

Developing Future Scenarios for the Construction Industry based on New Technologies

Minoochehr Marzban

PhD Student in Architecture, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran,
mc_marzban@yahoo.com

Seyed Rahman Eghbali

Associate Professor of Architectural Engineering, Imam Khomeini International University,
Qazvin, Iran, s.r.eghbali@arc.ikiu.ac.ir

Farzaneh Asadi Malekjahan

Assistant Professor of Architecture, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran,
fasadi@iaurasht.ac.ir

Abstract

Purpose: The future of the construction industry is increasingly influenced by new technologies. In order to adopt appropriate strategies in facing new technologies, it is necessary to know the possible futures of the construction industry. This research was done with the aim of explaining the technological uncertainties and compiling the future scenarios of the construction industry.

Method: The research method is applied and was carried out with a combination of quantitative and qualitative methods. First, the library study was used to determine the technological drivers, then the Structural Analysis was used to explain the technological uncertainties, and finally, the Schwartz method was used to compile the scenarios. The statistical population is experts of construction industry.

Findings: Nine technological uncertainties affecting the future of the construction industry have been identified and for each of them, three states of decline, stagnation and progress have been considered. Data analysis by Scenario Wizard shows eight probable scenarios. The portfolio of scenarios including four groups of progress scenarios, towards progress, towards stagnation, and towards wane has been compiled.

Conclusion: In the progress scenario, the 89% of uncertainties have developed. In towards progress, 56% of the factors are in the development status, which indicates the development of the technological factor application. In the stagnation scenario, no progress has been made in the application of uncertainties and they are in a static state. In towards wane, uncertainties have been placed in a situation of reduced use.

Keywords: Futures Studies, Scenario Writing, Uncertainty, New Technologies, Construction Industry.

Cite this article: Marzban, Eghbali & Asadi Malekjahan (2023), Developing Future Scenarios for the Construction Industry based on New Technologies, Semiannual Journal of Iran Futures Studies, Research Article, Vol.7, NO.2, Fall & Winter 2023, 181-202.

DOI: 10.30479/jfs.2023.17204.1395

Received on 7 May, 2022 **Accepted on** 5 October, 2022

Copyright© 2022, The Author(s). 

Publisher: Imam Khomeini International University

Corresponding Author: Seyed Rahman Eghbali

E-mail: s.r.eghbali@arc.ikiu.ac.ir

تدوین سناریوهای آینده صنعت ساختمان مبتنی بر فناوریهای نوین

مینوچهر مرزبان

دانشجوی دکتری، گروه معماری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران. mc_marzban@yahoo.com

سید رحمان اقبالی

دانشیار، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

s.r.eghbali@arc.ikiu.ac.ir

فرزانه اسدی ملکجهان

استادیار، گروه معماری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران. fasadi@iaurasht.ac.ir

چکیده

هدف: آینده صنعت ساختمان، به طور فزاینده ای متأثر از تکنولوژی های نوین است. به منظور اتخاذ راهبردهای مناسب در رویارویی با تکنولوژی های نوین، شناخت آینده های محتمل صنعت ساختمان، امری ضروری است. پژوهش حاضر، با هدف تبیین عدم قطعیت های تکنولوژیک و تدوین سناریوهای آینده صنعت ساختمان انجام شده است.

روش: پژوهش حاضر از لحاظ هدف، کاربردی است و با ترکیبی از روش های کمی و کیفی انجام شده است. نخست؛ برای تعیین پیشران های تکنولوژیک، از روش مطالعه کتابخانه ای، سپس جهت تبیین عدم قطعیت های تکنولوژیک، از روش تحلیل ساختاری و در آخر، برای تدوین سناریوهای آینده صنعت ساختمان، از روش شوارتز استفاده شده است. جامعه آماری پژوهش، از خبرگان صنعت ساختمان تشکیل شده است.

یافته ها: در این پژوهش، ۹ عدم قطعیت تکنولوژیک تأثیرگذار بر آینده صنعت ساختمان شناسایی و برای هر کدام از عوامل، سه حالت نزول، رکود و پیشرفت در نظر گرفته شده است. تحلیل داده ها، توسط نرم افزار سناریو ویزارد، بیانگر وقوع هشت سناریوی قوی و محتمل می باشد. پس از دسته بندی نتایج، سید سناریوها، مشتمل بر چهار گروه سناریوی پیشرفت، معطوف به پیشرفت، معطوف به رکود و معطوف به نزول تدوین شده است.

نتیجه گیری: در سناریوی پیشرفت، ۸۹ درصد عدم قطعیت های تکنولوژیک، در وضعیت توسعه کاربرد قرار گرفته اند. در سناریوی معطوف به پیشرفت، ۵۶ درصد عوامل، در وضعیت پیشرفت قرار دارند که بیانگر توسعه کاربرد عوامل کلیدی تکنولوژیک است. در سناریوی معطوف به رکود، هیچ گونه پیشرفتی در کاربرد عدم قطعیت های تکنولوژیک صورت نگرفته و در وضعیت ایستا قرار گرفته اند. در سناری معطوف به نزول، عدم قطعیت های تکنولوژیک، در وضعیت کاهش کاربرد قرار گرفته اند.

واژگان کلیدی: آینده پژوهی، سناریونویسی، عدم قطعیت، تکنولوژی های نوین، صنعت ساختمان.

- استناد: مرزبان، اقبالی و اسدی ملکجهان (۱۴۰۱). تدوین سناریوهای آینده صنعت ساختمان مبتنی بر فناوریهای نوین، دو فصلنامه علمی آینده پژوهی ایران، مقاله پژوهشی، دوره ۷، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، ۱۸۱-۲۰۲.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۲/۱۷ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۷/۱۳
ناشر: دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

مقدمه

«تکنولوژی پیشرفته»، به تکنولوژی مدرن و پیچیده‌ای اطلاق می‌شود که هم‌اکنون در طیف گسترده‌ای از صنایع، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در امتداد آن، «تکنولوژی نوظهور» قرار دارد و مشتمل بر تکنولوژی‌هایی است که هنوز به‌طور کامل، تجاری و به بازار عرضه نشده است (خلیل، ۱۳۹۵). تکنولوژی‌های نوین، جلوتر از تکنولوژی پیشرفته، قدم برداشته و در حالی که کاربرد آن‌ها در حال حاضر محدود است؛ انتظار می‌رود، ظرف پنج سال آینده در وضعیت توسعه قرار گرفته و کاربرد آن‌ها به شکل قابل ملاحظه‌ای گسترش یابد (Tetik, 2019). از آنجایی که صنعت ساختمان، مانند دیگر صنایع برای حفظ بقای خود در بازار رقابتی، علاوه بر استفاده از تکنولوژی-های پیشرفته، ناگزیر به استفاده از تکنولوژی‌های نوظهور و فوق‌پیشرفته نیز هست، شناخت تکنولوژی‌های نوظهور، به‌منظور تدوین سیاست‌های راهبردی در این حوزه، امری ضروری به نظر می‌رسد.

هدف پژوهش حاضر، تدوین سناریوهای محتمل آینده صنعت ساختمان، مبتنی بر تکنولوژی-های نوین تأثیرگذار بر این صنعت است. با توجه به عدم قطعیت زیادی که در ظهور تکنولوژی‌های نوین وجود دارد، در تدوین سناریوهای آینده صنعت ساختمان، از روش ۸ مرحله‌ای شوارتز که بر عدم قطعیت‌ها تمرکز دارد، استفاده شده است. در این پژوهش، به سؤالات زیر پاسخ داده شده است:

- پیشران‌های تکنولوژیکی تأثیرگذار بر آینده صنعت ساختمان کدامند؟

- عدم قطعیت‌های تکنولوژیکی مؤثر بر آینده صنعت ساختمان کدامند؟

- سناریوهای محتمل آینده صنعت ساختمان، مبتنی بر فناوری‌های نوین کدام است؟

در راستای حصول هدف و پاسخگویی به سؤالات پژوهش، نخست با مطالعه کتابخانه‌ای و بررسی کتب و مقالات مرتبط، همچنین با استفاده از نظر خبرگان، عوامل کلیدی تکنولوژیک که بیشترین تأثیر را بر آینده صنعت ساختمان دارند، به‌عنوان عدم قطعیت‌های تکنولوژیک، شناسایی شده‌اند. پس از شناسایی عدم قطعیت‌های تکنولوژیک، حالت‌های احتمالی هریک از عوامل تعیین و تأثیر وقوع هر وضعیت، بر وقوع یا عدم وقوع وضعیت دیگر، مورد بررسی و نظرسنجی خبرگان قرار گرفته است. مبتنی بر تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار سناریوویزارد، سبد سناریوهای آینده صنعت ساختمان؛ مشتمل بر سناریوهای قوی، محتمل تدوین و درنهایت جهت‌گیری‌های کلان راهبردی ارائه شده است.

