Archive of SID.ir

Iran Futures Studies
Print ISSN: 6365-2423
Online ISSN: 2676-6183

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

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

آینده پژوهی ایران
شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۶۳۶۵
شاپا الکترونیکی: ۶۱۸۳-۲۶۷۶

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، به‌طور فزاینده‌ای متأثر از تکنولوژی‌های نوین است. به‌منظور 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 هرکدام 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، سبد 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 سناری 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)

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

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 حالی‌که 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 برعدم 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.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

مرور ادبیات و چارچوب نظری پژوهش

تکنولوژی به‌صورت دانش، محصولات، فرایندها، ابزارها، روش‌ها و سیستم‌هایی تعریف می‌شود که در جهت خلق و ساخت کالاها و ارائه خدمات به‌کار 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 این‌رو، تکنولوژی به یک پدیده مهم و کلیدی برای جوامع تبدیل شده؛ به‌نحوی که شناسایی و رصد تغییرات آن، ضرورتی انکارناپذیر است. در دهه‌های اخیر، پیشرفت تکنولوژی و دیجیتالی‌سازی[1] صنعت ساخت، به‌معنای استفاده از تکنولوژی‌های دیجیتال به‌ویژه 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 درجدول 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 به‌عنوان 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[2]	(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[3]	(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)
بلاک‌چین[4]	(Woo et al., 2020), (Das et al., 2021), (Xu et al., 2022)
پهپاد[5]	(Perrier et al., 2020), (Woo et al., 2020), (Agenbag and Amoah, 2021)
چاپگر سه‌بعدی ساختمان[6]	(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

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

داده‌های بزرگ[1]	(Zhong et al., 2017), (Alaloul et al., 2020), (Forcael et al., 2020), (Bello et al, 2021)
رایانش ابری[2]	(Zhong et al., 2017), (Bello et al, 2021), (Kasim et al., 2021), (Dahbi et al, 2022)
رباتیک	(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)
سیستم اطلاعات جغرافیایی[3] و شناسایی با امواج رادیویی[4]	(Alaloul et al., 2020), (Perrier et al., 2020), (Garbett et al., 2021), (Woo et al., 2020), (Thi Huong et al., 2021)
سیستم‌های فیزیکی سایبری[5]	(Zhong et al., 2017), (Alaloul et al., 2020), (Matana et al., 2020), (Kasim et al., 2021),
سیستم‌های شبیه‌سازی سه‌بعدی	(Alaloul et al., 2020), (Kasim et al., 2021)
سیستم‌های نوین تعمیر و نگهداری	(Thi Huong et al., 2021), (Algabroun et al., 2022)
مدل‌سازی اطلاعات ساختمان[6]	(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 &
مدولاریزاسیون و پیش‌ساخته-سازی[7]	(Alaloul et al., 2020), (Olsson et al., 2021), (Huang, 2022), (Iturralde et al., 2022)
نانوتکنولوژی	(Zh et al., 2020)
واقعیت مجازی و واقعیت افزوده[8]	(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)
هوش مصنوعی، سیستم‌های هوشمند[9]	(Guo et al., 2020), (Woo et al., 2020), (Regona et al., 2022)

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

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

به‌عنوان محورهای این ۴ سناریو، انتخاب و نتایج سایر عدم‌قطعیت‌ها 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 سه‌بُعدی تولید می‌کنند. مدول‌ها، به‌صورت یک مدل دیجیتالی، علاوه بر اطلاعات طرح سه‌بُعدی، 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 سه‌بُعدی، 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، مدولارسازی، 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).

