Journal of Structural and Construction Engineering, 12(04), 2025, pp. 29-54

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Delay Management of Construction Projects with a Structural-Dynamic Hybrid Approach in Iran

Hamid Goodarzi[1], Mohammad Ehsanifar[2*], Seyed Mohammad Mirhosseini[3], Hossein Mazaheri[4]

1. *Ph.D. student, Department of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran*
2. *Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran*
3. *Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran*
4. *Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran*

ABSTRACT

The current research presents a delay management model for construction projects and evaluates the influencing factors using a structural-dynamic hybrid approach. Finally, the results have provided a model for the management situation in the first rank contracting companies of Tehran province. For this purpose, in order to achieve the goals of the research, a combined-exploratory approach is used. First by examining the background of the research and the opinion of experts, the factors influencing the delay of construction projects in Iran were identified and the results led to the extraction of 12 influencing factors. Then, the factors identified by the Interpretive Structural Modelling (ISM) method were levelled and their interaction network was drawn. Finally, by using the System Dynamics (SD) technique, the influencing factors were modelled in two cases of sanctions and non-sanctions. The accuracy and validity of the model presented in the delay management of construction projects was investigated over a period of 100 months and the results showed that due to the factors affecting the delay, the shortage of materials is increasing over time with the intensification of sanctions which shows the logical behaviour of the model. Due to the simulation period in non-sanctioned mode, management's ability to monitor and control the project has increased. Under the conditions of sanctions, the manager's abilities to monitor and control the project may increase for a limited period due to limited access to new technologies, but during the period with the tightening of sanctions, as the forecast shows, stable behavior. In general, the current research pursues the management of construction project delays by changing the planning period based on an integrated method and identifies the most appropriate strategy and planning period for policy makers, as well as an appropriate planning period for dealing with construction project delays in the real world.

ARTICLE INFO

Receive Date: 03 May 2024
Revise Date: 20 August 2024
Accept Date: 17 October 2024

Keywords:
Delay Management
Construction Projects
Hybrid Approach
Interpretive Structural Modeling (ISM)
System Dynamics (SD)

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2024.453646.3395

*Corresponding author: Mohammad Ehsanifar
Email address: Mo.Ehsanifar@iau.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی – پژوهشی)
www.jsce.ir
Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

مدیریت تاخیر پروژه‌های ساخت و ساز با رویکرد ترکیبی ساختاری – دینامیکی در ایران

حمید گودرزی[۱]، محمد احسانی فر*[۲]، سید محمد میرحسینی[۳]، حسین مظاهری [۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران
۲- دانشیار، گروه مهندسی صنایع، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران
۳- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران
۴- استادیار، گروه مهندسی شیمی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

چکیده

پژوهش حاضر با استفاده از رویکرد ترکیبی ساختاری – دینامیکی به ارائه مدل مدیریت تاخیر پروژه‌های ساخت و ارزیابی عوامل مؤثر بر آن می‌پردازد. در نهایت، مدلی متناسب با وضعیت مدیریتی در شرکت‌های پیمانکاری رتبه یک استان تهران ارائه نموده است. بدین منظور، در جهت تحقق اهداف تحقیق، از یک رویکرد ترکیبی – اکتشافی بکار می‌گیرد. در این راستا، ابتدا با بررسی پیشینه پژوهش و نظر خبرگان به شناسایی عوامل موثر بر تاخیر پروژه‌های ساخت و ساز در ایران پرداخته شد و نتایج منجر به استخراج ۱۲ عوامل تاثیرگذار گردید. سپس عوامل شناسایی شده توسط روش مدلسازی ساختاری- تفسیری (ISM) سطح‌بندی شده و شبکه تعاملات آنها رسم شد. در نهایت، با استفاده از فن پویایی سیستم (SD)، به مدل‌سازی عوامل تاثیرگذار در دو حالت تحریمی و غیر تحریمی پرداخته شد. ارزیابی صحت و اعتبار مدل ارائه شده در مدیریت تاخیر پروژه‌های ساخت و ساز طی یک دوره ۱۰۰ ماهه بررسی گردید و نتایج نشان داد که با توجه به عوامل مؤثر بر تاخیر، در گذر زمان با شدت گرفتن تحریم‌ها میزان کمبود مواد در حال افزایش است که نشان از رفتار منطقی مدل دارد. همچنین، با توجه به دوره‌ی شبیه‌سازی در حالت غیرتحریمی توانمندی‌های مدیریت برای نظارت و کنترل پروژه افزایش یافته است. در شرایط تحریمی با توجه به محدودیت در دسترسی به فناوری‌های نو ممکن است توانمندی‌های مدیر در نظارت و کنترل پروژه به مدت محدودی افزایش یابد اما در طول دوره با شدت گرفتن تحریم‌ها پیش‌بینی انجام شده رفتار ثابت مدل را نشان می‌دهد. به طور کلی پژوهش حاضر، مدیریت تاخیر پروژه‌های ساخت و ساز را با تغییر دوره برنامه‌ریزی بر اساس روش یکپارچه پیگیری می‌کند و مناسب‌ترین استراتژی و دوره برنامه‌ریزی را برای سیاست‌گذاران شناسایی نموده و یک دوره برنامه‌ریزی مناسب برای مدیریت تاخیر پروژه‌های ساخت و ساز در دنیای واقعی تعیین می‌نماید.

کلمات کلیدی: مدیریت تاخیر، پروژه‌های ساخت و ساز، رویکرد ترکیبی، مدلسازی ساختاری تفسیری (ISM)، پویایی سیستم (SD).

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	10.22065/jsce.2024.453646.3395
۱۴۰۳/۰۲/۱۴	۱۴۰۳/۰۵/۳۰	۱۴۰۳/۰۷/۲۶	۱۴۰۳/۰۷/۲۶	۱۴۰۴/۰۳/۳۱	doi: https://doi.org/10.22065/jsce.2024.453646.3395

*نویسنده مسئول: محمد احسانی فر
پست الکترونیکی: Mo.Ehsanifar@iau.ac.ir

۱- مقدمه

کشورهای در حال توسعه‌ای چون ایران نیاز محسوسی به سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های اقتصادی دارند و هر ساله بخش قابل توجهی از بودجه‌های عمرانی را صرف این زمینه می‌نمایند [۱] چرا که یکی از مشخصه‌های توسعه اقتصادی هر کشور، طرح‌های عمرانی آن است که به عنوان شاخصی مهم در پیشرفت اقتصادی آن کشور مورد بررسی قرار می‌گیرد. در واقع، طرح‌های عمرانی یکی از عوامل حیاتی اقتصادی و سیاسی دولت‌ها هستند و به‌دلیل حجم اعتبارات مصروفه و حساسیت‌های اجتماعی در دهه‌های اخیر در ایران معنا و حساسیت ویژه‌ای یافته‌اند [۲]. اجرای پروژه‌های عمرانی تاثیر فراوانی بر کیفیت زندگی، شرایط اقتصادی و اجتماعی جامعه دارد به همین دلیل هر چه زمان آن کوتاه‌تر باشد اثرات مثبت ناشی از انجام این پروژه‌ها زودتر نمایان می‌شود؛ از طرفی همان‌طور که قبلا بیان شد بخش قابل توجهی از بودجه صرف پروژه‌های عمرانی می‌گردد، بنابراین لازم است که در کوتاه‌ترین زمان و کمترین هزینه ممکن صورت پذیرد. علیرغم اهمیت مسئله زمان اتمام پروژه و هزینه مطلوب، پروژه‌های بسیار کمی در موعد مقرر به اتمام رسیده‌اند. افزایش زمان اجرای پروژه‌های عمرانی منجر به اتلاف اعتبارات عمرانی، نیروی انسانی متخصص و ماهر، ماشین آلات و تجهیزات شده و در نتیجه، نسبت ارزش کارهای به بهره-برداری رسیده و کارهای در دست اجرا اتلاف می‌شود [۳]. در میان پروژه‌های متعدد عمرانی، صنعت ساخت و ساز همیشه یک صنعت پر ریسک و کم حاشیه باقی مانده است. بر اساس نظرسنجی مالکان پروژه‌های ساخت و ساز جهانی در سال (۲۰۱۵)، تنها ۲۵ درصد از پروژه‌ها در مهلت اولیه خود انجام شده‌اند [۴]. طی چند دهه گذشته، پژوهش‌های بی‌شماری در مورد یافتن نقطه بهینه بین زمان و هزینه اجرای پروژه صورت گرفته است اما در این میان آنچه کمتر مورد توجه قرار گرفته است بررسی شرایط یا عواقبی است که پروژه با تاخیر و با زمان بسیار طولانی‌تر از زمان بهینه به اتمام برسد و تاثیری که این مسئله بر هزینه صرف شده پروژه برجای می‌گذارد [۱]. آنچه در پروژه‌های عمرانی به عنوان تأخیر از آن یاد می‌شود، افزایش زمان تحویل پروژه نسبت به زمان مورد توافق در قرارداد است. تأخیر به عنوان یکی از مسئله‌های مشترک در تمام پروژه‌های عمرانی برای تمام ذینفعان پروژه ناخوشایند است. کارفرما به دلیل سود از دسترفته ناشی از تأخیر در بهره‌برداری، پیمانکار به دلیل افزایش قیمت‌ها و اشتغال منابع و مردم به دلیل عدم استفاده از منفعت اجتماعی پروژه از این موضوع متضرر می‌شوند [۲]. طبق گفته آساف و الحجی[1] (۲۰۰۶)، تاخیر در یک قرارداد تحویل پروژه می‌تواند به‌عنوان زمان یا تاریخ تکمیل مشخص شده پروژه که طرفین توافق نموده‌اند تعریف شود. تأخیر همچنین به عنوان یک عمل یا رویدادی که زمان لازم برای انجام یا تکمیل کار قرارداد را افزایش می‌دهد و خود را به عنوان روزهای اضافی کار نشان می‌دهد توسط زاک[2] (۲۰۰۳) تعریف شده است [۵]. به گفته مهامید[3] و همکاران (۲۰۱۲)، تاخیر در پروژه‌های ساختمانی یک پدیده جهانی است. تاخیر برای پروژه‌های کوچک و بزرگ در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته اتفاق می‌افتد و معمولاً با افزایش هزینه همراه است. تأخیر بر تمامی ذینفعان یک پروژه مانند کارفرما، پیمانکار و مشاور از نظر پیشرفت پروژه، روابط، ارتباط بین طرفین و جنبه‌های مالی تأثیر منفی می‌گذارد که گاه ممکن است به اختلافات جدی یا دعواهای حقوقی منجر شود [۶]. تأخیر به هر شکلی که باشد منجر به از دست دادن درآمد برای کارفرما و هزینه های اضافی برای پیمانکار می شود. در برخی موارد به دلیل تأخیر، هدر رفت و فرسودگی مواد رخ می‌دهد. در مجموع، تأخیر در تحویل پروژه برای هیچ یک از ذینفعان پروژه‌های ساختمانی خوب نیست. کوماراسوامی و چان[4] (۱۹۹۸) پیشنهاد می‌کنند که اگر مشکل تاخیر در پروژه‌ها کنترل شود، می‌تواند به بهبود بهره‌وری منجر گردد. پروژه‌ها در هر زمینه کاری مستعد تاخیر هستند، اما در پروژه‌های ساخت و ساز احتمال تاخیر بسیار بیشتر است زیرا این پروژه‌ها در محیط بسته مانند صنعت تولیدی پیاده‌سازی نمی‌گردند، بلکه در مکان باز اجرا می‌شوند. کار ساخت و ساز شامل ایجاد سازه‌های پیچیده مانند سدها، ساختمان‌ها، پل‌ها، جاده‌ها، فرودگاه‌ها است. در عین حال، تأخیر را نباید به طور معمول یا اجتناب‌ناپذیر در نظر گرفت.

تاخیر به عنوان یک مسئله قبل از اینکه بزرگ شود و شروع به تأثیرگذاری بر هزینه، کیفیت کار و روابط با سهامداران کند باید توسط شرکت‌ها مورد توجه قرار گیرد [۴]. شرکت‌ها مدت‌هاست که سعی در پرداختن به این موضوع داشته‌اند و این موضوع همیشه زمینه

[1] Assaf and Al-Hejji
[2] Zack
[3] Mahamid
[4] Kumaraswamy and Chan

تحقیقات فعال برای دانشگاهیان بوده است. علی‌رغم تمام تلاش‌ها، پروژه‌ها در ایران و در سرتاسر جهان از مسئله گذر زمان یعنی تاخیر رنج می‌برند. در ایران پروژه‌های عمرانی در حجم بالایی در دست اجرا می‌باشند و تأخیر در اجرای این پروژه‌ها گاهی به قدری طولانی می‌شود که علاوه بر اتلاف منابع ملّی و خسارات اجتماعی ممکن است در نهایت پروژه را از نظر اقتصادی غیرقابل توجیه نماید تا جایی که خسارت مستقیم و غیرمستقیم ناشی از تأخیر گاهی چند برابر ارزش واقعی پروژه می‌شود [۷]. با وجود تمام تلاش‌های دولت، پروژه‌ها در ایران همچنان از مشکل تاخیر رنج می‌برند. بنابراین مدیریت تاخیر پروژه‌های ساخت در ایران به منظور بهره‌برداری بهینه و مدیریت صحیح آن در ایران امری ضروری است چرا که با شناخت و تحلیل تاخیر پروژه‌های ساخت در ایران به بررسی شکاف بین برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های عمرانی و در نهایت به ارائه راهکارهای مناسبی برای حذف این عوامل و دستیابی به زمانبندی منطقی برای بهره‌برداری به موقع از پروژه-های مذکور پرداخته می‌شود. بدین منظور، شناسایی عوامل مؤثر بر ایجاد تأخیر در اجرا و نهایتاً اتمام پروژه‌های ساخت وساز در ایران امری ضروری است. شناسایی این عوامل در واقع شکاف بین برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های ساخت وساز است؛ در راستای ارائه راهکارهای مناسب برای حذف این عوامل و دستیابی به زمانبندی منطقی برای بهره‌برداری به موقع از پروژه‌های مذکور مفید است [۶]. تاکنون در خصوص عوامل موثر بر بر ایجاد تأخیر محققان زیادی به تبیین و توضیح دلایل ارتقاء آن پرداختند. عوامل موثر بر ایجاد تأخیر در پروژه‌های ساخت و ساز نتیجه یک عامل نیست بلکه مجموعه‌ای از عوامل با هم در تعامل‌اند تا نتیجه نهایی حاصل شود. چنین پیچیدگی نیازمند، مطالعه جامع عوامل به منظور درک تک تک عوامل و تعاملات ما بین آنها با یک رویکرد ترکیبی ساختاری- دینامیکی می‌باشد. بر این اساس پژوهش حاضر، با بکارگیری رویکرد ترکیبی سیستم‌های پویا و مدلسازی ساختاری تفسیری به تحلیل عوامل مؤثر بر ایجاد تأخیر در پروژه‌های ساخت و ساز می‌پردازد چراکه با توجه به ساختار پیچیده مرتبط با عوامل متعدد بر ایجاد تأخیر در پروژه‌های ساخت و ساز، ارائه رویکرد ترکیبی سیستمی مناسب برای بررسی ارتباط بین عوامل تاثیرگذار مختلف امری بس مهم و ضروری است. براساس شواهد اجرایی موجود و گزارش‌های حاصل از مطالعات و پروژه‌های تحقیقاتی همگی بیانگر ضرورت ارتقا بررسی عوامل مؤثر بر ایجاد تأخیر در پروژه‌های ساخت و ساز می‌باشند. پژوهش حاضر درصدد است که یک رویکرد ترکیبی سیستمی مناسبی ارائه نماید که بیانگر جنبه‌های یک سیستم مورد مطالعه باشد چرا که سیستم‌های پویا امکان مدلسازی در شرایط وابستگی بین عوامل تاثیرگذار را ارائه نمی‌دهند؛ بنابراین به نظر می‌رسد که به منظور بهبود مدل پویای سیستم برای کمک به شناسایی ساختار درونی یک سیستم، بکارگیری یک روش ساختار یافته ضروری باشد. بدین منظور، ابتدا عوامل تاثیرگذار با بررسی عمیق ادبیات تعیین می‌گردند. سپس با بهره‌گیری از نظر خبرگان و بهره‌گیری از روش مدلسازی معادلات ساختاری – تفسیری[۵] (ISM) به تدوین مدل پرداخته و پس از استفاده از روش مدلسازی معادلات ساختاری – تفسیری، فرضیات دینامیکی و مدل علت و معلولی پویایی شناسی[۶] سیستم‌ها توسعه داده می‌شود و پس از مشخص شدن مدل مفهومی و ساختاری شبکه‌ای سایر اقدامات مرتبط با بکارگیری پویایی شناسی سیستم ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نهایت، نتایج رویکرد ترکیبی منجر به پیشنهاد سیاست‌هایی برای ارتقا بهبود مدیریت تاخیر در پروژه‌های ساخت و ساز می‌گردد.