مرور ادبیات و چارچوب نظری پژوهش

تکنولوژی به صورت دانش، محصولات، فرایندها، ابزارها، روش‌ها و سیستم‌هایی تعریف می‌شود که در جهت خلق و ساخت کالاها و ارائه خدمات به کار گرفته می‌شود. به زبان ساده می‌توان گفت؛ تکنولوژی، اجرای عملی دانش است (خلیل، ۱۳۹۵). در دهه‌های اخیر، تکنولوژی در همه ابعاد، پیشرفت سریع و نفوذ قابل توجهی در زندگی انسان‌ها داشته و نقش مهمی در جوامع بشری ایفا کرده است. از این رو، تکنولوژی به یک پدیده مهم و کلیدی برای جوامع تبدیل شده؛ به نحوی که شناسایی و رصد تغییرات آن، ضرورتی انکارناپذیر است. در دهه‌های اخیر، پیشرفت تکنولوژی و دیجیتالی‌سازی^۱ صنعت ساخت، به معنای استفاده از تکنولوژی‌های دیجیتال به ویژه تکنولوژی‌هایی که از داده‌های دیجیتال استفاده می‌کنند، در دنیای بسیار رقابتی صنعت ساختمان منجر شده است، این صنعت در فرآیندها و روش‌های کاری خود، تغییرات دگرگون‌کننده‌ای را تجربه کند؛ لذا شناخت تکنولوژی‌های نوین تأثیرگذار بر آینده صنعت ساختمان، برای برنامه‌ریزی‌های راهبردی ضروری می‌باشد. در پژوهش حاضر، تحقیقات بسیاری برای شناسایی و تبیین تکنولوژی‌های نوین صنعت ساختمان، مورد بررسی قرار گرفته است که مهم‌ترین آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است. پژوهش‌ها در جدول ۱، بر اساس موضوع و تکنولوژی مورد بررسی، در هریک از آن‌ها دسته‌بندی شده‌اند. از آنجایی که در تعدادی از پژوهش‌های بررسی شده، مجموعه‌ای از چند تکنولوژی به عنوان تکنولوژی‌های تأثیرگذار بر صنعت ساختمان، شناخته شده‌اند؛ عنوان آن پژوهش، در ذیل تمام تکنولوژی‌های مربوطه آورده شده است.

جدول ۱. پژوهش‌های انجام شده، مبتنی بر تکنولوژی‌های نوین تأثیرگذار بر صنعت ساختمان

تکنولوژی	پژوهش
اتوماسیون	(Alaloul et al., 2020), (Kasim et al., 2021), (Iturralde et al., 2022)
اسکنر لیزری سه بعدی ^۲	(Perrier et al., 2020), (Woo et al., 2020)
انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر	(Gudlaugsson et al., 2021), (Omri, & Belaïd, 2021), (Singh et al., 2021), (Ahmad & Prakash, 2022)
اینترنت اشیا ^۳	(Zhong et al., 2017), (Alaloul et al., 2020), (Forcael et al., 2020), (Matana et al., 2020), (Woo et al., 2020), (Bello et al., 2021), (Kasim et al., 2021), (Thi Huong et al., 2021), (Regona et al., 2022)
بلاک چین ^۴	(Woo et al., 2020), (Das et al., 2021), (Xu et al., 2022)
بهباد ^۵	(Perrier et al., 2020), (Woo et al., 2020), (Agenbag and Amoah, 2021)
چاپگر سه بعدی ساختمان ^۶	(Alaloul et al., 2020), (Forcael et al., 2020), (Tahmasebinia et al., 2020), (Manzoor et al., 2021), (Olsson et al., 2021), (Huang, 2022)

1. Digitalization
2. 3D Laser scanner
3. Internet of Things (IoT)
4. Block chain
5. Unmanned Aerial Vehicles
6. 3D printer

(Zhong et al., 2017), (Alaloul et al., 2020), (Forcael et al., 2020), (Bello et al., 2021)	داده‌های بزرگ ^۱
(Zhong et al., 2017), (Bello et al., 2021), (Kasim et al., 2021), (Dahbi et al., 2022)	رایانش ابری ^۲
(Alaloul et al., 2020), (Perrier et al., 2020), (Agenbag and Amoah, 2021), (Manzoor et al., 2021), (Olsson et al., 2021), (Chang et al., 2022), (Huang, 2022), (Kyungki Kim & Peavy, 2022), (Regona et al., 2022)	رباتیک
(Alaloul et al., 2020), (Perrier et al., 2020), (Garbett et al., 2021), (Woo et al., 2020), (Thi Huang et al., 2021)	سیستم اطلاعات جغرافیایی ^۳ و شناسایی با امواج رادیویی ^۴
(Zhong et al., 2017), (Alaloul et al., 2020), (Matana et al., 2020), (Kasim et al., 2021),	سیستم‌های فیزیکی سایبری ^۵
(Alaloul et al., 2020), (Kasim et al., 2021)	سیستم‌های شبیه‌سازی سه‌بعدی
(Thi Huang et al., 2021), (Algabroun et al., 2022)	سیستم‌های نوین تعمیر و نگهداری
(Armstrong & Allwinkle, 2017), (Alaloul et al., 2020), (Perrier et al., 2020), (Bello et al., 2021), (Garbett et al., 2021), (Kasim et al., 2021), (Manzoor et al., 2021), (Noor Akmal Adillah et al., 2021), (Len et al., 2021), (Thi Huang et al., 2021), (Dahbi et al., 2022), (Kyungki Kim & Peavy, 2022)	مدل‌سازی اطلاعات ساختمان ^۶
(Alaloul et al., 2020), (Olsson et al., 2021), (Huang, 2022), (Iturralde et al., 2022)	مدولاریزاسیون و پیش‌ساخته‌سازی ^۷
(Zh et al., 2020)	نانوتکنولوژی
(Alaloul et al., 2020), (Forcael et al., 2020), (Guo et al., 2020), (Woo et al., 2020), (Bello et al., 2021), (Garbett et al., 2021), (Kasim et al., 2021), (Thi Huang et al., 2021), (Dahbi et al., 2022)	واقعیت مجازی و واقعیت افزوده ^۸
(Guo et al., 2020), (Woo et al., 2020), (Regona et al., 2022)	هوش مصنوعی، سیستم‌های هوشمند ^۹

همچنین، پژوهش‌هایی نیز به‌طور خاص بر سناریوهای احتمالی صنعت ساختمان تمرکز داشته‌اند:

لاویکا و همکاران (Lavikka et al., 2018) در پژوهش خود، ۷ عدم قطعیت برای آینده صنعت ساختمان شناسایی کرده‌اند که پلتفرم‌های ابری، هوش مصنوعی، ارتباطات بی‌سیم، بلاک-چین و مدل‌سازی‌های مبتنی بر فضای دیجیتال، از مهم‌ترین این موارد هستند. مبتنی بر نظر خبرگان، از بین روندها و عدم قطعیت‌های تعیین شده، دو عدم قطعیت اصلی؛ شامل باز بودن پلتفرم‌های ابری در محیط ساخته شده یا بسته بودن آن‌ها و تصمیم‌گیری مشارکتی یا مرکزی،

1. Big Data
2. Cloud Computing
3. Radio-Frequency Identification (RFID)
4. Geographic Information System (GIS)
5. Cyber-Physical Systems
6. Building Information Modeling (BIM)
7. Modularization & Prefabrication
8. Virtual Reality & Augmented Reality
9. Artificial Intelligence & Smart Systems

به عنوان محورهای این ۴ سناریو، انتخاب و نتایج سایر عدم قطعیت‌ها و روندهای کلیدی، به سناریوها اضافه شده است.

گروه مشاوران بوستون (World Economic Forum, 2018) سه سناریو متمایز، برای آینده تدوین کرده است. در سناریوی اول، با نام «ساخت و ساز در دنیای مجازی»، واقعیت مجازی، رباتیک، هوش مصنوعی، اتوماسیون و فناوری ابری، در انواع صنایع نفوذ می‌کنند. در سناریوی دوم؛ با نام «کارخانه‌ها جهان را اداره می‌کنند»، فرآیندهای پیشرفته تولید در مقیاس بزرگ، مدول‌های پیش‌ساخته با روش چاپ سه‌بعدی تولید می‌کنند. مدول‌ها، به صورت یک مدل دیجیتالی، علاوه بر اطلاعات طرح سه‌بعدی، حاوی اطلاعات لجستیکی؛ چون نحوه انتقال مدول‌ها از کارخانه به محل ساخت، چگونگی فرآیند مونتاژ، تجهیزات مورد نیاز و روش‌های تعمیر و نگهداری نیز هست. در سناریوی سوم؛ با عنوان «یک ربات سبز»، شرکت‌های طراحی و مهندسی، شبیه‌سازی‌های پیچیده را با استفاده از پرینترهای سه‌بعدی، عینک‌های واقعیت افزوده و حس-گرها، به گونه‌ای انجام می‌دهند که طرح در طول عمر خود، کمترین اثر مخرب را بر محیط زیست داشته باشد.

