



## Scenario-Writing for the Formation of "Construction 4.0" in Iran

Seyed Mehdi Alavi<sup>1</sup>, Alireza Naser Sadrabadi<sup>2\*</sup>, Habib Zare Ahmadabadi<sup>3</sup>,  
Seyed Mojtaba Hosseini Bamakan<sup>4</sup>

<sup>1</sup>PhD Student, Yazd University, Yazd, Iran.

<sup>2,3</sup>Associate Professor, Yazd University, Yazd, Iran.

<sup>4</sup>Assistant Professor, Yazd University, Yazd, Iran.

### ARTICLE INFO

**Received:** 06.23.2022

**Revised:** 09.27.2022

**Accepted:** 11.19.2022

**Keyword:**

Futures Study  
Scenario-Writing  
Construction 4.0  
Construction Industry  
Fourth Industrial Revolution

**\*Corresponding Author:**

Alireza Naser Sadrabadi

**Email:** [alireza\\_naser@yazd.ac.ir](mailto:alireza_naser@yazd.ac.ir)

### ABSTRACT

The influence of the fourth industrial revolution on the construction industry has led to the introduction of the concept of "Construction 4.0" and the purpose of the present study was to analyze the formation of this phenomenon in Iran in a twenty-year time period through futures study. The present qualitative and descriptive research was designed with an exploratory futures study approach. In order to achieve the objectives of the research, an initial list of key drivers affecting the formation of Construction 4.0 was extracted from research records and written scientific sources, and then, by forming an expert group with the Delphi approach, they were prioritized. In the scenario-writing stage, using the methodology of the Global Business Network (GBN), four scenarios of possible futures in this field were set while creating an intersection between the uncertainties of two key drivers. The prioritization of the identified drivers in the field of creating the phenomenon of Construction 4.0 in Iran indicates that the two key factors in this field are: "Scientific cooperation of the country with the developed world" and "Technological advances in new areas". Quadruple scenarios resulting from the intersection of these two uncertainties were identified with the metaphors of Sea, Spring, Marsh, and River. It is necessary for the policy makers to strengthen scientific and technological interactions with advanced countries in this matter (such as Germany), to support start-up and innovative companies, and focus on strengthening the other identified main drivers.



---

## EXTENDED ABSTRACT

---

### Introduction

The pervasive trend that has swept the world of technology and innovation under the name of the fourth industrial revolution in recent years has exerted numerous and extensive effects on various business fields and has placed various industries on the threshold of fundamental changes. The penetration of this flow into the construction industry has led to the introduction of a very new concept, which is referred to as "Construction 4.0". The defenders of this new trend believe that the formation of this phenomenon in the construction system will solve chronic damage and possible crises in this industry. In addition, there are countless and very attractive opportunities in the expansion of the phenomenon of Construction 4.0 in society. The main issue in this context is that it is not clear which drivers will strengthen the formation of Construction 4.0, and on the other hand, it is necessary to clarify what futures these drivers will create for the construction industry of Iran. The purpose of this study was to analyze and explain how this phenomenon will be formed in the construction industry of Iran through futures study.

### Methodology

The present study, which is considered as a group of qualitative and descriptive studies, was designed with an exploratory futures research approach. In order to achieve the objectives of the research, an initial list of key drivers affecting the formation of Construction 4.0 was extracted from research records and written scientific sources, and then by forming an expert group with the Delphi approach, they were prioritized. In the scenario-writing stage, using the methodology of the Global Business Network (GBN), while creating an intersection between the uncertainties of two key drivers, four scenarios of possible futures in this field were set. The sub-steps of the implementation of this study are as follows:

- **Identification of drivers:** In the first stage, by searching written sources, a preliminary list of possible drivers was prepared in this matter. The main tool in this step, based on a library approach, was the forms designed by the research group to summarize second-hand data.
- **Prioritization of drivers:** It was necessary to make a relative comparison of drivers based on valid criteria and prioritize them with regard to the requirements of Iranian society. The main technique used in this section was Delphi, which attempted to converge and align experts' opinions about the two axial thrusters from this list.
- **Designing scenarios:** After identifying the two vital drivers, it was necessary to cross-check the uncertainties related to them in order to design four future scenarios for the country's construction industry in shaping the Construction 4.0 phenomenon.

### Results and discussion

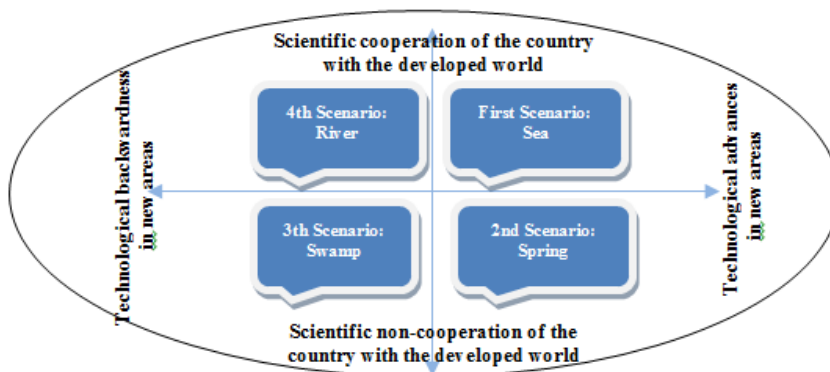
The prioritization of the identified drivers in the field of creating the phenomenon of Construction 4.0 in Iran indicated the two key factors in this field as "Scientific cooperation

of the country with the developed world" and "Technological advances in new areas." Table (1) presents the complete list of these drivers.

**Table 1. Drivers of Construction 4.0 in Iran.**

No.	Driver	Priority level
1	Political-social acceptance of new technologies	low
2	Legal and judicial support for this phenomenon	low
3	Scientific cooperation between the country and the developed world	high
4	The amount of economic investment in research and development	medium
5	Financing the cost of new technologies	medium
6	Technological advances in new fields	high
7	Development of global standards in this field	low
8	Reengineering work processes	medium
9	Accompanying the moral (and religious) system	Low
10	Network links in industry	low
11	The speed of scientific progress of society	medium
12	Public awareness of this phenomenon	Low
13	The technical approach governing the construction industry	low
14	Digitization of the industry	medium
15	The level of technical knowledge of construction industry specialists	low

The four scenarios resulting from the intersection of these two uncertainties were also identified as follows (according to Figure 1): Sea (the country's scientific cooperation with the advanced world despite technological progress in new fields), Spring (the country's lack of scientific cooperation with the advanced world despite technological progress in new fields), Swamp (the country's lack of scientific cooperation with the advanced world combined with technological backwardness) in new fields) and River (the country's scientific cooperation with the advanced world while being technologically backward in new fields).



**Figure 1. Four scenarios of Construction 4.0 phenomenon in Iran.**

## **Conclusion**

In order for the key stakeholders of the construction industry (including manufacturers, technologists and users) to benefit from the surprising potential benefits of the newly emerging trend of Construction 4.0, it is necessary for the officials and policy makers of this field to develop and strengthen scientific and technological interactions with advanced countries in this matter (such as Germany), and to provide suitable grounds for the growth of the technological capabilities of the activists of this industry, particularly through practical support for start-ups and innovative companies. It is also useful to focus attention on strengthening other drivers identified in this study (such as re-engineering work processes, directing economic investment toward R&D, financing the cost of new technologies, attracting the moral and religious system, improving the level of technical knowledge of specialists etc.). The findings of this research can be used as a basis for practical recommendations addressed to the senior officials of the technical and executive system in the construction industry. It is recommended that a special executive structure with the mission of envisioning the future and monitoring new construction technologies be designed and necessary organizational infrastructures for understanding the future of the construction industry be created. Such a new structure, which can start its activity under the title of "New Construction Technologies Acceptance Centre", by using expert capacities and flexible processes and structure, will be able to develop the process of forming a suitable scenario of the Construction 4.0 in Iran.



شاپای الکترونیکی: ۲۵۳۸-۴۴۲۰

شاپای چاپی: ۲۳۸۲-۹۷۹۶

مقاله پژوهشی

## سناریونگاری شکل‌گیری پدیده «ساخت‌وساز چهار» در صنعت ساختمان

سیدمهدی علوی<sup>۱</sup>، علیرضا ناصر صدرآبادی<sup>۲\*</sup>، حبیب زارع احمدآبادی<sup>۳</sup>، سید مجتبی حسینی بامکان<sup>۴</sup>

- ۱- دانشجوی دوره دکتری مدیریت دانشگاه یزد، یزد، ایران.
- ۲ و ۳- دانشیار بخش مدیریت صنعتی دانشگاه یزد، یزد، ایران.
- ۴- استادیار بخش مدیریت صنعتی دانشگاه یزد، یزد، ایران.

### چکیده

### اطلاعات مقاله

نفوذ جریان انقلاب صنعتی چهارم به صنعت ساختمان باعث معرفی مفهوم «ساخت‌وساز چهار» شده و هدف از مطالعه حاضر آن است که چگونگی شکل‌گیری این پدیده در کشور ایران را در افق زمانی بیست‌ساله از طریق آینده‌پژوهی مورد تحلیل قرار دهد. پژوهش کیفی و توصیفی حاضر با رویکرد آینده‌پژوهی اکتشافی طراحی شده است. به‌منظور تحقق اهداف تحقیق، فهرستی اولیه از پیشران‌های کلیدی مؤثر بر شکل‌گیری پدیده ساخت‌وساز چهار از سوابق پژوهشی و منابع علمی مکتوب استخراج شد و در ادامه با تشکیل گروه خبرگی با رویکرد دلفی اقدام به اولویت‌بندی آن‌ها صورت گرفت. در مرحله سناریونویسی نیز با بهره‌گیری از روش‌شناسی شبکه جهانی کسب و کار، ضمن ایجاد تلاقی میان عدم قطعیت‌های ناظر بر دو پیشران کلیدی، چهار سناریو از آینده‌های باورپذیر در این زمینه تنظیم شد. اولویت‌بندی پیشران‌های شناسایی شده در زمینه ایجاد پدیده ساخت‌وساز چهار در کشور ایران حاکی از آن است که دو عامل کلیدی در این زمینه عبارتند از: «همکاری‌های علمی کشور با جهان پیشرفته» و «پیشرفت‌های فناورانه در عرصه‌های نوین». سناریوهای چهارگانه حاصل از تلاقی این دو عدم‌قطعیت با استعاره‌های دریا، چشمه، مرداب و رود شناسایی شدند. برای آنکه ذی‌نفعان کلیدی صنعت ساختمان (شامل تولیدکنندگان، فناوران و بهره‌برداران) بتوانند از جریان نوپدید ساخت‌وساز چهار منتفع شوند، لازم است سیاست‌گذاران این عرصه ضمن تقویت تعاملات علمی و فناورانه با کشورهای پیشرفته در این موضوع (همانند آلمان)، از شرکت‌های نوپا و نوآور در این عرصه حمایت کنند؛ علاوه بر آن که توجه به تقویت سایر پیشران‌های شناسایی شده نیز ضروری است.

