Ind. Manag. Persp. 2024, 14(3), 141-168; doi: 10.48308/JIMP.14.3.141

Industrial Management Perspective

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

Original Article

Evaluation of Human Resource Productivity Risks, Fuzzy DEMATEL and System Dynamics Approach (Case Study: High-Rise Building Projects)

Nahal Goodarzi*
Ahad Nazari**

Extended Abstract

Introduction: The productivity of skilled human resources is one of the key factors influencing the performance of construction projects, and neglecting this issue can result in irreparable damages to the projects. Low labor productivity is one of the fundamental challenges in the construction industry, as it has consistently been a cause of excessive increases in time and cost in construction projects. Research conducted on the risk factors affecting human resource productivity in projects has shortcomings, such as a lack of comprehensiveness in the risk identification process, failure to consider the interactions between risks, and the failure to account for risk factors and their impacts on productivity. Therefore, the purpose of this research is to identify the risk factors and the resulting risks, analyze, and prioritize them to manage critical risks more effectively.

Methods: This research is a case study, and the data collection tools include structured interviews and questionnaires. The first step of this research is to identify the productivity indicators of skilled human resources and the risks arising from these indicators. The process for completing this step includes a comprehensive review of the literature to identify the indicators and risks, followed by interviews with 10 experts in the field to verify the identified risks. In the second step, to analyze the risks, we first employ the fuzzy DEMATEL method to determine the causal relationships between system variables. Using the information obtained from this step, we apply the system dynamics approach to model the risks. After creating the stock-flow diagram and conducting simulations, we identify the sensitive and critical points of the system.

Results and Discussion: The results show that the risks of site execution interference, falling from height, unsafe operations, electrocution, non-compliance with plans and specifications, surface defects during execution, rework, machinery and equipment efficiency, communication and coordination, and material wastage are among the 10 key risks that contribute to decreased productivity in high-rise building projects.

Received: Apr. 28, 2024; Revised: May. 21, 2024; Accepted: Jun. 01, 2024; Published Online: Aug. 10, 2024.

* MSc., Department of Construction, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
** Professor, Department of Construction, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
Corresponding Author: A_Nazari@sbu.ac.ir

Ind. Manag. Persp. 2024, 14(3), 141-168; doi: 10.48308/JIMP.14.3.141

Industrial Management Perspective

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

Original Article

The results of the risk analysis indicate that the risks of 1) site execution interference, 2) rework, 3) communication and coordination, and 4) falling from height have the most significant impact on construction projects. The findings also reveal that the risk of site execution interference, if it occurs, could reduce productivity to 190 units of work completed per month, while rework could reduce productivity to 300 units. On the other hand, the risk of falling from height reduces productivity to 380 units, whereas communication-related risks maintain productivity at around 300 units. Therefore, as the greatest reduction in productivity is related to the risk of site execution interference, this risk is identified as the most critical in the system.

Conclusions: The model developed in this research has significant potential to assist construction managers in systematically evaluating the negative impacts of productivity risks. Project managers can use the findings of this research to focus more on key risks, such as site execution interference, rework, communication and coordination, and falling from height, managing these risks more effectively. By doing so, they can optimize the productivity of human resources, a critical issue in the construction industry. The advantage of this research for the construction industry is that it helps managers better understand the dynamics of productivity risks and, by restoring the connections between risks and breaking key interactions in feedback loops, stop the escalating impact of risks on one another.

Keywords: Productivity; Project Management; Human Resources; System Dynamics; Fuzzy DEMATEL; Risk Management.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

How to Cite: Goodarzi, Nahal; Nazari, Ahad (2024). Evaluation of Human Resource Productivity Risks, System Dynamic & Fuzzy Demetal Approach (Case Study: High-Rise Building Projects). *Ind. Manag. Persp.*, 14(3), 141-168 *(In Persian)*.

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴۰۳، دوره ۱۴، شماره ۳، صص ۱۴۱ – ۱۶۸، doi: 10.48308/JIMP.14.3.141

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

نوع مقاله: پژوهشی

ارزیابی ریسک‌های بهره‌وری منابع انسانی با رویکرد ترکیبی دیمتل فازی و سیستم دینامیک (نمونه موردی: پروژه‌های بلندمرتبه‌سازی)

نهال گودرزی

احد نظری

چکیده گسترده

مقدمه و اهداف: بهره‌وری منابع انسانی ماهر یکی از عوامل کلیدی و تاثیرگذار بر عملکرد پروژه‌های ساختمانی می‌باشد و عدم توجه به این مهم، سبب تحمیل خسارات جبران‌ناپذیری به پروژه‌ها می‌شود. بهره‌وری پایین نیروی کار، یکی از مسائل و چالش‌های اساسی در صنعت ساخت‌وساز می‌باشد؛ چراکه این مسئله همواره یکی از دلایل افزایش بیش از حد زمان و هزینه در پروژه‌های ساخت‌وساز بوده است. تحقیقات به‌عمل آمده پیرامون عوامل ریسک‌زا و تاثیرگذار بر بهره‌وری منابع انسانی در پروژه‌ها، با کاستی‌هایی از قبیل عدم جامع‌نگری در فرایند شناسایی ریسک‌ها، عدم توجه به تعاملات بین ریسک‌ها، در نظر نگرفتن عوامل ریسک‌زا و همچنین تاثیر آنها بر بهره‌وری منابع انسانی مواجه می‌باشد. بنابراین هدف از این تحقیق شناسایی عوامل ریسک‌زا و ریسک‌های حاصل از آنان و تحلیل و اولویت‌بندی آن‌ها می‌باشد تا بدین ترتیب بتوان ریسک‌های بحرانی را بصورت موثرتری مدیریت کرد.

روش‌ها: این تحقیق از نوع مطالعه موردی بوده و ابزار گردآوری اطلاعات در آن از نوع مصاحبه ساختاریافته و پرسشنامه می‌باشد. گام اول این تحقیق شناسایی شاخص‌های بهره‌وری منابع انسانی ماهر و سپس ریسک‌های حاصل از این شاخص‌ها می‌باشد که نحوه تکمیل این گام، بررسی جامع ادبیات موضوع به منظور شناسایی شاخص‌ها، ریسک‌ها و سپس انجام مصاحبه با ۱۰ نفر از خبرگان این حوزه به منظور بررسی صحت ریسک‌های شناسایی شده خواهد بود. در گام دوم به منظور تحلیل ریسک‌ها، ابتدا با بکارگیری روش دیمتل فازی سعی در تعیین روابط علیّ میان متغیرهای سیستم خواهیم داشت و سپس از طریق اطلاعات بدست‌آمده در این مرحله، از روش سیستم دینامیک برای مدلسازی ریسک‌ها استفاده کرده و بدین ترتیب پس از تعیین نمودار حالت جریان و انجام شبیه‌سازی نقاط حساس و بحرانی سیستم را تعیین خواهیم کرد.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که ریسک‌های تداخلات اجرایی در سایت، سقوط از ارتفاع، انجام ناایمن عملیات، برق‌گرفتگی، عدم پایبندی به نقشه‌ها و مشخصات، وجود ایرادات سطحی در اجرا، دوباره‌کاری، سطح کارآمدی تجهیزات و ماشین‌آلات، ارتباطات و هماهنگی و اتلاف مصالح جزو ۱۰ ریسک کلیدی و مهمی هستند که به سبب کاهش بهره‌وری در پروژه‌های بلندمرتبه بوجود می‌آیند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۹، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۰۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۱، تاریخ اولین انتشار: ۱۴۰۳/۰۵/۲۰.

* کارشناس ارشد، گروه ساختمان، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

**استاد، گروه ساختمان، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

نویسنده مسئول: A_Nazari@sbu.ac.ir

چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴۰۳، دوره ۱۴، شماره ۳، صص ۱۴۱ – ۱۶۸، doi: 10.48308/JIMP.14.3.141

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

نوع مقاله: پژوهشی

نتایج حاصل از تحلیل ریسک نشان می‌دهد که ریسک‌های ۱)تداخلات اجرایی در سایت، ۲) دوباره‌کاری، ۳) ارتباطات و هماهنگی و ۴) سقوط از ارتفاع به ترتیب بیشترین تاثیرگذاری را بر پروژه‌های ساخت دارند. همچنین یافته‌ها بیانگر آن است که ریسک تداخلات اجرایی در سایت در صورت وقوع می‌تواند بهره‌وری را به عدد ۱۹۰ واحد کار انجام شده در ماه و ریسک دوباره‌کاری، بهره‌وری را به ۳۰۰ واحد کار انجام شده در ماه برساند. از سویی دیگر ریسک سقوط از ارتفاع میزان بهره‌وری را به عدد ۳۸۰ رسانده در صورتی که ریسک ارتباطات بهره‌وری را در محدوده ۳۰۰ واحد نگه خواهد داشت. بنابراین از آنجایی که بیشترین کاهش، میزان بهره‌وری مرتبط با ریسک تداخلات اجرایی در سایت بوده، بنابراین این ریسک به عنوان مهم‌ترین ریسکِ سیستم شناخته می‌شود.

نتیجه‌گیری: مدل بدست آمده در این تحقیق پتانسیل زیادی در کمک به مدیران ساخت‌وساز برای ارزیابی تاثیرات منفی ریسک‌های بهره‌وری به روشی سیستماتیک دارد و مدیران پروژه با استفاده از نتایج بدست آمده در این تحقیق می‌توانند با تمرکز بیشتر بر ریسک‌های کلیدی از قبیل ریسک تداخلات اجرایی در سایت، دوباره‌کاری، ارتباطات و هماهنگی و سقوط از ارتفاع، آن‌ها را به صورت موثرتری مدیریت کنند تا در نهایت بتوانند میزان بهره‌وری منابع انسانی که همواره یکی از مسائل اساسی در این صنعت می‌باشد را بهینه کنند. مزیت این تحقیق برای صنعت ساخت آن است که به مدیران ساخت و ساز کمک می‌کند تا پویایی ریسک‌های بهره‌وری را بهتر درک کرده و بتوانند از طریق بازیابی ارتباطات موجود میان ریسک‌ها و شکستن تعاملات مهم میان حلقه‌های بازخورد سبب قطع روند فزاینده تاثیرات ریسک‌ها بر یکدیگر شوند.

کلیدواژه‌ها: بهره‌وری؛ مدیریت پروژه؛ منابع انسانی؛ پویایی سیستم؛ دیمتل فازی؛ مدیریت ریسک.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

استناددهی: گودرزی، نهال؛ نظری، احد (۱۴۰۳). ارزیابی ریسک‌های بهره‌وری منابع انسانی با رویکرد ترکیبی دیمتل فازی و سیستم دینامیک (نمونه موردی: پروژه‌های بلندمرتبه سازی). چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴(۳)، ۱۴۱-۱۶۸.

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

۱. مقدمه

صنعت ساخت، جزو صنایع مهم و مورد توجه بشر می‌باشد که پیشرفت در آن بسیار حائز اهمیت است. از طرفی بهره‌وری پایین نیروی کار، یکی از چالش‌های اساسی در صنعت ساخت‌وساز می‌باشد، چرا که این مسئله همواره یکی از دلایل افزایش بیش از حد زمان و هزینه در پروژه‌های ساخت‌وساز بوده است [۵]. با توجه به ۲۶ تحقیق مرتبط با این مسئله در کشورهای مختلف، عوامل مربوط به بهره‌وری پایین نیروی کار ساختمانی با بیشترین میزان تکرار در پروژه‌های بررسی شده، به عنوان اولین عامل افزایش زمان پروژه‌ها و بروز تاخیرات در برنامه زمانبندی ذکر شده‌اند [۲۵] که بیانگر اهمیت موضوع بهره‌وری در صنعت ساخت می‌باشد. از طرفی سطح پایین عملکرد منابع انسانی ماهر به عنوان یک عامل مهم باعث کاهش بهره‌وری در پروژه‌های ساختمانی می‌گردد و می‌تواند به عنوان نیروی محرکه‌ای، منشا بروز ریسک‌های بهره‌وری در پروژه‌ها باشد [۲۲]. تحقیقات نشان می‌دهند که عوامل تاثیرگذار در کاهش بهره‌وری منابع انسانی، منبع اصلی ریسک در پروژه‌ها هستند و به همین دلیل می‌توانند بسیار خطرآفرین باشند [۳۲]. از طرفی، چگونگی مدیریت موثر ریسک‌های پروژه برای دهه‌ها به عنوان کانون اصلیِ توجه در حیطه مدیریت پروژه مطرح بوده است؛ چرا که پروژه‌ها بطور فزاینده‌ای در معرض ریسک‌های بیشمار قرار دارند [۲۰]، [۲]. در این راستا، ریسک‌های مرتبط با بهره‌وری و تحلیل آن‌ها، محدوده اصلی تحقیق مورد نظر می‌باشد.

بررسی مطالعات قبلی نشان می‌دهد که محققین صرفا به شناسایی و اولویت‌بندی عوامل بهره‌وری منابع انسانی پرداخته‌اند و شناسایی ریسک‌های منتج شده از این عوامل جزو مواردی است که تاکنون بصورت یکپارچه و جامع به آن پرداخته نشده است [۲۱]، [۱۳]، [۲۹]. به دلیل عدم توجه به این حیطه، عملا تجزیه و تحلیل تعاملات پیچیده میان این ریسک‌ها و تاثیراتی که هریک از این خطرات بر بهره‌وری منابع انسانی در پروژه‌های بلندمرتبه می‌گذارند، به فراموشی سپرده شده است. به منظور رفع این محدودیت، این تحقیق با بکارگیری ترکیب دو روش دیمتل فازی و سیستم دینامیک، در پی ایجاد مدلی است تا پس از شناسایی عوامل تاثیرگذار بر بهره‌وری در پروژه‌های بلندمرتبه و ریسک‌های حاصل از آنها، از طریق مرور ادبیات موضوع و انجام مصاحبه با کارشناسان مربوطه در پروژه‌ها، میزان تاثیر هر یک از خطرات بر بهره‌وری منابع انسانی را بوسیله شبیه‌سازی تعاملات بین آن‌ها و با درنظر گرفتن عوامل تاثیرگذار خارجی، ارزیابی و تحلیل و اولویت بندی نماید.

