Journal of Structural and Construction Engineering, 11(3), 2024, pp. 51-70

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Analysis of DEMATEL approaches for risk evaluation and prioritization in industrial construction methods

Mohammad Reza Shahraki[1], Hadi Zamansani[2]*

1- Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
2- Masters student, Department of Industrial Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

ABSTRACT

Implementation and management of all projects are always accompanied by ambiguities and the unknown that could have positive or negative effects on the results. Therefore, the assessment of project risks is of particular importance. In this study, the possible risks in industrial methods of building construction in the technical, executive, economic and support, political, cultural, social and environmental aspects were identified and categorized. In order to identify the main risks, the Delphi method based on experts and elites' comments were used. Out of 48 identified risks, 18 risks were selected which were classified into five scopes of economic, executive, technical and cultural, social and political support. Then, using the DEMATEL method and the two criteria of intensity of interaction and impact relation map, the effect of each of these factors on the objectives of the probability of occurrence and finally the importance of each risk were determined. Ranking these factors showed that executive, economic and support scopes were the riskiest scopes of industrial construction methods. In addition, the results of the research showed that based on both criteria, inappropriate and inefficient management were the greatest risk factors followed by the risks of false selection of construction techniques, lack of knowledge and technical skills of executives, existence of conflict between executives and stakeholders, budget deficits, unseen delays in the project and price fluctuations and inflation.

ARTICLE INFO

Receive Date: 18 March 2023
Revise Date: 19 July 2023
Accept Date: 28 September 2023

Keywords:
Risk ranking
DEMATEL
Industrial methods
Construction of buildings
Delphi

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: https://doi.org/10.22065/jsce.2023.389426.3062

*Corresponding author: Mohammad Reza Shahraki.
Email address: mr.shahraki@eng.usb.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

ارزیابی و اولویت بندی ریسک روش‌های صنعتی احداث ساختمان در ایران با رویکرد دیمتل

محمدرضا شهرکی[1*]، هادی زمان ثانی[2]

۱- استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

چکیده

همواره اجرا و مدیریت تمام پروژه‌ها دارای موارد مبهم و ناشناخته است که می‌تواند اثرات مثبت یا منفی برروی نتایج آن بگذارد. از این رو ارزیابی ریسک‌های پروژه‌ها و روش‌های نوین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در گام اول این پژوهش تعداد ۴۸ ریسک احتمالی در روش‌های صنعتی احداث ساختمان در حوزه‌های فنی، اجرایی، اقتصادی و پشتیبانی، سیاسی، فرهنگی و اجتماعی و زیست محیطی شناسایی و دسته‌بندی گردیدند. در گام دوم با استفاده از روش دلفی و براساس نظرات کارشناسان و خبرگان، تعداد ۱۸ ریسک در پنج حوزه فنی، اجرایی، اقتصادی و پشتیبانی، فرهنگی و اجتماعی و سیاسی به عنوان ریسک‌های دارای اهمیت شناسایی شدند. سپس با استفاده از روش دیمتل و با دو معیار شدت تعامل و تحلیل نقشه اثر-ارتباط، میزان تأثیر هریک از این عوامل بر اهداف پروژه شامل احتمال وقوع و درجه اهمیت هر ریسک تعیین گردید. رتبه‌بندی این عوامل نشان داد که حوزه‌های اجرایی و اقتصادی و پشتیبانی، به ترتیب پرریسک‌ترین حوزه‌های روش‌های صنعتی احداث ساختمان هستند. همچنین نتایج پژوهش نشان داد که براساس هر دو معیار، مدیریت نامناسب و ناکارآمد به عنوان مهم‌ترین ریسک روش‌های صنعتی احداث ساختمان مورد توجه بوده و پس از آن ریسک های انتخاب نادرست تکنیک‌های ساخت و ساز، کمبود دانش و مهارت فنی مجریان، وجود تعارض میان مجری و ذینفعان، کسری بودجه، تأخیر پیش‌بینی نشده در پروژه و نوسانات قیمت و تورم در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

کلمات کلیدی: رتبه‌بندی ریسک، دیمتل، روش‌های صنعتی احداث ساختمان، احداث ساختمان، دلفی.

سابقه مقاله:					
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	شناسه دیجیتال:
۱۴۰۱/۱۲/۲۷	۱۴۰۲/۰۴/۲۸	۱۴۰۲/۰۶/۰۶	۱۴۰۲/۰۶/۰۶	۱۴۰۳/۰۳/۳۱	doi: https://doi.org/10.22065/jsce.2023.389426.3062
					10.22065/jsce.2023.389426.3062

*نویسنده مسئول: محمدرضا شهرکی

پست الکترونیکی: mr.shahraki@eng.usb.ac.ir

۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین عوامل در یک پروژه، آگاهی و توجه نسبت به ریسک‌های آن و فراهم کردن شرایط لازم به وسیله کنترل آنها، برای دستیابی به اهداف پروژه است، این مهم به عنوان مدیریت ریسک شناخته می‌شود [۱]. در دانش مدیریت پروژه، ریسک پروژه یک رویداد یا وضعیتی نامعلوم است که در صورت وقوع، بر اهداف پروژه از قبیل زمان، هزینه و کیفیت پروژه اثرات مثبت یا منفی می‌گذارد [۲]. در مدیریت پروژه[1] هدف از مدیریت ریسک پروژه، برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی، هدایت و کنترل فعالیت‌ها و فرآیندهای پروژه است، به گونه‌ای که اثرات فرصت‌ها بیشینه و اثرات تهدیدها کمینه شود [۱]. به عبارت دیگر مدیریت ریسک پروژه یک فرآیند سیستماتیک شامل شناسایی، آنالیز و پاسخگویی به همراه پایش مداوم و کنترل آلترناتیوها[2] می‌باشد. با به کارگیری فرآیند کامل مدیریت ریسک پروژه، می‌توان ادعا کرد که این مدیر است که بر شرایط غیرقطعی پروژه اشراف دارد، نه آنکه شرایط و اتفاقات، مدیر را اسیر خود می‌کنند. هدف اصلی مدیریت ریسک پروژه، بهبود عملکرد پروژه از طریق شناسایی، ارزیابی و مدیریت نظام‌مند آن در مواجه با ریسک است [۳].

یکی از فعالیت‌های مهم اقتصادی در کشورها، صنعت ساختمان است. صنعت ساختمان به عنوان یکی از صنایع فرصت آفرین برای رشد اقتصادی و افزایش تولید ناخالص داخلی و اشتغال زایی به شمار می‌رود. همواره سرمایه گذاری در حوزه‌های نوین صنایع مختلف از جمله روش‌های صنعتی احداث ساختمان دارای نقاط مبهمی بوده است. به دلیل پیچیده شدن تصمیم‌گیری‌های اقتصادی، ریسک‌ها نقش زیادی را در اقتصادی بودن یا نبودن پروژه‌های عمرانی دارند. درگذشته به منظور پیش‌بینی مواجهه با این موارد، در محاسبات درصدی را به عنوان عدم قطعیت لحاظ می‌کردند. این درصد به صورت تخمینی و براساس تجربیات پیمانکاران محاسبه می‌شد. امروزه روش‌هایی جهت شناسایی و کنترل موارد ابهام یا همان ریسک‌ها وجود دارد. این ریسک‌ها به شش دسته فنی، مالی و پشتیبانی، اجتماعی، محیطی و اجرا تقسیم می‌شوند [۴]. عدم کفایت مطالعات و اطلاعات محلی از شرایط زمین و محل کار، کمبود یا عدم دسترسی به مواد و مصالح مورد نیاز، افزایش قیمت و ایجاد تورم، کافی نبودن دانش پیمانکار، زمان‌بندی‌های نادرست فرآیندها، بهره‌وری ناکافی کارگران، عدم توجه به مسائل فرهنگی و هنجارهای اجتماعی در طراحی ساختمان‌ها، تغییرات ساختاری یا عدم همکاری سازمان‌ها و ادارات مرتبط از جمله ریسک‌های اثرگذار در روش‌های مختلف احداث ساختمان می‌توانند باشند [۵]. با توجه به این شرایط و بررسی، ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌های روش‌های مختلف احداث ساختمان می‌تواند کمک فراوانی به شرکت‌ها و پیمانکاران پروژه برای انتخاب روش مناسب احداث ساختمان نماید.

در این مقاله پنج سیستم صنعتی احداث ساختمان شامل سیستم قاب فولادی سبک سرد نورد شده[3] (LSF)، سیستم دیوار سازه‌ای بتن مسلح با قالب عایق ماندگار[4] (ICF)، سیستم پانل پیش ساخته سبک سه بُعدی[5] (D-PANEL۳)، سیستم پیش‌ساخته بتنی[6] (PRCS) و سیستم بتنی قالب تونلی[7] (TFCS) را به منظور شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک در احداث ساختمان‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش دوم ادبیات و پیشینه تحقیق، در بخش سوم روش تحقیق و در بخش چهارم به تجزیه و تحلیل نتایج پرداخته شده است.

۲- ادبیات و پیشینه تحقیق

طی سال‌های اخیر، روش‌های احداث ساختمان تغییرات زیادی داشته و حتی روش‌های جدیدی نیز معرفی گردیده است. اما همواره یکی از راه‌های توسعه صنعت ساختمان‌سازی، رویکرد جدی به اجرای صنعتی ساختمان‌ها می‌باشد. صنعتی سازی به روش یا روش‌هایی اطلاق می‌شود که نیاز مسکن جامعه را با در نظر گرفتن بهره‌وری اقتصادی و کاهش میزان استفاده از منابع انسانی، مواد اولیه و

[1] Project management
[2] Alternatives
[3] Lightweight Steel Frames
[4] Insulating Concrete Formwork
[5] 3D sandwich panels
[6] Prefabricated Reinforced Concrete Systems
[7] Tunnel Form Concrete System

سرمایه، برآورده نماید. در میان تمامی سیستم‌های صنعتی سازی ساختمان، پنج سیستم LSF، ICF، 3D-PANEL، PRCS و TFCS به عنوان پرکاربردترین روش‌های صنعتی احداث ساختمان مورد توجه قرار گرفته‌اند.