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۰۶

بازنگری مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۰۱

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۲۸

### کلید واژگان:

آینده‌پژوهی  
سناریونگاری  
ساخت‌وساز چهار  
صنعت ساختمان  
انقلاب صنعتی چهارم

\*نویسنده مسئول: علیرضا ناصر

صدرآبادی

پست الکترونیکی:

[alireza\\_naser@yazd.ac.ir](mailto:alireza_naser@yazd.ac.ir)



## مقدمه

نظام نوآوری و فناوری همواره، موتور محرک صنعت و اقتصاد، عاملی کلیدی در تحقق توسعه‌یافتگی و پیشرفت جوامع به شمار می‌آید [۱]. به بیان دیگر بسیاری از جلوه‌های تکامل و تعالی کشورها و دولت‌ها در عرصه‌های مختلف اقتصادی، علمی، نظامی و سیاسی حاصل نوآوری‌هایی است که در دانشگاه‌ها و مراکز تحقیق و توسعه صنعتی شکل گرفته و باعث شده است که فناوری‌های کاربردی جدیدی متناسب با نیازها و شرایط در حال تحول کسب‌وکارهای مختلف، طراحی و ارائه شوند [۲]. اصلی‌ترین مأموریت نظام نوآوری و فناوری، شناسایی معضلات یا نقاط قابل بهبود در عرصه‌های گوناگون زندگی فردی و اجتماعی انسان است تا مناسب‌ترین راهکار فناورانه برای رفع این نیازها یا ارتقای عملکرد سامانه‌ها و سازمان‌ها را تنظیم و پیشنهاد کند [۳].

یکی از جدیدترین جریان‌های برخاسته از نظام نوآوری و فناوری، «انقلاب صنعتی چهارم» (صنعت چهارم) است که به همگرایی میان مجموعه‌ای از فناوری‌های نوظهور برای جهش در بهره‌وری و ارتقای شگفت‌انگیز در شاخص‌هایی از قبیل حجم تولید، کاهش ضایعات، نزول قیمت تمام شده، بهبود کیفیت و ... تعریف شده است [۴]. تعدادی از این فناوری‌ها که تشکیل‌دهنده موج چهارم انقلاب صنعتی هستند از این قرار هستند: چاپ سه‌بعدی، نانوفناوری و مواد جدید، بلاکچین و فناوری‌های مالی، محاسبات کوانتومی، روباتیک و حس‌گرها، هوش مصنوعی و کلان‌داده، اینترنت اشیا و همه‌چیز، واقعیت مجازی و افزوده، زیست‌فناوری و ... [۵].

از جمله بخش‌های اقتصادی تأثیرپذیر از انقلاب صنعتی چهارم، صنعت ساختمان است که هم‌اکنون نیز به استناد گزارش‌های آماری و یافته‌های تحقیقاتی معتبر در جایگاهی کم‌نظیر در زمینه توسعه اقتصادی جوامع قرار دارد [۶]. این صنعت هم از نظر سهم شاغلان بازار کار و هم از منظر حجم ارزش افزوده‌ای که به اقتصاد جامعه تزریق می‌کند از کلیدی‌ترین صنایع محسوب می‌شود؛ همچنین تأثیری فزاینده بر رونق و توسعه سایر بازارها و بخش‌های اقتصادی اعمال می‌کند. بخش دیگری از اهمیت این صنعت به پایین بودن شاخص‌های بهره‌وری و بالا بودن میزان حوادث کاری در کنار حجم زیاد آلاینده‌های زیست‌محیطی ناشی از فعالیت بنگاه‌های تولیدی فعال در این بخش مربوط است [۷؛ ۸].

به تازگی نسخه اختصاصی از انقلاب صنعتی چهارم در صنعت ساختمان با عنوان «ساخت‌وساز چهار» معرفی شده است که به‌مثابه پدیده‌ای نوظهور و برخاسته از نوآوری‌های فناورانه می‌تواند تأثیراتی بسیار گسترده و عمیق بر ابعاد و عناصر گوناگون این بازار و صنعت وارد آورد. مدافعان این جریان نوپدید معتقدند که شکل‌گیری و قوام این پدیده در نظام ساخت‌وساز خواهد توانست آسیب‌های مزمن و بحران‌های احتمالی این صنعت در عرصه‌هایی همچون بهره‌وری، حوادث کاری، خطرات زیست‌محیطی و ... را به صورتی ریشه‌ای و غیرقابل بازگشت برطرف کند؛ علاوه بر آن که فرصت‌هایی بی‌شمار و بسیار جذاب نیز در حوزه‌هایی از قبیل استحکام، زیبایی، انعطاف‌پذیری، راحتی، ارزانی و دیگر سنجه‌های کیفیت ساختمان و سازه‌های محصول این صنعت، در سایه توجه جدی به گسترش پدیده ساخت‌وساز چهار ایجاد خواهد شد [۹].

مسئله اصلی در این زمینه آن است که روشن نیست جریان فناورانه نوپدید و انقلابی ساخت‌وساز چهار تحت تأثیر کدام عوامل یا پیشران‌ها تسریع و تسهیل خواهد شد و شدت و ضعف این پیشران‌ها در کشور ایران، چگونه آینده‌هایی را برای صنعت ساختمان کشورمان رقم خواهد زد. بدین ترتیب، سؤال اصلی این تحقیق آن است که «طی بیست سال آینده، کدام سناریوها از شکل‌گیری پدیده ساخت‌وساز چهار در صنعت ساختمان ایران قابل تصور است؟». اهمیت و ضرورت حل این مسئله را باید به چند واقعیت انکارناپذیر دنیای معاصر مرتبط دانست؛ نخست آن که به دلیل جایگاه محوری صنعت ساختمان در عناصر زیست‌بوم توسعه اقتصادی جوامع (به‌ویژه از نظر سهم در اشتغال، حجم ارزش افزوده، تأثیرگذاری در رونق سایر بخش‌ها و...)، لازم است برنامه‌ریزی علمی و دقیق برای سامان‌دهی این آبرصنعت و شکوفایی

<sup>1</sup> Construction 4.0

پایدار آن در درازمدت صورت پذیرد. دومین بخش از گزاره‌های تبیین‌کننده لزوم و اولویت اجرای این مطالعه به تأثیرات عمیق و فراگیر جریان فناوریانه انقلاب صنعتی چهارم بازمی‌گردد؛ به طوری که اگر بتوان به نحوی هوشمندانه و در زمان مناسب از این ظرفیت بالقوه انقلابی بهره‌برداری کرد، پیشرفت‌هایی جهشی در صنعت و اقتصاد حاصل خواهد آمد. دیگر ملاحظه ناظر بر اهمیت مسئله هدف‌گیری شده در این مطالعه، تأکید مبانی عقلی و حتی آموزه‌های دینی جامعه امروز ایران بر لزوم بهره‌مندی از نگرشی بلندمدت و آینده‌پژوهانه برای شناخت فرصت‌های جدید و درک تهدیدهای احتمالی است تا بتوان اقدامات واکنشی مناسب را برای بهره‌برداری بهینه از موقعیت‌های پیش رو به‌عمل آورد.

به نظر می‌رسد برای حل این مسئله بتوان از رویکرد آینده‌پژوهی بهره‌برداری کرد. بدین منظور، پژوهش حاضر تلاش دارد تا با استفاده از روش‌شناسی و ابزارهای رایج در این مکتب، آینده‌های پیش روی صنعت ساختمان کشور ایران در مواجهه با شکل‌گیری پدیده ساخت‌وساز چهار را تصویرسازی کند. به عبارت بهتر، هدف از تحقیق حاضر آن است که روشن سازد چه سناریوهایی از شکل‌گیری ساخت‌وساز چهار در ایران قابل تصور هستند و مشخصات اصلی هر کدام از این سناریوها به چه ترتیب خواهد بود. امید می‌رود یافته‌های این مطالعه بتواند ذی‌نفعان و بازیگران صنعت ساخت و ساز کشور را در رویارویی با آینده‌هایی که بر اثر نفوذ انقلاب صنعتی چهارم در این بازار و صنعت شکل می‌گیرند، توانمندتر سازد.

مقاله حاضر پس از مروری مختصر بر پیشینه نظری و پژوهشی ناظر بر موضوع ساخت‌وساز چهار، به تشریح اهداف و پرسش‌های پژوهش و همچنین مبانی روش‌شناختی این مطالعه می‌پردازد و در ادامه، یافته‌های تحقیق (شامل شناسایی پیشران‌ها، اولویت‌بندی آن‌ها و طراحی سناریوها) را گزارش می‌کند. در پایان نیز ضمن جمع‌بندی و نتیجه‌گیری نهایی، مجموعه‌ای از پیشنهادهای اجرایی و پژوهشی برای بهره‌گیری از دستاوردهای این مطالعه ارائه خواهد شد.

