ORIGINAL RESEARCH ARTICLE

The Theoretical Foundations of Utilising BIM in 'Responsive Environmental Design' Under 'Productive Theory' Framework

Hadi Farhangdoust*
MA, Faculty of Islamic Art and Architecture, Imam Reza International University, Mashhad, Iran

Toktam Hanaee, PhD.
Associate Professor, Faculty of Art and Architecture, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Mashhad, Iran

Received: February 08, 2023
Accepted: February 04, 2024

(Pages: 61-88)

Hadi Farhangdoust, Toktam Hanaee, 2025. Theoretical foundations of using BIM technology in "responsive environmental design" in the framework of productive theory. *Soffeh* 35 (2): 61-88

DOI: 10.48308/soffeh.2025.230624.1241

Abstract:

Background and objectives: Environmental design in architecture and urban planning has its emphasis on synchronising environmental capacities with design processes. In recent years, the advances in digital technologies such as Building Information Modelling (BIM) has introduced a transformative tool for organising environmental, technical, and theoretical information in architectural and urban planning practices. This study aims to provide a novel conceptual framework for utilising BIM in responsive environmental design. The importance of this research lies in addressing the theoretical gaps in integrating digital tools with architectural theories and environmental design principles.

Keywords:
Process orientation, Data orientation, Problem orientation, Parametric architecture, Algorithmic design.

*. Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

*. Corresponding Author Email Address: h.farhangdoust@imamreza.ac.ir

http://dx.doi.org/10.48308/soffeh.2025.230624.1241

Under the 'Generative Theory' framework, the study seeks to identify BIM's capacities to meet the multifaceted design needs and adapt to environmental conditions. Contemporary transformations in architecture highlight the increasing role of environmental data in design processes. Unlike traditional approaches, modern design, particularly in the post-postmodern era, requires the integration of environmental, social, and advanced technological concepts to create flexible responses to complex issues. BIM, as a multidisciplinary tool, facilitates the analysis and integration of data within the design process through the provision of multi-dimensional digital models. This research responds to the limits of utilising architectural theories in digital design by offering a comprehensive framework for integrating BIM with architectural theories.

Materials and Methods: The research adopts a thematic analysis method with a qualitative approach. As a flexible method, thematic analysis enables the identification of hidden patterns in data and the discovery of relationships among various concepts. Data were collected from library resources and encoded into relevant themes. The research process consists of three main stages:

Data Collection and Categorization: Gathering and coding relevant data on BIM, environmental design, and Generative Theory.
Thematic Analysis: Identifying and categorising key themes and sub-themes.
Conceptual Framework Development: Integrating findings from thematic analysis to propose a conceptual framework for BIM in environmental design.

As a platform for integrating data and theories into the design process, BIM is defined across five stages:
Data Preparation (Pre-BIM): Collecting and organising environmental data for analysis.
Reality-based Visualization (BIM Light): Creating 3D models of design elements enriched with environmental information.
Data-to-Information Conversion: Integrating environmental data with 3D models for theoretical analysis.
Integration of Information and Expertise: Combining designers' knowledge with modelled data for improved decision-making.
Value Engineering-based Option Evaluation: Analysing and comparing design options to select the best solution.

Results and conclusion: The results demonstrate BIM's high capacity to organise environmental, technical, and theoretical information within the design process. The conceptual framework proposed in this research enables the use of BIM for responsive environmental design. The study provides a new comprehensive model for integrating digital technologies with architectural theories. The model specifically encompasses the following aspects:

Flexibility: Allowing real-time parameter changes and observing their impacts on the design.

Sustainability: Leveraging environmental data to enhance energy efficiency and reduce construction costs.

Multi-dimensional Analysis: Offering holistic perspectives for environmental, technical, and cultural analysis.

The proposed framework includes five main stages, encompassing data preparation to final evaluation of design options. These stages, utilising parametric and algorithmic approaches, allow the creation of flexible and adaptable design responses tailored to diverse needs.

Furthermore, the results indicate that BIM can act as a tool to facilitate interaction between designers, environmental factors, and digital tools. By creating a database of theoretical foundations, BIM enables the expansion and enhancement of design processes across various projects. Moreover, the use of artificial intelligence-based algorithms for data analysis and generating design responses offers multiple practical and economic applications.

This research assists environmental designers and scholars in significantly advancing the design process through BIM. By combining theoretical foundations with the capacities of advanced technologies, the proposed framework contributes to the improvement of efficiency and sustainability in environmental design. Recommendations include developing theoretical databases, creating data analysis algorithms, and enhancing interaction between designers and digital tools. Ultimately, this framework serves as a model for advancing responsive environmental design in architecture and urban planning.

این صفحه آگاهانه بدون متن ارائه شده است.

This page is intentionally rendered without text.

مبانی نظری بهره‌گیری از فناوری BIM در «طراحی محیطی پاسخ‌گو» در چارچوب «نظریهٔ مولد»

هادی فرهنگدوست[1]

تکتم حنایی[2]

دانشیار دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، مشهد، ایران

دریافت: ۱۹ بهمن ۱۴۰۱
پذیرش: ۱۵ بهمن ۱۴۰۲
(صفحهٔ ۶۱ – ۸۸)

هادی فرهنگدوست، تکتم حنایی. ۱۴۰۴. مبانی نظری بهره‌گیری از فناوری BIM در«طراحی محیطی پاسخ‌گو» در چارچوب «نظریهٔ مولد».
فصلنامهٔ علمی معماری و شهرسازی صفه ۳۵ (۲): ۶۱–۸۸.

کلیدواژگان: فرایندمحوری، داده‌پنداری، مسئله‌پنداری، معماری پارامتریک، طراحی الگوریتمیک.

چکیده

اهدف و پیشینه: در رویکرد نوین طراحی محیطی در معماری و شهرسازی بر همگام‌سازی ظرفیت‌های محیطی با فرایند طراحی تأکید می‌شود. امروزه رشد فناوری‌های دیجیتال نظیر مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی (BIM)، که ابزاری برای سازمان‌دهی اطلاعات محیطی، فنی، و نظری شناخته می‌شود، تحولی بنیادین در عرصهٔ طراحی معماری و شهرسازی ایجاد کرده است. این پژوهش با هدف عرضهٔ چارچوب مفهومی جدیدی برای بهره‌گیری از فناوری BIM در طراحی محیطی پاسخ‌گو انجام شده است. اهمیت این هدف در رفع خلأهای نظری موجود در تلفیق ابزارهای دیجیتال با مبانی نظری معماری و طراحی محیطی است. در این پژوهش در چارچوب «نظریهٔ مولد»، تلاش می‌شود ظرفیت‌های فناوری BIM برای پاسخ‌دهی به نیازهای طراحی چندوجهی و انطباق با شرایط محیطی شناسایی شود. تحولات معاصر در معماری افزایش نقش داده‌های محیطی در فرایند طراحی را می‌نمایاند. برخلاف رویکردهای سنتی، طراحی معاصر، به‌ویژه در دوران پساپست‌مدرنیسم، نیازمند ادغام مفاهیم محیطی، اجتماعی، و فناوری‌های نوین برای ایجاد پاسخ‌های انعطاف‌پذیر به مسائل پیچیده است. فناوری BIM، به‌منزلهٔ ابزار میان‌رشته‌ای، با ارائهٔ مدل‌های دیجیتال چندبعدی، امکان تحلیل و ادغام داده‌ها در فرایند طراحی فراهم می‌کند. در پژوهش حاضر در واکنش به محدودیت‌های موجود در بهره‌گیری از مبانی نظری در طراحی دیجیتال، چارچوبی جامع برای تلفیق این فناوری با نظریه‌های معماری عرضه می‌شود.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق از روش تحلیل تماتیک و رویکرد کیفی استفاده شده است. داده‌های پژوهش از منابع کتابخانه‌ای گردآوری و در قالب تم‌های مرتبط کدگذاری شده‌اند. با تحلیل تماتیک، به‌منزلهٔ رویکردی انعطاف‌پذیر، شناسایی الگوهای پنهان در داده‌ها و کشف روابط میان مفاهیم مختلف امکان‌پذیر می‌شود. فرایند تحقیق شامل سه مرحلهٔ اصلی است: در مرحلهٔ اول، داده‌های مرتبط با فناوری BIM، طراحی محیطی، و نظریهٔ مولد گردآوری و کدگذاری شدند. در مرحلهٔ بعدی که تحلیل تماتیک نام گرفت، تم‌های اصلی و فرعی مرتبط با موضوع شناسایی و دسته‌بندی گردیدند. در مرحلهٔ سوم، با ترکیب یافته‌های تحلیل تماتیک، چارچوبی مفهومی برای بهره‌گیری از فناوری BIM در طراحی محیطی ارائه شد. فناوری BIM بستری برای تلفیق داده‌ها و نظریه‌ها در فرایند طراحی و در پنج مرحله تعریف شده است: مرحلهٔ اول، آماده‌سازی داده‌ها (Pre-BIM) که شامل جمع‌آوری داده‌های محیطی و سازمان‌دهی آنها برای تحلیل است.

۱. نویسنده مسئول؛ کارشناس ارشد، معماری اسلامی، گروه هنر و معماری اسلامی، دانشکدهٔ هنر و معماری اسلامی، دانشگاه بین‌المللی امام رضا(ع)، مشهد، ایران
h.farhangdoust@imamreza.ac.ir
2. t.hanaee@mshdiau.ac.ir

*. Corresponding Author Email Address: h.farhangdoust@imamreza.ac.ir
http://dx.doi.org/10.48308/soffeh.2025.230624.1241

*. Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

پرسش‌های تحقیق

پرسش اصلی:

چارچوب نظری پژوهش، برای دستیابی به روشی منعطف و مبتنی بر نظریهٔ مولد در طراحی محیطی چیست؟

پرسش‌های فرعی:

۱. ارتباط طراحی الگوریتمیک با نظریهٔ مولد در بستر طراحی محیطی چیست؟

۲. ظرفیت‌های فناوری BIM در زمینهٔ طراحی محیطی چیست؟

۳. چگونه می‌توان ظرفیت‌های نظری فناوری BIM را در خدمت طراحی محیطی پاسخ‌گو و در چارچوب معنایی نظریهٔ مولد درآورد؟

مرحلهٔ دوم، مصورسازی واقعیت‌گرااست (BIM Light) که شامل ایجاد مدل‌های سه‌بعدی از عناصر طراحی و افزودن اطلاعات محیطی به آنها می‌گردد. مرحلهٔ سوم، مرحلهٔ تبدیل داده‌ها به اطلاعات است که داده‌های محیطی با مدل‌های سه‌بعدی برای تحلیل‌های نظری ادغام می‌شوند. مرحلهٔ چهارم، مرحلهٔ ادغام اطلاعات و مهارت‌هاست، به این معنا که دانش طراحان با داده‌های مدل‌سازی‌شده، برای فراهم‌سازی امکان انجام طراحی بهتر، ترکیب می‌شود. مرحلهٔ پنجم، مرحلهٔ ارزشیابی گزینه‌ها مبتنی بر مهندسی ارزش تحلیل و مقایسهٔ گزینه‌های طراحی برای انتخاب بهترین پاسخ است.

نتایج و جمع‌بندی: طبق نتایج پژوهش، فناوری BIM توانایی بالایی در سازمان‌دهی اطلاعات محیطی، فنی، و نظری در فرایند طراحی دارد. چارچوب مفهومی مورد نظر در این پژوهش امکان بهره‌گیری از ظرفیت‌های BIM برای طراحی محیطی پاسخ‌گو را فراهم می‌کند. نوآوری این پژوهش در عرضهٔ مدلی جامع برای ادغام فناوری‌های دیجیتال با مبانی نظری معماری است. این مدل به‌طور خاص شامل سه جنبه می‌شود: جنبهٔ انعطاف‌پذیری، به معنی داشتن امکان تغییر پارامترها و مشاهدهٔ نتایج به‌صورت آنی در طراحی؛ جنبهٔ پایداری، شامل استفاده از داده‌های محیطی برای بهبود کارایی انرژی و کاهش هزینه‌های ساخت؛ و جنبهٔ تحلیل چندبعدی، با منظور بیان دیدگاه‌های چندوجهی برای تحلیل محیطی، فنی، و فرهنگی.
همچنین طبق نتایج، فناوری BIM می‌تواند ابزاری برای تسهیل تعامل میان طراح، عوامل محیطی، و ابزارهای دیجیتال باشد. BIM با ایجاد بانک اطلاعاتی از مبانی نظری، امکان گسترش و ارتقای فرایند طراحی را در پروژه‌های مختلف فراهم می‌آورد. علاوه‌براین، استفاده از الگوریتم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی برای تحلیل داده‌ها و ایجاد پاسخ‌های طراحی، کاربردهای عملی و اقتصادی متعددی دارد.
چارچوب پیشنهادی شامل پنج مرحلهٔ اصلی از آماده‌سازی داده‌ها تا ارزشیابی نهایی گزینه‌های طراحی است. در این مراحل با بهره‌گیری از رویکردهای پارامتریک و الگوریتمیک، امکان ایجاد پاسخ‌های طراحی انعطاف‌پذیر و تطبیق‌پذیر با نیازهای متنوع را فراهم می‌شود. پژوهش حاضر به طراحان و پژوهشگران محیطی یاری می‌کند تا با بهره‌گیری از فناوری BIM، فرایند طراحی را به‌طور معناداری ارتقا دهند. این چارچوب با ترکیب مبانی نظری و ظرفیت‌های فناوری‌های نوین، به بهبود کارایی و پایداری طراحی محیطی کمک می‌کند. پیشنهادهای این پژوهش شامل ایجاد بانک اطلاعاتی مبتنی بر مبانی نظری، توسعه الگوریتم‌های تحلیل داده، و افزایش تعامل میان طراحان و ابزارهای دیجیتال است. درنهایت، این چارچوب می‌تواند مدلی باشد برای توسعهٔ طراحی محیطی پاسخ‌گو در معماری و شهرسازی.

مقدمه

اندیشمندان «فلسفهٔ علم»[3] و «علم اطلاعات و دانش‌شناسی»[4] معتقدند که آنچه دانشمندان در دوره‌های اخیر در علوم بررسی می‌کنند، دیگر پدیده یا ماهیت‌شناسی نیست (جدول ۱)، بلکه با شکل‌گیری عصر مفهومی، این داده‌ها هستند که در مدارک[5] علمی ثبت و تحلیل می‌شوند، و دیگر فرقی

3. Philosophy of Science
4. Knowledge and Information Science
5. Documents

۶. ریک زوستاک، *طبقه‌بندی علم: پدیده‌ها، داده‌ها، نظریه‌ها، روش‌ها، رویه‌ها*. ترجمهٔ رضا مختارپور و علی‌اکبر خاصه (تهران: کتابدار، ۱۳۹۵)، ۷۹.

۷. با توجه به اینکه مبانی نظری، اتعکاسی از فلسفهٔ علم و اقناع‌سازی مبتنی بر دلالت‌پژوهی هر دورانی است، می‌توان سیر تاریخی آن را این‌گونه بیان کرد: «عصر مدرنیسم که به "یک راه، یک حقیقت، یک شهر" پایبند بود مرده است، عصر پست‌مدرنیسم که "هر چیز قابل‌قبول است" را ندا می‌داد، دیگر در حال خروج از صحنه است و امروزه باید عصری را پذیرفت که تحت عنوان پست‌پست‌مدرنیسم در جریان است» (تام ترنر، *شهر همچون چشم‌انداز: نگرشی فراتر از نوگرایی (پست‌پست‌مدرنیسم) به طراحی و برنامه‌ریزی شهری*. ترجمهٔ فرشاد نوریان. وبراستار حشمت‌الله نادرشاهی (تهران: شرکت پردازش و برنامه‌ریزی شهری، ۱۳۸۵)، ۲۶؛ فیروزی و همکاران، «تحلیل و ارزیابی ویژگی‌های شهرسازی در دوران پست مدرنیسم»، *جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری چشم‌انداز زاگرس*، دوره ۲، ش. ۶ (زمستان ۱۳۸۹): ۹۳).

بین شناخت وجوه پدیده‌ها یا فهم روابط ماهیت‌گونهٔ آنها نیست.[۶] به دیگر سخن، معماری و شهرسازی در دوران معاصر (پساپست‌مدرنیستی[۷])، از جنبهٔ ساختار علمی آن، از دید علم اطلاعات و دانش‌شناسی نوین[۸]، محتوایی چندجانبه از دانش‌ها به زبانی فرایندی و روشی داده‌گراست. به‌نظر می‌رسد در این نظام و عصر نوین، زبانِ الگویی و مبتنی بر فرایند و داده، روشی برای عرضه و پیاده‌سازی انواع محتوا (اطلاعات و دانش و خرد) در علوم مختلف ازجمله معماری و شهرسازی خواهد بود. در این باره می‌توان به نظریات کریستوفر الکساندر[۹] توجه کرد.[۱۰]

به اعتقاد محققان، در طراحی محیطی معاصر، انتخاب فرم و یا بستر شکل‌گیری و تولید آن، بیش‌ازآنکه برآمده از دیدگاه و مهارت‌های فنی و زیبایی‌شناسانهٔ طراح باشد، به شیوهٔ انتخاب و رویکرد و داده‌های محیطی برای رسیدن به بهترین پاسخ درخور هر پروژه بستگی دارد.[۱۱] انعکاس و تطبیق چنین نگاهی در محتوای نظری نوع ساختمان‌ها، بدان معنی است که **بستر** نیاز به طراحی محیطی در وجوه مختلف آن ایجاد شده است؛ زیرا در طراحی محیطی، با توجه به ادراک محیطی، همگام‌سازی ظرفیت‌های محیط و فرایند طراحی دنبال می‌شود. نقطهٔ اشترک این هم‌افزایی مبانی نظری متناسبی است که در این پژوهش از آن به نام «نظریهٔ مولد» یاد شده است. به دیگر سخن، معیارها و الزامات طراحی در فضای کنونی، مبانی نظری ویژه‌ای برای غلبه بر پیچیدگی و سیالیت محیطی را می‌طلبد، که پاسخی طراحانه به **مسئلهٔ** محیط‌محوری در طراحی ساختمان‌هاست.

