Karafan

Quarterly Scientific Journal of Technical and Vocational University

Winter 2023, Vol. 19, No. 4, p. 191-213

Journal homepage: https://karafan.tvu.ac.ir/?lang=en

doi:10.48301/KSSA.2022.334225.2046

TVU

Original Research

E-ISSN: 2538-4430
ISSN: 2382-9796

Explaining Key Technological Factors Affecting the Future of the Construction Industry Using Structural Analysis

Minoochehr Marzban[1], Seyed Rahman Eghbali[2*], Farzaneh Asadi Malekjahan[3]

[1]PhD Student, Department of Architecture, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.
[2]Associate Professor, Department of Architectural Engineering, Faculty of Architecture and Urban Development, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
[3]Assistant Professor, Department of Architecture, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.

ARTICLE INFO

Received: 04.09.2022
Revised: 05.28.2022
Accepted: 06.21.2022

Keyword:
Construction industry
New technologies
Futures studies
Structural analysis

***Corresponding Author:**
Seyed Rahman Eghbali
Email: *s.r.eghbali@arc.ikiu.ac.ir*

ABSTRACT

The construction industry has always been influenced by new, emerging and advanced technologies throughout its history. Technological developments have led to increasing changes in many areas of the construction industry. This research investigated the technological changes and developments in the field of construction industry by adopting a future-research approach. The purpose of this study was to identify key technological factors affecting the future of the construction industry. First, using library studies, technological advances affecting the construction industry were identified. Examining the available documents and books, 18 drivers were identified in four areas: "design", "construction", "maintenance, repair and operation" and "management". Then, among the drivers determined, using the method of structural analysis and based on the opinion of experts, the key technological factors that will have the greatest impact on the future of the construction industry were identified. Research data was analyzed using MICMAC software. The results of using structural analysis method indicate that 9 key factors including building information modeling (BIM), new energy consumption simulation software, virtual reality and augmented reality, intelligent structural systems and facilities, 3D printers, prefabrication, modularization, robotics and blockchains will have the greatest influence on the future of the construction industry.

©2023 Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The increasing progress of construction technology in today's fast-paced world has made it one of the most important drivers of the future. This research examines the technological changes of the construction industry by adopting futures studies approach. The purpose of the present research was to determine the key technological factors affecting the future of the construction industry and to answer the following questions: 1) What are the technological drivers of the construction industry? 2)What are the key technological factors that have the greatest impact on the future of the construction industry?

Methodology

The research method was applied and carried out with a combination of quantitative and qualitative methods. The first part of the research was carried out by descriptive-analytical method. In this section, the primary technological drivers affecting the construction industry were determined through library study and using existing books, texts and articles. In the next part, Delphi survey and Structural Analysis were used to finalize the technological drivers and identify the key technological factors. Based on the Delphi method, a group of experts was determined; in the first stage of Delphi, a questionnaire containing primary technological drivers was sent to experts. After reviewing the answers, the questionnaire was altered based on the experts' opinion. The second stage of Delphi was conducted through a five-choice Likert questionnaire including the identified drivers. In this round, the expert consensus was achieved and the drivers approved. In the next part of the research, the key technological factors that havthe greatest influence on the future of the construction industry were determined by the structural analysis method. In this section, an n*n matrix questionnaire including the final drivers was sent to the experts to determine the influence of these factors. In addition to determining the direct effects of the variables, their indirect effects were also evaluated by using MICMAC software.

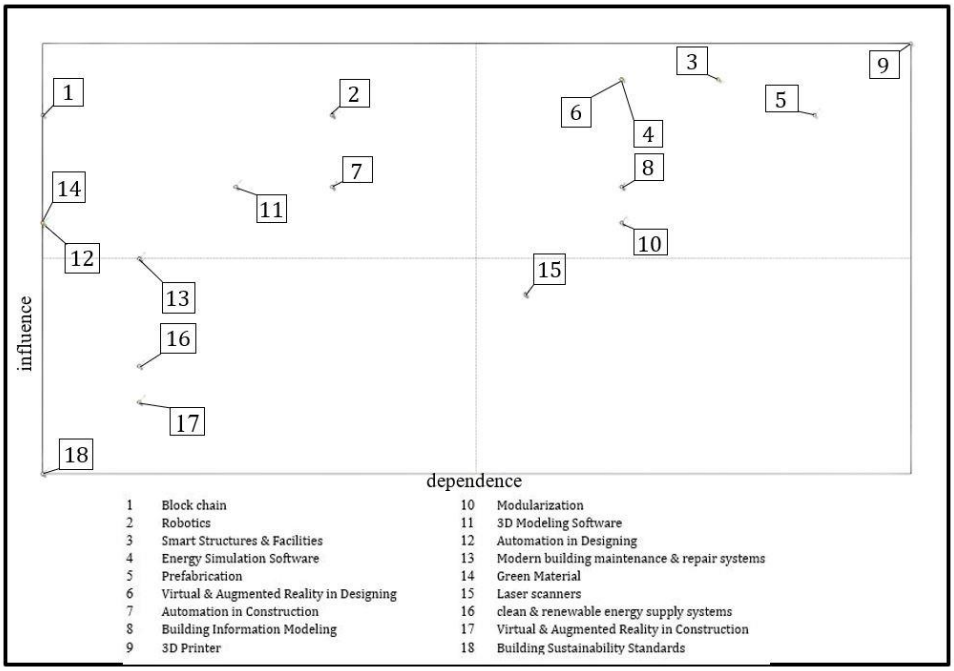


Figure 1. Direct influence/dependence map.

Results and discussion

The results of the literature review led to the identification of 26 factors in 5 areas including construction, design, energy, maintenance and management as technological drivers. After the first stage of Delphi, a number of similar drivers were grouped together, and some drivers were divided into two or more categories because of their differences. As a result, 18 technological drivers were identified in four areas: "design", "construction", "maintenance, repair and operation" and "management". In the second stage of Delphi, all factors obtained minimum average of 3 and a significance level of less than 50% in the ratio test and the expert consensus were achieved. In order to determine the influence of the variables, an 18*8 matrix containing the technological drivers was prepared. According to the output of the MICMAC software, the filling rate of the matrix was 93.210% which demonstrated that the selected factors had a large and scattered effect on each other. The distribution of drivers around the diagonal axis in the dispersion map (Figure 1) indicates high instability of the system. The results of the structural analysis indicated five categories of factors: 1) the northwest part of the dispersion map including influential factors (robotics, blockchain, automation in construction, new 3D modeling software, automation in designing and green materials) that had a major influencing power; 2) the north-east of the dispersion map included relay factors (smart systems including smart structures and facilities, building information modeling, new energy simulation software, 3D printers, prefabrication, virtual and augmented reality in designing and modularization) which had

strong influence and dependence; 3) the dependence of factors in the southeast part of the dispersion map was greater than their influence (such as laser scanners); 4) the southwest part of the dispersion map included the autonomous factors (clean and renewable energy supply systems, virtual reality and augmented reality in construction and building sustainability standards) which had both low influence and dependence; and 5) regulatory factors located near the centre of the dispersion map (modern building maintenance and repair systems). The investigation of the indirect effect of the factors showed that first to seventh relay factors in direct influences were also ranked first to seventh in indirect influences with a slight shift (Table 1).

Table1. Direct and Indirect influences.

Rank	Indirect influence		Factor	Direct influence		Factor
	Dependence	Influence		Dependence	Influence	
1	669	658	3D printer	678	656	3D printer
2	653	635	Smart structures and facilities	656	633	Energy simulation software
3	625	631	Building information modeling	633	633	Building information modeling
4	617	628	Energy simulation software	610	633	Smart structures and facilities
5	616	616	Prefabrication	610	627	Prefabrication
6	611	611	Virtual and augmented reality	610	610	Modularization
7	608	607	Modularization	610	610	Virtual and augmented reality

Conclusion

According to the results, 7 relay factors that had both strong influence and dependence as well as 2 influential factors including building information modeling, blockchains, new energy simulation software, virtual and augmented reality in designing and construction, smart systems structures and facilities, 3D printers, prefabrication, modularization and robotics were determined as the technological uncertainties of the construction industry. Among these 9 factors, 2 factors belong to the field of design, 5 factors belong to the field of construction and 2 factors belong to the field of management. Based on results, the key technological factors of the construction area will have the greatest impact on the future of the construction industry. The widespread use of digital and smart systems increases the speed and accuracy of construction work. On the other hand, because of the complexity of the construction process in the future, it is necessary to have an integrated management system such as building information modeling system. In addition, the widespread use of energy simulation software shows the importance of sustainable and energy consumption optimization design in the construction industry.

کارافن
فصلنامه علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای
زمستان ۱۴۰۱، دوره ۱۹، شماره ٤، ۲۱۳-۱۹۱
آدرس نشریه: https://karafan.tvu.ac.ir/
doi:10.48301/KSSA.2022.334225.2046

مقاله پژوهشی
شاپای الکترونیکی: ۲۵۳۸-۴۴۳۰
شاپای چاپی: ۲۳۸۲-۹۷۹۶

تبیین عوامل کلیدی تکنولوژیک تأثیرگذار بر آیندهٔ صنعت ساختمان با استفاده از تحلیل ساختاری

مینوچهر مرزبان [۱]، سید رحمان اقبالی*[۲]، فرزانه اسدی ملکجهان [۳]

۱- دانشجوی دکتری، گروه معماری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.
۲- دانشیار، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران.
۳- استادیار، گروه معماری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۱/۲۰
بازنگری مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۰۷
پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۳۱