## پیشینه نظری

چندین قرن است صنعت به عنوان محور توسعه‌یافتگی جوامع انسانی مطرح است [۱۰] و مورخان فناوری معتقدند که جهان تاکنون چهار انقلاب صنعتی را تجربه کرده است. انقلاب صنعتی اول که حاصل مکانیزاسیون بوده [۱۱] از سال ۱۷۸۴ میلادی با توسعه استفاده از موتورهای بخار آغاز شده است [۱۲]. این انقلاب به صنعت کمک کرد تا از کار ی‌دی و سنتی به سمت اولین فرایندهای مکانیزه تولید حرکت کند و کیفیت زندگی بشر را ارتقا دهد [۱۳]. انقلاب صنعتی دوم از سال ۱۸۷۰ میلادی و به واسطه «تولید انبوه» اتفاق افتاده و پیشران آن انرژی الکتریکی بوده است [۱۲]. این رویداد، فرایند تولید را از زمان مکانیزه شدن پیچیده‌تر کرد و در نتیجه این رویداد، توزیع اطلاعات و ارتباطات در میان مردمی که از آن بهره می‌بردند، افزایش یافت [۱۵]. استفاده از صنعت الکترونیک و تولید مکانیزه از سال ۱۹۷۰ به انقلاب صنعتی سوم منتج شد و فرصتی تازه را برای تولید انعطاف‌پذیر ایجاد کرد، به طوری که محصولات متنوعی با استفاده از ماشین‌های قابل برنامه‌ریزی تولید شدند [۱۳]. در این فاز، اولین نشانه‌های یکپارچگی فناوری اطلاعات و کامپیوترها دیده می‌شود [۱۴]. امروزه انقلاب صنعتی چهارم که از آن با عنوان «صنعت ۴.۰» نیز یاد می‌شود، با معرفی اینترنت اشیا و خدمات آغاز شده است. این رویداد که از دهه ۲۰۱۰ میلادی و از کشور آلمان شروع شده، صنعت را به مرحله بعدی رسانده است که ماشین‌ها خودشان در مسیری که بازتعریف می‌کنند، با هم ارتباط برقرار می‌کنند و فعالیت‌های شخصی را انجام می‌دهند [۱۵].

به زعم بسیاری از متفکران، تعریف انقلاب صنعتی چهارم می‌تواند برای افراد با دیدگاه‌های مختلف متفاوت باشد. انقلاب صنعتی چهارم به فناوری‌هایی از قبیل اینترنت اشیا، کلان‌داده‌ها، واقعیت افزوده، واقعیت مجازی، امنیت سایبری و ابزار کارایی انرژی، اشاره دارد [۱۵] و بر فرایند دیجیتالی شدن، رقومی شدن و هوشمندسازی خانه‌ها، کارخانه‌ها، سازمان‌ها و جوامع بشری تمرکز کرده است. در برخی از منابع علمی، کلمات و اصطلاحاتی از قبیل اینترنت اشیا و تکنولوژی رایانش ابری هستند که انقلاب صنعتی چهارم را معرفی می‌کنند [۱۶]، بسیاری از صنایع با پیوستن به این

نهیض نوپدید و با استفاده از فناوری‌های دیجیتال توانسته‌اند کیفیت و بهره‌وری خود را ارتقا دهند [۱۷]. به صورت کلی اجزای اساسی فناوری‌های تشکیل‌دهنده صنعت چهار را مفاهیم جدیدی چون سیستم‌های سایبرفیزیکی، اینترنت اشیا، اینترنت افراد، رباتیک، همزاد دیجیتال، محاسبات شناختی، رایانش ابری و... تشکیل می‌دهند [۱۵].

با وجود آن‌که صنعت ساختمان در هر کشور از نقشی محوری و تأثیرگذار بر شاخص‌های رشد اقتصادی کلان جامعه برخوردار است و علی‌رغم حجم بالای نیروی انسانی و سرمایه‌ای که در این بخش مصرف می‌شود [۱۶]، صنعت یادشده دچار عوارض و چالش‌های متعددی است که بسیاری از آن‌ها در سطح کل جهان رایج هستند [۱۷]. برخی از این مشکلات فراگیر صنعت ساخت‌وساز بدین شرح است: مدیریت انرژی و مسائل زیست‌محیطی؛ ایمنی و سلامت [۱۸]؛ مدیریت زنجیره ارزش [۱۹؛ ۲۰]؛ مدیریت زمان [۱۸؛ ۲۱]؛ فناوری و بهره‌وری [۲؛ ۷؛ ۸؛ ۱۵؛ ۲۲].

به نظر می‌رسد به استناد یافته‌های مطالعاتی متعدد بتوان راهکاری جامع برای غلبه بر معضلات فوق را در مفهوم جدیدی با عنوان «ساخت‌وساز چهار» جستجو کرد. فدراسیون صنعت ساختمان اروپا (FIEC)<sup>۱</sup> در تعریفی، این اصطلاح را حاصل نفوذ انقلاب صنعتی چهارم در بخش ساختمان تعبیر می‌کند و آن را معادل فرایند دیجیتالی‌کردن صنعت ساخت‌وساز برمی‌شمرد [۲۳]. در تشریح تاریخچه این مفهوم جدید چنین گفته می‌شود که نخستین بار در کشور آلمان، اصطلاح ساخت‌وساز چهار مطرح و از آن‌جا به سایر نقاط دنیا صادر شده است [۹]. شاید بتوان هدف اصلی طراحان این رویکرد نوجویانه را بررسی چگونگی بهره‌مندی صنعت ساختمان از ادغام و به‌کارگیری فناوری‌های نوظهور در این ساحت سنتی دانست [۱۷]. در بیان کارکردها و تأثیرات شگفت‌آور پدیده ساخت‌وساز چهار چنین گفته شده است که این جریان فناورانه جدید می‌تواند علاوه بر آن‌که روند ساختمان‌سازی را در دنیا متحول کند، منجر به انقلاب بزرگ‌تری خواهد شد که به صورت کلان، ساختارها و سازمان کار فعالیت‌های مرتبط با بخش ساخت‌وساز را نیز دگرگون می‌سازد [۲۴]. به نظر می‌رسد که این رویکرد جدید نوآورانه با بهره‌گیری از مجموعه‌ای درهم‌آمیخته از فناوری‌های نوپدید خواهد توانست شبکه ارتباطی میان انسان و ماشین را به گونه‌ای تقویت کند که جهت‌گیری جهان به سمت ایجاد تولید آینده امکان‌پذیر شود؛ آینده‌ای که در آن دیجیتالی شدن کامل بخش تولید به ویژه صنعت ساختمان را می‌توان به‌دقت تضمین کرد [۹].

### پیشینه پژوهشی

سوابق پژوهشی ناظر بر پدیده ساخت‌وساز چهار را می‌توان به شرح جدول ۱ گزارش کرد.

جدول ۱. مشخصات سوابق پژوهشی مشابه.

ردیف	عنوان پژوهش	سال پژوهش	پژوهشگران	روش‌شناسی	نتیجه پژوهش
۱	ساخت‌وساز چهار: نقشه راهی برای شکل‌دهی به آینده ساخت‌وساز	۲۰۲۰	ال جزر <sup>۲</sup> و همکاران [۲۳]	مروری	ضمن معرفی هفت فناوری محوری که پایه‌های این رویکرد جدید را بنیان نهاده‌اند، نوعی نقشه‌راه تعاملی بر اساس روش‌شناسی آینده‌پژوهی را پیشنهاد می‌کند که مهم‌ترین الزامات شکل‌گیری این جریان را معرفی کرده است.
۲	کشف مسیر ساخت‌وساز ۴۰: دیدگاه	۲۰۲۰	نوران <sup>۳</sup> و همکاران [۲۴]	مروری	این محققان ضمن برشمردن معضلات ساخت‌وساز چهار، راهکارهایی مبتنی بر معماری سازمانی و

<sup>۱</sup> European Industry Construction Federation (FIEC)

<sup>۲</sup> El Jazzar

<sup>۳</sup> Noran



ردیف	عنوان پژوهش	سال پژوهش	پژوهشگران	روش‌شناسی	نتیجه پژوهش
	شبکه‌های مشارکتی و معماری سازمانی				شبکه‌های مشارکتی ارائه داده‌اند تا بتوان مسیر شکل‌گیری این پدیده را تسهیل کرد.
۳	چارچوب پیشنهادی برای ساخت‌وساز ۴۰۰ بر اساس مرور ادبیات	۲۰۲۰	سانی <sup>۱</sup> و همکاران [۲۵]	مرور نظام‌مند	وجود زیرساخت‌هایی همچون منابع مالی، سرمایه‌گذاری اقتصادی، مهارت، استانداردهای حرفه‌ای، امنیت اطلاعات و حمایت حقوقی لازمه ساخت‌وساز چهار هستند.
۴	چالش‌های اخلاقی و اجتماعی ساخت‌وساز چهار	۲۰۲۰	شرات <sup>۲</sup> [۲۶]	مروری	معضلات کلیدی توسعه ساخت‌وساز چهار عبارتند از: پذیرش اجتماعی فناوری‌های نوین، همراهی منابع انسانی با فناوری‌های جدید و پذیرش ملاحظات اخلاقی.
۵	به سوی دیجیتالی کردن صنعت ساخت‌وساز: وضعیت هنر ساخت‌وساز ۴۰۰	۲۰۱۹	حسین و ندیم <sup>۳</sup> [۲۷]	مروری	مفاهیمی از قبیل پیشرفت فناوریانه، تحول سازمانی، شفافیت اطلاعات، متمرکز نبودن تصمیمات و پیوندهای شبکه‌ای، عناصر تشکیل‌دهنده چارچوب ساخت‌وساز چهار هستند.
۶	ساخت‌وساز ۴۰۰: آینده صنعت ساختمان در آفریقای جنوبی	۲۰۱۸	اوسان سنمی <sup>۴</sup> و همکاران [۹]	پیمایشی	الزامات تحقق ساخت‌وساز چهار عبارتند از: آگاهی و آشنایی عمومی با این مفهوم، توسعه فناوری‌های نوین و دیجیتالی‌سازی صنعت.
۷	گذشته، حال و آینده به اشتراک‌گذاری اطلاعات در صنعت ساخت‌وساز	۲۰۱۱	رزگویی و همکاران [۲۰]	مروری	نقشه‌راهی را برای پیش‌بینی نفوذ فناوری‌های نوین (به‌ویژه فناوری اطلاعات و اشتراک دانش) در صنعت ساختمان طراحی کرده است.