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۲. پیشران‌های تکنولوژیک تأثیرگذار بر صنعت ساختمان

تکنولوژی‌های حوزه ساخت	تکنولوژی‌های حوزه طراحی
اتوماسیون	نرم‌افزارهای نوین مدل‌سازی سه‌بُعدی
اینترنت اشیا	نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی
پرینتر سه‌بُعدی	اسکنرهای لیزری
پهپاد	واقعیت مجازی
ربات‌های ساختمانی	واقعیت افزوده
سازه‌های هوشمند	رایانش ابری
سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم شناسایی با امواج رادیویی	داده‌های بزرگ
سیستم‌های تأسیساتی هوشمند	هوش مصنوعی
سیستم‌های فیزیکی سایبری	تکنولوژی‌های حوزه انرژی
مدولاریزاسیون و پیش‌ساخته‌سازی	سیستم‌های پاک 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، به‌دلیل عدم استفاده از رفلکتور، دقیقا 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 متّصل 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 سه‌بُعدی ساختمان: از چاپگر سه‌بُعدی، برای ساخت اشیا و اجسام سه‌بُعدی 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 سه‌بُعدی ساختمان، به‌طور متوالی، مواد را روی یک سطح می‌ریزد و این فرایند تا ساخت کامل ادامه می‌یابد.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

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.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

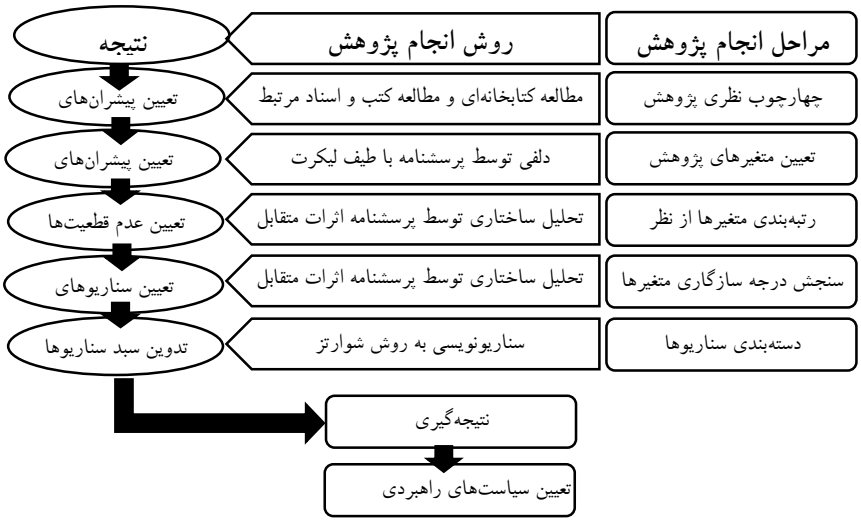
رویکردهای متفاوتی در سناریونویسی بکار می‌رود. در این پژوهش، از رویکرد عدم قطعیت‌های بحرانی که توسط پیتر شوارتز ارائه شده و یکی از پرکاربردترین رویکردهای سناریونویسی است، استفاده شده است (شوارتز، ۱۳۹۲). مزیت رویکرد عدم قطعیت‌های بحرانی، نسبت به دیگر روش‌های پیش‌بینی آینده، این است که تأثیرات احتمالی و روابط متقابل بین رویدادها و روندها، یک به‌یک مورد بررسی قرار می‌گیرد و سبب ارتقای صحت و دقت پیش‌بینی‌های آینده‌نگر می‌شود؛ زیرا روش‌های سنتی پیش‌بینی تکنولوژی، اغلب متّکی 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، به‌عنوان 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[1] استفاده شد. بر مبنای نتایج بدست آمده، ۹ عامل کلیدی به‌عنوان 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 سناریوویزارد استفاده شده است. مبتنی بر تحلیل صورت گرفته، سبد سناریوها، مشتمل بر سناریوهای قوی و محتمل، در ۴ گروه سناریو تدوین شد.