۲-تحلیل کتاب‌سنجی و بررسی پیشینه پژوهش

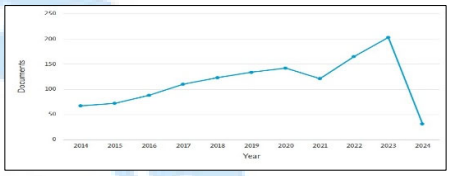
در این قسمت ابتدا به بررسی کتابسنجی و در ادامه به بررسی پژوهش‌های ارائه شده در طی چند دهه اخیر پرداخته می‌شود.

۲-۱- تحلیل کتاب‌سنجی

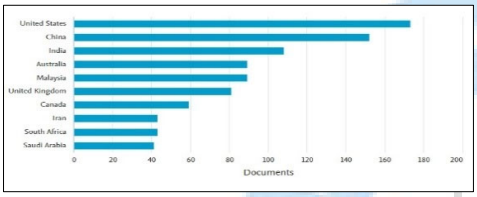
در این قسمت ابتدا از نرم‌افزار کتاب‌سنجی[۷] که یک ابزار نرم‌افزار مناسب برای ساخت و تجسم شبکه‌های کتاب‌سنجی استفاده شده است. این شبکه‌ها ممکن است شامل مجلات، پژوهشگران یا نشریات خصوصی باشند و می‌توانند بر اساس استناد، پیوند کتاب‌شناختی، استناد مشترک یا روابط هم‌نویسندگی ساخته شوند. نرم افزار مورد نظر، همچنین قابلیت متن‌کاوی را ارائه می‌دهد که می‌تواند برای ساخت

[1]Interpretive Structural Modelling (ISM)
[2]System Dynamic
[3]VOS viewer

و تجسم شبکه‌های همزمان عبارات مهم استخراج شده از مجموعه ای از ادبیات علمی استفاده شود. کتاب‌سنجی یک نوع روش سنجش آماری است و الگوی ارتباطی میان نویسندگان و متون را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، رابطه‌ای که میان نویسندگان و منابع وجود دارد با استفاده از روش‌های آماری مانند توزیع پراکندگی، تحلیل استنادی و جز آن سنجیده و تعیین می‌شوند. بنابراین، هدف کتاب‌سنجی انجام نوعی تحلیل روی منابع گوناگون همانند کتاب، منابع دیداری و شنیداری، و دیگر انواع منابع است. براین اساس، با توجه به توضیحات ارائه شده در قسمت اول بررسی ادبیات به پیاده‌سازی بحث کتاب‌سنجی پرداخته می‌شود. ابتدا در پایگاه داده‌ی اسکوپوس[8] با استفاده از کلمات کلیدی ارزیابی مدیریت تاخیر و صنعت ساخت و ساز به جستجوی مقالات بین سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۲۴ پرداخته شد که تعداد ۱۲۵۶مقاله بدست آمد که شامل همه‌ی مقالات کنفرانسی و ژورنالی، مروری و کتاب‌ها بود. در ادامه به تحلیل آماری مقالات بدست آمده با استفاده از پایگاه داده‌ی اسکوپوس پرداخته شد. طبق شکل۱ همانطور که مشاهده می‌گردد یک روند صعودی را نشان می‌دهد که بدین معنی است که با افزایش زمان بحث مدیریت تاخیر اهمیت بیشتری بین محققین یافته است. همچنین در تحلیل دیگری به رتبه‌بندی کشورها براساس بیشترین پژوهش‌های صورت گرفته پیرامون مدیریت تاخیر پرداخته شده است. نتایج مندرج در شکل ۲ نشان می‌دهد که ایالات متحده، چین، هند جزو برترین کشورهایی هستند که به موضوع مدیریت تاخیر پرداخته‌اند و کشور ایران با ۴۳ مقاله در رتبه‌های پایین‌تری قرار دارد و این اختلاف نشان می‌دهد که بایستی بیشتر به موضوع مدیریت تاخیر پرداخته شود.



شکل۱: فرآیند انتشار مقالات با توجه به شاخص زمان.



شکل۲: رتبه‌بندی کشورها بر اساس بیشترین مقاله‌ی ارائه شده.

بر این اساس باتوجه به اهمیت مدیریت تاخیر پروژه‌های ساخت و ساز براساس شاخص زمان و جایگاه کشور ایران طی مقالات منتشر شده در چند سال اخیر مشخص گردید که بایستی پژوهشگران تمرکز بیشتری روی این موضوع داشته باشند. بررسی ادبیات علمی نشان می‌دهد تاکنون تحقیقی به بررسی مدیریت تاخیر پروژه‌های ساخت و ساز با مدلسازی ترکیبی بر اساس مدلسازی ساختاری تفسیری (ISM) و دینامیک سیستم (SD) انجام نگرفته و بیشتر تحقیقات انجام شده مدیریت تاخیر را با تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و یا سایر روش‌های مدلسازی از جمله پویایی سیستم (SD) بررسی نموده‌اند و مدلسازی ترکیبی بسیار کمرنگ ارائه شده است. از این‌رو، انجام پژوهشی‌که به ارائه یک مدلسازی ترکیبی پیرامون موضوع مورد بررسی بپردازد، ضرورت دارد. در ادامه، به منظور پی بردن به اهمیت مسئله مورد بررسی، پژوهش‌های صورت گرفته در طی چند دهه اخیر به عنوان مروری برای شناسایی خلأهای پژوهشی معرفی شده است. به عنوان مثال می‌توان به پژوهش نیلفروشان و فضیلتی (۱۴۰۱) اشاره نمود که به بررسی اثرات متقابل تاخیر و تعدیل بها در پروژه‌های عمرانی از دیدگاه کارفرما و پیمانکار پرداختند. بدین منظور، بیان داشتند که امروزه یکی از معیارهای سنجش توسعه و پیشرفت یک کشور، پروژه‌های عمرانی آن است. تاخیر و تعدیل بها در پروژه‌های عمرانی دو موضوعی هستند که بر هزینه و مدت پروژه اثرات قابل توجهی دارند. این تاثیرات به طور مستقیم کارفرمایان و پیمانکاران پروژه‌های عمرانی را درگیر مسائل و مشکلات زیادی می‌نماید و توجه به آنها می‌تواند از اتلاف هزینه و بروز مشکلات در پیمان‌های پیمانکاری جلوگیری کند. تعدیل بها و خسارت تاخیر کار، به عنوان بخشی از هزینه انجام پروژه، در صورت عدم بروز تاخیر، وقوع تاخیرات مجاز و نیز تاخیرات غیرمجاز متفاوت خواهد بود. علاوه بر این، گاهی پیمانکاران ادعای زیان ناشی از متناسب نبودن شاخص‌های تعدیل اعلام شده با افزایش واقعی قیمت‌ها را مطرح می‌نمایند. در این پژوهش تلاش شده است که با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و مرور ادبیات، قوانین و بخشنامه‌های مرتبط، تاخیر و تعدیل بها در پیمان‌های پیمانکاری ساخت معرفی شده و نحوه محاسبات مرتبط با آنها عنوان گردد.در ابتدا تغییرات شاخص‌های تعدیل مورد استفاده در پیمان که همان شاخصهای اعلام شده از سوی سازمان برنامه و بودجه کشور است با شاخص‌ها یا نرخ‌های تورم سالانه در ایران ارائه شده از سوی سه منبع مختلف دیگر یعنی مرکز آمار

[8] Scopus

ایران، بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران و بانک جهانی مقایسه شود، سپس با استفاده از شیوه تحلیل سناریو، سناریوهای مختلف پروژه از دیدگاه کارفرما و پیمانکار تعریف شده و نتایج سناریوها به‌ویژه از نظر هزینه، بررسی و مقایسه شوند. نتایج حاصل می‌تواند برای عوامل پروژه های عمرانی مفید و کاربردی باشد [۸]. همچنین روزبهانی و کریمی گوارشکی (۱۴۰۰)، در پژوهشی تحت عنوان «شناسایی و اولویت‌بندی عوامل تاخیر در پروژه‌های ساخت وساز» بیان داشتند که محدودیت منابع زمانی، مالی و انسانی، فنی و تجهیزاتی افراد را وادار به اجرای هرچه بهتر پروژه‌ها نموده است. وقوع تاخیر در پروژه‌ها صدمات فراوانی به صنعت ساخت و ساز کشور وارد کرده است. بنابراین، با توجه به اهمیت جلوگیری از وقوع تاخیرات و کاهش اثرات آن بر پروژه‌های ساخت و ساز، در پژوهش حاضر، عوامل کلیدی تاخیرزا در پروژه‌های ساخت و ساز ناشی از چهار منشاء کارفرما، پیمانکار، مشاور و سایر عوامل راشناسایی شدند. از میان ۴۶ علت شناسایی شده، ۲۰ علت پرتکرار شناسایی و به کمک تحلیل سلسله مراتبی[9] (AHP) اولویت‌بندی گردیدند. طبق نتایج، منشا پیمانکاری و علت ناهماهنگی پیمانکار با سایر بخش‌ها بیشترین سهم و منشاء مشاوران و علت کمبود نیرو کار ساده و متخصص، مصالح و مواد کمترین سهم را در ایجاد تاخیر دارند. همچنین، عدم هماهنگی بخش‌ها با یکدیگر به عنوان مهمترین عامل تاخیرزایی تعیین شدند [۹]. آرانتس و فریرا[10] (۲۰۲۳)، در پژوهشی تحت عنوان «توسعه اقدامات کاهش تاخیر در پروژه های ساختمانی: یک مدلسازی ساختاری تفسیری ترکیبی و رویکرد تحلیل میک‌مک[11]» بیان داشتند که تأخیرهای ساخت و ساز بدون در نظر گرفتن نوع کار، در سرتاسر جهان تکرار می‌شوند و می‌توانند منجر به اثرات شدیدی مانند از دست رفتن زمان و هزینه شود. هدف این کار ارائه روشی برای توسعه اقدامات کاهشی برای علل تاخیر در پروژه‌های ساخت و ساز بود. کارهای قبلی راهبردهایی را برای توسعه این اقدامات مورد بررسی قرار داده‌اند، اما به طور منسجم در نظر نگرفته‌اند. روش پیشنهادی مدلسازی ساختاری تفسیری (ISM) و ضرب ماتریس تأثیر متقاطع (MICMAC) رویکردها را تجزیه و تحلیل نمود و بر اساس نظرات کارشناسان ساخت و ساز جمع‌آوری‌شده در طول مصاحبه‌های گروهی متمرکز بود. بدین منظور، ابتدا علل بحرانی شناسایی شدند. دوم، مدل ISM ساخته شده که نشان دهنده روابط متقابل بین علل و سلسله مراتب آنها است. سوم، تجزیه و تحلیل MICMAC انجام شد که نقاط قوت روابط بین علل تأثیرگذار را آشکار نمود. چهارم، اقدامات کاهشی برای رسیدگی به علل ریشه‌ای شناسایی شده در مراحل قبلی ایجاد شد، اما با توجه به روابط سلسله مراتبی، قدرت محرک و سطوح وابستگی آنها، برای هدف قرار دادن و کاهش علل دیگر طراحی شدند. بکارگیری این روش‌شناسی ۱۶ علت حیاتی را آشکار کرد که سپس در شش سطح تأثیر سلسله مراتبی شدند. فرآیندهای نامناسب مناقصه، اعطای قرارداد و ارتباطات ناقص بین طرفین علت اصلی تلقی شد و ۲۳ اقدام برای کاهش آنها ارائه شد[۱۰]. شریواس و سینگلا[12] (۲۰۲۲)، در پژوهشی تحت عنوان «تحلیل تعامل بین عوامل موثر بر تاخیر در پروژه‌های ساختمانی با استفاده از رویکرد مدلسازی ساختاری تفسیری» به شناسایی و تحلیل عوامل حیاتی موثر بر تاخیر در پروژه‌های ساختمانی در هند پرداختند و مدلی را بر اساس تعامل متقابل این عوامل با استفاده از رویکرد مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM) توسعه دادند. پژوهش حاضر، همچنین «عوامل محرک» (یعنی عواملی که بر عوامل دیگر تأثیر می‌گذارند) و «عوامل وابسته» (یعنی عواملی که تحت تأثیر دیگران قرار می‌گیرند) را با استفاده از تحلیل MICMAC شناسایی نمود. دوازده عامل به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تأخیر از طریق مرور ادبیات و نظر کارشناسان شناسایی شدند. یک مدل ISM با کمک پنج متخصص (سه نفر از صنعت و دو نفر از دانشگاه) توسعه یافت. یافته‌های ISM نشان داد که فقدان متدولوژی ساخت‌وساز و توالی‌بندی مناسب علت اصلی (یعنی عامل محرک) است که باعث تاخیر می‌شود، بنابراین در انتهای مدل قرار دارد. فقدان برنامه مدیریت پروژه تعریف شده، فقدان استراتژی پیمانکاری مناسب، وابستگی‌های متقابل و ارزیابی پیمانکار از قبل در نظر گرفته نشده و نظارت ضعیف پروژه، از علل میانی قرار گرفته در وسط مدل هستند. نادیده گرفتن جدول زمانی بررسی طراحی، کمبود مواد، مدیریت ضعیف قرارداد، درگیری بین مالکان و طرف دیگر، دوباره کاری به دلیل عدم رعایت کیفیت یا عملکرد ضعیف و مدیریت و نظارت ضعیف سایت، عوامل وابسته‌ای هستند که تحت تأثیر عوامل سطح دو نیز قرار می گیرند و یک رابطه متقابل بین خود دارند [۴]. طارق و گاردزی[13] (۲۰۲۲)، در پژوهشی تحت عنوان «بررسی تأخیرها و تضادها برای پروژه‌های ساختمانی و روابط متقابل آنها» تشریح نمودند که تأخیرها و تضادها بر عملکرد پروژه های ساختمانی تأثیر منفی می گذارند. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأخیرها و تضادها برای پروژه‌های ساختمانی

[1]Analytical Hierarchy process (AHP)
[2]Arantes & Ferreira
[3]MICMAC
[4]Shrivas & Singla
[1]Tariq & Gardezi

ارائه شد. ابتدا ادبیات پژوهش، برای شناسایی رتبه‌بندی قبلی تأخیرها و تضادها برای ایجاد یک رتبه‌بندی جهانی و کشف سایر جنبه‌های پنهان روابط متقابل بررسی شد. داده‌ها از طریق بهینه‌سازی طبقه‌بندی شدند که منجر به شناسایی، پنج علت اصلی تأخیرها و تضادها در یک دیدگاه جهانی و اشتراک بین آنها شد. در میان پنج علت اصلی شناسایی شده علل رایج عبارت بودند از: (۱) مشکلات مالی از طرف مالک؛ (۲) تغییر سفارشات / تغییرات؛ و (۳) عدم ارتباط / رابطه ضعیف. چنین کاوشی از روابط پنهان بین تأخیرها و تضادها نه تنها استراتژی‌های مدیریت ساخت و ساز را بهبود بخشید بلکه مسیرهای جدیدی را برای تحقیقات آینده برای تضمین پارامترهای موفقیت پروژه تعریف نمود [۱۱].