وجه تمایز مطالعه حاضر را باید رفع شکاف پژوهشی موجود در زمینه آینده‌پژوهشی صنعت ساختمان کشور ایران در پرتوی آثار ناشی از پدیده ساخت‌وساز چهار دانست زیرا هیچ‌کدام از تحقیقات پیشین از این منظر جامع با پدیده یادشده مواجه نشده‌اند. به بیان دیگر، تمرکز این مطالعه بر قلمروی جغرافیایی ایران در کنار ارائه نگاهی آینده‌پژوهانه به جریان نوپدید ساخت‌وساز چهار از نوآوری‌های پژوهش حاضر به‌شمار می‌آید؛ علاوه بر آن که راهبرد تحقیقاتی مورد استفاده در این مطالعه که سناریونگاری از طریق شناسایی پیشران‌ها کلیدی بوده است، در مطالعات قبلی ناظر بر این موضوع سابقه نداشته است.

<sup>1</sup> Sawhney

<sup>2</sup> Sherratt

<sup>3</sup> Hossain & Nadeem

<sup>4</sup> Osunsanmi

## اهداف و پرسش‌های پژوهش

هدف اصلی مطالعه پیش رو آن است که آینده‌های باورپذیر از چگونگی شکل‌گیری پدیده ساخت‌وساز چهار در صنعت ساختمان جمهوری اسلامی ایران در افق زمانی بیست‌ساله شناسایی و تصویرسازی شوند. به بیان دیگر، پرسش پژوهشی اصلی در این مطالعه بدین شرح قابل تنظیم است: «طی بیست سال آینده، کدام سناریوها از شکل‌گیری پدیده ساخت و ساز چهار در صنعت ساختمان ایران قابل تصور است؟». بر این اساس، مجموعه اهداف فرعی پژوهش حاضر را می‌توان بدین شرح تبیین کرد:

- شناخت اولیه از پدیده ساخت‌وساز چهار
- تهیه فهرست بلند پیشران‌های شکل‌گیری ساخت‌وساز چهار
- بومی‌سازی فهرست پیشران‌ها بر اساس مقتضیات جامعه ایرانی
- اولویت‌بندی پیشران‌ها و معرفی دو پیشران کلیدی
- شناسایی عدم قطعیت‌های ناظر بر هر کدام از دو پیشران اولویت‌دار
- تصویرسازی از سناریوهای چهارگانه حاصل از تلاقی عدم قطعیت‌های شناسایی‌شده.

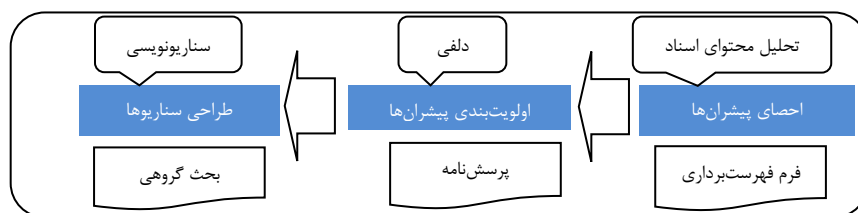
## روش‌شناسی

از میان حالت‌های سه‌گانه‌ای که برای تبیین ماهیت پژوهش ذکر شده است (شامل بنیادی، توسعه‌ای و کاربردی)، می‌توان مطالعه پیش رو را از نوع توسعه‌ای برشمرد زیرا هدف از آن، ارائه تصویری روشن از آینده‌های پیش روی صنعت ساختمان کشور در مواجهه با انقلاب صنعتی چهارم است و دستاورد نهایی آن مجموعه‌ای سناریوهاست که این آینده‌ها را توصیف خواهد کرد. چنین هدفی به دلیل آن که سطحی از برنامه‌ریزی درازمدت و دوربرد محسوب می‌شود با ماهیت تحقیقات توسعه‌ای هم‌خوانی و هم‌راستایی بیشتری دارد. از سوی دیگر، رویکرد کلان حاکم بر این پژوهش به دلیل جنس داده‌های اصلی مورد استناد در آن، از میان دو نوع رایج (شامل کمی و کیفی) به مطالعات کیفی نزدیک‌تر است زیرا بخش زیادی از اطلاعات موردنیاز در این فرایند را باید از منابع دست اولی (شامل خبرگان و متخصصان) و طی روندی از تصمیم‌گیری‌های گروهی و همفکری‌های فضاوتی کسب کرد. بدین ترتیب لازم است از رویکرد کیفی استفاده شود تا ظرفیت کافی برای کشف و تحلیل این داده‌ها در مراحل مختلف مطالعه ایجاد شود. دیگر مشخصه روش شناختی این پژوهش آینده‌نگرانه به نوع مواجهه پژوهش‌گر با آینده مربوط است. بر اساس این معیار، دو نوع نگاه هنجاری و اکتشافی در آینده‌پژوهی معرفی شده است که به نظر می‌رسد این مطالعه با مشخصات رویکرد اکتشافی تناسب بیشتری داشته باشد زیرا می‌کوشد تا آینده‌های محتمل در افق زمانی بیست‌ساله را بر اساس واقعیت‌ها و داده‌های موجود تبیین کند و بر آن نیست تا ارزش یا هنجاری خاص را به ابزارها و روش‌های آینده‌پژوهی تزریق کند. مراحل اجرایی این مطالعه آینده‌پژوهانه را می‌توان به استناد الگوی موسوم به روش‌شناسی شبکه جهانی کسب‌وکار شامل سه گام اصلی به شرح زیر دانست [۲۸]:

- الف) احصای پیشران‌ها: در نخستین مرحله و با جستجو در منابع مکتوب، فهرستی اولیه از پیشران‌های احتمالی در این موضوع تنظیم می‌شود. ابزار اصلی در این گام که با رویکرد کتابخانه‌ای دنبال می‌شود، فرم‌هایی است که گروه تحقیق برای خلاصه‌سازی داده‌های دست دومی طراحی کرده‌اند. دستاورد اولیه از این گام، فهرستی پالایش‌شده از پانزده عنوان از پیشران‌های ساخت‌وساز چهار در جامعه ایران بوده است. تکنیک محوری در این گام، تحلیل محتوای اسناد مکتوب بوده است تا بتوان عنوان عوامل و پیشران‌های مؤثر بر شکل‌گیری ساخت‌وساز چهار را از میان متون علمی معتبر استخراج و دسته‌بندی کرد.

- ب) اولویت‌بندی پیشران‌ها: سپس لازم است بر اساس معیارهایی معتبر اقدام به مقایسه نسبی پیشران‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها با نگاه به مقتضیات جامعه ایران صورت پذیرد. روش اصلی در این بخش، دلفی است و با استفاده از آن تلاش می‌شود تا نظرات خبرگان درباره دو پیشران محوری از این فهرست، همگرا و هم‌راستا شوند. شرایط تعیین‌شده برای شناسایی خبرگان در این مطالعه شامل کسانی بوده است که علاوه بر پیشینه تحقیقاتی شامل دست کم تألیف دو مقاله یا کتاب در زمینه انقلاب صنعتی چهارم، دارای دست کم پانزده سال سابقه مدیریتی یا آموزشی در رشته‌های مرتبط با صنعت ساختمان (مثلاً مهندسی عمران) نیز باشند. بدین ترتیب و بر اساس جستجوهای گروه تحقیق تنها هشت نفر با این ویژگی‌ها در کشور شناسایی شدند که دلیل کم بودن این تعداد را باید نوین بودن این مفاهیم به صورت کلی و رواج نیافتن این جریان نوپدید در صنعت ساختمان کشور دانست. پس از فراخوان و طرح درخواست گروه تحقیق، پنج نفر از این خبرگان برای مشارکت در مطالعه حاضر اعلام آمادگی کردند. دو تن از این خبرگان (هر دو مرد)، ضمن داشتن مدرک دکتری تخصصی، سابقه هجده و بیست ساله در مسئولیت مدیریتی در سازمان‌های تحقیقاتی و فناوریانه سطح ملی دارند؛ دو نفر دیگر (یک نفر زن و یک نفر مرد) نیز عضو هیئت علمی دانشگاه در رشته‌های معماری و مهندسی عمران هستند و یک نفر از آن‌ها (مرد) نیز به عنوان مسئول مرکز نوآوری نظام مهندسی ساختمان، فارغ‌التحصیل دوره دکتری تخصصی در رشته مدیریت فناوری است. ابزار گردآوری داده در این گام، پرسش‌نامه‌ای است که اعتبار آن توسط سه نفر از متخصصان خبره، تأیید و پایایی آن نیز از طریق آزمون آلفای کرونباخ، تحلیل شده است و با مقدار  $0/83$  (بالتر از آستانه پذیرش) مورد تأیید واقع شده است.
- ج) طراحی سناریوها: پس از تشخیص دو پیشران حیاتی، لازم است عدم قطعیت‌های ناظر بر آن‌ها تلافی داده شود تا چهار سناریو از آینده‌های پیش روی صنعت ساختمان کشور در شکل‌دهی به پدیده ساخت‌وساز چهار طراحی شود. به بیان دیگر هر کدام از حالت‌های چهارگانه ایجادشده بر اثر تقاطع پیشران‌ها یکی از این سناریوها را شکل می‌دهد. اجرای تکنیک سناریونویسی در این مرحله با بهره‌گیری از ابزار بحث گروهی دنبال شده است.

شکل ۱ ترتیب توالی این مراحل سه‌گانه را به همراه تکنیک‌ها و ابزارهای مورداستفاده در هر مرحله نشان داده است.



شکل ۱. مراحل اجرای تحقیق.