کلید واژگان:
صنعت ساختمان
تکنولوژی‌های نوین
آینده‌پژوهی
تحلیل ساختاری

***نویسنده مسئول:** سید رحمان اقبالی
پست الکترونیکی:
s.r.eghbali@arc.ikiu.ac.ir

چکیده

صنعت ساختمان در طی روند تاریخی خویش همواره متأثر از تکنولوژی‌های جدید، پیشرفته و نوظهور است. تحولات تکنولوژی موجب تغییرات روزافزون در بسیاری از عرصه‌های صنعت ساختمان شده است. این پژوهش با اتخاذ رویکرد آینده‌پژوهی به بررسی تغییر و تحولات تکنولوژی در عرصهٔ صنعت ساختمان پرداخته است. هدف پژوهش تبیین عوامل کلیدی تکنولوژیک تأثیرگذار بر آیندهٔ صنعت ساختمان است. در گام نخست با استفاده از مطالعهٔ کتابخانه‌ای به شناسایی پیشران‌های تکنولوژیک مؤثر بر صنعت ساختمان پرداخته شده است. با بررسی اسناد و کتب موجود، ۱۸ پیشران در چهار حوزه «طراحی»، «ساخت»، «نگهداری، تعمیر و بهره‌برداری» و «مدیریت» شناسایی شده است. سپس از میان پیشران‌های تعیین شده با استفاده از روش تحلیل ساختاری و مبتنی بر نظر خبرگان، عوامل کلیدی تکنولوژیک که بیشترین تأثیرگذاری را بر آیندهٔ صنعت ساختمان دارند، تعیین شده‌اند. برای تجزیه و تحلیل داده‌های پژوهش از نرم‌افزار میک‌مک استفاده شده است. نتایج به‌کارگیری روش تحلیل ساختاری حاکی از آن است که ۹ عامل کلیدی شامل مدلسازی اطلاعات ساختمان، بلاک‌چین، نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی، واقعیت مجازی و افزوده در طراحی، سیستم‌های هوشمند سازه و تاسیسات، پرینترهای سه‌بعدی، پیش‌ساخته‌سازی، مدولاریزاسیون و رباتیک بیشترین تأثیر و تأثر را بر آیندهٔ صنعت ساختمان خواهند داشت.

©2022 Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

مقدمه

آینده، پدیده‌ای پیچیده، چندوجهی و نامتعین است. هر روشی برای شناخت آن، تنها به گوشه‌ای یا وجهی از آینده راه می‌برد. آینده‌پژوهی مشتمل بر مجموعه تلاش‌هایی است که با استفاده از تجزیه و تحلیل منابع، الگوها، عوامل تغییر یا ثبات به تجسم آینده‌های بالقوه و برنامه‌ریزی برای دستیابی به آن می‌پردازد و به دنبال برخورد فاعلانه با آینده است [۱]. آینده هر سیستم از برایند نیروهای جهانی، ملی یا محلی در تمام حوزه‌های اجتماعی، اقتصادی، سیاسی، فرهنگی، زیست محیطی و فناورانه به‌دست می‌آید. این نیروها پیشران‌های آینده نامیده می‌شوند. در فرایند انجام پژوهش پیشران‌های آینده سیستم، شناسایی شده و تأثیرگذارترین آنها به عنوان متغیرهای کلیدی تأثیرگذار بر آینده سیستم، تعیین می‌گردند [۲]. پیشرفت روزافزون و پیش‌بینی ناپذیر بودن تکنولوژی در دنیای متغیر و پرشتاب امروز، آن را به یکی از مهمترین و اثرگذارترین پیشران‌های آینده تبدیل کرده است. در این میان صنعت ساختمان از حوزه‌هایی است که تکنولوژی به عنوان یک عامل مهم و تعیین کننده بر تمام فعالیت‌های زنجیرهٔ آن تأثیرگذار است [۳]. شواب [۴] در کتاب خود تحت عنوان انقلاب صنعتی چهارم، بعد از بیان این مطلب که جهان تا کنون سه انقلاب صنعتی را پشت سر گذاشته، انقلاب صنعتی چهارم را با گستره‌ای از تکنولوژی‌های نوین که جهان فیزیکی، دیجیتالی و زیستی را به یکدیگر پیوند داده است تعریف می‌نماید. وی بیان می‌دارد پایهٔ انقلاب صنعتی چهارم، انقلاب دیجیتالی است. پیشرفت در رباتیک، اتوماسیون، هوش مصنوعی، فناوری نانو، زیست فناوری، رایانش کوانتومی، اینترنت اشیا، چاپ سه‌بعدی، فناوری‌های عصبی و فزونی دهندگان مغز، ویرایش ژنی و طراحی هسته‌ای از عوامل کلیدی تکنولوژیکی این انقلاب به شمار می‌آیند.

از آنجایی‌که تحولات صنعت ساختمان سبب تحولات قابل ملاحظه‌ای در همه حوزه‌های مرتبط با آن چون مهندسی معماری خواهد شد، ضرورت انجام تحقیق در این مقطع زمانی کاملا مشهود است. این پژوهش با اتخاذ رویکرد آینده-پژوهی به بررسی تغییرات تکنولوژیک در صنعت ساختمان می‌پردازد. هدف پژوهش تبیین عوامل کلیدی تکنولوژیک تأثیرگذار بر آینده صنعت ساختمان است. در این پژوهش به سؤلات زیر پاسخ داده می‌شود:

۱- پیشران‌های تکنولوژیک صنعت ساختمان کدامند؟

۲- عوامل کلیدی تکنولوژیک که بیشترین تأثیرگذاری را بر آینده صنعت ساختمان دارند، کدامند؟

برای دستیابی به هدف پژوهش، ابتدا با مطالعه اسناد و سوابق علمی صورت پذیرفته و استفاده از نظر خبرگان پیشران‌های تکنولوژیک صنعت ساختمان شناسایی شده‌اند. گام بعد پژوهش، به علت اهمیت عدم قطعیت‌ها در شناسایی عوامل کلیدی تکنولوژیک تأثیرگذار بر آینده صنعت ساختمان به روش تحلیل ساختاری انجام شده است. زیرا روش‌های سنتی پیش‌بینی تکنولوژی اکثراً متکی به روندهای گذشته و تعمیم آن به آینده هستند و عدم قطعیت‌های آینده در این روش‌ها نادیده گرفته شده است[۵]. بنابراین در این مرحلهٔ پژوهش، با ارائهٔ پرسش‌نامه ماتریس اثرات متقابل به جامعهٔ خبرگان و تحلیل آن به کمک نرم‌افزار میک‌مک، عوامل کلیدی تکنولوژیک که بیشترین تأثیرگذاری را بر آینده صنعت ساختمان دارند، تعیین شده‌اند.

چارچوب نظری و پیشینه پژوهش

آینده‌پژوهی

امروزه آینده‌پژوهی به عنوان یک فراپارادایم، در خدمت بسیاری از تحقیقات علمی قرار می‌گیرد و با کاربرد میان-رشته‌ای خود به مطالعه و پژوهش در آینده می‌پردازد. دانشی که بر مبنای رویاپردازی علمی، پویایی انسانی، گستردگی در حوزهٔ برنامه‌ریزی و تا حدودی تفکر ماجراجویانه سعی در تصویرسازی آینده بشری دارد. در این راه بن‌مایهٔ اصلی آینده‌پژوهی، اصولی همچون نسبی بودن آینده، انعطاف در تفکر و برنامه‌ریزی، امکان‌پذیری همهٔ احتمالات و گردش آزاد

اطلاعات است [۶]. زیرا در جهان معاصر که عرصهٔ تحولات شگرف است، تغییرات چنان غافلگیرکننده و برق‌آسا از راه می‌رسند که کوچکترین کم‌توجهی به آن می‌تواند به بهای گزاف غافلگیری در همهٔ عرصه‌های سیاسی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی تمام شود. در این محیط سرشار از تغییر، بی‌ثباتی و آکنده از عدم قطعیت، تنها رویکرد و سیاستی که احتمال کسب موفقیت بیشتری دارد تلاش برای معماری آینده است [۷]. مارتین[۵] آینده‌پژوهی را اینگونه تعریف کرده است: «آینده‌پژوهی، فرایند تلاش سیستماتیک برای نگاه به آینده بلندمدت علم، تکنولوژی، محیط زیست، اقتصاد و اجتماع است که با هدف شناسایی تکنولوژی‌های عام نوظهور و تقویت حوزه‌های تحقیقات استراتژیکی، بیشترین منافع اقتصادی و اجتماعی را به همراه دارد».

آینده‌پژوهی در وهلهٔ نخست می‌کوشد آینده‌های بدیل را کشف و شناسایی کند؛ آینده‌های بدیل حالت‌هایی از آینده هستند که با توجه به شدت و ضعف عوامل سازنده آنها، می‌توانند به صورت جایگزین هم پدید آیند. در این رویکرد آینده‌پژوه از خلال آینده‌های ممکن (تمام آینده‌هایی که می‌تواند محقق شوند هرچند ندانیم که این آینده‌ها چگونه محقق می‌شوند) و آینده‌های باورکردنی (آن دسته از موقعیت‌هایی که می‌توانند در آینده محقق شوند و با باور و دانش امروزی انسان‌ها سازگار هستند)، به صورتی منفعل برخی از آینده‌های محتمل (آینده‌هایی که روند محور هستند و احتمال وقوع آنها وجود دارد) را پیش‌بینی می‌کند [۸]. آنچه در پژوهش تحت عنوان عوامل کلیدی شناسایی می‌شود، عواملی هستند که شکل‌دهندهٔ آینده‌های محتمل می‌باشند. یکی از پرکاربردترین روش‌ها برای شناسایی پیشران‌های آینده در رویکرد آینده‌پژوهی، پیمایش محیطی است. روش پیمایش محیطی به منظور درک نیروهای خارجی مسبب تغییرات، محیط را پیمایش می‌کند تا توانایی لازم جهت سازگار شدن با تغییرات محیط خارجی را کسب نماید. هدف از پیمایش محیطی یافتن سریع نشانه‌های توسعهٔ آینده برای دستیابی به آن است. یکی از مقوله‌هایی که در پیمایش محیطی مد نظر قرار می‌گیرد، تحلیل روندهای موجود می‌باشد [۹]. در پژوهش حاضر با پیمایش محیطی در عرصه صنعت ساختمان، روندهای تکنولوژیکی مورد بررسی قرار گرفته و مبتنی بر آن پیشران‌های تکنولوژیکی تأثیرگذار بر آیندهٔ صنعت ساختمان تعیین شده است.