سیستم قاب فولادی سبک (LSF) از مقاطع فولادی سرد نورد شده[8] (CFS) تشکیل می‌شود. این اجزاء به وسیله اتصالات پیچی، پرچی یا جوشی به یکدیگر متصل می‌شوند. این سیستم با مقاطع فولادی سرد نورد شده شامل اشکال C، U، Z، L و کلاهی (Ω) با لبه و بدون لبه ایجاد می‌شود. قاب‌بندی قاب‌های فولادی سبک به دو روش قاب‌بندی طبقه‌ای[9] و قاب‌بندی با دیوارهای ممتد[10] قابل اجرا هستند. در روش اول ابتدا دیوار و سپس سقف طبقه اجرا شده و پس از تکمیل قاب‌بندی، دیوار طبقه فوقانی اجرا می‌گردد. در روش دوم ابتدا دیوارهای تمام طبقات ساخته و نصب می‌گردد سپس سقف طبقات اجرا می‌شود [۶].

سیستم ساختمانی ICF به صورت سیستم دیوارهای باربر بوده که دیوارهای بتنی آن شامل قالب‌های عایق ماندگار بلوکی یا پانلی می‌باشند. این قالب‌ها پس از بتن ریزی، جزئی از دیوار محسوب شده و نقش عایق حرارتی را ایفا می‌کنند. این سیستم بسته به شکل عایق و قالب، امکان اجرا به ۳ صورت مختلف را دارا می‌باشد:

الف- سیستم تخت یا مسطح، در این سیستم دو جداره عایق دارای ضخامت ثابت در دو طرف دیوار می‌باشند.

ب- سیستم شبکه‌ای پیوسته، در این سیستم، سطوح در تماس با بتن جداره‌ها دارای سطوح توخالی هستند.

ج- سیستم شبکه‌ای منقطع حفره‌ای، سطح مقطع قالب دارای هسته‌های دوار بتنی افقی و قائم منقطع می‌باشد.

قالب‌ها می‌توانند از جنس پلی استایرن یا مصالح استاندارد دیگر نظیر مواد پلیمری یا صفحات سیمانی حاوی مصالح عایق مناسب باشند [۶].

سیستم ساختمانی پانل پیش‌ساخته سبک سه بعدی (D-PANEL۳) شامل دو صفحه شبکه جوش شده فولادی است که یک هسته عایق از جنس پلی استایرن قابل انبساط[11] (E.P.S) در میان آن قرار گرفته و توسط تعدادی اعضای خرپایی به یکدیگر متصل شده‌اند. این سیستم از پانل‌های دیواری و سقفی تشکیل شده‌اند که پس از نصب به ضخامت ۴۰ تا ۸۰ میلی‌متر با بتن شاتکریت[12] می‌شوند. پانل‌های دیواری، علاوه بر ایفای نقش جدا کننده، نقش سازه‌ای داشته و باید قادر به تحمل بارهای ثقلی و اثر بارهای جانبی نیز باشند [۶].

در سیستم پیش ساخته بتنی (PRCS) تمامی اجزای سازه‌ای و بعضاً غیرسازه‌ای ساختمان براساس نقشه‌ها و مشخصات مورد نظر در کارخانه‌ها ساخته شده و به محل کارگاه حمل می‌شوند. به طور معمول قطعات مورد نیاز در این سیستم، در سه گروه قطعات سقف، دیوار و قطعات متفرقه با استفاده از تجهیزات و امکانات مکانیزه تولید می‌شوند. در این سیستم، اتصالات از اهمیت بسیاری برخوردار هستند. به طور کلی دو نوع اتصال تر و خشک برای قطعات تولیدی وجود دارد. در اتصالات خشک معمولاً از مصالح فولادی با جوش یا پیچ و مهره استفاده می‌شود اما در اتصالات تر از مصالح گروت یا ملات (تر و خشک) استفاده می‌شود [۶].

سیستم TFCS یکی دیگر از روش‌های صنعتی احداث ساختمان‌های بتنی است. در این سیستم دیوار و سقف به طور همزمان و با استفاده از قالب یکپارچه اجرا می‌شود. برای قالب‌بندی و قالب‌برداری، نیازی به تبدیل آنها به ابعاد کوچکتر نمی‌باشد به عبارت دیگر قالب‌های مورد استفاده، تقریبا در اندازه ابعاد فضا هستند. این سیستم معمولا به یکی از سه روش زیر اجرا می‌گردد.

الف- اجرا با استفاده از قالب‌بندی کامل و هم زمان دیوارها و سقف‌ها، در این روش، با استفاده از قالب‌های L شکل، دیوار و زیر سقف قالب‌بندی شده و سپس بتن‌ریزی دیوارها و سقف به صورت همزمان و یکپارچه انجام می‌شود.

[8] Cold-Formed Steel
[9] Platform Framing
[10] Balloon Framing
[11] Expanded Polystyrene
[12] Shotcrete

ب- اجرا با استفاده از قالب‌های موسوم به میز پرنده، در این روش پس از اجرای یکپارچه و همزمان دیوارهای بتن مسلح با استفاده از قالب‌های تخت و گیرش اولیه بتن، قالب‌های بزرگی به شکل میز با پایه‌های متکی به چرخ یا غلتک موسوم به میز پرنده به عنوان قالب سطح زیرین سقف مورد استفاده قرار گرفته و سقف اجرا می‌گردد.

ج- اجرا با استفاده از دال‌های نیمه پیش‌ساخته و پیش‌ساخته برای سیستم سقف، در این روش نیز مانند روش قبل، ابتدا دیوارها به صورت یکپارچه اجرا می‌شوند. پس از گیرش اولیه بتن دیوارها، سقف با استفاده از دال‌های نیمه پیش‌ساخته ساده یا خرپایی یا دال‌های پیش‌ساخته اجرا می‌گردد [۶].

ریسک عبارت از احتمال وقوع یا به وجود آمدن یک خطر یا زیان تعریف شده است [۷]. مدیریت ریسک پروژه شامل فرآیندهای شناسایی، تحلیل، برنامه‌ریزی و پیاده‌سازی پاسخ و نظارت بر ریسک با هدف افزایش احتمال یا اثر ریسک‌های مثبت و کاهش احتمال یا تأثیر ریسک‌های منفی است. هدف مدیریت ریسک پروژه، شناسایی و مدیریت ریسک‌هایی است که توسط سایر فرآیندهای مدیریت پروژه به آنها توجه نشده است. درصورت عدم مدیریت، ممکن است این ریسک‌ها موجب انحراف پروژه از برنامه و شکست در رسیدن به اهداف تعیین شده پروژه شوند. درنتیجه می‌توان گفت که تأثیرگذاری مدیریت ریسک پروژه به طور مستقیم با موفقیت پروژه در ارتباط است [۲].

المهدوی و همکاران[۱۳] [۸] بررسی چالش‌ها و موانع اصلی پیش روی شیوه‌های مدیریت ریسک پروژه‌های ساختمانی در دوران کرونا را مد نظر قرار داده‌اند. آنها با هدف ارزیابی سطح اهمیت چالش‌ها و موانع اجرای مدیریت ریسک تعداد ۳۴ عامل را با استفاده از مصاحبه نیمه ساختار یافته با کارشناسان ساخت و ساز شناسایی کرده‌اند. سپس با کمک فرآیند سلسله مراتبی فازی مدل اجرای موثرتر استراتژی‌های مدیریت ریسک پروژه‌های ساخت و ساز در دوران کرونا را ارائه نموده‌اند.

حتمله و همکاران[۱۴] [۹] به ارزیابی و رتبه بندی ریسک‌ها در صنعت ساخت و ساز کشورهای در حال توسعه (مطالعه موردی کشور اردن) پرداخته‌اند. آنها با استفاده از مصاحبه حضوری با کارشناسان و متخصصان عوامل را شناسایی و سپس با توزیع تصادفی پرسشنامه و استفاده از شاخص اهمیت نسبی و ضریب تغییرات، مهم‌ترین عوامل را شناسایی کرده‌اند. محققان بر این باورند که ریسک‌های متعددی را می‌توان به فرآیند مدیریت ارتباطات پروژه مربوط دانست.

السایق و همکاران[۱۵] [۵] شناسایی و ارزیابی ریسک در پروژه های ساخت و ساز پایدار در امارات را مدنظر قرار داده‌اند. آنها یک فهرست شامل ۳۰ ریسک را در پنج دسته‌بندی مدیریت، فنی، تیم سبز، مواد سبز و نظارتی-اقتصادی جمع‌آوری کرده و سپس با کمک متخصصان، ریسک‌ها را براساس شدت ریسک (احتمال وقوع ضرب در تأثیر) اولویت‌بندی کرده‌اند. پنج ریسک اصلی عبارتند از کمبود منابع مالی مشتریان، اطلاعات طراحی پایدار ناکافی یا نادرست، تغییرات طراحی، برنامه زمانی فشرده غیرمنطقی برای ساخت و ساز پایدار و تعریف ضعیف محدوده در ساخت و ساز پایدار.

شهرکی و مصری [۱۰] به ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک پروژه‌های عمرانی با رویکرد ترکیبی دیمتل و فرآیند تحلیل شبکه‌ای (مطالعه موردی: پروژه آب‌رسانی دشت سیستان-هامون ۲) پرداخته‌اند. آنها پس از تعیین حوادث احتمالی اجرایی، فنی و مالی در پروژه‌های عمرانی، با استفاده از روش دیمتل فازی و مدیریت سبد پروژه، تأثیرگذارترین و تأثیرپذیرترین ریسک‌ها را شناسایی کرده‌اند. در این پژوهش مشخص گردید، بخش‌های اجرا و اجتماعی دارای بیشترین اثرگذاری و ریسک معارضت‌های شدید، مهم‌ترین ریسک می‌باشد.

جاوید و همکاران[۱۶] [۱۱] به موضوع مدیریت ریسک در پروژه‌های ساختمان سبز با هدف ترسیم یک چهارچوب اختصاصی مدیریت ریسک پروژه پرداخته‌اند. آنها با استفاده از مطالعه موردی یک ساختمان سبز همراه با مصاحبه و برگزاری طوفان فکری با ذینفعان به یک مدل رسمی مدیریت ریسک پروژه در ساختمان سبز دست یافته‌اند. آنها مهم‌ترین ریسک‌ها در پروژه ساختمان سبز را هزینه اولیه

[13] Al-Mhdawi, et al
[14] Hatmaleh, et al
[15] El-Sayegh, et al
[16] Javed, et al

بالا، کمبود پیمانکاران اصلی و فرعی مجرب، عدم در نظر گرفتن تورم چرخه عمر و عدم تجربه کافی در مدیریت پروژه ساختمان سبز عنوان کرده‌اند.

کارآموزیان و وو[17] [۱۲] به رویکرد اولویت‌بندی ریسک ترکیبی در پروژه‌های ساختمانی با استفاده از حالت شکست و تحلیل موثر[18] (FMEA) پرداخته‌اند. هدف این مطالعه، پیشنهاد رویکردی جدید برای در نظر گرفتن وابستگی‌های متقابل بین حالت‌های شکست و همچنین استفاده از نظریه فازی برای در نظر گرفتن عدم قطعیت در قضاوت‌های کارشناسان است.

خسروی و همکاران [۱۳] به تعیین و ارزیابی ریسک پروژه‌های ساختمانی مجتمع‌های تجاری و تفریحی در کشورهای در حال توسعه با تمرکز بر ایران پرداخته‌اند. در این پژوهش براساس فرمول کوکران و حداقل سرشماری جمعیت، تعداد ۳۰ نفر از کارشناسان مجرب (مشاوران، پیمانکاران و کارفرمایان) یک پروژه خاص انتخاب شده و مراحل شناسایی و ارزیابی ریسک اجرا گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که نتایج نشان می‌دهد که نوسان نرخ ارز، نوسان تورم، دسترسی به کارگران ماهر، مطالبه و دعوی پیمانکاران و تهدیدات خارجی ناشی از روابط بین‌الملل مهم‌ترین ریسک‌های پروژه‌های ساختمانی مجتمع‌های تجاری و تفریحی هستند.

دانش تقی دیزج و حسین زاده [۱۴] به شناسایی، ارزیابی و اولویت بندی ریسک ها (فنی، اجرایی، مالی) در اجرای سازه‌های فولادی عظیم با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و نرم افزار Expert choice پرداخته‌اند. آنها ریسک‌ها را در سه دسته مالی، اجرایی و فنی مرتب کرده‌اند. براساس نتایج به دست آمده عدم تناسب طراحی و اطلاعات طرح در برآورد صحیح هزینه، زمان و منابع از دسته ریسک‌های مالی و کمبود منابع و ماشین‌آلات از ریسک‌های اجرایی، مهم‌ترین ریسک‌های اجرای سازه‌های فولادی عظیم هستند.

گائو و همکاران[19] [۱۵] ریسک پروژه‌های ساخت و ساز در چین تحت حالت‌های تولید سنتی و صنعتی را ارزیابی کرده‌اند. این مقاله یک تکنیک ارزیابی ریسک عملی را برای ارزیابی چرخه عمر ریسک، از جمله زمان وقوع ریسک و زیان‌های مالی بالقوه پیشنهاد می‌کند. سپس این تکنیک برای ارزیابی تفاوت‌های بین ریسک‌های موجود در یک پروژه مهندسی، تدارکات و ساخت و ساز (EPC) که از طریق حالت‌های تولید سنتی و صنعتی اجرا می‌شود، اعمال می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که مدت زمان کل ریسک در پروژه ساخت و ساز صنعتی نیمی از مدت زمان پروژه سنتی است. علاوه بر این، زیان مالی مورد انتظار در پروژه ساخت و ساز صنعتی ۲۹ درصد کمتر از پروژه ساخت و ساز سنتی است. بنابراین، ساخت و ساز صنعتی این پتانسیل را دارد که عملکرد ریسک را بهینه کند.

جین و همکاران[20] [۱۶] با استفاده از[21] 4D BIM خطرات ساخت و ساز در مراحل طراحی را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. هدف این مقاله ارائه ابزاری برای طراحان به منظور ارزیابی خطرات ساخت و ساز در مراحل اولیه پروژه ساختمان‌های چند طبقه در سطح فعالیت و به صورت روزانه است. ابزار پیشنهادی این قابلیت را دارد که ریسک ایمنی را برای کل پروژه ارزیابی کرده و تصویری از خطر ایمنی در یک دوره زمانی خاص، فضای کاری و کار قبل از ساخت و ساز را ارائه دهد. این قابلیت می‌تواند به طراحان در انجام ارزیابی‌های ریسک و انتخاب گزینه‌های طراحی در مورد ایمنی کمک کند.

طاهری و ضیغمی [۱۷] مهمترین ریسک‌های اجرای سازه‌های بتنی با بتن‌های خاص را شناسایی کرده و سپس با استفاده از روش[22] AHP به اولویت‌بندی این ریسک‌ها پرداخته‌اند. آنها این ریسک‌ها را به پنج دسته ریسک‌های دانش فنی، ریسک‌های زیست محیطی، ریسک‌های مالی، ریسک‌های مربوط به تأمین مقاومت مورد نیاز و ریسک‌های مشخصات فنی تقسیم‌بندی کرده‌اند. در نتایج به دست آمده ریسک‌های مالی و زیست محیطی به عنوان اثرگذارترین ریسک‌های اجرای سازه‌های بتنی خاص معرفی گردیده‌اند.

خادمی عادل و اخباری [۱۸] ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌های پروژه‌های ساخت و ساز با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های فازی[23] (FDEA) را دنبال کرده‌اند. در این تحقیق، پس از شناسایی ریسک‌های مهم ساخت و ساز بر اساس مطالعات و تجربیات گذشته، با

[17] Karamoozian and Wu
[18] Failure Mode and Effects Analysis
[19] Gao, et al
[20] Jin, et al
[21] 4D Building Information Modeling
[22] Analytical Hierarchy process
[23] Fuzzy Data Envelopment Analysis

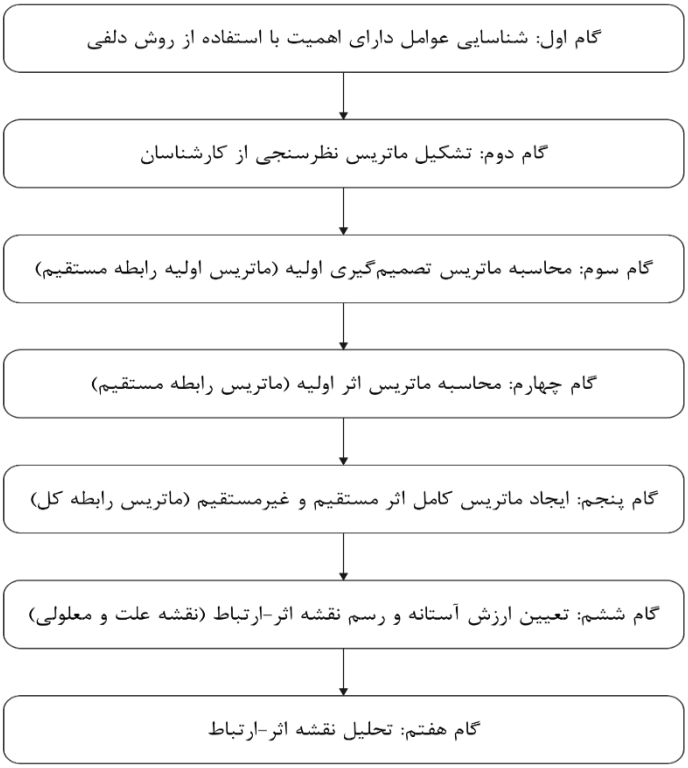
استفاده از روش زیمرمن، رتبه‌بندی ریسک‌ها صورت گرفته است. سه ریسک طراحی ناقص و اشتباه، مدیریت ضعیف و غیر متخصص و افزایش قیمت مصالح و دستمزد به عنوان اصلی‌ترین ریسک‌های پروژه‌های ساخت و ساز معرفی شده‌اند.

در این پژوهش برای ارزیابی و اولویت بندی ریسک روش‌های مختلف احداث ساختمان ریسک‌های جدیدی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. همچنین تمامی مطالعات گذشته بدون توجه به سیستم‌های احداث ساختمان یا به صورت کلی بر روی پروژه‌های ساخت و ساز متمرکز بوده یا سازه‌هایی خاص را بررسی کرده‌اند؛ اما در این پژوهش تمامی ریسک‌های مراحل احداث شناسایی شده و شدت وقوع آنها در سیستم‌های صنعتی احداث ساختمان شامل سیستم قاب فولادی سبک سرد نورد شده (LSF)، سیستم دیوار سازه‌ای بتن مسلح با قالب عایق ماندگار (ICF)، سیستم پانل پیش ساخته سبک سه بُعدی (D-PANEL۳)، سیستم پیش‌ساخته بتنی (PRCS) و سیستم بتنی قالب تونلی (TFCS) ارزیابی و اولویت‌بندی گردیده است.

۳- روش تحقیق

روش دیمتل[۲۴] (آزمایشگاه ارزیابی و آزمون تصمیم‌گیری) یکی از انواع روش‌های تصمیم‌گیری بر اساس مقایسه زوجی است که توسط فونتلا[۲۵] و گابوس[۲۶] در اواخر سال ۱۹۷۱ میلادی برای بررسی مسائل پیچیده ارائه گردید [۱۹]. روش دیمتل[۲۷] به منظور شناسایی و بررسی روابط میان معیارها و تشکیل ماتریس روابط به کار گرفته می‌شود. به عبارت دیگر، روش دیمتل به کاربران اجازه می‌دهد که مقدار زیادی اطلاعات واقعی مربوط به مشکل که برآمده از نظرات شخصی افراد در موقعیت‌های متفاوت جامعه است را به منظور نشان دادن تأثیرات متغیرها برروی یکدیگر، باهم ترکیب کنند. این روش می‌تواند ادراکات ذهنی افراد از مسائل مختلف را به درستی شناسایی کرده، به خوبی اندازه‌گیری کند و مدل سازی نماید [۲۰]. شکل ۱ فرآیند اجرای روش دیمتل در این پژوهش را نشان می‌دهد.

[24] Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
[25] Fontela
[26] Gabus
[27] DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory)



شکل۱ : فرآیند اجرای روش دیمتل

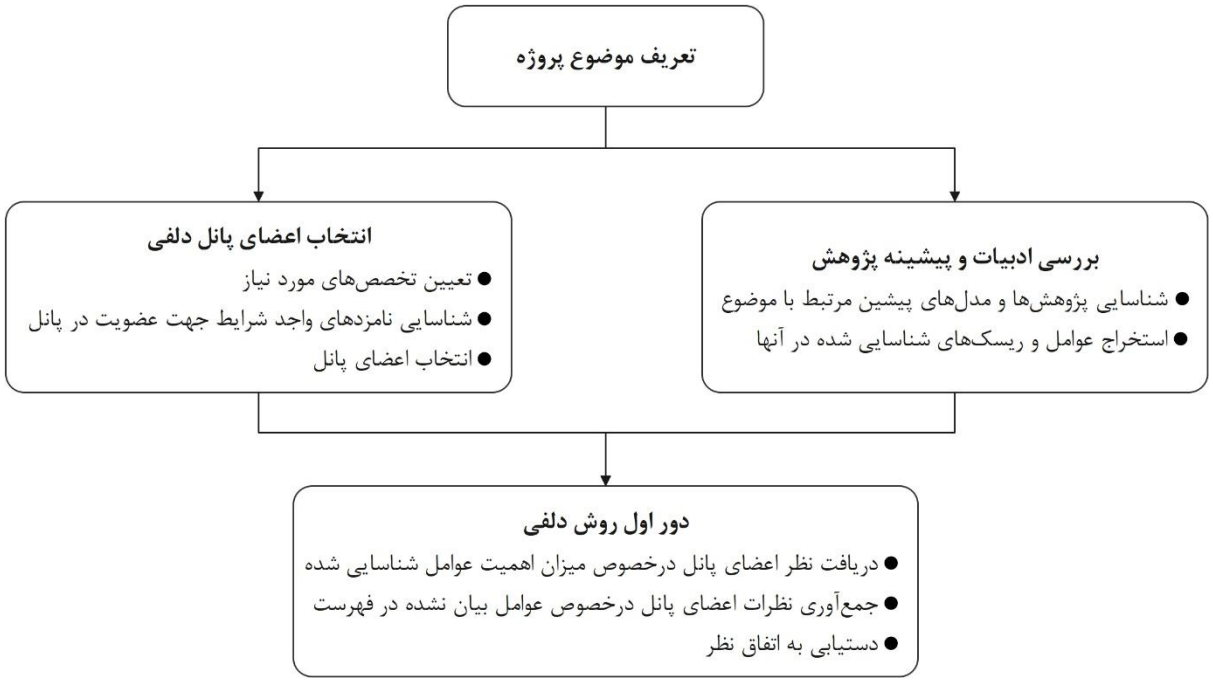
این روش می‌تواند وابستگی‌های متقابل و محدودیت روابط میان متغیرها و ویژگی‌ها را منعکس نماید. دیمتل در نشان دادن ساختار روابط علی و معلولی پیچیده مسائل در قالب ماتریس و نمودار بسیار دقیق عمل می‌کند. همچنین می‌تواند رابطه بین علل و اثرات معیارها را در یک مدل ساختاری قابل فهم از سیستم به نمایش بگذارد. این روش از یک ماتریس به منظور نشان دادن تمامی روابط مستقیم و غیر مستقیم و سطح اثرگذاری میان عوامل استفاده می‌کند [۲۰].

عوامل و عناصر موجود در یک سیستم را می‌توان از طریق روش‌هایی نظیر مرور ادبیات موضوع و کارگیری روش دلفی[۲۸]، پرسشنامه و مصاحبه شناسایی کرد. استفاده از روش‌های ذکر شده، زمان‌بر بوده، اما موجب تعامل بیشتری میان کارشناسان و خبرگان می‌گردد [۲۰]. در این تحقیق به منظور شناسایی ریسک‌های موجود از روش دلفی استفاده شده است. این روش با مشارکت افرادی انجام می‌پذیرد که دارای دانش و تخصص در موضوع پژوهش باشند. این افراد با عنوان پانل دلفی شناخته می‌شوند. از آنجا که نتایج کار بستگی به تخصص و دانش این افراد دارد، پانل دلفی این تحقیق از میان سازندگان، پیمانکاران، مجریان و کارشناسانی که در زمینه روش‌های صنعتی ساخت و ساز صاحب نظر هستند، تشکیل گردید. در این راستا، برای تعیین میزان اتفاق نظر میان اعضای پانل، از ضریب هماهنگی کندال[۲۹] استفاده شده است.

۱-۳- شناسایی عوامل دارای اهمیت با کمک روش دلفی

در این پژوهش، پس از تعیین موضوع و ابعاد آن، پژوهش‌ها و مطالعات پیشین بررسی گردید و ریسک‌های روش‌های صنعتی احداث ساختمان شامل سیستم‌های LSF، ICF، D-PANEL۳، PRCS و TFCS استخراج گردید. براساس موضوع، تخصص‌های مورد نیاز تعیین و اعضای پانل دلفی با استفاده از روش نمونه‌گیری غیراحتمالی انتخاب شدند. پس از تعیین اعضای پانل دلفی، یک دور روش دلفی انجام شد. پرسشنامه‌ها به صورت حضوری تکمیل و گردآوری گردید. شکل ۲ فرآیند اجرای روش دلفی در این پژوهش را نشان می‌دهد.

28 Delphi method
29 Kendall's coefficient of concordance



شکل۲ : فرآیند اجرای روش دلفی

در این پژوهش به منظور تعیین میزان اتفاق نظر میان اعضاء، از ضریب هماهنگی کندال استفاده شده است. ضریب هماهنگی کندال مقیاسی برای تعیین درجه هماهنگی و اتفاق نظر میان نظرات K فرد درخصوص رتبه‌بندی N عامل است. درواقع با کاربرد این مقیاس می‌توان میزان همبستگی میان K مجموعه از رتبه‌ها را یافت. ضریب هماهنگی کندال نشان می‌دهد، افرادی که چندین عامل را براساس اهمیت آنها مرتب کرده‌اند، به طور اساسی معیارهای مشابهی را برای قضاوت درباره اهمیت هر یک از عوامل به کار برده‌اند و از این نظر با یکدیگر اتفاق نظر دارند [۲۱]. ضریب هماهنگی کندال با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$W = \frac{12s}{(K^2(N^3 - N))} \qquad (۱)$$

که در آن $s = \sum(R_j - \frac{(\sum R_j)}{N})^2$ حاصل جمع مربعات انحراف‌های R_j ها از میانگین R_j ها، R_j مجموع امتیازات مربوط به یک عامل، K تعداد اعضای پانل و N تعداد عوامل رتبه‌بندی شده است.

مقدار ضریب هماهنگی کندال همواره عددی بین صفر و یک خواهد بود. به عبارت دیگر مقدار این مقیاس در هنگام موافقت کامل اعضاء پانل برابر یک و در صورت عدم هماهنگی کامل برابر صفر خواهد بود. اشمیت[۳۰] درخصوص تصمیم‌گیری درباره توقف یا ادامه دورهای روش دلفی، دو معیار آماری را ارائه می‌کند. اولین معیار وجود اتفاق نظر قوی میان اعضای پانل است که براساس ضریب هماهنگی کندال تعیین می‌شود. دومین معیار عدم وجود اتفاق نظر قوی و ثابت ماندن این ضریب یا تغییر ناچیز آن در دو دور متوالی است که در اینصورت، فرآیند نظرخواهی باید متوقف شود؛ زیرا نشان می‌دهد که افزایشی در توافق نظر اعضاء صورت نگرفته است [۲۲].

۲-۳- ساخت ماتریس نظرسنجی

پس از شناسایی عوامل دارای اهمیت در روش‌های صنعتی احداث ساختمان با کمک فرآیند دلفی، نوبت به گام دوم یا همان تشکیل ماتریس نظرسنجی از کارشناسان و خبرگان می‌رسد. در این مرحله ابتدا پرسشنامه مرتبط با عوامل شناسایی شده را مطابق شکل ۳

[30] Schmidt

تشکیل داده و از کارشناسان و خبرگان درخواست شد تا روابط میان عوامل را به صورت مقایسات زوجی و با در نظر گرفتن رابطه مستقیم علت و معلولی با استفاده از طیف‌های مشخص شده، تعیین نمایند. جدول ۱، طیف‌های مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

		(اثرپذیر) معلول			
		F_1	F_2	...	F_n
علت (اثرگذار)	F_1	0	P_{12}		P_{1n}
	F_2	P_{21}	0		P_{2n}
	...			0	
	F_n	P_{n1}	P_{n2}		0

شکل۳ : ماتریس نظرسنجی از کارشناسان و خبرگان

جدول۱ : طیف‌های اندازه‌گیری

عبارت کلامی	عبارت عددی
بدون تأثیر	۰
تأثیر کم	۱
تأثیر متوسط	۲
تأثیر زیاد	۳
تأثیر خیلی زیاد	۴

بدین ترتیب برای هر کارشناس ماتریس $P_k = \left[P_{ij} \right]_{n\times n}$ تشکیل می‌گردد. که در آن F_i، عوامل شناسایی شده در گام اول و P_{ij}، اثر عامل i ام بر عامل j ام و k تعداد کارشناسان و خبرگان می‌باشد. باید توجه داشت که قطر اصلی هر ماتریس P_k برابر صفر خواهد بود. زیرا هر عامل برروی خودش اثری نخواهد داشت.

۳-۳- محاسبه ماتریس تصمیم‌گیری اولیه

در این مرحله نظرات کارشناسان و خبرگان با هم ادغام شده تا شرایط برای محاسبات فراهم گردد. برای این منظور از امتیازاتی که کارشناسان و خبرگان در مقایسات زوجی لحاظ کرده‌اند، میانگین حسابی ساده گرفته می‌شود. ماتریس تصمیم‌گیری اولیه را به صورت $A = \left[a_{ij} \right]_{n\times n}$ نشان می‌دهیم که در آن a_{ij} عبارت است از میانگین حسابی ساده از امتیازاتی که کارشناسان و خبرگان در مرحله قبل به اثر مستقیم عامل i بر عامل j داده‌اند. a_{ij} ها با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌گردند.

$$a_{ij} = \frac{1}{k}\sum_1^k P_{ij} \qquad (۲)$$

۴-۳- محاسبه ماتریس اثر اولیه

با نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری اولیه A، ماتریس اثر اولیه D به دست می‌آید. با نرمال‌سازی، امتیازات هم رده شده و امکان مقایسه سطوح اثرگذاری و اثرپذیری فراهم می‌گردد. ماتریس D، شدت اثرگذاری و اثرپذیری اولیه عوامل بریکدیگر را نشان دهد. این ماتریس با استفاده از رابطه (۳) بدست می‌آید.

$$D = s \cdot A, s \succ 0 \qquad (۳)$$

$$D=\left[d_{ij}\right]_{n\times n}=s.\left[a_{ij}\right]_{n\times n}, s\succ 0, i, j\in\{1,2,...,n\}$$

برای محاسبه ماتریس اثر اولیه، باید ضریب نرمال سازی در تمام درایه‌های ماتریس تصمیم‌گیری اولیه ضرب شود. ضریب نرمال‌سازی را با s نشان داده که از رابطه (۴) بدست می‌آید.

$$s=\min\left(\frac{1}{\max\limits_{1\le i\le n}\sum_{j=1}^{n}\left[a_{ij}\right]},\frac{1}{\max\limits_{1\le j\le n}\sum_{i=1}^{n}\left[a_{ij}\right]}\right) \quad (۴)$$

که در آن $\max\limits_{1\le i\le n}\sum_{j=1}^{n}\left[a_{ij}\right]$، بیشترین مجموع ردیفی و $\max\limits_{1\le j\le n}\sum_{i=1}^{n}\left[a_{ij}\right]$، بیشترین مجموع ستونی ماتریس تصمیم‌گیری اولیه A می‌باشند. به حاصل جمع درایه‌های هر ردیف i از ماتریس A، مجموع ردیفی و به حاصل جمع هر ستون j از ماتریس A، حاصل جمع ستونی گفته می‌شود.

۵-۳- ایجاد ماتریس کامل اثر مستقیم و غیرمستقیم

اگر ماتریس اثر اولیه را به توان برسانیم، با در نظر گرفتن خاصیت ضرب ماتریس‌ها، اثرات مستقیم و غیرمستقیم عوامل بر یکدیگر همراه با بازخوردهای ممکن، قابل مشاهده می‌گردند. با افزایش توان ماتریس اولیه، به یک تصاعد هندسی نامتناهی از اثرات مستقیم و غیرمستقیم دست می‌یابیم که به دلیل کاهش پیوسته اثرهای غیرمستقیم در طول زنجیره تصاعد، به ماتریس معکوس همگرا می‌شود. به عبارت دیگر، در این مرحله ماتریسی ایجاد می‌گردد که روابط مستقیم و غیرمستقیم میان عوامل را نشان می‌دهد. رابطه (۵) نحوه محاسبه تصاعد هندسی و ایجاد ماتریس رابطه کل T را نشان می‌دهد.

$$T=\left[t_{ij}\right]_{n\times n}=\lim_{n\to\infty}(D+D^2+D^3+...+D^n)=\frac{D(I-D^n)}{(I-D)}, \lim_{n\to\infty}D^n=0 \quad (۵)$$

$$\lim_{n\to\infty}\frac{D(I-D^n)}{(I-D)}=\frac{D}{I-D}=D(I-D)^{-1}$$

مجموع هر سطر i از ماتریس T نشان‌دهنده میزان نفوذ و سطح اثرگذاری عامل F_i به عنوان یک علت بر سایر عوامل است. همچنین مجموع هر ستون j از ماتریس T نشان‌دهنده میزان نفوذ و اثرگذاری سایر عوامل بر عامل F_i است. با محاسبه مجموع هر سطر و مجموع هر ستون، می‌توان تمامی عوامل را از دیدگاه اثرگذاری و اثرپذیری، اولویت‌بندی کرد. روابط (۶) و (۷) به ترتیب روش محاسبه ماتریس اثرگذاری و ماتریس اثرپذیری را نشان می‌دهد.

$$C=\left[c_i\right]_{n\times 1}=\left[\sum_{j=1}^{n}t_{ij}\right]_{n\times 1} \quad (۶)$$

$$E=\left[e_{ij}\right]_{1\times n}=\left[\sum_{i=1}^{n}t_{ij}\right]_{1\times n} \quad (۷)$$

که در آن C ماتریس اثرگذاری و C_i میزان نفوذ و سطح اثرگذاری عامل F_i بر سایر عوامل و E ماتریس اثرپذیری و e_j میزان نفوذ و اثرگذاری سایر عوامل بر عامل F_j می‌باشند. با کمک مقادیر c_i و e_j می‌توان برای هر عامل دو مقدار کلیدی شدت تعامل و شدت اثرگذاری را نیز محاسبه کرد. روابط (۸) و (۹) به ترتیب روش محاسبه شدت تعامل و شدت اثرگذاری را نشان می‌دهند.

$$c_i+e_j, i=j \quad (۸)$$

$$c_i - e_j, i = j \quad (۹)$$

شدت تعامل، میزان ارتباط هر عامل با عوامل دیگر را نشان می‌دهد. این شاخص نشانگر میزان اهمیت و برتری هر معیار است. به عبارت دیگر هرچه این شاخص بزرگتر باشد، میزان ارتباط و اهمیت عامل بیشتر خواهد بود. شاخص شدت اثرگذاری، تأثیر خالص عامل i برروی کل سیستم را نشان می‌دهد. اگر این شاخص مثبت باشد، عامل i به عنوان یک عامل اثرگذار برروی سایر عوامل شناسایی می‌گردد. اما اگر این شاخص منفی باشد، عامل i به عنوان یک عامل اثرپذیر از سایر عوامل می‌باشد. بنابراین هرچه شاخص شدت اثرگذاری برای یک عمل بیشتر باشد، آن عامل تأثیر بیشتری بر سایر عوامل داشته و نسبت به سایر عوامل دارای ارجحیت بیشتری است.

۳-۶- تعیین ارزش آستانه[31] و رسم نقشه اثر-ارتباط

به منظور ساده سازی و کاهش پیچیدگی در رسم روابط میان عوامل در نقشه اثر-ارتباط[32] (IRM)، مقداری به عنوان ارزش آستانه را محاسبه می‌کنیم. با تعیین این مقدار می‌توان از روابط جزئی صرف نظر کرده و تنها روابط قابل اعتنا را رسم کرد. بنابراین تنها روابطی که مقادیر آنها در ماتریس T از مقدار ارزش آستانه بزرگ‌تر باشند در نقشه اثر-ارتباط نشان داده می‌شوند. در این پژوهش میانگین حسابی مقادیر ماتریس T به عنوان ارزش آستانه درنظر گرفته شده است. برای رسم IRM از دستگاه مختصات دکارتی استفاده می‌کنیم. در این دستگاه مختصاتی، موقعیت هر عامل را به وسیله دو مقدار $(c_i + e_j)$ و $(c_i - e_j)$ برروی محور مختصات X و Y مشخص می‌کنیم. به عبارت دیگر هر عامل دارای مختصات $(c_i + e_j, c_i - e_j)$ می‌باشد.

۳-۷- تحلیل نقشه اثر-ارتباط

برای تحلیل نقشه IRM باید محل قرارگیری عوامل در آن را مورد توجه قرار داد. به عبارت دیگر باید دو مقدار کلیدی شدت تعامل $(c_i + e_j)$ و شدت اثرگذاری $(c_i - e_j)$ را برای هر عامل بررسی کرد. بنابراین، با توجه به تشریح وضعیت عوامل توسط این مقادیر، می‌توان چهار حالت کلی را در نظر گرفت. در ادامه هریک از حالات به اختصار توضیح داده می‌شوند.

الف- اگر $(c_i - e_j) \prec 0$ و $(c_i + e_j) = \varepsilon$ (ε عددی کوچک است) باشد. همانطور که مشخص است، این عامل اثرپذیر بوده و تعامل چندانی با سایر عوامل ندارد و به نوعی مستقل است. درنتیجه این عامل در اولویت قرار نمی‌گیرد. باید از ارتباطات کمی که این عامل با سایر عوامل دارد، استفاده کرد و به وسیله آنها، این عامل را کنترل نمود.

ب- اگر $(c_i - e_j) \succ 0$ و $(c_i + e_j) = \varepsilon$ (ε عددی کوچک است) باشد. این عامل اثرگذار بوده امّا تعامل چندانی با سایر عوامل ندارد. به عبارت دیگر، این عامل مستقل بوده و برروی تعداد کمی از عوامل دیگر اثر می‌گذارد.

ج- اگر $(c_i - e_j) \prec 0$ و $(c_i + e_j) = M$ (M عددی بزرگ است) باشد. این عامل اثرپذیر بوده و تعامل بسیار زیادی با سایر عوامل دارد. درنتیجه این عامل نقش ارتباط‌دهنده را ایفا می‌کند. بنابراین می‌توان از این عامل برای اعمال نفوذ بر سایر عوامل استفاده کرد.

د- اگر $(c_i - e_j) \succ 0$ و $(c_i + e_j) = M$ (M عددی بزرگ است) باشد. این عامل اثرگذار بوده و تعامل بسیار بالایی با سایر عوامل دارد. این عامل می‌تواند سایر عوامل را تحت نفوذ خود قرارداده و کنترل نماید. به عبارت دیگر، می‌تواند مشکل اصلی مسئله را حل نماید. بنابراین این عامل در اولویت قرار می‌گیرد.

[31] Threshold value
[32] Impact Relation Map

۴- یافته های تحقیق

در دور اول روش دلفی فهرستی از ریسک های شناسایی شده، که از پژوهش‌های پیشین جمع‌آوری شده بودند [۲۳, ۲۴]، به منظور تعیین میزان اهمیت آنها در اختیار اعضای پانل قرار گرفت. همچنین از آنها درخواست شد، سایر ریسک های که در فهرست بیان نشده است را ارائه نمایند. در این دور، ۲۲ ریسک از میان ۴۸ ریسک که از پژوهش‌های پیشین استخراج شده بودند، توسط اعضای پانل، دارای تأثیر زیاد و خیلی زیاد، تشخیص داده شدند. همچنین، در مجموع ۸ ریسک جدید توسط اعضاء مطرح گردید که پس از بررسی دقیق و تشریح آنها توسط اعضاء، مشخص گردید که این ریسک‌ها با ریسک‌های مستخرج از پژوهش‌های پیشین، یکسان می‌باشند. از آن جهت که در پایان دور اول روش دلفی ریسک جدیدی به فهرست ریسک‌ها اضافه نگردید و ضریب هماهنگی کندال برای این دور مقدار ۰/۹۴۸ به دست آمد، مراحل روش دلفی به پایان رسید. نتایج تفصیلی مرتبط با اجرای مرحله اول توزیع پرسشنامه در جدول ۲ آورده شده است. در این جدول نام ریسک، میانگین و انحراف از معیار به همراه مقادیر کمینه و بیشینه هر ریسک درج گردیده است.

جدول۲ : نتایج تفصیلی دور اول روش دلفی

ردیف	نوع معیار برای تعیین ریسک	ریسک	میانگین	انحراف از معیار	کمینه	بیشینه
۱	فنی	عدم کفایت مطالعات و اطلاع از شرایط زمین	۶۶	۲۱/۴۵	۴۰	۱۰۰
۲		کمبود اطلاعات فنی در فرآیند طراحی	۴۱	۳۲/۰۰	۱۰	۹۵
۳		تخمین زمانی و مالی نادرست یا بیش از حد خوش بینانه فرآیندها	۴۱	۲۲/۸۹	۵	۷۰
۴		عدم وجود مشاور و ناظر متخصص	۴۲	۳۱/۸۷	۱۰	۱۰۰
۵		عدم رعایت استاندارد و دستورالعمل‌های فنی	۳۲.۴	۳۵/۰۹	۲	۱۰۰
۶		تغییر در آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های فنی	۲۲	۲۴/۸۲	۰	۷۰
۷	اقتصادی و پشتیبانی	عدم برآورد دقیق مالی به دلیل عدم آشنایی با روش ساخت	۳۶	۲۹/۲۲	۵	۸۵
۸		کمبود مهارت کارکنان مالی و پشتیبانی	۳۲	۱۹/۳۹	۱۰	۶۰
۹		نوسانات قیمت و تورم	۷۹	۱۶/۲۵	۵۰	۱۰۰
۱۰		خرید مواد، مصالح و تجهیزات مازاد	۴۴	۳۲/۶۲	۱۰	۱۰۰
۱۱		جریان مالی نامنطبق بر برنامه زمانی فعالیت‌ها	۵۰	۲۶/۰۸	۳۰	۱۰۰
۱۲		عدم همکاری بانک‌ها در پرداخت بموقع تسهیلات	۳۶	۱۷/۴۴	۱۰	۶۰
۱۳		حمل و نگهداری نامناسب مواد، مصالح و تجهیزات	۳۸	۱۱/۶۶	۲۰	۵۰
۱۴		عدم تأمین مواد، مصالح و تجهیزات	۴۸	۳۱/۸۷	۱۰	۱۰۰
۱۵		هزینه مازاد بر پیشبینی تامین مواد و مصالح	۳۸	۲۱/۳۵	۲۰	۸۰
۱۶		کسری بودجه	۵۴	۲۰/۵۹	۲۰	۸۰
۱۷	اجرایی	دسترسی به محل انجام پروژه	۴۲	۳۴/۲۹	۱۰	۱۰۰
۱۸		کمبود مواد و مصالح و عدم دسترسی طبق برنامه زمان بندی	۴۴	۳۴/۹۹	۱۰	۱۰۰
۱۹		انتخاب نادرست تکنیک‌های ساخت و ساز	۵۶	۲۸/۰۰	۳۰	۹۰
۲۰		تغییر در نقشه و طراحی‌ها در طی مراحل اجرا	۴۰	۳۱/۶۲	۱۰	۱۰۰
۲۱		کمبود دانش و مهارت فنی مجریان	۵۷	۲۲/۲۷	۳۰	۹۵
۲۲		مدیریت نامناسب و ناکارآمد	۶۰	۲۱/۹۱	۴۰	۱۰۰
۲۳		بازدهی و بهره‌وری ناکافی کارگران	۶۴	۱۶/۲۵	۴۰	۸۰
۲۴		تأخیر پیش‌بینی نشده در پروژه	۵۲	۲۲/۲۷	۳۰	۹۰
۲۵		عدم رعایت مسائل بهداشتی و ایمنی	۵۰	۳۱/۶۲	۱۰	۹۰
۲۶		اعتصابات و ناآرامی‌های کارگری	۲۴	۱۸/۵۵	۱۰	۶۰
۲۷		کمبود نیروی کاری متخصص	۸۰	۱۲/۶۵	۶۰	۱۰۰
۲۸		خطر آتش سوزی	۳۰	۱۸/۷۱	۵	۶۰

۲۹		کیفیت پایین مواد، مصالح و تجهیزات خریداری شده	۶۴	۲۵/۷۷	۳۰	۱۰۰
۳۰		عدم اختصاص فضای کافی به محدوده ساخت و ساز	۳۸	۲۷/۸۶	۱۰	۸۰
۳۱		ایجاد تعارض میان مدیران و کارگران	۶۰	۲۵/۳۰	۳۰	۹۰
۳۲		آسیب یا سرقت ابزار و تجهیزات	۴۳	۱۹/۳۹	۲۰	۷۰
۳۳		ایجاد تعارض با تأمین کنندگان و پیمانکاران فرعی	۵۵	۲۴/۹۰	۲۰	۹۰
۳۴		عدم انجام آزمایشات مورد نیاز	۵۴	۲۷/۲۸	۲۰	۹۰
۳۵		مواجهه با شرایط زمینی غیرمنتظره	۳۹	۳۶/۱۱	۵	۱۰۰
۳۶		تغییر قوانین و مقررات دولتی	۴۷	۲۳/۵۸	۱۰	۷۵
۳۷		تغییر در تعرفه‌ها	۶۶	۱۸/۵۵	۴۰	۹۰
۳۸	سیاسی	ضعف قوانین و برداشت‌های سلیقه‌ای	۶۹	۳۰/۴۰	۱۰	۹۰
۳۹		عدم همکاری مناسب ادارات و سازمان‌های اثرگذار در اجرای پروژه	۶۶	۲۸/۷۱	۱۰	۹۰
۴۰		عدم پوشش مخاطرات توسط بیمه	۴۸	۲۶/۳۸	۲۰	۹۰
۴۱		مقاومت مشتری در پذیرش روش‌های جدید ساخت و ساز	۶۰	۳۳/۴۷	۱۰	۹۰
۴۲	فرهنگی و	عدم توجه به مسائل فرهنگی و هنجارهای اجتماعی در طراحی	۳۴	۲۹/۳۹	۱۰	۹۰
۴۳	اجتماعی	عدم تناسب فرهنگ کاری عوامل اجرایی	۴۱	۳۱/۶۹	۱۰	۹۰
۴۴		وجود تعارض میان مجری و ذینفعان	۵۱	۱۸/۰۰	۲۰	۷۵
۴۵		بلایای طبیعی	۲۸.۴	۲۶/۱۶	۲	۶۰
۴۶	زیست	آلودگی هوا	۲۸.۴	۳۰/۰۷	۲	۷۰
۴۷	محیطی	گرمای شدید	۴۲	۲۷/۳۱	۱۰	۸۵
۴۸		سرمای شدید	۴۳	۲۱/۸۲	۱۵	۷۰

در این مرحله به منظور تعیین ریسک‌های دارای اهمیت، ابتدا میانگین حسابی ساده نظرات اعضای پانل محاسبه گردید که این مقدار برابر با ۴۷/۰۴ بود. سپس ۲۲ ریسک که دارای میانگین بالاتری نسبت به این مقدار بودند، انتخاب گردیدند. در ادامه به منظور تعیین دقیق‌تر ریسک‌های دارای اهمیت، این بار محاسبات بر روی مقادیر انحراف از معیار ریسک‌های منتخب انجام گردید. به طوری که ابتدا میانگین و انحراف از معیار این مقادیر محاسبه شد. سپس با استفاده از رابطه (۱۰) کران بالای قابل قبول برای انحراف از معیار ریسک‌های انتخاب شده مشخص گردید.

$$AUL = \mu + \sigma \qquad (۱۰)$$

در رابطه (۱۰)، σ و μ به ترتیب انحراف از معیار و میانگین، انحراف از معیار عوامل دارای اهمیت براساس میانگین حسابی ساده را نشان می‌دهند. کران بالای قابل قبول برای انحراف از معیار ریسک‌ها مقدار ۲۹/۵۶به دست آمد. در نتیجه ۱۸ ریسک به عنوان ریسک‌های دارای اهمیت در روش‌های صنعتی احداث ساختمان مشخص گردیدند. جدول ۳، ریسک‌های دارای اهمیت در روش‌های صنعتی احداث ساختمان را نشان می‌دهد.

جدول ۳. عوامل دارای اهمیت در روش‌های صنعتی احداث ساختمان

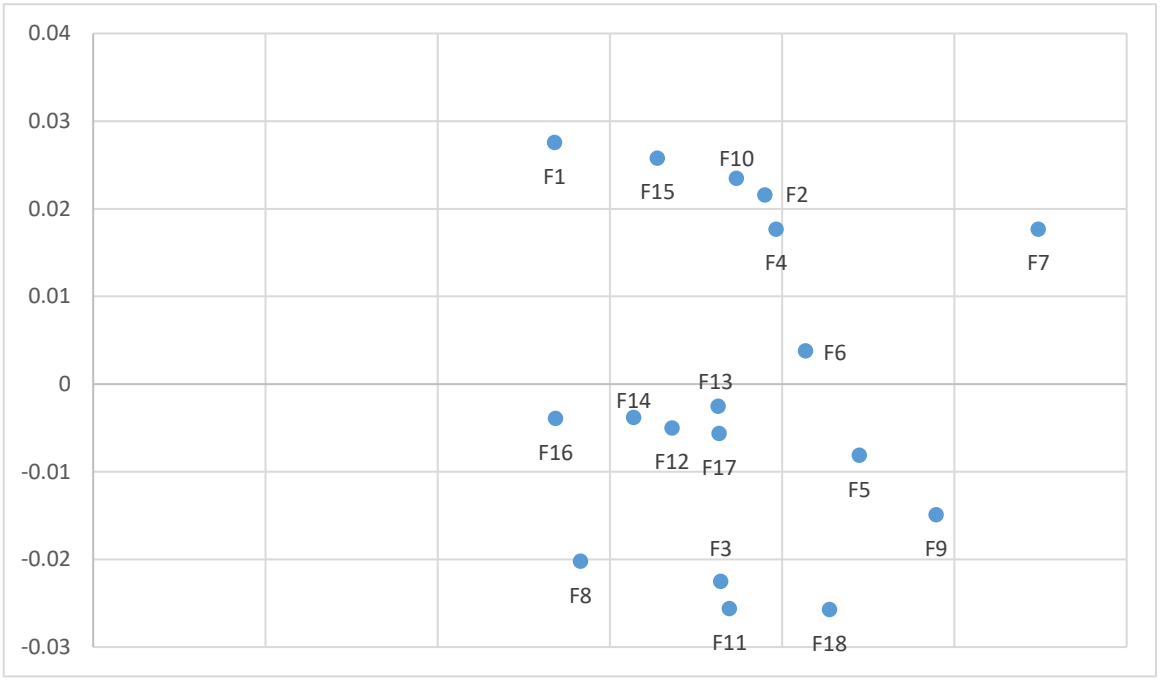
ردیف	نوع معیار برای تعیین ریسک	ریسک	علامت اختصاری
۱	فنی	عدم کفایت مطالعات و اطلاع از شرایط زمین	F_1
۲	اقتصادی و پشتیبانی	نوسانات قیمت و تورم	F_2
۳		جریان مالی نامنطبق بر برنامه زمانی فعالیت‌ها	F_3
۴		کسری بودجه	F_4
۵	اجرایی	انتخاب نادرست تکنیک‌های ساخت و ساز	F_5
۶		کمبود دانش و مهارت فنی مجریان	F_6
۷		مدیریت نامناسب و ناکارآمد	F_7
۸		بازدهی و بهره‌وری ناکافی کارگران	F_8
۹		تأخیر پیش‌بینی نشده در پروژه	F_9
۱۰		کمبود نیروی کاری متخصص	F_{10}
۱۱		کیفیت پایین مواد، مصالح و تجهیزات خریداری شده	F_{11}
۱۲		ایجاد تعارض میان مدیران و کارگران	F_{12}
۱۳		ایجاد تعارض با تأمین کنندگان و پیمانکاران فرعی	F_{13}
۱۴		عدم انجام آزمایشات مورد نیاز	F_{14}
۱۵	سیاسی	تغییر در تعرفه‌ها	F_{15}
۱۶		عدم همکاری مناسب ادارات و سازمان‌های اثرگذار در اجرای پروژه	F_{16}
۱۷		عدم پوشش مخاطرات توسط بیمه	F_{17}
۱۸	فرهنگی و اجتماعی	وجود تعارض میان مجری و ذینفعان	F_{18}

با استفاده از ریسک های ذکر شده در جدول۳، ماتریس نظرسنجی تشکیل و نظر نخبگان درخصوص میزان اثرگذاری و اثرپذیری ریسک‌ها جمع‌آوری گردید. با استفاده از رابطه (۲)، ماتریس تصمیم‌گیری اولیه محاسبه شد. سپس با نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری اولیه با استفاده از روابط (۳) و (۴)، ماتریس اثر اولیه به دست آمد. در ادامه با استفاده از رابطه (۵) ماتریس اثر مستقیم و غیرمستقیم محاسبه شد. در انتها با استفاده از روابط (۶)، (۷)، (۸) و (۹)، میزان اثرگذاری و اثرپذیری ریسک‌ها برروی یکدیگر و شدت تعامل و اثرگذاری هر یک از ریسک‌ها به دست آمد. جدول ۴، میزان اثرگذاری و اثرپذیری به همراه شدت تعامل و شدت اثرگذاری هر یک از ریسک‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ٤. میزان اثرگذاری و اثرپذیری و شدت تعامل و شدت اثرگذاری ریسک‌ها

نوع معیار برای تعیین ریسک	ریسک	اولویت‌بندی	c_i	e_j	$c_i + e_j$	$c_i - e_j$
فنی	عدم کفایت مطالعات و اطلاع از شرایط زمین	۱۸	۰/۱۴۷۷	۰/۱۲۰۱	۰/۲۶۷۸	۰/۰۲۷۶
اقتصادی و پشتیبانی	نوسانات قیمت و تورم	۷	۰/۲۰۵۸	۰/۱۸۴۲	۰/۳۹۰۰	۰/۰۲۱۶
	جریان مالی نامنطبق بر برنامه زمانی فعالیت‌ها	۱۰	۰/۱۷۰۹	۰/۱۹۳۴	۰/۳۶۴۳	-۰/۰۲۲۵
	کسری بودجه	۶	۰/۲۰۷۰	۰/۱۸۹۳	۰/۳۹۶۴	۰/۰۱۷۷
اجرایی	انتخاب نادرست تکنیک‌های ساخت و ساز	۳	۰/۲۱۸۳	۰/۲۲۶۴	۰/۴۴۴۷	۰/۰۰۸۱
	کمبود دانش و مهارت فنی مجریان	۵	۰/۲۰۸۷	۰/۲۰۴۹	۰/۴۱۳۶	۰/۰۰۳۸
	مدیریت نامناسب و ناکارآمد	۱	۰/۲۸۳۲	۰/۲۶۵۵	۰/۵۴۸۷	۰/۰۱۷۷
	بازدهی و بهره‌وری ناکافی کارگران	۱۶	۰/۱۳۱۴	۰/۱۵۱۶	۰/۲۸۲۹	-۰/۰۲۰۲
	تأخیر پیش‌بینی نشده در پروژه	۲	۰/۲۳۷۲	۰/۲۵۲۱	۰/۴۸۹۳	-۰/۰۱۴۹
	کمبود نیروی کاری متخصص	۸	۰/۱۹۸۵	۰/۱۷۵۰	۰/۳۷۳۵	۰/۰۲۳۵
	کیفیت پایین مواد، مصالح و تجهیزات خریداری شده	۹	۰/۱۷۱۹	۰/۱۹۷۵	۰/۳۶۹۴	-۰/۰۲۵۶
	ایجاد تعارض میان مدیران و کارگران	۱۳	۰/۱۶۵۵	۰/۱۷۰۵	۰/۳۳۶۰	-۰/۰۰۵۰
	ایجاد تعارض با تأمین کنندگان و پیمانکاران فرعی	۱۲	۰/۱۸۰۲	۰/۱۸۲۷	۰/۳۶۲۹	-۰/۰۰۲۵
	عدم انجام آزمایشات مورد نیاز	۱۵	۰/۱۵۵۰	۰/۱۵۸۸	۰/۳۱۳۸	-۰/۰۰۳۸
سیاسی	تغییر در تعرفه‌ها	۱۴	۰/۱۷۶۷	۰/۱۵۰۹	۰/۳۲۷۶	۰/۰۲۵۸
	عدم همکاری مناسب ادارات و سازمان‌های اثرگذار در اجرای پروژه	۱۷	۰/۱۳۲۳	۰/۱۳۶۲	۰/۲۶۸۵	-۰/۰۰۳۹
	عدم پوشش مخاطرات توسط بیمه	۱۱	۰/۱۷۸۹	۰/۱۸۴۵	۰/۳۶۳۴	-۰/۰۰۵۶
فرهنگی و اجتماعی	وجود تعارض میان مجری و ذینفعان	۴	۰/۲۰۰۸	۰/۲۲۶۵	۰/۴۲۷۴	-۰/۰۲۵۷

میانگین حسابی عناصر ماتریس T برابر است با ۰/۰۱۰۴، بنابراین هر عاملی که در ماتریس T از این مقدار کم‌تر باشد، در ترسیم نمودار روابط میان عوامل در نمودار اثر-ارتباط (IRM)، از رسم روابط میان آنها پرهیز گردیده است. شکل ۴، نمودار اثر-ارتباط را نشان می‌دهد. در نمودار شکل۴، ریسک‌هایی که در ناحیه اول دستگاه مختصات قرار گرفته‌اند، به عنوان ریسک‌های اثرگذار و سایر ریسک‌ها که در ناحیه چهارم دستگاه مختصات قرار گرفته‌اند، به عنوان ریسک‌های اثرپذیر شناخته می‌شوند.



شکل ٤ : نمودار اثر-ارتباط

براساس جدول ۴، به ترتیب بخش‌های اجرایی، فرهنگی و اجتماعی و اقتصادی و پشتیبانی، پرریسک‌ترین حوزه‌های روش‌های صنعتی احداث ساختمان می‌باشند. بر این اساس در حوزه اجرایی، عوامل مدیریت نامناسب و ناکارآمد، تأخیر پیش‌بینی نشده در پروژه، انتخاب نادرست تکنیک‌های ساخت و ساز و کمبود دانش و مهارت فنی مجریان، در حوزه فرهنگی و اجتماعی، وجود تعارض میان مجری و ذینفعان و در حوزه اقتصادی و پشتیبانی، کسری بودجه و نوسانات قیمت و تورم، مهم‌ترین ریسک‌ها در روش‌های صنعتی احداث ساختمان می‌باشند.

براساس تحلیل نقشه اثر-ارتباط می‌توان نتیجه گرفت که ریسک های مدیریت نامناسب و ناکارآمد، کمبود دانش و مهارت فنی مجریان، کسری بودجه، نوسانات قیمت و تورم و کمبود نیروی کاری متخصص، بسیار اثرگذار بوده و همزمان تعامل بسیار بالایی با سایر ریسک‌ها دارند. بنابراین این ریسک‌ها می‌توانند سایر ریسک‌ها را تحت نفوذ و کنترل خود قرار دهند، به گونه‌ای که با کنترل این ریسک‌ها می‌توان تا حد بسیار زیادی از وقوع سایر ریسک‌ها پیشگیری نمود. لذا این ریسک ها در اولویت قرار می‌گیرند. ریسک‌های وجود تعارض میان مجری و ذینفعان، تأخیر پیش‌بینی نشده در پروژه و انتخاب نادرست تکنیک‌های ساخت و ساز، دارای تعامل بسیار زیادی با سایر ریسک‌ها بوده و درعین حال، اثرپذیر نیز می‌باشند. بنابراین این ریسک‌ها می‌توانند نقش ارتباط‌دهنده را ایفا کنند. درنتیجه می‌توان از این ریسک‌ها برای اعمال نفوذ و کنترل سایر ریسک‌ها استفاده کرد به عبارت دیگر با کنترل عوامل این دسته از ریسک‌ها می‌توان از پیدایش زنجیره‌ای از ریسک‌ها جلوگیری نمود. دو ریسک عدم کفایت مطالعات و اطلاع از شرایط زمین و تغییر در تعرفه‌ها، بسیار اثرگذار هستند امّا تعامل بسیاری با سایر ریسک‌ها ندارند، در نتیجه این دو ریسک مستقل می‌باشند و باید به منظور کاهش اثرات منفی آنها بر سایر ریسک‌ها، این ریسک‌ها را تحت نظر قرار داد. سایر ریسک‌ها اثرپذیر هستند و تعامل چندانی با سایرین ندارند، لذا این ریسک‌ها در اولویت قرار نمی‌گیرند و باید این ریسک‌ها را با استفاده از ارتباطاتی که سایر ریسک‌ها با آنها دارند، تحت کنترل درآورد.

۵- نتیجه گیری

مسکن یکی از نیازهای اساسی هر فرد و خانواده می‌باشد. با درنظر گرفتن افزایش جمعیت و توزیع سنی آن و نرخ استهلاک واحدهای مسکونی، می‌توان نیاز شدید به احداث مسکن و ساختمان را احساس کرد. رفع نیاز مسکن، مستلزم برنامه‌ریزی دقیق و انتخاب هوشمندانه روش‌های احداث ساختمان است. امروزه روش‌های صنعتی احداث ساختمان به دلیل سرعت و کیفیت بالاتر و قیمت تمام شده

پایین‌تر، مهم‌ترین گزینه‌ی پیش روی تصمیم‌سازان است. به همین جهت، توجه به فرصت‌ها و تهدیدهای موجود در روش‌های صنعتی احداث ساختمان، در مواجهه با ریسک‌ها دارای اهمیت فراوان می‌باشد.

در این پژوهش، در ابتدا با استفاده از نظر کارشناسان و خبرگان و به کارگیری فرآیند دلفی، ریسک‌های دارای اهمیت در روش‌های صنعتی احداث ساختمان شناسایی گردید. پس از آن با استفاده از روش دیمتل، میزان اثرگذاری و اثرپذیری ریسک و به تبع آن شدت تعامل و شدت اثرپذیری آن‌ها محاسبه گردید. با استفاده از دو معیار شدت تعامل و تحلیل نقشه اثر-ارتباط، مهم‌ترین ریسک‌ها شناسایی و اولویت‌بندی گردیدند. براساس معیار اول مهم‌ترین ریسک‌ها در روش‌های صنعتی احداث ساختمان به ترتیب عبارتند از:

۱. مدیریت نامناسب و ناکارآمد
۲. تأخیر پیش‌بینی نشده در پروژه
۳. انتخاب نادرست تکنیک‌های ساخت و ساز
٤. کمبود دانش و مهارت فنی مجریان
٥. وجود تعارض میان مجری و ذینفعان
٦. کسری بودجه
۷. نوسانات قیمت و تورم

امّا براساس نتایج به دست آمده از تحلیل نقشه اثر-ارتباط، عوامل زیر به ترتیب مهم‌ترین ریسک‌های اصلی در روش‌های صنعتی احداث ساختمان هستند.

۱. مدیریت نامناسب و ناکارآمد
۲. کمبود دانش و مهارت فنی مجریان
۳. کسری بودجه
٤. نوسانات قیمت و تورم

همچنین براساس نتایج به دست آمده از تحلیل نقشه اثر-ارتباط، عوامل زیر به ترتیب به عنوان مهم‌ترین ریسک‌های ارتباط‌دهنده شناسایی شدند.

۱. وجود تعارض میان مجری و ذینفعان
۲. تأخیر پیش‌بینی نشده در پروژه
۳. انتخاب نادرست تکنیک‌های ساخت و ساز

بنابراین می‌توان با رصد مداوم و کنترل دقیق ریسک‌های اصلی و ارتباط‌دهنده به میزان قابل توجهی، اثرات این ریسک‌ها، در پروژه‌های صنعتی احداث ساختمان را کاهش داد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از هم‌فکری و همکاری اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر مهدی اژدری مقدم، جناب آقای دکتر غلامرضا عزیزیان و جناب آقای دکتر عبدالحمید بحرپیما و مهندسان گرانقدر آقایان محمدرضا رحیمی و علی جوادزاده کمال سپاسگزاری را دارند.

مراجع

[1] A. Arish, M. Akbarpour Shirazi, and M. Seyed Esfahani, "Case-Based Decision Support Model for Risk Responses Planning," *International Journal of Industrial Engineering and Production Management*, vol. 3, pp. 1-14, 2008.

[2] P. M. Institute, *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*, Sixth ed. Newtown Square, Pennsylvania 19073-3299 USA: Project Management Institute, Inc., 2017.

[3] O. Yousefi, P. Naseri, and A. Nilipour Tabatabaei, "Project risk assessment model using multi-objective decision-making approach (Case Study: The earth dam project Asalooye)," *Advances in Industrial Engineering*, vol. 48, no. 1, pp. 125-135, 2014.

[4] M. R. Shahraki and M. Pajmorde, "Choose the Optimal Method of Building Construction Using Multi-Criteria Decision Shannon Entropy and Fuzzy and Gray VIKOR," *Journal of Structural and Construction Engineering*, vol. 8, no. 4, pp. 334-349, 2021, doi: 10.22065/jsce.2019.192558.1893.

[5] S. M. El-Sayegh, S. Manjikian, A. Ibrahim, A. Abouelyousr, and R. Jabbour, "Risk identification and assessment in sustainable construction projects in the UAE," *International Journal of Construction Management*, vol. 21, no. 4, pp. 327-336, 2021.

[6] O. o. N. B. Regulations, *Topic 11: Industrial design and execution of buildings*. Iran Development Publishing, 2013, p. 112.

[7] D. Hillson, *Managing risk in projects*. Routledge, 2017.

[8] M. Al-Mhdawi, M. Brito, B. Onggo, A. Qazi, A. O'Connor, and M. Namian, "Construction Risk Management in Iraq during the COVID-19 Pandemic: Challenges to Implementation and Efficacy of Practices," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 149, no. 9, p. 04023086, 2023.

[9] M. T. Hatamleh, G. P. Moynihan, R. G. Batson, A. Alzarrad, and O. Ogunrinde, "Risk assessment and ranking in the developing countries' construction industry: the case of Jordan," *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 30, no. 4, pp. 1344-1364, 2023.

[10] M. R. Shahraki and j. Mesri, "Risk Assessment and Prioritization of Construction Projects with a Mixed-Dimensional Approach and Network Analysis Process (Case Study: Sistan-Hamoun Plain 2 Water Supply Project)," *Journal of Structural and Construction Engineering*, vol. 8, no. Special Issue 3, pp. -, 2021, doi: 10.22065/jsce.2020.213774.2036.

[11] N. Javed, M. J. Thaheem, B. Bakhtawar, A. R. Nasir, K. I. A. Khan, and H. F. Gabriel, "Managing risk in green building projects: toward a dedicated framework," *Smart and Sustainable Built Environment*, 2019.

[12] A. Karamoozian and D. Wu, "A hybrid risk prioritization approach in construction projects using failure mode and effective analysis," *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2020.

[13] M. Khosravi, H. Sarvari, D. W. Chan, M. Cristofaro, and Z. Chen, "Determining and assessing the risks of commercial and recreational complex building projects in developing countries: a survey of experts in Iran," *Journal of Facilities Management*, 2020.

[14] B. Danesh Taqi Dizaj and L. Hosseinzadeh, "Identify, evaluate and prioritize risks (technical, executive, financial) in the implementation of massive steel structures using Analytical Hierarchy Process," presented at the 2nd International Conference on New Horizons in Basic Science and Engineering, Tehran, Iran, 2019.

[15] J. Gao, H. Ren, and W. Cai, "Risk assessment of construction projects in China under traditional and industrial production modes," *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2019.

[16] Z. Jin, J. Gambatese, D. Liu, and V. Dharmapalan, "Using 4D BIM to assess construction risks during the design phase," *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2019.

[17] S. Taheri and E. Zeighami, "Evaluation and prioritization of executive risks in concrete structures with special concretes using multi-criteria decision making methods," presented at the Second International Conference on New Horizons in Basic Science and Engineering, 2019.

[18] T. Khademi Adel and M. Akhbari, "Assess and prioritize construction project risks using fuzzy data envelopment analysis (FDEA)," presented at the 3rd International Conference on Industrial Engineering and Management, Tehran, Iran, 2017.

[19] T. L. Saaty, "A scaling method for priorities in hierarchical structures," *Journal of mathematical psychology*, vol. 15, no. 3, pp. 234-281, 1977.

[20] S. M. Nabavi Fard and M. Hamzehpour, *DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory)*. Tehran, Iran: Tehran National Defense University, 2019, p. 161.

[21] A. N. Mashayekhi, A. A. Farhangi, M. Momeni, and C. Ali Dosti, "Investigating the Key Factors Affecting the Application of Information Technology in Iranian Government Organizations: Application of Delphi Method," *Journal of Humanities Teacher*, vol. 9, no. 3, pp. 191-231, 2005.

[22] R. C. Schmidt, "Managing Delphi surveys using nonparametric statistical techniques," *decision Sciences*, vol. 28, no. 3, pp. 763-774, 1997.

[23] Y. Dias, P. Keerthan, and M. Mahendran, "Predicting the fire performance of LSF walls made of web stiffened channel sections," *Engineering Structures*, vol. 168, pp. 320-332, 2018.

[24] H. Yazdani Sarvestani, A. Akbarzadeh, H. Niknam, and K. Hermenean, "3D printed architected polymeric sandwich panels: Energy absorption and structural performance," *Composite Structures*, vol. 200, pp. 886-909, 2018.