بر این اساس، هدف اصلی در این پژوهش، بررسی ظرفیت‌های فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی، به‌منظور افزایش تعریف‌پذیری فرایند طراحی و کنترل‌کنندگی طراح بر عوامل متعدد محیطی، در چارچوب نظریهٔ مولد (مبنای نظری آن) است (ت ۱). **ضرورت** دستیابی به چنین بستری، افزایش همگامی و همسویی ظرفیت‌های محیطی با مفاهیم مطرح در نظریهٔ مولد طراحی برای دستیابی به طراحی محیطی پاسخ‌گوست؛ زیرا در نبود این چارچوب نظری، بعد «فنی ـ دانشی ـ هندسی» این ابزار دیجیتال بر بعد دیگر یعنی طراحیِ مبتنی بر فرایند و مبانی نظری غلبه می‌یابد و موجب دامن زدن به نقش «ابزار تجاری» آن می‌شود. درنتیجهٔ فرم‌زایی این ابزار، ازآنجاکه مبدأ، فرایند، و منطق تولید آن، دچار ابهام و تعریف‌ناشدگی و عدم تطبیق با سبک‌های معماری زنده یا سابق است، و همچنین از اصول زیبایی‌آفرینی کمتر شناخته‌شده‌ای پیروی می‌کند، مبهم، ناشناخته، و در حد پوسته‌سازی‌های صرفاً ظاهری و نامطلوب عملکردی باقی خواهد ماند.[۱۲]

در خصوص پژوهش‌های قبلی و **خلأ تحقیقاتی** موجود، باید گفت که مبانی نظری معماری و شهرسازی صرفاً کاربرد مطالعات سبک و تاریخ‌شناسی یافته‌اند و نقش هستهٔ دانشی بودن خود را در ابعاد مختلف طراحی و برنامه‌ریزی از دست داده است. یکی از مهم‌ترین دلایل آن، رشد فناوری‌های دخیل در طراحی و تفاوت‌های موجود بین ماهیت مبانی نظری موجود با زبان ماشینی این نرم‌افزارهاست. خلأ بزرگ شکل‌گرفته، به دلیل نبود نظریه‌پردازی مناسب و چارچوب‌های منطقی برای تبدیل مبانی نظری به فرایندهای نوین طراحی، در شرایط بحرانی به سر می‌برد. به‌گونه‌ای‌که شاهد فاصله گرفتن طراحی‌های معماری و شهرسازی از مبانی‌گرایی، و سوق یافتن

	عصر کشاورزی	عصر صنعتی	عصر اطلاعاتی	عصر مفهومی
دوره زمانی	تا ۱۸۰۰	۱۸۰۰تا ۱۹۵۰	۱۹۵۰ تا ۲۰۱۰	۲۰۱۰ به بعد
اکثریت کارکنان	کشاورزان	کارگران	کارگران دانشی	همدلان و خلاقان
مشارکت	افراد و زمین	افراد و ماشین	افراد و افراد	افراد و افراد
ابزار عمده	ابزارهای سنتی	ماشین	ابزارهای اطلاعاتی	ابزارهای مفهومی

جدول ۱. سیر تحولات اجتماعی و شکل‌گیری عصر مفهوم‌گرایی، مأخذ: مهرداد شفیعی و منوچهر منطقی، «توسعه فناوری در عصر مفهومی: تعاریف، مفاهیم و الزامات»، *فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی*، ش ۲۳ (بهار و تابستان ۱۳۹۳): ۴.

۸. رحمت‌الله فتاحی، *درآمدی بر نظریه داده‌ها: جستاری فلسفی و علمی درباره داده‌ها* (تهران: کتابدار، ۱۳۹۷).

۹. کریستوفر الکساندر، *معماری و راز جاودانگی*، ترجمهٔ مهرداد قیومی بیدهندی (تهران: روزنه، ۱۳۹۴).

۱۰. محمد نقی‌زاده، «رابطهٔ هویت "سنت معماری ایران" با "مدرنیسم" و "نوگرایی"»، *هنرهای زیبا*، ش ۷ (تیر ۱۳۷۹): ۷۹-۹۱.

۱۱. امیر امین‌الضربیان و همکاران، «طراحی مجتمع مسکونی همساز با اقلیم با تأکید بر شیوه پارامتریک»، در *سومین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهر*، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۹۴.

۱۲. حسین باستانی و همکاران، *معماری دیجیتال: کاربرد فناوری‌های CAD/CAM/CAE در معماری* (تهران: دانشگاه تهران، ۱۳۹۱)، ۸۳-۸۹.

طراحان به سمت فرمالیسم بدون پشتوانهٔ نظری خواهیم بود.

بر اساس جمع‌بندی این موارد، سؤال اصلی پژوهش جاری این است: چارچوب نظری پژوهش، برای دستیابی به روشی منعطف و مبتنی بر نظریهٔ مولد در طراحی محیطی چیست؟ **نوآوری** در این تحقیق در پاسخ‌گویی به این سؤال و به گونه‌ای است که چارچوب فکری و علمی مناسبی را برای بهره‌گیری حداکثری از ظرفیت‌های محیط از سوی طراحان و برنامه‌ریزان محیطی پایه‌گذاری می‌کند. **کاربرد** مهم این پژوهش در دستیابی به این فضای فکری در طراحان و برنامه‌ریزان محیطی است، که موجب شکل‌گیری تلاش‌هایی در جهت افزایش کارایی (از طریق انعطاف فضا، عناصر، و کالبد محیطی)، کاهش هزینه‌های مادی، زیست‌محیطی، و معنوی ناشی از نوسازی ساختمان‌ها، و همچنین افزایش ضرایب اتکاپذیری، دوام، و ماندگاری ابنیه در فضای سیال مخاطبان اجتماعی، و زیبایی‌شناسی متغیر حال حاضر خواهد شد. در زمینهٔ **آینده‌پژوهی** نیز، موجب شکل‌گیری ساختار فکری چندلایه و چندوجهی از مبانی نظری‌ای خواهد شد که ضمن به رسمیت شناختن و بهره‌گیری از ابزارهای بیان و حل مسئلهٔ سامانه‌پندار، مسیر بهره‌گیری از مبانی نظری به شیوه‌های نوآورانه‌تر از حال حاضر در زمینهٔ طراحی پاسخ‌گو را نیز فراهم می‌کند.

۱. پیشینهٔ تحقیق

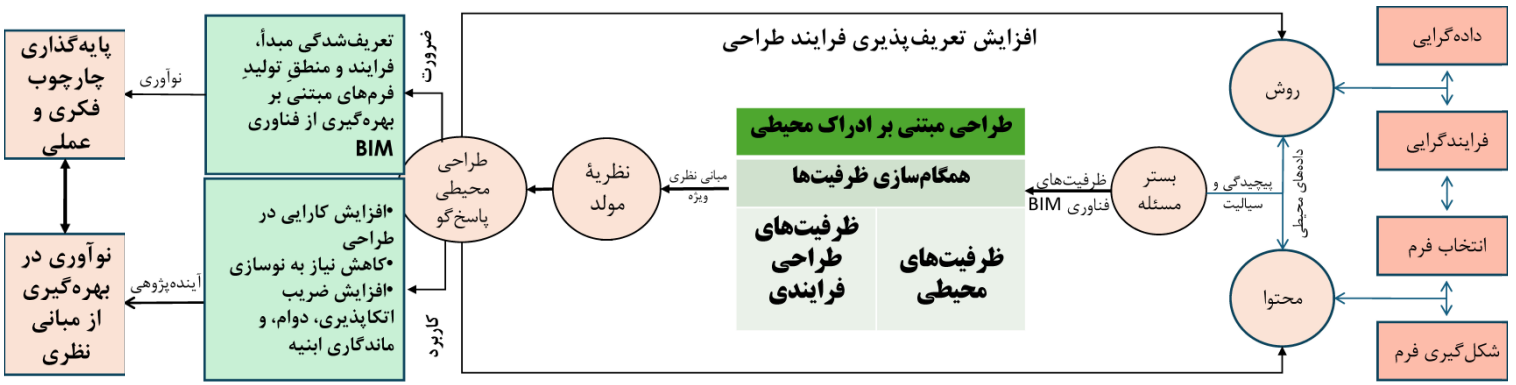
در جهان سنتی، پیوند تنگاتنگی میان بسیاری از عرصه‌های هنر، فن، و علم وجود نداشت و غالباً این عرصه‌ها را تحت عنوان «صناعات» طبقه‌بندی می‌کردند. اما پس از دکارت، تمایزی بنیادین میان بسیاری از این عرصه‌ها و اصحاب این دو قلمرو قائل شده‌اند. در اندیشهٔ مدرن، علم و هنر دیگر آن پیوند درونی را ندارند. به‌رغم برخی تمایزات میان این دو قلمرو، پژوهشگرانی تلاش کرده‌اند از مسیرهای گوناگون، این دو عرصه را در حوزه طراحی با یکدیگر پیوند دهند.[۱۳] یکی از مهم‌ترین عرصه‌های برقراری این پیوند، مبانی نظری میان‌رشته‌ای در برخی رشته‌ها مثل معماری و شهرسازی است.[۱۴] بررسی مطالعات عمده که مبانی نظری و مدل‌سازی فرایندهای طراحی را ساختار داده‌اند، نشان‌دهندهٔ برخی از مدل‌های اصلی پیشنهادشده برای برقراری ارتباط بین فرایند طراحی با عرصه‌های فوق در طول زمان است.

در عالم معاصر، محققان فرایند طراحی را سنگ بنای معماری و شهرسازی و نیز سایر زمینه‌های مهندسی و حرفه‌ای مختلف، مانند صنعت، مکانیک، و علوم رایانه، در ارتباط‌گیری با مبانی نظری می‌دانند.[۱۵] بر همین اساس، چندین تعریف کلی برای فرایند طراحی در هریک از این حرفه‌ها به‌وجود آمده است.

۱۳. جعفر طاهری، «نسبت طراحی با تحقیق جستاری در بنیان‌های نظری چگونگی پیوند تحقیق به طراحی معماری»، *صفه*، دوره ۲۲، ش. ۱ (بهار ۱۳۹۱): ۹.

۱۴. هادی فرهنگدوست و همکاران، «تحول‌شناسی مبانی نظری معماری و شهرسازی معاصر؛ گذار از گفتمان تأثیرپذیری به تأثیرگذاری»، *مطالعات میان‌رشته‌ای معماری ایران*، ش۲ (مهر ۱۴۰۱): ۹۴

ت ۱. چارچوب آگاهی‌بخش بر اساس جمع بندی کلیات پژوهش، تدوین: نگارندگان بر اساس مقدمه.



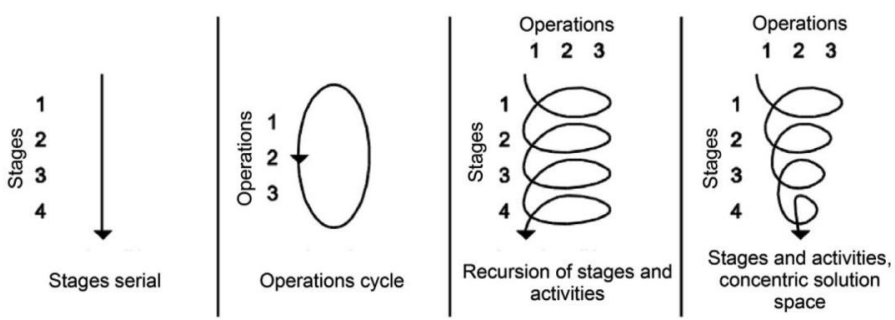
به نظر می‌رسد آغاز این روند را می‌توان در نظریهٔ حل مسئله سایمون در سال ۱۹۶۹[۱۶]، و سپس نظریهٔ تمرین‌کنندهٔ بازتابی شاون در ۱۹۹۲[۱۷]، و درنهایت فرایند سناریوسازی مبتکرانه و خلاقانه[۱۷] مشاهده کرد.

این روند کلی، به‌دلایل متعددی در دوران پساپست‌مدرن اخیر، نیازمند یک بازشناسی از داشته‌های نظری بود. به دیگر سخن، فقدان جامعیت و کارآمدی این مدل‌ها نسبت به شناخت چندلایهٔ انسان معاصر از پدیده‌های موضوع طراحی، نیاز جدیدی را برای هم‌افزایی آنها و دستیابی به چارچوبی منعطف و جامع موجب شده است. در این خصوص، در سال ۲۰۰۴ دوبرلی و همکارانش در مطالعات بین‌رشته‌ای در معماری، طراحی صنعتی، مهندسی مکانیک، مدیریت کیفیت، و مهندسی نرم‌افزار، حداقل ۲۴ مدل خطی، ۳۲ مدل خطی دارای حلقه‌های تکرارشونده، ۳ مدل درختی، ۷ مدل مارپیچی، ۸ مدل دایره‌ای، و ۱۲ مدل مختلف که هرکدام نشان‌دهندهٔ یک فرایند طراحی هستند، را فهرست کردند.[۱۹] گریک و بلسینگ این تنوع به‌کاررفته در مدل‌های ارتباط‌گیری مبانی نظری با فرایند طراحی را در چهار نوع خطی، حلقوی، مارپیچ ارشمیدسی، و مدل‌های مارپیچ مخروطی هم‌گرا خلاصه کرده‌اند (ت ۲).

گروهی دیگر از پژوهشگران نیز با استفاده از نقاط و بخش‌های تکرارشونده در ساختار فرایندهای طراحی رشته‌های مختلف[۲۰]، به‌دنبال رفتارشناسی این رشته‌ها در برابر مسائل مختلفند. به‌گونه‌ای‌که تلاش می‌کنند با بررسی این فرایندها، متوجه نقاط مشترک این «واکنش یکسان» نسبت به بستر متفاوت این مسائل در رشته‌های طراحی‌محور شوند. مهم‌ترین روش‌های این رفتارشناسی، از طریق «رابطه‌شناسی» بین عوامل مختلف، ازجمله عوامل مستقلِ فرایند طراحی[۲۱]، شیوه‌های «قیاسی استدلالی»[۲۲]، و «مسئله‌پنداری»[۲۳] بوده است.

در اینجا باید به شکاف‌های دانشی روشی و دانشی موضوعی خاصی که رخ می‌دهد و موضوع این پژوهش نیز هستند، توجه داشت. مهم‌ترین شکاف دانشی روشی، بروز هوش مصنوعی در ابزارهای مدل‌سازی است که بر مبنای تفکر بیان پارامتریک و حل مسئلهٔ الگوریتمیک پایه‌گذاری شده است؛ زیرا در نظریهٔ پارامتریسم[۲۴]، که مطالعهٔ مهارت‌های خاص مورد نیاز از طریق مدل‌سازی پارامتریک[۲۵] یا رویکردهای درگیر در فرایند طراحی پارامتریک[۲۶] را مد نظر دارد، به این واقعیت اشاره می‌شود که نسل اول طراحی پارامتریک، به‌طور خاص، صرفاً رابطه با مسئله و مفهوم آن را اصلاح می‌کند.

بنابراین محققان مدلی را پیشنهاد کردند که مراحل طراحی را به یک سیستم انعطاف‌پذیرتر نزدیک‌تر می‌کرد، تا بتوان پارامترها و ابزارهای مختلف محیطی را در مراحل مختلف طراحی اتخاذ و ادغام کرد، بااین‌حال، مدلی را برای نشان دادن خودِ فرایند طراحی، به‌صورتی‌که توسط ابزارهای مدل‌سازی پارامتریک پشتیبانی یا شکل‌دهی مجدد شود، پیشنهاد نکردند. در چنین فضایی، هر مداخلهٔ معماری و شهرسازی با شیوهٔ پارامتریک، شیوه‌های متعددی از بیان و حل مسئلهٔ الگوریتمیک را شامل می‌شد؛ به‌گونه‌ای‌که روشی سیال برای بیان و حل مسائلی عرضه می‌شد که امکان تصمیم‌گیری برای انتخاب فرایند مناسب و ارزشیابیِ خودِ فرایند طراحی را بسیار ناممکن می‌کرد (ت ۳).



ت ۲. تکامل شماتیک نمایش‌های متعدد و متوالی از فرایند طراحی، مأخذ:
A. Stals, S. Jancart and C. Elsen., "Parametric modeling tools in small architectural offices: Towards an adapted design process model" *Design Studies*, Vol 72, No. C, (2021).

15. S. Safin, et al., "Impact of a Virtual Sketches Environment and a 3D Preliminary Model on Architectural Design aActivity", *Revue d'Interaction Homme-Machine*, vol. 8, no. 2 (2007).

16. H.A. Simon, "The Sciences of the Artificial". *Reissue Of The Third Edition with A New Introduction By John Laird* (London: MIT Press, 2019).

17. D.A. Schön, *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action* (London: Routledge, 2017).

مطابق با خلأهای تحقیقاتی بیان‌شده در پژوهش‌های پیشین، راهکار این پژوهش، عرضهٔ مبانی نظری ویژه‌ای است که زمینه‌ساز و پایه‌گذار عرضهٔ چارچوب‌های بیان پارامتریک و حل الگوریتمیک مسائل معماری و شهرسازی بر اساس بهره‌گیری از فناوری BIM[۲۷] باشد. قاب‌گذاری این امر بر اساس بهره‌گیری از کانون‌های زایش راه حل در نظریهٔ مولد، برای دستیابی به رویکردهایی «توانا در بیان پارامتریک مسائل، منعطف در عرضهٔ راهکارهای الگوریتمیک، سنجش‌پذیر از جنبهٔ فرایندهای علمی، و قابل‌گسترش از لحاظ راهکاری‌های جدید و پیشنهادی» در طراحی محیطی پاسخ‌گوست.

۲. روش تحقیق

تحقیق کیفی، با هدف تولید دانش مبتنی بر تجربهٔ انسانی، یک مکان متمایز در ادبیات تحقیق ایجاد کرده‌است.[۲۸] تحقیق کیفی یک الگوی ارزشمند از تحقیق است و پیچیدگی که تحقیق کیفی را احاطه کرده است، نیاز به روش‌های دقیق و اصولی برای ایجاد نتایج معنی‌دار و مفید دارد. ازآنجاکه تحقیق کیفی به‌طور فزاینده‌ای شناسایی و ارزش‌گذاری می‌شود، برای به‌دست آوردن نتایج این‌چنینی، روش پژوهش باید دقیق و روشمند صورت گیرد. براون و کلارک استدلال کردند که تماتیک باید یک روش بنیادی برای تجزیه‌وتحلیل کیفی باشد؛[۲۹] زیرا مهارت‌های اصلی را برای انجام بسیاری از شکل‌های دیگر تجزیه‌وتحلیل کیفی فراهم می‌کند.[۳۰] همچنین در این نوع تحلیل بر انجام تحقیقات با کدگذاری و رویکردی بسیار انعطاف‌پذیر تمرکز می‌شود و درنهایت گزارشی غنی و دقیق و درعین‌حال پیچیده از داده‌ها فراهم می‌گردد. همچنین چنین روشی برای تبیین شباهت‌ها و تفاوت‌ها و بروز دیدگاه‌های پیش‌بینی‌نشده، مفید است[۳۱] (ت ۴).

