

پارادایم معماری پارامتریک در آثار معماری اسلامی ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۱

کد مقاله: ۹۸۶۱۹

علی مدبریان^{۱*}، محمدرضا پاکدل فرد^۲

چکیده

تزئینات در آثار معماری اسلامی ایران علاوه بر زیبایی، القای مفاهیمی چون نظم و وحدت وجودی است که در قالب نقوش هندسی و ... دیده می شود. طراحی پارامتریک یکی از رویکردهای فراگیر در فضای طراحی امروز جهان است. این رویکرد، معماری را وارد قلمروهای جدید فرم شناسی و روش شناسی کرده است. بعد از تحولات انقلاب صنعتی و با پیشرفت تکنولوژی و ظهور نیازهای جدید، بافت سنتی و ارگانیک شهرها که بر اساس اصول اقلیمی و محیط پیرامون شکل گرفته بود، به تدریج به دست فراموشی سپرده شده و اندیشه های جدید جایگزین آن شده است. مدرنیته بدون توجه به هویت بومی و اجتماعی، با استفاده از فرم های افلاطونی به خلق فضاهای بی روح و ناکارآمد کرده است. رویکرد مدرن به فضاهای شهری بر مبنای کانسپت فضای ایزوتروپیک شکل گرفته است؛ در حالی که شهرهای سنتی در بافت های قدیمی دارای هندسه های ارگانیک می باشند که در ادامه به بررسی نمونه ها و کاربرد هندسه و فراکتال اقلیدسی در آثار معماری اسلامی با کاربرد معماری پارامتریک خواهیم پرداخت که نشان دهنده ارزش های پنهان معماری اسلامی است که سال ها به دلیل حاکمیت تفکر ناشی از غرب زدگی و معماری مدرن، مورد بی توجهی قرار گرفته بود.

واژگان کلیدی: هندسه، تزئینات، پارامتریک، معماری اسلامی، ایران.

۱- پژوهشگر دکتری معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز، ایران. (نویسنده مسئول)

Alimdbn31@gmail.com

۲- استادیار گروه مدیریت معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز، ایران

۱- مقدمه

رشد و گسترش هنر اسلامی در طول سده‌های متمادی موجب پیدایش گنجینه‌های عظیم از الگوهای هندسی در هنر و معماری سرزمین‌های اسلامی شده است که معمولاً در کنار عملکردهای گوناگون، کاربرد تزئیناتی نیز داشته‌اند. هندسه دانش اساسی مطالعه، اندازه‌گیری و جستجوی رابطه میان شکل‌ها، توده‌ها و فضاها و یکی از اساسی‌ترین زیرساخت‌های معماری اسلامی می‌باشد. در هنر مقدس هیچ تمایزی میان هنر و تکنیک یا زیبایی و روش‌های ساخت وجود ندارد و معماری مذهبی همیشه به هندسه‌ای کیفیت‌گرا برای بیان محتوا و ایده‌های سمبلیک نیاز داشته است. تأثیر سنت در معماری کشورهای اسلامی به خصوص معماری معاصر خاورمیانه بسیار قابل توجه است. شاید بتوان اوج تحول معماری معاصر در کشورهای اسلامی را دهه ۷۰ میلادی بدانیم. در این سال‌ها به ویژه در کشورهای خاورمیانه و به دلیل ثروت موجود به واسطه وجود نفت در این کشورها عطش توسعه در حوزه معماری پا به پای دیگر کشورها شکل گرفت (Leopold, 2005). عشق مسلمانان به ریاضیات، خاصه هندسه و عدد، مستقیماً به اصل پیام اسلام مربوط می‌شود، که همانا عقیده به توحید است. در جهان بینی اسلامی، ویژگی تقدس ریاضیات در هیچ‌جا بیشتر از هنر ظاهر نشده است. در هنر، ماده به کمک هندسه و حساب شرافت یافته و فضایی قدسی آفریده که در آن حضور همه جایی خداوند مستقیماً انعکاس یافته است. نقش‌های هندسی بی‌نهایت گسترش‌پذیر، نمادی از بعد باطنی اسلام است و این مفهوم صوفیانه «کثرت پایان‌ناپذیر خلقت، فیض وجود است که از احد صادر می‌شود: کثرت در وحدت» (نصر، ۱۳۶۶: ۱۴۳۹). روند طراحی پارامتریک، به مدل پارامتریک وابسته است و پاتریک جَنسن^۱ بین تکنیک‌های مختلف مدلسازی پارامتریک، مدلسازی آبژه، مدلسازی مشارکتی، مدلسازی جریان‌داده‌ها و مدلسازی روندمحور، تمایز قائل می‌شود؛ تمایزی که وجه تمایز اساسی آن، توان این تکنیک‌ها در تکرار روند مدل‌سازی پارامتریک است (Janssen & Stouffs, 2015). در واقع، استفاده‌ی این چنین از اصول پارامتریک لزوماً به سبک خاصی منجر نشده و تنها، روشی کارآمد برای بیان‌های هندسی متنوع است؛ موضوعی که باعث شد بری عنوان کند که: طراحی غیرپارامتریک اکنون دیگر غیرقابل تصور است (Burry, 2011). برداشتی که امروزه از معماری پارامتریک داریم، تفاوت چندانی با آنچه مورتی در دهه‌ی ۱۹۴۰ میلادی مطرح کرد، ندارد؛ گرچه واژگان آن تغییر کرده است. یک تعریف جامع از واسم جابی^۲ طراحی پارامتریک را این گونه معرفی می‌کند: «طراحی پارامتریک: روندی بر اساس تفکر الگوریتمی است که امکان بیان پارامترها و قوانین حاکم بر طرح را فراهم می‌کند. پارامترها و قوانینی که در کنار هم، رابطه‌ی بین اهداف و نتایج طراحی را تعریف کرده و نمایش می‌دهند» (Jabi, 2013).

۲- بیان مسئله

اگرچه الگوهای هندسی بسیار قدیمی و هنرهای سنتی هستند، بازتاب آنها در هنرهای معاصر موضوع بحث در محافل هنری بوده و معمولاً بحث است. در این آثار، قوانین کلی حفظ می‌شوند و به طور کلی آنها نوعی ایجاد تقارن را نشان می‌دهند. هندسه ایرانی علاوه بر نتیجه‌گیری اصلی، ابزار ایجاد نظم و همبستگی کلی بین همه عوامل مثبت است. روش‌های نقاشی، دستیابی به اشکال، الگوهای الگوهای، انتخاب سازه و غیره در معماری و همچنین نوع ارائه و تمهیم خطوط مرتب‌سازی در آنها هندسه هند را از هندسه هند تشخیص می‌دهد. در عرصه تظاهرات و ارائه فضاهایی و تزئینات معماری ایران، عناصر، قطعات، ترکیبات و ارقام وجود دارد که با توجه به شرایط منطقه‌ای و آب و هوایی، پیوستگی بزرگی، اشتراک و همبستگی را در نظر می‌گیرند، همانطور که همه آنها جز یک راز و نتیجه آن هیچ چیزی نیست جز حرکت از کثرت به وحدت و تکنیکی؛ یک راز از یک مفهوم تکامل یافته، از ارزش‌های اولیه و ارزش‌های افزوده شده در طول قرن‌ها و دوره‌ها حاصل می‌شود (Abas, 2001: 53). الگوهایی که از هندسه سنتی ایران ظهور کرده و می‌توانند به یک الگوی هوشمند تبدیل شوند عبارتند از:

- الگوی هندسی که در دکوراسیون گنبد مانند کار قطعه، توپچی، دکوراسیون یزد و کارهای استالاکتیت استفاده می‌شود.
- الگوهای هندسی مورد استفاده در دکوراسیون درهای چوبی مانند گره‌های هندسی (صالح آبادی، تقوی و منصوری ۱۳۹۷: ۶).
- عملگرهای پارامتریک در نرم‌افزارها، امکان ایجاد هندسه‌های تغییرپذیر را فراهم می‌آورند اما خودشان فی‌نفسه، فرم تولید نمی‌کنند. برای ایجاد یک سیستم مولد فرم‌ساز (morphogenetic) به عناصری بیش از این نیاز است؛ عناصری که گرچه در اغلب موارد، جزئی از مجموعه‌ی پارامتریک انگاشته می‌شوند، اما لزوماً بخشی از آن نیستند. این عناصر شامل یک موتور مولد، دستورالعمل‌های انتخابی، الگوریتم یادگیرنده و یک دستگاه کامل طراحی از شکل‌گیری مفهوم تا توسعه‌ی طرح، بهینه‌سازی و نهایی‌سازی است (Frazer, 2002). حتی با فراهم شدن تمامی این عناصر در کنار هم، هنوز راه زیادی در پیش روی معمار است. معماری در پی پاسخگویی به مسائل پیش‌پاافتاده نیست، بنابراین، یک برنامه رایانه‌ای با پیچیدگی کافی، برای آن که نقش فعالی

1 . Patrick Janssen
2 . Wassim Jabi
3 . www.industrialorigami.com

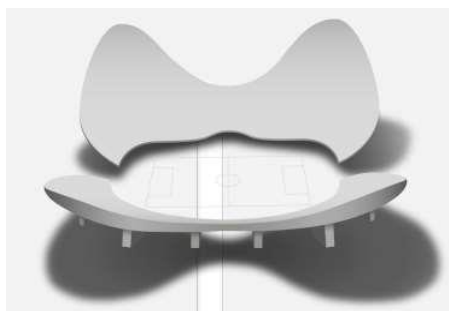
در طراحی ساختمان داشته باشد، باید توانایی هایی بسیار فراتر از دانش و تجربه ی برنامه نویس خود، بیاموزد. علی رغم این حقیقت که طراحی معماری به وضوح یک روند الگوریتمیک نیست، ما همچنان در حال استفاده از الگوریتم ها هستیم. این بدان معنا نیست که الگوریتم ها سودمند نیستند، بلکه بدین معناست که کدنویسی و الگوریتم نویسی تنها، برای پاسخگویی به مسائلی فرای هندسه های متغیر کافی نیست (خبازی، ۱۳۹۳). هنگامی که رایانش در میانه ی قرن بیستم میلادی، زبان پارامترها و متغیرها را از ریاضیات، وام گرفت، واژگان، دستور زبان و روندهای حاکم بر الگوریتم ها را نیز اقتباس کرد. اولین برنامه ی رایانه ای، توسط آدا لاولیس^۱ در سال ۱۸۴۳، برای موتور تحلیلی پیشنهادی چارلز بابیج^۲ و بر پایه الگوریتم های او نوشته شد. این الگوریتم ها بر اساس تعدادی پارامتر، در مجموعه ای از حلقه ها (loop) طراحی شده بودند که ادا آن ها را بازگشتی (backing) می خواند؛ آنچه که در واقع اولین استفاده از تکنیک حلقه و پرش مشروط (loops and conditional jumps) در برنامه نویسی بود (Federico Menabrea, 2014). پیشگامان طراحی دیجیتال، از قبیل ایوان سادرلند^۳ با سیستم طراحی ابداعی خود در سال ۱۹۶۳، سیستم های طراحی جدیدی را در معماری توسعه دادند که در ذات خود پارامتریک بودند (Woodbury, 2010). در دهه ی ۱۹۷۰ میلادی بود که طراحی به کمک رایانه (Design Computer-Aided)، به طور کامل با اصول پارامتریک تلفیق شد؛ به گونه ای که مارک بری^۴ از اصول پارامتریک به عنوان شاکله ی طراحی رایانشی یاد می کند (Burry, 2011؛ گلابچی و باستانی، ۱۳۹۱).



شکل ۱- برنامه طراحی پارامتریک در صفحه نمایشی در آزمایشگاه ریاضی دانشگاه کمبریج، مأخذ: Frazer, 2002

در مبحث معماری پارامتریک نیز مانند بسیاری دیگر از مفاهیم و نوآوری های شکل گرفته در عرصه های مختلف، ایده ی اصلی و عنوان موضوع، خیلی پیشتر از آنکه امکان به کارگیری روندهای رایانشی در طراحی وجود داشته باشد، ابداع شده بود. طبق مطالعات صورت گرفته، اولین استفاده از این عنوان و اشاره به این مفهوم در نوشته های لوئیجی مورتی^۵ معمار ایتالیایی، به چشم می خورد، که در دهه ی ۱۹۴۰ میلادی عبارت Architettura Parametrica را ابداع کرد (Bucci & Mulazzani, 2002). مورتی در فاصله ی سال های ۱۹۴۰ تا ۱۹۴۲ میلادی، پژوهش هایی که در آن زمان از به کارگیری رایانه و مزیت های آن محروم بودند. به هر ترتیب، او در سال ۱۹۶۰ میلادی و با استفاده از یک رایانه توانست مدل های پارامتریک ورزشگاه (Progetti di strutture per lo sport e lo spettacolo) در میلان را طراحی کند. کارهای اولیه آنتونی گائودی^۶ نیز در اساس، طرح هایی پارامتریک هستند. البته پی بردن به این موضوع نه به واسطه ی نوشته ها و آثار خود او، بلکه به واسطه ی تلاش های مستمر و تحلیل های روشنگرانه ی مارک بری ممکن شد. مارک بری در حال حاضر، یکی از افراد فعال در ساخت طرح های مورد نظر گائودی برای کلیسای نیمه تمام ساگرادا فامیلیا^۷ در بارسلون است. بنابراین شاید باید اعتبار مربوط به تحلیل پارامتریک این آثار را به جای گائودی به بری بدهیم (صاحب زاده و صادقی، ۱۳۹۵). اگرچه نمونه های قدیمیتری نیز از فرم های سه بعدی پارامتریک وجود دارد، اما به نظر می رسد مورتی اولین فردی بود که یک فرم سه بعدی معماری را با به کارگیری مجموعه ای از روابط پارامتریک، که توسط محاسبات (رایانش) دیجیتال شکل گرفته بودند، طراحی کرد (Davis, 2013).

- 1 . Ada Lovelace
- 2 . Charles Babbage
- 3 . Ivan Sutherland
- 4 . Mark Burry
- 5 . Luigi Moretti
- 6 . Antoni Gaudí
- 7 . Sagrada Família Basilica



شکل ۲- برنامه طراحی پارامتریک: طرح استادیوم ورزشی مورتی در میلان، مأخذ: Davis, 2013

۳- روش تحقیق

جمع آوری داده ها به روش تحلیلی و توصیفی و پدیدارشناسانه با بهره گیری از منابع کتابخانه ای انجام پذیرفت. هم چنین، برای تحلیل داده ها و یافته های ناشی از مطالعات، از روش تطبیقی- قیاسی در رابطه با ساختار هندسه در معماری اسلامی و کاربرد آن در معماری پارامتریک بهره گرفته شد.

