



## 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 فزاینده‌ای متأثر از تکنولوژی‌های نوین است. به منظور اتخاذ راهبردهای مناسب در رویارویی با تکنولوژی‌های نوین، شناخت آینده‌های محتمل صنعت ساختمان، امری ضروری است. پژوهش حاضر، با هدف تبیین عدم قطعیت‌های تکنولوژیک و تدوین سناریوهای آینده صنعت ساختمان انجام شده است.

**روش:** پژوهش حاضر از لحاظ هدف، کاربردی است و با ترکیبی از روش‌های کمی و کیفی انجام شده است. نخست؛ برای تعیین پیشران‌های تکنولوژیک، از روش مطالعه کتابخانه‌ای، سپس جهت تبیین عدم قطعیت‌های 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.

**یافته‌ها:** 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 داده‌ها، توسط نرم‌افزار سناریو ویزارد، بیانگر وقوع هشت سناریوی قوی و محتمل می‌باشد. پس از دسته‌بندی نتایج، سید سناریوها، مشتمل بر چهار گروه سناریوی پیشرفت، معطوف به پیشرفت، معطوف به رکود و معطوف به نزول تدوین شده است.

**نتیجه‌گیری:** در سناریوی پیشرفت، ۸۹ درصد عدم قطعیت‌های تکنولوژیک، در وضعیت توسعه کاربرد قرار گرفته‌اند. 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، هیچ‌گونه پیشرفتی در کاربرد عدم قطعیت‌های تکنولوژیک صورت نگرفته و در وضعیت ایستا قرار گرفته‌اند. در سناریوی معطوف به نزول، عدم قطعیت‌های تکنولوژیک، در وضعیت کاهش کاربرد قرار گرفته‌اند.

**واژگان کلیدی:** آینده‌پژوهی، سناریونویسی، عدم قطعیت، تکنولوژی‌های 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 تکنولوژی‌های پیشرفته، ناگزیر به استفاده از تکنولوژی‌های نوظهور و فوق پیشرفته 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 تکنولوژی‌های 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 هر یک 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، سید 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<sup>۱</sup> 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 هر یک 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 سه‌بعدی <sup>۲</sup>	(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 <sup>۳</sup>	(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 Huang et al., 2021), (Regona et al., 2022)
بلاک‌چین <sup>۴</sup>	(Woo et al., 2020), (Das et al., 2021), (Xu et al., 2022)
بهباد <sup>۵</sup>	(Perrier et al., 2020), (Woo et al., 2020), (Agenbag and Amoah, 2021)
چاپگر سه‌بعدی ساختمان <sup>۶</sup>	(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 <sup>۱</sup>
(Zhong et al., 2017), (Bello et al., 2021), (Kasim et al., 2021), (Dahbi et al., 2022)	رایانش ابری <sup>۲</sup>
(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)	ریاتیک
(Alaloul et al., 2020), (Perrier et al., 2020), (Garbett et al., 2021), (Woo et al., 2020), (Thi Huong et al., 2021)	سیستم اطلاعات جغرافیایی <sup>۳</sup> و شناسایی با امواج رادیویی <sup>۴</sup>
(Zhong et al., 2017), (Alaloul et al., 2020), (Matana et al., 2020), (Kasim et al., 2021),	سیستم‌های فیزیکی سایبری <sup>۵</sup>
(Alaloul et al., 2020), (Kasim et al., 2021)	سیستم‌های شبیه‌سازی سه‌بعدی
(Thi Huong 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 Huong et al., 2021), (Dahbi et al., 2022), (Kyungki Kim & Peavy, 2022), (Regona et al., 2022)	مدل‌سازی اطلاعات ساختمان <sup>۶</sup>
(Alaloul et al., 2020), (Olsson et al., 2021), (Huang, 2022), (Iturralde et al., 2022)	مدولاریزاسیون و پیش‌ساخته-سازی <sup>۷</sup>
(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 Huong et al., 2021), (Dahbi et al., 2022)	واقعیت مجازی و واقعیت افزوده <sup>۸</sup>
(Guo et al., 2020), (Woo et al., 2020), (Regona et al., 2022)	هوش مصنوعی، سیستم‌های هوشمند <sup>۹</sup>

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

به‌عنوان 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، به‌صورت 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، به‌گونه‌ای 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	ترم افزارهای نوین مدل‌سازی سه‌بعدی
اینترنت اشیا	ترم افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی
برینتر سه‌بعدی	اسکنرهای لیزری
بهیاد	واقعیت مجازی
ربات‌های ساختمانی	واقعیت افزوده
سازه‌های هوشمند	رایانش ابری
سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم شناسایی با امواج رادویی	داده‌های بزرگ
سیستم‌های تأسیساتی هوشمند	هوش مصنوعی
سیستم‌های فیزیکی سایبری	تکنولوژی‌های حوزه انرژی
مدولاریزاسیون و پیش‌ساخته‌سازی	سیستم‌های یک و تجدیدپذیر انرژی
مصالح تحت تکنولوژی نانو	تکنولوژی‌های حوزه مدیریت
تکنولوژی‌های تعمیر و نگهداری ساختمان	بلاک‌چین
سیستم‌های نوین تعمیر و نگهداری ساختمان	مدل‌سازی اطلاعات ساختمان

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

اسکنر لیزری: اسکنر لیزری، یک ربات ساختمانی است که توسط کامپیوتر هدایت می‌شود. اسکنر، مجهز به دوربین فتوگرامتری است که بدون نیاز به رفلکتور، می‌تواند 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 می‌کند.

بلاک‌چین: بلاک‌چین، یک پایگاه داده توزیع شده و مشترک است که ابزارهای ذخیره‌سازی آن، به یک پردازنده مشترک متصل نیستند. در واقع بلاک‌چین، لیستی از اطلاعات به نام بلاک است که هر بلاک، به بلاک پیشین متصل است و اطلاعات درون آن‌ها، با استفاده از ابزار رمزنگاری، محافظت می‌شود. از موارد استفاده آن در صنعت ساختمان، می‌توان به قراردادهای هوشمند، استفاده در فرایند گردش کار و تسهیل سیستم نظارت و بازرسی ساختمان اشاره کرد.

چاپگر سه‌بعدی ساختمان: از چاپگر سه‌بعدی، برای ساخت اشیا و اجسام سه‌بعدی استفاده می‌شود. در این روش، لایه‌های متوالی یک نمونه، توسط کامپیوتر طراحی می‌شود. اشیایی که توسط این چاپگرها ساخته می‌شوند، می‌توانند هر شکل، اندازه یا آرایش هندسی داشته باشند. چاپگرهای سه‌بعدی ساختمان، به‌طور متوالی، مواد را روی یک سطح می‌ریزد و این فرایند تا ساخت کامل ادامه می‌یابد.

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 چندبُعدی 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 چندبُعدی 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).

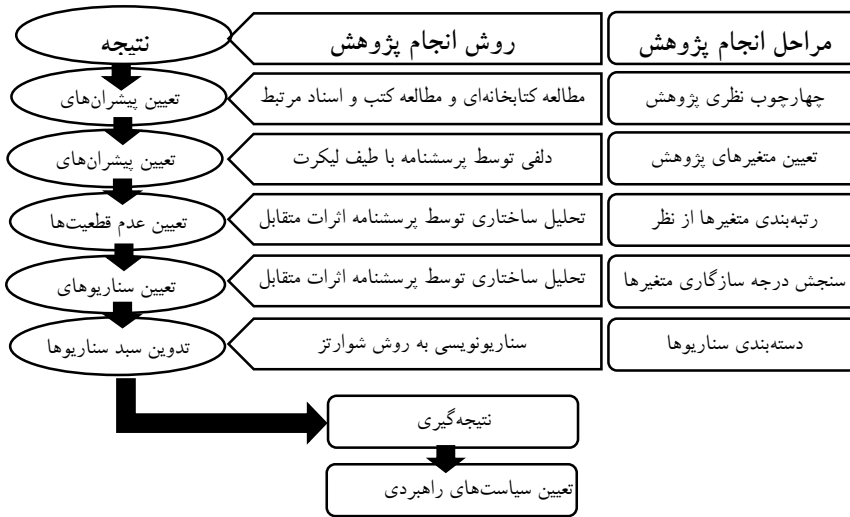
## روش‌شناسی تحقیق

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 پیتر 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 هر یک 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<sup>۱</sup> 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 هر کدام از عدم قطعیت‌ها، شناسایی و میزان تأثیرگذاری هر کدام 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