۲. مبانی وچارچوب نظری تحقیق

صنعت ساختمان بزرگ‌ترین و چالش‌برانگیزترین صنعت در دنیا می‌باشد و بهره‌وری منابع انسانی نقش کلیدی و مهمی را در تعیین میزان موفقیت هر پروژه از منظر مالی و هزینه‌ای ایفا می‌کند؛ به‌طوری‌که مجموع هزینه‌های صرف شده برای منابع انسانی، ۵۰-۳۰ درصد کل هزینه‌های ساخت پروژه را به خود اختصاص می‌دهد [۱۰]. در صنعت ساخت و ساز، بهره‌وری معمولاً به بهره‌وری نیروی کار اشاره دارد که به معنای واحد کار تولید شده در هر ساعت کاری می‌باشد. بنابراین، می‌توان بهره‌وری را نسبت تولید به هزینه نیروی کار یا نسبت تولید به ساعت کار دانست [۲۴]؛ چراکه پروژه‌های ساخت‌وساز وابسته به اجرای یک سری از فعالیت‌ها می‌باشند که مستلزم بکارگیری افراد با مهارت‌های خاص است؛ از این‌رو محققان، بهره‌وری منابع انسانی را به عنوان ارتباط بین خروجی تولید شده و ورودی مصرف شده در طول فرایند تولید، تعریف کرده‌اند. بهره‌وری می‌تواند عاملی تاثیرگذار در به حداقل رساندن زیان پروژه یا افزایش سود باشد، چرا که موجودیتی پویاست که متاثر از عناصر بسیاری است و با عملکرد زمان، هزینه و کیفیت پروژه مرتبط است؛ با توجه به دیدگاه قدوسی و پورافشار (۲۰۱۴)، ۳ عامل اصلی بهره‌وری شامل: ظرفیت تولید، میزان اثربخشیِ تلاش صورت گرفته برای بکارگیری درست منابع و میزان تولید در هر واحد زمانی معین می‌باشد [۱۰]. تحقیقات نشان می‌دهند که در پروژه‌های ساخت، همواره عواملی وجود دارند که سبب می‌شوند تا منابع انسانی مشغول به کار در پروژه‌ها نتوانند از تمام ظرفیت خود به درستی استفاده کنند و این عوامل، عواملی هستند که سبب کاهش بهره‌وری منابع انسانی می‌شوند؛ با تعیین این عوامل، مدیران پروژه می‌توانند مشکلات را در مراحل اولیه پروژه برطرف کرده و بدین ترتیب زمان و هزینه را به حداقل برسانند [۱]. تحقیقات نشان می‌دهد که عملکرد صنعت ساخت، نقش مهمی در رشد اقتصادی کشورها ایفا می‌کند؛ بنابراین، تلاش برای کنترل بهره‌وری در این صنعت با مدیریت کارآمد کارگران و کارکنان و منابع دیگر اهمیت زیادی دارد [۹]. در کشورهای در حال توسعه، صنعت ساختمان به طور جدی با چالش بهره‌وری کارگران و منابع انسانی ماهر و عوامل وابسته و تاثیرگذار بر عملکرد آنان، مواجه می‌باشد [۲۴]؛ چرا که کارگران و منابع انسانی ماهر، مهم‌ترین عنصر رشد موفقیت‌آمیز صنعت ساخت‌وساز هستند. از

آنجایی‌که برای تداوم بهبود پایدار در صنعت ساختمان‌سازی، مسئله بهره‌وری منابع انسانی ماهر به عنوان یک چالش اصلی مطرح می‌باشد و همچنین با توجه به آن‌که بهره‌وری کار ساختمانی به طور قابل توجهی بر سودآوری شرکت‌های ساختمانی تاثیر می‌گذارد و بیشترین نقش را در بین منابع پروژه دارد، لذا می‌تواند منبع اصلی ریسک پروژه نیز باشد [۳۲].

بیشتر پروژه‌های ساختمانی در محیط‌های پیچیده و پویا پیاده‌سازی می‌شوند به همین دلیل وجود ریسک و عدم‌قطعیت جزء ویژگی‌های ذاتی این صنعت می‌باشد؛ در نتیجه، پیامد این عدم قطعیت و ریسک باعث می‌شود که اکثر پروژه‌های ساختمانی در رسیدن به اهداف از پیش تعیین شده خود شکست بخورند [۳۳]. به‌طور کلی، ریسک یک رویداد غیرقطعی است که در صورتی بروز می‌تواند اثرات مثبت و یا منفی بر اهداف پروژه داشته باشد [۲۳]؛ به‌منظور آگاهی از چگونگی مواجه با این ریسک‌ها ضروری‌ست تا فرایند مدیریت ریسک که شامل سه گام شناسایی، تحلیل و پاسخ‌دهی به ریسک‌ها می‌باشد بصورت کامل و جامع بکارگرفته شود. مدیریت ریسک در واقع بکارگیری سیاست‌ها و رویه‌های مختلف به منظور شناسایی، تجزیه و تحلیل و ارزیابی خطرات، تعیین آستانه پذیرش ریسک و نهایتاً درنظر گرفتن اقدامات مناسب برای کاهش اثرات ناشی از ریسک‌ها می‌باشد [۶]، [۴].

شناسایی ریسک‌های حاصل از کاهش بهره‌وری منابع انسانی بدون کسب اطلاعات درباره عوامل بهره‌وری و شناسایی دقیق این عوامل ممکن نیست، بنابراین، شناسایی و تجزیه و تحلیل عوامل موثر بر بهره‌وری نیروی کار در ساخت‌وساز به موضوعی حیاتی تبدیل می‌شود که پژوهش‌های زیادی همچون [۳۵]، [۳۴]، [۲۹]، [۱۹]، [۷] این عوامل را به اشکال مختلف شناسایی و اولویت‌بندی کرده‌اند. با توجه به مرور دقیق ادبیات موضوع و بررسی عوامل تاثیرگذار بر بهره‌وری منابع انسانی و با توجه به اهداف مورد نظر در تحقیق حاضر، ۱۰ عامل پرتکرارِ بهره‌وری منابع انسانی در پروژه‌های بلندمرتبه مطابق با جدول ۱ تعیین می‌شوند.

لازم به ذکر است که بر اساس تحقیقات پیشین، افرادی به عنوان منابع انسانی ماهر شناخته می‌شوند که بصورت حرفه‌ای آموزش دیده باشند، حداقل دو سال تجربه کاری در زمینه تخصصی خود داشته باشند، دانش بکارگیری تجهیزات و ابزارهای ساخت را داشته باشند، دانش مورد نیاز درباره مصالح ساختمانی را داشته باشند، قوانین مربوط به ایمنی را بدانند و در محیط کار از آن استفاده کنند، شرایط فیزیکی مناسبی برای انجام کار تخصصی خود داشته باشند و قانون کار رسمی کشور خود را بدانند [۱۲]. در این تحقیق، ریسک‌های بهره‌وری افرادی مورد بررسی قرار می‌گیرند که در اصلی‌ترین بخش اجرای ساختمان که شامل سه بخش ستون‌گذاری، تیرریزی و اجرای سقف می‌باشد، مشغول بکار هستند؛ چراکه منابع انسانی در این سه بخش نقش پررنگی ایفا می‌کنند و بیشترین فعالیت‌های موجود در مرحله اجرای یک ساختمان بلندمرتبه (ساختمان‌هایی با ارتفاع ۲۷ متر و بیشتر) در این سه بخش اتفاق می‌افتد [۹].

جدول ۱. عوامل تاثیرگذار بر بهره‌وری منابع انسانی

	عوامل تاثیرگذار بر بهره‌وری منابع انسانی	منابع
۱.	عدم نظارت صحیح بر فعالیت‌ها / عدم انطباق عملیات با مشخصات موجود	جارکاس[1] (۲۰۱۵) [۱۸] ، قدوسی و همکاران (۲۰۱۴) [۱۴]، جارکاس و بیتار[2] (۲۰۱۲) [۱۹]، سکر و همکاران[3] (۲۰۱۷) [۳۰]، عبدل‌حمید[4] (۲۰۲۰) [۶]، سلیمان[5] (۲۰۲۲) [۳۴]، کوپر[6] (۲۰۰۵) [۱۲]، نصیرزاده و همکاران (۲۰۲۰) [۲۳]، حمزه و همکاران[7] (۲۰۱۹) [۱۶]، گودرزیزاد و همکاران (۲۰۲۱) [۱۵]، ماحمید[8] (۲۰۲۲) [۲۱]
۲.	ارتباطات ناکارآمد – کاهش سرعت انتقال اطلاعات	جارکاس (۲۰۱۵) [۱۸]، نصیرزاده و همکاران (۲۰۲۰) [۲۳]، حمزه و همکاران (۲۰۱۹) [۱۶]، قدوسی و پورافشار (۲۰۱۴) [۱۴]، گودرزیزاد و همکاران (۲۰۲۱) [۱۵]،

1. Jarkas
2. Jarkas and Bitar
3. Seker, et al.
4. Abdel hamid
5. Suleiman
6. Cooper
7. Hamza, et al.
8. Mahamid

عوامل تاثیرگذار بر بهره‌وری منابع انسانی	منابع
	علاقبری و همکاران[1] (۲۰۱۷) [۱۰]، گته و مینده[2] (۲۰۱۶) [۱۳]، جارکاس و همکاران[3] (۲۰۱۲) [۱۹]، عبدل حمید (۲۰۲۰) [۶]، کوپر (۲۰۰۵) [۱۲]
۳. برنامه اضافه‌کاری، تسریع در انجام کارها	کوپر (۲۰۰۵) [۱۲]، عبدل حمید (۲۰۲۰) [۶]، جارکاس (۲۰۱۲) [۱۹]، جارکاس و همکاران (۲۰۱۵) [۱۸]، نصیرزاده و همکاران (۲۰۲۰) [۲۳]، شعار و بانایتیس[4] (۲۰۱۹) [۳۲]، گودرزیزاد و همکاران (۲۰۲۱) [۱۵]
۴. ایمنی نامناسب کارگاه	نصیرزاده و همکاران (۲۰۲۰) [۲۳]، گودرزیزاد و همکاران (۲۰۲۱) [۱۵]، گته و مینده (۲۰۱۶) [۱۳]، قدوسی و همکاران (۲۰۱۴) [۱۴]، عبدل حمید (۲۰۲۰) [۶]، سکر و همکاران (۲۰۱۷) [۳۰]، کوپر (۲۰۰۵) [۱۲]، ماحمید (۲۰۲۲) [۲۱]
۵. عدم استفاده از نفوذ رهبری در تامین اهداف / ناکارآمدی در ارایه بازخورد	عبدل حمید (۲۰۲۰) [۶]، سلیمان (۲۰۲۲) [۳۴]، ماحمید (۲۰۲۲) [۲۱]، سکر و همکاران (۲۰۱۷) [۳۰]، گته و مینده (۲۰۱۶) [۱۳]، علاقبری و همکاران (۲۰۱۷) [۱۰]، جارکاس و همکاران (۲۰۱۲) [۱۹]،
۶. فشرده‌سازی برنامه زمان‌بندی	سکر و همکاران (۲۰۱۷) [۳۰]، کوپر (۲۰۰۵) [۱۲]، گته و مینده (۲۰۱۶) [۱۳]، شعار و بانایتیس (۲۰۱۹) [۳۲]، جارکاس (۲۰۱۲) [۱۹]، سلیمان (۲۰۲۲) [۳۴]
۷. کاهش بازدهی نیروی کار، عدم بهره‌گیری از نظام انگیزشی	سکر و همکاران (۲۰۱۷) [۳۰]، جارکاس (۲۰۱۲) [۱۹]، نصیرزاده و همکاران (۲۰۲۰) [۲۳]، گودرزیزاد و همکاران (۲۰۲۱) [۱۵]، علاقبری و همکاران (۲۰۱۷) [۱۰]، حمزه و همکاران (۲۰۱۹) [۱۶]، قدوسی و همکاران (۲۰۱۴) [۱۴]
۸. دوباره‌کاری منتج از فشرده‌سازی برنامه زمان‌بندی و رویکرد اضافه‌کاری	کوپر (۲۰۰۵) [۱۲]، جارکاس (۲۰۱۲) [۱۹]، سکر و همکاران (۲۰۱۷) [۳۰]، عبدل حمید (۲۰۲۰) [۶]، سلیمان(۲۰۲۲) [۳۴]، شعار و بانایتیس (۲۰۱۹) [۳۲]، ماحمید (۲۰۲۲) [۲۱]، جارکاس (۲۰۱۲) [۱۹]
۹. جانمایی/ طراحی نامناسب و چیدمان فشرده سایت	جارکاس (۲۰۱۲) [۱۹]، سکر و همکاران (۲۰۱۷) [۳۰]، کوپر (۲۰۰۵) [۱۲]، سلیمان(۲۰۲۲) [۳۴]، نصیرزاده و همکاران (۲۰۲۰) [۲۳]، قدوسی و همکاران (۲۰۱۴) [۱۴]
۱۰. کاهش انگیزه منابع انسانی ناشی از تاخیر در پرداخت‌ها	شعار و بانایتیس (۲۰۱۹) [۳۲]، ماحمید (۲۰۲۲) [۲۱]، جارکاس (۲۰۱۲) [۱۹]، عبدل حمید (۲۰۲۰) [۶]، سلیمان (۲۰۲۲) [۳۴]، کوپر (۲۰۰۵) [۱۲]، گودرزیزاد و همکاران (۲۰۲۱) [۱۵]، گته و مینده (۲۰۱۶) [۱۳]

تحقیقات نشان می‌دهند که هرکدام از عواملی که در جدول شماره ۱ شناسایی شدند، می‌توانند سبب به وجود آمدن ریسک‌هایی در پروژه‌های ساختمانی شوند [۳۴]، [۳]، [۱۷]، [۲۰۰]، [۳۰]، [۱۴]، [۳۷]، [۱۱]. بر این اساس و در ادامه، سی ریسک کلیدی منتج از کاهش بهره‌وری منابع انسانی ماهر از طریق ادبیات موضوع شناسایی شدند که شامل ریسک‌های زیر می‌باشند:

بازرسی و آزمایش‌های بیش از حد/ استفاده ناکارآمد از شیوه‌های مدیریت کیفیت/ میزان پایبندی به نقشه‌ها و مشخصات/ میزان پایبندی به مقررات دولتی/ میزان حفاظت از کارهای تکمیل شده/ کاهش رضایت شغلی/ کنترل و مدیریت نامطلوب ترافیک موجود در سایت/ دستورات تغییر/ ارتباطات و هماهنگی ضعیف بین جبهه‌های مختلف درگیر در پروژه/ تضاد میان گروه‌های کاری/ ابهام در درک وظایف و مسئولیت‌ها/ وقوع تداخلات اجرایی در سایت/ استفاده ناکارآمد از فناوری اطلاعات/ سقوط از ارتفاع/ حفاظت ناکارآمد از محیط اطراف (ساختمان‌ها و تاسیسات مجاور)/ انجام ناایمن عملیات/ برق‌گرفتگی/ اصابت ضربه ناشی از سقوط اجسام/ تفسیر نادرست نقشه‌ها و مشخصات/ ضعف در تهیه مستندات/ گزارشات پیشرفت نادرست/ اتلاف مصالح/ تعهد و انگیزه در کارگران/ میزان گرایشات اخلاقی/ سطح

1. Alaghbari, et al.
2. Ghate and Minde
3. Jarkas, et al.
4. Shoar and Banaitis

کارآمدی تجهیزات و ماشین‌آلات/ پاسخ دیرهنگام به رخدادها/ دوباره‌کاری/ وجود ایرادات سطحی در اجرا/ خطا در نصب تجهیزات/ بکارگیری موادومصالح معیوب.

۳. روش تحقیق

در این تحقیق، یک رویکرد ترکیبی مرحله‌ای مبتنی بر روش دیمتل فازی و سیستم دینامیک برای مدلسازی و تحلیل ریسک‌های بهره‌وری در پروژه‌های بلندمرتبه ارائه می‌شود. استفاده از این دو روش به تصمیم‌گیرندگان اجازه می‌دهد تا نتایج کسب شده از روش دیمتل را در یک محیط شبیه‌سازی ارزیابی کند [۲۳]. هدف اصلی روش دیمتل، کمک به مدیران برای شناسایی ارتباطات موجود میان معیارها و دستیابی به نمودارهای علت و معلولی[1] عوامل وابسته به هم می‌باشد. این روش به دلیل تعیین روابط بین معیارها، رتبه‌بندی معیارها و آشکارسازی شدت تاثیر هر معیار بر معیار دیگر، نسبت به تکنیک‌های معمولی برتری دارد [۲۷]. از دیگر مسائل مهم در استفاده از روش دیمتل بدست آوردن اندازه تاثیر مستقیم و غیرمستقیم میان عوامل مختلف ریسک می‌باشد [۲۶]؛ البته از آنجا که در بسیاری از موارد قضاوت افراد در تصمیم‌گیری‌ها غیرواضح بوده و ارزیابی آنها با استفاده از مقادیر عددیِ دقیق میسر نمی‌باشد؛ لذا در این تحقیق، توسعه روش دیمتل با رویکرد منطق فازی حس می‌شود [۱۶].