به طور کلی، با بررسی برخی پژوهش‌های صورت گرفته به این امر مهم پی برده شد که با وجود تحقیقات گسترده در مورد مدیریت تاخیر پروژه های ساخت و ساز، روش‌های متداول دارای یکسری شکاف مطالعاتی عمده‌ای هستند؛ به ویژه زمانی که هدف اصلی بهره‌برداری و مدیریت صحیح مدیریت تاخیر پروژه‌های ساخت و ساز باشد چرا که با شناخت و تحلیل تاخیر پروژه‌های ساخت می توان به بررسی شکاف بین برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های عمرانی و در نهایت به ارائه راهکارهای مناسبی برای حذف این عوامل و دستیابی به زمانبندی منطقی برای بهره‌برداری به موقع از پروژه‌های مذکور پرداخته پرداخت. بدین منظور، در پژوهش حاضر از یک رویکرد ترکیبی ساختاری – دینامیکی به منظور بررسی بیشتر ارائه شده است چراکه رویکرد ترکیبی ساختاری – دینامیکی در مدیریت تاخیر و معرفی متغیرهای وضعیت و جریان برای ارائه الگو مدیریت تاخیر پروژه‌های ساخت، عوامل مؤثر بر تاخیر پروژه های ساخت با استفاده از پویایی سیستم بررسی می‌نماید. در این مدلسازی ترکیبی دو نکته مهم به کار گرفته می‌شوند: ۱) مدلسازی ساختاری تفسیری: مدلسازی ساختاری تفسیری فرصتی برای شناسایی ساختار درون یک سیستم فراهم می‌کند. به عنوان یک فرآیند یادگیری تعاملی که در آن مجموعه‌ای از عناصر مختلف مرتبط مستقیم و غیرمستقیم در یک مدل سیستماتیک جامع ساختار می‌یابند. همچنین شبکه‌ای از عوامل تاخیرات مرتبط را فراهم می‌سازد. مدلسازی ساختاری تفسیری به صراحت استفاده از نظرات متخصصان بر اساس تکنیک های مدیریتی مختلف مانند طوفان فکری، پیمایش و غیره را در مسیر توسعه روابط متنی بین متغیرها پیشنهاد می‌کند. مزیت اصلی روش معرفی شده این است که نتایج مذاکرات گروهی در مورد موضوعات پیچیده را به شیوه‌ای کارآمد و سیستماتیک هدایت و ثبت می‌کند. این فرآیند سیستماتیک است زیرا یک الگوریتم طوری برنامه‌ریزی شده است که تمام روابط زوجی ممکن عناصر سیستم را در نظر بگیرد، چه به طور مستقیم از پاسخ‌های شرکت‌کنندگان یا با استفاده از استنتاج گذرا استخراج شده است. این فرآیند کارآمد است زیرا استفاده از استنتاج انتقالی ممکن است تعداد پرس وجوهای رابطه‌ای مورد نیاز را به میزان ۵۰٪ تا ۸۰٪ کاهش دهد [۱۲]. ۲) مدل پویایی سیستم: این نوع مدلسازی بر اساس تعاملات پیچیده و پویای عوامل مختلف در یک سیستم معین استوار است. با استفاده از مدل پویایی سیستم، مدیران پروژه قادرند به صورت دقیق‌تر و جامع‌تر تأثیرات تغییرات در یک عامل بر سایر عوامل سیستم را بررسی کنند. این نوع مدلسازی امکان پیش‌بینی و شبیه‌سازی تأثیرات تاخیرها و تغییرات در منابع را فراهم می‌کند. به طور خلاصه، این رویکرد ترکیبی از دو روش مدل‌سازی معتبر و موثر یعنی مدل‌سازی ساختاری و مدل‌سازی سیستم‌های پویا برای تحلیل و تفسیر پدیده‌های پیچیده استفاده می‌کند. در این روش، ابتدا با استفاده از مدل‌سازی ساختاری، ارتباطات و وابستگی‌های بین عوامل و عناصر مختلف یک سیستم را شناسایی و تحلیل می‌کنند. سپس با استفاده از مدل‌سازی سیستم‌های پویا، تغییرات و روندهای زمانی در سیستم را مدل‌سازی و شبیه‌سازی می‌کنند. با ترکیب این دو روش، امکان بهبود فهم و پیش‌بینی رفتارهای پیچیده سیستم‌ها فراهم می‌شود [۱۲]. در ادامه جدول ۱، فهرست مختصری از بررسی و مقایسه مدلسازی ساختاری تفسیری و پویایی سیستم در ادبیات گذشته ارائه شده است.

جدول۱: بررسی و مقایسه روش مدلسازی ساختاری تفسیری و پویایی سیستم در ادبیات گذشته.

نویسندگان	منابع	روش‌های به کارگرفته شده	بررسی و مقایسه‌ی روش مدلسازی ساختاری تفسیری و پویایی سیستم						
			درک آسان‌تر پیچیدگی‌ها	یکپارچه‌سازی بهتر ادراکات	تحلیل بهتر روابط پیچیده	مدل‌سازی و شبیه‌سازی بهتر	تحلیل حساسیت دقیق‌تر	تصمیم‌گیری و پیش‌بینی بهتر
آرانتس و	[۱۰]	مدلسازی	✓	✓	-	-	-	-

فریرا (۲۰۲۴)		ساختاری تفسیری (ISM)						
ساحا[14] و همکاران (۲۰۲۳)	[۱۳]	ISM	✓	✓	-	-	-	-
شریواس و سینگلا (۲۰۲۲)	[۴]	ISM	✓	✓	-	-	-	-
بشیر[15] و همکارت (۲۰۲۴)	[۱۴]	پویایی سیستم (SD)	-	-	✓	✓	✓	✓
وانگ و یوان[16] (۲۰۱۷)	[۱۵]	SD	-	-	✓	✓	✓	✓
داس (۲۰۱۵)[17]	[۱۶]	SD	-	-	✓	✓	✓	✓
رویکرد پیشنهادی		رویکرد ترکیبی ساختاری – دینامیکی	✓	✓	✓	✓	✓	✓
مزایای رویکرد ترکیبی پیشنهادی			ترکیب این دو می‌تواند به درک بهتری از دینامیک‌های پیچیده کمک کند.	یکپارچه‌سازی ادراکات در ISM می‌تواند به شناسایی متغیرهای کلیدی در سیستم‌های پویا کمک کند.	ترکیب این دو می‌تواند به شناسایی روابط علت و معلولی در سیستم‌های پویا کمک کند.	استفاده از ماتریس‌های ISM در شبیه‌سازی سیستم‌های پویا می‌تواند به بهبود دقت پیش‌بینی‌ها کمک کند.	ترکیب این دو می‌تواند به شناسایی تأثیر متغیرهای کلیدی بر رفتار سیستم در شرایط مختلف کمک کند.	ترکیب این دو می‌تواند به تصمیم‌گیری بهتر و پیش‌بینی دقیق‌تر نتایج کمک کند.

۳- روش تحقیق

پژوهش حاضر، به ارائه یک رویکرد ترکیبی سیستمی می‌پردازد که در سطح کلان کاربرد دارد. این پژوهش استقرائی – قیاسی بوده است و ترکیبی از روش‌های کیفی – کمی را به کار می‌گیرد و رویکرد اصلی آن روش ترکیبی- اکتشافی است. در روش ترکیبی اکتشافی ابتدا داده‌های کیفی به صورت دقیق گردآوری می‌شوند و سپس با گردآوری و تحلیل داده‌های کمی، نوع روابط بین متغیرها تعیین می‌گردد. دلیل استفاده از روش مورد نظر این است که نقایص و کمبودهای موجود در پیشینه نظری و تجربی تحقیق برطرف گردد و وحدت رویه‌ای در مورد عوامل تاثیرگذار بر ایجاد تأخیر بر پروژه‌های ساختمانی ایران حاصل گردد. برای این منظور، ابتدا طیف وسیعی از عوامل تاثیرگذار بر ایجاد تأخیر بر پروژه‌های ساختمانی به صورت کیفی و از طریق بررسی عمیق ادبیات، مشخص و سپس از طریق روش مدلسازی ساختاری- تفسیری عوامل سطح‌بندی شده و ارتباط متقابل مشخص می‌گردند. در نهایت با استفاده از فن پویایی سیستم، مدل پویا سیستم ایجاد شده و رفتار سیستم در بازه زمانی مورد نظر مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه دو بخش کیفی – کمی پژوهش به صورت کامل ارائه شده است:

[14] Saha
[15] Bashir
[16] Wang & Yuan
[17] Das

۳-۱- بخش اول پژوهش (بخش کیفی)

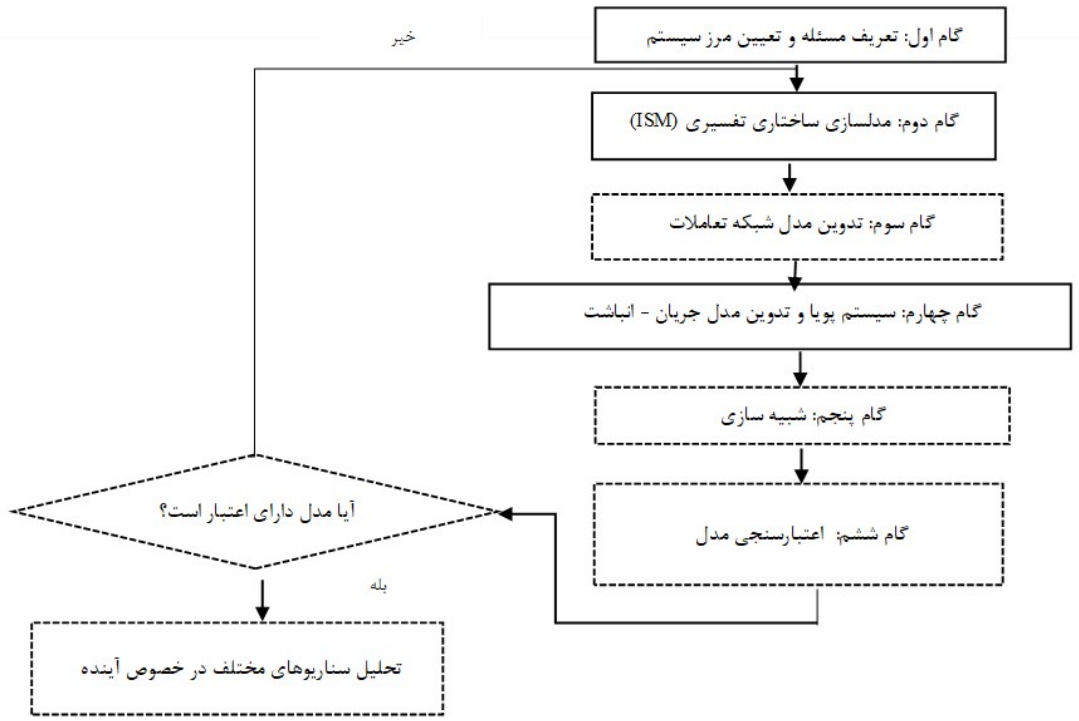
همانگونه که اشاره شد، بخش اول پژوهش حاضر به بخش کیفی اختصاص دارد و در این بخش از پژوهش با بررسی پیشینه پژوهش و نظر خبرگان به شناسایی عوامل موثر بر تاخیر پروژه‌های ساخت و ساز پرداخته می‌شود. بررسی پیشینه پژوهش متمرکز بر عوامل تاخیر پروژه‌های ساخت و ساز بود و از پایگاهای معتبر علمی داخلی و خارجی مستخرج گردید و در نهایت مهمترین و موثرترین معیارها بر اساس نظر خبرگان توسط روش دلفی چند مرحله‌ای مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند. بدین منظور، پژوهشگران ۵۶ عامل حیاتی را بر اساس بررسی ادبیات شناسایی کردند و پس از آن گروهی از خبرگان هر یک از این ۵۶ عوامل ایجادکننده تاخیر را توسط روش دلفی مورد بررسی قرار دادند. نتایج منجر به شناسایی ۱۲ عامل تاخیر بود که به عنوان بحرانی‌ترین عوامل شناخته شدند. گروه خبرگان در مرحله کیفی که این فرآیند را تسهیل کردند یکی از مهمترین مسائل پژوهش حاضر می‌باشد. هرچند توافق خاصی بر سر تعداد دقیق خبرگان وجود ندارد، اما در اکثر مطالعات انجام شده، استفاده از ۵ تا ۱۰ نفر یا ۶ تا ۱۲ نفر خبره توصیه شده است [۱۳]. در پژوهش حاضر، تعداد خبرگان ۱۰ نفر می‌باشد. گروه خبرگان در مرحله کیفی که این فرآیند را تسهیل کردند شامل ۴ نفر از استاتید دانشگاهی بودند که بیش از ۲۰ سال سابقه تدریس و تحقیق در زمینه مدیریت ساخت و ساز داشتند. ۶ کارشناس از صنعت ساختمان بودند که با شرکت‌های ساختمانی و انجام پروژه‌های پیچیده کار می‌کردند و بیش از ۲۵ سال سابقه کار در ایران و خارج از کشور داشتند. برخی از دلایل استفاده از ۱۰ نفر خبره در روش دلفی چند مرحله‌ای عبارتند از: ۱) تعداد مناسب برای تحلیل آماری: ۱۰ نفر خبره یک نمونه کافی برای انجام تحلیل‌های آماری ساده مانند میانگین و انحراف معیار است. ۲) جلوگیری از اتلاف وقت: استفاده از تعداد بیش از حد خبرگان باعث افزایش دورهای دلفی و در نتیجه اتلاف وقت می‌شود. در مقابل، تعداد کمتر از ۱۰ نفر ممکن است نتایج را تحت تأثیر قرار دهد. ۳) تسهیل در مدیریت پنل: ۱۰نفر یک تعداد مناسب برای مدیریت پنل خبرگان است. مدیریت پنل‌های بزرگتر پیچیده‌تر و زمان‌بر خواهد بود. ۴) تنوع نظرات: ۱۰ خبره معمولاً طیف وسیعی از دیدگاه‌ها را پوشش می‌دهند و نمایندگی مناسبی از جامعه هدف هستند. بنابراین، استفاده از ۱۰ نفر خبره در روش دلفی یک انتخاب متعادل است که هم امکان تحلیل آماری را فراهم می‌کند و هم مدیریت پنل را تسهیل می‌نماید [۱۰]. در ادامه نتایج روش دلفی، منجر به شناسایی ۱۲ عامل حیاتی موثر بر تاخیر در پروژه های ساختمانی گردید که عوامل در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول۲: عوامل موثر تاخیر در پروژه‌های ساختمانی.