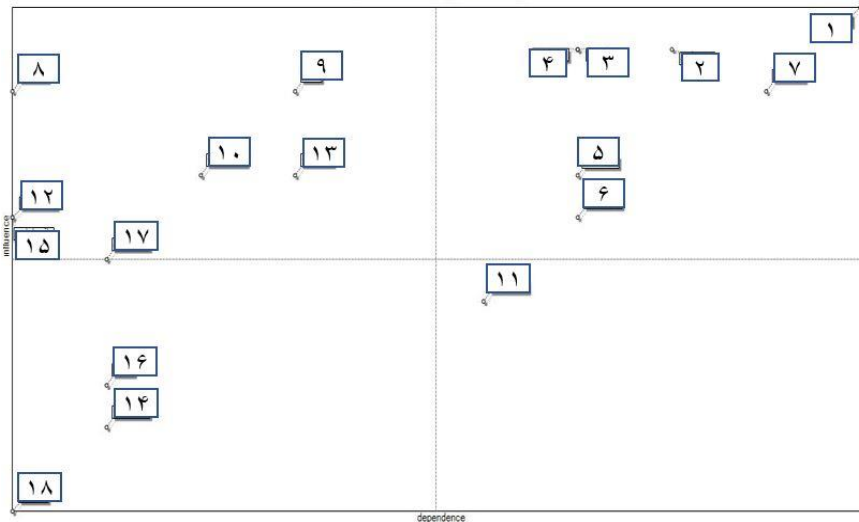
در گام نخست؛ تحقیق پیشران‌های تکنولوژیک اولیه تأثیرگذار بر آینده صنعت ساختمان، از طریق مطالعه کتابخانه‌ای و بررسی پژوهش‌های صورت گرفته، مطابق جدول ۲ تعیین گردید. در ادامه، به منظور نهایی کردن پیشران‌های اولیه، نظرسنجی از خبرگان (مرحله اول دلفی) انجام شد که طی آن با حذف زیرگروه «تکنولوژی‌های حوزه انرژی» 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؛ پهباد 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 سه‌بعدی 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 تکنولوژیک تأثیرگذار بر صنعت ساختمان

ردیف	پیشران‌های نهایی تکنولوژیک 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	برینترهای سه بعدی

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

جهت تعیین اثرگذاری و اثرپذیری متغیرها، پرسشنامه‌ای به روش تحلیل ساختاری (تکنیک اثرات متقابل)، حاوی ماتریس  $18 \times 18$  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، به‌عنوان عدم قطعیت‌های کلیدی تعیین شده‌اند که به شرح ذیل می‌باشند: مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، بلاک‌چین، نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی، واقعیت مجازی و افزوده در طراحی و ساخت، سیستم‌های هوشمند سازه و تأسیسات، پرینترهای سه‌بعدی، 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

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

		عدم استفاده از مدول در طراحی و ساخت ساختمان	تزل
(H)	ریاتیک	استفاده گسترده از ریات‌ها در ساختمان سازی	پیشرفت
		استفاده اندک از ریات‌ها در ساختمان‌سازی	رکود
		عدم استفاده از ریات‌ها در ساختمان‌سازی	تزل
(I)	بلاک‌چین	استفاده گسترده از بلاک‌چین در ساختمان‌سازی	پیشرفت
		استفاده اندک از بلاک‌چین در ساختمان‌سازی	رکود
		عدم استفاده از بلاک‌چین در ساختمان‌سازی	تزل