براون و کلارک روش داده‌بنیاد از نظر روش کدگذاری «تم‌ها» یا کدگذاری داده‌ها را بسیار شبیه به تحلیل تماتیک می‌دانند.[۳۲] از سویی، تحلیل تماتیک یک روش خطی شش‌مرحله‌ای و درواقع یک فرایند تکرارشونده است که در طول زمان توسعه می‌یابد و شامل حرکتی ثابت به جلو و عقب در میان مراحل است.[۳۳] این تحلیل یک فرایند جامع است که در آن محققان قادر به شناسایی منابع متعدد مرتبط میان داده‌های موضوعات در حال توسعهٔ تحقیق هستند.[۳۴]

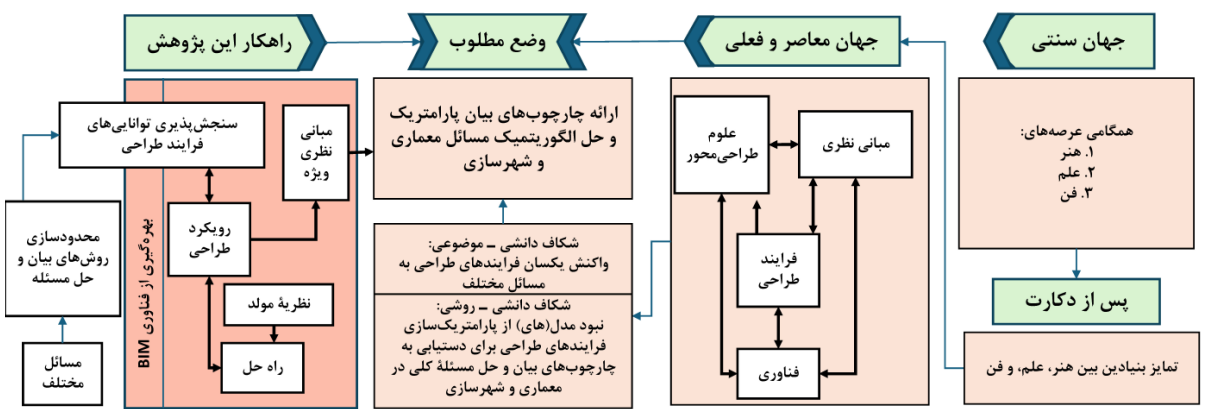
تحلیل تماتیک روش تحلیلی مناسب برای تحقیقات کیفی است و همانند هر روش دیگری باید بر اساس اهداف تحقیق

18. F. Darses, et al., "Cooperative Systems Design, Scenario-Based Design of Collaborative Systems", in *Proceedings of COOP, Hyères*, Les Palmiers, France, 2004.

19. H. Dubberly, *How Do You Design? A Compendium of Models* (San Francisco: Dubberly Design Office, 2005).

20. D. Motte and R. Bjärnemo, "The Cognitive Aspects of the Engineering Design Activity – A Literature Survey", *Proceedings of the 5th International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering* (Switzerland: Millpress, 2004).

۲۱. منظور از عوامل مستقل طراحی مواردی مثل تخصص‌های فنی، آموزش‌های فراگرفته‌شده، مهارت‌ها، و شخصیت حقیقی و حقوقی طراح است.



ت ۳. سیر تحول عرضهٔ راهکار در زمینهٔ حل مسائل معماری و شهرسازی بر اساس فرایندهی به طراحی، تدوین: نگارندگان بر اساس پیشینهٔ تحقیق.

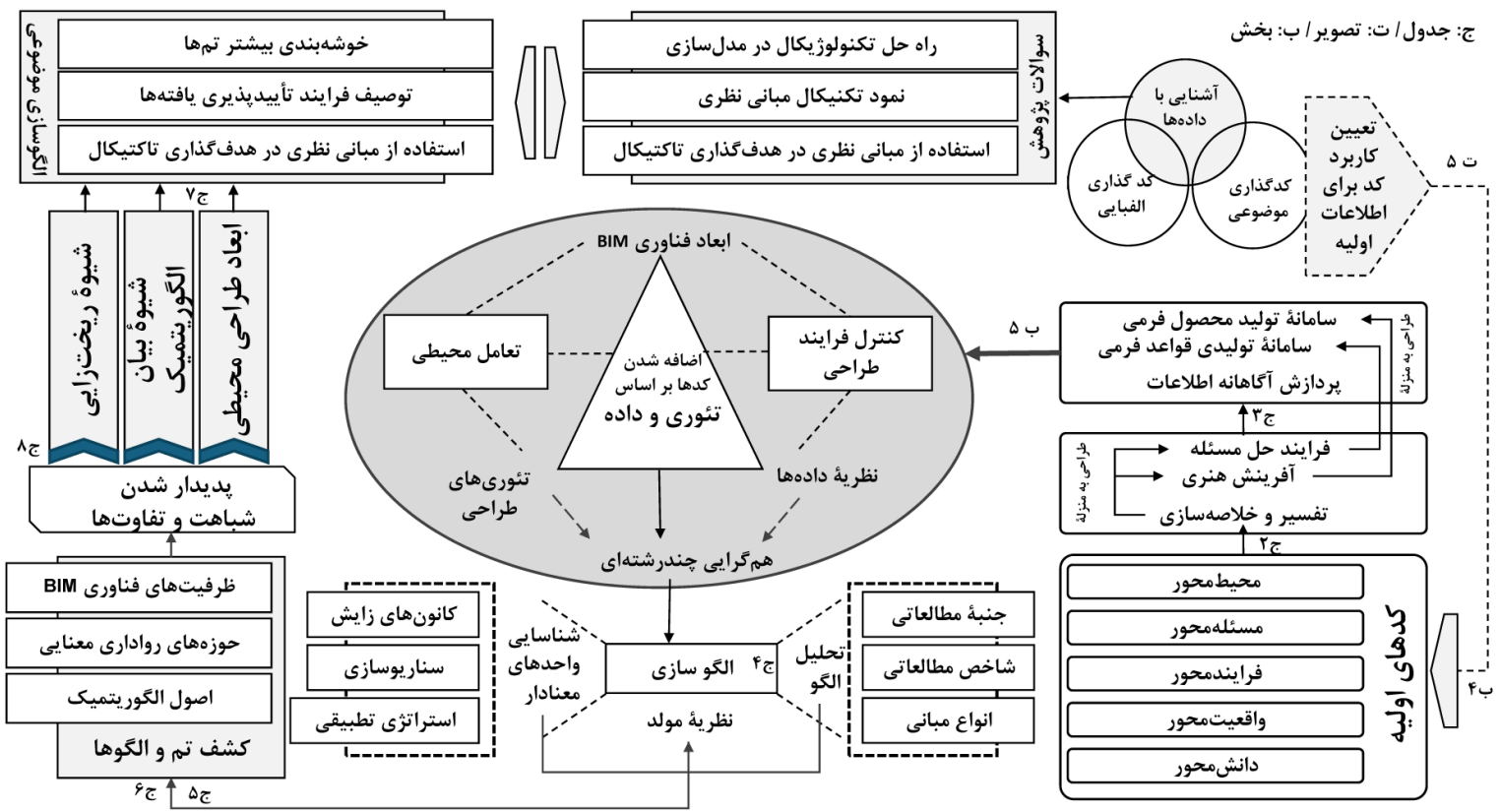
طراحی شود. همچنین همانند سایر روش‌های کیفی، ازجمله روش داده‌بنیاد و قوم‌نگاری، بر کدگذاری و جستجوی مجموعهٔ داده‌ها برای تم‌ها تکیه دارد.[۳۵] همچنین این روش مستلزم جستجو در داده‌ها برای شناسایی، تجزیه‌وتحلیل، و گزارش الگوها[۳۶] است.[۳۷]

۳. از طراحی الگوریتمیک تا شکل‌گیری نظریهٔ مولد در طراحی محیطی

در ابتدای فرایند پژوهش، به‌منظور ساماندهی محتوای موجود در منابع کتابخانه‌ای، آن منابع کدگذاری‌های موضوعی و الفبایی شدند. ماحصل این کدگذاری در مرحلهٔ بعدی منجر به شکل‌گیری محورهای مشترکی برای دسته‌بندی موضوعات پیرامون اهداف این پژوهش گردید. مهم‌ترین و مرتبط‌ترین این محورها به موضوع این پژوهش، با اضافه شدن جزئیات دوره‌شناسی تاریخی و اشاره به برخی از نظریه‌پردازی‌ها، مطابق «ت ۵» است.

بر اساس روش این تحقیق، نیاز به خلاصه‌سازی منابع بر مبنای ارتباط آنها به موضوع پژوهش، و همچنین محل بهره‌گیری از آنها بوده است. درنتیجه، این بخش از پایه‌ای‌ترین مفهوم‌های چندوجهی و مشترک بین موضوعات این پژوهش،

ج: جدول / ت: تصویر / ب: بخش

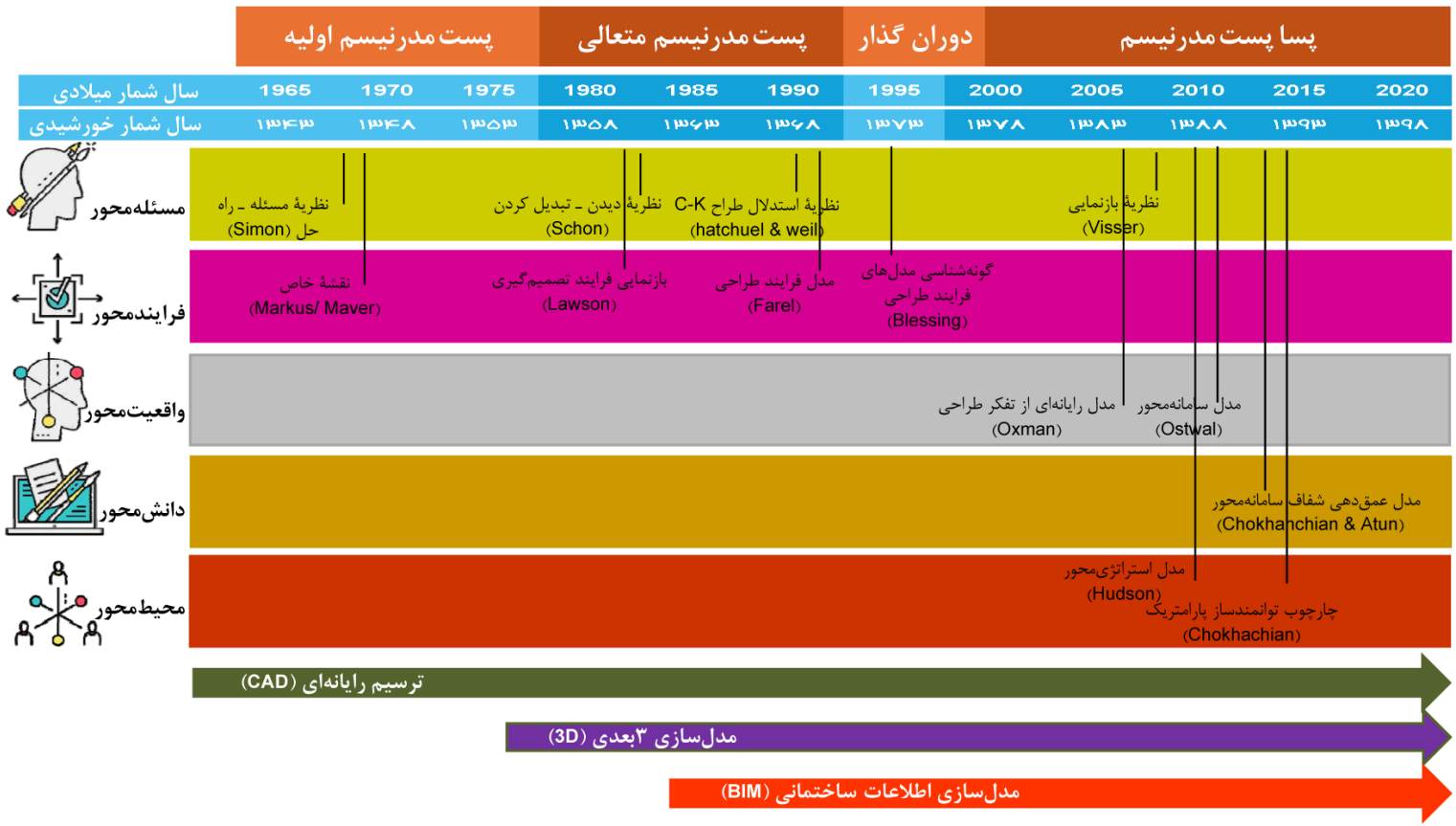


ت ۴. فرایند انجام پژوهش بر اساس روش تحقیق تحلیل تماتیک، مأخذ: حمید قاسمی و همکاران، مرجع پژوهش، ویراست بیستم (تهران: اندیشه‌آرا)، ص ۳۸۴–۳۹۵.

یعنی الگوریتم و پارامتر شروع می‌شود. «واژهٔ "الگوریتم" برخلاف ظاهر لاتین خود، برگرفته از نام ریاضیدان برجستهٔ ایرانی "خوارزمی" است».[۳۸] همچنین واژهٔ «پارامتر» به داده‌ای ارجاع دارد که بر یک وضعیت اثرگذار بوده[۳۹] و به دامنه‌ای از مقادیر ارجاع دارد.[۴۰] درواقع تفکر پارامتریک نسبت به مسئله، ریشه‌ای در نیاز به انعطاف‌پذیری در زمینهٔ عرضه و پیشنهاد گزینه‌های مختلفی از کانسپت طراحی پارامتریک و برنامه‌دهی محصول محور دارد تا بتوان با مقایسهٔ انواع پاسخ‌های محتمل به مسئله‌های چندلایهٔ معماری و شهرسازی، ارزش‌گذاری صحیحی کرد.

اولین تلاش‌های این‌چنینی را می‌توان در نرم‌افزار «اسکچ‌پد» مشاهده کرد که در سال ۱۹۶۳ ایوان ادوارد سادرلند[۴۱] برای تز دکتری خود در مؤسسهٔ فناوری ماساچوست، بر اساس سیستم‌های پارامتری، توسعه داد. ازآنجاکه در دورهٔ او، تفکر و اصطلاحات پارامتریک معنایی واسطه‌ای بین ریاضیات و جامعه داشت و عمدتاً با یک متغیر قابل‌اندازه‌گیری سروکار داشت،[۴۲] از همان ابتدا وارد رشته‌های طراحی‌محور، ازجمله طراحی ساختمان، شد. تاریخچهٔ این ورود به فرایندهای طراحی و نیز ظهور رایانه‌های شخصی و نرم‌افزارهای مرتبط با ترسیم سطوح شیب‌دار، و بعد تبدیل آنها به منحنی‌های چهارضلعی به

ت ۵. تعیین کاربرد کدگذاری با کدگذاری اولیه (ستون سمت چپ) برای اطلاعات اولیه، اقتباس از:
A. Chokhachian and R.A. Atun, "A Framework For Exploring The Role Of Parametric Design On Design Procedure", *Architectural Education* (North Cyprus, 2014); A. Hatchuel, et al., "C-K Theory: Modelling Creative Thinking and Its Impact on Research", *Creativity, Design Thinking and Interdisciplinarity*, (New York: Springer, 2018)



شیوهٔ پارامتری و جایگزینی معادلات ریاضی بزرگ با معادلات پارامتری مشابه را پروفسور کونز در کتاب خود، در مبحث ترسیمات گرافیکی رایانه‌ای شرح داده است.[۴۳]

اگرچه تعدادی از پژوهشگران معتقدند برخی از مبانی نظری یا دست‌کم «منطق پارامتریک» را، که زیربنای درک امروزی ما از مدل‌سازی پارامتریک هستند را می‌توان در آثار سالیوان، گائودی، یا لوکوربوزیه، و چند نفر معدود دیگر یافت،[۴۴] اما ورود این دیدگاه به فرایندهای طراحی ساختمان، به معرفی اصطلاح «معماری پارامتریک» توسط لوئیجی مورتی در دههٔ ۱۹۴۰ نسبت داده می‌شود،[۴۵] که آغاز چالشی در مورد رابطهٔ بین طراحی معماری و معادلات پارامتریک بود.[۴۶]

بعد از این دوران، این موضوع را مارک گروس، ابتدا در رسالهٔ دکتری‌اش[۴۷]، به‌منظور سازماندهی چینش توده و فضای ساختمان در چارچوب الزامات فرمی و اقتصادی، و چند سال بعد در کتابی برای بهره‌گیری از ویژگی پارامتری طراحی دیجیتال در توسعهٔ شکل‌های متغیر معمولی و منتظم طـرح کرد.[۴۸] در همین دوران هنریش شنوئید تفکر انعطاف در طراحی را به‌منظور ارتقای پاسخ‌گویی طراحانه به نیازها و عوامل متفاوت محیطی طـرح کرد.[۴۹]

درواقع، او با پیوند دادن معانی طراحی پارامتریک به مقولهٔ انعطاف‌پذیری محیطی، به خلق «فرم، شکل، و قالب» با استفاده از حالت‌های چندلایه و چندبعدی توده‌های ساختمانی اشاره کرد که تا آن زمان در فرایند تصمیم‌گیری توسط هوش و ادراک طراح انسانی با محدودیت‌های متعددی مواجه بود. به عبارت دیگر، او کاربرد هوش مصنوعی در فرایندهای طراحی را به گونه‌ای می‌دید که توانایی‌های شناختی و خلاقانهٔ طراح را به شیوه‌ای تعریف‌شده و هدفمند، به سمت گسترش و عملیاتی شدن پیش می‌برد.

نسل اول از این فناوریِ چندبعدی، بعدها، در نیمهٔ دوم دههٔ ۱۹۷۰ که به دوران «طراحی دیجیتال» مشهور شده بود، با روش‌های انیمیشن دیجیتالی بروز یافت و تا به امروز نیز، پایه و اساس اصلی آن قرار گرفته است. در این دوران ایوان سادرلند پیشگام نسل جدیدی از محققان بود که با اسکچ‌پد سعی می‌کردند پتانسیل‌های مهندسی نرم‌افزار را به نفع طراحان به کار گیرند. به گونه‌ای که بسیاری معتقدند، آن برهه، دورهٔ آغاز «طراحی مجازی» است؛ زیرا به کمک فناوری رایانه (سخت‌افزار و نرم‌افزارهای مخصوص طراحی)، طراح محیطی می‌تواند فضا و کالبد را در همهٔ مراحل، حتی قبل از ساخت، به‌طور کامل و با ریزترین جزئیات بازنمایی کند.[۵۰] دیدگاه طراحی مجازی در کنار دیدگاه توسعهٔ پایدار و بازنمایی لزوم توجه به بازیافت و کارایی، بیانگر ضرورت توجه به انعطاف‌پذیری در فرایندهای طراحی بود و این امر نیز زمینه‌ساز شکل‌گیری طراحی پاسخ‌گو شد؛ زیرا، از یک‌سو، قابلیت طراحی مجازی در یکپارچه کردن مراحل تفکر، طراحی، و ساخت در طراحی محیطی، منجر به خلق تعداد متنوعی از تفکرات انسان‌ها با شعار«هزاران خواسته برای هرکس» شد. درحالی‌که در دوران مدرنیسم، عرصه صرفاً برای شکل‌گیری روایت‌های فردی از زیبایی با شعار «همه چیز برای یکی»، در کنار تولید انبوه عناصر و تجهیزات ساختمانی با شعار «یک چیز برای همه»، فراهم شده بود.[۵۱] ازسویی دیگر، ظهور این فناوری باعث تغییر در معنای راندمان در عرصه‌های مختلف گشت؛ به‌گونه‌ای‌که عرصهٔ «ساخت» ابنیه به سمت پیش‌سازی و صنعتی‌سازی، عرصهٔ «طراحی» به سمت فرایندپذیری، و عرصهٔ «کارکردی» نیز به سمت توانمندسازی و چندکارکردی فضاها سوق یافتند.

بنابراین برخی ابزارهای مورد استفاده در آن نسل بسیار متفاوت از انواع ابزارهای نسل بعدی بود، آنها از ابزارهای مدل‌سازی پارامتریک بهره بردند. با ابزارهای مدل‌سازی،

22. P. Leclercq and A. Heyligen, "5,8 Analogies per Hour, A Designer's View on Analogical Reasoning", In Proceedings of the 7th International Conference on Artificial Intelligence in Design, (San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers Inc, 2002).

23. C. Eastman, et al., *Design Knowing and Learning: Cognition in Design Education* (Amsterdam: Elsevier Science, 2015).

24. P. Schumacher, "Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design". *Architectural Design*, vol. 79, no. 4 (2009): 14-23.

25. Aurélie de Boissieu, *Modélisation paramétrique en Conception Architecturale: Caractérisation des Opérations Cognitives de Conception pour une Pédagogie*, Paris: Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Université Paris Est Section: Architecture,Ecole Doctorale Ville Transports et Territoires, PRES Paris Est,Ecole Nationale Supérieure d'Architecture Paris la Villette, 2013.

امکان در نظر گرفتن پارامترهای متعدد و ایجاد تغییرات فراهم می‌شود. همچنین با رفتارهای شناختیِ شخصیت معماران که دارای تنوع زیادی در موقعیت‌های مختلف است، تطابق دارد.[۵۲] بنابراین، پس از اجرا، این فرایند، به‌دلیل ماهیت و کارایی‌اش، کاملاً در نقطهٔ مقابل فرایند خطی، یکسان، و ایستا در روش‌های مدل‌سازی سنتی‌تر (یا همان مدل‌سازی 3D) است.[۵۳]

بعدها، جان فریزر رهبر دو نسل متفاوت از حوزه‌های نوظهوری شد که با عنوان «طراحی مولد» و «محاسبات تکاملی» شناخته می‌شوند. به‌گونه‌ای‌که می‌توان گفت طراحی مولد که برآمده از نظریهٔ مولد و به زبان الگوریتمیک است (جدول ۲)، یا به‌خاطر ویژگی‌های هندسی در شیءِ طراحی‌شده به‌منزلهٔ محصول نهایی (سیستم تولید محصول) به کار می‌رود[۵۴] و یا می‌تواند ظرفیت‌های حرفه‌ای در فرایند طراحی یک شیء (سیستم تولید طراحی) ایجاد کند.[۵۵] بااین‌حال، استفاده از ابزارهای طراحی الگوریتمیک در چنین زمینه‌هایی، مستلزم توسعهٔ استراتژی‌های فرایندانگارانه، از موقعیت‌های مختلف در هر زمینه و پروژه است.[۵۶] پر اینجا می‌توان گفت در عالم واقع، واکنش به ظرفیت‌های هوش مصنوعی در فرایند طراحی، یک تیغ دولبه است. به‌گونه‌ای‌که، هرگاه طراحان تسلط خود بر فرایند آفرینش این فضا و کالبدها را تحت تأثیر طبیعت توانمند و درعین‌حال پیچیدهٔ رایانه‌ها درمی‌یابند، به‌دنبال رد کامل و اهریمن‌انگاری استفاده از آنها با عنوان «سیستم تولیدکنندهٔ طراحی» برمی‌آیند؛ و هرگاه از نقش آن در نقش افزایش ظرفیت‌های ارتباط میان ابزار و انسان (ابزار پردازشی، طراحی، تصمیم، و مدل‌سازی) بهره می‌برند، به محبوب‌سازی، تا حد پرستش آن، پیش می‌روند.[۵۷]

با توجه به آشکار شدن محورهای جدید در متن و منابع این بخش از پژوهش، می‌توان لایهٔ سوم از این روش تحقیق را بر اساس خلاصه‌سازی داده‌ها و شناسایی کدهای اولیه انجام داد (جدول ۲). طراحی محیطی بر اساس پیشینه‌ای که بیان شد، دو رویهٔ کلی دارد: نخست اینکه طراحی روندی آفرینشی برای ایجاد محصول طراحی قلمداد می‌شود که از سبک‌های هنری متعددی می‌تواند بهره گیرد. و دیگری، طراحی همانند سامانه‌ای دانسته می‌شود که فعالیت‌های مختلف بیان و حل مسئله را پوشش می‌دهد و از سبک‌های طراحی تبعیت می‌کند.

حال که ماهیت طراحی در چارچوب پاسخ‌دهندگی آشکار شد، باید به‌دنبال راهی برای برقراری ارتباط بین اجزای طراحی بود. مهم‌ترین ویژگی این ارتباط، انعطاف‌پذیری بالای آن است؛ زیرا اجزای زنده‌ای مانند طراح و مخاطب طراحی را در کنار عوامل محیطی (مانند اقتصاد، فرهنگ، موقعیت مکانی، اقلیم، و سایر عوامل) در بر می‌گیرد. در میان روش‌های برقراری ارتباط بین این عوامل، الگوریتم‌ها انتخاب مناسبی

26. R. Hudson, *Strategies for Parametric Design in Architecture: An application of practice led*. Bath, England, A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy, Department of Architecture and Civil Engineering,University of Bath, 2010.

27. Building Information Modeling

28. M. Sandelowski, "Using Qualitative Research", *Qualitative Health Research*, vol. 14, no. 10 (2004): 1366-1386.

29. V. Braun and V. Clarke. "Using Thematic Analysis in Psychology", *Qualitative Research in Psychology*, vol. 3, no. 2 (2006): 77-101.

جدول ۲. حالات مختلف کاربرد طراحی محیطی در پاسخ دهنده بودن محصول طراحی، برآمده از تفسیرهای بخش سوم روش تحقیق، تدوین: نگارندگان بر اساس منابع این بخش.

تفسیرطراحی محیطی	سبک	نقش الگوریتم	منطق طراحی	الزامات طراحی	نقش هوش مصنوعی
طراحی بعنوان یک روند آفرینشیِ محصول طراحی	سبک (آفرینش) هنری: هدف ایجادی مقدم بر فرایند ایجادی و مقدم بر شکل	مشخص کردن و دستیابی به محصول نهایی طراحی به‌طور دقیق	مدل‌سازی یک شی طراحی‌شده	اطلاع از نیازمندی‌ها، ظرفیت‌های محیطی، قابلیت‌ها، و اهداف مد نظر از محصول طراحی	دسته‌بندی، ارتباط‌دهی، و به‌کارگیری داده‌های گردآوری‌شده با فرم و حجم و خصوصیات محصول طراحی
سیستم‌های تولید طراحی: طراحی، یک فعالیت و فرایند حل مسئله	سبک (فرایند) طراحی: آرایش یا سازمان، مقدم بر شکل ظاهری	سامانهٔ زاینده چارچوب‌ها و فرایندهای ساخت یا طراحی منجر به محصول	مدل‌سازی یک منطق طراحی: فضایی برای بررسی آلترناتیوهای مختلف و خلاقانه در فرایند طراحی	نیازمند مکانیسم تولیدی (یعنی یک سری مشخصه‌های قابل‌اندازه‌گیری): قوانین، محدودیت‌ها، وابستگی (شرط)های عددی و ساختار (متغیر)های اولیه	در نقش کمک طراح و مولد، طرح اولیهٔ طراح را که به زبان طراحی ماشینی است، با مشکلات کمتر و نتیجه مطلوب‌تر گسترش می‌دهد.

هستند؛ زیرا تکیه‌گاه اصلی تبدیل عبارات زبانی و بیانی مختلف شبه‌انسانی به زبانی قابل‌فهم برای هوش مصنوعی هستند. اگرچه ریخت‌زایی[۵۸] الگوریتمی در فرایند تولید فرم به قرن‌ها پیش از ریاضی‌دانان برمی‌گردد، اما با ظهور هوش مصنوعی، تولید، سازماندهی، و بهینه‌سازی‌های فرمی در چارچوب کلی تولید فرم شکوفا شدند. پیچیده‌ترین این تلاش‌ها شامل الگوریتم‌های بهینه‌سازی سازه، یافتن فرم، سازماندهی، و برنامه‌نویسی است.[۵۹]

فراتر از اینها، به‌نظر بسیاری از پژوهشگران، دیدگاه‌های اولیهٔ ایجاد این فناوری الگوریتمیک که موجب ایجاد گزینه‌هایی برای بیان و حل مسائل متعدد شده است، دیگر در بخش ساختمان محدود نمانده است و توسعهٔ اخیرمحیط‌های برنامه‌ریزی و مدل‌سازی (شامل دستورها و عملکردهای برنامه‌ریزی آنها) منجر به هم‌افزایی چندلایه‌ای و پارامتریک برای مواجهه (بیان و حل) با موضوعات کلان شده است. به‌طوری‌که برخی پژوهشگران این قابلیت جدید را رسانس پارامتریک می‌نامند؛[۶۰] زیرا چنین بستری، نه‌تنها روش‌های طراحی خلاقانه را پوشش می‌دهد، بلکه منجر به بروز اَشکال جدیدی می‌گردد که اجازهٔ ارتباط مستقیم با فناوری و امکانات ساخت آن را نیز می‌دهد. درنتیجه، پتانسیل و توانایی انتخاب و طراحی اجزای ساختمانی پیچیده و تخصصی را خواهد داشت.

در چند دههٔ اخیر، با گسترش ابعاد سامانه‌های طراحی دیجیتال، بستر جدیدی مشتمل بر درهم‌آمیختگی داشته‌های نظری (مسئله‌پنداری)، خلاقیت‌های طراحانه (فرایندگرایی)، و ابزار دیجیتال (واقعیت‌گرایی) را شاهد هستیم. به بیانی دیگر، محققان در دهه‌های اخیر، بعد از شکل‌گیری تفکر مولد، منطق موجود را از بین نظرات و به‌اصطلاح نمونه‌های آنالوگ انتخاب می‌کردند؛[۶۱] حال‌آنکه در تحقیقات اخیر، این زمینه در چارچوب تفکر سیستمی سازماندهی شده است که با عنوان «نظریهٔ مولد» شناخته می‌شود. نظریهٔ مولد در دوران معاصر، اگرچه کانون‌های بروز متفاوتی داشته، ولی از منطق خاصی تبعیت می‌کند که می‌تواند به آن «منطق مولد» گفت (جدول ۳)[۶۲].

در این میان، اگرچه شرکت‌های بزرگ ساختمانی در بهره‌گیری از منطق مولد در نظریهٔ طراحی موجب عمق‌یافتگی استفاده از ابزارهای طراحی پارامتریک در طرح‌ها شده‌اند،[۶۳] ولی علی‌رغم نقش پررنگ شرکت‌های کوچک در امور طراحی،[۶۴] در حال حاضر، زمینهٔ خلاقیت کمتری دارند؛ زیرا مبانی نظری تعریف‌شده‌ای و چارچوب‌های الگوریتمی برای بهره‌گیری طراحان در مسائل روزمره و محدود وجود ندارد. به بیانی دیگر، طراحان محیطی با بیان مسئله‌های طراحی، در چارچوبِ معنی‌دار برآمده از این کانون‌های تولید نظریهٔ مولد، در جستجوی یک روش جدید طراحی مبتنی بر حل مسئله‌اند.[۶۵]

بسیاری از محققان معتقدند که برای طراحان امروزی، بهره‌گیری از نظریه‌های مولد، برای دستیابی به پاسخ‌های فرمی نوآورانه، هوشمند، و پویا نسبت به الزامات طراحی مسائل پیچیده‌تر، لازم و ضروری است.[۶۶] برای پاسخ به چنین نیازی،

جدول ۳. گسترش زبان پارامتریک به عنوان منطق مشترک بین رشته‌های مسئله محور، مأخذ:
M. Hensel, et al., *Emergent Technologies and Design: Towards a Biological Paradigm for Architecture* (London: Routledge, 2010).

		داده‌های ورودی	پردازش	بازخورد	خروجی
سامانهٔ تولیدی	زبانی	شکل‌های دستوری* و قواعد فرمیک	قواعد دستوری فرمالیزه‌شده	دستورهای محاسبه ـ اجرایی	طرح مرکب ـ پیچیده
	زیستی	طبیعت (ارگانیسم‌های پیچیدهٔ زیستی)	استخراج و تغییر قوانین طبیعی	فرم‌های قاعده‌مند	طرح منعطف ـ کارا
تولید طراحی		شرط، محدودیت و متغیرهای اولیه	روش تولید (قوانین، الگوریتم)	تولید گزینه‌های مختلف	انتخاب گزینهٔ بهتر

*«شکل‌های دستوری یک سری دستورات اصلاحی و تغییری روی شکل اولیهٔ خام اعمال می کنند». «بر اساس گفتهٔ نایت، شکل‌های دستوری، توصیفی و تولیدی هستند. در پروسه‌ای که طی آن قوانین اصلاحی و تغییری هم فرم و شکل طرح تولیدی را توصیف می‌کنند و هم طرح‌ها را محاسبه و تکمیل می کنند» (مقتدی‌نژاد و پاشایی، «بررسی تأثیر فرایند طراحی معماری پارامتریک بر پایهٔ طراحی الگوریتمیک»).

30. K. Malterud MD, "Qualitative Research: Standards, Challenges and Guidelines". *Lancet*, 358(9280) (2001): 483-488.

31. J. Fereday and E. Muir-Cochrane, "Demonstrating Rigor Using Thematic Analysis: A Hybrid Approach of Inductive and Deductive Coding and Theme Development", *International Journal of Qualitative Methods*, vol. 5, no. 1 (2006): 80-92.

32. Braun and Clarke. "Using Thematic Analysis in Psychology", 77-101.

33. Victoria Clarke and Virginia Braun. *Thematic Analysis* (Washington: American Psychological Association, 2023).

در پژوهش جاری، بر اساس روش تحقیق، در این مرحله، تحلیل الگوهای برداشت‌شده در لایهٔ سوم را با هدف شناسایی واحدهای معنادار متن انجام شده است. در ادامه با اضافه شدن کدهای مبتنی بر تئوری و داده‌ها، شبکه‌ای از ارتباطات مفهومی بین تفاسیر حاصل‌آمده در لایه‌های قبلی، داده‌های «جدول ۴» شکل می‌گیرد.

بر اساس شبکهٔ معنایی «جدول ۴» می‌توان گفت وقتی مسائل مقولهٔ ساختمان در چارچوب نظریه‌های زایشی «بیان و حل» شوند، درواقع بسیاری از فرایندهای نظری آنها در قالب الگوها، قوانین و مقررات، و غیره، از داده‌های مکتوب مبتنی بر ادراک و هوش انسانی به داده‌های قابل‌استفاده و برنامه‌ریزی‌شده در این فناوری، در قالب «الگوریتم‌های اصلی یا کمکی برای حل مسئله یا خلق جایگزین» تبدیل می‌شوند. از سوی دیگر، در این فناوری، از جنبهٔ ادغام چندین رشته با رویکردها و دیدگاه‌های فنی در کنار رشته‌های معماری و شهرسازی که اغلب هنرمحور هستند، نیاز مضاعفی به رویکرد نظری و استانداردسازی دیدگاه‌ها، مفاهیم، و روش‌ها یا «خلق سناریو» وجود دارد؛ زیرا سطح پیچیدگی‌های فنی و غیرضروری در نحوهٔ استفاده از آن برای همهٔ کاربران این رشته‌ها افزایش یافته است.[۶۷]

34. N Hayes, "Theory-led Thematic Snalysis: Social Identification in Small Companies". in *Doing Qualitative Analysis In Psychology* (London: Psychology Press, 1997).

35. Clarke and Braun, "Thematic Analysis", *The Journal of Positive Psychology*, vol. 12, no. 3 (2017): 297-298.

36. L.S. Nowell, et al., "Thematic Analysis: Striving to Meet the Trustworthiness Criteria", *International Journal of Qualitative Methods*, vol. 16, no. 1 (2017)

جنبهٔ مطالعاتی	شاخص‌های مطالعاتی	انواع مبانی	توضیح برخی مثال‌های قابل پیشنهاد
تحقیقات خلاقیت	انواع خلاقیت و روش استفاده از آنها در طراحی	مفهوم	تعاریف نظری و اجزای سازندهٔ نظریه با رویکرد انتزاعی
تاریخچهٔ طراحی	روش‌ها و نتایج بیان و حل مسئلهٔ طراحی معاصر	سازه	همان مفهوم با مؤلفه و ابعاد و رویکردی کلی‌تر و انتزاعی‌تر
روان‌شناسی محیط	نقش داده‌ها و عوامل محیطی در فرایند طراحی	متغیر	تعیین وجه محیطی مفاهیم با رویکرد قابل‌سنجش و عینی
طراحی صنعتی	رابطه تئوری طراحی با فرایند با کاربرد صنعتی	فرضیه	حدس‌های خردمندانهٔ آزموده که نتیجهٔ آنها تأیید شده یا نشده
طراحی دیجیتال	ابعاد و آثار به‌کارگیری آفرینش هنر دیجیتال	نظریه	فرضیه‌های تأییدشدهٔ علمی با قدرت تبیینی بالاتر از فرضیه
اکولوژی	کارکرد و ساختارشناسی طبیعت و ارگان طبیعی	پارادایم	نظریهٔ راهنمای بیان نظر برتر برای تعیین روابط محیطی
فلسفه	نقش ابزارهای منطقی و عقلی در تئوری طراحی	مکتب	نظریه با رویکردی کلی و پاسخ مشخص به سؤالات شناختی
اقتصاد	نظام سود ـ زیان ساخت و بازگشت سرمایه	قضیه	نظریهٔ باقدرت تبیین چندوجهی برای متره و برآورد منعطف
الگوگرایی	زبان بیان و حل مسئله مبتنی بر الگوریتم‌ها	اصول	چارچوب پیاده‌سازی اصول کاربردی برای نیل به اهداف
هویت‌گرایی	ارتباط لایه‌های هویت ابنیه با فرامعماری	قانون	اصل با قدرت تشریح نظام‌مند و جامع‌نگر در شرایط مختلف
فرایندگرایی	توجه به مسیر بیان، حل و ارتقای محتوایی آن	الگو	چارچوبی از مبانی با رویکردی کاربردی و قابل‌فهم و اجرا
توسعه پایدار	نقش عوامل محیطی و محیط زیستی در تئوری	مدل	مجموعه‌ای مادی و منطقی از ساخت‌های اساسی واقعیت
زیبایی‌شناسی	ابعاد ایجاد و درک پیام برگرفته از مفهوم و نشانه	استعاره	شبیه‌سازی بر اساس مبانی قبلی برای درک و کاربرد بهتر
هوش مصنوعی	به‌کارگیری قدرت تحلیلی و مصورسازی رایانه‌ای	نما یا مد	بیان یک پدیده بر اساس یک یا دو ویژگی مهم به کمک الگو
گفتمان طراحی	ماهیت و جنبه‌های کاربردی تئوری طراحی	الگوریتم	بیان یک مفهوم در قالب یک فرایند با شروع، مراحل، و نتیجه
فناوری‌های نوین	جنبه‌های تئوری جدید در بهره‌گیری از فناوری	نقشهٔ ذهنی	بیان مفاهیم و نظریه‌ها در قالب اشکال و خطوط به‌هم‌وابسته
مسئله پنداری	بستر بیان و حل مسئله به‌صورت علمی	فن	روشی عملی برای اجرایی کردن انواع مبانی نظری
مهندسی ارزش	شیوه‌های دسته‌بندی و ارزشیابی عوامل و اهداف	مبانی نظری ترکیبی	چارچوب تعیین سود ـ هزینه برای هر الگو، روش، و فرایندی
آینده‌پژوهی	پیش‌بینی آیندهٔ محتمل طراحی و تئوری آن		چارچوب تعیین دستاوردهای قابل‌دسترس با احتمال آن
سناریو (طرح‌واره)	زمینه‌های تبدیل ایده و انتزاع به بیان مسئله		چارچوب بیان مفهومی و طرح روش‌های کلی و اهداف
طراحی اجتماعی	ارتباط عوامل اجتماعی بر فرایند طراحی		توجه به وجوه تأثیرات متقابل طرح و بستر اجتماعی

جدول ۴. جنبه‌های مطالعات زایش نظریه در تبدیل تئوری طراحی به نظریهٔ مولد در رشته‌های مختلف «طراحی‌محور»، مأخذ: هادی فرهنگدوست و همکاران، «تحول‌شناسی مبانی‌نظری معماری و شهرسازی معاصر؛ گذار از گفتمان تأثیرپذیری به تأثیرگذاری»، *مطالعات میان‌رشته‌ای معماری ایران*، ش۲ (مهر ۱۴۰۱): ص ۸۰.