1.MicMac

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



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
–	–	بالاتر 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

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

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

یافته‌ها و بحث

در گام نخست؛ تحقیق پیشران‌های تکنولوژیک اولیّه تأثیرگذار بر آینده صنعت ساختمان، از طریق مطالعه کتابخانه‌ای و بررسی پژوهش‌های صورت گرفته، مطابق جدول ۲ تعیین گردید. در ادامه، به‌منظور 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، به‌دلیل وسعت زیرسیستم‌های آن‌ها، به دو یا چند عامل تفکیک شدند. در حوزه ساخت مدولاریزاسیون و پیش‌ساخته‌سازی، به دو عامل مجزا تفکیک شدند؛ پهپاد 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 سه‌بُعدی 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

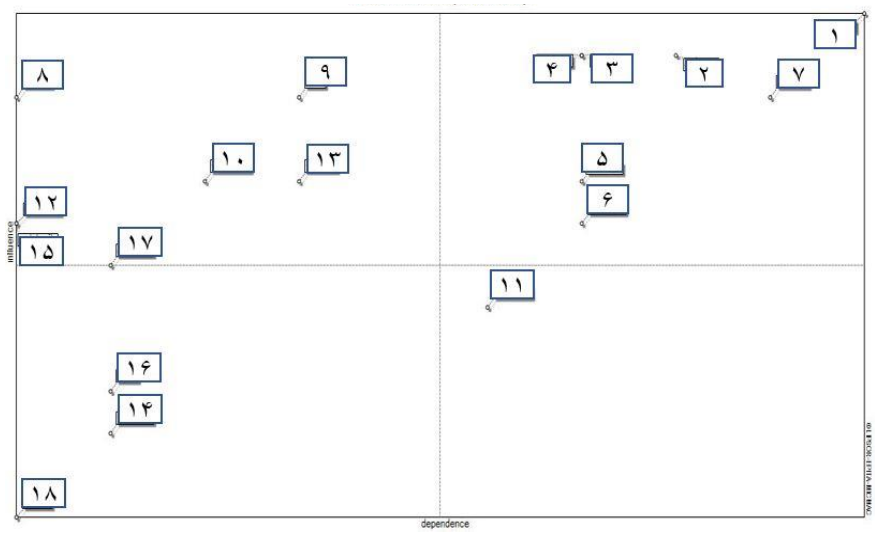
ردیف	پیشران‌های نهایی تکنولوژیکی تاثیرگذار بر صنعت ساختمان	
۱	طراحی	نرم‌افزارهای نوین مدل‌سازی سه بُعدی
۲		نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی
۳		اسکنرهای لیزری
۴		اتوماسیون
۵		واقعیت مجازی و واقعیت افزوده
۶	ساخت	پیش‌ساخته‌سازی
۷		مدولاریزاسیون
۸		اتوماسیون
۹		سیستم‌های هوشمند ساختمانی، مشتمل بر سیستم‌های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

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

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 ۱۸*۱۸ 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 قرارگرفته‌اند که دارای تأثیرگذاری بالایی بر سیستم می‌باشند. از این رو، درمجموع ۹ عامل که دارای اثرگذاری و اثرپذیری بالایی بر سیستم هستند، به‌عنوان 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-بُعدی، پیش‌ساخته‌سازی، مدولاریزاسیون و رباتیک.



Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۱-پرینترهای سه‌بُعدی، 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 سه‌بُعدی، 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 قطعیت-ها، 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 شبیه-سازی 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 سه‌بُعدی	استفاده گسترده از پرینترهای سه‌بُعدی در ساختمان‌سازی	پیشرفت
		استفاده اندک از پرینترهای سه‌بُعدی در ساختمان‌سازی	رکود
		عدم استفاده از پرینترهای سه‌بُعدی در ساختمان‌سازی	نزول
(F)	پیش‌ساخته‌سازی	طراحی و ساخت ساختمان‌های کاملا 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

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

		عدم استفاده از مدول در طراحی و ساخت ساختمان	نزول
(H)	رباتیک	استفاده گسترده از ربات‌ها در ساختمان سازی	پیشرفت
		استفاده اندک از ربات‌ها در ساختمان‌سازی	رکود
		عدم استفاده از ربات‌ها در ساختمان‌سازی	نزول
(I)	بلاک‌چین	استفاده گسترده از بلاک‌چین در ساختمان‌سازی	پیشرفت
		استفاده اندک از بلاک‌چین در ساختمان‌سازی	رکود
		عدم استفاده از بلاک‌چین در ساختمان‌سازی	نزول