جدول ۶. جزئیات سناریوهای محتمل

سناریو	مدل‌سازی اطلاعات ساختمان	نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مصرف انرژی	واقعیت مجازی و افزوده در طراحی و ساخت	سیستم‌های هوشمند ساختمانی	پرینترهای سه‌بعدی	پیش‌ساخته‌سازی	مدولاریزاسیون	ریاتیک	بلاک‌چین
سناریو ۱	استفاده از مدل‌سازی اطلاعات در سطحی گسترده	نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی	استفاده از واقعیت مجازی و افزوده؛ همچون روند فعلی	طراحی ساختمان‌های تمام هوشمند	استفاده گسترده از پرینترهای سه‌بعدی	طراحی و ساخت ساختمان‌های کاملاً پیش‌ساخته	طراحی ساختمان‌های تمام مدوله	استفاده گسترده از ریات‌ها	استفاده گسترده از بلاک‌چین
سناریو ۲	استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان به صورت ادامه روند فعلی	استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مصرف انرژی همچون روند فعلی	استفاده از واقعیت مجازی و افزوده؛ همچون روند فعلی	طراحی ساختمان‌های نیمه‌هوشمند	استفاده گسترده از پرینترهای سه‌بعدی	طراحی و ساخت ساختمان‌های کاملاً پیش‌ساخته	طراحی ساختمان‌های تمام مدوله	استفاده گسترده از ریات‌ها	استفاده گسترده از بلاک‌چین
سناریو ۳	عدم استفاده از مدل‌سازی اطلاعات در ساختمان‌سازی	عدم استفاده از نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی	استفاده از واقعیت مجازی و افزوده؛ همچون روند فعلی	طراحی ساختمان‌های غیر هوشمند	استفاده گسترده از پرینترهای سه‌بعدی	طراحی و ساخت ساختمان‌های کاملاً پیش‌ساخته	طراحی ساختمان‌های تمام مدوله	استفاده گسترده از ریات‌ها در	استفاده گسترده از بلاک‌چین
سناریو ۴	استفاده از مدل‌سازی اطلاعات در سطحی گسترده	نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی	استفاده از واقعیت مجازی و افزوده؛ همچون روند فعلی	طراحی ساختمان‌های تمام هوشمند	عدم استفاده از پرینترهای سه‌بعدی	طراحی و ساخت ساختمان‌های نیمه‌ساخته	استفاده از مدول در طراحی و ساخت برخی از اجزای ساختمان‌ها	استفاده گسترده از ریات‌ها	استفاده گسترده از بلاک‌چین
سناریو ۵	استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان به صورت ادامه روند فعلی	استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مصرف انرژی؛ همچون روند فعلی	استفاده از واقعیت مجازی و افزوده؛ همچون روند فعلی	طراحی ساختمان‌های نیمه‌هوشمند	عدم استفاده از پرینترهای سه‌بعدی	طراحی و ساخت ساختمان‌های کاملاً پیش‌ساخته	استفاده از مدول در طراحی و ساخت برخی از اجزای ساختمان‌ها	عدم استفاده از ریات‌ها	استفاده از بلاک‌چین؛ همچون روند فعلی
سناریو ۶	استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان به صورت ادامه روند فعلی	استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مصرف انرژی؛ همچون روند فعلی	استفاده از واقعیت مجازی و افزوده؛ همچون روند فعلی	طراحی ساختمان‌های نیمه‌هوشمند	عدم استفاده از پرینترهای سه‌بعدی	طراحی و ساخت ساختمان‌های نیمه‌ساخته	استفاده از مدول در طراحی و ساخت برخی از اجزای ساختمان‌ها	عدم استفاده از ریات‌ها	عدم استفاده از بلاک‌چین
سناریو ۷	عدم استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان	عدم استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مصرف انرژی	استفاده از واقعیت مجازی و افزوده؛ همچون روند فعلی	طراحی ساختمان‌های غیر هوشمند	عدم استفاده از پرینترهای سه‌بعدی	طراحی و ساخت ساختمان‌های نیمه‌ساخته	استفاده از مدول در طراحی و ساخت برخی از اجزای ساختمان‌ها	عدم استفاده از ریات‌ها	عدم استفاده از بلاک‌چین
سناریو ۸	استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان به صورت ادامه روند فعلی	استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مصرف انرژی؛ همچون روند فعلی	استفاده از واقعیت مجازی و افزوده؛ همچون روند فعلی	طراحی غیر هوشمند	عدم استفاده از پرینترهای سه‌بعدی	عدم استفاده از پیش‌ساخته‌سازی در طراحی و ساخت ساختمان‌ها	عدم استفاده از مدول در طراحی و ساخت ساختمانها	عدم استفاده از ریات‌ها	عدم استفاده از بلاک‌چین

با توجه به وضعیت‌های احتمالی تعریف شده، ماتریس اثرات متقاطع (۲۷\*۲۷)، تهیه و در اختیار گروه خبرگان قرار داده شد. متخصصان، با طرح این پرسش که «اگر هر یک از وضعیت‌ها، در صنعت ساختمان اتفاق بیفتند، چه تأثیری بر وقوع یا عدم وقوع سایر وضعیت‌ها خواهد

داشت؟»، پرسشنامه نامبرده را بر اساس سه ویژگی پیشرفت، رکود و نزول، تکمیل با درج ارقامی بین ۳ تا ۳- مشخص کردند. از ترکیب حالت‌های ۹ متغیر مطابق جدول ۴،  $3*3*3*3*3*3*3*3*3$  سناریوی ممکن شکل می‌گیرد که برابر با ۱۹۶۸۳ است. این سناریوها که شامل همه ترکیب‌های ممکن است، دارای ارزش یکسانی نیستند. از این‌رو، لازم است سناریوهایی که دارای سازگاری بیشتری هستند، معرفی شوند. با جمع‌آوری داده‌ها و نتایج پرسشنامه‌ها، امکان استفاده از نرم‌افزار سناریوویزارد فراهم گردید. بر مبنای محاسبات صورت گرفته، در این نرم‌افزار، ۶ سناریو با احتمال قوی (سازگاری صفر) و ۲ سناریوی محتمل (سازگاری یک) استخراج گشته است. در جدول ۶، جزئیات هریک از ۸ سناریو دیده می‌شود. در این جدول، حالت پیشرفت با رنگ سبز، رکود با رنگ زرد و نزول با رنگ قرمز نمایش داده شده است.

### تهیه سبد سناریوها

جدول ۷. درصد حالت‌های پیشرفت، رکود و نزول برای هر سناریو

سناریو	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴	سناریو ۵	سناریو ۶	سناریو ۷	سناریو ۸
پیشرفت	۸۹	۵۶	۵۶	۵۶	۱۱	۰	۰	۰
رکود	۱۱	۴۴	۱۱	۳۳	۵۶	۶۷	۳۳	۳۳
نزول	۰	۰	۳۳	۱۱	۳۳	۳۳	۶۷	۶۷

مبتنی بر جدول ۵، درصد هریک از وضعیت‌های پیشرفت، رکود و نزول برای هر سناریو، به تفکیک محاسبه شده است (جدول ۷). بر اساس نتایج، می‌توان این ۸ سناریو را در ۴ گروه دسته‌بندی نمود.

### گروه اول: سناریوی پیشرفت

سناریوی گروه اول، «سناریوی پیشرفت» است؛ زیرا همه متغیرها بجز یک متغیر، در حالت پیشرفت قرار دارند. در این سناریو، استفاده از ۸ عامل کلیدی شامل: مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی، سیستم‌های هوشمند ساختمانی، پرینترهای سه‌بعدی، پیش‌ساخته‌سازی، مدولاریزاسیون، رباتیک، بلاک‌چین در صنعت ساختمان توسعه یافته است که بیانگر ۸۹ درصد پیشرفت می‌باشد. تنها عامل واقعیت مجازی و افزوده در طراحی و ساخت، حالت ایستا داشته که ۱۱ درصد کل متغیرهای را به خود اختصاص می‌دهد. نزول تکنولوژی، در این سناریو صفر درصد است.

### گروه دوم: معطوف به پیشرفت

گروه دوم سناریو، به نام «معطوف به پیشرفت» شامل: سناریوهای ۲، ۳، ۴ است. با توجه به این که در این سناریوها، ۵۶ درصد تکنولوژی‌ها در صنعت ساختمان پیشرفت خواهند کرد، مسیر رو به رشد در این سناریوها دیده می‌شود. این در حالی است که دو متغیر رباتیک و بلاک‌چین، در هر سه سناریو، به صورت مشترک در وضعیت پیشرفت قرار گرفته است. در سناریوهای ۲ و

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، پیش‌ساخته‌سازی و مدولاریزاسیون در حالت رکود قرار گرفته‌اند.

با بررسی فراوانی هر یک 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 مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی، واقعیت مجازی و افزوده در طراحی و ساخت، سیستم‌های هوشمند ساختمانی و مدولاریزاسیون را کد 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  $27 \times 27$  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). ۲۲۷-۲۵۰.
- 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). *هنر دورنگری: 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). ۸۰-۹۵.

## 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 36<sup>th</sup> 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-economic 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.I., 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.