پذیر - قابلیت ترسیم در هر دو جهت مدار و نصف‌النهارها - قرار گرفتن پایه خارج از حجم کره - ترسیم آسان تر خطوط غیر منحنی 	<ul style="list-style-type: none"> - دشواری ترسیم به جهت داشتن دو محور متفاوت - دشواری چرخش حول محورهای گوی
		<ul style="list-style-type: none"> - 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 	<ul style="list-style-type: none"> - دشواری ترسیم به جهت داشتن دو محور متفاوت - دشواری چرخش حول محورهای گوی
گروه سوم		<ul style="list-style-type: none"> - قلم تنظیم‌پذیر - چرخش در تمامی جهات - قابلیت تغییر محور ترسیم در دو محور متداخل دایره‌ای 	<ul style="list-style-type: none"> - دشواری تغییر جهت پایه‌ها - چندمحوری بودن ترسیمات - دشواری چرخش حول مرکز گوی‌ها
		<ul style="list-style-type: none"> - 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 	<ul style="list-style-type: none"> - فرم نامناسب - چندمحوری بودن قلم ترسیم

<p>- عدم چرخش قاب بیرونی</p>	<p>- قلم تنظیم‌پذیر - قابلیت تصویر کردن به فضای دوبعدی دکارتی - قابلیت چرخش در دو محور - ترسیم راحت در دو محور مدار و نصف‌النهارها</p>		<p>شماره ۸</p>	<p>گروه چهارم</p>
<p>---</p>	<p>- قلم تنظیم‌پذیر - قابلیت تصویر کردن به فضای دوبعدی دکارتی - قابلیت چرخش در دو محور - ترسیم راحت در دو محور مدار و نصف‌النهارها - قابلیت تنظیم قاب بیرونی و چرخش آن</p>		<p>شماره ۹</p>	

۱.۶. مدل ابزار ترکیبی پیشنهادی

پس از معرفی انواع ابزارها و بررسی نقاط قوت و ضعف آن‌ها، به ارائه 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 هر یک از ابزارها که شامل قلم ترسیم، پایه و محورهای حرکتی هستند، مشخص شده و شاخص‌های هر یک از آن‌ها که در تمام نمونه ارائه شده مشترک است، تبیین شده است. در نهایت، ابزار پیشنهادی شامل یک جفت حلقه روی سطح زمین که به عنوان مسیر حرکتی یا

ریل برای یک جفت حلقه عمود بر آن است. یک پایه بین این دو حلقه 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 ذکر شده، قلم توانایی کوتاه و بلند شدن دارد. در خارج از این ابزار نیز قابی شبکه‌بندی شده با قابلیت چرخش حول مرکز کره وجود دارد و این امکان را فراهم می‌سازد تا از جهات مختلف، مدل ترسیم شده در فضای هندسه 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: شاخص ها و امکانات مشترک ابزارهای طراحی

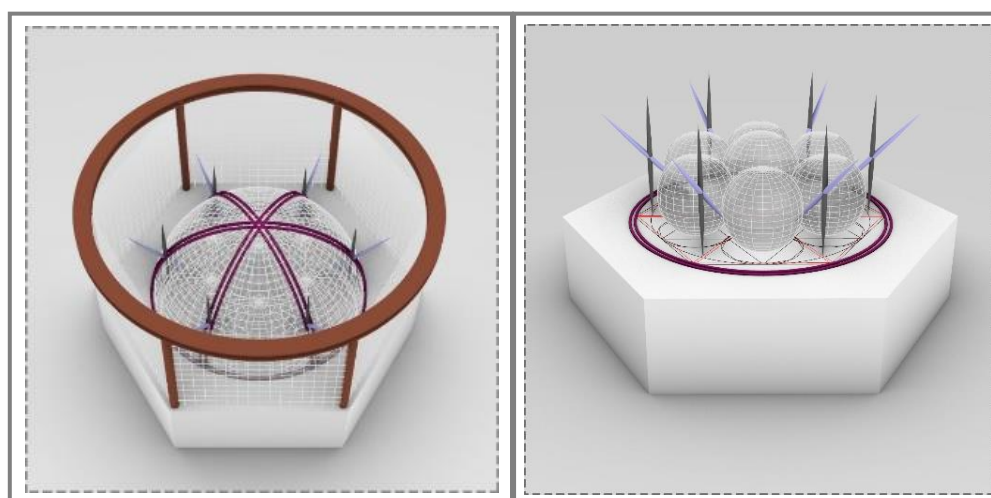
Table 2: Indicators and common features of design tools