کاووری و همکاران (Kavuri et al., 2020)، در پژوهش خود پس از تعیین مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، اینترنت اشیا، تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ و یادگیری ماشینی با عنوان روندها و عدم قطعیت‌های آینده، چهار سناریو، با نام‌های «جداسازی غم‌افزا»، «تحول آرمان‌شهر»، «سرمایه‌گذاری مجزا» و «ترکیب ارزان» تدوین نموده‌اند. این سناریوها، پیوندهای مهمی بین دیجیتالی شدن و بافت اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی ساخت و ساز فراهم می‌کنند. ارنستسن و همکاران (Ernstsen et al., 2021)، با انجام مصاحبه با متخصصان ساخت و ساز بریتانیا، سه چشم‌انداز نوظهور ارائه کرده‌اند. این چشم‌اندازها، «ساخت و ساز کارآمد»، «محیط ساخته شده مبتنی بر داده‌های کاربر» و «طراحی محاسباتی ارزش‌محور» هستند. ساخت و ساز کارآمد، بر جنبه‌هایی؛ مانند ساخت و ساز خارج از سایت، هوش مصنوعی، مدول‌سازی، مدل-سازی اطلاعات ساختمان، ایمنی در محل ساخت، ادغام مدل‌های تجاری و اتوماسیون، در طراحی متمرکز شده است. محیط ساخته شده مبتنی بر داده‌های کاربر، حول فناوری‌هایی؛ چون داده‌های بزرگ، اینترنت اشیا، واقعیت مجازی، واقعیت افزوده و مصالح نوین سازمان‌دهی شده است. در سناریوی طراحی محاسباتی ارزش‌محور، از تکنولوژی‌هایی؛ چون ساخت دیجیتال، شبیه‌سازی، بلاک‌چین، اتوماسیون و هوش مصنوعی استفاده شده است.

با توجه به مطالعات صورت گرفته، چهارچوب نظری پژوهش، مشتمل بر مهم‌ترین عوامل تکنولوژیک تأثیرگذار بر صنعت ساختمان در ۵ حوزه ساخت، طراحی، انرژی، تعمیر، نگهداری و مدیریت تدوین شده است (جدول ۲).

جدول ۲. پیشران‌های تکنولوژیک تأثیرگذار بر صنعت ساختمان

تکنولوژی‌های حوزه ساخت	تکنولوژی‌های حوزه طراحی
توماسیون	برم افزارهای نوین مدل سازی سه بعدی
اینترنت اشیا	برم افزارهای نوین شبیه سازی مصرف انرژی
پرینتر سه بعدی	اسکنرهای لیزری
بهیاد	واقعیت مجازی
ربات های ساختمانی	واقعیت افزوده
سازه های هوشمند	رایانش ابری
سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم شناسایی با امواج رادیویی	داده های بزرگ
سیستم های تأسیساتی هوشمند	هوش مصنوعی
سیستم های فیزیکی سایبری	تکنولوژی های حوزه انرژی
مدولاریزاسیون و پیش ساخته سازی	سیستم های پاک و تجدیدپذیر انرژی
مصالص تحت تکنولوژی نانو	تکنولوژی های حوزه مدیریت
تکنولوژی های تعمیر و نگهداری ساختمان	بلاک چین
سیستم های نوین تعمیر و نگهداری ساختمان	مدل سازی اطلاعات ساختمان

تعریف مهم ترین اصطلاحات و عوامل کلیدی تکنولوژیک چهارچوب نظری پژوهش، به این شرح است:

اسکنر لیزری: اسکنر لیزری، یک ربات ساختمانی است که توسط کامپیوتر هدایت می شود. اسکنر، مجهز به دوربین فتوگرامتری است که بدون نیاز به رفلکتور، می تواند با سرعتی بالا و باورنکردنی، نقاط محیط اطراف خود را برداشت نماید. میدان دید اسکنر، به دلیل عدم استفاده از رفلکتور، دقیقاً مانند چشم انسان عمل می کند.

بلاک چین: بلاک چین، یک پایگاه داده توزیع شده و مشترک است که ابزارهای ذخیره سازی آن، به یک پردازنده مشترک متصل نیستند. در واقع بلاک چین، لیستی از اطلاعات به نام بلاک است که هر بلاک، به بلاک پیشین متصل است و اطلاعات درون آن ها، با استفاده از ابزار رمزنگاری، محافظت می شود. از موارد استفاده آن در صنعت ساختمان، می توان به قراردادهای هوشمند، استفاده در فرایند گردش کار و تسهیل سیستم نظارت و بازرسی ساختمان اشاره کرد.

چاپگر سه بعدی ساختمان: از چاپگر سه بعدی، برای ساخت اشیا و اجسام سه بعدی استفاده می شود. در این روش، لایه های متوالی یک نمونه، توسط کامپیوتر طراحی می شود. اشیایی که توسط این چاپگرها ساخته می شوند، می توانند هر شکل، اندازه یا آرایش هندسی داشته باشند. چاپگرهای سه بعدی ساختمان، به طور متوالی، مواد را روی یک سطح می ریزد و این فرایند تا ساخت کامل ادامه می یابد.

سیستم اطلاعات جغرافیایی: سیستم اطلاعات جغرافیایی، مجموعه‌ای از نرم‌افزارها، سخت‌افزارها، داده‌ها، متخصصان و مدل‌های مورد استفاده جهت اخذ، ذخیره‌سازی، بازیابی، به‌هنگام‌سازی، پردازش، تجزیه و تحلیل، انتقال و نمایش داده‌های مکان‌مرجع می‌باشد که به‌عنوان یک سیستم حامی تصمیم‌گیری، برای حل مشکلات مختلف استفاده می‌شود.

سیستم شناسایی با امواج رادیویی: سیستمی است که از امواج رادیویی، برای انتقال اطلاعات مربوط به هویت یک شیء استفاده می‌کند.

سیستم‌های فیزیکی سایبری: یک نوع سیستم پیچیده چندبعدی است که ترکیبی از محاسبات، شبکه-سازی و جهان فیزیکی است. این سیستم، توسط مجموعه‌ای تعاملی و یکپارچه از واحدهای محاسباتی و اشیای فیزیکی در یک محیط شبکه، موجب ارتقای قابلیت سیستم در پردازش اطلاعات، ارتباطات واقعی، کنترل دقیق از راه دور و هماهنگی مستقل مؤلفه‌ها می‌گردد (Baheti & Gill, 2011).

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان: مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، روشی است که در آن، از مجموعه‌ای از ابزارها و فرآیندهای پارامتری برای ایجاد و نگهداری یک بانک اطلاعاتی یکپارچه از اطلاعات چندبعدی درباره طراحی، ساخت و بهره‌برداری یک ساختمان، با هدف بهبود همکاری میان ذی‌نفعان استفاده می‌شود. به بیان دیگر؛ مدل‌سازی اطلاعات ساختمان فرایند طراحی، تجزیه و تحلیل، یکپارچه‌سازی و مستندسازی چرخه عمر یک ساختمان، با ایجاد نمونه مجازی هوشمند از ساختمان، با استفاده از پایگاه داده‌ای از اطلاعات می‌باشد (قربانی نوع، ۱۴۰۰).

واقعیت افزوده: واقعیت افزوده، به مفهوم ترکیب مفاهیم و اشیای مجازی، با دنیای واقعی پیرامون کاربر است؛ به‌گونه‌ای که این مفاهیم افزوده شده، منجر به افزایش درک و فهم کاربر از محیط پیرامونش شود. واقعیت افزوده، درحقیقت چشم سوم هوشمندی است که با قرار دادن لایه دیجیتالی هوشمند؛ مانند دوربین، موبایل، تبلت، وبکم و امثال آن، روی دید کاربر تأثیرگذار بوده و اطلاعات و اشیای جدیدی به محیط واقعی اضافه می‌کند (بابایی سارویی و همکاران، ۱۴۰۰).