ردیف	معیار	کد
۱	نداشتن برنامه مدیریت پروژه تعریف شده	C1
۲	فقدان استراتژی قراردادی مناسب	C2
۳	فقدان متدولوژی و توالی ساخت مناسب	C3
۴	عدم ارزیابی پیمانکار	C4
۵	عدم توجه به جدول زمانی	C5
۶	کمبود مواد	C6
۷	نظارت و کنترل ضعیف پروژه	C7
۸	مدیریت ضعیف قرارداد	C8
۹	شرایط آب و هوایی	C9
۱۰	تعارض بین مالکان و طرف دیگر	C10
۱۱	دوباره‌کاری به دلیل عدم رعایت کیفیت	C11
۱۲	مدیریت و نظارت ضعیف سایت	C12

۳-۲- بخش دوم پژوهش (بخش کمی)

همانگونه که اشاره شد، بخش دوم پژوهش حاضر به بخش کمی اختصاص دارد. در این بخش از پژوهش با بهره‌گیری از یافته‌های مرحله کیفی، از رویکرد مدلسازی ساختاری- تفسیری برای اولویت‌بندی متغیرها و بررسی ارتباط میان حوزه‌های مورد مطالعه پژوهش بهره گرفته شد. نهایتا از فن پویایی سیستم برای بررسی رفتار سیستم و شبیه‌سازی شبکه تعاملات درون مدل (در بازه زمانی مورد بررسی) استفاده و مدل پویای پژوهش ارائه گردید. به جهت گردآوری اطلاعات، با استفاده از معیارهای مستخرج از بخش کیفی (جدول۲)، پرسشنامه مدلسازی ساختاری- تفسیری (ISM) پیرامون تدوین مدل شبکه تعاملات متغییرها بر روی یکدیگر و اولویت‌بندی آنها مورد استفاده قرار گرفت که به صورت حضوری یا مجازی به خبرگان جهت پاسخگویی ارسال گردید. در ادامه پرسشنامه‌های جمع‌آوری شده به صورت گام به گام توسط روش مدلسازی ساختاری تفسیری جهت تدوین شبکه تعاملات تدوین و پیاده‌سازی گردید. خبرگان پژوهش حاضر در قسمت کمی، شرکت‌های پیمانکاری فعال رتبه یک در حوزه ساختمان شهر تهران که دارای تجربه کاری و دانش کافی در حوزه ساخت و ساز می‌باشند. با توجه به کمبود زمان و امکانات، دسترسی به تمام اعضای جامعه آماری امکان‌پذیر نبود، لذا از تکنیک نمونه گیری بصورت تصادفی استفاده گردید و بنابراین جهت محاسبه حجم نمونه مورد نیاز برای پژوهش، از فرمول کوکران استفاده گردید. مطابق جدول مورگان، تعداد اعضای نمونه برای تعداد ۲۱۴ عضو جامعه آماری برابر با ۱۳۷ عضو می باشد. نظرسنجی‌ها برای ۱۳۷ متخصص در شرکت-های مختلف ارسال شد. از بین ۱۳۷ شرکت، ۴۰ شرکت بصورت حضوری و ۹۷ شرکت بصورت پستی پرسشنامه بین آنها توزیع گردید. ۲۱ نفر از خبرگان به نظرسنجی به صورت کامل پاسخ دادندکه با نرخ پاسخ ۱۶٪ مطابقت دارد. در شکل ۳، طرح شماتیک فرآیند اجرای تحقیق بر اساس موارد شرح داده شده در یک نگاه کلی ارایه شده است:



شکل۳: طرح شماتیک فرآیند اجرای تحقیق.

۱-۲-۳- مدلسازی ساختاری تفسیری

مدلسازی ساختاری تفسیری (ISM)، روشی است که با تجزیه عوامل در چند سطح مختلف، به تحلیل ارتباط بین این عوامل می-پردازد. روش مورد نظر قادر است سطوح ارتباط بین عوامل را که به صورت تکی یا گروهی که به یکدیگر وابسته‌اند را تعیین نماید. به عبارت

دیگر، ISM می‌تواند برای تجزیه و تحلیل ارتباط بین ویژگی‌های چند متغیر که برای یک مساله تعریف شده‌اند، استفاده شود. این روش ابتدا عوامل موثر بر موضوع مورد مطالعه را در سطوح مختلف قرار می‌دهد، سپس روابط بین این عوامل را به گونه‌ای شفاف و در سطوحی جداگانه مشخص می‌کند. طراحی یک مدل ساختاری تفسیری برای عوامل در ارتباط سیستم، روشی است که برای بررسی اثر هر عامل بر روی سایر عوامل کاربرد دارد [۱۷]. برای استفاده از این مدل اجرای مراحل زیر لازم است. در ادامه به شرح گام به گام استفاده از این روش پرداخته می‌شود [۱۷].

- ✓ تشکیل ماتریس خود تعاملی ساختاری (SSIM) : در گام اول، ماتریس خودتعاملی ساختاری[۱۸] پژوهش را با استفاده از نظر خبرگان تشکیل داده می‌شود. برای تشکیل ماتریس خودتعاملی ساختاری خبرگان معیارها را به صورت زوجی با یکدیگر در نظر می‌گیرند و بر اساس طیف زیر به مقایسات زوجی پاسخ می‌دهند. (V: عامل سطر i باعث محقق شدن عامل ستون j می‌شود؛ A: عامل ستون j باعث محقق شدن عامل سطر i می‌شود؛ X : هر دوعامل سطر و ستون باعث محقق شدن یکدیگر می‌شوند (عامل i و j رابطه دوطرفه دارند)؛ O: بین عامل سطر و ستون هیچ ارتباطی وجود ندارد).
- ✓ تشکیل ماتریس دستیابی اولیه: در گام دوم باید ماتریس دستیابی اولیه را با تبدیل ماتریس خودتعاملی ساختاری به اعداد صفر و یک تشکیل داد. برای این کار از قاعده زیر استفاده می‌شود: (اگر نماد خانه ij حرف V باشد در آن خانه عدد ۱ و در خانه قرینه عدد صفر گذاشته می‌شود؛ اگر نماد خانه ij حرف A باشد در آن خانه عدد صفر و در خانه قرینه عدد ۱ گذاشته می‌شود؛ اگر نماد خانه ij حرف X باشد در آن خانه عدد ۱ و در خانه قرینه نیز عدد ۱ گذاشته می‌شود؛ اگر نماد خانه ij حرف O باشد در آن خانه عدد صفر و در خانه قرینه نیز عدد صفر گذاشته می‌شود).
- ✓ تشکیل ماتریس دستیابی اولیه سازگار: پس از اینکه ماتریس اولیه دستیابی بدست آمد، باید سازگاری درونی آن برقرار شود. به عنوان نمونه اگر متغیر ۱ منجر به متغیر ۲ شود و متغیر ۲ منجر به متغیر ۳ شود، باید متغیر ۱ نیز منجر به متغیر ۳ شود و اگر در ماتریس دسترسی این حالت برقرار نبود، باید ماتریس اصلاح شود و روابط این چنینی اصلاح و ایجاد شوند. این سازگاری با استفاده از روابط ثانویه که ممکن است وجود نداشته باشند به ماتریس دستیابی اولیه افزوده می‌شوند.
- ✓ تعیین سطوح عوامل: در این گام مجموعه معیارهای ورودی (پیش نیاز) و خروجی (دستیابی) برای هر معیار را محاسبه می‌کنیم و سپس عوامل مشترک را نیز مشخص می‌کنیم در این گام معیاری دارای بالاترین سطح است که مجموعه خروجی (دستیابی) با مجموعه مشترک برابر باشد. پس از شناسایی این متغیر یا متغیرها، سطر و ستون آن‌ها را از جدول حذف می‌کنیم و عملیات را دوباره بر روی دیگر معیارها تکرار می‌کنیم. خروجی‌ها و ورودی‌ها از ماتریس دستیابی اولیه سازگار شده استخراج می‌شود برای این کار، تعداد ۱ ها در هر سطر بیانگر خروجی، و تعداد ۱ ها در ستون برابر ورودی هستند.
- ✓ شبکه تعاملات ISM و تحلیل میک مک[۱۹]: در گام پنجم با استفاده از سطوح بدست آمده از معیارها، شبکه تعاملات ISM رسم می‌شود. اگر بین دو متغیر i و j رابطه باشد آن را به وسیله یک پیکان جهت دار نشان می‌دهیم. دیاگرام نهایی ایجاد شده که با حذف حالت‌های تعدی و نیز با استفاده از بخش‌بندی سطوح بدست آمده است. در ادامه، بررسی و تحلیل نیروی نفوذ و نیروی وابستگی مولفه‌ها است که در مرحله تشکیل ماتریس دریافتی نهایی، آن‌ها را محاسبه نموده. در این تحلیل متغیرها به چهار دسته کلی تقسیم می‌شوند. دسته اول شامل «متغیرهای خودمختار» هستند؛ این دسته از مولفه‌ها نیروی وابستگی و همچنین نیروی نفوذ ضعیفی دارند، مولفه‌هایی که در این دسته قرار می‌گیرند، تقریباً به صورت جدا از کل سیستم عمل می‌کنند. این مولفه‌ها اثر چندانی روی سایر مولفه‌ها ندارند و در واقع ارتباط این مولفه‌ها با دیگر مولفه‌ها بسیار محدود و ناچیز است. دسته دوم «متغیرهای وابسته» هستند که نیروی نفوذ ضعیفی دارند، با این وجود از نیروی وابستگی بالاتری نسبت به سایر مولفه‌ها برخوردار هستند. دسته سوم شامل «متغیرهای پیوندی» است که نیروی نفوذ و همچنین نیروی وابستگی قدرتمندی دارند، این متغیرها در حقیقت مولفه‌هایی هستند که بی‌ثباتند، به این معنا که انجام هرگونه اقدامی در مورد این مولفه‌ها علاوه بر اینکه

[18] Structural Self-Interaction Matrix
[19] MICMAC

مستقیماً بر سایر مولفه‌ها اثر می‌گذارد، می‌تواند در قالب بازخورد از سایر مولفه‌ها بر خود مولفه نیز اثرگذار باشد. دسته چهارم «متغییرهای مستقل» است که نیروی نفوذ قوی دارند، اما نیروی وابستگی آنها ضعیف است، که در واقع متغیرهای کلیدی هستند و با ایجاد تغییر در آن‌ها می‌توان بر بقیه متغیرها تاثیر گذاشت. پس از تعیین قدرت نفوذ و قدرت وابستگی مولفه‌ها، می‌توان تمامی مولفه‌ها را در یکی از خوشه‌های چهارگانه روش MICMAC قرار داد.

۲-۲-۳- پویایی سیستم

پویایی سیستم (SD)، رویکردی برگرفته از کامپیوتر می‌باشد که برای تحلیل و حل مسائل پیچیده با تأکید بر تحلیل و طراحی خط مشی به کار گرفته می‌شود. شبیه‌سازی به کمک مدل‌های پویایی سیستم جهت یادگیری پیچیدگی‌های پویایی سیستم‌ها بسیار مفید است. این نگرش برای شناسایی سیاست‌های کارآمد در سیستم‌های موجود و بهبود رفتار سیستم با استفاده از تغییر در پارامترهای آن و همچنین تغییرات ساختاری ابزاری بسیار ارزشمند می‌باشد. این رویکرد، روش شبیه‌سازی شیءگرا بر اساس روابط بازخورد است که علاوه بر ایجاد مشارکت کاربران هر مدل در توسعه آن، سادگی و سرعت چشمگیری را در تعریف سیستم و توسعه مدل ایجاد می‌کند. از قابلیت‌های این رویکرد توسعه گروهی مدل‌ها و سادگی اصلاح مدل در واکنش به تغییرات سیستم است [۱۸]. پویایی سیستم یک روش شناسی تحلیلی است که به درک مشکلات پیچیده و شناسایی اهرم‌های تغییر کمک می‌کند. این رشته دارای سنت طولانی در مدل‌سازی مشکلات سازمانی و مداخله برای بهبود تصمیم‌گیری است. این بخشی از مجموعه گسترده‌تری از رویکردهای علمی‌مدیریت[۲۰]/ تحقیق‌درعملیات[۲۱] است که بر ساخت مدل‌هایی از وضعیت مورد نظر تأکید دارند. چیزی که پویایی سیستم را از بیشتر رویکردهای علم‌مدیریت/تحقیق‌درعملیات متمایز می‌کند، تأکید آن بر ساخت یک مدل شفاف و عمومی از ساختار است [۱۹]. این رویکرد یک تکنیک متدولوژیک متمایز برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی انواع مختلف سیستم‌ها است. ارتباط متقابل، بازخورد، ظرفیت/تاب‌آوری انطباقی، خودسازماندهی و ظهور، همگی مفاهیم اساسی در تفکر سیستمی هستند که در پویایی سیستم به کار می‌روند تا به افراد در تصمیم‌گیری بهتر در محیط‌های پیچیده کمک کنند[۲۰]. در ادامه گام های اجرایی پویایی سیستم به صورت کامل ارائه شده است:

- ✓ **بیان مسئله (انتخاب مرز):** بیان مسئله شامل سه مرحله اساسی می‌باشد که عبارتند از: ۱) انتخاب موضوع: مشکل چیست؟ چرا این یک مشکل است؟ ۲) متغیرهای کلیدی: متغیرها و مفاهیم کلیدی که باید در نظر بگیریم چیست؟ ۳) افق زمانی: چقدر در آینده باید در نظر بگیریم؟ ریشه‌های مشکل تا کجا در گذشته نهفته است؟ ۴) تعریف مسئله پویا: رفتار تاریخی مفاهیم و متغیرهای کلیدی چگونه است؟ رفتار آنها در آینده ممکن است چگونه باشد؟
- ✓ **تدوین فرضیه پویا:** تدوین فرضیه پویا سه مرحله می‌باشد: ۱) ایجاد فرضیه اولیه: تئوری‌های فعلی رفتار مشکل ساز چیست؟ ۲) تمرکز درون‌زا: یک فرضیه‌ی پویایی را تدوین نموده که پویایی را به عنوان پیامدهای درونزای ساختار بازخورد توضیح می‌دهد. ۳) نقشه برداری: نقشه‌های ساختار علّی را بر اساس فرضیه‌های اولیه، متغیرهای کلیدی، حالت‌های مرجع و سایر داده‌های موجود، با استفاده از ابزارهایی مانند نمودارهای مرزی مدل، نمودارهای زیرسیستم، نمودارهای حلقه علّی، نقشه های موجودی و جریان، نمودارهای ساختار خط مشی، سایر ابزارهای تسهیل کننده می‌باشد.
- ✓ **تدوین یک مدل شبیه‌سازی**: ۱) مشخصات ساختار، قوانین تصمیم‌گیری. ۲) تخمین پارامترها، روابط رفتاری و شرایط اولیه. ۳) تست‌های سازگاری با هدف و مرز.
- ✓ **تست مدل:** تست مدل پویایی سیستم شامل مراحل زیر می‌باشد که عبارتند از: ۱) مقایسه با حالت‌های مرجع: آیا مدل رفتار مساله را به اندازه کافی برای هدف شما بازتولید می‌کند؟ ۲) مقاومت در شرایط سخت: آیا مدل در شرایط سخت رفتار واقع بینانه‌ای دارد؟ ۳) حساسیت: رفتار مدل با عدم قطعیت در پارامترها، شرایط اولیه، مرز مدل و تجمع چگونه است؟