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 سه‌بُعدی	پیش‌ساخته‌سازی	مدولاریزاسیون	رباتیک	بلاک‌چین
سناریو۱	استفاده از مدل-سازی اطلاعات در سطحی گسترده	استفاده گسترده از نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی	استفاده از واقعیت مجازی و افزوده؛ همچون روند فعلی	طراحی ساختمان-های تمام هوشمند	استفاده گسترده از پرینترهای سه‌بُعدی	طراحی و ساخت ساختمان‌های کاملا پیش‌ساخته	طراحی ساختمان‌های تمام مدوله	استفاده گسترده از ربات‌ها	استفاده گسترده از بلاک‌چین
سناریو۲	استفاده از مدل-سازی اطلاعات ساختمان به-صورت ادامه روند فعلی	استفاده از نرم-افزارهای شبیه-سازی مصرف انرژی همچون روند فعلی	استفاده از واقعیت مجازی و افزوده؛ همچون روند فعلی	طراحی ساختمان-های نیمه‌هوشمند	استفاده گسترده از پرینترهای سه‌بُعدی	طراحی و ساخت ساختمان‌های کاملا پیش‌ساخته	طراحی ساختمان‌های تمام مدوله	استفاده گسترده از ربات‌ها	استفاده گسترده از بلاک‌چین
سناریو۳	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 ساختمان-های غیرهوشمند	استفاده گسترده از پرینترهای سه‌بُعدی	طراحی و ساخت ساختمان‌های کاملا پیش‌ساخته	طراحی ساختمان‌های تمام مدوله	استفاده گسترده از ربات‌ها در	استفاده گسترده از بلاک‌چین
سناریو۴	استفاده از مدل-سازی اطلاعات در سطحی گسترده	استفاده گسترده از نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی	استفاده از واقعیت مجازی و افزوده؛ همچون روند فعلی	طراحی ساختمان-های تمام‌هوشمند	عدم استفاده از پرینترهای سه‌بُعدی	طراحی و ساخت ساختمان‌های نیمه پیش‌ساخته	استفاده از مدول در طراحی و ساخت برخی از اجزای ساختمان‌ها	استفاده گسترده از ربات‌ها	استفاده گسترده از بلاک‌چین
سناریو۵	استفاده از مدل-سازی اطلاعات ساختمان به-صورت ادامه روند فعلی	استفاده از نرم‌نرم-افزارهای شبیه-سازی مصرف انرژی؛ همچون روند فعلی	استفاده از واقعیت مجازی و افزوده؛ همچون روند فعلی	طراحی ساختمان-های نیمه‌هوشمند	عدم استفاده از پرینترهای سه-بُعدی	طراحی و ساخت ساختمان‌های کاملا پیش‌ساخته	استفاده از مدول در طراحی و ساخت برخی از اجزای ساختمان‌ها	عدم استفاده از ربات‌ها	استفاده از بلاک-چین؛ همچون روند فعلی
سناریو۶	استفاده از مدل-سازی اطلاعات ساختمان به-صورت ادامه روند فعلی	استفاده از نرم-افزارهای شبیه-سازی مصرف انرژی؛ همچون روند فعلی	استفاده از واقعیت مجازی و افزوده؛ همچون روند فعلی	طراحی ساختمان-های نیمه‌هوشمند	عدم استفاده از پرینترهای سه‌بُعدی	طراحی و ساخت ساختمان‌های نیمه پیش‌ساخته	استفاده از مدول در طراحی و ساخت برخی از اجزای ساختمان‌ها	عدم استفاده از ربات‌ها	عدم استفاده از بلاک‌چین
سناریو۷	عدم استفاده ه از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان	عدم استفاده از نرم‌افزارهای شبیه-سازی مصرف انرژی	استفاده از واقعیت مجازی و افزوده همچون روند فعلی	طراحی ساختمان-های غیرهوشمند	عدم استفاده از پرینترهای سه‌بُعدی	طراحی و ساخت ساختمان‌های نیمه پیش‌ساخته	استفاده از مدول در طراحی و ساخت برخی از اجزای ساختمان‌ها	عدم استفاده از ربات‌ها	عدم استفاده از بلاک‌چین
سناریو۸	استفاده از مدل-سازی اطلاعات ساختمان به-صورت ادامه روند فعلی	استفاده از نرم نرمافزارهای شبیه‌سازی مصرف انرژی؛ همچون روند فعلی	استفاده از واقعیت مجازی و افزوده؛ همچون روند فعلی	طراحی ساختمانهای غیرهوشمند	عدم استفاده از پرینترهای سه‌بُعدی	عدم استفاده از پیش‌ساخته‌سازی در طراحی و ساخت ساختمان-ها	عدم استفاده از مدول در طراحی و ساخت ساختمانها	عدم استفاده از ربایها	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 هریک از وضعیت‌ها، در صنعت ساختمان اتفاق بیفتد، چه تأثیری بر وقوع یا عدم وقوع سایر وضعیت‌ها خواهد

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

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 جدول۴، ۳*۳*۳*۳*۳*۳*۳*۳*۳ 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، جزییات 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	سناریو۱	سناریو۲	سناریو۳	سناریو۴	سناریو۵	سناریو۶	سناریو۷	سناریو۸
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 سه‌بُعدی، پیش‌ساخته‌سازی، مدولاریزاسیون، رباتیک، بلاک‌چین در صنعت ساختمان توسعه‌یافته 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، به‌نام «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، به‌صورت مشترک در وضعیت پیشرفت قرار گرفته است. در سناریوهای ۲ و

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۳، علاوه بر دو مورد فوق، ۳ متغیر پرینترهای سه‌بُعدی، 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 سه‌بُعدی (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 راکد باقی مانده‌اند. این در حالی است که تنها عامل پیش‌ساخته‌سازی (معادل ۱۱ درصد) پیشرفت و عوامل پرینترهای سه‌بُعدی، 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 سه‌بُعدی، 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

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

تنزل یافته‌اند، شامل: مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی، سیستم‌های هوشمند ساختمانی، پرینترهای سه‌بُعدی، رباتیک و بلاک‌چین و در سناریوی شماره ۸، شامل: سیستم‌های هوشمند ساختمانی، پرینترهای سه‌بُعدی، پیش‌ساخته‌سازی، مدولاریزاسیون، رباتیک و بلاک‌چین می‌باشد. متغیرهای باقی‌مانده (معادل ۳۳ درصد)، در هردو 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 سه‌بُعدی، پیش‌ساخته‌سازی، مدولاریزاسیون، رباتیک و بلاک‌چین، به‌عنوان عدم قطعیت‌های آینده صنعت ساختمان، مبتنی بر تکنولوژی‌های نوین تعیین شدند. برای هریک از عدم قطعیت‌های شناسایی شده، سه حالت پیشرفت، رکود و نزول در نظر گرفته شد. به این ترتیب، با تشکیل یک ماتریس ۲۷*۲۷ و نظرسنجی از خبرگان، میزان تأثیرگذاری هرکدام 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، بیان کننده 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

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

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. به‌همین خاطر، سناریوی معطوف به نزول، از مجموع سناریوها کنار گذاشته می‌شود.

چناچه 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 سه‌بُعدی، 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.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

کتابنامه

بابایی سارویی، مصطفی؛ دانایی، ابوالفضل و زرگر، سید محمد. (۱۴۰۰). واکاوی تأثیر عامل سرمایه اجتماعی در پذیرش فناوری‌های نوین رسانه‌ای (موردمطالعه: فناوری واقعیت افزوده). *فصلنامه مطالعات ملی*، (۲۲)۸۷. ۱۸۱– ۱۵۹.

تخشید، زهرا. (۱۴۰۰). مقدمه‌ای بر چالش‌های هوش مصنوعی در حوزه مسئولیت مدنی. *حقوق خصوصی*. (۱)۱۸. 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). *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*. (۲)۳. 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)

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

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 Ttajectories: 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.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

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,

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

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 Fourthy 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.

Archive of SID.ir