اجزا	شاخص ها	امکانات
قلم	تنظیم پذیر بودن قلم	قابلیت کوتاه و بلند شدن قلم متناسب با نوع ترسیم
	قابلیت ترسیم و حرکت در تمامی محورها	سهولت ترسیم در مدار و نصف النهارها و ترسیم راحت خطوط غیرمنحني
پایه	چرخش راحت قلم بر روی محورها	قابلیت ترسیم در تمامی محورها و بی نیاز کردن تغییر جهت مداوم پایه ها
	محل قرارگیری مناسب و تغییر جهت پایه ها	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

۲,۶. روش استفاده از ابزار ترکیبی در ترسیم هندسه پایه

بر اساس ابزار ترکیبی پیشنهادی، در این قسمت به کمک آن مدل سازی در یک نمونه ساده انجام می شود. بدین منظور، ابتدا یک نقطه به عنوان پیش فرض در نظر گرفته شده که در

ادامه به شبکه ای از نقاط رسیده است. سپس بین هر دو نقطه، ریل های متصل کننده شبکه نقاط به یکدیگر ایجاد شده اند؛ یعنی بین هر دو نقطه یک ریل در نظر گرفته شده است.



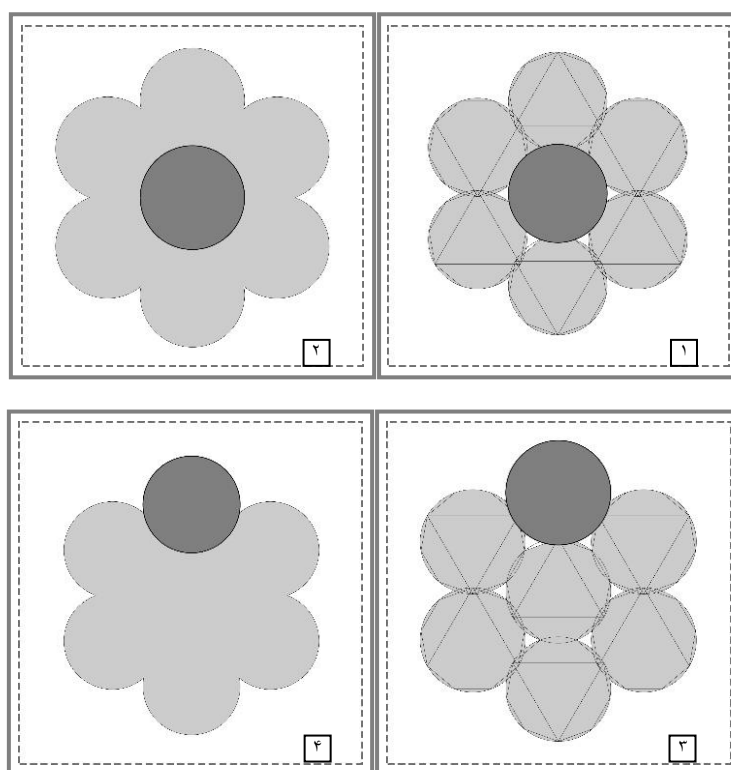
شکل ۹ و ۱۰: اجزا و نحوه عملکرد مدل ترکیبی
Fig. 9 to 10: Features of hybrid model.

محور عمودی یا پایه ها نیز در داخل این شیارها حرکت می کنند. همچنین قلم ترسیم به پایه ها متصل شده و کاملاً آزاد هستند. روش کار این ابزار مثل پرگاری است که یک بازوی آن روی زمین و متحرک و دیگری روی هوا می تواند زوایای مختلف را تولید نماید. محورهای عمودی با حرکت خود مختصات های مختلفی ایجاد و بازوها با تغییر زاویه خود، فرم را متغیر می کنند. در این حالت دایره دیده نمی شود، ولی در تمام ترسیمات یک دایره پنهان وجود

دارد. طرح اولیه ارائه شده به این صورت است که ابتدا یک مثلث متساوی الاضلاع و یک نهضلعی را در داخل یک دایره به مرکز و شعاع دلخواه محاط کرده، سپس شکل به وجود آمده را حول محور یکی از اضلاع نهضلعی ترسیم می کنیم. نتیجه شش مرتبه حول مرکز دایره تکرار می شود. در نهایت، قسمت هایی را که داخل دایره اصلی وجود دارد، پاک می کنیم. شکل حاصل از ترکیب چند دایره با چند مرکز

می‌یابند. لازم به ذکر است که این طرح هندسی، تنها یک نمونه ابتدایی و ساده مبتنی بر ابزار پیشنهادی است.

مجزا تشکیل شده است، در حرکت هستند و مرکز مشخصی ندارند. در نمونه بعدی یکی از دایره‌های اطراف شکل را به عنوان دایره اصلی در نظر می‌گیریم و همین مراحل ادامه



شکل ۱۱ تا ۱۴: تصاویر مراحل شبیه‌سازی الگوی اولیه بر اساس هندسه پایه
Fig. 11 to 14: Images of the initial pattern simulation steps based on basic geometry

الگوی برای تکوین کار ارائه شده که گام‌های آن به شرح زیر است:

- ۱- ترسیم یک دایره به مرکز و شعاع دلخواه؛ تقسیم آن به ۴ قسمت و اتصال نقاط به وسیله ۴ خط از مرکز دایره؛
- ۲- ترسیم یک مثلث متساوی‌الاضلاع و سه مرتبه تکرار آن حول مرکز دایره؛
- ۳- رسم یک ۴ ضلعی حول مرکز دایره و اتصال هر رأس آن به رأس روبه‌رو و نظیر آن؛
- ۴- تکرار شکل به دست آمده حول محور یکی از اضلاع ۴ ضلعی؛
- ۵- ترسیم دایره‌ای به مرکز دایره تکرار شده به طوری که محیط آن مرکز دایره اصلی را قطع کند؛
- ۶- تکرار دایره اصلی حول مرکز دایره بزرگ‌تر و به تعداد ۴ عدد؛

۸.۷. تکوین هندسه برای دستیابی به الگوی طراحی

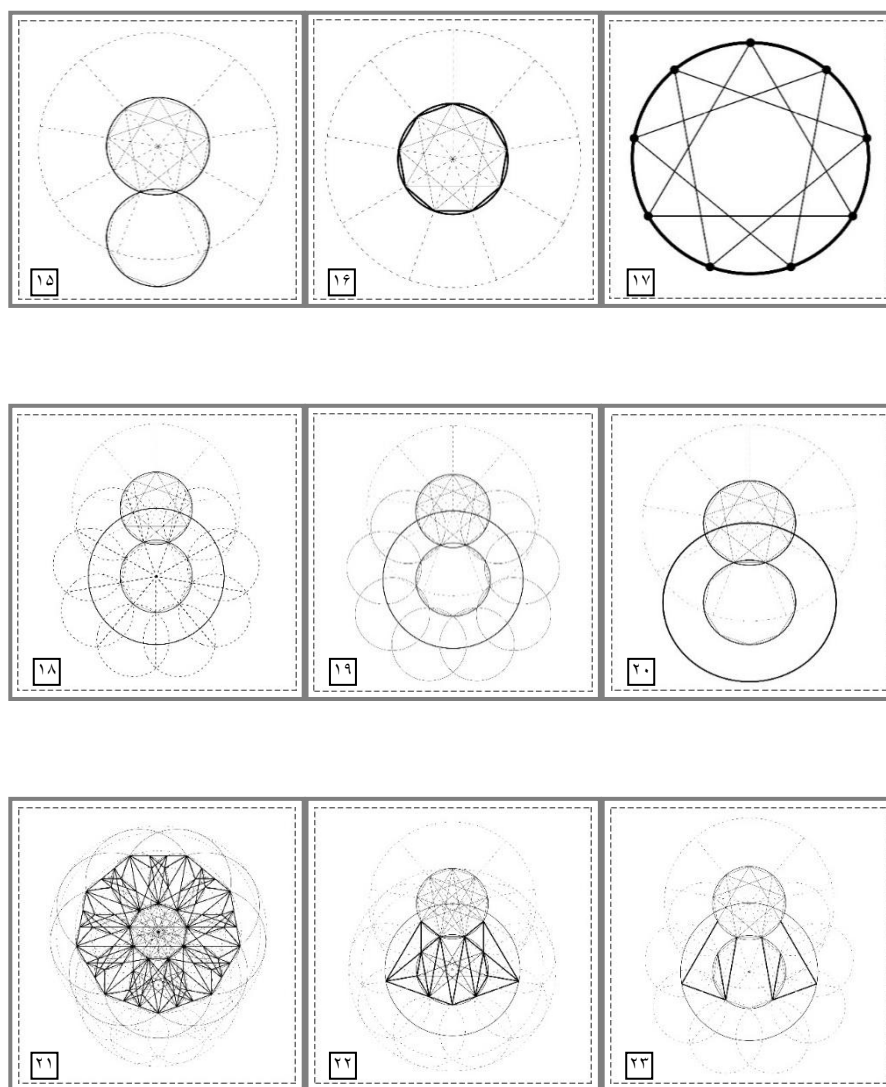
همان‌طور که بیان گردید، فضای هندسه پرگار در الگوی پیشنهادی به صورت یک کره فرض شد که سطح آن به قسمت‌های مساوی در مدار و نصف النهارها تقسیم شده است. سپس، کره فرضی به قسمت‌های کوچک‌تر به مرکز کره بزرگ‌تر تکرار و سطح هر کدام از کره‌های متداخل نیز مانند بزرگ‌ترین کره، شبکه‌بندی شده است. از برخورد مدار و نصف النهارها نقاطی به دست می‌آید که اگر این نقاط به یکدیگر و به دیگر نقاط کره‌های دیگر وصل شود، فضای ترسیمی هندسه پرگار شکل خواهد گرفت. سپس، ابزارهای طراحی بر اساس این الگو پدید آمدند که منجر به تولید یک ابزار ترکیبی جهت مدل‌سازی گردید و در نهایت یک هندسه پایه (برای نمونه) برای دستیابی به طرح و آزمون در نظر گرفته شد. سرانجام، بر اساس اصول هندسه پایه،

۹- اتصال دو رأس بالایی نه‌ضلعی به دو رأس نظیر و روبه‌روی آن؛ و

۱۰- تبدیل چهارضلعی‌های به‌دست‌آمده به سه‌ضلعی.

۷- اتصال مرکز دایره بزرگ‌تر به محل تلاقی دایره‌های به‌دست‌آمده؛

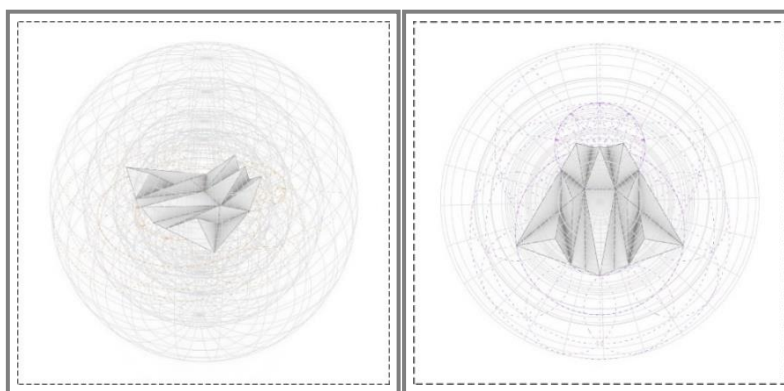
۸- ترسیم امتداد دو ساق مثلث متساوی‌الاضلاع در دایره اصلی تاجایی که محیط دایره بزرگ‌تر را قطع کند؛



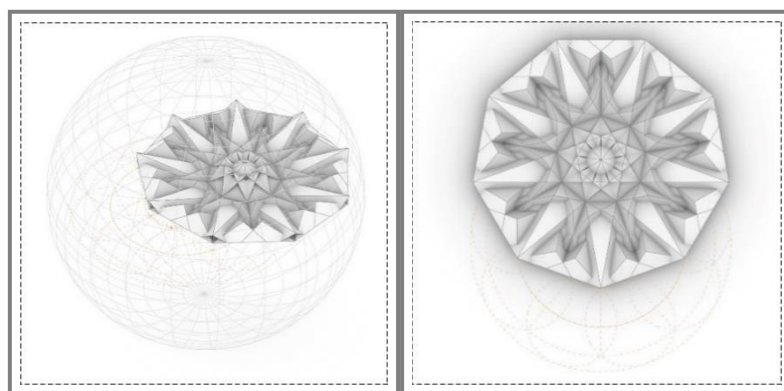
شکل ۱۵ تا ۲۳: مراحل تکوین مدل طراحی بر اساس هندسه پایه
Fig. 15 to 23: The evolution of the design model based on the basic geometry.