علاوه‌براین، به‌نظر می‌رسد که تحقیقات فعلی، عمدتاً بر توسعهٔ توانمندی‌های فنی این ابزارها متمرکز شده‌اند، نه بر درک استراتژی‌های تطبیق‌دهندهٔ مبانی نظری فوق، با فرایندهای گردش کار ضروری هنگام ادغام چنین ابزارهایی در روند طراحی دفاتر فنی و مهندسی کوچک‌مقیاس.[۶۸] بر این اساس، نیازمند شناخت ظرفیت‌های این فناوری در زمینهٔ طراحی محیطی (در بخش بعدی) هستیم.

۴. ظرفیت‌های فناوری BIM در زمینهٔ طراحی محیطی

ظهور رایانه‌های شخصی و امکان کنشگری اشخاص حقیقی در فرایندهای نرم‌افزاری عرصهٔ ساختمان در دههٔ ۱۹۸۰، باعث شکل‌گیری ابزارهای ترسیم رایانه‌ای[۶۹] و عبور از ترسیمات دستی شد. اگرچه بسیاری از پژوهشگرانْ زمینهٔ پیدایش فناوری مدل‌سازی را، مسائل فنی و کمبودهای فناوری ترسیم رایانه‌ای می‌دانند،[۷۰] ولی فناوری BIM نوعی همگرایی چندرشته‌ای، بین مهندسی رایانه (نرم‌افزار[۷۱]، سخت‌افزار[۷۲])، علم اطلاعات و دانش شناسی، و مهندسی ساختمانی[۷۳] است، که به‌منظور ایجاد بازنمایی گرافیکی داده‌های برگرفته از **واقعیت** (محیط، فیزیک، عملکرد) شکل گرفته است.[۷۴]

به دیگر سخن، نظریهٔ داده‌ها[۷۵] جان‌مایهٔ اصلی شکل‌گیری زبان داده‌پایهٔ تکنولوژی‌های رایانه‌محور است. به‌گونه‌ای‌که مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی (BIM)، با ترکیب فناوری اطلاعات (IT) با معماری و ساختمان‌سازی، یک تغییر بنیادین برای مدیریت، سنجش، و نظارت بر فرایند ساخت به‌صورت برخط و در کل طول چرخهٔ حیات ساختمان‌ها شناخته شده است.[۷۶] بر این اساس می‌توان گفت تنوع بالای داده‌های محیطی، فنی، هنری، انسانی، کالبدی، و نظری که در فرایند طراحی ساختمان دخالت دارند، به زبان داده، در این بانک اطلاعاتی ذخیره و به شیوه‌های متنوعی به‌کارگیری می‌شوند.

پس می‌توان گفت، طراحی دیجیتال و تأثیرپذیری فزایندهٔ آن از رویه‌های طراحی و داده‌های طراحی نیاز به بررسی مجدد تئوری‌های طراحی، نمایش جریان‌های کار، و مدل‌ها دارد. به دیگر سخن، داده‌های مورد استفاده در طراحی عمیقاً بر فرایند طراحی تأثیر می‌گذارند. درواقع، اگرچه این داده‌ها در برخی از مفاهیم مشترک هستند، ولی استراتژی‌ها و روش‌های کاوش راه حل‌ها ممکن است بر اساس نوع رسانهٔ مورد استفاده متفاوت باشند. بنابراین، ماهیت تعامل محیطی و ماهیت کنترل فرایند طراحی، هردو بسیار مهم تلقی می‌شوند. به بیانی دیگر، بخش‌های مهم در این تعامل محیطی و کنترل فرایندی، در قالب «ابعاد فناوری BIM» دسته‌بندی شده‌اند؛ درنتیجه، BIM بیش از یک ابزار مدل‌سازی سه‌بعدی (3D) است، و شامل ابعاد بیشتری مانند: زمان‌بندی مبتنی بر مدل (4D)، و برآورد هزینه (5D)، پایداری (6D)، مدیریت تسهیلات (7D)، ساخت دیجیتال، و طراحی پارامتریک (8D) است. به بیانی دیگر، پارامترهای جدید در این ابزار به‌صورت هم‌زمان، منسجم، و مرتبط با یکدیگر عرضه شده‌اند. این امر باعث شده است این فناوری در نقش ابزاری، خود (جدول ۵)، قابلیت جدید بررسی برخط، و هم‌زمان پارامترهای تعریف و انتساب داده‌شده به طرح را عرضه کند. درحقیقت، طراح محیطی در این فناوری، با تعریف پارامترها و تعریف منطق تعامل بین پارامتر و طرح، به نوع جدیدی از طراحی دیجیتال منجر می‌شود که با تغییر پارامترها، به‌صورت آنی تغییر می‌کند.

تجربه‌های حاصل از نبود این هماهنگی و شکست توجه یک‌جانبه به بخشی از قسمت‌های مهندسی ساختمان، باعث شکل‌گیری جهت‌یافتهٔ آن به سمت برخی از بخش‌های دیگرش می‌شود. خصوصاً که در دوران پست‌مدرنیسم و بعد از آن، شاهد گستردگی بیش از پیش تولیدات نظری و تنوع

۳۷. به بیان دیگر، این روش می تواند شکاف میان دیدگاه‌های پوزیتیویستی برای درک واقعیت قابل‌اعتماد، عینی، مبتنی بر واقعیت، و اهداف تفسیری بیشتر برای محققان علوم اجتماعی را پر کند (R.E. Boyatzis, *Transforming qualitative information: Thematic analysis and code development*. (California: Sage Publications, 1998))، درنهایت، شاید بااهمیت‌ترین تحلیل تماتیکْ تجزیه‌وتحلیل انعطاف‌پذیری نسبت به الف) نوع سؤالات پژوهشی که می‌تواند به آنها بپردازد، تجارب شخصی و درک مردم گرفته تا ساختارهای گسترده‌تر در زمینه‌های اجتماعی مختلف؛ ب) نوع داده‌ها و اسناد بررسی‌شده؛ ج) حجم تجزیه‌وتحلیل داده‌ها؛ د) انتخاب چارچوب نظری و یا معرفت‌شناختی؛ ه) توانایی تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با رویکرد استقرایی، رویکرد داده‌محور، یا رویکرد قیاسی، رویکرد نظریه‌محور باشد (Clarke & Braun, "Teaching Thematic Analysis: Overcoming Challenges and Developing Strategies for Effective Learning", *The Psychologist*, vol. 26, no. 2 (2013): 120-123.).

بسیار بالای مصالح و ابزارهای فنی ـ کارگاهی، و فناوری‌های ساخت ساختمان‌ها نیز بوده‌ایم. به‌نظر می‌رسد مبتنی بر این تجربیات در بُعد کلی‌تر یعنی در «سیاست‌گذاری علمی عرصهٔ بنا»، بر اساس موارد «جدول ۶»، چیستی و ماهیت نظری فناوری BIM هدف‌گذاری شده است.

براساس همین ظرفیت‌های چندلایه است (جدول ۶) که پژوهشگران این عرصه معتقدند طراحی پارامتریک، به‌مثابهٔ یک سبک طراحی محیطی، ناشی از بروز اسلوبِ جدیدی است که در پست‌مدرنیسم، به‌خاطر نیاز به اعتبار و پایداری، این پاسخ‌های طراحانه ایجاد شده است.[۷۷] بر همین اساس است که در پست‌مدرنیسم تا به حال، حضور مبانی نظری در این فناوری تحت عنوان «ابزارهای پشتیبان تصمیم»[۷۸]، تا حدود زیادی به رسمیت شناخته شده و البته نقش آن تبیین درستی متناسب با ظرفیتش نشده است.[۷۹] می‌توان گفت چنین بسترسازی‌ای برای حضور اطلاعات محیطی، از برداشتی فراتر از نگاه فنی به فناوری BIM، و مبتنی بر انعطاف‌پذیری پدید آمده است. یعنی توانایی «یکپارچه شدن اطلاعات و هندسه و ایده‌پردازی هنری» در سامانه‌های تحت BIM را پایه‌ای برای بهره‌گیری از داده‌های نظری کرده است.

وجه قابل‌برداشت از BIM		حوزه‌های رواداریِ معنای برداشت‌شده در طراحی محیطی	اصول الگوریتمیک
به معنی ساخت‌وساز ابنیه (Building)	گستردگی حوزهٔ کاربرد	BIM (به معنی فعل «ساختن» به جای اسم «ساختمان»)، فقط در مورد معماری نیست، بلکه با هر سازهٔ محیطی مصنوع از جمله راه‌آهن، بزرگراه، پل، تونل، و تأسیسات مرتبط است. همچنین برای بخش‌های دیگری مانند نقشه‌برداری زمین، معماری منظر و شهرسازی، تونل‌سازی، و استخراج معدن مناسب است.	ـ پیچیدگی‌های ذاتی سامانه‌ها (Complexity-Natural Systems) ـ طراحی بر اساس ریزاجزای مشابه (Component Based Design)
به معنی اطلاعات (nformation	گستردگی پوشش دهی به فرایندها	کار هم‌زمان مهندسان ابنیه، مبتنی بر به اشتراک گذاری اطلاعات ساختاریافته است. اساس یک مدل اطلاعاتی در فناوری BIM شامل: هندسهٔ مدل سه‌بعدی، اطلاعات غَیرگرافیکی*، اسناد** و نقشه‌ها می شود. همچنین شامل مدل اطلاعات پروژه (PIM: The Project Information model)که در طول عملیات اجرایی (CAPEX: Capital Expedite) عرضه می‌شود و شامل اطلاعات روند پروژه می‌شود. علاوه‌براین، مدل اطلاعات سرمایه‌ای (AIM: Asset Information Model) نیز وجود دارد که در طول حیات پروژه، هزینه‌های عملیاتی (OPEX: Operating Expenditure) و اطلاعات دارایی را مدیریت و نگهداری می‌کند. * تمام اطلاعات مربوط به ساختمان، ازجمله ویژگی‌های فیزیکی و کاربردی آن و اطلاعات چرخهٔ عمر پروژه. ** این اطلاعات شامل مواردی ازقبیل مشخصات مصالح (وزن، رنگ، اندازه، میزان مقاومت در برابر حریق، راهنمای نصب و مونتاژ، خدمات گارانتی محصولات، الزامات نگهداری و تعمیرات، اطلاعات قیمت اجزا) است.	تغییر تدریجی اجزا (Versioning-Differentiation) سازگاری (daptation) پاسخ‌گویی (Responsiveness) نرمی و سیالیت (Fluidity-Smoothness)
به معنی ایجاد مدل یا مدل‌سازی (/ Model (Modelling	ماهیت چندبعدی	مخففی برای اشاره به ترکیبی از منابع اطلاعات محیطی و فنی و ... شامل موارد زیر: ۱) مدل گرافیک سه‌بعدی (نمایش هندسی در قالب مدل) ۲) فرایند ایجادی آن: شبیه‌سازی جنبه‌های مختلف طراحی (سازه، معماری، تأسیسات و غیره)، ساخت و به‌کارگیری یک بنا	الگوهای تکرار شونده (نقشه‌ها، بافت‌ها، عکس‌ها) (Texture mapping-Patterning) ساخت دیجیتال (Digital Fabrication-CAD/CAM) پوشش پوسته‌ای (Envelope-Face)
منابع	K. Adalberth, "Energy Use during the Life Cycle of Buildings: a Method", *Building and Environment*, vol. 32, no. 4 (1997): 317-320; S. Azhar, "Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks and Challenges for the AEC Industry", 251.		

جدول ۵. توصیف نقش ابزاری فناوری BIM بر اساس کشف تم‌ها و الگوها در داده‌های چندلایه‌شده از طریق تعامل متن، کدها و تم‌ها، تدوین: نگارندگان.

۳۸. مهدی مقتدی‌نژاد و سودا پاشایی، «بررسی تأثیر فرایند طراحی معماری پارامتریک بر پایهٔ طراحی الگوریتمیک»، در *سومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در عمران، معماری و شهرسازی*، برلین ـ آلمان، ۱۳۹۵.

39. Real Academia Española, *Diccionario de La Lengua Española*. (Vigesimotercera edición. Versión normal (NUEVAS OBRAS REAL ACADEMIA), 2014).

۴۰. این مفهوم اگرچه در حال حاضر در هندسهٔ تحلیلی، برای منحنی‌های پیچیده به کار می‌رود، ولی توسط جوزف ـ لویی لاگرانژ (Joseph-Louis Lagrange 1736-1813) در سال ۱۷۷۴ برای بیان بعضی از معادلات دیفرانسیلی که متغیرهای اضافی دارند، استفاده شده است (V.J. Katz, *A History of Mathematics: An Introduction* (London: Pearson, 2008), 44-46).

41. Ivan Sutherland (1938-)

۵. یافته‌ها

با نقدهای پست‌مدرنیستی به عملکردگراییِ حاکم بر سبک‌های معماری مدرنیستی، در طراحی ساختمان‌های دوران پست‌مدرنیسم شاهد اولویت یافتن عوامل محیطی، همچون رفتار، انرژی، محیط زیست، اقتصاد، سازه، و کارایی هستیم. به دیگر سخن، نقش‌های چندگانه‌ای برای فضا، عناصر، و کالبد معماری و شهرسازی طـرح گردیده است. در این میان، مفهوم انعطاف‌پذیری بر اساس گفتمان طراحی محیطی پاسخ‌گو، برای دستیابی به حالاتی است که پاسخ‌های طراحانه به نیازهای بسیاری داده شود. چنین بستر جدیدی، نوید ظهور گفتمان ترکیبی نوینی با حضور پررنگ نرم‌افزارهای رایانه‌ای در عرصهٔ طراحی را می‌دهد که در آن فرایندهای طراحی، متکی بر مبانی و فلسفهٔ نظریِ دگرگون‌شده به زبان الگوریتمیک است.

به‌هرروی در دوران معاصر و هم‌زمان با شکل‌گیری رایانه و سپس رایانهٔ شخصی، استفادهٔ تجاری از امر تصویرسازی در این عرصه، اگرچه بدون تأخیر بوده، ولی رشد اولیه‌اش آهسته بوده است. با تخصصی‌تر شدن دیدگاه‌ها و رشد علم فناوری اطلاعات که بر پایهٔ نظریهٔ داده‌ها و نگاه داده‌پنداری شکل گرفته است، شاهد تولید فناوری نسل سوم یعنی مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی بوده‌ایم. نکتهٔ مهم اینجاست که مقولهٔ افزایش گرایش به ایجاد سامانهٔ یکپارچهٔ رایانه‌ای[۸۰]، نیاز به همسویی و تغییرات تعاملی با به‌روزترین روش‌ها برای صنعت ساختمان را امری حیاتی کرده است.

همچنین، ازآنجاکه در دوران پساپست‌مدرنیست فعلی، گرایش به سمت پشتوانه‌های منطقی و فلسفهٔ علم، برای درک و بیان فرایندهای آفرینش هنری افزایش یافته است، می‌توان نقش و جایگاه گفتمان الگوریتمیک را تحت تأثیر نقش و دامنهٔ نفوذ نرم‌افزارها از نوع هوش مصنوعی متمرکز در آنها دانست که «طراحی الگوریتمیک» را به سمت «طراحی پارامتریک» سوق داده است. در این نوع از طراحی، موضوع فقط طراحی فرم نیست، بلکه فراتر از ایجاد فرم، موضوع «فرم‌پذیری» تحت تأثیر کارایی الگوریتم‌های تعریف‌شده برای پارامترهای مشخص‌شده است که برای نیل به اهداف اهمیت دارد.

به‌طور قطع می‌توان گفت ازآنجاکه ابزارهای مدلینگ الگوریتمیک، در بعد فنی و ترسیمی، پیچیدگی الگوریتمیک از رابطه‌های عوامل را پشت رابطه‌های بصری برنامه‌نویسی پنهان می‌کنند، بنابراین لزوم مهارت فنی برای به کار بردن محاسبات را پایین می آورد. نکتهٔ مهم این است که ارتباط بین طراحی و ساخت محیطی، از جنبهٔ محتوایی، تنها مبتنی بر نیازهای فنی و مهندسیِ برآمده از تغییر در فناوری‌های ساخت و طراحی نبوده است. همچنین از لحاظ روشی نیز، هم‌زمان با تغییرات محیطی و نظری در علوم مختلف ساختمانی به موازات علوم انسانی و مهندسی و شکل‌گیری فناوری‌های کلان‌نگر همچون BIM، و بلکه بر اساس شناخت و معرفت جمعی شکل‌گرفته از پست‌مدرنیسم تا به امروز، موفقیت ساختمان‌سازی با میزان توجهی که باید در آن به نیازهای عاطفی، شناختی، و فرهنگی

جدول ۶. هدف‌گذاری ایجاد و توسعه فناوری BIM در ارتباط با عرصه‌های مواجهه با رسته ابنیه، مأخذ: هادی فرهنگدوست، «ظرفیت‌های فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی (BIM) در بهره‌گیری از مبانی نظری رستهٔ ابنیه با محوریت رشتهٔ معماری»، *چشم‌انداز شهرهای آینده*، ش. ۴ (زمستان ۱۴۰۰).

عرصهٔ مواجهه	هدف‌گذاری مفهومی (تاکتیک)	نمود نظری (تکنیک)	راه حل (تکنولوژیکال) در BIM
ناپایداری	استفاده از الگوی طراحی	نظریه‌پردازی هویت‌گرا	استفاده از پردازش پیش‌تحلیلی (Pre-Bim)
عدم قطعیت	الزام به معناسازی	انواع روش‌های مصورسازی	مصورسازی واقعیت‌گرا (BIM Light)
پیچیدگی	خلق شفافیت	ایجاد چرخهٔ حیات داده	تبدیل داده به اطلاعات (BIM + Information)
ابهام	نگاه کل‌نگر و سیستماتیک	زمینه‌گرایی در مسئله‌یابی	ادغام اطلاعات و مهارت (BIM + Knowledge)
تصمیم و اولویت	هوش مصنوعی تحلیلی الگومدار	نظریه‌پردازی معماری فرایندی	گزینه و تصمیم مبتنی بر ارزش (BIM + Desicions)

۴۲. مقتدی‌نژاد و پاشایی، «بررسی تأثیر فرایند طراحی معماری پارامتریک بر پایهٔ طراحی الگوریتمیک».

43. S.A. Coons, *Surfaces for Computer-aided Design of Space Forms* (Massachusetts: Project MAC, Massachusetts Institute of Technology, 1967).

44. R. Bottazzi, *Digital Architecture Beyond Computers: Fragments of a Cultural History of Computational Design* (London, New York, New Delhi, Oxford and Sydney: Bloomsbury Visual Arts, 2018).

45. lUIGI MoReTTI, *La FoNdazIoNe della Rocca: URBaNISTIca e RIceRca oPeRaTIva* (Roma: Ginevra Bentivoglio EditorsA , 2009).

استفاده‌کنندگان بشود، ارتباط مستقیمی دارد.[۸۱]

به‌نظر می‌رسد در زمینه‌هایی که شرکت اتودکس برای پیاده‌سازی اصول پایداری در ابنیه تعریف کرده است، با توجه به موجود بودن مبانی نظری متعدد در علوم انسانی در هر سه زمینهٔ «واقعیت»، «فرایند»، و «مسئله»پنداری، از یک‌سو، و وجود ابزارهای واسط بر پایهٔ BIM در سبد محصولات شرکت‌های بزرگ و کوچک در حال حاضر[۸۲]، از سوی دیگر، می‌توان با ورود و زمینه‌سازی منابع علوم انسانی از طریق ظرفیت‌های مبانی نظری، آنها را به طرق مختلفی در سناریوسازی‌های ساختمان‌ها وارد چرخهٔ حیات BIM کرد و موجب انعطاف‌پذیری فرایند و عملکردهای طراحانه گردید. بر این اساس، باید گفت معماری پارامتریکْ راهکاری هوشمندانه برای افزایش زمینه‌گرایی و سازگاری با محیط پیرامون است که با بهره‌گیری از تغییرات فرم در فضای طراحی، پارامترهای طراحی را به سمت معماری پایدار سوق می‌دهد.[۸۳]

می‌توان هوشمندی و انعطاف‌پذیری این فناوری را از پایین‌ترین سطح آن یعنی داده‌های محیطی نیز مشاهده کرد. به‌طوری‌که می‌توان گفت، همان‌گونه که داده‌های محیطی در آن، منجر به انواع مختلفی دانش، متناظر با تنوع بالای حالات دانش در رستهٔ ابنیه می‌شوند، پس به‌صورت متناظر، می‌توان چندین نوع دانش را در بستر BIM شناسایی کرد.[۸۴] تنوع دانش‌های این فناوری، از مبانی نظری در بستر پویا و سیال انسان و دانش معاصر منشأ گرفته که تحت عنوان «نظریه و منطق مولد» بیان شده است.

این فناوری، با استفاده از الگوریتم‌های برآمده از داده و اطلاعات محیطی، دانشی چندبعدی را با استفاده از ابزارهای پشتیبان تصمیم‌گیری ایجاد کرده است؛ یعنی این الگوریتم‌های بیان و حل مسئله، که دربرگیرندهٔ خواسته‌ها و اهداف طراحی هستند، را به «شیوهٔ پارامتریک BIM»، به‌کارگیری می‌کند (جدول ۷). بر این اساس، می‌توان در هر پروژه‌ای مبتنی بر

	پاسخ چندوجهی فناوری BIM مبتنی بر واقعیت- مسئله - فرایند		ماهیت مسئله در Parametric BIM	ماهیت بیان مسئله در Parametric BIM
۱	مرحله آماده‌سازی (Pre-BIM)	داده‌های غیرگرافیکی ولی سازماندهی‌شده برای برنامه‌ریزی ایجاد پروژه BIM.	دانش مبتنی بر واقعیت	برگرفته از دسته‌بندی حالت داده‌ها
۲	مرحلهٔ مصورسازی **واقعیت‌گرا** (BIM Light)	مدل مفهومی سه‌بعدی دیجیتال از اجزا و عناصر مد نظر در واقعیت	دانش مبتنی بر فرایند بیان مسئله	شامل داده‌های برآمده از مرحله (۱) و (۲) برای بیان توضیحات دربارهٔ دلایل و توصیف مناسب برای چرایی و چیستی مسئله در ابتدا، و مورد استناد قرار گرفتن دربارهٔ چگونگی حل آن در مراحل بعد
۳	مرحله تبدیل داده به اطلاعات (+ BIM Information)	الصاق داده‌های نظری مرحلهٔ (۱) به مدل سه‌بعدی مرحلهٔ (۲) به منظور عرضهٔ مدل سه‌بعدی گرافیکی با پشتیبانی اطلاعات نظری، با قابلیت تجزیه‌وتحلیل مفهومی	دانش مبتنی بر فرایند حل مسئله	برگرفته از داده‌های مرحله (۱) و (۲) و (۳) برای عرضهٔ بهترین پاسخ ممکن در هر پروژه، با توجه به منابع در دسترس
۴	ادغام اطلاعات و مهارت (BIM + Knowledge)	ترکیب شدن مهارت‌های مبتنی بر دانش اکتسابی و تجربی طراحان معماری و شهرسازی و شکل‌گیری اطاعات پشتیبان تصمیم‌گیری پیرامون «مدل ـ داده» مرحلهٔ (۳)	دانش مبتنی بر تجربه و عملکرد	برآمده بر داده‌های مرحلهٔ (۴) و به‌منظور تهیهٔ دستورالعمل‌های ساخت، نصب، و به‌کارگیری درست که به‌صورت غیرمستقیم، در مراحل تعمیر و نگهداری نیز استفاده می‌شود.
۵	گزینه‌سازی برای تصمیم مبتنی بر مهندسی ارزش (BIM + Decisions)	ارزشیابی گزینه‌های «مدل ـ داده ـ مهارت» برگرفته از مرحلهٔ (۴) بر اساس جمع‌بندی کلی همهٔ انواع اطلاعات گردآوری‌شده از عناصر و اجزای ساختمان، سیستم، و فرایندهای ارزشمند برای چرخهٔ عمر پروژه	دانش مبتنی بر واقعیت افزوده	برگرفته از دانش مراحل قبل (واقعیت + فرایند بیان و حل مسئله + تجربه و عملکرد) که نحوهٔ تعامل فناوری BIM را برای دستیابی به اهداف طراحی، در غالب معانی مختلف بیان می‌کند.

جدول ۷. فرایند ایجاد دانش چند بعدی از داده و اطلاعات محیطی در فناوری BIM بر اساس خوشه‌بندی بیشتر تم‌ها، تدوین: نگارندگان.

46. B. Federico and M. Mulazzani, *Luigi Moretti: Works and Writings* (New York: Princeton Architectural Press, 2002).

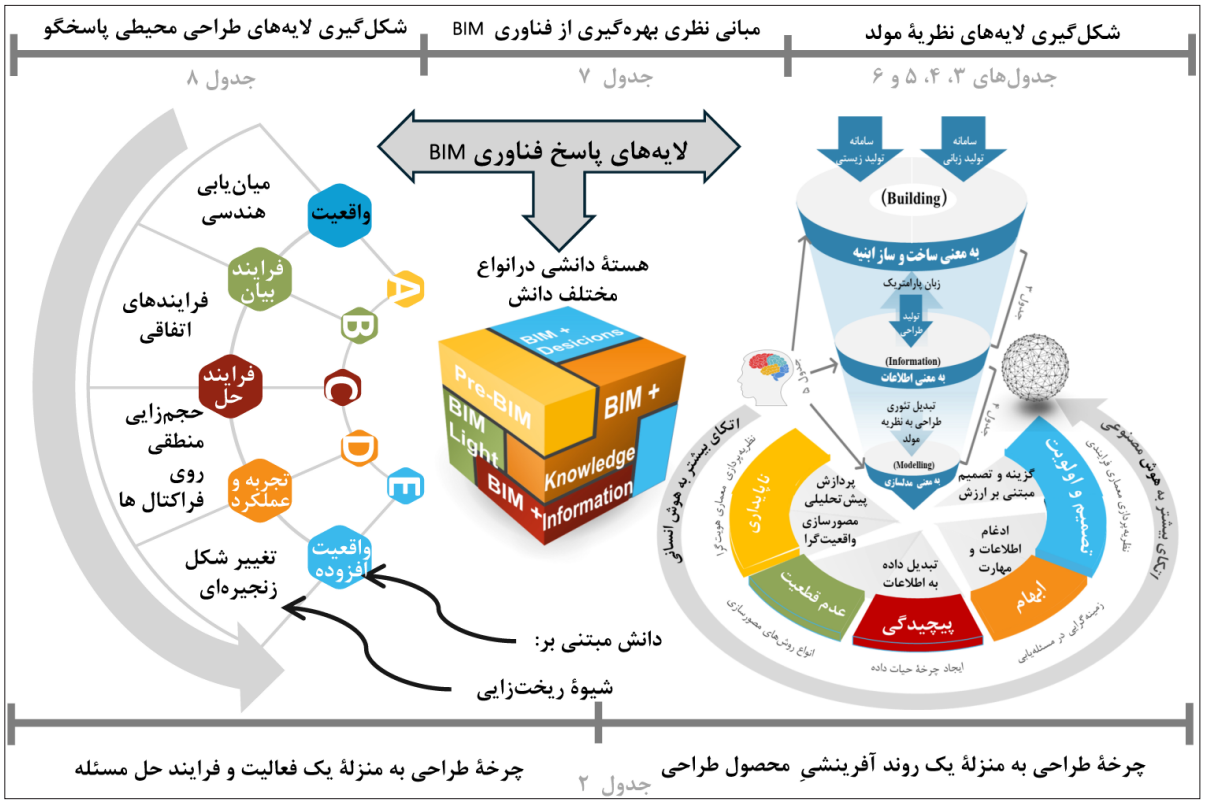
47. M.D. Gross, *Design as Exploring Constraints* (Massachusetts: MIT, 1986).

48. Gross, *The Electronic Design Studio: Architectural Education in the Computer Era* (Massachusetts: The MIT Press, 1990).

49. H. Schnoedt, "Cultural Parametrics", *Reality and Virtual Reality* (Los Angeles: ACADIA Conference Proceedings, 1991).

۵۰. امیر امین‌الضربیان و همکاران، «طراحی مجتمع مسکونی همساز با اقلیم با تأکید بر شیوهٔ پارامتریک».

۵۱. اردوان بیدگلی، *ارزیابی روندهای الگوریتمیک در طراحی مجتمع‌های مسکونی (طراحی مجتمع مسکونی در غرب تهران)* (دانشگاه تهران، ۱۳۹۱).



ت ۶. انطباق‌دهی ظرفیت‌های نظری فناوری BIM به عرصه‌های مطرح در طراحی محیطی پاسخ‌گو و نظریهٔ مولد، مأخذ: یافته‌های پژوهش.

محدودیت‌ها و شرایط خاص آن، برای پیاده‌سازی این اهداف هنری ـ فنی، عناصر، فرایندها، و فضاهای مورد طراحی، اقدام متناسب با همان بستر را انجام داد.[۸۵]

مبانی نظری بهره‌گیری از این ظرفیت‌های هوش مصنوعی در فرایندهای طراحی پاسخ‌گو (جدول ۸)، از یک‌سو، باید ادامه و گسترش‌دهندهٔ مبانی نظری موجود باشد و از سویی دیگر، باید منطبق با توانمندی‌های چندوجهی در این نسل از نرم‌افزارهای فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی نیز باشد. ضرورت دستیابی به چارچوبی کلی از هم‌افزایی برای طراحان محیطی، آنگاه که کانون‌های تولید نظریه‌های مولد نیز در اولویت‌های ایشان قرار دارد، دوچندان گشته است. در پژوهش حاضر با بهره‌گیری از روش تحلیل تماتیک و عمق‌دهی چندلایه به این موضوع، اهداف پیش‌گفته را چنان مورد شناسایی و بسط مفهومی قرار داد که ضمن ساختاربخشی به ذهن طراحان و

جدول ۸. ظرفیت‌های نظری فناوری BIM در «طراحی محیطی پاسخ‌گو» در چارچوب نظریهٔ مولد، تدوین: نگارندگان.

شیوهٔ ریخت‌زایی	شیوهٔ بیان الگوریتمیک	ابعاد طراحی محیطی پاسخ‌گو
میان‌یابی هندسی	تخمین زدن هندسه و فرم اشکال میانی بر اساس خواص دو والد (شکل اولیه و نهایی)	ترکیب دو شکل برای به‌دست آوردن خواص اشکال میانی
فرایندهای اتفاقی	نتیجهٔ متغیر در محصول به‌دلیل نسبت دادن مقادیر تصادفی به بعضی از متغیرهای الگوریتم	تعیین حدود تغییرات عدد تصادفی متناسب با معنی داری آن پدیده
حجم‌زایی منطقی روی فراکتال‌ها	عملگرهای منطقی (AND, OR, NOT) برای کم و زیاد کردن احجام هندسی	اشتراک، اجتماع وتفاضل دو حجم هندسی برای افزایش پیچیدگی
تغییر شکل زنجیره‌ای	تغییر تدریجی و دگردیسی در فرم ظاهری، ویژگی‌ها، وضعیت، و یا عملکرد	ریتم و نظمی تدریجی با استفاده از تغییر شکل‌ها و احجام هندسی

52. R. Yu, et al., "Architects' Cognitive Behaviour in Parametric Design", *International Journal of Architectural Computing*, vol. 13, no. 1 (2015): 83-102.

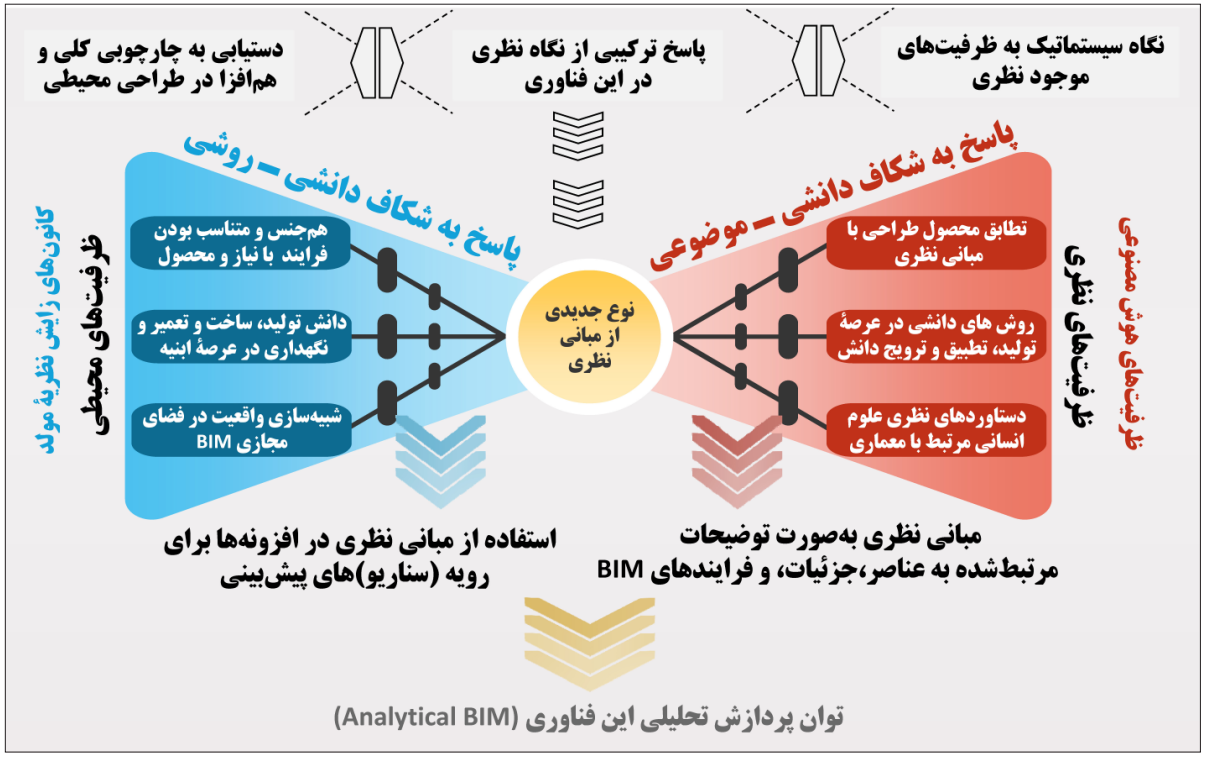
53. Mohamed-Anis Gallas Gallas and Vincent Delfosse, "Sketch-based and Parametric Modeling Association of two Externalization Processes for Early Daylight Optimization", *CAAD Futures*, 2015, 226 - 238.

۵۴. مقتدی‌نژاد و پاشایی، «بررسی تأثیر فرایند طراحی معماری پارامتریک بر پایهٔ طراحی الگوریتمیک».

پژوهشگران محیطی، همه‌جانبه‌گرایی و انعطاف‌پذیری نیز مد نظر باشد؛ زیرا لزوم تطابق محصول طراحی با مبانی نظری به‌کاررفته در فرایند طراحی، الزام جدیدی را دربارهٔ هم‌جنس و متناسب بودن فرایند طراحی با دو سوی این مسئله ایجاد کرده است. روش تحقیق چندلایهٔ تماتیکْ عمق‌دهی مناسبی به این موضوع، هم از جنبهٔ همه‌جانبه‌گراییِ عوامل مؤثر بر موضوع (افقی «ت ۶»)، هم از جنبهٔ ارتباط‌گیری مفهومی آنها (عمودی) ایجاد کرده است. به‌گونه‌ای‌که یافته‌های این پژوهشْ چارچوبی با پشتوانهٔ نظری مطلوب را شامل شده است، به‌صورتی‌که همهٔ بخش‌های بیان‌شده در متن اصلی این پژوهش، توضیح و پیشتوانهٔ نظری برای یافته‌های موجود در «ت ۶» است.