در این تحقیق، ابتدا با بررسی ادبیات موضوع و مقالات برگرفته از وب‌سایت‌های معتبر، عوامل تاثیرگذار بر بهره‌وری منابع انسانی، به عنوان منشا بروز خطر و ریسک‌های بالقوه‌ی حاصل از آن با نگاه به پروژه‌های بلندمرتبه شناسایی می‌شوند. مبنای شناسایی ریسک‌ها با لحاظ این موضوع است که آیا عدم توجه به عوامل تاثیرگذار بر بهره‌وری می‌تواند سبب بروز ریسک‌هایی در پروژه‌های ساختمانی شود؟ به عبارتی دیگر در نظر گرفتن یک رابطه تاثیرگذار بین ریسک‌ها و بهره‌وری منابع انسانی، مبنای انتخاب بوده است. پس از شناسایی عوامل پرتکرارِ تاثیرگذار بر بهره‌وری منابع انسانی و ریسک‌های بالقوه منتج از آن، روایی[2] و اعتبارسنجی این ریسک‌ها از طریق مصاحبه ساختاریافته بررسی می‌شود. در این مصاحبه، از ۱۰ نفر از خبرگان خواسته می‌شود تا احتمال وقوع هر ریسک را بر اساس طیف لیکرت پنج سطحی (احتمال وقوع خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم) بیان کنند؛ انتخاب خبرگان بر اساس میزان تحصیلات، سمت شغلی، رشته تحصیلی و سابقه کار اجرایی در حوزه صنعت ساختمان صورت می‌گیرد. بر این اساس، ۴ نفر از پاسخ‌دهندگان دارای مدرک دکتری و ۶ نفر دارای مدرک کارشناسی ارشد می‌باشند، همچنین رشته تحصیلی سه نفر مدیریت پروژه و ساخت و ۷ نفر باقیمانده در رشته‌های صنایع، عمران (سازه) و مکانیک تحصیل کرده‌اند. افراد دارای سمت‌هایی از قبیل سرپرست کارگاه، رئیس دفتر فنی، مشاور، مدیر PMO و قراردادها و مدیرعامل شرکت پیمانکاری می‌باشند و سه نفر از اعضای هیئت علمی دانشگاه‌های سطح یک تهران هستند. لازم به ذکر است که سابقه کار اجرایی بیش از نیمی از این افراد ۲۰ سال به بالا و مابقی بین ۱۰ تا ۲۰ سال می‌باشد. در نهایت، نتایج حاصل از مصاحبه ساختاریافته منجر به استخراج ده ریسک اصلیِ مرتبط با بهره‌وری و مبنایی برای ارزیابی ریسک‌ها با رویکرد ترکیبی دیمتل فازی و سیستم دینامیک خواهد شد.

در مرحله شروع فرایند دیمتل فازی و برای بررسی و تعیین ارتباطات میان ریسک‌های شناسایی شده، پرسشنامه‌ای از مقایسات زوجی برمبنای ریسک‌های شناسایی شده طراحی شد؛ به‌گونه‌ای که درجه اولویت هر عنصر نسبت به عنصر دیگر شناسایی شود. لازم به ذکر است که قضاوت‌های موجود در این پرسشنامه مبتنی بر امتیازاتِ داده شده به متغیرهای زبانی است که قضاوت‌ها را برای متخصصان راحت‌تر می‌کند (جدول ۲).

1. Cause and Effect Diagram
2. Validity

جدول ۲. متغیرهای زبانی و اعداد فازی مثلثیِ متقارن با آن

بازه کیفی تعریف شده	بازه فازی تعریف شده	امتیاز
بدون تاثیر	(۰،۰،۰.۲۵)	۰
تاثیر خیلی کم	(۰ ،۰.۲۵ ،۰.۵)	۱
تاثیر کم	(۰.۲۵ ،۰.۵ ،۰.۷۵)	۲
تاثیر زیاد	(۰.۵ ،۰.۷۵ ،۱)	۳
تاثیر خیلی زیاد	(۰.۷۵ ،۱ ،۱)	۴

پس از تعیین اثرات و ارتباطات مستقیم میان ریسک‌ها از طریق قضاوت خبرگان، مقادیر C و R برای هر ریسک محاسبه شده که در آن C معادل مجموع تاثیرات یک ریسک بر سایر ریسک‌ها و R معرف مجموع تاثیرپذیری یک ریسک از سایر ریسک‌ها می‌باشد؛ در ادامه مقادیر C+R و C-R برای هر ریسک محاسبه شده که اولی به معنای مجموع تاثیرگذاری و تاثیرپذیری ریسک مورد نظر از سایر ریسک‌ها و دومی به معنای مقدار خالص تاثیرگذاری هر ریسک بر سایر ریسک‌ها می‌باشد. درنهایت، مهم‌ترین ریسک‌های تاثیرگذار شناسایی شده با استفاده از شبکه دو بعدی C+R و C-R اولویت‌بندی و تحلیل می‌شوند.

اطلاعات گردآوری شده در این بخش مبنای مدل‌سازی سیستم داینامیک با استفاده از نرم‌افزار ونسیم[1] بود، مهم‌ترین دلیلِ بکارگیری نرم‌افزار ونسیم این است که این روش می‌تواند با درنظر گرفتن ارتباط بین ریسک‌ها و تعاملات موجود، آن‌ها را تحلیل نموده و اثرات هر متغیر بر متغیر دیگر را شبیه‌سازی و نقاط حساس و بحرانی سیستم را تعیین کند. داده‌های مستخرج از پرسشنامه‌ای که در روش دیمتل فازی توضیح داده شد، ورودیِ نرم‌افزار ونسیم می‌باشد؛ این اطلاعات در واقع ارتباطات و تاثیرات موجود میان ریسک‌ها را بیان می‌کند و می‌تواند در تهیه دیاگرامی که روابط بازخوردی بین ریسک‌های مختلف را نشان می‌دهد، موثر واقع شود. خروجی نرم‌افزار ونسیم، دیاگرامی خواهد بود که مدل دینامیکی یکپارچه بین ریسک‌های مختلف شناسایی شده را نشان می‌دهد؛ این دیاگرام شامل حلقه‌های علّی مختلفی است که ارتباطات دینامیکی میان ریسک‌ها را به خوبی نشان می‌دهد و به عنوان مدل کیفی شناخته می‌شود. پس از تعیین مدل کیفی، نوبت به مدل کمی و تعیین نمودار حالت جریان و تعیین معادلات مرتبط با آن می‌رسد. اطلاعات و دیاگرام‌های بدست آمده در این مرحله می‌تواند مبنای ارزشمندی برای تحلیل و اولویت‌بندیِ مهم‌ترین ریسک‌های منجر به کاهش بهره‌وری منابع انسانی باشد و به عنوان نتیجه نهایی می‌تواند نقاط حساس و بحرانی سیستم را تعیین کند.

افرادی که در این تحقیق مورد بررسی قرار خواهند گرفت، پیمانکارانی هستند که مسئولیت اجرای اسکلت سازه را در دو پروژه بلندمرتبه ۴۹ و ۱۵ طبقهِ یک شرکت پیمانکاری رتبه یک بر عهده دارند چراکه منابع انسانی در بخش اسکلت سازه نقش پررنگی را در پروژه‌ها ایفا می‌کنند. مطابق با اطلاعات کسب شده از این دو پروژه که توسط محقق و بصورت بازدید حضوری بدست آمده در پروژه اول ده نفر و در پروژه دوم هفت نفر مورد توجه محقق می‌باشند که به عنوان کارشناسان و سرپرستان فنی و اجرا، سرپرست کارگاه، مسئولین اچ‌ای‌اس و مسئولین کنترل پروژه مشغول بکار بوده‌اند که این افراد، جامعه مورد بررسی محقق برای استخراج تعاملات میان ریسک‌ها بوده‌اند. رشته تحصیلی تمامی افراد مذکور مهندسی عمران (سازه) بوده و همگی دارای مدرک کارشناسی ارشد و یا بالاتر بودند. سابقه کار بیش از نیمی از افراد ۱۵–۱۰ سال بوده و مابقی افراد دارای سابقه کار ۱۰–۵ سال بوده‌اند.

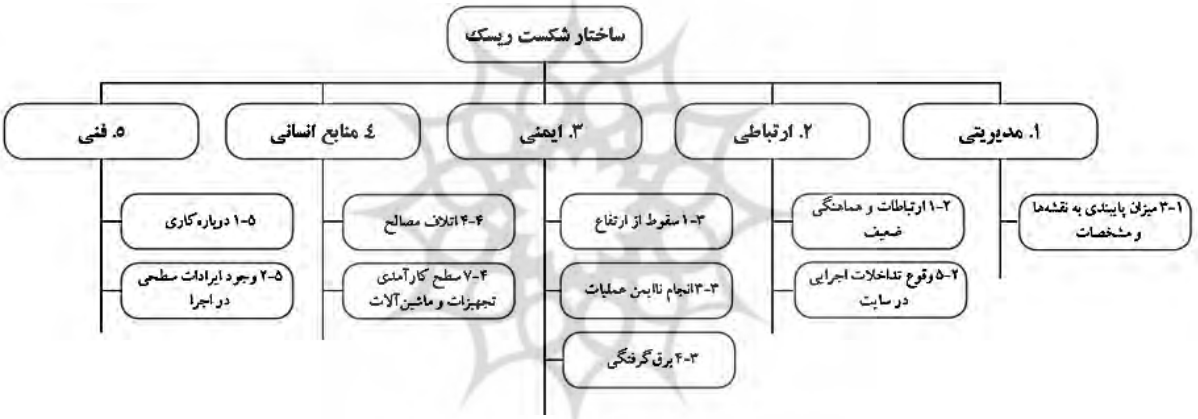
در نهایت می‌توان ادعا کرد که سیستم بکارگرفته شده در این تحقیق پویاست؛ چراکه بواسطه وقوع ریسک‌های مختلف در چرخه حیات پروژه، رفتار سیستم در طول پروژه تغییر خواهد کرد و این تغییر بر عملکرد سایر ریسک‌ها تاثیر گذاشته و بدین ترتیب عملکرد کلی سیستم تحت تاثیر قرار خواهد گرفت. به‌علاوه، وجود بازخورد میان ریسک‌ها، می‌تواند بیانگر این امر باشد که نتایج عملکرد گذشته‌ی سیستم مجددا به درون سیستم بازگشته و بر آن تاثیر می‌گذارد. در فرآیندهایی که دو ویژگی تغییرات در طول زمان و پتانسیل دریافت بازخورد و اطلاعات را دارند، روش شبیه‌سازی فرایندها با رویکرد مدلسازی پویا توصیه می‌شود. هنرِ مدلسازی پویا کشف و بازنمایی بازخورد فرآیندهاست که

1. Vensim PLE

همراه با ذخیره جریان ساختارها موجب تحلیل وضعیت پویایی سیستم می‌شود [۳۰]، [۳۶]. مزیت بکارگیری روش سیستم دینامیک در این تحقیق آن است که این روش می‌تواند با درنظر گرفتن ارتباط بین ریسک‌ها و تعاملات موجود در سیستم، تحلیل حلقه‌های علّی[1]، ایجاد نمودار حالت–جریان[2] و تعیین معادلات برای هر متغیر، اثرات هر متغیر بر روی متغیر دیگر را شبیه‌سازی کرده و بدین ترتیب نقاط حساس و بحرانی سیستم را تعیین کند.

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

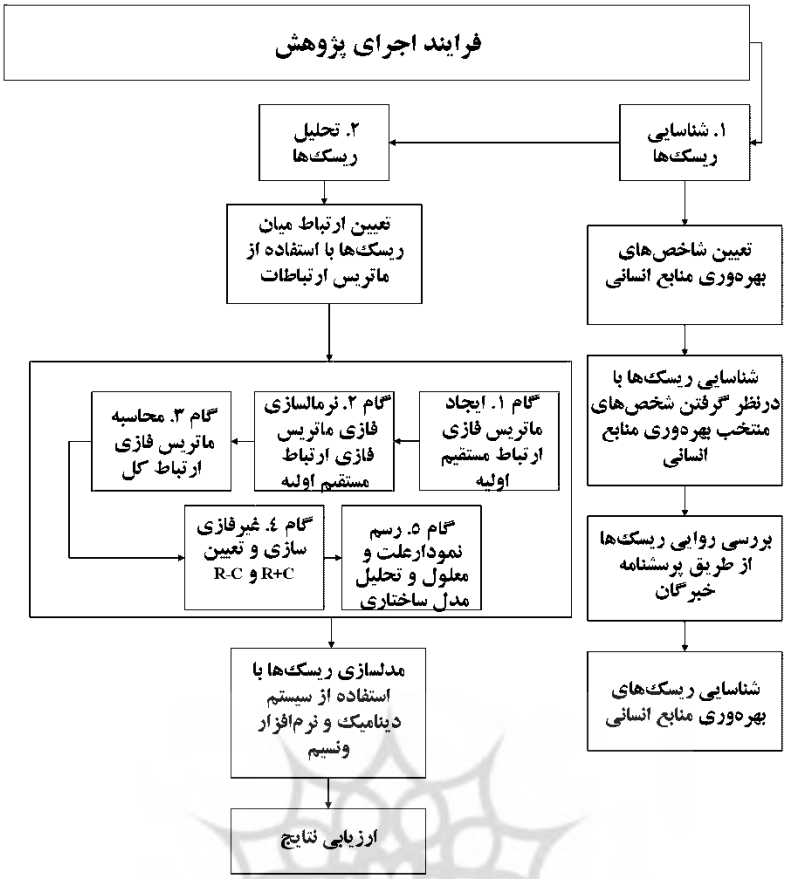
مبحث مرتبط با شناسایی ریسک‌های حاصل از کاهش بهره‌وری منابع انسانی در بخش مبانی نظری و با توجه به ادبیات موضوع و تحقیق‌های پیشین صورت گرفت که نتیجه آن استخراج ۳۰ ریسک مهم بود؛ از آنجایی‌که در ادبیات مدیریت ریسک نمی‌توانیم همه ریسک‌ها را مدیریت کنیم، بر اساس روش پارتو روی ریسک‌های کلیدی تمرکز می‌کنیم چراکه بخش عمده‌ای از ریسک‌ها بواسطه ریسک‌های کلیدی ایجاد می‌شوند. بنابراین در این تحقیق نیز تلاش بر آن بوده که ۱۰ ریسک برتر (top 10 risks) شناسایی و مدیریت شوند. همانگونه که در روش تحقیق بیان شد، ریسک‌های شناسایی شده بوسیله مصاحبه ساختاریافته اعتبارسنجی می‌شوند که این اعتبارسنجی در نهایت ده ریسک کلیدی را به ما معرفی کرده که به عنوان مبنایی برای این تحقیق درنظرگرفته خواهد شد. نتایج حاصل از مصاحبه نشان می‌دهد که ۱۰ ریسک کلیدی مطرح در پروژه‌های بلندمرتبه سازی به شرح شکل ۱ می‌باشد.



شکل ۱. ساختار شکست ریسک‌های بهره‌وری منابع انسانی

به‌منظور تحلیل و ارزیابی ریسک‌های بهره‌وری و ایجاد یک مدل دینامیکی، ابتدا ارتباط میان ریسک‌های بهره‌وری با استفاده از داده‌های مستخرج از پرسشنامه و با بکارگیری روش دیمتل فازی استخراج می‌شوند. در ادامه، در پی ایجاد یک مدل دینامیکی، به‌منظور درک پیچیدگی عناصر سیستم، و اولویت‌بندی تاثیرگذارترین ریسک‌ها بر بهره‌وری منابع انسانی و اندازه‌گیری مقدار کاهش بهره‌وری در صورت وقوع و عدم وقوع هر ریسک خواهیم بود (شکل ۲).