[1]Management Science (MS)
[2] Operational Research (OR)

- ✓ **طراحی و ارزیابی سیاست‌ها:** در پویایی سیستم یکی از قسمت‌های مهم بحث طراحی و ارزیابی سیاست‌ها می‌باشد که به ترتیب باید رعایت گردد: ۱) مشخصات سناریو: چه شرایط محیطی ممکن است ایجاد شود؟ ۲) طراحی سیاست‌ها: چه قوانین تصمیم‌گیری، استراتژی‌ها و ساختارهای جدیدی را می‌توان در دنیای واقعی امتحان کرد؟ چگونه می‌توان آنها را در مدل نشان داد؟ ۳) تحلیل «چه می‌شود اگر ...»: تأثیرات سیاست‌ها چیست؟ ۴) تحلیل حساسیت: توصیه‌های خط‌مشی تحت سناریوهای مختلف و عدم قطعیت‌ها چقدر قوی هستند؟ ۵) تعاملات خط مشی‌ها: آیا سیاست‌ها با هم تعامل دارند؟ آیا هم افزایی یا پاسخ‌های جبرانی وجود دارد؟
- ✓ **اعتبارسنجی مدل‌های پویایی سیستم:** اعتبار مدل در این بررسی با تطبیق رفتار مدل با رفتار واقعی مورد آزمایش قرار می‌گیرد. ابتدا داده‌های تاریخی به صورت نموداری ترسیم می‌گردد و رفتار مدل با آن مورد مقایسه قرار می‌گیرد. سؤالی که در این ارتباط باید بدان پاسخ داده شود آن است که آیا مدل رفتار سیستم واقعی را بازسازی می‌کند؟ این بدان معنی است که رفتار مدل بتواند با داده‌های تاریخی تطبیق یابد. آیا ساختار شبیه‌سازی شده قادر به نشان دادن رفتار سیستم در دنیای واقعی می‌باشد؟ آیا رفتار مدل با داده‌های تاریخی تطبیق دارد؟ در صورتی که مدل بتواند دنیای واقعی را نشان دهد و با داده‌های تاریخی تطبیق یابد، می‌توان ادعا کرد مدل صحّه‌گذاری شده است. فارستر تأکید بسیاری بر اعتبارسنجی مدل دارد. منظور وی از اعتبار، ساختمندی مناسب مدل می‌باشد. به نظر او، همه اجزا مدل باید به روشنی تعریف شده باشد. او تأکید داشت اقدامات بهبود باید زمانی مورد توجه قرار گیرند که مدل تصویری از دنیای واقعی را نشان دهد. اجزاء مدل زمانی عینی[۲۲] قلمداد می‌گردند که بر اساس داده‌های جهان واقعی پی‌ریزی می‌گردند و بر اساس نقطه‌نظرات شخص مدل‌ساز و تعصب او نباشند. اعتبار در مدل‌های پویایی‌شناسی سیستم به دو گونه اعتبار ساختاری[۲۳] و اعتبار رفتاری[۲۴] تقسیم شده است. اعتبار ساختاری به معنای ایجاد روابطی در مدل است که به گونه ای رسا و کافی، نشاندهنده روابط جهان واقعی(با در نظر گرفتن هدف مطالعه) باشند [۲۱]. اعتبار رفتاری بدین معنی است که رفتار مدل به اندازه کافی نشان‌دهنده رفتار پدیده در جهان واقعی باشد. اعتبار رفتاری وجود نخواهد داشت مگر آنکه مدل از اعتبار ساختاری مناسبی برخوردار باشد.

۴- مطالعه موردی و نتایج پیاده‌سازی آن

استان تهران مطالعه موردی برای پژوهش حاضر می‌باشد چراکه تهران، بزرگ‌ترین و پرجمعیت‌ترین شهر ایران، پایتخت کشور ایران است. از طرفی، استان تهران صنعتی‌ترین استان ایران است و از لحاظ تولید ناخالص داخلی در رتبه ۱ کشوری قرار دارد همچنین سهم تولید ناخالص بخش کشاورزی در این استان یک درصد، صنعت بیست و دو درصد و خدمات هفتاد و هفت درصد بوده است. این مطالعه دوره ۱۳۹۰ تا ۱۴۱۰ را به عنوان دوره شبیه‌سازی انتخاب نمود. در ادامه با توجه به شکل ۳، طرح شماتیک فرآیند اجرای تحقیق به صورت گام به گام به پیاده‌سازی روش ترکیبی پرداخته می‌شود.

۴-۱- تعریف مسئله و تعیین مرز سیستم

همانطور که در قسمت قبل گفته شد ماهیت داده‌ها در پژوهش حاضر یک تحقیق آمیخته می‌باشد. تحقیق آمیخته، رویکردی پژوهشی است که در آن ترکیبی از روش‌های کمی و کیفی به صورت همزمان استفاده می‌شود. معمولاً در یک روش آمیخته ابتدا با استفاده از روش‌های کیفی به شناسایی مقوله‌های زیربنایی پدیده مورد مطالعه پرداخته می‌شود. سپس در روش کمی به طراحی مدلی براساس مقوله‌های شناسایی شده، اقدام می‌شود. بدین منظور، با توجه به توضیحات داده شده در مرحله اول با بررسی ادبیات تحقیق و نظر خبرگان لیستی از عوامل حیاتی موثر بر تاخیر در پروژه های ساختمانی شناسایی می‌گردد. در نهایت مهمترین و موثرترین معیارها بر اساس نظر

[22] Objective
[23] Structural Validation
[24] Behavior Validation

خبرگان توسط روش دلفی چند مرحله‌ای مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند. نتایج بررسی خبرگان، منجر به شناسایی ۱۲ عامل حیاتی موثر بر تاخیر در پروژه های ساختمانی گردید که عوامل در جدول ۲ ارائه شده است.

۲-۴- مدلسازی ساختاری تفسیری (ISM)

در این قسمت ابتدا با بهره‌گیری از نظر خبرگان و بهره‌گیری از روش مدلسازی ساختاری تفسیری (ISM) به تدوین مدل شبکه تعاملات به منظور دستیابی به نتایج گام دوم در شکل ۳ پرداخته می‌شود. بدین منظور باید برای تدوین مدل شبکه تعاملات مدل باید مراحل زیر را به صورت مرحله به مرحله پیاده‌سازی گردد:

۱) **تشکیل ماتریس خود تعاملی ساختاری (SSIM) و ماتریس دستیابی اولیه سازگار:** در این گام، خبرگان (بخش کمی) بر اساس مجموعه قوانینی که برای تهیه ماتریس خود تعاملی ساختاری[۲۵] (SSIM) در اختیار آنها قرار گرفته است به اجماع رسیدند و یک SSIM ارائه کردند. سپس باید ماتریس دستیابی اولیه را با تبدیل ماتریس خودتعاملی ساختاری به اعداد صفر و یک تشکیل داد. برای این کار از قواعد شرح داده شده استفاده گردید. در ادامه، پس از اینکه ماتریس اولیه دستیابی بدست آمد، باید سازگاری درونی آن برقرار شود. به عنوان نمونه اگر متغیر ۱ منجر به متغیر ۲ شود و متغیر ۲ منجر به متغیر ۳ شود، باید متغیر ۱ نیز منجر به متغیر ۳ شود و اگر در ماتریس دسترسی این حالت برقرار نبود، باید ماتریس اصلاح شود و روابط این چنینی اصلاح و ایجاد شوند. این سازگاری با استفاده از روابط ثانویه که ممکن است وجود نداشته باشند به ماتریس دستیابی اولیه افزوده می‌شوند. در جدول ۳ سلول‌های که با 1^* نشان داده شد روابطی هستند که در ماتریس سازگار شده ایجاد شده اند.

جدول ۳: ماتریس دستیابی اولیه سازگار شده.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	قدرت نفوذ
C1	۱	۱	۰	۱*	۱	۱*	۱	۱	۰	۱*	۱	۱	۱۰
C2	۱	۱	۰	۱	۱*	۰	۱*	۱	۰	۱	۱*	۱*	۹
C3	۱	۱*	۱	۰	۱*	۱	۱	۱*	۰	۱	۱	۱	۱۰
C4	۱	۱*	۰	۱	۱*	۰	۱*	۱	۰	۱	۱*	۱	۹
C5	۱	۱*	۰	۱*	۱	۱	۱*	۱	۰	۱	۱*	۱*	۱۰
C6	۰	۰	۰	۰	۱*	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۱*	۴
C7	۱*	۰	۰	۰	۱	۱*	۱	۱*	۰	۱	۱	۱*	۸
C8	۱*	۱	۰	۱	۱*	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱*	۷
C9	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۱*	۳
C10	۱*	۰	۰	۰	۱	۱*	۱*	۱*	۰	۱	۱*	۱	۸
C11	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱*	۰	۰	۱*	۱	۱	۴
C12	۰	۰	۰	۰	۱*	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۵
میزان وابستگی	۸	۶	۱	۵	۱۰	۶	۹	۸	۱	۱۱	۱۰	۱۲	

۲) **تعیین سطوح عوامل:** در این گام مجموعه عوامل ورودی (پیش نیاز) و خروجی (دستیابی) برای هر عامل را محاسبه می‌کنیم و سپس عوامل مشترک را نیز مشخص می‌کنیم در این گام عامل دارای بالاترین سطح است که مجموعه خروجی (دستیابی) با مجموعه مشترک برابر باشد. پس از شناسایی عوامل، سطر و ستون آن‌ها را از جدول حذف می‌کنیم و عملیات را دوباره بر روی دیگر عوامل تکرار می‌کنیم. خروجی‌ها و ورودی‌ها از ماتریس دستیابی اولیه سازگار شده استخراج می‌شود برای این کار، تعداد

[1] Structural self-interaction matrix

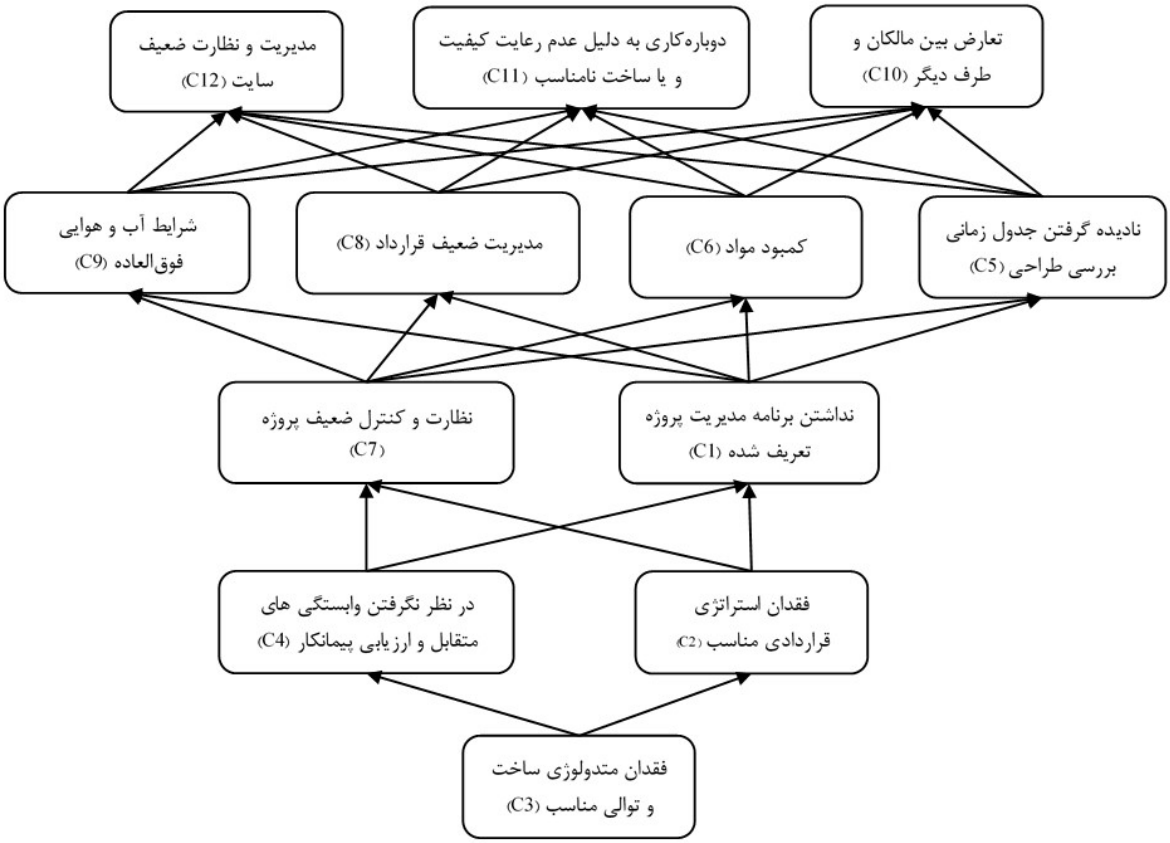
۱ها در هر سطر بیانگر خروجی، و تعداد ۱ ها در ستون برابر ورودی هستند که برای تعیین سطح اول، نتایج در جدول ۴ آورده شده است.

جدول٤: معیارهای سطح ۱.

معیار	خروجی	ورودی	اشتراک	سطح
C1	C1-C2-C4-C5-C6-C7-C8-C10-C11-C12	C1-C2-C3-C4-C5-C7-C8-C10-	C1-C2-C4-C5-C7-C8-C10-	
C2	C1-C2-C4-C5-C7-C8-C10-C11-C12	C1-C2-C3-C4-C5-C8-	C1-C2-C4-C5-C8-	
C3	C1-C2-C3-C5-C6-C7-C8-C10-C11-C12	C3	C3	
C4	C1-C2-C4-C5-C7-C8-C10-C11-C12	C1-C2-C4-C5-C8-	C1-C2-C4-C5-C8-	
C5	C1-C2-C4-C5-C6-C7-C8-C10-C11-C12	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C10-C12	C1-C2-C4-C5-C6-C7-C8-C10-C12	
C6	C5-C6-C10-C12	C1-C3-C5-C6-C7-C10-	C5-C6-C10	
C7	C1-C5-C6-C7-C8-C10-C11-C12	C1-C2-C3-C4-C5-C7-C10-C11-C12	C1-C5-C7-C10-C11-C12	
C8	C1-C2-C4-C5-C8-C10-C12	C1-C2-C3-C4-C5-C7-C8-C10-	C1-C2-C4-C5-C8-C10	
C9	C9-C11-C12	C9	C9	
C10	C1-C5-C6-C7-C8-C10-C11-C12	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C10-C11-C12	C1-C5-C6-C7-C8-C10-C11-C12	۱
C11	C7-C10-C11-C12	C1-C2-C3-C4-C5-C7-C9-C10-C11-C12	C7-C10-C11-C12	۱
C12	C5-C7-C10-C11-C12	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12	C5-C7-C10-C11-C12	۱

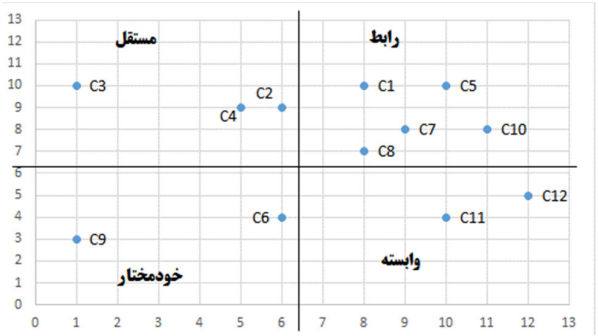
در جدول۴، عوامل سطح ۱ استخراج شده است که شامل عوامل زیر می‌باشد: ۱) تعارض بین مالکان و طرف دیگر (C10)، ۲) دوباره‌کاری به دلیل عدم رعایت کیفیت و یا ساخت نامناسب (C11)، ۳) مدیریت و نظارت ضعیف سایت (C12). حال برای تعیین معیارهای سطح دوم، سوم و..... کافیست همین گام را مجددا تکرار نمائیم و سطوح را استخرام نمائیم.