نتیجه‌گیری

در جمع‌بندی یافته‌های این پژوهش که به‌منظور اثبات امکان بهره‌گیری این فناوری از ظرفیت‌های نظری عرضه شد، پاسخ ترکیبی از نگاه نظری در این فناوری به‌صورت «ت ۷» قابل‌توضیح است. درحقیقت این پاسخ دربارهٔ نگاه سیستماتیک به ظرفیت‌های موجود نظری در این فناوری است. به‌شکلی که می‌توان با ترکیب آن با روش‌های دانشی در عرصهٔ تولید، تطبیق، و ترویج دانش، شاهد تولید هم‌زمان دانش تولید، ساخت، و تعمیر و نگهداری در عرصهٔ ابنیه، البته مبتنی بر دستاوردهای نظری علوم انسانی مرتبط با آن، از پایین‌ترین سطح مداخلات آن (طراحی داخلی) تا بزرگ‌ترین آن (طراحی شهری و ساخت‌وساز زیرساختی) بود.



ت ۷. چارچوبی مفهومی برای بکارگیری بستر فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی در مسیر دستیابی به طراحی محیطی پاسخ‌گو، تدوین: نگارندگان.

55. T. Wortmann and B. Tuncer, "Differentiating Parametric Design: Digital Workflows in Contemporary Architecture and Construction", *Design Studies*, vol. 52 (2017): 173-197.

56. A. Stals and S. Jancart, "Parametric Modeling Tools in Small Architectural Offices: Towards An Adapted Design Process Model", *Design Studies*, vol. 72 (2021).

57. K. Terzidis, *Algorithmic Architecture* (New York: Architectural Press, 2006).

58. Morphogenesis

۵۹. بیدگلی، *ارزیابی روندهای الگوریتمیک در طراحی مجتمع‌های مسکونی (طراحی مجتمع مسکونی در غرب تهران)*.

60. M. Mückenheim and J. Demel, *Inspiration: Contemporary Design Methods in Architecture* (London: Laurence King Publishing, 2012).

نتیجهٔ مهم دیگر، بر اساس بهره‌گیری از توان پردازش تحلیلی این فناوری و در «ت ۷» قابل‌مشاهده است. بسیاری از محققان معتقدند که از طریق یکپارچه‌سازی مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی با ابزار واقعیت مجازی (شبیه‌سازی واقعیت در فضای مجازی BIM)، ترکیب جدیدی به نام «شیوهٔ تحلیلی»[۸۶] به‌دست می‌آید. در این ترکیب، مبانی نظری، از یک‌سو، به‌صورت توضیحات مرتبط‌شده به عناصر، جزئیات و فرایندهای BIM، کمک پشتیبانی برای تصمیم عرضه می‌کند، و از سویی دیگر، می‌توان در رویه (سناریو)های پیش‌بینی (حجم، فرم، توده، انرژی، سازه، دسترسی، و سایر خصوصیات محصول طراحی) توسط افزونه‌های تخصصی از آنها بهره‌گیری کرد؛ زیرا طراحی محیطی از عوامل فرارسته‌ای زیادی همچون فرهنگ، اقتصاد، سیاست، و ... تأثیرپذیر است که تأثیر آنها در مبانی نظری نیز کاملاً مشهود است. پس می‌توان با الگوریتم‌نویسی برای مبانی نظری، حوزهٔ نفوذ این عوامل فرامعماری را در رشتهٔ ساختمان به‌گونه‌ای پارامتریک و تحلیلی ایجاد و به‌صورت مستمر اصلاح کرد.[۸۷]

بر اساس آنچه در این پژوهش گفته شد، استفاده از مبانی نظری معماری در حالت جدیدی که در «ت ۷» بدان اشاره شد، موجب آشکارسازی محدودیت و قابلیت‌های هر نوع از مبانی نظری فرموله‌شده به زبان الگوریتمیک می‌گردد، به‌صورتی‌که با تشکیل بانک اطلاعاتی مفیدی از این مبانی نظری و الگوریتم‌های پیشنهادشده برای آنها، می‌توان مزیت‌ها و قابلیت‌های آنها را به‌همراه فایل‌های الگوریتمی و نمونه‌های بهره گرفته‌شده برای بیان و حل مسئله ذخیره کرد (ت ۸). بدیهی است که چنین امری می‌تواند به کاربردی‌تر شدن و حضور پررنگ‌تر مبانی نظری در فرایند طراحی کمک شایانی کند. خصوصاً اینکه با روش پارامتریک به‌سرعت می‌توان از این الگوریتم‌ها به شیوهٔ ترکیبی یا مستقل، در هر نوع پروژه‌ای با اعمال تغییرات اندکی استفاده کرد (تعمیم و گسترش‌پذیری).

به دیگر سخن، به سرعت عمل برای بیان و حل بخشی از مسئله پارامتریک، افزوده می‌شود و بر امکان ارتقا و گسترش پاسخ پارامتریک، توسط افراد مختلف درگیر در طراحی افزوده می‌شود (ت ۸). نکتهٔ جالب اینکه با اشتراک‌گذاری آن، می‌توان از قابلیت هوش مصنوعی برای حل موضوعات طراحی مبتنی بر هوش مصنوعی، در آتلیه و شرکت‌های متعدد بهره برد؛ به‌صورتی‌که شرکت‌ها و قطب‌های علمی و آزمایشگاهی می‌توانند پروفایل‌های اختصاصی برای حل موضوعات معماری و شهرسازی را به‌مثابهٔ محصولی فناورانه ایجاد و به حوزهٔ فروش خدمات عرضه کنند. همچنین امکان ایجاد تغییرات و مشاهدهٔ

ت ۸. پوشش‌دهی انطباقی بین توانمندی‌های فناوری BIM با نیازهای متنوع و گسترده طراحی محیطی؛ تدوین و پژوهشِ نگارندگان بر اساس یافته‌های پژوهش.

نتایج آن به‌صورت آنی برخط[۸۸] و بدون هزینه در فضای واقعیت افزوده می‌گردد و امکان بهره‌گیری از آنها برای پروژه‌های جدید و حتی استفاده‌نشده که از فرایند حل مسئله مشابه با آن استفاده می‌کنند، نیز فراهم می‌شود؛[۸۹] مثلاً می‌توان الگورتیم حل مسئله برای پروژه‌های کوچک‌مقیاس مسکونی در اقلیم خشک را ایجاد کرد و پروفایل آن را برای پروژه‌های مشابه استفاده کرد؛ به‌صورتی‌که می‌توان با هزینه‌ای بسیار کم، از خلاقیت معماران و ظرفیت‌های قوانین اجرایی با استفاده از هوش مصنوعی برای ایجاد پاسخ‌های مختلف در زمینهٔ فرم‌زایی، پلانینگ، انتخاب مصالح، طراحی سازه، و محوطه‌سازی بهره برد. بدیهی است که کاهش زمان و خطاهای رایج در پروژه‌های اجرایی، ضمن کاهش هزینه‌های طراحی، امکان انتخاب گزینه‌های بیشتری را به کارفرما می‌دهد؛ به‌صورتی‌که نقاط قوت و ضعف هر پیشنهاد ایجادشده توسط هوش مصنوعی، به‌واسطهٔ عرضهٔ گزارش‌های متعدد مبتنی از مبانی نظری پیش‌گفته در «ت ۷»، امکان مقایسهٔ کمی و کیفی بین گزینه‌ها را برای طراح و کارفرما فراهم می‌کند.

۶۱. به‌طور مثال: پنج اصل لوکوربوزیه، پروسهٔ قابل‌تکثیر تزیینات فلورال سالیوان ، معماری نئوکلاسیک ژین ـ نیکولاس ـ لوئیس دوراند (M.S. El-Khaldi, *Mapping Boundaries of Generative Systems for Design Synthesis*. Massachusetts: Msc Thesis, Massachusetts Institute of Technology. Dept. of Architecture, 2007).

۶۲. در تفسیر «جدول ۳» باید گفت، این منطق، با شیوه‌های متفاوتی از پردازش و بازخوردگیری از مخاطبان طراحی، قابلیت اجرای مشخصی دارد که تعیین‌کنندهٔ نوع داده‌های محیطی ورودی خواهد بود. بر همین اساس، خروجی آنْ ابعاد خاص و ویژه‌ای را از طراحی پاسخ‌گو پوشش خواهد داد.

63. Boissieu, *Modélisation paramétrique en Conception Architecturale: Caractérisation des Opérations Cognitives de Conception pour une Pédagogie*.

64. Architects' Council of Europe, *LA PROFESSION D'ARCHITECTEEN EUROPE 2018 UNE ÉTUDE DU SECTEUR* (Amberley, UK: Mirza & Nacey Research Ltd., 2018).

References

Adalberth, K. "Energy Use during the Life Cycle of Buildings: A Method". *Building and Environment*, vol. 32, no. 4 (1997): 317-320. doi:10.1016/S0360-1323(96)00068-6.

Ainifar, A. "A Model for Analyzing Flexibility in Traditional Iranian Housing". *Honar-ha-ye Ziba*, no. 13 (2003): 64-77. (In Persian)

Alexander, C. *The Timless Way of Building*. Transl. M. Qayyoomi Bidhendi. Tehran: Shahid Beheshti University, 2018. (In Persian)

Amin al-Zarbian, A., M. AkhtarKavan, and HR. Farshchi. "Designing a Residential Complex that Is Compatible with the Climate with an Emphasis on the Parametric Method". *3th International Congress on Civil Engineering, Architecture and Urban Development*, Tehran: Shahid Beheshti University, 2015. (In Persian)

Architects' Council of Europe. *LA PROFESSION D'ARCHITECTEEN EUROPE 2018 UNE ÉTUDE DU SECTEUR. Amberley*, UK: Mirza & Nacey Research Ltd., 2018.

Autodesk. "Design and Build with BIM". vol. 12, no. 26, 2022 2022. https://www.autodesk.com/industry/aec/bim.

Azhar, Salman. "Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks and Challenges for the AEC Industry". *Leadership and Management in Engineering*, vol. 11, no. 3 (2011): 241-252. doi:10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127.

Azimi, Reza, Sang Hyun Lee, Simaan M. AbouRizk, and Amin Alvanchi. "A Framework for an Automated and Integrated Project Monitoring and Control System for Steel Fabrication Projects". *Automation in Construction*, vol. 20, no. 1 (2011): 88-97. doi:10.1016/j.autcon.2010.07.001.

Bastani, H., M. Golabchi, and A. AndjiGarmaroudi. *Digital Architecture: Application of CAD/CAM/CAE Technologies in Architecture*. Tehran: University of Tehran Printing and Publishing Institute, 2012. (In Persian)

Bentley, Ian. *Responsive Environments: A Guide for Designers*, Transl. M. Behzadfar. Tehran: Iran University of Science and Technology, 2019. (In Persian)

Bidgoli, A. *Evaluation of Algorithmic Trends in the Design of Residential Complexes (Design of a Residential Complex in the West of Tehran)*. Tehran: Master's thesis in architectural, University of Tehran, Faculty of Fine Arts, Faculty of Architecture, 2012. (In Persian)

Boissieu, Aurélie de. *Modélisation Paramétrique en Conception Architecturale: Caractérisation des Opérations Cognitives de Conception pour une Pédagogie.* Paris: Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Université Paris Est Section: Architecture,Ecole Doctorale Ville Transports et Territoires, PRES Paris Est,Ecole Nationale Supérieure d'Architecture Paris la Villette, 2013.

Bottazzi , Roberto . *Digital Architecture Beyond Computers: Fragments of a Cultural History of Computational Design.* London, New York, New Delhi, Oxford and Sydney: Bloomsbury Visual Arts, 2018.

Boyatzis, Richard E. *Transforming qualitative information: Thematic analysis and code development.* California: Sage Publications, 1998.

Braun, Virginia and Victoria Clarke. "Using Thematic Analysis in Psychology". *Qualitative Research in Psychology*, vol. 3, no. 2 (2006): 77-101. doi:10.1191/1478088706qp063oa.

Bucci, Federico and Marco Mulazzani. *Luigi Moretti: Works and Writings.* New York: Princeton Architectural Press, 2002.

۶۵. به‌گونه‌ای‌کــه می‌تــوان با تبدیل مســائل کلان بــه خرده‌الگوریتم‌ها، از ایــن روش در چارچوب‌هــای متنــوع زایــش نظریهٔ مولد، بــرای بیان و حل موضوعــات پیچیده و چندلایهٔ رســتهٔ ابنیه نیز اســتفاده کرد. یکــی از انواع مشــهود از طراحی محیطــی، طراحی اقلیمی (بومی) است. «طراحی اقلیمی بر اساس روش‌های پارامتریک بدین معنا می‌باشــد که به کمک ایجاد روابط بین داده‌های طراحی (دمــای هوا، رطوبت، جهت وزش باد، زاویهٔ تابش خورشــید، دید و منظــر، و ...)، مدل‌ها و الگوهایی از طــرح ایجاد می‌شــود (فرم پوســتهٔ بیرونی، جهت‌گیری ســاختمان، فرم و اندازهٔ بازشوها، سایه‌اندازی‌ها، و ...) که از میان این مدل‌ها با توجه به محدودیت‌ها و قیود طراحی (میــزان مصرف انرژی، هماهنگی با بستر فرهنگی و پاسخ‌گویی بــه نیازها و مقررات شــهری همچون تراکم)، سیستمی انعطاف‌پذیر، یکپارچه، و قابل‌ویرایش در اختیار طراح می‌گذارد و طراح می‌توانــد با تغییر مؤلفه‌ها و قیود، به مناسب‌ترین پاسخ به دستیابی هدف طراحی دســت یابد» (امین الضربیان و همکاران، «طراحی مجتمع مســکونی همســاز بــا اقلیم بــا تأکید بر شــیوهٔ پارامتریک»).

66. Bo Zhang. "Emergence: Form Finding In Nonlinear Architecture", *International Scientific Journal Architecture and Engineering*, vol. 1, no. 1 (2012).

Chokhachian, Ata and Resmiye A. Atun. "A Framework For Exploring The Role Of Parametric Design On Design Procedure". in *International Conference, Unspoken Issues In Architectural Education*. North Cyprus, 2014, 121-140.

Clarke, Victoria and Virginia Braun. *Thematic Analysis*. Ed. Harris Cooper and Marc N. Coutanche. Washington: American Psychological Association, 2023.

Clarke, Victoria and Virginia Braun. "Teaching Thematic Analysis: Overcoming Challenges and Developing Strategies for Effective Learning". *The Psychologist*, vol. 26, no. 2 (2013): 120-123.

Clarke, Victoria and Virginia Braun. "Thematic Analysis". *The Journal of Positive Psychology*, vol. 12, no. 3 (2017): 297-298. doi:10.1080/17439760.2016.1262613.

Coons, Steven A. *Surfaces for Computer-Aided Design of Space Forms*. Massachusetts: Project MAC, Massachusetts Institute of Technology, 1967.

Darses, Françoise, Rose Dieng, Carla Simone, and Manuel Zacklad. "Cooperative Systems Design, Scenario-Based Design of Collaborative Systems". in *Proceedings of COOP. Hyères Les Palmiers*, France, 2004.

Darses, Françoise. "Résolution Collective des Problèmes de Conception". *Le Travail Humain*, 72 (2009): 43-59. doi:10.3917/th.721.0043.

Dino, Ipek Gursel. "Creative Design Exploration by Parametric Generative Systems in Architecture". *METU Journal of the Faculty of Architecture*, vol. 29, no. 1 (2012): 207-224. doi:10.4305/METU.JFA.2012.1.12.

Dubberly, Hugh . *How Do You Design? A Compendium of Models.* San Francisco: Dubberly Design Office, 2005.

Eastman, C., W. Newstetter, and M. McCracken. *Design Knowing and Learning: Cognition in Design Education*. Amsterdam: Elsevier Science, 2015.

Eghbali, R. and Sh. Karimi. "Troubleshooting Form-rise Buildings Using Parametric Design Process and Compare the Output Optimized fForm in Terms of Radiation Exposure". *Urban Management*, vol. 15, no. 45 (2017): 225-238. (In Persian)

Eghbali, SR. and P. Hessari. "Modular Approach and Prefabrication in Flexible Housing". *JHRE*, vol. 32, no. 143 (2013): 53-68 (In Persian)

El-Khaldi, Maher Sami. *Mapping Boundaries of Generative Systems for Design Synthesis*. Massachusetts: Msc Thesis, Massachusetts Institute of Technology. Dept. of Architecture, 2007.

Farhangdoust, H. and H. Farkisch, and T. Hanaee. "Evolution of Theoretical Foundations of Contemporary Architecture and Urban Planning; Transition From the Discourse of Impressionability to Influence". *Interdisciplinary Studies of Iranian Architecture*, vol. 1, no. 2 (2022): 71-103. doi: 10.22133/isia.2023.371008.1025 (In Persian)

Farhangdoust, H. and H. Farkisch and M. Tabasi. "The Origin and Nature of Productive Theory, Based on Design Theory, with a Focus on Design in the Field of Architecture". *Raf Quarterly Scientific Journal of Architecture, Restoration and Urbanism*, vol. 1, no. 2 (2022): 98-123 (In Persian)

Farhangdoust, H. "Capacities of Building Information Modeling Technology (BIM) in Utilizing the Theoretical Foundations of Construction with a Focus on Architecture". *JFCV*, vol. 2, no. 4 (2022): 75-98. (In Persian)

Fattahi, R. *An Introduction to Data Theory: A Philosophical and Scientific Essay on Data*. Tehran: Ketabdar, 2018. (In Persian)

Fereday, Jennifer and Eimear Muir-Cochrane. "Demonstrating Rigor Using Thematic Analysis: A Hybrid Approach of Inductive and Deductive Coding and Theme Development". *International Journal of Qualitative Methods*, vol. 5, no. 1 (2006): 80-92. doi:10.1177/160940690600500107.

Firouzi, MA., N. Sajjadian, and H. Alizadeh. "Analysis and Evaluation of Urban Development Characteristics in the Postmodern Era". *Geography and Urban Planning of the Zagros Landscape*, vol. 2, no. 6 (2010): 73-95.

Forty, Adrian. *Words and Buildings: A Vocabulary of Modern Architecture*. London: Thames & Hudson, 2004.

Friedman, Avi. *The Adaptable House : Designing Homes for Change*. New York: McGraw-Hill Professional, 2002.

Gallas, Mohamed-Anis Gallas and Vincent Delfosse. "Sketch-based and Parametric Modeling Association of two Externalization Processes for Early Daylight Optimization". *CAAD Futures*, 2015, 226 - 238.

Gericke, Kilian and Lucienne Blessing. "Comparisons of Design Methodologies and Process Models across Disciplines: A Literature Review". in *Conference: Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED11)*, TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK, 2011.

Ghafourian, M. and S. Aghaei. "Flexibility Criteria for Design of Apartment Housing in Iran". *Soffeh*, vol. 26, no. 3 (2016): 41-64. (In Persian)

Ghanbarzadegan, H. *Designing the International Exhibition of the Baku Free Trade Zone Center with a Flexible Approach.* Tabriz: Master's Thesis - Tabriz Islamic Art University, 2013. (In Persian)

Ghasemi, hamid. et al. *A Comprehensive Guide To Research*. Twentieth edition. Tehran: Andishe ara, 2024 . (In Persian)

Golabchi, M. and N. MasteriFarahani. *Conceptual Design of Tall Buildings*. Tehran: University of Tehran Printing and Publishing Institute, 2014. (In Persian)

Golabchi, M. "Criteria for the Design and Construction of Tall Buildings". *Honar-ha-ye Ziba*, 9 (2001): 52-62. (In Persian)

Gross, Mark Donald. *Design as Exploring Constraints*. Massachusetts: Thesis (Ph. D.), Massachusetts Institute of Technology. Department of Architecture, 1986.

Gross, Mark Donald . *The Electronic Design Studio: Architectural Education in the Computer Era*. Ed. Malcolm McCullough, William J. Mitchell and Patrick Purcell. Massachusetts: The MIT Press, 1990.

Grutter, J.K. *Aesthetics in Architecture*. transl. M. Dowlatkhah, and S. Hemmati. Tehran: Ketab Aban, 2016. (In Persian)

Grütter, J.K. *Basics of Perception in Architecture*. New York: Springer Vieweg, 2020.

Habraken, N. John. "Design for Flexibility". *Building Research & Information*, vol. 36, no. 3 (2008): 290-296. doi:https://doi.org/10.1080/09613210801995882

Hatchuel, Armand and Benoit Weil. "C-K Design Theory: An Advanced Formulation". *Research in Engineering Design*, vol. 19, no. 4 (2009): 181-192. doi:10.1007/s00163-008-0043-4

Hatchuel, Armand, Pascal Le Masson, and Benoit Weil. "C-K Theory: Modelling Creative Thinking and Its Impact on Research". in *Creativity, Design Thinking and Interdisciplinarity*, edited by Frédéric Darbellay, Zoe Moody, and Todd Lubart, New York: Springer, 2023. doi:10.1007/978-981-10-7524-7_11.

Hayes, Nicky. "Theory-led Thematic Snalysis: Social Identification in Small Companies". in *Doing Qualitative Analysis In Psychology*, London: Psychology Press, 1997.

Hensel, Michael, Achim Menges, and Michael Weinstock. *Emergent Technologies and Design: Towards a Biological Paradigm for Architecture*. London: Routledge, 2010.

Hudson, Roland. *Strategies for Parametric Design in Architecture: An application of practice led*. Bath, England, A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy, Department of Architecture and Civil Engineering,University of Bath, 2010.

Jalili, M., A. Einifar, and Gh. Talischi. "Open Space of Residential Complexes and Environmental Responsiveness: A Comparative Study of three Residential Complexes in Hamadan". *Journal of Fine Arts: Architecture & Urban Planning*, vol. 18, no.19 (2013): 57-68. (In Persian)

Karen, M. Kensek and Douglas E. Noble. *Building Information Modeling in Current and Future Practice*, Hoboken (New Jersey): Wiley, 2014.

Katz, Victor J. *A History of Mathematics: An Introduction*. London: Pearson, 2008, 44-46.

Khabazi, Z. *Algorithmic Architecture Paradigm*. Mashhad: Kasra Bookstore, 2016. (In Persian)

KhaloEsmaeili, N. *The School without Borders*. Qazvin: Master's thesis, Islamic Azad University of Qazvin, 2008. (In Persian)

Kiaee, M., H. Soltanzadeh, and A. Heidari. "Measure the Flexibility of the Spatial System (In Persian)

Kolarevic, Branko. *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*. Pennsylvania: Taylor & Francis, 2005.

Krygiel, Eddy and Brad Nies. *Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling*. Berkeley (California): Sybex, 2008.

Lahiff, Brian, et al. "BIM 'An Introduction'". *The Institution of Structural Engineers*. Engineers Ireland, April 16th, 2012. https://docplayer.net/19672724-Bim-an-introduction-16-th-april-2012-engineers-ireland.html

Lang, Jon. *Creating Architectural Theory: The Role of the Behavioral Sciences in Environmental Design*. NewYork: Van Nostrand Reinhold, 1987.

Leclercq, Pierre and A. Heyligen. "5,8 Analogies per Hour, A Designer's View on Analogical Reasoning". *in Proceedings of the 7th International Conference on Artificial Intelligence in Design*, San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers Inc, 2002. https://hdl.handle.net/2268/59814

Leite, Fernanda, et al. "Visualization, Information Modeling and Simulation: Grand Challenges in the Construction Industry". *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 30, no. 6 (2016). doi:10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000604

Lévy, François. *BIM in Small-Scale Sustainable Design*, Hoboken (New Jersey):Wiley, 2011.

Lin, Borong, Qiong Yu, Ziwei Li, and Xiaoru Zhou. "Research on Parametric Design Method for Energy Efficiency of Green Building in Architectural Scheme Phase". *Frontiers of Architectural Research*, vol. 2, no. 1 (2013): 11-22. doi:10.1016/j.foar.2012.10.005

Malterud MD, Kirsti. "Qualitative Research: Standards, Challenges and Guidelines". *Lancet*, 358(9280) (2001): 483-488. doi:10.1016/S0140-6736(01)05627-6

MoqtadNejad, M. and S. Pashaei. "Investigating the Impact of the Parametric Architectural Design Process Based on Algorithmic Design". in *Third International Conference on Modern Research in Civil Engineering, Architecture and Urban Planning*, Berlin- Germany, 2016. (In Persian)

MoReTTI, lUIGI. *La FoNdazIoNe della Rocca: URBaNISTIca e RIceRca oPeRaTIva*. Roma: Ginevra Bentivoglio Editors, 2009.

Motte, Damien and Robert Bjärnemo. "The Cognitive Aspects of the Engineering Design Activity – A Literature Survey". Edited by Imre Horváth and Paul Xirouchakis. *Proceedings of the 5th International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering - TMCE'04-Lausanne, Switzerland*. Lausanne, Switzerland: Millpress, Rotterdam, The Netherlands, 2004, 1095-1096.

Mückenheim, Mark and Juliane Demel. *Inspiration: Contemporary Design Methods in Architecture*. London: Laurence King Publishing, 2012.

Nagizadeh, Mohammad. "The Relationship between the Identity of 'Iranian Architectural Tradition' with 'Modernism' and 'New-trendism'". *Honar-ha-ye Ziba*, no. 7 (2000): 79-91. (In Persian)

Nowell , Lorelli S., et al. "Thematic Analysis: Striving to Meet the Trustworthiness Criteria". *International Journal of Qualitative Methods*, vol. 16, no. 1 (2017). doi:10.1177/1609406917733847

67. S. Azhar, "Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks and Challenges for the AEC Industry", *Leadership and Management in Engineering*, vol. 11, no. 3 (2011): 251.

68. Stals and Jancart, "Parametric Modeling Tools in Small Architectural Offices: Towards an Adapted Design Process Model", *Design Studies*, vol. 72 (2021).

69. Computer Aided Design (CAD)

۷۰. افزایش مطابقت با واقعیت، هوشمندی در طراحی و ترسیم، افزایش ارتباط بین نقشه‌ها، و جزئیات ترسیمی برای کاهش خطا و افزایش سرعت و کارایی.

۷۱. گرافیک رایانه‌ای، هوش مصنوعی، برنامه‌نویسی، پایگاه داده، توسعهٔ رابط کاربری، و گرافیک واسط.

۷۲. ایجاد میان‌افزارهای نقشه‌برداری، اندازه‌گیری و سنجش از راه دور با قابلیت دسترسی و تبادل اطلاعات با نرم‌افزارهای فناوری BIM.

۷۳. همهٔ رشته‌های ابنیه: معماری و شهرسازی، عمران، مدیریت پروژه.

74. Brian Lahiff and et al, "BIM 'An Introduction'." *The Institution of Structural Engineers*. (Ireland: 2012)

Ostuzzi, Francesca, Lieven De Couvreur, Jan Detand, and Jelle Saldien. "From Design for One to Open-ended Design: Experiments on Understanding How to Open-up Contextual Design Solutions". *The Design Journal*, 20 (sup1): S3873-S3883. doi:10.1080/14606925.2017.1352890

Ortiz, Oscar, Francesc Castells, and Guido Sonnemann. "Sustainability in the Construction Industry: A Review of Recent Developments Based on LCA". *Construction and Building Materials*, vol. 23, no. 1 (2009): 28-39. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2007.11.012

Pena, William M. and Steven A. Parshall. *Problem Seeking: An Architectural Programming Primer*. New York: Wiley, 2012.

Qian, C.Z. "Design Patterns: Augmenting User Intention in Parametric Design Systems". in *C&C '07: Proceedings of the 6th ACM SIGCHI conference on Creativity & cognition*. Washington, DC, USA: Association for Computing Machinery, New YorkNYUnited States, 2007. https://dl.acm.org/doi/proceedings/10.1145/1254960

Real Academia Española. *Diccionario de la Lengua Española*. Vigesimotercera Edición. Versión Normal (NUEVAS OBRAS REAL ACADEMIA), RAE, 2014.

Safin, Stéphane , Pierre Leclercq, and Françoise Decortis. "Impact of a Virtual Sketches Environment and a 3D Preliminary Model on Architectural Design Activity". *Revue d'Interaction Homme-Machine*, vol. 8, no. 2 (2007).

Sandelowski, Margarete. "Using Qualitative Research". *Qualitative Health Research*, vol. 14, no. 10 (2004): 1366-1386. doi:10.1177/1049732304269672

Schneider, Tatjana and Jeremy Till. "Flexible Housing: Opportunities and Limits". *Arq: Architectural Research Quarterly*, 9(2), Cambridge University Press, 2005, 157-166. doi:https://doi.org/10.1017/S1359135505000199

Schnoedt, Heinrich. "Cultural Parametrics". *Reality and Virtual Reality*. Los Angeles: ACADIA Conference Proceedings, 1991. 223-234. doi:10.52842/conf.acadia.1991.223

Schön, Donald A. *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. eBook. London: Routledge, 2017. doi:10.4324/9781315237473

Schroeder, Ulrich. *Variabel Nutzbare Hauser und Wohnungen: Grundrisslosungen, Anpassbar an Familiengrosse u. Lebensform (Planen + [i.e. und] wohnen)*. Berlin: Wiesbaden, 1979.

Schumacher, Patrik. "Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design". *Architectural Design*, vol. 79, no. 4 (2009): 14-23. doi:10.1002/ad.912

Shafiee, M. and M. Manteghi. "Technology Development in Conceptual Age: Definitions, Concepts, and Requirements". *Quarterly Journal of Industrial Technology Development*, vol. 12, no. 23 (2014): 1-10. (In Persian)

Simon, Herbert A. *The Sciences of the Artificial*. Reissue Of The Third Edition With A New Introduction By John Laird, London: MIT Press, 2019.

Stals, Adeline and Sylvie Jancart. "Parametric Modeling Tools in Small Architectural Offices: towards An Adapted Design Process Model". *Design Studies*, Elsevier Ltd., vol. 72 (2021). doi:10.1016/j.destud.2020.100978

Szostak, Rick. *Classifying Science: Phenomena, Data, Theory, Method, Practice*. Transl. R. Mokhtarpour and A. Khasseh. Tehran: Ketabdar, 2021. (In Persian)

Taheri, J. "Design's Relation to Research". *Soffeh*, vol. 22, no. 1 (2012): 7-22. (In Persian)

Terzidis, Kostas. *Algorithmic Architecture*. New York: Architectural Press, 2006.

Till, Jeremy and Tatjana Schneider. "Flexible Housing: The Means to the End". *Theory* 9 (3-4) (2005): 287-296.

Toghiani, S. and A. Shabani. "Rethinking the Flexibility of Iranian Courtyards in the Design of High-Rise Residential Complexes". in *Fifth International Conference on Sustainable Development and Urban Development*, Isfahan: daneshpazhveyan Higher Education Institute, 2015. (In Persian)

Trusty, Wayne B. and Scot Horst. *Integrating LCA Tools in Green Building Rating Systems*. 2002. address: https://www.environmental-expert.com/articles/integrating-lca-tools-in-green-building-rating-systems-4004

Turner, Tom. *City as a Landscape: A Post-Postmodern Perspective on Urban Design and Planning*. Transl. F. Nourian, Ed. H. Nadershahi. Tehran: Processing and Urban Planning Company, 2006.

Vierra, Stephanie. *Green Building Standards And Certification Systems*. 2022. https://www.wbdg.org/resources/green-building-standards-and-certification-systems.

Wortmann, Thomas and Bige Tuncer. "Differentiating Parametric Design: Digital Workflows in Contemporary Architecture and Construction". *Design Studies*, vol. 52 (2017): 173-197. doi:10.1016/j.destud.2017.05.004.

Yan, Wei. "Parametric BIM SIM: Integrating Parametric Modeling, BIM and Simulation for Architectural Design". in *Building Information Modeling: BIM in Current and Future Practice*, by K. Karen and D. Noble, *Building Information Modeling in Current and Future Practice*. Hoboken (New Jersey): Wiley, 2014.

New York: Wily, 2014, 59-78.

Yu, Rongrong , John Gero, and Ning Gu. "Architects' Cognitive Behaviour in Parametric Design". *International Journal of Architectural Computing*, vol. 13, no. 1 (2015): 83-102. doi:10.1260/1478-0771.13.1.83.

Zandieh, M., SR. Eghbali, and P. Hessari. "The Approaches towards Designing Flexible Housing". *Naqshejahan*, vol. 1, no. 1 (2011):95-106. (In Persian)

Zhang, Bo. "Emergence: Form Finding In Nonlinear Architecture". *International Scientific Journal Architecture and Engineering*, vol. 1, no. 1 (2012).

۷۵. یـا همان Data Theory اسـت. برای آگاهی بیشـتر از ماهیت آن نک: رحمـت‌الله فتاحی، *درآمـدی بر نظریه داده‌ها: جستاری فلسفی و علمی درباره داده‌ها*.

76. R. Azimi, et al., "A Framework for an Automated and Integrated Project Monitoring and Control System for Steel Fabrication Projects", *Automation in Construction*, vol. 20, no. 1 (2011): 88-97.

77. P. Schumacher, "Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design", 14-23.

78. Decision Support System (DSS)

۷۹. در این زمینه صرفاً شاهد دسته‌بندی انواع این ابزارهای پشتیبان تصمیم‌گیری هستیم؛ مثلاً در یک دسته‌بندی کلی، ابزارها به دو نوع تقسیم می‌شوند: یکی مبتنی بر اطلاعات مصالح و عناصر ساختمانی (Building material and components combination) که بیشتر فازهای اجرایی را پوشش می‌دهد و دیگری مبتنی بر فرایندهای ساخت‌وساز (whole process of construction) که تقریباً کل فازهای ساخت و ساز را پوشش می‌دهد (O. Ortiz, et al., "Sustainability in the Construction Industry: A Review of Recent Developments Based on LCA". *Construction and Building Materials*, vol. 23, no. 1 (2009): 28-39.)؛ به‌طور مثال دسته‌بندی سه‌گانه‌ای از ابزارهای نظارت بر چرخهٔ حیاط، بر اساس مقیاس مداخلهٔ آنها وجود دارد که از جزء به کل تدوین یافته است(W.B. Trusty and S. Horst, *Integrating LCA Tools in Green Building Rating Systems*. 2002. address: https://www.environmental-expert.com/articles/integrating-lca-tools-in-green-building-rating-systems-4004). ابزارهای نوع اول برای محصولات (در دو دسته برای سنجش توسط متخصصان و غیر متخصصان)، نوع دوم بر پایهٔ سنجش کل فرایندهای چرخه (WPC)، دستهٔ سوم چارچوب جامع برای ارزیابی و دسته‌بندی جنبه‌های زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی، و پایداری (فرهنگدوست، «ظرفیت‌های فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی (BIM) در بهره‌گیری از مبانی نظری رستهٔ ابنیه با محوریت رشتهٔ معماری»، *چشم‌انداز شهرهای آینده*، ش. ۴ (زمستان ۱۴۰۰).)

۸۰. که با به‌کارگیری سخت، نرم، و میان‌افزار و وسایل تحلیلی، ارتباطی، و ذخیره‌سازی پیچیده در سطح دنیا توأم است.

81. S. Vierra, *Green Building Standards And Certification Systems* (2022).

82. Autodesk, "Design and build with BIM", (2022).

83. B. Lin, et al., "Research on Parametric Design Method for Energy Efficiency of Green Building in Architectural Scheme Phase". *Frontiers of Architectural Research*, vol. 2, no. 1 (2013): 11-22.

84. Wei Yan, "Parametric BIM SIM: Integrating Parametric Modeling, BIM and Simulation for Architectural Design". in *Building Information Modeling: BIM in Current and Future Practice*, by K. Karen and D. Noble, Karen, M. Kensek and Douglas E. Noble. *Building Information Modeling in Current and Future Practice*, Hoboken (New Jersey): Wily, 2014, 59-78.

85. C.Z. Qian, "Design Patterns: Augmenting User Intention in Parametric Design Systems", in *C&C '07: Proceedings of the 6th ACM SIGCHI conference on Creativity & cognition* (Washington, DC, USA: Association for Computing Machinery, New York: NYUnited States, 2007).

86. Analytical BIM

۸۷. این در حالی است که استفاده‌ای از معماری پارامتریک در فناوری BIM، در زمینه‌های محدودی همچون مدل کردن شرایط محیطی همچون تحلیل اثرات زیست‌محیطی و یا بررسی رفتار سازه‌ای بنا در قبال مخاطرات محیطی، سابقه داشته است (M.K. Karen and D.E. Noble, *Building Information Modeling in Current and Future Practice* (Hoboken (New Jersey):Wiley, 2014), 5 & 12؛

E. Krygiel and B. Nies, *Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling* (Berkeley (California): Sybex, 2008); F. Lévy,. *BIM in Small-Scale Sustainable Design* (Hoboken (New Jersey):Wiley, 2011), 1-23).

88. M.K. Karen and D.E. Noble, *Building Information Modeling in Current and Future Practice* (Hoboken (New Jersey):Wiley, 2014), 5 & 12;

E. Krygiel and B. Nies, *Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling* (Berkeley (California): Sybex, 2008); F. Lévy, *BIM in Small-Scale Sustainable Design* (Hoboken (New Jersey):Wiley, 2011), 1-23).

۸۹. روند برعکس نیز درست است. یعنی با فرموله کردن و الگوریتم‌نویسی برای فرایندهای حل مسئله در سایر رشته‌های علوم حتی غیرانسانی، و تغییر مفاهیم به کار گرفته‌شده با تطبیق آنها به مفاهیم مطرح در ابنیه، می‌توان از آنها نیز استفاده کرد. علاوه‌بر استفاده از الگوریتم‌های آماده و موجود، فرمول‌ها و الگوریتم‌های حل مسئله را می‌توان بر اساس تفکرطراحی پژوهشی و مبتکرانه، برای هر پروژه یا برای سبک خاص، منطقهٔ خاص، اقلیم خاص، و ... طراحی کرد.