۴- پیشینه پژوهش

در بررسی و مقایسه معیارهای معماری پارامتریک با معماری سنتی اسلامی- ایرانی می توان به امکانات ارائه شده در مورد تکنولوژی معاصر و همکاری معمار با رایانه باعث به وجود آمدن آزادی های جدید معمارانه در بخش و آثار سنتی، معماری اسلامی شده است (بزرگزاد و همکاران، ۱۳۹۴: ۸۵). نقش رویکرد پارامتریک در بیان مفاهیم هندسه ی منتظم معماری اسلامی را می توان با تحلیل موتیف های منتظم هندسی معماری اسلامی و کاربرد رویکرد پارامتریک در آن در جهت نیل به مفاهیمی مانند پایداری، تطبیق پذیری، زیبایی شناختی و انتقال مفاهیم و ادراک هندسی مرتبط دانست و ارتباط معماری پارامتریک و کاربرد آن را در معماری اسلامی را مورد تحلیل و بررسی قرار داد (صالح آبادی، تقوی و منصوری، ۱۳۹۷: ۱). تفکر طراحی پارامتریک (PDT)، رویکردی نوین به سوی طراحی شهری انعطاف پذیر می تواند باشد. تفکر طراحی پارامتریک یک روش نو و بدیع است که در طول فرآیند از همان ابتدا تا انتها، کلیه مراحل فرآیند طراحی را در نظر گرفته و با ایجاد ارتباط یکپارچه و همه جانبه میان داده ها و الزامات طراحی، فرآیند طراحی را وارد یک چرخه ی بازگشتی و در نهایت پاسخی منطقی و انعطاف پذیر می کند (درویش و طیبیان، ۱۳۹۷: ۱). در اصول طراحی پارامتریک بر پایه الگوهای سنتی معماری، فرآیندهای طراحی سنتی همواره از نوع خطی بوده اند که در آن توصیف رابطه بین متغیرهای چندگانه توسط تابع خطی ساده در ریاضی بررسی می شود و در نقطه مقابل آن فرآیندهای غیرخطی قرار دارند که با ترکیب ایده ها از مراحل مختلف طراحی به نتیجه می رسند (اشکانی، ۱۳۹۳: ۲). در این میان می توان به راهکار و بسط آرایه های معماری ایرانی اسلامی در قالب نظریه پارامتریک که به بررسی مسجد کبود پرداخته شده است اشاره کنیم که علاوه بر بحث زیبایی شناسی در نمونه مورد بررسی شده به کاربرد سازه ای دقیق و منحصر به فرد و هویت ایرانی- اسلامی تاکید شده است (احمدی، ۱۳۹۵: ۱). موضوع کمیت و کیفیت تجلی هویت اسلامی در معماری دوران اسلامی از مباحثی است که پیرامون آن افتراق نظر زیادی میان اندیشمندان وجود دارد (نقره کار و رئیسی، ۱۳۹۱: ۵). در این میان به توانایی های بالقوه نرم افزارهای پارامتریک در طراحی معماری اسلامی می توان به ترسیم کاربردی بناهای مذهبی و غیر مذهبی نیز اشاره نمود که همواره مورد استفاده طراحان قرار گرفته است (ناصرح زاده تبریز و پور رجب صوفیانی، ۱۳۹۵: ۲)، در طراحی گنبد شیخ لطف الله اصفهان به کاربرد هندسه طبیعت و فراکتال در معماری پارامتریک با بررسی آرایه های داخلی گنبد مواجه می شویم که نمونه بارزی از آثار معماری اسلامی در زمینه استفاده از معماری پارامتریک می باشد. در این زمینه مستغنی و علیمردادی نیز به مطالعه موارد بیان شده پرداخته اند که نتایج حاکی از آن است که می توان آثار اصیل سنتی ایرانی را بازخوانی و به زبان معماری روز ترجمه نمود تا بتوان علاوه بر عملکردهای پیشین خود، عملکردهایی جدید بر آنها افزود. یا حتی با تلفیق با ایده هایی نو، تکامل بخشید (مستغنی و علیمردادی، ۱۳۹۵: ۱۰۳).

۵- بحث و یافته های تحقیق

۵-۱- طراحی و معماری پارامتریک

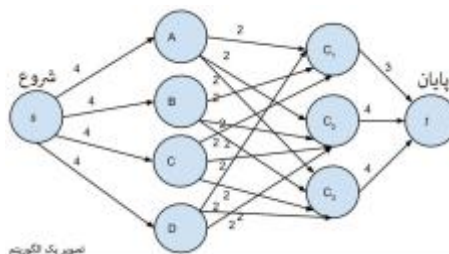
معماری پارامتریک شاخه ای از طراحی دیجیتال است که در آن اجزای اصلی یعنی ایده، الگوریتم های منجر به ایده، پارامترهای موثر بر طراحی و رایانه (کد نویسی، برنامه نویسی، برنامه نویسی ویزوال) به عنوان دستکاری در جهت طی نمودن فرآیند

طراحی نقش اصلی را ابفا می کنند. حاصل فعالیت های جمعی طراحی، پژوهشی، تولید مفاهیم مشترک، برنامه ها، تکنیک های کامپیوتری، معماری در فضایی متأثر از پارامترهای مختلف موثر بر پروژه و تعریف نحوه تأثیرگذاری آنها شکل می گیرد و رایانه ابزار جمه آوری این پارامترها و مولفه های اثر گذار بر آنها می باشد (مستغنی و علیمردی، ۱۳۹۵). اصطلاح پارامتریک دلالت دارد بر تمام عناصر معماری که یک الگوی کاملاً جدید در معماری پیش می رود، به پارامتری انعطاف پذیر تبدیل شده اند و در نتیجه با یکدیگر و زمینه قابل تطبیق اند. به جای جمع آوری چند جامد افلاطونی مکعب ها، استوانه ها، با ترکیبات ساده، مثل بیشتر سبک های دیگر معماری برای ۵۰۰۰ سال معماری پارامتریک با فرم ذاتاً متغییر و انعطاف پذیر کار می کند که به طور مداوم در زمینه ها و سیستم های متفاوت جمع آوری می شوند (Schumache, 2009). در واقع یک پارامتر، متغیری است که به دیگر متغیرها وابسته است و این متغیرها می توانند به وسیله ی معادلات پارامتریک احراز شوند. در این روش تغییر و تبدیلات طراحی و خلق مجموعه ای از جزئیات می توانند در زمان فوق العاده ای در مقایسه با زمان لازم برای اعمال تغییرات و ترسیم دوباره برنامه های سنتی اجرا شوند. در اصل طراحی پارامتریک تمامی اطلاعات و داده ها را در مسیری که تغییر در یک ارزش تغییرات مشابه را در تمامی دیگر معماری پارامتریک یک چرخه تا محدود است که در آن به صورت مداوم پارامترها با هم تحلیل، ترکیب و ارزیابی می شوند و این چرخه دائماً ادامه دارد و کاملاً برگشت پذیر است (تجویدی، ۱۳۸۸). ابزارهای پارامتریک معماران را قادر می سازند تا از پدیدآورندگان یک طرح و ایده تنها، به طراحی سیستم هایی از داده ها و خروجی های که فضاهای طراحی شده را ایجاد می کنند که تا امروز طراحی و اجرای آنها در تصور معماران و سازندگان ساختمان ها نبوده است. سیستم های پارامتریک می توانند گسترش یابند و بیشتر شبیه سیستم های طبیعی به نظر می رسند. یعنی جایی که تمام تغییرات، حاصل تعامل پیچیده نیروهای فیزیکی یا شبیه سیستم ارگانیسم می باشند و در این جا اشکال از بازی نیروهای مشابه حاصل می شود که از دامنه وسیع تر بدست آمده اند و در سازگاری با نیاز های اجرایی مختلف ادغام می شوند (گروه معماری ام آر جی دی، ت: حیدری، ۱۳۹۳).

در حال حاضر مدل سازی دیجیتال از بنا در محیط های کامپیوتری به عنصری جدایی ناپذیر از طراحی ساختمان تبدیل شده است. هر پروژه کوچک یا بزرگی از نخستین مراحل شکل گیری کانسپت تا تولید و عینیت بخشی به آن، نیازمند استفاده از ابزارهای کامپیوتری است. اما این ابزارها بر خلاف تصور عمومی و رایج در محیط های معماری، تنها برای ارائه حجم های زیبا نیستند. بلکه نگرش جامع به محیط دیجیتال، ابزارهای کامپیوتری وسیله ای به منظور غنی کردن طرح، رفع ایرادات آن و به طور کلی حذف خطاهای انسانی و آماده سازی طرح برای اجرا به شمار می روند (گلابچی و همکاران، ۱۳۹۱). طراحی پارامتریک با نرم افزارهای گوناگون و با روش های مختلف انجام می شود اما در سیستم generative modeling نیاز به دانش برنامه نویسی پیچیده نیست بلکه بر اساس برنامه نویسی بصری یا ویژوال انجام می شود. در این گونه سیستم ها بدون داشتن دانش کد نویسی پیشرفته می شود الگوریتم تعریف کرد و به تولید آن با نرم افزار مربوطه پرداخت. برای نمونه: افزونه گرسهپایر^۱ در نرم افزار راینو بر این اساس کار می کند (فریدونی، ۱۳۹۳).

۵-۲- الگوریتم^۲

دستورالعمل های مرحله به مرحله که منجر به حل یک مسئله می شوند. در معماری اطلاعات اولیه برای طراحی آماده شده و سپس دستورهای مشخص شده بر آنها اعمال می شود و در انتها نتیجه به عنوان خروجی سیستم اعلام می گردد در حقیقت الگوریتم ها بیان مرحله به مرحله هر فرآیند هستند که کاربر را به نتیجه ای خاص هدایت می کنند به عبارتی با برقراری رابطه بین داده های اولیه مسیری ایجاد می کنند که هدفی خاص منتهی خواهد شد (مهدوی نژاد، ۱۳۹۳).



شکل ۳- مجموعه ای متناهی از دستورالعمل ها، روشی گام به گام برای حل مسئله، مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹

- در گرسهپایر الگوریتم ها از دو عنصر اساسی تشکیل شده اند: پارامترها و کامپوننت ها (توابع).
- پارامترها وظیفه ذخیره اطلاعات را بر عهده دارند.

1 . grasshopper
2 . algorithm

- پارامتر خام: فاقد اطلاعات است و باید به آن اطلاعات داده شود.

- پارامتر ویژه: معمولاً دارای اطلاعات هستند. بعضی برای کنترل پارامترهای خام و بعضی برای نمایش اطلاعات پارامترهای خام یا ویژه به کار می‌روند.



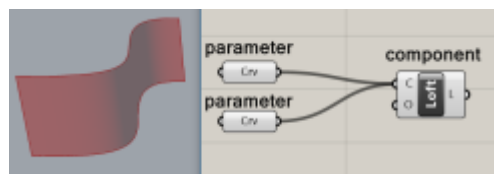
شکل ۵- پارامتر ویژه (مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹)



شکل ۴- پارامتر خام (مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹)

- مولفه یا تابع

برخلاف پارامترها، کامپوننت‌ها یا همان مولفه‌ها فرآیندی را برای داده‌های ورودی که از پارامترها یا سایر کامپوننت‌ها دریافت می‌کنند انجام می‌دهند. دو وظیفه اصلی کامپوننت‌ها دست‌کاری داده‌ها و ایجاد اشکال هندسی است. برای مثال: برخی از کامپوننت‌ها محاسبات عددی نظیر جمع و تفریق، ضرب یا تقسیم را انجام می‌دهند، در حالی که برخی دیگر از کامپوننت‌ها اعمال فیزیکی مانند نقطه، منحنی یا سطح را بر عهده دارند.



شکل ۶- دو پارامتر crv از طریق یک کامپوننت به نام loft به سطح تبدیل شده‌اند، مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹

Generative Modeling -

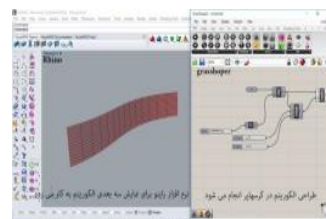
نوعی تفکر برنامه‌نویسی است که بدون نیاز به دانش کدنویسی پیشرفته به تعریف الگوریتم‌هایی می‌پردازد که توسط رایانه قابل تولید به فرم معماری می‌باشند. سیستم ذکر شده با آزاد بودن در تعریف فرم‌ها و خارج شدن از محدودیت‌های ابزار محور بودن، کارایی بسیار بالایی را در مدل‌سازی در اختیار کاربران قرار می‌دهند. نکته مهم در طراحی نرم‌افزارهای مبتنی بر این سیستم مانند پلاگین گرسه‌پایر این است که خود بخشی برای نمایش سه بعدی محصول ندارند و کاملاً وابسته به فضای سه بعدی نرم‌افزاری هستند که روی آن نصب شده‌اند (برای مثال نرم‌افزار راینو هیچ تغییر نکرده است که شخصیت پارامتریک پیدا کند بلکه افزونه‌ای به نام گرسه‌پایر توسط فردی به نام دیوید روتن طراحی شد که پس از نصب آن راینو قابلیت طراحی پارامتریک را خواهد داشت. نمونه‌ای از مراحل و اجرای نهایی طراحی معماری پارامتریک ساخت پل توسط نرم‌افزارهای طراحی با سیستم generative modeling در افزونه گرسه‌پایر نمایش داده شده است.



شکل ۹- طراحی در گرسه‌پایر و نمایش سه بعدی در نرم افزار (راینو)، (مأخذ: تدین، ۱۳۹۵)



شکل ۸- طراحی در گرسه‌پایر (تغییر در پارامترها و رسیدن به جواب‌های مختلف)، (مأخذ: تدین، ۱۳۹۵)



شکل ۷- طراحی در گرسه‌پایر و نمایش سه بعدی در نرم افزار (راینو)، (مأخذ: تدین، ۱۳۹۵)

۵-۳- پارامتریسیزم

ریاضیدانان مسلمان برای علم ریاضی، قداست قائل بوده و علاقه خاصی بدان نشان داده‌اند. بی تردید توازن، هماهنگی و قداست اشکال مادی در هنر آشکار می‌شود و به کمک هندسه و جهان ماده قدسی می‌شود و آن گاه در هنر اسلامی جاودانه می‌گردد (صفا، ۱۳۵۶). آرایه‌های معماری و اشکال برگرفته از هنر و ریاضیات در هنر اسلامی از سویی ذهن بیننده را به زیبایی‌های صوری و ضاهری نقش‌ها و نوع کاربری فضاهای بنایی که نقش و نگارها بر دیواره‌های آن نشسته، فرا می‌خواند (بلوکباشی، ۱۳۸۳). در شرح و جانمایی پارامتریسیزم، کتاب دوجلدی شوماخر با عنوان «آرمانشهرهای معماری» یک دوگانگی مفهومی را مطرح می‌کند.

او، پارامتریسیزم را هم به عنوان یک سبک به معنی بصری کلمه و هم به عنوان یک معماری روندمحور به واسطه ی روش های استفاده شده در آن تعریف می کند. شوماخر در ابتدا هدف این سبک را این گونه بلندپروازانه و حداکثری بیان می دارد: «پارامتریسیزم سبک فراگیر جدید پس از مدرنیسم است». یک همگرایی همه جانبه ی جهانی در معماری آوانگارد متأخر به چشم می خورد که ظهور یک سبک معماری جدید را بشارت می دهد: پارامتریسیزم. بارزترین مشخصه ی ظاهری این سبک، فرم های منحنی نرم و پیچیده است که به واسطه ی تکثیر swarm گونه ی ریزجزءها، که خود دچار تغییرات تدریجی می شوند، بر آن تأکید شده است. ورای این مشخصه های ظاهری بارز و آشکار، می توان مجموعه ای از مفاهیم و روش های جدید را که به کل متفاوت از اصول حاکم بر معماری سنتی و یا مدرن است در معماری پارامتریک مشاهده کرد؛ که اجازه می دهد ظهور یک پارادایم جدید در معماری را نوید دهیم. ابزارهای طراحی جدید با ایجاد روند طراحی و روش شناسی (متدولوژی) نو، نقش مؤثری در وقوع این امر دارند. بنابراین، حیات پارامتریسیزم وابسته به استفاده از تکنیک های رایانشی پیشرفته است. با این وجود، پارامتریسیزم به واسطه ی معیارها، جهت گیری ها و ملاحظات خاص خود، به عنوان یک سبک و نه تنها مجموعه ای از تکنیک های صرف شناخته می شود. معیارها، جهت گیری ها و ملاحظات که حتی پیش از در دسترس قرار گرفتن روش ها و تکنیک های طراحی رایانشی، تعریف شده بودند (Schumacher, 2013). پارامتریسیزم به وضوح در حال حرکت به سمت بازتعریف خود به عنوان یک روند است. روندی به سرعت درحال توسعه، که تکنولوژی های جدید را به خدمت گرفته و حل مسائل محیطی و اجتماعی را هدف خود قرار داده است. از این پس، به کارهای اولیه صورت گرفته در این سبک با زیبایی شناسی خاص خودشان، به دید کشف و شهود و تلاش هایی برای بررسی امکان ساخت این نوع از معماری تحت این عنوان سبکی نگاه خواهد شد. تلاش هایی که وجه تمایز این سبک با سایر سبک ها و رویکردها را پررنگ تر کرده و درصدد بررسی این موضوع بودند که آیا سازندگان می توانند در شیوه ی جدید ساخت و ساز با استفاده از مدل دیجیتال، با چالش های ایجاد شده کنار بیایند یا خیر. بنابراین پارامتریسیزم مرحله اول یا پارامتریسیزم ۱،۰ به زودی به عنوان مرحله آزمایشی شناخته خواهد شد و پارامتریسیزم ۲،۰ با استفاده از تکنیک های رایانشی قدرتمند، به سمت حل مشکلات محیطی و اجتماعی حرکت خواهد کرد (خبازی، ۱۳۹۲).

۴-۵- ویژگی های معماری پارامتری

نرمی و سیالیت: احجام و فرم های نرم و خطوط سیال از ویژگی های بارز این معماری است. رایانه توان کنترل و طراحی دقیق احجام پیچیده را در اختیار طراحان قرار داده است. طراحی و کنترل خطوط منحنی و صفحات با فرم های آزاد امکان پذیر است.

طراحی بر اساس ریز اجزای مشابه: استفاده از اجزا ریز مشابه، ولی نه به طور کامل یکسان در این معماری صورت می گیرد. صفحات و احجام منحنی و سیال به این اجزا ریز تقسیم می شوند و این اجزای ریز امکان ساخت سازه های پیچیده را فراهم می آورند.

الگوهای تکرار شونده: در بسیاری از پروژهای پارامتریک استفاده از الگوهای تکرار شونده؛ نقشه ها، بافت ها، عکس های تصویر شده بر روی صفحات آزاد نما و پوسته داخلی دیده می شوند. این الگوها به عنوان پایه ساخت اجزایی که می توانند تکرار شوند تا سطوح را بسازند، کاربرد فراوانی در ساخت و تولید دارند. واژه الگو (مدول) به صورت بسیار تعمیم یافته دلالت بر قانونمندی آن دارد و ساده ترین مثال آن واحدهای بصری تکرار شونده می باشند و ایده ی اصلی استفاده ی مجدد از اطلاعات است. از عوامل تأثیرگذار در مباحث پارامتریک بحث فراکتال می باشد و عدم وجود رشد تصادفی در اجرای آن که نمود آن در معماری سنتی و در طبیعت به وفور یافت می شود.

سازگاری: معماری پارامتریک در جستجوی سازگاری با محیط پیرامون خود است و با بهره گیری از تغییرات تدریجی فرم در فضای طراحی این موضوع را ممکن می سازد. و تلاش کرده تا با محیط زیست سازگاری پیدا کند و به سمت معماری پایدار حرکت کند. طبیعت همواره سرچشمه ایده های متنوع برای بشر بوده است. اصول و شیوه معماری سنتی ایرانی و استفاده از هندسه، ریاضیات و فراکتال در اجرای بناهای سنتی پیش زمینه ای برای معماری پارامتریک بوده اند و همچنین می توان به اوج خردگرایی یونانیان در معماری کلاسیک سرشار از سمبل های طبیعی و معماری رمزآلود گوتیک و باروک هم که مملو از ابهامات برگرفته از گیاهان و جانوران بوده اشاره داشت (پوررجب صوفیانی و همکاران، ۱۳۹۵).

۵-۵- معماری پارامتریک در آثار معماری اسلامی ایران

جایگزینی هندسه پارامتریک به جای هندسه کلاسیک، بررسی توده ها و شکل های پیچیده و رابطه میان آنها را در فضای کامپیوتر میسر می سازد. الگوریتم های کامپیوتر با پارامترهایی مانند تقارن، هماهنگی، انعکاس، چرخش، کاهش و افزایش به خلق

مدل های حجمی جدید و تفسیر مجدد الگوهای قدیمی می پردازد. معماری پارامتریک در جستجوی سازگاری با محیط پیرامون خود است و با بهره گیری از تغییرات تدریجی فرم در فضای طراحی، این موضوع را ممکن می سازد (El-Said, 1998). شاخص های هندسه در معماری ایرانی اسلامی شامل معنا (semantic) و سازه (structure) می باشد. به عبارتی الگوهای هندسی در هنر اسلامی در عناصر سازه ای و فرم های تزئیناتی تۆمان به کار می رود. این الگوها برگرفته از طبیعت می باشند:

- تأکید به مرکز
- در حال رشد و شکوفایی

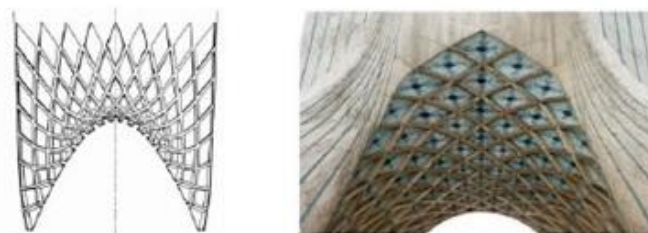


شکل ۱۲- وحدت در کثرت در الگوی پارامتریک موتیف های اسلامی. مسجد جامع یزد، (ادیب زاده، ۱۳۹۳)

شکل ۱۱- استفاده از الگوهای پارامتریک در معماری اسلامی، (مأخذ: الکساندر، ۱۳۸۱)

شکل ۱۰- استفاده از الگوهای پارامتریک در معماری اسلامی، (مأخذ: الکساندر، ۱۳۸۱)

نقوش هندسی که افراد متخصص و اهل فن آن را گره می نامند بافت گوناگونی از شکل های منظم هندسی است که می تواند همانند الگوهای مطرح شده در معماری پارامتریک از هر سور رشد و گسترش نماید بدون آنکه ترکیب هماهنگشان برهم بخورد که اغلب در نقش های هندسی مساجد، مدارس و اماکن مذهبی و منازل شخصی قدیمی در ورودی ها، پنجره های ارسی و نرده ها و نقش و نگارهای موجود در کاشی ها و سقف های چوبی به کار رفته در بناهای قدیمی مشاهده می کنیم. در سنت معماری اسلامی به طراحی و ساخت گره، گره سازی می گویند. گره ها از الگوها هندسی پیچیده ای هستند که در کنار یکدیگر قرار گرفته و سطوح را پر می کنند که گفته می شود هفتاد دو بطن دارند. نکته ای که در سنت گره سازی از گره ها مطرح است این است که گره ها را به عنوان شطرنج معماران می دانند. زیرا هر معماری که خیلی متبحر شود و بر کارش مسلط باشد دست به طراحی گره می زند (حسن نژاد و شقاقی، ۱۳۹۵: ۱۱۷۰). رشد و گسترش هنر اسلامی در طول سده های متمادی موجب پیدایش گنجینه ای عظیم از الگوهای هندسی در هنر و معماری سرزمین های اسلامی شده است که معمولاً در کنار عملکردهای گوناگون، کاربرد تزئیناتی نیز داشته اند. گره سازی یکی از نمونه های شاخص این الگوها است که در موضع های گوناگون هم چون کتیبه ها، سردرها، طاق ها و گنبدها با فنون متفاوت نظیر نجاری و بنایی و با استفاده از مصالح متنوع از قبیل آجر، چوب، گچ، کاشی و آئینه در معماری اسلامی به کار رفته است. ویژگی اصلی گره سازی، وجود هندسه دقیق و قواعد ترسیمی مشخص در طراحی و اجرای آن است. تفاوت در انواع گره ها بر مبنای فکری پارامتریک بودن ریشه در چگونگی ترسیم داشته است. نمونه ای از این گره های به کار رفته را می توان با آگوی به رفته در معماری پارامتریک و گره زنی سنتی ایران اسلامی را در برج آزادی تهران مشاهده نمود.



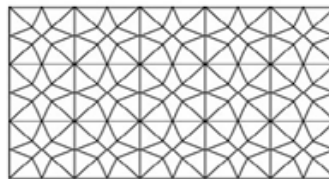
شکل ۱۳- گره زنی اسلامی. برج آزادی تهران، مأخذ، نگارنده، ۱۳۹۹

تأثیر اصل تناظر در معماری مقدس، اشتراک ابعاد هندسی معبد، به عنوان نمونه کوچک شده کالبد حق (عالم) و پیکر انسان است. عمارت عالم و آدم یکی است. این معنا سبب گشته در کیهان شناسی ادیان شرقی به ویژه اسلام، اشکال هندسی، ابعاد کیهانی را شرح نموده و هم آن ها را در ساخت معماری های مقدس تجلی یابند که دایره و مربع جایگاه ویژه ای در این بین دارند. دایره و مربع از اصلی ترین اشکالی هستند که در معماری و هنر اسلامی ایران کاربرد زیادی داشته اند که در هندسه برای ترسیم اشکال منظم از تقسیم بندی مربع و دایره به عنوان عامل تقسیم بندی استفاده می کردند (بلخاری قهی، ۱۳۸۳). هنر هندسی

اسلامی بر مبنای اساس نقوش کیفی رقمی فلسفی و پایه ریاضی قوانین تکرار، تشکیل شده اند و هنرمند اسلام نه تنها در ریاضیات به معنی هندسی آن فرو می رفت بلکه ریاضیات لازمه هنر او بود.



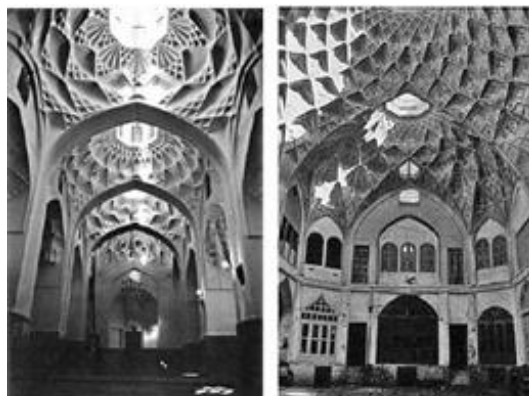
شکل ۱۵- شکل گیری طرح مربع و دایره در هندسه اسلامی ایران، (مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹)



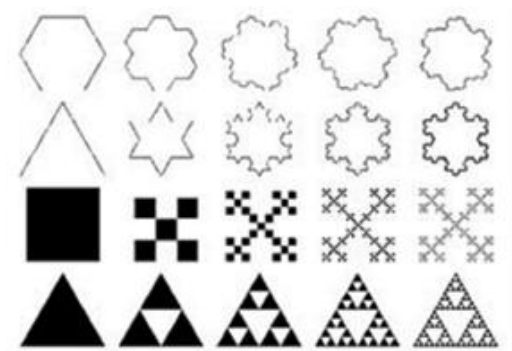
شکل ۱۴- مربع و دایره در هندسه اسلامی ایران، (مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹)

معماری اسلامی، در عین سادگی و خاکی بودن، معماری ظرافت است. هیچ چیز در آن به حال خود و به صورت خام و طبیعی رها نمی شود. دست معجزه گر طراح به هر چه می رسد آن را نفیس و پرتکلف می کند بماند که حال با روی کار آمدن معماری پارامتریک و نرم افزارهای طراحی در زمینه معماری که طرح ها و نقوش هندسی و فراکتال را طراحی می کند، صورتی دیگر گونه به فضاها می بخشد. سنگ حجاری می شود، آجر نقوش مختلف می باید. گچ شکست های خیال انگیز پیدا می کند، چوب به هزار شکل از گره چینی قطعه می شود و کاشی تکه تکه شده و به صورت معرق به کار گرفته می شود.

در طراحی به سبک معماری اسلامی در برخی مناطق شاهد رشد هندسه فراکتال نیز هستیم. واژه فراکتال مشتق از واژه لاتینی "فراکتوس" به معنی سنگی که به شکل نامنظم شکسته و خرد شده است، در دهه ۱۹۷۰ برای اولین بار توسط مندل بروت^۱ مطرح شد. فراکتال ها شکل هایی هستند که بر خلاف شکل های هندسی اقلیدسی به هیچ وجه منظم نیستند. این شکل ها اولاً سرتاسر نامنظم اند، ثانیاً میزان بی نظمی آنها در همه مقیاس ها یکسان است. با ملاحظه اشکال موجود در طبیعت، مشخص می شود که هندسه اقلیدسی قادر به تبیین و تشریح اشکال پیچیده و ظاهراً بی نظم طبیعی نیست (بیگ محمدی و پناهی، ۱۳۹۶: ۱-۲). می توان چنین بیان نمود که فراکتال یک شکل هندسی است که تکرار یک منطق ساده به طور بازگشتی ایجاد می شود. به طور معمول شکل حاصل از فراکتال ها را می توان به چند جزء تقسیم کرد، که هر یک از آنها شبیه شکل اولیه است. تعبیر دیگری که در مورد فراکتال ها وجود دارد، این است که آنها دارای جزئیات نامتناهی هستند و یا اینکه دارای ساختارهای خود متشابه هستند که سبب می شود شکل در درشت نمایی ها مختلف یکسان دیده شود (یقوبلو و نجفی، ۱۳۹۹: ۳).



شکل ۱۶- راست: تیمچه بخشی از بازار کاشان، سمت چپ: رواق وکیل الملکی در مقبره شاه نعمت اله ولی در ماهان کرمان، ماخذ، حاج قاسمی، ۱۳۹۱: ۱۳



شکل ۱۷- الگوها و روند پویایی که منجر به تولید اشکال فرکتالی می شود، ماخذ، یقوبلو و نجفی، ۱۳۹۹: ۴.