۳) **شبکه تعاملات ISM:** در گام پنجم با استفاده از سطوح بدست آمده از معیارها، شبکه تعاملات ISM رسم می‌شود. اگر بین دو عامل i و j رابطه باشد آن را به وسیله یک پیکان جهت دار نشان داده می‌شود. دیاگرام نهایی ایجاد شده که با حذف حالت‌های تعدی و نیز با استفاده از بخش‌بندی سطوح بدست آمده است در شکل ۴ نشان داده شده است. بر این اساس مدل پژوهش شامل ۵ سطح می‌باشد. سطح پنجم که شامل عامل فقدان متدولوژی ساخت و توالی مناسب (C3) است تاثیرگذارترین سطح می‌باشد که به صورت مستقیم بر روی عوامل سطح چهارم یعنی در نظر نگرفتن وابستگی های متقابل و ارزیابی پیمانکار (C4)، فقدان استراتژی قراردادی مناسب (C2) تاثیر می‌گذارد. ۳ عامل موجود در سطح اول نیز تاثیرپذیرترین عوامل می‌باشد.



شکل ٤: مدل شبکه تعاملات پژوهش.

۴) **تحلیل میک مک:** مدل پژوهش را می‌توان از لحاظ قدرت نفوذ و وابستگی به صورت شکل۵ نشان داد. بر این اساس عوامل نداشتن برنامه مدیریت پروژه تعریف شده (C1)، نادیده گرفتن جدول زمانی بررسی طراحی (C5)، نظارت و کنترل ضعیف پروژه (C7)، مدیریت ضعیف قرارداد (C8) و تعارض بین مالکان و طرف دیگر (C10) از نوع رابط هستند این عوامل از وابستگی بالا و قدرت هدایت بالا برخوردارند به عبارتی تاثیرگذاری و تاثیرپذیری این عوامل بسیار بالاست و هر تغییر کوچکی بر روی این عوامل باعث تغییرات اساسی در سیستم می‌شود. عوامل فقدان استراتژی قراردادی مناسب (C2)، فقدان متدولوژی ساخت و توالی مناسب (C3) و در نظر نگرفتن وابستگی های متقابل و ارزیابی پیمانکار (C4) از نوع مستقل هستند این عوامل دارای وابستگی کم و هدایت بالا می‌باشند به عبارتی دیگر تاثیرگذاری بالا و تاثیرپذیری کم از ویژگی‌های این عوامل است. عوامل کمبود مواد (C6) و شرایط آب و هوایی فوق العاده (C9) از نوع خودمختار هستند میزان وابستگی و قدرت هدایت کمی دارند این معیارها عموما از سیستم جدا می‌شوند زیرا دارای اتصالات ضعیف با سیستم هستند. تغییری در این عوامل باعث تغییر جدی در سیستم نمی‌شود. عوامل دوباره‌کاری به دلیل عدم رعایت کیفیت و یا ساخت نامناسب (C11) و مدیریت و نظارت ضعیف سایت (C12) از نوع وابسته هستند این عوامل دارای وابستگی قوی و هدایت ضعیف هستند این عوامل اصولا تاثیرپذیری بالا و تاثیرگذاری کمی روی سیستم دارند.



شکل۵: ماتریس قدرت نفوذ- وابستگی.

۴-۳- مدلسازی پویایی سیستم

مدلسازی پویایی سیستم، یک روش تحلیلی است که به بررسی و شبیه‌سازی رفتار سیستم‌های پیچیده می‌پردازد. این روش به‌ویژه در حوزه‌های مدیریت، مهندسی، اقتصاد و علوم اجتماعی کاربرد دارد و به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا بینش بهتری نسبت به رفتار سیستم‌های پیچیده پیدا کنند. در این بخش به مدل‌سازی پویایی سیستم برای مدیریت تأخیر در پروژه‌های ساخت در دو حالت تحریمی و غیر تحریمی پرداخته شده است.

۴-۳-۱- مدلسازی پویایی سیستم در حالت غیر تحریمی

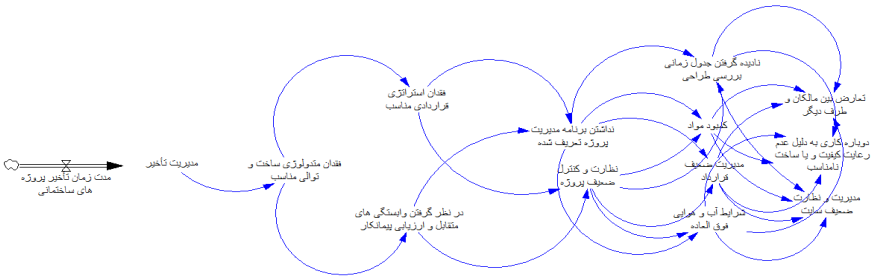
رویکرد پویایی شناسی سیستم، به دنبال شناسایی حلقه‌های بسته بازخور، برای بررسی کارکرد سیستم است. یک حلقه بازخوردی در واقع دربرگیرنده‌ی زنجیره بسته‌ای از روابط علّی است که در انتخاب بر روی متغیر ابتدایی تأثیر می‌گذارد. حلقه‌های بازخور در واقع دربرگیرنده‌ی حلقه بازخورد مثبت است که به آن حلقه‌ی تقویتی نیز گفته می‌شود. همچنین از حلقه‌های بازخورد منفی و یا به عبارتی حلقه‌ی تعادلی نیز تشکیل شده است. این حلقه‌ها در واقع، حلقه‌هایی هستند که اگر یک مؤلفه در آن، در یک جهت دچار تغییر شود، حلقه‌ی تغییرات را در جهت مربوطه تقویت می‌کند. از این رو می‌توان اینگونه اذعان نمود که حلقه بازخورد منفی، در واقع حلقه‌ای است که اگر یک مؤلفه در آن در یک جهت، تغییرداده شود، حلقه مورد نظر با تغییرات آن مؤلفه در آن جهت، مخالفت خواهد کرد. به طور خلاصه می‌توان گفت که حلقه‌ی منفی نقش خنثی کننده را داشته و مخالف تغییر است. لازم به ذکر است که کلیه روابط حلقوی به صورت مثبت در نظر گرفته شده‌اند. زیرا همه عوامل به عنوان ریسک های شناسایی شده بر روی بروز تأخیر در پروژه‌های ساختمانی مؤثر هستند. برای مدل‌سازی نهایی ابتدا باید متغیرهای حالت، متغیرهای جریان و متغیرهای کمکی را شناسایی شده در این بخش در جدول ۵ به معرفی آنها اقدام گردد. لازم به ذکر است از این متغیرها در مدل‌سازی پارادایم تحریمی استفاده شده است.

جدول۵: معرفی متغیرهای مسأله و تعریف عملیاتی آنها در مدل پویایی سیستم.

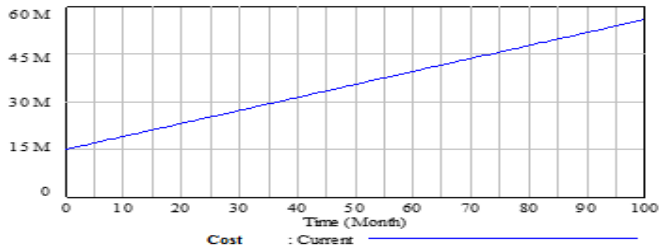
ردیف	عوامل	نوع	معادله ریاضی
۱	دوباره‌کاری به دلیل عدم رعایت کیفیت و یا ساخت نامناسب	کمکی	$IF\ THEN\ ELSE(human\ resource \geq 0.1,0.4, IF\ THEN\ ELSE(human\ resource - es \geq 0.09,0,0.2))$
۲	در نظر گرفتن وابستگی‌های متقابل و ارزیابی پیمانکار	کمکی	$Skilled\ human\ resources/30$
۳	مدیریت و نظارت ضعیف	کمکی	$SMOOTH\ (human\ resources \times 0.21)$
۴	کاهش قابلیت دسترسی به فناوری‌های جدید و نوآوری ها	کمکی	$F3(training)$
۵	شرایط آب و هوایی فوق العاده	کمکی	$(SMOOTH\ (Change\ in\ the\ rate\ of\ orders, 10))$
۶	محدودیت‌های دریافت مواد اولیه و	حالت	$F1(Media\ support)$

		تجهیزات از خارج کشور	
۷	افزایش هزینه‌ها به دلیل افزایش قیمت و نوسانات ارزی	حالت	$SMOOTH\ (human\ resources, 10)$
۸	فقدان استراتژی قراردادی مناسب	کمکی	$F4\ (Supervision\ over\ implementation\ of\ Laws\ and\ regulations)$
۹	کاهش قابلیت دسترسی به فناوری‌های جدید و نوآوری‌ها	حالت	$F3(training)$
۱۰	کمبود منابع	کمکی	$(SMOOTH\ (Change\ in\ the\ rate\ of\ orders, 10))$
۱۱	مدیریت ضعیف قرارداد	کمکی	$F1(Media\ support)$
۱۲	نظارت و کنترل ضعیف پروژه	کمکی	Skilled human resources/30
۱۳	نداشتن برنامه مدیریت پروژه تعریف شده	جریان	0.4/Skilled human resource
۱۴	کاهش توانایی در انتقال و انجام تراکنش‌های بین المللی	کمکی	$(SMOOTH\ (Change\ in\ the\ rate\ of\ orders, 10))$
۱۵	فقدان متدولوژی ساخت و توالی مناسب	کمکی	$F4\ (Supervision\ over\ implementation\ of\ Laws\ and\ regulations)$
۱۶	تعارض بین مالکان و طرف درگیر	کمکی	$SMOOTH\ (human\ resources, 2)$

در شکل ۶، روابط حلقوی عوامل نشان داده شده است. این مدل براساس ساختار سلسله مراتبی تعیین شده با استفاده از روش ISM طراحی شده است.



شکل٦: مدل حلقوی مدیریت تأخیر پروژه‌های ساختمانی.



شکل۷: شبیه‌سازی زمان تأخیر در حالت غیر تحریمی (سناریو ۱).

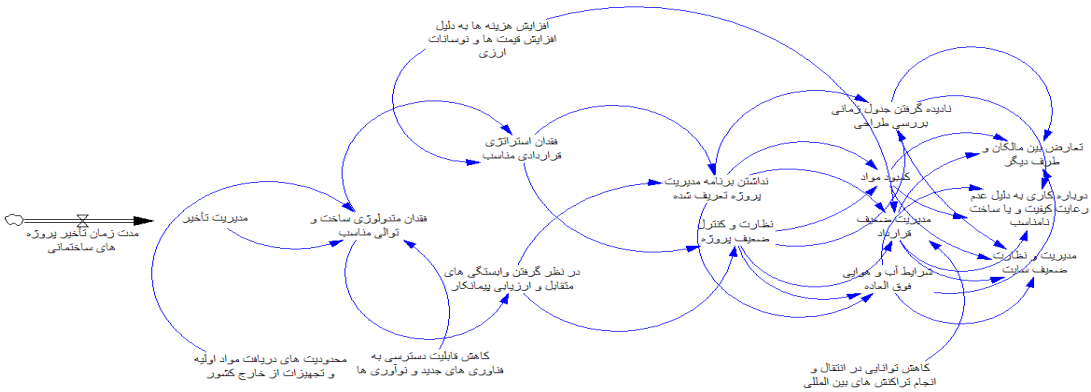
در شکل ۷، شبیه‌سازی میزان هزینه ناشی از بروز تأخیر پروژه‌های ساختمانی در شرایط غیرتحریمی نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصل شده براساس داده‌های گردآوری شده میزان هزینه ناشی از تأخیر با توجه به عوامل مؤثر، در گذر زمان طی ۱۰۰ ماه در حال افزایش است که نشان از رفتار منطقی مدل دارد.

۲-۳-۴- مدلسازی پویایی سیستم حالت تحریمی بر روی مدت زمان تأخیر پروژه‌ها

در این بخش از تحقیق به ارائه مدل پویایی سیستم مدیریت تأخیر در پروژه‌های ساختمانی ایران در شرایط وقوع تحریم‌ها پرداخته شده است. به طور کلی تحریم‌ها می‌توانند باعث بروز تأخیر در ساخت و ساز در ایران شوند که مهمترین عوامل مؤثر بر بروز تأخیر عبارت اند از:

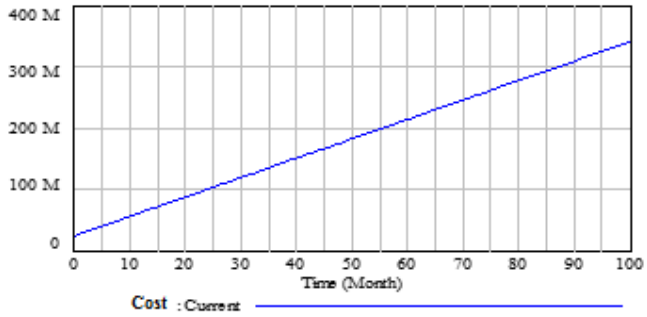
- محدودیت‌های دریافت مواد اولیه و تجهیزات از خارج کشور
- افزایش هزینه‌ها به دلیل افزایش قیمت‌ها و نوسانات ارزی
- کاهش توانایی در انتقال و انجام تراکنش‌های بین‌المللی
- کاهش قابلیت دسترسی به فناوری‌های جدید و نوآوری‌ها

هر یک از عوامل اشاره شده در بالا، بر ریسک وقوع تأخیر در پروژه‌های ساختمان و ساز می‌افزایند. با لحاظ کردن این عوامل در مدل، مدل حلقوی مطابق با شکل ۸ طراحی می‌شود.



شکل ۸: مدل حلقوی مدیریت تأخیر پروژه‌های ساختمانی در حالت تحریمی.