درآمده‌اند و فرآیند شبیه‌سازی آن کاملاً تجربی بوده است. مراحل بعد با تکیه بر ذوق و مهارت طراحان و در نظر گرفتن قواعد زیبا شناسی قابل پیگیری خواهند بود که حکایت از آزادی عمل و اراده طراح در انعطاف‌پذیری فرم‌ها دارند. شکل‌های ۲۴ تا ۲۷ مدل سه‌بعدی حاصل از هندسه تکوین‌یافته را نمایش می‌دهند.

در ادامه، سه ضلعی‌های حاصل از هندسه تکوین‌یافته در فضای هندسه پرگار به صورت صفحات سه‌بعدی درآمده و ارتفاع آن‌ها تنظیم شده است. در نهایت، صفحه‌های مورد نظر حول مرکز دایره اصلی و به تعداد نهم‌مرتبه تکرار شده است. این روند به صورت اجرایی در شکل‌های ۱۵ تا ۲۳ به ترتیب به نمایش



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



شکل ۲۶ و ۲۷: نمای سه‌بعدی از حجم حاصل از هندسه تکوین یافته
Fig. 26, 27: Perspective view of the surfaces derived from evolved geometry.

نتیجه‌گیری

البته مقاله به دنبال نمایش برتری فضای هندسی پرگار نسبت به هندسه 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 فراهم آوردن ابزاری نوین که متناسب با فرهنگ گذشته ما است، 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 تحول اساسی در سازوکارهای آینده معماری به‌شمار خواهد رفت.

ابداع دستگاه مختصات توسط دکارت موجب دگرگونی‌های اساسی در دنیا شد و از طرف 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 مقاله حاضر تلاش شد با تشریح فضای هندسه پرگار و بیان ویژگی‌های آن، روش شناسی طراحی این فضای هندسی به‌روزرسانی گردد و امکان تحقق و پیگیری آن به‌گونه‌ای فراهم باشد تا بتوان به کمک آن به تولید فرم‌های معماری متفاوت با دستگاه دکارتی پرداخت که پس از ارائه ابزار مورد نظر برای طراحی در این فضای هندسی برای آزمون کار، یک طرح ابتدایی نیز با کمک این ابزار مدل‌سازی شد.

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 دوره اسلامی (تصحیح، ترجمه و شرح رساله اشکال متساوی‌الاضلاع عبدالرحمن صوفی). پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته تاریخ ریاضیات در تمدن اسلامی، تهران: دانشگاه تربیت مدرس.
- آقایانی چاوشی، جعفر. ۱۳۸۴. مقایسه روش‌های ابوالوفا بوزجانی، آلبرش دورر و لئوناردو داوینچی در ترسیم پنج ضلعی منتظم. مجله آینه میراث، دوره ۲۸ (۳): ۱-۲۸.
- بروگ، اریک. ۱۳۹۴. نقوش هندسی در معماری اسلامی. ترجمه مژگان هاتفی. تهران: نشر سیمای دانش.
- سعید، عصام و عایشه پارمان. ۱۳۹۷. نقش‌های هندسی در هنر اسلامی. ترجمه مسعود رجب‌نیا. تهران: انتشارات صدا و سیمای جمهوری اسلامی ایران.
- طاهری، جعفر و هادی ندیمی. ۱۳۹۱. بازخوانی میراث ابوالوفا بوزجانی در صناعات معماری. مجله تاریخ علم، دوره ۱۰ (۲): ۶۵-۹۱.
- طاهری، جعفر. ۱۳۹۰. نقدی بر تحقیق و تصحیح (ترجمه کتاب النجاره) بوزجانی. مجله علوم و فنون، دوره ۵ (۲): ۴-۹.
- _____. ۱۳۸۸. مقدمه‌ای بر دانش ریاضیات در دوره اسلامی: جستاری در بنیان‌های نظری و عملی پیوند ریاضیات با صناعات معماری اسلامی (سده‌های دوم تا یازدهم هجری). رساله 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. ۱۳۶۶. علم در اسلام. ترجمه احمد آرام. تهران: انتشارات سروش.
- نیکیتوویچ کوستوفسکی، الکساندر. ۱۳۶۷. هندسه پرگار: ساختمان‌های هندسی به کمک پرگار. ترجمه 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 Organization 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 AlpayÖz dural). Leiden and Boston: E. J. Brill.
- Necipoğlu, Gülru. 1999. The Topkapi Scroll—Geometry and Ornament in Islamic Architecture: Topkapi Palace Library 1956; 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.