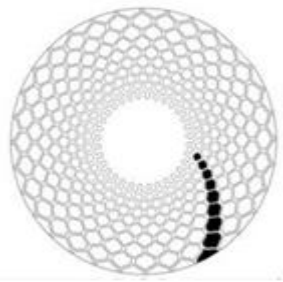
شکل های مورد استفاده در معماری به خصوصی در مساجد که نمود بارز معماری سنتی هستند، از مفهوم سنتی ریاضیات، به خصوصی هندسه و اشکال هندسی جدایی پذیر نیستند. با بررسی آرایه داخلی گنبد مسجد و همچنین شباهت آن به اشکال طبیعی دارای هندسه فراکتال این فرضیه به ذهن خطور می کند که معمار آن در طراحی آن با الهام از الگوهای طبیعی و هندسه فراکتال

1 . Mandel Brot

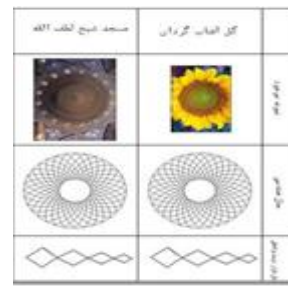
به چنین طرح اعجاب آوری رسیده است. در این مورد عناصر طبیعی که احتمال الهام گرفتن طرح از آنها وجود دارد، گل زردک و همچنین گل آفتابگردان است. در هر دو مورد هندسه متشکله اجزاء، هندسه فراکتال است.



شکل ۲۰- گل آفتاب گردان و هندسه استفاده شده از آن، (نگارنده، ۱۳۹۹)

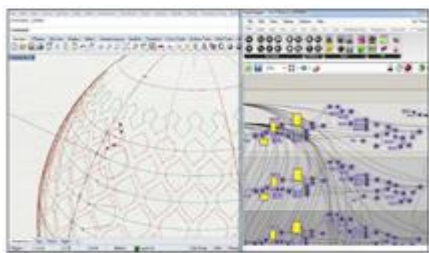


شکل ۱۹- هندسه آرایه داخل مسجد شیخ لطف الله، (مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹)

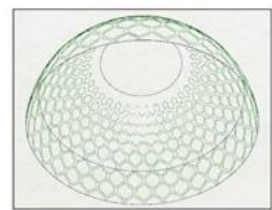


شکل ۱۸- ترسیم مدل هندسی و فراکتالی گنبد شیخ لطف الله، (مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹)

در فرآیند بازتعریف هندسه فرکتال این آرایه، ابتدا باید داده های اولیه الگوریتم آن تولید شود. بدین منظور گام اول، استخراج هندسه الگو واره های مورد استفاده در آن است. به طور خلاصه، طبق مراحل بیان شده به ترتیب در استخراج این هندسه طی خواهد شد: تشخیص موج سینوسی در هندسه الگو واره، یافتن مرکز و شعاع دایره ها، یافتن تعداد تقسیمات دایره ها (به تعداد ۱۲ قسمت)، یافتن قطاع مورد نظر از تقسیمات دایره، انجام دو مرحله تقارن محوری نسبت به محورهای X و Y، تطابق با شکل اصلی به منظور ارزیابی درستی مراحل؛ پس از طی مراحل فوق و استخراج هندسه آن، داده های عددی مربوط به این هندسه نیز باید استخراج گردد. بدین منظور با احتساب شعاع دایره اصلی گنبد، رابطه بین مرکز دایره و محور تقارن شکل و همچنین لحاظ نمودن بندهای آجری، داده های شعاع دایره محیطی، دایره کوچک و بزرگ استخراج خواهد شد و پس از وارد کردن داده ها به نرم افزار و طراحی الگوریتم رسم آن بدست می آید.



شکل ۲۲- شبیه سازی نهایی آرایه داخلی گنبد مسجد شیخ لطف الله، (مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹)



شکل ۲۱- شبیه سازی نهایی آرایه داخلی گنبد مسجد شیخ لطف الله، (مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹)

۶- نتیجه گیری

هنرمندان اسلامی همواره سعی داشته اند تا تفکرات خویش را به صورتی غیر مادی به تصویر بکشند که حاکی از وحدانیت الهی و الوهیت خداوندی می باشد. این تفکرات در نقوش اسلامی به صورت طرح های متکثر ظهور کرده است که در نهایت به یک مرکز باز می گردند و یا در کل دارای انسجام و پایداری می باشند. استفاده از هندسه فراکتال و طبیعت نباید به صورت تقلید کورکورانه دنبال شود. زیرا این هندسه برای اهداف معنایی و نمادین و برای حفظ انسجام و پایداری بیشتر در نقوش و نما و پلان ها بکار می رفته است. پارامتریسیسم به عنوان یک جنبش هنری و معماری پارامتریک به عنوان زیر مجموعه آن، روز به روز در حال گسترده شدن است. به دلیل کارآمد نبودن مدل های مدرن، جریانی سردرگم در معماری معاصر پدیدار شد که نیازمند راه کاری روشمند، علمی و قابل انعطاف بود که پاسخگوی نیازهای زیبایی شناختی و عملکردی دنیای کنونی باشد. در این میان فرصت بی نظیری فراهم شد تا ارزش های پنهان معماری اسلامی که سال ها به دلیل حاکمیت تفکر ناشی از غرب زدگی و معماری مدرن، مورد بی توجهی قرار گرفته بود، بار دیگر اهمیت دیرینه خود را در صحنه معماری اسلامی باز یابد. معماری پارامتریک عرصه های نوینی را برای تولید و تلفیق علم فراهم کرده است. در معماری پارامتریک، هندسه نقش مهمی را بازی می کند. هندسه به عنوان ریز ساخت شکل گیری معماری در حوزه های جدیدی همچون هندسه پیشرفته و هندسه الگوریتمیک مطالعه می شود. هندسه اسلامی منبع عظیمی است از مصالح، الگوها و تکنیک های تکامل یافته ای که به بهترین شکل با محیط

خود در ارتباط است. این تکنیک ها و الگوها از دید مهندسی و معماری به گونه ای با یکدیگر هماهنگ شده اند که علاوه بر بهینه عمل کردن فرم و تأمین عملکرد بتوانند تنوع در آن و زیبایی را به همراه داشته باشند که در نمونه های بررسی شده به وضوح استفاده بهینه از اشکال هندسی و فراکتال را مشاهده نمودیم که می توان به جرأت بیان نمود که تزئینات اسلامی علاوه بر جایگاهش در زیبایی شناسی و متافیزیک جهانی، همواره کاربرد خود را در سنت اسلامی حفظ کرده است. این کاربرد در هر دو هنر مذهبی و غیر مذهبی وجود داشته است.

تشکر و قدردانی

از تمامی زحمات استاد گرانقدر جناب آقای دکتر محمدرضا پاکدل فرد که در این تحقیق همراهی نمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