با توجه به مدل حلقوی مدیریت تأخیر پروژه‌های ساختمانی در حالت تحریمی، تحت تأثیر عواملی مانند محدودیت‌های دریافت مواد اولیه و تجهیزات از خارج کشور، افزایش هزینه‌ها به دلیل افزایش قیمت‌ها و نوسانات ارزی، کاهش توانایی در انتقال و انجام تراکنش-های بین المللی و کاهش قابلیت دسترسی به فناوری‌های جدید و نوآوری‌ها قرار دارد. با اعمال شرایط تحریمی، عواملی مانند محدودیت-های دریافت مواد اولیه و تجهیزات خارج کشور و کاهش قابلیت دسترسی به فناوری‌های جدید و نوآوری‌ها تأثیر مثبتی بر روی ریسک بروز تأخیر فقدان متدولوژی ساخت و توالی مناسب در پروژه‌های ساختمانی در شرایط تحریمی می‌شوند. به این معنی که با تشدید تحریم‌ها، تأثیر این عوامل بر شکل‌گیری تأخیرات در پروژه‌های ساخت و ساز از طریق نبود متدولوژی ساخت جدید تأثیرگذار خواهد بود. از سوی دیگر، افزایش هزینه ها بدلیل افزایش قیمت ها و نوسانات ارزی و کاهش توانایی در انتقال و انجام تراکنش های بین المللی با شدت گرفتن تحریم ها به شکل‌گیری مدیریت ضعیف قراردادها کمک کرده و تأثیر سوئی بر مدیریت تأخیر پروژه‌های ساختمانی می‌گذارد که باعث شکل‌گیری افزایش مدت زمان تکمیل پروژه‌های ساختمانی می‌شود. در شکل ۹، شبیه‌سازی میزان هزینه ناشی از بروز تأخیر پروژه‌های ساختمانی در شرایط تحریمی نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصل شده براساس داده‌های گردآوری شده میزان هزینه ناشی از تأخیر با توجه به عوامل مؤثر، در گذر زمان طی ۱۰۰ ماه در حالت تحریمی در حال افزایش است که نشان از رفتار منطقی مدل دارد. نکته قابل توجه این است که در شرایط تحریمی و تشدید تحریم‌ها با توجه به اینکه دسترسی‌ها به منابع مالی و فناوری‌های نوین محدود می‌شود هزینه اجرای پروژه‌ها با هزینه‌های بیشتری نسبت به شرایط غیرتحریمی در پی خواهد داشت.



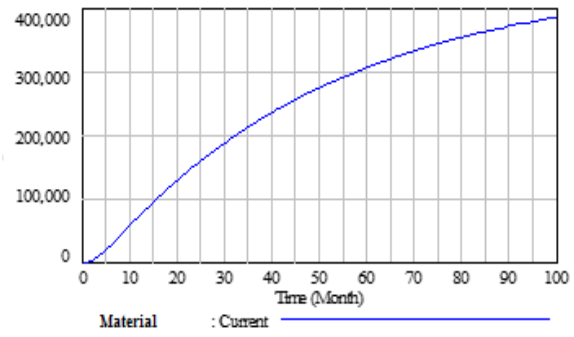
شکل۹: شبیه سازی زمان تأخیر در حالت تحریمی (سناریو ۲).

۴-۴- اعتبارسنجی مدل پویایی سیستم

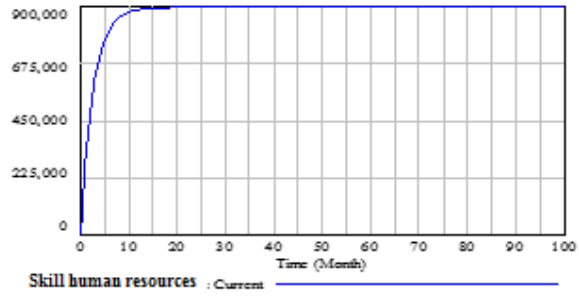
یکی از مراحل بسیار مهم مدل‌سازی، اعتبارسنجی مدل است. از آنجا که مدل پویایی سیستم، معمولاً عملیات واقعی سیستم‌های واقعی را در برخی از جنبه‌ها نشان می‌دهد، نزدیک بودن مدل به دنیای واقعی برای تأیید مدل، بسیار ضروری و مهم است. برای اطمینان از اعتبار عملکرد مدل، آزمون‌های زیر انجام شده که نتایج آنها به شرح زیر است:

- ✓ **آزمون حدی:** در این روش، برخی متغیرهای مدل در معرض تغییرات ناگهانی و شرایط حدی قرار می‌گیرند و رفتار مدل بررسی می‌شود. همانطور که در شکل ۱۰، مشاهده می‌شود با شدت تحریم‌ها، کاهش تعداد تحویل سفارشات مشتریان و افزایش هزینه ها درآمد کاهش چشمگیری داشته و مجددا از طرف دیگر با افزایش تحویل سفارش مشتری، درآمد با افزایش روبه‌رو شده است.
- ✓ **آزمون باز تولید رفتار:** هدف از اجرای آزمون بازتولید رفتار، مقایسه نتایج شبیه‌سازی با داده‌های واقعی برای اطمینان از صحت عملکرد رفتار الگو است. در این حالت، رفتار شبیه‌سازی شده برای الگو، بازتولید می‌شود تا با داده‌ها واقعی مقایسه شوند. برای این منظور، میزان کمبود مواد در صورت شدت گرفتن تحریم‌ها در طول زمان مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۱۱). با توجه به عوامل مؤثر، در گذر زمان با شدت گرفتن تحریم‌ها میزان کمبود مواد در حال افزایش است که نشان از رفتار منطقی مدل دارد. در شکل ۱۲ و ۱۳وضعیت نظارت و کنترل پروژه براساس توانمندی‌های مدیر در حالت غیرتحریمی و تحریمی را نشان می‌دهد. با توجه به عوامل مؤثر، در یک دوره‌ی شبیه‌سازی ۱۰۰ ماهه در حالت غیرتحریمی توانمندی‌های مدیریت برای نظارت و کنترل پروژه افزایش یافته است. اما در شرایط تحریمی با توجه به محدودیت در دسترسی به فناوری‌های نو ممکن است توانمندی‌های مدیر در نظارت و کنترل پروژه به مدت محدودی افزایش یابد اما در طول دوره با شدت گرفتن تحریم‌ها پیش‌بینی انجام شده رفتار ثابت را نشان می‌دهد.

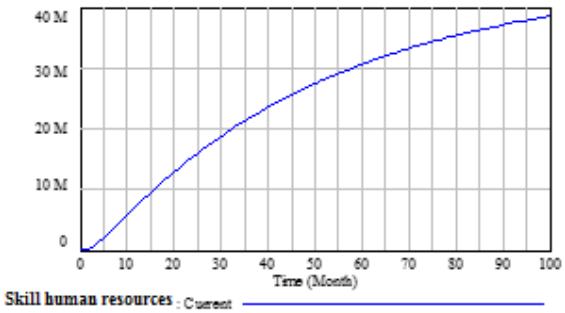
شکل۱۰: آزمون حدی مربوط به تعداد تحویل سفارشات مشتری با توجه به درآمد.



شکل ۱۱: نرخ کمبود مواد در گذر زمان.



شکل ۱۳: میزان توانمندی‌های مدیریت برای نظارت و کنترل پروژه در شرایط تحریمی.



شکل ۱۲: میزان توانمندی‌های مدیریت برای نظارت و کنترل پروژه در شرایط غیرتحریمی.

۴-۵-تحلیل نتایج سناریوهای پیشنهادی پژوهش

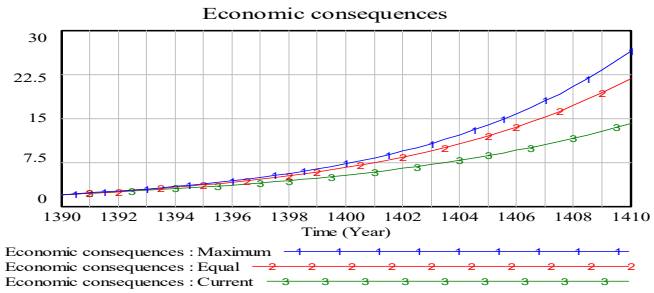
برای اینکه به مهمترین هدف مدلسازی پویایی سیستم دست یافت، باید به بررسی سناریوها یا سیاست‌های بالقوه مختلف بر تقویت و بهبود عملکرد مدل پرداخته شود. از بین سناریوها یا همان سیاست‌های پیشنهاد شده، سیاستی که بهترین پیامد را ارائه دهد، برای اجرا در سیستم مورد نظر انتخاب می‌شود. به همین دلیل بعد از سنجش اعتبار الگو و در هنگامی که خبرگان پژوهش به اجماع رسیدند، می‌توان از نتایجی که از بررسی سناریوها بدست می‌آید، از مدل برای ارزیابی سیاست‌های مختلف در راستای بهبود سیستم بهره گرفت. در پژوهش حاضر به منظور ارزیابی سناریوهای مختلف از نرم‌افزار سناریونویسی ویزارد[۲۶] بکار گرفته شد. نرم‌افزار سناریو ویزارد برای تحلیل متوازن تاثیر متقابل طراحی شده است و روشی کیفی برای تحلیل سیستم و سناریو می‌باشد. در این نرم‌افزار پرسشنامه‌ها به صورت ماتریس آثار متقابل و به پیمایش نظرات خبرگان (خبرگان، همان ۲۱ شرکت‌های پیمانکاری فعال رتبه یک در حوزه ساختمان شهر تهران که دارای تجربه کاری و دانش کافی در حوزه ساخت و ساز که در بخش کمی به صورت کامل معرفی شدند می‌باشد) طراحی شدند. در ادامه با توجه به توضیحات ارائه شده، در پژوهش حاضر برای طراحی تک تک سناریوها پرسشنامه‌ای طراحی شد و توسط نرم افزار سناریونویسی ویزارد تاثیر عواملی که در مدل نقش دارند بررسی گردید. در نرم افزار معرفی شده سناریوها بر حسب نرخ سازگاری اولویت-بندی شدند و پنج سناریو مختلف با اولویت بالا به عنوان سناریوهای پویایی سیستم لحاظ شدند. در پژوهش جاری پس از تأیید اعتبار مدل، از آن برای اجرای آزمایشی شبیه‌سازی استفاده و نتایج بدست آمده به صورت زیر ارائه شده است. در این پژوهش پنج سناریو در نظر گرفته شد که به پیامدهای اقتصادی یا همان درآمد به عنوان مبنای سناریوسازی در نظر گرفته شد.

۱-۵-۴- سناریوی اول: سطح درآمد یا پیامدهای اقتصادی با تقویت بکارگیری و استفاده بهینه از منابع با توجه به تأخیرهای پروژه‌های ساخت و ساز

در این سناریو میزان درآمد به وضعیت برابر تغییر داده شد و شبیه‌سازی مدل در مورد سطح درآمد یا پیامدهای اقتصادی با تقویت بکارگیری و استفاده بهینه از منابع برای کنترل و نظارت بهتر بر روی پروژه؛ مدیریت بهتر قراردادها، مواد مورد نیاز، تقویت برنامه های مدیریت پروژه تعریف شده نشان می‌دهد که سطح مطلوب درآمد با تقویت بکارگیری و استفاده بهینه از منابع در این عوامل در وضعیت حداکثری مناسب‌تر از حالت برابر و در حالت برابر مناسب‌تر از حالت فعلی است. همانطور که در این سناریو مشاهده می‌شود روند تغییرات از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۸چندان محسوس نبوده، اما از سال ۱۳۹۸ تا انتهای دوره‌ی شبیه‌سازی روند افزایشی و با رشد نمائی روبه رو

[26] Scenario Wizard

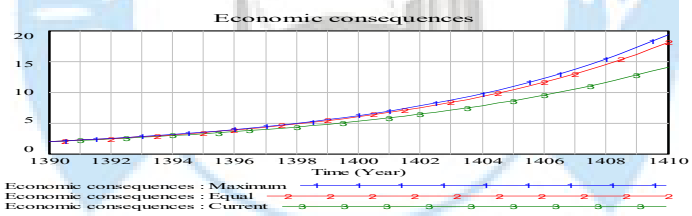
شده است. بنابراین، با کنترل بهتر بر روی منابع و اتخاذ سیاست های مدیریتی صحیح حتی در دورانی که تحریم‌ها شدت گرفته است توانسته بر تأخیرهای ناشی از اعمال تحریم‌ها جلوگیری نموده و حتی به درآمد بیشتر دست یافت.



شکل۱٤: شبیه سازی سناریو اول.

۲-۵-۴- سناریوی دوم: سطح درآمد یا پیامدهای اقتصادی با تقویت بکارگیری فناوری نوین

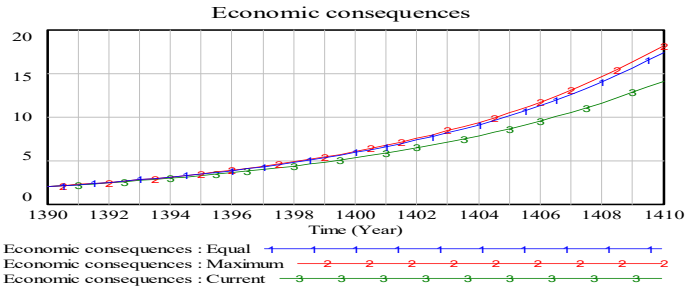
در این سناریو شبیه‌سازی مدل در مورد سطح درآمد با تقویت بکارگیری فناوری نوین از طریق بهبود در متدلوژی ساخت و توالی مناسب نشان می‌دهد که سطح درآمد با تقویت بکارگیری فناوری نوین در وضعیت حداکثری بهتر از حالت برابر و در حالت برابر بهتر از حالت فعلی است. البته این نکته را خاطر نشان نمود که بین حالت برابر با حالت حداکثر از ابتدای زمان شبیه‌سازی تا سال۱۴۰۶ فاصله خیلی نزدیک بوده و از ۱۴۰۶ تا پایان دوره تقریباً روند افزایشی محسوس و قابل توجه است. بنابراین، با تقویت بیشتر بر روی بکارگیری فناوری‌های نوین و توسعه متدولوژی ساخت با بهبود در مدت زمان تأخیر ساخت و ساز جلوگیری نمودهو حتی به درآمد بیشتر در طول مدت شبیه‌سازی دست یافت.



شکل۱۵: شبیه‌سازی سناریو دوم.

۳-۵-۴- سناریوی سوم: سطح درآمد با توجه به کیفیت ساخت

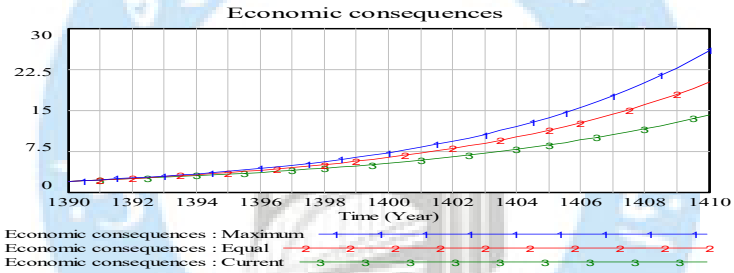
در این سناریو شبیه‌سازی مدل در مورد سطح پیامدهای اقتصادی یا درآمد با توجه به کیفیت ساخت از طریق بهبود در عواملی مانند دوباره کاری به دلیل عدم رعایت کیفیت و یا سساخت نامناسب، فقدان استراتژی قرارداد مناسب، نداشتن برنامه مدیریت پروژه تعریف شده و نادیده گرفتن جدول زمان بررسی طراحی نشان می‌دهد که سطح درآمد با توجه به بهبود کیفیت ساخت از طریق ایجاد بهبود در این عوامل در وضعیت حداکثری بالاتر از حالت برابر و در حالت برابر بالاتر از حالت فعلی است. البته این نکته را بیان نموده که بین حالت برابر با حالت حداکثر از ابتدای دوره‌ی شبیه‌سازی تا سال۱۴۰۶ فاصله بسیار نزدیک بوده و از سال ۱۴۰۶ تا پایان دوره تقریباً روند افزایشی محسوس است.



شکل۱۶: شبیه‌سازی سناریو سوم.

۴-۵-۴- سناریوی چهارم: سطح درآمد با توجه به روابط بین ذینفعان پروژه

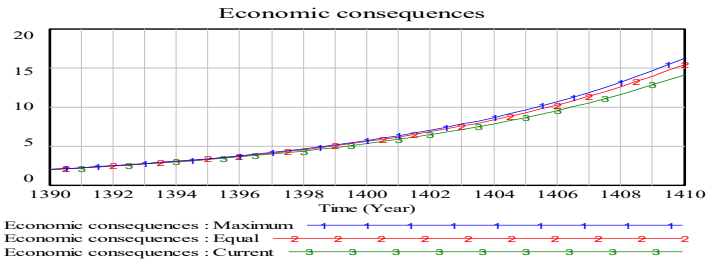
در این سناریو شبیه‌سازی مدل در مورد سطح درآمد با توجه به روابط بین ذینفعان پروژه از طریق در نظر گرفتن وابستگی های متقابل و ارزیابی پیمانکاران و تعارض بین مالکان و طرف دیگر نشان می‌دهد که سطح درآمد با توجه به روابط ایجاد شده در وضعیت حداکثری بهتر از حالت برابر و در حالت برابر بهتر از حالت فعلی است. لازم به ذکر است که این تغییرات در از سال(۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹) دوره‌ی شبیه‌سازی چندان محسوس نبوده، اما از سال ۱۳۹۹ تا انتهای دوره‌ی شبیه سازی روند افزایشی و محسوس سطح درآمد از طریق ایجاد بهبود بین روابط ذینفعان پروژه است.



شکل۱۷: شبیه سازی سناریو چهارم.

۴-۵-۵- سناریوی پنجم: سطح درآمد با توجه به عوامل عملکردی و نظارتی

در این سناریو شبیه‌سازی مدل در مورد سطح درآمد با توجه به عوامل عملکردی و نظارتی مانند تقویت مدیریت و نظارت ضعیف، بهبود در نظارت و کنترل ضعیف پروژه و نداشتن برنامه مدیریت پروژه نشان می‌دهد که سطح درآمد با توجه به عوامل عملکردی و نظارتی در وضعیت حداکثری بالاتر از حالت برابر و در حالت برابر بالاتر از حالت فعلی است. لازم به ذکر است که این تغییرات از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۴ تفاوت بین شبیه‌سازی چندان قابل ملاحظه نبوده، اما از سال ۱۴۰۴تا انتهای دوره‌ی شبیه‌سازی وضعیت حداکثری سطح درآمد با توجه به عوامل عملکردی و نظارتی روند افزایشی دارد.



شکل۱۸: شبیه سازی سناریو پنجم.

۶- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر، به مدیریت تاخیر پروژه‌های ساخت و ساز با رویکرد ترکیبی ساختاری – دینامیکی در ایران پرداخته است و بدین منظور در ابتدا ۱۲ عامل موثر بر تاخیر پروژه‌های ساخت و ساز در ایران را بر اساس بررسی ادبیات، نظر خبرگان و روش دلفی چند مرحله-ای شناسایی نمود. سپس بر اساس نظر خبرگان، یک مدل ISM به همراه ماتریس MICMAC توسعه یافت. با نگاهی به ماتریس MICMAC و مدل ISM (شکل ۴ و ۵)، نویسندگان نتایج متفاوتی یافتند. بر اساس مدلISM، عدم وجود متدولوژی ساخت و توالی مناسب (C۳) در پایین‌ترین سطح قرار می‌گیرد که نشان می‌دهد این عامل بر دیگران تأثیر می گذارد اما تحت تأثیر دیگران قرار نمی گیرد. همین امر از طریق تجزیه و تحلیل MICMAC تأیید می‌شود زیرا عامل معرفی شده در خوشه مستقل قرار گرفته که در این خوشه تاثیرپذیری بالا و تاثیرپذیری کم می‌باشد و نشان دهنده نتایج یکسان می‌باشد. C3 را می توان به عنوان علت اصلی مشکلات شناسایی کرد و هر گونه تغییر در آن می‌تواند منجر به یک اثر آبشاری شود. فقدان استراتژی قراردادی مناسب (C2) و عدم ارزیابی پیمانکار (C4) به صورت مستقیم تحت تاثیر C3 می‌باشند که متغییرهای معرفی شده مطابق تحلیل میک مک جز متغییرهای مستقل بوده و دارای تاثیرپذیری کم و تاثیرگذاری بسیار بالایی هستند که بر متغییرهای نظارت و کنترل ضعیف پروژه (C7) و نداشتن برنامه مدیریت تعریف شده (C1) که تحلیل میک مک از نوع متغییرهای رابط هستند و وابستگی بالا و قدرت هدایت بالا برخوردارند به عبارتی تاثیرگذاری و تاثیرپذیری این معیارها بسیار بالاست و هر تغییر کوچکی بر روی این متغیرها باعث تغییرات اساسی در سیستم می شود. بنابراین این متغییرهای از اهمیت خاصی برخوردار بوده اند و به طور مستقیم بر متغییرهای عدم توجه به جدول زمانی (C5)، کمبود مواد (C6)، مدیریت ضعیف قرارداد (C8) و شرایط آب و هوایی فوق العاده(C9) تاثیر می‌گذارد. متغییرهای C5 و C8 از نوع متغییرهای رابط بوده و از قدرت هدایت بالایی برخوردار بوده و هر تغییر کوچکی بر روی این متغیرها باعث تغییرات اساسی در سیستم می شود؛ بنابراین باید به این متغییرهای دقت بیشتری نمود. متغییر C6 از نوع خودمختار بوده میزان وابستگی و قدرت هدایت کمی دارند این معیارها عموما از سیستم جدا می‌شوند زیرا دارای اتصالات ضعیف با سیستم هستند. تغییری در این متغیرها باعث تغییر جدی در سیستم نمی‌شود. و در نهایت متغییرهای معیارهای دوباره‌کاری به دلیل عدم رعایت کیفیت و یا ساخت نامناسب (C11)، مدیریت و نظارت ضعیف سایت (C12) و تعارض بین مالکان و طرف دیگر (C10) جز تاثیرپذیرترین معیارها و در سطح اول مدل پژوهش قرار گرفته‌اند. بررسی تحلیل میک میک نشان داد که متغیرهای C11 و C12 از نوع وابسته هستند این متغیرها دارای وابستگی قوی و هدایت ضعیف هستند این متغیرها اصولا تاثیرپذیری بالا و تاثیرگذاری کمی روی سیستم دارند. تعارض بین مالکان و طرف دیگر (C10) از نوع رابط هستند این متغیرها از وابستگی بالا و قدرت هدایت بالا برخوردارند به عبارتی تاثیرگذاری و تاثیرپذیری این معیارها بسیار بالاست و هر تغییر کوچکی بر روی این متغیرها باعث تغییرات اساسی در سیستم می‌شود. در ادامه به مدل‌سازی پویایی سیستم برای مدیریت تأخیر در پروژه‌های ساخت در دو حالت تحریمی و غیر تحریمی پرداخته شد چراکه رویکرد پویایی سیستم، به دنبال شناسایی حلقه‌های بسته بازخور، برای بررسی کارکرد سیستم است. در ادامه نتایج شبیه‌سازی میزان هزینه ناشی از بروز تأخیر پروژه‌های ساختمانی در شرایط غیرتحریمی در شکل ۷ نشان داده شد. با توجه به نتایج حاصل شده براساس داده‌های گردآوری شده میزان هزینه ناشی از تأخیر با توجه به عوامل مؤثر، در گذر زمان طی ۱۰۰ ماه در حال افزایش است که نشان از رفتار منطقی مدل دارد. همچنین در ادامه با توجه به مدل حلقوی مدیریت تأخیر پروژه‌های ساختمانی در حالت تحریمی، تحت تأثیر عواملی مانند محدودیت‌های دریافت مواد اولیه و تجهیزات از خارج کشور، افزایش هزینه‌ها به دلیل افزایش قیمت‌ها و نوسانات ارزی، کاهش توانایی در انتقال و انجام تراکنش‌های بین المللی و کاهش قابلیت دسترسی به فناوری‌های جدید و نوآوری‌ها قرار دارد. با اعمال شرایط تحریمی، عواملی مانند محدودیت‌های دریافت مواد اولیه و تجهیزات خارج کشور و کاهش قابلیت دسترسی به فناوری‌های جدید و نوآوری‌ها تأثیر مثبتی بر روی ریسک بروز تأخیر فقدان متدولوژی ساخت و توالی مناسب در پروژه‌های ساختمانی در شرایط تحریمی می‌شوند. به این معنی که با تشدید تحریم‌ها، تأثیر این عوامل بر شکل‌گیری تأخیرات در پروژه‌های ساخت و ساز از طریق نبود متدولوژی ساخت جدید تأثیرگذار خواهد بود. از سوی دیگر، افزایش هزینه ها بدلیل افزایش قیمت ها و نوسانات ارزی و کاهش توانایی در انتقال و انجام تراکنش های بین المللی با شدت گرفتن تحریم ها به شکل‌گیری مدیریت ضعیف قراردادها کمک کرده و تأثیر سوئی بر مدیریت تأخیر پروژه‌های ساختمانی می‌گذارد که باعث شکل‌گیری افزایش مدت زمان تکمیل پروژه‌های ساختمانی می‌شود. در شکل ۹، شبیه‌سازی میزان هزینه ناشی از بروز تأخیر پروژه‌های ساختمانی در شرایط تحریمی نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصل شده براساس داده‌های گردآوری

شده میزان هزینه ناشی از تأخیر با توجه به عوامل مؤثر، در گذر زمان طی ۱۰۰ ماه در حالت تحریمی در حال افزایش است که نشان از رفتار منطقی مدل دارد. نکته قابل توجه این است که در شرایط تحریمی و تشدید تحریم‌ها با توجه به اینکه دسترسی‌ها به منابع مالی و فناوری‌های نوین محدود می‌شود هزینه اجرای پروژه‌ها با هزینه‌های بیشتری نسبت به شرایط غیرتحریمی در پی خواهد داشت. به طور کلی، یکی از نتایج مهم پژوهش حاضر این است که یک مدل یکپارچه ایجاد می‌کند که در مدل یکپارچه ابتدا شبکه تعاملات بین عوامل بدست آمد و مشخص گردید که موثرترین عوامل کدام هستند و سپس با کمک پیاده‌سازی پویایی سیستم به شبیه‌سازی مدیریت تاخیر در پروژه‌های ساخت و ساز ایران و به تبیین سناریوهای محتمل و مطلوب طی دهه آینده پرداخته و مناسب‌ترین استراتژی و دوره برنامه‌ریزی را برای سیاست‌گذاران شناسایی شد و در نهایت، یک دوره برنامه‌ریزی مناسب برای مدیریت تاخیر پروژه‌های ساخت و ساز در دنیای واقعی تعیین نمود.

مراجع

[1] Razaghi, R. (2017). Identifying factors affecting time delays in construction projects (case example: Qazvin province). Master's thesis. The vineyard non-profit higher education institute. (In Persian)

[2] Kazemi, A., Kazemi, M. H., & Katebi, A. (2021). Prioritizing of Factors Affecting Delays in Construction Projects in Iran. Journal of Civil and Environmental Engineering, 51.1(102), 85-98. (In Persian)

[3] Shoul A, Hakimi I. (2019). Identifying and Classifying the Causes of Delay in Construction Projects (Case: City of Sirjan). IUESA. 7 (27), 65-75. (In Persian)

[4] Shrivas, A., & Singla, H. K. (2022). Analysis of interaction among the factors affecting delay in construction projects using interpretive structural modelling approach. International Journal of Construction Management, 22(8), 1455-1463.

[5] Assaf, S. A., & Al-Hejji, S. (2006). Causes of delay in large construction projects. International journal of project management, 24(4), 349-357.

[6] Yates, J. K., & Epstein, A. (2006). Avoiding and minimizing construction delay claim disputes in relational contracting. Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, 132(2), 168-179.

[7] Parchamijalal, M., & Amini Zadeh, E. (2020). Analysis of factors affecting human resources productivity in project-oriented organizations with dynamic systems approach. *Sharif Journal of Civil Engineering*, *36.2*(3.1), 29-42. (In Persian)

[8] Nilfroshan, H; Fazilati, M. (2022). The mutual effects of delay and price adjustment in construction projects from the point of view of the employer and the contractor. The 6th international conference on structural engineering, Tehran. ISSEE06_100. (In Persian)

[9] Rozbahani, M; Karimi Gashreki, M. (2021). Identification and prioritization of delay factors in construction projects (literature review). 9th International Conference on Innovation and Research in Engineering Sciences. ICIRES09_037. (In Persian)

[10] Arantes, A., & Ferreira, L. M. D. (2023). Development of delay mitigation measures in construction projects: a combined interpretative structural modeling and MICMAC analysis approach. Production Planning & Control, 1-16.

[11] Tariq, J., & Gardezi, S. S. S. (2022). Study the delays and conflicts for construction projects and their mutual relationship: A review. Ain Shams Engineering Journal, 101815.

[12] Etemadinia, H., & Tavakolan, M. (2021). Using a hybrid system dynamics and interpretive structural modeling for risk analysis of design phase of the construction projects. International Journal of Construction Management, 21(1), 93-112.

[13] Saha, S. K., Patil, A., Dwivedi, A., Pamucar, D., & Pillai, A. S. (2023). Analyzing the interactions among delay factors in construction projects: A multi criteria decision analysis. Reports in Mechanical Engineering, 4(1), 241-255.

[14] Bashir, H., Hamdan, S., Ojiako, U., Haridy, S., Shamsuzzaman, M., & Al Zarooni, H. A. (2024). A Weighted fuzzy social network analysis-based approach for modeling and analyzing relationships among risk factors affecting project delays. EngineeringManagement Journal, 36(1), 3-13.

[15] Wang, J., & Yuan, H. (2017). System dynamics approach for investigating the risk effects on schedule delay in infrastructure projects. Journal of Management in Engineering, 33(1), 04016029.

[16] Das, D. K. (2015). Development of mechanisms by using conceptual system dynamics models to resolve delay in construction projects.

[17] Dixit, C., & Kumar, R. (2023). Analyzing Managerial and Technological Barriers to the Adoption of Industry 4.0: An 'ISM'and 'MICMAC'Approach. IEEE Transactions on Engineering Management.

[18] Pooya, A.R., Siboyeh, A., Saghari Douz, M., & Fadaei, S. (2022). Systematic investigation of factors affecting the increase of the share of buses in public transportation with the help of qualitative dynamics of systems (case study of Mashhad metropolis). International Dynamics Conference Science and Systemic Thinking, Tehran. SYSTEMDYNAMIC04_027. (In Persian)

[19] Sagridoz, M., Fakurthaghieh, A., & Pooya, A.R. (2018). Investigating factors affecting inventory in a large supply chain with a system dynamics approach. the second national conference of the Iranian Society of Systems Dynamics, Tehran. SYSTEMDYNAMIC02_022. (In Persian)
[20] Nelles, O., & Nelles, O. (2020). Nonlinear dynamic system identification. Springer International Publishing. 831-891.
[21] Bird, A., & Williams, C. K. (2019). Customizing sequence generation with multi-task dynamical systems. arXiv preprint arXiv:1910.05026.