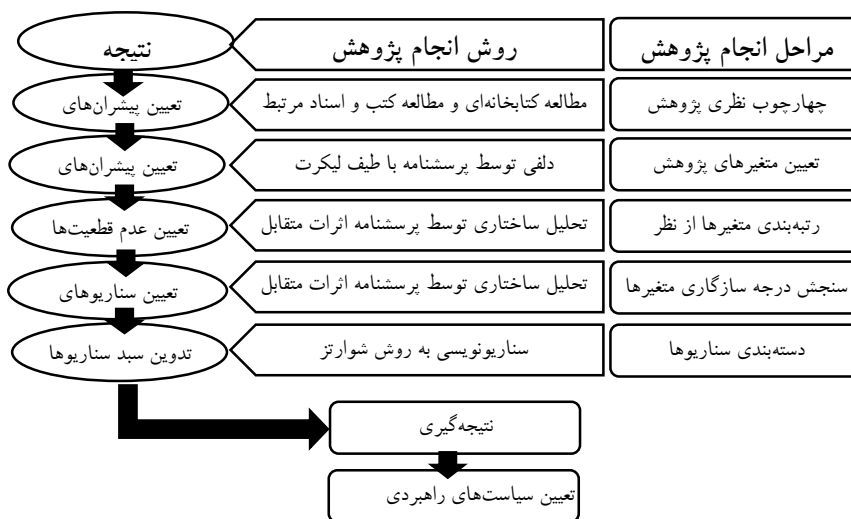
هوش مصنوعی: هوش مصنوعی، به توانایی انجام دادن کارهایی که به‌طور معمول، منتسب به موجودات هوشمند است، توسط یک رایانه دیجیتال یا رباتی که با یک رایانه کنترل می‌شود، گفته می‌شود. به‌طور کلی، این واژه به سیستم‌هایی اطلاق می‌شود که مجهز به سیستم فکری بشر هستند؛ مانند توانایی فکر کردن، کشف کردن معانی، تعمیم دادن، نتیجه گرفتن و یادگیری از تجربه گذشته (تخشید، ۱۴۰۰).

روش‌شناسی تحقیق

مطالعه حاضر، به‌لحاظ هدف، از نوع کاربردی و به‌لحاظ آینده‌پژوهی، اکتشافی است. هدف این مطالعه، تدوین سناریوهای محتمل آینده صنعت ساختمان، مبتنی بر فناوری‌های نوین است.

رویکردهای متفاوتی در سناریونویسی بکار می‌رود. در این پژوهش، از رویکرد عدم قطعیت‌های بحرانی که توسط پیتز شوارتز ارائه شده و یکی از پرکاربردترین رویکردهای سناریونویسی است، استفاده شده است (شوارتز، ۱۳۹۲). مزیت رویکرد عدم قطعیت‌های بحرانی، نسبت به دیگر روش‌های پیش‌بینی آینده، این است که تأثیرات احتمالی و روابط متقابل بین رویدادها و روندها، یک به یک مورد بررسی قرار می‌گیرد و سبب ارتقای صحت و دقت پیش‌بینی‌های آینده‌نگر می‌شود؛ زیرا روش‌های سنتی پیش‌بینی تکنولوژی، اغلب متکی به روندهای گذشته و تعمیم آن به آینده هستند و عدم قطعیت‌های آینده، در این روش‌ها نادیده گرفته شده است (Martin, 1995).

با تکیه بر این روش، پژوهش در ۷ مرحله مطابق شکل ۱ انجام شده است. نخست پیشران‌های اولیه تکنولوژیک مؤثر بر صنعت ساختمان، بر مبنای متون و منابع معتبر شناسایی شدند. در مرحله دوم، با استفاده از روش دلفی و توسط پرسشنامه‌ای با طیف لیکرت، از خبرگان خواسته شد تا میزان تأثیر هریک از پیشران‌های تعیین شده را بر آینده صنعت ساختمان در طیف ۱ تا ۵ (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) ارزیابی کنند. پیشران‌هایی که میانگین ۳ (و بالاتر) و سطح معناداری کمتر از ۵۰٪ (در آزمون نسبت سطح معناداری کمتر از ۵۰٪، نشان دهنده اجماع نظر خبرگان است) را در آزمون نسبت کسب کردند، به عنوان پیشران‌های نهایی تکنولوژیکی تعیین گردیدند. بعد از تعیین پیشران‌های نهایی، میزان اثرگذاری و اثرپذیری میان این متغیرها، به روش تحلیل ساختاری، توسط پرسشنامه ماتریس، اثرات متقابل (در طیفی بین ۱ تا ۳)، به خبرگان ارسال و توسط آن‌ها ارزیابی شد. در این مرحله، برای تحلیل پرسشنامه‌ها، از نرم‌افزار میک‌مک^۱ استفاده شد. بر مبنای نتایج بدست آمده، ۹ عامل کلیدی به عنوان عدم قطعیت‌های تکنولوژیک تأثیرگذار بر صنعت ساختمان، تعیین شد. در مرحله بعد، وضعیت‌های احتمالی هرکدام از عدم قطعیت‌ها، شناسایی و میزان تأثیرگذاری هرکدام از وضعیت‌ها، در صورت وقوع یا عدم وقوع وضعیت دیگر در پرسشنامه اثرات متقابل (در طیفی بین ۳ تا -۳)، با استفاده از نظرات خبرگان تعیین شد. در این مرحله، برای تحلیل داده‌ها، از نرم‌افزار کاربردی سناریویزارد استفاده شده است. مبتنی بر تحلیل صورت گرفته، سبد سناریوها، مشتمل بر سناریوهای قوی و محتمل، در ۴ گروه سناریو تدوین شد.



شکل ۱: روند انجام پژوهش

جامعه آماری پژوهش، از خبرگان صنعت ساختمان با خصوصیات زیر تشکیل شده است:

- مهندسان رشته‌های معماری، عمران، مکانیک، برق و شهرسازی.
- شاغل در دفاتر طراحی، پیمان‌کاری و مشاور.
- هیأت علمی دانشگاه، دارای سابقه تدریس در دروس مرتبط با تکنولوژی ساختمان.
- حداقل ۱۰ سال سابقه کار.
- مدرک تحصیلی کارشناسی ارشد و دکترای تخصصی یا دانشجوی دکتری.

مشخصات عمومی خبرگان که با تکنیک هدفمند، انتخاب شده‌اند، در جدول ۳ قابل ملاحظه است:

جدول ۳: مشخصات خبرگان

جنسیت	تعداد	سن	تعداد	سابقه کار تخصصی	تعداد	دانشگاه محل خدمت	تعداد
زن	۲	۳۰ تا ۴۰ سال	۳	بین ۱۰ تا ۱۵ سال	۷	سراسری	۳
مرد	۷	۴۰ تا ۵۰ سال	۵	بین ۱۵ تا ۲۰ سال	۲	آزاد	۵
-	-	بالتر از ۵۰ سال	۱	بیشتر از ۲۰ سال	-	غیر انتفاعی	۱
جمع	۹	جمع	۹	جمع	۹	جمع	۹
سطح تحصیلات	تعداد	رشته تحصیلی	تعداد	حوزه فعالیت	تعداد	مکان اشتغال	تعداد
دکتری تخصصی	۴	معماری	۵	طراحی	۱	دفتر طراحی	۳
دانشجوی دکتری	۳	مهندسی عمران	۲	نظارت	۲	مشاور	۲
ارشد	۲	مهندسی مکانیک	۲	اجرا	۳	شرکت پیمان‌کاری	۲

-	-	-	طراحی و نظارت	۲	شرکت مجری	۲
-	-	-	مدیریت	۱	-	-
جمع	۹	جمع	جمع	۹	جمع	۹

یافته‌ها و بحث

در گام نخست؛ تحقیق پیشران‌های تکنولوژیک اولیه تأثیرگذار بر آینده صنعت ساختمان، از طریق مطالعه کتابخانه‌ای و بررسی پژوهش‌های صورت گرفته، مطابق جدول ۲ تعیین گردید. در ادامه، به منظور نهایی کردن پیشران‌های اولیه، نظرسنجی از خبرگان (مرحله اول دلفی) انجام شد که طی آن با حذف زیرگروه «تکنولوژی‌های حوزه انرژی» و ادغام آن با زیرگروه «تکنولوژی-های حوزه ساخت»، تعداد زیرگروه‌ها به ۴ زیرگروه؛ با نام‌های حوزه ساخت، طراحی، تعمیر و نگهداری ساختمان و مدیریت، کاهش یافت. تعدادی از پیشران‌ها که دارای اشتراک و شباهت بودند، شناسایی و با هم تجمیع شدند و بعضی از پیشران‌ها، به دلیل وسعت زیرسیستم‌های آن‌ها، به دو یا چند عامل تفکیک شدند. در حوزه ساخت مدولاریزاسیون و پیش‌ساخته‌سازی، به دو عامل مجزا تفکیک شدند؛ پهیاد و ربات‌های ساختمانی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، سیستم شناسایی با امواج رادیویی با نام رباتیک و اینترنت اشیا، سیستم‌های فیزیکی سایبری، هوش مصنوعی، سازه‌های هوشمند و سیستم‌های تأسیساتی هوشمند، تحت عنوان سیستم‌های هوشمند سازه و تأسیسات در هم ادغام شدند. مصالح تحت تکنولوژی نانو، زیرمجموعه مصالح سبز قرار گرفتند و استانداردهای رتبه‌بندی پایداری ساختمان، به این حوزه اضافه شد. در حوزه طراحی واقعیت مجازی، واقعیت افزوده، داده‌های بزرگ و رایانش ابری تحت عنوان واقعیت مجازی و افزوده با هم ادغام شدند؛ نرم‌افزارهای نوین مدل‌سازی سه بعدی و نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی، تفکیک شدند. نتیجه کار، احصای ۱۸ پیشران در ۴ گروه به شرح جدول ۴ می‌باشد که در دور دوم دلفی به اجماع خبرگان رسید.

جدول ۴. تجمیع و ادغام پیشران‌های تکنولوژیکی تأثیرگذار بر صنعت ساختمان

ردیف	پیشران‌های نهایی تکنولوژیکی تأثیرگذار بر صنعت ساختمان
۱	نرم‌افزارهای نوین مدل‌سازی سه بعدی
۲	نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی
۳	اسکترهای لیزری
۴	اتوماسیون
۵	واقعیت مجازی و واقعیت افزوده
۶	پیش‌ساخته‌سازی
۷	مدولاریزاسیون
۸	اتوماسیون
۹	سیستم‌های هوشمند ساختمانی، مشتمل بر سیستم‌های هوشمند سازه و تأسیسات
۱۰	رباتیک
۱۱	پرینترهای سه بعدی

۱۲	مصالح سبز	
۱۳	سیستم‌های پاک و تجدیدپذیر تأمین انرژی	
۱۴	واقعیت مجازی و واقعیت افزوده	
۱۵	استانداردهای رتبه‌بندی پایداری ساختمان	
۱۶	نگهداری، تعمیر و بهره‌برداری	سیستم‌های نوین نگهداری و تعمیر ساختمان
۱۷	مدیریت	مدلسازی اطلاعات ساختمان (BIM)
۱۸		بلاک چین

جهت تعیین اثرگذاری و اثرپذیری متغیرها، پرسشنامه‌ای به روش تحلیل ساختاری (تکنیک اثرات متقابل)، حاوی ماتریس 18×18 برای گروه خبرگان ارسال شد. پرسشنامه‌های عودت یافته، با استفاده از نرم‌افزار میک‌مک، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود، ۷ عامل در ناحیه شمال شرقی نمودار قرار گرفته‌اند و دارای اثرگذاری و اثرپذیری بالایی هستند و ۲ عامل نیز در بالای ناحیه شمال غربی نمودار قرار گرفته‌اند که دارای تأثیرگذاری بالایی بر سیستم می‌باشند. از این رو، در مجموع ۹ عامل که دارای اثرگذاری و اثرپذیری بالایی بر سیستم هستند، به عنوان عدم قطعیت‌های کلیدی تعیین شده‌اند که به شرح ذیل می‌باشند: مدل-سازی اطلاعات ساختمان، بلاک‌چین، نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی، واقعیت مجازی و افزوده در طراحی و ساخت، سیستم‌های هوشمند سازه و تأسیسات، پرینترهای سه-بعدی، پیش‌ساخته‌سازی، مدولاریزاسیون و رباتیک.



۱- پرینترهای سه‌بعدی، ۲- سیستم‌های هوشمند سازه و تأسیسات، ۳- نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی، ۴- واقعیت مجازی و افزوده در طراحی ۵- مدل‌سازی اطلاعات ساختمان ۶- مدولاریزاسیون ۷- پیش‌ساخته‌سازی ۸- بلاک‌چین ۹- رباتیک ۱۰- نرم‌افزارهای نوین مدل‌سازی سه‌بعدی، ۱۱- اسکنرهای لیزری ۱۲- مصالح سبز ۱۳- اتوماسیون در ساخت ۱۴- واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در ساخت ۱۵- اتوماسیون در طراحی ۱۶- سیستم‌های پاک و تجدیدپذیر تأمین انرژی ۱۷- سیستم‌های نوین نگهداری و تعمیر ساختمان، ۱۸- استانداردهای رتبه‌بندی پایداری ساختمان

شکل ۲. نمودار اثرگذاری و اثرپذیری متغیرها

با توجه به تحولات و نااطمینانی‌های گسترده در آینده پیش‌رو، این عوامل تحت وضعیت‌های مختلفی، قابل تصور هستند که می‌توانند نقش حائز اهمیتی از نظر برنامه‌ریزی و تحقق اهداف بنیادین داشته باشند. بر همین اساس، تحلیل دقیق شرایط پیش‌رو و تعریف وضعیت‌های احتمالی، لازمه اصلی فرآیند برنامه‌ریزی و تدوین سناریوها خواهد بود. بنابراین، بعد از تعیین عدم قطعیت‌ها، شرایط احتمالی هریک از متغیرها تعیین شده است. در مجموع، ۲۷ وضعیت، برای ۹ عامل کلیدی تعریف گردیده است. این وضعیت‌ها برای هرکدام از عوامل متفاوت بوده و ویژگی مشترک آن‌ها در وجود طیفی از وضعیت‌های پیشرفت، رکود و نزول است. در جدول ۵، عوامل کلیدی و خلاصه‌ای از وضعیت‌های احتمالی آن‌ها در آینده پیش‌رو، قابل ملاحظه است.

جدول ۵. وضعیت‌های احتمالی عوامل کلیدی

عوامل کلیدی		حالت‌ها	وضعیت
(A)	مدل‌سازی اطلاعات ساختمان	استفاده از مدل‌سازی اطلاعات، در سطحی گسترده در ساختمان‌سازی	پیشرفت
		استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان به‌صورت ادامه روند فعلی	رکود
		عدم استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در ساختمان‌سازی	نزول
(B)	نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی	استفاده گسترده از نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی در طراحی ساختمان	پیشرفت
		استفاده از نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی؛ همچون روند فعلی	رکود
		عدم استفاده از نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی در طراحی ساختمان	نزول
(C)	واقعیت مجازی و افزوده در طراحی و ساخت	استفاده گسترده از واقعیت مجازی و افزوده در طراحی و ساخت ساختمان	پیشرفت
		استفاده از واقعیت مجازی و افزوده در طراحی و ساخت ساختمان؛ همچون روند فعلی	رکود
		عدم استفاده از واقعیت مجازی و افزوده در طراحی ساختمان	نزول
(D)	سیستم‌های هوشمند ساختمانی	طراحی ساختمان‌های تمام هوشمند	پیشرفت
		طراحی ساختمان‌های نیمه‌هوشمند	رکود
		طراحی ساختمان‌های غیرهوشمند	نزول
(E)	پرینترهای سه‌بعدی	استفاده گسترده از پرینترهای سه‌بعدی در ساختمان‌سازی	پیشرفت
		استفاده اندک از پرینترهای سه‌بعدی در ساختمان‌سازی	رکود
		عدم استفاده از پرینترهای سه‌بعدی در ساختمان‌سازی	نزول
(F)	پیش‌ساخته‌سازی	طراحی و ساخت ساختمان‌های کاملاً پیش‌ساخته	پیشرفت
		طراحی و ساخت ساختمان‌های نیمه‌پیش‌ساخته	رکود
		عدم استفاده از پیش‌ساخته‌سازی در طراحی و ساخت ساختمان‌ها	نزول
(G)	مدولاریزاسیون	طراحی ساختمان‌های تمام مدوله	پیشرفت
		استفاده از مدول در طراحی و ساخت برخی از اجزای ساختمان	رکود

(H)	رباطیک	عدم استفاده از مدول در طراحی و ساخت ساختمان	تزل
		استفاده گسترده از ربات‌ها در ساختمان سازی	پیشرفت
		استفاده اندک از ربات‌ها در ساختمان‌سازی	رکود
(I)	بلاک چین	عدم استفاده از ربات‌ها در ساختمان‌سازی	تزل
		استفاده گسترده از بلاک چین در ساختمان‌سازی	پیشرفت
		استفاده اندک از بلاک چین در ساختمان‌سازی	رکود
		عدم استفاده از بلاک چین در ساختمان‌سازی	تزل

جدول ۶. جزئیات سناریوهای محتمل

سناریو	مدل سازی اطلاعات ساختمان	ترم افزارهای شبیه سازی مصرف انرژی	واقعیت مجازی و افزوده در طراحی و ساخت	سیستم های هوشمند ساختمانی	پرینترهای سه بعدی پیش ساخته سازی	مدولاریزاسیون	رباطیک	بلاک چین
سناریو ۱	استفاده از مدل سازی اطلاعات در سطحی گسترده	استفاده از ترم افزارهای نوین شبیه سازی مصرف انرژی	استفاده از واقعیت مجازی و افزوده؛ همچون روند فعلی	طراحی ساختمان های تمام هوشمند	استفاده گسترده از پرینترهای سه بعدی کاملاً پیش ساخته	طراحی ساختمان های تمام مدوله	استفاده گسترده از ربات ها	استفاده گسترده از بلاک چین
سناریو ۲	استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان به صورت ادامه روند فعلی	استفاده از ترم افزارهای شبیه سازی مصرف انرژی همچون روند فعلی	استفاده از واقعیت مجازی و افزوده؛ همچون روند فعلی	طراحی ساختمان های نیمه هوشمند	استفاده گسترده از پرینترهای سه بعدی کاملاً پیش ساخته	طراحی ساختمان های تمام مدوله	استفاده گسترده از ربات ها	استفاده گسترده از بلاک چین
سناریو ۳	عدم استفاده از مدل سازی اطلاعات در ساختمان سازی	عدم استفاده از ترم افزارهای نوین شبیه سازی مصرف انرژی	استفاده از واقعیت مجازی و افزوده؛ همچون روند فعلی	طراحی ساختمان های غیر هوشمند	استفاده گسترده از پرینترهای سه بعدی کاملاً پیش ساخته	طراحی ساختمان های تمام مدوله	استفاده گسترده از ربات ها در	استفاده گسترده از بلاک چین
سناریو ۴	استفاده از مدل سازی اطلاعات در سطحی گسترده	استفاده از ترم افزارهای نوین شبیه سازی مصرف انرژی	استفاده از واقعیت مجازی و افزوده؛ همچون روند فعلی	طراحی ساختمان های تمام هوشمند	عدم استفاده از پرینترهای سه بعدی پیش ساخته	استفاده از مدول در طراحی و ساخت برخی از اجزای ساختمان ها	استفاده گسترده از ربات ها	استفاده گسترده از بلاک چین
سناریو ۵	استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان به صورت ادامه روند فعلی	استفاده از ترم افزارهای شبیه سازی مصرف انرژی؛ همچون روند فعلی	استفاده از واقعیت مجازی و افزوده؛ همچون روند فعلی	طراحی ساختمان های نیمه هوشمند	عدم استفاده از پرینترهای سه بعدی کاملاً پیش ساخته	استفاده از مدول در طراحی و ساخت برخی از اجزای ساختمان ها	عدم استفاده از ربات ها	استفاده از بلاک چین؛ همچون روند فعلی
سناریو ۶	استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان به صورت ادامه روند فعلی	استفاده از ترم افزارهای شبیه سازی مصرف انرژی؛ همچون روند فعلی	استفاده از واقعیت مجازی و افزوده؛ همچون روند فعلی	طراحی ساختمان های نیمه هوشمند	عدم استفاده از پرینترهای سه بعدی پیش ساخته	استفاده از مدول در طراحی و ساخت برخی از اجزای ساختمان ها	عدم استفاده از ربات ها	عدم استفاده از بلاک چین
سناریو ۷	عدم استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان	عدم استفاده از ترم افزارهای نوین شبیه سازی مصرف انرژی	استفاده از واقعیت مجازی و افزوده؛ همچون روند فعلی	طراحی ساختمان های غیر هوشمند	عدم استفاده از پرینترهای سه بعدی پیش ساخته	استفاده از مدول در طراحی و ساخت برخی از اجزای ساختمان ها	عدم استفاده از ربات ها	عدم استفاده از بلاک چین
سناریو ۸	استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان به صورت ادامه روند فعلی	استفاده از ترم افزارهای شبیه سازی مصرف انرژی؛ همچون روند فعلی	استفاده از واقعیت مجازی و افزوده؛ همچون روند فعلی	طراحی ساختمان های غیر هوشمند	عدم استفاده از پرینترهای سه بعدی در طراحی و ساخت ساختمان ها	عدم استفاده از مدول در طراحی و ساخت ساختمانها	عدم استفاده از رباتها	عدم استفاده از بلاک چین

با توجه به وضعیت های احتمالی تعریف شده، ماتریس اثرات متقاطع (۲۷*۲۷)، تهیه و در اختیار گروه خبرگان قرار داده شد. متخصصان، با طرح این پرسش که «اگر هریک از وضعیت ها، در صنعت ساختمان اتفاق بیفتد، چه تأثیری بر وقوع یا عدم وقوع سایر وضعیت ها خواهد

۳، علاوه بر دو مورد فوق، ۳ متغیر پرینترهای سه‌بعدی، پیش‌ساخته‌سازی، مدولاریزاسیون نیز به‌طور مشترک پیشرفت کرده‌اند. در سناریوی شماره ۲، هیچ‌یک از متغیرها نزول نداشته‌اند و ۴۴ درصد باقی‌مانده متغیرها؛ شامل مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی، واقعیت مجازی و افزوده در طراحی و ساخت و سیستم‌های هوشمند ساختمانی در حالت رکود قرار دارند. این در حالی است که در سناریوی شماره ۳، تنها عامل واقعیت مجازی و افزوده در طراحی و ساخت (معادل ۱۱ درصد)، در حالت ایستا قرار دارد و سه متغیر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی، سیستم‌های هوشمند ساختمانی؛ یعنی معادل ۳۳ درصد کل عوامل در حالت نزول قرار گرفته است. شرایط در سناریوی شماره ۴، کمی متفاوت از سناریوهای ۲ و ۳ است. در این سناریو، علاوه بر دو متغیری که به‌طور مشترک در هر سه سناریو، در وضعیت پیشرفت قرار دارند، متغیرهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی و سیستم‌های هوشمند ساختمانی، در حالت پیشرفت قرار دارند و تنها عامل پرینترهای سه‌بعدی (معادل ۱۱ درصد) در وضعیت نزول قرار دارد و ۳۳ درصد عوامل نیز شامل: واقعیت مجازی و افزوده در طراحی و ساخت، پیش-ساخته‌سازی و مدولاریزاسیون در حالت رکود قرار گرفته‌اند.

با بررسی فراوانی هریک از وضعیت‌های پیشرفت، رکود و نزول، در مجموع سناریوهای ۲، ۳ و ۴ مشخص شد. سناریوی معطوف به پیشرفت، ۵۶ درصد دارای وضعیت پیشرفت، ۳۰ درصد وضعیت رکود و ۱۴ درصد وضعیت نزول است.

سناریوی سوم: معطوف به رکود

در سناریوی شماره ۵ و ۶، بیشترین درصد مربوط به متغیرهای ایستا است. همان‌طور که در جدول ۶ دیده می‌شود، در سناریوی ۵، ۵۶ درصد تکنولوژی‌های صنعت ساختمان؛ شامل مدل-سازی اطلاعات ساختمان، نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی، واقعیت مجازی و افزوده در طراحی و ساخت، سیستم‌های هوشمند ساختمانی و مدولاریزاسیون را که باقی‌مانده‌اند. این در حالی است که تنها عامل پیش‌ساخته‌سازی (معادل ۱۱ درصد) پیشرفت و عوامل پرینترهای سه‌بعدی، رباتیک و بلاک‌چین (معادل ۴۴ درصد) نزول داشته‌اند. در سناریوی ۶، هیچ‌گونه پیشرفتی در تکنولوژی صورت نگرفته است و ۶۷ درصد متغیرها؛ شامل مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی، واقعیت مجازی و افزوده در طراحی و ساخت، سیستم‌های هوشمند ساختمانی، پیش‌ساخته‌سازی و مدولاریزاسیون ایستا مانده‌اند و ۳ عامل دیگر (معادل ۳۳ درصد) شامل پرینترهای سه‌بعدی، رباتیک و بلاک‌چین نزول داشته‌اند.

سناریوی چهارم: معطوف به نزول

در سناریوهای ۷، ۸، نزول متغیرها غالب می‌باشد. مقدار نزول در هر دو سناریو، ۶۷ درصد است؛ ولی متغیرهایی که نزول داشتند، متفاوت می‌باشند. متغیرهایی که در سناریوی شماره ۷

تنزل یافته‌اند، شامل: مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی، سیستم‌های هوشمند ساختمانی، پرینترهای سه‌بعدی، رباتیک و بلاک‌چین و در سناریوی شماره ۸، شامل: سیستم‌های هوشمند ساختمانی، پرینترهای سه‌بعدی، پیش‌ساخته‌سازی، مدولاریزاسیون، رباتیک و بلاک‌چین می‌باشد. متغیرهای باقی‌مانده (معادل ۳۳ درصد)، در هر دو سناریو حالت ایستا دارند و این عوامل، در سناریوی شماره ۷؛ شامل واقعیت مجازی و افزوده در طراحی و ساخت، پیش‌ساخته‌سازی و مدولاریزاسیون و در سناریوی شماره ۸ شامل: پرینترهای سه‌بعدی، پیش‌ساخته‌سازی، مدولاریزاسیون رباتیک و بلاک‌چین می‌باشد.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر، با ترکیبی از روش‌های کمی (پرسشنامه) و روش‌های کیفی (مطالعات کتابخانه‌ای)، به شناسایی سناریوهای محتمل آینده صنعت ساختمان مبتنی بر تکنولوژی‌های نوین پرداخته است. روش سناریونویسی، از آن جهت انتخاب شد؛ زیرا در این روش با شناخت عدم قطعیت‌های آینده می‌توان چندین داستان برای آینده‌نگاشت و نسبت به دیگر روش‌های آینده-پژوهی جوانب بیشتری مورد توجه قرار می‌گیرد.

جهت دستیابی به هدف پژوهش، ابتدا از طریق مطالعه اسناد مربوط، ۱۸ نیروی پیشران شناسایی شد که با ارائه پرسشنامه اثرات متقابل به خبرگان، ۹ عامل مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی، واقعیت مجازی و افزوده در طراحی و ساخت، سیستم‌های هوشمند ساختمانی، پرینترهای سه‌بعدی، پیش‌ساخته‌سازی، مدولاریزاسیون، رباتیک و بلاک‌چین، به‌عنوان عدم قطعیت‌های آینده صنعت ساختمان، مبتنی بر تکنولوژی‌های نوین تعیین شدند. برای هر یک از عدم قطعیت‌های شناسایی شده، سه حالت پیشرفت، رکود و نزول در نظر گرفته شد. به این ترتیب، با تشکیل یک ماتریس 27×27 و نظرسنجی از خبرگان، میزان تأثیرگذاری هر کدام از وضعیت‌ها، در صورت وقوع یا عدم وقوع وضعیت دیگر تعیین گشت. نتیجه نظرسنجی توسط نرم‌افزار سناریوویزارد، مورد تحلیل قرار گرفت و خروجی شامل: ۶ سناریوی قوی و ۲ سناریوی محتمل بود. با توجه به اشتراکات، سناریوها در ۴ گروه به نام‌های «پیشرفت»، «معطوف به پیشرفت»، «معطوف به رکود» و «معطوف به نزول» دسته‌بندی شدند. در سناریوی اول، همه عوامل کلیدی تعیین شده، بجز یک عامل، در وضعیت پیشرفت قرار دارند. با توجه به غلبه ۸۹ درصدی تکنولوژی بر صنعت ساختمان، این سناریو، بیان‌کننده وضعیت پیشرفت حتمی در تکنولوژی است. در سناریوی معطوف به پیشرفت، ۵۶ درصد عوامل کلیدی در وضعیت پیشرفت قرار دارند. این سناریو نیز با توجه به غالب بودن وضعیت پیشرفت، رو به توسعه و گسترش است. در سناریوی معطوف به رکود، وضعیت غالب سناریوها، ایستایی است و این سناریو، بیانگر ادامه یافتن روند موجود است. سناریوی معطوف به نزول که بیانگر نزول در

کاربرد تکنولوژی‌های نوین در صنعت ساختمان می‌باشد، نامحتمل و دور از ذهن به نظر می‌رسد؛ زیرا با توجه به پیشرفت روزافزون تکنولوژی در همه صنایع، سناریویی که در آن هیچ‌گونه پیشرفتی در تکنولوژی‌های کاربردی صنعت ساختمان صورت نمی‌گیرد، قابل تصور نیست. به-همین خاطر، سناریوی معطوف به نزول، از مجموع سناریوها کنار گذاشته می‌شود.

چنانچه سناریوی «معطوف به رکود»، پیش روی آینده صنعت ساختمان باشد، روندهای موجود در این حوزه تداوم خواهند یافت و این صنعت، با تغییرات کوچکی مواجه خواهد شد؛ لذا علم و امکانات موجود در این حوزه، پاسخگو خواهد بود؛ اما در صورت وقوع سناریوهای «پیشرفت» و «معطوف به پیشرفت»، صنعت ساختمان با تکنولوژی‌های نوینی مواجه خواهد شد که می‌تواند منشأ تغییرات شگرفی در این حوزه باشد. در صورتی که صنعت ساختمان، خود را برای رویارویی با تکنولوژی‌های نوین و حجم وسیع تغییرات آماده نکرده باشد، این صنعت در سال‌های آتی، دچار بحران خواهد شد. جهت جلوگیری از روبرو شدن با وضعیت بحرانی، صنعت ساختمان باید خود را برای مواجه با سناریوی «پیشرفت» که در آن بیشترین پیشرفت در عدم قطعیت‌های تکنولوژیکی صورت می‌گیرد، آماده کند. در این سناریو، ۸ عدم قطعیت مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی، سیستم‌های هوشمند ساختمانی، پرینترهای سه‌بعدی، پیش‌ساخته‌سازی، مدولاریزاسیون، رباتیک، بلاک‌چین در وضعیت پیشرفت قرار دارند و تنها یک عدم قطعیت واقعیت مجازی و افزوده در طراحی و ساخت در حالت رکود قرار گرفته است. با توجه به حجم وسیع پیشرفت، اتخاذ راهبردهای اساسی جهت رویارویی با تکنولوژی‌های نوین در عرصه صنعت ساختمان، ضروری است تا همه دست‌اندرکاران صنعت ساختمان، توانایی‌های لازم جهت کار در این بستر پیشرفته را کسب نمایند. تعدادی از این راهبردها که به نظر نویسندگان دارای اهمیت بسیار زیادی هستند، در ذیل آورده می‌شود:

۱- اختصاص بودجه به بخش خصوصی و دولتی، جهت انجام طرح‌های پژوهشی درباره تکنولوژی‌های نوینی که در حوزه صنعت ساختمان به عرصه جهانی وارد شد می‌شوند.

۲- ایجاد مراکز آموزشی مهارت‌محور، جهت آموزش مهارت‌های مورد نیاز کارگران در زمینه تکنولوژی‌های نوین صنعت ساختمان.

۳- بررسی مداوم و به‌روز کردن سرفصل‌های درسی آموزش عالی کشور، متناسب با تکنولوژی‌های نوین؛ تا فارغ‌التحصیلان و مهندسان رشته‌های مرتبط دارای آگاهی و مهارت لازم در این عرصه باشند.

۴- استانداردسازی تکنولوژی‌های نوین وارداتی متناسب با شرایط ایران.

کتابنامه

- بابایی سارویی، مصطفی؛ دانایی، ابوالفضل و زرگر، سید محمد. (۱۴۰۰). واکاوی تأثیر عامل سرمایه اجتماعی در پذیرش فناوری‌های نوین رسانه‌ای (مورد مطالعه: فناوری واقعیت افزوده). *فصلنامه مطالعات ملی*، ۸۷(۲۲)، ۱۸۱-۱۵۹.
- تخشید، زهرا. (۱۴۰۰). مقدمه‌ای بر چالش‌های هوش مصنوعی در حوزه مسئولیت مدنی. *حقوق خصوصی*، ۱۸(۱)، ۲۵۰-۲۲۷.
- خلیل، طارق. (۱۳۹۵). مدیریت تکنولوژی: رمز موفقیت در رقابت و خلق ثروت، داود ایزدی و سید محمد اعرابی، ایزدی، تهران دفتر پژوهشهای فرهنگی.
- شواب، کلاوس. (۱۳۹۶). *انقلاب صنعتی چهارم*، ایزد نبی‌پور، بوشهر: انتشارات دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر.
- شوارتز، پیتر. (۱۳۹۲). *هندورنگری: برنامه‌ریزی در دنیایی با عدم قطعیت*، ترجمه عزیز علیزاده، تهران: مرکز آینده‌پژوهی علوم و فناوری دفاعی، موسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی.
- قربانی نوع، م. (۱۴۰۰). برنامه‌ریزی، کنترل و مدیریت پروژه با استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان. *نشریه عمران پروژه*، ۳(۲)، ۹۵-۸۰.

References

- Agenbag, H., Amoah, C. (2021). The impact of modern construction technology on the workforce in the construction industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 654.
- Ahmad, S.N., Prakash, O. (2022). Thermal performance evaluation of an earth-to-air heat exchanger for the heating mode applications using an experimental test rig. *National Institute of Technology Patna*, 43(1), 185-207.
- Alaloul, W.S., Liew, M.S., Wan Abdullah Zawawi, N.A., Kennedy, I.B. (2020). Industrial Revolution 4.0 in the construction industry: Challenges and opportunities for stakeholders. *Ain Shams Engineering Journal*, 11, 225-230.
- Algabroun, H., Bokrantz, J., Al-Najjar, B. Skoogh, A. (2022). Development of digitalised maintenance – a concept. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 28(2), 367-390.
- Armstrong, G., Allwinkle, E. S. (2017), Architectural Technology: the technology of architecture. *Back to the Future: The Next 50 Years* (51st International Conference of the Architectural Science Association (ANZAScA)), The Architectural Science Association and Victoria University of Wellington. 803-812.
- Babaei Sarouei, M., Danayi, A., Zargar, S.M. (2021). Analyzing the Effect of Social Capital on the Acceptance of Modern Media Technologies (Case Study: Augmented Reality Technology). *National Studies Journal*, 87(22), 159-181. (In Persian)

- Baheti, R., Gill, H. (2011). Cyber-Physical Systems. IEEE The Impact of Control Technology, 161-166.
- Bello, S.A., Oyedele, L.O., Akinade, O.O., Bilal, M., Delgado, J.M.D., Akanbi, L.A., Ajayi, A.O., Owolabi, H.O. (2021). Cloud computing in construction industry: Use cases, benefits and challenges. *Automation in Construction*. 122.
- Chang, S., Francis, M.F., Li, H., Luo, X. (2022). *Evolution pathways of robotic technologies and applications in construction*. Advanced Engineering Information. V.51
- Das, M., Tao, T., Liu, Y., Cheng, J.C.P. (2021). A blockchain-based integrated document management framework for construction applications. *Automation in construction*. V.133.
- Dahbi, A., Laaouan, I., Hajji, R., Ben Brahim, Y. (2022). A Cloud-Based Mobile Augmented Reality Application for BIM Collaboration. *Proceedings of the 6th International Conference on Virtual and Augmented Reality Simulations*. 27-33.
- Ernstsen, S. N., Whyte, J., Thuesen, C., & Maier, A. (2021). How Innovation Champions Frame the Future: Three Visions for Digital Transformation of Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(1),
- Forcael, E., Ferrari, I., Opazo-Vega, A., Pulido-Arcas, J.A. (2020). Construction 4.0: A Literature Review. *Sustainability*. 12(22).
- Garbett, J., Hartley, T., Heesom, D. (2021). A multi-user collaborative BIM-AR system to support design and construction. *Automation in Construction*, 122,
- Ghorbani, S. (2021). Project planning, control and management using building information modeling. *Civil and Project Journal*. 3(2). 81-95. (In Persian)
- Gudlaugsson, B., Ahmed, T., Dawood, H., Ogwumike, C., Dawood, N. (2021). Application of Cost Benefits Analysis for the Implementation of Renewable Energy and Smart Solution Technologies: A Case Study of InteGRIDy Project. *Environmental sciences proceedings*, 11 (15).
- Guo, X., Shen, Z., Teng, X., Zhao, Z. (2020). *Using virtual reality (VR) simulation to help developing a smart meeting space with AI Product to support moderator*. International Conference on Science in Engineering and Technology (ICoSiET 2020).
- Huang, S., Xu, W., Li, Y. (2022). *The impact of fabrication systems on 3D concrete printing building forms*. Frontiers of Architectural research.
- Iturrald, K., Pan, W., Linner, T., Bock, T. (2022). *Automation and robotic technologies in the construction context: research experiences in prefabricated façade modules*. Rethinking Building Skins Transformative Technology and Research Trajectories: Woodhead publishing series in civil and structural engineering. 475-493.
- Kasim, N., Amirah Razali, S., Kasim, R. (2021). Reinforce Technology IR 4.0 Implementation for Improving Safety Management in Construction Site. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*. 12(3), 289-298.

- Kavuri, A.S., Soetanto, R., Goodier, C., Murguia, D., Szczygiel, M. (2020). Scenarios for the Digitalisation of the Construction Industry. *Proceedings of the 36th Annual ARCOM Conference*, 7-8 September. UK, Association of Researchers in Construction Management, 425-434.
- Khalil, T. (2017). *Technology Management: The Key to Success in Competition and Wealth Creation*. Translated by Seyed Mohammad Arabi & Davood Izadi. Tehran: Cultural Research Office. (In Persian)
- Kyungki Kim, K., Peavy, M. (2022). BIM-based semantic building world modeling for robot task planning and execution in built environments. *Automation in Construction*, 138.
- Lavikka, R., Kallio, J., Casey, T., Airaksinen, M. (2018). Digital disruption of the AEC industry: technology-oriented scenarios for possible future development paths. *Construction Management and Economics*. 36(11). 635-650.
- Len, T.K., Soon Ern, P.A., Lin, P.Y. (2021). Investigating Significant Issues of BIM Implementation in Industrialised Building System Design and Production Process. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*. 12(3), 215-226
- Manzoor, B., Othman, I., Pomares, J. C. (2021). Digital Technologies in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) Industry—A Bibliometric—Qualitative Literature Review of Research Activities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 18(11).
- Martin, B. R. (1995). Foresight in Science and Technology. *Technology Analysis & Strategic Management*, 7(2), 139-168.
- Matana, G., Simon, A., Godinho Filho, M., Helleno, Andre. (2020). Method to assess the adherence of internal logistics equipment to the concept of CPS for industry 4.0. *International Journal of Production Economics*. 228.
- Noor Akmal Adillah, I., Mohd Nazareth, M.Y., Hamimah, A. (2021). BIM Adoption in Managing Construction Risks Amongst Malaysian Quantity Surveyors: Current Practice and Challenges. *Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*. 12(3), 166-175.
- Olsson, N. O. E., Arica, E., Woods, R., Madrid, J. A. (2021). Industry 4.0 in a project context: Introducing 3D printing in construction projects. *Project Leadership and Society*. 2.
- Omri, A., Belaïd, F. (2021). Does renewable energy modulate the negative effect of environmental issues on the socio- conomic welfare?. *Journal of Environmental Management*, 278.
- Osunsanmi, T.O., Aigbavboa, C., Oke, A. (2018). Construction 4.0: The Future of The Construction Industry in South Africa. *International Journal of Civil and Environment Engineering*. 12(3), 206-212.
- Perrier, N., Bled, A., Bourgault, M., Cousin, N., Danjou, C., Pellerin, R., Roland, T. (2020). Construction 4.0: a survey of research trends. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, Vol. 25, pg. 416-437,

- Regona, M., Yigitcanlar, T., Xia, B., Li, R.Y.M., (2022). *Artificial intelligent technologies for the construction industry: How are they perceived and utilized in Australia?*. Journal of open innovation: Technology, Market and complexity. 8(16).
- Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. Translated by Iraj Nabipour. Bushehr: Publication of Bushehr University of Medical Sciences and Health Services. (In Persian)
- Schwartz, P. (2013). *The Art of The Long View: Planning for The Future in an Uncertain World*. Translated by Aziz Alizadeh. Tehran: Defense Industries Educational and Research Institute, Center for Future Studies in Defense Science and Technology. (In Persian)
- Singh, B., Asati, A. K., Kumar, R. (2021). Evaluation of the Cooling Potential of Earth Air Heat Exchanger Using Concrete Pipes. *International Journal of Thermophysics*, 42.
- Tahmasebinia, F., Sepasgozar, S.M.E., Shirowzhan, S., Niemela, M., Tripp, A., Nagabhyrava, S., Ko, K., Mansuri, Z., Alonso-Marroquin, F. (2020). Criteria development for sustainable construction manufacturing in Construction Industry 4.0: Theoretical and laboratory investigations. *Construction Innovation*, 20(3), 379-400.
- Takhshid, Z. (2021). An Introductory Study on the Challenges of Artificial Intelligence in Tort Law. *Private law*. 18(1). 227-250. (In Persian)
- Tetik, M., Peltokorpi, A., Seppänen, O., Holmstrom, J. (2019). Direct Digital Construction: Technology-Based Operations Management Practice for Continuous Improvement of Construction Industry performance. *Automation in Construction*. 107, 1-13.
- Thi Huong, Q. T., Quang, P.L., Hoai, N.L. (2021). Applying Bim and Related Technologies for Maintenance and Quality Management of Construction Assets in Vietnam. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*. 12(5), 125-135.
- Woo, J., Shin, S., Asutosh, A. T., Li, J., Kibert, C.J. (2020). An Overview of State of the Art Technologies for Data-Driven Construction. *Proceedings of the 18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*. 1323-1334.
- World Economic Forum, (2018). *Shaping the Future of Construction: Future Scenarios and Implications for the Industry*.
- Xu, Y., Chung, H.Y., Chi, M. (2022). *Blockchain in the AECO industry: Current status, key topics, and future research agenda*. *Automation in Construction*. V.134.
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., Newman, S. T. (2017). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*. 3(5), 616–630.