با توجه به عدم قطعیت‌هایی که در پیش‌بینی آینده وجود دارد، برای تعیین تأثیرگذارترین پیشران‌های سیستم از تحلیل تأثیرات متقابل میان متغیرها بهره گرفته شده است که یکی از پرکاربردترین روش‌ها در آینده‌پژوهی است [۱۰]. مزیت روش تحلیل ساختاری نسبت به دیگر روش‌های پیش‌بینی آینده این است‌که تأثیرات احتمالی و روابط متقابل بین رویدادها و روندها یک‌به‌یک مورد بررسی قرار می‌گیرد و سبب ارتقای صحت و دقت پیش‌بینی‌های آینده‌نگر می‌شود [۷]. بر این مبنا در پژوهش حاضر عوامل کلیدی تکنولوژیک که بیشترین تأثیرگذاری را بر آینده صنعت ساختمان دارند، به روش تحلیل ساختاری شناسایی شده‌اند.

عوامل کلیدی تکنولوژیک تأثیرگذار بر آینده صنعت ساختمان

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 [۱۱]. در دهه‌های اخیر تکنولوژی، در همهٔ 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 پدیدهٔ مهم و کلیدی برای جوامع تبدیل شده به نحوی که شناسایی و رصد تغییرات آن ضرورتی انکار ناپذیر است. در دنیای بسیار رقابتی که امروزه به کمک تکنولوژی اطلاعات و ارتباطات به هم پیوسته شده و تعاملات و تبادلات دانشی فراوانی در آن رخ می‌دهد، حرکت در مسیر پیشرفت بدون آگاهی و بررسی تغییر و تحولات جهانی علم و تکنولوژی میسر نیست [۱۲]. پیشرفت‌های تکنولوژی در قالب تکنولوژی‌های جدید، تکنولوژی‌های پیشرفته و تکنولوژی‌های نوظهور مورد توجه آینده‌پژوهان قرار گرفته است. تکنولوژی

جدید، هر نوع تکنولوژی تولید یا اجرا شده‌ای است که اثر بارز و مشخصی بر روش تولید کالاها یا ارائه خدمات توسط یک شرکت دارد. نمونه چنین تکنولوژی‌ای، یک نرم افزار کامپیوتری جدید است که می‌تواند نقشه‌های مهندسی ترسیم کند و جایگزین ترسیم دستی شود. تکنولوژی‌های پیشرفته به تکنولوژی‌های مدرن یا پیچیده اطلاق می‌شود. طیف گسترده‌ای از صنایع معمولا از این تکنولوژی‌ها استفاده می‌کنند [۱۱]. تکنولوژی نوظهور هر نوع تکنولوژی است که هنوز به طور کامل تجاری و به بازار عرضه نشده است، اما ظرف حدود پنج سال آینده این چنین خواهد شد؛ ممکن است در حال حاضر کاربرد آن محدود باشد، اما انتظار می‌رود این تکنولوژی‌ها در آینده به گونه قابل ملاحظه‌ای تکامل یابند و جایگزین تکنولوژی‌های موجود شوند. به‌علاوه این تکنولوژی‌ها می‌توانند موجب بروز تغییراتی بزرگ در نهادهای اجتماعی و در خود اجتماع شوند [۱۳]. صنعت ساختمان به عنوان یکی از مؤلفه‌های محیط انسان ساخت، در طی روند تاریخی خویش همواره متأثر ازهر سه نوع تکنولوژی (جدید، پیشرفته و نوظهور) بوده است. پژوهش حاضر سعی دارد با مطالعهٔ کتابخانه‌ای و بررسی کتب و مقالات مرتبط همچنین با استفاده از نظر خبرگان مجموعه‌ای از تکنولوژی‌های جدید، پیشرفته و نوظهور را که بر آینده صنعت ساختمان تأثیرگذار است تعیین نماید.

در تحقیق حاضر پژوهش‌های بسیاری با موضوع آینده‌پژوهی عوامل کلیدی تکنولوژیک در صنعت ساختمان مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است که در جدول ۱ به مهمترین آن‌ها اشاره می‌شود:

جدول ۱. پژوهش‌های انجام شده با موضوع شناسایی عوامل کلیدی تکنولوژیک در صنعت ساختمان با رویکرد آینده‌پژوهی

نویسنده (نویسندگان)	عنوان و خلاصه پژوهش
Zhong et al., 2017)	"Intelligent manufacturing in the contex of industry 4.0: A review" نویسندگان یکی از دستاوردهای انقلاب صنعتی چهارم را استفاده از ۴ تکنولوژی کلیدی در ساختمان‌های هوشمند می‌دانند: ۱- اینترنت اشیا ۲- سیستم‌های فیزیکی- مجازی ۳- ابر داده‌ها ۴- تکنولوژی اطلاعات و ارتباطات [۱۴].
Edirisinghe), 2019)	"Digital skin of the construction site Smart sensor technologies towards the future smart construction site" نویسنده بیان کرده است در کارگاه‌های ساختمانی هوشمند آینده، تکنولوژی‌های واقعیت افزوده[۱]، مدلسازی اطلاعات ساختمان[۲]، ردیابی نیروی کار، ردیابی زنجیره تامین، مدیریت ایمنی، ردیابی تجهیزات تلفن همراه، برنامه‌ریزی و نظارت هوشمند در سه مقوله لباس‌های هوشمند، زنجیره تامین هوشمند مانند RFID[۳] و GIS[۴] و سیستم‌های مدیریت ایمنی هوشمند بکار برده خواهد شد [۱۵].

[۱] Augmented reality: واقعیت افزوده در حقیقت چشم سوم هوشمندی است که با قرار دادن لایه دیجیتالی هوشمند مانند دوربین، موبایل، تبلت، وبکم و امثال آن روی دید کاربر، اطلاعات و اشیاء جدیدی به محیط واقعی اضافه می‌کند.

[۲] Building information modeling (BIM): روشی است که در آن مجموعه‌ای از ابزارها و فرآیندهای پارامتری برای ایجاد و نگهداری یک بانک اطلاعاتی یکپارچه از اطلاعات چند بعدی درباره طراحی، ساخت و بهره‌برداری از یک ساختمان با هدف بهبود همکاری میان ذی‌نفعان استفاده می‌شود.

[۳] Radio-frequency identification (RFID): سیستمی است که از امواج رادیویی برای انتقال اطلاعات مربوط به هویت یک شیء استفاده می‌کند.

[۴] Geographic information system (GIS): 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 مکان مرجع می‌باشد که به عنوان یک سیستم حامی تصمیم گیری، برای حل مشکلات مختلف استفاده می‌شود.

نویسنده (نویسندگان)	عنوان و خلاصه پژوهش
Halt et al.,) (2015	"Emerging technology in the construction industry: perceptions from construction industry professionals" در این پژوهش مدلسازی اطلاعات ساختمان، واقعیت مجازی، واقعیت افزوده، تکنولوژی‌های پوشیدنی، اسکنرهای لیزری[1] و پهپادها از مهمترین تکنولوژی‌های صنعت ساختمان ذکر شده‌اند [۱۶].
Osunsanmi) (et al., 2018	"Construction 4.0: The Future of The Construction Industry in South Africa" آسونسانمی تکنولوژی‌های ساختمانی را در دورهٔ انقلاب صنعتی چهارم به سه گروه سایت‌های هوشمند شامل مجموعه سیستم‌های پیش‌ساخته، مدولاسیون، اینترنت اشیا و اینترنت خدمات، اتوماسیون، مدیریت چرخه تولید، استفاده از امواج رادیویی، گروه سیستم‌های شبیه‌سازی شامل مدلسازی اطلاعات ساختمان، واقعیت مجازی و واقعیت افزوده و گروه مجازی‌سازی شامل سیستم‌های شبیه‌سازی و کامپیوترهای متحرک، رسانه‌های اجتماعی، ابر داده‌ها و رایانش ابری تقسیم کرده است [۱۷].
OECD,) (2018	"Achieving inclusive growth in the face of digital transformation and the future of work" OECD در گزارش خود تکنولوژی‌های تأثیرگذار بر ۱۰ تا ۱۵ سال آینده را که در تعامل با یکدیگر هستند اینترنت اشیا، ابرداده‌ها، هوش مصنوعی، مصالح نانو، ساختارهای زیست‌ترکیبی و پرینترهای سه‌بعدی بیان کرده است [۱۸].
Tetik et al.,) (2019	"Direct digital construction: Technology-based operations management practice for continuous improvement of construction industry performance" نویسندگان مقاله سه مسیر برای آینده صنعت ساختمان در نظر گرفته‌اند: ۱- مسیر مبتنی بر مدلسازی اطلاعات ساختمان ، ۲-مسیر معماری مدولار و ۳-مسیر طراحی الگوریتمی و پارامتری [۱۹].
Perrier et) (al., 2020	"Construction 4.0: A Survey Of Research Trends" چهارمین انقلاب صنعتی با نام صنعت ۴ در حال تغییر از طریق افزایش استفاده از فناوری اطلاعات و فناوری‌های دیجیتالی است. فناوری‌ها و مفاهیمی مانند BIM، ابزارهای مکانیابی انسان و مواد در فضا و زمان مانند RFID و GIS به صنعت ساختمان راه یافته است. در مرحله بهره‌برداری و نگهداری نیز استفاده از فناوری‌های سخت‌افزاری مانند ربات‌ها و حسگرها توسعه یافته است [۲۰].
Kyungki) Kim & Peavy, (2022	"BIM-based semantic building world modeling for robot task planning and execution in built environments" با روش‌های پیشنهادی در این پژوهش، شکاف بین BIM و کارکرد ربات پر می‌شود. با کسب اطلاعات توسط ربات‌ها از محیط‌های عملیاتی، رباتها نیز جزئی از چرخه مدلسازی می‌شوند و عملیات ساختمانی توسط آن‌ها انجام می‌شود [۲۱].
Turk &) (Klinc, 2015	"Potentials of block chain technology for construction management: Creative construction conference" نویسندگان در مقاله خود بیان می‌کنند که بلاک‌چین[2] در آینده با سیستم‌های مدلسازی اطلاعات ساختمان ترکیب خواهد شد و جزئی از حلقه مدلسازی اطلاعات ساختمان خواهد شد. این امر سبب ارتقای ایمنی در سیستم ارتباطی طراحان و پیمانکاران با کارفرما می‌شود [۲۲].

