System Engineering and Productivity/ 2025/ Vol. 5/ No. 4/ 1-43

System Engineering and Productivity

DOI: 10.22034/sep.2025.2060254.1320

Construction 4.0 Barriers in Housing Development in Iran

Kasra Rahbaripour [1], Mohammadreza Pakdelfard [2*], Hassan Sattari Sarbangholi [3], Nima Valizadeh [4]

[1] Ph.D. Student, Department of Architecture, Ta.C, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

[2] Associate Professor, Department of Architecture, Ta.C, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

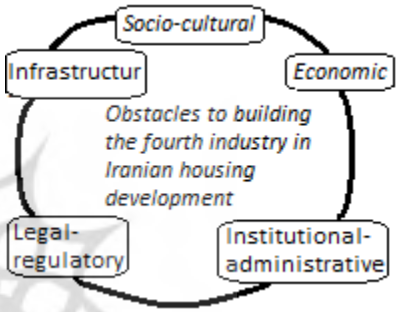
[3] Associate Professor, Department of Architecture and Urban Planning, Ta.C, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

[4] Assistant Professor, Department of Architecture, Ta.C, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

HIGHLIGHTS

- Socio-Cultural Barriers to Adopting Construction 4.0
- Economic and Infrastructural Challenges
- Institutional and Legal Inefficiencies

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Article history:
Article Type: Research paper
Received: 15 May 2025
Revised: 16 July 2025
Accepted: 20 July 2025
Available online: 20 July 2025
*Correspondence:
m.pakdelfard@srbiau.ac.ir
How to cite this article:
Rahbaripour, K., Pakdelfard, M., & Sarbangholi, H. S., Valizadeh, N. (2025). Title. *System Engineering and Productivity*, 5 (4), 1-43.

Keywords:
Industry 4.0
Construction 4.0
Housing Construction
Fourth Industrial Revolution
Qualitative Approach

ABSTRACT

The housing construction industry in Iran is influenced by a multitude of factors across various dimensions, including social, economic, physical, infrastructural, and legal aspects. To enhance land use efficiency, optimize physical assets and capital, address genuine housing needs, improve the quantity and quality of housing, and protect the environment, it is imperative to adopt the principles of Construction 4.0. This study aims to identify and elucidate the barriers to achieving Construction 4.0 in the Iranian housing sector from the perspectives of key experts and stakeholders. The research employs a qualitative content analysis approach, utilizing data collected through semi-structured, in-depth, face-to-face interviews designed with open-ended questions. The research population consists of academic and technical-experiential experts, with purposive sampling applied to ensure maximum diversity in age, gender, specialization, educational level, professional background (academic and technical), and experience, to obtain comprehensive and rich insights from varied perspectives. The participants comprised 31 experts from diverse fields, including construction management, project management, architecture, civil engineering, environmental science, mechanical engineering, electrical engineering, energy, industrial management, industrial design, and related disciplines. Through data conceptualization, the study identified 5 main themes, 28 sub-themes, and 105 codes. The main themes are: "socio-cultural", "economic", "institutional-administrative", "legal-regulatory", and "infrastructural".

2538-2195/© 2026 The Authors. Published by University of Eyvanekey. This is an open-access article under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license.

1. Introduction

The Fourth Industrial Revolution is transforming the construction industry at its very core, ushering it into the era of intelligent construction. Emerging technologies like Building Information Modeling (BIM), the Internet of Things (IoT), big data, cloud computing, and artificial intelligence have permeated every phase of the building lifecycle and are driving this revolution. Despite the multitude of definitions and the absence of a shared framework, the consensus appears to be that Construction 4.0 can be understood as the application of Industry 4.0 principles to the construction sector or, more broadly, as the digitalization of construction processes. Conventionally, the development of BIM strategies has served as a basis, bringing about greater awareness and facilitating a gradual paradigm shift within the construction sector. Today, the trend towards Construction 4.0 is increasingly needed to surpass the current limitations of BIM, which has arrived at the maturity stage of development (Bahrami et al., 2025; Eghbal et al., 2025; Ershadi et al., 2024; Khalili et al., 2025; Long et al., 2025; Salaheen et al., 2024). Construction 4.0, as a notion within the field of housing construction, is the synthesis and amalgamation of a wide range of concepts like industrialized production (for instance, prefabrication, 3D printing, off-site construction, and assembly); cyber-physical systems (for example, robots and collaborative robots for repetitive or risky work, navigation, positioning, and actuation); and digital technologies (for instance, BIM, video and laser scanning, IoT, sensors, artificial intelligence, cloud computing, big data analytics, reality capture, blockchain, simulation, augmented reality, data standards, interoperability, and vertical and horizontal integration). Given the big role of the construction industry in the economy of any nation, addressing the challenges associated with urban settlements entails the adoption of Construction 4.0 in Iran. Thus, the question of research is posed by this study as: What are the barriers to the actualization of Construction 4.0 in Iranian home building, based on the perceptions of key experts and stakeholders? Additionally, how can these barriers be categorized?

2. Methodology

This study adhered to a conventional qualitative content analysis approach to examine the hindrances to the actualization of Construction 4.0 in Iranian residential development. The population of this study consisted of academic and technical-experiential experts, where the participants were selected through purposive sampling with maximum variation to attain a comprehensive and diverse range of views. The sampling criteria included age, gender, specialization, educational level, professional experience (academic and technical), and expertise. There were 31 participants, and the expertise covered construction management, project management, architecture, civil engineering, environmental science, mechanical engineering, electrical engineering, energy, industrial management, industrial design, and related fields. The age of the participants ranged from 34 to 57 years, and they had 8 to 33 years of working experience in their fields relevant to the research aims.

The data were collected through in-depth, semi-structured, face-to-face interviews using open-ended questions. The interview guide was developed in a semi-structured format, informed by expert discussion and consultation, as well as the empirical literature of the field. To determine the validity and accuracy of questions, content validity was employed. Data analysis was done using the conventional method of content analysis, informed by the analytical framework proposed by Graneheim and Lundman, which includes the following steps:

- Transcription of the interviews and reading them repeatedly to develop an exhaustive idea of the content;
- Selecting meaning units and abstracting them into categorized units;
- Summarizing and categorizing abstracted units, labeling them with relevant titles;
- Arranging subcategories based on comparisons of similarities and differences;
- Selecting a title that encompasses the deduced categories exhaustively.

To uphold the rigor and trustworthiness of the findings, the study adhered to Guba and Lincoln's four criteria: credibility, dependability, transferability, and confirmability. Credibility was enhanced by prolonged engagement, deep interaction with participants, and member checking, in which participants screened and approved the data. Dependability was provided by prompt transcription, external checking by peers, and iterative examination of the entire dataset. Time triangulation and maximum variation sampling also provided credibility and confirmability to the results. Confirmability was provided by researcher neutrality and agreement on codes and themes. Transferability was aided by the use of direct quotations, thick descriptions of

the data, and checking with experienced academic peers.

To establish the stability of the findings over time, prolonged exposure to the phenomenon, continuous monitoring for enhancing credibility, and constant comparative analysis were employed to render reliability. In addition to this, there was also a research audit for enhancing reliability, whereby all the stages of the research process, decisions, documents, and findings were audited by an external auditor not involved in the study. Unlike quantitative research, where representative sampling is prioritized, qualitative research prioritizes transferability. For this, the researcher thoroughly documented and reported all the research stages and decisions. Purposive sampling with maximum variation, together with detailed descriptions of participants, sampling strategies, and data collection environments, also enabled transferability.

Confirmability, or objectivity, was ensured through external review. Half of the interviews, along with their extracted codes, were reviewed by an experienced qualitative researcher or professor not included in the research team to ascertain congruence between the researcher's and reviewer's interpretations. In case of disagreement, the researcher reanalyzed the data and resubmitted to the reviewer until a consensus was achieved. The researcher also sought advice from relevant experts in naming categories, subcategories, and sub-themes in an attempt to minimize personal biases during analysis.

3. Results and Discussion

Data analysis yielded five primary themes of the challenges to the adoption of Construction 4.0 in housing development in Iran: socio-cultural, economic, institutional-administrative, legal-regulatory, and infrastructural.

3.1. Socio-Cultural

This theme has six sub-themes: (1) Change and Acceptance, (2) Awareness and Education, (3) Tradition, (4) Inequality, (5) Innovation and Exploitation, and (6) Synergy.

- **Change and Acceptance:** Resistance to change, negative attitudes toward new technology, lack of confidence in industrialization processes, and perceptions of low value in advanced construction techniques are constraints to adopting Construction 4.0. Stakeholders, accustomed to traditional approaches, view new technologies as threats, rather than opportunities, reducing project innovation and efficiency.
- **Awareness and Education:** There is limited awareness of Construction 4.0 benefits, and insufficient training of contractors and engineers discourages adoption. Insufficient academic focus on new technologies and institutional initiatives to promote awareness exacerbates the scenario, perpetuating reliance on traditional methods.
- **Tradition:** Deeply rooted traditional construction methods dominate due to familiarity and lower costs, with opposition to newer approaches. Local culture supporting traditional methods and incompatibility between new and traditional methods also dissuade technology adoption.
- **Inequality:** Socio-economic disparities limit access to resources, skilled labor, and technologies, particularly in disadvantaged areas. Unhealthy price-based rather than quality-based competition demotivates innovation and sustainability.
- **Innovation and Exploitation:** Lack of awareness campaigns and stakeholders' risk aversion demotivate the adoption of technological innovations. Insufficient promotion of modern construction methods limits their integration into projects.
- **Synergy:** Inadequate cultural nurturing of cooperation and opposition to localized solutions dissuade stakeholders from collaborating. This lack of synergy diminishes trust and participation in innovative housing solutions.

3.2. Economic

This theme involves six sub-themes: (1) Development, (2) Market, (3) Research Investment, (4) Support, (5) Risk and Instability, and (6) Financing.

- **Development:** High training costs and low investment in human resource skills development discourage the adoption of new technologies, reducing project quality and industry competitiveness.
- **Market:** Intense price-based competition reduces profit margins, restricting investment in innovation and new machinery. Lack of market access for new products also discourages the adoption of new technologies.

- **Research Investment:** Low investment in research and development discourages innovation, rendering firms reliant on outdated practices and unable to meet international standards.
- **Support:** Lack of subsidies and financial incentives discourages investment in Construction 4.0, stalling innovative projects due to their high initial cost.
- **Risk and Instability:** High investment risk, long payback times, and economic instability deter stakeholders from investing in new technologies, instead choosing traditional methods.
- **Financing:** Poor access to financial capital and credit restricts the execution of innovative projects, particularly for small-sized companies, delaying industry growth.

3.3. Institutional-Administrative

This theme encompasses seven sub-themes: (1) Policy and Planning, (2) Executive Management, (3) Structural, (4) Collaboration, (5) Resources, (6) Information Dissemination, and (7) Experiences.

- **Policy and Planning:** Inadequate long-term housing strategies and strategic policies for Construction 4.0 lead to resource misallocation and market distortions.
- **Executive Management:** Inadequate project management, inadequate change management, and absence of innovation frameworks result in delays and cost overruns.
- **Structural:** Complex bureaucratic processes and lack of transparency cause inefficiencies and distrust, deterring investment and project realization.
- **Collaboration:** Insufficient international and domestic collaboration with technology firms impedes knowledge transfer and assimilation of innovations.
- **Resources:** Shortage of skilled manpower and lack of training facilities impedes the application of advanced technologies.
- **Information Dissemination:** Poor dissemination of regulations to stakeholders leads to non-compliance and reduced quality of projects.

3.4. Legal-Regulatory

It has five sub-themes: (1) Implementation, (2) Conflicts and Overlaps, (3) Formulation and Updating, (4) Support, and (5) Standards.

- **Implementation:** Burdensome permitting processes and lack of transparency increase project delays and costs, and corruption undermines trust.
- **Conflicts and Overlaps:** Incongruent regulations between institutions create confusion and inefficiencies, and undermine project implementation.
- **Formulation and Updating:** Outdated regulations fail to keep up with technological advancements, discouraging the application of modern construction methods.
- **Support:** Lack of legal support for innovative firms discourages investment in new technologies, limiting industry growth.
- **Standards:** Absence of environmental and materials standards compromises project quality and sustainability, and increases risks.

3.5 Infrastructural

There are four sub-themes under this theme: (1) Energy, (2) Support, (3) Data and Information, and (4) Technological.

- **Energy:** Unreliable energy grids and a lack of renewable energy sources result in disruption to construction processes and increased costs.
- **Support:** Inadequate advanced project management tools and poor coordination among teams lead to inefficiency and delays.
- **Data and Information:** Inadequate digital infrastructure, lack of access to data, and absence of integrated information systems encroach on informed decision-making.
- **Technological:** Outdated equipment, limited access to modern tools, and a lack of high-tech testing laboratories reduce the quality of construction and innovation.

These findings highlight the complex interplay of socio-cultural, economic, institutional, legal, and infrastructural barriers to the adoption of Construction 4.0 in the Iranian housing sector.

4. Conclusions

The findings of this study present a multi-faceted array of barriers toward the adoption of Construction 4.0 in Iran's residential development, categorized within five overarching themes: socio-cultural, economic, institutional-administrative, legal-regulatory, and infrastructural (software and hardware). Collectively, they cause decreased productivity, higher expenses, and project delays, distancing the Iranian housing construction sector

from global standards. To surmount these challenges, concerted multi-dimensional efforts are required. First, the introduction of education and cultural awareness programs is instrumental to the transformation of stakeholders' attitudes towards emerging technologies. Second, the establishment of financial incentives and investment facilitation environments can attract more resources and minimize economic risks. Thirdly, the restructuring of legal and regulatory frameworks, the reduction of administrative bureaucracy, and the enhancement of coordination between concerned institutions are indispensable steps. Simultaneously, the development of digital infrastructure, modernization of equipment, and expansion of international collaboration on the transfer of advanced knowledge and technologies can impel the housing construction industry toward digitalization and adherence to global standards. The achievement of these objectives is a national priority and all-sided collaboration of government, private sector, universities, and society to consistently transform existing challenges into opportunities for sustainable growth and development. Because this is a qualitative study, one limitation is that it is not generalizable.

Funding

This research received no external funding.

Author contributions

Kasra Rahbaripour: Conceptual research model, literature review and theoretical background, data analysis, statistical analysis draft, Drafting the manuscript, preliminary review of the report, and research methodology development, and Text revision; **Mohammadreza Pakdelfard:** Supervision and Text Revision; **Hassan Sattari Sarbangholi:** Supervision and Text Revision; **Nima Valizadeh:** Supervision and Text Revision.

Conflicts of interest

There are no conflicts of interest associated with this research.

Acknowledgments

We are grateful to all colleagues who provided insights and expertise that greatly assisted this research. We also thank the anonymous reviewers for their valuable suggestions to improve the paper.

References

Bahrami, M. R., Hashemzadeh, G. R., Shahmansoury, A., & Fathi Hafshejani, K. (2025). Analyzing effective components in industry 4.0 maturity for Iranian banking. *System Engineering and Productivity*, *5*(1), 21-50. https://doi.org/10.22034/sep.2025.2047848.1246

Eghbal, F., Ehsanifar, M., Mirhosseini, M., & Mazaheri, H. (2025). Identification and modeling of key factors significant to the financial performance of Iranian construction companies. *System Engineering and Productivity*, *4*(4), 77-94. https://doi.org/10.22034/msb.2024.2034092.1218

Ershadi, M. J., Kianmehr, N., Nabatchian, M., Dinmohammadi, L. (2024). Designing a Productivity assessment model to identify and prioritize influential factors and examine obstacles facing Iranian research organizations. *System Engineering and Productivity*. *4*(2), 31-46. https://doi.org/10.22034/msb.2024.2019692.1171

Khalili, S., Saeedi, F., Yousefi, S., & Zandpourasl, M. (2025). Investigating the impact of the "attitude and mindset" component on the success of project managers in the Iranian construction industry. *System Engineering and Productivity*. *5*(1), 1-14. https://doi.org/10.22034/sep.2025.2046688.1237

Long, W., Ng, S. T., Lu, W., Mora, L., & Bao, Z. (2025). Deciphering how digital functions enable circular economy practices in construction: A critical review of recent progress and future outlook. *Environmental Impact Assessment Review, 113*, Article 107889. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2025.107889

Salaheen, M. A., Alaloul, W. S., Musarat, M. A., Johari, M. A. B., Alzubi, K. M., & Alawag, A. M. (2024). Women career in construction industry after Industrial Revolution 4.0 norm. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 10*(2), Article 100277. https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100277

مهندسی سیستم و بهره‌وری/ سال ۱۴۰۴/ دوره ۵/ شماره ۴/ صفحه ۱-۴۳

نشریه مهندسی سیستم و بهره‌وری

DOI: 10.22034/sep.2025.2060254.1320

موانع صنعت ساخت چهارم در توسعه مسکن ایران

کسری رهبری‌پور [۱]، محمدرضا پاکدل‌فرد [۲*]، حسن ستاری ساربانقلی [۳]، نیما ولی‌زاده [۴]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه معماری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

[۲] دانشیار، گروه معماری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

[۳] دانشیار، گروه معماری و شهرسازی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

[۴] استادیار، گروه معماری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

چکیده گرافیکی

برجسته‌ها

- موانع اجتماعی-فرهنگی در پذیرش صنعت ساخت چهارم
- چالش‌های اقتصادی و زیرساختی
- ناکارآمدی‌های نهادی و قانونی

چکیده

صنعت ساخت‌وساز مسکن در ایران تابع عوامل بسیاری در ابعاد مختلف همچون اجتماعی، اقتصادی، کالبدی، زیرساختی و حقوقی است. در راستای بهره‌وری از زمین، دارایی‌ها و سرمایه‌های فیزیکی، پاسخگویی به نیازهای واقعی، ارتقا کمی و کیفی مسکن و حفاظت از محیط‌زیست، ضروری است از صنعت ساخت چهارم بهره جست. هدف این تحقیق شناسایی و تبیین موانع دستیابی به صنعت چهارم در ساخت مسکن ایرانی از نظر خبرگان و مطلعان کلیدی است. این تحقیق با رویکرد تحلیل محتوای کیفی عرفی و با ابزار جمع‌آوری داده‌ها مصاحبه‌های چهره به چهره نیمه ساختاریافته و عمیق که با استفاده از سؤالات بازطراحی شده بودند، انجام‌شده است. جامعه پژوهش متشکل از کارشناسان آکادمیک و فنی-تجربی بودند و نوع نمونه‌گیری این پژوهش از نوع هدفمند و با حداکثر تنوع برحسب سن، جنسیت، تخصص، مقطع تحصیلی، سابقه‌ی فعالیت (آکادمیک و فنی) و تجارب، برای دستیابی به اطلاعات جامع و غنی از دیدگاه‌های مختلف، مدنظر بود. مشارکت‌کنندگان ۳۱ نفر کارشناس در تخصص‌های مختلف دارای تجربه در حوزه‌های: مدیریت ساخت، مدیریت پروژه، معماری، عمران، محیط‌زیست، مکانیک، برق، انرژی، مدیریت صنعتی، طراحی صنعتی و صنایع، بودند. پس از مفهوم‌سازی داده‌های تحقیق ۵ تم، ۲۸ ساب تم و ۱۰۵ کد شناسایی شد که تم‌ها عبارت‌اند از: «اجتماعی-فرهنگی»، «اقتصادی»، «نهادی-اداری»، «قانونی-مقرراتی» و «زیرساختی (نرم‌افزاری و سخت‌افزاری)».

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۵

بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۲۵

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۹

ارائه برخط: ۱۴۰۴/۰۴/۲۹

*نویسنده مسئول:

m.pakdelfard@srbiau.ac.ir

کلیدواژه‌ها:

صنعت چهارم

صنعت ساخت چهارم

ساخت مسکن

انقلاب صنعتی چهارم

رویکرد کیفی

۲۱۹۵-۲۵۳۸/© ۲۰۲۶ نویسندگان. منتشرشده توسط دانشگاه ایوان‌کی. این یک مقاله با دسترسی آزاد تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) است.

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، تحولات فناورانه و نوآوری‌های مداوم در فرآیند ساخت و تولید در صنایع مختلف، تغییرات عمیقی را در چشم‌اندازهای صنعتی جهان ایجاد کرده‌اند.

اصطلاح صنعت چهارم (Industry 4.0) در یک پروژه مرتبط با استراتژی توسط دولت آلمان ابداع‌شده است و رایانه‌ای سازی تولید و مصرف را توصیف می‌کند. بر اساس نظر برخی از کارشناسان، این انتقال از قانون «مور» پیروی می‌کند؛ بر اساس این قانون، فناوری هر دو سال یک بار، ظرفیت و عملکرد خود را دو برابر می‌کند. امروزه، چهارمین انقلاب صنعتی از نظر ماهیت ابتکاری و کیفی در حال وقوع است. چهارمین انقلاب صنعتی مبتنی بر داده‌ها و مبنای گردآوری و تحلیل برای تصمیم‌گیری واقع‌بینانه و توسعه، به یک عامل رقابتی تبدیل‌شده است (Sharma et al., 2023) و (Nagy et al., 2018). برخی از مؤلفه‌های انقلاب صنعتی چهارم از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشند و ناگزیر می‌باید بخش‌های صنعتی و به‌ویژه شهرک‌های صنعتی و فناوری نسبت به توسعه و پیاده‌سازی این مؤلفه‌ها اقدام نمایند (Fatorachian & Kazemi, 2018) و (Deloitte, 2015). برای مثال اینترنت اشیای صنعتی (IIOT)، کلان داده‌ها (Big Data) و رایانش ابری (Cloud Computing) برای هوشمندسازی بخش‌های صنعتی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. صنعت چهارم پس از سال ۲۰۱۰، چارچوب مهمی در زمینه‌های اجتماعی، اقتصادی و فناوری بوده است (Bahrami et al., 2025)، (Lee & Lim, 2021)، (Villar et al., 2020) و (Sima et al., 2020). در مواجهه با تحولات دیجیتال مداوم، شرکت‌ها قادر به استفاده از فرصت‌های ارائه‌شده توسط صنعت چهارم هستند و مجبور به مدیریت خطرات و موانع ناپایدار هستند (Tahmasebinia et al., 2020).

انقلاب صنعتی چهارم در حال تغییر شکل دادن صنعت ساخت و ورود آن به دوره ساخت هوشمند است. فناوری‌های نوظهور، مانند مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، اینترنت اشیا، داده‌های بزرگ، رایانش ابری و هوش مصنوعی، در تمام مراحل چرخه عمر ساختمان نفوذ کرده و نقش بسزایی دارند (Tahmasebinia et al., 2020) و (Hamid & Zulhasni Abdul Rahim, 2022)؛ اما علیرغم بسیاری از تعریف‌های موجود و فقدان استاندارد مشخص، به نظر می‌رسد که در نظر گرفتن ساخت چهارم به‌عنوان کاربرد صنعت چهارم در بخش ساخت‌وساز یا دیجیتالی سازی ساخت به معنای گسترده، اتفاق‌نظر وجود دارد (Shafei et al., 2022) و (Shoar et al., 2023). قبلاً توسعه رویکردهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)، به‌عنوان یک مفهوم عمده انسجام بخش در افزایش آگاهی و تغییر الگوی تدریجی در صنعت ساختمان بسیار مهم بوده است و امروزه انتقال به صنعت ساخت چهارم به‌منظور ایجاد توانایی برای حرکت از مرزهای رویکرد BIM که در حال حاضر توسعه‌یافته است، به‌طور فزاینده‌ای ضروری به نظر می‌رسد (Wang et al., 2023).