منابع

۱. الکساندر، کریستوفر؛ (۱۳۸۱)، معماری و راز جاودانگی: راه بی زمان ساختن. ترجمه: مهرداد قیومی. تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.
۲. ادیب زاده، سودابه و کریمی، بهنام؛ (۱۳۹۳)، "معماری پارامتریک از آغاز تا آینده"، دومین کنگره بین المللی سازه، معماری و توسعه شهری، تبریز.
۳. احمدی، پردیس؛ (۱۳۹۵)، راهکار و بسط آرایه های معماری ایرانی اسلامی در قالب نظریه پارامتریک (بررسی موردی: مسجد کبود)، اولین همایش ملی فناوری در مهندسی کاربردی، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب.
۴. اشکانی، بابک؛ (۱۳۹۳)، اصول طراحی پارامتریک بر پایه الگوهای سنتی معماری، کنفرانس بین المللی پژوهش های نوین در عمران، معماری و شهرسازی، مرکز همایش های صدا و سیما تهران، صص ۱۰-۱.
۵. بزرگراه، نیما؛ توانگر، محمد؛ شفیعی، حسین و حیدری، مهسا؛ (۱۳۹۴)، بررسی و مقایسه معیارهای معماری پارامتریک با معماری سنتی اسلامی- ایرانی، پنجمین کنفرانس بین المللی توسعه پایدار و عمران شهری، موسسه آموزش عالی دانش پژوهان اصفهان، ایران، صص ۹۵-۸۵.
۶. بلخاری قهی، حسن؛ (۱۳۸۳)، سرگذشت هنر در تمدن اسلامی (معماری و موسیقی)، تهران: نشر حسن افرا.
۷. بلوکباشی، علی؛ (۱۳۸۳)، تاریخ فرهنگ هنر، تهران: انتشارات سازمان فرهنگ و ارشاد اسلامی.
۸. بیگ محمدی، میترا و پناهی، سیامک؛ (۱۳۹۶)، بررسی نظم در معماری اسلامی ایران با رویکرد هندسه فراکتال در تزئینات (نمونه موردی بررسی گنبد شیخ لطف الله)، کنفرانس ملی مدلسازی ریاضی در علوم مهندسی- دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر.
۹. پور رجب صوفیانی، لاچین؛ ناصح زاده تبریز، شهرام و صدیق دلای، مهتا؛ (۱۳۹۵)، واکاوی برخورد معماری پارامتریک و معماری ایرانی، چهارمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، معماری و توسعه شهری، تهران: دانشگاه شهید بهشتی تهران.
۱۰. تدین، کیا؛ (۱۳۹۵)، گرسهپار، ابزار بیان تفکر پارامتریک بر مبنای الگوریتم: طراحی یک مدل آزمایشی با سیستم (Generative Modeling)، چهارمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، معماری و توسعه شهری، تهران: دانشگاه شهید بهشتی تهران.
۱۱. تجویدی، محمدمامین؛ (۱۳۸۸)، روند طراحی پارامتریک در ساختمان های بلند، مجله معماری و فرهنگ، شماره ۳۶.
۱۲. حسن نژاد، عباس و شقاقی، شهریار؛ (۱۳۹۵)، طرح نقوش ایرانی - اسلامی و تزئینات هندسی در قالب معماری معاصر با رویکرد گره هندسی و معماری پارامتریک، پنجمین کنفرانس بین المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی، لندن - انگلستان.
۱۳. حاج قاسمی، کامبیز؛ (۱۳۹۱)، شاخصه های معماری اسلامی ایران، مجله صفا، شماره ۵۸.
۱۴. خبازی، زوبین؛ (۱۳۹۳)، پارادایم معماری الگوریتمیک، انتشارات کتابکده کسری.
۱۵. خبازی، زوبین؛ (۱۳۹۲)، فرآیندهای طراحی دیجیتال، کتابکده تخصصی کسری.
۱۶. درویش، نگار و طیبیان، منوچهر؛ (۱۳۹۷)، تفکر طراحی پارامتریک (PDT)، رویکردی نوین به سوی طراحی شهری انعطاف پذیر، کنگره بین المللی علوم مهندسی و توسعه شهری پایدار دانمارک - کپنهاگ، صص ۱۰-۱.
۱۷. صفا، ذبیح الله؛ (۱۳۵۶)، تاریخ علوم عقلی در تمدن اسلامی تا اواسط قرن پنجم، تهران: انتشارات امیر کبیر.

۱۸. صالح آبادی، امیرمحمد؛ تقوی، نگار و منصوری، رضوانه؛ (۱۳۹۷)، نقش رویکرد پارامتریک در بیان مفاهیم هندسه ی منتظم معماری اسلامی، کنفرانس بین المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران تهران – دانشگاه تهران، صص ۱۵-۱.
۱۹. صاحب زاده، صدرا و صادقی، افسانه؛ (۱۳۹۵)، رایانش پارامتریک؛ تاریخچه ی مختصر و افق های پیش رو، چهارمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، معماری و توسعه شهری، تهران: دانشگاه شهید بهشتی تهران.
۲۰. گروه معماری ام آر جی دی؛ (۱۳۹۳)، فرآیند طراحی پارامتریک، از پیچیدگی تا ظرافت، ترجمه: مهسا حیدری، تهران: نشر طراحان هنر، چهار حوض.
۲۱. گلایچی، محمود؛ اندجی گرمارودی، علی و باستانی، حسین؛ (۱۳۹۱)، معماری دیجیتال، کاربرد فناوری های CAD/CAM/CAE در معماری، چاپ دوم، تهران: موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران.
۲۲. گلایچی، محمود و سروش نیا، احسان؛ (۱۳۹۱)، جزئیات ارتقاء دهنده معماری، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
۲۳. مستغنی، علیرضا و علیمزادی، محسن؛ (۱۳۹۵)، واکاوی کاربرد هندسه طبیعت و فراکتال در معماری پارامتریک با بررسی آرایه داخلی گنبد مسجد شیخ لطف الله، دو فصلنامه دانشگاه هنر، نامه معماری و شهرسازی، شماره ۱۶.
۲۴. مهدوی نژاد، محمدجواد؛ (۱۳۹۳)، معماری الگوریتمی داده نگاری و روش های پیشرفته برنامه دهی مقداری در فرایند طراحی معماری معاصر، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.
۲۵. مشایخ فریدنی، سعید؛ (۱۳۹۲)، هندسه فرم معماری (آشنایی با نرم افزار گرسهپار)، تهران: انتشارات آرمان شهر.
۲۶. نقره کار، عبدالحمید و رئیس، محمدمنان؛ (۱۳۹۱)، تحقق پذیری هویت اسلامی در آثار معماری، فصلنامه شهر ایرانی اسلامی، شماره هفتم.
۲۷. ناصح زاده تبریز، شهرام و پور رجب صوفیانی، لاجین؛ (۱۳۹۵)، توانایی های بالقوه نرم افزارهای پارامتریک در طراحی معماری اسلامی نمونه موردی کاربردی: کاربردی، اولین مسابقه کنفرانس بین المللی جامع علوم مهندسی در ایران، دانشگاه انزلی.
۲۸. نصر، سید حسن؛ (۱۳۶۶)، علم در اسلام، ترجمه: احمد آرام، تهران: انتشارات سروش.
۲۹. یقوبلو، زهرا و نجفی، سیما؛ (۱۳۹۹)، بررسی کیفیت محیط مسکونی بر اساس مولفه های کاربردی معماری پارامتریک، نشریه معماری شناسی، سال سوم، شماره ۱۴.
30. Abas, S. J. "Islamic Geometrical Patterns for the Teaching of Mathematics of Symmetry." Symmetry in Ethnomathematics 12, no.1-2 (2001): 53-65. Budapest, Hungary: International Symmetry Foundation. Available online at: <http://www.ethnomath.org/resources/abas2001.pdf>.
31. Burry M. 2011. Scripting Cultures, John Wiley & Sons, Chichester.
32. Bucci F, Mulazzani M. Luigi Moretti: Works and Writings, Princeton Architectural Pres, New York, 2002.
33. Davis D, Speech: A History of Parametric, 9 August 2013: www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/.
34. El-Said, E. 1998. Islamic Art and Architecture: The System of Geometric Design. (1st ed.).
35. Federico Menabrea L. 2014. Sketch of the Analytical Engine invented by Charles Babbage. Richard & John Taylor, London.
36. Frazer J, 2002. Creative Design and the Generative Evolutionary Paradigm, Morgan Kaufmann, San Francisco.
37. Jabi W. 2013. Parametric Design for Architecture, Laurence King, London.
38. Janssen P, Stouffs R. 2015. 'Types of Parametric Modelling', 22th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA), Daegu, South Korea.
39. Leopold, 2005. Cornelie :Geometrische Strukturen. Exhibition of student's works at University of Kaiserslautern.
40. Patrik Schumacher, (2010), "Parametric Diagrams", The Diagrams of Architecture.
41. Schumacher P, 2012. The Autopoiesis of Architecture, Vol I: A New Framework for Architecture and Vol II: A New Agenda for Architecture, John Wiley & Sons, Chichester.
42. Woodbury R. 2010. Elements of Parametric Design, Routledge, London and New York.
43. www.industrialorigami.com