Industrial Management Studies
Vol. 21, No. 71, Winter 2024; P 225-261
jims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/jims.2024.75036.2870

ATU PRESS

Original Research
Accepted: 06/01/2024
Revised: 25/11/2023
Received: 02/08/2023
eISSN: 2476-602X
ISSN: 2251/8029

Developing an Optimization model for Prioritizing and Selecting Project Risk Response Strategies

Ali Namazian *
Assistant professor, Department of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran

Somayeh Behboodian
Master's student in Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Isfahan University, Isfahan, Iran.

Abstract
Projects, during their execution, face various risks that can impact the achievement of project objectives. Therefore, the need for extensive project risk management is widely recognized. In a systematic risk management process, after risk evaluation, risk analysts are confronted with the risk response phase, where they decide on the actions to be taken regarding identified risks. Hence, designing and implementing a structured approach to manage and mitigate risks will yield beneficial outcomes for successful completion within the desired budget, time, and quality. In conducted studies, a comprehensive approach that integrates the time and cost implications of risks and response strategies has been lacking. In this article, an optimization model of zero-one programming has been employed to select the most suitable risk response strategies for the project. In the developed framework, the modeling of the impact of risks on the time and cost of activities, as well as the effect of implementing risk response strategies on reducing the undesirable time and cost implications of risks, has been utilized to select optimal strategies. Finally, to evaluate the efficiency of the model, an industrial case study was utilized, which confirmed the favorable performance of this framework.

Introduction
Every project throughout its lifespan faces opportunities and risks. Risks are uncertain outcomes or consequences of activities or decisions. Therefore, in the project planning process, it is necessary to

* Corresponding Author: a.namazian@kashanu.ac.ir
How to Cite: Namazian, A., Behboodian, S. (2024). Developing an Optimization model for Prioritizing and Selecting Project Risk Response Strategies, *Industrial Management Studies, 21(71),* 225-261.

identify potential risks and then consider appropriate strategies to deal with various risks. In this article, a mathematical programming model is used to evaluate and analyze project risks and to select project risk responses. This model considers the probabilistic nature of risk events and develops an index for evaluating the time and cost impacts of risks, as well as response strategies. The proposed approach can be used to select the best combination of risk response strategies that have the most impact on the time and cost of implementing activities, resulting in completing the project with minimum time and cost.

Literature Review

Different models have been developed for project risk management to enhance success in development projects. These approaches utilize various structures and tools to quantitatively or qualitatively model the selection of risk response strategies for the project. In recent years, due to unexpected events such as financial crises, significant delays have occurred in projects worldwide (Motaleb, 2021). Thus, researchers have attempted to propose various methods to mitigate the effects of risks in recent years.

In the Zonal-based approach, two selected criteria based on risks are plotted on the horizontal and vertical axes, respectively. The two chosen criteria are the weighted probability of immediate project risk and external project risk, and the controllability and specificity of the risks related to the project. Based on the different values of these two criteria, a two-dimensional chart consisting of multiple regions is formed. Different strategies are placed in the corresponding regions. Therefore, suitable strategies can be selected based on the regions formed by the coordinates of the two criterion values.

In the Trade-off-based approach, in order to identify the selected risk for formulating response strategies, exchanges are conducted considering the project's goals, requirements, and managers' mental settings among risk-related criteria such as cost, success probability, percentage of work losses, duration, quality, etc. Then, desirable strategies can be selected from the options based on the efficiency frontier rule.

The approach based on WBS is considered a risk management and project management method. This choice aligns the risk response strategy with the work activities based on WBS analysis of the project. (Guan et al., 2023) developed an integrated approach based on an optimization model and fault tree analysis for budget allocation in response to risk from safety and prevention perspectives.

The optimization approach involves creating a mathematical model to solve the problem of selecting risk response strategies. In general, the objective function aims to minimize the cost of implementing strategies, and the constraints include combinations of strategies, an acceptable level of risk loss, budget for implementing strategies, etc.

Methodology

In this study, a set of work activities is considered, and for each work activity, there may be associated risks that can have an impact. Then, risk response strategies are modeled to determine the most desirable strategy. The zero-one programming technique is used to solve the model. By solving the model, strategies are selected that maximize the estimated impact of risk response after implementation and minimize the cost of implementation. In the proposed model, a set of actions is selected in a way that satisfies the system constraints and optimizes the corresponding objective function. The objective function can be related to time or cost, and the goal of the model is to minimize project completion time or project cost. The model constraints are related to time and cost. The time constraint means that selected strategies should not exceed the specified time frame for their execution and impact on time. The cost constraint means that selected strategies should not exceed the budget and predefined cost in terms of their cost and impact on cost.

Results

The model presented in this study has an objective function and nine constraints. The purpose of this model is to determine strategies that minimize project completion delay and help achieve and improve project goals. Due to the structure of the modeling, including the objective function and problem constraints, the complexity of the model will change polynomially based on the number of risks, response strategies, and project activities. If simulation-based

approaches are used to solve the model, considering the binary nature of project risks and replacing it with the expected value, the complexity of the solution approach will be exponential. Therefore, using the logic of expected value to calculate the duration of activities and project completion time will accelerate the solution process.

Discussion and conclusions

In a systematic project risk management process, after assessing the risks, the implementation of project risk response strategies takes place. The conducted research has generally provided general solutions, and there is no comprehensive model for evaluating project risk reduction measures. In this article, a mathematical optimization model has been developed by considering the risks and response strategies as independent variables for each work activity. Essentially, based on the potential risks that may occur for each work activity, strategies are chosen to minimize project completion delay and reduce the incurred costs, ultimately achieving the project's completion with the least delay and cost. Implementing risk response strategies to mitigate the time and cost impacts of risks requires time and investment. Therefore, selecting these strategies will be justifiable when the time and cost benefits derived from their implementation are greater than the time and cost spent.

Keywords: Risk Event, Risk Assessment, Risk Response Strategy, Optimization Model, Time and Cost Impact.

مقاله پژوهشی

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۵/۱۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۹/۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۶

ISSN: 2251/8029 eISSN: 2476-602X

مطالعات مدیریت صنعتی
سال بیست و یکم، شماره ۷۱، زمستان ۱۴۰۲، ص ۲۲۵ تا ۲۶۱
jims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/jims.2024.75036.2870

ارائه مدل بهینه‌سازی جهت اولویت‌بندی و انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک پروژه

علی نمازیان * استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

سمیه بهبودیان دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی ،دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

چکیده

پروژه‌ها در طی اجرایشان، با ریسک‌های مختلفی مواجه هستند که می‌تواند تحقق اهداف پروژه را تحت تأثیر خود قرار دهد؛ بنابراین نیاز به مدیریت ریسک پروژه به‌صورت گسترده‌ای افزایش یافته است. در یک فرآیند سیستماتیک مدیریت ریسک، پس از ارزیابی ریسک، تحلیلگران ریسک با مرحله پاسخ ریسک مواجه می‌شوند، یعنی تصمیم می‌گیرند که در مورد ریسک‌های شناسایی‌شده چه اقداماتی باید انجام گردد. لذا، طراحی ساختاری مدون برای کاهش ریسک‌ها، نتایج سودمندی برای اتمام موفقیت‌آمیز در قالب بودجه، زمان و کیفیت موردنظر به همراه خواهد داشت. در مطالعات انجام‌شده، رویکردی جامع که اثرات زمانی و هزینه‌ای ریسک‌ها و استراتژی‌های پاسخ را به‌صورت یکپارچه با توجه به محدودیت‌های پیاده-سازی استراتژی‌ها بر فعالیت‌ها و نیز کل پروژه مدنظر قرار داده باشد، وجود نداشته که ماهیت عدم قطعیت اکثر پروژه‌ها در دنیای امروزی، لزوم توسعه چنین مدلی را ایجاب می‌نماید. در این مقاله از یک مدل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی صفر و یک برای انتخاب مناسب‌ترین استراتژی‌های پاسخ به ریسک پروژه استفاده شده است به‌نحوی‌که تحقق اهداف پروژه امکان‌پذیر گردد. در ساختار توسعه داده‌شده، از مدل‌سازی اثرگذاری ریسک‌ها بر زمان و هزینه انجام فعالیت‌ها و همچنین اثر پیاده‌سازی استراتژی‌های پاسخ به ریسک بر کاهش اثرات نامطلوب زمانی و هزینه‌ای ریسک‌ها جهت انتخاب استراتژی‌های بهینه استفاده شده است. در این رویکرد، زمان فعالیت‌ها با توجه به ماهیت احتمالی ریسک‌ها و همچنین اجرای استراتژی‌های پاسخ محاسبه شده است. درنهایت جهت ارزیابی کارایی مدل، از یک نمونه مثال صنعتی بهره برده شد که نتایج عملکرد مطلوب این ساختار را تأیید نمود.

کلیدواژه‌ها: رویداد ریسک، ارزیابی ریسک پروژه، استراتژی پاسخ به ریسک، مدل بهینه‌سازی، اثر زمانی و هزینه‌ای ریسک.

* نویسنده مسئول: a.namazian@kashanu.ac.ir

۱. مقدمه

هر پروژه در طول عمر خود با فرصت‌ها و ریسک‌هایی مواجه می‌شود. ریسک‌ها، نتایج یا پیامدهای غیرقطعی فعالیت‌ها یا تصمیمات هستند. مدیریت ریسک فرآیند نظام‌یافته شناسایی، تحلیل و واکنش به ریسک پروژه است. این مدیریت متضمن بیشینه نمودن احتمال و پیامدهای رویدادهای مثبت و کمینه کردن احتمال و پیامدهای رویدادهای منفی پروژه است (Asoli, S.H.,1384). در صورت عدم کنترل و مدیریت، این ریسک‌ها می‌توانند باعث منحرف شدن پروژه از برنامه و ناکامی در دستیابی به اهداف از پیش تعریف‌شده شوند. در اجرای فرآیند مدیریت ریسک دو مسئله بسیار مهم می‌باشد. اول اینکه ریسک‌های بحرانی که اثر زیادی بر زمان و هزینه پروژه می‌گذارند شناسایی شوند، زیرا تحلیل تمامی ریسک‌ها در یک پروژه زمان‌بر بوده و کارایی لازم را ندارد. دوم اینکه پس از شناسایی ریسک‌های بحرانی و تحلیل آن‌ها، واکنش به ریسک ضرورت می‌گیرد، زیرا زمانی مدیریت ریسک اثربخش خواهد بود که به‌محض وقوع یک ریسک بتوان با یک برنامه‌ریزی دقیق و از پیش تعیین‌شده اثرات آن ریسک را از بین برده و یا کاهش داد. پاسخ‌گویی به ریسک‌های شناسایی‌شده در یک پروژه یکی از مراحل مهم مدیریت ریسک است. در این مرحله اکثراً چندین پاسخ برای هر ریسک وجود دارد. لذا، انتخاب پاسخ مناسب می‌تواند به‌عنوان یک مسئله و چالش مدیریت پروژه در نظر گرفته شود. استفاده از الگوهایی که بتواند ضمن شناسایی ریسک‌ها و ارزیابی آن‌ها، پاسخ‌های مرتبط با مهم‌ترین ریسک‌ها را برای کاهش انحرافات نامساعد از اهداف پروژه شامل هزینه، زمان و کیفیت پروژه انتخاب کند، ضروری به نظر می‌رسد؛ بنابراین در فرآیند برنامه‌ریزی پروژه باید ریسک‌های محتمل را شناسایی کرد، سپس استراتژی‌های مناسب و تمهیدات لازم را برای برخورد با ریسک‌های مختلف را در نظر گرفت. اهمیت پاسخ به ریسک‌های موجود به‌قدری بالا است که با در نظر گرفتن تمهیدات لازم، سبب کاهش هزینه و کاهش تأخیرات زمان تحویل فعالیت‌های پروژه و نتیجتاً کل پروژه می‌شود، اما درصورتی‌که این تمهیدات در نظر گرفته نشود هزینه پروژه افزایش‌یافته و زمان تکمیل آن نیز به تأخیر

می‌افتد. باوجود اهمیت زیاد مسئله انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک، پژوهش‌های محدودی در این زمینه وجود دارد. اکثراً این مطالعات، فرآیند انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک را مستقل از زمان‌بندی فعالیت‌های پروژه در نظر گرفته‌اند؛ در شرایطی که نحوه انتخاب و اجرای آن‌ها بر زمان تکمیل پروژه مؤثر می‌باشد. لذا در این مقاله به‌منظور ارزیابی و تحلیل ریسک‌های پروژه از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی صفر و یک برای انتخاب پاسخ‌های ریسک پروژه استفاده شده است تا با توجه به ماهیت احتمالی رویدادهای ریسک، شاخصی جهت ارزیابی اثرات زمانی و هزینه‌ای ریسک‌ها و همچنین استراتژی‌های پاسخ توسعه داده شود. رویکرد ارائه‌شده می‌تواند جهت انتخاب بهترین ترکیب استراتژی‌های پاسخ به ریسک که بیشترین اثر را در زمان و هزینه اجرای فعالیت‌ها داشته و سبب تکمیل پروژه با حداقل زمان و هزینه ممکن گردد، بکار برده شود.

ساختار مقاله به شرح مراحل ذیل است. در بخش دوم به بررسی پیشینه تحقیقات انجام‌شده در خصوص مسئله ارزیابی و مدیریت ریسک پروژه پرداخته می‌شود. در بخش سوم مدل‌سازی مسئله جهت انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک ارائه می‌شود. در بخش چهارم ساختار ارائه‌شده در یک مثال کاربردی موردبحث و بررسی قرار خواهد گرفت. نهایتاً در بخش پنجم، نتایج و مشاهدات حاصل از این تحقیق و پیشنهادهای تحقیقات آتی ارائه می‌شود.

۲- پیشینه پژوهش

مدل‌های مختلفی برای مدیریت ریسک پروژه به‌منظور افزایش موفقیت در پروژه توسعه داده شدند که در ادامه بررسی می‌شوند. در این رویکردها از ساختارها و ابزارهای مختلف جهت مدل‌سازی کمی یا کیفی انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک پروژه استفاده شده است.

۲-۱- رویکردهای پاسخ به ریسک پروژه

در سال‌های اخیر، به دلیل رویدادهای غیرمنتظره مانند بحران‌های مالی و شیوع بیماری

کووید-۱۹، تأخیرهای زیادی در پروژه‌ها در سراسر جهان رخ داده است (Motaleb, 2021)؛ که ضرورت توسعه رویکردهایی جهت کنترل اثرات این ریسک‌ها و مخاطرات را در راستای کاهش تأخیرات زمانی پروژه‌ها ایجاب می‌نماید. بدین منظور، محققین طی سالیان اخیر، سعی در ارائه روش‌های مختلف کاهش اثرات ریسک‌ها نموده‌اند.

(Fan et al., 2015) یک روش برنامه‌ریزی‌شده برای ارائه پاسخ‌های ریسک بر اساس استدلال مبتنی بر مورد[1] ارائه داد. این روش از پنج مرحله تشکیل شده است: (۱) معرفی مسئله، (۲) بهبود موارد گذشته با مقایسه ریسک‌های گذشته و فعلی، (۳) اندازه‌گیری شباهت‌های بین موارد گذشته و فعلی، (۴) بررسی ریسک اعمال‌شده پاسخ‌ها و تحلیل رابطه بین پاسخ‌های شناسایی‌شده در خطرات پروژه فعلی و (۵) ارائه پاسخی که با ارزیابی و انتخاب از مجموعه پاسخ‌های انتخاب‌شده سازگار باشد. در تحقیق دیگری، (Y. Zhang et al., 2020) یک روش بر اساس تجزیه‌وتحلیل مبتنی بر مورد و بهینه‌سازی فازی ارائه دادند تا در تصمیم‌گیری در مورد پاسخ به ریسک‌های پروژه استفاده شود. مراحل اصلی این روش شامل تعریف استراتژی‌های جایگزین پاسخ به ریسک بر اساس تجزیه‌وتحلیل مبتنی بر مورد و تعیین مجموعه بهینه استراتژی‌های پاسخ به ریسک با استفاده از یک مدل بهینه‌سازی فازی می‌باشد. در پژوهش (Zuo et al., 2022)؛ مسئله تعیین استراتژی‌های پاسخ به ریسک پروژه با مسئله برنامه‌ریزی پروژه با محدودیت منابع ترکیب شد و یک ساختار جهت تخصیص و برنامه‌ریزی منابع محدود وابسته به ریسک توسعه داده شد. نتایج محاسباتی نشان داد که در رویکرد مذکور، استفاده از منابع در شرایط وجود ریسک بهبود می‌یابد.

(Fan et al., 2008) یک چارچوب مفهومی را پیشنهاد می‌کند که رابطه بین پاسخ‌های ریسک و ویژگی‌های پروژه (یعنی اندازه، شناوری و پیچیدگی‌های فنی) را توصیف می‌کند. درنهایت، یک تجزیه‌وتحلیل بهینه‌سازی برای انتخاب استراتژی‌های پاسخ برای ریسک‌های موجود ارائه‌شده است تا هزینه اجرای آن‌ها را به حداقل برساند.

(López, C., & Salmeron,J. L.,2012) باهدف شناسایی ریسک‌های پروژه‌های

1. Case-Based Reasoning (CBR)

نرم‌افزاری، از یک روش عملکردی در ارزیابی ریسک‌های شناسایی‌شده استفاده کردند و درنهایت، پاسخ‌های مناسب برای مدیریت این خطرات را ارائه دادند.

(Dikmen et al., 2008) روش مدیریت مبتنی بر آموزش را برای مدیریت ریسک پیشنهاد کردند و از این ابزار برای پروژه در حال ساخت استفاده شد، زیرا آن‌ها معتقد بودند که مدیریت ریسک وظیفه‌ای است که باید در طول چرخه عمر پروژه انجام شود. در تحقیق دیگری که در سال ۲۰۱۱ انجام شد، یک سیستم پشتیبانی تصمیم[1] برای مدل‌سازی و مدیریت ریسک‌های پروژه و ارتباط بین این ریسک‌ها در پروژه ایجاد شد (Chao & Franck, 2011). چارچوب این سیستم از پنج مرحله تشکیل شده است: (۱) شناسایی شبکه ریسک، (۲) ارزیابی شبکه ریسک، (۳) تجزیه‌وتحلیل شبکه ریسک، (۴) برنامه‌ریزی پاسخ ریسک و (۵) کنترل و نظارت بر ریسک.

ملاحظه می‌شود که مطالعات مرتبط با انتخاب استراتژی پاسخ به ریسک، موردتوجه محققان از دیدگاه‌های مختلف قرار گرفته است. رویکردهای موجود در این مطالعات را می‌توان به‌طور عمده در چهار دسته طبقه‌بندی کرد: رویکرد مبتنی بر منطقه، رویکرد تبادلی، رویکرد مبتنی بر WBS و رویکرد بهینه‌سازی. در ادامه، توضیحات مختصری در مورد این رویکردها ارائه خواهد شد.

در **رویکرد مبتنی بر منطقه**[2]، دو معیار انتخاب‌شده با توجه به ریسک‌ها، به ترتیب در محور افقی و محور عمودی ترسیم می‌شوند. دو معیار انتخاب‌شده احتمال وزنی برای ریسک فوری پروژه و ریسک پروژه خارجی (Datta, S., Mukherjee, S.K., 2001)، و میزان قابل‌کنترل بودن ریسک‌ها و میزان خاص بودن ریسک‌ها مربوط به پروژه است (Miller, R., Lessard, D., 2001). با توجه به مقادیر مختلف این دو معیار، یک نمودار دو محوری متشکل از چندین منطقه تشکیل می‌شود. استراتژی‌های مختلف در مناطق مربوطه قرار می‌گیرند؛ بنابراین، می‌توان استراتژی‌های مناسب را با توجه به مناطقی که مختصات تشکیل‌شده از دو مقدار معیار در آن قرار دارند، انتخاب کرد. رویکرد مبتنی بر

1. Decision Support System (DSS)
2. Zonal-based (ZB) approach

منطقه دوبعدی را می‌توان به‌عنوان ابزار تقریبی برای انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک در نظر گرفت(Karunakaran et al., 2020) . (Hatefi et al., 2007) یک دیدگاه مفهومی درباره بهبود عملکرد پروژه ازنظر هزینه و زمان با بررسی عوامل تأخیر پروژه که با استفاده از تدابیر مرتبط با پاسخ به ریسک پروژه مدیریت می‌شوند، ارائه دادند. نتایج این تحقیق نشان داد چنانچه تدابیر مرتبط با پاسخ به ریسک پروژه به‌عنوان مداخله‌گرها در رابطه بین عوامل تأخیر پروژه و عملکرد زمان و هزینه پروژه ساختمانی عمل کنند، تأثیر مثبتی بر عملکرد پروژه خواهند داشت. (Chu & Wang, 2020) مدل انتخاب استراتژی پاسخ به ریسک با در نظر گرفتن همبستگی ریسک‌ها بر اساس الگوریتم خاکستری پیشنهاد نمودند. در این پژوهش، تمرکز اصلی بر روی اندازه‌گیری دو جنبه از عوامل ریسک است. یکی قابلیت عوامل ریسک بر تأثیر بر عوامل ریسک دیگر و دیگری میزان تأثیر عوامل ریسک دیگر بر آن‌هاست. هردوی این موارد با استفاده از الگوریتم خاکستری اندازه‌گیری شدند و وزن‌های آن‌ها برای ساخت مدل انتخاب استراتژی پاسخ به ریسک استفاده شد.

در **رویکرد مبتنی بر تبادل**[1]، به‌منظور دستیابی به ریسک منتخب جهت تدوین استراتژی‌های پاسخ، تبادل با توجه به هدف و الزامات پروژه و تنظیمات ذهنی مدیران بین معیارهای مرتبط با ریسک مانند هزینه، احتمال موفقیت، درصد تلفات کار، مدت‌زمان، کیفیت و غیره انجام‌شده است. سپس می‌توان استراتژی‌های مطلوب را با توجه به قانون مرز کارآمد از میان گزینه‌ها انتخاب کرد (Kujawski, E., 2002, Pipattanapiwong, J., Watanabe, T., 2000). (Y. Zhang & Guan, 2021) یک روش ترکیبی از تحلیل درخت خطا و مدل بهینه‌سازی برای تخصیص بودجه پاسخ به ریسک از دو منظر پیشگیری و حفاظت توسعه دادند. درواقع، روش پیشنهادی شامل دو مرحله اصلی است. مرحله اول تجزیه‌وتحلیل و محاسبه احتمال و ضرر ریسک است. مرحله دوم ساخت یک مدل بهینه‌سازی برای تخصیص بودجه پاسخ است. نتایج نشان داد در صورت ناکافی بودن بودجه استراتژی‌های پاسخ به ریسک، مدیران پروژه باید بیشتر به حفاظت از ریسک توجه

1. Trade-off-based (TB) approach

کنند و با رویدادی که می‌تواند ضرر شدیدی ایجاد کند، مقابله کنند. در پژوهش (Ahmadi-Javid et al., 2020)، یک روش بهینه‌سازی ریاضی جهت انتخاب مجموعه‌ای مناسب از پاسخ‌های مقابله با ریسک‌های سبد پروژه با در نظر گرفتن عوامل کلیدی مانند هزینه، بودجه، وزن‌های اولویت پروژه، احتمالات وقوع رویدادهای ریسک، وابستگی‌های بین بسته‌های کاری و وابستگی‌های هم‌زمانی پیشنهاد شد. لذا این مدل می‌تواند در سطح مدیریت سبد پروژه‌ها به‌منظور ارزیابی سطح ریسک مجموعه‌ای از پروژه‌ها استفاده شود.

رویکرد مبتنی بر WBS[1]**[2]**، به‌عنوان روشی مبتنی بر مدیریت ریسک و روند مدیریت پروژه در نظر گرفته می‌شود. این انتخاب استراتژی پاسخ ریسک را به فعالیت‌های کاری مبتنی بر تجزیه‌وتحلیل WBS پروژه مرتبط می‌کند. هنگامی‌که فعالیت تجزیه‌وتحلیل شده واقعی باشد، ریسک‌ها شناسایی‌شده و می‌توان استراتژی‌ها را مستقیماً با آن فعالیت مرتبط ساخت (Chapman, C.B., 1979) یا می‌توان از بین شاخص‌های انحراف مورد انتظار از بین کاندیدها انتخاب کرد (Seyedhoseini, S.M., 2009). (Guan et al., 2023) یک روش یکپارچه بر اساس یک مدل بهینه‌سازی و تحلیل درخت خرابی برای تخصیص بودجه پاسخ به ریسک از دیدگاه ایمنی و پیشگیری توسعه دادند. روش پیشنهادی شامل سه مرحله اصلی است. مرحله اول تجزیه‌وتحلیل احتمالات ریسک و ضررهای مرتبط با آن است که شامل شناسایی علل ریسک با استفاده از تحلیل درخت خرابی است. مرحله دوم، ایجاد رابطه‌ای بین بودجه اختصاص‌یافته به استراتژی‌های پاسخ به ریسک و اثرات پاسخ مربوطه است. مرحله سوم، ساخت یک مدل بهینه‌سازی باهدف کمینه کردن کل هزینه ریسک است. نتایج این پژوهش نشان داد که می‌توان بودجه پاسخ به ریسک بهینه را تعیین کرد و ساختار شبکه ریسک تأثیر قابل‌توجهی بر استراتژی پاسخ به ریسک دارد. (Wang et al., 2022) با توجه به شبکه تداخل ریسک که گره‌ها و یال‌های آن به ترتیب ریسک‌ها و تداخلات ریسک می‌باشند، یک شبکه تأخیر ریسک

1. Work Breakdown Structure
2. WBS-based (WBSB) approach

(RDN[1]) را با در نظر گرفتن تأخیر زمانی به‌عنوان ویژگی یال ایجاد کردند و یک روش یکپارچه برای تصمیم‌گیری درباره پاسخ به ریسک ارائه دادند که شامل یک مدل شبیه‌سازی RDN برای ارزیابی اهمیت ریسک و یک تحلیل ساختاری RDN برای ارائه راهکارهای مؤثر در ریسک‌های بحرانی است. در پژوهش (Guan et al., 2021) یک رویکرد تخصیص بودجه برای کاهش ریسک پروژه ارائه شد که شامل سه مرحله می‌باشد. در ابتدا، رابطه بین تأثیر ریسک و هزینه هر استراتژی به‌صورت رابطه خطی و غیرخطی مدل‌سازی شد. در مرحله دوم، دو مدل ریاضی توسعه داده شد و روش‌های تحلیلی نیز حاصل گردید. درنهایت، یک روش سه مرحله‌ای برای تخصیص بودجه توسعه داده شد. خروجی مدل، کارایی رویکرد پیشنهادی را تأیید نمود.

رویکرد بهینه‌سازی[2] ساخت یک مدل ریاضی برای حل مسئله انتخاب استراتژی پاسخ ریسک است. به‌طورکلی، در مدل، تابع هدف به حداقل رساندن مقدار هزینه اجرای استراتژی‌ها است و محدودیت‌ها شامل ترکیبی از استراتژی‌ها، سطح قابل‌قبول از دست دادن ریسک‌ها، بودجه اجرای استراتژی‌ها و غیره می‌باشد (Ben-David et al., 2001, Ben-David et al., 2002, Kayis, B., 2007). (Mirsharafeddin, 2020) یک مدل بهینه‌سازی دو هدفه برای بهترین ترکیب پروژه‌ها به‌منظور اجرای مناسب پاسخ‌های ریسک در یک دوره برنامه‌ریزی ارائه دادند. هدف اول بر ارتقای کارایی در پاسخ به ریسک‌ها و هدف دوم نیز بر کاهش هزینه مستقیم پروژه، شامل هزینه دستگاه‌ها، نیروی انسانی و مواد تمرکز دارد. در این مدل، ریسک‌های پروژه توسط محدودیت‌های زمان، کیفیت و هزینه کنترل می‌شوند و استراتژی‌های پاسخ به ریسک بهینه جهت حذف یا کاهش تأثیرات ریسک‌ها انتخاب می‌شوند.

(Al-Mhdawi et al., 2023) یک مدل بهینه‌سازی مبتنی بر فازی برای انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک‌های ساختمانی بر اساس نظرخواهی از کارشناسان ساختمانی در عراق ارائه دادند. دو مرحله اصلی برای جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها در این تحقیق به کار

1. Risk Delay Network
2. Optimization-model (OM) approach

گرفته شد. در مرحله اول، تکنیک دلفی برای شناسایی ریسک‌های صنعت ساختمان در عراق، شناسایی استراتژی‌های مناسب پاسخ برای هر عامل ریسک و شناسایی اجزای تصمیم در استراتژی‌های پاسخ به ریسک استفاده شد. در مرحله دوم، یک مدل بهینه‌سازی مبتنی بر فازی برای انتخاب استراتژی‌های پاسخ توسعه داده شد و یک پرسشنامه پیشنهادی برای ارزیابی احتمال و تأثیر هر ریسک و اجزای تصمیم مرتبط با هر استراتژی پاسخ به ریسک به کار گرفته شد. (X. Zhang, Goh, Bai, Wang, et al., 2023) با استفاده از یک مدل بهینه‌سازی بازه‌ای چهار مرحله‌ای بر اساس یک شبکه ریسک-پروژه دوسطحی یک مدل تصمیم‌گیری در خصوص استراتژی‌های پاسخ به ریسک ارائه دادند. در رویکرد توسعه داده‌شده، ابتدا یک شبکه دوسطحی ساخته می‌شود که گره‌های بالایی ریسک‌ها و گره‌های پایینی نیز پروژه‌های جایگزین را نشان می‌دهند. سپس یک مدل انتخاب پیشنهاد می‌شود تا احتمال انتخاب پروژه‌ها را از طریق شبیه‌سازی به دست آورد. در مرحله سوم، مدل ارزیابی و تصمیم‌گیری به کار گرفته می‌شود تا ریسک‌ها را به ترتیب اولویت تعیین نماید. درنهایت، یک مدل بهینه‌سازی بازه‌ای تحت بودجه پاسخ نامعلوم ساخته می‌شود. این مطالعه یک مدل جامع تصمیم‌گیری در زمینه پروتفویو پروژه‌ها با وابستگی‌های نامعلوم پروژه‌ها ارائه می‌دهد.

(Zuo et al., 2023) یک مدل بهینه‌سازی دو هدفه برای برنامه‌ریزی منابع مرتبط با ریسک معرفی کردند. سپس از یک الگوریتم متاهیورستیک جهت حل مدل استفاده شد که خروجی مورد مطالعاتی این تحقیق، کارایی مدل و روش حل را تأیید نمود.

(Safaeian et al., 2022) نیز یک رویکرد بهینه‌سازی جهت انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک پروژه که بیشینه تابع فایده را بیان می‌کنند، پیشنهاد نمودند. این رویکرد با انتخاب استراتژی‌های مناسب‌تر با بالاترین تأثیر بر پروژه بر اساس وزن هر ریسک و محدودیت‌های بودجه‌ای انجام می‌شود.

رویکردهای فوق از دیدگاه‌های مختلف سهم بسزایی در انتخاب استراتژی پاسخ به ریسک داشته است. بااین‌حال، برخی از محدودیت‌ها در این رویکردها وجود دارد.

به‌عنوان‌مثال، فقط دو معیار را می‌توان در رویکرد مبتنی بر منطقه و رویکرد بهینه‌سازی در نظر گرفت. عدم وجود راه‌حل ریاضی دقیق در رویکرد تبادلی و رویکرد مبتنی بر WBS نیز از محدودیت‌های این روش‌ها می‌باشد. علاوه بر این، همه رویکردها، به‌جز رویکرد مبتنی بر WBS، فقط می‌تواند در پروژه‌های مقیاس کوچک اعمال شود که تجزیه‌وتحلیل ریسک به‌راحتی و بدون نیاز به ارائه فعالیت‌های پروژه به‌طور مستقیم بر روی کل پروژه انجام می‌شود. خلاصه‌ای از پژوهش‌های مرتبط در مورد انتخاب استراتژی پاسخ به ریسک پروژه، در جدول (۱) نشان داده‌شده است.

جدول ۱. مروری بر رویکردهای پاسخ به ریسک پروژه

نویسندگان	کانون تحلیل	رویکردها
Flanagan,R., Norman, G., 1993	احتمال وقوع و شدت ریسک‌ها	رویکرد مبتنی بر منطقه
Elkjaer, M., Felding, F., 1999	میزان تأثیر و درجه قابل پیش‌بینی بودن ریسک‌ها	
Datta, S., Mukherjee, S.K., 2001	احتمال وزنی ریسک فوری پروژه و ریسک خارجی پروژه	
Piney, C., 2002	قابل‌قبول بودن تأثیر و احتمال ریسک‌ها	
Miller,R., Lessard, D., 2001	میزان کنترل‌پذیری ریسک‌ها و خاص بودن ریسک‌های پروژه	
Karunakaran et al., 2020	هزینه و زمان پروژه با بررسی عوامل تأخیر پروژه	
Chu & Wang, 2020	قابلیت عوامل ریسک بر تأثیر بر عوامل سایر ریسک‌ها و میزان تأثیر سایر عوامل ریسک بر آن‌ها	
Chapman,C.B.,Ward, S.C., 1997	هزینه‌های مورد انتظار استراتژی‌های پاسخ به ریسک و عوامل عدم اطمینان هزینه‌های پیش‌بینی‌شده	رویکرد تبادل
Pipattanapiwong, J., Watanabe, T., 2000	هزینه پیش‌بینی‌شده ریسک پس از استفاده از استراتژی پاسخ ریسک و درجه خطر دسترسی به پاسخگویی ریسک	
Kujawski, E., 2002.	احتمال موفقیت برای کل هزینه معین پروژه و کل هزینه	

نویسندگان	کانون تحلیل	رویکردها
	پروژه برای یک احتمال معین موفقیت	
Haimes, Y., 2005	هزینه استراتژی پاسخ ریسک و درصد تلفات کاری مرتبط با استراتژی پاسخ ریسک	
Klein, J.H., 1993	عدم قطعیت در طول پروژه، هزینه و کیفیت	
Y. Zhang & Guan, 2021	تجزیه‌وتحلیل و محاسبه احتمال و ضرر ریسک و ساخت یک مدل بهینه‌سازی برای تخصیص بودجه پاسخ	
Ahmadi-Javid et al., 2020	هزینه، بودجه، وزن‌های اولویت پروژه، احتمالات وقوع رویدادهای ریسک، وابستگی‌های بین بسته‌های کاری	
Chapman, C.B., 1979	فعالیت‌های کاری، خطرات و فعالیت‌های پاسخ به ریسک‌های مرتبط با فعالیت‌های کاری	رویکرد مبتنی بر WBS
Klein, J.H., et al 1994	تنوع در Chapman بر اساس تجزیه‌وتحلیل یک فعالیت نمونه اولیه	
Seyedhoseini, S.M., et al 2009	انتخاب مجموعه‌ای از اقدامات پاسخگویی که انحراف نامطلوب از دستیابی به محدوده پروژه را به حداقل می‌رساند.	
Guan et al., 2023	تحلیل درخت خرابی برای تخصیص بودجه پاسخ	
Wang et al., 2022	ریسک‌ها و تداخلات ریسک	
Guan et al., 2021	تأثیر ریسک بر هزینه اجرای هر استراتژی	
Ben-David, I., Raz, T., 2001	محتویات کار پروژه، وقایع ریسک و اقدامات کاهش ریسک و اثرات آن‌ها	رویکرد بهینه‌سازی
Ben-David, I., et al 2002	تعاملات بین بسته‌های کاری در رابطه با خطرات و تلاش برای کاهش ریسک	
Fan, M., Lin, N.-P., Sheu, C., 2008	استراتژی مدیریت ریسک و مشخصات پروژه مربوطه	
Kayis, B., Arndt, G., et al 2007	بودجه موجود و اهداف استراتژیک پروژه	
Zhang, Y., & Fan, Z. P. 2014	انتخاب مجموعه‌ای از اقدامات پاسخ که تأثیرات تخمین زده‌شده پاسخ ریسک را به حداکثر می‌رساند	

نویسندگان	کانون تحلیل	رویکردها
Mirsharafeddin, 2020	ارتقای کارایی در پاسخ به ریسک‌ها و کاهش هزینه مستقیم پروژه	
Al-Mhdawi et al., 2023	شناسایی استراتژی‌های مناسب پاسخ برای هر عامل ریسک و شناسایی اجزای تصمیم در استراتژی‌های پاسخ به ریسک	
X. Zhang, Goh, Bai, Wang, et al., 2023	مدل بهینه‌سازی بازه‌ای چهار مرحله‌ای بر اساس یک شبکه ریسک-پروژه دوسطحی	
Zuo et al., 2023	برنامه‌ریزی منابع مرتبط با ریسک	
Safaeian et al., 2022	انتخاب استراتژی‌های مناسب‌تر با بالاترین تأثیر بر پروژه بر اساس وزن هر ریسک و محدودیت‌های بودجه‌ای	

۲-۲- دسته‌بندی مقالات و مقایسه روش حل آن‌ها

۲-۲-۱- تحقیقات مرتبط با استراتژی‌های پاسخ در مدیریت ریسک پروژه با درنظر گرفتن اثرات متقابل میان ریسک‌ها

(Fang et al., 2013) در پژوهش خود چارچوبی برای برنامه‌ریزی پاسخ به ریسک ارائه دادند. در مدل بیان‌شده، روابط متقابل ریسک‌ها مدل‌سازی شده و به‌صورت شبکه‌ای از ریسک‌ها ارائه شده است. (Zhang, Y.,2016) در پژوهش خود بیان نمود که میان ریسک‌ها اثرات متقابلی وجود دارد. او با در نظر گرفتن این وابستگی‌ها نشان داد که وابستگی‌های بین ریسک‌ها اثر قابل‌توجهی بر روی تصمیمات پاسخ به ریسک می‌گذارد که عدم توجه به آن‌ها باعث افزایش هزینه اجرا و کاهش سود مورد انتظار می‌شود. در این مقاله، یک متغیر صفر و یک‌جهت انتخاب استراتژی پاسخ در نظر گرفته شده است تابع هدف این مسئله از نوع بیشینه‌سازی می‌باشد و درصدد آن است که استراتژی‌هایی را انتخاب کند که وزن ریسک آن‌ها و اثر اعمال استراتژی پاسخ آن‌ها بالاتر باشد.

(Arabi et al., 2022) یک مدل مبتنی بر شبکه‌های بیزین برای ارزیابی احتمال شکست پروژه با در نظر گرفتن وابستگی‌های ریسک و نقش استراتژی‌های پاسخ به ریسک

در کاهش اثرات ریسک پروژه را ارائه کردند. نتیجه اجرای مدل در مطالعه موردی نشان داد که با اختصاص حدود ۲٪ بیشتر برای اجرای استراتژی‌های پاسخ به ریسک، احتمال شکست پروژه حدود ۶۰٪ کاهش می‌یابد. علاوه بر این، هنگامی‌که هزینه کل اجرای استراتژی‌های پاسخ به ریسک به طرز چشمگیری افزایش یابد، احتمال شکست پروژه لزوماً کاهش نخواهد یافت؛ زیرا گاهی پرهزینه‌ترین استراتژی‌های پاسخ، بهترین استراتژی نمی‌باشد.

به‌عنوان بخشی از مطالعات کمی و کیفی تحلیل استراتژی‌های پاسخ به ریسک، (X. Zhang, Goh, Bai, & Wang, 2023) با تلفیق روش‌های گسترش عملکرد کیفیت (QFD[1]) و کارت امتیازی متوازن (BSC[2])، روشی جهت تعیین عوامل موفقت پروژه و تدوین اسراتژی‌های پاسخ به ریسک ارائه نمودند. در این روش همچنین از تئوری فازی جهت مدل‌سازی وابستگی‌های بین ریسک‌های پروژه استفاده شد. در تحقیق کیفی دیگری که توسط (Liu et al., 2022) انجام گرفت، تأثیر ذینفعان بر شبکه ریسک‌های پروژه با ساخت یک مدل شبکه دو لایه و شناسایی گره‌های کلیدی در شبکه ارزیابی شد. مدل شبکه دو لایه شامل شبکه رابطه ذینفعان، شبکه تعامل ریسک‌ها و نیز ارتباطات میان دو شبکه می‌باشد. این ساختار می‌تواند به مدیران پروژه جهت اتخاذ تصمیمات درست کمک نماید.

۲-۲-۲- تحقیقات مرتبط با استراتژی‌های پاسخ در مدیریت ریسک پروژه بدون در نظر گرفتن اثرات متقابل میان ریسک‌ها

(Baker, S., et al 1999) در مقاله خود با طرح پرسشنامه‌ای، به مقایسه صنایع نفت و گاز با صنایع ساختمانی در استفاده از روش‌های پاسخ به ریسک پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها مشخص نمود که صنایع نفت و گاز و صنایع ساختمانی به چه ریسک‌هایی توجه نشان می‌دهند و در اعمال هر استراتژی پاسخ مانند حذف ریسک، انتقال، پذیرش و

1. Quality Function Deployment
2. Balanced Score card

یا کاهش آن، چه فعالیت‌هایی را در نظر می‌گیرند. (Ben-David, I., Raz, T., 2001) هدف مقاله خود را ایجاد بهترین ترکیب از فعالیت‌های کاهش ریسکی بیان نمودند که هزینه‌های کلی ریسک را کمینه کند. آن‌ها در راستای رسیدن به این هدف ابتدا ساختار شکست پروژه خود را ایجاد کرده و فعالیت‌های آن را تعریف نمودند. اثرات ریسک‌ها و پاسخ‌های ریسک در قالب ماتریس‌هایی تعریف شد. جمع تمامی المان‌های ماتریس تجمیعی، ریسک کلی پروژه را نشان می‌دهد. در مدل ارائه‌شده هدف، انتخاب فعالیت‌های کاهش ریسکی است که هزینه‌های کلی ریسک را کمینه کند. (Fan et al,2008)، در مقاله خود بیان نمودند که هر استراتژی پاسخ نیاز به منابع مختلف مالی، منابع و هزینه‌دارند و این سؤال مطرح می‌شود که کدام استراتژی پاسخ باید انتخاب گردد تا زیان مورد انتظار از ریسک کاهش‌یافته و کمترین هزینه اجرا حاصل شود. آن‌ها در پژوهش خود دو احتمال به وقوع ریسک اختصاص دادند که شامل احتمال وقوع ریسک قبل و بعد از اجرای پاسخ می‌باشد.

برای بهبود فرآیند انتخاب اقدامات پاسخ به ریسک‌های پروژه (Parsaei Motamed & Bamdad, 2022)، یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی مرتبط با ریسک‌های ثانویه پروژه ارائه کردند که هدف آن کمینه نمودن انحرافات ناخواسته از تغییرات مورد انتظار در هزینه، زمان و کیفیت پروژه به دلیل وقوع ریسک‌ها می‌باشد. در تحقیق (Ghadir et al., 2023) یک مدل بهینه‌سازی پیشنهاد شد تا استراتژی‌های پاسخ به ریسک برای سه نوع ریسک اولیه، ثانویه و باقیمانده انتخاب شود. در ساخت مدل، تابع هدف برای کمینه کردن کل هزینه‌های ریسک و هزینه‌های کاهش محدودیت‌های زمانی که بر روابط بین دو فعالیت اعمال می‌شود، در نظر گرفته شد.

(Seyedhoseini, S.M., 2009) در مقاله خود سه عنصر کلیدی پروژه را زمان، هزینه و کیفیت برشمردند و اظهار داشتند که با برآوردن الزامات این سه عنصر، پروژه به هدف نهایی خود خواهد رسید. آن‌ها همچنین بیان نمودند که وقوع رخدادهای ریسک به همراه اجرای اقدامات پاسخ باعث می‌شود که وضعیت انتظاری پروژه، از هدف پروژه انحراف

داشته باشد. هدف آن‌ها انتخاب سبدی از اقدامات پاسخ‌گویی به ریسک‌های پروژه بوده به‌گونه‌ای که انحراف انتظاری هدف بیشینه گردد.

(Zegordi, S. et al, 2012) بیان نمودند که ریسک بر روی زمان، هزینه و کیفیت فعالیت‌ها اثرگذار است. آن‌ها از یک متغیر تصمیم صفر و یک برای انتخاب استراتژی پاسخ استفاده نمودند و یک مدل بهینه‌سازی ارائه دادند که زیان کلی ناشی از ریسک‌ها بر روی زمان، هزینه و کیفیت را کمینه می‌کند. (López, C., & Salmeron,J. L.,2012) در مقاله خود بیان نمودند که مدیریت ضعیف پروژه‌های نرم‌افزاری موجب شکست آن‌ها می‌شود، بدین منظور برای مدیریت موفقیت‌آمیز آن‌ها، باید استراتژی‌های مؤثری جهت مقابله با ریسک‌ها اتخاذ گردد. آن‌ها در مقاله خود فهرستی از ریسک‌های مهم و کلیدی پروژه‌های نرم‌افزاری را با استفاده از مطالعات پیشین به دست آوردند. با تحلیل این ریسک‌ها توسط دوازده خبره، مؤثرترین استراتژی‌ها برای پاسخ به آن‌ها را شناسایی نمودند.

(Zhang, Y., & Fan, Z. P.,2014)، در مقاله خود به این نکته اشاره نمودند که رویداد ریسک ممکن است در هر جنبه از پروژه اتفاق بیفتد. به‌طور مثال وقوع ریسک در سه فاکتور کلیدی پروژه که شامل زمان، هزینه و کیفیت است می‌تواند باعث بالاتر رفتن هزینه از میزان تعیین‌شده، تأخیر در زمان اتمام پروژه و یا نرسیدن به سطح مطلوب کیفیت گردد. آن‌ها همچنین بیان نمودند که جهت کاهش ریسک و اثرات منفی آن از استراتژی-های پاسخ استفاده می‌شود که با اعمال آن‌ها، مدت‌زمان پروژه کاهش‌یافته و باعث افزایش کیفیت می‌شود اما از طرفی، هزینه نیز افزایش می‌یابد، لذا در استفاده از استراتژی پاسخ باید به زمان، هزینه و کیفیت به‌صورت هم‌زمان توجه گردد. به‌منظور پشتیبانی از مدیریت مؤثر و پایدار ریسک، (B. Zhang et al., 2022) یک روش جدید پاسخ به ریسک را پیشنهاد دادند که مدل‌های شبکه بیزی دینامیک و بهینه‌سازی درآمد–ریسک را باهم ادغام می‌کند تا استراتژی‌های پاسخ به ریسک برای مراحل مختلف چرخه عمر سبد پروژه انتخاب گردد. نتایج نشان می‌دهد که اثرات پاسخ به ریسک در صورتی بیشینه می‌شوند که

ریسک‌ها در مراحل ابتدایی پاسخ داده شوند. (Jin et al., 2023) یک رویکرد برای انتخاب استراتژی پاسخ به ریسک با تجزیه‌وتحلیل کیفی و اندازه‌گیری کمی ارائه دادند که بر اساس یک مدل بهینه‌سازی استوار است و توسط روش تحلیل حالت و اثرات خرابی (FMEA[1]) و ماتریس اتحادها و تضادها: تاکتیک‌ها، هدف‌ها و توصیه‌ها (MACTOR[2]) یکپارچه شده است. این روش جدید به شرکت‌های طراحی کمک می‌کند تا استراتژی‌های بهینه پاسخ به ریسک را انتخاب کنند، ریسک طراح را کمینه کنند و امکان اجرای ایمن و مؤثر پروژه‌های طراحی را در ساختار سازمانی طراحی آینده فراهم سازند.

۳-۲- ارتباط موضوع تحقیق با کارهای قبلی

مطالعه ادبیات موضوع بیانگر آن است که تاکنون ابزارها و تکنیک‌های معدودی در زمینه ارزیابی و انتخاب اقدامات پاسخ‌گویی به ریسک‌ها توسعه‌یافته است که در قسمت قبل به برخی از روش‌های موجود اشاره گردید. طبق نظر هیلسون تحقیقات مرتبط با پاسخ‌گویی به ریسک‌های پروژه ضعیف‌ترین بخش فرآیند مدیریت ریسک می‌باشد (Hillson, D.,1999).

از طرف دیگر مدل‌های موجود نیز دارای محدودیت‌هایی ازجمله موارد زیر هستند: ابزارهای نموداری به‌طور تقریبی استراتژی پاسخ را مشخص می‌نمایند، ولی در انتخاب جزئیات پاسخ‌ها مفید نیستند. عموماً برای هر ناحیه یک استراتژی تعیین می‌کنند درحالی‌که در دنیای واقعی باید استراتژی‌های متفاوتی برای ریسک‌های موجود در هر ناحیه در نظر گرفت. علاوه بر این، این ابزارها فقط دو معیار را در نظر می‌گیرند، ولی اغلب اوقات در مسائل عملی باید معیارهای متعددی بررسی گردد. علاوه بر این، در اغلب این روش‌ها یکپارچگی مدیریت ریسک با سایر بخش‌های مدیریت پروژه در نظر گرفته نشده است.

با بررسی و مطالعه پژوهش‌های صورت گرفته مسئله انتخاب پاسخ برای ریسک‌ها را می‌توان در قالب یک مسئله بهینه‌سازی مدل‌سازی نمود. در این رویکرد مجموعه‌ای از

1. Failure Mode and Effects Analysis
2. Matrix of Alliance and Conflict: Tactics, Objectives, and Recommendations

اقدامات به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود که ضمن برآورده ساختن محدودیت‌های سیستم، تابع هدف مربوطه بهینه گردد. مدل بهینه‌سازی باید نقطه بهینه‌ای را محاسبه نماید که در آن مجموع هزینه‌های ناشی از ریسک‌ها و هزینه اجرای پاسخ کمترین مقدار باشد. در این مقاله از یک مدل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی صفر و یک برای انتخاب پاسخ‌های ریسک پروژه استفاده می‌شود تا اثرگذاری آن به‌صورت احتمالی، بر زمان و هزینه حداکثر و همچنین هزینه اجرای استراتژی پاسخ به ریسک حداقل شود. همچنین این مدل برخلاف مدل‌های قبلی، در فضایی کاملاً غیرقطعی و به‌صورت احتمالی استراتژی‌های پاسخ به ریسک پروژه را بررسی می‌کند.

۳- مدل‌سازی مسئله

در این بخش به مدل‌سازی مسئله پرداخته می‌شود. در این پژوهش مجموعه‌ای از فعالیت‌های کاری در نظر گرفته‌شده که برای هر فعالیت کاری ممکن است ریسک‌هایی وجود داشته باشد که بر روی آن‌ها اثرگذار باشد. سپس استراتژی‌های پاسخ به ریسک مدل‌سازی شده تا مطلوب‌ترین راهبرد به دست آید. برای حل مدل از تکنیک برنامه‌ریزی صفر و یک استفاده می‌شود. با حل مدل، راهبردهایی انتخاب می‌شود که برآورد اثر پاسخ ریسک بعد از اجرای راهبرد را به حداکثر برساند و هزینه اجرای آن نیز حداقل گردد.

۳-۱- فرضیات مدل

مفروضات مدل‌سازی به شرح موارد زیر است:

۱- ریسک‌ها تهدیدی برای پروژه هستند (اثرات منفی ریسک‌ها بررسی می‌شود).

۲- ریسک‌ها از هم مستقل هستند.

۳- استراتژی‌های پاسخ به ریسک مستقل از هم هستند.

۴- برای هر ریسک می‌توان چندین استراتژی پاسخ در نظر گرفت که نهایتاً یک استراتژی انتخاب خواهد شد.

۵- ترتیب اجراشدن استراتژی‌ها مهم نیست.

۲-۳- اندیس‌های مدل

به‌منظور درک کامل مدل در این بخش در جدول (۲) به توصیف هر یک از اندیس‌ها پرداخته می‌شود.

جدول ۲. اندیس‌های مدل

نماد اندیس	شرح
i	استراتژی‌های پاسخ به ریسک پروژه
j	ریسک‌ها
k	فعالیت‌ها

۳-۳- پارامترهای مدل

پارامترهای مدل به شرح جدول (۳) می‌باشد.

جدول ۳. پارامترهای مدل

نماد پارامتر	شرح
B	بودجه موجود برای اجرای استراتژی‌های پاسخ به ریسک‌های پروژه
C_{jk}	هزینه ناشی از وقوع ریسک j ام مرتبط با فعالیت k ام
T_{jk}	تأخیر در زمان ناشی از وقوع ریسک j ام مربوط به فعالیت k ام
D_k	حداکثر تأخیر مجاز برای فعالیت k در پروژه
P_{jk}	احتمال وقوع ریسک j ام مربوط به فعالیت k ام
I_{ij}^{k}	هزینه اجرای استراتژی i ام در برابر ریسک j ام مربوط به فعالیت k ام
L_{ij}^{k}	زمان صرف شده برای اجرای استراتژی i ام در برابر ریسک j ام مربوط به فعالیت k ام
e_{ij}^{k}	اثر استراتژی i ام بر تأخیر زمانی ناشی از وقوع ریسک j ام برای فعالیت k ام، یعنی، تعداد روزهای کاهش‌یافته بعد از اجرای استراتژی i برای غلبه بر رویداد ریسک j مربوط به فعالیت k
s_{ij}^{k}	اثر استراتژی i ام بر هزینه ناشی از وقوع ریسک j ام برای فعالیت k ام، بعد از اجرای استراتژی i برای غلبه بر رویداد ریسک j مربوط به فعالیت k
T	زمان تکمیل پروژه
T_0^k	تخمین اولیه زمان اجرای فعالیت k ام

۴-۳- متغیر مدل

در جدول (۴) متغیر تصمیم تعریف‌شده در مدل ارائه گردیده است.

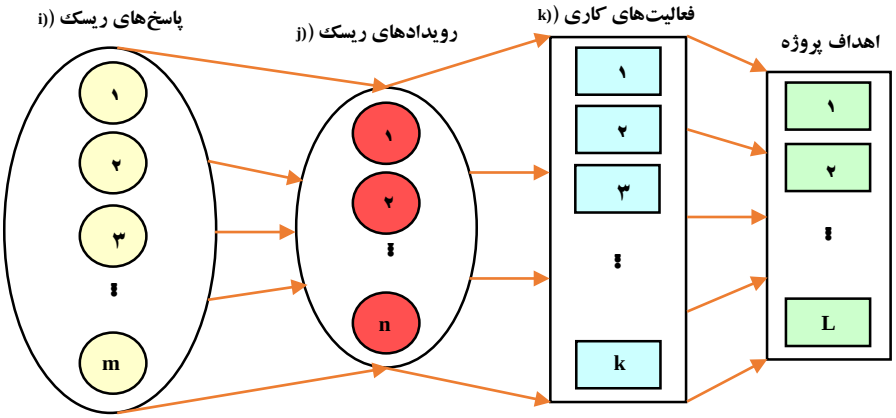
جدول ۴. نماد متغیر به‌کاربرده شده در مدل

نماد متغیر	شرح
x_{ij}^{k}	متغیر صفر و یک که نشان‌دهنده انتخاب یا عدم انتخاب استراتژی i ام برای ریسک j ام مربوط به فعالیت k ام

۵-۳- مدل‌سازی ریاضی مسئله

در این بخش، یک مدل ریاضی برای انتخاب پاسخ‌های ریسک پروژه پیشنهاد می‌شود که ساختار شکست ریسک و اقدامات کاهش ریسک را مشخص می‌نماید. رابطه بین وقایع و واکنش‌های ریسک و تأثیرات آن‌ها بر اهداف پروژه در شکل (۱) نشان داده شده است.

شکل ۱. رابطه بین وقایع ریسک، واکنش‌های ریسک و تأثیرات آن بر اهداف پروژه



در مدل پیشنهادی مجموعه‌ای از اقدامات به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود که ضمن برآورده ساختن محدودیت‌های سیستم، تابع هدف مربوطه بهینه گردد. تابع هدف مربوط به زمان یا هزینه می‌باشد و هدف مدل حداقل کردن زمان تأخیر در تکمیل پروژه و یا هزینه پروژه می‌باشد. محدودیت‌های مدل مربوط به زمان و هزینه می‌باشند که محدودیت زمانی به این

معنی است که استراتژی‌هایی انتخاب شوند که زمان لازم برای اجرای آن‌ها و تأثیرگذاری بر زمان از محدوده زمانی مشخص‌شده فراتر نروند و محدودیت مربوط به هزینه نیز به این معنی است که استراتژی‌هایی انتخاب شوند که هزینه آن‌ها و تأثیرگذاری بر هزینه از مقدار بودجه و هزینه مشخص‌شده بیشتر نشوند. تابع هدف و محدودیت‌های مدل به شرح زیر است.

۶-۳- مدل با در نظر گرفتن اثر استراتژی‌های پاسخ ریسک بر زمان فعالیت‌ها و زمان تکمیل پروژه

$$min \sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{K}((1-P_{jk})\times T_0^k + P_{jk}\times(T_0^k + (T_{jk} - \sum_{i}^{m} e_{ij}^k \times x_{ij}^k))) \quad (۱)$$

تابع هدف مدل بیانگر این است که در صورت وقوع ریسک jام، مجموع امید ریاضی زمان اجرای فعالیت‌های پروژه در کمترین زمان ممکن انجام شوند؛ به‌عبارت‌دیگر، با توجه به احتمالات وقوع ریسک‌های مختلف پروژه، استراتژی‌های پاسخی انتخاب خواهد شد که بیشترین تأثیر را در کاهش زمان فعالیت‌ها و درنتیجه کل پروژه داشته باشد. در شرایط عدم وقوع ریسک، زمان پیش‌فرض انجام فعالیت و در شرایط وقوع ریسک، زمان پیش-فرض انجام فعالیت به همراه برآیند اثرات زمانی ریسک‌ها و استراتژی‌های پاسخ به ریسک، مبنای تعیین زمان انجام فعالیت‌های مربوطه خواهد بود.

$$s.t.$$
$$\sum_{j}^{n}((1-P_{jk})\times T_0^k + P_{jk}\times(T_0^k + (T_{jk} - \sum_{i}^{m} e_{ij}^k \times x_{ij}^k))) \le T_0^k \times (1+D_k) \quad \forall \mathrm{k} \quad (۲)$$

محدودیت (۲) بیانگر این است که مجموع امیدریاضی زمان اجرای فعالیت kام؛ (در صورت وقوع و یا عدم وقوع ریسک jام)، از میزان حداکثر تأخیر مجاز برای فعالیت kام

بیشتر نشود. درواقع، استراتژی‌های پاسخ به ریسک به نحوی انتخاب شوند که از افزایش زمان تکمیل فعالیت بیش‌ازحد مجاز آن جلوگیری شود.

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{K}(I_{ij}^{k}\times x_{ij}^{k})\le\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{K}(C_{jk}\ \times\ P_{jk}) \qquad (۳)$$

محدودیت (۳) بیانگر این است که استراتژی‌هایی انتخاب شوند که هزینه اجرای استراتژی‌ها برای هر فعالیت، از ضرر واردشده توسط ریسک؛ بیشتر نشود؛ به‌عبارت‌دیگر، انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک، زمانی توجیه‌پذیر است که هزینه اجرای آن‌ها از منفعت ایجادشده کمتر باشد.

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{K}(I_{ij}^{k}\times x_{ij}^{k})\le B \qquad (٤)$$

در هر پروژه‌ای، بودجه مشخصی جهت مقابله با ریسک‌های آن پروژه در نظر گرفته می‌شود. محدودیت (۴) بیانگر این است که استراتژی‌هایی انتخاب شوند که هزینه اجرای استراتژی‌ها برای هر فعالیت از بودجه در نظر گرفته‌شده برای استراتژی‌ها بیشتر نشود.

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{K}(L_{ij}^{k}\times x_{ij}^{k})\le\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{K}(T_{jk}\ \times P_{jk}) \qquad (٥)$$

محدودیت (۵) بیانگر این است که استراتژی‌هایی انتخاب شوند که زمان لازم برای اجرای استراتژی‌ها برای هر فعالیت، از تأخیر وارده توسط هر ریسک برای هر فعالیت؛ بیشتر نشود؛ به‌عبارت‌دیگر، علاوه بر کمتر بودن هزینه اجرای استراتژی‌های پاسخ به ریسک به نسبت منافع ایجادشده؛ مدت‌زمان پیاده‌سازی استراتژی‌های پاسخ بایستی از تأخیر زمانی ناشی از وقوع ریسک‌ها کمتر باشد تا اتخاذ این اقدامات منطقی گردد.

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}x_{ij}^{k}=1 \qquad \forall k \qquad (٦)$$

محدودیت (۶)، بیانگر این است که از تمام استراتژی‌های موجود در برابر هر ریسک برای

هر فعالیت فقط یک استراتژی انتخاب شود. محدودیت مذکور در پروژه‌هایی کارایی بالاتری دارد که با توجه به تعدد ریسک‌های مرتبط با هر فعالیت و نتیجتاً تعدد استراتژی‌های پاسخ؛ نیاز به انتخاب سبدی بهینه از استراتژی‌های پاسخ وجود داشته باشد.

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(s_{ij}^{k}\times x_{ij}^{k})\geq\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(I_{ij}^{k}\times x_{ij}^{k})\qquad\forall k \tag{۷}$$

محدودیت (۷) بیانگر این است که استراتژی‌هایی انتخاب شوند که اثر استراتژی‌های موجود در برابر هر ریسک برای هر فعالیت بر هزینه پروژه بیشتر یا برابر با هزینه اجرای آن استراتژی‌ها باشد. در این شرایط، استراتژی‌هایی در جواب بهینه مسئله قرار خواهند گرفت که صرف هزینه‌ای آن‌ها از میزان هزینه پیاده‌سازی آن استراتژی‌ها بیشتر باشد.

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(e_{ij}^{k}\times x_{ij}^{k})\geq\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(L_{ij}^{k}\times x_{ij}^{k})\qquad\forall k \tag{۸}$$

محدودیت (۸) با توجه به محدودیت زمان، بیانگر این است که استراتژی‌هایی انتخاب شوند که اثر استراتژی‌های موجود بر زمان تکمیل پروژه بیشتر یا برابر با زمان اجرای آن استراتژی‌ها باشد. درواقع میزان کاهش زمانی ناشی از اجرای استراتژی‌های پاسخ به ریسک پروژه از مدت‌زمان لازم جهت انجام آن استراتژی‌ها بیشتر باشد.

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{K}(T_{jk}\times P_{jk})-\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{K}(e_{ij}^{k}\times x_{ij}^{k})\leq\sum_{k=1}^{K}D_{k} \tag{۹}$$

محدودیت (۹) نیز بیانگر این است که استراتژی‌هایی انتخاب شوند که تفاوت مجموع تأخیر ایجادشده توسط هر ریسک برای هر فعالیت (در صورت وقوع ریسک jام برای فعالیت kام)، از اثر استراتژی‌ها بر زمان تکمیل پروژه بیشتر از مجموع حداکثر تأخیر مجاز نباشد؛ به‌عبارت‌دیگر، استراتژی‌های پاسخ به ریسک، به نحوی انتخاب شوند که برآیند اثرات زمانی ناشی از وقوع ریسک‌ها و اجرای استراتژی‌های پاسخ مرتبط با آن ریسک‌ها، از میزان تأخیر زمانی مجاز برای هر فعالیت بیشتر نگردد.

مدل موردنظر دارای یک تابع هدف و نه محدودیت می‌باشد. هدف از این مدل با محدودیت‌های در نظر گرفته‌شده، تعیین استراتژی‌هایی است که تأخیر در زمان تکمیل پروژه را حداقل نموده و سبب رسیدن به اهداف پروژه و بهبود آن‌ها می‌شود. با توجه به ساختار مدل‌سازی ارائه‌شده شامل تابع هدف و محدودیت‌های مسئله، با افزایش تعداد فعالیت‌های پروژه یا افزایش تعداد ریسک‌ها و استراتژی‌های پاسخ به ریسک، درجه پیچیدگی مدل به‌صورت چندجمله‌ای $O(m\times n)$ بر اساس تعداد ریسک‌ها و استراتژی‌های پاسخ به ریسک، تغییر خواهد کرد. چنانچه از رویکردهای مبتنی بر شبیه‌سازی جهت حل مدل استفاده شود؛ با توجه به باینری بودن وضعیت ریسک‌های پروژه (وقوع یا عدم وقوع ریسک) و جایگزینی آن با مقدار امید ریاضی، درجه پیچیدگی رویکرد حل از مرتبه 2^{n} خواهد بود. لذا استفاده از منطق امید ریاضی جهت محاسبه زمان انجام فعالیت‌ها و نیز زمان تکمیل پروژه، سبب تسریع در حل آن خواهد شد.

۴- حل مسئله استراتژی پاسخ به ریسک پروژه

در این بخش به بررسی مدل توسعه داده‌شده با حل مسئله نمونه پرداخته می‌شود.

۴-۱- معرفی یک مثال برای اجرای مدل

در این قسمت به‌منظور بررسی عملکرد مدل‌های ارائه‌شده، یک نمونه مثال محدود با سه فعالیت اصلی، سه ریسک و شش استراتژی پاسخ، بر روی مدل پیاده‌سازی و خروجی‌ها تحلیل می‌شود. بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده از یک پروژه ساخت پالایشگاه نفت و گاز، فعالیت‌های اصلی شرکت شامل فازهای طراحی و مهندسی، تدارکات و ساخت، در معرض سه ریسک اصلی قرار دارند. عناوین ریسک‌ها و استراتژی‌های پاسخ در جدول (۵) آورده شده است.

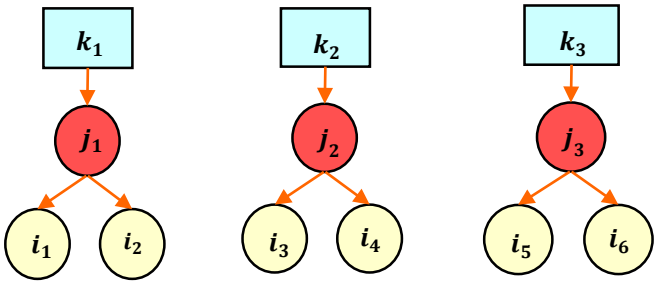
جدول ۵. ریسک‌ها و استراتژی‌های پاسخ در مثال نمونه

فعالیت اصلی	ریسک	استراتژی‌های پاسخ
طراحی سازه‌های پالایشگاه	احتمال کاهش بهره‌وری نیروی انسانی	توسعه سیستم‌های انگیزشی
		تشکیل کمیته رفاهی

فعالیت اصلی	ریسک	استراتژی‌های پاسخ
خرید تجهیزات موردنیاز	احتمال عدم تأمین مالی به‌موقع پروژه	ایجاد صندوق ذخیره
		ایجاد سیستم کنترل هزینه
اجرای فاز ساخت توسط پیمانکاران	احتمال کلیم مالی و زمانی پیمانکاران	ایجاد سیستم مدیریت پیمان
		تدوین دستورالعمل حقوقی

در این مثال روابط فعالیت‌های کاری، ریسک‌های موجود برای هر فعالیت و استراتژی‌های پاسخ به ریسک در شکل (۲) نشان داده شده است.

شکل ۲. رابطه بین فعالیت‌ها، ریسک‌ها و استراتژی‌های پاسخ به ریسک مربوط به مثال



طبق شکل (۲)، مسئله نمونه شامل سه فعالیت کاری، سه ریسک و شش استراتژی پاسخ به ریسک است. در جدول (۶) داده‌های مسئله نمونه ارائه گردیده است.

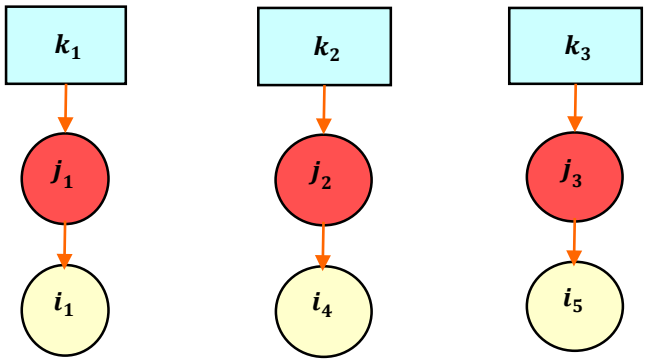
جدول ۶. داده‌های مسئله نمونه

T	B	T_0^k	D_k	e_{ij}^k	s_{ij}^k	L_{ij}^k	I_{ij}^k	T_{jk}	C_{jk}	P_{jk}	i	j	k
۱۸	۳۷۰۰	۲	۴	۲	۲۰۰۰	۱	۱۱۰۰	۴	۲۲۰۰	۰/۶	۱	۱	۱
				۱	۱۴۰۰	۲	۱۳۰۰				۲		
		۲	۴	۴	۱۵۰۰	۲	۱۲۰۰	۴	۱۷۵۰	۰/۷	۳	۲	۲
				۳	۱۶۰۰	۱	۸۵۰				۴		
		۳	۵	۲	۱۱۵۰	۲	۱۴۵۰	۳	۲۰۰۰	۰/۵	۵	۳	۳
				۲	۱۸۰۰	۲	۱۵۰۰				۶		

۲-۴- حل مثال در مدل با در نظر گرفتن زمان اجرای فعالیت‌ها

با توجه به مدل ریاضی توسعه داده شده و حل مدل داریم، z=۲۲، $x_{1,1}^{1}$=۱، $x_{4,2}^{2}$=۱ و $x_{5,3}^{3}$=۱ می‌باشد و مقادیر سایر استراتژی‌ها برابر صفر می‌باشد.

شکل ۳. رابطه بین فعالیت‌ها، ریسک‌ها و استراتژی‌های پاسخ به ریسک بعد از حل مثال



از بین استراتژی‌های موجود در برابر هر ریسک برای هر فعالیت، استراتژی اول در برابر ریسک اول برای فعالیت کاری اول اجرا می‌شود. اجرای این استراتژی، سبب می‌شود ۷۰٪ از ریسک موردنظر را پوشش دهد. این ریسک با احتمال وقوع ۰/۶، ۴ روز برای فعالیت اول تأخیر ایجاد می‌کند که با اجرای استراتژی مربوطه در برابر ریسک متناظر با این فعالیت، ۲ روز اثر استراتژی بر روی ریسک مربوطه است. با اجرای این استراتژی به‌جای ۴ روز تأخیر، ۲ روز تأخیر توسط این ریسک وارد می‌شود و ۲ روز در زمان صرفه‌جویی شده است. این استدلال در خصوص سایر ریسک‌ها و استراتژی‌ها نیز قابل‌طرح است. به‌طورکلی در مثال ذکرشده، تأخیر کلی وارده توسط این ریسک‌ها ۱۱ روز می‌باشد. با اجرای سه استراتژی مربوطه که اثر جمعی آن ۷ روز می‌باشد، ۴ روز تأخیر وارده توسط ریسک‌ها برای انجام همه فعالیت‌های کاری می‌باشد که نتیجتاً ۷ روز در زمان پروژه صرفه‌جویی شده است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادهای تحقیقات آتی

در یک فرآیند سیستماتیک مدیریت ریسک پروژه، پس از ارزیابی ریسک، انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک پروژه اجرا می‌گردد. همانطورکه توسط بسیاری از محققان نشان داده شده است، در زمینه ارزیابی و انتخاب پاسخ ریسک، تحقیقات چندانی انجام نشده است و تحقیقات انجام‌شده عموماً به‌صورت راهکارهای کلی بوده و هیچ مدل جامعی برای ارزیابی اقدامات کاهش ریسک پروژه وجود ندارد. در این مقاله با مستقل در نظر گرفتن ریسک‌ها و استراتژی‌های پاسخ به ریسک برای هر فعالیت کاری، یک مدل بهینه‌سازی ریاضی توسعه داده شده است. درواقع با توجه به ریسک‌هایی که ممکن است برای هر فعالیت کاری رخ دهد استراتژی‌هایی انتخاب می‌شود که تأخیر در زمان تکمیل پروژه را حداقل و میزان هزینه‌هایی که به پروژه تحمیل می‌شود را کاهش دهد تا درنهایت پروژه با کمترین تأخیر و هزینه پایان یابد. پیاده‌سازی استراتژی‌های پاسخ به ریسک جهت کاهش اثرات زمانی و هزینه‌ای ریسک‌ها مستلزم صرف زمان و هزینه می‌باشد. لذا انتخاب این استراتژی‌ها زمانی توجیه‌پذیر خواهد بود که منافع زمانی و هزینه‌ای حاصله از اجرای استراتژی‌ها از میزان زمان و هزینه صرف شده بیشتر باشد. درواقع برآیند اثرات ریسک‌ها و استراتژی‌های پاسخ، تعیین‌کننده زمان واقعی اجرای فعالیت‌ها و نهایتاً زمان و هزینه تکمیل کل پروژه خواهد شد. رویکرد ارائه‌شده در این مقاله می‌تواند جهت بررسی و تحلیل چنین مسئله‌ای مورداستفاده قرار گیرد.

به‌عنوان تحقیقات آتی در این زمینه پیشنهاد می‌شود که شبکه فعالیت پروژه‌ها را برای فعالیت‌های کاری موجود در مسئله در نظر گرفت به این صورت که زمان شروع و پایان هر فعالیت مشخص بوده و روابط تقدم و تأخری بین فعالیت‌های کاری پروژه مشخص و لحاظ گردد. همچنین، ریسک‌ها را می‌توان وابسته در نظر گرفت به این معنی که امکان وقوع هم‌زمان ریسک‌ها و اثرگذاری متقابل آن‌ها بر روی یکدیگر نیز وجود داشته باشد. همچنین تابع هدف مسئله را می‌توان به یک تابع چند هدفه تبدیل و با روش-های تابع چند هدفه حل کرد؛ یا از روش‌های موجود در تصمیم‌گیری چند معیاره برای

اولویت‌بندی ریسک‌ها بهره برد.

تعارض منافع

نویسندگان مقاله هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

ORCID
Ali Namazian **http://orcid.org/0000-0001-5957-0620**
Somayeh Behboodian **http://orcid.org/0009-0004-9831-1698**

منابع

۱. اصولی، سید حسین. (۱۳۸۴). *راهنمای پیکرهی دانش مدیریت پروژه*، تهران، انتشارات مرکز تحقیقات و توسعه مدیریت پروژه شرکت ملی صنایع پتروشیمی.

۲. ذگردی، سید حسام الدین؛ رضایی نیک، ابراهیم؛ نظری، احد؛ هنری چوبر، فریدون. (۱۳۹۰). ارائه مدلی برای کاهش ریسک پروژه های نیروگاهی بر اساس رویکرد بهینه سازی چند هدفه و فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی، *مطالعات اقتصاد انرژی*، دوره (۸)، شماره (۳۱)، صفحات ۱۶۱-۱۹۵.

References

3. Ahmadi-Javid, A., Fateminia, S. H., & Gemünden, H. G. (2020). A method for risk response planning in project portfolio management. *Project Management Journal, 51*(1), 77-95. https://doi.org/10.1177/8756972819866577
4. Al-Mhdawi, M., O'Connor, A., Qazi, A., & Dacre, N. (2023). *A Proposed Fuzzy-based Optimisation Model for Evaluating Construction Projects' Risk Response Strategies.* Paper presented at the 14th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (ICASP14), Dublin, Ireland. http://hdl.handle.net/2262/103651
5. Arabi, S., Eshtehardian ,E., & Shafiei, I. (2022). Using Bayesian networks for selecting risk-response strategies in construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, *148*(8), 04022067. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002310
6. Baker, S., Ponniah, D., & Smith, S. (1999). Risk response techniques employed currently for major projects. Construction Management & Economics, 17(2), 205-213. https://doi.org/10.1080/014461999371709
7. Ben-David, I., Raz, T., 2001. An integrated approach for risk response development in project planning. Journal of the Operational Research Society 52, 14–25. https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601029
8. Boehm, B.W., 1991. “Software Risk Management: Principles and Practices”. IEEE Software, Vol. 8, pp. 32-41. https://doi.org/10.1109/52.62930

9. Chapman, C.B., 1979. Large engineering project risk analysis. IEEE Transactions on Engineering Management 26, 78–86. https://doi.org/10.1109/TEM.1979.6447349
10. Cooper, D. F. (2005). Project risk management guidelines: Managing risk in large projects and complex procurements. Chichester, John Wiley and sons.
11. Chu, Y., & Wang, Z. (2020). Research on project risk response strategy selection based on grey K-shell algorithm. *Grey Systems: Theory and Application, 10*(4), 425-438**.** https://doi.org/10.1108/GS-10-2019-0043
12. Datta, S., Mukherjee, S.K., 2001. Developing a risk management matrix for effective project planning—an empirical study. Project Management Journal 32, 45–57. https://doi.org/10.1177/875697280103200206
13. Dikmen, I., Birgonul, M. T., Anac, C., Tah, J. H. M., & Aouad, G. (2008). Learning from risks: A tool for post-project risk assessment. Automation in Construction, 18(1), 42-50. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.04.008
14. Fang, C., Marle, F., Xie, M., & Zio, E. (2013). An integrated framework for risk response planning under resource constraints in large engineering projects. IEEE Transactions on Engineering Management, 60(3), 627-639. https://doi.org/10.1109/TEM.2013.2242078
15. Fan, M., Lin, N.-P., Sheu, C., 2008. Choosing a project risk-handling strategy: an analytical model. International Journal of Production Economics 112, 700,713. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.06.006
16. Fan, Z. P., Li, Y. H., & Zhang, Y. (2015). Generating project risk response strategies based on CBR: A case study. Expert Systems with Applications, 42(6), 2870-2883. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.11.034
17. Ghadir, H., Shayannia, S. A., & Amir Miandargh, M. (2023). A Mathematical modeling of project risk response according to primary, secondary, and residual risks under conditions of uncertainty using the Tabu search algorithm. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, *14*(4), 50-66**.** https://doi.org/20.1001.1.17358272.2022.14.4.3.4
18. Guan, X., Servranckx, T., & Vanhoucke, M. (2021). An analytical model for budget allocation in risk prevention and risk

protection. *Computers & Industrial Engineering, 161,* 107657**.** https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107657

19. Guan, X., Servranckx, T., & Vanhoucke, M. (2023). Risk response budget allocation based on fault tree analysis and optimization. *Annals of Operations Research*, 1-42**.** https://doi.org/10.1007/s10479-022-05155-8
20. Haimes, Y., 2005. A Unified Framework for Risk Assessment and Management of Sanitary and Phytosanitary (SPS) Situations. University of Virginia.
21. Hatefi, M.A., Seyedhoseini,S.M., Noori, S., 2007.Risk response actions selection.The International Journal of Applied Management and Technology 5, 385–408.
22. Hillson, D. (1999). Developing Effective Risk Response. Proceeding of the 30th annual project management institute, seminar and symposium, Philadelphia, Pennsylvania, USA.
23. Jin, G., Sperandio, S., & Girard **,**P. (2023). Selecting risk response strategies to minimize human errors in a design project for factories of the future. *Expert Systems with Applications, 225*, 120120**.** https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120120
24. Karunakaran, P., Abdullah, A. H., Nagapan, S., Sambasivan, M., & Sekar, G. (2020). The Moderating Effect of Project Risk Response-Related Measures on the Relationship between Project-Related Delay Factors and Construction Project Performance. *Humanities & Social Sciences Reviews, 8*(2), 405-412**.** https://doi.org/10.18510/hssr.2020.8246
25. Kayis, B., Arndt, G., Zhou, M., Amornsawadwatana, S., 2007. A risk mitigation methodology for new product and process design in concurrent engineering projects. Annals of the CIRP 56, 167–170. https://doi.org/10.1016/j.cirp.2007.05.040
26. Klein, J.H., 1993. Modelling risk trade-off. The Journal of the Operational Research Society 44, 445–460. https://doi.org/10.1057/jors.1993.81
27. Klein, J.H., Powell, P.L., Chapman, C.B., 1994. Project risk analysis based on prototype activities. Journal of the Operational Research Society 45, 749,757. https://doi.org/10.1057/jors.1994.119
28. Kujawski, E., 2002. Selection of technical risk responses for efficient contingencies. Systems Engineering 5, 194–212. https://doi.org/10.1002/sys.10025

29. Liu, Z., Ding, R., Wang, L., Song, R., & Song ,X. (2022). *Making Project Risk Response Decisions through Stakeholders' Impact on Project Risk Interaction.* Paper presented at the Construction Research Congress 2022.
30. López, C., & Salmeron,J. L. (2012). Risks response strategies for supporting practitioners decision-making in software projects. Procedia Technology,5,437-444. https://doi.org/10.1016/j.protcy.2012.09.048
31. Mirsharafeddin, S. (2020). A Bi-Objective Optimization of Portfolio Risk Response Strategies in Oil and Gas Projects. *Journal of Research in Science, Engineering and Technology, 8*(4), 1-18 https://doi.org/10.24200/jrset.vol8iss4pp1-18 .
32. Motaleb, O. (2021). Risk response development in construction projects delay: Multiple case studies from UAE. *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering, 7*(3), 05021004. https://doi.org/10.1061/AJRUA6.0001151
33. Miller, R., Lessard, D., 2001. Understanding and managing risks in large engineering projects. International Journal of Project Management 19, 437.443. https://doi.org/10.1016/S0263-7863(01)00045-X
34. Parsaei Motamed, M., Bamdad, S. A multi-objective optimization approach for selecting risk response actions: considering environmental and secondary risks. *OPSEARCH* **59**, 266–303 (2022). https://doi.org/10.1007/s12597-021-00541-5
35. Pipattanapiwong, J., Watanabe, T., 2000. Multi-party risk management process (MRMP) for a construction project financed by an international lender. Proceedings of the 16th Association of Researchers in Construction Management (ARCOM) Annual Conference, Glasgow.
36. Safaeian, M., Fathollahi-Fard, A. M., Kabirifar, K., Yazdani, M., & Shapouri, M. (2022). Selecting appropriate risk response strategies considering utility function and budget constraints: a case study of a construction company in Iran. *Buildings, 12* **,(۲)** **.۹۸**. https://doi.org/10.3390/buildings12020098
37. Seyedhoseini, S.M., Noori, S., Hatefi, M.A., 2009. An integrated methodology for assessment and selection of the project risk response actions. Risk Analysis 29, 752–763. https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01187.x

38. Wang, L., Song, Y., Ding, R., & Goh, M. (2022). Delay-oriented risk network model for project risk response decisions. *Computers & Industrial Engineering, 171*, 108370**.** https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108370
39. Zhang, B., Bai, L., & Kang, S. (2022). Risk Response Strategies Selection over the Life Cycle of Project Portfolio. *Buildings, 12*(12), 2191**.** https://doi.org/10.3390/buildings12122191
40. Zhang, X., Goh, M., Bai, S., & Wang, Z. (2023). Risk response decisions for projects in project portfolios considering objective adjustments and project interdependencies. *Kybernetes***.** https://doi.org/10.1108/K-09-2022-1344
41. Zhang, X **,.**Goh, M., Bai, S., Wang, Z., & Wang, Q. (2023). Project Risk Response Decision Making Under Uncertain Project Interdependencies. *IEEE Transactions on Engineering Management***.** https://doi.org/10.1109/TEM.2023.3271991
42. Zhang, Y., & Guan, X. (2021). Budget allocation decisions for project risk response. *Kybernetes, 50*(12), 3201-3221**.** https://doi.org/10.1108/K-03-2020-0188
43. Zhang, Y., Zuo, F., & Guan, X. (2020). Integrating case-based analysis and fuzzy optimization for selecting project risk response actions. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 545*, 123578**.** https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.123578
44. Zuo, F., Zio, E., & Xu, Y. (2023). Bi-objective optimization of the scheduling of risk-related resources for risk response. *Reliability Engineering & System Safety, 237*, 109391**.** https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109391
45. Zuo, F., Zio, E., & Yuan, Y. (2022). Risk-Response strategy optimization considering limited risk-related resource allocation and scheduling. *Journal of Construction Engineering and Management, 148*(11), 04022123**.** https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002392
46. Zhang, Y. (2016). Selecting risk response strategies considering project risk interdependence. International Journal of Project Management, 34(5), 819- 830. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.03.001
47. Zhang, Y., & Fan, Z. P. ,2014. An optimization method for selecting project risk response strategies. International Journal

of Project Management, 32(3), 412-422. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.06.006

References [In Persian]

1. Osoli, S.H. (1384), P*roject management body of knowledge guide*, Publications of the Center for Research and Development of Project Management of the National Company of Petrochemical Industries, Tehran. [In Persian]
2. Zegordi, S., Rezaei nik, A., Nazari, A. (1390), Developing a model to reduce the risk of power plant projects based on multi-objective optimization approach and fuzzy hierarchical analysis process. *Quarterly Journal of Energy Economics Studies*, 31, 161-196[In Persian]

استناد به این مقاله: نمازیان، علی.، بهبودیان، سمیه. (۱۴۰۲). ارائه مدل بهینه‌سازی جهت اولویت‌بندی و انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک پروژه ، *مطالعات مدیریت صنعتی، ۲۱(۷۱)*، ۲۲۵-۲۶۱.
DOI: 10.22054/jims.2023.75036.2870

Industrial Management Studies is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.