صنعت چهارم که در حوزه ساخت مسکن بنام صنعت ساخت چهارم (Construction 4.0) به‌عنوان چارچوبی است که تطابق و همگرایی موضوعات گسترده‌ای است که عبارت‌اند از: تولید صنعتی (پیش‌ساخته، چاپ سه‌بعدی و مونتاژ، ساخت خارج از سایت)؛ سیستم‌های فیزیکی سایبری (روبات‌ها و cobots ها برای فرآیندهای تکراری و خطرناک، حرکت و موقعیت‌یابی و محرک‌ها)؛ و فناوری‌های دیجیتال (BIM)، اسکن ویدئو و لیزر، اینترنت اشیا، حسگرها، هوش مصنوعی و رایانش ابری، تجزیه‌وتحلیل داده‌های بزرگ و داده‌ها، ضبط واقعیت، بلاکچین، شبیه‌سازی، واقعیت افزوده، استانداردهای داده و قابلیت همکاری و ادغام عمودی و افقی (Wang & Guo, 2022)، (Chacón, 2021)، (Safura Zabidin et al., 2020) و (Boton et al., 2021). همان‌طور که بخش صنعت ساخت نقشی اساسی در اقتصاد هر کشور دارد؛ چالش‌های مختلف در سکونتگاه‌های شهری، دستیابی به صنعت چهارم در حوزه ساخت در ایران یک ضرورت است. در این راستا سؤال این تحقیق عبارت است از اینکه موانع دستیابی به صنعت چهارم در ساخت مسکن ایرانی از نظر خبرگان و مطلعان کلیدی کدام است؟ دسته‌بندی این موانع چگونه است؟

۲- پیشینه تحقیق

هدف این تحقیق شناسایی و صورت‌بندی جامع از موانع دستیابی به صنعت چهارم در ساخت مسکن است بود که در این راستا با بررسی پایگاه‌های اطلاعات علمی داخلی

همچون: جهاد دانشگاهی (SID)، بانک نشریات کشور (Magiran)، مجلات تخصصی نور (Noormags)، سیویلیکا (Civilica)، جستجوی علمی فارسی (علم نت)، گنج (Irandoc)، نمامتن (Namamatn)، پرتال جامع علوم انسانی (Ensani)، کتابخانه مجلس شورای اسلامی (Azarsa) و خارجی همچون Google Scholar، Directory of Open Access Journals، Scopus، ProQuest، EBSCOhost و Web of Science، تحقیقاتی که در حوزه صنعت چهارم انجام‌شده است، در گام‌هایی به‌صورت تبیین رویه‌ها در حوزه‌های مهندسی اعم از برق و مکانیک، وجود دارد، همچنان که مطالعات اندکی در خصوص موانع و چالش‌های صنعت ساخت چهارم کارشده است و تاکنون تحقیق یا پژوهشی که مرتبط با گزاره‌های این تحقیق در ایران باشد انجام‌نشده است. همچنین با مطالعه پیشینه تحقیق داخلی و خارجی مشخص شد ساختار منسجمی از موانع دستیابی به صنعت چهارم شناسایی و تبیین نشده است. در این راستا، برای نیل به صورت‌بندی از دیدگاه تحقیقات پیشین و مرور تطبیقی بر اساس نتایج آن‌ها در جدول **۱** ارائه کرده است.

جدول ۱. جدول تطبیقی پیشینه تحقیق

Table 1. Comparative table of research background

مرور ادبیات تجربی			قرابت با محورها/نتایج تحقیق				
محقق	عنوان	نتایج	اجتماعی-فرهنگی	اقتصادی	نهادی-اداری	قانونی-مقرراتی	زیرساختی (نرم‌افزاری و سخت‌افزاری)
(Turner et al., 2021)	بهره‌گیری از صنعت چهارم در کارگاه‌های ساختمانی: چالش‌ها و فرصت‌ها	در مقاله به جنبه‌های بهره‌گیری از صنعت چهارم در سایت‌های ساختمانی، چالش‌ها و فرصت‌ها آن پرداخته و یک برنامه‌ی تحقیقاتی را برای پذیرش صنعت چهارم ارائه کرده است. این تحقیق، دستور کاری برای پذیرش صنعت منتخب چهارم تکنولوژی در ساخت‌وساز در قالب سه برنامه محوری ارائه کرده است. نسل بعدی در استفاده از داده‌های حسگر سایت، مدل پلتفرم مشترک و تحلیل داده‌ها و پردازش ویدئو و صدا همزاد (همانند) دیجیتال.	*		*	*	*
(Muñoz-La Rivera et al., 2021)	روش چارچوبی شناسانه-تکنولوژیکال برای صنعت ساخت چهارم	این تحقیق به شناسایی مزیت‌های صنعت ساخت چهارم پرداخته و مشخصه‌های موردنیاز تطبیق صنعت ساخت را با بهره‌گیری از ویژگی‌های صنعت چهارم را مورد مداقه قرار داده است. پس از تبیین چارچوب روش شناسانه-تکنولوژیکال، به شناسایی چالش‌ها و پیچیدگی‌های پیاده‌سازی صنعت چهارم در ساخت‌وساز پرداخته است. بر اساس یافته‌های این تحقیق، چارچوب پیشنهادی شامل اصول صنعت چهارم در زمینه‌های کاری صنعت AECO است. این در روندهای فعلی در حیطه‌های مدیریت پروژه و مدیریت ناب، تحویل یکپارچه پروژه و مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، با ترکیب عوامل، فرآیندها و محصولات مبتنی بر این پیشنهادات روش، با پیوند و سازگاری برای ترکیب پتانسیل صنعت چهارم مدنظر است.	*	*	*		*

ادامه **جدول ۱.**

Table 1. Continued.

مرور ادبیات تجربی			قرابت با تحقیق			محورها/نتایج	
محقق	عنوان	نتایج	اجتماعی-فرهنگی	اقتصادی نهادی-اداری	قانونی-مقرراتی	و سخت‌افزاری (نرم‌افزاری) زیرساختی	
(You & Feng, 2020)	یکپارچه‌سازی فناوری‌های مرتبط با صنعت چهارم در صنعت ساخت‌وساز: چارچوبی برای سیستم سایبر-فیزیکی	در این تحقیق به تحلیل یک چارچوبی از سیستم فیزیکی سایبری پرداخته است. مقایسه‌های افقی بین صنایع ساخت‌وساز و ایجاد بینشی ارزشمند برای تحقیقات ساخت‌وساز هوشمند آینده از روندها و ایده‌های پیشرفته در ساخت هوشمند هدف این مقاله بوده است. استدلال دیگر این مقاله ادغام عمیق فناوری‌های مربوط به صنعت چهارم و اجرای سیستم‌های فیزیکی-سایبری، حالت‌های تولید و مدیریت صنایع ساخت‌وساز و افزایش تدریجی تولید است. چارچوب این مقاله که در آن مدل ساخت‌وساز در زمان واقعی به‌عنوان دوقلوی (همزاد/همانند) دیجیتالی ساختمان در حال ساخت عمل می‌کند. علاوه بر این، نظارت و شبیه‌سازی زمان واقعی و معماری سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری داده محور تحت چارچوب پیشنهادی موردبحث قرارگرفته است.			*	*
(You & Feng, 2020)	یکپارچه‌سازی فناوری‌های مرتبط با صنعت ۴.۰ در صنعت ساخت‌وساز: چارچوبی برای سیستم سایبر-فیزیکی	در مقاله‌ای ادغام صنعت چهارم در فناوری‌های مرتبط در صنعت ساختمان را بررسی و به تحلیل یک چارچوبی از سیستم فیزیکی سایبری پرداخته است. مقایسه‌های افقی بین صنایع ساخت‌وساز و ایجاد بینشی ارزشمند برای تحقیقات ساخت‌وساز هوشمند آینده از روندها و ایده‌های پیشرفته در ساخت هوشمند هدف این مقاله بوده است. استدلال دیگر این مقاله ادغام عمیق فناوری‌های مربوط به صنعت چهارم و اجرای سیستم‌های فیزیکی-سایبری، حالت‌های تولید و مدیریت صنایع ساخت‌وساز و افزایش تدریجی تولید است. چارچوب این مقاله که در آن مدل ساخت‌وساز در زمان واقعی به‌عنوان دوقلوی (همزاد/همانند) دیجیتالی ساختمان در حال ساخت عمل می‌کند. علاوه بر این، نظارت و شبیه‌سازی زمان واقعی و معماری سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری داده محور تحت چارچوب پیشنهادی موردبحث قرارگرفته است.	*	*	*	*

ادامه **جدول ۱.**

Table 1. Continued.

مرور ادبیات تجربی			قرابت با تحقیق				محورها/نتایج
محقق	عنوان	نتایج	اجتماعی-فرهنگی	اقتصادی	نهادی-اداری	قانونی-مقرراتی	زیرساختی (نرم‌افزاری و سخت‌افزاری)
(Boton et al., 2021)	ریشه‌های ساخت‌وساز چهارم چیست: مرور نظام‌مند تلاش‌های پژوهشی اخیر. آرشیو روش‌های محاسباتی در مهندسی	این تحقیق با بررسی مطالعات ۱۰ ساله، تلاش‌های اخیر تحقیقاتی را که به تحول دیجیتال در صنعت ساخت‌وساز اختصاص داده‌شده، موردمطالعه قرار داده است. این تحقیق با استفاده از فرآیند مبتنی بر کلمات کلیدی نویسندگان، ۲۴۴۴ مطالعات علمی چاپ‌شده را تحلیل کرده است. پس از استخراج و نرمال‌سازی کلمات کلیدی، تحلیل فراوانی ظهور (دیده شدن) آن‌ها در نشریات حاکی از اهمیت رویکرد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و اهمیت سایر فناوری‌های توانمندساز بود.	*	*	*	*	*
(Sawhney et al., 2020)	ساخت‌وساز چهارم: بستری نوآورانه برای محیط ساخته‌شده	در کتابی با عنوان صنعت ساخت چهارم: بستر نوآوری برای محیط انسان‌ساخت که هدف آن تبیین یک راهنمای توصیفی برای چارچوب صنعت ساخت چهارم و برجسته ساختن فرآیندها و روش‌هایی است که امکان می‌دهد با تمرکز بر تحول فیزیکی به دیجیتال، دارایی‌های محیط ساخته‌شده را به‌طور مؤثر و کارآمد برنامه‌ریزی، طراحی، تحویل و بهره‌برداری شود. این کتاب در سه بخش تنظیم‌شده است که در بخش اول به معرفی و بررسی کلیت صنعت ساخت چهارم، اکوسیستم دیجیتالی و نوآوری؛ در بخش دوم به مؤلفه‌های صنعت ساخت چهارم و در بخش سوم به جنبه‌های عملی صنعت ساخت چهارم شامل مطالعات موردی، بررسی اجمالی شرکت استارت-آپی و جهت‌گیری‌های آینده، پرداخته است.		*	*	*	*
(Forcael et al., 2020)	صنعت ساخت چهارم: مروری بر ادبیات	به بررسی ترندهای مرتبط با صنعت ساخت چهارم پرداخته‌شده است. بر اساس نتایج این پژوهش، عناوین اصلی در پیشبرد مبانی و مفاهیم مبتنی بر کلید واژگان عبارت‌اند از: Internet of Things، Technologies in computer-aided design، 3D printing، Big Data، Artificial intelligence، Virtual and augmented reality، and robotics، New materials related to industrialization ریشه اصطلاح صنعت ساخت چهارم به سال ۲۰۱۶ و اولین اعلان ساخت‌وساز به‌عنوان یک رشته از صنعت چهارم به سال ۲۰۱۴ بازمی‌گردد.			*	*	*

ادامه **جدول ۱.**

Table 1. Continued.

مرور ادبیات تجربی			قرابت با تحقیق			محورها/نتایج
محقق	عنوان	نتایج	اجتماعی-فرهنگی	اقتصادی	نهادی-اداری	قانونی-مقرراتی	زیرساختی (نرم‌افزاری و سخت‌افزاری)
(Maskuriy et al., 2019)	صنعت چهارم برای صنعت ساخت و چگونگی آمادگی آن	بر اساس یافته‌های این مقاله، رشد صنعت ساخت‌وساز زیرمجموعه‌ای از مجموعه جهانی ارزش تولید ناخالص داخلی است. نتایج تحلیل ادبیات به سه خوشه تقسیم‌شده‌اند: فناوری، امنیت و مدیریت. با مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) به‌عنوان هسته اصلی در سیستم فیزیکی سایبر، سیستم فیزیکی برنامه‌ریزی سایبری قادر است از ویژگی‌های BIM برای بهبود چرخه عمر ساخت استفاده کند. این سیستم همکاری و همگام‌سازی خودکار قادر است فرآیندهای طراحی و ساخت را به‌طور خودکار انجام دهد و توانایی مدیریت مقدار قابل‌توجهی از داده‌های پر از ناهمگنی را بهبود بخشد.		*	*		*
(Alaloul et al., 2018)	انقلاب صنعتی چهارم در صنعت ساختمان: چالش‌ها و فرصت‌های ذینفعان	در این تحقیق که با هدف شناسایی چالش‌های به‌کارگیری تکنولوژی‌های نوین در صنعت ساخت‌وساز، فرصت‌های پیش روی در بلند مدت و عوامل مؤثر بر اجرای موفقیت‌آمیز صنعت ساخت چهارم انجام‌شده است؛ فاکتورهای سیاسی، اقتصادی، اجتماعی، فناورانه، محیط زیستی، قوانین و مقرراتی و امنیتی، به‌عنوان چالش‌ها و فرصت‌ها برای ذی‌نفعان در این تحقیق شناسایی‌شده است.	*	*	*		*
(Jazzar et al., 2021)	یکپارچه‌سازی فناوری‌های ساخت‌وساز چهارم: طرح اجرایی چهارلایه	بنا بر یافته‌های این تحقیق پیاده‌سازی موفق ساخت‌وساز چهارم مستلزم ادغام نظام‌مند ۹ فناوری کلیدی شامل iBIM، واقعیت افزوده/مجازی، رباتیک، چاپ سه‌بعدی، هوش مصنوعی، پهپادها، اینترنت اشیا و کلان‌داده‌ها در یک چارچوب چهارلایه است. مطالعه موردی روی سیستم‌های HVAC نشان داد که تعامل دوسویه بین iBIM و واقعیت افزوده می‌تواند دقت بازرسی‌ها را تا ۴۰ درصد افزایش داده و خطاهای اجرایی را به‌طور میانگین ۲۵ درصد کاهش دهد. مهم‌تر از همه، این تحقیق تأکید می‌کند که تحقق کامل مزایای ساخت‌وساز چهارم نه‌تنها به فناوری، بلکه به تغییر بنیادین در سه حوزه کلیدی وابسته است: بازمهندسی فرآیندهای سنتی (با کاهش ۳۰ درصدی زمان‌های تلف‌شده)، سرمایه‌گذاری در آموزش نیروی انسانی (با نیاز حداقل ۵۰ ساعت آموزش تخصصی برای هر کارگر) و توسعه استانداردهای امنیت داده (با الزام به رمزنگاری ۲۵۶ بیتی برای تمامی تبادلات اطلاعاتی).	*	*	*		*

ادامه **جدول ۱.**

Table 1. Continued.

مرور ادبیات تجربی			قرابت با تحقیق				محورها/نتایج
محقق	عنوان	نتایج	اجتماعی-فرهنگی	اقتصادی	نهادی-اداری	قانونی-مقرراتی	زیرساختی (نرم‌افزاری و سخت‌افزاری)
(Begić & Galić, 2021)	مرور نظام‌مند فناوری ساخت‌وساز چهارم در چارچوب پیش‌فرض BIM ۴.۰	در تحقیقی به بررسی سیستماتیک ساخت‌وساز چهارم در چارچوب فرضیه BIM 4.0 پرداخته است که بر اساس یافته‌های آن ادغام فناوری‌های دیجیتال پیشرفته (BIM، IoT، هوش مصنوعی و رباتیک) در صنعت ساخت‌وساز می‌تواند منجر به بهبود ۳۰ تا ۵۰ درصدی در شاخص‌های کلیدی عملکرد ازجمله کاهش ۲۵ تا ۳۵ درصدی زمان اجرا، صرفه‌جویی ۲۰ تا ۳۰ درصدی در هزینه‌ها، افزایش ۴۰ تا ۵۰ درصدی دقت اجرا و کاهش ۳۵ تا ۴۵ درصدی ضایعات مصالح شود. بااین‌حال، مطالعه نشان می‌دهد که چالش‌های مهمی ازجمله نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه قابل‌توجه (۱۵ تا ۲۰ درصد بودجه پروژه)، ضرورت آموزش گسترده نیروی انسانی، مسائل امنیت سایبری و مقاومت سازمانی در برابر تغییر، پذیرش این فناوری‌ها را با محدودیت مواجه کرده است. پژوهشگران با تحلیل داده‌های ۴۵ پروژه نمونه در ۱۵ کشور مختلف، تأکید می‌کنند که موفقیت در تحول دیجیتال صنعت ساخت‌وساز مستلزم توسعه استانداردهای ملی، ایجاد مشوق‌های مالیاتی، اجرای برنامه‌های آموزشی تخصصی و تشکیل مراکز تحقیق و توسعه صنعتی است.	*	*	*	*	*
(Craveiro et al., 2019)	تولید افزودنی به‌عنوان فناوری توانمندساز ساخت‌وساز دیجیتال: دیدگاهی بر ساخت‌وساز چهارم، اتوماسیون در ساخت‌وساز	این مقاله در مورد تحول دیجیتال بخش ساخت‌وساز، به‌ویژه پتانسیل تولید افزودنی برای ساخت‌وساز ساختمان به‌عنوان یک فناوری اصلی صنعت ساخت چهارم بحث می‌کند. بر اساس یافته‌های این تحقیق، صنعت ساخت‌وساز برای پاسخگویی به جهانی که سریعاً در حال تغییر است، باید نوآوری فناوری را در پیش بگیرد. انقلاب دیجیتال و کمبود نیروی کار ماهر در ساخت‌وساز دو موضوع مهم تسریع‌کننده این تحول هستند. گسترش سریع فناوری‌های پیشرفته، مانند (IOT و BIM) و سایر سیستم‌ها و صنایع دیجیتالی و درنهایت صنعت ساخت چهارم، قدرت می‌بخشد که نویدبخش افزایش بهره‌وری ساخت، کیفیت، هزینه و کارایی منابع می‌باشد.	*	*	*		*

۳- روش تحقیق

در تحقیق حاضر، از رویکرد تحلیل محتوای کیفی عرفی یا قراردادی بهره‌مند شدیم؛ به‌گونه‌ای که اطلاعات و داده‌ها مستقیماً از مشارکت‌کنندگان تحقیق جمع‌آوری گردیدند، بدون آنکه طبقات یا چارچوب‌های از پیش تعیین‌شده و یا دیدگاه‌های نظری قبلی به آن‌ها تحمیل شود (Elo & Kyngās, 2008)، (Khalili et al., 2025) و (Creswell, 2013). جامعه پژوهش شامل کارشناسان و خبرگان آکادمیک و فنی-تجربی بودند و نوع نمونه‌گیری این پژوهش از نوع هدفمند و با حداکثر تنوع (Maximum variance of sampling) برحسب سن، جنسیت، تخصص، مقطع تحصیلی، سابقه‌ی فعالیت (آکادمیک و فنی) و تجارب، برای دستیابی به اطلاعات جامع و غنی از دیدگاه‌های مختلف، مدنظر بود. مشارکت‌کنندگان ۳۱ نفر کارشناس در تخصص‌های مختلف دارای تجربه در حوزه‌های: مدیریت ساخت، مدیریت پروژه، معماری، عمران، محیط‌زیست، مکانیک، برق، انرژی، مدیریت صنعتی، طراحی صنعتی و صنایع، بودند. سن افراد ۳۴ تا ۵۷ سال و سابقه کاری ۸ تا ۳۳ سال در حوزه مرتبط با موضوع این پژوهش و اهداف آن، داشتند (جدول **۲**).

ابزار جمع‌آوری داده‌ها در این پژوهش شامل مصاحبه‌های چهره به چهره نیمه ساختاریافته و عمیق بود که با استفاده از سؤالات بازطراحی شده بودند. سؤالات مربوط به مصاحبه به شیوه‌ای نیمه‌ساختاریافته تدوین شد که به یاری نظرات متخصصان و مبانی تجربی موجود در این حوزه عمل انجام پذیرفت. به عبارتی طراحی مبتنی بر چارچوب تجربی و اهداف تحقیق بود. برای ارزیابی و سنجش قابلیت و دقت سؤالات به‌کاررفته، از روش روایی محتوا (Content Validity) بهره‌گیری گردید. قبل از آغاز مصاحبه، هدف مطالعه به‌دقت برای مشارکت‌کنندگان توضیح داده می‌شد و مصاحبه با یک سؤال باز و راهنمایی کلیدی شروع می‌گردید. سپس سؤالات بعدی و پیگیری‌کننده به‌گونه‌ای تنظیم می‌شدند که بر اساس بازخوردها و اطلاعاتی که مشارکت‌کننده ارائه می‌داد، به‌تدریج به سمت روشن شدن سؤال اصلی تحقیق که در آن به دنبال شناسایی موانع دستیابی به صنعت چهارم در حوزه ساخت‌وساز مسکن ایرانی بودیم، هدایت و متمرکز شوند. در صورت نیاز به توضیحات بیشتر، از سؤالات کاوشی و تکمیلی نظیر «یعنی اینکه...؛ لطفاً بیش‌تر توضیح دهید؛ لطفاً یک مثال بزنید» استفاده می‌شد تا جزئیات بیشتری از دیدگاه‌ها و نظرات مشارکت‌کنندگان استخراج گردد.

جدول ۲. دموگرافی مشارکت کنندگان

Table 2. Demographics of participants

متغیر	دسته	N
جنسیت	مرد	۲۰
	زن	۱۱
مقطع تحصیلی	کارشناسی ارشد	۱۲
	دکتری	۱۹
سن	بالای ۳۰	۵
	۴۰-۵۰	۱۷
	بالای ۵۰	۹
تخصص	مدیریت ساخت	۴
	مدیریت پروژه	۳
	معماری	۴
	عمران	۴
	محیط زیست	۳
	مکانیک	۲
	برق	۲
	انرژی	۲
	مدیریت صنعتی	۳
	طراحی صنعتی	۲
	صنایع	۲
سابقه	کمتر از ۱۰ سال	۶
	۱۰-۲۰	۱۵
	بالای ۲۰ سال	۱۰
طیف	فنی-تجربی	۱۴
	آکادمیک	۱۷

به‌صورت پایلوت، ۳ مصاحبه اجرا و جریان منطقی سؤال‌ها و ترتیب آن‌ها کنترل شد. زمان و مکان برگزاری مصاحبه‌ها با مشارکت‌کنندگان به‌صورت هماهنگ و بر اساس توافقات تعیین گردید تا از بروز هرگونه اختلال در روند عادی و معمول زندگی حرفه‌ای آن‌ها جلوگیری شود. به این معنی که با تعیین وقت قبلی و با توجه به ترجیحات افراد، اکثر این مصاحبه‌ها در ساعات صبح و در مکان‌های مشخصی مانند دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی و

دفاتر مهندسین مشاور انجام شدند. مدت‌زمان هر مصاحبه معمولاً بین ۲۵ تا ۴۰ دقیقه متغیر بود که این تغییرات به عواملی همچون شرایط خاص مصاحبه، عمق پاسخ‌ها و تمایل مشارکت‌کنندگان بستگی داشت. پیاده‌سازی داده‌ها و کدگذاری اولیه به‌صورت دستی و ضبط با گوشی تلفن همراه انجام شد. علاوه بر این، برای اطمینان از روایی و صحت محتوای مصاحبه‌ها و همچنین کفایت سؤالات مطرح‌شده، این سؤالات توسط سه نفر از اعضای هیئت‌علمی که دارای تجربه و تخصص در حوزه پژوهش‌های کیفی بودند، موردبررسی و تأیید نهایی قرار گرفت. این فرایند به‌منظور تضمین کیفیت و دقت در تحقیق و همچنین افزایش اعتماد به نتایج به‌دست‌آمده صورت پذیرفت. بررسی روایی و صحت سؤالات مصاحبه به‌عنوان یک گام اساسی در کارهای پژوهشی به شمار می‌آید و موجب می‌شود تا پژوهشگران از نهایت دقت و اعتبار در گردآوری داده‌ها بهره‌مند گردند. بدین ترتیب، این اقدامات در راستای تحقق اهداف تحقیق و بهبود کیفیت نتایج و تحلیل‌های نهایی انجام شد (جدول **۳**).

جدول ۳. نمونه مفهوم‌سازی

Table 3. Conceptualization example

تم اصلی	ساب‌تم	کد اولیه	جمله (داده خام)
اجتماعی-فرهنگی	تغییر و پذیرش	مقاومت در برابر تغییر	... بسیاری از فعالان حاضر نیستن روش‌های جدید ساخت را بپذیرن ... ترجیح می‌دن همان شیوه‌های معمول را ادامه بدند ...
اجتماعی-فرهنگی	تغییر و پذیرش	کم‌ارزش انگاری ساخت پیشرفته	... ساخت‌وساز پیشرفته در مقایسه با روش‌های فعلی، نزد اکثر ذی‌نفعان کم‌ارزش تلقی می‌شه ...

با توجه به مفروضات بنیادی و اساسی رویکرد کیفی در پژوهش، تعداد نمونه‌ها پیش از آغاز فرآیند تحقیق مشخص نگردید و فرآیند نمونه‌گیری تا زمانی که به اشباع داده‌ها (Data Saturation) دست‌یابیم، ادامه یافت. این روند تا زمانی که تم‌ها و الگوهای تکراری در داده‌ها آشکار شود، ادامه پیدا کرد. در این خصوص، پس از انجام ۲۸ مصاحبه با مشارکت‌کنندگان مختلف، به نقطه‌ای از اشباع نظری دست یافتیم که توانستیم به تحلیل‌ها ادامه دهیم؛ بااین‌حال، برای دستیابی به اطمینان بیشتر و همچنین به‌منظور افزایش تنوع و غنای مفهومی، تصمیم به انجام سه مصاحبه دیگر گرفتیم. شایان‌ذکر است که پس‌ازاین مصاحبه‌های اضافی، داده‌های جدیدی به دست نیامد که به مفاهیم و مقولات قبلی افزوده شود. در تحقیقات کیفی، مقوله اشباع داده‌ها به‌عنوان نشانه‌ای از کافی بودن حجم نمونه تلقی می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، اشباع داده‌ها زمانی حاصل می‌شود که: الف) به نظر نمی‌رسد در مصاحبه‌های بعدی داده‌های جدیدی که به موضوع و مقوله‌های تحقیق مرتبط باشد، به وجود آید؛ ب) مقوله‌ها به مرحله‌ای از غنای کافی رسیده‌اند که بتوانند به‌طور معناداری تحلیل شوند؛ ج) روابط میان مقولات مختلف به‌طور منطقی برقرارشده و مورد تأیید قرارگرفته‌اند (Corbin & Strauss, 2008؛ Palinkas et al., 2015؛ Saunders et al., 2018). از روش تحلیل محتوای عرفی برای تحلیل داده‌ها بهره گرفته شد. روند تحلیل داده‌ها بر اساس گام‌های پیشنهادی توسط گرانهیم و لندمن انجام شد (Graneheim & Lundman, 2004) که عبارت‌اند از:

- پیاده‌سازی مصاحبه‌های انجام‌شده و مرور چندین‌باره‌ی آن‌ها به‌منظور پیدا نمودن درک صحیحی نسبت به‌کل موارد پیاده شده؛
- استخراج واحدهای معنایی و دسته‌بندی نمودن آن‌ها تحت عنوان واحدهای فشرده؛
- خلاصه و دسته‌بندی نمودن واحدهای فشرده و انتخاب برچسب مناسبی برای آن‌ها؛
- مرتب نمودن زیر دسته‌ها بر اساس مقایسه شباهت‌ها و تفاوت‌های موجود در زیر دسته‌ها؛
- انتخاب عنوان مناسبی که قابلیت پوشش دسته‌های حاصل‌شده را دارا باشد.

در این پژوهش برای ارزیابی و صحت داده‌ها از چهار معیار گوبا و لینکن که عبارت‌اند از: باورپذیری/ مقبولیت (Credibility)، اطمینان‌پذیری/ قابلیت اطمینان (Dependability)، انتقال‌پذیری/ قابلیت انتقال (Transferability) و تأییدپذیری/ قابلیت تأیید (Conformability)، استفاده شد (Lincoln, 1995؛

Speziale & Carpenter, ؛Denzin & Lincoln, 2000 Dworkin, 2012; Charmaz, 2014; ؛2011 Guba, ؛Royse, 2008 ؛Beck, 1993 ؛Mason,2010 1981).

درگیری طولانی‌مدت محقق (Prolonged Engagement)، مشارکت کافی و تعامل مناسب با مشارکت‌کنندگان، با تلفیق اطلاعات و بررسی داده‌ها توسط مشارکت‌کنندگان (Member Check)، به افزایش مقبولیت داده‌ها (Credibility) کمک کرد. اطمینان (Dependability) یا ثبات یافته‌ها با نسخه‌نویسی/ پیاده‌سازی در اسرع وقت، استفاده از نظرات همکاران (External Check) و مطالعه مجدد کل داده‌ها فراهم گردید. از تلفیق زمانی (Time Triangulation) و نمونه‌گیری حداکثر تنوع (Maximum variety sampling) استفاده شد که اعتبار داده‌ها را افزوده و به تأیید پذیری داده‌ها (Confirmability) منجر شد. همچنین قابلیت تأیید-تأیید با رعایت بی‌طرفی محققین، توافق روی کدها و درون‌مایه‌ها مورد تأیید قرار گرفت. قابلیت انتقال (Transferability) یا تناسب (Fittingness) از طریق ارائه نقل‌قول‌های مستقیم و مثال‌ها، تبیین غنی داده‌ها و مشاوره‌های علمی با اساتید صاحب‌نظر امکان‌پذیر گردید. انتقال‌پذیری یعنی احتمال اینکه یافته‌ها در شرایط مشابهی، معنای مشابهی برای دیگران ایجاد کند.

قابلیت اطمینان داده‌ها در پژوهش کیفی زمانی تأیید می‌شود که پژوهشگر اعتبار یافته‌ها را اثبات کرده باشد و آن دسته از تغییرات غیرضروری که به‌طور ناشناخته بر ماهیت داده‌ها تأثیر می‌گذارد، در جمع‌آوری داده‌ها لحاظ نشود. برای بررسی ثبات داده‌ها در زمان‌های دیگر، از درگیری طولانی‌مدت با پدیده و بررسی مداوم برای افزایش اعتبار، تحلیل مستمر و مقایسه‌ای داده‌ها (Constant comparison analysis) جهت اطمینان یا ثبات یافته‌ها استفاده گردید. همچنین، از حسابرسی/ ممیزی تحقیق برای افزایش قابلیت اطمینان استفاده شد؛ بدین معنی که کلیه مراحل تحقیق، تصمیمات، اسناد و نتایج توسط یک ناظر بیرونی که جزئی از تحقیق نبود، موردبررسی قرار گرفت. پژوهش‌های کیفی بیش از اینکه به معرف بودن نمونه‌ها تأکید گردد، تلاش می‌شود تا به این نکته توجه شود که داده‌ها تا چه حد نشانگر کل اطلاعات موجود است. برای تأمین هدف انتقال‌پذیری در این پژوهش، پژوهشگر مراحل تحقیق و تصمیمات اخذشده در طول آن را به‌طور دقیق ثبت و گزارش کردند. اگرچه نمونه‌گیری هدفمند با حداکثر تنوع که در بخش کیفی پژوهش به توصیف دقیق مشارکت‌کنندگان، روش نمونه‌گیری، زمان و مکان جمع‌آوری داده‌ها پرداخت نیز به تأمین انتقال‌پذیری کمک کرد.

معیار دیگر، تأییدپذیری یا عینیت است که برای تحقق آن از بازنگری توسط ناظران استفاده شد. ازاین‌رو، پژوهشگر نیمی از مصاحبه را به همراه کدهای استخراج‌شده برای تحلیل در اختیار یک پژوهشگر/ استاد که در تیم تحقیق حضور نداشت، اما در انجام کار کیفی تجربه داشت، قرارداد تا همخوانی نظر ناظر و پژوهشگر مشخص شود. در صورت وجود اختلاف‌نظر، پژوهشگر مجدد به تحلیل داده‌ها پرداخت و به ناظر عودت داد تا مورد تأیید و اجماع نظر نهایی قرار گیرد. همچنین، پژوهشگر برای نام‌گذاری طبقه، طبقه‌ی فرعی و زیر طبقه‌ها، از متخصصان مختص مربوطه کمک گرفت و تا حد امکان سعی کرد تا پیش‌فرض‌های خود را در جریان تحلیل دخالت ندهد.

۴- یافته‌ها و بحث

پس از مفهوم‌سازی داده‌های تحقیق، تم‌های: «اجتماعی-فرهنگی»، «اقتصادی»، «نهادی-اداری»، «قانونی-مقرراتی» و «زیرساختی (نرم‌افزاری و سخت‌افزاری)»، تبیین شد که در شکل **۱** مفهوم‌سازی شده است.

شکل ۱. مفهوم‌سازی موانع.

Figure 1. Conceptualization of barriers.

۴-۱- اجتماعی-فرهنگی

این تم متشکل از ۶ ساب تم شامل: (۱) تغییر و پذیرش، (۲) آگاهی و آموزش، (۳) سنت، (۴) نابرابری، (۵) نوآوری و بهره‌برداری و (۶) هم‌افزایی، تبیین شد.

- **تغییر و پذیرش**

تغییر و پذیرش به‌عنوان یکی از موانع کلیدی دستیابی به صنعت ساخت چهارم در ساخت مسکن ایرانی، مجموعه‌ای از چالش‌های اجتماعی و فرهنگی را به تصویر می‌کشد که بر فرآیند نوآوری و پذیرش تکنولوژی‌های جدید تأثیر می‌گذارد. این ساب تم با کدهای خاصی مانند «مقاومت در برابر تغییر»، «باور و نگرش منفی به تکنولوژی‌های جدید»، «عدم اعتماد به فرآیندهای صنعتی‌سازی»، «نگرش عدم نیاز به کسب مهارت‌های جدید در صنعت ساخت مسکن» و «کم‌ارزش انگاری ساخت پیشرفته» مشخص می‌شود. هر یک از این کدها به‌نوبه خود نشان‌دهنده موانع اساسی در پذیرش تغییرات ضروری برای پیشرفت در این صنعت هستند (Alawag et al., 2024؛ Salaheen et al., 2024؛ Begić & Galić, 2021؛ Van Der Heijden, 2023).

مقاومت در برابر تغییر یکی از بارزترین موانع در صنعت ساخت مسکن است. این مقاومت معمولاً ناشی از ترس از ناشناخته‌ها، عدم اطمینان از تأثیرات اقتصادی و اجتماعی تغییرات جدید و نیز عادات ریشه‌دار است. بسیاری از پیمانکاران و نیروهای فنی که عادت به استفاده از روش‌های سنتی دارند، نسبت به تکنیک‌ها و تکنولوژی‌های نوین احساس بی‌اعتمادی می‌کنند. این نگرش نه‌تنها موجب کاهش کارایی و کیفیت پروژه‌ها می‌شود، بلکه می‌تواند فرآیندهای نوآورانه را به تأخیر بیندازد و مانع از رقابت‌پذیری صنعت ساخت مسکن گردد. باور و نگرش منفی به تکنولوژی‌های جدید، چالشی دیگر در این زمینه است. بسیاری از فعالان این صنعت به دلایل مختلف، ازجمله تجربیات ناموفق گذشته و عدم آشنایی کافی با مزایای تکنولوژی‌های نوین، تمایل به پذیرش این فناوری‌ها ندارند. این نگرش غالباً به ایجاد یک اتمسفر از عدم اطمینان و سردرگمی در بین بازیگران و مدیران پروژه منجر می‌شود. به‌عنوان‌مثال، وقتی یک پیمانکار با فناوری جدیدی آشنا نمی‌شود، ممکن است از آن به‌عنوان یک تهدید به‌جای یک فرصت نگاه کند که این موضوع به عدم همکاری در پروژه‌های نوآورانه دامن می‌زند. عدم اعتماد به فرآیندهای صنعتی‌سازی نیز یکی دیگر از کدهای این ساب تم است. بسیاری از فعالان صنعت ساخت مسکن به دلیل عدم شفافیت در فرآیندهای صنعتی‌سازی و تجربیات منفی گذشته، این فرآیندها را قابل‌اعتماد نمی‌دانند. این عدم اعتماد می‌تواند منجر به عدم همکاری و مشارکت در پروژه‌های نوآورانه و همچنین ایجاد موانع قانونی و مدیریتی شود. به‌طور خاص، اگر پیمانکاران به این نتیجه برسند که فرآیندهای صنعتی سازی نمی‌توانند نیازهای واقعی آن‌ها را برآورده کنند، احتمالاً از سرمایه‌گذاری در این حوزه صرف‌نظر می‌کنند. نگرش عدم نیاز به کسب مهارت‌های جدید در صنعت ساخت مسکن نیز موانع دیگری را ایجاد می‌کند. درحالی‌که تکنولوژی‌های نوین به مهارت‌های جدید و به‌روز نیاز دارند، بسیاری از نیروهای فنی و پیمانکاران به دلایل مختلف، ازجمله هزینه‌های آموزش و زمان لازم برای یادگیری، تمایلی به یادگیری این مهارت‌ها ندارند. این عدم تمایل به یادگیری می‌تواند به استمرار روش‌های قدیمی و عدم پیشرفت در صنعت ساخت منجر شود. به‌علاوه، اگر نیروهای فنی احساس کنند که مهارت‌های فعلی آن‌ها کافی است، ممکن است از تلاش برای به‌روز کردن دانش و تجربه خود منصرف شوند. «کم‌ارزش انگاری ساخت پیشرفته» به نگرش منفی نسبت به پروژه‌های نوین و پیشرفته اشاره دارد. بسیاری از افراد در صنعت ساخت مسکن به دلیل عدم آگاهی از مزایای تکنولوژی‌های نوین و همچنین تجارب ناموفق گذشته، به این نوع ساخت‌وسازها کم‌ارزش می‌نگرند. این نگرش می‌تواند به عدم سرمایه‌گذاری در پروژه‌های نوآورانه منجر شود و درنتیجه، کیفیت و بهره‌وری در صنعت ساخت را کاهش دهد. به‌طور مثال، اگر یک پروژه نوآورانه به دلیل عدم ارزش‌گذاری صحیح از سوی نیروهای فنی و پیمانکاران به تأخیر بیفتد، این موضوع می‌تواند به عدم اعتماد به تکنولوژی‌های جدید و کاهش بهره‌وری در کل صنعت منجر شود.

- **آگاهی و آموزش**

عدم آگاهی و دانش کافی در مورد مزایا و قابلیت‌های صنعت ساخت چهارم یکی از چالش‌های اساسی پیش روی فعالان این صنعت است (Salaheen et al., 2024؛ Moshood et al., 2024؛ Begić & Galić, 2021؛ Newman et al., 2021). بسیاری از پیمانکاران و مدیران پروژه به دلیل عدم اطلاع از امکانات و بهبودهایی که این صنعت می‌تواند به ارمغان آورد، تمایلی به تغییر روش‌های

سنتی خود ندارند. به‌طور خاص، تکنولوژی‌هایی نظیر اتوماسیون، اینترنت اشیاء (IoT) و مدیریت اطلاعات ساخت، می‌توانند به بهبود کیفیت، کاهش هزینه‌ها و زمان اجرای پروژه‌ها کمک کنند، اما عدم آگاهی از این مزایا باعث می‌شود که بسیاری از فعالان به سراغ این فناوری‌ها نروند. ناآشنایی مهندسین و دیگر بازیگران کلیدی در صنعت ساخت نیز به این مشکل دامن می‌زند. مهندسین به‌عنوان حلقه واسط بین کارفرماها و تکنولوژی‌های نوین، دارای نقش بسیار مهمی در ترغیب و تشویق کارفرماها به پذیرش صنعت ساخت چهارم هستند؛ اما اگر این گروه‌ها به‌درستی با این فناوری‌ها آشنا نباشند یا اطلاعات کافی نداشته باشند، قادر به ارائه مشاوره‌های مؤثر به کارفرماها نخواهند بود. این عدم آشنایی می‌تواند به بی‌اعتمادی کارفرماها به تکنولوژی‌های نوین و ادامه استفاده از روش‌های سنتی منجر شود. اساتید دانشگاه نیز در این زمینه نقش تعیین‌کننده‌ای دارند. ناآشنایی آن‌ها با آخرین تحولات صنعت ساخت و تکنولوژی‌های نوین، مانع از جریان سازی در عرصه آموزش و پژوهش می‌شود. اگر اساتید نتوانند دانش روز را به دانشجویان منتقل کنند، نسل جدید مهندسان و متخصصان نیز نخواهند توانست به‌خوبی به چالش‌های صنعت ساخت پاسخ دهند. این عدم جریان سازی نه‌تنها بر کیفیت آموزش تأثیر منفی می‌گذارد، بلکه بر توانایی کشور در پذیرش و استقرار تکنولوژی‌های نوین نیز تأثیر منفی دارد. بی‌توجهی متولیان و نهادهای مرتبط به آگاهی بخشی و آموزش‌های تخصصی نیز از دیگر موانع موجود است. بسیاری از نهادها و سازمان‌های دولتی و خصوصی که باید در زمینه ترویج و آموزش تکنولوژی‌های نوین فعالیت کنند، به دلایل مختلفی مانند کمبود منابع، عدم اولویت‌بندی یا عدم توجه به نیازهای بازار، از انجام این وظیفه غفلت می‌کنند. این بی‌توجهی می‌تواند به کاهش اعتماد عمومی نسبت به تکنولوژی‌های نوین و درنتیجه، کاهش تقاضا برای آن‌ها منجر شود. همچنین ضعف در تبدیل دانش نظری به عملی نیز، به‌عنوان یک مانع اصلی در مسیر توسعه صنعت ساخت چهارم شناخته می‌شود. بسیاری از پژوهش‌ها و مطالعات در زمینه تکنولوژی‌های نوین به‌طور نظری انجام می‌شوند، اما عدم وجود بسترهای مناسب برای پیاده‌سازی این دانش در پروژه‌های عملی باعث می‌شود که این اطلاعات در عمل به کار گرفته نشوند. به‌عنوان‌مثال، اگر مهندسین و پیمانکاران نتوانند دانش نظری را به شیوه‌های اجرایی مؤثر تبدیل کنند، تکنولوژی‌های نوین هرگز به‌طور مؤثر در صنعت ساخت مورداستفاده قرار نخواهند گرفت.

- **سنت**

چیرگی رویه و فرهنگ ساخت سنتی به تأثیرات عمیق روش‌ها و فرآیندهای قدیمی در ساخت مسکن اشاره دارد (Begić & Galić, 2021؛ Moshood et al., 2024؛ Salaheen et al., 2024). بسیاری از پیمانکاران و نیروهای فنی به روش‌های سنتی عادت کرده‌اند و این عادت‌ها به‌صورت نهادینه در فرهنگ ساخت‌وساز جاافتاده‌اند. این فرهنگ سنتی به دلیل آشنایی و راحتی در استفاده، معمولاً بر رویه‌های جدید و نوآورانه غلبه می‌کند. به‌عنوان‌مثال، در بسیاری از مناطق، استفاده از مصالح سنتی و روش‌های قدیمی به دلیل دسترسی آسان و هزینه پایین‌تر ادامه دارد، حتی اگر این روش‌ها به لحاظ کارایی و بهره‌وری بهینه نباشند. چیرگی سنت‌های محلی نیز به‌عنوان یک عامل مهم در انتخاب روش‌های ساخت مسکن مطرح می‌شود. در بسیاری از مناطق، انتخاب روش‌های ساخت تحت تأثیر باورها، عادات و تجربیات محلی قرار دارد. این تأثیرات می‌تواند به عدم پذیرش تکنولوژی‌های نوین منجر شود، زیرا بسیاری از افراد به دلیل پیوند عمیق با فرهنگ و سنت‌های خود، تمایلی به تغییر ندارند. به‌عنوان‌مثال، در برخی مناطق، استفاده از مصالح بومی و روش‌های ساخت محلی به دلیل ارزش‌های فرهنگی و تاریخی آن‌ها، بر تکنولوژی‌های جدید ترجیح داده می‌شود. عدم تطابق بین شیوه‌های جدید و قدیمی ساخت یکی دیگر از موانع موجود است. تکنولوژی‌های نوین معمولاً نیازمند تغییرات اساسی در فرآیندهای کاری، تجهیزات و حتی روابط بین نیروهای فنی و مدیران هستند. این عدم تطابق می‌تواند به سردرگمی و مقاومت در برابر تغییرات منجر شود. به‌عنوان‌مثال، اگر یک شرکت بخواهد از تکنولوژی‌های نوین استفاده کند، ممکن است با مشکلاتی در آموزش نیروهای فنی، تأمین تجهیزات و تغییر رویه‌های کاری مواجه شود که به‌طورکلی منجر به عدم پذیرش این فناوری‌ها خواهد شد. مقاومت فرهنگی در برابر نوآوری به‌عنوان یک چالش کلیدی در صنعت ساخت مسکن شناخته می‌شود. بسیاری از افراد و

سازمان‌ها به دلیل ترس از ناشناخته‌ها و عدم اطمینان از تأثیرات مثبت تغییرات، نسبت به نوآوری‌ها مقاوم هستند. این مقاومت می‌تواند به دلیل تجربیات منفی گذشته یا عدم اعتماد به تکنولوژی‌های جدید باشد. به‌طور مثال، اگر یک پروژه جدید با شکست مواجه شود، این تجربه می‌تواند به ایجاد جوی از بی‌اعتمادی نسبت به پروژه‌های آینده و تکنولوژی‌های نوین منجر شود. چالش‌های فلسفی در تعریف ارزش‌ها نیز به‌عنوان یک مانع مهم در پذیرش نوآوری‌ها در صنعت ساخت مطرح می‌شود. در بسیاری از موارد، ارزش‌های سنتی و فرهنگی با ارزش‌های مدرن و نوآورانه در تضاد هستند. به‌عنوان‌مثال، برخی از کارفرماها ممکن است ارزش‌های مالی و اقتصادی را در اولویت قرار دهند و درنتیجه، به ارزش‌های زیست‌محیطی و اجتماعی توجه کمتری داشته باشند. این تضاد در ارزش‌ها می‌تواند به عدم همکاری و مشارکت در پروژه‌های نوآورانه منجر شود و درنهایت، به کاهش کیفیت و بهره‌وری در صنعت ساخت منجر گردد.