1. Causal Loops
2. Stock-Flow Diagram



شکل ۲. فرایند اجرای پژوهش

مدل‌سازی کمی ریسک‌های تاثیرگذار بر بهره‌وری با رویکرد دیمتل فازی. مرحله اول پیاده‌سازی دیمتل فازی، تشکیل ماتریس مقایسات زوجی میان ۱۰ ریسکِ شناسایی شده می‌باشد. برای تحقق این امر لازم است تا ارزیابی هر خبره نسبت به تاثیر هر ریسک بر روی ریسک دیگر مشخص شود؛ این کار از طریق امتیازدهی هر درایه ماتریس و با استفاده از اعداد بین ۰ تا ۴ انجام می‌شود (رجوع شود به جدول ۲). هر درایه ماتریس بیانگر آن است که هر ریسک در هر ردیف چه تاثیری بر هر ریسک در هر ستون می‌گذارد. بدین ترتیب، با گردآوری امتیازات جمع‌آوری شده از هر خبره، به تعداد جامعه نمونه ماتریس ۱۰×۱۰ خواهیم داشت. پس از جمع‌آوری ماتریس‌های ارسال شده به خبرگانِ تعیین شده لازم است تا بین تمامی جواب‌های دریافت شده میانگین گرفته شود که این ماتریسِ میانگین به عنوان مبنای اصلی کار قرار خواهد گرفت. با توجه به آن‌که این پژوهش در تلاش است تا برای بکارگیری نتایج بهتر، روش دیمتل فازی را ارائه کند، بنابراین امتیازهای ۰ تا ۴ تعیین شده در هر ماتریس توسط هر خبره، براساس متغیرهای زبانی جدول ۲ تعیین شده و بصورت اعداد فازی مثلثی مثبت بیان می‌شوند. بنابراین پس از گردآوری نظرات خبرگان و تبدیل اعداد هر ماتریس به اعداد فازی، به تعداد جواب‌های دریافت شده از خبرگان ماتریس‌های فازی داریم که با استفاده از میانگین‌گیری بین اعداد فازی، ماتریس متوسط فازی محاسبه می‌شود (جدول ۳). به عنوان مثال، نحوه محاسبه تاثیر ریسک تداخلات اجرایی در سایت (عدد ۱ در ستون اول جدول ۳) را بر ریسک سقوط از ارتفاع (عدد ۲ در ردیف سوم جدول ۳) بررسی می‌کنیم. نتایج بدست آمده از پرسشنامه‌های منتشر شده نشان می‌دهد که خبرگان عقیده دارند که ریسک تداخلات اجرایی در سایت بر ریسک سقوط از ارتفاع دارای تاثیرگذاری خیلی زیاد و زیاد می‌باشد. تبدیل این متغیرهای زبانی به اعداد فازی و انجام عملیات میانگین‌گیری بین جواب‌های دریافت شده بیان می‌کند که ماتریس ارتباط مستقیم اولیه برای این دو ریسک شامل اعداد فازی (۸.۳۳۳، ۷.۶۶۷، ۶.۶۶۷) می‌باشد.

جدول ۳. ماتریس فازی ارتباط مستقیم اولیه

x	۱			۲			۳			۴			۵		
۱	۰	۰	۰	۸.۳۳۳	۷.۶۶۷	۶.۶۶۷	۸.۶۶۷	۸.۳۳۳	۷.۳۳۳	۹	۹	۸	۸.۳۳۳	۷.۶۶۷	۶.۶۶۷
۲	۲	۱.۶۶۷	۱.۳۳۳	۰	۰	۰	۲	۱.۶۶۷	۱.۳۳۳	۳	۳.۶۶۷	۳	۲.۳۳۳	۲.۳۳۳	۱.۶۶۷
۳	۱	۱	۱	۶.۶۶۷	۷.۶۶۷	۸.۳۳۳	۰	۰	۰	۸.۶۶۷	۸.۳۳۳	۷.۳۳۳	۸.۳۳۳	۷.۶۶۷	۶.۶۶۷
۴	۱	۱	۱	۷.۳۳۳	۸.۳۳۳	۸.۶۶۷	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۴	۳	۲

x	۶			۷			۸			۹			۱۰		
۱	۸.۶۶۷	۸.۳۳۳	۷.۳۳۳	۸.۶۶۷	۸.۳۳۳	۷.۳۳۳	۸.۶۶۷	۸.۳۳۳	۷.۳۳۳	۸.۳۳۳	۷.۶۶۷	۶.۶۶۷	۸.۶۶۷	۸.۳۳۳	۷.۳۳۳
۲	۳	۲.۳۳۳	۱.۶۶۷	۷.۳۳۳	۶.۳۳۳	۵.۳۳۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۳	۵.۳۳۳	۴.۳۳۳	۳.۳۳۳	۴.۶۶۷	۳.۶۶۷	۲.۶۶۷	۲	۱.۶۶۷	۱.۳۳۳	۸.۳۳۳	۷.۶۶۷	۶.۶۶۷	۳	۲.۳۳۳	۱.۶۶۷
۴	۳	۲.۳۳۳	۱.۶۶۷	۳.۶۶۷	۳	۲.۳۳۳	۲	۱.۶۶۷	۱.۳۳۳	۱	۱	۱	۲	۱.۶۶۷	۱.۳۳۳

مرحله دوم از فرایند دیمتل فازی، نرمال‌سازی ماتریس ارتباط مستقیم اولیه می‌باشد. برای نرمال‌سازی ماتریس متوسط، ابتدا باید جمع سطری و ستونی درایه‌های ماتریس اولیه را محاسبه کرده و معکوس بیشترینِ آن را در درایه‌های ماتریس مذکور ضرب کنیم. به همین ترتیب مجموع هر ستون از ماتریس فازی ارتباط مستقیم اولیه نشان‌دهنده تاثیر مستقیم کلِ دریافت شده توسط یک ریسک از سایر ریسک‌ها می‌باشد. به عنوان مثال می‌توان بیان کرد که پس از تعیین ماتریس ارتباط مستقیم اولیه به منظور مشخص نمودن ارتباط میان ریسک تداخلات اجرایی و سقوط از ارتفاع، فرایند نرمالسازی آغاز می‌شود و برای دو ریسک بیان شده، اعداد مرتبط با فرایند نرمالسازی شامل اعداد فازی (۰.۱۰۸، ۰.۰۹۹، ۰.۰۸۶) می‌باشد (جدول ۴).

جدول ۴. نرمال‌سازی فازی ماتریس فازی ارتباط مستقیم اولیه

D	۱			۲			۳			۴			۵		
۱	۰	۰	۰	۰.۱۰۸	۰.۰۹۹	۰.۰۸۶	۰.۱۱۲	۰.۱۰۸	۰.۰۹۵	۰.۱۱۶	۰.۱۱۶	۰.۱۰۳	۰.۱۰۸	۰.۰۹۹	۰.۰۸۶
۲	۰.۰۲۶	۰.۰۲۲	۰.۰۱۷	۰	۰	۰	۰.۰۲۶	۰.۰۲۲	۰.۰۱۷	۰.۰۴۷	۰.۰۳۹	۰.۰۳	۰.۰۳۹	۰.۰۳	۰.۰۲۲
۳	۰.۰۱۳	۰.۰۱۳	۰.۰۱۳	۰.۱۰۸	۰.۰۹۹	۰.۰۸۶	۰	۰	۰	۰.۱۱۲	۰.۱۰۸	۰.۰۹۵	۰.۱۰۸	۰.۰۹۹	۰.۰۸۶

D	۶			۷			۸			۹			۱۰		
۱	۰.۱۱۲	۰.۱۰۸	۰.۰۹۵	۰.۱۱۲	۰.۱۰۸	۰.۰۹۵	۰.۱۱۲	۰.۱۰۸	۰.۰۹۵	۰.۱۰۸	۰.۰۹۹	۰.۰۸۶	۰.۱۱۲	۰.۱۰۸	۰.۰۹۵
۲	۰.۰۳۹	۰.۰۳	۰.۲۲	۰.۰۹۵	۰.۰۸۲	۰.۰۶۹	۰.۰۱۳	۰.۰۱۳	۰.۰۱۳	۰.۰۱۳	۰.۰۱۳	۰.۰۱۳	۰.۰۱۳	۰.۰۱۳	۰.۰۱۳
۳	۰.۰۶۹	۰.۰۵۶	۰.۰۴۳	۰.۰۶	۰.۰۴۷	۰.۰۳۴	۰.۰۲۶	۰.۰۲۲	۰.۰۱۷	۰.۰۱۸	۰.۰۹۹	۰.۰۸۶	۰.۰۳۹	۰.۰۳	۰.۰۲۲

مرحله سوم از فرایند دیمتل فازی، محاسبه ماتریس فازی ارتباط کل می‌باشد. در این گام ماتریس شدت نسبی موجود از روابط مستقیم و غیرمستقیم تعیین خواهد شد؛ که علاوه بر روابط مستقیم میان متغیرها، رواط غیر مستقیم را هم در بر می‌گیرد. برای محاسبه ماتریس فازی ارتباط کل، ابتدا باید یک ماتریس همانی تشکیل دهیم و سپس ماتریس نرمال را از ماتریس همانی کم کرده و ماتریس حاصل را

معکوس کرده و در نهایت ماتریس معکوس شده را در ماتریس نرمال ضرب ماتریسی کرده و در نهایت به ماتریس فازی ارتباط کل دست می‌یابیم (جدول ۵).

جدول ۵. ماتریس فازی ارتباط کل

T	۱			۲			۳			۴			۵		
۱	۰.۱۰۶	۰.۰۷۷	۰.۰۴۹	۰.۲۹۶	۰.۲۴۴	۰.۱۷۹	۰.۲۵۴	۰.۲۱۵	۰.۱۶۲	۰.۲۸۷	۰.۲۴۴	۰.۱۸۴	۰.۲۷۸	۰.۱۶۳	۰.۱۶۳
۲	۰.۰۶۴	۰.۰۴۶	۰.۰۳۲	۰.۰۷	۰.۰۴۹	۰.۰۳	۰.۰۷۹	۰.۰۵۹	۰.۰۴	۰.۱۰۹	۰.۰۸۱	۰.۰۵۶	۰.۰۴۶	۰.۰۴۶	۰.۰۴۶
۳	۰.۰۸۳	۰.۰۶۱	۰.۰۴۲	۰.۲۴۴	۰.۱۸۲	۰.۱۳۷	۰.۰۹۳	۰.۰۶۶	۰.۰۴	۰.۲۱۵	۰.۱۷۹	۰.۱۳۷	۰.۱۲۳	۰.۱۲۳	۰.۱۲۳

T	۶			۷			۸			۹			۱۰		
۱	۰.۳۱۲	۰.۲۶	۰.۱۹۱	۰.۳۰۳	۰.۲۵	۰.۱۸۴	۰.۲۲۴	۰.۱۸۸	۰.۱۴۴	۰.۲۳۸	۰.۱۹۷	۰.۱۴۹	۰.۲۷۵	۰.۲۳۱	۰.۱۷۳
۲	۰.۱۰۹	۰.۰۷۹	۰.۰۵۱	۰.۱۵۷	۰.۱۲۳	۰.۰۹۳	۰.۰۵۸	۰.۰۴۳	۰.۰۳۱	۰.۰۶۵	۰.۰۴۹	۰.۰۳۵	۰.۰۷۳	۰.۰۵۵	۰.۰۳۸
۳	۰.۱۹۴	۰.۱۴۶	۰.۰۹۷	۰.۱۸۶	۰.۱۸۶	۰.۰۸۹	۰.۰۹۷	۰.۰۶۹	۰.۰۴۹	۰.۱۸۶	۰.۱۵۳	۰.۱۱۸	۰.۱۴۴	۰.۱۰۵	۰.۰۶۸

مرحله چهارم از فرایند دیمتل فازی مرتبط با دیفازی‌سازی[1] یا فازی‌زدایی و به‌معنای انتخاب یک عنصر قطعی بر اساس خروجی مجموعه فازی می‌باشد. یکی از روش‌های موجود برای غیرفازی سازیِ ماتریس، استفاده از روش میانگین وزنی می‌باشد که با انجام محاسبات مرتبط با فازی‌زدایی ماتریس حاصل در جدول ۶ نمایش داده شده است.

جدول ۶. دیفازی‌سازی ماتریس ارتباط کل و محاسبه مجموع ردیف‌ها و ستون‌ها

H	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	C
۱	۰.۰۷۷	۰.۲۴۲	۰.۲۱۳	۰.۲۴۱	۰.۱۸۲	۰.۲۵۷	۰.۲۴۸	۰.۱۸۷	۰.۱۹۶	۰.۲۲۹	۲.۰۷۲
۲	۰.۰۴۷	۰.۰۴۹	۰.۰۵۹	۰.۰۸۱	۰.۰۵۵	۰.۰۷۹	۰.۱۲۴	۰.۰۴۴	۰.۰۴۹	۰.۰۵۵	۰.۶۴۲
۳	۰.۰۶۱	۰.۱۸۱	۰.۰۶۶	۰.۱۷۸	۰.۱۳۸	۰.۱۴۶	۰.۱۳۶	۰.۰۷	۰.۱۵۲	۰.۱۰۵	۱.۲۳۳
۴	۰.۰۳۶	۰.۱۴۴	۰.۰۴۶	۰.۰۴	۰.۰۵۷	۰.۰۷۶	۰.۰۸۷	۰.۰۴۷	۰.۰۴۴	۰.۰۵۹	۰.۶۳۴
۵	۰.۰۹۹	۰.۱۲۸	۰.۱۲۳	۰.۱۳۵	۰.۰۶۷	۰.۲۱۵	۰.۱۹۸	۰.۰۹۳	۰.۱۴۱	۰.۱۸۸	۱.۳۸۷
۶	۰.۰۵۳	۰.۱۰۲	۰.۰۸۱	۰.۰۸	۰.۰۶۲	۰.۰۶۸	۰.۱۵۴	۰.۰۷۷	۰.۰۸۴	۰.۱۰۲	۰.۸۶۳
۷	۰.۱۵۱	۰.۲۴۵	۰.۲۱۶	۰.۲۳۱	۰.۱۹۲	۰.۲۴۶	۰.۱۴۸	۰.۱۷۵	۰.۲	۰.۲۱۱	۲.۰۱۵
۸	۰.۰۹۳	۰.۲۱۹	۰.۱۷۴	۰.۱۹۳	۰.۱۲۲	۰.۲۱۷	۰.۲۱	۰.۰۶۹	۰.۱۰۲	۰.۲۰۱	۱.۵۹۹
۹	۰.۱۵۴	۰.۲۲۴	۰.۱۹۳	۰.۲۰۵	۰.۱۳	۰.۲۳۶	۰.۲۱۶	۰.۰۹۹	۰.۰۹۱	۰.۱۹۸	۱.۷۴۶
۱۰	۰.۰۴۳	۰.۰۶۸	۰.۰۵۸	۰.۰۷۱	۰.۱۲	۰.۱۵۷	۰.۰۸۵	۰.۰۸۸	۰.۰۶۲	۰.۰۵۶	۰.۸۰۸
R	۰.۸۱۴	۱.۶۰۱	۱.۲۲۹	۱.۴۴۵	۱.۱۲۴	۱.۶۹۷	۱.۶۰۵	۰.۹۴۸	۱.۱۲۱	۱.۴۰۳	

پس از انجام محاسبات مرتبط با دیمتل فازی، در بخش دوم از عملیات مرتبط با این گام، مجموع مقادیر موجود در هر ردیف (C) و ستون (R) محاسبه می‌شود (جدول ۶). پس از محاسبه مقدار R و C نوبت به تعیین مقادیر C+R و C-R می‌رسد. هرچه مقدار C+R ریسکی بیشتر باشد، آن ریسک تعامل بیشتری با سایر عناصر سیستم دارد. بنابراین اهمیت آن ریسک در سیستم بیشتر است. به عنوان مثال، ریسک دوباره‌کاری با عدد ۳.۶۲ نشان می‌دهد که این ریسک بیشترین اهمیت را در این سیستم دارد. از طرفی دیگر هنگامی که C-

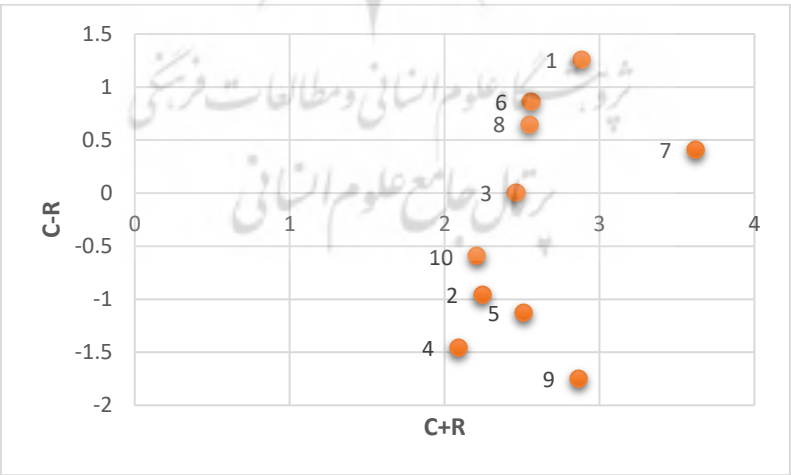
1. Deffuziation

R برای یک ریسک مقداری مثبت باشد، بیانگر آن است که آن ریسک در کل، یک ریسک تاثیرگذار در سیستم بوده و هنگامی که این مقدار منفی باشد، نشان‌دهنده آن است که آن ریسک یک عامل تاثیرپذیر در سیستم می‌باشد. به عنوان مثال، ریسک سقوط از ارتفاع با میزان ۰.۹۵۹- یک عامل تاثیرپذیر در سیستم می‌باشد (جدول ۷).