## یافته‌ها

### شناسایی پیشران‌ها

جستجوی نظام‌مند در پایگاه‌های اطلاعاتی حاوی اسناد علمی و گزارش‌های پژوهشی معتبر به زبان‌های فارسی و انگلیسی منجر به شناسایی تنها ۹ مقاله شد که پیشران‌های پدیده ساخت‌وساز چهار معرفی کرده باشند و بدین ترتیب، تعداد ۴۲ پیشران در این عرصه شناسایی شدند. به‌منظور پالایش و بومی‌سازی این فهرست اولیه، دو جلسه (جمعاً به

میزان سه‌ونیم ساعت) با حضور پنج نفر از خبرگان معرفی شده در بخش روش‌شناسی برگزار شد و از طریق بحث گروهی، اقدام به حذف موارد تکراری و ادغام عناوین مشابه صورت گرفت؛ ضمن آن‌که تمامی عناوین نهایی مورد بازنویسی و متناسب‌سازی با فضای حاکم بر جامعه ایرانی واقع شدند. بدین ترتیب تعداد پیشران‌های مؤثر بر شکل‌گیری ساخت‌وساز چهار در ایران به پانزده عنوان به شرح جدول ۲ کاهش یافت.

جدول ۲. فهرست پالایش‌شده و بومی‌سازی‌شده از پیشران‌های ساخت‌وساز چهار

ردیف	عنوان پیشران بومی	عنوان عوامل معرفی شده در سوابق پژوهشی (به همراه مشخصات منبع)
۱	پذیرش سیاسی-اجتماعی فناوری‌های نوین	پذیرش سیاسی و اجتماعی فناوری‌های نوین (اوسان‌سنمی <sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۰) [۲۹] / پذیرش اجتماعی فناوری‌های نوین (شرات، ۲۰۲۰) [۲۶] / همراهی منابع انسانی با فناوری‌های جدید (شرات، ۲۰۲۰) [۲۶]
۲	حمایت حقوقی و قضایی از این پدیده	حمایت حقوقی و قضایی (سانی و همکاران، ۲۰۲۰) [۲۵] / امنیت اطلاعات (سانی و همکاران، ۲۰۲۰) [۲۵] / زیرساخت‌های حقوقی-قضایی (حسین و ندیم، ۲۰۱۹) [۲۷] / چارچوب حقوقی (شرات، ۲۰۲۰) [۲۶]
۳	همکاری‌های علمی کشور با جهان پیشرفته	همکاری علمی کشورها (نوران و همکاران، ۲۰۲۰) [۲۴] / شفافیت اطلاعات علمی (حسین و ندیم، ۲۰۱۹) [۲۷]
۴	حجم سرمایه‌گذاری اقتصادی در تحقیق و توسعه (R&D)	سرمایه‌گذاری اقتصادی (اوسان‌سنمی و همکاران، ۲۰۲۰) [۲۹] / سرمایه‌گذاری اقتصادی (سانی و همکاران، ۲۰۲۰) [۲۵]
۵	تأمین مالی هزینه فناوری‌های نوین	تأمین منابع مالی (ال جزر و همکاران، ۲۰۲۰) [۲۳] / تأمین منابع مالی (اوسان‌سنمی و همکاران، ۲۰۲۰) [۲۹] / تأمین منابع مالی (سانی و همکاران، ۲۰۲۰) [۲۵]
۶	پیشرفت‌های فناورانه در عرصه‌های نوین	توسعه فناوری‌های نوین (اوسان‌سنمی و همکاران، ۲۰۱۸) [۹] / رواج فناوری‌های سایبری-فیزیکی (اوسان‌سنمی و همکاران، ۲۰۲۰) [۲۹] / پیشرفت فناورانه (حسین و ندیم، ۲۰۱۹) [۲۷] / انقلاب صنعتی چهارم (کوزلوسکا و همکاران، ۲۰۲۱) [۴] / رواج سیستم‌های اطلاعاتی (نوران و همکاران، ۲۰۲۰) [۲۴] / تحول دیجیتال (نوران و همکاران، ۲۰۲۰) [۲۴]
۷	تدوین استانداردهای جهانی در این زمینه	استانداردها و چارچوب‌های جهانی (ال جزر و همکاران، ۲۰۲۰) [۲۳] / استانداردسازی (سانی و همکاران، ۲۰۲۰) [۲۵] / رواج مدل‌های مرجع معماری سازمانی (نوران و همکاران، ۲۰۲۰) [۲۴]
۸	بازمهندسی فرایندهای کاری	بازمهندسی فرایندهای کاری (ال جزر و همکاران، ۲۰۲۰) [۲۳] / خودکارسازی و صنعتی‌سازی (اسکانبک و همکاران، ۲۰۲۰) [۱۷] / تصمیم‌گیری‌های ماشینی (شرات، ۲۰۲۰) [۲۶] / تحول سازمانی (حسین و ندیم، ۲۰۱۹) [۲۷]
۹	همراهی نظام اخلاقی (و دینی)	پذیرش نظام اخلاقی (کوزلوسکا و همکاران، ۲۰۲۱) [۴] / پذیرش ملاحظات اخلاقی (شرات، ۲۰۲۰) [۲۶]
۱۰	پیوندهای شبکه‌های در صنعت	پیوندهای شبکه‌های (حسین و ندیم، ۲۰۱۹) [۲۷] / شبکه‌های همکاری (نوران و همکاران، ۲۰۲۰) [۲۴]
۱۱	سرعت پیشرفت علمی جامعه	سرعت پیشرفت علمی (کوزلوسکا و همکاران، ۲۰۲۱) [۴] / توسعه علمی (شرات، ۲۰۲۰) [۲۶]
۱۲	آگاهی و اطلاع افکار عمومی از این پدیده	آگاهی و آشنایی عمومی (اوسان‌سنمی و همکاران، ۲۰۱۸) [۹]

<sup>۱</sup> Osunsanmi

ردیف	عنوان پیشران بومی	عنوان عوامل معرفی شده در سوابق پژوهشی (به همراه مشخصات منبع)
۱۳	رویکرد فنی حاکم بر صنعت ساخت‌وساز	تغییر نگرش از پروژه‌محوری به فرایندمحوری (ال جزر و همکاران، ۲۰۲۰، [۲۳]) / متمرکز نبودن تصمیمات (حسین و ندیم، ۲۰۱۹) [۲۷]
۱۴	دیجیتالی سازی صنعت	دیجیتالی سازی صنعت (اوسان سمنی و همکاران، ۲۰۱۸) [۹] / فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات (اسکاتیک و همکاران، ۲۰۲۰) [۱۷] / خودکارسازی صنعتی (نوران و همکاران، ۲۰۲۰) [۲۴]
۱۵	سطح دانش فنی متخصصان صنعت ساخت‌وساز	دانش فنی متخصصان (اوسان سمنی و همکاران، ۲۰۲۰) [۲۹] / آموزش (اوسان سمنی و همکاران، ۲۰۲۰) [۲۹] / مهارت‌آموزی (سانی و همکاران، ۲۰۲۰) [۲۵] / توسعه مهارت‌های دیجیتال منابع انسانی (نوران و همکاران، ۲۰۲۰) [۲۴]

### اولویت‌بندی پیشران‌ها

تعیین شاخص، نخستین گام در اولویت‌بندی پیشران‌هاست؛ بنابراین معیارهای دوگانه به شرح زیر برای این منظور تعیین شدند:

- اهمیت: حجم تأثیرات مورد انتظار از پیشران در تأثیرگذاری مثبت یا منفی بر شکل‌گیری پدیده ساخت‌وساز چهار در ایران
- عدم قطعیت: میزان ابهام در جهت تأثیرگذاری عامل (منفی یا مثبت بودن تأثیرات).

پس از گنجاندن این معیارها در قالب پرسشنامه‌ای که مشخصات روش‌شناختی آن در بخش روش‌شناسی مقاله تشریح شد، از پنج نفر از خبرگان (معرفی شده در همان بخش) خواسته شد تا هر کدام از پانزده پیشران نهایی را بر اساس این دو شاخص امتیازدهی کنند. این نظرخواهی با رویکرد دلفی صورت گرفت تا همگرا شدن نظرات خبرگان در فضایی کم‌تنش و بدون شناسایی صاحبان نظرات موافق یا مخالف صورت پذیرد. بدین ترتیب و پس از اجرای سه دور از تکنیک دلفی که معیار توقف نظرخواهی در آن‌ها حصول سطح توافق هفتاد درصدی (شامل چهار نفر از پنج نفر) بوده است، دو پیشران اولویت‌دار بدین شرح تعیین شدند: «همکاری‌های علمی کشور با جهان پیشرفته» و «پیشرفت‌های فناورانه در عرصه‌های نوین». جدول ۳ نتایج اولویت‌بندی پانزده پیشران بومی پدیده ساخت‌وساز چهار در ایران را روایت می‌کند.

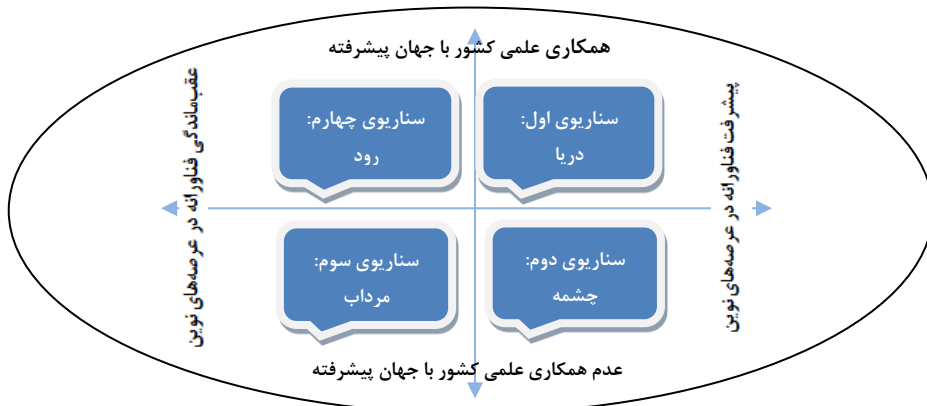
### جدول ۳. نتایج اولویت‌بندی پیشران‌های ساخت‌وساز چهار با رویکرد دلفی

ردیف	عنوان پیشران	زمان توافق	سطح اولویت
۱	پذیرش سیاسی- اجتماعی فناوری‌های نوین	دور سوم	پایین
۲	حمایت حقوقی و قضایی از این پدیده	دور سوم	پایین
۳	همکاری‌های علمی کشور با جهان پیشرفته	دور اول	بالا
۴	حجم سرمایه‌گذاری اقتصادی در تحقیق و توسعه (R&D)	دور دوم	متوسط
۵	تأمین مالی هزینه فناوری‌های نوین	دور دوم	متوسط
۶	پیشرفت‌های فناورانه در عرصه‌های نوین	دور اول	بالا
۷	تدوین استانداردهای جهانی در این زمینه	دور سوم	پایین
۸	بازمهندسی فرایندهای کاری	دور دوم	متوسط
۹	همراهی نظام اخلاقی (و دینی)	دور سوم	پایین
۱۰	پیوندهای شبکه‌ای در صنعت	دور سوم	پایین
۱۱	سرعت پیشرفت علمی جامعه	دور دوم	متوسط
۱۲	آگاهی و اطلاع افکار عمومی از این پدیده	دور سوم	پایین

ردیف	عنوان پیشران	زمان توافق	سطح اولویت
۱۳	رویکرد فنی حاکم بر صنعت ساخت‌وساز	دور سوم	پایین
۱۴	دیجیتالی‌سازی صنعت	دور دوم	متوسط
۱۵	سطح دانش فنی متخصصان صنعت ساخت‌وساز	دور سوم	پایین

### طراحی سناریوها

مبنای طراحی‌های چهارگانه در روش‌شناسی «شبکه جهانی کسب‌وکار» آن است که عدم قطعیت‌های ناظر بر دو پیشران اولویت‌دار با یکدیگر تلاقی داده شوند تا هر کدام از چهار حالت ایجاد می‌شود در این تقاطع، یکی از سناریوهای آینده را معرفی کنند. یادآوری می‌شود که تدوین این سناریوها و تشریح ویژگی‌های اصلی هر کدام از آن‌ها از طریق برگزاری نشست‌های هم‌اندیشی میان خبرگان مشارکت‌کننده در این مطالعه و با ابزار بحث گروهی صورت گرفته است. شکل ۲ سناریوهای چهارگانه شکل‌گیری پدیده ساخت‌وساز چهار در ایران در افق زمانی بیست‌ساله را روایت می‌کند؛ ضمن آن که شرح مختصری از هر کدام از این آینده‌ها نیز در ادامه همین بخش آمده است.



شکل ۲. سناریوهای چهارگانه از پدیده ساخت‌وساز چهار در ایران.

### سناریوی اول: دریا

در نخستین روایت از آینده، کشور ایران توانسته است ضمن دستیابی به جهش‌های قابل توجه در عرصه فناوری‌های نوین، به‌ویژه انقلاب صنعتی چهارم و کاربرد آن در صنعت ساختمان، ارتباطات علمی مستحکمی با جهان پیشرفته نیز برقرار کند تا از ظرفیت‌های به اشتراک‌گذاشته توسط جوامع توسعه‌یافته نیز بهره‌برداری کند. بدین ترتیب، صنعت ساختمان کشور با استقرار کامل نظام ساخت‌وساز چهار توانسته است از این فرصت فناورانه در راستای ارتقای شاخص‌های توسعه‌یافتگی اقتصادی و اجتماعی خود استفاده کند، ضمن آن‌که به یکی از کشورهای پیش‌تاز در این عرصه تبدیل شده است به‌طوری‌که تعدادی از کشورهای در حال توسعه و همسایگان منطقه‌ای درخواست کرده‌اند که همکاری‌های علمی و فنی ایران با آن‌ها در زمینه ترویج فناوری‌های نوین ساخت‌وساز رونق یابد. این آینده با عنوان «دریا» نام‌گذاری شده است تا نشان دهد که مجموعه توانمندی‌های درونی کشور در زمینه فناوری ساخت‌وساز چهار در ترکیب هم‌افزا با ظرفیت‌های سایر کشورهای پیشرفته، توانسته است دریایی از فرصت‌ها و ارزش‌ها را برای ذی‌نفعان و بازیگران نظام ساختمان کشور پدیدار سازد.

**سناریوی دوم: چشمه**

در این تصویر از آینده، هرچند کشورمان از توانمندی‌های علمی و فناورانه قابل ملاحظه‌ای در زمینه صنعت ساختمان و فناوری‌های نوین این عرصه برخوردار است اما برقراری پیوند علمی نظام‌مند و پایدار با کشورهای پیش‌تاز و توسعه‌یافته بازمانده است؛ بدین ترتیب، همچون «چشمه»‌ای که از درون، فوران و جوشش دارد ولی به دریا یا آب‌های آزاد محیط پیرامونی خود دسترسی ندارد، در حالتی منزوی اما باطراوت و جوشنده قرار گرفته است. بر اساس آنچه در این سناریو قابل برداشت است، صنعت ساختمان کشور، توانسته است به مدد توان علمی متخصصان داخلی، به صورتی محدود از مزایای پدیده ساخت‌وساز چهار بهره‌مند شود اما به دلیل گسستگی تعاملات علمی با جهان پیشرفته، امکان بهره‌گیری از ظرفیت‌های بین‌المللی در این عرصه برایش فراهم نیست و اندکان‌اندک در گردونه رقابت‌های جهانی دچار شکست و افول خواهد شد.

**سناریوی سوم: مرداب**

چنانچه از یک سو توان داخلی متخصصان و فناوران کشور برای ورود به فضای چالشی و نوپدید ساخت‌وساز چهار ناکافی باشد و از طرف دیگر، قادر به برقراری تعاملات اثربخش و مثبت در حوزه علم و فناوری با جهان توسعه‌یافته نباشیم، آینده‌ای از صنعت ساختمان کشور تصویرپردازی می‌شود که می‌توان آن را با استعاره «مرداب» مورد اشاره قرار داد. در این تصویر از آینده، صنعت ساختمان کشور همچنان با چالش‌های مزمینی از قبیل ناکارایی، بهره‌وری پایین، حوادث کاری زیاد، آلاینده‌گی زیست‌محیطی و ... دست به گریبان است و قادر نیست از ظرفیت انقلاب صنعتی چهارم برای بهکرد این شرایط استفاده کند. بر این اساس اصولاً در رقابت‌های جهانی در این عرصه فاقد جایگاهی قابل اعتناست.

**سناریوی چهارم: رود**

آخرین روایت از آینده صنعت ساختمان کشور را می‌توان به «رودخانه»‌ای تشبیه کرد که هرچند از زایش و جوشش کافی در درون خویش بهره‌مند نیست اما از آن‌جا که توانسته است به دریایی گسترده و سرشار از منابع ارزش‌مند متصل شود، سرنوشتی دل‌انگیز و خواستنی در انتظارش قرار دارد. به همین ترتیب، چهارمین سناریو از شکل‌گیری پدیده ساخت‌وساز چهار در ایران حاکی از شرایطی است که هرچند توان فنی و علمی دانشمندان و متخصصان داخلی برای دستیابی به قله‌های علم و فناوری در عرصه کاربرد انقلاب صنعتی چهارم در صنعت ساختمان چندان مناسب نیست اما از آن‌جا که پیوندهای علمی پایدار و معتبری با جهان پیشرفته برقرار شده است، امکان بهره‌گیری از ظرفیت‌های بین‌المللی در این زمینه وجود دارد و می‌توان از مزایا و آثار مثبت پدیده ساخت‌وساز چهار برای رفع معضلات فراروی صنعت ساختمان کشور استفاده کرد.

**نتیجه‌گیری**

جمع‌بندی نهایی از یافته‌های مطالعه را می‌توان بدین ترتیب ارائه کرد:

- فهرست بومی پیشران‌های ساخت‌وساز چهار بر اساس مقتضیات جامعه ایرانی، واجد مفاهیمی پانزده‌گانه بدین شرح است: «همکاری‌های علمی کشور با جهان پیشرفته»، «پیشرفت‌های فناورانه در عرصه‌های نوین»، «بازمهندسی فرایندهای کاری»، «حجم سرمایه‌گذاری اقتصادی در تحقیق و توسعه (R&D)»، «سرعت پیشرفت علمی جامعه»، «تأمین مالی هزینه فناوری‌های نوین» و «دیجیتالی‌سازی صنعت»، «پذیرش سیاسی و اجتماعی فناوری‌های نوین»، «پیوندهای شبکه‌ای در صنعت»، «رویکرد فنی حاکم بر صنعت ساخت‌وساز»، «آگاهی و اطلاع افکار عمومی»، «همراهی نظام اخلاقی (و دینی)»، «سطح دانش فنی متخصصان صنعت ساخت‌وساز»، «حمایت حقوقی و قضایی» و «تدوین استانداردهای جهانی».

- دو پیشران محوری و اولویت‌دار شکل‌گیری این پدیده عبارتند از: «همکاری‌های علمی کشور با جهان پیشرفته» و «پیشرفت‌های فناورانه در عرصه‌های نوین» و به همین ترتیب، عدم‌قطعیت‌های ناظر بر هرکدام از پیشران‌های اولویت‌دار شکل‌گیری پدیده ساخت‌وساز چهار در ایران عبارتند از: «همکاری یا عدم‌همکاری علمی کشور با جهان پیشرفته» و «تحقق یافتن یا نیافتن پیشرفت‌های فناورانه کشور در عرصه‌های نوین».
- سناریوهای شکل‌گیری پدیده ساخت‌وساز چهار در صنعت ساختمان ایران در افق زمانی بیست‌ساله از این قرار است:
  - در صورت همکاری علمی کشور با جهان پیشرفته در عین پیشرفت فناورانه در عرصه‌های نوین، سناریوی «دریا» پدیدار خواهد شد که طی آن صنعت ساختمان کشور با استقرار کامل نظام ساخت‌وساز چهار توانسته است از این فرصت فناورانه در راستای ارتقای شاخص‌های توسعه‌یافتگی اقتصادی و اجتماعی خود استفاده کند، ضمن آنکه به یکی از کشورهای پیشتاز در این عرصه تبدیل شده است.
  - چنانچه با وجود پیشرفت فناورانه کشور در عرصه‌های نوین، همکاری علمی کشور با جهان پیشرفته به‌صورت موفقیت‌آمیز شکل نگیرد، آینده‌ای با عنوان «چشمه» حاصل می‌شود که در آن صنعت ساختمان کشور، توانسته است به مدد توان علمی متخصصان داخلی، به صورتی محدود از مزایای پدیده ساخت‌وساز چهار بهره‌مند شود اما به دلیل گسستگی تعاملات علمی با جهان پیشرفته، امکان بهره‌گیری از ظرفیت‌های بین‌المللی در این عرصه برایش فراهم نیست و اندک‌اندک در گردونه رقابت‌های جهانی دچار شکست و افول خواهد شد.
  - از سوی دیگر در صورتی که نبود همکاری علمی کشور با جهان پیشرفته تأم با عقب‌ماندگی فناورانه در عرصه‌های نوین حادث شود، سناریوی با عنوان «مرداب» به‌وجود خواهد آمد که در آن صنعت ساختمان کشور همچنان با معضلات مزمنی از قبیل ناکارایی، بهره‌وری پایین، حوادث کاری زیاد، آلاینده‌گی زیست‌محیطی و ... دست به‌گریبان است و نتوانسته است از ظرفیت انقلاب صنعتی چهارم برای بهره‌کردن این شرایط استفاده کند و بر این اساس اصولاً در رقابت‌های جهانی در این عرصه فاقد جایگاهی قابل‌اعتناست.
  - و در نهایت چنانچه علاوه بر همکاری علمی کشور با جهان پیشرفته، عقب‌ماندگی فناورانه در عرصه‌های نوین همچنان برقرار باشد، سناریوی «رود» شکل خواهد گرفت که در آن صنعت ساختمان کشورمان امکان بهره‌گیری از ظرفیت‌های بین‌المللی در این زمینه را یافته و توانسته است از مزایا و آثار مثبت پدیده ساخت‌وساز چهار برای رفع معضله‌های فراروی خویش استفاده کند.
- مقابله یافته‌های این پژوهش با نتایج گزارش‌شده محققان قبلی، نشان‌دهنده وجود برخی همپوشانی‌ها و البته بعضی تفاوت‌هاست که مهم‌ترین آن‌ها را می‌توان بدین ترتیب، برشمرد. اصلی‌ترین وجه تشابه خروجی‌های این مطالعه با سوابق پژوهشی را باید در شناسایی پیشران‌های شکل‌گیری پدیده ساخت‌وساز چهار سراغ گرفت؛ بدین ترتیب که مطالعات علمی گزارش‌شده از سوی پژوهش‌گرانی از قبیل اوسان‌سنمی و همکاران [۹]، حسین و ندیم [۲۷]، اوسان‌سنمی و همکاران [۲۹] و همچنین کوزلوسکا و همکاران [۴] هم شبیه مطالعه حاضر بر اهمیت پیشرفت‌های فناورانه در عرصه‌های نوین به منزله یکی از پیشران‌های این جریان جدید تأکید ورزیده‌اند. علاوه بر این، عامل پیوندهای علمی میان کشورهای مختلف به عنوان یکی از محرک‌های کلیدی توسعه ساخت‌وساز چهار در دنیا نیز قبل از این توسط محققانی همچون نوران و همکاران [۲۴] و حسین و ندیم [۲۷] مورد اشاره قرار گرفته بود.
- در سوی مقابل، محوری‌ترین جنبه متمایز یافته‌های این مطالعه در مقایسه با پیشینه پژوهشی را می‌توان به تصویرسازی آینده‌های محتمل از این پدیده مربوط دانست که ریشه اصلی این تفاوت‌ها قلمروی ویژه تحقیق حاضر و تمرکز آن بر کشور ایران با شرایط و مقتضیات خاصش بوده است. برای مثال، نوران و همکاران [۲۴] در آینده‌پژوهی خود به مفاهیم بدیعی از قبیل «کارگران ساختمانی چهار» به عنوان بخشی از آینده‌باز پذیر این جریان فناورانه دست یافته‌اند که در مطالعه حاضر، شناسایی نشده است. شاید بتوان دلیل دیگر تفاوت میان یافته‌های نهایی این دو مطالعه را علاوه بر



اختلاف قلمروی آینده‌پژوهی، تمرکز پژوهش یادشده بر معضلات آینده (به‌جای پیشران‌های آینده) دانست. هرچند گزارش مطالعاتی منتشرشده از سوی ال جزر و همکاران [۲۳] نیز شبیه آینده‌پژوهی حاضر، نقشه‌راه آینده ساخت‌وساز چهار را حاوی چهار لایه معرفی می‌کند اما ماهیت و مصادیق این لایه‌های چهارگانه، شباهت و قرابت چندانی با سناریوهای چهارگانه تصویرشده در پژوهش حاضر ندارد. ریشه این تفاوت را نیز می‌توان به رویکرد متمایز مطالعه یادشده منتسب دانست که بر اساس آن، هفت فناوری پیشرفته (از قبیل واقعیت افزوده، واقعیت مجازی، چاپ سه‌بعدی، پهپادها و ...) مبنای آینده‌پژوهی قرار گرفته‌اند نه پیشران‌ها. بدین ترتیب، می‌توان چنین برداشت کرد که پژوهش‌گران مذکور به «آینده‌پژوهی فناوری ساختمان» پرداخته‌اند و مطالعه حاضر به «آینده‌پژوهی صنعت ساختمان» اقدام کرده است؛ بنابراین دو نتیجه مختلف از این تحقیقات حاصل شده است.

به استناد یافته‌های اصلی حاصل از این مطالعه، پیشنهادهایی به شرح زیر و خطاب به مسئولان مرتبط در سطح

کشور مطرح می‌شود:

- نخست آن که با توجه به شناسایی پانزده پیشران مهم آغازگر جریان ساخت‌وساز چهار در ایران، ضروری است مسئولان نظام مهندسی ساختمان کشور با تشکیل کارگروهی مرکب از ذینفعان گوناگون این زیست‌بوم، برنامه‌ریزی برای پایش و بهبود هرکدام از این عوامل زمینه‌ای را در دستور کار خویش قرار دهند و ضمن طراحی الگویی از تقسیم کار ملی میان دستگاه‌های اجرایی و نهادهای کلان کشور، ظرفیت‌های بالقوه موجود در بخش‌های دولتی و خصوصی را در این مسیر چالشی را همگرا و همراستا سازند.
- همچنین از آن‌جا که «همکاری‌های علمی کشور با جهان پیشرفته» به عنوان اولویت‌دارترین پیشران شکل‌گیری پدیده ساخت‌وساز چهار در ایران شناسایی شده است، توصیه می‌شود تفاهم‌نامه‌ای چهارجانبه میان «وزارت راه‌وشهرسازی»، «وزارت امور خارجه»، «وزارت علوم، تحقیقات و فناوری» و همچنین «معاونت علمی و فناوری رئیس‌جمهور» منعقد شود تا از ظرفیت‌های اختصاصی هرکدام از این نهادها در راستای تحقق هدف مشترک تسهیل تبادلات علمی و فناورانه در حوزه ساختمان با سایر کشورها در عرصه ساخت‌وساز چهار بهره‌برداری شود. کشورهای هدف در این تفاهم‌نامه را می‌توان جوامع پیشتاز در عرصه ساخت‌وساز چهار مانند آلمان، آمریکا و چین تعیین کرد.
- از سوی دیگر و به دلیل آنکه «پیشرفت‌های فناورانه در عرصه‌های نوین» هم در سطح نخست اولویت‌دارترین پیشران‌های ساخت‌وساز چهار معرفی شده است، مناسب به نظر می‌رسد که مرکز تحقیقاتی ویژه‌ای برای توسعه فناوری‌های نوین صنعت ساخت‌وساز چهار در کشور تأسیس شود تا ضمن همکاری با دانشگاه‌ها و پژوهشکده‌های موجود و مرتبط، توان کشور را برای ارتقای پیشرفت‌های فناورانه در این عرصه بسیج کند.
- در ادامه و بر اساس این مطالعه آینده‌نگرانه می‌توان به مسئولان و طراحان نظام فنی و اجرایی کشور در سطح قوای مجریه و مقننه (وزارت راه‌وشهرسازی، سازمان برنامه‌وبودجه کشور و مجلس شورای اسلامی) پیشنهاد کرد که نقشه‌راه مناسب برای تحقق آینده مطلوب صنعت ساختمان در ج.ا. ایران را با کمک نهادهای پژوهشی و دانشگاهی طراحی کند و از همین امروز، برنامه‌ریزی و اقدام برای پیگیری تحقق آن را در دستور کار مدیران خود قرار دهند.
- همچنین یافته‌های این تحقیق را می‌توان مبنایی برای توصیه‌هایی کاربردی خطاب به مسئولان ارشد نظام فنی و اجرایی در بخش صنعت ساختمان قرار داد؛ از جمله آنکه با طراحی ساختار اجرایی ویژه‌ای با مأموریت آینده‌نگاری و رصد فناوری‌های نوین ساخت‌وساز، زیرساخت‌های سازمانی لازم برای درک آینده‌های پیش روی صنعت ساختمان را ایجاد کرده و از طریق همکاری با مؤسسات پژوهشی ذی‌صلاح، فرصت‌های مناسب برای بهره‌برداری از ظرفیت‌های بالقوه پدیده ساخت‌وساز چهار در پیشرفت فناورانه بخش ساختمان را شناسایی نمایند. چنین ساختار جدیدی که می‌تواند با عنوان «مرکز پذیرش فناوری‌های نوین ساختمانی»

فعالیت خود را آغاز کند، با بهره‌گیری از ظرفیت‌های کارشناسی و فرایندها و ساختاری منعطف، خواهد توانست روند شکل‌گیری سناریوی مناسب از شکل‌گیری پدیده ساخت‌وساز چهار در کشور را تسریع کند. از سوی دیگر و بر مبنای محدودیت‌های چندی که مطالعه حاضر با آن‌ها مواجه بوده است، توصیه‌هایی به پژوهش‌گران آتی قابل ارائه است که مهم‌ترین آن‌ها بدین شرح پیشنهاد می‌شوند. از آن‌جا که این تحقیق تنها به طراحی سناریوهای باورپذیر از آینده ساخت‌وساز چهار در کشورمان محدود بوده است و از ورود به مراحل بعدی آینده‌پژوهی از قبیل ارزیابی سناریوها، معرفی سناریوی مطلوب و همچنین طراحی نقشه‌راه تحقق سناریوی مطلوب بازمانده است، ضروری به نظر می‌رسد که در مطالعات آینده به چنین نیازهایی پرداخته شود. علاوه بر این، محدودیت دیگر مطالعه حاضر مبنی بر انتخاب مدلی خاص از روش‌شناسی سناریوسازی (الگوی شبکه جهانی کسب‌وکار) باعث شده است که بتوان به پژوهش‌گران علاقه‌مند توصیه کرد از سایر الگوهای بدیل، به‌ویژه رویکردهای کمی و تحلیل روند نیز برای سناریونویسی آینده‌های ساخت‌وساز چهار در کشور استفاده کنند تا بتوان از دیگر پیشران‌های شناسایی شده (علاوه بر دو پیشران اولویت‌دار) نیز در طراحی سناریوهای آینده بهره‌برداری نمود. همچنین از آن‌جا که دیگر محدودیت انتخابی این مطالعه، تعیین افق زمانی بیست‌ساله برای آینده‌پژوهی بوده است، به محققان آتی پیشنهاد می‌شود وضعیت این صنعت در زمان‌های طولانی‌تر (مثلاً پنجاه‌ساله) یا کوتاه‌تر (مثلاً ده‌ساله) را نیز مورد مطالعه و مقایسه تحلیلی قرار دهند.

## References

- [1] Alavi, S. H., Mohammadi, F., Darvishi, A., & Rahmani, N. (2020). The mediating role of innovation on the impact of market orientation on the performance of private clubs. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, 17(3), 195-210. <https://doi.org/10.48301/kssa.2020.124672>
- [2] Kim, H., Cho, K. H., Kim, H-J., Kim, M. K., Han, S. H., & Park, S. H. (2006, October 03-05). *Identifying the demand for innovative future construction technology*. Proceedings of the 23rd International Symposium on Robotics and Automation in Construction, Tokyo, Japan. <https://doi.org/10.22260/ISARC2006/0004>
- [3] Khayyatian, M. S., Fartash, K., & Pourasgari, P. (2020). Development of a Framework for Monitoring and Evaluation of Iran's National System of Science, Technology and Innovation. *Strategy for Culture*, 13(49), 119-154. <https://doi.org/10.22034/jsfc.2020.109868>
- [4] Kozlovska, M., Klosova, D., & Strukova, Z. (2021). Impact of Industry 4.0 Platform on the Formation of Construction 4.0 Concept: A Literature Review. *Sustainability*, 13(5), 2683. <https://doi.org/10.3390/su13052683>
- [5] Sanchez, D. O. M. (2019, June 17-21). *Sustainable Development Challenges and Risks of Industry 4.0: A literature review*. 2019 Global IoT Summit, Aarhus, Denmark. <https://doi.org/10.1109/GIOTS.2019.8766414>
- [6] De Lange, P., Bähre, B., Finetti-Imhof, C., Klamma, R., Koch, A., & Oppermann, L. (2017, June 13). *Socio-technical Challenges in the Digital Gap between Building Information Modeling and Industry 4.0*. 3rd International Workshop on Socio-Technical Perspective in IS development, Essen, Germany. [https://www.researchgate.net/publication/317690541\\_Socio-technical\\_Challenges\\_in\\_the\\_Digital\\_Gap\\_between\\_Building\\_Information\\_Modeling\\_and\\_Industry\\_40](https://www.researchgate.net/publication/317690541_Socio-technical_Challenges_in_the_Digital_Gap_between_Building_Information_Modeling_and_Industry_40)
- [7] Craveiro, F., Duarte, J. P., Bartolo, H., & Bartolo, P. J. (2019). Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on Construction 4.0. *Automation in Construction*, 103, 251-267. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.011>

- [8] Tay, Y. W. D., Panda, B., Paul, S. C., Noor Mohamed, N. A., Tan, M. J., & Leong, K. F. (2017). 3D printing trends in building and construction industry: a review. *Virtual and Physical Prototyping*, 12(3), 261-276. <https://doi.org/10.1080/17452759.2017.1326724>
- [9] 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>
- [10] 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>
- [11] Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, 83, 121-139. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
- [12] Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. (2018). Industry 4.0 – A Glimpse. *Procedia Manufacturing*, 20, 233-238. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034>
- [13] Rojko, A. (2017). Industry 4.0 Concept: Background and Overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 11(5), 77-90. <https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072>
- [14] Mondalizadeh, Z., & Nagsh Javaheri, S. (2021). The Impact of Information Technology Competency Dimensions on Organizational Innovation in Sport and Youth Departments. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, 18(2), 153-164. <https://doi.org/10.48301/kssa.2021.129374>
- [15] Klinc, R., & Turk, Ž. (2019). Construction 4.0 – digital transformation of one of the oldest industries. *Economic and Business Review*, 21(3), 393-410. <https://doi.org/10.15458/ebr.92>
- [16] Fathi, M. R., Maleki, M. H., & Rezvani Asl, V. (2018). Future Study of Investment in the Housing Industry in Iran Using Scenario Planning Approach and Cross-Impact Matrix. *Future study Management*, 28(111), 11-28. <http://sanad.iau.ir/en/Article/784378>
- [17] Schönbeck, P., Löfsjögård, M., & Ansell, A. (2020). Quantitative Review of Construction 4.0 Technology Presence in Construction Project Research. *Buildings*, 10(10), 173. <https://doi.org/10.3390/buildings10100173>
- [18] Mansoorzadeh, S., & Nezami Pakdeh, M. (2019). A Comprehensive and Practical Model to Implement Risk Management in Construction Projects based on PMBOK Standard. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, 16(1), 35-52. [https://karafan.tvu.ac.ir/article\\_100530.html?lang=en](https://karafan.tvu.ac.ir/article_100530.html?lang=en)
- [19] Karbasi, A., & Mohammadzadeh, S. H. (2017). The Impact of Investment on Construction on Iran's Interest Rate. *Quarterly Journal of The Macro and Strategic Policies*, 5(19), 19-33. [https://www.jmsp.ir/article\\_54093.html?lang=en](https://www.jmsp.ir/article_54093.html?lang=en)
- [20] Rezgui, Y., Boddy, S., Wetherill, M., & Cooper, G. (2011). Past, present and future of information and knowledge sharing in the construction industry: Towards semantic service-based e-construction? *Computer-Aided Design*, 43(5), 502-515. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2009.06.005>
- [21] Kazemi, A., & Afshari, S. (2016). Evaluation model of project complexity for large-scale construction projects in Iran - A Fuzzy ANP approach. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 3(2), 101-112. [https://www.jsce.ir/article\\_38577.html?lang=en](https://www.jsce.ir/article_38577.html?lang=en)

- [22] Rust, F. C., & Koen, R. (2011). Positioning technology development in the South African construction industry : a technology foresight study : technical paper. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering = Joernaal van die Suid-Afrikaanse Instituut van Siviele Ingenieurswese*, 53(1), 2-8. <https://doi.org/10.10520/EJC27062>
- [23] El Jazzer, M., Urban, H., Schranz, C., & Nassereddine, H. (2020, October 27-28). *Construction 4.0: a roadmap to shaping the future of construction*. 37 th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Kitakyushu, Japan. <https://doi.org/10.22260/ISARC2020/0180>
- [24] Noran, O., Romero, D., & Burchiu, S. (2020). Exploring the Path Towards Construction 4.0: Collaborative Networks and Enterprise Architecture Views. In B. Lalic, V. Majstorovic, U. Marjanovic, G. von Cieminski, & D. Romero (Eds.), *Advances in Production Management Systems. Towards Smart and Digital Manufacturing*. Springer. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-57997-5\\_63](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-57997-5_63)
- [25] Sawhney, A., Riley, M., Irizarry, J., & Pérez, C. T. (2020, April 14-18). *A proposed framework for Construction 4.0 based on a review of literature*. 56th Annual Associated Schools of Construction International Conference, Liverpool John Moores University, UK. <http://dx.doi.org/10.29007/4nk3>
- [26] Fred, S. (2020). Editorial: The ethical and social challenges of Construction 4.0. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Management, Procurement and Law*, 173(4), 139-140. <https://doi.org/10.1680/jmapl.2020.173.4.139>
- [27] Hossain, M. A., & Nadeem, A. (2019, May 20-25). *Towards digitizing the construction industry: State of the art of construction 4.0*. 10th International Structural Engineering and Construction Conference, Chicago, United States of America. <https://doi.org/10.14455/isec.res.2019.184>
- [28] Sghafi, F., Aliahmadi, A., Ghazi Noory, S. S., & Hourali, M. (2015). Developing and Identifying Possibility & Plausibility of E-Government Services Scenarios in Iran by 1404. *Journal of Information Technology Management*, 7(1), 49-68. <https://doi.org/10.22059/jitm.2015.53239>
- [29] Osunsanmi, T. O., Aigbavboa, C. O., Emmanuel Oke, A., & Liphadzi, M. (2020). Appraisal of stakeholders' willingness to adopt construction 4.0 technologies for construction projects. *Built Environment Project and Asset Management*, 10(4), 547-565. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-12-2018-0159>