- **نابرابری**

نابرابری‌های اجتماعی و اقتصادی به شکاف‌های موجود در دسترسی به منابع و فرصت‌ها اشاره دارد. این نابرابری‌ها می‌توانند به عدم دسترسی به سرمایه‌گذاری‌های لازم، منابع انسانی متخصص و تکنولوژی‌های نوین منجر شوند (Moshood et al., 2024؛ Salaheen et al., 2024). به‌عنوان‌مثال، در مناطق کم برخوردار، دسترسی به تسهیلات مالی برای پروژه‌های ساختمانی محدود است و این امر موجب می‌شود که توسعه‌دهندگان نتوانند از تکنولوژی‌های نوآورانه بهره‌برداری کنند. همچنین، عدم وجود زیرساخت‌های مناسب مانند آموزش‌وپرورش در زمینه مهارت‌های فنی و مدیریتی، باعث می‌شود که نیروی کار محلی نتواند با استانداردهای جدید رقابت کند و درنتیجه، کیفیت ساخت‌وساز در این مناطق به‌شدت کاهش می‌یابد. رقابت‌های غیرسازنده بین شرکت‌های ساخت مسکن به رقابت‌هایی اشاره دارد که بیشتر بر اساس قیمت و نه کیفیت و نوآوری شکل می‌گیرد. در این محیط رقابتی، شرکت‌ها برای جذب مشتریان به کاهش قیمت‌ها روی می‌آورند و این موضوع می‌تواند منجر به کاهش کیفیت ساخت‌وساز و پذیرش روش‌های سنتی شود. به‌عنوان‌مثال، در تلاش برای کاهش هزینه‌ها، پیمانکاران ممکن است از مصالح بی‌کیفیت استفاده کنند یا از فرآیندهای ساخت استاندارد صرف‌نظر کنند. این وضعیت می‌تواند به ایجاد پروژه‌های ناکارآمد و ناپایدار منجر شود که نه‌تنها به کیفیت زندگی افراد آسیب می‌زند، بلکه به آسیب‌های محیط زیستی نیز دامن می‌زند. گران‌قیمت انگاری ورود به صنعت ساخت چهارم یکی از موانع جدی برای سرمایه‌گذاران و شرکت‌ها است. بسیاری از فعالان صنعت ساخت به دلیل هزینه‌های بالای اولیه تکنولوژی‌های نوین و عدم اطمینان از بازگشت سرمایه، تمایل به سرمایه‌گذاری در این حوزه ندارند. برای مثال، استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته مانند اتوماسیون و هوش مصنوعی نیاز به سرمایه‌گذاری‌های کلان دارد که بسیاری از شرکت‌های کوچک و متوسط توانایی تأمین آن را ندارند. این ترس از هزینه‌های بالای اولیه و عدم اطمینان از موفقیت، می‌تواند به عدم نوآوری و تداوم روش‌های سنتی در ساخت‌وساز منجر شود. نگرش مصرف‌گرایانه به تمایل افراد و سازمان‌ها به استفاده از منابع و خدمات با کمترین هزینه و بیشترین منافع فوری اشاره دارد. این نگرش معمولاً باعث می‌شود که افراد و نهادها به دنبال منافع کوتاه‌مدت باشند و از سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های پایدار و نوین خودداری کنند. به‌عنوان‌مثال، کارفرمایان ممکن است به‌جای توجه به مزایای بلندمدت تکنولوژی‌های نوین، تنها به هزینه‌های اولیه و اقتصادی آن‌ها توجه کنند. این رویکرد می‌تواند به عدم پذیرش و استفاده از روش‌های نوآورانه و پایدار در صنعت ساخت مسکن منجر شود و درنهایت، به آسیب‌های زیست‌محیطی و اجتماعی بیشتر دامن بزند.

- **نوآوری و بهره‌برداری**

فقدان فرهنگ‌سازی در بهره‌برداری از صنعت ساخت تکنولوژیک به معنای عدم وجود آگاهی و درک کافی در میان فعالان صنعت نسبت به مزایای تکنولوژی‌های نوین است (Begić & Galić, 2021؛ Newman et al., 2021؛ Salaheen et al., 2024). این موضوع می‌تواند به دلیل عدم برگزاری کارگاه‌ها، سمینارها و دوره‌های آموزشی باشد که هدف آن‌ها افزایش شناخت نسبت به تکنولوژی‌های نوین و نحوه استفاده از آن‌هاست. به‌عنوان‌مثال، اگر پیمانکاران و مهندسان در مورد تکنیک‌های مدرن ساخت و مصالح جدید آموزش نبینند،

احتمال کمتری وجود دارد که این فناوری‌ها را در پروژه‌های خود به کار ببرند. این فقدان دانش می‌تواند به تداوم روش‌های سنتی و ناکارآمد منجر شود و از پیشرفت صنعت جلوگیری کند. عدم وجود ریسک‌پذیری در حوزه ساخت مسکن به معنای تمایل کم سرمایه‌گذاران و پیمانکاران به پذیرش تغییرات و نوآوری‌هاست. بسیاری از فعالان صنعت، به‌ویژه در شرایط اقتصادی نامشخص، از سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های جدید خودداری می‌کنند، زیرا نگران بازگشت سرمایه خود هستند. برای مثال، استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته مانند ساختمان‌های هوشمند یا مصالح نوین نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه بالایی دارد و در صورت عدم موفقیت، ممکن است ضررهای مالی قابل‌توجهی به همراه داشته باشد. این ترس از ریسک می‌تواند مانع از پذیرش نوآوری‌ها و پیشرفت در صنعت ساخت شود و به تداوم روش‌های قدیمی و ناکارآمد منجر گردد. ضعف در ترویج صنعت ساخت تکنولوژیک به فقدان فعالیت‌های مؤثر در زمینه ترویج و تبلیغ تکنولوژی‌های نوین اشاره دارد. این ضعف می‌تواند ناشی از عدم همکاری مؤسسات آموزشی، دولتی و خصوصی باشد که باید در جهت افزایش آگاهی عمومی و معرفی مزایای تکنولوژی‌های جدید تلاش کنند. به‌عنوان‌مثال، عدم وجود کمپین‌های رسانه‌ای مناسب و عدم مشارکت در نمایشگاه‌ها و کنفرانس‌های تخصصی می‌تواند به کاهش شناخت عمومی نسبت به تکنولوژی‌های نوین منجر شود. همچنین، نبود شبکه‌های حمایتی برای تبادل تجارب و اطلاعات بین فعالان صنعت می‌تواند به تضعیف انگیزه‌ها برای پذیرش نوآوری‌ها بیانجامد. ترویج مؤثر می‌تواند شامل ایجاد برنامه‌های آموزشی، کارگاه‌های عملی و استفاده از رسانه‌های اجتماعی برای انتشار اطلاعات و تجارب موفق باشد.

- **هم‌افزایی**

عدم فرهنگ‌سازی مؤثر در حوزه هم‌افزایی، یکی از بزرگ‌ترین موانع در مسیر دستیابی به ساختارهای نوین در صنعت ساخت مسکن است (Salaheen et al., 2024؛ Newman et al., 2021؛ Kozlovska et al., 2021). فرهنگ‌سازی به معنای ایجاد آگاهی و درک مشترک درباره اهمیت همکاری و تبادل اطلاعات میان ذینفعان مختلف است. در حال حاضر، بسیاری از افراد و نهادها از مزایای این همکاری‌ها آگاه نیستند و این موضوع می‌تواند به عدم مشارکت و ناهماهنگی در پروژه‌های ساختمانی منجر شود. به‌عنوان‌مثال، اگر شهروندان و جامعه محلی نسبت به نقش خود در فرآیند ساخت و تأثیر آن بر کیفیت زندگی‌شان آگاهی نداشته باشند، احتمال کمتری دارد که در پروژه‌ها مشارکت کنند یا نظر خود را بیان نمایند. این عدم فرهنگ‌سازی می‌تواند به تضعیف اعتماد عمومی و کاهش انگیزه برای همکاری منجر شود؛ بنابراین، برای ارتقاء هم‌افزایی در صنعت ساخت، ضرورت دارد که نهادهای دولتی، آموزشی و رسانه‌ها در جهت فرهنگ‌سازی و افزایش آگاهی عمومی تلاش کنند و اطلاعات لازم را به‌صورت مؤثر به ذینفعان منتقل نمایند. عدم تمایل به انطباق با راه‌حل‌های بومی نیز یکی دیگر از موانع کلیدی در زمینه هم‌افزایی است. بسیاری از پروژه‌های ساختمانی در ایران به شیوه‌ها و تکنولوژی‌های غربی وابسته هستند و این موضوع می‌تواند باعث عدم تناسب با شرایط محلی و فرهنگی شود. انطباق با راه‌حل‌های بومی می‌تواند به بهبود کیفیت ساخت و استفاده بهینه از منابع محلی کمک کند. به‌عنوان‌مثال، استفاده از مصالح محلی و روش‌های ساخت سنتی می‌تواند به صرفه‌جویی در هزینه‌ها و زمان ساخت کمک کند و همچنین به حفظ فرهنگ و هویت محلی کمک نماید؛ اما در بسیاری از موارد، عدم تمایل به پذیرش و استفاده از این راه‌حل‌های بومی به دلیل وابستگی به تکنولوژی‌های خارجی و عدم اعتماد به توانمندی‌های داخلی است. این مشکل می‌تواند ناشی از نگرش‌های منفی نسبت به توانایی‌های محلی یا عدم آگاهی از مزایای راه‌حل‌های بومی باشد. برای رفع این مانع، ضروری است که ذینفعان مختلف به اهمیت و مزایای انطباق با راه‌حل‌های بومی آگاه شوند و سیاست‌های تشویقی برای استفاده از این روش‌ها ایجاد گردد.

۴-۲- اقتصادی

این تم متشکل از ۶ ساب تم شامل: (۱) توسعه، (۲) بازار، (۳) سرمایه‌گذاری در تحقیق، (۴) حمایتی، (۵) ریسک و بی‌ثباتی و (۶) تأمین مالی، تبیین شد.

- **توسعه**

بالا بودن هزینه‌های آموزشی برای مهارت‌آموزی به‌عنوان یک مانع جدی در توسعه نیروی کار، تأثیرات مخربی بر سطح مهارت‌های موجود در صنعت ساخت‌وساز دارد (Van Der Heijden,2023؛ Begić & Galić, 2021؛ Kozlovska et al., 2021). این هزینه‌ها شامل شهریه‌های دوره‌های آموزشی، هزینه‌های مربوط به مواد آموزشی، تجهیزات و حتی هزینه‌های جانبی همچون حمل‌ونقل و اقامت برای کارآموزانی است که نیاز به سفر به مراکز آموزشی دارند. به‌علاوه، نیروهای فنی و متخصصان جوان ممکن است به دلیل محدودیت‌های مالی، از پذیرش دوره‌های آموزشی ضروری بازبمانند. این امر نه‌تنها به عدم به‌روز بودن مهارت‌های آنان منجر می‌شود، بلکه همچنین سبب می‌شود که صنعت ساخت‌وساز به فناوری‌ها و روش‌های نوین روی نیاورد. درنتیجه، کیفیت ساخت‌وساز پایین می‌آید و زمان‌های اجرایی پروژه‌ها افزایش می‌یابد که این موضوع به‌طور مستقیم بر هزینه‌های نهایی پروژه‌ها تأثیر می‌گذارد. عدم سرمایه‌گذاری در توسعه مهارت‌ها و توانمندی‌های نیروی کار نیز به‌عنوان کد دوم، بر چالش‌های موجود در صنعت ساخت‌وساز تأثیرگذار است. سرمایه‌گذاری در مهارت‌آموزی و توانمندی‌های نیروی کار نه‌تنها به بهبود کیفیت پروژه‌ها کمک می‌کند، بلکه به ایجاد نوآوری و بهره‌وری نیز منجر می‌شود. بااین‌حال، در صنعت ساخت مسکن ایران، به دلیل محدودیت‌های مالی و عدم شناخت کافی از مزایای بلندمدت سرمایه‌گذاری در آموزش، شاهد کمبود سرمایه‌گذاری در این زمینه هستیم. کارفرمایان اغلب به دلیل عدم اطمینان از بازگشت سرمایه، از سرمایه‌گذاری در آموزش نیروی کار خود اجتناب می‌کنند. این عدم سرمایه‌گذاری موجب می‌شود که نیروی کار نتواند با تکنولوژی‌های نوین و روش‌های مدرن ساخت آشنا شود که خود به‌نوبه خود بر توان رقابتی صنعت تأثیر منفی دارد. علاوه بر این، عدم سرمایه‌گذاری در توسعه مهارت‌ها می‌تواند به افزایش نابرابری در بازار کار منجر شود. نیروهای فنی با مهارت‌های بالا و مدرن به‌راحتی شغل پیدا می‌کنند، درحالی‌که نیروهای فنی فاقد مهارت‌های لازم با چالش‌های جدی در زمینه اشتغال مواجه هستند. این امر می‌تواند به نارضایتی و عدم اعتمادبه‌نفس در نیروی کار منجر شود و انگیزه آنان را برای یادگیری و به روز شدن کاهش دهد. درنهایت، ضعف در توسعه مهارت‌ها و توانمندی‌های نیروی کار موجب می‌شود که صنعت ساخت‌وساز نتواند به استانداردهای جهانی نزدیک شود و از ظرفیت‌های تکنولوژی‌های نوین بهره‌برداری کند. این مسئله نه‌تنها بر کیفیت ساخت تأثیر می‌گذارد، بلکه همچنین بر هزینه‌های نهایی پروژه‌ها و زمان‌بندی‌های اجرایی نیز تأثیرگذار است.

- **بازار**

تأثیر رقابت در قیمت‌گذاری و کاهش حاشیه سود یکی از چالش‌های اصلی در صنعت ساخت‌وساز است. در شرایطی که رقابت به‌شدت در بازار وجود دارد، شرکت‌ها برای جذب مشتریان مجبور به کاهش قیمت‌ها می‌شوند. این امر به کاهش حاشیه سود منجر می‌شود و درنتیجه، منابع مالی لازم برای سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه (R&D) و به‌کارگیری تکنولوژی‌های نوین را تضعیف می‌کند (Moshood et al., 2024؛ Aigbavboa & Kissi, 2025؛ Alsaadi et al., 2024). به‌ویژه در صنعت ساخت مسکن که به دلیل تقاضای بالا و نیاز به کیفیت، شرکت‌ها نمی‌توانند از کیفیت مصالح و روش‌های ساخت کم کنند، فشار بر حاشیه سود می‌تواند به کاهش کیفیت و ناپایداری پروژه‌ها بینجامد. عدم توانایی در تأمین هزینه‌های لازم برای آموزش نیروی کار و به‌کارگیری تجهیزات مدرن، به‌ویژه در شرایطی که حاشیه سود پایین است، می‌تواند مانع از پیشرفت و نوآوری در این صنعت شود. مشکلات در دسترسی به بازارهای فروش برای محصولات جدید نیز به‌عنوان کد دوم در ساب تم بازار، بر چالش‌های موجود در صنعت تأثیرگذار است. ورود به بازارهای جدید و فروش محصولات نوآورانه نیاز به استراتژی‌های مؤثر بازاریابی و شناسایی نیازهای مشتریان دارد. بااین‌حال، بسیاری از شرکت‌های ساخت‌وساز به دلیل عدم دسترسی به کانال‌های توزیع مناسب و عدم آگاهی از نیازهای بازار، در معرفی محصولات جدید خود با مشکل مواجه هستند. این مسئله می‌تواند به عدم پذیرش تکنولوژی‌های نوین و روش‌های ساخت پیشرفته منجر شود، چراکه شرکت‌ها نمی‌توانند به‌طور مؤثر مزایای این محصولات را به خریداران معرفی کنند. همچنین، عدم اعتمادبه‌نفس در بازار و ضعف در برقراری ارتباط با مشتریان، می‌تواند به

کاهش انگیزه برای نوآوری و تلاش برای ورود به بازارهای جدید منجر شود.

- **سرمایه‌گذاری در تحقیق**

عدم سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه به‌عنوان اولین کد، به کمبود توجه به نیازهای تحقیقاتی و نوآوری در صنعت اشاره دارد (Alawag et al., 2024؛ Ershadi et al., 2024؛ Begić & Galić, 2021؛ Lopes & Da Silva Filho, 2024). بسیاری از شرکت‌های ساختمانی به دلیل محدودیت‌های مالی و عدم درک کافی از اهمیت تحقیق و توسعه، از تأمین منابع لازم برای این امر غفلت می‌کنند. این عدم سرمایه‌گذاری نه‌تنها باعث می‌شود که شرکت‌ها از آخرین فناوری‌ها و روش‌های نوین بی‌خبر بمانند، بلکه می‌تواند منجر به کاهش کیفیت و افزایش هزینه‌ها در پروژه‌ها شود. درنتیجه، عدم توجه به تحقیق و توسعه می‌تواند به عدم توانایی در رقابت با استانداردهای جهانی و نیازهای بازار منجر شود. سرمایه‌گذاری‌های اولیه بالا برای پیاده‌سازی تکنولوژی‌های جدید به چالشی مهم در صنعت اشاره دارد. بسیاری از تکنولوژی‌های نوین نیاز به سرمایه‌گذاری‌های کلان در مراحل اولیه دارند که این امر می‌تواند برای شرکت‌های کوچک و متوسط یک مانع جدی باشد. هزینه‌های بالای تجهیزات و فرآیندهای جدید می‌تواند شرکت‌ها را به سمت استفاده از روش‌های سنتی سوق دهد که درنهایت به عدم نوآوری و بهبود در کیفیت ساخت منجر می‌شود. این مشکل به‌ویژه در شرایط اقتصادی دشوار و ناپایدار کنونی بیشتر مشهود است. فقدان رقابت فنّاورانه در صنعت ساخت مسکن به‌عنوان کد سوم، به نبود انگیزه‌های رقابتی در این حوزه اشاره دارد. در صنعتی که رقابت کافی وجود ندارد، بسیاری از شرکت‌ها ترجیح می‌دهند به‌جای سرمایه‌گذاری در نوآوری، به روش‌های قدیمی ادامه دهند. این وضعیت می‌تواند منجر به رکود در فرآیندهای بهبود و نوآوری شود و درنهایت کیفیت پروژه‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. در غیاب رقابت، شرکت‌ها به‌راحتی می‌توانند از به‌کارگیری تکنولوژی‌های جدید صرف‌نظر کنند و این امر می‌تواند به کاهش توانایی صنعت در پاسخگویی به نیازهای روزافزون بازار منجر شود. نبود سرمایه‌گذاری کافی برای توسعه تکنولوژی‌های مرتبط نشان‌دهنده این است که بسیاری از شرکت‌ها به دلیل عدم دسترسی به منابع مالی و حمایتی لازم، قادر به توسعه و پیاده‌سازی تکنولوژی‌های مرتبط نیستند. این مسئله می‌تواند به عدم توانایی در به‌کارگیری تکنولوژی‌های سبز و پایدار منجر شود که امروزه در صنعت ساخت‌وساز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. درنتیجه، نبود سرمایه‌گذاری کافی در این زمینه می‌تواند به عدم تحقق اهداف توسعه پایدار و کاهش کیفیت زندگی در جوامع شهری منجر شود.

- **حمایتی**

عدم اختصاص یارانه به پروژه‌های مرتبط به‌عنوان اولین کد، به عدم توجه دولت‌ها و نهادهای مربوطه به تأمین یارانه برای پروژه‌های مرتبط با صنعت ساخت چهارم اشاره دارد. یارانه‌ها می‌توانند نقش مهمی در کاهش هزینه‌های اولیه و تشویق سرمایه‌گذاران به راه‌اندازی پروژه‌های نوآورانه ایفا کنند. در غیاب این یارانه‌ها، پروژه‌ها به دلیل هزینه‌های بالا و ریسک‌های اقتصادی ممکن است متوقف شوند (Long et al., 2025؛ Newman et al., 2021؛ Eghbal et al., 2025؛ Alsaadi et al., 2024؛ Aigbavboa & Kissi, 2025). این وضعیت به‌ویژه در پروژه‌های بزرگ ساختمانی که نیاز به سرمایه‌گذاری کلان دارند، به‌وضوح مشهود است و می‌تواند مانع از ورود تکنولوژی‌های جدید به بازار شود. عدم‌حمایت مالی از صنایع مرتبط با صنعت چهارم به‌عنوان کد دوم، نشان‌دهنده کمبود منابع مالی در جهت حمایت از شرکت‌ها و صنایع فعال در حوزه ساخت‌وساز است. این عدم‌حمایت می‌تواند به توقف یا کاهش فعالیت‌های تحقیق و توسعه در این صنایع منجر شود و درنهایت، کیفیت و کارایی پروژه‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. به‌علاوه، عدم‌حمایت مالی می‌تواند باعث از دست رفتن فرصت‌های طلایی برای نوآوری و پیشرفت در صنعت ساخت‌وساز شود، زیرا شرکت‌ها به دلیل کمبود منابع مالی قادر به به‌کارگیری تکنولوژی‌های نوین نخواهند بود. فقدان مشوق‌های مالی به‌عنوان کد سوم، بر نبود سازوکارهای تشویقی در صنعت تأکید دارد. مشوق‌های مالی می‌توانند شامل تسهیلات بانکی، معافیت‌های مالیاتی و سایر حمایت‌های مالی باشند که به شرکت‌ها در جهت ارتقاء سطح فناوری و نوآوری کمک می‌کنند. در غیاب این مشوق‌ها، شرکت‌ها ممکن است ترجیح دهند به روش‌های سنتی و ارزان‌تر ادامه دهند که درنهایت به تأخیر در

دستیابی به استانداردهای صنعت ساخت چهارم منجر می‌شود. عدم سرمایه‌گذاری نهادهای دولتی در تجاری‌سازی دستاوردهای پژوهشی به‌عنوان کد چهارم، به این واقعیت اشاره دارد که دستاوردهای علمی و پژوهشی بندرت به بازار منتقل می‌شوند. در بسیاری از موارد، نهادهای دولتی بجای سرمایه‌گذاری در تجاری‌سازی این دستاوردها، به تأمین نیازهای فوری و کوتاه‌مدت خود می‌پردازند. این عدم سرمایه‌گذاری می‌تواند به عدم ظهور تکنولوژی‌های نوین و کاهش رقابت‌پذیری در صنعت ساخت‌وساز منجر شود.

- **ریسک و بی‌ثباتی**

ریسک بالای سرمایه‌گذاری در حوزه صنعت ساخت مسکن چهارم نشان‌دهنده چالش‌های قابل‌توجهی است که سرمایه‌گذاران در مواجهه با تکنولوژی‌های نوین با آن روبرو هستند. این ریسک‌ها شامل عدم اطمینان نسبت به موفقیت تکنولوژی‌های جدید، احتمال عدم بازگشت سرمایه و عدم پذیرش بازار است (Alsaadi et al., 2024؛ Kozlovska et al., 2021؛ Aigbavboa & Kissi, 2025). سرمایه‌گذاران به دلیل این عدم اطمینان، ممکن است از ورود به پروژه‌های جدید خودداری کنند که به رکود در نوآوری و پیشرفت‌های صنعتی منجر می‌شود. طولانی بودن دوره بازگشت سرمایه در پروژه‌های صنعتی جدید به زمان زیادی اشاره دارد که برای بازگشت هزینه‌های اولیه در پروژه‌های نوآورانه نیاز است. این امر می‌تواند به‌ویژه در پروژه‌های بزرگ و پیچیده‌ای که نیاز به سرمایه‌گذاری‌های سنگین دارند، نگران‌کننده باشد. سرمایه‌گذاران ممکن است به دلیل این طولانی بودن، به سمت پروژه‌هایی با دوره بازگشت سریع‌تر تمایل پیدا کنند که این خود می‌تواند مانع از پذیرش تکنولوژی‌های جدید و پیشرفته شود. عدم توجیه اقتصادی سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های جدید نسبت به روش‌های سنتی به این واقعیت اشاره دارد که سرمایه‌گذاران اغلب سرمایه‌گذاری در روش‌های سنتی را به دلیل هزینه‌های کمتر و ریسک‌های پایین‌تر ترجیح می‌دهند. این مسئله می‌تواند به عدم سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های نوین و جلوگیری از پیشرفت صنعت منجر شود. به‌ویژه در شرایط اقتصادی دشوار، سرمایه‌گذاران ممکن است ترجیح دهند از روش‌های آزموده شده استفاده کنند تا ریسک‌های مرتبط با نوآوری را به حداقل برسانند. تأثیر نوسانات اقتصادی و غیرقابل‌پیش‌بینی بودن شرایط بازار بر تصمیمات سرمایه‌گذاری به عدم ثبات اقتصادی و تأثیر آن بر تصمیمات سرمایه‌گذاران اشاره دارد. نوسانات در قیمت مصالح، تغییرات ناگهانی در تقاضا و عدم پیش‌بینی‌پذیری شرایط اقتصادی می‌تواند بر تصمیمات سرمایه‌گذاری تأثیر منفی بگذارد. این عدم ثبات می‌تواند باعث شود که سرمایه‌گذاران از ورود به پروژه‌های جدید خودداری کنند یا برنامه‌های خود را به‌طور مکرر تغییر دهند. تأثیر تغییرات سیاسی و اقتصادی بر برنامه‌های توسعه و سرمایه‌گذاری به عدم ثبات سیاسی و اقتصادی اشاره دارد که می‌تواند بر برنامه‌های توسعه تأثیر بگذارد. تغییرات غیرمنتظره در سیاست‌های دولتی، قوانین و مقررات می‌تواند به سرمایه‌گذاران احساس ناامنی و عدم اطمینان بدهد. این عدم اطمینان می‌تواند منجر به کاهش تمایل سرمایه‌گذاران به ورود به پروژه‌های جدید و کاهش سرمایه‌گذاری‌های بلندمدت شود. نوسانات نرخ ارز به‌عنوان کد ششم، تأثیر مستقیمی بر هزینه‌های پروژه‌های ساختمانی دارد. نوسانات ارزی می‌تواند به افزایش هزینه‌های واردات مصالح و تجهیزات منجر شود و درنتیجه، ریسک‌های مالی زیادی را برای سرمایه‌گذاران به همراه داشته باشد. این نوسانات ممکن است به عدم توانایی در پیش‌بینی هزینه‌ها و برنامه‌ریزی مالی صحیح منجر شود. سوداگرانه بودن بازار زمین به‌عنوان کد هفتم، به این واقعیت اشاره دارد که بازار زمین به‌طور فزاینده‌ای تحت تأثیر رفتارهای سوداگرانه قرار گرفته است. افزایش قیمت زمین می‌تواند به کاهش دسترسی به منابع مناسب برای پروژه‌های ساخت‌وساز منجر شود و درنهایت، بر هزینه‌ها و ریسک‌های پروژه‌ها تأثیر منفی بگذارد.

- **تأمین مالی**

کد عدم دسترسی به منابع مالی و اعتباری کافی برای پروژه‌های نوآورانه، به چالش‌های جدی اشاره دارد که شرکت‌ها در تأمین مالی پروژه‌های نوآورانه با آن مواجه‌اند (Alawag et al., 2024؛ Long et al., 2025؛ Alsaadi et al., 2024؛ Begić & Galić, 2021؛ Newman et al., 2021). بانک‌ها و مؤسسات مالی به دلیل ریسک‌های بالای مرتبط با پروژه‌های ساختمانی جدید، معمولاً reluctant به ارائه وام و اعتبار هستند. این عدم دسترسی به منابع

مالی می‌تواند به‌ویژه در پروژه‌های بزرگ و پیچیده که نیاز به سرمایه‌گذاری‌های کلان دارند، مشکلات زیادی ایجاد کند. درنتیجه، این چالش‌ها می‌توانند به توقف یا کاهش سرعت اجرای پروژه‌ها و عدم انگیزه برای نوآوری در صنعت منجر شوند. به‌علاوه، تأمین مالی ناکافی می‌تواند به عدم توانایی در جذب نیروی انسانی ماهر و تجهیزات پیشرفته نیز منجر شود. کد محدودیت‌های مالی در اجرای پروژه‌های مسکن چهارم، به مشکلات مالی و اقتصادی اشاره دارد که بر سر راه اجرای پروژه‌های نوآورانه وجود دارد. شرکت‌ها ممکن است با کمبود منابع مالی، هزینه‌های بالای مصالح و تجهیزات و نوسانات قیمت‌ها روبرو شوند. این محدودیت‌ها می‌تواند به عدم توانایی در تأمین نیازهای مالی پروژه‌ها و درنتیجه به تأخیر در اجرای آن‌ها منجر شود. همچنین، نوسانات اقتصادی می‌توانند منجر به عدم پیش‌بینی‌پذیری در هزینه‌ها و برنامه‌ریزی پروژه‌ها شوند که می‌تواند بر کیفیت و موفقیت نهایی پروژه تأثیر منفی بگذارد. کد عدم تخصیص بودجه به شرکت‌های فعال در توسعه صنعت چهارم مسکن، به عدم‌حمایت مالی از سوی دولت و نهادهای مربوطه اشاره دارد. بسیاری از شرکت‌هایی که درحال‌توسعه تکنولوژی‌های نوین در صنعت ساخت هستند، به دلیل عدم تخصیص بودجه‌های مناسب و کافی، قادر به پیشبرد پروژه‌های خود نیستند. این عدم تخصیص می‌تواند به کاهش رقابت‌پذیری این شرکت‌ها در برابر رقبای خارجی و همچنین به تأخیر در اجرای پروژه‌های نوآورانه منجر شود. درنتیجه، شرکت‌ها ممکن است از ورود به پروژه‌های بزرگ و نوآورانه صرف‌نظر کنند و به روش‌های سنتی و کم‌هزینه‌تر روی آورند. کد فقدان سیستم‌های اقتصادی برای توجیه‌پذیری اجرای صنعت ساخت چهارم، به چالش‌های موجود در زمینه تحلیل اقتصادی و توجیه‌پذیری سرمایه‌گذاری‌ها اشاره دارد. عدم وجود سیستم‌های جامع برای ارزیابی هزینه‌ها و منافع پروژه‌های نوآورانه می‌تواند به تصمیمات نادرست منجر شود. شرکت‌ها ممکن است بدون تحلیل دقیق اقتصادی، به سرمایه‌گذاری در پروژه‌هایی اقدام کنند که به دلیل عدم توجیه‌پذیری اقتصادی، درنهایت موفق نخواهند بود. این امر می‌تواند به اتلاف منابع، نارضایتی سرمایه‌گذاران و کاهش انگیزه برای نوآوری در صنعت منجر شود. کد محدودیت‌ها در جذب سرمایه‌گذاری خارجی در بخش ساخت مسکن، به چالش‌هایی اشاره دارد که شرکت‌ها در جذب سرمایه‌گذاری خارجی با آن مواجه هستند. این محدودیت‌ها می‌تواند ناشی از عدم اطمینان در شرایط سیاسی و اقتصادی، قوانین سخت‌گیرانه برای سرمایه‌گذاری خارجی و نبود زیرساخت‌های لازم برای حمایت از سرمایه‌گذاران باشد. به‌عنوان‌مثال، سرمایه‌گذاران خارجی ممکن است به دلیل عدم ثبات اقتصادی یا سیاست‌های حمایتی نامناسب، تمایلی به سرمایه‌گذاری در بازار ایران نداشته باشند. این موضوع می‌تواند به کاهش جریان سرمایه و عدم توانایی در به‌کارگیری تکنولوژی‌های پیشرفته منجر شود که درنهایت به کاهش کیفیت و کارآیی پروژه‌های ساختمانی خواهد انجامید.

۴-۳- نهادی-اداری

این تم متشکل از ۷ ساب تم شامل: (۱) سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی، (۲) مدیریت اجرایی، (۳) ساختاری، (۴) همکاری، (۵) منابع، (۶) اطلاع‌رسانی و (۷) تجربیات، تبیین شد.

- **سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی**

فقدان برنامه جامع به برنامه‌ریزی و آمایش مسکن به‌عنوان اولین کد، به کمبود یک چارچوب منسجم و جامع در زمینه برنامه‌ریزی مسکن اشاره دارد (Elmousalami et al., 2025؛ Van Der Heijden, 2023؛ Aigbavboa & Kissi, 2025؛ Begić & Galić, 2021؛ Newman et al., 2021). در بسیاری از موارد، برنامه‌های موجود به‌صورت جزئی و پراکنده هستند و نتوانسته‌اند نیازهای واقعی بازار را شناسایی و به‌درستی پاسخ دهند. این فقدان برنامه‌ریزی جامع می‌تواند به عدم توازن در عرضه و تقاضا و همچنین به بروز بحران‌های مسکونی منجر شود. به‌علاوه، بدون یک برنامه مشخص، سرمایه‌گذاران و توسعه‌دهندگان نمی‌توانند به‌خوبی نیازهای بازار را پیش‌بینی کنند و این موضوع می‌تواند به عدم اطمینان در تأمین مالی پروژه‌ها و کاهش انگیزه برای نوآوری منجر شود. فقدان برنامه‌ریزی استراتژیک برای دستیابی به صنعت ساخت چهارم به‌عنوان کد دوم، نشان‌دهنده عدم وجود یک رویکرد استراتژیک در سیاست‌های دولتی برای پیشبرد صنعت ساخت چهارم

است. این کد به‌ویژه در زمینه شناسایی نیازها و فرصت‌های موجود در بازار و ایجاد زیرساخت‌های لازم برای توسعه تکنولوژی‌های نوین اهمیت دارد. بدون برنامه‌ریزی استراتژیک، پروژه‌های ساختمانی به‌طور پراکنده و بدون هدف مشخص پیش می‌روند که این موضوع می‌تواند به اتلاف منابع و زمان منجر شود. درواقع، عدم وجود یک دیدگاه بلندمدت در زمینه سیاست‌گذاری می‌تواند به عدم تحقق اهداف توسعه پایدار و پیشرفت در صنعت ساخت‌وساز منجر شود. فقدان برنامه ملی برای بهره‌برداری از صنعت ساخت چهارم به‌عنوان کد سوم، به این واقعیت اشاره دارد که هیچ برنامه ملی مشخصی برای بهره‌برداری از ظرفیت‌های صنعت ساخت چهارم وجود ندارد. این عدم برنامه‌ریزی می‌تواند به عدم هماهنگی در اقدامات مختلف نهادهای دولتی و خصوصی منجر شود و درنتیجه، روند پیشرفت و نوآوری در این صنعت را کند کند. به‌علاوه، در غیاب یک برنامه ملی، شرکت‌ها و سرمایه‌گذاران ممکن است در تلاش‌های خود دچار سردرگمی شوند و نتوانند به‌طور مؤثری با یکدیگر همکاری کنند. ضعف و تعارض در برنامه‌ها و سیاست‌های حمایتی دولتی به‌عنوان چهارمین کد، به وجود تناقضات و عدم هماهنگی در سیاست‌های دولتی اشاره دارد. این ضعف می‌تواند به سردرگمی برای سرمایه‌گذاران و توسعه‌دهندگان منجر شود و آن‌ها را از اتخاذ تصمیمات صحیح در مورد سرمایه‌گذاری بازدارد. به‌عنوان‌مثال، تغییرات مکرر در سیاست‌های مالیاتی یا حمایت‌های دولتی می‌تواند به عدم اطمینان در بازار و کاهش تمایل به سرمایه‌گذاری در پروژه‌های جدید منجر شود. این تعارضات نه‌تنها به کاهش کیفیت مدیریت پروژه‌ها منجر می‌شود، بلکه می‌تواند به ناکارآمدی در تخصیص منابع و عدم تحقق اهداف توسعه‌ای نیز منتهی شود.

- **مدیریت اجرایی**

مدیریت ناکارآمد پروژه‌ها به‌عنوان نخستین کد، به چالش‌های جدی در روند مدیریت پروژه‌های ساختمانی اشاره دارد. در بسیاری از موارد، پروژه‌ها به دلیل فقدان برنامه‌ریزی دقیق و نظارت مستمر، با تأخیر و هزینه‌های اضافی مواجه می‌شوند. این ناکارآمدی می‌تواند ناشی از عدم توانایی در تخصیص بهینه منابع، عدم شفافیت در روند تصمیم‌گیری و عدم استفاده از فنون مدیریت پروژه مدرن باشد (Van, 2024؛ Newman et al., 2021؛ Aigbavboa & Kissi, 2025). به‌علاوه، نبود استانداردهای مشخص و عدم پیگیری دقیق پیشرفت پروژه‌ها نیز به تشدید این مسئله کمک می‌کند و درنهایت به عدم تحقق اهداف پروژه منجر می‌شود. مدیریت تغییر ناکارآمد به‌عنوان کد دوم، به چالش‌های مرتبط با تغییرات در پروژه‌های ساختمانی اشاره دارد. در صنعت ساخت‌وساز، تغییرات اجتناب‌ناپذیر هستند و نیاز به مدیریت مؤثر این تغییرات ضروری می‌باشد. بااین‌حال، عدم وجود پروتکل‌های مشخص برای مدیریت تغییر و همچنین ناتوانی در پیش‌بینی و پاسخگویی به تغییرات می‌تواند منجر به اختلال در روند پروژه‌ها شود. این ناکارآمدی در مدیریت تغییر می‌تواند به عدم تطابق میان اهداف پروژه و نیازهای واقعی بازار منجر شود و درنتیجه، کیفیت نهایی پروژه را تحت تأثیر قرار دهد. نبود سازوکارهای مؤثر برای مدیریت نوآوری و تکنولوژی‌های نوین به‌عنوان کد سوم، به عدم وجود سیستم‌های جامع و مؤثر برای پیاده‌سازی نوآوری‌ها و تکنولوژی‌های جدید در پروژه‌های ساخت‌وساز اشاره دارد. با توجه به اینکه صنعت ساخت چهارم بر اساس استفاده از تکنولوژی‌های نوین و روش‌های نوآورانه بناشده است، نبود این سازوکارها می‌تواند به‌کندی در پیشرفت پروژه‌ها و عدم توانایی در رقابت با روش‌های سنتی منجر شود. به‌علاوه، فقدان آموزش و توانمندسازی کارکنان در استفاده از این فناوری‌ها نیز به محدودیت‌های موجود در این زمینه دامن می‌زند و مانع از بهبود کارایی و کیفیت پروژه‌ها می‌شود. عدم وجود انگیزه و همراهی در بین تصمیم‌گیریان و برنامه‌ریزان به‌عنوان کد چهارم، به کمبود انگیزه و عدم همکاری میان افراد کلیدی در فرآیند مدیریت پروژه‌ها اشاره دارد. این مشکل می‌تواند ناشی از عدم شناخت کافی از مزایای نوآوری و تغییرات در صنعت ساخت باشد. وقتی‌که تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان به اهمیت تأمین منابع مالی و انسانی و همچنین بهبود مستمر در فرآیندهای اجرایی آگاه نباشند، احتمالاً در حمایت از پروژه‌های نوآورانه و پیاده‌سازی تغییرات لازم، تردید خواهند کرد. این عدم همراهی در سطح مدیریتی، می‌تواند به کاهش کیفیت تصمیم‌گیری‌ها و درنتیجه به ناکامی در دستیابی به اهداف پروژه‌ها منجر شود.

- **ساختاری**

بوروکراسی پیچیده به‌عنوان نخستین کد، به وجود فرآیندهای اداری پیچیده و زمان‌بر اشاره دارد که می‌توانند به تعویق در اجرای پروژه‌ها و افزایش هزینه‌ها منجر شوند (Newman et al., 2021؛ Lopes & Da Silva Filho, 2024؛ Van Der Heijden, 2023). در بسیاری از موارد، مراحل مختلف اخذ مجوزها و تأییدیه‌ها به دلیل وجود رویه‌های اداری طولانی و ناکارآمد، به‌کندی پیش می‌روند. این بوروکراسی نه‌تنها باعث اتلاف زمان می‌شود، بلکه می‌تواند به کاهش انگیزه سرمایه‌گذاران و توسعه‌دهندگان نیز دامن بزند. همچنین، وجود چندین لایه اداری و الزامات متنوع می‌تواند به عدم شفافیت در روند تصمیم‌گیری‌ها منجر شود. کمبود شفافیت در فرآیندهای دولتی و اداری به‌عنوان دومین کد، به عدم وضوح و شفافیت در روندهای اداری اشاره دارد که می‌تواند به تشدید فساد و سوءاستفاده‌های مالی منجر شود. وقتی‌که فرآیندهای اداری به‌طور شفاف و واضح تعریف‌نشده‌اند، احتمال وقوع خطا و عدم رعایت قوانین افزایش می‌یابد. این کمبود شفافیت ممکن است منجر به احساس عدم اعتماد در میان شهروندان و سرمایه‌گذاران شود و درنتیجه، تمایل به مشارکت در پروژه‌های ساختمانی کاهش یابد. شفافیت در فرآیندهای دولتی یک پیش‌نیاز اساسی برای تقویت اعتماد عمومی و افزایش مشارکت در پروژه‌های عمرانی است. تضاد و عدم هماهنگی بین سازمان‌ها و نهادهای مختلف دولتی و غیردولتی در حوزه ساخت به‌عنوان سومین کد، به وجود چالش‌های جدی در ارتباطات و همکاری‌های بین نهادها اشاره دارد. در بسیاری از موارد، سازمان‌ها و نهادهای مختلف دارای دیدگاه‌ها و اهداف متفاوتی هستند که این موضوع می‌تواند به تضاد در تصمیم‌گیری‌ها و عدم هماهنگی در اجرا منجر شود. این عدم هماهنگی نه‌تنها باعث کاهش کارایی پروژه‌های ساختمانی می‌شود، بلکه می‌تواند به بروز مشکلات جدی در تأمین منابع و تخصیص اعتبارها نیز منتهی گردد. درنتیجه، ضرورت ایجاد یک سازوکار مؤثر برای هماهنگی بین نهادهای مختلف امری اجتناب‌ناپذیر است. فقدان سیستم مؤثر انتقال تجربه در نهادهای مرتبط به‌عنوان چهارمین کد، به کمبود یک سیستم منسجم برای انتقال دانش و تجربه بین نهادهای مختلف اشاره دارد. این مشکل ممکن است به دلیل عدم وجود بسترهای مناسب برای تبادل اطلاعات و تجربیات میان نهادها باشد. درنتیجه، نهادها ممکن است از تجارب موفق دیگران بهره‌مند نشوند و این امر می‌تواند به تکرار اشتباهات و عدم بهبود مستمر منجر شود. وجود یک سیستم مؤثر برای انتقال تجربه می‌تواند به نهادها کمک کند تا از فرآیندها و راهکارهای موفق دیگران بهره‌برداری کنند و درنتیجه، کیفیت و کارایی پروژه‌های ساختمانی را بهبود بخشند.

- **همکاری**

نبود همکاری بین‌المللی و انتقال دانش به‌عنوان نخستین کد، به عدم وجود سازوکارهای مؤثر برای تعامل و همکاری با کشورهای پیشرفته در حوزه ساخت‌وساز اشاره دارد. این مسئله به دلیل محدودیت‌های سیاسی، اقتصادی و فرهنگی، مانع از انتقال تجربیات و دانش‌های نوین به داخل کشور می‌شود (Newman et al., 2021؛ Kozlovska et al., 2021؛ Aigbavboa & Kissi, 2025). درنتیجه، پروژه‌های ساختمانی در ایران نمی‌توانند از بهترین شیوه‌ها و تکنولوژی‌های روز دنیا استفاده کنند. نبود این همکاری‌ها باعث می‌شود که پروژه‌ها با چالش‌های فنی و اجرایی بیشتری مواجه شوند و ظرفیت‌های بالقوه نوآوری در صنعت ساخت مسکن به‌طور کامل به فعلیت نرسند. ضعف در مشارکت و همکاری با شرکت‌های تکنولوژی و دانش‌بنیان‌ها به‌عنوان دومین کد، به عدم تعامل مؤثر با شرکت‌های نوآور و دانش‌بنیان اشاره دارد. این شرکت‌ها می‌توانند با ارائه راهکارهای نوین و تکنولوژی‌های پیشرفته، به بهبود کیفیت و بهره‌وری در پروژه‌های ساختمانی کمک کنند. بااین‌حال، فقدان یک بستر مناسب برای همکاری میان نهادهای اجرایی و شرکت‌های دانش‌بنیان، مانع از استفاده بهینه از این ظرفیت‌ها می‌شود. این مسئله نه‌تنها به کاهش کیفیت پروژه‌ها منجر می‌شود، بلکه می‌تواند به عدم جذب سرمایه‌گذاری‌های خارجی و داخلی نیز دامن بزند. فقدان قطب‌های فنی و علمی تکنولوژیک برای توسعه و ارتقاء صنعت چهارم ساخت مسکن به‌عنوان سومین کد، به عدم وجود مراکز علمی و فنی معتبر که بتوانند به‌عنوان قطب‌های پژوهشی و توسعه‌ای در حوزه ساخت‌وساز فعالیت کنند، اشاره دارد. این قطب‌ها می‌توانند به‌عنوان هسته‌های نوآوری، در

انتقال دانش و فناوری به صنعت ساخت مسکن مؤثر باشند. فقدان این مراکز باعث می‌شود که ایران نتواند به‌طور مؤثر در عرصه جهانی رقابت کند و از روندهای نوین و تکنولوژی‌های روز دنیا عقب بماند. ایجاد و توسعه این قطب‌ها می‌تواند به بهبود توانمندی‌های فنی و علمی در صنعت ساخت مسکن کمک شایانی کند. ارتباطات ضعیف بین نهادهای مطالعاتی-تحقیقاتی و متولیان اجرایی در ساخت مسکن به‌عنوان چهارمین کد، به چالش‌های جدی در ارتباطات و تعاملات بین نهادهای علمی و اجرایی اشاره دارد. در بسیاری از موارد، نهادهای پژوهشی و دانشگاه‌ها به نتایج تحقیقات خود توجه کافی نمی‌کنند و این نتایج به‌طور مؤثر در سیاست‌گذاری‌ها و تصمیم‌گیری‌های اجرایی مورداستفاده قرار نمی‌گیرند. این عدم ارتباط می‌تواند به تکرار اشتباهات گذشته و عدم استفاده از تجربیات و دانش‌های موجود منجر شود. برای بهبود این وضعیت، نیاز به ایجاد کانال‌های ارتباطی مؤثر و منسجم میان نهادهای تحقیقاتی و اجرایی وجود دارد که می‌تواند به پیشرفت و نوآوری در صنعت ساخت مسکن کمک کند.

- **منابع**

ضعف در توسعه منابع انسانی و نیروهای تخصصی به‌عنوان نخستین کد، به کمبود نیروی انسانی متخصص و حرفه‌ای در حوزه ساخت‌وساز اشاره دارد (Van Der Heijden, 2023؛ Lopes & Da Silva Filho, 2024 ؛ Begić & Galić, 2021). در صنعت ساخت مسکن، وجود نیروهای متخصص که بتوانند از تکنولوژی‌های نوین و روش‌های پیشرفته استفاده کنند، یک ضرورت است. بااین‌حال، به دلیل عدم سرمایه‌گذاری کافی در آموزش‌وپرورش نیروی انسانی، بسیاری از نیروهای فنی و مهندسان با چالش‌های جدی در به‌کارگیری تکنولوژی‌های نوین مواجه هستند. این کمبود تخصص نه‌تنها بر کیفیت پروژه‌ها تأثیر منفی می‌گذارد، بلکه می‌تواند به افزایش هزینه‌ها و تأخیر در زمان‌بندی پروژه‌ها نیز منجر شود؛ بنابراین، توسعه منابع انسانی و جذب متخصصان با تجربه باید در اولویت قرار گیرد تا صنعت ساخت مسکن بتواند به سمت بهبود و نوآوری حرکت کند. فقدان فضای مناسب برای آموزش و به‌روزرسانی دانش نیروی کار به‌عنوان دومین کد، به عدم وجود بسترهای کافی برای آموزش مستمر و به‌روزرسانی دانش کارکنان اشاره دارد. در دنیای امروز، تغییرات سریع در فناوری و روش‌های اجرایی نیاز به آموزش‌های مداوم دارد. بااین‌حال، بسیاری از نهادهای فعال در صنعت ساخت مسکن در ایران، از برنامه‌های آموزشی منظم و مدون بی‌بهره‌اند. فقدان فضای مناسب برای آموزش می‌تواند به عدم توانایی کارکنان در پاسخگویی به چالش‌های جدید و استفاده از تکنولوژی‌های نوین منجر شود. به‌عنوان‌مثال، عدم برگزاری دوره‌های آموزشی و کارگاه‌های عملی برای ارتقاء مهارت‌های کارکنان می‌تواند تأثیر منفی بر کیفیت پروژه‌های ساختمانی و همچنین رضایت مشتریان داشته باشد؛ بنابراین، ایجاد و تقویت بسترهای آموزشی برای نیروی کار از اهمیت بالایی برخوردار است. ضعف در بهره‌گیری از قابلیت‌های تکنولوژی اطلاعات و ارتباطات (ICT) برای توسعه مهارت‌ها و کارایی به‌عنوان سومین کد، به چالش‌های موجود در استفاده از تکنولوژی‌های نوین و سیستم‌های اطلاعاتی در صنعت ساخت‌وساز اشاره دارد. تکنولوژی اطلاعات و ارتباطات می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر در بهبود فرآیندها و افزایش کارایی در پروژه‌های ساختمانی عمل کند. بااین‌حال، عدم آشنایی و بهره‌برداری مناسب از این فناوری‌ها در میان نیروی کار، مانع از استفاده بهینه از ظرفیت‌های موجود می‌شود. به‌عنوان‌مثال، نبود سیستم‌های مدیریت پروژه مبتنی بر ICT می‌تواند به افزایش خطاها و عدم هماهنگی در اجرای پروژه‌ها منجر شود؛ بنابراین، سرمایه‌گذاری در تکنولوژی اطلاعات و ارتباطات و آموزش نیروی کار در این زمینه، می‌تواند به بهبود کارایی و کیفیت در صنعت ساخت مسکن کمک کند.

- **اطلاع‌رسانی**

عدم اطلاع‌رسانی کافی به ذینفعان در مورد قوانین و مقررات موجود به‌عنوان نخستین کد، به چالش‌های جدی در زمینه آگاهی و اطلاع‌رسانی در صنعت ساخت‌وساز اشاره دارد. بسیاری از ذینفعان از جمله پیمانکاران، مهندسان و حتی مالکان پروژه‌ها از قوانین و مقررات جاری که بر فعالیت‌هایشان تأثیر می‌گذارد، اطلاعات کافی ندارند (Aigbavboa & Kissi, 2025؛ Moshood et al., 2024). این عدم آگاهی می‌تواند منجر به عدم رعایت مقررات و قوانین محیط زیستی، ایمنی و

کیفیت در پروژه‌ها شود. برای مثال، عدم اطلاع از الزامات حسابداری سبز و شیوه‌های نوین در مدیریت منابع می‌تواند به کاهش کیفیت ساخت و تأثیرات منفی بر محیط‌زیست منجر شود. به همین دلیل، نیاز به یک سیستم جامع و مؤثر برای اطلاع‌رسانی به ذینفعان احساس می‌شود که بتواند اطلاعات لازم را به‌موقع و به‌طور دقیق ارائه دهد. این سیستم باید شامل کانال‌های ارتباطی متنوعی باشد که به‌راحتی در دسترس ذینفعان قرار گیرد و امکان تبادل‌نظر و تجربیات را فراهم کند. همراهی ضعیف انجمن‌های مرتبط و جامعه مهندسی برای تحقق صنعت ساخت چهارم به‌عنوان دومین کد، به عدم همکاری و تعامل مؤثر بین انجمن‌های حرفه‌ای و جامعه مهندسی اشاره دارد. انجمن‌ها می‌توانند به‌عنوان پل ارتباطی میان صنعت و نهادهای دولتی عمل کنند و نقش مهمی در ترویج و پیاده‌سازی تکنولوژی‌های نوین و رویه‌های مدیریتی در صنعت ساخت ایفا کنند. بااین‌حال، ضعف در همکاری و تعامل میان این انجمن‌ها و نهادهای مرتبط، مانع از تحقق اهداف صنعت ساخت چهارم می‌شود. به‌عنوان‌مثال، عدم برگزاری کارگاه‌ها و سمینارهای آموزشی مشترک می‌تواند به عدم آشنایی مهندسان و پیمانکاران با تکنولوژی‌های نوین و بهترین شیوه‌های اجرایی منجر شود. همچنین، عدم وجود یک شبکه مؤثر برای تبادل اطلاعات و تجربیات میان اعضای جامعه مهندسی می‌تواند به تکرار اشتباهات گذشته و عدم پیشرفت در پروژه‌های ساختمانی منجر شود.

- **تجربیات**

تجربیات منفی گذشته در اجرای پروژه‌های مشابه به چالش‌ها و مشکلاتی اشاره دارد که در پروژه‌های گذشته بروز کرده و می‌تواند بر تصمیم‌گیری‌های آینده تأثیر منفی بگذارد. این تجربیات منفی می‌توانند شامل مشکلات مالی، تأخیر در زمان‌بندی و نارضایتی از کیفیت پروژه‌ها باشند (Kozlovska et al., 2021؛ Aigbavboa & Kissi, 2025؛ Van, 2024؛ Newman et al., 2021). مثلاً، در پروژه‌های ساختمانی که به دلیل عدم مدیریت مناسب و برنامه‌ریزی دقیق با شکست مواجه شده‌اند، ممکن است ذینفعان به‌واسطه این تجربیات منفی، از مشارکت در پروژه‌های جدید خودداری کنند. این امر می‌تواند به عدم اعتماد به فرآیندهای جدید و نوآورانه منجر شود و به‌نوعی چرخه‌ای از شکست و بی‌اعتمادی ایجاد کند که مانع از پیشرفت در صنعت ساخت مسکن خواهد شد؛ بنابراین، تحلیل دقیق این تجربیات منفی و شناسایی دلایل آن‌ها می‌تواند به بهبود فرآیندهای اجرایی و افزایش کارایی پروژه‌های آتی کمک کند. عدم توجه به ارزیابی‌های محیط زیستی در سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی به‌عنوان دومین کد، به عدم گنجاندن ارزیابی‌های محیط زیستی در فرآیندهای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی اشاره دارد. در بسیاری از موارد، پروژه‌های ساختمانی بدون ارزیابی دقیق از تأثیرات زیست‌محیطی آن‌ها اجرا می‌شوند که این امر می‌تواند به پیامدهای منفی جبران‌ناپذیری منجر شود. عدم توجه به این ارزیابی‌ها نه‌تنها بر کیفیت پروژه‌ها تأثیرگذار است، بلکه می‌تواند به ایجاد مشکلات زیست‌محیطی جدی، از قبیل آلودگی و تخریب منابع طبیعی منجر شود. به‌عنوان‌مثال، در پروژه‌هایی که به دلیل عدم ارزیابی محیط زیستی مناسب، به تخریب اکوسیستم‌ها و منابع آب منجر شده‌اند، ممکن است هزینه‌های بالایی برای جبران این خسارات به جامعه تحمیل شود؛ بنابراین، ضرورت دارد که در سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی پروژه‌ها، ارزیابی‌های محیط‌زیستی به‌عنوان یک جزء جدایی‌ناپذیر لحاظ شود تا از بروز مشکلات آینده جلوگیری به عمل آید.

۴-۴- قانونی-مقرراتی

این تم متشکل از ۵ ساب تم شامل: (۱) اجرایی، (۲) تعارضات و تداخل، (۳) تدوین و به‌روزرسانی، (۴) حمایتی و (۵) استانداردها، تبیین شد.

- **اجرایی**

مشکلات صدور و تسهیل مجوز به چالش‌های متعددی اشاره دارد که پیمانکاران و مجریان پروژه‌ها در مراحل ابتدایی کار با آن مواجه می‌شوند (Newman et al., 2021؛ Lopes & Da Silva Filho, 2024؛ Aigbavboa & Kissi, 2025؛ Jiang et al., 2024؛ Elmousalami et al., 2025؛ Van, 2024). این مشکلات شامل زمان طولانی و پیچیده برای دریافت مجوزهای لازم از نهادهای مختلف می‌شود. در بسیاری از موارد، فرآیند صدور مجوز به دلیل وجود بروکراسی‌های پیچیده و عدم

هماهنگی میان نهادهای مختلف، به تأخیر می‌افتد. این تأخیرها نه‌تنها زمان پروژه را افزایش می‌دهند، بلکه هزینه‌های اضافی نیز به بار می‌آورند؛ بنابراین، نیاز به اصلاح و تسهیل فرآیندهای صدور مجوز احساس می‌شود تا موانع اداری کاهش یابند و پروژه‌ها بتوانند به‌موقع و با هزینه‌های معقول اجرایی شوند. فساد و عدم شفافیت در فرآیندهای اجرای پروژه‌ها به وجود مشکلاتی اشاره می‌کند که ناشی از نبود شفافیت و پایبندی به اصول اخلاقی در مدیریت پروژه‌هاست. فساد در هر مرحله‌ای از اجرای پروژه، از مراحل برنامه‌ریزی تا اجرا و نظارت، می‌تواند به هدر رفت منابع مالی و انسانی منجر شود. عدم شفافیت در این فرآیندها همچنین موجب کاهش اعتماد عمومی به نهادهای اجرایی و سازندگان می‌شود. درنتیجه، ایجاد یک نظام نظارتی مؤثر و شفاف می‌تواند به کاهش فساد و بهبود کیفیت اجرای پروژه‌ها کمک کند. پیچیدگی‌های حقوقی در رابطه با قراردادها و توافقات بین طرفین یکی دیگر از موانع کلیدی مدیریت اجرایی است. در پروژه‌های ساختمانی، قراردادها به‌عنوان ابزارهای اساسی برای تعیین مسئولیت‌ها و وظایف طرفین عمل می‌کنند. بااین‌حال، پیچیدگی‌های حقوقی و عدم وضوح در مفاد قراردادها می‌تواند منجر به بروز اختلافات و دعاوی حقوقی شود. این اختلافات نه‌تنها زمان و منابع را هدر می‌دهند، بلکه می‌توانند به تأخیر در اجرای پروژه‌ها نیز منجر شوند؛ بنابراین، نیاز به تدوین قراردادهای شفاف و قابل‌فهم و همچنین سیستم‌های حل اختلاف کارآمد وجود دارد. حاکمیت مجموعه‌ای پیچیده از قوانین و مقررات مربوط به ساخت مسکن به‌عنوان آخرین کد، به چالش‌های ناشی از وجود قوانین و مقررات متعدد و متنوع در حوزه ساخت‌وساز اشاره دارد. این قوانین به‌طور مداوم در حال تغییر هستند و این تغییرات می‌توانند به سردرگمی مجریان و پیمانکاران منجر شوند. در بسیاری از موارد، نبود هماهنگی میان این قوانین و مقررات باعث می‌شود که پیمانکاران نتوانند به‌طور مؤثر و کارآمد پروژه‌های خود را مدیریت کنند؛ بنابراین، نیاز به یک نظام حقوقی یکپارچه و هماهنگ برای حمایت از صنعت ساخت مسکن و تسهیل اجرای پروژه‌ها احساس می‌شود.

- **تعارضات و تداخل**

تعارض قوانین و مقررات بین نهادی به مشکلاتی اشاره دارد که ناشی از وجود قوانین و مقررات متناقض از سوی نهادهای مختلف دولتی و غیردولتی است (Aigbavboa & Kissi, 2025؛ Van Der Heijden, 2023؛ Jiang et al., 2024؛ Kozlovska et al., 2021؛ Van, 2024). در این شرایط، پیمانکاران و مجریان پروژه‌ها در مواجهه با الزامات متضاد، دچار سردرگمی می‌شوند. این تعارضات می‌توانند منجر به تأخیر در صدور مجوزها، افزایش هزینه‌ها و درنهایت ناکامی در تحقق اهداف پروژه شوند. به‌عنوان‌مثال، در مواردی که قوانین زیست‌محیطی با مقررات ساخت‌وساز در تضاد هستند، پیمانکاران ممکن است مجبور به انتخاب یکی از آن‌ها شوند که این امر می‌تواند پیامدهای منفی به همراه داشته باشد. تداخل سیستم‌ها و مقررات مربوط به صنعت ساختمان به عدم هماهنگی بین سیستم‌های مختلف مدیریتی و اجرایی در صنعت ساخت‌وساز اشاره دارد. این تداخلات می‌تواند به دلیل وجود چندین نهاد مسئول در حوزه‌های مختلف، ازجمله شهرداری‌ها، وزارت راه و شهرسازی و سایر سازمان‌های مرتبط باشد. این نهادها معمولاً مقررات متفاوتی دارند که پیروی از آن‌ها برای پیمانکاران دشوار است. تداخل در این سیستم‌ها می‌تواند به بروز مشکلاتی مانند تأخیر در اجرای پروژه‌ها، عدم انطباق با استانداردها و درنتیجه افت کیفیت منجر شود؛ بنابراین، اصلاح و یکپارچه‌سازی این سیستم‌ها به‌منظور تسهیل فرآیندها الزامی است. محدودیت‌های قانونی در واردات تکنولوژی‌های نوین و مواد اولیه یکی دیگر از چالش‌های مهم است که می‌تواند روند پیشرفت در صنعت ساخت چهارم را تحت تأثیر قرار دهد. قوانین سخت‌گیرانه و محدودکننده در زمینه واردات تجهیزات و تکنولوژی‌های نوین، مانع از بهره‌برداری از تکنولوژی‌های پیشرفته می‌شود. این محدودیت‌ها نه‌تنها باعث افزایش هزینه‌ها می‌شوند، بلکه ممکن است کیفیت ساخت‌وساز را نیز تحت تأثیر قرار دهند. به‌عنوان‌مثال، اگر دسترسی به مواد اولیه باکیفیت و تکنولوژی‌های نوین محدود باشد، پیمانکاران ناچار به استفاده از روش‌های قدیمی و ناکارآمد خواهند بود که این امر می‌تواند به کاهش رقابت‌پذیری صنعت منجر شود. عدم وضوح در قوانین مرتبط با مالکیت

زمین و حقوق مالکانه به‌عنوان آخرین کد در این ساب تم، به چالش‌های حقوقی ناشی از نبود قوانین روشن و شفاف در زمینه مالکیت زمین اشاره دارد. در بسیاری از موارد، فقدان شفافیت در این قوانین می‌تواند به بروز اختلافات حقوقی و دعاوی بین مالکین و پیمانکاران منجر شود. این عدم وضوح نه‌تنها به تأخیر در اجرای پروژه‌ها منجر می‌شود، بلکه می‌تواند به ضرر سرمایه‌گذاران و تولیدکنندگان نیز تمام شود. به‌منظور ارتقاء وضعیت صنعت ساخت، ضروری است که قوانین مالکیت زمین به‌طور دقیق و شفاف تدوین و به‌روزرسانی شوند.

- **تدوین و به‌روزرسانی**

عدم به‌روزرسانی قوانین و مقررات مربوط به تکنولوژی‌های نوین به عدم تطابق قوانین موجود با تحولات سریع فنّاورانه اشاره دارد (Begić & Galić, 2021؛ Elmousalami et al., 2025؛ Liu et al., 2025؛ Lopes & Da Silva Filho, 2024؛ Van Der Heijden, 2023). در دنیای امروز، صنعت ساخت با تغییرات سریع و مداومی در زمینه تکنولوژی‌های نوین مواجه است که این تغییرات نیاز به تدوین و به‌روزرسانی مداوم قوانین و مقررات را به وجود می‌آورد. بسیاری از قوانین و مقررات موجود ممکن است از نظر فنی و عملیاتی با شرایط جدید سازگار نباشند و این عدم تطابق می‌تواند به کاهش کارایی و اثربخشی پروژه‌ها منجر شود. به‌عنوان‌مثال، وجود قوانین قدیمی که هنوز به‌طور رسمی در حال اجرا هستند، می‌تواند مانع از پذیرش و پیاده‌سازی روش‌های نوین ساخت‌وساز گردد؛ بنابراین، به‌روزرسانی این قوانین به‌منظور تسهیل فرآیندهای اجرایی و بهبود کیفیت ساخت، ضروری است. خلأ سازوکارهای مناسب برای شناسایی و حذف قوانین منسوخ یا مانع به عدم وجود نظامی مؤثر برای ارزیابی و حذف قوانین ناکارآمد اشاره دارد. در بسیاری از موارد، قوانین و مقررات قدیمی بدون بررسی و ارزیابی مستمر باقی می‌مانند و این امر می‌تواند به ایجاد موانع جدی در مسیر پیشرفت و نوآوری منجر شود. به‌عنوان‌مثال، نبود کمیته‌های تخصصی یا نهادهای مسئول که وظیفه بررسی و حذف قوانین منسوخ را بر عهده داشته باشند، می‌تواند به عدم شفافیت و ناکارآمدی در نظام اجرایی منجر شود. این خلأ در سازوکارها نه‌تنها به ایجاد تضاد در قوانین موجود کمک می‌کند، بلکه به کاهش اعتماد عمومی به نهادهای قانونی و اجرایی نیز می‌انجامد. فقدان ضابطه‌های شفاف برای بهره‌برداری از صنعت ساخت چهارم به نبود چارچوب‌های مشخص و روشن برای پیاده‌سازی تکنولوژی‌های نوین در صنعت ساخت اشاره دارد. این فقدان می‌تواند به سردرگمی و عدم اطمینان در میان پیمانکاران و مجریان پروژه‌ها منجر شود. در شرایط کنونی، عدم وجود ضوابط شفاف و روشن برای استفاده از تکنولوژی‌های نوین، مانند BIM (مدل‌سازی اطلاعات ساختمان) و سایر تکنولوژی‌های مرتبط، می‌تواند به عدم پذیرش و پیاده‌سازی این تکنولوژی‌ها آسیب برساند. به‌منظور تسهیل ورود و بهره‌برداری از صنعت ساخت چهارم، تدوین ضوابط و چارچوب‌های شفاف و کارآمد ضروری است.

- **حمایتی**

نبود تسهیلات حمایتی حقوقی یا قانونی از شرکت‌های ساخت نوآور و آوانگارد به عدم وجود چارچوب‌های قانونی و حمایتی برای شرکت‌های فعال در حوزه‌های نوآورانه اشاره دارد (Van Der Heijden, 2023؛ Aigbavboa & Kissi, 2025؛ Kozlovska et al., 2021؛ Van, 2024). این مسئله می‌تواند به‌ویژه برای شرکت‌های کوچک و متوسط که در زمینه‌های نوین ساخت‌وساز فعالیت می‌کنند، به‌عنوان یک مانع جدی تلقی شود. درواقع، نبود حمایت‌های حقوقی از این شرکت‌ها، آن‌ها را در معرض خطرات بیشتری قرار می‌دهد و انگیزه برای سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های جدید را کاهش می‌دهد. این شرکت‌ها نیازمند محیطی هستند که در آن بتوانند با اطمینان بیشتری به توسعه محصولات و خدمات جدید بپردازند؛ بنابراین، ایجاد تسهیلات حمایتی قانونی و حقوقی می‌تواند به ارتقاء نوآوری و توسعه پایدار در صنعت ساخت کمک کند. چارچوب‌های قانونی مناسب برای تسهیل و حمایت از پذیرش تکنولوژی‌های نوین در صنعت ساخت اشاره دارد. بسیاری از قوانین و مقررات موجود به‌گونه‌ای تدوین‌شده‌اند که در برابر نوآوری‌ها و تکنولوژی‌های جدید مانع ایجاد می‌کنند. به‌عنوان‌مثال، قوانین مربوط به صدور مجوزهای ساخت، ممکن است به‌گونه‌ای باشند که نتوانند به سرعت با تغییرات فنّاورانه سازگار شوند. این عدم انطباق می‌تواند منجر به تأخیر در

فرآیندهای اجرایی و درنتیجه افزایش هزینه‌ها شود؛ بنابراین، تدوین و تصویب قوانین جدید که حامی نوآوری و تکنولوژی‌های مدرن باشند، از اهمیت بالایی برخوردار است. فقدان استانداردهای معتبرسازی به نبود معیارها و استانداردهای رسمی و معتبر در زمینه استفاده از تکنولوژی‌های نوین و روش‌های ساخت جدید اشاره دارد. این فقدان می‌تواند به عدم اطمینان در بازار و میان سرمایه‌گذاران و پیمانکاران منجر شود. درواقع، بدون وجود استانداردهای معتبر، شرکت‌ها نمی‌توانند به‌طور مؤثر کیفیت محصولات و خدمات خود را تضمین کنند و درنتیجه، اعتماد عمومی به این نوآوری‌ها کاهش می‌یابد. به‌علاوه، نبود سیستم‌های معتبرسازی می‌تواند مانع از ورود محصولات جدید به بازار شود، چراکه سرمایه‌گذاران و پیمانکاران ممکن است تمایل به پذیرش تکنولوژی‌های نوین نداشته باشند. ایجاد استانداردهای معتبر و شفاف نه‌تنها به بهبود کیفیت ساخت کمک می‌کند، بلکه به تسهیل فرآیندهای اجرایی و افزایش اعتماد عمومی نیز منجر می‌شود.

- **استانداردها**

فقدان استانداردهای محیط زیستی یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در صنعت ساخت‌وساز است که تأثیرات منفی زیادی بر کیفیت پروژه‌ها و حفظ محیط‌زیست دارد (Van Der Heijden,2023؛ Elmousalami et al., 2025؛ Jiang et al., 2024؛ Begić & Galić, 2021؛ Aigbavboa & Kissi, 2025؛ Liu et al., 2025؛ Lopes & Da Silva Filho, 2024). در حال حاضر، بسیاری از پروژه‌های ساختمانی بدون رعایت اصول و استانداردهای زیست‌محیطی اجرا می‌شوند که این امر به تخریب منابع طبیعی و افزایش آلودگی منجر می‌شود. نبود استانداردهای مشخص در زمینه ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، پیمانکاران و مجریان را در معرض خطرات قانونی و مالی قرار می‌دهد. به‌علاوه، فقدان این استانداردها می‌تواند به کاهش اعتماد عمومی به پروژه‌ها و نهادهای اجرایی منجر شود. به‌منظور ارتقای کیفیت و پایداری پروژه‌ها، تدوین استانداردهای زیست‌محیطی جامع و معتبر ضروری است. این استانداردها باید شامل معیارهای مشخص برای ارزیابی تأثیرات محیطی، مدیریت پسماند و استفاده بهینه از منابع طبیعی باشند. عدم وجود استانداردهای مرتبط برای تجهیزات و مصالح ساختمانی به‌عنوان کد دوم این ساب تم، به چالش‌های مرتبط با کیفیت و ایمنی مصالح و تجهیزات ساختمانی اشاره دارد. در حال حاضر، بسیاری از مصالح مورداستفاده در پروژه‌های ساختمانی فاقد استانداردهای مشخص و قابل‌اعتماد هستند. این عدم وجود استانداردها می‌تواند به بروز مشکلاتی نظیر ضعف در کیفیت ساخت، افزایش هزینه‌های عملیاتی و حتی خطرات ایمنی منجر شود. به‌عنوان‌مثال، استفاده از مصالح غیراستاندارد ممکن است تأثیر منفی بر عمر مفید ساختمان و کیفیت زندگی ساکنان داشته باشد. همچنین، نبود استانداردهای مشخص برای تجهیزات ساختمانی می‌تواند به عدم کارایی و افزایش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات منجر شود؛ بنابراین، تدوین و تصویب استانداردهای مرتبط با مصالح و تجهیزات ساختمانی نه‌تنها به بهبود کیفیت ساخت کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به تسهیل فرآیندهای اجرایی و افزایش رضایت مشتریان نیز منجر شود.

۴-۵- زیرساختی (نرم‌افزاری و سخت‌افزاری)

این تم متشکل از ۴ ساب تم شامل: (۱) انرژی، (۲) پشتیبانی، (۳) داده‌ها و اطلاعات و (۴) فنّاورانه، تبیین شد.

- **انرژی**

عدم دسترسی به شبکه انرژی پایدار به وضعیت فعلی زیرساخت‌های انرژی در ایران اشاره دارد که قادر به تأمین نیازهای انرژی پایدار و مستمر برای پروژه‌های ساختمانی نیست (Aigbavboa & Kissi, 2025؛ Jiang et al., 2024؛ Newman et al., 2021؛ Abdul-Samad et al., 2024؛ Liu et al., 2025؛ Van, 2024). در بسیاری از مناطق، به‌ویژه در مناطق دورافتاده و روستایی، دسترسی به انرژی الکتریکی و سایر منابع انرژی به‌طور مکرر با مشکلاتی مواجه است. این عدم دسترسی می‌تواند تأثیرات جدی بر روند ساخت‌وساز و همچنین کیفیت زندگی ساکنان داشته باشد. به‌عنوان‌مثال، قطع مکرر برق می‌تواند منجر به تأخیر در پروژه‌های ساختمانی، افزایش هزینه‌ها و درنهایت کاهش کیفیت نهایی پروژه‌ها شود. برای بهبود این وضعیت، نیاز به توسعه و تقویت زیرساخت‌های انرژی وجود دارد تا بتوان دسترسی به شبکه‌ای پایدار و

قابل‌اعتماد را برای همه مناطق فراهم کرد. این امر نه‌تنها به تسهیل فرآیندهای ساخت‌وساز کمک می‌کند، بلکه به افزایش رضایت عمومی و بهبود کیفیت زندگی ساکنان نیز منجر می‌شود. عدم تنوع در منابع انرژی به وابستگی بالای کشور به منابع انرژی محدود و تجدیدناپذیر اشاره دارد. در حال حاضر، بخش عمده‌ای از انرژی مصرفی در ایران از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود و تنوع کمی در منابع انرژی وجود دارد. این وابستگی به منابع محدود می‌تواند به بروز بحران‌ها و چالش‌های جدی در تأمین انرژی منجر شود، به‌ویژه در شرایطی که تقاضا به‌سرعت افزایش می‌یابد. همچنین، این عدم تنوع می‌تواند به افزایش آسیب‌پذیری در برابر نوسانات قیمت جهانی انرژی و تغییرات اقلیمی منجر شود. برای دستیابی به صنعت ساخت چهارم، ضروری است که کشور به سمت تنوع‌بخشی به منابع انرژی حرکت کند و از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، بادی و زیست‌توده استفاده کند. این تغییر نه‌تنها به کاهش اثرات زیست‌محیطی کمک می‌کند، بلکه به پایداری و امنیت انرژی در بلندمدت نیز منجر خواهد شد.

- **پشتیبانی**

فقدان سیستم‌های مدیریت پروژه پیشرفته به عدم وجود ابزارها و نرم‌افزارهای مناسب برای مدیریت کارآمد پروژه‌های ساخت اشاره دارد (Alawag et al., 2024؛ Aigbavboa & Kissi, 2025؛ Rahman et al., 2024؛ Kozlovska et al., 2021؛ Jiang et al., 2024؛ Begić & Galić, 2021؛ Van, 2024). در بسیاری از پروژه‌های ساختمانی، به‌ویژه در مقیاس بزرگ، نیاز به استفاده از سیستم‌های مدیریت پروژه پیشرفته برای برنامه‌ریزی، کنترل و نظارت بر پیشرفت کارها وجود دارد. این سیستم‌ها می‌توانند به بهبود تصمیم‌گیری، شفافیت در فرآیندها و افزایش کارایی کمک کنند. عدم استفاده از این سیستم‌ها می‌تواند منجر به افزایش هزینه‌ها، تأخیر در زمان‌بندی و کاهش کیفیت نهایی پروژه‌ها شود؛ بنابراین، سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های مدیریت پروژه و آموزش متخصصان در این زمینه از اهمیت بالایی برخوردار است. ضعف در هماهنگی و یکپارچگی طراحی به چالش‌های مرتبط با عدم همکاری مؤثر میان تیم‌های طراحی، مهندسی و اجرایی اشاره دارد. در بسیاری از پروژه‌ها، عدم هماهنگی بین این تیم‌ها می‌تواند منجر به بروز تضادها و مشکلاتی در مراحل مختلف پروژه شود. این ضعف می‌تواند به ناکارآمدی در فرآیندها و افزایش زمان و هزینه‌های اجرایی منجر گردد. به‌عنوان‌مثال، طراحی‌های اولیه ممکن است با شرایط واقعی زمین یا الزامات فنی در مرحله اجرا تفاوت داشته باشند که این امر نیاز به بازنگری و اصلاحات مکرر را به وجود می‌آورد. برای حل این مشکل، ضروری است که فرآیندهای همکاری و ارتباط میان تیم‌های مختلف بهبود یابد و از ابزارهای نرم‌افزاری مناسب برای تسهیل این هماهنگی استفاده شود. کمبود مراکز ارائه خدمات و پشتیبانی به عدم وجود نهادها و مراکز تخصصی در زمینه ارائه خدمات مشاوره‌ای، آموزشی و پشتیبانی فنی در صنعت ساخت اشاره دارد. این کمبود می‌تواند به عدم توانایی پیمانکاران و مجریان پروژه‌ها در بهره‌برداری از تکنولوژی‌های نوین و بهبود کیفیت ساخت منجر شود. مراکز پشتیبانی می‌توانند نقش مهمی در ارائه خدمات آموزشی و مشاوره‌ای به پیمانکاران و مهندسان ایفا کنند و به آن‌ها در درک بهتر تکنولوژی‌های جدید و به‌کارگیری بهترین شیوه‌های مدیریتی کمک کنند. نبود این مراکز می‌تواند به عدم پذیرش نوآوری‌ها و کاهش کیفیت پروژه‌ها منجر شود؛ بنابراین، ایجاد و توسعه مراکز خدمات و پشتیبانی در صنعت ساخت مسکن ضروری است تا بتوان بهبودهای لازم در این حوزه را تحقق بخشید.

- **داده‌ها و اطلاعات**

کد کمبود زیرساخت‌های دیجیتال، به نبود شبکه‌های ارتباطی و تکنولوژی‌های اطلاعاتی پیشرفته اشاره دارد که امکان تبادل سریع و مؤثر داده‌ها بین ذینفعان پروژه‌های ساختمانی را فراهم نمی‌کند (Van, 2024؛ Begić & Galić, 2021؛ Kozlovska et al., 2021؛ Elmousalami et al., 2025؛ Rahman et al., 2024؛ Abdul-Samad et al., 2024؛ Liu et al., 2025؛ Van Der Heijden,2023). برای مثال، بسیاری از مناطق به زیرساخت‌های اینترنتی مناسب دسترسی ندارند که این امر می‌تواند به عدم توانایی در به اشتراک‌گذاری اطلاعات و برقراری ارتباطات لازم منجر شود. به‌علاوه، نبود سیستم‌های مدیریت پروژه دیجیتال می‌تواند موجب تکرار کارها و کاهش بهره‌وری شود.

سرمایه‌گذاری در توسعه زیرساخت‌های دیجیتال می‌تواند به تسهیل فرآیندهای ساخت و ارائه خدمات بهتر به شهروندان کمک کند. کد محدودیت در دسترسی به داده‌ها در پروژه‌ها، به چالش‌هایی اشاره دارد که پیمانکاران و مدیران پروژه در دستیابی به اطلاعات حیاتی برای تصمیم‌گیری‌های مؤثر با آن مواجه‌اند. به‌عنوان‌مثال، ممکن است اطلاعات مربوط به هزینه‌ها، زمان‌بندی و منابع موردنیاز به‌طور مناسب در دسترس نباشند. این امر می‌تواند منجر به تأخیر در پیشرفت پروژه و افزایش هزینه‌ها شود. همچنین، عدم شفافیت در اطلاعات می‌تواند به بروز سوءتفاهم‌ها و تضادها بین ذینفعان مختلف منجر شود. برای حل این مشکل، نیاز به ایجاد سیستم‌های اطلاعاتی کارآمد و شفاف وجود دارد. کد عدم یکپارچگی تکنولوژی‌های اطلاعاتی، به فقدان هماهنگی و یکپارچگی میان سیستم‌های مختلف اطلاعاتی در صنعت ساخت اشاره دارد. در بسیاری از پروژه‌ها، از سیستم‌های مختلفی برای مدیریت داده‌ها استفاده می‌شود که به‌خوبی با یکدیگر ارتباط ندارند. این عدم یکپارچگی می‌تواند به تکرار داده‌ها، افزایش خطاها و کاهش کارایی منجر شود. برای مثال، داده‌های یک پروژه ممکن است در چندین سیستم مختلف ثبت شوند و این امر می‌تواند باعث بروز ناهماهنگی در اطلاعات و مشکلات در تصمیم‌گیری شود. به‌منظور رفع این مشکل، نیاز به توسعه سیستم‌های یکپارچه و استانداردسازی در جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها وجود دارد. کد کمبود داده‌های دقیق و به‌روز، به فقدان اطلاعات معتبر و به‌روز در زمینه‌های مختلف پروژه‌های ساختمانی اشاره دارد. نداشتن داده‌های دقیق می‌تواند به عدم توانایی در ارزیابی وضعیت واقعی پروژه و پیش‌بینی مشکلات احتمالی منجر شود. برای مثال، عدم وجود داده‌های دقیق درباره هزینه‌ها و منابع موردنیاز می‌تواند به بروز مشکلات جدی در اجرای پروژه‌ها منجر شود. جمع‌آوری و به‌روزرسانی مداوم داده‌ها برای تسهیل فرآیندهای تصمیم‌گیری و بهبود کیفیت پروژه‌ها ضروری است. کد چالش‌های مرتبط با امنیت داده‌ها و حریم خصوصی، به نگرانی‌های موجود در زمینه حفاظت از اطلاعات حساس و شخصی اشاره دارد. با افزایش استفاده از تکنولوژی‌های دیجیتال، خطرات امنیتی نیز افزایش می‌یابد. عدم وجود تدابیر مناسب برای حفاظت از داده‌ها می‌تواند به افشای اطلاعات حساس منجر شود و اعتبار سازمان‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. به‌عنوان‌مثال، اگر اطلاعات مالی یا مشخصات پروژه‌ها به دلیل ضعف در امنیت داده‌ها به سرقت برود، می‌تواند به عواقب جدی برای سازمان و پروژه‌ها منجر شود؛ بنابراین، ایجاد سیاست‌های امنیتی قوی و آموزش کارکنان در زمینه حفاظت از داده‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. کد نقص در بسترهای دیجیتال و تکنولوژی اطلاعات مناسب برای مدیریت ساخت مسکن، به عدم وجود تکنولوژی‌های مناسب و کارآمد برای مدیریت اطلاعات در پروژه‌های ساختمانی اشاره دارد. تکنولوژی‌های موجود ممکن است نتوانند به‌خوبی داده‌های حجیم و متنوع را پردازش کنند یا گزارش‌های مفید و کاربردی تولید نمایند. برای مثال، عدم وجود نرم‌افزارهای تحلیل داده پیشرفته می‌تواند به عدم توانایی در تجزیه‌وتحلیل اطلاعات و به دست آوردن بینش‌های لازم برای تصمیم‌گیری‌های استراتژیک منجر شود. توسعه و به‌روزرسانی ابزارها و سیستم‌های دیجیتال موجود می‌تواند به بهبود فرآیندهای مدیریت پروژه و افزایش کارایی در صنعت ساخت کمک کند.

- **فنّاورانه**

تجهیزات و ماشین‌آلات مورداستفاده در صنعت ساخت مسکن در ایران، غالباً قدیمی و فرسوده هستند. استفاده از این تجهیزات نه‌تنها موجب افزایش زمان اجرای پروژه‌ها می‌شود، بلکه احتمال بروز حوادث و خطاهای انسانی را نیز افزایش می‌دهد (Alawag et al., 2024؛ Rahman et al., 2024؛ Begić & Galić, 2021؛ Jiang et al., 2024؛ Abdul-Samad et al., 2024؛ Elmousalami et al., 2025؛ Lopes & Da Silva Filho, 2024). به‌علاوه، نگهداری و تعمیرات مداوم این ماشین‌آلات هزینه‌های اضافی را به پروژه‌ها تحمیل می‌کند؛ بنابراین، نوسازی و به‌روزرسانی تجهیزات به‌عنوان یک ضرورت برای افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها مطرح است. تکنولوژی‌های مورداستفاده در ساخت مسکن در ایران عمدتاً به‌طور محلی توسعه‌یافته‌اند و این موضوع به‌ویژه در مقایسه با کشورهای پیشرفته، محدودیت‌هایی را به همراه دارد. تکنولوژی‌های محلی ممکن است از نظر کیفیت، کارایی و نوآوری نسبت به استانداردهای جهانی عقب بمانند. این مسئله می‌تواند منجر به کاهش کیفیت ساخت و عدم رضایت مشتریان شود. برای رفع این مشکل، انتقال دانش

و فناوری از کشورهای پیشرفته و تشویق به تحقیق و توسعه در این حوزه ضروری است. دسترسی به ابزار و تجهیزات مدرن به‌ویژه در مقیاس وسیع در ایران محدود است. بسیاری از پیمانکاران و شرکت‌های ساختمانی به دلیل هزینه‌های زیاد یا عدم وجود تأمین‌کنندگان معتبر قادر به تهیه این تجهیزات نیستند. این مسئله باعث می‌شود که پروژه‌ها نتوانند از تکنولوژی‌های نوین مانند ساختمان‌های هوشمند، مصالح پیشرفته و فنون ساخت مدرن استفاده کنند. برای حل این چالش، ایجاد زیرساخت‌های مناسب و تسهیل واردات و تولید تجهیزات لازم از اهمیت بالایی برخوردار است. آزمایشگاه‌های پیشرفته برای آزمایش و ارزیابی مواد و تکنیک‌های جدید در ساخت مسکن از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. عدم وجود چنین آزمایشگاه‌هایی می‌تواند به عدم اطمینان از کیفیت مصالح، مانند بتن و فولاد، منجر شود. این مسئله باعث می‌شود که سازندگان نتوانند از مواد با کیفیت بالا استفاده کنند و ممکن است به بروز مشکلات ساختاری و ایمنی در آینده منجر شود؛ بنابراین، سرمایه‌گذاری در ایجاد و تجهیز آزمایشگاه‌های تخصصی برای ارزیابی مواد ساختمانی ضروری است. نرم‌افزارهای مدیریت پروژه و طراحی معماری باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که به نیازهای خاص پروژه‌های مختلف پاسخ دهند. عدم تطبیق این نرم‌افزارها با شرایط واقعی پروژه‌ها می‌تواند به بروز مشکلاتی در زمان‌بندی، تخصیص منابع و کنترل هزینه‌ها منجر شود. به‌عنوان‌مثال، نرم‌افزارهایی که برای مدیریت پروژه‌های بزرگ طراحی نشده‌اند، ممکن است نتوانند به‌خوبی نیازهای پروژه‌های کوچک‌تر را برآورده کنند. برای بهبود این وضعیت، نیاز به توسعه نرم‌افزارهای سفارشی و آموزش کاربران وجود دارد. امروزه، استفاده از سیستم‌های هوشمند و تحلیل داده برای بهینه‌سازی فرآیندهای ساخت و مدیریت پروژه‌ها بسیار حیاتی است. در صنعت ساخت مسکن ایران، ضعف در این قابلیت‌ها به‌ویژه در زمینه‌های پیش‌بینی مشکلات، مدیریت منابع و تحلیل هزینه‌ها مشاهده می‌شود. نبود سیستم‌های هوشمند می‌تواند به عدم توانایی در شناسایی مشکلات قبل از وقوع و بهینه‌سازی فرآیندهای کاری منجر شود. برای غلبه بر این چالش، سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های هوشمند و آموزش نیروی انسانی برای استفاده از این سیستم‌ها ضروری است. سیستم‌های پیشرفته برای ارزیابی و پایش عملکرد پروژه‌ها از اهمیت بالایی برخوردارند. نبود چنین سیستم‌هایی می‌تواند به عدم توانایی در شناسایی مشکلات و نقاط ضعف در پروژه‌ها و همچنین ارزیابی کیفیت کار منجر شود. به‌عنوان‌مثال، بدون سیستم‌های پایش دقیق، ممکن است نتوان مشکلات ساختاری یا ایمنی را به‌موقع شناسایی کرد. ایجاد سیستم‌های پیشرفته برای پایش و ارزیابی عملکرد پروژه‌های ساختمانی و استانداردسازی این سیستم‌ها ضروری است.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

یافته‌های این تحقیق نشان‌دهنده موانع چندوجهی در مسیر دستیابی به صنعت ساخت چهارم در بخش مسکن ایران است که در پنج تم اصلی اجتماعی-فرهنگی، اقتصادی، نهادی-اداری، قانونی-مقرراتی و زیرساختی (نرم‌افزاری و سخت‌افزاری) دسته‌بندی‌شده‌اند. این عوامل در کنار یکدیگر موجب کاهش بهره‌وری، افزایش هزینه‌ها و تأخیر در اجرای پروژه‌ها شده و صنعت ساخت مسکن را از استانداردهای جهانی دورنگه داشته‌اند. برای رفع این موانع، لازم است اقدامات اساسی در چند محور صورت گیرد. ابتدا باید با اجرای برنامه‌های آموزشی و فرهنگ‌سازی، نگرش ذینفعان را نسبت به تکنولوژی‌های نوین تغییر داد. در گام بعدی، ایجاد مشوق‌های مالی و تسهیل شرایط سرمایه‌گذاری می‌تواند به جذب منابع بیشتر و کاهش ریسک‌های اقتصادی کمک کند. همچنین، بازنگری در قوانین و مقررات، کاهش بروکراسی‌های اداری و تقویت هماهنگی بین نهادهای مرتبط ضروری است. از سوی دیگر، توسعه زیرساخت‌های دیجیتال، نوسازی تجهیزات و تقویت همکاری‌های بین‌المللی برای انتقال دانش و فناوری‌های پیشرفته می‌تواند صنعت ساخت مسکن را به سمت تحول دیجیتال و دستیابی به استانداردهای جهانی سوق دهد. تحقق این اهداف مستلزم عزم ملی و همکاری همه‌جانبه بین دولت، بخش خصوصی، مراکز علمی و جامعه است تا با رویکردی نظام‌مند، چالش‌های موجود به فرصت‌هایی برای رشد و توسعه پایدار تبدیل شوند. بنا بر ماهیت کیفی تحقیق، از محدودیت این تحقیق می‌توان به عدم تعمیم‌پذیری اشاره کرد.

مشارکت‌های نویسندگان

کسری رهبری‌پور: تهیه پیش نویس خطی، بازنگری اولیه گزارش و روش‌شناسی پژوهش، مدل مفهومی پژوهش، بررسی ادبیات نظری و پیشینه مرتبط، تجزیه و تحلیل داده‌ها، پیش نویس تحلیل آماری و بازبینی متن؛ **محمدرضا پاکدل‌فرد:** راهنمایی، بازبینی متن؛ **حسن ستاری ساربانقلی:** راهنمایی، بازبینی متن؛ **نیما ولی‌زاده**: راهنمایی، بازبینی متن.

جدول ۴. مفهوم‌سازی کدها

Table 4. Conceptualization of codes

تم	ساب تم	کد
اجتماعی-فرهنگی	تغییر و پذیرش	• مقاومت در برابر تغییر • باور و نگرش منفی به تکنولوژی های جدید • عدم اعتماد به فرآیندهای صنعتی سازی • نگرش عدم نیاز به کسب مهارت های جدید در صنعت ساخت مسکن • کم ارزش انگاری ساخت پیشرفته
	آگاهی و آموزش	• عدم آگاهی و دانش لازم در مورد مزایا و قابلیت های صنعت ساخت چهارم • ناآشنایی بازیگران(Actors) همچون مهندسین برای تشویق و ترغیب کارفرماها به صنعت ساخت چهارم • ناآشنایی اساتید دانشگاه برای جریان‌سازی • بی‌توجهی متولیان به آگاهی بخشی و آموزش های تخصصی • ضعف در تبدیل دانش نظری به عملی
	سنت	• چیرگی رویه و فرهنگ ساخت سنتی • چیرگی یا تأثیرات سنت های محلی در انتخاب روش های ساخت مسکن • عدم تطابق بین شیوه های جدید و قدیمی ساخت • مقاومت فرهنگی در برابر نوآوری • چالش‌های فلسفی در تعریف ارزش ها
	نابرابری	• نابرابری‌های اجتماعی و اقتصادی • وجود رقابت های غیرسازنده بین شرکت های ساخت مسکن • گرانقیمت انگاری ورود به این صنعت • نگرش مصرف گرایانه
	نوآوری و بهره برداری	• فقدان فرهنگ سازی بهره برداری از صنعت ساخت تکنولوژیک • عدم وجود ریسک‌پذیری در حوزه ساخت مسکن • ضعف در ترویج صنعت ساخت تکنولوژیک
	هم افزایی	• عدم فرهنگ سازی مؤثر برای عموم جامعه • عدم تمایل به انطباق با راه حل های بومی

قدردانی

نویسندگان از عوامل اجرایی نشریه مهندسی سیستم و بهره‌وری قدردانی می‌نمایند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافع مرتبط با تحقیق حاضر ندارند و نتایج به‌صورت بی‌طرفانه و بدون دخالت منافع شخصی یا حرفه‌ای به‌دست‌آمده است.

ادامه **جدول ۴.**

Table 4. Continued.

تم	ساب تم	کد
اقتصادی	توسعه	• بالا بودن هزینه های آموزشی برای مهارت آموزی • عدم سرمایه‌گذاری در توسعه مهارت ها و توانمندی های نیروی کار
	بازار	• تأثیر رقابت در قیمت گذاری و کاهش حاشیه سود • مشکلات در دسترسی به بازارهای فروش برای محصولات جدید
	سرمایه‌گذاری در تحقیق	• عدم سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه • سرمایه‌گذاری‌های اولیه بالا برای پیاده سازی تکنولوژی های جدید • فقدان رقابت تکنولوژیکی در صنعت ساخت مسکن • نبود سرمایه‌گذاری کافی برای توسعه تکنولوژی‌های مرتبط
	حمایتی	• عدم اختصاص یارانه به پروژه‌های مرتبط • عدم حمایت مالی از صنایع مرتبط با صنعت چهارم • فقدان مشوق‌های مالی • عدم سرمایه گذاری نهادهای دولتی در تجاری سازی دستاوردهای پژوهشی
	ریسک و بی ثباتی	• ریسک بالای سرمایه‌گذاری در حوزه صنعت ساخت مسکن چهارم • طولانی بودن دوره بازگشت سرمایه در پروژه‌های صنعتی جدید • عدم توجیه اقتصادی سرمایه‌گذاری در تکنولوژی های جدید نسبت به روش های سنتی • تأثیر نوسانات اقتصادی و غیرقابل پیش بینی بودن شرایط بازار بر تصمیمات سرمایه‌گذاری • تأثیر تغییرات سیاسی و اقتصادی بر برنامه‌های توسعه و سرمایه‌گذاری • نوسانات نرخ ارز • سوداگرانه بودن بازار زمین
	تامین مالی	• عدم دسترسی به منابع مالی و اعتباری کافی برای پروژه‌های نوآورانه • محدودیت‌های مالی در اجرای پروژه‌های مسکن چهارم • عدم تخصیص بودجه به شرکت های فعال در توسعه صنعت چهارم مسکن • فقدان سیستم‌های اقتصادی برای توجیه پذیری اجرای صنعت ساخت چهارم • محدودیت ها در جذب سرمایه گذاری خارجی در بخش ساخت مسکن

ادامه **جدول ۴.**

Table 4. Continued.

تم	ساب تم	کد
قانونی-مقرراتی	اجرایی	• مشکلات صدور و تسهیل مجوز • فساد و عدم شفافیت در فرآیندهای اجرای پروژه‌ها • پیچیدگی‌های حقوقی در رابطه با قراردادها و توافقات بین طرفین • حاکمیت مجموعه‌ای پیچیده از قوانین و مقررات مربوط به ساخت مسکن
	تعارضات و تداخل	• تعارض قوانین و مقررات بین نهادی • تداخل سیستم‌ها و مقررات مربوط به صنعت ساختمان • محدودیت‌های قانونی در واردات تکنولوژی‌های نوین و مواد اولیه • عدم وضوح در قوانین مرتبط با مالکیت زمین و حقوق مالکانه
	تدوین و به‌روزرسانی	• عدم به‌روزرسانی قوانین و مقررات مربوط به تکنولوژی‌های نوین • خلأ سازوکارهای مناسب برای شناسایی و حذف قوانین منسوخ یا مانع • فقدان ضابطه‌های شفاف برای بهره‌برداری از صنعت ساخت چهارم
	حمایتی	• نبود تسهیلات حمایتی حقوقی یا قانونی از شرکت‌های ساخت نوآور و آوانگارد • فقدان قوانین کافی برای حمایت از نوآوری و تکنولوژی‌های جدید • فقدان استانداردهای معتبرسازی
	استانداردها	• فقدان استانداردهای محیط زیستی • عدم وجود استانداردهای مرتبط برای تجهیزات و مصالح ساختمانی
زیرساختی (نرم‌افزاری و سخت‌افزاری)	انرژی	• عدم دسترسی به شبکه انرژی پایدار • عدم تنوع در منابع انرژی
	پشتیبانی	• فقدان سیستم‌های مدیریت پروژه پیشرفته • ضعف در هماهنگی و یکپارچگی طراحی • کمبود مراکز ارائه خدمات و پشتیبانی
	داده‌ها و اطلاعات	• کمبود زیرساخت‌های دیجیتال • محدودیت در دسترسی به داده‌ها در پروژه‌ها • عدم یکپارچگی تکنولوژی‌های اطلاعاتی • کمبود داده‌های دقیق و به‌روز • چالش‌های مرتبط با امنیت داده‌ها و حریم خصوصی • نقص در بسترهای دیجیتال و تکنولوژی اطلاعات مناسب برای مدیریت ساخت مسکن
	فنّاورانه	• فرسودگی و ناکارآمدی تجهیزات موجود ساخت مسکن • محدودیت‌های تکنولوژی محلی • عدم یا دسترسی محدود به ابزار و تجهیزات صنعت ساخت چهارم • عدم وجود آزمایشگاه‌های پیشرفته • عدم تطبیق نرم‌افزارها با نیازهای خاص پروژه‌ها • ضعف در قابلیت‌های هوشمند و سیستم‌های تحلیل داده • نبود سیستم‌های پیشرفته برای ارزیابی و پایش صنعت ساخت مسکن

ادامه **جدول ۴.**

Table 4. Continued.

تم	ساب تم	کد
نهادی-اداری	سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی	• فقدان برنامه جامع به برنامه‌ریزی و آمایش مسکن • فقدان برنامه‌ریزی استراتژیک برای دستیابی به صنعت ساخت چهارم • فقدان برنامه ملی برای بهره‌برداری از صنعت ساخت چهارم • ضعف و تعارض در برنامه‌ها و سیاست‌های حمایتی دولتی
	مدیریت اجرایی	• مدیریت ناکارآمد پروژه‌ها • مدیریت تغییر ناکارآمد • نبود سازوکارهای مؤثر برای مدیریت نوآوری و تکنولوژی‌های نوین • عدم وجود انگیزه و همراهی در بین تصمیم‌گیران و برنامه ریزان
	ساختاری	• بوروکراسی پیچیده • کمبود شفافیت در فرآیندهای دولتی و اداری • تضاد و عدم هماهنگی بین سازمان‌ها و نهادهای مختلف دولتی و غیردولتی در حوزه ساخت • فقدان سیستم مؤثر انتقال تجربه در نهادهای مرتبط
	همکاری	• نبود همکاری بین‌المللی و انتقال دانش • ضعف در مشارکت و همکاری با شرکت‌های تکنولوژی و دانش‌بنیان‌ها • فقدان قطب‌های فنی و علمی تکنولوژیک برای توسعه و ارتقاء صنعت چهارم ساخت مسکن • ارتباطات ضعیف بین نهادهای مطالعاتی-تحقیقاتی و متولیان اجرایی در ساخت مسکن
	منابع	• ضعف در توسعه منابع انسانی و نیروهای تخصصی • فقدان فضای مناسب برای آموزش و به روز کردن دانش نیروی کار • ضعف در بهره‌گیری از قابلیت‌های تکنولوژی اطلاعات و ارتباطات برای توسعه مهارت‌ها و کارآیی
	اطلاع‌رسانی	• عدم اطلاع‌رسانی کافی به ذینفعان در مورد قوانین و مقررات موجود • همراهی ضعیف انجمن‌های مرتبط و جامعه مهندسی برای تحقق صنعت ساخت چهارم
	تجربیات	• تجربیات منفی گذشته در اجرای پروژه‌های مشابه • عدم توجه به ارزیابی‌های محیط زیستی در سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی

جدول ۵. نقش‌ها، مسئولیت‌ها و راهکارها

Table 5. Roles, Responsibilities, and Solutions

نقش‌ها	مسئولیت‌ها	راهکارها
سیاست‌گذاران (دولت، وزارت راه و شهرسازی، سازمان نظام‌مهندسی)	• تدوین سیاست‌های کلان برای توسعه صنعت ساخت چهارم • ایجاد چارچوب‌های قانونی و مقرراتی برای حمایت از نوآوری • تخصیص منابع مالی و یارانه به پروژه‌های نوآورانه • هماهنگی بین‌نهادی برای رفع تعارضات قانونی و اجرایی	• تدوین برنامه ملی توسعه صنعت ساخت چهارم با تمرکز بر هوشمندسازی و پایداری • بازنگری و به‌روزرسانی قوانین مربوط به ساخت‌وساز برای تطبیق با تکنولوژی‌های نوین (مانند BIM و IoT) • ایجاد مشوق‌های مالیاتی و یارانه‌ای برای شرکت‌های فعال و مرتبط • تشکیل کارگروه‌های بین‌نهادی برای هماهنگی سیاست‌ها و کاهش بوروکراسی
نهادهای آموزشی (دانشگاه‌ها، مراکز آموزش فنی و حرفه‌ای)	• آموزش و تربیت نیروی انسانی متخصص در فناوری‌های صنعت ساخت چهارم • جریان‌سازی آکادمیک برای ترویج صنعت ساخت چهارم • تبدیل دانش نظری به مهارت‌های عملی • توسعه برنامه‌های آموزشی هم‌راستا با نیازهای صنعت ساخت چهارم	• طراحی دوره‌های تخصصی در زمینه BIM، چاپ سه‌بعدی و رباتیک در ساخت • ایجاد مراکز شبیه‌سازی پروژه‌های صنعتی‌سازی برای آموزش عملی • همکاری با صنعت برای تدوین سرفصل‌های آموزشی مبتنی بر نیازهای بازار • برگزاری کارگاه‌های آموزشی برای اساتید جهت به‌روزرسانی دانش
مجریان پروژه‌ها (پیمانکاران، شرکت‌های ساختمانی)	• پیاده‌سازی فناوری‌ها در پروژه‌های ساختمانی مدیریت ریسک‌های مرتبط با نوآوری • ارتقای مهارت‌های نیروی کار برای استفاده از ابزارهای پیشرفته • همکاری با شرکت‌های دانش‌بنیان برای انتقال تکنولوژی	• استفاده از سیستم‌های مدیریت پروژه پیشرفته (مانند Primavera یا MS Project) برای یکپارچگی فرآیندها • سرمایه‌گذاری در آموزش ضمن خدمت کارکنان برای کار با تجهیزات هوشمند • مشارکت در پروژه‌های پایلوت برای آزمایش فناوری‌ها • ایجاد تیم‌های تخصصی برای مدیریت تغییر در پروژه‌ها
شرکت‌های دانش‌بنیان و استارت‌آپ‌ها	• توسعه فناوری‌های بومی برای هم‌افزایی صنعت ساخت چهارم • ارائه راه‌حل‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری متناسب با نیازهای محلی • همکاری با نهادهای تحقیقاتی برای تجاری‌سازی دستاوردها • ترویج فرهنگ نوآوری در صنعت ساخت	• طراحی پلتفرم‌های دیجیتال برای مدیریت داده‌های پروژه (مانند پلتفرم‌های ابری) • توسعه مواد و مصالح ساختمانی نوین با استفاده از فناوری نانو یا چاپ سه‌بعدی • ایجاد شبکه‌های همکاری با دانشگاه‌ها برای انتقال دانش • جذب سرمایه‌گذاری خارجی برای توسعه فناوری‌های پیشرفته

ادامه **جدول ۵**.

Table 5. Continued.

نقش‌ها	مسئولیت‌ها	راهکارها
انجمن‌های حرفه‌ای و جامعه مهندسی	• ترویج فرهنگ پذیرش فناوری‌ها در میان مهندسان • اطلاع‌رسانی در مورد مزایای صنعت ساخت چهارم • تدوین استانداردها و ضوابط فنی برای فناوری‌های جدید • ایجاد پل ارتباطی بین نهادهای اجرایی و تحقیقاتی	• برگزاری سمینارها و کنفرانس‌های تخصصی برای معرفی فناوری‌های صنعت چهارم • تدوین استانداردهای ملی برای مصالح و تجهیزات هوشمند • ایجاد پایگاه‌های اطلاع‌رسانی برای به اشتراک‌گذاری تجربیات موفق • همکاری با سازمان نظام‌مهندسی برای تسهیل صدور مجوزهای پروژه‌های نوآورانه
سرمایه‌گذاران و نهادهای مالی	• تأمین مالی پروژه‌های نوآورانه در صنعت ساخت چهارم • کاهش ریسک سرمایه‌گذاری از طریق مدل‌های مالی جدید • حمایت از تجاری‌سازی فناوری‌های بومی • ارزیابی توجیه‌پذیری اقتصادی پروژه‌ها	• ایجاد صندوق‌های سرمایه‌گذاری خطرپذیر برای حمایت از استارت‌آپ‌های ساختمانی • ارائه وام‌های کم‌بهره برای پروژه‌های مبتنی بر فناوری‌ها • توسعه مدل‌های مالی مانند PPP (مشارکت عمومی-خصوصی) برای پروژه‌های بزرگ • ارزیابی ریسک‌های اقتصادی با استفاده از تحلیل‌های داده‌محور
جامعه و ذینفعان عمومی	• پذیرش فناوری‌های نوین در ساخت مسکن • مشارکت در فرآیندهای آگاهی‌بخشی و فرهنگ‌سازی • ارائه بازخورد در مورد کیفیت پروژه‌های صنعتی‌سازی‌شده • حمایت از پروژه‌های پایدار و محیط‌زیستی	• اجرای کمپین‌های آگاهی‌بخشی در مورد مزایای صنعت ساخت چهارم (مانند کاهش زمان و هزینه) • ایجاد پلتفرم‌های دیجیتال برای دریافت نظرات در مورد پروژه‌ها • تشویق به استفاده از مصالح پایدار از طریق مشوق‌های مالی • ترویج فرهنگ مصرف مسئولانه در حوزه مسکن

مراجع

Abdul-Samad, Z., Xin, L. L., Alaloul, W. S., & Salleh, H. (2024). Towards Industrial Revolution (IR) 4.0 in the construction industry: Readiness of contractors. *Results in Engineering, 22*, Article 102321. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102321

Aigbavboa, C., & Kissi, E. (2025). Digital construction project cost management—an Industry 4.0 framework. In *Digital transformation in construction* (pp. 147–158). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23715-7.00009-3

Alaloul, W. S., Liew, M. S., Zawawi, N. A. W. A., & Mohammed, B. S. (2018). Industry Revolution IR 4.0: Future opportunities and challenges in construction industry. *MATEC Web of Conferences, 203*, Article 02010. https://doi.org/10.1051/matecconf/201820302010

Alawag, A. M., Liew, M. S., Alaloul, W. S., Baarimah, A. O., & Alsalaheen, M. (2024). Implementation of Industrial Revolution 4.0 toward successful practices of total quality management in the sustainable construction industry. *AIP Conference Proceedings, 3041*, Article 060003. https://doi.org/10.1063/5.0194651

Alsaadi, O., Alpkan, L., & Yildiz, B. (2025). Business model innovation as a mediator between construction 4.0 and firm performance: Evidence from Turkish construction companies. *International Journal of Innovation*

Archives of Sexual Behavior, 41(6), 1319–1320. https://doi.org/10.1007/s10508-012-0016-6

Eghbal, F., Ehsanifar, M., Mirhosseini, M., & Mazaheri, H. (2025). Identification and modeling of key factors significant to the financial performance of Iranian construction companies. *System Engineering and Productivity, 4*(4), 77–94. https://doi.org/10.22034/msb.2024.2034092.1218 (In Persian)

Elmousalami, H. H., Maxy, M., Hui, F. K. P., & Aye, L. (2025). AI in automated sustainable construction engineering management. *Automation in Construction, 175*, Article 106202. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106202

Elo, S., & Kyngäs, H. (2008). The qualitative content analysis process. *Journal of Advanced Nursing, 62*(1), 107–115. https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2007.04569.x

Ershadi, M. J., Kianmehr, N., Nabatchian, M., & Dinmohammadi, L. (2024). Designing a productivity assessment model to identify and prioritize influential factors and examine obstacles facing Iranian research organizations. *System Engineering and Productivity, 4*(2), 31–46. https://doi.org/10.22034/msb.2024.2019692.1171 (In Persian)

Fatorachian, H., & Kazemi, H. (2018). A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: Theoretical operationalisation framework. *Production Planning & Control, 29*(8), 633–644. https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1424960

Forcael, E., Ferrari, I., Opazo-Vega, A., & Pulido-Arcas, J. A. (2020). Construction 4.0: A literature review. *Sustainability, 12*(22), Article 9755. https://doi.org/10.3390/su12229755

Graneheim, U. H., & Lundman, B. (2004). Qualitative content analysis in nursing research: Concepts, procedures and measures to achieve trustworthiness. *Nurse Education Today, 24*(2), 105–112. https://doi.org/10.1016/j.nedt.2003.10.001

Guba, E. G. (1981). Criteria for assessing the trustworthiness of naturalistic inquiries. *Educational Communication and Technology Journal, 29*(2), 75–91. https://doi.org/10.1007/BF02766777

Studies, *9*(1), 77-89. https://doi.org/10.1016/j.ijis.2024.12.002

Bahrami, M. R., Hashemzadeh, G. R., Shahmansoury, A., & Fathi Hafshejani, K. (2025). Analyzing effective components in Industry 4.0 maturity for Iranian banking. *System Engineering and Productivity, 5*(1), 21–50. https://doi.org/10.22034/sep.2025.2047848.1246 (In Persian)

Beck, C. T. (1993). Qualitative research: The evaluation of its credibility, fittingness, and auditability. *Western Journal of Nursing Research, 15*(2), 263–266. https://doi.org/10.1177/019394599301500212

Begić, H., & Galić, M. (2021). A systematic review of Construction 4.0 in the context of the BIM 4.0 premise. *Buildings, 11*(8), Article 337. https://doi.org/10.3390/buildings11080337

Boton, C., Rivest, L., Ghnaya, O., & Chouchen, M. (2021). What is at the root of Construction 4.0: A systematic review of the recent research effort. *Archives of Computational Methods in Engineering, 28*(3), 2331–2350. https://doi.org/10.1007/s11831-020-09457-7

Chacón, R. (2021). Designing Construction 4.0 activities for AEC classrooms. *Buildings, 11*(11), Article 511. https://doi.org/10.3390/buildings11110511

Charmaz, K. (2014). *Constructing grounded theory* (2nd ed.). Sage Publications.

Corbin, J., & Strauss, A. (2008). *Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory* (3rd ed.). Sage Publications. https://doi.org/10.4135/9781452230153

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

Creswell, J. W. (2013). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (3rd ed.). Sage Publications.

Deloitte. (2015). *Industry 4.0: Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies*. Deloitte.

Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (Eds.). (2000). *Handbook of qualitative research* (2nd ed.). Sage Publications.

Dworkin, S. L. (2012). Sample size policy for qualitative studies using in-depth interviews.

Hamid, M A., & Rahim, Z.A. (2022). Construction 4.0 readiness and challenges for construction skills training institutions in Malaysia. In *Proceedings of the 5th International Conference on Construction and Building Engineering* (pp. 697–706). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98741-1_58

Jazzar, M. E., Schranz, C., Urban, H., & Nassereddine, H. (2021). Integrating Construction 4.0 technologies: A four-layer implementation plan. *Frontiers in Built Environment, 7*, Article 671408. https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.671408

Jiang, Y., Su, S., Zhao, S., Zhong, R. Y., Qiu, W., Skibniewski, M. J., Brilakis, I., & Huang, G. Q. (2024). Digital twin-enabled synchronized construction management: A roadmap from Construction 4.0 towards future prospect. *Developments in the Built Environment, 19*, Article 100512. https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100512

Karabegović, I., Kovačević, A., Banjanović-Mehmedović, L., & Dašić, P. (Eds.). (2020). *Handbook of research on integrating Industry 4.0 in business and manufacturing*. IGI Global.

Khalili, S., Saeedi, F., Yousefi, S., & Zandpourasl, M. (2025). Investigating the impact of the "attitude and mindset" component on the success of project managers in the Iranian construction industry. *System Engineering and Productivity, 5*(1), 1–19. https://doi.org/10.22034/sep.2025.2046688.1237 (In Persian)

Khan, M., Haleem, A., & Javaid, M. (2023). Changes and improvements in Industry 5.0: A strategic approach to overcome the challenges of Industry 4.0. *Green Technologies and Sustainability, 1*(2), Article 100020. https://doi.org/10.1016/j.grets.2023.100020

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), Article 2683. https://doi.org/10.3390/su13052683

Lee, C., & Lim, C. (2021). From technological development to social advance: A review of Industry 4.0 through machine learning. *Technological Forecasting and Social Change, 167*, Article 120653. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120653

Lincoln, Y. S. (1995). Emerging criteria for quality in qualitative and interpretive research. *Qualitative Inquiry, 1*(3), 275–289. https://doi.org/10.1177/107780049500100301

Liu, X., Antwi-Afari, M. F., Li, J., Zhang, Y., & Manu, P. (2025). BIM, IoT, and GIS integration in construction resource monitoring. *Automation in Construction, 174*, Article 106149. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106149

Long, W., Ng, S. T., Lu, W., Mora, L., & Bao, Z. (2025). Deciphering how digital functions enable circular economy practices in construction: A critical review of recent progress and future outlook. *Environmental Impact Assessment Review, 113*, Article 107889. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2025.107889

Lopes, J. M., & Da Silva Filho, L. C. P. (2024). Adoption of Fourth Industrial Revolution technologies in the construction sector: Evidence from a questionnaire survey. *Buildings, 14*(7), Article 2132. https://doi.org/10.3390/buildings14072132

Maskuriy, R., Selamat, A., Ali, K. N., Maresova, P., & Krejcar, O. (2019). Industry 4.0 for the construction industry—How ready is the industry? *Applied Sciences, 9*(14), Article 2819. https://doi.org/10.3390/app9142819

Mason, M. (2010). Sample size and saturation in PhD studies using qualitative interviews. *Forum: Qualitative Social Research, 11*(3), Article 8. https://doi.org/10.17169/fqs-11.3.1428

Moshood, T. D., Rotimi, J. O., Shahzad, W., & Bamgbade, J. A. (2024). Infrastructure digital twin technology: A new paradigm for future construction industry. *Technology in Society, 77*, Article 102519. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2024.102519

Muñoz-La Rivera, F., Mora-Serrano, J., Valero, I., & Oñate, E. (2021). Methodological-technological framework for Construction 4.0. *Archives of Computational Methods in Engineering, 28*(2), 689–704. https://doi.org/10.1007/s11831-020-09455-9

Nagy, J., Oláh, J., Erdei, E., Máté, D., & Popp, J. (2018). The role and impact of Industry 4.0 and the Internet of Things on the business strategy of the value chain—The case of Hungary. *Sustainability, 10*(10), Article 3491. https://doi.org/10.3390/su10103491

Newman, C., Edwards, D., Martek, I., Lai, J., Thwala, W. D., & Rillie, I. (2021). Industry 4.0

deployment in the construction industry: A bibliometric literature review and UK-based case study. *Smart and Sustainable Built Environment, 10*(4), 557–580. https://doi.org/10.1108/SASBE-02-2020-0016

Palinkas, L. A., Horwitz, S. M., Green, C. A., Wisdom, J. P., Duan, N., & Hoagwood, K. (2015). Purposeful sampling for qualitative data collection and analysis in mixed method implementation research. *Administration and Policy in Mental Health and Mental Health Services Research, 42*(5), 533–544. https://doi.org/10.1007/s10488-013-0528-y

Rahman, M. H., Hasan, M. R., Chowdhury, N. I., Syed, M. A. B., & Farah, M. U. (2024). Predictive health analysis in Industry 5.0: A scientometric and systematic review of motion capture in construction. *Digital Engineering, 1*, Article 100002. https://doi.org/10.1016/j.dte.2024.100002

Royse, D. (2008). *Research methods in social work* (5th ed.). Thomson Brooks/Cole.

Zabidin, N. S., Belayutham, S., & Ibrahim, C. K. I. C. (2020). A bibliometric and scientometric mapping of Industry 4.0 in construction. *J. Inf. Technol. Constr., 25*, 287-307. https://doi.org/10.36680/j.itcon.2020.017

Salaheen, M. A., Alaloul, W. S., Musarat, M. A., Johari, M. A. B., Alzubi, K. M., & Alawag, A. M. (2024). Women career in construction industry after Industrial Revolution 4.0 norm. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 10*(2), Article 100277. https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100277

Saunders, B., Sim, J., Kingstone, T., Baker, S., Waterfield, J., Bartlam, B., Burroughs, H., & Jinks, C. (2018). Saturation in qualitative research: Exploring its conceptualization and operationalization. *Quality & Quantity, 52*(4), 1893–1907. https://doi.org/10.1007/s11135-017-0574-8

Sawhney, A., Riley, M., & Irizarry, J. (Eds.). (2020). *Construction 4.0: An innovation platform for the built environment*. Routledge. https://doi.org/10.1201/9780429398100

Shafei, H., Radzi, A. R., Algahtany, M., & Rahman, R. A. (2022). Construction 4.0 technologies and decision-making: A systematic review and gap analysis. *Buildings, 12*(12), Article 2206. https://doi.org/10.3390/buildings12122206

Sharma, D., Patel, P., & Shah, M. (2023). A comprehensive study on Industry 4.0 in the pharmaceutical industry for sustainable development. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(39), 90088-90098. https://doi.org/10.1007/s11356-023-26856-y

Shoar, S., Yiu, T. W., Payan, S., & Parchamijalal, M. (2023). Modeling cost overrun in building construction projects using the interpretive structural modeling approach: a developing country perspective. *Engineering, Construction and Architectural Management*, *30*(2), 365-392. https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2021-0732

Sima, V., Gheorghe, I. G., Subić, J., & Nancu, D. (2020). Influences of the Industry 4.0 revolution on the human capital development and consumer behavior: A systematic review. *Sustainability, 12*(10), Article 4035. https://doi.org/10.3390/su12104035

Speziale, H. S., & Carpenter, D. R. (2011). *Qualitative research in nursing: Advancing the humanistic imperative* (5th ed.). Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins.

Tahmasebinia, F., Sepasgozar, S. M. E., Shirowzhan, S., Niemela, M., Tripp, A., Nagabhyrava, S., ... & 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

Turner, C. J., Oyekan, J., Stergioulas, L., & Griffin, D. (2020). Utilizing industry 4.0 on the construction site: Challenges and opportunities. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *17*(2), 746-756. https://doi.org/10.1109/TII.2020.3002197

Van Der Heijden, J. (2023). Construction 4.0 in a narrow and broad sense: A systematic and comprehensive literature review. *Building and Environment, 244*, Article 110788. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110788

van der Heijden, J. (2024). Public governance in the context of Construction 4.0: a systematic and comprehensive literature review. *Smart and Sustainable Built Environment*, *13*(3), 737-756. https://doi.org/10.1108/SASBE-06-2023-0150

Villar, L. M., Oliva-Lopez, E., Luis-Pineda, O., Benešová, A., Tupa, J., & Garza-Reyes, J. A. (2020). Fostering economic growth, social inclusion & sustainability in Industry 4.0: A systemic approach. *Procedia Manufacturing, 51*, 1755–1762. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.244

Wang, K., & Guo, F. (2022). Towards sustainable development through the perspective of Construction 4.0: Systematic literature review and bibliometric analysis. *Buildings, 12*(10), Article 1708. https://doi.org/10.3390/buildings12101708

Wang, K., Guo, F., Zhang, C., & Schaefer, D. (2024). From Industry 4.0 to Construction 4.0: barriers to the digital transformation of engineering and construction sectors. *Engineering, construction and architectural management*, *31*(1), 136-158. https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2022-0383

You, Z., & Feng, L. (2020). Integration of Industry 4.0 related technologies in construction industry: A framework of cyber-physical system. *IEEE Access, 8*, 122908–122922. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3007206

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی