Journal of Urban Futurology

Journal of Urban Futurology
Volume 4, Number 2, Summer 2024

Online ISSN: 2783-4344
https://uf.zahedan.iau.ir/

Islamic Azad University
Zahedan Branch

Adaptive Interaction of Artificial Intelligence and Architecture: A Focus on Historical Developments from 1920 to 2023

Seyed Ali Akbar Sadri[1], Mohammad Hadi Kaboli[2], Mitra Mirzarezaee[3], Mohamad Reza Soleymani[4]

1- Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2- Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, Damavand branch, Islamic Azad University, Damavand, Iran.
3- Department of Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
4- Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Article info

Article type:
Research Article

Received:
2024/04/30
Accepted:
2024/07/18
pp:
1- 26

Keywords:
Architecture,
Artificial Intelligence,
Computer-Aided Design,
Neural Networks,
Image Generation Models.

Abstract

The process of architectural thinking, traditions, methods, and the vast body of architectural knowledge, similar to other artistic fields, currently stands at a critical juncture in its history. The emergence of Artificial Intelligence (AI) in architecture over the past seventy years signifies a paradigm shift, resulting in significant transformations within the field. Despite addressing factors that have hindered the acceleration of such remarkable change, the present study evaluates the progression and interaction of architectural developments with AI. One approach to investigating AI's impact on the world of architecture involves exploring the cultural, technical, and historical realms. The primary objective of this study was to demonstrate the adaptation of new AI-related findings within architecture while considering their historical developments from 1920 to 2023. The study employed a qualitative method, conducting a historical research based on a comparative analysis of architectural and AI achievements in ten-year periods. The findings suggest that the relationship between architecture and technology has grown substantially in parallel with the evolution of AI. The latest advancements in AI have not only influenced the design process but have also significantly affected the broader field of practice and thought. This adaptation can be categorized into four periods: architecture aided by standardization, architecture utilizing computers, architecture with the assistance of parameters, and architecture through the application of AI.

Citation: Sadri, S. A. A., Kaboli, M. H., Mirzarezaee, M., & Soleymani, M. R. (2024). Adaptive Interaction of Artificial Intelligence and Architecture: A Focus on Historical Developments from 1920 to 2023. *Journal of Urban Futurology*, 4(2), 1-26.

© The Author(s).

Publisher: Islamic Azad University, Zahedan Branch.

[1] **Corresponding author:** Mohammad Hadi Kaboli, **Email:** hadikaboli@gmail.com, **Tell:** +989109220320

Extended Abstract

Introduction

Since the introduction of Artificial Intelligence (AI) in the mid-1940s, up until the deep learning revolution and the publication of Alex Krizhevsky's Alex Net article in 2012, AI-based technologies have resulted from the gradual impact of scientific hypotheses and their collective progress. Today, AI has infiltrated numerous aspects of human life, with many scientific branches and research areas being influenced by its advancements. As such, architecture has not been exempt from this evolution. Within computer science, AI is defined as intelligent systems capable of understanding their environment and taking actions to maximize the likelihood of achieving predetermined goals. This definition applies when a machine mimics cognitive functions like learning and problem-solving. In architecture, this concept is generally explored in two domains of thought: The first theoretical perspective focuses on optimization and finding the most efficient solutions, such as minimum-weight designs for plane structural frames. The second scope encompasses studies that seek solutions for more intuitive architectural problems, like creativity, perception, and emotion. These aspects are more challenging to translate into numerical code because they are difficult to measure or express. The problem of quantification is among the most debated topics within architectural literature, particularly in leading architectural firms and progressive academic institutions. This issue has led to the gradual marginalization of topics such as parametricism. Although logic, parametric thinking, and optimization remain integral in AI models, it is widely accepted that current-decade research primarily focuses on AI applications in architecture. Ultimately, architecture – both in terms of culture and design techniques – is likely to undergo significant changes. This study examined the emergence and influence of AI on architecture through cultural, historical, and technical lenses, aiming to establish a common foundation for interdisciplinary research and mutual understanding. Investigating this evolutionary process seemed essential in fostering a comprehensive understanding of the various development layers in architecture.

Methodology

This qualitative research employed a historical evidence-based approach and comparative analysis to evaluate the impact of Artificial Intelligence (AI) advancements on architecture and its role in the profession's technological landscape. The study used the library research method for data collection related to AI and architecture. In the comparative analysis, the significant events in AI and architecture were examined within 10-year intervals, starting from the 1920s. Since AI emerged in the 1940s, developments prior to this period, from the 1920s to the 1940s, were not included in the comparison. Instead, the focus was on discussing the developments that contributed to the introduction of computing machines and AI.

Results and Discussion

In this study, the adaptive interaction between AI developments and architecture from 1920 to 2023 was examined. The findings showed that the relationship between architecture and technology evolved concurrently with the advancements in AI. The latest AI progress not only impacted the design process but also significantly influenced the realms of architectural practice and thought, even leading to the emergence and development of architectural styles. The four interconnected stages of this gradual evolution included: Architecture aided by standardization, Architecture utilizing computers, Architecture with the assistance of parameters, and Architecture leveraging AI, such as neural networks and generative models.

Although current generative models display limited intelligence and creativity, allowing them to perform in a quasi-creative manner, their creativity differs from human creativity in many ways. Drawing from Margaret Boden's theory, human creativity can be classified into three types: hybrid, exploratory, and transformative. Consequently, AI models are also categorized into three levels: Introspective creative models, Extrospective creative models, Inventor models.

While neural networks have shown the ability to engage in introspective creativity by sampling and recognizing data patterns, few examples demonstrate competence in both introspective creativity and inventiveness.

Conclusion

Due to its extensive background of related studies, Artificial Intelligence (AI) is currently experiencing remarkable advancements.

Humans and machines possess a variety of abilities that set them apart: What may be effortless for humans can prove difficult for machines, while some calculations are simple for machines but seem impossible for humans. Although the capabilities of humans and machines inherently differ, these differences can serve as the basis for innovative collaborations in architecture. Humans excel in their nuanced understanding of needs and innate creativity, while machines possess powerful and precise abilities in complex calculations and data analysis. By integrating these complementary strengths, transformative innovations in architecture can emerge, leading to more efficient and innovative designs.

However, implementing AI in architectural structures and addressing ethical issues related to its application face significant challenges. Further research, including examining the impact of AI-based technologies on contemporary Iranian architecture, is essential to ensure sustainability, responsibility, and optimal technology use in architectural space design.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

All authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. Each author has approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We would like to express our gratitude to all the scientific consultants who provided valuable input and support for this paper.

فصلنامه آینده پژوهی شهری
دوره ۴، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳
شاپا الکترونیکی: ۴۳۴۴-۲۷۸۳
https://uf.zahedan.iau.ir/

برهمکنش تطبیقی هوش مصنوعی و معماری با تمرکز بر تحولات تاریخی ۱۹۲۰ تا ۲۰۲۳

سید علی اکبر صدری[۱]، محمدهادی کابلی[۲]، میترا میرزا رضایی[۳]، محمدرضا سلیمانی[۴]

۱- گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲- گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۳- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۴- گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

دریافت:
۱۴۰۳/۰۲/۱۰

پذیرش:
۱۴۰۳/۰۴/۲۸

صص:
۱-۲۶

واژگان کلیدی:
معماری،
هوش مصنوعی،
طراحی به کمک رایانه،
شبکه‌های عصبی،
مدل‌های مولد تصویر.

چکیده

شیوه معماری اندیشی، روش‌ها، سنت‌ها و دانش آن به‌مانند هر رشته هنری دیگری امروزه در دوره‌ایی دوره‌ای بسیار حیاتی و تاریخی قرار دارد. همان‌گونه که در هفتادسال اخیر راه‌حل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، معماری را به‌طور قابل‌توجهی متحول کرده است. این پژوهش به‌جای پرداختن به عواملی که مانع از تسریع این تحول شده‌اند، نگاهی بر تداوم برهمکنش تحولات معماری و هوش مصنوعی دارد. یکی از روش‌هایی که می‌توان این مساله را مورد بررسی قرار داد، نگاهی فرهنگی و فنی و تاریخی به مساله هوش مصنوعی و نحوه ورود و تأثیر آن بر معماری است. هدف از این پژوهش چگونگی برهمکنش یافته‌های جدید هوش مصنوعی و معماری با تمرکز بر تحولات تاریخی ۱۹۲۰ تا ۲۰۲۳، همچنین نقش متصور آن در آینده فناوری این حوزه است. این پژوهش از نظر رویکرد کیفی است و از نظر روش یک پژوهش تاریخی مبتنی تحلیل‌مقایسه‌ای رویدادهای معماری و هوش مصنوعی در دوره‌های ده ساله است. یافته‌های حاکی از آن است این برهمکنش را می‌توان در ۴ دوره، معماری به کمک استانداردسازی، معماری به کمک رایانه، معماری به کمک پارامترها و در نهایت معماری به کمک هوش مصنوعی (شبکه‌های عصبی و مدل‌های مولد) سازمان‌دهی کرد. رابطه معماری با فناوری به‌موازات تحولات هوش مصنوعی بالغ شده و آخرین پیشرفت‌های هوش مصنوعی نه‌تنها بر فرآیند طراحی تأثیرگذار بوده است، بلکه بر حوزه عمل و اندیشه آن نیز مؤثر بوده و حتی موجب پیدایش و توسعه سبک‌های معماری شده است.

استناد: صدری، سید علی اکبر؛ کابلی، محمد هادی؛ میرزارضایی، میترا؛ سلیمانی، محمدرضا. (۱۴۰۳). برهمکنش تطبیقی هوش مصنوعی و معماری با تمرکز بر تحولات تاریخی ۱۹۲۰ تا ۲۰۲۳. *فصلنامه آینده پژوهی شهری*، ۴(۲)، ۱-۲۶.

©نویسندگان

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان.

[۲] **نویسنده مسئول:** محمد هادی کابلی، **پست الکترونیکی:** hadikaboli@gmail.com ، **تلفن:** ۰۹۱۰۹۲۲۰۳۲۰

* پژوهش حاضر از رساله دکتری تخصصی نویسنده اول با عنوان " بکارگیری شبکه‌های عصبی عمیق و مفهوم خبرگی در تولید الگوی مدارک معماری (شکل‌زایی طرح مسکونی)" استخراج شده و با راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده گان سوم چهارم به انجام رسیده است.

مقدمه

از نخستین روزهای معرفی هوش مصنوعی در میانه دهه ۴۰ میلادی تا انقلاب یادگیری عمیق و منتشر شدن مقاله الکس‌نت[1] توسط الکس کریژوفسکی در حوالی سال ۲۰۱۲، فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی نتیجه رسوب آهسته فرضیه‌های علمی و پیشرفت آن است. امروزه هوش مصنوعی در بسیاری از شئون زندگی انسان‌ها نفوذ یافته است، همچنین بسیاری از شاخه‌های علوم و تحقیقات، تحت تأثیر پیشرفت‌های حوزه هوش مصنوعی قرارگرفته‌اند. با این مقدمه می‌توان دریافت که معماری نیز از این قاعده مستثنا نخواهد بود.

در علوم کامپیوتر، هوش مصنوعی به‌عنوان مطالعه و توسعه عوامل هوشمند تعریف می‌شود، به‌عبارت‌دیگر سیستمی که محیط خود را درک کرده و اقداماتی را برای به حداکثر رساندن شانس خود برای دستیابی به اهداف تعیین‌شده انجام می‌دهد. به‌طورکلی این اصطلاح زمانی به کار می‌رود که یک ماشین عملکردهای شناختی مرتبط با انسان، مانند یادگیری و حل مسئله، تقلید کند. در معماری، این پدیده معمولاً در دو حوزه فکری دنبال شده است:

اولین حوزه نظری مسائل مربوط به بهینه‌سازی و بهینه‌یابی است. این حوزه شامل مواردی مانند بهینه‌سازی پلان‌های طبقه (باباخانی و همکاران، ۱۴۰۲)، انرژی (چوپان و همکاران، ۱۴۰۲)، فرم ساختمان (تدین و همکاران، ۱۴۰۰) است. در این حوزه، الگوهای هوش مصنوعی باهدف، جستجوی بهترین راه‌حل ممکن در مسائل معماری به کار برده می‌شوند.

حوزه دوم مربوط به دسته‌ای از مطالعات است که به دنبال راه‌حلی برای حل مسائل شهودی‌تر معماری هستند. این مسائل شامل مواردی مانند خلاقیت، ادراک و احساس می‌شوند. تبدیل این مسائل به کد دشوارتر است، زیرا از کمیت‌سازی فرار می‌کنند. پروژه‌هایی که در این مسیر قدم می‌گذارند از منظر زیبایی‌شناختی به مسائل می‌پردازند و به دنبال راهی هستند تا هوش مصنوعی بتواند به‌طور شبه خلاقانه عمل کرده یا احساس را ایجاد کند و کار همین‌جا تمام نمی‌شود، آن‌ها به دنبال حل مسائل جدیدی هستند که در پس ظهور پارادایمی به نام هوش مصنوعی در معماری بروز خواهد کرد، مسائلی که ناشی از دقدقه‌های اخلاقی‌تر هستند. همچنین این واژه یکی از پرمناقشه‌ترین واژگان فرهنگ معماری در دفاتر پیشرو و مدارس معماری مترقی نیز می‌باشد، مساله‌ای که اندک، اندک موجب به حاشیه رانده شدن مباحثی چون پارامتریک گرایی شده است، اگرچه در الگوهای هوش مصنوعی همواره منطق و تفکر پارامتریک و بهینه‌سازی حاکم است، اما تصور می‌شود که دهه حاضر متعلق به تحقیق در حوزه کاربردهای هوش مصنوعی در معماری خواهد بود و در پس این تحول پارادایمیک، معماری چه به لحاظ در فرهنگی و تکنیک‌های طراحی متحول خواهد شد.

بر این اساس، با توجه به کاربر روزافزون مدل‌ها و الگوهای مبتنی بر هوش مصنوعی در فرآیند طراحی و پروژه‌های معماری در گام اول، درک چگونگی رابطه میان هوش مصنوعی و معماری از اهمیت ویژه‌ایی برخوردار است و عدم توجه به آن می‌تواند موجب تأثیر نامطلوب و ناخواسته بر معماری شود. مساله‌ای که نمود آن در خروجی سکوهای مولد تصویر از جمله دالی و میدجرنی کاملاً مشخص است.

این پژوهش برخلاف عمده پژوهش‌های انجام‌شده در این حوزه پژوهشی که معمولاً به مطالعه نمونه‌های یک الگوی محاسباتی (صادقیان و حسینی، ۱۴۰۰) یا کاربرد هوش مصنوعی به‌منظور هدفی خاص (صدری و همکاران، ۱۴۰۲)، پرداخته‌اند، نحوه ورود و تأثیرگذاری هوش مصنوعی در معماری را، با نگاهی فرهنگی و فنی و تاریخی موردمطالعه قرار دهد تا زمینه برای ایجاد درکی متقابل و زبانی مشترک برای انجام پژوهش‌های میان‌رشته‌ای فراهم شود. فراتر از پیشینه تاریخی، به نظر می‌رسد که بررسی این سیر تکامل موجب درک بهتری از تحولات در حوزه معماری خواهد شد.

پیشینه و مبانی نظری پژوهش

در حوزه هوش مصنوعی تاکنون پژوهش گران متعددی به بررسی تاریخچه هوش مصنوعی پرداخته‌اند که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود. با توجه اهمیت کنگره دارتموث در ۱۹۵۶، کریویر در مصاحبه با شرکت‌کنندگان کنگره به بررسی تاریخ هوش

[1] AlexNet

مصنوعی پرداخت است (Crevier, 1993,p30). پس‌ازآن جیمز مور نیز به بررسی نقش کنگره دارتموث در ۵۰ سال پژوهش در حوزه هوش مصنوعی پرداخت (Moor, 2006). مارگارت بودن در کتاب "هوش مصنوعی و آینده آن[1]" به بررسی چگونگی تأثیر تحقیقات هوش مصنوعی در رباتیک و زیست‌شناسی پرداخته است. همچنین تاریخچه هوش مصنوعی را به‌صورت تخصصی موردبحث قرار داده و موفقیت‌های آن را برجسته کرده است (Boden, 2016).

کلهر فناوری‌های هوش مصنوعی را موردبررسی قرار داد و سپس بر اساس نحوه یادگیری و آموزش آن‌ها چشم‌انداز آتی هوش مصنوعی را تبیین کرده است (Kelleher, 2019). پس از او میشل مخاطرات احتمالی استفاده از هوش مصنوعی را توصیف کرد. او سیستم‌هایی مانند واتسون را نقد و فاقد هوش کلی ارزیابی کرده و چشم‌انداز آینده هوش مصنوعی را برای دستیابی به هوش عمومی زیر سؤال برده است (Mitchell, 2019,p.21). هانلین و تاریخ هوش مصنوعی را، در دوره‌های بهار (۱۹۶۰ تا ۱۹۴۰)، زمستان (۱۹۷۰ تا ۱۹۹۰)، یادگیری ماشین (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰) و یادگیری عمیق (۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰) موردبررسی قرار داده و در پایان چشم‌اندازی (خرد، کلان، مبانی) در حوزه آینده هوش مصنوعی ارائه داده است (Haenlein & Kaplan, 2019).

از سوی دیگر در حوزه معماری، سابقه مطالعات میان‌رشته‌ای به انتشار کتاب معماری ماشین نگروپونته در دهه ۷۰ میلادی که در آن‌که در آن کتاب نقش متصور برای رایانه در کمک به طراحی معماری در دهه‌های آینده را موردبررسی قرار گرفت (Negroponte,1970)، باز می‌گردد. پس‌ازآن پژوهش‌های متعددی در حوزه به‌کارگیری الگوهای هوش مصنوعی باهدف حل مسائل معماری انجام‌شده است.

بااین‌حال در خصوص پژوهش‌های تاریخی در حوزه معماری و فناوری مطالعات محدودی انجام‌شده است، در این خصوص رابرت بوتازی تاریخ معماری دیجیتال را به‌صورت عمیق موردبررسی قرار داده است، مفاهیم عمیق طراحی را از دوران رنسانس تا امروز مرور کرده و این وقایع را به تحولات تکنیک‌های نرم‌افزاری جدید مرتبط کرده است (Bottazzi, 2018). همچنین استنسیل شیلو رابطه هوش مصنوعی و معماری را به‌صورت مروری موردمطالعه قرار داد و درنهایت نمونه‌هایی از کاربردهای هوش مصنوعی (شبکه‌های عصبی) در آفرینش فضا را موردمطالعه قرار داده است (Chaillou, 2021). در خصوص پژوهش‌های داخلی پویان روحی در مصاحبه با مدرسین و دانشجویان مدرسه معماری دانشگاه کلمبیا در زمان مدیریت برنارد چومی، به بررسی تحولات تکنولوژیک و تأثیر آن بر طراحی معماری پرداخته است (روحی، ۱۳۹۸).

آنچه از ادبیات مرتبط با موضوع به نظر می‌رسد، در خصوص بررسی تاریخ معماری و تطبیق آن با پیشرفت فناوری‌های هوش مصنوعی، به‌جز معدود نوشتارهایی که عمدتاً به یک دوره خاص تاریخی، یک الگوی محاسباتی (صادقیان و حسینی، ۱۴۰۰)، یا مقطعی از معماری مانند معماری دیجیتال (خبازی، ۱۳۹۸) و پارامتریک (خبازی، ۱۳۹۵)، پرداخته‌اند و بیشتر پایگاه نظری و سلیقه مؤلفان را درباره نمونه‌هایی از کاربرد فناوری در معماری بیان می‌کنند، هنوز هیچ تاریخ مدون و متکی بر روش‌های علمی تاریخ‌نگاری در دست نیست که بتواند، رابطه معماری و هوش مصنوعی با نگاهی فرهنگی تاریخی و فنی؛ زمینه‌ها، اشتراکات، گرایش‌ها، شاخصه‌های و مولفه‌های آن را در دوره‌های زمانی در میان معماران تعیین کند. بر این اساس پژوهش حاضر نخست به بررسی وقایع و رویدادهای تأثیرگذار در دو حوزه معماری و هوش مصنوعی طی سال‌های ۱۹۲۰ تا ۲۰۲۳، در بازه‌های زمانی ده‌ساله پرداخته و درنهایت این مولفه‌های و شاخصه‌های مربوطه را موردبحث قرار خواهد داد.

مواد و روش پژوهش

پژوهش حاضر یک پژوهش کیفی است، بر این اساس برای نیل به هدف آن یعنی چگونگی تأثیریافته‌های جدید هوش مصنوعی بر معماری و نقش متصور برای آن در چشم‌انداز فناوری این حرفه از رویکرد تاریخی و تحلیل مقایسه‌ای استفاده‌شده است. گردآوری اطلاعات به روش کتابخانه‌ای با بهره‌گیری از کتب و مقالات در زمینه هوش مصنوعی و معماری انجام‌شده است. در این مقایسه تطبیقی رویدادهای تأثیرگذار دو حوزه هوش مصنوعی و معماری در دوره‌های زمانی ۱۰ ساله از دهه ۱۹۲۰ موردبررسی و بحث قرارگرفته است. بدیهی است با توجه به پیدایش هوش مصنوعی به‌طورجدی از دهه ۴۰ میلادی، تحولات مذکور از دهه ۱۹۲۰ تا ۱۹۴۰ فاقد مقایسه بوده و تنها به تحولات زمینه‌ساز ورود محاسبات ماشینی و هوش مصنوعی به معماری اشاره‌شده است.

[1] AI: Its nature and future

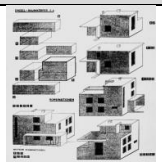
سیر تحولات و رویدادهای معماری و هوش مصنوعی

۱۹۲۰ تا ۱۹۳۰، شبکه گرید، ساماندهی ترسیم مدارک معماری

در آغاز دهه ۲۰ میلادی، والتر گروپیوس، با هدف ساده کردن فرآیند طراحی، از نظر فنی و درعین‌حال کاهش قابل‌توجه هزینه ساخت، طراحی در شبکه گرید را پیشنهاد کرد. دو سال بعد (۱۹۲۳)، باهدف توسعه ایده طراحی در شبکه گرید، باکاستن[1]، به معنی کیت ساخت‌وساز را تئوریزه کرد (Seelow, 2018). در این روش، فضاها باید بر اساس کیت‌های ساخت‌وساز که دارای قوانین مونتاژ دقیقی بودند، طراحی و مونتاژ می‌شدند. در نتیجه حین طراحی باید از پیچیدگی طرح‌ها و جزئیات آن کاسته می‌شد.

یکی از کلیدی‌ترین رویدادهای معماری در این دهه در سال ۱۹۲۸ به وقوع پیوست و آن برگزاری اولین کنگره سیام به همت هلنا دوماندرو و حمایت لوکوربوزیه بود. این کنگره با هدف حمایت از معماران مدرن برای ارائه پروژه‌هایشان در پی نارضایتی جامعه کارفرمایی برگزار شد. مهم‌ترین بند بیانیه کنگره بر لزوم ارائه راهکارهایی عملی جهت همسو کردن معماری با واقعیت‌های اجتماعی تأکید می‌کرد (بانی مسعود، ۱۳۸۹، ۳۰۵). سال بعد (۱۹۲۹)، دومین سیام، با موضوع مسکن حداقلی در فرانکفورت برگزار شد که از دستاوردهای این کنگره می‌توان به سامان‌دهی ترسیم نقشه‌ها، تعیین یک مقیاس و قوانین ترسیم مشخص برای معماران اشاره کرد (بانی مسعود، ۱۳۸۹، ۲۷۳)؛ بنابراین از منظر معماری، دهه بیست میلادی را می‌توان دهه شبکه گرید و ساماندهی ترسیم مدارک معماری دانست. معماران در این دهه برای توسعه دفاتر و فعالیت‌های خود به دنبال ایجاد زبانی مشترک و قاعده‌مند کردن مدارک معماری بودند.

جدول ۱- رویدادهای و شاخصه‌های معماری بین سال‌های ۱۹۲۰ تا ۱۹۳۰

۱۹۲۰ تا ۱۹۳۰، شبکه گرید، ساماندهی ترسیم مدارک معماری			
سال	رویداد		شاخصه‌ها
۱۹۲۰	شبکه گرید، (گروپیوس)- هدف ساده کردن فرآیند طراحی و کاهش هزینه‌های ساخت		توسعه ایده طراحی در شبکه گرید. ساده‌سازی طراحی باهدف کاهش هزینه‌های ساخت.
۱۹۲۳	باکاستن، (گروپیوس)- پیش ساخته سازی، کاهش پیچیدگی طرح‌ها		پیشنهاد کیت ساخت‌وساز در جهت همسویی معماری با تولیدات کارخانه‌ها.
۱۹۲۸	ارائه راهکارهایی عملی جهت همسو کردن معماری با واقعیت‌های اجتماعی (سیام ۱)		همسو کردن معماری با واقعیت‌های اجتماعی.
۱۹۲۹	سامان‌دهی ترسیم نقشه‌ها تعیین یک مقیاس و قوانین ترسیم مشخص (سیام ۲)		سامان‌دهی ترسیم مدارک معماری، تعیین یک مقیاس و قوانین ترسیم مشخص برای معماران.

۱۹۳۰ تا ۱۹۴۰، پیش‌ساخته سازی

در ۱۹۳۰، معمار و طراح آمریکایی باکمینستر فولر، شکل تکامل‌یافته‌ی ایده باکاستن و تعریف عملی پیش‌ساخته سازی را ارائه داد. او در طراحی خانه دیمکسیون[2]، سیستم‌های تأسیسات را نیز به‌عنوان ماژول‌هایی پیش‌ساخته در طرح ساخت خود نظر گرفت (Cohen & Prosina, 2020). فولر در این پروژه پیش‌ساخته سازی را در عمل و در فرمی غیر مستطیلی به اجرا درآورد.

در پی موفقیت این پروژه در ۱۹۳۳، خانه وینسلو[3]، توسط معمار آمریکایی رابرت دبلیو مک لافلین، طراحی و ساخته شد. این خانه را می‌توان اولین نمونه ساخته‌شده مدولار، همچنین اولین تلاش جامعه معماری برای به حداقل رساندن هزینه ساخت و افزایش سرعت طراحی در راستای همسو شدن با واقعیت‌های اجتماعی دانست. رویداد مهم دیگر در این دهه انتشار کتاب ارکیتکچر دیتا[4] (۱۳۳۶)، به‌عنوان مرجعی برای مطالعات استاندارد معماری، توسط ارنست نویفرت بود. بر این اساس دهه بیست را می‌توان دهه پیش‌ساخته سازی و کاربرد عملی طراحی شبکه گرید دانست. این امر کمک کرد تا بسیاری از طرح‌های معماری بر اساس این استانداردها به قطعاتی تبدیل شوند که قابلیت تولید انبوه در کارخانه‌ها را داشته باشند.

---

[1] Baukasten
[2] dymaxion house
[3] Winslow Ames House
[4] Architects Data

جدول ۲- رویدادهای و شاخصه‌های معماری بین سال‌های ۱۹۳۰ تا ۱۹۴۰

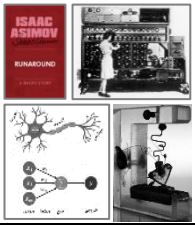
۱۹۲۰ تا ۱۹۳۰، شبکه گرید، ساماندهی ترسیم مدارک معماری			
سال	رویداد		شاخصه‌ها
۱۹۳۰	خانه دیمکسیون، (باکمینستر فولر)، اولین پروژه پیش‌ساخته با در نظر گرفتن تأسیسات		پیش‌ساخته سازی. استانداردسازی مدارک معماری (فضا و اجزا ساختمان). به‌کارگیری عملی شبکه گرید. اثبات مقرون‌به‌صرفه بودن روش‌های جدید.
۱۹۳۳	خانه وینسلو، (رابرت دبلیو مک لافلین) اثبات مقرون‌به‌صرفه بودن استاندارد ساخته سازی		
۱۹۳۶	ارکیتکچر دیتا (ارنست نویفرت) دستورالعمل استاندار مدارک و فضا و اجزا ساختمان		

۱۹۴۰ تا ۱۹۵۰، ساماندهی ابعاد، مدولاریته (پیدایش ماشین محاسبه)

در دهه ۴۰ میلادی نیازهای جنگ جهانی دوم موجب ظهور محاسبات ماشینی و هوش مصنوعی شد. در ۱۹۴۲، رمان سرگردانی ایزاک آسیموف منتشر شد. در این کتاب سه قانون اصلی رباتیک معرفی شد. هم‌زمان با او، آلن تورینگ توانست با هدف رمزگشایی از کد اینگما[1] (ماشین رمزگذار ارتباطات المان نازی)، ماشینی به نام بومبه[2] یعنی اولین رایانه الکتریکی-مکانیکی، جهان اختراع کند. پیش از به وجود آمدن بومبه عملیات محاسباتی در دپارتمان‌های محاسبات و به‌صورت دستی انجام می‌شد. چیزی شبیه به دپارتمان‌های نقشه‌کشی در دفاتر معماری آن زمان که تعداد زیادی نقشه‌کش، در شرکت‌ها کار ترسیم مدارک معماری را به‌صورت دستی انجام می‌دادند. این کشف موجب شد، آلن تورینگ مقاله اصلی خود با عنوان "محاسبات ماشینی و هوش" در مورد امکان توسعه ماشین‌هایی که می‌توانند فکر کنند، حدس و گمان‌هایی را مطرح کند (Turing, 1950).

دهه ۴۰ را می‌توان به‌عنوان نقطه تلاقی چندین پیشرفت مهم در نظر گرفت که باهم سازند تعریف معاصر از هوش مصنوعی را فراهم می‌کنند. در سال ۱۹۴۳، ریاضیدان والتر پیتس و وارن مک کالوچ، متخصص مغز و اعصاب آمریکایی، مدل نظری شبکه‌های عصبی را با الهام از نحوه کار نرون‌های عصبی مغز انسان ابداع کردند (McCulloch & Pitts, 1943). اگرچه این مدل یک تحقیق نظری بود، اما به جامعه علمی آن زمان، تعریف اولیه‌ی شبکه‌های عصبی را ارائه داد، مدلی که ساختار اصلی سکوهای مولد تصویر کنونی مانند میدجرنی و دالی را شکل داده است. این دستاورد به‌زودی با آزمایش دیگری در آزمایشگاه بل (متعلق به موسسه تحقیقاتی شرکت مخابرات آمریکا)، همراه شد. در این آزمایشگاه، در سال ۱۹۴۷، جان باردین، والتر هاوسر براتین و ویلیام برادفورد شاکلی نوع جدیدی از دستگاه‌های نیمه هادی با نام ترانزیستور را ارائه کردند (Nobel Prize in Physics, 2023). به‌طور خلاصه، این قطعه برای قطع، وصل و تقویت سیگنال الکتریکی به کار می‌رود. ابداع این نسل جدید سخت‌افزار، موجب شد تا مدل نظری مک کالوچ و پیتس، در قالب نمونه‌های اولیه آزمایش شوند؛ بنابراین دهه چهل میلادی در حوزه هوش مصـنوعی را می‌توان دهه پیدایش ماشـین محاسـبه‌گر دانسـت.

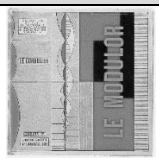
جدول ۳- رویدادهای و شاخصه‌های هوش مصنوعی بین سال‌های ۱۹۴۰ تا ۱۹۵۰

۱۹۴۰ تا ۱۹۵۰، پیدایش، ماشین محاسبه‌گر			
سال	رویداد		شاخصه‌ها
۱۹۴۲	رمان سرگردانی (ایزاک آسیموف)، تکامل قوانین روباتیک		توسعه قوانین رباتیک. ابداع اولین رایانه الکتریکی مکانیکی. تغییر نگاه دولت‌ها در شیوه محاسبات تست تورینگ برای ارزیابی هوشمندی ماشین‌ها. به لحاظ نظری ثابت شد، با الهام از ساختار مغز انسان می‌توان رایانه‌ها را برنامه‌ریزی کرد.
۱۹۴۲	بومبه اولین رایانه الکتریکی مکانیکی (آلن تورینگ)، انتشار مقاله محاسبات ماشینی و هوش		
۱۹۴۳	مدل نظری شبکه‌های عصبی (والتر پیتس و وارن مک کالوچ)		
۱۹۴۳	اختراع ترانزیستور، (آزمایشگاه بل)		

[1] Enigma
[2] Bombe

در این دهه در پی جنگ جهانی دوم، معماری به‌مانند تمامی حرفه‌ها دچار رکود شد. با پایان جنگ و نیاز به جبران خسارات ناشی از این جنگ، ایده خط تولید صنعتی که توسط فورد از پیش ابداع‌شده بود، بر مبنای مبانی نظری و آزمون‌های عملی انجام‌شده، در جهت بازسازی ساختمان‌ها و انبوه‌سازی به کار گرفته شد.

جدول ٤- رویدادهای و شاخصه‌های معماری بین سال‌های ۱۹٤۰ تا ۱۹۵۰

۱۹۴۰ تا ۱۹۵۰، ساماندهی ابعاد، مدولاریته			
سال	رویداد		شاخصه‌ها
۱۹۴۶	پایان جنگ جهانی دوم شروع بازسازی (زیادتر، سریع‌تر، ارزان‌تر)		مدولاریته / استانداردسازی ابعاد انبوه‌سازی (کاهش عملیات درجای ساختمانی) دوره تکنولوژی به معنای تکنیکی برای شکل‌دهی و ساخت در نظر گرفته می‌شد.
۱۹۴۶	مدولاریته، (لوکوربوزیه)، استانداردسازی ابعاد		

در ۱۹۴۶، لوکوربوزیه تئوری مدولاریته را بر مبنای باکاستن، گروپیوس و بر اساس استانداردهای نویفرت در مجموعه‌های مسکونی "اونیته دبیتاسیون[1]" (واحد سکونت) معرفی و در پروژه‌های سال‌های آتی خود آن را مورد آزمون قرار داد. همچنین از معماران خواست تا این قواعد را در طراحی پروژه‌های خود به‌کارگیرند. حال نوبت به استانداردسازی ابعاد بود که در دستور کار معماران قرار گیرد تا بتوانند به نیاز روزافزون جوامع پس از جنگ جهانی پاسخ دهد، بنابراین به‌عنوان مؤلفه اصلی در حوزه معماری می‌توان دهه ۴۰ میلادی را دهه، ساماندهی ابعاد و مدولاریته دانست. در واقع در این دوره تکنولوژی به معنای تکنیکی برای شکل‌دهی و ساخت در نظر گرفته شد.

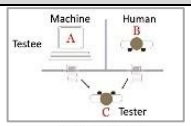
۱۹۵۰ تا ۱۹٦۰، آزمون عملی اصول مدولاریته (شکل‌گیری مبانی هوش مصنوعی)

واژه هوش مصنوعی در سال ۱۹۵۶، زمانی که ماروین مینسکی و جان مک کارتی (دانشمند کامپیوتر در استنفورد) میزبان پروژه تحقیقاتی دارتموث[2] بودند، رسماً ابداع شد (Haenlein & Kaplan, 2019; Moor, 2006). از منظر اهمیت این کارگاه را می‌توان با کنگره سیام مقایسه کرد. هدف دارتموث، اتحاد میان محققان زمینه‌های مختلف به‌منظور ایجاد یک حوزه تحقیقاتی جدید باهدف ساخت ماشین‌هایی بود که بتواند هوش انسانی را شبیه‌سازی کنند (Haenlein, 2019). فرضیه اصلی و پیش‌فرض این مطالعات بر این اساس شکل گرفت: "هر جنبه از یادگیری یا هر ویژگی دیگری از هوش در اصل می‌تواند به‌قدری دقیق توصیف شود که بتوان ماشینی برای شبیه‌سازی آن ساخت" (McCarthy et al, 1955).

پس‌ازآن روانشناس آمریکایی فرانک روزنبلات (۱۹۵۷)، همسو با مدل نظری پیتس و مک کالوچ، توانست به کمک یک سخت‌افزار سفارشی‌شده مبتنی بر ترانزیستور، پتانسیل‌های مدل‌های عصبی اولیه را آشکار کند. پری‌سپترون که برای طبقه‌بندی تصاویر طراحی‌شده بود، نمونه اولیه کارکردی از یک "ماشین یادگیری" را ارائه کرد. "یادگیری" در اینجا به معنی توانایی پری‌سپترون برای تنظیم، پارامترهای خود در هنگام مواجهه، با آرایه‌های عددی تصاویر است. پری‌سپترون از طریق این روش مبتنی بر آزمون‌وخطا، خود را برای بهبود توانایی و پیش‌بینی دقیق دسته‌بندی هر تصویر تنظیم و بهینه می‌کرد. در این دهه دو جنبش تحقیقاتی یعنی محاسبات نمادین و پیوندگرایی در زمینه هوش مصنوعی و شبیه‌سازی به کمک رایانه پدیدار شد (Boden, 2016,17)؛ بنابراین دهه ۵۰ میلادی را می‌توان به‌عنوان دهه شکل‌گیری مبانی نظری هوش مصنوعی در نظر گرفت.

[1] Unité d'habitation
[2] Dartmouth Summer Research Project on Artificial.(DSRPA)

جدول ۵- رویدادهای و شاخصه‌های هوش مصنوعی بین سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰

۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰، آزمون عملی اصول مدولاریته			
سال	رویداد		شاخصه‌ها
۱۹۵۲	تست تورینگ، (آلن تورینگ)		ایجاد اتحاد میان محققان زمینه‌های مختلف به‌منظور ایجاد یک حوزه تحقیقاتی جدید با هدف ساخت ماشین که بتوانند هوش انسانی را شبیه‌سازی کنند.
۱۹۵۹	پروژه تحقیقاتی دارتموث، ابداع کلمه هوش مصنوعی (ماروین مینسکی)		
۱۹۶۰	پری سپترون، طبقه بندی تصاویر، اولین نمونه ماشین یادگیری (روزنبلات)		ثابت شد هر جنبه از یادگیری را اگر به‌طور دقیق توصیف کرد، می‌توان برای آن ماشینی محاسبه‌ایی را ساخت. توسعه تحقیقات و شکل‌گیری نحله‌های فکری.

در حوزه معماری، در دهه ۵۰، مدولاریته در غالب پروژه‌های معماری همچنان به حیات خود ادامه داد. لوکوربوزیه قواعد مدولاریته را از سال ۱۹۵۲ در پروژه هبیتت مارسی (سیته رادیوس[1]) تا سال ۱۹۶۰ در پروژه صومعه لاتورت[2] و دیگر پروژه‌هایش پیاده‌سازی کرد. در راستای این آزمون‌های عملی، معماران به‌طور فزاینده‌ای کار خود را با الزامات اصول مدولار تطبیق دادند.

جدول ٦- رویدادهای و شاخصه‌های معماری بین سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹٦۰

۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰، آزمون عملی اصول مدولاریته			
سال	رویداد		شاخصه‌ها
۱۹۵۲	هبیتت مارسی (لوکوربوزیه)، آزمون اصول مدولاریته		ظهور نمونه اولیه نرم‌افزارهای کد باهدف تولید قطعات مهندسی.
۱۹۵۹	پرونتو (پاتریک هانراتی)، یکی از اولین نمونه های نرم افزارهای کد با هدف طراحی قطعات مهندسی		معماران به‌طور فزاینده‌ای کار خود را با الزامات اصول مدولار تطبیق داند.
۱۹۶۰	صومعه لاتورت (لوکوربوزیه)، آزمون اصول مدولاریته		آزمون عملی اصول مودولار. شروع تغییر نگرش به فرآیندهای طراحی در شرکت‌های مهندسی.

در کنار تلاش معماران در جهت استانداردسازی طراحی و اجرای اولین ساختمان‌های مدولار در سال پایانی دهه ۵۰، (۱۹۵۹)، پاتریک هانراتی، دانشمند علوم رایانه، پرونتو، یکی از اولین نمونه‌های نرم‌افزارهای کد که برای طراحی قطعات مهندسی توسعه داده بود، معرفی کرد. کد را باید به‌عنوان یکی از محصولات ناشی از تبدیل فناوری‌های نظامی توسعه‌یافته در طول جنگ جهانی دوم به مصارف تجاری دانست. امکانات ارائه شده توسط این نرم‌افزار سرآغاز تلاش‌های تحقیقاتی قابل‌توجه در حیطه طراحی به کمک رایانه شد.

۱۹٦۰ تا ۱۹۷۰، ظهور طراحی به کمک رایانه (کد)، شکل‌گیری جنبش‌های فرآیند طراحی، (دهه تمایل به تولید برنامه‌های کاربردی)

در حوزه هوش مصنوعی دهه ۶۰ را می‌توان دهه تمایل برای تولید برنامه‌های کاربردی نامید. در ۱۹۶۶ رایانه‌ای با نام الیزا[3]، توسط دانشمند آلمانی، آمریکایی جوزف وایزنبام[4] توسعه داده شد. الیزا قادر بود که مکالمه با یک فرد را از طریق یک برنامه مبتنی بر چت شبیه‌سازی کند (Weizenbaum, 1966). طیف دیگری از محققین هوش مصنوعی در این دهه، به حوزه مهندسی رباتیک و چگونگی استفاده از هوش مصنوعی به‌عنوان نیروی کار در خطوط صنعتی معطوف بودند. بازوی روباتیک یونی میت[5] (۱۹۶۱) که می‌توانست وظایفی مانند حمل قطعات ساخته‌شده و جوشکاری را در خطوط مونتاژ جنرال موتورز انجام دهد، یکی از مهم‌ترین دستاوردهای آن‌ها است (Marsh, 2023).

[1] Cité radieuse
[2] La Tourette
[3] ELIZA
[4] Joseph Weizenbaum
[5] Unimate

جدول ۷- رویدادهای و شاخصه‌های هوش مصنوعی بین سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰

۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰، تولید برنامه‌های کاربردی			
سال	رویداد		شاخصه‌ها
۱۹۶۰	ربات یونی میت (جورج دیول و جوزف انگلبرگر)، برای خطوط مونتاژ جنرال موتورز		تمایل برای تولید برنامه‌های کاربردی و استفاده از تحقیقات در عمل. در این دهه اولین ربات‌ها وارد خطوط صنعتی شدند. مساله‌ای که در نهایت منجر به شخصی‌سازی محصول و تنوع محصولات تولیدی کارخانه‌ها شد.
۱۹۶۶	الیزا، پردازش زبان طبیعی، (جوزف وایزنبام)		
۱۹۶۷	انتشار کتاب پریسپرون (ماروین مینسکی)		

در حوزه معماری در این دوره با مشخص شدن پتانسیل هوش مصنوعی کلاسیک و انتشار اولین نمونه‌های کد، تغییر نگرش به شیوه‌کار در شرکت‌های مهندسی خاص آغاز شد. لوئیجی مورتی، معمار ایتالیایی در سه سالانه میلان ۱۹۶۰، طرح پروژه استادیوم N را ارائه کرد. او توانست به کمک تعریف روابط ریاضی میان ۱۹ پارامتر، فرم استادیوم را پارامتریک کند (Davis, 2022)، طرح به‌دست‌آمده توسط مورتی نه‌تنها نمادی از یک زیبایی‌شناسی جدید بود، بلکه می‌توان آن را اولین نمونه، به‌کارگیری پارامترها و قوانین صریح در طراحی معماری دانست.

در این دهه پژوهش در حوزه طراحی به کمک رایانه همچنان ادامه یافت. در ۱۹۶۳، ایوان ساترلند، اسکچ‌پد[1] را منتشر کرد (Sutherland, 1964). قابلیت‌های کاربردی و ساده‌گی، اسکچ‌پد را از پرونتو، متمایز می‌کرد. ساترلند عامدانه این نرم‌افزار را به در حوزه خاصی محدود نکرد تا بتواند پتانسیل‌های پنهان آن را کشف کند (Bottazzi,2018,p50). در همین سال اصطلاح گرافیک کامپیوتری نیز در شرکت بوئینگ ابداع شد تا در دهه‌های آتی، زمینه تجسم تصویر و انیمیشن و معماری فراهم شود.

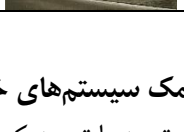
در پی معرفی اولین نمونه‌های کد و گمانه‌زنی کاربرد آن توسط مهندسین، در ۱۹۶۵، لوئیجی مورتی، مجتمع واترگیت را طراحی کرد که به نظر می‌رسد اولین پروژه بزرگ‌مقیاسی است که در آن‌که برای ترسیم مدارک معماری از رایانه به‌طور قابل‌توجهی استفاده‌شده است (Livingston, 2002). محدودیت در طراحی فرم‌های سیال در نمونه‌های اولیه کد موجب شد تا نرم‌افزار "یونی سرف[2]" توسط پیر بزیه با هدف استفاده در تولید نمونه‌های اولیه کارخانه رنو توسعه داده شود. یونی‌سرف امکان کار بر روی منحنی‌های پیچیده هم به‌صورت دوبعدی و هم به‌صورت سه‌بعدی را فراهم می‌کرد (Chaillou, 2021,42).

در کنار توسعه کد، این شکل‌گیری جنبش‌های روش‌های طراحی بود که موجب شد تا در نهایت طراحی به کمک رایانه از منظر تئوری نیز پایه‌ریزی شود. کریستوفر الکساندر الگوی "برنامه‌نویسی شی‌گرا" را در کتاب یادداشت‌هایی بر ترکیب فرم و بعد، در زبان الگوی (۱۹۷۷)، تئوریزه کرد (Alexander, 1964). او مجموعه‌ها، تحلیل و الگوریتم‌ها را به‌عنوان ابزاری برای پرداختن به مسائل طراحی معرفی کرد. اصول بنیادی که وی در آثار منتشرشده خود تعریف کرده است، از جمله مفاهیمی مانند بازگشت، برنامه‌نویسی شی‌گرا و درخت تصمیم‌گیری هنوز هم به‌عنوان اصولی کلیدی در هوش مصنوعی به کار گرفته می‌شود.

تفکر قالب در حوزه عمل در این دهه همچنان مدولاریته بود. در این دوره مدولاریته همچنان به رشد خود ادامه داد، به تکامل رسید، در مقیاس‌های متفاوتی مانند شهر رونده[3] گروه ارکی‌گرام[4] (پاکزاد، ۱۳۸۹، ۶۶) و هبیتت ۶۷ سفدی به کار گرفته شد (Safdie, 1974) و در نهایت با ظهور پست‌مدرنیته کنار گذاشته شد. به‌طور خلاصه در این دهه طراحی استادیوم N، اندیشه‌های کریستوفر الکساندر همچنین پیشرفت کد، موجب شد معماری اندیشی و نحوه تفکر طراح همچنین ترسیم عمیقاً مورد سؤال قرار گیرد؛ بنابراین می‌توان این دهه را به‌عنوان ظهور طراحی به کمک رایانه (کد)، شکل‌گیری جنبش‌های فرآیند طراحی در نظر گرفت.

[1] SketchPad
[2] UNISURF
[3] Plugin City
[4] Archigram

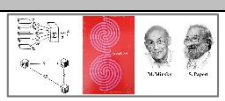
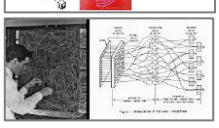
جدول ۸- رویدادهای و شاخصه‌های معماری بین سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰

۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰، ظهور طراحی به کمک رایانه (کد)، شکل‌گیری جنبش‌های فرآیند طراحی			
سال	رویداد		شاخصه‌ها
۱۹۶۰	پروژه استادیوم N (لوئیجی مورتی). اولین نمونه، به‌کارگیری و مدیریت پارامترها		ادامه حیات مدولاریته و ایجاد تنوع در فضاهای مدولار در پروژه‌های اجرایی. شکل‌گیری جنبش‌های فرآیند طراحی (استاندارد شدن نحوه تفکر طراحی). شکل‌گیری اولین ایده‌های پارامتریک گرایی. توسعه نرم‌افزارهای کد و به‌کارگیری آن در صنعت، اضافه شدن مفاهیمی چون بلاک‌ها، گروه‌ها، لایه‌ها باهدف کنترل بیشتر ترسیم. یکنواختی پروژه‌های مدولار و انتقاد درخواست‌کنندگان. محدودیت طراحی خارج از گرید بود، معمار با شبکه گرید به‌نوعی به صلیب کشیده شده بود و امکان بروز خلاقیت از او صلب شده بود.
۱۹۶۳	اسکچ پد، (ایوان ساترلند)، اولین نرم افزار کد با کاربردی ابداع اصطلاح "گرافیک کامپیوتری"، (شرکت بوئینگ)		
۱۹۶۴	(کریستوفر الکساندر) ، تحلیل و الگوریتم‌ها ابزاری برای پرداختن به مسائل طراحی.		
۱۹۶۵	مجتمع واترگیت (لوئیجی مورتی)، اولین پروژه بزرگ‌مقیاسی است که از کد برای ترسیم معماری رایانه استفاده شد.		
۱۹۶۶	یونی سرف (پیر بزیه)، ترسیم فرم‌های نرم ، بلاک‌ها گروه‌ها و لایه		
۱۹۶۶	شهر پلاگین (گروه آرکی گرام)، مدولاریته در مقیاس شهر		
۱۹۶۷	هبیتت ۱۹۶۷ (موشه سفدی)، ایجاد تنوع در فضاهایی		

۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰، رایانه به‌عنوان عقل کل، طراحی به کمک سیستم‌های خبره (تردید، معرفی محاسبات تکاملی)

با شروع دهه ۷۰ و بعدتر در دهه ۹۰، هوش مصنوعی دو دوره تردید را تجربه کرد که امروزه به‌عنوان زمستان‌های هوش مصنوعی نیز شناخته می‌شود. یکی از ناکامی‌ها این بود که علی‌رغم سرمایه‌گذاری هنگفت ایالات‌متحده در توسعه ترجمه سریع به‌عنوان بخشی از تلاش‌های جنگ سرد، نتایج با هیاهو محققین مطابقت نداشت. هوش مصنوعی کاملاً قادر به ترجمه کلمات بود، اما فقط درصورتی‌که به ترتیب صحیح وارد می‌شدند (Crevier, 1993,203). در نتیجه، موسسه تحقیقات پیشرفته دفاعی ایالات‌متحده (دارپا)، بودجه پروژه های تحقیقاتی یادگیری ماشین را قطع کرد. سه سال بعد، در سال ۱۹۷۳، ریاضیدان انگلیسی، جیمز لایت هیل، در گزارشی سفارش شورای تحقیقات علوم انگلستان[1]، چشم‌انداز خوش‌بینانه محققان هوش مصنوعی را زیر سال برد (Lighthill, 1973). لایت هیل معتقد بود، ماشین‌ها در حال حاضر تنها توانایی بازی شطرنج آن‌هم در سطح آماتور را دارند و استدلال کرد، عقل سلیم همیشه فراتر از توانایی ماشین‌ها است. در پی این اظهارات، دولت انگلیس نیز به پشتیبانی از تحقیقات هوش مصنوعی پایان داد. رویداد مهم بعدی در این دهه انتشار کتاب پریسپترون[2] است (Minsky, 1969)، این کتاب در واقع نقدی بر رویکرد پیوندگرایی (الگوهای آموزش ماشین با الهام از مغز انسان) را ارائه داد و موجب شد، اعتماد به هوش مصنوعی پیوندگرا و پتانسیل شبکه‌های عصبی ناشی از کارهای اولیه مک‌کالوچ و پیتس و پرسپترون روزنبلات تحت تأثیر قرار گیرد. اگرچه روزنبلات پیش‌بینی کرده بود که پرسپترون می‌تواند تصمیم‌گیری کند و حتی زبان‌ها را ترجمه کند، با مرگ او در ۱۹۷۱، پیوندگرایی از تحقیقات علمی کنار گذاشته شد. در نهایت در میانه این دهه (۱۹۷۵) محاسبات تکاملی و ایده استفاده از آن در بهینه‌سازی مهندسی توسط جان هالند، در کنار توسعه سیستم‌های خبره معرفی شد و چشم‌انداز کاربردی دیگری را در دهه ۹۰ برای هوش مصنوعی متصور ساخت.

جدول ۹- رویدادهای و شاخصه‌های هوش مصنوعی بین سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰

۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰، تردید، معرفی محاسبات تکاملی			
سال	رویداد		شاخصه‌ها
۱۹۶۷	انتشار کتاب پریسپرون (ماروین مینسکی)		قطع بودجه‌های تحقیقات دولتی و سرمایه‌گذاری محدود در پروژه‌های زودبازده. هوش مصنوعی ارتباط‌گرا شبکه‌های عصبی از تحقیقات علمی کنار گذاشته شد. همیشه عقل سلیم فراتر از توانایی‌های ماشین‌ها است.
۱۹۷۱	مرگ (روزنبلات)، به عنوان نماینده پیوندگرایی		
۱۹۷۳	انتقادات کنگره امریکا، مجلس انگلستان در مورد هزینه تحقیقات هوش مصنوعی		
۱۹۷۳	گزارش جیمز لایت هیل، عقل سلیم همیشه فراتر از توانایی ماشین‌ها است.		

[1] British Science Research. Council
[2] Perceptrons

در روزهای آغازین این دهه نگروپونته، در کتاب "ماشین معماری[1]" نقش متصور برای رایانه در کمک به طراحی معماری در دهه‌های آینده را موردبررسی قرار داد (Negroponte, 1970)، همچنین در پروژه‌های اوربن۱ و بعداً اوربن۲" توانست تا پتانسیل طراحی به کمک رایانه را به‌طور خاص در طراحی معماری موردبررسی قرار دهد (Negroponte, 1969). کمی بعد، یونا فریدمن (۱۹۷۱)، فلت‌رایتر[2] را به منظور تولید طرح توده گذاری سایت بر مبنای خواسته‌های کاربران آتی پروژه‌های مسکن اجتماعی پیشنهاد کرد (Chaillou, 2020). در همین، بر مبنای مشاهدات لوین و استدمن شباهت شگفت‌انگیزی میان بازنمایی چیدمان‌های معماری و قانون جریان الکتریکی کریشهف مشاهده کردند. بر اساس این مشاهدات، گراسون نظریه گراف را تئوریزه کرد و نشان داد، روش گراف خطی ابزار مهمی برای توصیف یک طرح است (Grason, 1971).

در اواخر دهه ۷۰ میلادی نظریه گرامر شکل، توسط جورج استینی معرفی شد. او بر این عقیده بود که از طریق درک گرامر شکل قوانین و رابطه میان اجزا در پلان ساختمان‌های موجود مانند ویلاهای پالادیو می‌توان این گرامر شکل را بر روی ساختمان‌های جدید با همان کاربری اعمال کرد (Stiny & Mitchell, 1978). پژوهش استینی و میچل در واقع اولین نمونه، استفاده از الگوریتم‌ها و هوش مصنوعی در تولید چیدمان‌های معماری بر اساس یک سبک خاص است.

در همان سال (۱۹۷۸)، سدریک پرایس، رئیس دپارتمان معماری دانشگاه کمبریج، پروژه جنریتور[3] را منتشر کرد. جنریتور در واقع یک واحد فضایی مبتنی بر وکسل‌های قابل تنظیم مجدد بود که بازدیدکنندگان می‌توانستن به کمک یک رایانه چیدمان‌های متفاوتی را پیکربندی کنند (Chaillou, 2021,42). تغییر و آزادی هنری ایده‌های زیربنایی جنریتور بود. جنریتور اگرچه هیچ‌وقت ساخته نشد، بااین‌حال، یکی از اولین نمونه‌های کاربردی حوزه هوش مصنوعی کلاسیک در طراحی معماری و به‌نوعی ایده اولین ساختمان هوشمند، انعطاف‌پذیر و سایبرنتیک بود.

جدول ۱۰- رویدادهای و شاخصه‌های معماری بین سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰

۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰، طراحی به کمک سیستم‌های خبره- رایانه به‌عنوان عقل کل		
سال	رویداد	شاخصه‌ها
۱۹۷۰	کتاب ماشین معماری، (نیکولاس نگروپنته)	رویکرد غالب در عمل پست‌مدرنیته و نئوکلاسیک. گمانه‌زنی کاربرد هوش مصنوعی در فرآیند طراحی معماری. شکل‌گیری حوزه نظریه‌ها و روش‌های طراحی رایانه به‌عنوان عقل کل. سیستم‌های خبره یادگیری کنار گذاشته‌شده بودند و موجب شد گمانه‌زنی کاربرد هوش مصنوعی در طراحی معماری با شکست مواجه شود. در پی این شکست تصور شد هوش مصنوعی ت ابزاری برای ترسیم در معماری است
۱۹۷۱	اوربن ۱ اوربن ۲، (نیکولاس نگروپنته)، اولین نمونه‌های کد مخصوص طراحی معماری	
۱۹۷۱	فلت رایتر (یونا فریدمن)، با هدف لکه‌گذاری سایت بر اساس خواسته‌های کاربران آتی	
۱۹۷۱	تئوری گراف (لوین استدمن)، (گراسون) روش گراف خطی ابزار مهمی برای توصیف یک طرح است.	
۱۹۷۸	گرامر شکل، (استینی و میچل)،	
۱۹۷۸	جنریتور (سدریک پرایس)، اولین ساختمان هوشمند، انعطاف‌پذیر و سایبرنتیک.	

مرور رویدادهای معماری در دهه ۷۰ نشان می‌دهد، در پی مرگ معماری مدرن حوزه عمل معماری در این دهه عمدتاً با ساخت پروژه‌های پست مدرنیسی و نئوکلاسیک دنبال شد. در این دهه علاوه بر توسعه قابلیت نرم‌افزارها در حوزه ترسیم مدارک معماری، مبانی نظری استفاده از محاسبات ماشینی و هوش مصنوعی در طراحی معماری، البته بر مبنای پارادایم محاسباتی یعنی سیستم‌های خبره دنبال شد. علیرغم این پیشرفت‌ها همزمان با و تردید به هوشمندی ماشین‌ها موجب شد، موجب شد تا پژوهش‌های اولیه در حوزه به‌کارگیری هوش مصنوعی در طراحی معماری با شکست مواجه شده و همزمان با زمستان هوش مصنوعی مدت زیادی تصور شود که رایانه و هوش مصنوعی تنها می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای ترسیم در معماری به کار گرفته شود.

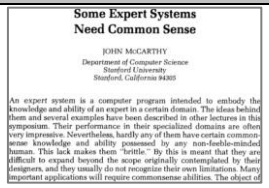
[1] Architecture Machine
[2] Flatwriter
[3] Generator

۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰، رایانه به‌عنوان ابزار ترسیم‌گر، (سیستم‌های خبره)

در دهه ۸۰، بارقه‌ای از حیات مجدد هوش مصنوعی نمایان شد. سیستم‌های خبره امضای این دوره بودند. این الگو به ماشین‌ها اجازه می‌داد تا بر اساس مجموعه‌ای از قوانین، مجموعه‌ای از حقایق استدلال کنند؛ به‌عبارت‌دیگر، از طریق یک پایگاه دانش، یک سیستم خبره می‌تواند صحت گزاره‌های جدید را استنتاج کند. قابلیت اطمینان این مدل‌ها، زمانی که برای انجام کاری خاص آن‌ها را اعمال می‌کردند، چیزی است که موفقیت سیستم‌های خبره را در دهه ۸۰ توضیح می‌دهد.

یکی از نمادین‌ترین پروژه‌های مبتنی بر سیستم‌های خبره، پروژه "Cyc" است که از ۱۹۸۴ به بعد توسط داگلاس لنات با هدف مدل‌سازی نحوه کار جهان به کمک دانش، مفاهیم و قواعد عقل سلیم دنبال شد (Matuszek&etal, 2006). بااین‌حال خیلی زود محدودیت‌های ذاتی سیستم خبره نمایان شد. جان مک‌کارتی در مقاله‌اش با نام "برخی از سیستم‌های خبره نیاز به عقل سلیم دارند[1]"، دلایل این مساله را به بهترین شکل بیان کرد. مک کارتی معتقد بود مشکل سیستم‌های خبره فراتر رفتن از محدوده‌ای که در ابتدا توسط طراحان آن‌ها در نظر گرفته شده بود و ناتوانی در تشخیص محدودیت‌های خود است (McCarthy, 1984). در واقع سیستم‌های خبره یادگیری را کنار گذاشته بودند، به‌موجب این مساله و افزایش مجدد تردیدهای عمومی و کاهش بودجه‌های دولتی بار دیگر هوش مصنوعی با تردید و زمستان مواجه شد.

جدول ۱۱- رویدادهای و شاخصه‌های هوش مصنوعی بین سال‌های ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰

۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰، سیستم‌های خبره			
سال	رویداد		شاخصه‌ها
۱۹۸۰	اولین زمستان هوش مصنوعی		سیستم‌های خبره، تصور غالب می‌توان ماشین‌ها را بر اساس مجموعه‌هایی از بایدها و نبایدها برنامه‌ریزی کرد.
۱۹۸۰	سیستم‌های خبره		محدودیت، ثابت شد سیستم‌های خبره در حوزه‌هایی به‌خوبی عمل کنند که فرمول پذیراند.
۱۹۸۴	پروژه Cyc (داگلاس لنات)		از بین رفتن اعتماد عمومی و اعتماد سرمایه‌گذاران.
۱۹۸۴	برخی از سیستم‌های خبره نیاز به عقل سلیم دارند (جان مک کارتی)، زمستانی دوم		

در حوزه معماری، در ۱۹۸۲ اولین نسخه نرم‌افزار اتوکد منتشر شد و توانست خیلی سریع بر حوزه ترسیم به کمک رایانه تسلط یابد. در این نسخه هوش مصنوعی کلاسیک در نمونه‌های اولیه کد، با دستورها جایگزین شدند و کاربران می‌توانستند خطوط و محنی‌ها را با استفاده از صفحه‌کلید و موس ترسیم کند. در پی این تحول بود که امکان طراحی و اجرای اولین پروژه‌های منتج از مبانی نظری معماران ساختارشکن از جمله آیزنمن، گری، چومی فراهم شد. در همین سال، مرکز هنرهای بصری وکسنر در کولومبوس توسط پیتر آیزنمن طراحی شد. همچنین برنارد چومی دولاویت‌پارک را در پاریس طراحی کرد. این پروژه‌ها را می‌توان اولین پروژه‌های ساختارشکن دانست که در آن‌ها از قابلیت‌های کد به عنوان ابزاری برای ترسیم مدارک ۲ بعدی معماری استفاده شد، همچنین در میان پروژه‌های متعدد فرانک گری در این دهه می‌توان به طرح، سالن کنسرت هال دیزنی در لس‌آنجلس که در سال ۱۹۸۷ طراحی شد اشاره کرد، این پروژه را می‌توان به‌عنوان نماد موفقیت معماران در استفاده از ابزار ۳ بعدی نرم‌افزارهای کد به‌حساب آورد.

با ساخت این پروژه‌های تأثیرگذار و موفق، همچنین پیشرفت صنعت فراهم شدن امکان ساخت دیجیتال، در اواخر دهه ۸۰ (۱۹۸۸)، ساموئل گیزبرگ[2] اولین نرم‌افزار تجاری مدل‌سازی پارامتریک به نام، " Pro-ENGINEER" منتشر کرد. این نرم‌افزار امکان مدیریت بر پارامترهای هندسی را در اختیار کاربران قرار می‌داد، گیزبرگ ایده پارامتریک خود را این‌گونه توصیف کرد: "هدف ایجاد سیستمی است که به‌اندازه کافی انعطاف‌پذیر باشد تا مهندس را تشویق کند تا راحتی طرح‌های مختلف را در نظر بگیرند و هزینه تغییرات طراحی تا حد امکان نزدیک به صفر شود" (Newton, 2019).

[1] Some Expert Systems Need Common Sense
[2] Samuel Ginsberg

جدول ۱۱- رویدادهای و شاخصه‌های معماری بین سال‌های ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰

۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰، رایانه به‌عنوان ابزار ترسیم			
سال	رویداد		شاخصه‌ها
۱۹۸۲	انتشار اولین نسخه نرم‌افزار کد جایگزینی هوش مصنوعی کلاسیک با دستورات استفاده از موس و کیبورد		ساخت اولین پروژه های ساختارشکنان با بهره‌گیری از قابلیت‌های کد. قابلیت‌های کد به‌عنوان ابزاری برای ترسیم مدارک ۲ بعدی و ۳ بعدی معماری. گمانه‌زنی امکان مدیریت پارامترها به کمک رایانه‌ها و کاهش هزینه‌های طراحی و کاهش زمان فرآیند طراحی. ناهمگونی نرم‌افزارها تا حدودی در پیدایش سبک‌های معماری مؤثر واقع شد. نگاه غالب رایانه به‌عنوان ابزار ترسیم مدارک معماری. بنابراین می‌توان گفت در ادامه استانداردسازی شدن و سپس صنعتی شدن معماری ترسیم به کمک رایانه نقش به سزایی در نظام‌مند کردن فرآیند تولید مدارک معماری ایفا کرد.
۱۹۸۲	معماران ساختارشکن از جمله آیزنمن، گری، چومی با بهره‌گیری از کد پروژه‌های خود را به اجرا درآوردند.		
۱۹۸۲	مرکز هنرهای بصری وکسنر در کولومبوس (پیتر آیزنمن)، به‌کارگیری کد در ترسیم مدارک دوبعدی		
۱۹۸۲	دولاویت پارک (برنارد چومی)، به‌کارگیری کد در ترسیم مدارک دوبعدی		
۱۹۸۷	سالن کنسرت هال دیزنی در لس‌آنجلس (فرانک گری)، نماد موفقیت معماران در استفاده از ابزار ۳ بعدی نرم‌افزارهای کد.		

بااین‌وجود در این دهه همچنان تصور می‌شد، رایانه‌ها و هوش مصنوعی تنها ابزاری برای ترسیم مدارک معماری هستند و بر محتوا اثر معماری و فرآیند طراحی تأثیری ندارند، به همین دلیل، اولین اپراتورهای دفاتر برای ترسیم به کمک رایانه، معمار نبودند، اما به‌مرور در دهه ۹۰ ثابت شد که این باور اشتباه است و همانند دیگر عرصه‌های علمی و فرهنگی، رایانه و هوش مصنوعی تأثیر عمیقی بر جنبه‌های مختلف معماری خواهد داشت. همان‌گونه که اجرای بسیاری از پروژه‌های گری، چومی، ساختارشکنان‌ها بدون کمک رایانه‌ها و نرم‌افزارهای کد امکان‌پذیر نمی‌شد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در ادامه استانداردسازی و سپس ساخت صنعتی معماری، ترسیم به کمک رایانه نقش به سزایی در نظام‌مند کردن فرآیند طرح‌های مدارک معماری ایفا کرد.

۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰، رایانه به‌عنوان ابزار طراحی معماری، (یادگیری ماشین، افزایش قدرت محاسبات)

در دهه ۹۰ و اوایل قرن ۲۱ ام، هوش مصنوعی به‌تدریج به سمت روش‌های مبتنی بر یادگیری ماشین رفت. ازآنجایی‌که سیستم‌های خبره اصل "یادگیری" را کنار گذاشته بودند، این محدودیت‌ها باعث کاوش در حوزه‌های شبکه‌های عصبی[1]، شبکه‌های بیزی[2]، الگوریتم‌های تکاملی[3] و به‌طورکلی تکامل‌گرایی و پیوند گرایی شد. همه این روش‌ها بر مفهوم کسب تدریجی دانش، از طریق فرآیند یادگیری آزمون‌وخطا، بناشده‌اند.

جدول ۱۳- رویدادهای و شاخصه‌های هوش مصنوعی بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰

۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰، یادگیری ماشین			
سال	رویداد		شاخصه‌ها
۱۹۹۰	جمع‌آوری و نگهداری و مدیریت داده‌ها و بانک‌های اطلاعاتی		امضاء این دوره یادگیری ماشین است، کسب تدریجی دانش، از طریق فرآیند یادگیری آزمون‌وخطا. بازگشت سرمایه‌گذاری در حوزه هوش مصنوعی. افزایش قدرت محاسبات. توسعه اینترنت و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی
۱۹۹۵	توسعه اینترنت، با سرمایه‌گذاری بنیاد ملی علوم آمریکا		
۱۹۸۷	برنامه بازی شطرنج دیپ بلو ، توانست قهرمان جهان گری کاسپاروف را شکست دهد.		

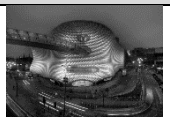
[1] Neural networks
[2] Bayesian networks
[3] Evolutionary algorithms

در ۱۹۹۷، دیپ‌بلو توانست قهرمان شطرنج گری‌کاسپاروف را شکست دهد و ثابت شد که یکی از گفته‌های جیمز لایت هیل در ۱۹۷۳ تقریباً اشتباه بوده است (Campbell et al., 2002). دیپ‌بلو اساساً نمایشی از الگوریتم‌های بهبودیافته یافته در طی آن ۳۰ سال بود که به کمک یک سخت‌افزار قدرتمند به‌روزرسانی شده بودند، در واقع این دوره قدرت محاسبات بود که به دیپ بلو اجازه داد تا به‌طور قابل‌توجهی سریع‌تر محاسبه کند و درنتیجه حرکات احتمالی بیشتری را در بازی تجزیه‌وتحلیل کند. شکست کاسپاروف باعث شد، سرمایه‌گذاری مجدد در تحقیقات هوش مصنوعی توجیه‌پذیر شود، این حیات دوباره با، جمع‌آوری نگهداری و مدیریت داده‌ها که به تحقیقات هوش مصنوعی تنوع کمی و اطلاعات بیشتری برای پردازش داد، توسعه سریع اینترنت و همگانی شدن آن به‌موجب سرمایه‌گذاری دولت امریکا، همچنین در دسترس قرار گرفتن، واحدهای پردازش گرافیکی در موسسه‌های تحقیقاتی مقارن شد، تا روند توسعه هوش مصنوعی تسریع شود.

در حوزه معماری اگرچه در دهه ۸۰ استفاده از رایانه‌های در دفاتر معماری به امری بدیهی بدل شده بود، سال‌ها طول کشید تا طراحی به کمک رایانه به‌طور رسمی در برنامه آموزشی دانشگاه‌ها گنجانده شود. در دوره مدیریت برنار چومی در پاییز ۱۹۹۴، مدرسه معماری دانشگاه کلمبیا اولین استودیوهای بی کاغذ خود را ارائه داد. استودیوهایی که تلاش کردند از رایانه به‌عنوان ابزاری برای طراحی استفاده کنند (پویان روحی،۱۳۹۸،۱۰). با ورود اولین دانش‌آموختگان مدارس معماری پیش رو، به حرفه ازجمله مدرسه معماری کلمبیا و AA، از اواسط دهه ۹۰ استفاده از رایانه در ترسیم و ارائه و ابزاری برای توسعه ایده‌های طراحی پروژه‌های معماری به کمال رسید. به‌این‌ترتیب معماری به کمک رایانه طی فرآیندی طولانی، فرهنگ آموزش معماری را نیز دستخوش تغییرات کرد. باور به این موضوع را می‌توان در شکل‌گیری جریانی جدید در معماری معاصر مشاهده کرد که به معماران حبابی[1] شهرت یافتند. این جریان با کارهای یان کاپلیکی، گرگ لین و معماران هم‌عصر آن‌ها در حوالی ۱۹۹۵ و در میان تجربه‌های شکل‌زایی با استفاده از نرم‌افزارهای کد معرفی شد. مهم‌ترین ویژگی تمامی آثار آن‌ها این بود که با استفاده از نرم‌افزارهای طراحی به کمک رایانه طراحی‌شده بودند و بدون رایانه طراحی آن‌ها تقریباً غیرممکن بود. پروژه‌ها که به پروژه‌های مجله‌ای یا پروژه‌های روی کاغذ معروف شدند. اگرچه این جریان به فضای فیزیکی معماری وارد نشد ولی تأثیر شگرفی را بر معماری، روش‌های طراحی و فراهم شدن، بسترهای لازم و کاربرد ذائقه کامپیوتر در دفاتر معماری شد.

در پایان این دهه فرانک‌گری پس از همکاری با جیم گلیمف[2] در طراحی تعدادی از پروژه‌های خود مانند گوگنهایم بیلبائو با استفاده از نرم‌افزار کتیا، شرکت گری تکنولوژی را ۲۰۰۲ تأسیس کردند. گری تکنولوژی با اجرایی کردن پروژه‌های گری، توانست پتانسیل-های واقعی طراحی به کمک رایانه را برای معماران در عمل به آزمایش برساند. بااین‌حال تفکر اصلی در این دوره همچنان این بود که رایانه‌ها مولدی گنگ و ابزاری برای طراحی هستند. طی سال‌های آتی، رشد قدرت سخت‌افزارهای محاسباتی و ظرفیت‌های ذخیره‌سازی داده، پذیرش نرم‌افزارهای طراحی سه‌بعدی را به‌طور گسترده تسهیل کرد.

جدول ۱۴- رویدادهای و شاخصه‌های معماری بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰

۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰، رایانه به‌عنوان ابزار طراحی			
سال	رویداد		شاخصه‌ها
۱۹۹۴	راه‌اندازی اولین استودیوهای بی کاغذ مدرسه معماری کلمبیا (برنارد چومی)		شکل‌گیری اولین استودیوهای بی کاغذ توسط چومی. استفاده از رایانه در ترسیم و ارائه و ابزاری برای توسعه ایده‌های طراحی پروژه‌های معماری. معماران شروع به طراحی و ارائه پروژه‌هایی با فرم‌های منحنی و حبابی شکل کردند و از صفحات آزاد و فرم‌های آزاد در این طرح‌ها استفاده نمودند. رایانه‌ها موجب تکرار در پروژه‌های معماری شدند. نگاه غالب رایانه‌ها مولدی گنگ و ابزاری برای طراحی هستند.
۱۹۹۵	شکل‌گیری جریان معماران حبابی (گرگ لین، یان کاپلیکی)		
۱۹۹۷	گوگنهایم بیلبائو (فرانک گری)		
۲۰۰۰	تا سیس گری تکنولوژی (فرانک گری، جیم گلیف)		

[1] Blob Architecture
[2] Jim Glymph

۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰، معماری به کمک پارامترها (یادگیری ماشین، توسعه بانک‌های اطلاعاتی)

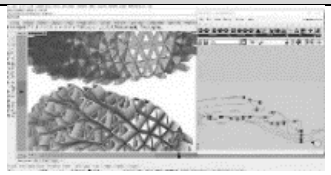
در حوزه هوش مصنوعی بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ عمده تلاش‌ها معطوف به توسعه نرم‌افزاری، توسعه بانک‌های اطلاعاتی معطوف شد. در این دهه کمپین‌های تبلیغاتی مانند واتسن (هوش مصنوعی مدیرعامل)، توسط شرکت‌هایی مانند ای‌بی‌ام ادامه یافت. از سوی دیگر، با آغاز سده جدید و ساخته‌شدن اولین پروژه‌های پیچیده معماری به کمک نرم‌افزارهای طراحی به کمک رایانه ایده مدیریت بیشتر بر روی پارامترها در دو حوزه مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی و مدل‌سازی پارامتریک دنبال شد. "مدل‌سازی پارامتریک" به‌تدریج در نرم‌افزارها و افزونه‌های اصلی معماری مانند گرس‌هاپر در راینو و دینامو در رویت گنجانده شد. این زبان‌های برنامه‌نویسی بصری علاوه بر ایجاد امکان تغییرات روی طرح‌ها با استفاده از ابزارهای ویرایش هندسی استاندارد، به معماران اجازه داد تا قوانین صریح را به‌عنوان روشی در شکل یابی طرح ساختمان‌ها مورداستفاده قرار دهند. اگرچه قابلیت زبان‌های برنامه‌نویسی بصری به شکل اسکریپت نویسی در تمامی نرم‌افزارهای معماری وجود داشت، این توسعه سکوهای برنامه‌نویسی بصری بود که موجب شد تا پارامتریک گرایی ممکن شود.

در ۲۰۰۷، گرس‌هاپر توسط دیوید روتن توسعه داده شد، تمایز گرس‌هاپر با لیسپ اتودسک باعث شد تا طراحان از برنامه‌نویسی متنی آسوده شوند (AA School of Architecture, 2015). در کنار مدل‌سازی پارامتریک از ۲۰۰۶، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان نیز مطرح شد. هدف این رویکرد مستندسازی و مدیریت روی حجم وسیع اطلاعات مرتبط با ساختمان از جمله مصالح، مشخصات اجزا و ... است. در واقع در نرم‌افزارهای مبتنی بر بیم مانند رویت، هرشی بر اساس معادلات پارامتریک تعریف تنظیم می‌شوند، یعنی این امکان برای معماران فراهم می‌شود تا به‌جای تغییر بر روی اشکال هندسی بر روی اشیاء دارای ویژگی‌ها هندسی تغییرات مدنظر خود را اعمال کنند (Eastman et al., 2011).

درنتیجه می‌توان گفت اگر نرم‌افزارهای کد موجب شد تا نقشه‌ها و مدل‌های ساختمانی تجسم پیدا کنند، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان کمک کرد تا کپی‌های دیجیتالی واقعی ساختمان‌ها و سیستم‌های آن تجسم پیدا کند. این تحولات زمینه‌ساز مهم‌ترین رویداد معماری در این دهه بود. تا در یازدهمین دوسالانه معماری در سال ۲۰۰۸، پاتریک شوماخر بیانیه "پارامتریسیزم، سبکی جدید" را ارائه کند. او معتقد بود، معماری به تدریج به سمت چیزی که او آن را پارامتریسم می‌نامید، حرکت خواهد کرد که نه‌تنها به‌عنوان یک تکنیک طراحی واجد ارزش است، بلکه به‌عنوان یک سبک معماری متمایز درک خواهد شد (Schumacher, 2009). شوماخر و حدید نه‌تنها پارامتریک گرایی را تئوریزه کردند، بلکه از آن در طراحی پروژه‌های دفتر خود استفاده کرده بودند. به‌عنوان‌مثال در سال ۲۰۰۶ حدید در طراحی، طرح جامع کارتال استامبول از مدل‌سازی پارامتریک استفاده کردند.

به‌هرحال به نظر می‌رسد که از ۲۰۱۵، طراحی پارامتریک و مدل‌سازی پارامتریک، چه از نظر فنی و چه از نظر مفهومی، به حد کمال خود رسید و دیگر پیشرفت ملموسی را تجربه نکرده است و تنها رویداد مهم وارد شدن ابزارهای محاسباتی مبتنی بر الگوریتم‌های تکاملی در پلاگین‌های پارامتریک بود، اگرچه این الگوی محاسباتی از دهه ۹۰ در بهینه‌یابی فرم و فضا و اجرایی کردن پروژه‌های معماری مورداستفاده قرار می‌گرفت. در این دوره در دسترس معماران قرار گرفت.

جدول ۱۵- رویدادهای و شاخصه‌های معماری بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰

۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳، شکل‌گیری مبانی هوش مصنوعی			
سال	رویداد		شاخصه‌ها
۲۰۰۶	مدل‌سازی اطلاعات ساختمان BIM		ظهور پارامتریک گراها مدیریت بیشتر بر روی پارامترها در دو حوزه مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی و مدل‌سازی پارامتریک ابزارهای محاسباتی مبتنی بر الگوریتم‌های تکاملی در پلاگین‌های پارامتریک.
۲۰۰۶	طرح جامع کارتال استامبول (زاها حدید)		
۲۰۰۷	معرفی گرس هاپر (دیوید روتن)		
۲۰۰۹	مانیفست پارامتریسیزم (پاتریک شوماخر)		

۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳، معماری به کمک هوش مصنوعی، (یادگیری عمیق و شبکه‌های عصبی)

با تکیه‌بر یادگیری ماشین، اصطلاح یادگیری عمیق در حوالی ۲۰۱۰ پدیدار شد. در سال ۲۰۰۹، پروژه ایمیج‌نت[1] در استنفورد آغاز شد (Deng et al., 2009). این دانشگاه با جمع‌آوری یک پایگاه داده از تصاویر برچسب‌گذاری شده که شامل بیش از چهارده میلیون تصویر است، مسابقه طبقه‌بندی سالانه‌ای را ترتیب داد و از شرکت‌کنندگان دعوت شد، دقت پیش‌بینی مدل خود را در مقابل آن آزمایش کنند. بااینکه مسابقات سالیانه ایمیج نت موجب توسعه طیف وسیعی از معماری‌های شبکه‌های عصبی مانند: الکس نت (Krizhevsky et al., 2012e)، رزنت (He et al., 2015)، یونت (Ronneberger et al., 2015)، یولو (Li et al., 2022; Reis et al., 2023; Wang et al., 2022)، شد، اما هدف اصلی در واقع تنها تشخیص تصویر نبود.

در ۲۰۱۵، مهندس گوگل الکساندر موردوینتسف کشف کرد که می‌توان یک شبکه عصبی پیچشی را در جهت مخالف اعمال کرد (DeepDream - a Code Example for Visualizing Neural Networks, 2015)، این کشف راهگشای بسیاری از تحقیقات در حوزه شبکه‌های عصبی مولد تصویر شد. در ۲۰۱۴، شبکه‌های مولد متخاصمی توسط ایان گودفلو معرفی شد (Goodfellow et al., 2014). ساختار شبکه‌ها مولد متخاصمی[2] یا گن‌ها از دو شبکه، تشخیص‌دهنده و مولد تشکیل‌شده و اساس کار این شبکه‌ها بر مبنای رقابت میان مولد و تشخیص‌دهنده است. سطح انتزاع جدیدی که این شبکه از خود نشان داد، موجب شد تا قابلیت گن‌ها در حوزه‌های متعددی ازجمله معماری و پزشکی موردبررسی و آزمون قرار گیرد (Isola et al., 2016;Zhu Karras et al., 2018 et al., 2017;). در همین زمان مدل دیگری نیز باهدف تولید تصاویر واقع‌گرایانه با نام مدل‌های انتشار[3]، توسط سول دیکستین و همکاران ارائه شد (Sohl-Dickstein et al., 2015)، اما با توجه به فضای پیکسلی در محاسبات این شبکه تا معرفی شدن مدل‌های انتشار پنهان و استیبل دیفیوژن در ۲۰۲۰، از تحقیقات کنارگذاشته شد (Ho et al., 2020).

باید به این نکته اشاره کرد که یکی دیگر از شاخصه اصلی هوش مصنوعی در این دوره در کنار توسعه مدل‌ها و معماری شبکه‌های عصبی، تعدد طیف ورودی‌های آن‌ها است. در دهه ۵۰ و ۶۰، شبکه‌های عصبی تنها می‌توانستند روی تعدادی محدود از اعداد دست‌نویس کار کنند، اما امروزه می‌توانند طیف گسترده‌ایی از داده‌ها از جمله متن، صدا، ویدئو و وکسل‌های سه‌بعدی را به‌عنوان ورودی دریافت، تجزیه‌وتحلیل و حتی تولید کنند.

جدول ۱۶- رویدادهای و شاخصه‌های هوش مصنوعی بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰

۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰، یادگیری عمیق و شبکه‌های عصبی			
سال	رویداد		شاخصه‌ها
۲۰۱۰	مسابقه سالیانه طبقه‌بندی تصاویر ایمیج نت (استنفورد)		محققین بر شبکه‌های عصبی مصنوعی و یادگیری است. ثابت شد ماشین‌ها را می‌توان بدون تعریف قوانین بایدها و نبایدها آموزش داد. افزایش عمق شبکه‌های عصبی. عمومی شدن دسترسی به داده‌ها و مدل‌ها. معرفی مدل‌های مولد تولید تصویر. توسعه مدل‌ها و معماری شبکه‌های عصبی و طیف ورودی آن‌ها.
۲۰۱۲	معرفی مدل یادگیری عمیق مبتنی شبکه‌های کانولوشن، الکس نت (الکس کریجوسکی).		
۲۰۱۴	معرفی شبکه‌های مولد متخاصمی (ایان گود فلو)		
۲۰۱۵	دیپ دیریم (الکساندر موردوینتسف) معرفی مدل‌های انتشار، (سول دیکستین)		
۲۰۱۸	پیکس تو پیکس (وانگ و همکاران)		
۲۰۲۰	مدل‌های انتشار پایدار (هو و همکاران)		

پس از نمایش قابلیت‌های شبکه‌های عصبی، پژوهش‌گرانی در حوزه معماری به مطالعه امکان بهره‌گیری از قابلیت‌های شبکه‌های عصبی پرداخته‌اند. استنسیل شیلو یکی از اولین معمارانی بود که قابلیت و ظرفیت شبکه‌های عصبی را درک کرد. شیلو (۲۰۱۹)، آرکی‌گن[4] را آموزش داد و از آن برای امکان‌سنجی قابلیت شبکه‌های عصبی با هدف تولید پلان طبقه استفاده کرد (Chaillou, 2020). در ادامه این پژوهش رهبر و همکاران با هدف تولید پلان‌های معماری بر اساس مرز پیرامونی از الگوریتم سی گن استفاده

[1] ImageNet
[2] Generative adversarial network
[3] Diffusion
[4] Archi GAN

کردند (رهبر و همکاران، ۱۳۹۹). دیوید نیوتن (Newton, 2019)، بر مبنای تحقیقاتی که برای انتقال سبک‌های معماری با استفاده از گرامر شکل در دهه ۶۰ انجام‌شده بود، این بار قابلیت شبکه‌های عصبی عمیق و گن‌ها را در راستای بازتولید یک سبک معماری موردمطالعه قرار داد.

جدول ۱۷- رویدادهای و شاخصه‌های معماری بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳

۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰، یادگیری عمیق و شبکه‌های عصبی			
سال	رویداد		شاخصه‌ها
۲۰۱۹	ارکی گن، استفاده از پیکس تو پیکس برای تولید پلان‌های معماری (استنسیل شیو). بررسی امکان انتقال سبک‌های معماری پلان‌های لوکوربوزیه به کمک شبکه‌های عصبی (دیوید نیوتن)		آغاز پژوهش‌های طراحی به کمک هوش مصنوعی معرفی پلتفرم‌های تولید آثار هنری بر پایه شبکه‌های مولد تصویر استفاده از مدل‌های مولد در پروژه‌های دانشگاهی
۲۰۲۱	دالی ۲ (اوپن ای آی)		
۲۰۲۲	میدجرنی (دیوید هولز)		

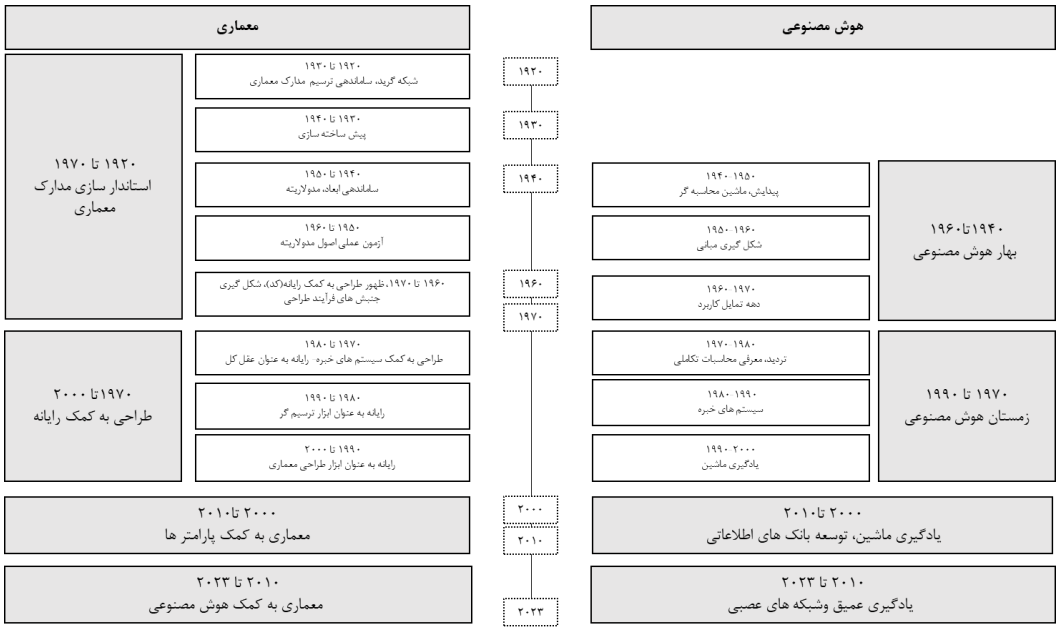
در نهایت این پژوهش‌ها در کنار رفع مشکل شبکه‌های دیفیوژن موجب توسعه و معرفی، سکوهای تولید آثار هنری از جمله میدجرنی، دالی و استیبل دیفیوژن شده است. حوزه دیگر مطالعاتی مبتنی بر یادگیری عمیق که به نظر می‌رسد در سال‌های آتی تأثیر ویژه‌ایی در فرآیند طراحی داشته باشد، تولید مدل‌های سه‌بعدی به کمک ابرهای نقطه‌ایی (Zeng et al., 2022- Zhou, Du, & Wu, 2021- Luo & Hu, 2021)، تولید ویدئو (Ho et al., 2022) و انیمیشن‌های ۳ بعدی (Tevet et al., 2022) اشاره کرد؛ بنابراین می‌توان دهه حاضر را متعلق پژوهش در حوزه معماری به کمک هوش مصنوعی و شبکه‌های عصبی دانست. اگرچه تاکنون از آن‌ها در پروژه‌های حرفه‌ای استفاده‌نشده است، بااین‌حال با توجه به استفاده دانشجویان از این مدل‌ها در ارائه معماری پروژه‌های خود انتظار می‌رود، اندیشه و عمل معماری در سال‌های آتی شاهد پروژه‌ها و روش‌های مبتنی هوش مصنوعی حتی ظهور سبک‌های جدیدی باشد.

بحث و ارائه یافته‌ها

رویداد پژوهی انجام‌شده در این پژوهش، نشان می‌دهد برهمکنش تاریخی معماری و هوش مصنوعی را می‌توان در ۴ دوره اصلی، معماری به کمک استانداردسازی، معماری به کمک رایانه، معماری به کمک پارامترها و درنهایت معماری به کمک هوش مصنوعی (شبکه‌های عصبی و مدل‌های مولد تصویر) و دوره‌های فرعی همان‌گونه که در شکل ۱ نمایش داده‌شده است سازمان‌دهی کرد؛ که در ادامه موردبحث قرار خواند گرفت.

در مروری اجمالی بر تاریخ معماری از اواسط قرن ۱۹ تا ابتدای قرن ۲۱، می‌توان توسعه روزافزون فناوری در کنار ساده شدن بناها از منظر هنرهای دستی و دکوراتیو را مشاهده کرد، معماری در این دوره از هنرهای استادکارانه فاصله گرفت و تکنولوژی و صنعت را در خود پذیرا شد، این امر در بسیاری از موارد منجر به ساده شدن بیش از حد بناها شد.

اگر به عنوان نمونه مهم‌ترین کلیدواژه پنهان در معماری کلاسیک یا سنتی تولید الگو برای طراحی ساختمان دانسته شود (تمرکز بر تناسبات، نظم و زیبایی- معابد یونان و روم)، اگر در دوران قرون‌وسطی ایدئولوژی توانست به معماری زمان خود مفاهیم دیگری وارد کند (قوس‌های بلند، طاق‌های گنبدی - نورپردازی کم، کلیسای جامع نوتردام). اگر نئوکلاسیک و معماری سنت‌گرا بازگشت به الگوها را موردتوجه قرار داد (تقارن، ستون‌ها، سرستون‌ها، مجموعه مسکونی روما)، دوران مدرن روشمندی و تولید استاندارد معماری را هدف قرار داد (استفاده از مصالح جدید، خطوط صاف و ساده، عملکردگرایی- مجموعه‌های مسکونی لوکوربوزیه). مدرنیته در معماری با استانداردسازی همراه بود. با این تأمل در قرن گذشته، استانداردسازی را می‌توان هم به‌عنوان نقطه عطف مهمی برای معماری و هم مبنا تجسم نگاه سیستماتیک به مقوله معماری دانست.



شکل ۱- مدل نهایی پژوهش (یافته‌های تحقیق)

استانداردسازی معماری (۱۹۲۰-۱۹۷۰): در طول سال‌های ۱۹۲۰ تا ۱۹۷۰، معماران با انتقال بخشی از فنی بودن طراحی به منطق سیستماتیک شبکه گرید و ابداع سیستم‌های مونتاژ، روشی‌های را کشف کردند که به آن‌ها اجازه داد پروژه‌هایی مقرون‌به‌صرفه را شکل دهند. دو مزیت عمده ساخت‌وساز استاندارد به پذیرش سریع آن کمک کرد، از یک‌سو، پیچیدگی و هزینه ساخت‌وساز ساختمان را به‌شدت کاهش داد و از سوی دیگر، قابلیت اطمینان فرآیندهای ساخت‌وساز را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش داد.

با نگاهی به پروژه‌های این دوره و حتی معاصر تاریخ دگردیسی و شکل‌زایی و شکل‌دهی معمارانه هنوز هم می‌توان تأثیر ماندگار اصول استانداردسازی را در این پروژه‌ها بازخوانی کرد. به‌هرحال این روند استانداردسازی در دهه هفتاد به‌سرعت محدودیت‌های خود را نمایان کرد، یکی از این محدودیت‌ها، محدودیت طراحی خارج از گرید بود، معمار با شبکه گرید به‌نوعی به صلیب کشیده شده بود و امکان بروز خلاقیت از او صلب شده بود و از سوی دیگر یکنواختی طرح‌های ایجادشده موردانتقاد جامعه درخواست‌کنندگان (کارفرما) قرار گرفت.

مؤلفه‌هایی که در این دوره به معماری اضافه شدند مانند، شبکه گرید، ساماندهی ترسیم مدارک معماری، پیش‌ساخته سازی (۱۹۳۰-۱۹۴۰)، ساماندهی ابعاد، مدولاریته (۱۹۴۰-۱۹۵۰)، آزمون عملی مدولاریته (۱۹۵۰-۱۹۶۰)، در واقع چیزی است که در دهه ۶۰ میلادی، با ظهور محاسبات ماشینی و هوش مصنوعی موجب تلاش در جهت بازنمایی مسائل معماری و حل آن به کمک الگوهای هوش مصنوعی یعنی ظهور طراحی به کمک رایانه (کد) و شکل‌گیری جنبش‌های فرآیند طراحی شد (۱۹۶۰-۱۹۷۰).

معماری به کمک رایانه (۱۹۷۰-۲۰۰۰): در دهه ۷۰ پیشرفت هوش مصنوعی در حوزه کد، تحول بدیعی در گردش کار و اتوماسیون بسیاری از رسته‌های مهندسی را وجود آورد، در پی این رویدادهای این دهه و طرح سؤالاتی چون نقش هوش مصنوعی در طراحی معماری چه خواهد بود، معماران چگونه طراحی می‌کنند و هوش مصنوعی چگونه می‌تواند در فرآیندهای طراحی نقش ایفا کند، مسیر حرکت معماری به سمت گمانه‌زنی استفاده از رایانه و هوش مصنوعی در طراحی تغییر یافت. ابتدا در راستای بهره‌مندی از سیستم‌های خبره تلاش شد تا از رایانه به‌عنوان عقل‌کل در فرآیند طراحی استفاده شود (۱۹۷۰-۱۹۸۰)، با مشخص شدن محدودیت‌های سیستم‌های خبره و انتقادات جامعه علمی به تحقیقات هوش مصنوعی نقش رایانه و هوش مصنوعی مورد سؤال قرار گرفت و موجب شد تا مدت‌ها تصور شود، هوش مصنوعی و رایانه‌ها، مولدی کنگ و تنها ابزاری برای ترسیم مدارک معماری هستند.

در واکنش این مساله و هم‌زمان با مرگ معماری مدرن در دهه ۷۰ معماری در دو مسیر دنبال شد، عده‌ایی به سراغ پست‌مدرنیسم و نئوکلاسیم رفتند و عده‌ایی به دنبال بازنگری در شیوه اندیشه طراحی واکاوی آن ساختارشکنی را ابداع کردند. بااین‌حال ساختارشکنی ممکن نشد، مگر با به‌کارگیری "کد" در ترسیم مدارک معماری در دهه ۸۰(۱۹۸۰-۱۹۹۰) و ظهور اولین کامپیوترها با سرعت و دقت بالاتر در تحلیل اطلاعات، دمکراتیک شدن تکنولوژی محاسبات ماشینی، توسعه نرم‌افزارهای کد، همچنین پیشرفت سایر صنایع و توسعه تکنیک‌های ساخت دیجیتال در پی زمستان‌های هوش مصنوعی موجب شد تا هوش مصنوعی در قالب "کد" تأثیر انکارناپذیری بر روی آینده معماری بگذارد و به‌مرور هوش مصنوعی در قالب "کد" در کنار ابزارهای تاریخی ترسیم مدارک معماری به‌کاربرده شود. مساله قابل‌توجه این است که تا پیش از دهه ۸۰، نرم‌افزارهای کدی که درحال‌توسعه بودند، به‌طور خاص نیازهای معماران را برآورده نمی‌کردند؛ یعنی با نیازهای معماران ناهمگون بودند.

حتی امروز نیز کاربران نرم‌افزارهای طراحی به‌مانند راینو یا مکس از همان ابتدا ورود به نرم‌افزار متوجه این مساله می‌شوند که این نرم‌افزارها به‌صورت پیش‌فرض برای کاربرد در حوزه دیگری طراحی‌شده‌اند. برای مثال می‌توان به واحد پیش‌فرض این نرم‌افزارها اشاره کرد، در علوم مهندسی مقیاس پیش‌فرض، میلی‌متر است بااین‌حال، در صنعت انیمیشن مقیاس ترسیم مساله حائز اهمیتی نیست، از سوی دیگر در بسیاری از زمینه‌های طراحی، آیرودینامیک یک امر زیبایی شناختی نیست، بلکه یک ضرورت است، در حالی که در معماری این مساله به‌عنوان مولفه‌ای زیبایی شناسانه موردتوجه قرار می‌گیرد. این ناهمگونی نرم‌افزارها تا حدودی در پیدایش سبک‌های معماری مانند معماران حبابی در دهه ۹۰ مؤثر واقع شد، چرا برای مثال ترسیم منحنی‌ها را مجدداً در دایره امکان معماران قرار داد. مساله‌ای که در پی مدولاریته پست مدرنیسیم به فراموشی سپرده شده بود.

به‌طورکلی پیش از به‌کارگیری رایانه در دفاتر معماری ساخته‌های معماری و طرح‌ها به‌اندازه توان تصور انسان‌ها از فرم و فضاها توسعه داده می‌شدند. رایانه‌ها امکان مدل‌سازی فضاهای پیچیده‌تری را فراهم می‌کردند که پیش از آن ممکن نبود و راه‌هایی را برای استخراج اطلاعات و ترسیم نقشه‌ها میسر نمودند که از توان فنی انسانی خارج است.

بنابراین نرم‌افزارهای طراحی به کمک رایانه علاوه بر نقش اساسی که در سرعت بخشیدن به ترسیم مدارک معماری ایفا کردند، موجب تغییراتی ساختاری در فرآیندهای طراحی نیز شدند و می‌توان گفت در ادامه استانداردسازی و سپس صنعتی شدن معماری طراحی به کمک رایانه در دهه ۹۰(۱۹۹۰-۲۰۰۰) نقش به سزایی در نظام‌مند کردن فرآیند طراحی معماری ایفا کرد. طراحی به کمک رایانه به معماران اجازه داد بتوانند، کنترل دقیقی بر روی هندسه داشته باشند، از اجرایی بودن طرح اطمینان حاصل کنند و طرح‌های خود را امکان‌پذیر کنند، هزینه‌های تولید طرح‌های معماری را کاهش دهند، امکان ایجاد گزینه‌های طراحی و بررسی آن‌ها را فراهم کرد. درنهایت موجب ایجاد زبانی مشترک برای ارتباط با دیگر رَسته‌های مهندسی شد.

بااین‌حال به نظر می‌رسد، رایانه‌ها موجب تکرار در پروژه‌های معماری شده بودند، بااینکه کامپیوتر امکان کنترل بر روی هندسه اشکال پیچیده را فراهم می‌کردند، اما به لحاظ فنی امکان ساخت همه آن‌ها میسر نبود. همه این موارد در کنار دمکراتیزه شدن تکنولوژی یعنی امکان داشتن رایانه‌های شخصی برای همه و از سوی دیگر تحولات در صنعت موجب پیدایش معماری دیجیتال و پارامتریک گرایی شد.

معماری به کمک پارامترها (۲۰۰۰-۲۰۱۰): به‌واسطه توسعه‌های نرم‌افزاری، توسط ساترلند و گیزبرگ و تلاش پیشتازانی چون مورتی، زمینه برای ظهور نسل جدیدی از معماران با عنوان "پارامتریک گراها " فراهم شد. در واقع آزمون‌ها و گمانه زنی‌های نقش پارامترها در اتوماسیون طراحی در دهه ۶۰، رابطه بالقوه میان طراحی معماری و شکل‌یابی پارامتریک را به جامعه معماری نشان داد تا در آغاز سده جدید و پس از ساخته شدن اولین پروژه‌های پیچیده به کمک نرم‌افزارهای کد ایده مدیریت بیشتر بر روی پارامترها در دو حوزه مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی و مدل‌سازی پارامتریک دنبال شود. امروزه سیستم‌های خبره، مانند طراحی پارامتریک، الگوهای مبتنی بر قوانین و سیستم‌های طراحی به کمک رایانه به‌طور گسترده در معماری استفاده می‌شوند.

در یک مدل پارامتریک، تمام نتایج بالقوه در شرایط شروع در نظر گرفته داده می‌شود. در نتیجه، طراحی به کمک پارامترها نه یک فرآیند خلاقانه مولد، بلکه در واقع یک فرآیند انتخاب است. کنار همه مزایا به نظر می‌رسد از ۲۰۱۰ معماری پارامتریک چیز جدیدی را ارائه نکرد، از سوی دیگر پارامتریک گرایی و معماری به کمک پارامترها، مبتنی بر یک پیش‌فرض نظری است که می‌توان آن

را زیر سوال برد: "ویژگی‌های مهم یک ساختمان را می‌توان با استفاده از مجموعه‌ای ثابت از پارامترهای صریح توصیف کرد". درصورتی‌که برخی از دغدغه‌های اساسی معماری (جامعه‌شناختی، فرهنگی، سبک‌شناختی) نمی‌توان به‌صراحت فرمول‌بندی کرد، بنابراین زمانی که به مدل‌سازی پارامتریک به‌عنوان ابژه‌ای هوشمند نگاه شود، در تضاد با برخی جنبه‌های اساسی معماری قرار می‌گیرد.

معماری به کمک هوش مصنوعی (۲۰۱۰-۲۰۲۳): ازآنجایی‌که معماران کمی حین پیشبرد پروژه‌های و شکل زایی به سراغ قوانین، اعداد و اندازه‌ها می‌روند، با معرفی شبکه‌های عصبی گمانه‌زنی کاربرد این، پارادایم هوش مصنوعی در معماری موردمطالعه قرار گرفت، چراکه از طریق آن‌ها امکان آموزش ماشین‌ها بدون قوانین صریح و برچسب‌گذاری داده‌ها ممکن شد بنابراین زمان مناسبی است تا از رویکرد جدیدی در طراحی معماری به نام معماری کمک هوش مصنوعی صحبت شود. امروزه مدل‌های مولد، ازجمله دیپ دیریم، شبکه‌های عصبی مولد متخاصمی (گن)، شبکه‌های انتشار (دیفیوژن) و در نهایت انتشار پایدار، توانسته‌اند سطح جدیدی از انتزاع ماشینی را نمایش دهند. مدل‌هایی که خبره هستند اما نه معنای یک سیستم خبره به این معنا که به‌مانند طراحان از قیاس برای تولید تصاویر استفاده می‌کنند. معماری شبکه‌های عصبی و مدل‌های مولد تصویر از ساختار و عملکرد مغز انسان و همچنین روشی که انسان انواع خاصی از دانش را کسب می‌کند الهام گرفته‌شده است، در واقع شبکه‌های عصبی و مدل‌های مولد نمونه‌هایی از سیستم‌های یادگیری هستند. آن‌ها از طریق راه‌حل‌های رمزگذاری (ماشین) شده یا جستجو (محاسبات تکاملی) یاد نمی‌گیرند، بلکه به‌مانند انسان‌ها از مثال یاد می‌گیرند.

بااین‌وجود اگرچه امروزه مدل مولد توانسته‌اند، به‌واسطه پژوهش‌های پیشرو و معرفی سکوهای مولد تصویر مانند دالی و میدجرنی سطحی از هوشمندی و خلاقیت محدود را از به نمایش گذاشته و به‌نوعی شبه خلاقانه عمل کند، باید توجه داشت این خلاقیت از وجوه مختلفی متمایز است. اگر به نظریه مارگارت بودن دانشمند علوم شناختی استناد شود که خلاقیت انسانی را در سه گونه ترکیبی، اکتشافی و تحول‌آفرین طبقه‌بندی کرده است. می‌توان مدل‌های هوش مصنوعی را بر اساس سطح خلاقیت آن‌ها در سه سطح مدل‌های خلاق درون یاب، مدل‌های خلاق برون یاب و مدل‌های مخترع طبقه‌بندی کرد.

خلاقیت مدل‌های خلاق درون یاب، مستلزم میانگین‌گیری از کل حوزه احتمال نمونه‌ها است و میانگین حاصل را می‌توان شکل جدید در حوزه مجموعه داده‌های آموزشی ورودی در نظر گرفت، درحالی‌که خلاقیت در مدل‌های خلاق برون یاب مستلزم سطح بالاتری از خلاقیت ماشین است و ماشین باید قادر به تولید نمونه‌های واقعاً جدید و خارج از دامنه نمونه‌های آموزشی باشد. اگرچه شبکه‌های عصبی از طریق نمونه‌برداری و تشخیص الگوهای موجود در داده‌ها کاملاً قادر بروز خلاقیت درون یاب هستند با نمونه‌های کمی از آن‌ها قادر به بروز خلاقیت برون یاب هستند و یک قادر به اختراع نیستند.

بااین‌وجود انتظار می‌رود در دهه پیش رو معماران در فرایند طراحی از ابزارهای مولد مبتنی بر شبکه‌های عصبی در فرآیند طراحی استفاده کنند، مساله‌ای که می‌تواند موجب ظهور نسل جدیدی از معماران که می‌توان آن‌ها را معماران انتشار گرا دانست شود (به دلیل استفاده از مدل‌های دیفیوژن انتشار). معماران، پژوهش‌ها و پروژه‌هایی که نقش هوش مصنوعی را در معماری به از ابزار طراحی به دستیار طراحی ارتقا خواهد داد.

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها

امروزه به‌واسطه پیشینه غنی مطالعاتی، حوزه هوش مصنوعی پیش رفت چشمگیری تجربه می‌کند، بااین‌حال انسان‌ها و ماشین‌ها توانایی متفاوتی دارند، آنچه برای آدمی امری بدیهی است، برای ماشین‌ها می‌تواند سخت باشد و محاسباتی که برای ماشین‌ها ساده است، می‌تواند برای آدمی غیرممکن به نظر برسد. درحالی‌که توانایی‌های انسان و ماشین‌ها ذاتاً متفاوت است، این تفاوت‌ها می‌توانند زمینه‌ساز همکاری‌های نوآورانه در حوزه معماری باشند. انسان‌ها در درک ظریف نیازها و خلاقیت ذاتی خود بی‌نظیر هستند، درحالی‌که ماشین‌ها در انجام محاسبات پیچیده و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها قدرتمند و دقیق هستند. ترکیب این توانایی‌های مکمل می‌تواند راه را برای نوآوری‌های تحول‌آفرین در معماری هموار کرده و منجر به طرح‌های بدیع و کارآمدتر شود. در اینجا باید این مساله اذعان کرد که هوش مصنوعی و رایانه‌های امروزی، درواقع تفاوت آن‌چنانی با بومبه ندارند، آنچه باعث تغییرات شگرف

امروزی شده است، در واقع رشد داده‌ها (طرح واره‌ها)، توسعه معماری شبکه‌های عصبی و دمکراتیک شدن دسترسی سخت افزارهای محاسباتی بوده است.

در این پژوهش، برهمکنش رویدادهای هوش مصنوعی و معماری بین سال‌های ۱۹۲۰ تا ۲۰۲۳، مورد تحلیل قرار گرفت. این پژوهش نشان داد، رابطه معماری با فناوری به‌موازات تحولات هوش مصنوعی بالغ شده و آخرین پیشرفت‌های هوش مصنوعی نه‌تنها بر فرآیند طراحی تأثیرگذار بوده است، بلکه بر حوزه عمل و اندیشه آن نیز مؤثر بوده است تا جایی که موجب پیدایش و توسعه سبک‌های معماری شده است. معماری به کمک استانداردسازی، معماری به کمک رایانه، معماری به کمک پارامترها و درنهایت معماری به کمک هوش مصنوعی (شبکه‌های عصبی و مدل‌های مولد)، چهار مرحله پیچیده از این تحول تدریجی را نشان می‌دهند. درحالی‌که مدل‌های مولد تصویر به‌عنوان پارادایم کنونی هوش مصنوعی، در حال حاضر گام‌های اولیه خود را در دنیای معماری برمی‌دارند، شواهد حاکی از آن است که می‌توانند در آینده نزدیک نقش مؤثری در معماری و شهرسازی ایفا کنند.

بااین‌وجود، مسیر پیش رو همچنان چالش‌هایی را به همراه دارد. درک عمیق‌تری از چالش‌های ناشی از به‌کارگیری الگوهای هوش مصنوعی در طراحی و ساخت پروژه‌های معماری، از جمله مسائل اخلاقی مرتبط با آن، ضروری است. همچنین پژوهش‌های بیشتر در این زمینه، از جمله بررسی تأثیر فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی بر معماری معاصر ایران، برای اطمینان از استفاده مسئولانه و بهینه از این فناوری قدرتمند در طراحی فضای معماری حائز اهمیت است. چراکه تنها با درک عمیق‌تر از فرصت‌ها و چالش‌های پیش رو است، می‌توان از هوش مصنوعی برای ارتقای کیفیت معماری و خلق فضاهای الهام‌بخش و پایدار برای نسل‌های آینده استفاده کرد.

منابع

باباخانی، رضا و شاهچراغی، آزاده و ذبیحی، حسین. (۱۴۰۲). فرایند یادگیری ماشین در اعمال روابط فضایی پلان های مسکونی مبتنی بر نمونه و ماتریس هم‌جواری. نشریه علمی مرمت و معماری ایران، ۱۳ (۳۴). http://mmi.aui.ac.ir/article-1-1297-fa.html.

تدین، کیا و مهدوی نژاد، محمدجواد و شاهچراغی، آزاده. (۱۴۰۰). کاربرد الگوریتم‌های ریاضی پیشرفته در یکپارچه‌سازی فرآیند طراحی معماری. معماری و شهرسازی پایدار، ۹(۱)، ۱-۱۲. https://doi.org/10.22061/jsaud.2020.6603.1686

چوپان، زهره وکامران کسمایی، حدیثه. (۱۴۰۲). بررسی تاثیرات طراحی معماری در بهینه‌سازی مصرف انرژی در شهر آمل. پژوهش های نوین علوم جغرافیایی، معماری و شهرسازی، (۴۳)، ۱۹-۲۵. http://noo.rs/kWbvv.

خبازی، زوبین (۱۳۹۵). پارادایم معماری الگوریتمیک، مشهد: کتابکده کسری.

خبازی، زوبین (۱۳۹۸). فرآیند های طراحی دیجیتال، مشهد: کتابکده کسری.

رهبر، مرتضی، مهدوی نژاد، محمدجواد، بمانیان، محمدرضا، و دوائی مرکزی، امیرحسین. (۱۳۹۹). الگوریتم سی گَن در تولید نقشه حرارتی جانمایی فضایی در طراحی معماری. معماری و شهرسازی آرمان شهر، ۱۳(۳۲)، ۱۳۱-۱۴۲. https://sid.ir/paper/399333/fa .

روحی، پویان (۱۳۹۸). استودیوی بی کاغذ و دانشگاه کلمبیا در دوران مدیریت برنارد چومی، مشهد: کتابکده کسری.

صادقیان، مریم، و حسینی، اکرم. (۱۴۰۰). بررسی کارایی روشهای بهینه سازی تکاملی در دستیابی به اهداف معماری و ساخت. هویت شهر، ۱۵(۴۵)، ۱۷-۳۴. https://sid.ir/paper/396655/fa .

صدری، سید علی اکبر و کابلی، محمد هادی و میرزا رضایی، میترا و سلیمانی، محمدرضا. (۱۴۰۲). فرایند تحلیل روش ها و رویکرد های تولید چیدمان‌های خودکار فضایی. معمار شهر، ۸ (۹۰-۱۱۷). https://sanad.iau.ir/Journal/memarshahr/Article/1041460.

References:

1956 Nobel Prize in Physics. (2023). Nokia Bell Labs. https://www.bell-labs.com/about/awards/1956-nobel-prize-physics/

AA School of Architecture. (2021). David Rutten - Computing Architectural Concepts: Grasshopper Stories [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=KaJfUPk1qNs

Alexanders, C. (1965). A city is not a tree. *Architectural Forum*, *122*(1), 58–62. https://www.academia.edu/43003715/Christopher_Alexanders_A_CITY_IS_NOT_A_TREE_AF_Vol_122_1_2_April_May

Babakhani, R., Shahcheraghi, A., & Zabihi, H. (2023). The machine learning process in applying spatial relations of residential plans based on samples and adjacency matrix. Maremat & Memari-e Iran, 13(34), 30–52. http://mmi.aui.ac.ir/article-1-1297-fa.html [In Persian].

Boden, M. A. (2016). AI: Its nature and future. Oxford University Press,p.10, p.17. https://cds.cern.ch/record/2295640

Bottazzi, R. (2018). Digital Architecture Beyond Computers: Fragments of a Cultural History of Computational Design. Bloomsbury Publishing. p.50. https://www.amazon.com/Digital-Architecture-Beyond-Computers-Computational/dp/1474258131

Campbell, M., Hoane, A. J., & Hsu, F. (2002). Deep Blue. Artificial Intelligence, 134(1–2), 57–83. https://doi.org/10.1016/s0004-3702(01)00129-1

Chaillou, S. (2020). AI + Architecture | Towards a new approach. Harvard. https://www.academia.edu/39599650/AI_Architecture_Towards_a_New_Approach

Chaillou, S. (2021). Artificial Intelligence and Architecture: From Research to Practice. Birkhaüser,p.42. https://birkhauser.com/books/9783035624045

Choopan, Z., & Kamran Kasmaee, H. (2023). Investigating the effects of architectural design on optimizing energy consumption in Amol City. *New Researches of Geographical Sciences, Architecture and Urban Planning*, *5*(43), 19–25 http://noo.rs/kWbvv [In Persian].

Cohen, M. M., & Prosina, A. (2020). Buckminster Fuller's Dymaxion House as a paradigm for a space habitat. ASCEND 2020. https://doi.org/10.2514/6.2020-4048

Crevier, D. (1993). AI: The Tumultuous History Of The Search For Artificial Intelligence,p.30. https://www.amazon.com/Ai-Tumultuous-History-Artificial-Intelligence/dp/0465029973

Davis, D. (2022, August 31). A history of parametric. Daniel Davis. https://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/

DeepDream - a code example for visualizing Neural Networks. (2015, July 1). Research Blog. https://web.archive.org/web/20150708233542/http://googleresearch.blogspot.co.uk/2015/07/deepdream-code-example-for-visualizing.html

Deng, J., Dong, W., Socher, R., Li, L., Li, K., & Li, F. (2009). ImageNet: A large-scale hierarchical image database. 2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. https://doi.org/10.1109/cvpr.2009.5206848

Eastman, C. M., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. http://ci.nii.ac.jp/ncid/BA87578739

Goodfellow, I. J., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A., & Bengio, Y. (2014). Generative adversarial networks. arXiv (Cornell University). https://doi.org/10.48550/arxiv.1406.2661

Grason, J. (1971). An approach to computerized space planning using graph theory. DAC '71: Proceedings of the 8th Design Automation WorkshopJune. https://doi.org/10.1145/800158.805070

Haenlein, M., & Kaplan, A. (2019). A Brief History of Artificial Intelligence: On the Past, Present, and Future of Artificial Intelligence. California Management Review, 61(4), 5–14. https://doi.org/10.1177/0008125619864925

He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2015). Deep residual learning for image recognition. arXiv (Cornell University). https://doi.org/10.48550/arxiv.1512.03385

Ho, J., Jain, A., & Abbeel, P. (2020). Denoising diffusion probabilistic models. arXiv (Cornell University). https://doi.org/10.48550/arxiv.2006.11239

Isola, P., Zhu, J., Zhou, T., & Efros, A. A. (2016). Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks. arXiv (Cornell University). https://doi.org/10.48550/arxiv.1611.07004

James, L., James, L., Stuart, S., Roger, N., & Christopher, L. H. (1973). Artificial intelligence: A general survey. *Science Research Council*. https://rodsmith.nz/wp-content/uploads/Lighthill_1973_Report.pdf

Karras, T., Laine, S., & Aila, T. (2018). A Style-Based generator architecture for generative adversarial networks. arXiv (Cornell University). https://doi.org/10.48550/arxiv.1812.04948

Kelleher, J. D. (2019). Deep Learning. MIT Press. https://mitpress.mit.edu/9780262537551/deep-learning/

Khabazi, Z. (2016). Algorithmic Architecture Paradigm. Kasra publishing. [In Persian].

Khabazi, Z. (2018). Algorithmic Architecture Paradigm. Kasra publishing. [In Persian].

Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. Neural Information Processing Systems, 25, 1097–1105. http://books.nips.cc/papers/files/nips25/NIPS2012_0534.pdf

Li, C., Li, L., Jiang, H., Weng, K., Geng, Y., Li, L., Ke, Z., Li, Q., Cheng, M., Nie, W., Li, Y., Zhang, B., Liang, Y., Zhou, L., Xu, X., Chu, X., Wei, X., & Wei, X. (2022). YOLOV6: A Single-Stage Object Detection Framework for Industrial Applications. arXiv (Cornell University). https://doi.org/10.48550/arxiv.2209.02976

Livingston, M. (2002, June 17). Watergate: The name that branded more than a buildin. Bizjournals.Retrieved April 2, 2023, from https://www.bizjournals.com/washington/stories/2002/06/17/focus11.html

Luo, S., & Hu, W. (2021). Diffusion probabilistic models for 3D point cloud generation. arXiv (Cornell University). https://doi.org/10.48550/arxiv.2103.01458

Marsh, A. (2023, March 3). In 1961, the First Robot Arm Punched In. IEEE Spectrum. https://spectrum.ieee.org/unimation-robot

Matuszek, C., Cabral, J., Witbrock, M., & DeOliveira, J. (2006). An introduction to the syntax and content of CYC. National Conference on Artificial Intelligence, 44–49. https://doi.org/10.13016/m2j09w76t

McCarthy, J. J. (1984). Some Expert Systems Need Common Sense. Annals of the New York Academy of Sciences, 426(1 Computer Cult), 129–137. https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1984.tb16516.x

McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., & Shannon, C. E. (2006). A proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence, August 31, 1955. AI Magazine, 27(4), 12. https://doi.org/10.1609/aimag.v27i4.1904

McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. The Bulletin of Mathematical Biophysics, 5(4), 115–133. https://doi.org/10.1007/bf02478259

Minsky, M., & Papert, S. A. (2017). Perceptrons. In The MIT Press eBooks. https://doi.org/10.7551/mitpress/11301.001.0001

Mitchell, M. (2020). Artificial intelligence: A Guide for Thinking Humans. Pelican Books.

Moor, J. H. (2006). The Dartmouth College Artificial Intelligence Conference: The Next Fifty Years. Ai Magazine, 27(4), 87–91. https://doi.org/10.1609/aimag.v27i4.1911

Negroponte, N. (1969). Toward a theory of architecture machines. Journal of Architectural Education of the Association of Collegiate Schools of Architecture, 23(2), 9. https://doi.org/10.2307/1423828

Negroponte, N. (1970). The architecture machine. In The MIT Press eBooks. https://doi.org/10.7551/mitpress/8269.001.0001

Newton, D. W. (2019). Generative deep learning in architectural design. Technology, Architecture + Design, 3(2), 176–189. https://doi.org/10.1080/24751448.2019.1640536

Rahbar, M., Bemanian, M., & Davaei Markazi, A. (2020). Training CGAN Algorithm for Generating Architectural Layout Heat Map. *Armanshahr Architecture & Urban Development Journal*, *13*(32), 131–142. https://doi.org/10.22034/aaud.2020.154406.1717 [In Persian].

Reis, D. J., Kupec, J., Hong, J., & Daoudi, A. (2023). Real-Time Flying Object Detection with YOLOv8. arXiv (Cornell University). https://doi.org/10.48550/arxiv.2305.09972

Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). U-NET: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. In Lecture Notes in Computer Science (pp. 234–241). https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28

Roohi, P. (2019). Paperless Studio and Columbia University under the management of Bernard Shumi. kasrapublishing.

Sadeghian, M., & Hosseini, A. (2021). Inves tigating the efficiency of evolutionary optimization methods in achieving architectural and cons truction objectives. *Hoviat Shahr*, *15*(45), 17–34. https://doi.org/10.30495/hoviatshahr.2021.15714 [In Persian].

Sadri, A., Kaboli, M. H., Mirzarezaee, M., & Soleimani, M. (2023). Analyzing methods and approaches to produce automatic automatic space layouts. *Memarshahr*, *1*(1), 90–117.. https://sanad.iau.ir/fa/Article/1041419 [In Persian].

Seelow, A. M. (2018). The construction kit and the Assembly Line—Walter Gropius' concepts for rationalizing architecture. Arts, 7(4), 95. https://doi.org/10.3390/arts7040095

Sohl-Dickstein, J. (2015, March 12). Deep Unsupervised Learning using Nonequilibrium Thermodynamics. arXiv.org. https://arxiv.org/abs/1503.03585

Stiny, G., & Mitchell, W. J. (1978). The Palladian grammar. Environment and Planning B: Planning and Design, 5(1), 5–18. https://doi.org/10.1068/b050005

Sutherland, I. E. (1964). SketchPad a Man-Machine graphical communication system. SIMULATION, 2(5), R-20. https://doi.org/10.1177/003754976400200514

Tadayon, K., Mahdavinejad, M., & Shahcheraghi, A. (2021). Advanced mathematical algorithms to outline integrated architectural design process. Sustainable Architecture and Urban Design, 9(1), 1–12. https://doi.org/10.22061/jsaud.2020.6603.1686 [In Persian].

Tevet, G., Raab, S., Gordon, B. A., Shafir, Y., Bermano, A. H., & Cohen–Or, D. (2022). Human Motion Diffusion model. arXiv (Cornell University). https://doi.org/10.48550/arxiv.2209.14916

Turing, A. M. (2007). Computing Machinery and Intelligence. In Springer eBooks (pp. 23–65). https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6710-5_3

Wang, C., Bochkovskiy, A., & Liao, H. M. (2022). YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors. arXiv (Cornell University). https://doi.org/10.48550/arxiv.2207.02696

Weizenbaum, J. (1966). ELIZA—a computer program for the study of natural language communication between man and machine. Communications of the ACM, 9(1), 36–45. https://doi.org/10.1145/365153.365168

Zeng, X., Vahdat, A., Williams, F. H., Gojčič, Ž., Litany, O., Fidler, S., & Kreis, K. (2022). LION: Latent Point diffusion models for 3D shape Generation. arXiv (Cornell University). https://doi.org/10.48550/arxiv.2210.06978

Zhu, J., Park, T., Isola, P., & Efros, A. A. (2017). Unpaired Image-to-Image Translation using Cycle-Consistent Adversarial Networks. arXiv (Cornell University). https://doi.org/10.48550/arxiv.1703.10593