Developing an Integrated Simulation Model of Bayesian-networks to Estimate the Completion Cost of a Project under Risk: Case Study on Phase 13 of South Pars Gas Field Development Projects

Ali Namazian

*Corresponding author, PhD. Candidate, Department of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: a.namazian@ut.ac.ir

Siamak Haji Yakhchali

Assistant Prof., Department of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: yakhchali@ut.ac.ir

Abstract

Objective: The aim of this paper is to propose a new approach to assess the aggregated impact of risks on the completion cost of a construction project. Such an aggregated impact includes the main impacts of risks as well as the impacts of interactions caused by dependencies among them.

Methods: In this study, Monte Carlo simulation and Bayesian Networks methods are combined to present a framework to assess the aggregated impact of risks on a construction project's completion cost.

Results: Project risk assessment, regardless of the interactions between them, leads to prioritization of risks and does not provide any indicator to assess the aggregated effect of risks on the entire project. Achieving a nearly accurate estimate of the project completion time or cost requires consideration of the probabilities and effects of the risks, as well as the interdependencies among them simultaneously.

Conclusion: The integrated model presented in this paper, in addition to providing a framework to evaluate the direct impact of risks on activities or work packages of a construction project, is able to assess the sensitivity of the project completion cost to the occurrence of the risks by considering the probabilities, effects and interdependencies. According to the results of the sensitivity analysis, the probabilities of "shortage of resources", "inefficiency in project financing" and "poor design" are the main causes of delay in a gas refinery construction project.

Keywords: Risk assessment, Aggregated risk, Bayesian networks, Simulation, Construction project.

Citation: Namazian, A., Haji Yakhchali, S. (2018). Developing an Integrated Simulation Model of Bayesian-networks to Estimate the Completion Cost of a Project under Risk: Case Study on Phase 13 of South Pars Gas Field Development Projects. *Industrial Management Journal,* 10(3), 407-428. (*in Persian*)

Industrial Management Journal, 2018, Vol. 10, No.3, pp. 407-428

DOI: 10.22059/imj.2018.228669.1007202

Received: February 27, 2017; Accepted: July 07, 2018

© Faculty of Management, University of Tehran

ارائه یک مدل ترکیبی شبیه‌سازی ـ شبکه‌های بیز برای ارزیابی هزینه تکمیل پروژه در شرایط ریسک (مورد مطالعه: پروژه ساخت پالایشگاه فاز ۱۳ میدان گازی پارس جنوبی)

علی نمازیان

* نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: a.namazian@ut.ac.ir

سیامک حاجی یخچالی

استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: yakhchali@ut.ac.ir

چکیده

هدف: هدف این مقاله ارائه رویکردی نوین برای ارزیابی اثر تجمیعی ریسک‌ها بر هزینه تکمیل پروژه است. این اثر تجمیعی، دربرگیرنده آثار اصلی ریسک‌ها و همچنین تأثیرات برهم‌کنش نشئت‌گرفته از وابستگی‌های بین آنهاست.

روش: در این مقاله، با ترکیب روش‌های شبیه‌سازی مونت‌کارلو و شبکه‌های بیزین، ساختاری برای ارزیابی اثر تجمیعی ریسک‌ها بر هزینه تکمیل پروژه ارائه می‌شود. ساختار فوق، با مد نظر قراردادن برهم‌کنش‌های بین ریسک‌ها، شاخصی برای ارزیابی برآیند تأثیر ریسک‌ها ارائه می‌کند.

یافته‌ها: ارزیابی ریسک‌ها به‌صورت مستقل، صرفاً به اولویت‌بندی ریسک‌ها منجر می‌شود و شاخصی را برای بیان کردن برآیند آثار ریسک‌ها بر کل پروژه ارائه نمی‌دهد. برای دست یافتن به تخمین نزدیک به واقع از زمان یا هزینه تکمیل پروژه، باید همزمان احتمالات، تأثیر ریسک‌ها و همچنین وابستگی‌های موجود بین آنها را مد نظر قرار داد.

نتیجه‌گیری: مدل ترکیبی پیشنهاد شده در این مقاله، علاوه بر ارائه ساختاری برای ارزیابی اثرگذاری مستقیم ریسک‌ها بر فعالیت‌ها یا بسته‌های کاری پروژه، می‌تواند حساسیت هزینه تکمیل پروژه نسبت به هر یک از ریسک‌ها را با مد نظر قرار دادن احتمالات، اثرها و وابستگی‌های بین آنها، ارزیابی کند. بر اساس تحلیل حساسیت انجام گرفته در مورد مطالعاتی مسئله، ریسک‌های «احتمال کمبود منابع»، «احتمال ناکارایی شرکت در تأمین مالی پروژه» و «احتمال طراحی ضعیف»، مهم‌ترین ریسک‌های مؤثر بر هزینه تکمیل پروژه ساخت یک پالایشگاه‌اند که در صورت وقوع، بیشترین تأثیر را در افزایش هزینه پروژه می‌گذارند.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی ریسک، اثر تجمیعی ریسک‌ها، برهم‌کنش بین ریسک‌ها، شبکه‌های بیز، شبیه‌سازی.

استناد: نمازیان، علی؛ حاجی یخچالی، سیامک (۱۳۹۷). ارائه یک مدل ترکیبی شبیه‌سازی ـ شبکه‌های بیز برای ارزیابی هزینه تکمیل پروژه در شرایط ریسک (مورد مطالعه: پروژه ساخت پالایشگاه فاز ۱۳ میدان گازی پارس جنوبی). *فصلنامه مدیریت صنعتی*، ۱۰(۳)، ۴۰۷- ۴۲۸.

فصلنامه مدیریت صنعتی، ۱۳۹۷، دوره ۱۰، شماره ۳، صص. ۴۰۷-۴۲۸

DOI: 10.22059/imj.2018.228669.1007202

دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۹، پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۱۶

© دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

مقدمه

هر سازمانی برای نیل به اهداف و استراتژی‌های کلان تصریح شده در منشور سازمانی خود، پروژه‌های مختلفی را پیاده‌سازی می‌کند. با بررسی شرایط واقعی این پروژه‌ها، به‌جرئت می‌توان ادعا کرد که به‌ندرت سازمانی در تکمیل به‌موقع؛ در ضمن تحقق اهداف مالی ـ کیفی تعریف شده، موفق شده است. یکی از مهم‌ترین عواملی که سبب اتمام ابتر بسیاری از پروژه‌ها می‌شود، بی‌توجهی به تأثیر ریسک‌های موجود در سطح پروژه‌هاست که اثر تجمیعی ایجاد شده از این ریسک‌ها، اتمام مطلوب پروژه‌ها را با مانع مواجه می‌کند. به بیان دیگر، آثار برهم‌کنش بین ریسک‌ها سبب می‌شود که اثر تجمیعی به وجود آمده، از مجموع آثار ریسک‌ها بیشتر شود که در رویکردهای متداول ارزیابی ریسک پروژه، این موضوع چندان در کانون توجه قرار نمی‌گیرد. روش‌های شبیه‌سازی مانند روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو، از جمله روش‌های موجود برای ارزیابی تأثیر ریسک‌ها بر اهداف عملکردی پروژه‌ها، من‌جمله زمان و هزینه تکمیل پروژه است که بدون در نظرگرفتن تأثیر برهم‌کنش بین ریسک‌ها، به ارزیابی اثر ریسک‌ها بر پروژه می‌پردازد. از طرف دیگر، رویکرد شبکه‌های بیز برای مدل‌سازی ارتباطات بین متغیرها توسعه داده شده است که ابزار مناسبی برای مد نظر قراردادن برهم‌کنش بین ریسک‌ها محسوب می‌شود. از این رو، در مقاله حاضر با ترکیب روش‌های شبیه‌سازی مونت‌کارلو و شبکه‌های بیز، رویکردی برای ارزیابی اثر تجمیعی ریسک‌ها بر هزینه تکمیل پروژه توسعه داده می‌شود تا بتوان به شاخصی برای ارزیابی اثر تجمیعی ریسک‌ها دست یافت. از طرف دیگر، توجه به ریسک و مدیریت آن در پروژه‌های نفت و گاز، به‌سبب حساسیت زیاد این پروژه‌ها در کشور (به لحاظ استراتژیک بودن، حجم بالای سرمایه‌گذاری (حدود ۴۵۰ میلیارد دلار)، ارتباط با تأمین‌کنندگان مختلف داخلی و خارجی) اهمیت دو چندانی می‌یابد و لزوم طراحی رویکردی برای ارزیابی ریسک‌ها را ضروری می‌کند. در این مقاله، پروژه ساخت پالایشگاه فاز ۱۳ میدان گازی پارس جنوبی، به‌عنوان مورد مطالعه صنعتی برای اعتبارسنجی مدل ارائه شده، انتخاب شده است.

پیشینه پژوهش

پژوهشگران از روش‌های مختلفی برای ارزیابی ریسک پروژه‌ها استفاده کرده‌اند که از آن جمله می‌توان به روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره[1]، تجزیه و تحلیل عوامل شکست و آثار آن[2]، تحلیل درخت خطا[3]، شبیه‌سازی مونت‌کارلو و شبکه‌های بیز[4] اشاره کرد. در ادامه، برخی از مطالعات انجام شده در این زمینه معرفی می‌شود.

صیادی، حیاتی و منجزی (۱۳۹۰)، ارزیابی ریسک‌های پروژه ساخت تونل را با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره بررسی کردند. آنها پس از شناسایی ریسک‌های پروژه، وزن معیارها را بر اساس نظر خبرگان و روش آنتروپی شانون به دست آوردند. در مرحله بعد، برای ارزیابی و اولویت‌بندی نهایی ریسک‌ها، از تلفیق روش‌های «اولویت‌بندی بر اساس شباهت به راه حل ایده‌آل»[5] یا تاپسیس، تخصیص خطی و مجموع وزین استفاده کردند.

1. Multi Criteria Decision Making (MCDM)
2. Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)
3. Fault Tree Analysis (FTA)
4. Bayesian Networks (BNs)
5. Technique for order-Preference by Similarity to ideal Solution

در پژوهش دیگر، امین‌بخش، گانداز و سونمز[1] (۲۰۱۳)، چارچوبی برای ارزیابی ریسک ایمنی بر اساس مدل هزینه ایمنی و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی[2] ارائه کردند. این چارچوب مدل پایداری را برای اولویت‌بندی ریسک‌های ایمنی در پروژه‌های ساخت فراهم کرد تا اهداف واقع‌گرایانه بدون به خطر افتادن ایمنی تنظیم شود. چاترجی، زاوادکاس، تموسیتین، ادهیکاری و کر[3] (۲۰۱۸)، ارزیابی ریسک‌ها در پروژه‌های ساخت با چندین ذی‌نفع را بررسی کردند و به‌منظور ایجاد توازن بین ذی‌نفعان مختلف، از منطق روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره بهره بردند. آنان با هدف غلبه بر عدم قطعیت‌های موجود و به‌کار بردن تئوری اعداد دی[4]، روش تحلیل شبکه‌ای را توسعه دادند. همچنین پایایی مدل ارائه شده را با استفاده از تحلیل حساسیت، ارزیابی و صحه‌گذاری کردند.

چنگ و لو[5] (۲۰۱۵)، یک متدولوژی ارزیابی ریسک را برای مواجهه با ریسک‌های پروژه‌های ساخت در شرایط پیچیده توسعه دادند. در مطالعه آنها از مدل ارزیابی ریسک مبتنی بر منطق فازی و رویکرد تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد که تکنیک منطق فازی در این رویکرد، ابزار سودمندی برای مقابله با عدم قطعیت‌ها در فرایند ساخت بود. ولی‌پور و قاسم‌نیا (۱۳۹۵)، ریسک شکست تجهیزات پزشکی را مطالعه کردند. آنها پس از جمع‌آوری اطلاعات مربوط به انواع تجهیزات پزشکی و همچنین ریسک‌های شکست بالقوه، به ارزیابی ریسک‌ها پرداختند. بدین منظور از روش «تجزیه و تحلیل عوامل شکست و آثار آن» که با منطق فازی ترکیب شده بود، بهره بردند و ریسک‌های اصلی مرتبط با شکست تجهیزات پزشکی را شناسایی کردند.

دیکمن، برگونال و هان[6] (۲۰۰۷)، روش ارزیابی ریسک فازی برای پروژه‌های ساخت بین‌المللی را پیشنهاد دادند. آنها علاوه بر متدولوژی توسعه داده شده، ابزاری برای پیاده‌سازی آن نیز ارائه کردند. در روش پیشنهاد شده آنان، از روش نمودار تأثیر برای ایجاد مدل ریسک و از روش ارزیابی ریسک فازی برای تخمین درجه ریسک افزایش هزینه پروژه استفاده شده است. وانگ، ژانگ، وانگ و لی[7] (۲۰۱۸)، چارچوب تصمیم‌گیری چند معیاره‌ای را برای ارزیابی ریسک پروژه‌های ساخت با استفاده از اطلاعات تصویر فازی توسعه دادند. آنها پس از شناسایی محدودیت‌های موجود در مدل‌های تصویرسازی فازی، یک مدل تصویرسازی نرمال فازی را به‌منظور غلبه بر محدودیت‌ها ارائه دادند، سپس از وزن‌های آنتروپی برای وزن‌دهی به معیارها استفاده کردند.

رودریگرز، اورتگا و کانسپسیئون[8] (۲۰۱۶)، از ترکیب فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و سیستم استنتاج فازی، یک روش ارزیابی ریسک برای پروژه‌های فناوری اطلاعات پیشنهاد دادند که در آن، سطوح مختلف عدم قطعیت، روابط متقابل بین گروه‌های عوامل ریسکی و امکان افزودن یا حذف گزینه‌ها بدون از دست رفتن سازگاری با ارزیابی‌های قبلی، مد نظر قرار گرفته است. ژنگ، آن و اسمیت[9] (۲۰۰۷)، از طریق ترکیب روش‌های استنتاج فازی با FMEA و اعمال آن برای پروژه‌های ساخت، رویکردی برای ارزیابی ریسک پیشنهاد کردند تا ریسک‌های فنی بالقوه را شناسایی و اولویت‌بندی کنند. این مدل رابطه بین احتمال رخداد، شدت اثر و احتمال کشف را با سطح بحرانی بودن ریسک‌ها، در سه مرحله شامل

1. Aminbakhsh, Gunduz, & Sonmez
2. Analytical Hierarchy Process (AHP)
3. Chatterjee, Zavadskas, Tamošaitienė, Adhikary, & Kar
4. D-Digit
5. Cheng, & Lu
6. Dikmen, Birgonul, & Han
7. Wang, Zhang, Wang, & Li
8. Rodríguez, Ortega, & Concepción
9. Zeng, An, & Smith

فازی‌سازی، استنباط فازی و غیرفازی‌سازی، ترسیم کرده است. جمشیدی، رحیمی، ایتکادی، ربیعیا و روئیز[1] (۲۰۱۵)، چارچوب یکپارچه‌ای مبتنی بر ترکیب روش‌های FMEA فازی و تحلیل خاکستری معرفی کردند تا ریسک را از طریق بررسی عدم قطعیت‌ها در پروژه‌های برنامه‌ریزی منابع سازمانی[2] تحلیل کنند. در این چارچوب، روش سیستماتیکی برای در نظرگرفتن وابستگی بین فرایندهای ارزیابی ریسک پیشنهاد شده است. یانگ، لین، لین و هوآنگ[3] (۲۰۰۶)، با استفاده از تکنیک FMEA، روشی برای ارزیابی سیستماتیک از ریسک‌های پروژه‌های ERP پیشنهاد دادند. در این مدل، ماتریس عملکرد سیستم معرف استاندارد، بر اساس ماتریس ارزیابی عملکرد، ایجاد شده است.

لیو و وی[4] (۲۰۱۸)، برای ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌ها در پروژه‌های زیربنایی مرتبط با شارژ وسایل نقلیه الکتریکی، رویکرد یکپارچه‌ای را مبتنی بر روش تاپسیس فازی ارئه دادند. در نهایت، بر اساس اطلاعات جمع‌آوری‌شده از پرسش‌نامه، سطح اثرگذاری ریسک‌ها تعیین شد و ریسک‌های با اولویت و اثرگذاری زیاد مشخص شدند. گیرزاک[5] (۲۰۱۴)، یک مدل ریاضی مبتنی بر تئوری مجموعه‌های فازی و تحلیل درخت خطا برای ارزیابی کیفی و کمی ریسک پروژه‌های حفاری توسعه داد. در مدل معرفی شده، برای کاهش عدم قطعیت‌های موجود در روش کلاسیک تحلیل درخت خطا، از تئوری مجموعه‌های فازی استفاده شده است. هان، مین، چو، پارک و لی[6] (۲۰۱۵)، یک سیستم مدیریت ریسک را برای پروژه‌های حفر تونل پیشنهاد دادند. آنها پس از دسته‌بندی عوامل ریسکی، رویکردی ترکیبی از روش‌های تحلیل درخت خطا و تحلیل سلسله‌مراتبی با در نظر گرفتن احتمال و تأثیر ریسک‌ها توسعه دادند. لیانگ، هو، ژانگ، گیو و لین[7] (۲۰۱۲)، رویکرد جدیدی برای ارزیابی و تحلیل الگوی ریسکِ دخالت شخص ثالث در پروژه‌های احداث خطوط انتقال را با کاربرد تکنیک‌های نقشه خودسازماندهی شده[8] و تحلیل درخت خطا معرفی کردند. آنها برای ایجاد سیستم ارزیابی ریسک، از درخت خطا استفاده کردند و در ادامه به‌کمک روش SOM، به دسته‌بندی الگوهای ریسک چند پارامتری پرداختند. ژنگ و اسکیبنیوسکی[9] (۲۰۱۳)، یک رویکرد ارزیابی ریسک احتمالی را برای پروژه‌های ERP بر اساس تحلیل درخت خطا پیشنهاد دادند که در آن رابطه بین مؤلفه‌های سیستم ERP و فاکتورهای ریسک، مدل‌سازی شده است. رویکرد آنها را می‌توان برای کمی‌سازی تأثیر معکوس عوامل ریسک بر شکست مؤلفه‌های ERP و همچنین، محاسبه احتمال شکست استفاده از سیستم ERP به کار برد.

لوئیزو و فرنچ[10] (۲۰۱۲)، کارایی استفاده از روش شبیه‌سازی در پروژه‌های توسعه‌ای را با فرض نبود اطلاعات مناسب و همچنین ناتوانی در توجیه روابط انسانی در فرایندهای توسعه‌ای، بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل شبیه‌سازی مونت‌کارلو بایستی در رویکرد تکمیلی با در نظر گرفتن قضاوت انسانی استفاده شود. جوبرت و پرتوریس[11] (۲۰۱۷)، از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای تسهیل فرایند شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌ها در پروژه‌های ساخت راه‌آهن استفاده کردند. در این پژوهش، ابتدا فهرستی از ریسک‌های موجود در ۳۸ گروه مختلف تهیه شد، سپس با استفاده از روش شبیه‌سازی

1. Jamshidi, Rahimi, Ait-kadi, Rebaiaia, & Ruiz
2. Enterprise Resource Planning (ERP)
3. Yang, Lin, Lin, Huang
4. Liu, J., & Wei
5. Gierczak
6. Hyun, Min, Choi, Park, & Lee
7. Liang, Hu, Zhang, Guo, & Lin
8. Self Organizing Map (SOM)
9. Zeng, & Skibniewski
10. Loizou, & French
11. Joubert, Pretorius

مونت کارلو، ریسک‌ها اولویت‌بندی شدند. در این روش، ریسک‌ها مستقل از هم در نظر گرفته شده‌اند. عالم تبریز، خالدیان و مهدی‌پور (۱۳۹۵)، ارزیابی ریسک‌های پروژه را با هدف تحت کنترل بودن زمان تکمیل پروژه انجام دادند. آنها پس از شناسایی ریسک‌های پروژه، با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو، میزان اثرگذاری ریسک‌ها را بر حدود مجاز زمانی پروژه تعیین کردند. بدین ترتیب ریسک‌های بحرانی شناسایی شدند.

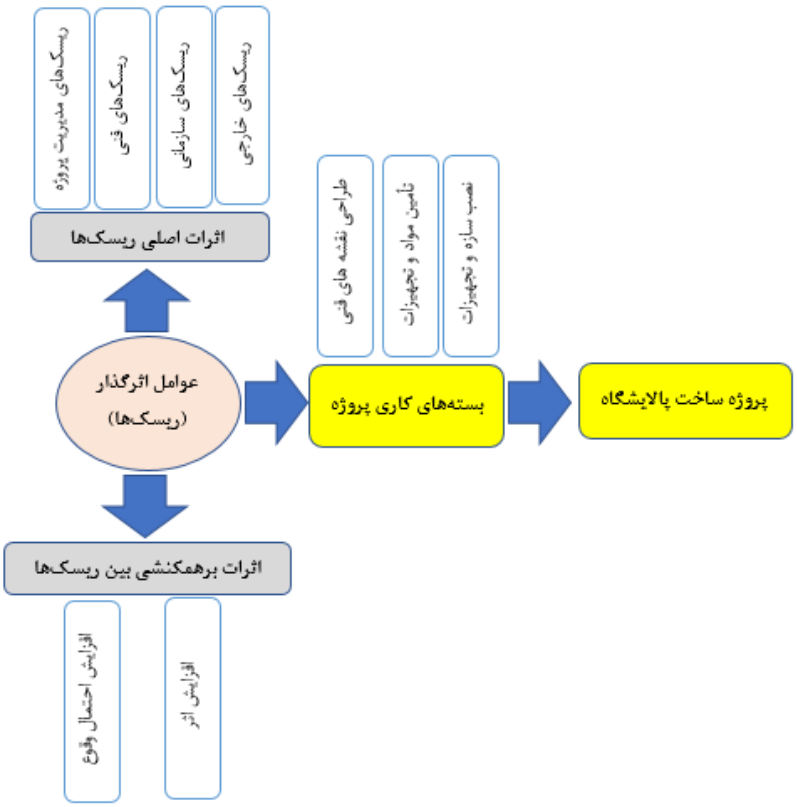
لو و چانگ[1] (۲۰۱۳)، مدلی مبتنی بر روش شبکه‌های بیز برای ارزیابی ریسک ایمنی در پروژه‌های ساخت، ارائه کردند. مدل شبکه‌های بیز که بر اساس تبدیل درخت خطا بود، با ۹ پروژه ساخت صحه‌گذاری شد. نتایج این پژوهش نشان داد فرایند تبدیل از درخت خطا به شبکه‌های بیز، ارزیابی واقعی و دقیقی از ریسک ایمنی در پروژه‌های ساخت به دست می‌دهد. هو، ژانگ، نگای، کای و لیو[2] (۲۰۱۳)، به‌منظور اجرای تحلیل علّی ـ عاملی بین عوامل ریسکی و پیامدهای حاصل از پروژه‌ها، یک چارچوب مدل‌سازی را با استفاده از شبکه‌های بیز با محدودیت‌های علّیت برای تحلیل ریسک پروژه‌های توسعه نرم‌افزار پیشنهاد دادند. از چارچوب توسعه‌یافته می‌توان برای کشف روابط جدید و همچنین صحه‌گذاری روابط موجود بین عوامل ریسکی و پیامدهای حاصل از پروژه‌ها استفاده کرد. لو، کیم، توئن و اوگونلانا[3] (۲۰۰۹)، نحوه کاربرد روش شبکه‌های بیز در پیش‌بینی احتمال تأخیر در زمان‌بندی پروژه‌های ساخت را تشریح کردند. بدین منظور ۱۶ عامل ریسک و ۱۸ رابطه علّی ـ معلولی بین این عوامل شناسایی شد تا مدل شبکه‌های بیز توسعه یابد. آنها بر اساس نتایج تحلیل حساسیت بیان کردند که تأخیر در پروژه‌های ساخت، عمدتاً از عواملی همچون کمبود مواد، عملیات ناتمام و همچنین تحویل کند سایت، نشئت می‌گیرد.

مدل مفهومی پژوهش

شکل ۱ مدل مفهومی روشی را که در این پژوهش پیشنهاد شده، به نمایش گذاشته است. در اغلب رویکردهای توسعه داده شده برای ارزیابی ریسک پروژه، ریسک‌ها به‌صورت مستقل بررسی شده‌اند و شاخصی که بیان‌کننده برآیند تأثیر ریسک‌ها بر اهداف عملیاتی پروژه باشد، ارائه نشده است. همان‌گونه که آتش‌سوز، فیضی، کزازی و الفت (۱۳۹۴) نیز بیان کرده‌اند، ریسک‌ها از یکدیگر مستقل نیستند و کاهش یک ریسک می‌تواند سبب کاهش یا افزایش ریسک دیگر شود. در روش‌هایی همچون شبکه‌های بیز، می‌توان روابط بین ریسک‌ها را مدل‌سازی کرد. بر اساس شکاف پژوهشی موجود، پژوهشگرانی که از روش شبکه‌های بیز برای مدل‌سازی ریسک‌های پروژه استفاده کرده‌اند، فقط در تحلیل‌های انجام شده، احتمالات مربوط به ریسک‌ها را در نظر گرفته‌اند و تأثیر ریسک‌ها که از شاخص‌های اساسی در ارزیابی و مدیریت ریسک‌های پروژه است را مد نظر قرار نداده‌اند. همچنین، ارتباط بین ریسک‌های پروژه و فعالیت‌های پروژه بیان نشده است. از طرف دیگر، در روش‌های شبیه‌سازی همچون مونت‌کارلو، ریسک‌های پروژه، بدون در نظر گرفتن برهم‌کنش‌های موجود بین آنها ارزیابی شده‌اند. این آثار، می‌تواند سبب تشدید اثرگذاری ریسک‌ها بر بسته‌های کاری پروژه و در نهایت بر کل پروژه شوند. همچنین، در مدل‌سازی تأثیر ریسک‌ها، فقط از تصویرسازی توزیع‌های احتمالی برای ارزیابی هزینه انجام فعالیت‌ها استفاده شده و به اثرگذاری مستقیم ریسک‌ها بر فعالیت‌ها یا بسته‌های کاری توجه نشده است. در صورتی که تعریف توزیع‌های احتمالی برای

1. Leu, & Chang
2. Hu, Zhang, Ngai, Cai, & Liu
3. Luu, Kim, Tuan, & Ogunlana

هزینه فعالیت‌ها، به‌راحتی امکان‌پذیر نیست و نمی‌تواند بیان‌کننده مناسبی از اثرگذاری ریسک بر فعالیت‌های پروژه و نیز، هزینه آنها باشد (کریمرز، دمیولمستر و ون در وندر[1]، ۲۰۱۴). در این پژوهش، مدلی برای ارزیابی آثار تجمیعی ریسک‌ها که شامل احتمالات و تأثیرات اصلی ریسک‌ها و همچنین احتمالات و اثرهایی که از برهم‌کنش بین ریسک‌ها ایجاد شده، ارائه می‌شود. ریسک‌ها در حوزه‌های مختلفی همچون ریسک‌های مرتبط با مدیریت پروژه، ریسک‌های سازمانی، ریسک‌های فنی و ریسک‌های خارجی، روی بسته‌های کاری پروژه که آن هم شامل مواردی همچون طراحی نقشه‌های فنی، تأمین مواد و تجهیزات و نصب سازه است، تأثیر می‌گذارند و سبب تکمیل بسته‌های کاری با هزینه بیشتر شده و در نهایت، هزینه تکمیل پروژه را افزایش می‌دهند. بنابراین، در پژوهش حاضر با مدل‌سازی اثرگذاری مستقیم ریسک‌ها بر بسته‌های کاری پروژه و همچنین مدل‌سازی برهم‌کنش‌های میان آنها، رویکردی برای ارزیابی هزینه تکمیل پروژه که هدف اصلی این پژوهش است، ارائه خواهد شد.



شکل ۱. مدل مفهومی مسئله

روش‌شناسی پژوهش

در این بخش از مقاله، ابتدا رویکرد شبکه‌های بیز معرفی شده و در ادامه ساختار توسعه داده شده که به صورت ترکیبی از روش‌های شبیه‌سازی مونت‌کارلو و شبکه‌های بیز است، ارائه می‌شود.

1. Creemers, Demeulemeester, & Van de Vonder

شبکه‌های بیز

شبکه‌های بیز، ساختارهای نموداری هستند که برای نمایش روابط احتمالی بین تعداد زیادی متغیر و انجام استنباط احتمالی با آن متغیرها به کار می‌روند. شبکه‌های بیز، گراف‌های غیرمدور مستقیمی هستند که هر گره در مفهوم قاعده بیز، نشان‌دهنده یک متغیر است. یال‌های این شبکه نیز وابستگی‌های شرطی را بیان می‌کند. گره‌هایی که فاقد یال ورودی باشند، گره‌های والد نام دارند و گره‌هایی که از سایر گره‌ها به آنها یال وارد شود، گره‌های فرزند هستند (خداکرمی و عبدی[1]، ۲۰۱۴). هر گره یک تابع احتمال دارد که شامل احتمال اولیه (برای گره‌های بدون والد) یا احتمالات شرطی مربوط به حالت‌های مختلف گره‌های والد است. یکی از مزایای شبکه‌های بیز این است که علاوه بر داده‌های تاریخی (داده‌های عینی) از قضاوت ذهنی خبرگان نیز استفاده می‌کند.

اگر $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ مجموعه متغیرها باشد، توزیع توأم کامل متغیرهای $x_1, x_2, \dots, x_n$ به‌وسیله توزیع‌های شرطی یک متغیره‌ای تعیین می‌شود که به هر یک از گره‌ها در شبکه بیز اختصاص یافته است؛ یعنی طبق خاصیت زنجیری پیرل که در قالب رابطه ۱ نشان داده شده است.

$$P(X) = P(x_1, x_2, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^{n} P(x_i | Pa(x_i)) \quad \text{رابطه ۱)}$$

در رابطه بالا، منظور از $Pa(x_i)$ همان والدین گره x_i است. رابطه ۱ دلیل اصلی فرمول‌بندی توزیع چندمتغیره به‌وسیله شبکه‌های بیزی است. تعریف توزیع چند متغیره توأم با حاصل‌ضرب توزیع‌های شرطی تکی، موجب کاهش چشمگیر تعداد پارامترها می‌شود.

ساختاربندی مدل

در این بخش از مقاله، ساختار توسعه داده شده برای ارزیابی ریسک تجمیعی پروژه ارائه می‌شود. این ساختار، در قالب یک مدل شبیه‌سازی، شاخصی برای ارزیابی برآیند تأثیر ریسک‌هایی که می‌تواند به افزایش هزینه کل پروژه منجر شود، ارائه می‌کند. در ادامه، پارامترها، روابط محاسباتی و ساختار مدل تشریح خواهند شد.

پارامترهای مسئله

p: اندیس پروژه

c: اندیس هزینه

k: اندیس ریسک

r: اندیس بسته کاری

$\propto$: اندیس اثر افزایش هزینه

i: سطح ریسک پروژه (h، m و l برای سطوح بالا، متوسط و پایین)

1. Khodakarami, & Abdi

R_p: میزان ریسک پروژه

R_P^C: اثر هزینه‌ای ریسک پروژه

R_k: ریسک kام پروژه

w_{rk}^C: هزینه اجرای بسته کاری r ام که تحت تأثیر ریسک kام است.

C_t: هزینه کل پروژه

$R_{rk}^{C'}$: اثر هزینه‌ای ریسک kام بر بسته کاری r ام (میزان افزایش هزینه بسته کاری r ام)

R_{rk}^C : اثر هزینه‌ای تجمیعی ریسک kام بر بسته کاری r ام

R_k^C: اثر تجمیعی هزینه‌ای ریسک kام

$Pa(R_k)$: مجموعه ریسک‌های والد ریسک kام

$\propto_{Pa(R_k)}^C$: میزان افزایش اثر هزینه‌ای ریسک kام در صورت وقوع ریسک‌های $Pa(R_k)$

$val(R_k)$: در صورت وقوع ریسک k ام برابر با ۱ و در غیر این صورت صفر در نظر گرفته می‌شود.

$val\big(Pa(R_k)\big)$: در صورت وقوع ریسک والد ریسک k ام برابر با ۱ و در غیر این صورت صفر در نظر گرفته می‌شود.

سطح ریسک پروژه نیز در سه سطح بالا، متوسط و پایین (h, m, l) بیان شده است.

آثار تجمیعی ریسک‌ها که نشئت گرفته از اثرگذاری آنها بر یکدیگر است، در کل اثر بزرگ‌تری از مجموع آثار منفرد ریسک‌ها ایجاد می‌کند که موجب می‌شود اجرای پروژه، به‌دلیل افزایش بیش از حد هزینه با شکست مواجه شود. برای محاسبه امید ریاضی اثر تجمیعی ریسک‌های برآمده از اثرهای اصلی و اثرهای برهم‌کنشی آنها، باید احتمال و اثر آن محاسبه شود. احتمال آن با توجه به تئوری شبکه‌های بیز از طریق حاصل‌ضرب توابع احتمال حاشیه‌ای ریسک‌ها محاسبه می‌شود. با توجه به روابط شبکه‌های بیز، احتمالات ریسک پروژه (بالا، متوسط یا پایین بودن ریسک افزایش هزینه پروژه)؛ به‌صورت رابطه ۲ است.

$$P(R_P = i) = \sum_{R_k}\left(\prod_k P\big(R_k|Pa(R_k)\big) \times P(R_P = i|Pa(R_P))\right) \qquad \text{رابطه ۲)}$$

برای محاسبه تأثیر تمام ریسک‌ها، باید آثار تجمیعی آنها که شامل اثرهای اصلی و اثرهای برهم‌کنشیِ نشئت گرفته از وقوع ریسک‌های والد است، محاسبه شود. این آثار برهم‌کنشی، سبب تشدید اثر یک ریسک خواهد شد. اثر هزینه‌ای تجمیعی ریسک k ام پروژه بر فعالیت (بسته‌کاری) rام و همچنین اثر هزینه‌ای تجمیعی ریسک k ام پروژه به‌صورت رابطه‌های ۳ و ۴ است.

$$R_{rk}^C = val(R_k) \times R_{rk}^{C'} \times \left(1 + \max_{Pa(R_k)}\left[val\big(Pa(R_k)\big) \times \propto_{Pa(R_k)}^C\right]\right) \qquad \text{رابطه ۳)}$$

$$R_k^C = \sum_r val(R_k) \times R_{rk}^{C'} \times \left(1 + \max_{Pa(R_k)}\left[val\left(Pa\big(R_{kj}\big)\right) \times \propto_{Pa(R_k)}^C\right]\right) \times \frac{w_{rk}^C}{C_t} \qquad \text{رابطه ۴)}$$

در رابطه‌های ۳ و ۴، از بین اثرهای مربوط به ریسک‌های والد، بزرگ‌ترین اثر در نظر گرفته شده است. با توجه به رابطه ۲، امید ریاضی شرطی مقدار تجمیعی ریسک‌های پروژه، به‌صورت رابطه ۵ خواهد بود:

$$E\left(R_P^C|R_P=i\right)=\sum_{R_k}\left(\prod_k P\left(R_k|Pa(R_k)\right)\times P(R_P=i|Pa(R_P))\times\sum_k R_k^C\right) \quad \text{رابطه ۵)}$$

و با توجه به رابطه ۶، مقدار ریسک تجمیعی افزایش هزینه پروژه (امید ریاضی میزان افزایش در هزینه پروژه) طبق رابطه ۷ محاسبه می‌شود.

$$E(x)=\sum_y E(x|Y=y)P(Y=y) \quad \text{رابطه ۶)}$$

$$E\left(R_P^C\right)=P(R_P=h).E\left(R_P^C|R_P=h\right)+P(R_P=m).E\left(R_P^C|R_P=m\right)+P(R_P=l).E\left(R_P^C|R_P=l\right) \quad \text{رابطه ۷)}$$

مراحل مدل

در ادامه، مراحلی که برای ارزیابی ریسک هزینه‌ای تجمیعی پروژه انجام شده است، شرح داده می‌شود.

مرحله ۱- شناسایی ریسک‌ها. ابتدا لازم است که ریسک‌های مطرح در سطح پروژه شناسایی شوند. رویکردهای مختلفی برای شناسایی ریسک‌ها وجود دارد که یکی از مهم‌ترین آنها طبقه‌بندی ریسک‌هاست. طبقه‌بندی ریسک‌ها، اثربخشی و کیفیت فرایند شناسایی ریسک را افزایش می‌دهد و ساختاری فراهم می‌آورد که ریسک‌ها به‌صورت ضابطه‌مند شناسایی شوند. همچنین در این مرحله می‌توان از روش‌هایی همچون مصاحبه، بازدید و مشاهده، طوفان فکری و دلفی نیز استفاده کرد. در روش طوفان فکری، ریسک‌های پروژه با توجه به نظر خبرگان و طی جلسات متعدد شناسایی می‌شوند. در روش دلفی نیز می‌توان فهرست ریسک‌ها را طی جلساتی همراه با یک تسهیل‌گر، شناسایی کرد؛ در این روش، تسهیل‌گر سبب ایجاد همگرایی نظر متخصصان پروژه می‌شود.

مرحله ۲- شناسایی برهم‌کنش بین ریسک‌ها. اغلب در فرایندهای مدیریت ریسک، از برهم‌کنش بین ریسک‌ها صرف نظر شده و احتمالات و آثار مربوط به ریسک‌ها، به‌صورت مستقل ارزیابی می‌شود. در شرایطی، وقوع یک ریسک می‌تواند سبب تشدید ریسک دیگر شود. به بیان دیگر، احتمالات و اثرهای مربوط به ریسک‌های مختلف، با توجه به احتمالات و اثرهای سایر ریسک‌ها تعیین می‌شود، از این رو باید شبکه برهم‌کنشی بین ریسک‌ها طراحی شود تا بتوان احتمالات و اثرهای ریسک‌ها را با دقت بیشتری برآورد کرد. برای ترسیم شبکه برهم‌کنش بین ریسک‌ها، نیاز است وابستگی‌های موجود بین ریسک‌ها مشخص شود؛ یعنی تعیین شود که وقوع چه ریسکی می‌تواند بر احتمال وقوع با اثر ریسک دیگر مؤثر باشد. بدین منظور می‌توان روابط بین ریسک‌ها را در قالب یک ماتریس زوجی و به‌صورت دوبه‌دو بررسی کرد. در این ماتریس مشخص می‌شود که آیا بین دو ریسک وابستگی وجود دارد یا نه و در صورت وجود رابطه، عامل اثرگذار و عامل اثرپذیر، کدام ریسک‌ها هستند.

مرحله ۳- شناسایی فعالیت‌ها (بسته‌های‌کاری) متأثر از ریسک‌ها. از آنجا که اثرگذاری ریسک‌ها بر یک پروژه، به‌واسطه اثرگذاری ریسک‌ها بر فعالیت‌ها یا بسته‌های کاری پروژه محقق می‌شود، لازم است که این فعالیت‌ها یا بسته‌های کاری مشخص شوند تا ارزیابی اثر ریسک‌ها روی کل پروژه امکان‌پذیر شود. در این مرحله، تعیین می‌شود که هر فعالیت (بسته کاری) تحت تأثیر کدام ریسک قرار دارد. در اینجا، اثرگذاری ریسک به مفهوم افزایش هزینه تکمیل آن فعالیت (بسته کاری) در صورت وقوع ریسک مربوطه است. پس از شناسایی آنها، وزن هر یک با محاسبه نسبت هزینه آن به هزینه کل پروژه به دست می‌آید. در این شرایط، مجموع حاصل‌ضرب اثر هر ریسک بر هر فعالیت (بسته کاری) در وزن آن فعالیت (بسته کاری)، گویای میزان تأثیر ریسک روی هزینه کل پروژه خواهد بود.

مرحله ٤- تشکیل جدول‌های مربوط به احتمالات اولیه و احتمالات شرطی. پس از ترسیم شبکه ریسک‌های پروژه، شامل ریسک‌های شناسایی شده همراه با روبط علّی ـ معلولی بین آنها، نیاز است که احتمالات مربوط به ریسک‌های اولیه (ریسک‌های بدون والد) و ریسک‌های ثانویه (ریسک‌های دارای والد) تعیین شود. بدین منظور می‌توان از متغیرهای کلامی با مقادیر عددی نظیر آنها، مطابق جدول ۱ استفاده کرد.

جدول ۱. محاسبه احتمالات وقوع ریسک‌های اولیه و ثانویه

عبارت	احتمال وقوع (تفسیر اصطلاح)	مقدار عددی نظیر
بسیار کم	ناممکن	۰/۱
کم	نامحتمل	۰/۳
متوسط	محتمل	۰/۵
زیاد	ممکن	۰/۷
خیلی زیاد	شایع	۰/۹

مرحله ۵- محاسبه آثار اولیه و آثار تشدیدکننده ریسک‌ها. در این مرحله آثار اصلی هر یک از ریسک‌ها و آثار برهم‌کنش بین آنها ارزیابی می‌شود. آثار اصلی هر یک از ریسک‌ها با مقداری بین صفر تا یک (اثر صفر درصدی تا ۱۰۰ درصدی) که نحوه تأثیر آن ریسک بر هزینه فعالیت (بسته‌کاری) مربوطه را نشان می‌دهد، تعیین می‌شود. آثار برهم‌کنش نیز گویای میزان افزایش اثر ریسک فرزند در صورت وقوع ریسک والد آن است. به بیان دیگر، وقوع هر ریسک می‌تواند سبب افزایش هزینه یک فعالیت یا بسته کاری شود. با توجه به وابستگی موجود بین ریسک‌ها، وقوع سایر ریسک‌ها نیز می‌تواند تأثیر ریسک‌ها را افزایش داده و در نهایت، هزینه تکمیل یک فعالیت یا بسته کاری را بیشتر از اثر اصلی ریسک افزایش دهد. برای ارزیابی آثار برهم‌کنش بین ریسک‌ها از جدول ۲ استفاده می‌شود.

جدول ۲. محاسبه میزان شدت تأثیر ریسک والد بر ریسک فرزند

$\propto^{C}_{Pa(R_k)}$	۰	۰/۲	۰/٤	۰/٦	۰/۸	۱
توصیف	بدون تأثیر	تأثیر خیلی کم (افزایش ۲۰ درصدی اثر)	تأثیر کم (افزایش ۴۰ درصدی اثر)	تأثیر متوسط (افزایش ۶۰ درصدی اثر)	تأثیر زیاد (افزایش ۸۰ درصدی اثر)	تأثیر خیلی زیاد (دو برابر شدن اثر)

در جدول ۲، مقدار صفر مربوط به شرایطی است که وقوع یک ریسک تنها روی احتمال ریسک دیگر اثرگذار باشد و تأثیر چندانی بر اثرهای ریسک‌های فرزند نگذارد.

مرحله ٦ـ سطح‌بندی ریسک‌ها. یکی از مراحل اصلی در شبیه‌سازی ریسک پروژه، سطح‌بندی ریسک‌هاست؛ به این معنا که ریسک‌ها بر اساس روابط برهم‌کنش بین آنها، در سطوح مختلف گروه‌بندی می‌شوند. این سطوح عبارت‌اند از:

- سطح اول: ریسک‌هایی که هیچ گونه والدی ندارند.
- سطح k ام: ریسک‌هایی که والدهای آنها بین سطح اول تا سطح K −۱ ام قرار داشته باشند (برای سطوح دوم تا آخر).

به بیان دیگر، سطح‌بندی ریسک‌ها با توجه به وابستگی‌های موجود بین ریسک‌ها انجام می‌شود. در این صورت می‌توان حالت‌های مختلف وقوع ریسک‌ها را با توجه به احتمالات مربوط به وقوع یا عدم وقوع ریسک‌های والد تعیین کرد و به زنجیره‌ای شامل حالت‌های مختلف وقوع ریسک‌ها دست یافت.

مرحله ۷- تولید اعداد تصادفی (بین صفر و یک) برای تمام ریسک‌ها و تعیین وضعیت وقوع/عدم وقوع ریسک‌ها بر اساس احتمالات اولیه و احتمالات شرطی. همان‌گونه که قبلاً بیان شد، ریسک‌های سطح اول، ریسک‌هایی هستند که تحت تأثیر سایر ریسک‌ها قرار نمی‌گیرند و به‌عنوان ریسک اثرگذار روی سایر ریسک‌ها عمل می‌کنند. ریسک‌های ثانویه، ریسک‌های هستند که تحت تأثیر سایر ریسک‌ها قرار می‌گیرند (به‌عنوان ریسک فرزند) و در عین حال می‌توانند روی سایر ریسک‌ها نیز اثرگذار باشند (به‌عنوان ریسک والد). در این مرحله برای تمام این ریسک‌ها اعداد تصادفی تولید می‌شود با این فرض که اگر مقدار عدد تولید شده برای ریسک‌ها کمتر از احتمال وقوع ریسک مربوطه باشد، نشان‌دهنده وقوع ریسک و در غیر این صورت گویای عدم وقوع ریسک است. این فرایند به‌ترتیب از سطح اول تا رسیدن به سطح آخر انجام می‌شود. در نتیجه در سطح آخر، وضعیت ریسک پروژه از حیث بالا، متوسط یا پایین بودن سطح این ریسک مشخص خواهد شد.

مرحله ۸- محاسبه اثر تجمیعی ریسک‌ها بر اساس وضعیت وقوع/ عدم وقوع. در این مرحله، با توجه به رابطه ۴، اثر تجمیعی هر یک از ریسک‌ها محاسبه می‌شود. این اثر نشان‌دهنده اثر هر ریسک با توجه به اثر اصلی آن و آثار تشدیدکننده ریسک‌های والد آن است. مجموع آثار تجمیعی تمام ریسک‌ها، یعنی $\sum_k R_k^C$ نیز گویای اثر تجمیعی ریسک افزایش هزینه پروژه خواهد بود.

مرحله ۹- تکرار مراحل ۷ و ۸ با توجه به تعداد تکرار از پیش‌تعیین شده. برای اطمینان بیشتر از نتایج مسئله، مراحل بیان شده چندین بار تکرار می‌شود تا پایداری جواب‌های به‌دست‌آمده، تضمین شود. از این رو پروسه بیان شده، از مرحله تولید اعداد تصادفی تا مرحله محاسبه اثر تجمیعی ریسک پروژه، به تعدادی که از پیش تعیین شده، تکرار می‌شود.

مرحله ۱۰- محاسبه مقدار ریسک تجمیعی ایجاد شده. بر اساس نسبت وقوع هر یک از سطوح ریسک پروژه، می‌توان احتمال سطح مربوطه را تعیین کرد. به بیان دیگر، اگر $N(R_P = h)$ معرف تعداد دفعاتی باشد که ریسک پروژه

در سطح بالا قرار گرفته و N_t نیز تعداد کل تکرارهای انجام شده را نشان دهد، احتمال اینکه ریسک پروژه در سطح بالا قرار گیرد، مطابق رابطه ۸ محاسبه می‌شود.

$$P(R_P = h) = \frac{N(R_P = h)}{N_t}$$ رابطه ۸)

همچنین می‌توان متوسط آثار تجمیعی ریسک‌ها بر روی پروژه را به ازای هر سطح محاسبه کرد. به بیان دیگر، اگر $T_t(R_P = h)$ مجموع آثار تجمیعی ریسک‌ها برای تکرارهایی باشد که ریسک پروژه در آنها در سطح بالا قرار گرفته، متوسط آثار تجمیعی ریسک‌ها در این سطح، از رابطه ۹ به دست می‌آید.

$$E\left(R_P^C | R_P = h\right) = \frac{T_t(R_P = h)}{N(R_P = h)}$$ رابطه ۹)

محاسبات بالا، برای سایر سطوح نیز به همین صورت انجام می‌شود. در نهایت، برای محاسبه مقدار ریسک تجمیعی پروژه، طبق رابطه ۷ داریم:

$$E\left(R_P^C\right) = P(R_P = h) \times E\left(R_P^C | R_P = h\right) + P(R_P = m) \times E\left(R_P^C | R_P = m\right) + P(R_P = l) \times E\left(R_P^C | R_P = l\right)$$ رابطه ۱۰)

با جایگزینی مقادیر معادل مدل شبیه‌سازی در رابطه ۱۰، رابطه ۱۱ به دست خواهد آمد.

$$E\left(R_P^C\right) = \frac{N(R_P = h)}{N_t} \times \frac{T_t(R_P = h)}{N(R_P = h)} + \frac{N(R_P = m)}{N_t} \times \frac{T_t(R_P = m)}{N(R_P = m)} + \frac{N(R_P = l)}{N_t} \times \frac{T_t(R_P = l)}{N(R_P = l)} = \frac{T_t(R_P = h) + T_t(R_P = m) + T_t(R_P = l)}{N_t} = \frac{T_t}{N_t}$$ رابطه ۱۱)

طبق رابطه ۱۱، مقدار ریسک تجمیعی پروژه در مدل شبیه‌سازی، از تقسیم مجموع آثار تجمیعی ریسک‌ها در تکرارهای انجام شده، بر تعداد کل تکرارها به دست می‌آید.

یافته‌های پژوهش

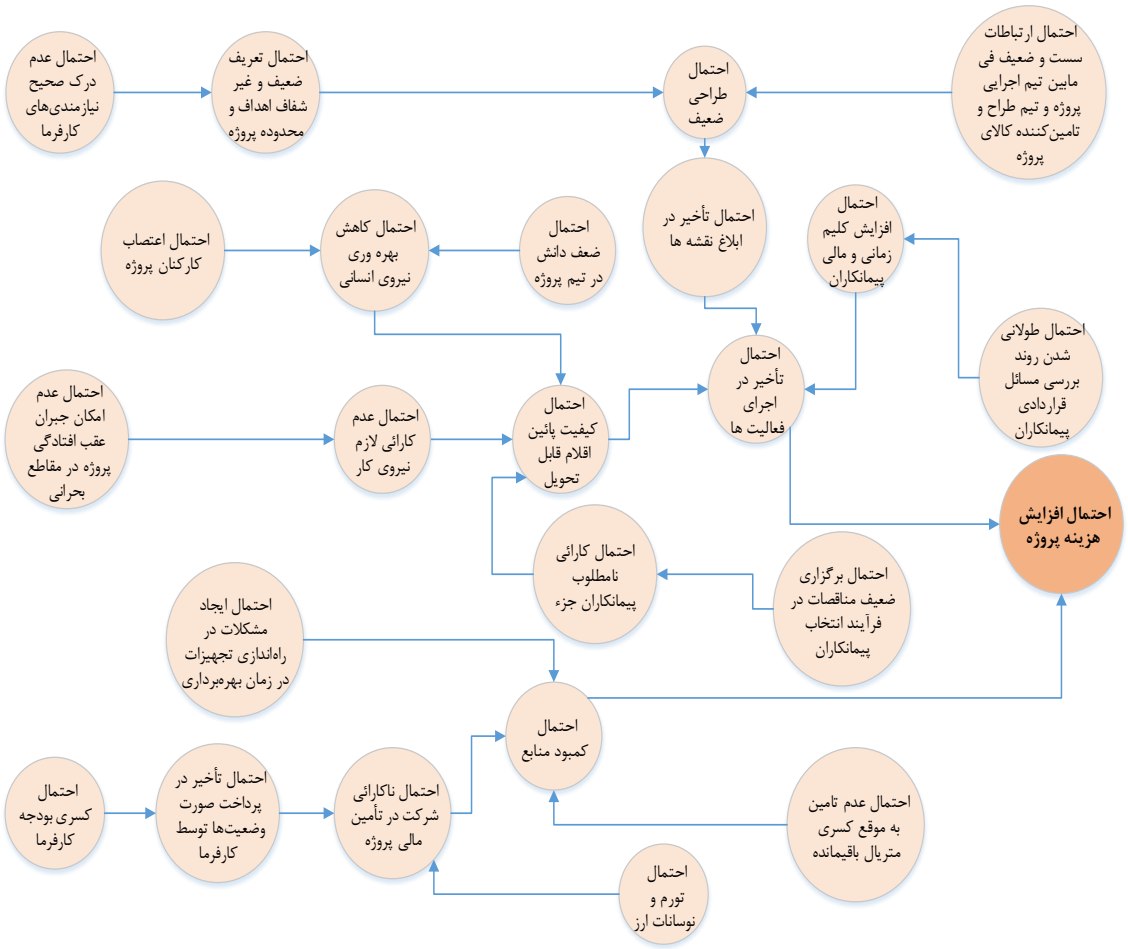
برای اعتبارسنجی مدل ارائه شده، این مدل در پروژه ساخت پالایشگاه فاز ۱۳ میدان گازی پارس جنوبی، به‌عنوان مورد مطالعه، طراحی و پیاده‌سازی شده است.

۱. شناسایی ریسک‌ها: جدول ۳، فهرست ریسک‌های پروژه را که با به‌کارگیری ابزار ساختار شکست ریسک طی جلسه‌های برگزار شده با مدیران و متخصصان پروژه به‌دست آمده است، نشان می‌دهد. در این ابزار، حوزه‌های مختلفی تعیین می‌شود تا بتوان فرایند شناسایی ریسک را با دقت بیشتری انجام داد. طبق استانداردهای موجود برای تشکیل ساختار شکست ریسک، حوزه‌هایی که در مورد مطالعه انتخاب شده است، عبارت‌اند از: ریسک‌های مرتبط با مدیریت پروژه، ریسک‌های فنی، ریسک‌های سازمانی و ریسک‌های خارجی. شایان ذکر است که پروژه یاد شده به‌صورت مهندسی، تأمین و ساخت (EPC) انجام می‌شود و مرحله تأمین آن به شرکت پیمانکار برون‌سپاری شده است.

جدول ۳. ریسک‌های شناسایی شده در پروژه

حوزه	پارامتر	عنوان ریسک	حوزه	پارامتر	عنوان ریسک
ریسک های مرتبط با مدیریت پروژه	R۱	احتمال عدم درک صحیح نیازهای کارفرما	ریسک های سازمانی	R۱۳	احتمال اعتصاب کارکنان پروژه
	R۲	احتمال تعریف ضعیف و غیرشفاف اهداف و محدوده پروژه		R۱۴	احتمال کاهش بهره‌وری نیروی انسانی
	R۳	احتمال ارتباطات سست و ضعیف میان تیم اجرایی پروژه و تیم طراح و تأمین‌کننده کالای پروژه		R۱۵	احتمال ضعف دانش در تیم پروژه
	R۴	احتمال افزایش کلیم زمانی و مالی پیمانکاران		R۱۶	احتمال طولانی شدن روند بررسی مسائل قراردادی پیمانکاران
	R۵	احتمال جبران‌ناپذیری عقب‌افتادگی پروژه در مقاطع بحرانی		R۱۷	احتمال کارایی نامطلوب پیمانکاران جزء
	R۶	احتمال عدم کارایی لازم نیروی کار		R۱۸	احتمال برگزاری ضعیف مناقصات در فرایند انتخاب پیمانکاران
	R۷	احتمال افزایش هزینه پروژه		R۱۹	احتمال کمبود منابع
ریسک های فنی	R۸	احتمال طراحی ضعیف		R۲۰	احتمال عدم تأمین به‌موقع کسری متریال باقی‌مانده
	R۹	احتمال تأخیر در ابلاغ نقشه‌ها	ریسک های خارجی	R۲۱	احتمال کسری بودجه کارفرما
	R۱۰	احتمال کیفیت پایین اقلام قابل تحویل		R۲۲	احتمال تأخیر در پرداخت صورت وضعیت‌ها توسط کارفرما
	R۱۱	احتمال تأخیر در اجرای فعالیت‌ها		R۲۳	احتمال ناکارایی شرکت در تأمین مالی پروژه
	R۱۲	احتمال ایجاد مشکلات در راه‌اندازی تجهیزات در زمان بهره‌برداری		R۲۴	احتمال تورم و نوسان ارز

۲. شناسایی برهم‌کنش بین ریسک‌ها: وقوع یک ریسک می‌تواند سبب تشدید ریسک دیگر شود؛ به بیان دیگر، احتمالات و آثار مربوط به ریسک‌های مختلف با توجه به احتمالات و آثار سایر ریسک‌ها تعیین می‌شود. برای مثال، دو ریسک «احتمال تورم و نوسان نرخ ارز» و «احتمال ناکارایی شرکت در تأمین مالی پروژه» را در نظر بگیرید. به‌طور مسلم، در صورت وقوع ریسک اول، احتمال و همچنین آثار مربوط به ریسک دوم در سطح بالاتری قرار می‌گیرند. از این رو برای بیان نزدیک‌تر به واقعیت احتمالات و آثار ریسک‌ها، باید این عوامل بر اساس روابط برهم‌کنش بین ریسک‌ها تعیین شوند. بنابراین باید شبکه برهم‌کنش بین ریسک‌ها طراحی شود تا بتوان احتمالات و آثار ریسک‌ها را با دقت بیشتری برآورد کرد. بر اساس اطلاعات بایگانی شده از پروژه‌های مشابه و همچنین نظر کارشناسان، مدیران و متخصصان پروژه، شبکه برهم‌کنش بین ریسک‌های پروژه به دست آمد که در شکل ۲ نشان داده شده است. برای همگرایی نظرها طی جلسه‌های برگزار شده و همچنین رسیدن به مدل مطلوب از ساختار برهم‌کنش بین ریسک‌ها، از تکنیک دلفی استفاده شده است.



شکل ۲. دیاگرام برهم‌کنشی ریسک‌ها

۳. شناسایی فعالیت‌ها (بسته‌های کاری) متأثر از ریسک‌ها: با توجه به حجم زیاد فعالیت‌ها در پروژه یاد شده، اثرگذاری ریسک‌ها بر بسته‌های کاری مد نظر قرار گرفته است. بسته‌های کاری در پروژه مفروض را می‌توان در سه دسته اصلی زیر قرار دارد:

۱. طراحی نقشه‌های فنی و تدوین فرایندها؛

۲. تأمین مواد و تجهیزات لازم؛

۳. نصب سازه و تجهیزات که مرحله نصب شامل اقدامات متنوعی من‌جمله لوله‌گذاری، نصب تجهیزات ثابت و متحرک، نصب سازه، رنگ‌کاری و عایق‌گذاری لوله‌ها و تجهیزات می‌شود.

فهرست بسته‌های کاری همراه با ریسک‌های اثرگذار و ضریب وزنی هر بسته کاری (نسبت هزینه بسته کاری به هزینه کل پروژه) به‌ترتیب در جدول‌های ۴ و ۵ بیان شده‌اند.

جدول ٤. بسته‌های‌کاری پروژه

پارامتر	بسته کاری	پارامتر	بسته کاری	پارامتر	بسته کاری	پارامتر	بسته کاری
A۱	طراحی نقشه لوله‌ها	A۹	خرید تجهیزات ثابت	A۱۷	جوشکاری در زیر سطح	A۲۵	نصب دستگاه خنک‌کننده هوا
A۲	طراحی نقشه تجهیزات ثابت	A۱۰	خرید تجهیزات متحرک	A۱۸	اقدامات لوله‌گذاری ـ رسته اول	A۲۶	نصب سازه
A۳	طراحی نقشه تجهیزات متحرک	A۱۱	خرید دستگاه‌های خنک‌کننده هوا	A۱۹	اقدامات لوله‌گذاری ـ رسته دوم	A۲۷	نصب داربست سازه
A۴	طراحی سازه‌ها	A۱۲	خرید سازه‌ها	A۲۰	اقدامات لوله‌گذاری ـ رسته سوم	A۲۸	رنگ‌کاری در برابر خوردگی
A۵	تدوین فرایند رنگ‌کاری لوله‌ها	A۱۳	خرید داربست‌ها	A۲۱	اقدامات لوله‌گذاری ـ رسته چهارم	A۲۹	عایق‌گذاری گرم لوله‌ها
A۶	طراحی فرایند عایق‌گذاری گرم و سرد لوله‌ها	A۱۴	خرید عایق‌های لوله‌ها	A۲۲	اقدامات لوله‌گذاری ـ رسته پنجم	A۳۰	عایق‌گذاری سرد لوله‌ها
A۷	طراحی فرایند عایق‌گذاری تجهیزات	A۱۵	خرید عایق‌های تجهیزات	A۲۳	نصب تجهیزات ثابت	A۳۱	عایق‌گذاری گرم تجهیزات
A۸	خرید لوله‌ها	A۱۶	جوشکاری در سطح	A۲۴	نصب تجهیزات متحرک	A۳۲	عایق‌گذاری سرد تجهیزات

جدول ۵. ریسک/ ریسک‌های اثرگذار بر هر بسته کاری پروژه

بسته کاری	ضریب وزنی	ریسک‌های اثرگذار	بسته کاری	ضریب وزنی	ریسک‌های اثرگذار
A۱	۰/۰۲	R۱, R۲, R۳, R۸	A۱۷	۰/۰۸	R۵, R۶, R۱۹
A۲	۰/۰۲	R۱, R۲, R۳, R۸	A۱۸	۰/۲	R۵, R۱۱, R۱۲, R۱۳, R۱۴, R۱۵
A۳	۰/۰۲	R۱, R۲, R۳, R۸	A۱۹	۰/۰۲	R۵, R۱۲, R۱۳, R۱۴, R۱۵
A۴	۰/۰۲	R۱, R۲, R۳, R۸	A۲۰	۰/۰۴	R۵, R۱۲, R۱۳, R۱۴, R۱۵
A۵	۰/۰۱	R۶, R۱۰	A۲۱	۰/۰۲	R۵, R۱۲, R۱۳, R۱۴, R۱۵
A۶	۰/۰۱	R۶, R۱۰	A۲۲	۰/۰۲	R۵, R۱۲, R۱۳, R۱۴, R۱۵
A۷	۰/۰۱	R۶, R۱۰	A۲۳	۰/۰۳	R۶, R۱۰, R۱۳, R۱۴, R۱۵, R۱۹
A۸	۰/۰۴	R۴, R۹, R۱۶, R۱۷	A۲۴	۰/۰۱	R۶, R۱۰, R۱۳, R۱۴, R۱۵, R۱۹
A۹	۰/۰۴	R۱۸, R۲۱, R۲۲, R۲۳, R۲۴	A۲۵	۰/۰۱	R۱۱
A۱۰	۰/۰۴	R۴, R۹, R۱۶, R۱۷	A۲۶	۰/۰۱	R۵, R۱۳, R۱۴, R۱۵
A۱۱	۰/۰۴	R۱۶, R۲۱, R۲۲, R۲۳	A۲۷	۰/۰۱	R۶
A۱۲	۰/۰۴	R۴, R۹, R۱۶, R۱۷	A۲۸	۰/۰۱	R۶, R۱۵
A۱۳	۰/۰۴	R۱۶, R۲۱, R۲۲, R۲۳	A۲۹	۰/۰۲	R۶, R۱۵, R۱۹
A۱۴	۰/۰۴	R۱۶, R۲۱, R۲۲, R۲۳	A۳۰	۰/۰۱	R۶, R۱۵, R۱۹
A۱۵	۰/۰۴	R۱۶, R۲۱, R۲۲, R۲۳	A۳۱	۰/۰۱	R۶, R۱۵, R۱۹
A۱۶	۰/۰۶	R۵, R۶, R۱۹	A۳۲	۰/۰۱	R۶, R۱۵, R۱۹

٤. تشکیل جدول‌های مربوط به احتمالات اولیه و احتمالات شرطی: در این مقاله برای ارزیابی دقیق‌تر احتمالات وقوع ریسک‌ها، برهم‌کنش‌های بین آنها نیز مد نظر قرار می‌گیرد. از این رو باید بر اساس شبکه برهم‌کنشی ریسک‌ها (شکل ۲)، این احتمالات به‌صورت شرطی تعیین شود. بدین منظور می‌توان از نرم‌افزار AgenaRisk بهره برد. برای نمونه، احتمالات مربوط به ریسک «احتمال طراحی ضعیف» (R۸) با توجه به وقوع یا عدم وقوع ریسک‌های «احتمال تعریف ضعیف و غیر شفاف اهداف و محدوده پروژه» (R۲) و «احتمال ارتباطات سست و ضعیف میان تیم اجرایی پروژه و تیم طراح و تأمین‌کننده کالای پروژه» (R۳) مطابق شکل ۳ خواهد بود.

R2	False		True	
R3	False	True	False	True
False	0.9	0.7	0.8	0.6
True	0.1	0.3	0.2	0.4

شکل ۳. احتمالات شرطی وقوع ریسک R8

٥. محاسبه اثرهای اولیه و اثرهای تشدیدکننده ریسک‌ها: اثرهای اولیه ریسک‌ها، نشان‌دهنده میزان افزایش هزینه یک بسته کاری است که تحت تأثیر آن ریسک قرار دارد. به بیان دیگر، در صورت وقوع یک ریسک، هزینه تکمیل بسته کاری مربوط به آن، از میزان پیش‌بینی‌شده بیشتر خواهد بود. آثار اولیه ریسک‌های شناسایی شده بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده از متخصصان پروژه، در جدول ۶ بیان شده است. برای ساده‌سازی مسئله، فرض شد که اثر هر ریسک بر بسته‌های کاری مربوطه یکسان است.

جدول ٦. اثرهای هزینه‌ای ریسک‌ها

ریسک	اثر هزینه‌ای	ریسک	اثر هزینه‌ای	ریسک	اثر هزینه‌ای
R۱	۰/۲	R۱۰	۰/۴	R۱۸	۰/۴
R۲	۰/۴	R۱۱	۰/۸	R۱۹	۰/۴
R۳	۰/۴	R۱۲	۰/۴	R۲۰	۰/۲
R۴	۰/۲	R۱۳	۰/۲	R۲۱	۰/۱
R۵	۰/۰۵	R۱۴	۰/۲	R۲۲	۰/۰۵
R۶	۰/۱	R۱۵	۰/۲	R۲۳	۰/۲
R۸	۰/۲	R۱۶	۰/۱	R۲۴	۰/۴
R۹	۰/۱	R۱۷	۰/۲		

مطابق جدول ۶، در صورت وقوع ریسک R1، هزینه بسته‌های کاری‌ای که تحت تأثیر ریسک فوق باشد، ۲۰ درصد افزایش خواهد داشت.

علاوه بر ارزیابی اثرهای اصلی ریسک‌ها، اثرهای برهم‌کنشی بین آنها نیز بایستی محاسبه شود. در شرایط واقعی، متأثر بودن یک ریسک از سایر ریسک‌ها، سبب تشدید اثر آن ریسک خواهد شد. آثار برهم‌کنش بین ریسک‌ها، بر اساس اطلاعات جمع‌آوری‌شده از متخصصان پروژه، در جدول ۷ نشان داده شده است.

جدول ۷. آثار برهم‌کنش بین ریسک‌ها

ریسک اثرگذار	ریسک اثرپذیر	شدت تأثیر	ریسک اثرگذار	ریسک اثرپذیر	شدت تأثیر
R۱	R۲	۰/۲	R۶	R۱۰	۰/۲
R۲	R۸	۰/۲	R۱۰	R۱۱	۰/۲
R۳	R۸	۰/۲	R۱۸	R۱۷	۰/۲
R۸	R۹	۰/۴	R۱۷	R۱۰	۰/۴
R۱۳	R۱۴	۰/۴	R۲۱	R۲۲	۰/۲
R۱۵	R۱۴	۰/۴	R۲۲	R۲۳	۰/۲
R۱۴	R۱۰	۰/۴	R۲۴	R۲۳	۰/۲
R۹	R۱۱	۰/۶	R۱۲	R۱۹	۰/۲
R۱۶	R۴	۰/۲	R۲۳	R۱۹	۰/۴
R۴	R۱۱	۰/۴	R۲۰	R۱۹	۰/۶
R۵	R۶	۰/۲			

مطابق جدول ۷، در صورت وقوع ریسک R۱، اثر اصلی ریسک R۲ که متأثر از وقوع آن است، افزایش ۲۰ درصدی خواهد داشت.

٦. سطح‌بندی ریسک‌ها: برای تعیین وضعیت وقوع/ عدم وقوع ریسک‌ها، باید ریسک‌ها سطح‌بندی شوند که در این پروژه، ریسک‌ها در شش دسته همانند جدول ۸ سطح‌بندی شده‌اند.

جدول ۸. سطح‌بندی ریسک‌های پروژه

سطح اول	سطح دوم	سطح سوم	سطح چهارم	سطح پنجم	سطح ششم
R۱	R۲	R۸	R۹	R۱۱	R۷
R۳	R۱۴	R۱۰	R۱۹		
R۱۳	R۴	R۲۳			
R۱۵	R۶				
R۵	R۱۷				
R۱۶	R۲۲				
R۱۲					
R۱۸					
R۲۱					
R۲۴					
R۲۰					

۷. تولید اعداد تصادفی و تعیین وضعیت وقوع یا عدم وقوع ریسک‌ها: برای تعیین وضعیت ریسک‌ها، اعداد تصادفی تولید می‌شود تا بر اساس احتمالات اولیه و همچنین احتمالات شرطی، وقوع یا عدم وقوع ریسک‌ها تعیین شود. برای نمونه، مقادیر اعداد تصادفی تولید شده و وضعیت ریسک‌ها در تکرار اول مدل شبیه‌سازی در جدول ۹ نشان داده شده است (وضعیت وقوع ریسک با عدد یک و عدم وقوع ریسک نیز با عدد صفر بیان شده است).

جدول ۹. اعداد تصادفی و وضعیت ریسک‌ها در تکرار اول شبیه‌سازی

ریسک	R۱	R۲	R۳	R٤	R٥	R٦	R۷	R۸
عدد تصادفی	۰/۳۷۶	۰/۶۴۵	۰/۱۵۶	۰/۶۶۹	۰/۸۸۲	۰/۵۶۱	۰/۱۹۱	۰/۸۵۶
وقوع/ عدم‌وقوع ریسک	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰
ریسک	R۹	R۱۰	R۱۱	R۱۲	R۱۳	R۱۴	R۱۵	R۱۶
عدد تصادفی	۰/۱۹۰	۰/۰۳۳	۰/۲۶۵	۰/۲۹۰	۰/۹۸۲	۰/۴۶۱	۰/۳۶۹	۰/۶۱۷
وقوع/ عدم وقوع ریسک	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰
ریسک	R۱۷	R۱۸	R۱۹	R۲۰	R۲۱	R۲۲	R۲۳	R۲۴
عدد تصادفی	۰/۲۵۲	۰/۵۸۳	۰/۱۲۱	۰/۴۲۸	۰/۳۸۵	۰/۲۲۶	۰/۵۹۰	۰/۴۲۸
وقوع/ عدم وقوع ریسک	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰

۸. محاسبه اثر تجمیعی ریسک‌ها: ابتدا با توجه به رابطه ۴، اثر تجمیعی هر یک از ریسک‌ها محاسبه می‌شود. در تکرار اول مدل شبیه‌سازی، سطح ریسک پروژه در سطح پایین (صفر) قرار داشته و مجموع اثرهای تجمیعی ریسک‌ها نیز طبق رابطه زیر، برابر مقدار ۰/۴۱ به دست می‌آید که نشان‌دهنده افزایش حدود ۴۰ درصدی هزینه تکمیل پروژه، به‌دلیل وقوع محتمل ریسک‌هاست.

$$\sum_k R_k^T = R_{13}^T + R_{14}^T + R_{15}^T + R_5^T + R_6^T + R_{16}^T + R_{21}^T + R_{22}^T + R_{23}^T \quad \text{(رابطه ۱۲)}$$

$$= 0.2 \times 0.35 + 0.28 \times 0.35 + 0.2 \times 0.41 + 0.05 \times 0.45 + 0.12 \times 0.28 + 0.1 \times 0.28 + 0.1 \times 0.2 + 0.06 \times 0.2 + 0.24 \times 0.2 = 0.41$$

۹. تکرار مراحل به تعداد تکرارهای از پیش‌تعیین‌شده: در این مسئله تعداد تکرارها ۱۰۰۰ بار در نظر گرفته شده تا پایداری جواب‌های حاصل تضمین شود.

۱۰. محاسبه مقدار ریسک تجمیعی ایجاد شده: اطلاعات به‌دست‌آمده از ۱۰۰۰ بار تکرار شبیه‌سازی ($N_t = ۱۰۰۰$)، در جدول ۱۰ بیان شده است.

جدول ۱۰. اطلاعات به‌دست‌آمده از مدل شبیه‌سازی

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
$N(R_P = h)$	۳۸۳	$T_t(R_P = h)$	۱۴۷/۳۹۵
$N(R_P = m)$	۱۸۶	$T_t(R_P = m)$	۶۰/۰۴
$N(R_P = l)$	۴۳۱	$T_t(R_P = l)$	۲۶۰/۰۶

مقایسه مقدار پارامترهای به‌دست‌آمده از مدل شبیه‌سازی با مقدار دقیق آنها (مقادیر به‌دست‌آمده از رابطه‌های ۱ تا ۵)، در جدول ۱۱ مشاهده می‌شود. با توجه به جدول ۱۱، مقدار دقیق ریسک تجمیعی افزایش هزینه پروژه ۰/۴۶۱۹ و مقدار به‌دست‌آمده از مدل شبیه‌سازی ۰/۴۶۷۵ است که دقت زیاد مدل طراحی شده برای محاسبه ریسک تجمیعی پروژه را نشان می‌دهد. این مقدار بیان‌کننده افزایش حدود ۴۶ درصدی هزینه تکمیل پروژه به‌دلیل عملکرد ریسک‌هاست.

جدول ۱۱. مقایسه پارامترهای مدل شبیه‌سازی با مقادیر دقیق آنها

پارامتر	مقدار به‌دست‌آمده از مدل شبیه‌سازی	مقدار دقیق
$P(R_P = h)$	۰/۳۸۳	۰/۳۸۴۲
$P(R_P = m)$	۰/۱۸۶	۰/۱۸۴۲
$P(R_P = l)$	۰/۴۳۱	۰/۴۳۱۶
$E(R_P^C \mid R_P = h)$	۰/۳۸۴۸	۰/۳۸۵۷
$E(R_P^C \mid R_P = m)$	۰/۳۲۲۸	۰/۳۰۰۲
$E(R_P^C \mid R_P = l)$	۰/۶۰۳۴	۰/۵۹۸۸

تحلیل حساسیت

به‌منظور اولویت‌بندی ریسک‌ها از لحاظ میزان تأثیر بر ریسک کل پروژه، تحلیل حساسیت انجام می‌شود، به این ترتیب که برای هر یک از ریسک‌ها دو مقدار $E(R_P^C \mid R_P = h \ , \ R_i = ۰)$ و $E(R_P^C \mid R_P = h \ , \ R_i = ۱)$ محاسبه شود. میزان گسترده‌تر تغییرات برای هر عامل ریسکی، اولویت بیشتر آن عامل را نشان می‌دهد. تغییر مقادیر فوق برای ده ریسک اول با اولویت بالا، در جدول ۱۲ نشان داده شده است.

جدول ۱۲. اولویت‌بندی ریسک‌ها بر اساس تحلیل حساسیت

ریسک	$E(R_P^C \mid R_P = h, R_i = ۰)$	$E(R_P^C \mid R_P = h, R_i = ۱)$	دامنه تغییرات
R۱۹	۰/۴۴۳	۰/۵۲۹	۰/۰۸۶
R۲۳	۰/۴۵۱	۰/۴۷۷	۰/۰۲۶
R۸	۰/۴۵	۰/۴۷۱	۰/۰۲۱
R۲۴	۰/۴۵۱	۰/۴۷	۰/۰۱۹
R۴	۰/۴۵۴	۰/۴۶۵	۰/۰۱۱
R۲۰	۰/۴۵۷	۰/۴۶۳	۰/۰۰۶
R۱۴	۰/۴۵۶	۰/۴۶۱	۰/۰۰۵
R۱۲	۰/۴۵۶	۰/۴۵۸	۰/۰۰۲
R۹	۰/۴۵۸	۰/۴۵۹	۰/۰۰۱
R۱۵	۰/۴۵۸	۰/۴۵۹	۰/۰۰۱

با توجه به جدول ۱۲، ریسک‌های «احتمال کمبود منابع»، «احتمال ناکارایی شرکت در تأمین مالی پروژه» و «احتمال طراحی ضعیف»، از مهم‌ترین ریسک‌های مؤثر بر هزینه تکمیل پروژه هستند که باید برای جلوگیری از وقوع آنها رویکردهایی اتخاذ شود. به بیان دیگر، ریسک افزایش هزینه پروژه، بیشترین حساسیت را نسبت به هزینه‌های کمبود منابع، مشکلات مالی شرکت و طراحی‌های ضعیف دارد و بیشتر از سایر عوامل ریسکی، تحت تأثیر این عوامل قرار می‌گیرد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پروژه‌ها در حین پیاده‌سازی در معرض ریسک‌های مختلفی قرار می‌گیرند که اغلب اهداف عملکردی پروژه‌ها، همچون

زمان یا هزینه تکمیل پروژه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. اتخاذ سیاست‌هایی برای مدیریت این ریسک‌ها می‌تواند در حذف یا کاهش اثر آنها مؤثر باشد. در رویکردهای سنتی مدیریت ریسک، ارزیابی ریسک‌ها به‌صورت مستقل در نظر گرفته می‌شود و برهم‌کنش بین آنها مد نظر قرار نمی‌گیرد؛ در حالی که وقوع برخی از ریسک‌ها می‌تواند سبب تشدید اثر یا احتمال وقوع سایر ریسک‌ها شود. از این رو، ارزیابی مستقل ریسک‌ها، فقط به اولویت‌بندی ریسک‌ها منجر شده و شاخصی را که بیان‌کننده برآیند اثر ریسک‌ها بر کل پروژه باشد، ارائه نمی‌دهد. بنابراین، رسیدن به تخمین نزدیک به واقع از زمان یا هزینه تکمیل پروژه، به مد نظر قرار دادن هم‌زمان احتمالات و اثر ریسک‌ها و همچنین وابستگی‌های موجود بین آنها نیاز دارد. از این رو، در مقاله حاضر با استفاده از ترکیب روش‌های شبیه‌سازی مونت‌کارلو و شبکه‌های بیز، رویکردی برای ارزیابی برآیند اثر ریسک‌ها توسعه داده شد که در آن برهم‌کنش‌های بین ریسک‌ها نیز در نظر گرفته شده است. در نهایت، این رویکرد در یک مورد صنعتی پیاده‌سازی شد تا برآیند اثر ریسک‌ها روی هزینه تکمیل پروژه ارزیابی شود. نتایج پیاده‌سازی مدل نشان داد که ارزیابی اثرگذاری مستقیم ریسک‌ها بر فعالیت‌ها یا بسته‌های کاری پروژه، نسبت به رویکردهای متداول در مدل‌های شبیه‌سازی واقع‌گرایانه‌تر است و ابهام‌های این مدل‌ها را ندارد. از سوی دیگر، در این مدل‌ها به تعریف توابع توزیع احتمالی برای زمان یا هزینه انجام یک فعالیت یا بسته‌کاری نیاز داریم؛ در حالی که در دنیای واقعی، به‌دلیل نداشتن اطلاعات تاریخی، تعریف توابع احتمال چندان منطقی نیست. همچنین مدل ترکیبی ارائه شده در این مقاله، قادر به ارزیابی حساسیت هزینه تکمیل پروژه نسبت به هر یک از ریسک‌ها با مد نظر قرار دادن احتمالات، آثار و وابستگی‌های بین آنهاست. بر اساس تحلیل حساسیت انجام گرفته در مورد مطالعه، اولویت‌بندی ریسک‌ها از لحاظ میزان حساسیت هزینه تکمیل پروژه به وضعیت وقوع یا عدم وقوع ریسک‌ها مشخص شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، ریسک‌های «احتمال کمبود منابع»، «احتمال ناکارایی شرکت در تأمین مالی پروژه» و «احتمال طراحی ضعیف» از مهم‌ترین ریسک‌های مؤثر بر هزینه تکمیل پروژه ساخت پالایشگاه هستند که در صورت وقوع، بیشترین تأثیر را در افزایش هزینه پروژه می‌گذارند.

رویکرد ارائه شده در این مقاله را می‌توان در پژوهش‌های دیگری نیز توسعه داد؛ برای مثال در زیر به مواردی اشاره شده است:

۱. در نظر گرفتن سایر اهداف عملکردی پروژه‌ها همچون زمان تکمیل پروژه که به تحلیل اثر ریسک‌ها بر مسیر بحرانی پروژه منجر خواهد شد؛
۲. ارائه یک مدل برنامه‌ریزی احتمالی برای ارزیابی ریسک تجمیعی پروژه؛
۳. توسعه مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای انتخاب پروژه با کمینه ریسک تجمیعی ایجاد شده از مجموعه پروژه‌های منتخب؛
۴. ارائه رویکردی برای مدیریت یکپارچه ریسک که در آن انواع مختلف ریسک‌ها با اثرها و برهم‌کنش‌های موجود، بررسی و تحلیل شوند.

منابع

آتش‌سوز، علی؛ فیضی، کامران؛ کزازی، ابوالفضل؛ الفت، لعیا (۱۳۹۴). مدلی برای روابط ریسک‌های زنجیرهٔ تأمین صنعت پتروشیمی در ایران. *نشریه مدیریت صنعتی*، ۷(۳)، ۴۰۵- ۴۲۴.

صیادی، احمدرضا؛ حیاتی، محمد؛ منجزی، مسعود (۱۳۹۰). مدیریت ریسک ساخت تونل با استفاده از تکنیک‌های MADM. *نشریه مدیریت صنعتی*، ۳ (۷)، ۹۹- ۱۱۶.

عالم تبریز، اکبر؛ خالدیان، فرنوش؛ مهدی‌پور، مصطفی (۱۳۹۵). پیش‌بینی زمان پروژه از طریق طول زمان کسب شده و مدیریت ریسک. *نشریه مدیریت صنعتی*، ۸ (۲)، ۲۱۷- ۲۴۰.

ولی‌پور خطیر، محمد؛ قاسم‌نیا عربی، نرجس (۱۳۹۵). مدل‌سازی سیستم استنتاج فازی برای ارزیابی ریسک‌های بالقوه در تجهیزات پزشکی. *نشریه مدیریت صنعتی*، ۸ (۴)، ۵۳۳- ۵۵۴.

References

Alam Tabriz, A., Khaledian, F., & Mehdipour, M. (2016). Estimation of project time through earned time and risk management. *Industrial Management Journal*, 8(2), 217-240. (*in Persian*)

Aminbakhsh, S., Gunduz, M., & Sonmez, R. (2013). Safety risk assessment using analytic hierarchy process (AHP) during planning and budgeting of construction projects. *Journal of Safety Research*, 46, 99-105.

Atashsouz, A., Feyzi, K., Kazazi, A., & Olfat, L. (2015). A model for relationships between risks in the supply chain of the petrochemical industry in Iran. *Industrial Management Journal*, 7(3), 405-424. (*in Persian*)

Chatterjee, K., Zavadskas, E., Tamošaitienė, J., Adhikary, K., & Kar, S. (2018). A Hybrid MCDM Technique for Risk Management in Construction Projects. Symmetry, 10(2).

Cheng, M., & Lu, Y. (2015). Developing a risk assessment method for complex pipe jacking construction projects. *Automation in Construction*, 58, 48-59.

Creemers, S., Demeulemeester, E., & Van de Vonder, S. (2014). A new approach for quantitative risk analysis. *Annals of Operations Research*, 213(1), 27-65.

Dikmen, I., Birgonul, M. T., & Han, S. (2007). Using fuzzy risk assessment to rate cost overrun risk in international construction projects. *International Journal of Project Management*, 25(5), 494-505.

Gierczak, M. (2014). The quantitative risk assessment of MINI, MIDI and MAXI Horizontal Directional Drilling Projects applying Fuzzy Fault Tree Analysis. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 43, 67-77.

Hu, Y., Zhang, X., Ngai, E. W. T., Cai, R., & Liu, M. (2013). Software project risk analysis using Bayesian networks with causality constraints. *Decision Support Systems*, 56, 439-449.

Hyun, K.C., Min, S., Choi, H., Park, J., & Lee, I.M. (2015). Risk analysis using fault-tree analysis (FTA) and analytic hierarchy process (AHP) applicable to shield TBM tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 49, 121-129.

Jamshidi, A., Rahimi, S. A., Ait-kadi, D., Rebaiaia, M. L., & Ruiz, A. (2015, 25-27 May 2015). Risk assessment in ERP projects using an integrated method. *Paper presented at the 2015 3rd International Conference on Control, Engineering & Information Technology (CEIT)*.

Joubert, F. J., Pretorius, L. U. (2017). Using Monte Carlo simulation to create a ranked check list of risks in a portfolio of railway construction projects. *South African Journal of Industrial Engineering*, 28, 133-148.

Khodakarami, V., & Abdi, A. (2014). Project cost risk analysis: A Bayesian networks approach for modeling dependencies between cost items. *International Journal of Project Management*, 32(7), 1233-1245.

Leu, S.S., & Chang, C.M. (2013). Bayesian-network-based safety risk assessment for steel construction projects. *Accident Analysis & Prevention*, 54, 122-133.

Liang, W., Hu, J., Zhang, L., Guo, C., & Lin, W. (2012). Assessing and classifying risk of pipeline third-party interference based on fault tree and SOM. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(3), 594-608.

Liu, J., & Wei, Q. (2018). Risk evaluation of electric vehicle charging infrastructure public-private partnership projects in China using fuzzy TOPSIS. *Journal of Cleaner Production*, 189, 211-222.

Loizou, P., & French, N. (2012). Risk and uncertainty in development: A critical evaluation of using the Monte Carlo simulation method as a decision tool in real estate development projects. *Journal of Property Investment & Finance*, 30(2), 198-210.

Luu, V. T., Kim, S.-Y., Tuan, N. V., & Ogunlana, S. O. (2009). Quantifying schedule risk in construction projects using Bayesian belief networks. *International Journal of Project Management*, 27(1), 39-50.

Rodríguez, A., Ortega, F., & Concepción, R. (2016). A method for the evaluation of risk in IT projects. *Expert Systems with Applications*, 45, 273-285.

Sayadi, A., Hayati, M., & Monjezi, M. (2011). Risk management of tunnel construction using MADM methods. *Industrial Management Journal*, 3(7), 99-116. (*in Persian*)

Valipour khatir, M., & Ghasemnia arabi, N. (2016). Fuzzy inference system modeling for assessing the potential risks in medical equipments. *Industrial Management Journal*, 8(4), 533-554. (*in Persian*)

Wang, L., Zhang, H.-y., Wang, J.-q., & Li, L. (2018). Picture fuzzy normalized projection-based VIKOR method for the risk evaluation of construction project. *Applied Soft Computing*, 64, 216-226.

Yang, C.C., Lin, W.T., Lin, M.Y., Huang, J.T. (2006). A study on applying FMEA to improving ERP introduction: An example of semiconductor related industries in Taiwan. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 23(3), 298-322.

Zeng, J., An, M., & Smith, N. J. (2007). Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment. *International Journal of Project Management*, 25(6), 589-600.

Zeng, Y., & Skibniewski, M. J. (2013). Risk assessment for enterprise resource planning (ERP) system implementations: a fault tree analysis approach. *Enterprise Information Systems*, 7(3), 332-353.