جدول ۷. محاسبه مقادیر C+R و C-R

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
C+R	۲.۸۸۵	۲.۲۴۳	۲.۴۶۲	۲.۰۸۹	۲.۵۱۱	۲.۵۵۹	۳.۶۲	۲.۵۴۷	۲.۸۶۸	۲.۲۱۱
C-R	۱.۲۵۸	-۰.۹۵۹	۰.۰۰۴	-۱.۴۶	-۱.۱۲	۰.۸۶۳	۰.۴۰۹	۰.۶۵۱	-۱.۷۴۶	-۰.۶

مقادیر مرتبط با C-R بیانگر آن است که به عنوان مثال ریسک تداخلات اجرایی در سایت با مقدار ۱.۲۵۸ بیشترین تاثیر را بر سایر ریسک‌ها دارد و تاثیر کمی از سایر ریسک‌ها دریافت می‌کند. ریسک‌هایی که ارزش C-R در آن‌ها مثبت باشد، در گروه علت و ریسک‌هایی که ارزش مذکور در آن‌ها منفی باشد، در گروه معلول قرار خواهند گرفت. نمودار علت و معلول از طریق بکارگیری دو بردار افقی C+R و بردار عمودی C-R ایجاد می‌شود. بنابراین با توجه به مقادیر این دو رابطه، هر ریسک در نمودار علت و معلول جایگاهی دارد که در شکل ۳ نمایش داده شده است. این نمودار با نماد IRM نیز شناخته می‌شود. همانطور که در شکل ۳ پیداست، مقدار C+R برای ریسک دوباره‌کاری (۷) و تداخلات اجرایی در سایت (۱) به ترتیب برابر با مقدار ۳.۶۲ و ۲.۸۸۵ می‌باشد که این مقدار بیانگر آن است که این ریسک‌ها به ترتیب بیشترین ارتباط را با سایر ریسک‌های تاثیرگذار بر بهره‌وری منابع انسانی ماهر داشته و بنابراین در اولویت بالایی قرار دارند. به عنوان مثال، ریسک تداخلات اجرایی در سایت (۱) به سبب به‌هم‌ریختگی و عدم وجود چارچوبی منظم در سایت می‌تواند باعث سردرگمی و حواس‌پرتی منابع انسانی فعال در سایت شده و ریسک سقوط از ارتفاع (۲) و یا برق‌گرفتگی (۴) را ایجاد کند و به عبارتی به شدت بر این ریسک‌ها تاثیر بگذارد و جزو دسته ریسک‌های علّی قرار گیرد. از سویی دیگر دوباره‌کاری (۷) می‌تواند به واسطه کاهش انگیزه در کارگران و در نتیجه ایجاد خستگی در آنان سبب شود که کارگران کمتر به نقشه‌ها و مشخصات تعیین شده پایبندی نشان دهند که همین امر بیانگر آن است که ریسک پایبندی به نقشه‌ها (۵) می‌تواند به شدت از ریسک دوباره‌کاری (۷) تاثیر بپذیرد که در نهایت این ریسک را در دسته ریسک‌های معلولی قرار می‌دهد. همین استراتژی ریسک‌ها را به دو دسته علّی و معلولی تقسیم‌بندی می‌کند (شکل ۳).



شکل ۳. نمودار علت و معلول (محورهای C+R و C-R)

در بخش آخر فرایند دیمتل فازی و برای تعیین ارتباط میان ریسک‌ها از یک ماتریس ۰ و ۱ استفاده شده است. نحوه تعیین اعداد این ماتریس بر اساس ماتریس غیرفازی‌سازی شده ارتباط کل و ارزش آستانه[1] در ماتریس می‌باشد؛ ارزش آستانه حدی است که با استفاده از آن، وجود و یا عدم وجود ارتباط میان ریسک‌ها تعیین می‌شود. برای محاسبه مقدار ارزش آستانه روابط کافی است تا میانگین مقادیر ماتریس ارتباط کل محاسبه شود. پس از تعیین شدت آستانه تمامی مقادیر ماتریس ارتباط کل که کوچکتر از ارزش آستانه باشد، صفر در نظر گرفته شده و در صورتی که این مقادیر بزرگتر از ارزش آستانه باشد، حاکی از اهمیت ارتباط بین دو متغیر بوده و باید در ماتریس عدد ۱ لحاظ شود. بنابراین پس از محاسبه مقادیر مرتبط با R و C برای هر ریسک، به‌منظور تعیین وجود و یا عدم وجود ارتباطات مستقیم و غیرمستقیم میان ریسک‌های مختلف، جدول ۸ که اصطلاحا یک ماتریس باینری می‌باشد، رسم شده است.

جدول ۸. ماتریس باینری تعیین ارتباطات میان ریسک‌ها

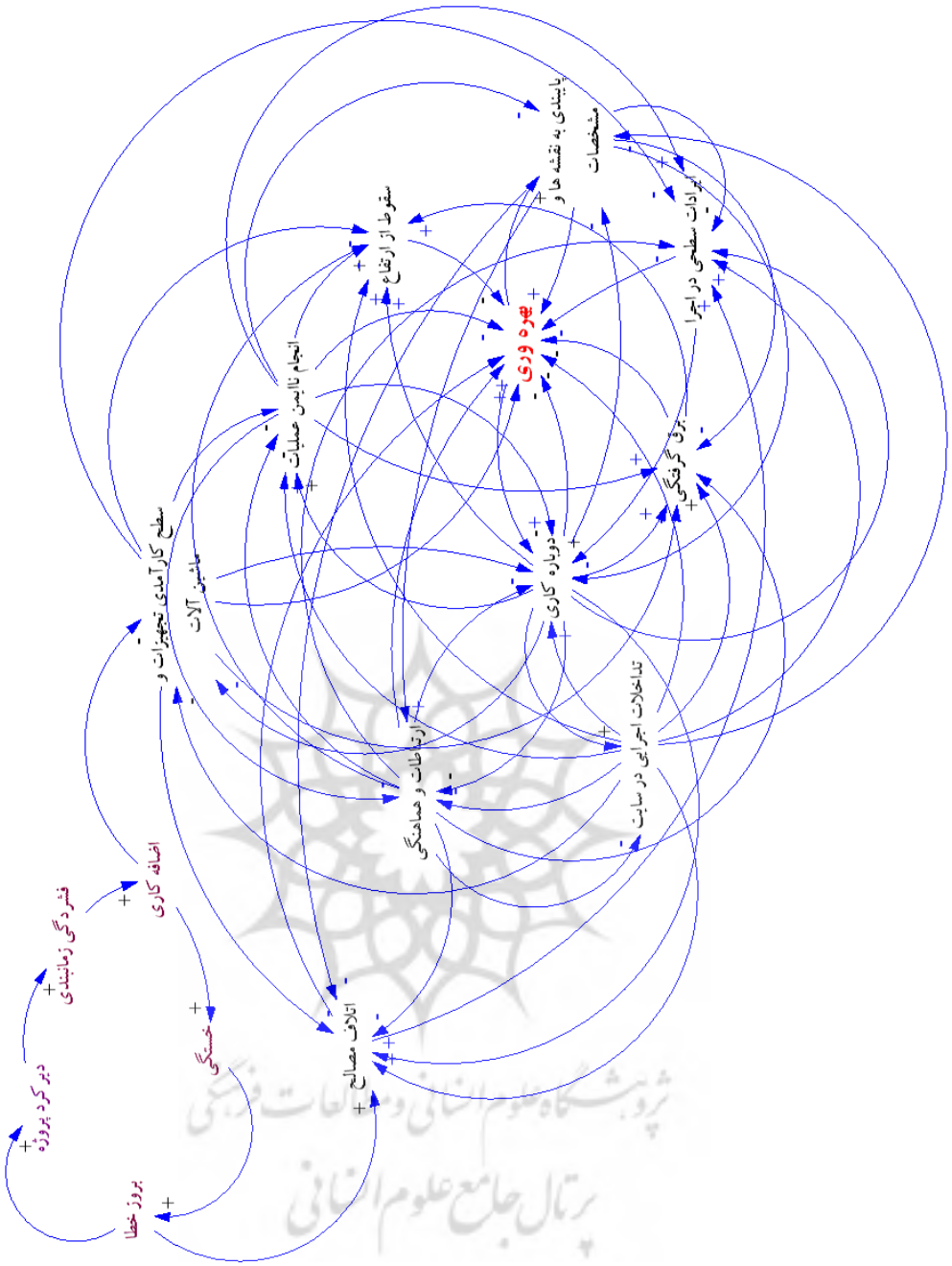
	تداخلات اجرایی در سایت	سقوط از ارتفاع	انجام عملیات بصورت ناایمن	برق‌گرفتگی	عدم پایبندی به نقشه‌ها و مشخصات	وجود ایرادات سطحی در اجرا	دوباره‌کاری	سطح کارآمدی ماشین آلات و تجهیزات	ارتباطات و هماهنگی ضعیف	اتلاف مصالح توسط کارگران
۱. تداخلات اجرایی در سایت	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲. سقوط از ارتفاع	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳. انجام عملیات به‌صورت ناایمن	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰
۴. برق‌گرفتگی	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵. عدم‌پایبندی به نقشه‌ها و مشخصات	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱
۶. وجود ایرادات سطحی در اجرا	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰
۷. دوباره‌کاری	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱
۸. سطح کارآمدی ماشین آلات و تجهیزات	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱
۹. ارتباطات و هماهنگی ضعیف بین جبهه‌های مختلف درگیر در پروژه	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱
۱۰. اتلاف مصالح توسط کارگران	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰

مدل‌سازی ریسک‌های تاثیرگذار بر بهره‌وری با رویکرد سیستم دینامیک (توسعه مدل کیفی SD). پس از پایان محاسبات مرتبط با روش دیمتل فازی، تمامی داده‌های مورد نیاز از جمله ارتباطات مستقیم و غیرمستقیم بین ریسک‌ها، میزان تاثیرگذاری هر ریسک بر سایر ریسک‌ها و میزان تاثیرپذیری هر ریسک از سایر ریسک‌ها که مبنایی برای شروع فرایند مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار ونسیم می‌باشند، استخراج شدند. اولین گام مدلسازی دینامیکی سیستم، مبتنی بر نمودارهای حلقه علی[2] (CLD) می‌باشد. این نمودار یک نمایش گرافیکی از ارتباطات موجود میان عناصر سیستم و حلقه‌های بازخورد[3] می‌باشد. در یک حلقه بازخورد ممکن است یک عنصر بر روی عنصری دیگر تاثیر گذاشته و سبب تغییر در آن شود؛ اثر این تغییر در طول کل حلقه انتقال پیدا می‌کند و به عنصر ایجاد کننده آن تغییر بازمی‌گردد. با توجه به منطق موجود برای رسم نمودار حلقه علّی توسط نرم‌افزار ونسیم و با توجه به داده‌های جمع‌آوری‌شده از دو پروژه

1. Threshold
2. Causal Loop Diagrams (CLD)
3. Feedback Loop

بلندمرتبه سه نوع داده مورد نیاز شامل ۱) ارتباطات میان ریسک‌ها ۲) تعیین ارتباطات میان هر ریسک و متغیر بهره‌وری و ۳) ارتباطات میان متغیرهای بیرونی می‌باشند. عوامل بیرونی همواره به عنوان نیروی محرکه شناخته می‌شوند که درنظر گرفتن این عوامل صحت مدل کیفی محقق را افزایش می‌دهد. عوامل بیرونی و تصادفی در نظر گرفته شده در این تحقیق به همراه ارتباط میان این عوامل برگرفته از ادبیات موضوع می‌باشند. به عنوان مثال، عقب‌ماندن از زمان‌بندی پروژه همواره به عنوان یکی از مسائل مهم موجود در صنعت ساخت مطرح می‌شود. این دیرکرد در زمانبندی پروژه سبب می‌شود تا عوامل پروژه به منظور رفع آن زمانبندی را فشرده کرده تا بدین طریق عقب‌ماندگی پروژه را جبران کنند. این فشردگی در زمان‌بندی سبب می‌شود که منابع انسانی ساعات کاری بیشتری کار کنند که این اضافه‌کاری سبب ایجاد خستگی و در نهایت سبب بروز خطا خواهد شد. در نهایت، خطاهای بوجود آمده باعث عقب‌ماندگی بیشتر پروژه شده و بدین صورت این چرخه کامل شده و دوباره تکرار خواهد شد. بنابراین، پس از تعیین تمامی ورودی‌های لازم برای انجام فرایند مدل‌سازی کیفی و رسم نمودار حلقه علّی لازم است تا با استفاده از گزینه Variable نام متغیرها را که شامل ریسک‌ها، متغیر بهره‌وری و عوامل بیرونی (بروزخطا، اضافه‌کاری، خستگی، فشردگی زمان‌بندی) می‌باشند، در نرم‌افزار وارد کرده و سپس ارتباطات مستقیم و غیرمستقیم میان متغیرها را که بر مبنای ماتریس باینری در بخش دیمتل فازی بدست آمده با استفاده از گزینه Arrow رسم کرده و با تعیین علامت افزایشی یا کاهشی ارتباطات میان متغیرها، حلقه‌های بازخوردی تشکیل شده را استخراج کنیم. در نهایت با اعمال موارد مذکور در نرم‌افزار، نمودارهای حلقه علّی تعیین می‌شوند (شکل ۴).

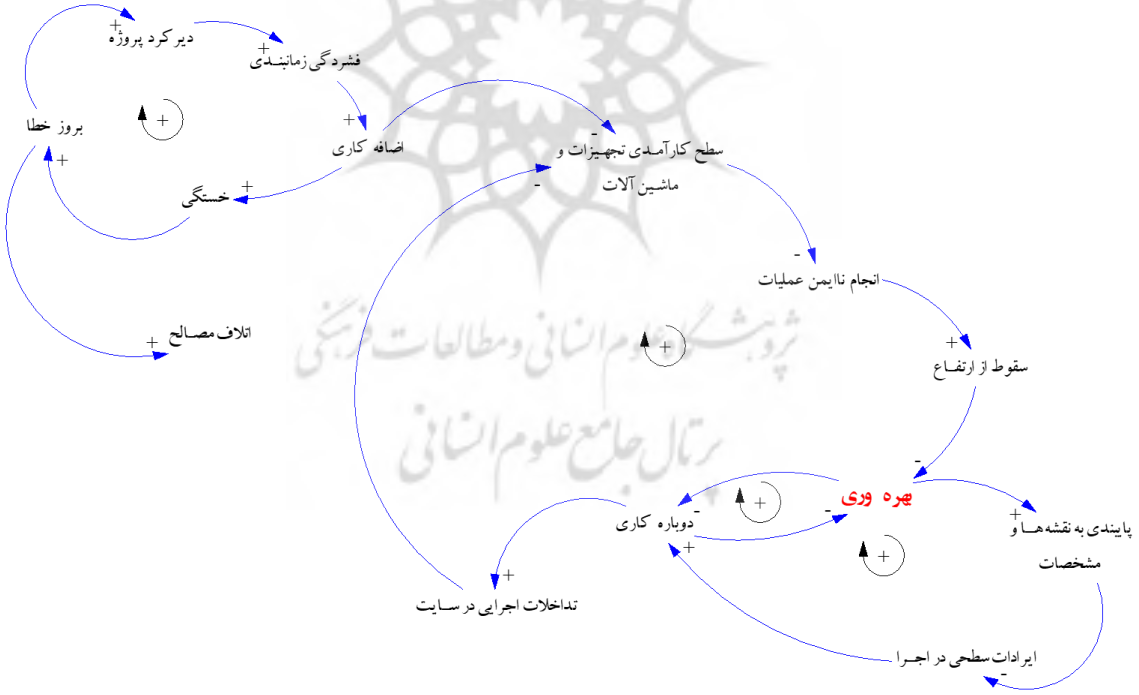
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



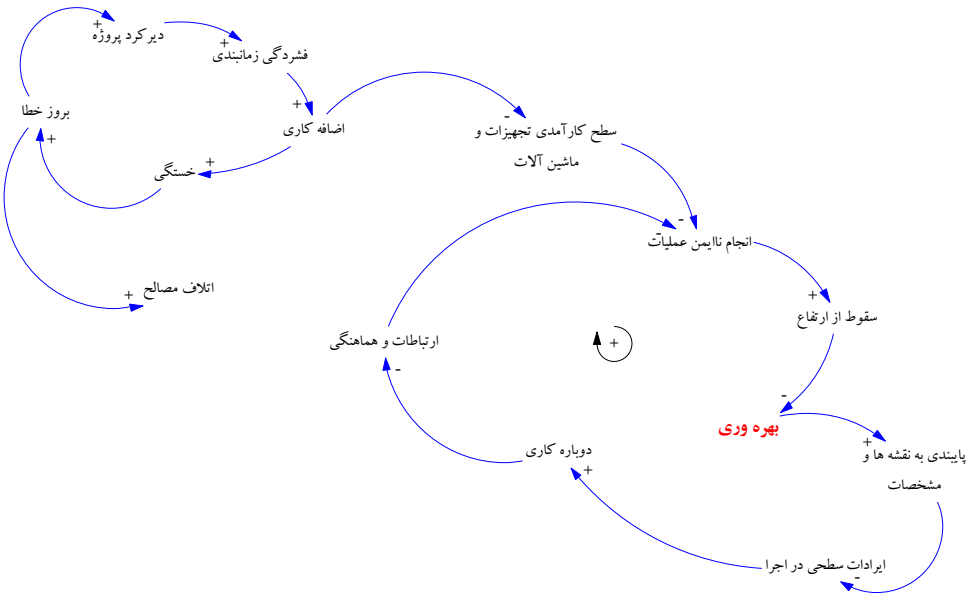
شکل ۴. نمودار حلقه علّی (CLD) برگرفته از ارتباطات علّی میان متغیرها

پس از ترسیم نمودار حلقه‌های علّی، ۱۳ حلقه بازخوردی که بیشترین تاثیر را در این نمودار دارند، شناسایی شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. در حلقه‌های ترسیم شده در شکل‌های ۵ تا ۱۲ می‌توان از یک‌سری از ارتباطات مهم بین متغیرها آگاهی پیدا کرد. به عنوان مثال، کاهش میزان پایبندی به نقشه‌ها سبب بروز ایرادات سطحی در اجرا شده و این ایرادات در صورت افزایش، باعث دوباره‌کاری شده که این افزایش در میزان دوباره‌کاری به دلیل کاهش تعهد و انگیزه و کاهش رضایت شغلی سبب کاهش میزان بهره‌وری منابع انسانی شده و همین امر، در نهایت سبب کاهش میزان پایبندی به نقشه‌ها و مشخصات خواهد شد. از سویی دیگر انجام عملیات بصورت ناایمن می‌تواند

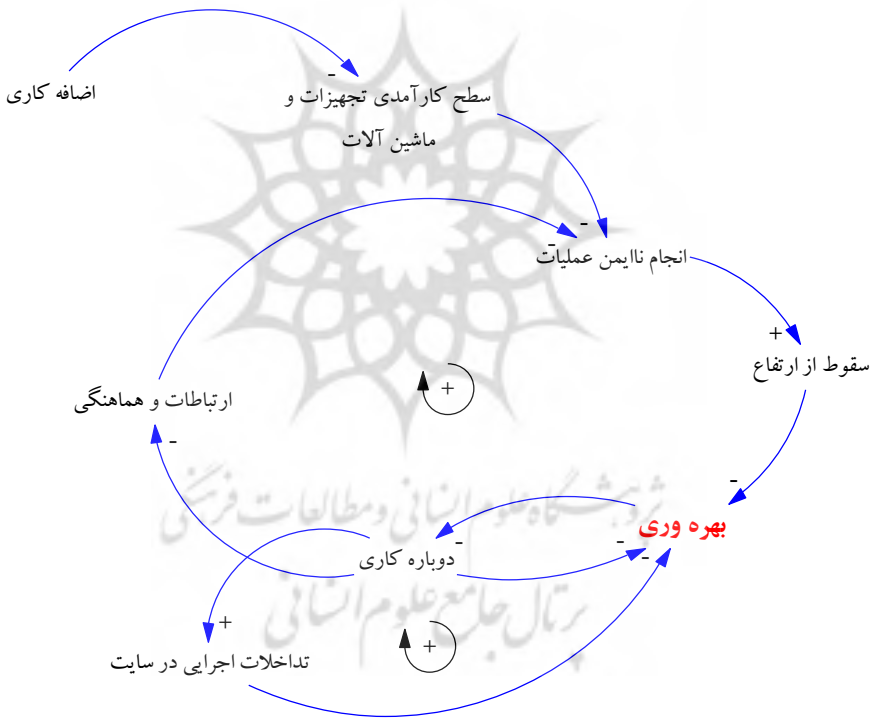
سبب افزایش ریسک سقوط از ارتفاع شود و این امر می‌تواند باعث کاهش بهره‌وری منابع انسانی شود و این میزان کاهش می‌تواند دوباره‌کاری را در پروژه‌های بلندمرتبه افزایش دهد. به سبب بروز این دوباره‌کاری، حجم فعالیت‌های بکارگرفته شده در سایت اضافه شده و منجر به بروز تداخلات اجرایی در سایت خواهد شد. این تداخلات می‌تواند سبب کاهش سطح کارآمدی ماشین‌آلات و تجهیزات شود و در نهایت می‌تواند انجام عملیات بصورت ناایمن را در پی داشته باشد. در نهایت، با بررسی تمام حلقه‌ها مطابق با روش گفته شده، متوجه می‌شویم که هر متغیر ممکن است در چند حلقه قرار گرفته باشد که این امر سبب می‌شود حلقه‌ها بر روی یکدیگر تاثیر گذاشته و اثرات یکدیگر را تشدید کنند. به عنوان مثال متغیر دوباره‌کاری در حلقه‌های شماره (۲)، (۳)، (۵)، (۶)، (۷)، (۸)، (۹)، (۱۰) و (۱۱) قرار گرفته و همین امر می‌تواند بیانگر اهمیت این متغیر باشد چراکه به سبب وجود آن در بیشتر حلقه‌ها می‌تواند به شدت سایر متغیرها را تحت تاثیر قرار دهد؛ از سویی دیگر، متغیر مربوط به بهره‌وری منابع انسانی در حلقه‌های شماره (۲)، (۳)، (۴)، (۵)، (۶)، (۷)، (۸)، (۹)، (۱۰)، (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) قرار گرفته و به نوعی نشان‌دهنده آن است که این متغیر به شدت سیستم حاصل را تحت تاثیر قرار می‌دهد. چراکه تغییر مقادیر در هر حلقه به سبب ارتباط یکی از متغیرهای آن حلقه با سایر حلقه‌ها می‌تواند سبب تغییر مقادیر در سایر حلقه‌ها شود. به عنوان مثال تغییر مقادیر در متغیر دوباره‌کاری در حلقه شماره (۳) می‌تواند متغیر ارتباطات و هماهنگی را در حلقه شماره (۵) تحت تاثیر قرار دهد که این امر سبب تغییر در سایر متغیرهای موجود در حلقه شماره (۵) خواهد شد. تفکیک حلقه‌های تعیین شده می‌تواند درک ساده‌تری نسبت به این مدل در اختیار خواننده قرار دهد. به عنوان مثال در این حلقه‌ها می‌توان دریافت که ریسک‌هایی مانند دوباره‌کاری و تداخلات اجرایی در سایت در بیشتر حلقه‌ها قرار گرفته‌اند و می‌توانند به عنوان نیروی محرکه‌ای برای تشدید سایر ریسک شناخته شوند و حلقه‌های مختلفی ایجاد کنند و در نهایت بیشتر کاهش میزان بهره‌وری منابع انسانی را رقم بزنند.



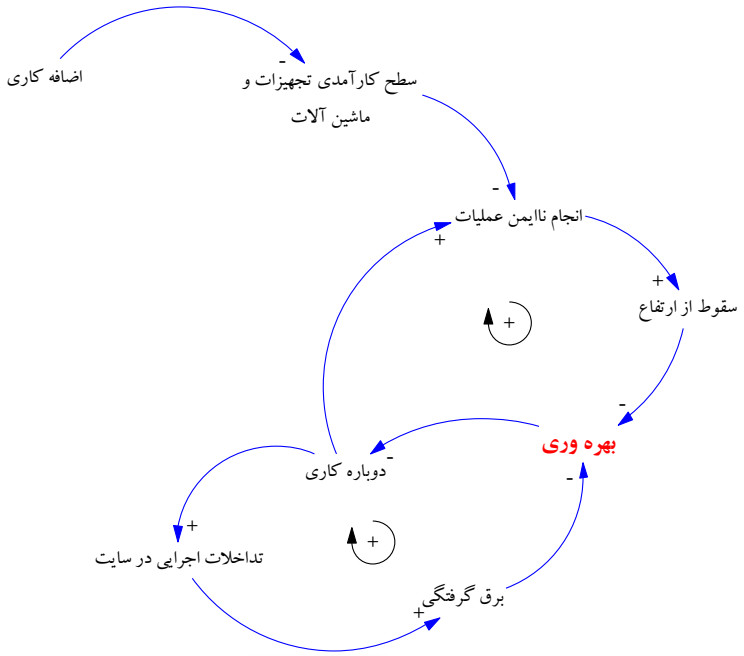
شکل ۵. حلقه‌های (۱)، (۲)، (۳)، (۴)



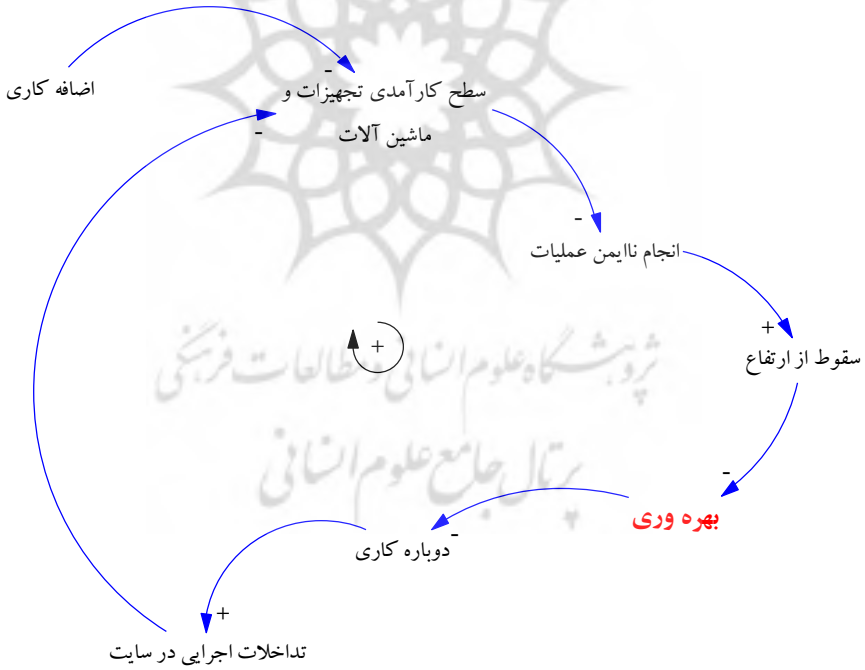
شکل ۶. حلقه (۵)



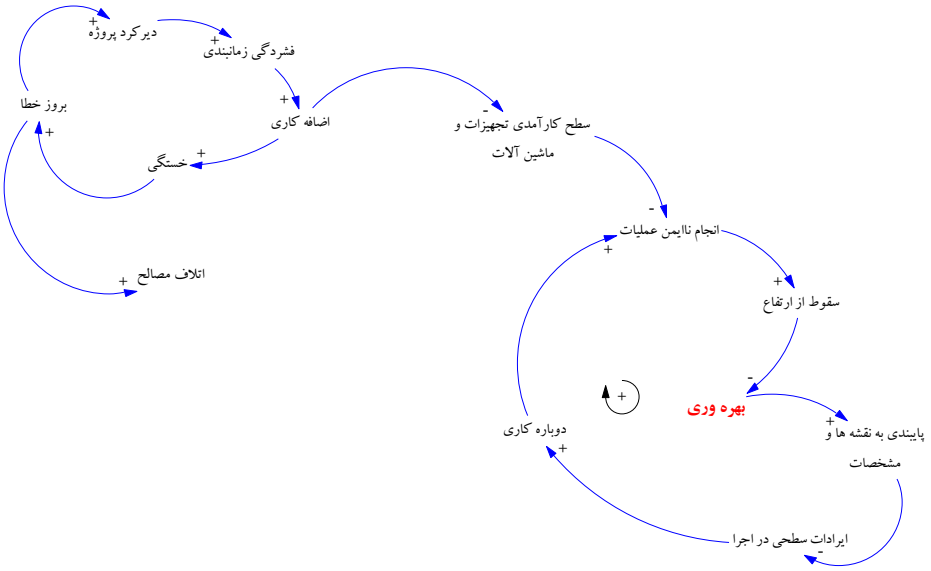
شکل ۷. حلقه‌های (۶)، (۷)



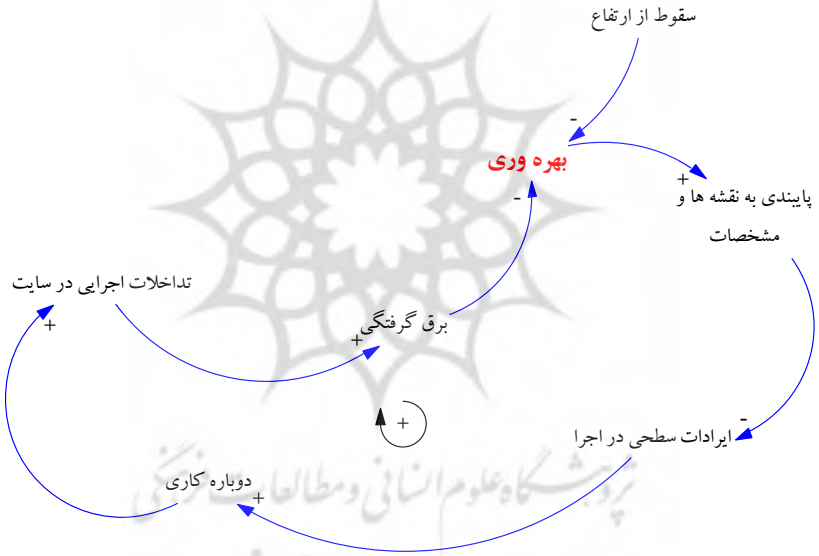
شکل ۸. حلقه‌های (۸)، (۹)



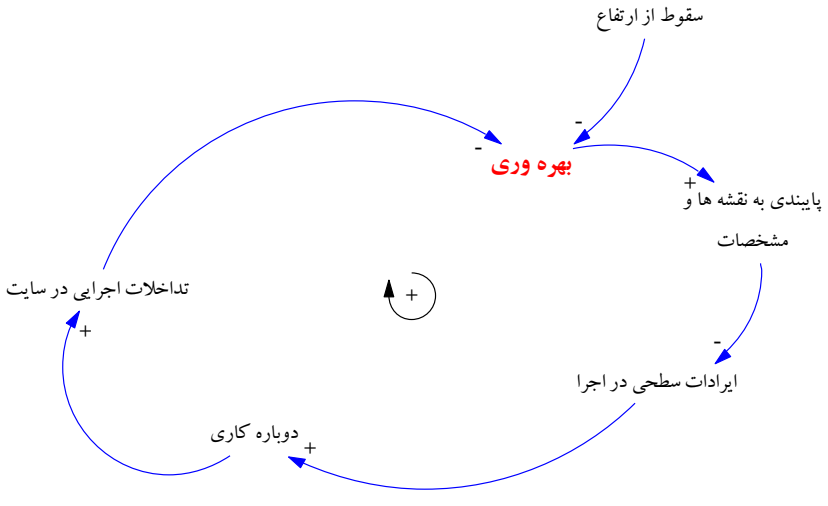
شکل ۹. حلقه (۱۰)



شکل ۱۰. حلقه (۱۱)

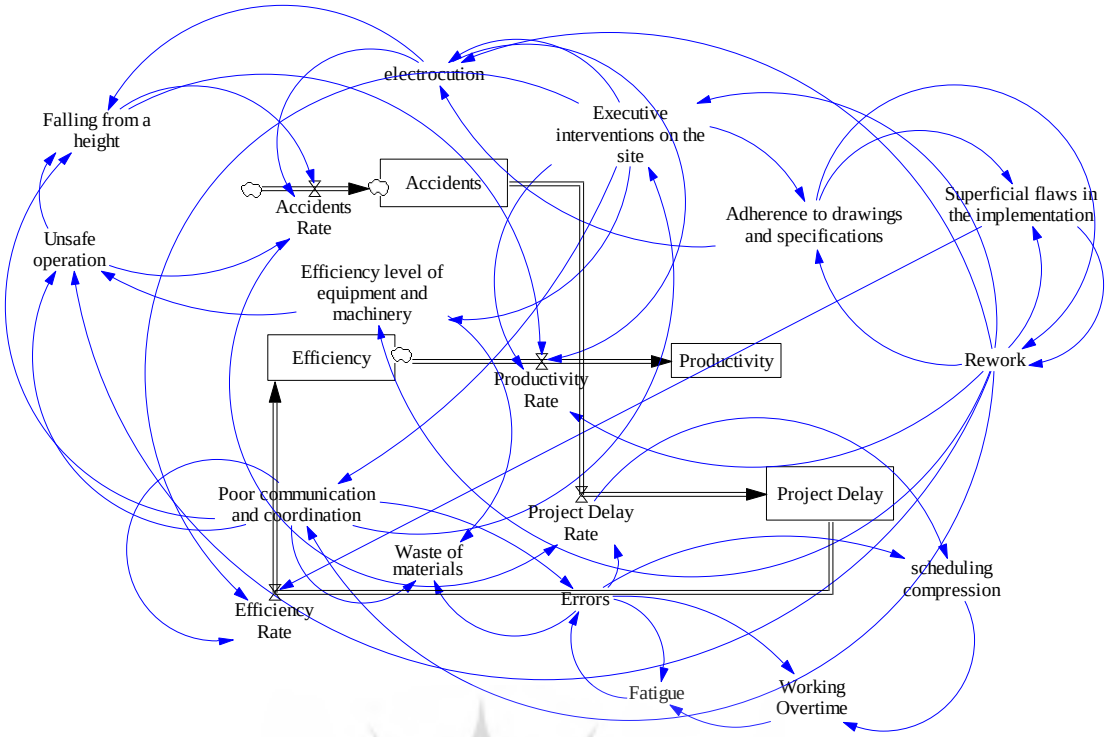


شکل ۱۱. حلقه (۱۲)



شکل ۱۲. حلقه (۱۳)

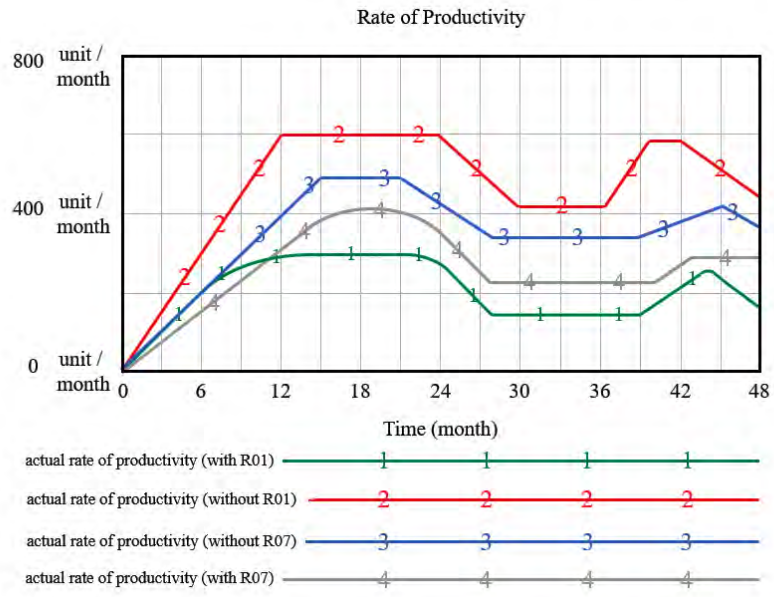
مدل‌سازی ریسک‌های تاثیرگذار بر بهره‌وری با رویکرد سیستم دینامیک (توسعه مدل کمّی SD). در این مرحله، نمودار حلقه علّی استخراج شده در بخش قبل به کمک نرم‌افزار ونسیم به یک مدل دینامیکی کمّی تبدیل می‌شود که دارای سه نوع متغیر حالت، نرخ و کمکی می‌باشد. نحوه تعیین متغیرهای حالت بدین صورت بوده است که به عنوان مثال، متغیر سوانح می‌تواند سبب افزایش نرخ تاخیر پروژه شود؛ چرا که با افزایش صدمات و جراحات، زمان‌بندی پروژه تحت تاثیر قرار گرفته و این تاخیرات می‌تواند سبب کاهش نرخ کارآمدی شود و این کاهش در نرخ کارآمدی در نهایت می‌تواند منجر به کاهش نرخ بهره‌وری منابع انسانی شود. به همین دلیل، متغیرهایی که سبب انباشت و یا تجمیع سایر متغیرها می‌شوند، به عنوان متغیر جریان (مانند متغیرهای نرخ سوانح و نرخ کارآمدی) و آن‌هایی که این انباشت در آنان ذخیره می‌شود، به عنوان متغیر حالت در نظر گرفته می‌شوند؛ مانند متغیرهای بهره‌وری منابع انسانی، سوانح، کارآمدی و تاخیر پروژه. از سویی دیگر، تمامی متغیرهایی که به واسطه ارتباطشان با متغیرهای مذکور می‌توانند این چرخه را تسریع کنند، به عنوان متغیر کمکی در نظر گرفته می‌شوند؛ مانند متغیرهای دوباره‌کاری و تداخلات اجرایی در سایت. به عنوان مثال، متغیر برق‌گرفتگی می‌تواند سبب تغییر در متغیر نرخ سوانح شود که این امر سبب تغییر در متغیر حالت سوانح خواهد شد. بنابراین چون ریسک برق‌گرفتگی سبب تسریع چرخه طراحی شده می‌شود، بنابراین به عنوان متغیر کمکی شناخته می‌شود. علاوه بر تعیین نوع متغیرها و به منظور تشکیل نمودار حالت–جریان لازم است تا روابط ریاضی و معادلات مورد نیاز برای هر متغیر را استخراج کنیم. نمودار حالت–جریان مفهومی به نام انتگرال دارد. به طور کلی جریان‌ها تابعی از متغیرهای حالت مربوط به خود و دیگر متغیرهای حالت و سایر متغیرها هستند. متغیر حالت برابر با انباشتگی جریان‌های ورودی منهای جریان‌های خروجی است و با مقدار اولیه خود در زمان t0 شروع می شود. در حالیکه معادلات مرتبط با متغیرهای نرخ، نشان می‌دهند که چگونه متغیرهای نرخ سیستم و اطلاعات ناشی از آنها، منجر به تصمیم‌ها و در نتیجه اقداماتی می‌شوند که در طی زمان متغیرهای حالت را تغییر می‌دهند. بدین ترتیب معادلات مرتبط با متغیرها تعیین شده و در نرم‌افزار ونسیم جانمایی می‌شوند که در نهایت سبب تعیین نمودار حالت– جریان مطابق با شکل ۱۳ می‌شود.



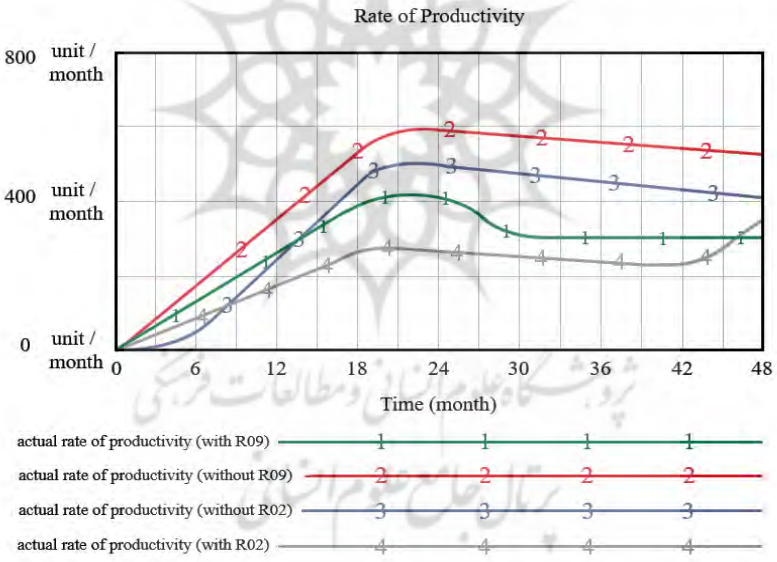
شکل ۱۳. نمودار حالت- جریان

نتایج شبیه‌سازی و تحلیل مدل SD. پس از تهیه نمودار حالت-جریان و تعیین روابط ریاضی مرتبط با هر متغیر و گردآوری داده‌های مورد نیاز برای شروع مدل‌سازی (جدول ۶)، فرایند شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار ونسیم انجام و نقاط حساس و بحرانی موجود در سیستم شناسایی شدند. نمودارهای حاصل از شبیه‌سازی سیستم تاثیر ریسک‌ها را بر کاهش نرخ بهره‌وری منابع انسانی نشان می‌دهد. این نمودارها گراف‌های نرخ بهره‌وری را با فرض بروز هر ریسک و بدون وجود آن مقایسه می‌کنند. به نوعی، خروجی نرم‌افزار ونسیم در این بخش از تحقیق، در رابطه با میزان کاهش بهره‌وری منابع انسانی در اثر بروز هر ریسک و با درنظر گرفتن ارتباطات میان ریسک‌ها می‌باشد.

شکل ۱۳، گراف‌های مربوط به دو ریسک تداخلات اجرایی (R01) در سایت و دوباره‌کاری(RO7) را در رابطه با بهره‌وری منابع انسانی به تصویر کشیده است. همچنین مقادیر بهره‌وری با وجود تعاملات میان ریسک‌ها و بدون تعامل بین ریسک‌ها مقایسه شده است. نتایج این شکل نشان می‌دهد که ریسک‌های تداخلات اجرایی در سایت و دوباره‌کاری هر دو در صورت وقوع می‌توانند میزان بهره‌وری را به شدت کاهش دهند و از این رو، به عنوان نواحی حساس و بحرانی سیستم شناخته می‌شوند. شکل ۱۴ نشان‌دهنده میزان تاثیر ریسک‌های سقوط از ارتفاع و ارتباطات و هماهنگی میان جبهه‌های کاری مختلف بر بهره‌وری منابع انسانی می‌باشد. گراف‌های قرمز و آبی رنگ به ترتیب میزان بهره‌وری منابع انسانی را بدون درنظر گرفتن ریسک‌های R09 و R02 نشان می‌دهند و گراف‌های سبز و طوسی رنگ نشان می‌دهند که در صورت بروز ریسک‌های ارتباطات و هماهنگی و سقوط از ارتفاع، بهره‌وری منابع انسانی می‌تواند به‌طور قابل توجهی کاهش یابد. نتایج نشان می‌دهد که بحرانی‌ترین ریسک‌های تاثیرگذار بر کاهش بهره‌وری منابع انسانی به ترتیب شامل ۱) تداخلات اجرایی در سایت، ۲) دوباره‌کاری، ۳) ارتباطات و هماهنگی و ۴) سقوط از ارتفاع می‌باشند؛ علت این امر آن است که ریسک تداخلات اجرایی در سایت در صورت وقوع می‌تواند بهره‌وری را به عدد ۱۹۰ واحد در ماه برساند (که به معنای واحدهای کاری انجام شده در هر ماه می‌باشد) و ریسک دوباره‌کاری بهره‌وری را به ۳۰۰ واحد در ماه می‌رساند. از سویی دیگر، ریسک سقوط از ارتفاع میزان بهره‌وری را به عدد ۳۸۰ رسانده در صورتی که ریسک ارتباطات بهره‌وری را در محدوده ۳۰۰ واحد نگه خواهد داشت. بنابراین از آنجایی که بیشترین کاهش میزان بهره‌وری مرتبط با ریسک تداخلات اجرایی در سایت بوده، بنابراین این ریسک به عنوان مهم‌ترین ریسکِ سیستم شناخته می‌شود.



شکل ۱۴. مقایسه تاثیرات ریسک R01 و R07 بر بهره‌وری منابع انسانی ماهر



شکل ۱۵. مقایسه تاثیرات ریسک R09 و R02 بر بهره‌وری منابع انسانی ماهر

مدل‌سازی پویا می‌تواند تاثیرات منفی ناشی از ریسک‌های بهره‌وری را با دقت بیشتری ارزیابی کند. به همین ترتیب، این مقاله ابتدا یک مدل کیفی را توسعه می‌دهد که در آن ارتباطات علّی و پیچیده میان ریسک‌ها و متغیر بهره‌وری به‌صورت کامل نشان داده می‌شوند. این مدل کیفی کمک می‌کند تا به‌واسطه شناسایی حلقه‌های بازخورد، تعاملات تاثیرگذار بین ریسک‌ها به نحو موثرتری شناسایی شوند. در مرحله بعد و براساس توسعه مدل کمّی، هدف آن است تا با تعیین نمودار حالت–جریان، یک مدل دینامیکی برای توضیح بیشترِ مکانیزم پیچیده ریسک‌های بهره‌وری، ایجاد شود و نحوه جلوگیری از آسیب به عملکرد پروژه و اندازه‌گیری میزان تاثیرات مثبت ناشی از بکارگیری این مدل معرفی شود. بکارگیری این مدل تایید کرد که ریسک‌های شناسایی شده می‌توانند به عنوان یکی از دلایل اصلی کاهش میزان

بهره‌وری منابع انسانی و بروز تاخیرات قابل توجه در پروژه‌های ساخت شناخته شوند. چراکه تاثیرات منفیِ ناشی از کاهش بهره‌وری می‌تواند به بخش‌های مختلف فعالیت‌های ساختمانی منتقل شود. در نهایت نتایج استخراج شده ثابت کرد که این مدل توسعه‌یافته ابزاری عینی‌تر و جامع‌تر برای ارزیابی تاثیرات پنهانِ ناشی از تعاملات پیچیده میان ریسک‌های بهره‌وری می‌باشد. بنابراین، یک مزیت کلیدی مورد انتظار از مدل، کمک به مدیران ساخت و ساز در درک بهتر پویایی ریسک‌های بهره‌وری و بازیابی موثرتر ارتباطات موجود میان آن‌ها و شکستن تعاملات مهم میان حلقه‌های بازخورد به منظور قطع روند فزاینده تاثیرات ریسک‌ها بر یکدیگر می‌باشد.

به‌طور کلی، از آنجایی که ۳۰ ریسک شناسایی شده توسط خبرگان مورد بررسی قرارگرفته و منجر به دستیابی به ۱۰ ریسک کلیدی و تاثیرگذار شده است، بنابراین اعتبار ورودی‌های بکارگرفته شده در تحقیق می‌تواند اعتبار یافته‌های پژوهش را تصدیق کند. لازم به ذکر است که ریسک‌های بهره‌وری با استفاده از قضاوت خبرگان اعتبارسنجی می‌شوند به همین دلیل، از آنجایی که این ریسک‌ها همگی برگرفته از شاخص‌های بهره‌وری می‌باشند، بنابراین اعتبارسنجی ریسک‌ها می‌تواند اعتبار شاخص‌های شناسایی شده را نیز تصدیق کند. همچنین در صنعت ساخت، واژه بهره‌وری مانند تولید جا نیافتاده است. پس این نگرانی وجود داشت که اگر برای اعتبار شاخص‌ها به خبرگان روی می‌آوردیم، جواب صحیح دریافت نمی‌کردیم. بنابراین ریسک‌های شناسایی شده تماما با نگاه به شاخص‌های برگزیده شده استخراج شده‌اند و اعتبارسنجی تمام مراحل قبل می‌تواند سبب اعتبار یافته‌های تحقیق شود. همچنین از آنجایی‌که این تحقیق، بر روی دو نمونه موردی انجام گرفته‌است، مشاهدات صورت گرفته از در این دو نمونه نشان می‌دهند که ریسک‌های منتخب به عینه در این پروژه‌ها مشاهده شده‌اند. همچنین مصاحبه با افراد متخصصی که در این پروژه‌ها مشغول بکار بوده‌اند، گویای آن است که نتایج کسب شده مورد تایید آن‌ها می‌باشد.

۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

ریسک‌های بهره‌وری یکی از عوامل برجسته در پروژه‌های ساخت هستند که می‌توانند موفقیت پروژه‌ها را تحت تاثیر قرار داده و منجر به کاهش عملکرد و بهره‌وری منابع انسانی شوند. به همین دلیل شناسایی، ارزیابی و تحلیل سیستماتیک این ریسک‌ها از طریق درک مکانیسم تاثیرگذاری آن‌ها بر یکدیگر و تاثیرشان بر بهره‌وری منابع انسانی در پروژه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار هستند. در تلاش برای پرداختن به این موضوع، این تحقیق پس از شناسایی ریسک‌های بهره‌وری، یک مدل سیستم دینامیک را که می‌تواند ریسک‌های شناسایی شده را بر اساس آگاهی به این مسئله که ارتباطات میان ریسک‌ها نه تنها یکطرفه نیستند، بلکه متقابل و حلقه‌ای هستند معرفی و تحلیل کند. به منظور دستیابی به اهداف مذکور، این تحقیق در مرحله اول، ده شاخص تاثیرگذار بر بهره‌وری منابع انسانی در پروژه‌های بلندمرتبه و ریسک‌های حاصل از هر عامل را شناسایی کرده و پس از آن روش دیمتل فازی برای تعیین ارتباطات میان هر ریسک با سایر ریسک‌ها بکارگرفته شد. اطلاعات بدست آمده از این مرحله به عنوان مبنایی برای تعیین یک مدل دینامیکی مرتبط با بهره‌وری منابع انسانی استفاده شد. بر اساس نتایج تحقیق، ده ریسک عمده تاثیرگذار بر بهره‌وری منابع انسانی به ترتیب عبارتند از: تداخلات اجرایی در سایت، سقوط از ارتفاع، انجام ناایمن عملیات، برق‌گرفتگی، پایبندی به نقشه‌ها و مشخصات، وجود ایرادات سطحی در اجرا، دوباره‌کاری، سطح کارآمدی تجهیزات و ماشین‌آلات، ارتباطات و هماهنگی، اتلاف مصالح. همچنین با توجه به تجزیه و تحلیل ساختارهای بازخورد سیستمی ۸ متغیرِ بهره‌وری نیروی انسانی، سوانح، کارآمدی، تاخیر پروژه، نرخ بهره‌وری، نرخ سوانح، نرخ کارآمدی، نرخ تاخیر پروژه وجود دارند که برای توسعه کمی مدل دینامیکی ضروری هستند. در نهایت، پس از شبیه‌سازی سیستمِ توسعه‌یافته، نتایج نشان می‌دهد که بحرانی‌ترین ریسک‌های تاثیرگذار بر کاهش بهره‌وری منابع انسانی به ترتیب عبارتند از ۱) تداخلات اجرایی در سایت، ۲) دوباره‌کاری، ۳) ارتباطات و هماهنگی و ۴) سقوط از ارتفاع. از آنجاییکه این تحقیق بر روی دو نمونه موردی انجام گرفته‌است، مشاهدات صورت گرفته در این دو کیس نشان می‌دهند که این ریسک‌ها به وضوح در این پروژه‌ها مشاهده شده‌اند. همچنین مصاحبه با افراد متخصصی که در این پروژه‌ها مشغول بکار بوده‌اند، گویای آن است که نتایج کسب شده مورد تایید آن‌ها می‌باشد. رویکرد پیشنهادیِ ارائه شده در این تحقیق که شامل شناسایی ریسک‌های حاصل از کاهش بهره‌وری منابع انسانی و تاثیر متقابل و دوسویه‌ی این ریسک‌ها بر متغیر حالت بهره‌وری منابع انسانی می‌باشد، می‌تواند ابزار قدرتمندی برای مدل‌سازی ریسک‌های تاثیرگذار بر بهره‌وری باشد. چراکه این مدل، ساختار پیچیده و تعاملات میان ریسک‌های بهره‌وری را بطور کامل درنظرگرفته است. جنبه نوآوری این تحقیق آن است که ضمن شناسایی توامان منشا بروز ریسک‌های بهره‌وری و

خطرات مرتبط با هر منشا، تجزیه و تحلیل دقیق‌تری از ریسک‌های بهره‌وری ارائه کرده که در آن روابط متقابل میان تمامی معیارهای موجود در مدل دینامیکی به دقت درنظرگرفته شده است.

مدل کیفی این تحقیق به دلیل وجود ارتباطات گسترده میان تمامی متغیرهای بکارگرفته شده در آن، یک مدل بسیار پیچیده می‌باشد که محقق به دلیل وجود این گستردگی و به جهت بالا رفتن کیفیتِ تحقیق از در نظرگرفتن برخی از ارتباطاتی که در حلقه‌های پرتکرارِ مدل کیفی وجود نداشتند، صرف‌نظر کرد. اگرچه محقق ارتباطات انتخاب شده را به دقت برگزیده است و نهایت تلاش خود را در راستای حذف ارتباطات کم‌اهمیت‌تر کرده است، با این حال محدودیت در زمینه پرداختن به تمامی ارتباطات موجود در مدل کیفی برای محقق وجود داشته است. همچنین این تحقیق به علاقه‌مندان این حوزه پیشنهاد می‌دهد که سایر قسمت‌های موجود در نمودار حلقه علّی و تغییرات در اولویت‌بندی ریسک‌ها و نقاط حساس و بحرانی سیستم را بررسی کنند.

تعارض منافع. برای ارائه مطالب و نگارش این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از هیچ فرد، نهاد و سازمانی دریافت نشده است و نتایج و دستاوردهای این مقاله به نفع یا ضرر سازمان یا فردی خاص نخواهد بود. حضور نویسندگان در این پژوهش به عنوان شاهدی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

منابع

1. Abdel hamid, M., Abdel haleem, H. (2020). Impact of poor labor productivity on construction project cost. *International Journal of Construction Management.*4(8), 188-211. https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1788757
2. Abdolahnejad, I. Nazari, A. Rahmatinia, M. (2017). Investigation and evaluation of construction and commissioning risks in construction projects (Case Study: Hospital). *Journal of Engineering & Construction Management, 2(3), 36-45.*
3. Abid, H., Bassam, B., Elmualim, A., Rameezdeen, R. (2017). Factors affecting construction productivity: a 30 year systematic review. *Journal of Engineering, Construction and Architectural Management.*2(5), 88-112. *DOI:10.1108/ECAM-02-2017-0035*
4. Akintoye, A. S., MacLeod. M. J. (2020). Risk analysis and management in construction, *International Journal of Project Management, 15(1), 31-38.*
5. Alaghbari, W., Sultan, B., Al-sakkaf, A. (2017). Factors affecting construction labour productivity in Yemen. *International Journal of Construction Management.* 5(10), 233-263.
6. Alvand, A., Mirhosseini, M., Ehsanifar, M., Zeighami, E., Mohammadi, A. (2023). Identification and assessment of risk in construction projects using the integrated FMEA-SWARA-WASPAS model under fuzzy environment: a case study of a construction project in Iran. *International Journal of construction management.* https://doi.org/10.1080/15623599.2021.1877875. (In Persian).
7. Chavan, S., Salunkhe, H. (2016). A Study on Labor Productivity in Construction Industry. *International Journal of Engineering Research*. 5(1). 247-249. doi: 10.17950/ijer/v5i1/059
8. Cooper, D. F. (2005). *Project risk management guidelines: Managing risk in large projects and complex procurements, Wiley, New York.*
9. Ghate, P., Minde, P. (2016). Importance Of Measurement of Labour Productivity in Construction Sector. *International Journal of Research in Engineering and Technology, 5(7).* 89-109.
10. Ghoddousi, P., Poorafshar, O. (2014). Labour productivity in Iranian construction projects. *International Journal of Productivity and Performance Management. 64(6). 811-830.* http://dx.doi.org/10.1108/IJPPM-10-2013-0169
11. Ghodoosi, M., Mirsaeedi, F., Hasani, F. (2020). Presentation of Risks Analysis Model in Urban Projects Based on Data Mining Technique with Case Study. *Industrial management perspective*, 10(38), 137-159. (In Persian).
12. Goodarzizad, P., Mohammadi, E., Arashpour, G & M. (2021). Predicting the construction labour productivity using artificial neural network and grasshopper optimisation algorithm. *International Journal of Construction Management.*15(8), 233-248. *https://doi.org/10.1080/15623599.2021.1927363*.
13. Hamza, M., Shahid, S., Hainin, M., Nashwan, M. (2019). Construction labour productivity: review of factors identified. *International Journal of Construction Management.*4(5),19-34. https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1627503.

14. Hatefi, M.,Tamosaitiene, J. (2018). An integrated fuzzy dematel-fuzzy ANP model for evaluating construction projects by considering interrelationships among risk factors. *Journal of Civil Engineering and Management. 25(20), 114-131.*
15. Jarkas, A. M., Al Balushi, R. A., & Raveendranath, P. K. (2015). Determinants of construction labour productivity in Oman. *International journal of construction management, 15(4), 332-344.* https://doi.org/10.1080/15623599.2015.1094849.
16. Jarkas, AM., Bitar, CG. (2012). Factors affecting construction labor productivity in Kuwait. *J Constr Eng Manage. 138(7):811–820.*
17. Karimi, F., Monfared, J., Keramati, J. (2024). Evaluating the resilience and sustainability of the supply chain with the integrated approach of the theory of constraints, process approach and multi-criteria decision making. *Industrial management perspective,7(9), 22-45.* https://doi.org/10.48308/JIMP.2024.233683.1511. (In Persian).
18. Kesavan, M., Pujitha, D., Pathirana, C. (2024). Assessing the performance and productivity of labour in building construction projects through the application of work-based training practices. *International Journal Construction Innovation. 24(2). 540-550.*.
19. Mahamid, I. (2022). Relationship between delay and productivity in construction projects. *International Journal of Advanced and Applied Sciences. 9(2). 160-166.* https://doi.org/10.21833/ijaas.2022.02.018.
20. Nasir, B., Fayek, A., Siraj, S. (2019). Risk Identification and Common Risks in Construction: Literature Review and Content Analysis. *J. Constr. Eng. Manage. 145(9). 158-179.* DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001685.
21. Nasirzadeh, f., Rostamnezhad, M., Carmichael, D., Khosravi, A., Aisbett, B. (2020). Labour productivity in Australian building construction projects: a roadmap for improvement. *international journal of construction management.* 153(18), 244-272. https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1765286.
22. Ning, X., Qia, J., Wub, C. (2018). A quantitative safety risk assessment model for construction site layout planning. *Safety Science. 104. 246-259.* https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.01.016.
23. Osei-Kyei, R., Narbaev, T., Ampratwum, G. (2022). A Scientometric Analysis of Studies on Risk Management in Construction Projects. *Journal of buildings.*44(8), 18-39. https://doi.org/10.3390/buildings12091342.
24. Patel, B., Bhavsar, J., Pitroda, J. (2017). A Critical Literature Review of Labour Productivity in Building Construction. *International Journal of Constructive Research in Civil Engineering. 3(4). 76-80.* http://dx.doi.org/10.20431/2454-8693.0304007.
25. Rachmawati, F., Mudjahidin, M., Widowati, E. (2024). Work rate modeling of building construction projects using system dynamic to optimize project cost and time performance. *International Journal of Construction Management.*49(6), 79-102.
26. Rao, B., Sreenivasan, N., Prasad, B. (2015). LABOR PRODUCTIVITY-ANALYSIS AND RANKING. *International Research Journal of Engineering and Technology. 2(3).98-121.*
27. Rostamnezhad, M., Nasirzadeh, F., Khanzadi, M., Jafar Jarban, M., Ghayoumian, M. (2018). Modeling social sustainability in construction projects by integrating system dynamics and fuzzy-DEMATEL method: a case study of highway project. Engineering. *Construction and Architectural Management. 27(7), 1595–1618. DOI 10.1108/ECAM-01-2018-0031.*
28. Seker, S., Zavadskas, E. (2017). Application of Fuzzy DEMATEL Method for Analyzing Occupational Risks on Construction Sites. Sustainability Journal. 9(3), 288-297 doi:10.3390/su9112083
29. Schieg, M. (2019). "Risk management in construction project management," *Journal of Business Economics and Management, vol. vii, no. 2,.77-83,*
30. Shoar, S., Banaitis, A. (2019). Application of fuzzy fault tree analysis to identify factors influencing construction labor productivity: a high-rise building case study. *J Civil Eng Manage. 25(1):41–52.*
31. Shoar, S., Parchami Jalal, M. (2017). A Hybrid SD-DEMATEL Approach to Develop a Delay Model for Construction Projects. Engineering. *Construction and Architectural Management.6(2), 54-67.* https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2016-0056.
32. Suleiman, A. (2022). CAUSES AND EFFECTS OF POOR COMMUNICATION IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY IN THE MENA REGION. *Journal of Civil Engineering and Management. 28(5): 365–376.* https://doi.org/10.3846/jcem.2022.1672.
33. Tellez, J., Bell, G., Milton M. Herrera, Carlos, C. (2024). Project management and system dynamics modelling: Time to connect with innovation and sustainability. Systems Research and Behavioral Science, *41(1), 3-29.*
34. Tiwari, A., Singh, S., Routroy, S. (2024). Analysing critical risk factors of Indian road construction projects: a fuzzy DEMATEL approach. *International Journal of Construction Management. 28(8). 29-48.*
35. Tizro, A., Fard, N. (2022). Supply Chain Risk Gap Analysis using the Modified Two-Tuple Fuzzy Linguistic Computing (FLC) Model and Fuzzy Vicor (Case Study: the SHIFOO Food Industry in Fars Province). *Industrial management perspective, 12(47), 115-140.* (In Persian).

36. Tsehayae, Abraham A. (2015). *Developing and Optimizing Context-Specific and Universal Construction Labour Productivity Models. Thesis.*
37. Zegordi, S., Nazari, A., Rezaee Nik, E. (2014). Project risk assessment by a hybrid approach using fuzzy-anp and fuzzy-topsis. Sharif J Ind Eng Manage. 29(1), 3–14. (In Persian).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی