KMAN PUBLISHING INSTITUTE
Journal Website

Article history:
Received 15 March 2026
Revised 17 June 2026
Accepted 26 June 2026
Initial Publication 27 June 2026
Final Publication 23 September 2026

Journal of Technology in Entrepreneurship and Strategic Management

Volume 5, Issue 3, pp 1-27

E-ISSN: 3041-8585

System Dynamics–Based Modeling of Risk in Construction Projects with a Focus on Schedule Delay Phenomena

Ehsan. Kaviani[1], Heirsh. Soltanpanah[2*], Amir. Asad Nasri Zar[1], Mohammad. Sediq Sabeti[1]

[1] Department of Civil Engineering, Sa.C., Islamic Azad University, Sanandaj, Iran
[2] Department of Management, Sa.C., Islamic Azad University, Sanandaj, Iran

*** Corresponding author email address:** heirsh@iau.ac.ir

A r t i c l e I n f o

Article type:
Original Research

How to cite this article:
Kaviani, E., Soltanpanah, H., Asad Nasri Zar, A., & Sediq Sabeti, M. (2026). System Dynamics–Based Modeling of Risk in Construction Projects with a Focus on Schedule Delay Phenomena. *Journal of Technology in Entrepreneurship and Strategic Management, 5*(3), 1-27.

© 2026 the authors. Published by KMAN Publication Inc. (KMANPUB), Ontario, Canada. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

A B S T R A C T

This study aimed to develop a system dynamics–based structural framework for identifying, validating, and analyzing the causal relationships among risk factors contributing to delays in construction projects. This study adopted a mixed and multi-stage analytical design. First, a systematic review of Persian and English literature was conducted, and qualitative content analysis was applied to extract delay-related factors and organize them into conceptual codes and thematic clusters. Second, a three-round Delphi process was implemented with academic and professional experts in construction management to refine and validate the extracted variables. The content validity of the instrument was assessed using the content validity ratio and content validity index. Finally, the DEMATEL technique was used to examine the intensity and direction of causal relationships among the validated clusters and to determine the influential and dependent roles of variables within the delay-generation system. The Delphi results confirmed 31 final variables, of which 20 reached full consensus and 11 reached moderate consensus. Kendall's coefficient of concordance was 0.35, indicating a moderate-to-favorable and statistically significant level of agreement among experts (χ^2=189, df=30, p<0.001). All final items exceeded the acceptable CVR threshold, and the CVI values for all items were above 0.79. The DEMATEL results indicated that the financial–time dynamics cluster functioned as the main causal driver of the system, the cost–quality dynamics cluster operated as an intermediary mechanism transmitting and redistributing disruptions, and the time–quality dynamics cluster represented the domain in which delay-related consequences accumulated and became observable. Delay in construction projects is not an isolated or temporary operational failure but a structural instability produced by the dynamic interaction of time, cost, quality, and risk; therefore, effective delay control requires integrated management of financial flows, quality mechanisms, organizational learning, and project feedback loops.

Keywords: *project delay, construction risk, system dynamics, DEMATEL, Delphi method, time–cost–quality*

Extended Abstract

Introduction

Construction projects are inherently complex systems in which technical, financial, contractual, organizational, and environmental uncertainties interact over time and shape project performance. Because these projects involve multiple stakeholders, sequential and interdependent activities, large capital commitments, resource constraints, regulatory requirements, and changing site conditions, they are highly exposed to risks that may disrupt planned time, cost, and quality targets. Delay is one of the most frequent and consequential outcomes of such risks, as it extends project duration beyond the contractual or planned schedule and often leads to cost escalation, claims, disputes, productivity losses, quality deterioration, and reduced stakeholder satisfaction (Ahmed et al., 2003; Al Momani, 2000; Amoah et al., 2024; Assaf & Al Hejji, 2006). Previous studies across different national and project contexts have shown that delay is rarely produced by a single factor. Rather, it commonly emerges from the combined effects of late payments, weak planning, design changes, poor contractor performance, inadequate site management, material shortages, labor inefficiency, contractual ambiguity, unstable economic conditions, and ineffective communication among project parties (Alsuliman, 2019; Desai & Bhatt, 2013; Kaliba et al., 2009; Koushki et al., 2005; Le Hoai et al., 2008; Mahamid et al., 2011). More recent research has further emphasized that delay risk is intensified in complex project environments such as high-rise buildings, design–build contracts, and projects exposed to technological, sustainability, and institutional pressures (Asmi et al., 2025; Elsamni et al., 2026; Ikhsan & Abdurrahman, 2025; Vahedi Nikbakht et al., 2024). In the Iranian construction context, evidence similarly indicates that contractor-related delays, rework, weak project control, payment problems, and structural–dynamic interactions among risk factors are central causes of schedule disruption (Goodarzi et al., 2024; Moaveni & Shariatmadar, 2021; Mousavi & Valipour, 2024; Shamaei et al., 2021). Although many studies have contributed to identifying and ranking delay factors, much of the literature still treats these factors as isolated variables and therefore provides a limited explanation of how delay is generated, amplified, and reproduced within the project system (Aung et al., 2023; Goldoust & Shoja, 2023; Rahman & Adnan, 2020; Sankar & Shashikanth, 2022). This limitation is important because delay in construction projects is not simply the sum of separate causes; it is a dynamic behavior produced by feedback loops among time pressure, cost constraints, quality deterioration, managerial decisions, contractual relations, and learning failures. Contractual ambiguity and dispute resolution mechanisms also influence delay formation by shaping how disagreements, claims, and changes are handled during execution (Moradian Zazerani et al., 2023). In addition, scheduling quality and the realism of time allocation are critical because unrealistic schedules may activate pressure on quality control and increase the probability of rework (Esmaeili & Khanzadi, 2024). System dynamics offers a useful lens for addressing this gap because it focuses on causal structure, feedback mechanisms, nonlinearity, accumulation, and delayed consequences in complex systems. Recent system dynamics studies in construction have shown that risk factors interact dynamically and that project delay should be analyzed as an endogenous outcome of the project structure rather than as a purely external or discrete event (Wang et al., 2025; Zhao et al., 2025). Therefore, the present study developed a system dynamics–based structural framework to model construction project delay risk by identifying key variables, validating them through expert consensus, and analyzing causal relationships among time, cost, and quality dynamics.

Methods and Materials

This study used a multi-stage mixed analytical design to identify, validate, and structure the causal mechanisms underlying delay risk in construction projects. In the first stage, a systematic review of Persian and English scientific literature was conducted across relevant academic databases. The extracted studies were examined through qualitative content analysis using open, axial, and selective coding. This phase aimed to identify the main delay-related factors and organize them into meaningful conceptual clusters. The qualitative process produced an initial set of codes and thematic categories that formed the preliminary architecture of a time–cost–quality model. In the second stage, the Delphi technique was used to refine and validate the extracted variables. Expert judgments were collected through iterative rounds, and the variables were revised based on the level of agreement among academic and professional specialists in construction management and project systems. Measures of consensus and content validity were used to assess the stability and adequacy of the expert-based instrument. In the third stage, the DEMATEL method was applied to analyze the intensity and direction of causal relationships among the validated factors and clusters. Pairwise comparison data were collected from experienced specialists, normalized, and used to calculate cause–effect indicators. This procedure made it possible to distinguish influential and dependent components, identify the dominant causal paths, and interpret delay as a structural behavior emerging from interactions among financial–time, cost–quality, and time–quality dynamics.

Findings

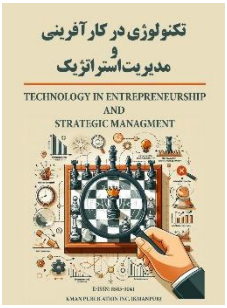
The qualitative content analysis identified 15 initial codes organized into eight thematic clusters, which provided the foundation for conceptualizing delay within a time–cost–quality structure. These clusters were subsequently reorganized into three major causal domains: financial–time dynamics, time–quality balance, and cost–quality balance. The first domain represented the interaction between financial pressure and schedule disruption; the second captured the relationship between time pressure, quality control, and rework; and the third reflected the reciprocal effects of cost constraints, quality compromise, corrective costs, and organizational learning. The Delphi results refined the conceptual structure and consolidated it into 31 key variables. Of these variables, 20 achieved full expert consensus and 11 achieved moderate consensus. The financial–time dynamics cluster included variables such as cash-flow pressure, delay in payments and budget allocation, delay in permits, slow decision-making, force majeure events, changes in work volume, nonstandard contracts, unclear project scope, weak performance management, weak planning, and incomplete feasibility studies. The time–quality cluster included execution errors, rework, reduced time for quality control and testing, design-change pressure, consultant change, project knowledge documentation, and coordination problems among project parties. The cost–quality cluster included unreasonably low contractor bids, weak contractor and consultant selection, unrealistic scheduling, unskilled labor, weak initial estimation, compromise of quality for cost reduction, and weak learning loops. Kendall’s coefficient of concordance was 0.35, indicating a moderate-to-favorable and statistically significant level of agreement among experts. The content validity results also confirmed the conceptual adequacy of the final variables, as all retained items exceeded the acceptable threshold for necessity and all content validity index values were above the required level. The DEMATEL findings showed that financial–time dynamics functioned as the primary causal driver of systemic disturbance.

E-ISSN: 3041-8585

Cost–quality dynamics operated as an intermediary structural mechanism that transmitted financial and temporal pressures into operational decisions and quality-related consequences. Time–quality dynamics represented the domain in which cumulative effects became visible through quality decline, rework, corrective actions, and schedule extension. Overall, project delay emerged as the result of a sequential causal chain in which financial–time disturbances first affect cost–quality dynamics, and the resulting changes then influence time–quality behavior.

Discussion and Conclusion

The findings indicate that construction delay should not be interpreted as a temporary operational inefficiency or a simple failure of scheduling. Rather, delay is a structural instability produced by the dominance of reinforcing feedback loops over balancing mechanisms within the project system. Financial and temporal disturbances initiate pressure on project execution, but their effects are intensified when cost-saving decisions, poor contractor selection, weak estimation, reduced quality control, and insufficient learning mechanisms transfer these pressures into the operational layer. Once quality deteriorates, errors and rework increase, which in turn extend project duration and generate additional costs. This creates a self-reinforcing cycle in which delay produces the conditions for further delay. The study therefore shows that quality is not merely an output indicator but a central regulating mechanism in the time–cost–quality system. If quality control, documentation, and learning loops are active, they can reduce rework and limit the expansion of delay. However, if these mechanisms are weak, quality deterioration becomes a pathway through which financial and schedule pressures are converted into persistent project instability. The practical implication is that delay control requires an integrated approach rather than isolated corrective actions. Managers should monitor financial flows, payment processes, scope clarity, contractor and consultant selection, schedule realism, quality-control capacity, and organizational learning as interdependent components of one system. The proposed model contributes to construction project risk management by moving beyond factor listing and ranking and by offering a causal explanation of how delay is generated through feedback among time, cost, and quality. It also provides a basis for future quantitative simulation and scenario testing. In conclusion, effective delay management depends on identifying the causal structure of the project system, weakening reinforcing loops that amplify delay, and strengthening balancing mechanisms that preserve quality, learning, coordination, and financial stability.



شاپای الکترونیکی: ۸۵۸۵-۳۰۴۱

تکنولوژی در کارآفرینی و مدیریت استراتژیک

دوره ۵، شماره ۳، صفحه ۲۷-۱

PUBLISHING INSTITUTE

وبسایت مجله

تاریخچه مقاله
دریافت شده در تاریخ ۲۴ اسفند ۱۴۰۴
اصلاح شده در تاریخ ۲۷ خرداد ۱۴۰۵
پذیرفته شده در تاریخ ۵ تیر ۱۴۰۵
اولین انتشار در تاریخ ۶ تیر ۱۴۰۵
انتشار نهایی در تاریخ ۱ مهر ۱۴۰۵

مدلسازی ریسک پروژههای ساختمانی با استفاده از رویکرد پویایی سیستم و تأکید بر پدیده بروز تأخیر

احسان کاویانی[۱]، هیرش سلطان پناه[۲*]، امیر اسعد نصری زر[۱]، محمد صدیق ثابتی[۱]

۱. گروه مهندسی عمران، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران
۲. گروه مدیریت، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: heirsh@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله
پژوهشی اصیل

نحوه استناد به این مقاله:
کاویانی، احسان.، سلطان پناه، هیرش.، اسعد نصری زر، امیر.، و صدیق ثابتی، محمد. (۱۴۰۵). مدلسازی ریسک پروژههای ساختمانی با استفاده از رویکرد پویایی سیستم و تأکید بر پدیده بروز تأخیر. *تکنولوژی در کارآفرینی و مدیریت استراتژیک*، ۵(۳)، ۲۷-۱.

© ۱۴۰۵ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است. انتشار این مقاله بصورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY-NC 4.0) صورت گرفته است.

چکیده

هدف این پژوهش، ارائه یک چارچوب ساختاری مبتنی بر پویایی سیستم برای شناسایی، اعتبارسنجی و تحلیل روابط علّی میان ریسکهای مؤثر بر تأخیر در پروژههای ساختمانی بود. این مطالعه با رویکردی ترکیبی و چندمرحلهای انجام شد. در مرحله نخست، با استفاده از مرور نظاممند ادبیات و تحلیل محتوای کیفی، عوامل مؤثر بر تأخیر در پروژههای ساختمانی استخراج و در قالب کدها و خوشههای مفهومی سازماندهی شدند. سپس، برای پالایش و اعتبارسنجی متغیرها، فرایند دلفی در سه راند با مشارکت خبرگان دانشگاهی و حرفهای حوزه مدیریت ساخت اجرا شد. روایی محتوایی ابزار با شاخصهای CVR و CVI بررسی گردید. در مرحله نهایی، روش DEMATEL برای تحلیل شدت و جهت روابط علّی میان خوشهها و تعیین نقش اثرگذار و اثرپذیر متغیرها به کار گرفته شد. نتایج دلفی نشان داد که از میان ۳۱ متغیر نهایی، ۲۰ متغیر دارای اجماع کامل و ۱۱ متغیر دارای اجماع متوسط بودند. ضریب هماهنگی کندال برابر با ۰.۳۵ به دست آمد که بیانگر توافق متوسط تا مطلوب و از نظر آماری معنادار بود (χ^2=۱۸۹, df=۳۰, p<۰.۰۰۱). تمامی گویههای نهایی حداقل مقدار قابل قبول CVR را کسب کردند و شاخص CVI نیز برای همه گویهها بالاتر از ۰.۷۹ بود. نتایج DEMATEL نشان داد که خوشه پویایی مالی–زمانی مهمترین محرک علّی سیستم است، خوشه توازن هزینه–کیفیت نقش میانجی و انتقالدهنده اختلالات را دارد، و خوشه تعادل زمان–کیفیت محل بروز و انباشت پیامدهای تأخیر محسوب میشود. تأخیر در پروژههای ساختمانی پدیدهای منفرد و مقطعی نیست، بلکه پیامد ناپایداری ساختاری ناشی از تعامل پویای زمان، هزینه، کیفیت و ریسک است؛ بنابراین، کنترل مؤثر تأخیر مستلزم مدیریت همزمان جریانهای مالی، سازوکارهای کیفیت، یادگیری سازمانی و حلقههای بازخوردی پروژه است.

کلیدواژگان: *تأخیر پروژه، ریسک ساختوساز، پویایی سیستم، DEMATEL، روش دلفی، زمان–هزینه–کیفیت*

مقدمه

پروژههای ساختمانی به دلیل ماهیت چندعاملی، وابستگی شدید به منابع مالی و انسانی، تنوع ذینفعان، تعدد فعالیتهای فنی و اجرایی، و تأثیرپذیری از شرایط محیطی و نهادی، از پیچیدهترین انواع پروژهها در نظامهای عمرانی و اقتصادی به شمار میروند. این پروژهها معمولاً در بستری اجرا میشوند که در آن محدودیت زمان، فشار هزینه، الزامات کیفی، تغییرات طراحی، ملاحظات قراردادی، نوسانات بازار، و الزامات پایداری بهطور همزمان بر تصمیمگیریهای مدیریتی اثر میگذارند. ازاینرو، موفقیت در اجرای پروژههای ساختمانی صرفاً به برنامهریزی اولیه یا تخصیص منابع وابسته نیست، بلکه به توانایی نظام مدیریت پروژه در شناسایی، تحلیل و کنترل شبکهای از ریسکهای بههمپیوسته بستگی دارد. ادبیات مدیریت ریسک نشان میدهد که ریسک در پروژههای ساختمانی نه یک عامل منفرد، بلکه مجموعهای از عدمقطعیتهای فنی، مالی، قراردادی، اجرایی، سازمانی و محیطی است که میتواند در مراحل مختلف چرخه عمر پروژه ظاهر شده و عملکرد نهایی آن را تحت تأثیر قرار دهد (Aung et al., 2023; Rahman & Adnan, 2020; Sankar & Shashikanth, 2022). در سالهای اخیر، تأکید بر ساختوساز پایدار نیز ابعاد جدیدی به پیچیدگی پروژههای ساختمانی افزوده است؛ زیرا تحقق پایداری مستلزم هماهنگی میان کیفیت اجرا، کارایی منابع، کنترل هزینه، زمانبندی مناسب و الزامات محیطی و اجتماعی است (Elsamni et al., 2026).

در میان پیامدهای ناشی از ریسکهای ساختمانی، تأخیر پروژه یکی از مهمترین و فراگیرترین چالشها محسوب میشود. تأخیر زمانی رخ میدهد که مدت اجرای پروژه از زمان پیشبینیشده در قرارداد یا برنامه مصوب فراتر رود و این وضعیت میتواند موجب افزایش هزینهها، بروز ادعاهای قراردادی، افت کیفیت، کاهش اعتماد کارفرما، تعارض میان ذینفعان و حتی توقف یا نیمهتمام ماندن پروژه شود. در مطالعات کلاسیک و جدید، تأخیر بهعنوان یکی از شاخصهای اصلی ناکارآمدی عملکرد پروژه معرفی شده است؛ زیرا افزایش زمان اجرا معمولاً با افزایش هزینههای غیرمستقیم، کاهش بهرهوری منابع، تغییر در برنامه تأمین مصالح و تجهیزات، و کاهش ظرفیت تصمیمگیری بهموقع همراه میشود (Amoah et al., 2024; Desai & Bhatt, 2013). از سوی دیگر، تأخیر در پروژههای ساختمانی صرفاً یک انحراف زمانی نیست، بلکه پدیدهای چندبعدی است که با ریسکهای مالی، مدیریتی، فنی، قراردادی و انسانی پیوند دارد و میتواند اثرات زنجیرهای بر سایر ابعاد عملکرد پروژه برجای بگذارد (Albtoush, 2025). بنابراین، فهم دقیق تأخیر نیازمند رویکردی است که بتواند هم عوامل مولد آن و هم روابط درونی و متقابل میان این عوامل را تحلیل کند.

مطالعات اولیه در حوزه تأخیر پروژههای ساختمانی عمدتاً بر شناسایی و رتبهبندی عوامل تأخیر تمرکز داشتهاند. برای نمونه، پژوهشهای انجامشده در کشورهای مختلف نشان دادهاند که علل تأخیر میتواند شامل ضعف برنامهریزی، تغییرات طراحی، تأخیر در پرداختها، کمبود مصالح، عملکرد نامناسب پیمانکار، ضعف ارتباطات، مشکلات کارفرما، ناکارآمدی مشاوران، شرایط نامساعد محیطی و نوسانات اقتصادی باشد. در اردن، تحلیل کمی تأخیرهای ساختمانی نشان داد که عوامل مدیریتی، مالی و اجرایی نقش مهمی در افزایش زمان پروژه دارند (Al Momani, 2000). در ایالات متحده نیز مطالعه تأخیرهای صنعت ساخت نشان داد که مشکلات برنامهریزی، مدیریت کارگاه و هماهنگی میان عوامل اجرایی از محرکهای اصلی تأخیر هستند (Ahmed et al., 2003). در کویت، تأخیر و افزایش هزینه در پروژههای مسکونی خصوصی با مشکلات مالی، تغییرات کارفرما، کمبود مصالح و ضعف مدیریت پروژه مرتبط دانسته شده است (Koushki et al., 2005). همچنین، در پروژههای بزرگ ساختمانی عربستان، عوامل مربوط به کارفرما، پیمانکار، مشاور، منابع و محیط اجرایی بهعنوان علل اصلی تأخیر شناسایی شدهاند (Assaf & Al Hejji, 2006). مطالعات تطبیقی در ویتنام نیز نشان دادهاند که تأخیر و اضافههزینه در پروژههای بزرگ ساختمانی اغلب از ترکیب ضعف مدیریت، نوسانات منابع، تغییرات طراحی و شرایط اقتصادی ناشی میشود (Le Hoai et al., 2008).

شواهد پژوهشی در حوزه پروژههای زیربنایی و راهسازی نیز بر ماهیت چندریشهای تأخیر تأکید دارند. بررسی پروژههای راهسازی در زامبیا نشان داد که افزایش هزینه و تأخیر زمانی تحت تأثیر عواملی چون مشکلات مالی، ضعف در برنامهریزی، تغییرات طراحی، کمبود تجهیزات و شرایط نامساعد محیطی قرار دارد (Kaliba et al., 2009). در پروژههای راهسازی فلسطین نیز عوامل مرتبط با کارفرما، پیمانکار، منابع، شرایط بازار و ضعف تصمیمگیری از مهمترین دلایل تأخیر گزارش شدهاند (Mahamid et al., 2011). در پروژههای عمومی عربستان، تأخیر در پرداختها، تغییرات دستورکار، ضعف هماهنگی، مشکلات طراحی و ناکارآمدی تصمیمگیری کارفرما از عوامل مهم تأخیر معرفی شدهاند (Alsuliman, 2019). این مطالعات نشان میدهند که اگرچه شدت و نوع عوامل تأخیر بسته به زمینه اقتصادی، حقوقی و نهادی هر کشور متفاوت است، اما در اغلب پروژههای ساختمانی، تأخیر حاصل تعامل میان سه حوزه اصلی یعنی زمان، هزینه و کیفیت است.

در سالهای اخیر، پژوهشگران تلاش کردهاند با بهکارگیری روشهای تصمیمگیری چندمعیاره، تحلیل ریسک، و مدلسازی ساختاری، شناخت دقیقتری از عوامل تأخیر ارائه دهند. در پروژههای مرتفع، ریسک تأخیر بهطور ویژه با پیچیدگی فنی، دشواری هماهنگی میان تیمها، فشار زمانبندی و وابستگی زیاد به جریان نقدینگی ارتباط دارد (Asmi et al., 2025). در قراردادهای طراحی–ساخت نیز ابهام در محدوده کار، تغییرات طراحی، ضعف هماهنگی میان طرفین و ساختار قراردادی نامناسب میتواند زمینهساز تأخیرهای گسترده شود (Ikhsan & Abdurrahman, 2025). در مطالعات مربوط به پروژههای بلندمرتبه، استفاده از روشهایی مانند AHP و VIKOR نشان داده است که عوامل مدیریتی، مالی، فنی و منابع انسانی در رتبهبندی ریسک تأخیر جایگاه برجستهای دارند (Vahedi Nikbakht et al., 2024). همچنین، ارزیابی ریسک پروژههای ساختمانی با روش ANP نشان داده است که وابستگی متقابل میان عوامل، تحلیل خطی و تکعاملی را ناکافی میسازد و باید روابط شبکهای میان متغیرها در نظر گرفته شود (Mousavi & Valipour, 2024). مطالعات داخلی نیز با استفاده از روشهای تحلیل سلسلهمراتبی فازی نشان دادهاند که شاخصهای مرتبط با پیمانکار، مدیریت، منابع و برنامهریزی نقش تعیینکنندهای در تأخیر پروژههای ساختمانی دارند (Shamaei et al., 2021).

با وجود اهمیت گسترده شناسایی عوامل تأخیر، بخش مهمی از ادبیات موجود همچنان بر رتبهبندی عوامل بهصورت مستقل تمرکز دارد؛ در حالی که در عمل، عوامل تأخیر بهصورت جداگانه عمل نمیکنند، بلکه در قالب زنجیرهها و حلقههای علّی با یکدیگر در ارتباطاند. برای مثال، ضعف در برآورد اولیه هزینه میتواند موجب کمبود بودجه شود؛ کمبود بودجه میتواند سرعت تأمین منابع را کاهش دهد؛ کاهش سرعت تأمین منابع میتواند زمان اجرای پروژه را افزایش دهد؛ و افزایش زمان اجرا میتواند هزینههای غیرمستقیم و فشار مالی جدیدی ایجاد کند. به همین ترتیب، فشردگی غیرواقعی برنامه زمانبندی ممکن است موجب کاهش زمان کنترل کیفیت شود؛ کاهش کنترل کیفیت میتواند خطا، دوبارهکاری و اصلاحات فنی را افزایش دهد؛ و دوبارهکاری نیز به افزایش زمان و هزینه منجر شود. این منطق نشان میدهد که تأخیر نه یک پیامد ساده، بلکه یک رفتار پویای برآمده از ساختار درونی پروژه است. پژوهشهای مربوط به اثر زمانبندی بر تأخیر پروژهها نیز نشان میدهند که کیفیت برنامهریزی، دقت برآوردها، و واقعبینی در تخصیص زمان نقش مهمی در جلوگیری از انحرافات بعدی دارند (Esmaeili & Khanzadi, 2024). از سوی دیگر، دوبارهکاری در پروژههای ایران که اغلب ناشی از ضعف طراحی، خطاهای اجرایی، تصمیمگیری نامناسب و نبود تکنیکهای ساخت ناب است، خود بهعنوان یکی از مسیرهای اصلی تولید تأخیر و افزایش هزینه شناخته میشود (Moaveni & Shariatmadar, 2021).

در زمینه ایران، پیچیدگی تأخیر در پروژههای ساختمانی از آن جهت اهمیت بیشتری دارد که این پروژهها غالباً با نوسانات اقتصادی، محدودیت نقدینگی، تغییرات قیمت مصالح، مشکلات تأمین، تغییرات مدیریتی، ضعف هماهنگی میان ذینفعان، و گاه ابهامهای قراردادی مواجهاند. مطالعات داخلی نشان دادهاند که تأخیر پروژههای ساختمانی در ایران اغلب محصول تعامل میان عوامل مدیریتی، مالی، قراردادی و

E-ISSN: 3041-8585

محیطی است. برای نمونه، رویکردهای فراترکیب در تحلیل علل تأخیر نشان دادهاند که منابع تأخیر را میتوان در حوزههای کارفرما، پیمانکار، مشاور، منابع، ویژگیهای پروژه و محیط طبقهبندی کرد (Goldoust & Shoja, 2023). همچنین، تحلیلهای ساختاری–دینامیک در ایران بیانگر آن است که فشارهای اقتصادی، محدودیتهای تأمین، ضعف مدیریت پروژه و تغییرات محیطی میتوانند در یک ساختار بازخوردی به تشدید تأخیر منجر شوند (Goodarzi et al., 2024). افزون بر این، در پروژههای بینالمللی و داخلی، ابهامهای قراردادی و اختلافات ناشی از تفسیر مفاد قرارداد میتواند یکی از زمینههای مهم بروز تعارض، توقف کار و افزایش زمان اجرای پروژه باشد (Moradian Zazerani et al., 2023). بنابراین، تحلیل تأخیر در بستر ایران مستلزم توجه همزمان به ساختارهای مالی، قراردادی، سازمانی و فنی است.

در این میان، رویکرد پویایی سیستم میتواند افق تحلیلی مناسبتری برای مطالعه تأخیر فراهم کند. پویایی سیستم بر این فرض استوار است که رفتارهای پیچیده و پایدار در سیستمها غالباً نتیجه ساختارهای علّی، حلقههای بازخوردی، تأخیرهای زمانی، انباشتها و تعاملات غیرخطی میان اجزای سیستم هستند. در پروژههای ساختمانی، بسیاری از پیامدهای نامطلوب مانند افزایش زمان، رشد هزینه، افت کیفیت و تکرار خطاها، از تصمیمات مقطعی و واکنشهای مدیریتی کوتاهمدت ناشی میشوند که در طول زمان اثرات تجمعی و گاه ناخواسته تولید میکنند. پژوهشهای جدید مبتنی بر پویایی سیستم در حوزه تأخیر پروژههای ساختمانی نشان دادهاند که ریسکهای تأخیر ماهیتی پویا دارند و نمیتوان آنها را صرفاً با روشهای ایستا و رتبهبندی خطی توضیح داد (Zhao et al., 2025). همچنین، کاربرد پویایی سیستم در تحلیل عوامل مؤثر بر توسعه و ترویج فناوریهای ساختمانی نشان میدهد که شبکههای همرخدادی، روابط علّی و حلقههای بازخورد میتوانند فهم عمیقتری از رفتار سیستمهای ساختوساز ارائه دهند (Wang et al., 2025). از این منظر، تأخیر در پروژه ساختمانی نه فقط نتیجه ضعف یک عامل، بلکه نتیجه غلبه حلقههای تقویتی بر سازوکارهای تعدیلکننده در سیستم پروژه است.

یکی از چارچوبهای مفهومی مناسب برای تحلیل تأخیر، بررسی همزمان سه محور زمان، هزینه و کیفیت است. این سه محور در مدیریت پروژه بهطور سنتی بهعنوان محدودیتهای اصلی پروژه شناخته میشوند؛ اما در عمل، رابطه میان آنها خطی و ساده نیست. کاهش زمان اجرا میتواند موجب فشار بر کیفیت شود؛ افت کیفیت میتواند دوبارهکاری و هزینههای اصلاحی ایجاد کند؛ افزایش هزینه میتواند جریان نقدینگی را مختل سازد؛ و اختلال نقدینگی نیز میتواند زمان اجرای پروژه را افزایش دهد. در نتیجه، سیستم پروژه در معرض چرخههایی قرار میگیرد که در آنها تأخیر، هزینه و کیفیت یکدیگر را بازتولید میکنند. پژوهشهای مدیریت ریسک نشان میدهند که نبود سازوکارهای مناسب برای اندازهگیری عملکرد مدیریت ریسک، ضعف در تحلیل علّی عوامل، و اتکای بیش از حد به ارزیابیهای مقطعی، میتواند توان کنترل تأخیر را کاهش دهد (Rahman & Adnan, 2020; Sankar & Shashikanth, 2022). به همین دلیل، شناسایی عوامل تأخیر باید با تحلیل روابط علّی و سازوکارهای بازخوردی همراه شود تا مشخص گردد کدام عوامل محرک، کدام عوامل میانجی، و کدام عوامل پیامدی هستند.

بر اساس مرور ادبیات، میتوان گفت که مطالعات پیشین سهم مهمی در شناسایی عوامل تأخیر، طبقهبندی منابع ریسک و ارائه روشهای رتبهبندی داشتهاند؛ بااینحال، چند خلأ اساسی همچنان باقی است. نخست آنکه بسیاری از پژوهشها تأخیر را بهعنوان متغیر خروجی نهایی در نظر گرفتهاند و کمتر به تأخیر بهمثابه رفتاری درونزا و ناشی از تعاملات ساختاری سیستم پروژه توجه کردهاند. دوم آنکه در بسیاری از مطالعات، زمان، هزینه و کیفیت بهصورت جداگانه بررسی شدهاند، در حالی که شواهد نشان میدهد این سه محور در قالب روابط وابسته به مسیر و حلقههای بازخوردی عمل میکنند. سوم آنکه در بستر پروژههای ساختمانی ایران، اگرچه عوامل تأخیر بهطور گسترده شناسایی شدهاند، اما تحلیل ساختاری و پویای نحوه اثرگذاری متقابل آنها هنوز نیازمند توسعه بیشتر است. ازاینرو، ترکیب تحلیل کیفی، نظر خبرگان و روشهای علّی مانند DEMATEL در چارچوب تفکر پویایی سیستم میتواند درک دقیقتری از منطق شکلگیری تأخیر ارائه کند و مسیرهای مداخله مدیریتی را روشنتر سازد.

هدف پژوهش حاضر، مدلسازی ریسک پروژههای ساختمانی با استفاده از رویکرد پویایی سیستم و تحلیل روابط علّی میان عوامل مؤثر بر بروز تأخیر با تأکید بر تعامل سهگانه زمان، هزینه و کیفیت است.

روش پژوهش

این پژوهش بر پایه یک چارچوب مرحلهای و ترکیبی طراحی شده است تا هم عوامل بنیادین تأخیر در پروژههای ساختمانی شناسایی شوند و هم نحوه اثرگذاری آنها در یک ساختار علّی قابل اتکا تبیین گردد. در گام نخست، مرور نظاممند ادبیات علمی فارسی و انگلیسی منتشرشده در پایگاههایی مانند Scopus، Web of Science، نورمگز و SID انجام شد. تحلیل محتوای کیفی بر اساس رویکرد استقرایی و کدگذاری باز، محوری و انتخابی صورت گرفت و اصول اعتمادپذیری لینکلن و گوبا برای تضمین روایی و شفافیت فرایند رعایت شد. خروجی این مرحله مجموعهای مفهومی از عوامل مؤثر بر تأخیر بود.

در مرحله دوم، برای پالایش و اعتبارسنجی یافتهها، تکنیک دلفی به کار گرفته شد. پرسشنامهای پنجگزینهای میان ۱۱ خبره دانشگاهی و صنعت ساخت توزیع شد و طی سه راند رفتوبرگشتی برای رسیدن به اجماع اجرا گردید. میزان همگرایی نظرات با ضریب توافق کندال سنجیده شد و روایی محتوایی پرسشنامه از طریق بازبینی خبرگان تأیید شد. نتیجه این مرحله فهرستی نهایی و اجماعشده از عوامل کلیدی بود.

در مرحله سوم، روابط میان عوامل با استفاده از روش DEMATEL تحلیل شد. دادههای این بخش از طریق پرسشنامه مقایسه زوجی و از ۱۵ متخصص با حداقل ده سال تجربه حرفهای گردآوری شد. پس از نرمالسازی ماتریس اثرات، شاخصهای D و R برای تعیین نقش هر عامل در شبکه علت–معلولی محاسبه گردید و ساختار عوامل اثرگذار و اثرپذیر مشخص شد.

این رویکرد سهمرحلهای، چارچوبی منسجم برای شناسایی معتبر عوامل و تحلیل دقیق روابط علّی آنها فراهم کرد و مبنایی قابل اتکا برای تفسیر و تحلیل نهایی تأخیر در پروژههای ساختمانی ایجاد نمود.

یافتهها

یافتههای این پژوهش بر پایه یک فرایند منسجم سهمرحلهای به دست آمده است. در گام نخست، تحلیل محتوای کیفی به شناسایی اولیه عوامل مؤثر بر تأخیر پروژهها انجامید. این مجموعه در مرحله دلفی مورد ارزیابی و بازبینی خبرگان قرار گرفت تا فهرستی نهایی و اجماعیافته تثبیت شود. در مرحله پایانی نیز روش DEMATEL برای تحلیل ساختار روابط علّی و تعیین شدت اثرگذاری و اثرپذیری عوامل به کار گرفته شد. نتایج ارائهشده در این بخش حاصل ترکیب منظم یافتههای این سه مرحله است.

یافتههای تحلیل محتوای کیفی

گام ۱: تعیین واحد تحلیل و آمادهسازی دادهها

در این پژوهش، هر مطالعه معتبر بهصورت یک واحد تحلیل در نظر گرفته شد تا امکان مقایسه مفهومی میان منابع فراهم شود. برای هر واحد، مجموعهای از متغیرهای گزارششده، روابط علّی، زمینه بررسی و رویکرد تحلیلی استخراج شد تا یک بسته معنایی منسجم شکل گیرد. پس از غربالگری کیفی منابع، تنها مطالعات قابل اتکا وارد کدگذاری شدند. این فرایند، پایهای ساختاری برای شناسایی الگوهای مشترک و آغاز کدگذاری اولیه ایجاد کرد.

E-ISSN: 3041-8585

گام ۲: استخراج کدهای اولیه

در این مرحله، کدهای اولیه با رویکردی استقرایی و تفسیری و بر پایه بازخوانی دقیق مطالعات استخراج شدند. هدف، تبدیل دادههای روایی به مفاهیم قابلتحلیل بود؛ همان مرحلهای که مایلز و هابرمن از آن بهعنوان شکلگیری «زبان داده» یاد میکنند. معنا در این فرایند بدون تکیه بر چارچوب نظری پیشینی و صرفاً از دل متن پدید آمد و مسیر تصمیمهای تحلیلی نیز برای حفظ بازتابپذیری ثبت شد.

استخراج کدها طی سه گام انجام شد: ابتدا واحدهای معنایی شامل گزارههای علّی و پیامدی از مطالعات تفکیک شد. سپس با مقایسه یافتهها، مفاهیم پرتکراری چون کمبود نقدینگی، ضعف برنامهریزی، تغییرات طراحی و تعارض منافع شناسایی گردید؛ مفاهیمی که نشاندهنده تمرکز ادبیات بر حوزههای مالی، مدیریتی، فنی، انسانی و قراردادی بودند. در نهایت، این مفاهیم در قالب کدهای سطح اول و با رعایت اصول استنادپذیری، تمایز معنایی و انسجام درونی سازماندهی شدند.

خروجی این مرحله مجموعهای از پانزده کد بود که بازتاب دهنده ماهیت چندعاملـــی و شبکهای تأخیر در پروژههای ساخت است و زمینه ورود به گام سوم، یعنی گروهبندی مفهومی و ترسیم نگاشت مضامین، را فراهم میکند.

در گام سوم: گروهبندی مفهومی و نگاشت مضامین

کدهای اولیه در قالب مضامین منسجم سازماندهی شدند تا سطح تحلیل از دادههای استقرایی به ساختار نظری ارتقا یابد. با استفاده از منطق مضمونکاوی براون و کلارک و رویکرد قیاسیِ محدود، کدها بر اساس شباهت معنایی و روابط علّی خوشهبندی شدند. حاصل این فرایند، شکلگیری هشت خوشه محوری در حوزههای مالی–منابع، مدیریتی–زمان، کیفیت–ایمنی، طراحی–ساختار سازمانی، انسانی–انگیزشی، ریسک–قانونی–محیطی، ارتباطی–ذینفعان و انسجام تصمیمسازی بود؛ خوشههایی که چارچوب علّی تأخیر را نمایندگی میکنند.

جدول ۱

تبیین درونچارچوبی روابط علّی میان چهار محور بنیادین مدیریت پروژههای ساخت (زمان، هزینه، کیفیت، ریسک) و پویایی سیستم

ردیف	محور علّیت (رابطه علّی)	تبیین تفسیری در سطح معناشناختی	ماهیت رابطه بر مبنای پویایی سیستم	نوع بازخور	مضامین کیفی	اثر در مدیریت پروژه
۱	زمان–هزینه	افزایش زمان اجرای پروژه باعث رشد هزینههای سربار، افت بهرهوری سرمایه و بروز فشار نقدینگی میشود؛ در مقابل، کمبود بودجه و نوسانات اقتصادی با ایجاد توقفهای مکرر، زمان پروژه را بیشتر میکند. این چرخه خودتشدیدشونده موجب گسترش	زمان صرفشده، بر هزینه اثر مستقیم دارد؛ هزینه نیز موجب تأخیر بیشتر میشود.	بازخور تقویتی	مالی–منابع، مدیریتی، اقتصادی	شکلدهندهی نیروی محرک اقتصادی–عملیاتی پروژه؛ مبنای ناپایداری مالی و زمانی پروژهها در مرحلهی اجرا.

		پویایی تأخیر میشود.				
۲	زمان–کیفیت	تلاش برای کاهش زمان تحویل بهصورت فشار مدیریتی بر تیم فنی نمایان میشود که معمولاً با افت کیفیت، سادهسازی کنترلها و افزایش بازکاری همراه است. ضعف کیفیت به تأخیرهای ثانویه میانجامد و سیستم را به حالت تعادلی بازمیگرداند.	فشار زمانی افت کیفیت را فعال میکند؛ بازکاری کیفیت، چرخه زمانی را اصلاح میکند.	بازخور تعدیلی	فنی–اخلاقی، ایمنی، فرآیندی	تنظیمکنندهی فنی–اخلاقی عملکرد پروژه؛ نشاندهندهی سازوکار طبیعی جبران در برابر شتاب مدیریتی.
۳	هزینه–کیفیت	کاهش منابع مالی یا سیاست صرفهجویی افراطی موجب افت کیفیت میشود؛ افت کیفیت خود به بروز دوبارهکاری و افزایش هزینههای جبرانی منجر میشود. هر دو محور در چرخهای خودافزا حرکت کرده و بیثباتی مالی–فنی ایجاد میکنند.	بازخورتقویتی متقابل		مالی–ارزشی، منابع انسانی، کنترل پروژه	متعادلکننده ارزش اقتصادی و فنی؛ تعیینکننده پویایی بلندمدت هزینه/کیفیت پروژه و پایداری کل نظام.

این مضامین در دو لایه تحلیلی تنظیم شدند: لایه درونی شامل کیفیت، دانش سازمانی و یکپارچگی اطلاعات؛ و لایه بیرونی شامل حوزههای مالی، زمانی و ریسکی. نگاشت مضامین نشان داد که سه محور زمان، هزینه و کیفیت بهجای عملکرد جداگانه، در قالب شبکهای متعامل عمل میکنند. تحلیل روابط میان مضامین سه سازوکار علّی کلیدی را آشکار ساخت: چرخه تقویتی تأخیر–هزینه، چرخه تعدیلی زمان–کیفیت، و چرخه تقویتی هزینه–کیفیت. این سازوکارها بنیان مدل مفهومی و ساختار علّی QCA در مراحل بعد را فراهم میکنند.

گام چهارم: تشکیل مقولهها و خوشهبندی کدها

E-ISSN: 3041-8585

در گام چهارم، مضامین استخراجشده در مرحله قبل به سطح بالاتری از انتزاع منتقل شدند تا ساختار مفهومی نظام تأخیر پروژه تثبیت شود. این مرحله با تمرکز بر نقش علّی هر مضمون در سه رابطه بنیادین مدل—زمان–هزینه، زمان–کیفیت و هزینه–کیفیت—انجام شد و خوشهبندیها نه بر شباهت واژگانی، بلکه بر جایگاه تبیینی و کارکرد آنها در چرخههای بازخور استوار بودند. نتیجه این فرایند، تشکیل سه مقوله اصلی بود که رفتار پویای سیستم پروژه را توضیح میدهند.

جدول ۲

ساختار خوشهها و مقولههای نهایی

محور علّی	کدها و مضامین تثبیت شده	مقوله نهایی (خوشه)	بازخور	تبیین مفهومی
زمان ↔ هزینه (T↔C)	تأخیر در تخصیص منابع مالی افزایش هزینههای غیرمستقیم فشردگی زمانبندی اجرایی فشار زمانی بر پیمانکار انباشت صورتوضعیتها و کندی در پرداخت	پویایی مالی–زمانی	تقویتی (R۱)	تعامل میان هزینه و زمان منجر به چرخهی خودافزا میشود؛ هر تأخیر مالی فشار زمانی ایجاد کرده و موجب رشد مجدد هزینهها میشود. این خوشه «تشدید اقتصادی تأخیر» را توضیح میدهد و منطق رفتار مالی پروژه را شکل میدهد
زمان ↔ کیفیت (T↔Q)	فشردگی بیش از حد برنامهزمانی افت کیفیت اجرا در اثر شتاب کنترلهای فنی و اصلاحات جبرانی بازنگری در دستور کارها بهمنظور کنترل کیفیت تعادل میان سرعت و دقت ساخت	تعادل زمان–کیفیت	تعدیلی (B۱)	کاهش زمان اجرا معمولاً افت کیفیت را درپی دارد، اما کنترلهای فنی جبرانی باعث ایجاد چرخهای تعادلی میشود که از گسترش تأخیر جلوگیری میکند. این خوشه نقش «بازدارندهی فنی» در پایداری سیستم را تبیین میکند.
هزینه ↔ کیفیت (C↔Q)	افزایش هزینههای بازکاری ضعف طراحی و کنترل کیفیت بازکاری و اصلاحات مکرر افت بهرهوری ناشی از کیفیت پایین مصالح هزینههای جبرانی ناشی از دوبارهکاری	توازن هزینه–کیفیت	تقویتی متقابل (R۲)	افت کیفیت و هزینههای اصلاح کار در یک حلقهی خودتقویتی به یکدیگر اثر میگذارند. کمبود بودجه باعث ضعف کنترل کیفیت و ضعف کیفیت موجب افزایش هزینههای جدید میشود. این چرخه، دومین محور ناپایداری پروژه و منطق «هزینه–کیفیت» را نشان میدهد.

مقوله نخست، پویایی مالی–زمانی (R_1) است که نشان میدهد ناپایداری جریان نقدی چگونه تأخیرهای اجرایی را تشدید کرده و با افزایش هزینههای غیرمستقیم، چرخهای خودافزا ایجاد میکند. مقوله دوم، تعادل زمان–کیفیت (B_1) است؛ خوشهای که بیان میکند فشار زمانی چگونه موجب افت کیفیت میشود و سازوکارهای اصلاحی و کنترل فنی، این چرخه را مهار کرده و به شکل بازخوردی تعدیلی از گسترش تأخیر جلوگیری میکنند. مقوله سوم، توازن هزینه–کیفیت (R_2) است که تعامل تقویتی میان کیفیت پایین و افزایش هزینههای جبرانی را شرح میدهد؛ رابطهای که در صورت ضعف نظارت یا محدودیت منابع، به بازتولید بازکاری و کاهش بهرهوری میانجامد.

در پایان، این سه مقوله با تطبیق دوباره با دادههای اولیه و مرور یادداشتهای تفسیری اعتبارسنجی شدند. خروجی گام چهارم، مجموعهای منسجم از مقولههای علّی است که هسته نظری مدل T–C–Q را شکل داده و مبنای تدوین مدل مفهومی SD–QCA در گام پنجم قرار میگیرد.

گام پنجم: استخراج مضامین کلان و تفسیر نظری

در این گام مقولههای حاصل از تحلیل کیفی در قالب یک مدل مفهومی یکپارچهسازی شدند تا سازوکارهای درونی تأخیر روشن شود. نتایج نشان داد که زمان، هزینه و کیفیت نه اجزای مستقل، بلکه ابعاد وابسته و بازخوردهکنندهاند که تغییر در هر کدام، الگوی رفتاری دو محور دیگر را تحتتأثیر قرار میدهد. تفسیر نظری روابط استخراجشده سه چرخه کلیدی را آشکار کرد: چرخه مالی–زمانی که بهصورت تقویتی موجب تشدید تأخیر میشود؛ چرخه هزینه–کیفیت که ناپایداری فنی–اقتصادی را افزایش میدهد؛ و چرخه تعادل زمان–کیفیت که از طریق کاهش دوبارهکاری نقش تعدیلکننده دارد.

جدول ۳

ساختار معنایی مدل سهمحوری T–C–Q

محورهای علّی	توضیح
زمان↔هزینه (T↔C) پویایی مالی–زمانی	این رابطه بازتابدهندهی چرخهای خودتشدیدگر است که در آن، بروز اختلال نقدینگی یا کسری بودجه باعث کندی روند اجرا میشود و این تأخیرهای زمانی، فشار مالی تازهای را بر پروژه تحمیل میکنند. بدین ترتیب، کمبود مالی و افزایش مدت اجرا بهصورت متقابل یکدیگر را تقویت کرده و شکلدهندهی حلقه ی تقویتی R_1 در پویایی پروژه میشوند
زمان↔کیفیت (T↔Q) تعادل زمان–کیفیت	در این مسیر، کیفیت نقش تعدیلکنندهی فشار زمانی را برعهده دارد. ارتقای سطح کنترل کیفی از طریق کاهش دوبارهکاری و افزایش دقت اجرایی، فشار زمان را مهار کرده و کارایی اجرای پروژه را بهبود میدهد؛ در مقابل، افت کیفیت باعث افزایش فعالیتهای اصلاحی و در نتیجه افزایش مدت اجرا میشود. این تعامل متقابل یک حلقهی تعدیلی را شکل میدهد که تعادل موقتی بین زمان و کیفیت برقرار میسازد.
هزینه↔کیفیت (C↔Q) توازن هزینه–کیفیت	این رابطه منعکسکننده ی سازوکار دوطرفهای است که در آن، افت کیفیت منجر به صرف هزینههای اضافی برای بازکاری و اصلاح فنی میشود و از سوی دیگر، فشار مالی ناشی از این هزینهها سطح کنترل کیفی را بیش از پیش تضعیف میکند. چنین ساختاری موجب شکلگیری یک چرخهی تقویتی دوم (R_2) میگردد که ناپایداری دوگانهی کیفیت و هزینه را توضیح میدهد.

برآیند این سه چرخه نشان میدهد که تأخیر یک پدیده درونزا و خودتقویتشونده است و کنترل آن وابسته به فعالبودن حلقههای یادگیری و کیفیت است که تنها مسیر مهار چرخههای تقویتی به شمار میروند. در نتیجه، مدل نهایی توضیح میدهد که پایداری عملکرد پروژه زمانی حاصل میشود که محور کیفیت و یادگیری سازمانی بتوانند تعادل میان زمان و هزینه را حفظ کنند.

گام ششم: جمعبندی نظری بخش تحلیل محتوای کیفی

مدل نهایی نشان میدهد که تأخیر ماهیتی درونزا دارد و از بازخور متقابل محورهای زمان، هزینه و کیفیت ناشی میشود. انحراف در هر محور، از طریق حلقههای علی، دو محور دیگر را تحریک کرده و الگویی وابسته به مسیر ایجاد میکند که در آن افت کیفیت محرک اصلی تثبیت و بازتولید تأخیر است. ریسک نیز بهصورت نوسان در این شبکه ظاهر شده و چرخه یادگیری را مختل میکند.

هسته رفتار سیستم، چرخه تقویتی R_1 است که در آن کاهش کیفیت، فشار هزینهای و زمانی را تشدید کرده و خود دوباره به افت کیفیت میانجامد؛ سازوکاری که پدیده «تأخیرِ در تأخیر» را توضیح میدهد. تنها سازوکار تعدیلکننده، نقش دانشی محور کیفیت است که در صورت فعالبودن، چرخه واگرا را به حلقه تعدیلی B_1 تبدیل کرده و مسیر سیستم را بازمیگرداند. بنابراین، ریشه واقعی تأخیر نه کمبود منابع،

E-ISSN: 3041-8585

بلکه گسست یادگیری در محور کیفیت است. تعادل پایدار زمانی حاصل میشود که کیفیت از یک شاخص اجرایی به یک مؤلفه پیشگیرانه و یادگیرنده در مراحل اولیه پروژه ارتقا یابد.

یافته‌های بخش دلفی

وش دلفی دومرحلهای برای تأیید متغیرهای استخراجشده از QCA و تثبیت مدل سهمحوری بهکار رفت. ۱۵ متغیر کلیدی توسط ۱۲ خبره در دو دور ارزیابی شد؛ دور اول برای سنجش اهمیت و شدت اثر و دور دوم برای بازنگری و دستیابی به اجماع، بر اساس شاخصهایی مانند میانه و دامنه میانربعکی. خروجی نهایی، مجموعه متغیرهای مورد توافق و شدت تأثیر آنها بود که مبنای نهاییسازی مدل مفهومی و طراحی روابط علّی قرار گرفت.

اجرای راند اول بخش دلفی

در راند اول دلفی، برای اعتبارسنجی ۱۵ متغیر استخراجشده از تحلیل محتوای کیفی و سنجش نقش آنها در تبیین رفتار سهمحوری زمان–هزینه–کیفیت، پرسشنامهای پنجدرجهای میان خبرگان مدیریت پروژه و تحلیل سیستمی توزیع شد. هدف، گردآوری قضاوتهای مستقل، سنجش میزان همگرایی اولیه نظرات، و شناسایی متغیرهای نیازمند بازنگری در راندهای بعدی بود. این راند نقش زیربنایی در آشکارسازی شکافهای نظری و آمادهسازی مسیر اصلاح و تثبیت مدل مفهومی در مراحل بعدی فرایند دلفی دارد.

جدول ۴

متغیرهای کلیدی استخراجشده از تحلیل محتوای کیفی (ورودی فاز دلفی)

خوشه	کد متغیر	عنوان متغیر	تبیین علّی
پویایی مالی–زمانی	T_1	فشار نقدینگی و جریان وجوه	کمبود نقدینگی باعث اختلال در تأمین منابع شده و چرخه افزایش زمان و هزینه را فعال میکند.
	T_2	تأخیر در پرداخت و تخصیص بودجه	دیرکرد کارفرما در پرداختها موجب توقف یا کاهش سرعت پیشرفت فیزیکی میشود.
	T_3	ضعف کنترل هزینه و برآورد اولیه	برآوردهای نادرست هزینه سبب زنجیرهای از بازنگریها، تزریق مالی مجدد و تأخیر میشود.
	T_4	فشردگی غیرواقعی برنامهزمانبندی	تلاش برای جبران کمبود منابع مالی با فشار زمانی، خطا و افت کیفیت را در پی دارد.
	T_5	انباشت هزینههای اصلاحی	هزینههای بازکاری و تاخیر اصلاحی اثر مضاعفی بر چرخهی تأخیر ایجاد میکنند.
تعادل زمان–کیفیت	Q_1	افت دقت اجرایی و خطای ساخت	افزایش عجله در روند اجرا، دقت و صحت عملیات فنی را کاهش میدهد.
	Q_2	تکرار خطا و دوبارهکاری	حلقهی بازخورد منفی ناشی از ضعف کنترل کیفی که مستقیماً موجب افزایش زمان و هزینه میشود.
	Q_3	کاهش زمان کنترل کیفی و تستها	حذف یا تقلیل فرایندهای بازرسی در اثر فشار زمانی به افت کیفیت سیستماتیک منجر میشود.
	Q_4	فشار ناشی از تغییرات طراحی	تصمیمات دیرهنگام یا تغییرات مکرر طراحی چرخهی جدیدی از بازکاری و تأخیر را ایجاد میکند.
توازن هزینه–کیفیت	C_1	مستندسازی و ذخیره دانش پروژه	ضعف در مستندسازی تجربههای گذشته مانع یادگیری سازمانی و پیشگیری از تکرار خطا میشود.
	C_2	بازخورد یادگیری از خطاها	فعالکنندهی حلقهی متوازنکننده (B_1)؛ انتقال تجربهی شکستها به سیاستهای اصلاحی.
	C_3	نظام انگیزشی مبتنی بر کیفیت	انگیزش کیفی موجب تمرکز بر کار درست در بار اول و کاهش هزینههای بازکاری میگردد.
	C_4	مصالحه کیفیت با هزینه	تصمیمات مدیریتی بین کاهش هزینه و حفظ کیفیت نوع رفتار چرخهای مدل را تعیین میکند.
	C_5	نوسان در سطح کیفیت (ریسک درونیشده)	نشانگر «ریسک درونیشدهی کیفیت»؛ بیانگر بیثباتی و تضعیف حلقههای یادگیری است.

اجرای راند دوم دلفی

در راند دوم دلفی، پس از تحلیل نتایج راند اول و بررسی میزان اجماع اولیه، فهرست متغیرهای مرتبط با عملکرد زمان–هزینه–کیفیت پروژههای عمرانی بازنگری و پالایش شد و عوامل جدید پیشنهادی خبرگان نیز به سه خوشه «پویایی مالی–زمانی»، «تعادل زمان–کیفیت» و «توازن هزینه–کیفیت» افزوده گردید. هدف این راند، ارزیابی دوباره اهمیت و شدت اثر هر متغیر با دقت بیشتر و بر پایه اجماع قویتر متخصصان بود. دادههای این مرحله برای تکمیل مدل مفهومی، تعیین روابط علّی و تأمین ورودیهای معتبر فاز مدلسازی پویایی سیستمها استفاده خواهد شد و محرمانگی هویت پاسخدهندگان کاملاً حفظ میشود.

اجرای راند سوم دلفی

راند سوم دلفی با هدف تکمیل اجماع و بازنگری نهایی ارزیابیها، بر پایه نتایج آماری راند دوم شامل میانگین، میانه و دامنه بینچارکی (IQR)اجرا میشود. در این مرحله، خبرگان با مشاهده بازخورد گروهی، در صورت نیاز امتیازهای خود را اصلاح یا تأیید میکنند. متغیرهای مرتبط با عملکرد زمان–هزینه–کیفیت در سه خوشه «پویایی مالی–زمانی»، «تعادل زمان–کیفیت» و «توازن هزینه–کیفیت» سازماندهی شده و «امتیاز پیشنهادی» راند دوم تنها نقش راهنما دارد. شاخصهای آماری به پژوهشگر کمک میکنند سطح اختلافنظر و میزان همگرایی را شناسایی کند. راند سوم آخرین گام برای تثبیت مجموعه متغیرهای معتبر و اجماعی جهت تبیین رفتار پروژه در سه بعد زمان، هزینه و کیفیت است.

در راند سوم دلفی، نتایج راند دوم همراه با شاخصهای آماری به ۱۸ خبره ارائه شد تا بر اساس بازخورد گروهی، ارزیابیهای خود را بازنگری یا تثبیت کنند. تحلیل دادهها نشان داد که از مجموع ۳۱ متغیر مدل سهمحوری زمان–هزینه–کیفیت، ۲۰ متغیر با اجماع کامل و ۱۱ متغیر با اجماع متوسط تأیید شدند. خوشه پویایی مالی–زمانی بیشترین تأکید را بر عوامل مدیریتی و مالی داشت، خوشه تعادل زمان–کیفیت منسجمترین الگوی اثرپذیری را نشان داد، و خوشه توازن هزینه–کیفیت نقش تعیینکننده تصمیمات اولیه پروژه را برجسته کرد. این نتایج بیانگر تثبیت ساختار ۳۱متغیره مدل و آمادگی آن برای ورود به مرحله تحلیل نهایی است.

جدول ۵

خلاصه نتایج خروجی اجرای راند سوم دلفی

خوشه	متغیر	میانگین	میانه	IQR	
	فشار نقدینگی و جریان وجوه	۴.۷۴	۵	۰.۵	اجماع کامل
پویایی	تأخیر در پرداخت و تخصیص بودجه	۴.۷۱	۵	۰.۵	اجماع کامل
مالی–زمانی	تأخیر در دریافت مجوزها	۴.۷۸	۵	۰.۵	اجماع کامل
	تأخیر در برگزاری مناقصات	۴.۵۸	۴	۱	اجماع متوسط
	تصمیمگیری کند	۴.۶۱	۵	۰.۵	اجماع کامل
	وقوع حوادث قهری و شرایط پیشبینینشده	۴.۴۳	۴	۱	اجماع متوسط
	تغییر در حجم کارها	۴.۵۲	۵	۰.۵	اجماع کامل
	نوسان نیروی کار در دسترس	۴.۳۳	۴	۱	اجماع متوسط
	وجود معارضین	۴.۲۶	۴	۱	اجماع متوسط
	قرارداد غیراستاندارد	۴.۱۹	۵	۰.۵	اجماع کامل
	عدم شفافیت در محدوده پروژه	۴.۴۷	۴	۱	اجماع متوسط
	مدیریت عملکرد ضعیف و عدم تعهد مدیریت	۴.۵۵	۵	۰.۵	اجماع کامل
	ضعف در برنامهریزی و سیستم کنترل پروژه	۴.۶۳	۵	۰.۵	اجماع کامل

E-ISSN: 3041-8585

	مطالعات امکانسنجی ناقص	۴.۴۱	۴	۱	اجماع متوسط
	نوسان دستمزد	۴.۳۸	۴	۱	اجماع متوسط
	تغییر پیمانکار	۴.۲۹	۴	۱	اجماع متوسط
تعادل زمان–کیفیت	افت دقت اجرایی و خطای ساخت	۴.۶۷	۵	۰.۵	اجماع کامل
	تکرار خطا و دوبارهکاری	۴.۷۲	۵	۰.۵	اجماع کامل
	کاهش زمان کنترل کیفی و تستها	۴.۶۱	۵	۰.۵	اجماع کامل
	فشار ناشی از تغییرات طراحی	۴.۵۳	۵	۰.۵	اجماع کامل
	تغییر مشاور در طول اجرای پروژه	۴.۳۶	۴	۱	اجماع متوسط
	مستندسازی و ذخیره دانش پروژه	۴.۲۲	۴	۱	اجماع متوسط
	ناهماهنگی بین طرفهای مختلف پروژه	۴.۴۹	۴	۱	اجماع متوسط
توازن هزینه–کیفیت	پیشنهاد قیمت کارشناسینشده پیمانکار بهمنظور برنده شدن در مناقصه	۴.۶۸	۵	۰.۵	اجماع کامل
	ضعف در ارزیابی و انتخاب پیمانکاران	۴.۷۱	۵	۰.۵	اجماع کامل
	ضعف در ارزیابی و انتخاب مشاوران	۴.۵۹	۵	۰.۵	اجماع کامل
	فشردگی غیرواقعی برنامهزمانبندی	۴.۴۷	۴	۱	اجماع متوسط
	نیروی کار غیرماهر	۴.۳۹	۴	۱	اجماع متوسط
	ضعف در برآورد اولیه	۴.۵۵	۵	۰.۵	اجماع کامل
	مصالحه کیفیت با هزینه	۴.۶۶	۵	۰.۵	اجماع کامل
	ضعف در حلقه یادگیری	۴.۳۳	۴	۱	اجماع متوسط

اندازه گیری ضریب هماهنگی کندال

بهمنظور سنجش میزان توافق جمعی، ضریب هماهنگی کندال W بر اساس امتیازات ۱۸ خبره برای ۳۱ متغیر محاسبه شد. مقدار W برابر با ۰.۳۵ بهدست آمد که نشاندهنده سطح توافق «متوسط تا مطلوب» و ازنظر آماری معنادار است (χ^2=189، df=30، p>0.001).

جدول ۶

نتایج ضریب هماهنگی کندال اجماع نظر خبرگان

ردیف	شاخص آماری	مقدار
۱	تعداد خبرگان(m)	۱۸
۲	تعداد متغیرها(n)	۳۱
۳	مقدار S (مجموع مجذورات انحراف رتبهها)	۳۰,۱۷۰
۴	مقدار ضریب کندال W	۰.۳۵
۵	مقدار خیدو(χ^2)	۱۸۹
۶	درجه آزادی	۳۰
۷	سطح معناداری(p-value)	p < ۰.۰۰۱
۸	تفسیر توافق	توافق «متوسط تا مطلوب» و معنادار؛ مناسب برای تثبیت شاخصها

این مقدار بیانگر آن است که گرایش رتبهبندی خبرگان بهصورت تصادفی رخ نداده و ساختار نهایی متغیرها از ثبات و اعتبار کافی برای استفاده در مراحل تحلیلی بعدی پژوهش برخوردار است.

روایی محتوایی ابزار در فرایند دلفی

بهمنظور اطمینان از کفایت و دقت مفهومی ابزار پژوهش، روایی محتوایی پرسشنامه در دو مرحله کیفی و کمی بررسی شد. ابتدا فهرست اولیه متغیرها از مرور نظاممند ادبیات و تحلیل مدلهای نظری استخراج گردید. سپس نسخه اولیه پرسشنامه توسط چهار عضو هیئتعلمی متخصص مدیریت ساخت و سه خبره صنعتی ارزیابی شد. بازخوردهای آنان درخصوص جامعیت، وضوح، تناسب و ضرورت گویهها، منجر به اصلاح ساختار خوشهها، حذف موارد همپوشان و بازنویسی برخی گویهها شد.

در مرحله کمی، روایی محتوایی با شاخصهای لاوشه سنجیده شد. ضروریبودن هر گویه توسط همان خبرگان ارزیابی و شاخص CVR محاسبه شد. با توجه به تعداد ارزیابان، حد آستانه CVR برابر ۰.۶۲ تعیین شد و تمامی گویههای نهایی این معیار را کسب کردند. همچنین شاخص CVI در ابعاد مرتبطبودن، سادگی و شفافیت برای تمام گویهها بالاتر از ۰.۷۹ بود که مطابق معیار والتز و باسل نشاندهنده روایی محتوایی مطلوب است. نتیجه این مراحل، شکلگیری نسخه نهایی ابزار و تأیید ثبات مفهومی آن پیش از ورود به راندهای دلفی بود.

جدول ۷

نتایج شاخص روایی محتوا (CVI)

ردیف	متغیر	خوشه	CVR	وضوح[1]	سادگی[2]	مرتبطبودن[3]	میانگین[4]	نتیجه
۱	فشار نقدینگی و جریان وجوه	پویایی مالی–زمانی	۱.۰۰	۰.۸۶	۱.۰۰	۱.۰۰	۰.۹۵	تأیید
۲	تأخیر در پرداخت و تخصیص بودجه	پویایی مالی–زمانی	۰.۷۱	۰.۸۶	۰.۸۶	۱.۰۰	۰.۹۰	تأیید
۳	تأخیر در دریافت مجوزها	پویایی مالی–زمانی	۰.۷۱	۱.۰۰	۰.۸۶	۱.۰۰	۰.۹۵	تأیید
۴	تأخیر در برگزاری مناقصات	پویایی مالی–زمانی	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	تأیید
۵	تصمیمگیری کند	پویایی مالی–زمانی	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	تأیید
۶	وقوع حوادث قهری	پویایی مالی–زمانی	۰.۷۱	۰.۸۶	۰.۸۶	۱.۰۰	۰.۹۰	تأیید
۷	تغییر در حجم کارها	پویایی مالی–زمانی	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	تأیید
۸	نوسان نیروی کار در دسترس	پویایی مالی–زمانی	۰.۷۱	۰.۸۶	۰.۸۶	۱.۰۰	۰.۹۰	تأیید
۹	وجود معارضین	پویایی مالی–زمانی	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	تأیید
۱۰	قرارداد غیراستاندارد	پویایی مالی–زمانی	۰.۷۱	۱.۰۰	۰.۸۶	۱.۰۰	۰.۹۵	تأیید
۱۱	عدم شفافیت در محدوده پروژه	پویایی مالی–زمانی	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	تأیید
۱۲	مدیریت عملکرد ضعیف و عدم تعهد مدیریت	پویایی مالی–زمانی	۰.۷۱	۰.۸۶	۰.۸۶	۱.۰۰	۰.۹۰	تأیید
۱۳	ضعف در برنامهریزی و سیستم کنترل پروژه	پویایی مالی–زمانی	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	تأیید
۱۴	مطالعات امکانسنجی ناقص	پویایی مالی–زمانی	۰.۷۱	۱.۰۰	۰.۸۶	۱.۰۰	۰.۹۵	تأیید
۱۵	نوسان دستمزد	پویایی مالی–زمانی	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	تأیید

[1] Clarity
[2] Simplicity
[3] Relevance
[4] CVI

E-ISSN: 3041-8585

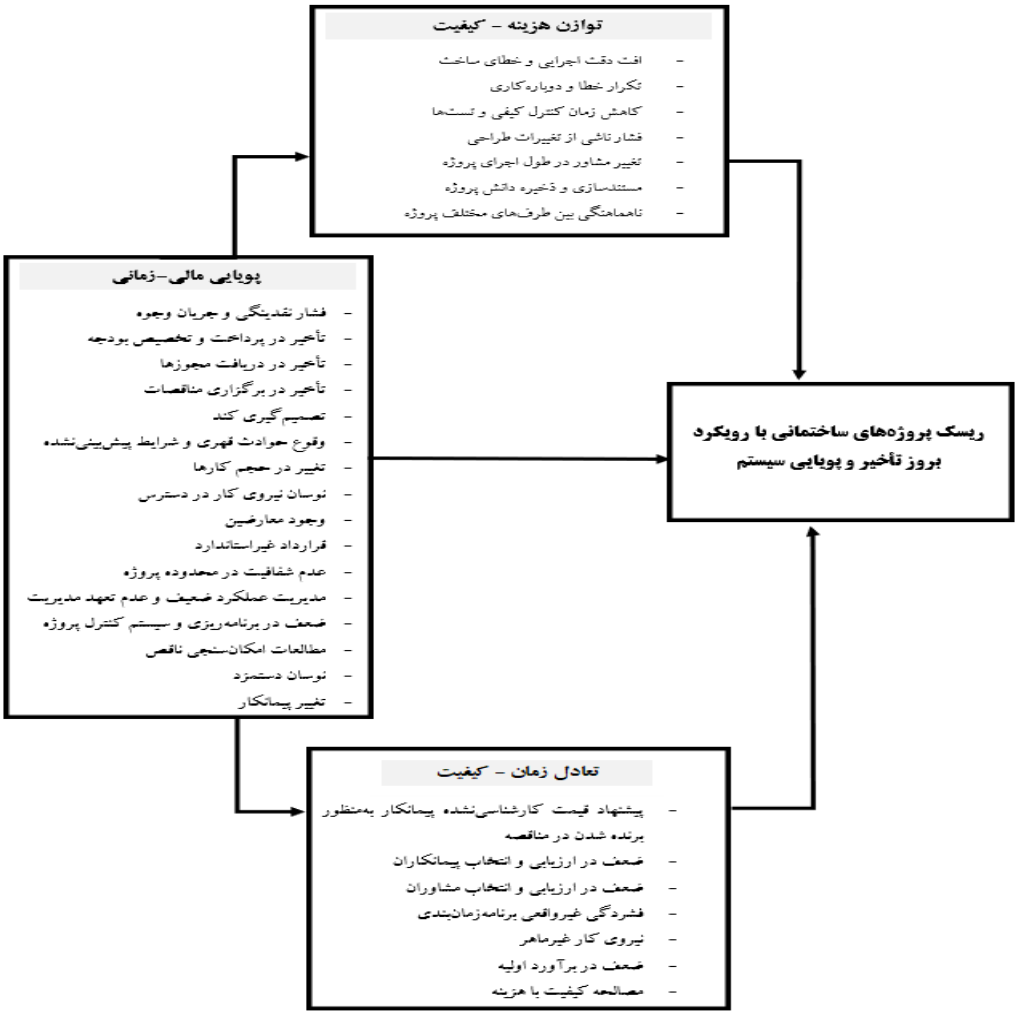
۱۶	تغییر پیمانکار	پویایی مالی–زمانی	۰.۷۱	۰.۸۶	۱.۰۰	۱.۰۰	۰.۹۵	تأیید
۱۷	افت دقت اجرایی و خطای ساخت	تعادل زمان–کیفیت	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	تأیید
۱۸	تکرار خطا و دوبارهکاری	تعادل زمان–کیفیت	۰.۷۱	۰.۸۶	۱.۰۰	۱.۰۰	۰.۹۵	تأیید
۱۹	کاهش زمان کنترل کیفی و تستها	تعادل زمان–کیفیت	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	تأیید
۲۰	فشار ناشی از تغییرات طراحی	تعادل زمان–کیفیت	۰.۷۱	۰.۸۶	۰.۸۶	۰.۸۶	۰.۸۶	تأیید
۲۱	تغییر مشاور در طول اجرای پروژه	تعادل زمان–کیفیت	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	تأیید
۲۲	مستندسازی و ذخیره دانش پروژه	تعادل زمان–کیفیت	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	تأیید
۲۳	ناهماهنگی بین طرفهای مختلف پروژه	توازن زمان–کیفیت	۰.۷۱	۰.۸۶	۱.۰۰	۱.۰۰	۰.۹۵	تأیید
۲۴	پیشنهاد قیمت کارشناسینشده پیمانکار جهت برنده شدن در مناقصه	توازن هزینه–کیفیت	۰.۷۱	۰.۸۶	۰.۸۶	۱.۰۰	۰.۹۰	تأیید
۲۵	ضعف در ارزیابی و انتخاب پیمانکاران	توازن هزینه–کیفیت	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	تأیید
۲۶	ضعف در ارزیابی و انتخاب مشاوران	توازن هزینه–کیفیت	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	تأیید
۲۷	فشردگی غیرواقعی برنامهزمانبندی	توازن هزینه–کیفیت	۰.۷۱	۰.۸۶	۰.۸۶	۱.۰۰	۰.۹۰	تأیید
۲۸	نیروی کار غیرماهر	توازن هزینه–کیفیت	۰.۷۱	۱.۰۰	۰.۸۶	۱.۰۰	۰.۹۵	تأیید
۲۹	ضعف در برآورد اولیه	توازن هزینه–کیفیت	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	تأیید
۳۰	مصالحه کیفیت با هزینه	توازن هزینه–کیفیت	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	تأیید
۳۱	ضعف در حلقه یادگیری	توازن هزینه–کیفیت	۰.۷۱	۰.۸۶	۱.۰۰	۱.۰۰	۰.۹۵	تأیید

یافتههای بخش دلفی

مدل مفهومی این پژوهش حاصل فرایندی تدریجی و منظم است که با هدف فهم عمیق سازوکارهای شکلگیری تأخیر در پروژههای ساختمانی طراحی شد. در گام آغازین، مرور نظاممند ادبیات پژوهش انبوهی از عوامل تأثیرگذار را آشکار کرد، اما بازبینی انتقادی این مطالعات نشان داد که بیشتر آنها به فهرستکردن عوامل بسنده کردهاند و کمتر به روابط درونی، منطق حاکم بر تعاملات و پویایی میان این عوامل توجه داشتهاند. به همین دلیل، این پژوهش بهجای اتکا به مدلهای خطی و ساده، بر کشف ساختار علّی و سیستمی تأخیر تمرکز کرد. مجموعه عوامل اولیه استخراجشده از ادبیات، طی چندین مرحله از طریق روش دلفی و با مشارکت خبرگان صنعت ساخت پالایش شد تا در نهایت چارچوبی مفهومی شکل بگیرد که بازتابدهنده فهم جمعی و تجربهمحور خبرگان از سازوکار واقعی بروز تأخیر است.

شکل ۱

مفهومی ریسک پروژههای ساختمانی با رویکرد بروز تاخیر و پویایی سیستم



نتایج دلفی نشان داد که تأخیر یک پدیده منفرد یا خطی نیست، بلکه رفتاری است که در کل سیستم پروژه شکل میگیرد. این رفتار حاصل دادوستد مستمر میان مجموعهای از متغیرهای مالی، اجرایی و مدیریتی است که در طول زمان بر هم اثر میگذارند و از طریق حلقههای بازخوردی تقویت یا تعدیل میشوند. چنین نگاهی با مبانی نظری پویایی سیستم هماهنگ است؛ رویکردی که رفتار پروژه را محصول تعامل عناصر متعدد و روندهای بازگشتی میان آنها میداند. بر اساس این منطق، عوامل مختلف تأخیر در سه حوزه اصلی سازماندهی شدند: پویایی مالی–زمانی، توازن هزینه–کیفیت و توازن زمان–کیفیت. این سه حوزه، ستونهای اصلی مدل مفهومی پژوهش هستند و تأخیر پروژه پیامد نهایی برهمکنش آنها تلقی میشود.

در سازه نخست، یعنی پویایی مالی–زمانی، تأکید بر این است که تغییرات جریان مالی، تخصیص منابع و وضعیت نقدینگی همگی با برنامه زمانی پروژه پیوندی دوطرفه دارند. اختلالهای مالی سرعت اجرای فعالیتها را کاهش میدهد و از سوی دیگر، کشآمدن زمان پروژه فشارهای مالی را تشدید میکند. این رابطه دوطرفه باعث میشود این سازه نقش محرک اصلی رفتار پروژه را ایفا کند. سازه دوم، توازن هزینه–کیفیت، نشان میدهد که فشار برای کاهش هزینهها چگونه میتواند استانداردهای کیفی را تحتتأثیر قرار دهد و بهصورت غیرمستقیم احتمال خطا،

E-ISSN: 3041-8585

دوبارهکاری و در نهایت تأخیر را افزایش دهد. سازه سوم، توازن زمان–کیفیت، بیانگر این واقعیت است که تسریع اجباری پروژه اغلب کیفیت اجرا را کاهش میدهد و همین موضوع دوبارهکاری و تأخیرهای بعدی را ایجاد میکند.

ارتباط میان این سه سازه ماهیتی همافزا و درهمتنیده دارد. شرایط مالی پروژه میتواند کیفیت تصمیمگیری در مورد هزینهها و استانداردهای فنی را تحت تأثیر قرار دهد، و از سوی دیگر، نحوه مدیریت هزینه و کیفیت میتواند فشارهای زمانی را تشدید یا تعدیل کند. در نتیجه، تأخیر خروجی یک سازوکار واحد نیست، بلکه حاصل برهمکنش مجموعهای از منطقهای مدیریتی است که اگر از تعادل خارج شوند، رفتار پروژه ناپایدار میشود و تأخیر بروز میکند.

از منظر نوآوری، این مدل نگرش تازهای به تحلیل تأخیر ارائه میدهد. بهجای اینکه تأخیر بهعنوان نتیجه کمبود منابع یا ضعف برنامهریزی تلقی شود، این پژوهش آن را نشانهای از برهمخوردن تعادل میان سه منطق مدیریتی پروژه معرفی میکند: منطق مالی–زمانی، منطق هزینه–کیفیت و منطق زمان–کیفیت. برجستهترین نوآوری مدل این است که نشان میدهد بسیاری از تأخیرهای ظاهراً فنی یا اجرایی، در واقع ریشه در اختلالات مالی دارند که اثرات آنها با تأخیر زمانی و از طریق سازوکارهای ثانویه ظاهر میشود. همچنین مدل نشان میدهد که سیاستهای مبتنی بر فشار زمانی، در صورت نادیدهگرفتن تعامل هزینه و کیفیت، نهتنها تأخیر را کاهش نمیدهند بلکه آن را تشدید میکنند.

این تغییر زاویه دید، تحلیل تأخیر را از سطح مشکلات اجرایی به سطح سیاستگذاری مدیریتی ارتقا میدهد. مدل نشان میدهد که پروژهها با «بهینهسازی همزمان» زمان، هزینه و کیفیت اداره نمیشوند، بلکه مدیریت مؤثر آنها نیازمند ایجاد تعادل میان این ابعاد متعارض است. تأخیر زمانی زمانی رخ میدهد که این تعارضها حلنشده باقی بمانند و در سیستم تجمع یابند. از این رو، مدل ارائهشده علاوه بر نقش تبیینی، یک ابزار مفهومی برای تصمیمسازی و طراحی مداخلات مدیریتی فراهم میکند؛ مداخلاتی که صرفاً رفع علائم ظاهری تأخیر نیست بلکه هدف آنها بازگرداندن تعادل در سیستم پروژه است.

تبیین ساختار روابط علّی میان سازههای پژوهش بر اساس روش دمیتل

برای تحلیل روابط علّی میان سازههای مدل، رویکرد DEMATEL بهکار برده شد. ابتدا از خبرگان خواسته شد تا شدت تأثیر هر سازه بر سایر سازهها را با استفاده از مقیاس پنجدرجهای ارزیابی کنند. میانگینگیری از قضاوتها، ماتریس روابط مستقیم را تشکیل داد که در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۸

ماتریس میانگین تأثیرات مستقیم بین سازهها

	FTD	CQD	TQD	PD	جمع سطری
FTD	۰	۳	۳	۴	۱۰
CQD	۱	۰	۳	۳	۷
TQD	۰	۱	۰	۳	۲
PD	۰	۰	۱	۰	۱
				ماکزیمم ستونی	۲۰

این ماتریس مبنای محاسبه ماتریس نرمالشده و سپس ماتریس روابط کل قرار گرفت. بر این اساس، شاخصهای اثرگذاری (D)، اثرپذیری R، اهمیت سیستمی (D+R) و نقش علّی/معلولی (D–R) برای هر سازه استخراج شد؛ نتایج در جدول زیر خلاصه شدهاند.

جدول ۹

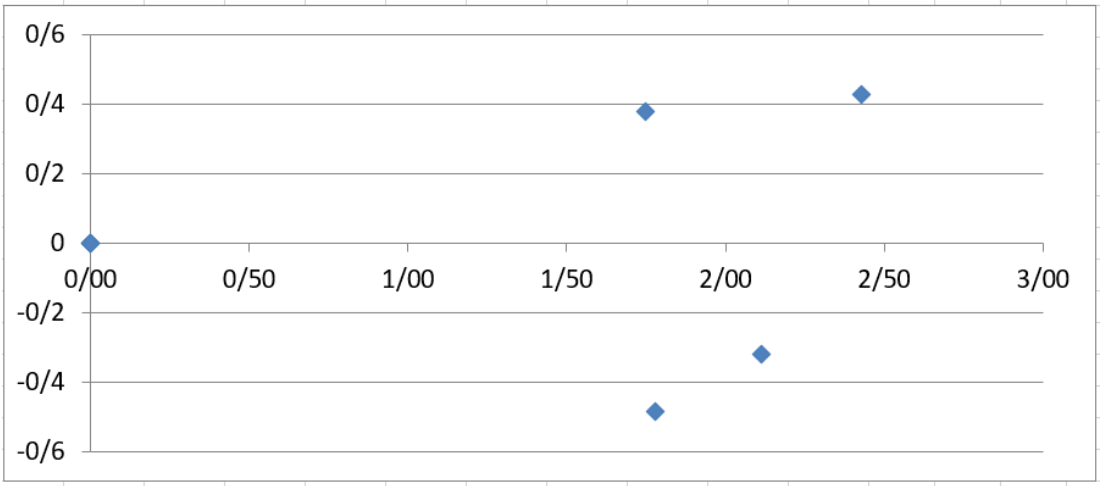
شاخصهای نهایی DEMATEL برای هر سازه

Construct	D (Influence given)	R (Influence received)	D+R (Prominence)	D_R (Relation)
FTD	۰/۲۶	۰/۴۴	۰/۴۶	۰/۲۷
CQD	۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۲۵	۰/۰۹
TQD	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۱۷	۰/۱۸
PD	۰/۲۸	۰/۳	۰/۳۳	۱/۱۵

بررسی شاخص D–R نشان میدهد که «پویایی مالی–زمانی» بالاترین مقدار مثبت را دارد و بهعنوان قویترین سازهی علّی شناخته میشود. این سازه منشأ اصلی اختلالات سیستمی است و بیشترین میزان انتقال اثر را به سایر حوزههای مدیریتی نشان میدهد. «توازن هزینه–کیفیت» نیز مقدار مثبت D–R دارد، هرچند با شدتی کمتر، و نقش یک سازهٔ واسط را ایفا میکند که نحوهٔ انتقال فشارهای مالی–زمانی به سطح عملیات اجرایی را تعدیل یا تشدید میکند. در مقابل، «تعادل زمان–کیفیت» دارای مقادیر منفی D–R است و در دسته سازههای معلولی قرار میگیرد؛ یافتهها حاکی از آن است که برهمخوردن تعادل زمان–کیفیت بیشتر پیامد اختلالات بالادستی است تا یک علت اولیه. نهایتاً «ریسک تأخیر پروژه» پایینترین مقدار D–R را دارد و بهعنوان معلول نهایی سیستم ظاهر میشود.

شکل ۲

نتایج تحلیل DEMATEL بهصورت نقشه علّی–معلولی میان سازههای پژوهش



نتایج بهدستآمده از مدل DEMATEL تصویری منسجم از سازوکار علّی شکلدهنده ریسک تأخیر در پروژههای عمرانی ارائه میکند. تحلیل شاخصهای اثرگذاری (D)، اثرپذیری R، برجستگی سیستمی (D+R) و نقش علّی–معلولی (D–R) نشان میدهد که چهار سازه اصلی پژوهش—پویایی مالی–زمانی (FTD)، توازن هزینه–کیفیت (CQD)، تعادل زمان–کیفیت (TQD) و ریسک تأخیر پروژه (PD)—در قالب یک زنجیره علّی بههمپیوسته عمل میکنند و رفتار کلی سیستم را شکل میدهند.

E-ISSN: 3041-8585

FTD با بالاترین مقدار مثبت D–R، بهعنوان محرک اولیه و قویترین عامل علّی سیستم شناسایی شد. این یافته بیانگر آن است که هرگونه اختلال در همترازی جریانهای مالی و زمانبندی پروژه، نخستین نقطهای است که بر سایر ابعاد مدیریتی اثرگذار میشود و موجی از ناپایداری را به دیگر سازهها منتقل میکند. CQD نیز با مقدار مثبت D–R در ناحیه علّی قرار میگیرد، اما شدت علّیت آن کمتر از FTD است؛ نقشی که آن را در جایگاه یک میانجی ساختاری قرار میدهد. CQD مسیر انتقال فشارهای ناشی از FTD را به سازههای پاییندست تعدیل، تقویت یا پالایش میکند و کیفیت گذر این اثرات را تعیین میسازد.

در مقابل، TQD با مقدار منفی D–R بهعنوان یک سازه معلولی ظاهر میشود؛ متغیری که بیشتر دریافتکننده پیامدهای ناشی از اختلال در منطقهای مالی و هزینهای است تا آنکه نقشی فعال در اثرگذاری داشته باشد. این موقعیت نشان میدهد که تعادل میان زمانبندی و کیفیت اجرا، بهشدت تابع عملکرد سازههای بالادستی و حساس به اختلالات مالی–هزینهای است. در انتهای زنجیره، PD کمترین مقدار D–R را دارد و بهعنوان معلول نهایی سیستم شناسایی میشود. این جایگاه تأیید میکند که ریسک تأخیر خود عامل اثرگذار نیست، بلکه برآیندی از رفتار تجمعی و زمانمند کل سیستم مدیریتی پروژه است.

برآیند تحلیل، یک ساختار علّی روشن و ترتیبی را آشکار میسازد:

$$FTD \rightarrow CQD \rightarrow TQD \rightarrow PD$$

این ساختار بیان میکند که شکلگیری تأخیر پروژه حاصل تعامل بینلایهای منطقهای مالی، هزینهای و زمان–کیفیتی است و نه پیامد یک عامل منفرد. نقش CQD در این میان بهطور ویژه حائز اهمیت است؛ زیرا مشابه یک گره کنترلی عمل میکند که تعیین میکند فشارهای مالی–زمانی در سطح هزینه و کیفیت جذب شوند یا به شکل اختلالهای زمانبندی به مراحل بعدی نشت کنند. در صورتی که این میانجی دچار عدمتعادل شود، اختلالات مالی و زمانی با شدت بیشتری به TQD منتقل شده و احتمال ناپایداری زمانبندی افزایش مییابد.

TQD نیز نقش یک نقطه حساس را ایفا میکند که پیامدهای منتقلشده از CQD را در خود انباشته و در نهایت این اختلالات را به شکل کاهش کیفیت یا انحراف زمانی بازتاب میدهد. تجمع تدریجی این پیامدها، نهایتاً در سطح کلان سیستم به شکل افزایش ریسک تأخیر ظاهر میشود—رفتاری که مطابق اصول نظری پویایی سیستم، محصول ساختارهای علّی و حلقههای بازخوردی درونی سیستم است.

بهطور کلی، تحلیل DEMATEL نشان میدهد که ریسک تأخیر در پروژههای ساختمانی رفتاری غیرخطی، تجمعی و پدیدآیی است که از برهمکنش چندین سازه مدیریتی شکل میگیرد. جایگاه میانجی CQD در این میان تعیینکننده مسیر و شدت انتقال فشارهای سیستمی است و نقشی کلیدی در تبیین سازوکارهای ایجاد تأخیر دارد. این شواهد، پایهای تجربی و نظری برای توسعه مدلهای پیشرفتهتر (SEM، پویایی سیستم) و طراحی مداخلات مدیریتی هدفمند فراهم میسازد.

بحث و نتیجهگیری

هدف پژوهش حاضر، مدلسازی ریسک پروژههای ساختمانی با استفاده از رویکرد پویایی سیستم و با تأکید بر پدیده بروز تأخیر بود. یافتههای مطالعه نشان داد که تأخیر در پروژههای ساختمانی نه یک رخداد منفرد، خطی و صرفاً اجرایی، بلکه پیامد تعامل ساختاری میان مجموعهای از عوامل مالی، زمانی، کیفی، مدیریتی، قراردادی و سازمانی است. در مرحله تحلیل محتوای کیفی، عوامل مؤثر بر تأخیر در قالب کدها و خوشههای مفهومی استخراج شدند و نتایج نشان داد که ریسکهای تأخیر در پروژههای ساختمانی در سه محور اصلی زمان، هزینه و کیفیت قابل فهم هستند. این یافته با ادبیات موجود همسو است؛ زیرا مطالعات پیشین نیز تأخیر پروژههای ساختمانی را حاصل مجموعهای از عوامل وابسته به کارفرما، پیمانکار، مشاور، منابع، طراحی، شرایط اقتصادی و محیط اجرایی دانستهاند (Ahmed et al., 2003; Al Momani,

2000; Assaf & Al Hejji, 2006; Koushki et al., 2005). بااینحال، یافته مهم پژوهش حاضر آن است که این عوامل صرفاً بهصورت فهرستی از علل مستقل عمل نمیکنند، بلکه از طریق روابط بازخوردی و اثرات تجمعی، ساختاری پویا برای تولید و بازتولید تأخیر ایجاد میکنند.

یکی از یافتههای اصلی مطالعه، شناسایی خوشه پویایی مالی–زمانی بهعنوان محرک اصلی اختلالات سیستم بود. این نتیجه نشان میدهد که فشار نقدینگی، تأخیر در پرداختها، ضعف کنترل هزینه، تخصیص نامناسب بودجه، تأخیر در دریافت مجوزها، کندی تصمیمگیری و ضعف برنامهریزی، نقش آغازگر و تشدیدکننده در زنجیره بروز تأخیر دارند. از منظر مدیریتی، زمانی که جریان مالی پروژه دچار اختلال میشود، تأمین مصالح، پرداخت به نیروی کار، تجهیز کارگاه، تداوم فعالیت پیمانکار و توان تصمیمگیری اجرایی تضعیف میگردد؛ این امر موجب کندی پیشرفت فیزیکی و افزایش مدت اجرا میشود و افزایش مدت اجرا نیز هزینههای غیرمستقیم و فشارهای مالی جدیدی ایجاد میکند. این چرخه خودتقویتی با نتایج مطالعاتی همسو است که تأخیر در پرداختها، کمبود نقدینگی، نوسانات اقتصادی و ضعف تأمین مالی را از مهمترین علل تأخیر معرفی کردهاند (Albtoush, 2025; Amoah et al., 2024; Kaliba et al., 2009; Mahamid et al., 2011). همچنین، یافته حاضر با مطالعات داخلی که بر اهمیت ریسکهای مالی و مدیریتی در پروژههای عمرانی ایران تأکید داشتهاند هماهنگ است (Goodarzi et al., 2024; Mousavi & Valipour, 2024; Shamaei et al., 2021). بنابراین، میتوان گفت که در پروژههای ساختمانی، مدیریت مالی صرفاً یک فعالیت پشتیبان نیست، بلکه یکی از مؤلفههای بنیادین پایداری زمانی پروژه محسوب میشود.

نتایج دلفی نیز نشان داد که ۳۱ متغیر کلیدی در ساختار نهایی مدل تأیید شدند و از میان آنها، ۲۰ متغیر دارای اجماع کامل و ۱۱ متغیر دارای اجماع متوسط بودند. معناداری ضریب هماهنگی کندال نشان داد که توافق خبرگان درباره ساختار عوامل تصادفی نبوده و مدل نهایی از ثبات قابل قبول برخوردار است. این یافته از نظر روششناختی اهمیت دارد؛ زیرا نشان میدهد که عوامل استخراجشده از تحلیل کیفی، در داوری متخصصان نیز معتبر تشخیص داده شدهاند. مطالعات مدیریت ریسک ساختمانی نیز بر ضرورت ترکیب شواهد ادبیات با قضاوت خبرگان تأکید کردهاند؛ زیرا بسیاری از ریسکهای پروژه، بهویژه در محیطهای پیچیده و متغیر، صرفاً با دادههای تاریخی قابل تبیین نیستند و نیازمند تحلیل خبرگانی، زمینهمند و چندمعیاره هستند (Aung et al., 2023; Rahman & Adnan, 2020; Sankar & Shashikanth, 2022). از این منظر، استفاده از دلفی در پژوهش حاضر موجب شد که مدل پیشنهادی از سطح شناسایی نظری عوامل فراتر رود و به ساختاری اجماعیافته برای تحلیل روابط علّی تأخیر تبدیل شود.

یافته دیگر پژوهش، تأیید نقش خوشه توازن هزینه–کیفیت بهعنوان سازوکار میانجی و انتقالدهنده اختلالات بود. این یافته بدین معناست که اختلالات مالی و زمانی معمولاً بهطور مستقیم و فوری به تأخیر نهایی منجر نمیشوند، بلکه از مسیر تصمیمات مربوط به کیفیت، انتخاب پیمانکار و مشاور، پیشنهاد قیمت غیرکارشناسی، ضعف برآورد اولیه، نیروی کار غیرماهر، مصالحه کیفیت با هزینه و ضعف در حلقه یادگیری، به سطح عملیات منتقل میشوند. در چنین وضعیتی، پروژه برای جبران فشارهای مالی یا زمانی، ممکن است به کاهش کنترلهای کیفی، انتخاب منابع ارزانتر، حذف برخی فرایندهای نظارتی یا تسریع غیرواقعی فعالیتها روی آورد. این تصمیمات در کوتاهمدت ممکن است ظاهراً سرعت یا هزینه را کنترل کنند، اما در بلندمدت باعث افت کیفیت، خطاهای اجرایی، دوبارهکاری و هزینههای اصلاحی میشوند. این نتیجه با یافتههای مربوط به دوبارهکاری در پروژههای ساختمانی ایران همسو است؛ زیرا دوبارهکاری یکی از پیامدهای مهم ضعف طراحی، کیفیت پایین اجرا، خطاهای مدیریتی و نبود یادگیری سازمانی معرفی شده است (Moaveni & Shariatmadar, 2021). همچنین، مطالعات مربوط به تأخیر و اضافههزینه در کشورهای مختلف نشان دادهاند که افت کیفیت، طراحی ناقص و ضعف اسناد فنی از عوامل مهم شکلگیری تأخیرهای ثانویه و هزینههای جبرانی هستند (Alsuliman, 2019; Desai & Bhatt, 2013; Le Hoai et al., 2008).

E-ISSN: 3041-8585

نتایج مربوط به خوشه تعادل زمان–کیفیت نیز نشان داد که این بخش محل بروز و انباشت پیامدهای اختلالات سیستم است. متغیرهایی مانند افت دقت اجرایی، تکرار خطا، دوبارهکاری، کاهش زمان کنترل کیفی، فشار ناشی از تغییرات طراحی، ناهماهنگی میان طرفهای پروژه و ضعف مستندسازی، نشان میدهند که تأخیر در نهایت در سطح کیفیت اجرا و اصلاحات فنی آشکار میشود. این یافته بیانگر آن است که کیفیت، صرفاً یک خروجی نهایی پروژه نیست، بلکه یکی از مکانیسمهای تنظیمکننده یا تشدیدکننده رفتار سیستم است. در صورتی که نظام کنترل کیفیت و یادگیری سازمانی فعال باشد، میتواند از گسترش خطا و بازکاری جلوگیری کند؛ اما اگر کنترل کیفی تضعیف شود، کیفیت پایین خود به محرک افزایش زمان و هزینه تبدیل میشود. مطالعات جدید درباره پروژههای مرتفع و پروژههای پیچیده ساختمانی نیز نشان دادهاند که فشار زمانی، تغییرات طراحی، ضعف هماهنگی و پیچیدگی فنی میتواند احتمال خطا و تأخیر را افزایش دهد (Asmi et al., 2025; Vahedi Nikbakht et al., 2024). همچنین، بررسی اثر زمانبندی بر تأخیر نشان میدهد که برنامهریزی غیرواقعی و ضعف کنترل پروژه، از مسیر ایجاد فشار بر کیفیت و عملیات اجرایی، موجب تشدید تأخیر میشود (Esmaeili & Khanzadi, 2024).

از منظر رویکرد پویایی سیستم، یافتههای پژوهش حاضر نشان میدهد که تأخیر در پروژههای ساختمانی ماهیتی درونزا دارد؛ یعنی از درون ساختار تصمیمگیری، جریان منابع، کنترل کیفیت، تعاملات قراردادی و روابط ذینفعان تولید میشود. این نتیجه با مطالعات مبتنی بر پویایی سیستم همسو است که تأکید میکنند رفتارهای پیچیده در پروژههای ساختوساز، نتیجه حلقههای بازخوردی و روابط غیرخطی میان اجزای سیستم هستند (Wang et al., 2025; Zhao et al., 2025). بر این اساس، تأخیر زمانی ایجاد میشود که حلقههای تقویتی، مانند چرخه کمبود نقدینگی–افزایش زمان–افزایش هزینه یا چرخه افت کیفیت–دوبارهکاری–افزایش زمان، بر حلقههای تعدیلکننده مانند کنترل کیفیت، یادگیری از خطاها و اصلاح تصمیمات مدیریتی غلبه کنند. این دیدگاه موجب میشود تأخیر نه بهعنوان یک پیامد قابل انتساب به یک عامل خاص، بلکه بهعنوان رفتار سیستم در شرایط ضعف سازوکارهای تعادلبخش فهم شود.

یافتههای پژوهش همچنین با مطالعاتی همسو است که بر اهمیت ساختار قراردادی و ارتباطات میان طرفهای پروژه تأکید کردهاند. در مدل حاضر، قرارداد غیراستاندارد، عدم شفافیت در محدوده پروژه، تغییر پیمانکار، تغییر مشاور، ناهماهنگی میان طرفهای مختلف پروژه و وجود معارضین بهعنوان متغیرهای مؤثر در ساختار تأخیر شناسایی شدند. این عوامل نشان میدهند که تأخیر فقط نتیجه مسائل فنی یا مالی نیست، بلکه از ضعف حکمرانی قراردادی و ارتباطی پروژه نیز ناشی میشود. در پروژههای طراحی–ساخت، ابهام قراردادی، تغییرات طراحی و ضعف هماهنگی میان طرفین میتواند ریسک تأخیر را افزایش دهد (Ikhsan & Abdurrahman, 2025). همچنین، در زمینه اختلافات ساختمانی، روشهای حل اختلاف و ساختار قرارداد نقش مهمی در کاهش یا تشدید توقفهای اجرایی و ادعاهای زمانی دارند (Moradian Zazerani et al., 2023). ازاینرو، یافته حاضر نشان میدهد که کنترل تأخیر مستلزم توجه به کیفیت قرارداد، شفافیت محدوده پروژه و سازوکارهای ارتباطی میان ذینفعان است.

یکی دیگر از ابعاد قابل توجه یافتهها، پیوند میان تأخیر و پایداری عملکرد پروژه است. در پروژههای ساختمانی، پایداری تنها به مسائل زیستمحیطی محدود نیست، بلکه شامل پایداری مالی، زمانی، کیفی، نهادی و اجتماعی نیز میشود. زمانی که پروژه تحت تأثیر تأخیرهای مکرر قرار میگیرد، مصرف منابع افزایش مییابد، هزینههای اصلاحی بیشتر میشود، کیفیت اجرا تضعیف میگردد و اعتماد ذینفعان کاهش مییابد. از این منظر، کنترل تأخیر بخشی از مدیریت پایدار پروژه است. این تفسیر با دیدگاههایی هماهنگ است که عوامل مؤثر بر ساختوساز پایدار را در پیوند با مدیریت منابع، کیفیت اجرا، محیط نهادی و کارایی فرآیندهای پروژه تحلیل میکنند (Elsamni et al., 2026). بنابراین، مدل حاضر میتواند بهعنوان چارچوبی برای فهم پایداری زمانی–هزینهای–کیفی پروژه نیز مورد استفاده قرار گیرد.

در مجموع، یافتههای پژوهش حاضر نشان داد که تأخیر پروژههای ساختمانی از مسیر یک زنجیره علّی چندسطحی شکل میگیرد. در سطح نخست، پویایی مالی–زمانی بهعنوان محرک اصلی عمل میکند و از طریق اختلال در جریان نقدینگی، بودجه، تصمیمگیری و برنامهریزی، فشار اولیه را بر سیستم وارد میسازد. در سطح دوم، توازن هزینه–کیفیت بهعنوان سازوکار میانجی، این فشار را به تصمیمات اجرایی، انتخاب منابع، کنترل کیفیت و یادگیری سازمانی منتقل میکند. در سطح سوم، تعادل زمان–کیفیت محل ظهور پیامدهاست؛ جایی که خطا، دوبارهکاری، افت کیفیت و اصلاحات فنی، تأخیر را تثبیت یا تشدید میکنند. این تبیین با بدنه وسیعی از مطالعات پیشین درباره عوامل تأخیر، اضافههزینه، ضعف مدیریت ریسک، تغییرات طراحی و مشکلات منابع همراستا است، اما ارزش افزوده آن در این است که عوامل را نه بهصورت فهرست مستقل، بلکه در قالب یک ساختار پویا و علّی تفسیر میکند (Albtoush, 2025; Amoah et al., 2024; Goldoust & Shoja, 2023; Goodarzi et al., 2024).

این پژوهش با وجود ارائه یک چارچوب ساختاری و چندمرحلهای، با چند محدودیت همراه بود. نخست، دادههای خبرگانی پژوهش به تعداد مشخصی از متخصصان دانشگاهی و حرفهای محدود بود و اگرچه اجماع قابل قبول حاصل شد، اما امکان دارد دیدگاه گروههای دیگری مانند کارفرمایان دولتی، پیمانکاران کوچک، مشاوران محلی یا مدیران پروژههای خصوصی بهطور کامل بازنمایی نشده باشد. دوم، مدل پژوهش بر تحلیل ساختاری و علّی متمرکز بود و وارد مرحله شبیهسازی عددی کامل رفتار سیستم در بازههای زمانی مختلف نشد. سوم، دادهها عمدتاً مبتنی بر قضاوت خبرگان و تحلیل ادبیات بودند؛ بنابراین، ممکن است تفاوتهای ناشی از نوع پروژه، اندازه پروژه، منطقه جغرافیایی، وضعیت اقتصادی و ساختار قراردادی در مدل بهطور کامل منعکس نشده باشد. چهارم، به دلیل تمرکز بر سه محور زمان، هزینه و کیفیت، برخی ابعاد دیگر مانند ایمنی، پایداری زیستمحیطی، فناوریهای نوین و فرهنگ سازمانی بهصورت مستقیم و مستقل در مدل وارد نشدند.

پیشنهاد میشود در مطالعات آینده، مدل حاضر با استفاده از دادههای واقعی پروژههای ساختمانی در حال اجرا یا خاتمهیافته آزمون و اعتبارسنجی شود. همچنین، توسعه مدل به سمت شبیهسازی کمی پویایی سیستم میتواند امکان تحلیل سناریوهای مختلف، مانند تغییر در جریان نقدینگی، افزایش قیمت مصالح، تغییر پیمانکار، کاهش زمان کنترل کیفیت یا مداخله در سازوکارهای یادگیری را فراهم کند. پژوهشهای آینده میتوانند مدل را در انواع مختلف پروژهها، از جمله پروژههای بلندمرتبه، زیربنایی، مسکونی، صنعتی و پروژههای طراحی–ساخت، مقایسه کنند تا مشخص شود کدام روابط علّی در همه پروژهها پایدار و کدام روابط وابسته به زمینه هستند. همچنین، پیشنهاد میشود نقش فناوریهایی مانند مدلسازی اطلاعات ساختمان، سامانههای کنترل پروژه، تحلیل دادههای پیشبینانه و ابزارهای مدیریت زنجیره تأمین در کاهش حلقههای تقویتی تأخیر بررسی شود.

بر اساس یافتههای پژوهش، مدیران پروژههای ساختمانی باید تأخیر را نه بهعنوان یک مشکل مقطعی، بلکه بهعنوان نشانهای از ناپایداری ساختاری در سیستم پروژه تلقی کنند. لازم است کنترل جریان نقدینگی، شفافسازی محدوده پروژه، انتخاب دقیق پیمانکار و مشاور، واقعبینی در زمانبندی، تقویت کنترل کیفیت و مستندسازی تجربهها در مراحل اولیه پروژه مورد توجه قرار گیرد. همچنین، سازوکارهایی برای شناسایی زودهنگام خطاها، جلوگیری از دوبارهکاری، مدیریت تغییرات طراحی و هماهنگی میان کارفرما، پیمانکار، مشاور و تأمینکنندگان باید طراحی شود. ایجاد نظام یادگیری پروژه، ثبت خطاها و اصلاح فرایندها میتواند حلقههای تقویتی تأخیر را تضعیف و حلقههای تعدیلی کنترل کیفیت را فعال کند. در عمل، موفقیت مدیریت تأخیر زمانی حاصل میشود که زمان، هزینه و کیفیت بهصورت یکپارچه و نه جداگانه مدیریت شوند.

E-ISSN: 3041-8585

تقدیر و تشکر

از تمامی کسانی که در انجام این مطالعه همراهی نمودند تشکر و قدردانی میگردد.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچگونه تضاد منافعی وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

موازین اخلاقی

در پژوهش حاضر تمامی موازین اخلاقی رعایت گردیده است.

شفافیت دادهها

دادهها و مآخذ پژوهش حاضر در صورت درخواست از نویسنده مسئول و ضمن رعایت اصول کپی رایت ارسال خواهد شد.

حامی مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

References

Ahmed, S. M., Azhar, S., Kappagntula, P., & Gollapudil, D. (2003). Delays in construction: A brief study of the Florida construction industry. Proceedings of the 39th Annual ASC Conference, Clemson, USA.

Al Momani, A. H. (2000). Construction delay: A quantitative analysis. *International Journal of Project Management*, *18*(1), 51-59.

Albtoush, A. M. F. (2025). Risk of delay in construction projects. In *IntechOpen*. https://doi.org/10.5772/intechopen.112594

Alsuliman, J. A. (2019). Causes of delay in Saudi public construction projects. *Alexandria Engineering Journal*, *58*(2), 801-808.

Amoah, K. B. O., Okere, G., & Deshpande, A. (2024). Construction delay analysis: Causes, impacts, and mitigation strategies. *Journal of Civil Engineering Research*, *14*(1), 1-9. https://doi.org/10.5923/j.jce.20241401.01

Asmi, A., Rahmadi, M. G., & Djamaris, A. (2025). Risk analysis of construction delays in high rise projects. *International Journal of Multidisciplinary Research and Analysis*, *8*(8), 4644-4648. https://doi.org/10.47191/ijmra/v8-i08-28

Assaf, S. A., & Al Hejji, S. (2006). Causes of delay in large construction projects. *International Journal of Project Management*, *24*(4), 349-357.

Aung, T., Sui, R. L., Arkar, H., & Bhaumik, A. (2023). Risk management in construction projects: A review of literature. *International Journal of Creative Research Thoughts*, *11*(5), 466-469.

Desai, M., & Bhatt, R. (2013). Critical causes of delay in residential construction projects: Case study of central Gujarat region of India. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, *4*(4), 762-768.

Elsamni, J., Hegazy, H., Abdulrasheed, I., & Kohail, M. (2026). Factors influencing sustainable construction in Egypt. *Journal of Civil Engineering and Management*, *32*(2), 148-161.

Esmaeili, A., & Khanzadi, M. (2024). Evaluating the effects of scheduling on delays in construction projects. *Journal of Structural Engineering and Construction*, *11*(5), 82-93. https://doi.org/10.22065/jsce.2023.420418.3239

Goldoust, Y., & Shoja, E. (2023). Identifying the causes of delays in construction projects using a meta-synthesis approach: Case study of the ASCE database. *Executive Management Journal*, *15*(29), 97-132. https://doi.org/10.22080/jem.2022.23037.3706

Goodarzi, H., Ehsanifar, M., Mirhosseini, S. M., & Mazaheri, H. (2024). Managing construction project delays using a hybrid structural-dynamic approach in Iran. *Journal of Structural Engineering and Construction*. https://doi.org/10.22065/jsce.2024.453646.3395

Ikhsan, R. A., & Abdurrahman, M. A. (2025). Risk analysis of delay in construction project based on design and build contract. *Construction Technologies and Architecture*, *16*, 45-54. https://doi.org/10.4028/p-GKP9mr

Kaliba, C., Muya, M., & Mumba, K. (2009). Cost escalation and schedule delays in road construction projects in Zambia. *International Journal of Project Management*, *27*(5), 522-531.

Koushki, P. A., Al Rashid, K., & Kartam, N. (2005). Delays and cost increases in the construction of private residential projects in Kuwait. *Construction Management and Economics*, *23*(3), 285-294.

Le Hoai, L., Lee, Y. D., & Lee, J. Y. (2008). Delay and cost overruns in Vietnam large construction projects: A comparison with other selected countries. *KSCE Journal of Civil Engineering*, *12*(6), 367-377.

Mahamid, I., Bruland, A., & Dmaidi, N. (2011). Causes of delay in road construction projects. *Journal of Management in Engineering*, *28*(3), 300-310.

Moaveni, S., & Shariatmadar, H. (2021). Ranking the rework causes in Iran's construction projects and investigating the effect of lean construction techniques. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, *53*(1), 29-32. https://doi.org/10.22060/ceej.2019.14975.5801

Moradian Zazerani, M., Rostamifar, A., & Ghasemi, H. (2023). FIDIC dispute resolution methods in international construction disputes with emphasis on standard forms of contract. *Quarterly Journal of New Achievements in Public Law*, *10*(3), 66-84.

Mousavi, S. A. A., & Valipour, A. (2024). Risk assessment and analysis of construction projects using the ANP method. *Civil Engineering and Project Journal*, *6*(7), e196007. https://doi.org/10.22034/cpj.2024.455757.1284

Rahman, M., & Adnan, T. (2020). Risk management and risk management performance measurement in the construction projects of Finland. *Journal of Project Management*, *5*(3), 167-178.

Sankar, S. D., & Shashikanth, K. (2022). Risk management in construction industry. *International Journal of Research Publication and Reviews*, *3*(5), 3008-3017.

Shamaei, F., Mirzadeh, M. A., & Abtahi, M. (2021). Identification and prioritization of effective indicators in contractor delays in construction projects based on the fuzzy analytic hierarchy process. Proceedings of the 7th International Conference on Modern Research in Civil Engineering, Architecture, Urban Management and Environment, Tehran, Iran.

Vahedi Nikbakht, M., Gheibi, M., Montazeri, H., Yeganeh Khaksar, R., Moezzi, R., & Vadiee, A. (2024). Identification and ranking of factors affecting the delay risk of high-rise construction projects using AHP and VIKOR methods. *Infrastructures*, *9*, 24. https://doi.org/10.3390/infrastructures9020024

Wang, Y., Liu, J., Zhang, G., Geng, X., & Liu, Y. (2025). A system dynamics analysis of the factors influencing the promotion of prefabricated decoration based on a co-occurrence network. *PLoS One*, *20*(9), e0331703. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0331703

Zhao, L., Qin, X., & Chen, C. (2025). Research on risk factors of construction project delays based on system dynamics. *Procedia Computer Science*, *266*, 349-356.

E-ISSN: 3041-8585