[1] 3D Laser scanning: اسکنر لیزری یک ربات ساختمانی است که توسط کامپیوتر هدایت می‌شود. اسکنر لیزری مجهز به دوربین فتوگرامتری است که بدون نیاز به رفلکتور می‌تواند با سرعتی بالا و باور نکردنی نقاط محیط اطراف خود را برداشت نماید. میدان دید اسکنر به دلیل عدم استفاده از رفلکتور دقیقا مانند چشم انسان می باشد.

[2] Block chain - بلاک چین یک پایگاه داده توزیع‌شده 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

نویسنده (نویسندگان)	عنوان و خلاصه پژوهش
Algabroun) (et al., 2022	"Development of digitalised maintenance – a concept, Journal of Quality in Maintenance Engineering" پژوهشگران استفاده از سیستم‌های دیجیتال تعمیر و نگهداری را در آینده صنایع، امری حتمی بیان کرده‌اند [۲۳].
Oke et al.,) (2017 & Zh et al.,) (2020	"Energy saving and sustainable construction: examining the advantages of nanotechnology" & "Nanotechnology in Construction: State of the Art and Future Trends" ظهور تکنولوژی نانو یک راه‌حل ایده‌آل برای صرفه جویی در مصرف انرژی و کاهش آلودگی در صنعت ساختمان است. نویسندگان کاربرد نانوتکنولوژی در ساختمان‌سازی را دارای ۱۷ مزیت می‌دانند. [۲۴; ۲۵].
et Singh) (al., 2021 & Ahmad &) Prakash, (2022	"Evaluation of the Cooling Potential of Earth Air Heat Exchanger Using Concrete Pipes" & "Thermal performance evaluation of an earth-to-air heat exchanger for the heating mode applications using an experimental test rig" یکی از منابع تأمین انرژی سیستم‌های تاسیساتی و تهویهٔ مطبوع در آینده، انرژی زمین گرمایی خواهد بود [۲۶; ۲۷].
Gudlaugsso) n et al., (2021 & Omri, &) Belaïd, (2021	"Application of Cost Benefits Analysis for the Implementation of Renewable Energy and Smart Solution Technologies: A Case Study of InteGRIDy Project" & "Does renewable energy modulate the negative effect of environmental issues on the socio-economic welfare"? با توجه به صرفهٔ اقتصادی و عدم زیان زیست‌محیطی انرژی‌های تجدیدپذیر، در آینده در همه صنایع به‌طور گسترده به‌کار خواهند رفت [۲۸; ۲۹].
Tahmasebi) nia et al., (2020 & Olsson et) (al., 2021	"Criteria development for sustainable construction manufacturing in Construction Industry 4.0 Theoretical" & "laboratory investigations and Industry 4.0 in a project context: Introducing 3D printing in construction projects" در حال حاضر، تکنیک چاپ سه‌بعدی به صورت محدود وجود دارد که با توجه به تحقیقات گسترده در این زمینه، انتظار می‌رود به زودی محدودیت‌های فعلی چاپ سه‌بعدی از بین برود. تکنولوژی چاپ سه‌بعدی این پتانسیل را دارد که یک تغییر الگو در فرایندهای ساخت و ساز ایجاد کند و به عنوان یک روش معمول در ساخت و ساز بکار برده شود [۳۰; ۳۱].

با جمع‌بندی مطالعات صورت گرفته می‌توان مطابق شکل ۱ معیارهای تکنولوژیک تأثیرگذار بر صنعت ساختمان را در ۵ حوزه طبقه‌بندی کرد.

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.

شکل ۱. معیارهای تکنولوژیک تأثیرگذار بر صنعت ساختمان (مأخذ نگارندگان)

روش‌شناسی

نوع و روش تحقیق

پژوهش حاضر از لحاظ هدف کاربردی-توسعه‌ای است. روش انجام تحقیق از نوع ترکیبی (کیفی و کمی) می‌باشد و با راهبرد ترکیبی دو مرحله‌ای صورت گرفته است. بر این اساس بخش نخست پژوهش حاضر به روش توصیفی-تحلیلی انجام شده است. در این بخش مبتنی بر رویکر آینده‌پژوهی، پیشران‌های اولیه تکنولوژیکی تأثیرگذار بر صنعت ساختمان با ترکیبی از روش‌های پیمایش محیطی و تحلیل روند، با استفاده از کتب، متون و اسناد موجود تعیین شده است. سپس جهت تعیین پیشران‌های تکنولوژیکی نهایی و شناسایی عوامل کلیدی که بیشترین تأثیرگذاری را بر آیندهٔ صنعت ساختمان دارند از دو روش پیمایشی دلفی و تحلیل ساختاری استفاده شده است. در روش دلفی مهندسان با سابقه و فعال در رشته‌های معماری، عمران، مکانیک، برق و شهرسازی (خبرگان) به عنوان جامعهٔ آماری انتخاب شده‌اند. خبرگان در روش دلفی با هم تعامل ندارند و هر کدام به طور مجزا به پرسش‌نامه پاسخ می‌دهند. هدف اصلی دلفی، تایید و دستیابی به اجماع و همگرایی نظر پیرامون موضوعات مورد پرسش است. البته باید توجه داشت همگرایی پیرامون نظرات در اولویت است. بر خلاف نظر سنجی‌های عمومی که مشارکت کنندگان، نمایندگان یک جمعیت بزرگ هستند، در روش دلفی یک پرسش‌نامه طی یک یا چند دور بین مشارکت کنندگان در پیمایش توزیع می‌شود. پیمایش دلفی را می‌توان در دو گام اصلی خلاصه کرد: گام نخست یا همان دور اول دلفی گامی است که پرسش‌نامه‌ها برای دریافت دیدگاه‌های خبرگان ارسال می‌شود. در گام بعد، دیدگاه‌ها پس از جمع‌آوری و طبقه‌بندی، این بار به همراه بازخوردهای اخذ شده از دور اول، برای خبرگان فرستاده می‌شود تا نظرات به اجماع رسیده و بهترین پاسخ‌ها دریافت شود. چنانچه فرایند به اجماع ختم نشود تا حصول به آن ادامه خواهد یافت که معمولاً حداکثر تا چهار دور این امر مهم محقق خواهد شد [۳۲].

پس از تعیین پیشران‌های تکنولوژیکی نهایی به منظور تعیین عوامل کلیدی تکنولوژیک که بیشترین تأثیرگذاری را بر آینده صنعت ساختمان دارند، از روش تحلیل ساختاری استفاده شده است. در این روش پرسش‌نامه ماتریس اثرات متقابل جهت تعیین اثرگذاری و اثرپذیری عوامل تهیه و مورد نظرسنجی خبرگان قرار گرفته است. در پژوهش حاضر تحلیل نتایج توسط نرم‌افزار میک‌مک انجام شده است.

جامعهٔ آماری و حجم نمونه

جامعهٔ آماری شامل خبرگان دارای زمینهٔ علمی مرتبط با صنعت ساختمان (مهندسان با سابقه و فعال در رشته‌های معماری، مهندسی عمران، مهندسی مکانیک، مهندسی برق و شهرسازی، همچنین مهندسان شاغل در دفاتر فعال طراحی، پیمانکاری و مشاور) می‌باشند. به منظور انتخاب نفرات خبره از روش نمونه‌گیری هدفمند استفاده شده است. نمونه‌گیری هدفمند یکی از روش‌های رایج نمونه‌گیری می‌باشد که در آن گروه‌های شرکت کننده بر اساس معیارهای از قبل مشخص شده و مرتبط به سؤالات تحقیق توسط پژوهشگران انتخاب می‌شوند [۳۳]. به همین منظور تا حد امکان شاخص‌ترین افراد در حوزهٔ مورد بحث برای پاسخ‌گویی و نظرخواهی مطابق جدول ۲ انتخاب شده‌اند.

جدول ۲. ویژگی‌های جمعیت‌شناختی جامعه آماری

جنسیت			رشته تحصیلی					
	فراوانی	درصد		فراوانی	درصد		فراوانی	درصد
مرد	۴۱	۸۹	معماری	۲۲	۴۷	مهندسی برق	۳	۷
زن	۵	۱۱	مهندسی عمران	۱۷	۳۷	شهرسازی	۱	۲
			مهندسی مکانیک	۳	۷			
مقطع تحصیلات			**حوزه فعالیت**					
	فراوانی	درصد		فراوانی	درصد		فراوانی	درصد
کارشناسی	۵	۱۱	طراحی/نظارت/اجرا	۲۹	۶۳	طراحی	۱	۲
کارشناسی ارشد	۲۶	۵۷	طراحی/نظارت	۹	۲۰	نظارت	۱	۲
دکتری تخصصی	۱۵	۳۲	طراحی/اجرا	۱	۲	اجرا	۲	۴
			نظارت/اجرا	۳	۷			
سابقه کار								
	فراوانی	درصد		فراوانی	درصد			
۱۰ تا ۱۵ سال	۱۲	۲۶	۲۱ تا ۲۵ سال	۷	۱۵			
۱۶ تا ۲۰ سال	۲۳	۵۰	بالای ۲۵ سال	۳	۹			

روند انجام تحقیق

مرحلهٔ نخست پژوهش به روش مطالعهٔ کتابخانه‌ای با استفاده از منابع دست اول، اسناد و متون علمی مرتبط صورت گرفته و طی آن پیشران‌های تکنولوژیکی اولیه تأثیرگذار بر آینده صنعت ساختمان تعیین شده است. در مرحلهٔ دوم تحقیق به منظور نهایی کردن پیشران‌ها، از تکنیک دلفی و تحلیل ساختاری استفاده شده است. مبتنی بر روش دلفی ابتدا گروهی از خبرگان تعیین شدند؛ در مرحلهٔ اول، پرسش‌نامه‌ای مشتمل بر پیشران‌های اولیه شناسایی شده تهیه و از طریق پست الکترونیکی برای ایشان ارسال گشته است. پس از بررسی پرسش‌نامه‌های عودت شده و انجام تغییرات مبتنی بر نظر خبرگان، مرحلهٔ دوم دلفی برای تعیین پیشران‌های نهایی صورت گرفت. به این منظور پرسش‌نامه پنج گزینه‌ای

لیکرت (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) مشتمل بر پیشران‌های تعیین شده تهیه و پس از اعتبارسنجی، مجددا در اختیار همان خبرگان قرار گرفت. در دو مرحلهٔ نظرسنجی، خبرگان در خصوص پیشران‌ها به اجماع نظر رسیدند و پیشران‌ها مورد تایید قرار گرفت. سپس برای رتبه‌بندی پیشران‌ها بر اساس اهمیت و عدم قطعیت، این عوامل در قالب پرسش‌نامه ماتریس اثرات متقابل، به همان خبرگان ارسال شد تا میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری این عوامل بر یکدیگر تعیین گردد. خبرگان تأثیرگذاری پیشران‌های تعیین شده بر یکدیگر را در ماتریسی n*n (ماتریس اثرات متقابل) امتیازدهی کردند[۳۴]. در کنار تعیین تأثیرات مستقیم متغیرها بر یکدیگر، با استفاده از نرم افزار میک‌مک تأثیر غیرمستقیم متغیرها بر یکدیگر نیز مورد ارزیابی قرار گرفته و در نهایت با تجزیه و تحلیل نتایج به‌دست آمده تعدادی از پیشران‌ها به عنوان نیروهای کلیدی مجموعه تعیین شده است.

پایایی و روایی تحقیق

پایایی پرسش‌نامه خبره‌سنجی مشتمل بر پیشران‌های تکنولوژیکی شناسایی شده (جدول ۵) با محاسبه ضریب آلفای کرونباخ مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که در جدول ۳ دیده می‌شود، ضریب آلفای کرونباخ بدست آمده بیشتر از ۰/۷۰ است. لذا قابلیت اعتماد به پرسش‌نامه حاضر در حد قابل قبول است.

جدول ۳. نتایج پایایی پرسش‌نامه خبره‌سنجی

ضریب آلفای کرونباخ	تعداد گویه‌ها
۰.۹۴۸	۱۸

روایی پرسش‌نامه خبره‌سنجی به روش تحلیل عاملی صورت گرفته است. تحلیل عاملی از جمله روش‌های چند متغیره است که با کمک آن تعداد زیادی متغیر در چند عامل یا مؤلفه خلاصه شده و اعتباریابی شوند. این روش به بررسی همبستگی درونی متغیرها می‌پردازد و در نهایت آنها را در قالب چند عامل دسته‌بندی می‌کند[۳۵]. در پژوهش حاضر پرسش‌نامه خبره‌سنجی که دارای۴ عامل («طراحی»، «ساخت»، «نگهداری، تعمیر و بهره‌برداری» و «مدیریت») و ۱۸ گویه بود (جدول ۵)، به کمک روش تحلیل عاملی اعتبارسنجی شد. قبل از استفاده از روش تحلیل عاملی، ابتدا باید از همبستگی سؤالات پرسش‌نامه اطمینان حاصل شود. این امر در پژوهش حاضر توسط آزمون کایزر مایر اولکین و کرویت بارتلت مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمون مقدار KMO همواره بین ۰ تا ۱ در نوسان است. در صورتی که مقدار KMO کمتر از ۰/۵۰ باشد، گویه‌ها برای تحلیل عاملی مناسب نخواهد بود و اگر مقدار آن بین ۰/۵۰ تا ۰/۶۹ باشد، می‌توان با احتیاط بیشتری به تحلیل عاملی پرداخت، ولی در صورتی که مقدار آن بزرگتر از ۰/۷ باشد، همبستگی موجود بین گویه‌ها برای تحلیل عاملی مناسب خواهد بود[۳۶]. مطابق جدول ۴، عدد ۰.۸۶۵=KMO (بزرگتر از ۰/۷) و عدد معناداری آزمون بارتلت ۰.۰۰۰=Sig (کوچکتر از ۰/۰۵) است بنابراین پرسش‌نامه خبره‌سنجی برای انجام تحلیل عاملی مناسب است و از شرایط مورد نیاز برخوردار می‌باشد.

جدول ۴. نتایج آزمون KMO and Bartlett

اندازه‌گیری کفایت نمونه‌گیری کیزر- میر- اولکین	آزمون کرویت بارتلت	
۰.۸۶۵	تقریب کااسکوئر (کای مربع)	۱۵۳۷.۸۷۲
	درجه آزادی	۶۳۰
	سطح معناداری	۰.۰۰۰

سپس اشتراک گویه‌های هر عامل در پرسش‌نامه مورد بررسی قرار گرفته است. هر چه مقادیر اشتراک استخراجی گویه‌ها بزرگتر باشد (یعنی بزرگتر از ۰/۵) این گویه‌ها، عامل‌های مورد نظر را بهتر توصیف می‌کنند [۳۶]. با توجه به اینکه عدد اشتراکات استخراجی بدست آمده از ۰/۵ بیشتر است، تمامی گویه‌ها برای انجام تحلیل عاملی مناسب می‌باشد. مقدار ویژه و واریانس متناظر با عامل‌ها بیانگر این مطلب است که گویه‌های پرسش‌نامه، ۴ عامل را تشکیل می‌دهند. ماتریس چرخش یافتهٔ عاملی نشان می‌دهد که کدام گویه‌ها و با چه بارهای عاملی با هریک از ۴ عامل مرتبط هستند. با توجه به نتایج تحلیل عاملی مقوله‌بندی گویه‌ها تحت ۴ عامل «طراحی»، «ساخت»، «نگهداری، تعمیر و بهره‌برداری» و «مدیریت» مورد تأیید قرار گرفت و هیچکدام از پیشران‌های تعیین شده (گویه‌ها) حذف نشدند. این امر بیان‌کننده روایی مناسب پرسش‌نامه می‌باشد.

بحث و نتایج

در گام نخست تحقیق پیشران‌های تکنولوژیکی اولیه تأثیرگذار بر آینده صنعت ساختمان از طریق مطالعهٔ کتابخانه‌ای و بررسی پژوهش‌های صورت گرفته مطابق تصویر۱، تعیین گردید. در ادامه به منظور نهایی کردن پیشران‌های اولیه نظرسنجی از خبرگان (مرحلهٔ اول دلفی) انجام شد که طی آن 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 حوزهٔ ساخت مدولاریزاسیون و پیش‌ساخته‌سازی به دو عامل مجزا تفکیک شدند؛ پهپاد، گجت‌های پوشیدنی و ربات‌های ساختمانی تحت عنوان رباتیک و اینترنت اشیا، سازه‌های هوشمند و سیستم‌های تأسیساتی هوشمند تحت عنوان سیستم‌های هوشمند سازه و تأسیسات در هم ادغام شدند. در حوزهٔ طراحی واقعیت مجازی، واقعیت افزوده و رایانش ابری تحت عنوان واقعیت مجازی و افزوده با هم ادغام شدند. عوامل حوزهٔ انرژی با هم ادغام شده و تحت عنوان سیستم‌های پاک و تجدیدپذیر انرژی زیر مجموعه حوزهٔ ساخت قرار گرفتند. تکنولوژی‌های حوزهٔ تعمیر و نگهداری تحت عنوان سیستم‌های نوین تعمیر و نگهداری با هم ادغام شدند. ماحصل کار، احصاء ۱۸ پیشران در ۴ گروه به شرح جدول ۵ می‌باشد.

سپس برای تعیین پیشران‌های نهایی، پرسش‌نامه پنج گزینه‌ای لیکرت (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) مشتمل بر پیشران‌های تعیین شده تهیه و مجددا در اختیار همان خبرگان (مرحلهٔ دوم دلفی) قرار گرفت. خبرگان در مرحله دوم به اجماع نظر رسیدند و همه عوامل 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 کسب کردند. پیشران‌های نهایی شناسایی شده در جدول ۵ آورده شده است. پس از شناسایی پیشران‌های نهایی، با ایجاد ماتریس اثرات متقابل، به بررسی اثرگذاری و اثرپذیری متغیرها بر یکدیگر پرداخته شده است.

جدول ۵. تجمیع و ادغام پیشران‌های تکنولوژیکی تأثیرگذار بر صنعت ساختمان

ردیف		پیشران‌های نهایی تکنولوژیکی تأثیرگذار بر صنعت ساختمان
Q2	طراحی	نرم‌افزارهای نوین مدلسازی سه بعدی
Q4		نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی
Q6		اسکنرهای لیزری
Q8		اتوماسیون
Q10		واقعیت مجازی و واقعیت افزوده
Q12	ساخت	پیش‌ساخته‌سازی
Q14		مدولاریزاسیون
Q16		اتوماسیون

ردیف		پیشران‌های نهایی تکنولوژیکی تأثیرگذار بر صنعت ساختمان
Q18		سیستم‌های هوشمند ساختمانی مشتمل بر سیستم‌های هوشمند سازه و
Q20		رباتیک
Q22		پرینترهای سه بعدی
Q24		مصالح سبز
Q26		سیستم‌های پاک و تجدیدپذیر تامین انرژی
Q28		واقعیت مجازی و واقعیت افزوده
Q30		استانداردهای رتبه‌بندی پایداری ساختمان
Q32	نگهداری، تعمیر	سیستم‌های نوین نگهداری و تعمیر ساختمان
Q34	مدیریت	مدلسازی اطلاعات ساختمان (BIM)
Q36		بلاک چین

در این راستا با تشکیل یک ماتریس ۱۸×۱۸ به کمک کارشناسان و خبرگان امتیازاتی در بازه صفر تا سه به میزان اثرگذاری عوامل بر یکدیگر داده شد. برای تحلیل پرسش‌نامه‌ها توسط نرم افزار میک‌مک متغیرها مطابق جدول ۶ به اختصار نامگذاری شدند.

بر اساس خروجی نرم‌افزار میزان پرشدگی ماتریس ۹۳.۲۱۰ درصد است که نشان می‌دهد عوامل انتخاب شده تأثیر زیاد و پراکنده‌ای بر همدیگر داشته‌اند. همان‌طور که در جدول ۷ دیده می‌شود از مجموع ۳۰۲ رابطهٔ قابل ارزیابی در این ماتریس، ۲۲ رابطه عدد صفر بوده است که این تعداد نزدیک به ۷ درصد کل حجم ماتریس را به خود اختصاص داده است. این مطلب به این معنی است که عوامل بر همدیگر تأثیر نداشته یا از همدیگر تأثیر نپذیرفته‌اند. از طرف دیگر ماتریس بر اساس شاخص‌های آماری با ۲ بار چرخش داده‌ای از مطلوبیت و بهینه‌شدگی ۱۰۰ درصد برخوردار بوده که حاکی از روایی بالای پرسش‌نامه و پاسخ‌های آن است.

پراکنش متغیرها و چینش آن‌ها در شکل ۲ نشان‌دهنده وضعیت پایداری یا ناپایداری سیستم است. پراکنش متغیرها به صورت L شکل دال بر پایداری سیستم است و چنانچه متغیرها بیشتر در نواحی اول و سوم شبکه مختصات و حول خط قطری پراکنده شده باشند، سیستم ناپایدار است. پراکنش متغیرها در پلان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری سیستم مورد مطالعه نشان‌دهنده وضعیت ناپایداری بسیار شدید سیستم است. اکثر متغیرها در اطراف محور قطری صفحه هستند. به غیر از چند عامل محدود که نشان می‌دهد دارای تأثیرگذاری بالایی در سیستم هستند، بقیه متغیرها از وضعیت تقریباً مشابهی نسبت به هم برخوردارند که فقط شدت و ضعف آن‌ها با هم متفاوت است. تراکم متغیرها در وضعیت تأثیرگذاری و تأثیرپذیری زیاد از دیگر علائم ناپایداری سیستم مورد مطالعه است.

جدول ۶. کدگذاری عوامل جهت ورود به نرم‌افزار میک‌مک

R	شاخص	نشانگرکوتاه
۱	نرم‌افزارهای مدلسازی سه بعدی	نرم-مدل-۳ب
۲	نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی	نرم-شبیه س
۳	اسکنرهای لیزری	اسکنرهای ل
۴	اتوماسیون در حوزه طراحی	اتو-طراحی
۵	واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در حوزه طراحی	واقع-طراحی
۶	پیش‌ساخته سازی	پیش‌ساخته
۷	مدولاریزاسیون	مدولاریزاس
۸	اتوماسیون در حوزه ساخت	اتو-ساخت

R	شاخص	نشانگرکوتاه
۹	سیستم‌های هوشمند ساختمانی مشتمل بر سیستم‌های هوشمند سازه و تاسیسات	س-هوشمند
۱۰	رباتیک	رباتیک
۱۱	سیستم‌های پاک و تجدیدپذیر تامین انرژی	س-پاک
۱۲	مصالح سبز	مصالح سبز
۱۳	پرینترهای سه بعدی	پرینتر-سه
۱۴	واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در حوزه ساخت	واقع-ساخت
۱۵	استانداردهای رتبه‌بندی پایداری ساختمان	استا-رتبه
۱۶	بلاک چین	بلاک چین
۱۷	مدلسازی اطلاعات ساختمان	مدل-اطلاعا
۱۸	سیستم‌های نوین نگهداری و تعمیر ساختمان	س-نگهداری

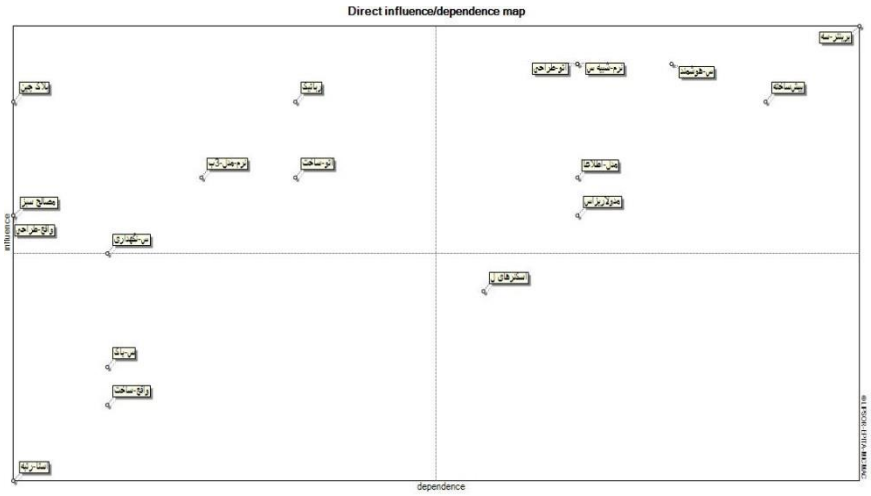
جدول ۷. تحلیل اولیه داده‌های ماتریس

شاخص	مقدار	شاخص	مقدار
ابعاد ماتریس	۱۸×۱۸	تعداد دو	۱۳۶
تعداد تکرار	۲	تعداد سه	۲
تعداد صفرها	۲۲	جمع	۳۰۲
تعداد یک	۱۶۴	درجه پرشدگی	۹۳.۲۱۰٪

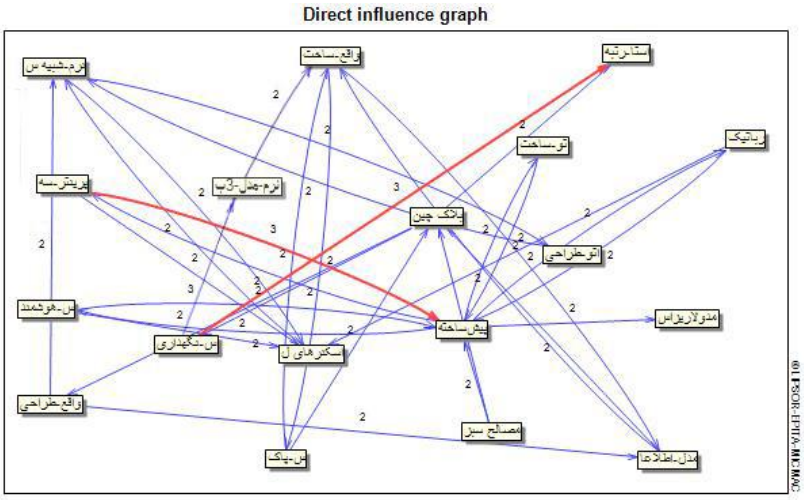
تأثیرات مستقیم متغیرها بر همدیگر

در شکل ۳ روابط مستقیم متغیرها دیده می‌شود. با توجه به اینکه سیستم ناپایدار است، وجود عوامل تأثیرگذار با درجه بالا در منتهی‌الیه نمودار در سمت شمال غربی بعید به نظر می‌رسد، زیرا این محل بیشتر در سیستم‌های پایدار دارای متغیرهایی است. با این حال چندین عامل در این منطقه وجود دارد که حاکی از توان تأثیرگذاری کلان آنها بر سیستم است. این متغیرها عبارتند از: رباتیک، بلاک‌چین، اتوماسیون در حوزهٔ ساخت، نرم‌افزارهای نوین مدلسازی سه بعدی، اتوماسیون در حوزهٔ طراحی و مصالح سبز.

متغیرهای دو وجهی که در شمال شرقی نمودار قرار دارند، دارای دو ویژگی مشترک تأثیرگذاری بالا و تأثیرپذیری بالا هستند و هر عملی بر روی این متغیرها بر روی سایر متغیرها نیز واکنش و تغییر ایجاد خواهد کرد. از مجموع ۱۸ متغیر، ۷ متغیر در این گروه قرار دارند. از جمله این متغیرها می‌توان به این موارد اشاره کرد: سیستم‌های هوشمند ساختمانی مشتمل بر سیستم‌های هوشمند سازه و تاسیسات، مدلسازی اطلاعات ساختمان، نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی، پرینترهای سه بعدی، پیش‌ساخته‌سازی، واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در حوزهٔ طراحی و مدولاریزاسیون.



شکل ۲. نمودار اثرگذاری و اثرپذیری مستقیم عوامل بر یکدیگر

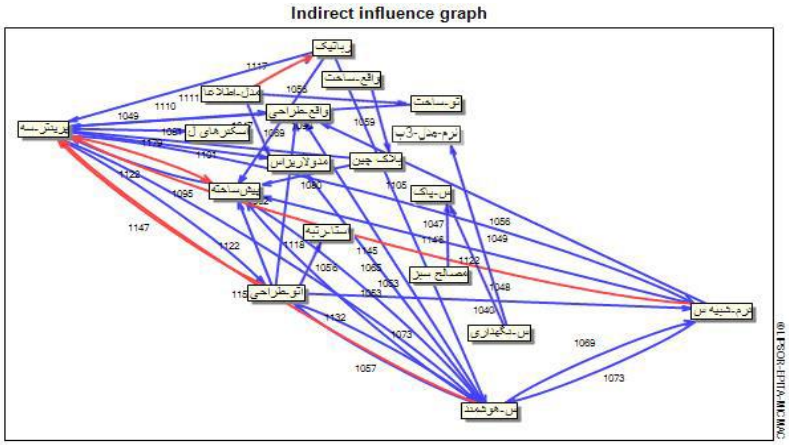


شکل ۳. نقشهٔ روابط مستقیم بین متغیرها (تأثیرات بسیار ضعیف تا بسیار قوی)

متغیرهای وابسته در قسمت جنوب شرقی نمودار قرار دارند این متغیرها از تأثیرپذیری بسیار بالا و تأثیرگذاری بسیار پایین در سیستم برخوردار هستند. اسکنرهای لیزری از جمله این متغیرها می‌باشد. متغیرهای مستقل که در قسمت جنوب غربی نمودار قرار دارند، دارای تأثیرگذاری و تأثیرپذیری پائینی هستند. این متغیرها شامل سیستم‌های پاک و تجدیدپذیر تأمین انرژی، واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در حوزهٔ ساخت و استانداردهای رتبه‌بندی پایداری ساختمان می‌باشد.

متغیرهای تنظیمی در نزدیکی مرکز ثقل نمودار قرار دارند و در واقع حالت تنظیمی داشته و گاهی به عنوان اهرمی ثانویه عمل می‌کنند. سیستم‌های نوین نگهداری و تعمیر ساختمان در این گروه قرار دارد.

تحلیل تأثیرات غیرمستقیم متغیرها در همدیگر



شکل ۴. نقشهٔ روابط غیرمستقیم بین متغیرها (تأثیرات بسیار ضعیف تا بسیار قوی)

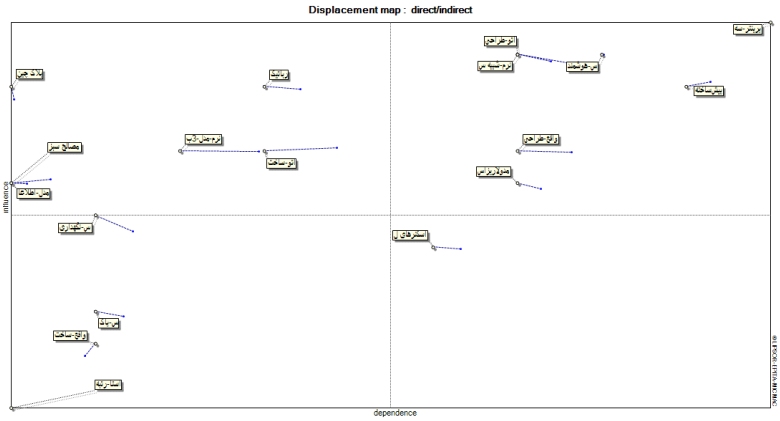
در این روش هر کدام از روابط متغیرها توسط نرم‌افزار به توان‌های ۲، ۳، ۴، ۵ و ... رسانده می‌شود و بر این اساس اثرات غیرمستقیم متغیرها سنجیده می‌شود. آنچه که از مقایسهٔ نتایج تحلیل اثرات غیرمستقیم متغیرها در شکل ۴ دیده می‌شود، این است که صرفاً چند شاخص محدود، اثرات غیرمستقیم فراوانی بر سیستم دارند و رده‌بندی عوامل کلیدی را تحت تأثیر قرار داده‌اند.

تحلیل جابجایی متغیرها

خروجی مدل برای جابه‌جایی متغیرها در شکل ۵ نشان‌دهنده این است که بر اساس روابط غیرمستقیم بین متغیرها، قدرت تأثیرگذاری متغیرهای تأثیرگذار بیشتر شده و از طرف دیگر تأثیرپذیری متغیرهای ناحیهٔ چهارم شبکه مختصات افزایش یافته است. جابجایی متغیرهای تأثیرگذار به سمت بالای شبکهٔ مختصات و جابه‌جایی متغیرهای تأثیرپذیر به سمت پایین و سمت راست، در پلان تأثیرگذاری تأثیرپذیری، این مهم را به خوبی نشان می‌دهد.

اثرات مسقیم و غیرمستقیم متغیرها بر همدیگر

در جدول ۸ اثرات مسقیم و غیرمستقیم متغیرها بر همدیگر به تفکیک تأثیرپذیری و تأثیرگذاری آورده شده است. همان‌طور که در جدول ۸ دیده می‌شود، از میان ۱۸ عامل، ۷ عامل سیستم‌های هوشمند ساختمانی مشتمل بر سیستم‌های هوشمند سازه و تاسیسات، مدلسازی اطلاعات ساختمان، نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی، پرینترهای سه بعدی، پیش‌ساخته‌سازی، واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در حوزهٔ طراحی و مدولاریزاسیون دارای تأثیرگذاری بالایی هستند و در رتبهٔ اول تا هفتم تأثیرگذاری مستقیم قرار گرفته‌اند. این ۷ عامل در تأثیرگذاری غیر مستقیم نیز با کمی جابجایی در رتبه‌های اول تا هفتم قرار دارند.



شکل ۵. تغییرات متغیرها بر اساس میزان تأثیرپذیری مستقیم و غیرمستقیم

جدول ۸. رتبهٔ اثرات مسقیم و غیرمستقیم متغیرها بر همدیگر به تفکیک تأثیرپذیری و تأثیرگذاری

رتبه	نشانگر متغیر	اثرات مستقیم (MDI)		نشانگر متغیر	اثرات غیرمستقیم (MII)	
		اثرگذاری	اثرپذیری		اثرگذاری	اثرپذیری
۱	پرینتر-سه	۶۵۶	۶۷۸	پرینتر-سه	۶۵۸	۶۶۹
۲	نرم-شبیه س	۶۳۳	۶۵۶	س-هوشمند	۶۳۵	۶۵۳
۳	مدل-اطلاعا	۶۳۳	۶۳۳	مدل-اطلاعا	۶۳۱	۶۲۵
۴	س-هوشمند	۶۳۳	۶۱۰	نرم-شبیه س	۶۲۸	۶۱۷
۵	پیش‌ساخته	۶۲۷	۶۱۰	پیش‌ساخته	۶۱۶	۶۱۶
۶	مدولاریزاس	۶۱۰	۶۱۰	واقع-طراحی	۶۱۱	۶۱۱
۷	واقع-طراحی	۶۱۰	۶۱۰	مدولاریزاس	۶۰۷	۶۰۸
۸	رباتیک	۶۰۲	۵۸۸	رباتیک	۶۰۰	۵۸۷
۹	بلاک چین	۵۶۵	۵۴۲	اتو-ساخت	۵۶۷	۵۵۴
۱۰	اتو-ساخت	۵۶۵	۵۴۲	نرم-مدل-۳ب	۵۶۷	۵۴۴
۱۱	اتو-طراحی	۵۴۲	۵۲۰	بلاک‌چین	۵۴۸	۵۳۳
۱۲	مصالح سبز	۵۴۲	۴۹۷	اتو-طراحی	۵۴۴	۵۰۰
۱۳	نرم-مدل-۳ب	۵۴۲	۴۹۷	مصالح سبز	۵۴۱	۴۹۸
۱۴	س-نگهداری	۵۲۰	۴۹۷	س-نگهداری	۵۱۱	۴۸۸
۱۵	اسکنرهای ل	۴۹۷	۴۷۵	اسکنرهای ل	۴۹۹	۴۷۸
۱۶	س-پاک	۴۵۲	۴۷۵	س-پاک	۴۵۱	۴۷۲
۱۷	واقع-ساخت	۴۲۹	۴۷۵	واقع-ساخت	۴۲۴	۴۶۹
۱۸	استا-رتبه	۳۸۴	۴۷۵	استا-رتبه	۳۸۷	۴۶۸

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف شناسایی عوامل کلیدی تکنولوژیک که بیشترین تأثیرگذاری را بر صنعت ساختمان دارند مبتنی بر رویکرد آینده‌پژوهی انجام شده است. به این منظور ابتدا با استفاده از مطالعهٔ کتابخانه‌ای و نظرسنجی از خبرگان، ۱۸ پیشران تکنولوژیکی به عنوان پیشران‌های تأثیرگذار بر آینده صنعت ساختمان در ۴ گروه «طراحی»، «ساخت»، «نگهداری، تعمیر و بهره‌برداری» و «مدیریت» شناسایی شده است. سپس برای تعیین پیشران‌های تکنولوژیکی که

بیشترین تأثیرگذاری را بر آیندهٔ صنعت ساختمان دارند از روش تحلیل ساختاری استفاده شده است. با انجام تحلیل ساختاری مجموعه به عنوان یک سیستم ناپایدار شناخته شد که در آن ۵ دسته پیشران شامل پیشران‌های تأثیرگذار، دو وجهی، تنظیمی، تأثیرپذیر و مستقل وجود دارد. مبتنی بر نتایج حاصل شده، ۷ پیشران شامل سیستم‌های هوشمند سازه و تاسیسات، مدلسازی اطلاعات ساختمان، نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی، پرینترهای سه بعدی، پیش‌ساخته‌سازی، واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در حوزهٔ طراحی و مدولاریزاسیون به عنوان متغیرهای دو وجهی، ۶ پیشران شامل رباتیک، اتوماسیون در حوزه ساخت، نرم‌افزارهای نوین مدلسازی سه بعدی، اتوماسیون در حوزهٔ طراحی، بلاک‌چین و مصالح سبز به عنوان متغیرهای تأثیرگذار، اسکنرهای لیزری به عنوان متغیرهای تأثیرپذیر، ۳ پیشران شامل سیستم‌های پاک و تجدیدپذیر تامین انرژی، واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در حوزهٔ ساخت و استانداردهای رتبه‌بندی پایداری ساختمان به عنوان متغیرهای مستقل و سیستم‌های نوین نگهداری و تعمیر ساختمان به عنوان متغیر تنظیمی تعیین شده‌اند. مقایسهٔ نمودارهای اثرگذاری و اثرپذیری مستقیم و غیر مستقیم عوامل نشان‌دهندهٔ این مطلب است که بر اساس روابط غیرمستقیم بین متغیرها علاوه بر آنکه پراکنش آنها تغییر چندانی نکرده است، قدرت تأثیرگذاری متغیرهای تأثیرگذار بیشتر شده و تأثیرپذیری متغیرهای ناحیهٔ چهارم شبکهٔ مختصات نیز افزایش یافته است. در نتیجه ۷ متغیر دو وجهی شناسایی شده که بیشترین تأثیرگذاری را بر سیستم دارند به‌علاوه ۲ متغیر تأثیرگذار رباتیک و بلاک‌چین به عنوان عوامل کلیدی مجموعه انتخاب شدند. از مجموعه این ۹ عامل، ۲ عامل نرم‌افزارهای نوین شبیه‌سازی مصرف انرژی و واقعیت مجازی و افزوده در طراحی متعلق به حوزهٔ طراحی، ۵ عامل سیستم‌های هوشمند سازه و تاسیسات، پرینترهای سه‌بعدی، پیش‌ساخته‌سازی، مدولاریزاسیون و رباتیک متعلق به حوزهٔ ساخت و ۲ عامل بلاک‌چین و مدلسازی اطلاعات ساختمان به حوزهٔ مدیریت تعلق دارند. به این ترتیب این نتیجه حاصل می‌شود که عوامل کلیدی تکنولوژیک مربوط به حوزهٔ ساخت بیشترین تأثیرگذاری را بر آیندهٔ صنعت ساختمان خواهند داشت. ماهیت عوامل تکنولوژیک حوزهٔ ساخت نشان‌دهندهٔ توسعهٔ سیستم‌های دیجیتال و هوش مصنوعی در صنعت ساختمان است که این امر به مرور زمان سبب کمرنگ شدن نقش انسان و انسان محور بودن فرایند ساخت می‌شود. از سوی دیگر هوش مصنوعی ضمن این‌که بخش عمده‌ای از وظایف انسانی را پوشش می‌دهد و باعث افزایش سرعت و دقت انجام کارهای ساختمانی می‌شود، نیازمند مهارت بیشتر برای کار با این سیستم‌هاست. با پیچیده شدن فرایند ساخت در آینده، داشتن یک سیستم مدیریتی یکپارچه بر پایهٔ ساخت دیجیتال چون سیستم مدلسازی اطلاعات ساختمان ضروری می‌باشد. مدلسازی اطلاعات ساختمان با دخیل کردن تمامی ذی‌نفعان و دست‌اندرکاران پروژه در مراحل طراحی و ساخت گام بزرگی در جهت کاهش دوباره‌کاری‌ها برداشته است. به‌علاوه با این سیستم می‌توان به محاسبات و برآورد دقیق مالی و زمانی دست یافت. گسترده شدن استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مصرف انرژی در آینده بیانگر این امر است که پایداری و طراحی مبتنی بر بهینه‌سازی مصرف انرژی در آیندهٔ صنعت ساختمان بسیار حائز اهمیت خواهد بود. از آنجایی‌که آیندهٔ صنعت ساختمان تحت تأثیر این تکنولوژی‌های نوین، تغییرات شگرفی خواهد کرد می‌بایست راهبردهای اساسی توسط دولت و بخش خصوصی اتخاذ شود تا مهندسان و کارگران ساختمانی توانایی‌های لازم برای کار در این بستر پیشرفته را کسب نمایند. تعدادی از این راهبردها که به نظر نویسندگان دارای اهمیت بسیار زیادی هستند در ذیل آورده شده است:

۱- اختصاص بودجه به بخش خصوصی و دولتی جهت انجام طرح‌های پژوهشی برای شناسایی عوامل تکنولوژیک، پیامدها و ملزومات آن در حوزهٔ صنعت ساختمان.
۲- ایجاد مراکز آموزشی مهارت محور جهت آموزش مهارت‌های مورد نیاز کارگران.
۳- بررسی مداوم و به روز کردن سرفصل‌های درسی آموزش عالی کشور تا فارغ‌التحصیلان و مهندسان رشته‌های مرتبط دارای آگاهی و مهارت لازم برای فعالیت در این عرصه باشند.

References

[1] Bell, W. (2009). *Foundations of futures studies, volume 1: Human science for a new era*. Routledge https://www.routledge.com/Foundations-of-Futures-Studies-Volume-1-History-Purposes-and-Knowledge/Bell/p/book/9780765805393

[2] Hashemian Isfahani, M. (2010). *Foresight and Evaluation of Regional Competitors and Global Pioneers in The Field of Science and Technology*. Tehran University Publication Center.

[3] Shakuri, S., & Bonyadi Naeini, A. (2016). Scenarios Planning in the Future of technology in Application software with future study approach. *Journal of Technology Development Management*, *3*(4), 111-138. https://doi.org/10.22104/jtdm.2016.410

[4] Schwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution* (I. Nabipour, Trans.). Bushehr: Publication of Bushehr University of Medical Sciences and Health Services. https://pgtmrc.bpums.ac.ir/Fa/DynPages-6274.htm

[5] Martin, B. R. (1995). Foresight in science and technology. *Technology Analysis & Strategic Management*, *7*(2), 139-168. https://doi.org/10.1080/09537329508524202

[6] Ziari, K., Rabbani, T., & Saedmochshi, R. (2018). *Future studies: a new paradigm in planning with an emphasis on urban and regional planning (basics, concepts, approaches and methods)* (2 ed.). University of Tehran Printing and Publishing Institute. https://www.gisoom.com/book/11407388

[7] Zangiabadi, H., Hoseinikhah, H., & Ghasemy, M. (2020). Regional development planning Based on Methods of analysis cross-impact And CIB (Case study: Kohgiluyeh and Boyer Province). *Human Geography Research*, *52*(2), 657-674. https://doi.org/10.22059/jhgr.2019.229931.1007430

[8] Nabipour, I. (2012). *Technology Foresight: A Tool for Comprehensive Sustainable Development*. Bushehr: Publication of Bushehr University of Medical Sciences and Health Services. https://www.gisoom.com/book/1839278/

[9] Mirshahvelayati, F., & Nazarizadeh, F. (2017). *Concepts and methods of technology scouting*. Center for Future Studies in Defense Science and Technology. https://taaghche.com/book/108815/

[10] Mowlaei, M. M., & Talebian, H. (2016). Futures Studies of Iran's Issues by Structural Analysis Method. *Majlis and Rahbord*, *23*(86), 5-32. https://www.sid.ir/paper/2248 77/en

[11] Khalil, T. (2005). *Technology Management: The Key to Success in Competition and Wealth Creation* (S. M. Arabi & D. Izadi, Trans.). Cultural Research Office. https://www.gisoom.com/book/1300863/

[12] Amiri, S., Naderi, N., Mohamadifar, Y., & Rezaee, B. (2020). Studying and Explaining the Role of Technological Challenges in the Stagnation Process of Industrial Enterprises: An Exploratory Mix Approach. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, *17*(3), 99-112. https://doi.org/10.48301/kssa.2020.124669

[13] Pourjavan, K. (2019). Explanation of Smart City and Urban Smart Transportation Solutions. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, *16*(1), 15-34. https://karafan.tvu.ac.ir/article_100529.html

[14] 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. https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015

[15] Edirisinghe, R. (2019). Digital skin of the construction site. *Engineering, Construction and Architectural Management*, *26*(2), 184-223. https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2017-0066

[16] Holt, E. A., Benham, J. M., & Bigelow, B. F. (2015, June 14-17). *Emerging technology in the construction industry: Perceptions from construction industry professionals.* 2015 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition, Seattle, Washington. https://doi.org/10.18260/p.23933

[17] 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 Environmental Engineering*, *12*(3), 206-212. https://doi.org/10.5281/zenodo.1315923

[18] Organisation for Economic Co-operation and Development. (2018). *Achiving Inclusive Growth in The Face of Digital Transformation and The Future of Work*. OECD. https://www.oecd.org/g20/OECD_Achieving%20inclusive%20growth%20in%20the%20face%20of%20FoW.pdf

[19] Tetik, M., Peltokorpi, A., Seppänen, O., & Holmström, J. (2019). Direct digital construction: Technology-based operations management practice for continuous improvement of construction industry performance. *Automation in Construction*, *107*, 102910. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102910

[20] 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 25*(24), 416-437. https://doi.org/10.36680/j.itcon.2020. 024

[21] Kim, K., & Peavy, M. (2022). BIM-based semantic building world modeling for robot task planning and execution in built environments. *Automation in Construction*, *138*, 104247. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104247

[22] Turk, Ž., & Klinc, R. (2017). Potentials of Blockchain Technology for Construction Management. *Procedia Engineering*, *196*, 638-645. https://doi.org/10.1016/j.proen g.2017.08.052

[23] 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. https://doi.org/10.1108/JQME-04-2019-0039

[24] Oke, A. E., Aigbavboa, C. O., & Semenya, K. (2017). Energy Savings and Sustainable Construction: Examining the Advantages of Nanotechnology. *Energy Procedia*, *142*, 3839-3843. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.285

[25] Pisarenko, Z. V., Ivanov, L., & Wang, Q. (2020). Nanotechnology in construction: State of the art and future trends. *Nanotekhnologii v Stroitel'stve*, *12*(4), 223-231. https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-4-223-231

[26] 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. *Archives of Thermodynamics*, *43*(1), 185-207. https://doi.org/10.24425/ather.2022.140931

[27] 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*(2), 19. https://doi.org/10.1007/s10765-020-02774-w

[28] 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*(1), 1-6. https://doi.org/10.3390/environsciproc2021011015

[29] 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*, 111483. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111483

[30] 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*, 100033. https://doi.org/10.1016/j.plas.2021.100033

[31] Tahmasebinia, F., M.E. Sepasgozar, S., Shirowzhan, S., Niemela, M., Tripp, A., Nagabhyrava, S., Mansuri, K. K. Z., & Alonso-Marroquin, F. (2020). Criteria development for sustainable construction manufacturing in Construction Industry 4.0. *Construction Innovation*, *20*(3), 379-400. https://doi.org/10.1108/CI-10-2019-0103

[32] Khazaee, S., & Mahmoudzadeh, A. (2014). *Futures Studies* (6 ed.). Alam Afrin , Pars Zia. https://www.gisoom.com/book/11008648/

[33] Onwuegbuzie, A. J., & Collins, K. M. (2007). A typology of mixed methods sampling designs in social science research. *Qualitative report*, *12*(2), 281-316. https://doi.org/10.46743/2160-3715/2007.1638

[34] Godet, M. (1994). *From anticipation to action: a handbook of strategic prospective*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. http://specialcollections.nust.na:8080/greenstone3/library/sites/localsite/collect/unesco/index/assoc/HASH4c9c.dir/From_anticipation_to_action_a_handbook_of_strategic_prospective.pdf;jsessionid=8AF25B8AD64FE7CE2D607E5E8F68AB35

[35] Kalantari, K. (2014). *Data Processing and Analysis in Socio-Economic Research* (6 ed.). Saba Culture press. https://www.gisoom.com/book/11157179/

[36] Ghayoumi, A. F., & Momeni, M. (2011). *Statistical Analysis with SPSS*. Mansour Momeni. https://www.gisoom.com/book/1747959/