Journal of Regional Planning
Summer2023. Vol 13. Issue 50
ISSN (Print): 2251-6735 - ISSN (Online): 2423-7051
https://jzpm.marvdasht.iau.ir/

Research Paper

Assessing and Prioritizing Risks in regional infrastructure projects based on public-private partnership (PPP) method using a combination of fuzzy multi-criteria decision making techniques (Case study: Freeway)

Ebrahim Jokar*: Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Dariun Branch, Islamic Azad University, Dariun, Iran
Babak Aminnejad: Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Rodehen Branch, Islamic Azad University, Rodehen, Iran.
Alireza Lork: Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Safadasht Branch, Islamic Azad University, Safadasht, Iran.

ARTICLE INFO
Received:2020/12/14
Accepted:2021/08/25
PP: 177-196

Use your device to scan and read the article online

Keywords:
Infrastructure Project Risks, Public-Private Partnership (PPP), Integrated Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Techniques, Risk Management Pattern

Abstract

Regional planning for infrastructure projects is among the most crucial indicators of a country's economic development. Public-Private Partnership (PPP) contracts offer a viable solution to address the constraints faced by governments. However, due to their complexities, extended durations, and high uncertainties, this contractual approach introduces a plethora of risks. Therefore, the primary objective of this research is to identify, evaluate, and prioritize the key risks associated with PPP projects, using freeway projects in Iran as a case study. In this article, through an in-depth exploration of existing research literature and the implementation of the Delphi method, the most significant risks inherent in public-private partnership projects were identified. Subsequently, a qualitative analysis was conducted to discern these crucial risks, and a risk assessment model was developed by employing a fusion of methodologies, specifically integrating fuzzy multi-criteria decision-making techniques. Quantitative risk analysis results, utilizing the FAHP method, reveal that risks across seven distinct categories—economic and financial, construction, operational, legal, political, miscellaneous, and governmental—take precedence and exert the most substantial influence on projects of this nature. Furthermore, the ranking of sub-criteria demonstrated that factors such as high financing costs, performance quality and standards, and the absence of support infrastructure exert the most pronounced impacts on these projects. Ultimately, outcomes from the FTOPSIS similarity index underscore the experts' perspective on project vulnerability, with projects A (Isfahan-Shiraz freeway), B (Salfchegan-Arak freeway), and C (Khorramabad-Arak freeway) being deemed more susceptible to risks.

Citation: Jokar, E., Aminnejad, B., & Lork, A. (2023). **Assessing and prioritizing risks in regional infrastructure projects based on public-private partnership (PPP) method using a combination of fuzzy multi-criteria decision making techniques (Case study: Freeway.** Journal of Regional Planning,Vol 13, No 50, PP:177-196.
DOI: 10.30495/JZPM.2021.26822.3807
DOR:

* **Corresponding author:** Ebrahim Jokar, **Email:** Jokar.ebrahim@iaudariun.ac.ir, **Tell:** +98 9171140197

Extended Abstract

Introduction

Numerous experiences of government efforts to finance infrastructure projects have shown that the public sector, without the help of the private sector, can not properly develop infrastructure as it should. With the development of public-private partnership (PPP) contracts in infrastructure projects, various discussions about how to finance, service and risk have become one of the topics of interest in researchers' studies. In other words, the use of PPP in each project does not necessarily increase the benefits and efficiency of the project, and in some cases, the use of participatory methods may increase the project risks for the various elements of this type of contract. Given the importance of this issue, our research objectives are to identify the most important risks, develop a model to evaluate and prioritize and select the most preferred risks through a case study in public-private partnership freeway projects in Iran.

Methodology

Comprehensive studies on the subject of risks in PPP-based transportation infrastructure projects have been conducted through in-depth library studies. To summarize and analyze qualitative data, rational reasoning and analysis based on existing risks and citing existing evidence have been used. For quantitative and qualitative analyzes, by preparing expert questionnaires, the identified risks among the experts working in the field of PPP infrastructure projects in the statistical community of the research were put to a referendum and according to the risk incidence rate, more critical risks were determined. After determining the critical risks, using a combination of multi-criteria fuzzy decision-making methods, a model for quantitative risk assessment in PPP infrastructure projects has been presented with a case study in transportation projects in Iran. Considering that the present research is a field research and survey and the analysis of its results will be done based on the opinions of experts and specialists in the manufacturing industry, so the best way to achieve validity of the results is to determine the validity and reliability of the questionnaires. The process determined in this research is a combination of decision methods of Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) and Fuzzy TOPSIS.

Results and Discussion

Qualitative risk analysis

In order to qualitatively analyze the risks, the occurrence probability and impact severity of each first and second level risks were measured according to the opinions of 92 experts. Then, the value of the relative importance index of each of the second level risks was determined to calculate the risk rate. Based on the results, 32 risks are classified in the critical range, 15 risks in the precautionary range and 3 risks in the acceptable range.

Quantitative risk analysis

In order to provide a coherent model of quantitative risk analysis, in this study, fuzzy multi-criteria decision making methods have been used in combination. For this purpose, critical risk factors and sub-factors in the first and second levels of qualitative analysis were considered as criteria and sub-criteria of the decision model. Finally, in the third level of the decision-making model, three examples of transportation projects in Iran based on the PPP method were considered as decision-making alternatives in the evaluation.

Based on the values of the pairwise comparison matrix, the priority scores of the main factors were determined as a normalized matrix. Then the relative weight of each criterion and their initial rank were obtained. Based on the obtained results, it can be seen that R2 risks, R3 risks, R4 risks, R6 risks, R6 risks, R5 risks, R7 risks and finally R1 risks are in the first to seventh ranks.

Then, by performing the relevant calculations, a normalized matrix was obtained to combine the weights of the sub-criteria related to each of the main criteria. Finally, by combining the final weights, the relative weight of each of the sub-criteria was calculated and their final rank was determined. Based on the results for the second level risks, in government risks, the parameter of delay in approvals, in economic risks and financing sub-criteria, high financing cost, in construction risks, construction completion risk, in operational risks, performance quality operation and standards, in risks Political sub-criteria of expropriation and nationalization, in the legal risks of sub-criteria of increasing cost and time

due to contractual ambiguities, and finally, among other risks, organizational risk and coordination have gained the highest and lowest importance, respectively.
The results of the overall ranking of the sub-criteria were determined by FAHP method. This ranking is determined by multiplying the relative weight of the criteria by the relative weight of the sub-criteria. As a general result of the rankings, the risks of high financing costs, quality of performance and standards, lack of support infrastructure, risk of completion of construction and increase in cost and time due to contractual ambiguities have been identified as five high-impact risks, respectively.
In order to complete the proposed model to determine the impact of these risks in real projects, risks have been prioritized for different options of the decision problem. In this regard, in the first stage, a fuzzy decision matrix was formed. The relevant calculations were performed and the fuzzy weight decision matrix, fuzzy ideal and anti-ideal solutions for all risks were determined according to each of the projects. Then the distance from the ideal and anti-ideal solution for each of the risks was determined according to the studied projects. Finally, the impact values of different decision options were calculated and the projects were ranked. The results show that according to the opinions of the experts of the studied projects, projects A, B and C with scores of 0.433, 0.3369 and 0.283, respectively, have higher priority and are more affected by risks.

Conclusion

In this study, by innovating compared to previous studies, a systematic model for identifying, evaluating and prioritizing risk in PPP infrastructure projects in the form of a combination of fuzzy multi-criteria decision making methods is presented. The results of qualitative risk analysis showed that out of 50 identified risks, a total of 32 risks are in the critical range. The results of quantitative analysis of first level risks by FAHP method showed that economic and financing risks are ranked first among other risks. Also, as a general result of the rankings, the risks of high financing costs, quality of performance and standards, lack of support infrastructure, risk of completion of construction and increase in cost and time due to contractual ambiguities have been identified as five high-impact risks, respectively. Similarity index values or in other words, the results of the impact of the studied projects on risks showed that projects A, B and C, respectively, were more affected by the risks.

فصلنامه علمی برنامه‌ریزی منطقه‌ای

دوره ۱۳، شماره ۵۰، تابستان ۱۴۰۲

شاپا چاپی: ۶۷۳۵-۲۲۵۱ – شاپا الکترونیکی: ۷۰۵۱-۲۴۲۳

https://jzpm.marvdasht.iau.ir/

مقاله پژوهشی

ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌های موجود در پروژه‌های زیرساختی منطقه‌ای مبتنی بر روش مشارکت عمومی- خصوصی (PPP) با استفاده از ترکیب تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی (مطالعه موردی: آزادراه)

ابراهیم جوکار[*] استادیار، گروه عمران، واحد داریون، دانشگاه آزاد اسلامی، داریون، ایران.

بابک امین‌نژاد: استادیار، گروه عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.

علیرضا لرک: استادیار، گروه عمران، واحد صفادشت، دانشگاه آزاد اسلامی، صفادشت، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۳

شماره صفحات: ۱۹۶-۱۷۷

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

واژه‌های کلیدی:
ریسک‌های پروژه‌های زیرساختی، مشارکت عمومی خصوصی، تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی، الگوی مدیریت ریسک

چکیده

از مهمترین شاخص‌های توسعه اقتصادی در یک کشور برنامه‌ریزی منطقه‌ای جهت ساخت پروژه‌های زیربنایی می‌باشد. قراردادهای مشارکت عمومی- خصوصی (PPP)، راهکاری مناسب برای غلبه بر محدودیت‌ها در اختیار دولت‌ها قرار می‌دهد، اما به دلیل پیچیدگی‌ها، مدت زمان طولانی و عدم قطعیت‌های بالا، این روش قراردادی ریسک‌های زیادی را به همراه دارد. از اینرو هدف اصلی تحقیق شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی مهمترین ریسک‌های موجود در پروژه‌های PPP با مطالعه موردی در پروژه‌های آزادراهی ایران می‌با شد. در مقاله حا ضر، با مطالعه عمیق ادبیات تحقیق و بکارگیری روش دلفی، مهمترین ریسک‌های پروژه‌های مشارکت عمومی – خصوصی، شناسایی شدند سپس آنالیز کیفی جهت تعیین ریسک‌های با اهمیت انجام و مدل ارزیابی ریسک با استفاده از ترکیب تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی توسعه داده شده است. نتایج تجزیه و تحلیل کمی ریسک با ا ستفاده از روش FAHP نشان داد که ریسک‌های سطح اول در هفت رده مختلف از جمله ریسک اقتصادی و تأمین مالی، ساخت، عملیاتی، قانونی، سیاسی، سایر ریسک‌ها و ریسک‌های دولتی به ترتیب بیشترین تأثیر را در این نوع پروژه‌ها به خودشان اختصاص داده‌اند. همچنین، نتایج رتبه‌بندی زیرمعیارها نشان داد که هزینه‌های تأمین مالی بالا، کیفیت عملکرد و استانداردها، عدم زیرساخت‌های پشتیبانی بیشترین تأثیر را در این پروژه‌ها دارند. سرانجام، نتایج شاخص شباهت FTOPSIS نشان داد که طبق نظر کارشناسان پروژه، پروژه‌های A (آزادراه اصفهان – شیراز)، B (آزادراه سلفچگان – اراک) و C (آزادراه خرم‌آباد – اراک) به ترتیب تاثیرپذیری بیشتری را از ریسک‌ها داشته‌اند.

استناد: جوکار، ابراهیم؛ امین‌نژاد، بابک؛ لرک، علیرضا. (۱۴۰۲). **ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌های موجود در پروژه‌های زیرساختی منطقه‌ای مبتنی بر روش م شارکت عمومی- خ صو صی (PPP) با ا ستفاده از ترکیب تکنیک‌های ت صمیم‌گیری چند معیاره فازی (مطالعه موردی: آزادراه).** فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال ۱۳، شماره ۵۰، مرودشت: صص ۱۹۶-۱۷۷.

DOI: 10.30495/JZPM.2021.26822.3807

DOR:

[*] **نویسنده مسئول:** ابراهیم جوکار، **پست الکترونیکی:** Jokar.ebrahim@iaudariun.ac.ir، **تلفن:** ۰۹۱۷۱۱۴۰۱۹۷

مقدمه

نگاهی گذرا به وضعیت ساخت و ساز و نحوه مشارکت در آن از گذشته تاکنون، گواه این مطلب است که بنا بر دلایلی همچون تاکید بر تحکم و قدرت دولت، بالا بودن هزینه‌ها و مواردی از این قبیل، همواره ایجاد زیرساخت‌ها بر عهده بخش عمومی و یا همان دولت بوده است (Kumaraswamy & Zhang, 2001: 196). تجربه‌های متعدد از تلاش دولت‌ها در راستای تامین مالی پروژه‌های زیرساختی نشان داد که بخش دولتی نیز بدون کمک بخش خصوصی نمی‌تواند آنگونه که باید به توسعه مناسب زیرساخت‌ها بپردازد (Maslyukivska & Sohail, 2007: 161). از سوی دیگر، بخش خصوصی نیز نتوانست مکمل خوبی برای دولت جهت ایجاد مشارکت باشد (Shen et al., 2006: 589). از اینرو در دهه‌های ۷۰ و ۸۰ میلادی، دولت‌های مختلف دنیا، در رویارویی با مشکل کاهش نقدینگی، افزایش بدهی و تامین خواسته‌های عمومی، درخصوص احداث و گسترش زیر ساخت‌ها، به سمت تشویق و گسترش سرمایه‌گذاری بخش‌های خصوصی در این پروژه‌ها و ابداع نمونه‌ای از این سرمایه‌گذاری‌ها تحت عنوان مشارکت عمومی- خصوصی (PPP) سوق یافتند (Chan et al., 2011: 136). PPP مکانیزمی است که در آن بخش عمومی به منظور تأمین خدمات زیربنایی از ظرفیت‌های بخش خصوصی (اعم از دانش، تجربه و منابع مالی) استفاده می‌نماید (Bing et al., 2005; Global Infrastructure hub, 2019; Medda, 2007). همزمان با توسعه قراردادهای مبتنی بر PPP در پروژه‌های زیربنایی، بحث‌های مختلفی درخصوص چگونگی تامین مالی، خدمات‌رسانی و ریسک به یکی از موضوعات درخور توجه در مطالعات محققین تبدیل شده است. برای موفقیت در پروژه باید عوامل مختلفی در نظر گرفته شوند تا عوام ایجاد کننده ریسک در مدیریت کاهش یابد (Molaei Hashjin & Forutan Pishebijary, 2021: 39). به عبارت بهتر می‌توان گفت که بهره‌گیری از PPP در هر پروژه لزوماً منجر به افزایش منافع و بازدهی پروژه نشده و در برخی موارد نیز ممکن است استفاده از روش‌های مشارکتی باعث افزایش ریسک‌های پروژه برای ارکان مختلف این نوع قراردادها گردد (Bing et al., 2005; Global Infrastructure hub, 2019).

مطابق آمار اعلام شده از سوی بانک جهانی مجموع ارزش پروژه‌هایی که در چارچوب قراردادهای PPP انجام شده و به پروژه های زیرساختی مربوط می شوند، از سال ۱۹۸۵ تا به حال بالغ بر ۸۸۰ میلیارد دلار می‌شود. در کشور ایران، هم راستا با سیاست‌های کلی اصل ۴۴ قانون اساسی، مشارکت عمومی- خصوصی به عنوان نظام نوین تأمین مالی، جایگزین مناسبی برای تأمین مالی پروژه‌ها محسوب می‌شود. علاوه بر این، استفاده از الگوی PPP در تأمین مالی و اجرای پروژه‌های زیرساختی کشور، به عنوان یکی از راه‌های تحقق اقتصاد مقاومتی در راستای کاهش اتکا به درآمدهای نفتی و کم اثر کردن تحریم‌های اقتصادی است. با توجه به اهمیت این موضوع، اهداف تحقیق ما این است که: (۱) شناسایی مهمترین ریسک‌های موجود در این نوع پروژه با مطالعه عمیق ادبیات تحقیق؛ (۲) توسعه مدلی برای ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌های شناسایی شده با بکارگیری ترکیبی روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی و (۳) انتخاب ریسک‌های ارجح‌تر از طریق مطالعه موردی در پروژه های آزادراهی مشارکت عمومی- خصوصی در ایران.

پیشینه تحقیق و مبانی نظری

پیچیدگی منحصربه‌فرد پروژه‌های زیربنایی PPP، بیانگر این واقعیت است که رویکردهای سنتی مدیریت پروژه نمی تواند پاسخگوی مسائل و مشکلات مدیریتی اینگونه پروژه‌ها باشد (Lang et al., 2017: 143). بررسی‌ها نشان می‌دهد که بسیاری از ریسک‌ها در پروژه‌های PPP، قابل پیش‌بینی، برنامه‌ریزی و ارزیابی می‌باشند. از اینرو باید اقدامات لازم در خصوص شناسایی، ارزیابی و سپس پاسخگویی به ریسک‌ها در پروژه صورت پذیرد (Hwang et al., 2013: 425). مدیریت ریسک یک فرآیند سیستماتیک شامل شناسایی، تحلیل و پاسخ به ریسک‌های پروژه است. پروژه‌های زیربنایی خصوصاً آنهایی که با روش PPP اجرا می شوند، عموماً با شرایط ریسک‌پذیری در کلیه مراحل پروژه مواجهند (Shrestha et al., 2017: 132). همین موضوع باعث به وجود آمدن مشکلات بسیاری نظیر بالا رفتن هزینه‌ها، تاخیر در انجام پروژه و ... می‌گردد. در برخی از کشورهای در حال توسعه همچون ایران اجرای پروژه‌های PPP، باید به نحوی باشند که بخش خصوصی از تخصص خود استفاده نموده و بخش وسیع‌تری از کار را بر عهده گرفته و میزان بالاتری از مسئولیت به آنها منتقل شود (Bing et al., 2005). مطابق برخی از مطالعات صورت پذیرفته، فقدان مهارت‌های لازم در زمینه شناسایی، تعیین، ارزیابی، ارزش‌گذاری و انتقال عوامل ریسکی منجر به عدم حصول درآمدهای قابل توجه برای دولت‌ها شده است که این مسئله در پروژه های زیربنایی همچون پروژه های آزادراهی موضوعی بسیار حائز اهمیت است (X. Liu, 2017: 126). با توجه به حرکت پیش رو در کشور ایران به سمت اجرای سیاست‌های کلی اصل ۴۴ قانون اساسی و واگذاری پروژه‌های زیر ساختی دولت به بخش خصوصی، توجه به فنون، مطالعات و تجارب کشورهای مختلف در مدیریت ریسک اینگونه پروژه‌ها کمک قابل توجهی را در زمینه طراحی مناسب این گونه پروژه‌ها در کشور ایران خواهد نمود. در سالهای اخیر، مطالعات زیادی توسط محققین در سراسر دنیا در خصوص قراردادهای PPP و ریسک‌پذیری این روش

قراردادی در پروژه‌های عمرانی زیر ساختی به انجام ر سیده که از جمله این تحقیقات می‌توان به مطالعات هاردکستل و همکاران (۲۰۰۵) و یهو و همکاران (۲۰۰۶) اشـــاره نمود (Hardcastle et al., 2005; Yehoue et al., 2006). چان و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیق خود به بررســـی و ارزیابی اجرای رویکرد PPP در بخش ویژه اداری هنگ کنگ با دیدگاه انتقادی پرداخته‌اند (Chan et al., 2008). چئونگ (۲۰۰۹) (Cheung, 2009)، که و همکاران (۲۰۱۰) (Ke, Wang, & Chan, 2010) نیز در مطالعات خود به بررســـی نقش ریســـک در پروژه‌های مبتنی بر PPP پرداخته اند. آجیمانگ (۲۰۱۱) در مطالعه خود به بررســـی عوامل موفقیت PPP پرداخته و بیان داشـــته اســـت که تخصـــیص ریســـک، نقش مهمی را در این خصـــوص ایفا می‌نماید (Agyemang, 2011). همچنین می‌توان به تحقیقات ژو و همکاران (۲۰۱۲) (Xu et al., 2012)، والی‌پور و همکاران (۲۰۱۵)(Valipour et al., 2015)، لیو و همکاران (۲۰۱۶) (T. Liu et al., 2016)، کومار و همکاران (۲۰۱۷) (Kumar et al., 2018) و کی‌یرس و فنما (Keers & van Fenema, 2018) (۲۰۱۸) به منظور ارائه روشـــی برای ارزیابی ریسک در پروژه‌های PPP اشاره نمود.

علاوه بر تحقیقات فوق، اکبری احمدآبادی و هروی (۲۰۱۹) در تحقیق خود اقدام به ارائه چارچوبی برای ارزیابی تعامل بین ریســـک‌ها و موفقیت پروژه‌های PPP نموده‌اند (Akbari Ahmadabadi & Heravi, 2019). وو و همکاران در ســـال ۲۰۲۰، ارزیابی ریســـک پروژه ذخیره سازی آب دریا تحت سه حالت مدیریت PPP با ا ستفاده از مدل ابر مبتنی بر مجموعه‌های فازی را مورد مطالعه قرار دادند (Wu et al., 2020). شـــمس‌الدینی و همکاران (۲۰۲۰) به بررســـی موانع مشـــارکت بخش خصـــوصـــی در توســـعه و عمران شـــهری پرداخته‌اند (Naqibzadeh et al., 2020). دو و گائو (۲۰۲۱) مدل تصمیم‌گیری ارزیابی ریسک و درآمد پروژه PPP بر اساس روش بوردا فازی را ارائه نمودند (Du & Gao, 2021). ژانگ و همکاران (۲۰۲۱) مکانیسم تخصیص ریسک درآمد در پروژه‌های مشارکت عمومی–خصوصی را با رویکرد گزینه نوسان ارائه دادند (S. Zhang et al., 2021).

مطالعه تحقیقات گذ شته درخصوص مدیریت ریسک در پروژه‌های PPP نشان می‌دهد که نه تنها محققین اجماع قابل توجهی درخصوص ابعاد مختلف مدیریت ریســـک در این پروژه‌ها دارند، بلکه چنین اجماعی در مورد ریســـک‌های پدید آورنده و راهبردهای اثر بخش در چنین پروژه‌هایی نیز مشاهده می‌شود. به همین منظور پژوهش حاضر نیز می‌کوشد تا با انتخاب پروژه‌های زیرساختی کشور ایران مبتنی بر PPP، ضمن شناسایی ریسک‌های مختلف موجود در مسیر اجرای این نوع پروژه‌ها، به تدوین الگوی شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک در آنها بپردازد.

این مقاله شامل سه بخش است. ما ابتدا ادبیات تحقیق را مرور می‌کنیم تا درک درستی از نتایج شناسایی ریسک و ارزیابی ریسک پروژه های PPP داشته باشیم. دوم، روش شناسی این مطالعه، شامل طرح تحقیق، تجزیه و تحلیل داده ها و استنباط، پرسشنامه، جامعه آماری و فرایند تصمیم‌گیری ارائه شده است. در بخش آخر، نتایج و یافته‌های ارائه خود را مورد بحث قرار می‌دهیم.

مواد و روش تحقیق

تحقیق حا ضر به منظور ارائه الگویی برای اولویت‌بندی ریسک‌های موجود در پروژه‌های زیر ساختی PPP به انجام خواهد ر سید. برای د ستیابی به شناختی عمیق از ادبیات تحقیق، مطالعه‌ای جامع پیرامون موضـــوع ریســـک‌های موجود در پروژه‌های زیربنایی حمل و نقلی مبتنی بر PPP از طریق مطالعات عمیق کتابخانه‌ای صـــورت گرفته اســـت. به کمک اطلاعات به دســـت آمده و از طریق توســـعه ریســـک‌های موجود و متناســـب‌ســـازی آن با ماهیت و کارکردهای پروژه‌های زیربنایی، الگوی مطلوب جهت دسته‌بندی و تفکیک ریسک‌ها ارائه شده است. همچنین در بخش مربوط به تکامل الگو، به منظور صحت‌سنجی الگوی اولویت‌بندی، از روش میدانی جهت جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز مانند اطلاعات مربوط به اولویت ریسک‌ها بهره گرفته شده است.

آنالیز و استنتاج داده‌ها:

برای جمع‌بندی و تحلیل داده‌های کیفی از ا ستدلال و تحلیل عقلانی بر مبنای ریسک‌های موجود و ا ستناد به مدارک و شواهد موجود ا ستفاده شده ا ست (Saunders et al., 2009). در نهایت با پیاده‌سازی در نمونه پروژه‌های واقعی، نواقص و کاستی‌های مربوط به ریسک‌های شناسایی شده، مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. پس از شناسایی داده‌های اولیه (ریسک‌ها)، برای تلخیص آنها، اقدام به تهیه پایگاه داده ریسک شده است. برای تشکیل پایگاه داده ریسک، ابتدا اقدام به شناسایی ریسک‌های موجود در پروژه‌های زیربنایی PPP شده است. جهت شناسایی ریسک‌ها از سه دسته عمده تحقیقات شامل ریسک‌های شناسایی شده در ادبیات تحقیق، ریسک‌های تعیین شده از طریق مصاحبه‌های نیمه ساختار یافته با متخصصین و خبرگان و همچنین ریسک‌های شناسایی شده در مطالعات اسنادی منطبق بر پروژه‌های بخش حمل و نقلی کشور ایران استفاده خواهد شد. سپس کلیه ریسک‌های شناسایی شده در دسته‌بندی‌های مختلفی قرار گرفته است. سپس با استفاده از روش PMBOK برای ارزیابی ریسک به شیوه‌ای تلفیقی استفاده شده است. برای انجام تحلیل‌های کمی و کیفی، با تهیه پرسشنامه‌های کارشناسی شده، ریسک‌های شناسایی شده در بین متخصصان و کارشناسان مشغول به کار در حوزه پروژه‌های زیربنایی PPP

در جامعه آماری تحقیق به همه پرسی گذاشته شده و برحسب نرخ وقوع ریسک، ریسک‌های بحرانی‌تر تعیین گردید. پس از تعیین ریسک‌های بحرانی، با استفاده از روش‌های تلفیقی تصمیم‌گیری چند معیاره فازی، اقدام به ارائه الگویی جهت ارزیابی کمی ریسک در پروژه‌های زیرساختی PPP با مطالعه موردی در پروژه‌های حمل و نقلی کشور ایران شده است.

پرسشنامه و صحت سنجی:

ابزار اصلی سنجش و گردآوری داده ها و اطلاعات در روش پیمایشی مورد استفاده در پژوهش حاضر، پرسشنامه است. در این پژوهش از نوع پرسشنامه جهت تحلیل آماری و تحلیل سلسله مراتبی به صورت مقایسات زوجی استفاده شده است. جهت تهیه پرسشنامه‌های مورد نیاز، ابتدا با انجام مطالعات کتابخانه‌ای و چند مرحله مصاحبه با ذینفعان مختلف در پروژه‌های زیربنایی حمل و نقلی PPP، مهمترین ریسک‌های موجود در این پروژه‌ها شناسایی شد. برای تفسیر سؤالات و درجه اهمیت آنها از طیف پنج گزینه‌ای لیکرت استفاده شد. با توجه به اینکه تحقیق حاضر از نوع پژوهش‌های میدانی و پیمایشی بوده و تحلیل نتایج آن بر اساس نظرات خبرگان و متخصصین صنعت ساخت به انجام خواهد رسید، لذا بهترین شیوه برای دستیابی به صحت سنجی و اعتبار سنجی نتایج حاصله، تعیین روایی و پایایی پرسشنامه‌های مورد بررسی در تحقیق می‌باشد که در بخش بعدی به این موضوع پرداخته شده است (Danaeifard et al., 2004; Mo'meni & Qayyumi, 2007; Saunders et al., 2009; Sokaran et al., 2007).

جامعه و نمونه آماری:

در پژوهش حاضر با توجه به بررسی جامعه آماری موضوع مورد تحقیق و تصمیم بر استفاده از اطلاعات پروژه‌های ساخت و ساز زیربنایی حمل و نقلی مبتنی بر روش‌های مشارکت عمومی– خصوصی (PPP) در کشور ایران به عنوان مطالعه موردی تحقیق، جامعه آماری دارای تعداد افراد قابل توجهی بوده و لذا دسترسی به تمامی افراد جامعه به سهولت امکانپذیر نیست، لذا از روش نمونه‌گیری استفاده خواهد شد. لازم به ذکر است که با توجه به محدود بودن تعداد افراد جامعه آماری که در این تحقیق، برابر با ۱۲۰ نفر از مشاوران، پیمانکاران و کارفرمایان پروژه‌های زیربنایی حمل و نقلی بوده است، لذا جهت تعیین حجم نمونه از روش نمونه‌گیری کوکران و متغیرهای چند ارزشی با روش نمونه‌گیری تصادفی استفاده شد. به همین منظور، فرمول کوکران جهت تعیین حجم نمونه استفاده شد و تعداد افراد نمونه مورد بررسی برابر با ۹۲ نفر تعیین گردیده است.

در این تحقیق معیارهای نمونه‌گیری قضاوتی برای انتخاب خبرگان مبتنی بر سه مشخصه شامل (۱) داشتن حداقل دو سال تجربه‌کاری در زمینه پیاده سازی مدیریت ریسک پروژه، (۲) داشتن تجربه درخصوص پروژه‌های زیربنایی PPP و (۳) داشتن تحصیلات دانشگاهی مرتبط با زمینه پژوهش بوده است. در مرحله نظرسنجی از خبرگان، بررسی‌های انجام شده به منظور شناسایی خبرگان این حوزه بر اساس قضاوت محقق در رابطه با دارا بودن حداقل یکی از معیارهای بالا در کنار داشتن سابقه کار در پروژه‌های زیربنایی PPP با آشنایی در صنعت حمل و نقل صورت گرفت. پس از تعیین تعداد افراد موجود در نمونه آماری، اطلاعات جمعیت شناختی و دموگرافیک آنان شامل سطح سواد، میزان تخصص و تجربه و مسائلی از این دست مورد بررسی قرار گرفته است.

فرآیند تصمیم‌گیری و انتخاب از بین گزینه‌ها:

روند تعیین شده در این تحقیق، تلفیقی از روش‌های تصمیم‌گیری فازی است. از آنجا که روش تصمیم‌گیری پژوهش حاضر، تلفیقی از روش‌های تصمیم‌گیری یعنی تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس فازی است، در ادامه به معرفی این روش‌ها و چگونگی تحلیل با آنها پرداخته شده است.

تکنیک تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP):

چانگ (۱۹۹۶) روشی بسیار ساده را برای بسط فرایند تحلیل سلسله مراتبی به فضای فازی ارائه داد. این روش که مبتنی بر میانگین حسابی نظرات خبرگان و روش نرمالایز ساعتی و با استفاده از اعداد مثلثی فازی توسعه داده شده بود، مورد استقبال محققین قرار گرفت. که مراحل انجام این روش را در هشت گام شرح داده‌اند (Chang, 1996; Kubler et al., 2016) .

تکنیک تاپسیس فازی (FTopsis):

نخستین بار چن و هوانگ مراحل استفاده از روش شباهت به گزینه ایده آل (تاپسیس) فازی را در یک مسأله تصمیم‌گیری چند معیاره با n معیار و m گزینه در هشت مرحله به ارائه کرده‌اند (Dymova et al., 2013).

بحث و یافته‌های تحقیق

با توجه به اینکه هدف اصلی پژوهش، ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌ها در پروژه‌های زیربنایی حمل و نقل مبتنی بر روش PPP است، در نتیجه به منظور شناسایی و تحلیل ریسک‌ها باید از یک روش نظام‌مند و سازمان یافته مدیریت ریسک برای این منظور بهره جست. برای این منظور از رویکرد ارائه شده در راهنمای پیکره دانش مدیریت پروژه (PMBOK) مورد استفاده قرار گرفته است. در شکل ۱ فلوچارت ساختار الگوی تصمیم گیری فازی برمبنای تلفیق روشهای تصمیم گیری چندمعیاره فازی نشان داده شده است.

شناسایی ریسک‌ها و ایجاد ساختار پایگاه داده:

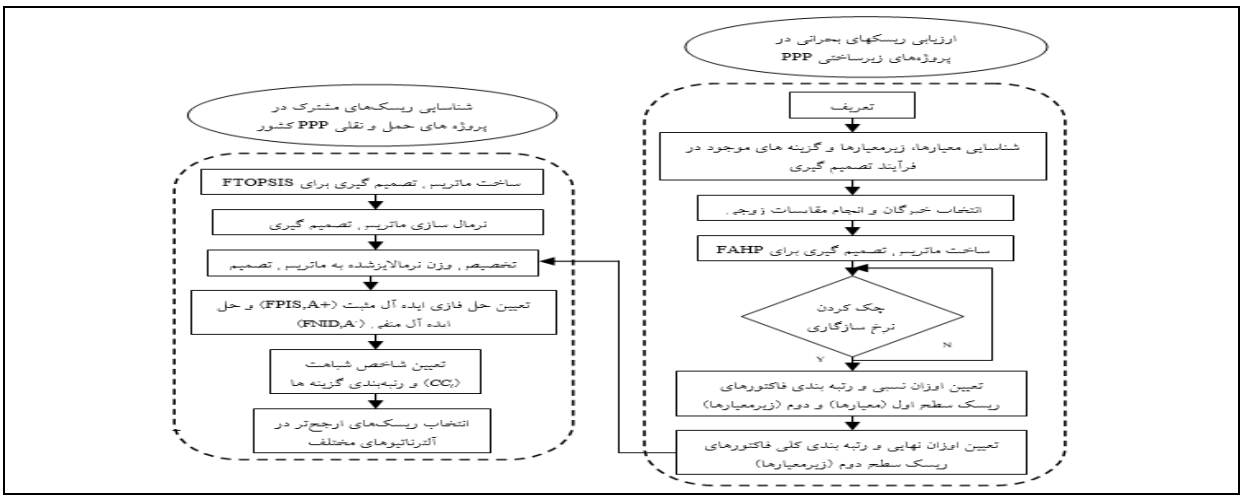
در این گام ابتدا از طریق مروری بر مطالعات گذشته، مهمترین ریسک‌های بالقوه موثر بر پروژه‌های مبتنی بر روش PPP جمع‌آوری و لیست شده است. سپس از تکنیک دلفی با کسب نظرات ۷ نفر از خبرگان حوزه مدیریت پروژه‌های زیربنایی ساخت در پروژه‌های حمل و نقلی کشور ایران در سه مرحله به شرح زیر استفاده شده است.

۱- مرحله اول: لیست جمع‌آوری شده مشتمل بر ریسک‌های اصلی بین ۷ تن از کارشناسان و متخصصین در پروژه‌های زیربنایی حمل و نقلی اعم از مدیران و کارشناسان ارشد این پروژه‌ها توزیع گردید تا نظرات خود را درخصوص جامع بودن ریسک‌های شناسایی شده ارائه شده در لیست بازنگری شده منعکس کنند. همچنین در این مرحله، موارد پیشنهادی که از قلم افتاده بود نیز به لیست اضافه گردید. از این طریق روایی محتوایی سوالات تحقیق درخصوص ریسک‌های شناسایی شده تعیین شد.

۲- مرحله دوم: پس از جمع‌آوری نظرات خبرگان، موارد تکراری از لیست اولیه حذف و برخی ریسک‌های جامانده بر اساس روش طوفان فکری به آن اضافه شد. در نتیجه لیست جدیدی تهیه شده و به نظردهندگان بازگردانده شد تا اعضای تیم نسبت به ریسک‌ها، بازنگری مجددی را صورت دهند.

۳- مرحله سوم: در این مرحله نظرات جمع‌آوری شده، توسط محقق مورد بررسی قرار گرفت و اقدام به دسته‌بندی و تفکیک نهایی ریسک‌ها در گروه‌های چندگانه شد. نهایتاً یک لیست متشکل از ریسک‌های مختلف تهیه گردید و بر اساس آن، ساختار پایگاه داده ریسک شکل گرفت.

در نهایت جهت پیگیری ریسک و پایش فعالیت‌های بعدی مرتبط با هر ریسک، یک بانک اطلاعاتی از ریسک‌های شناسایی شده تشکیل شده است. این بانک اطلاعاتی، مشخصاتی از فاکتورهای ریسک شناسایی شده در دو سطح را نشان می‌دهد که بر اساس ادبیات تحقیق و مطابق با مراحل مختلف تکنیک دلفی در مراحل قبلی ایجاد گردیده است. این بانک اطلاعاتی در مجموع شامل ۷ فاکتور ریسک در سطح اول می‌باشد. هر کدام این فاکتورها نیز به ترتیب در ۶، ۱۳، ۸، ۵، ۵، ۸ و ۵ زیرفاکتور ریسک شناسایی شده در سطح دوم ثبت و ضبط شده است. ساختار پایگاه داده تشکیل شده برای ریسک‌های شناسایی شده در جدول ۱ آمده است. لازم به ذکر است که به منظور سهولت در اجرای مراحل بعدی تحقیق، از یک نماد مشخص به صورت Ri-j برای نام‌گذاری ریسک‌ها بهره گرفته شده است. به طوری که طبق این نام‌گذاری، حرف R بیان‌کننده ریسک، i بیانگر فاکتورهای ریسک سطح اول و j نیز بیانگر فاکتورهای ریسک سطح دوم می‌باشند. همچنین نتایج مراحل بعدی تحقیق در ستون‌های بعدی این جدول ارائه شده است.



شکل ۱- ساختار الگوی تصمیم گیری فازی برمبنای تحلیل FAHP و FTOPSIS (منبع: مطالعات نویسندگان، ۱۴۰۰)

جدول ۱. ساختار پایگاه داده ریسک در کشور ایران و نتایج احتمال وقوع، شدت اثر و نرخ ریسک‌های شناسایی شده

فاکتورهای ریسک سطح اول	زیرفاکتورهای ریسک سطح دوم	مرجع	شاخص احتمال وقوع	شاخص شدت اثر	احتمال وقوع	شدت اثر	نرخ ریسک	رتبه
ریسک‌های دولتی (R1)	سیستم نظارت ناکافی (R1-1)	(Maslyukivska & Sohail, 2007; Shen et al., 2006; Xu et al., 2010)	۰/۵۸	۰/۴۹	۰/۴۸	۰/۲۳	۰/۱۱۳	۳۶
	مداخله دولت (R1-2)	(Ke, Wang, & Chan, 2010; Kumaraswamy & Zhang, 2001; Medda, 2007; Ng & Loosemore, 2007; Shen et al., 2006; Xu et al., 2010)	۰/۶۵	۰/۷۵	۰/۵۵	۰/۴۸	۰/۲۶۲	۱۹
	فساد دولتی (R1-3)	(Gao, 2017; Kumaraswamy & Zhang, 2001; Maslyukivska & Sohail, 2007; X. Zhang, 2005)	۰/۶۴	۰/۸۱	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۲۹۰	۱۲
	تأخیر در مصوبات و مجوزهای پروژه (R1-4)	(Bing et al., 2005; Lam et al., 2007; Ng & Loosemore, 2007; Shen et al., 2006)	۰/۷۱	۰/۷۷	۰/۶۱	۰/۵۰	۰/۳۰۲	۱۰
	عدم تعهد به تخصیص امتیاز (R1-5)	(Bing et al., 2005; Estache et al., 2011; Hwang et al., 2013; Ke, Wang, Chan, et al., 2010; Medda, 2007; Ng & Loosemore, 2007; Thomas et al., 2006; X. Zhang, 2005)	۰/۶۷	۰/۷۵	۰/۵۷	۰/۴۸	۰/۲۷۴	۱۵
	قابلیت اطمینان دولت (R1-6)	(Bing et al., 2005; Eybpoosh et al., 2011; Gao, 2017; Hwang et al., 2013; Ke, Wang, & Chan, 2010; J. Liu et al., 2016; Ng & Loosemore, 2007; Xu et al., 2010)	۰/۵۹	۰/۴۵	۰/۴۹	۰/۱۹	۰/۰۹۴	۴۳
ریسک‌های اقتصادی و تأمین مالی (R2)	ریسک اعتباری (R2-1)	(Bing et al., 2005; Eybpoosh et al., 2011; Gao, 2017; Kumaraswamy & Zhang, 2001; Lang et al., 2017; Marques & Berg, 2011; Shen et al., 2006)	۰/۴۷	۰/۴۴	۰/۳۷	۰/۱۹	۰/۰۷۰	۴۵
	نوسان نرخ ارز (R2-2)	(Estache et al., 2011; Eybpoosh et al., 2011; Kumaraswamy & Zhang, 2001; X. Liu, 2017; Marques & Berg, 2011; Medda, 2007; Ng & Loosemore, 2007; Wang et al., 2000; Xu et al., 2010)	۰/۷۲	۰/۸۱	۰/۶۲	۰/۵۴	۰/۳۳۲	۴
	تغییر سرمایه‌گذاران خصوصی (R2-3)	(Bing et al., 2005; Eybpoosh et al., 2011; Hwang et al., 2013; J. Liu et al., 2016; Wang et al., 2000)	۰/۳۹	۰/۴۲	۰/۲۹	۰/۱۷	۰/۰۴۸	۴۶
	عدم تعهد سرمایه‌گذاران (R2-4)	(Bing et al., 2005; Eybpoosh et al., 2011; Hwang et al., 2013; J. Liu et al., 2016; Marques & Berg, 2011; Ng & Loosemore, 2007; Xu et al., 2010)	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۴۱	۰/۲۴	۰/۰۹۷	۴۲
	تغییر تعرفه و درآمد ناکافی (R2-5)	(Bing et al., 2005; J. Liu et al., 2016; Ng & Loosemore, 2007; Wang et al., 2000)	۰/۵۵	۰/۵۹	۰/۴۵	۰/۳۳	۰/۱۴۶	۳۳
	ناتوانی کنسرسیوم سرمایه گذار (R2-6)	(Bing et al., 2005; Cui et al., 2018; Eybpoosh et al., 2011; Hwang et al., 2013; Ke, Wang, & Chan, 2010; Lam et al., 2007; Ng & Loosemore, 2007; Xu et al., 2010)	۰/۶۸	۰/۶۶	۰/۵۸	۰/۳۹	۰/۲۲۷	۳۰
	هزینه تامین مالی بالا (R2-7)	(Bing et al., 2005; Estache et al., 2011; Ng & Loosemore, 2007; Shen et al., 2006; Wang et al., 2000)	۰/۶۳	۰/۶۶	۰/۵۳	۰/۳۹	۰/۲۰۷	۳۱
	ریسک تورم (R2-8)	(Bing et al., 2005; Estache et al., 2011; Lam et al., 2007; Ng & Loosemore, 2007; Shen et al., 2006; Wang et al., 2000; Xu et al., 2010; X. Zhang, 2005)	۰/۶۸	۰/۷۰	۰/۵۸	۰/۴۴	۰/۲۵۱	۲۴
	نوسان نرخ بهره (R2-9)	(Bing et al., 2005; Estache et al., 2011; Eybpoosh et al., 2011; J. Liu et al., 2016; Marques & Berg, 2011; Medda, 2007; Ng & Loosemore, 2007; Wang et al., 2000; X. Zhang, 2005)	۰/۴۹	۰/۵۲	۰/۳۹	۰/۲۶	۰/۱۰۰	۴۰

	تغییر و نو سان قیمت (پرداخت هزینه اضافی) (R2-10)	(Eybpoosh et al., 2011; Kumar et al., 2018; Ng & Loosemore, 2007; Shen et al., 2006)	۰/۷۳	۰/۸۰	۰/۶۳	۰/۵۳	۰/۳۳۰	۵
	ریسک خرید اجباری buyout (R2-11)	(Bing et al., 2005; Cui et al., 2018; Hwang et al., 2013; Ke, Wang, & Chan, 2010; J. Liu et al., 2016; Medda, 2007; Ng & Loosemore, 2007; Thomas et al., 2006; Xu et al., 2010)	۰/۵۵	۰/۴۸	۰/۴۵	۰/۲۳	۰/۱۰۴	۳۸
	رقابت بازار (منحصر به فرد و انحصاری بودن) (R2-12)	(Bing et al., 2005; Estache et al., 2011; Eybpoosh et al., 2011; Shrestha et al., 2017; Wang et al., 2000; Xu et al., 2010)	۰/۵۲	۰/۴۶	۰/۴۲	۰/۲۱	۰/۰۸۸	۴۴
	تغییر و تخمین نامناسب تقاضای بازار (R2-13)	(Estache et al., 2011; Ke, Wang, & Chan, 2010; Marques & Berg, 2011; Medda, 2007; Thomas et al., 2006; Wang et al., 2000; Xu et al., 2010; X. Zhang, 2005)	۰/۶۷	۰/۷۳	۰/۵۷	۰/۴۶	۰/۲۶۴	۱۸
ریسک‌های ساخت (R3)	عدم توانایی فنی (R3-1)	(Bing et al., 2005; Eybpoosh et al., 2011; J. Liu et al., 2016; Ng & Loosemore, 2007; Xu et al., 2010)	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۴۱	۰/۲۴	۰/۰۹۹	۴۱
	عدم دسترسی به مصالح/ پرسنل (R3-2)	(Bing et al., 2005; Estache et al., 2011; Eybpoosh et al., 2011; Hwang et al., 2013; Lam et al., 2007; J. Liu et al., 2016; Ng & Loosemore, 2007; Shen et al., 2006; Thomas et al., 2006; Wang et al., 2000)	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۵۸	۰/۴۱	۰/۲۴۰	۲۶
	برآورد نامناسب زمان ساخت و تاخیر زمانی (R3-3)	(Hwang et al., 2013; Ke, Wang, & Chan, 2010; J. Liu et al., 2016; Marques & Berg, 2011; Ng & Loosemore, 2007; Thomas et al., 2006)	۰/۷۲	۰/۷۹	۰/۶۲	۰/۵۲	۰/۳۲۰	۸
	طراحی نادرست و تکنیک‌های مهندسی تاییدنشده (R3-4)	(Bing et al., 2005; Lam et al., 2007; Marques & Berg, 2011; Ng & Loosemore, 2007; Wang et al., 2000)	۰/۷۴	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۳۷	۰/۲۳۸	۲۷
	تصرف و شرایط زمین (R3-5)	(Bing et al., 2005; Estache et al., 2011; Gao, 2017; Ke, Wang, & Chan, 2010; Lam et al., 2007; Medda, 2007; Ng & Loosemore, 2007; Xu et al., 2010)	۰/۴۷	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۱۲	۰/۰۴۵	۴۷
	تغییر مشخصات طرح (R3-6)	(Hwang et al., 2013; Ke, Wang, & Chan, 2010; Lam et al., 2007; J. Liu et al., 2016; Marques & Berg, 2011; Ng & Loosemore, 2007; Shen et al., 2006; Xu et al., 2010)	۰/۷۴	۰/۸۰	۰/۶۴	۰/۵۳	۰/۳۳۷	۳
	ریسک تکمیل ساخت (R3-7)	(Bing et al., 2005; Estache et al., 2011; Ng & Loosemore, 2007; Wang et al., 2000)	۰/۷۳	۰/۷۶	۰/۶۳	۰/۴۹	۰/۳۰۶	۹
	محافظت از اشیاء تاریخی و میراثی (R3-8)	طوفان فکری	۰/۵۷	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۲۲	۰/۱۰۱	۳۹
ریسک‌های عملیاتی (R4)	افزایش هزینه عملیاتی (R4-1)	(Bing et al., 2005; Estache et al., 2011; Ng & Loosemore, 2007; Shen et al., 2006; L. Zhang et al., 2019)	۰/۷۶	۰/۸۲	۰/۶۶	۰/۵۴	۰/۳۵۸	۲
	کیفیت عملکرد و استانداردها (R4-2)	(Bing et al., 2005; Eybpoosh et al., 2011; Lam et al., 2007; Ng & Loosemore, 2007; Wang et al., 2000)	۰/۷۵	۰/۷۰	۰/۶۵	۰/۴۳	۰/۲۷۸	۱۴
	عملکرد و نگهداری نادرست (R4-3)	(Bing et al., 2005; Eybpoosh et al., 2011; Hwang et al., 2013; Ke, Wang, & Chan, 2010; J. Liu et al., 2016; Marques & Berg, 2011; Medda, 2007; Ng & Loosemore, 2007; Thomas et al., 2006; Xu et al., 2010; L. Zhang et al., 2019)	۰/۷۴	۰/۷۸	۰/۶۴	۰/۵۱	۰/۳۲۵	۶

	عدم وجود زیرساختهای پشتیبانی (R4-4)	(Bing et al., 2005; Eybpoosh et al., 2011; J. Liu et al., 2016; Ng & Loosemore, 2007; Xu et al., 2010)	۰/۷۲	۰/۶۹	۰/۶۲	۰/۴۲	۰/۲۶۱	۲۰
	پیچیدگی پروژه (R4-5)	(Eybpoosh et al., 2011; Hwang et al., 2013; Ke, Wang, & Chan, 2010; J. Liu et al., 2016; Ng & Loosemore, 2007; Wang et al., 2000; Xu et al., 2010)	۰/۵۶	۰/۴۷	۰/۴۶	۰/۲۱	۰/۰۹۷	۴۲
ریسک‌های سیاسی (R5)	سلب مالکیت و ملی سازی (R5-1)	(Bing et al., 2005; Hwang et al., 2013; Ke, Wang, & Chan, 2010; J. Liu et al., 2016; Marques & Berg, 2011; Medda, 2007; Ng & Loosemore, 2007; Thomas et al., 2006)	۰/۷۱	۰/۶۵	۰/۶۱	۰/۳۹	۰/۲۳۶	۲۸
	مخالفت سیاسی/ عمومی (R5-2)	(Bing et al., 2005; Eybpoosh et al., 2011; Kumaraswamy & Zhang, 2001; Medda, 2007; Ng & Loosemore, 2007; Wang et al., 2000; Xu et al., 2010)	۰/۷۹	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۴۲	۰/۲۹۰	۱۲
	تغییر قوانین و مقررات (R5-3)	(Bing et al., 2005; Estache et al., 2011; Eybpoosh et al., 2011; Hwang et al., 2013; Ke, Wang, & Chan, 2010; Kumaraswamy & Zhang, 2001; Lam et al., 2007; Marques & Berg, 2011; Maslyukivska & Sohail, 2007; Ng & Loosemore, 2007; Shen et al., 2006; Wang et al., 2000; Xu et al., 2010)	۰/۷۰	۰/۷۵	۰/۶۰	۰/۴۷	۰/۲۸۵	۱۳
	وقایع سیاسی تأثیرگذار (R5-4)	(Bing et al., 2005; Hwang et al., 2013; Lam et al., 2007; J. Liu et al., 2016; L. Zhang et al., 2019)	۰/۷۵	۰/۸۳	۰/۶۵	۰/۵۶	۰/۳۶۰	۱
	عدم پشتیبانی سیاسی (R5-5)	(Hwang et al., 2013; Ke, Wang, & Chan, 2010; Medda, 2007; Thomas et al., 2006; Xu et al., 2010)	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۴۶	۰/۲۹	۰/۱۳۳	۳۵
ریسک‌های قانونی (R6)	ریسک قراردادی (قرارداد متعارض) (R6-1)	(Bing et al., 2005; Lam et al., 2007; J. Liu et al., 2016; Shen et al., 2006; Wang et al., 2000)	۰/۵۱	۰/۶۲	۰/۴۱	۰/۳۵	۰/۱۴۵	۳۴
	رقابت نامناسب برای مناقصه (R6-2)	(Ke, Wang, & Chan, 2010; Lam et al., 2007; Marques & Berg, 2011; Maslyukivska & Sohail, 2007; Wang et al., 2000; Xu et al., 2010)	۰/۷۲	۰/۷۰	۰/۶۲	۰/۴۳	۰/۲۶۸	۱۷
	تأخیر / نقض شخص ثالث (R6-3)	(Bing et al., 2005; Gao, 2017; Lam et al., 2007; Marques & Berg, 2011; Ng & Loosemore, 2007; Wang et al., 2000)	۰/۷۰	۰/۷۲	۰/۶۰	۰/۴۵	۰/۲۷۰	۱۶
	افزایش هزینه و زمان به دلیل ابهامات قراردادی (R6-4)	(Bing et al., 2005; Eybpoosh et al., 2011; Ke, Wang, & Chan, 2010; J. Liu et al., 2016; Ng & Loosemore, 2007)	۰/۶۹	۰/۷۰	۰/۵۹	۰/۴۳	۰/۲۵۳	۲۳
	قوانین فراملیتی (R6-5)	(Eybpoosh et al., 2011; Hwang et al., 2013; J. Liu et al., 2016; Xu et al., 2010)	۰/۶۰	۰/۵۶	۰/۵۰	۰/۳۰	۰/۱۵۳	۳۲
	عدم وجود چارچوب‌های قانونی/ نظارتی (R6-6)	(Eybpoosh et al., 2011; Hwang et al., 2013; Ke, Wang, & Chan, 2010; J. Liu et al., 2016; Marques & Berg, 2011; Thomas et al., 2006; Xu et al., 2010)	۰/۷۴	۰/۷۸	۰/۶۴	۰/۵۰	۰/۳۲۱	۷
	شکست در تمدید مصوبات (R6-7)	(Bing et al., 2005; Hwang et al., 2013; J. Liu et al., 2016; Ng & Loosemore, 2007; Xu et al., 2010)	۰/۷۳	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۳۷	۰/۲۳۴	۲۹
	تغییر در تنظیم مالیات (R6-8)	(Bing et al., 2005; Estache et al., 2011; Hwang et al., 2013; Ke, Wang, & Chan, 2010; J. Liu et al., 2016; Marques & Berg, 2011; Medda, 2007; Ng & Loosemore, 2007; Thomas et al., 2006; Xu et al., 2010; X. Zhang, 2005)	۰/۵۱	۰/۴۲	۰/۴۱	۰/۱۷	۰/۰۷۰	۴۵
	فورس ماژور (R7-1)	(Bing et al., 2005; Estache et al., 2011; Hwang et al., 2013; Ke, Wang, & Chan, 2010; J. Liu et al., 2016;	۰/۶۷	۰/۷۲	۰/۵۷	۰/۴۵	۰/۲۶۰	۲۱

		Marques & Berg, 2011; Ng & Loosemore, 2007; Xu et al., 2010; X. Zhang, 2005)						
سایر ریسک‌ها (R7)	ریسک‌های سازمانی و هماهنگی (R7-2)	طوفان فکری	۰/۷۰	۰/۷۶	۰/۶۰	۰/۴۸	۰/۲۹۲	۱۱
	تأثیرات فرهنگی و اجتماعی (R7-3)	طوفان فکری	۰/۶۶	۰/۷۱	۰/۵۶	۰/۴۴	۰/۲۴۵	۲۵
	ریسک‌های زیست محیطی (R7-4)	(Bing et al., 2005; Hwang et al., 2013; Ke, Wang, & Chan, 2010; Marques & Berg, 2011; Maslyukivska & Sohail, 2007; Xu et al., 2010)	۰/۵۸	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۲۳	۰/۱۰۹	۳۷
	شرایط پیش بینی نشده آب و هوایی/ ژئوتکنیکی (R7-5)	(Bing et al., 2005; Lam et al., 2007; Ng & Loosemore, 2007; X. Zhang, 2005)	۰/۷۰	۰/۷۰	۰/۶۰	۰/۴۳	۰/۲۵۵	۲۲

منبع: محاسبات نویسندگان، ۱۴۰۰

تحلیل کیفی ریسک:

به منظور تحلیل کیفی ریسک‌های مختلف شناسایی شده، نیاز به تعیین احتمال وقوع و شدت اثر هر ریسک می‌باشد که در این تحقیق مطابق با استاندارد PMBOK، از روش ماتریس احتمال- اثر بهره به شیوه‌ای جدید استفاده شده است. برای این منظور ابتدا ازطریق عبارت‌های زبانی خیلی کم (۱) تا خیلی زیاد (۵) مطابق با طیف ۵ گزینه‌ای لیکرت، به سنجش میزان احتمال وقوع و شدت اثر هر یک از ریسک‌های سطح اول و دوم طبق نظرات ۹۲ خبره پرداخته شد. پس از تعیین داده‌های خام حاصل از بازخورد نظرات خبرگان، برای تخمین پایایی سنجش ریسک‌ها، مقدار ضریب آلفای کرونباخ برای هر یک از فاکتورهای سطح اول ریسک تعیین شد. نتایج نشان می‌دهد که مقدار ضریب آلفای کرونباخ برای هر یک از هفت فاکتور سطح اول ریسک بالاتر از ۰/۷ بدست آمده است. این قضیه بیانگر سازگاری داخلی فاکتورهای ریسک بوده و نشان می‌دهد که پایایی در سطح قابل قبول است.

سپس مقدار شاخص اهمیت نسبی مربوط به میزان احتمال وقوع (RIIProbability) و شدت اثر (RIIImpact) هر یک از ریسک‌های سطح دوم، تعیین گردید. در ادامه با تعیین ارتباط بین مقادیر RII محاسبه شده برای احتمال وقوع و شدت اثر و مقادیر ارائه شده برای این دو پارامتر طبق استاندارد PMBOK و از طریق درونیابی خطی، مقدار احتمال وقوع و شدت اثر هر ریسک به صورت میانگین تعیین شد. با توجه به مستقل بودن متغیرهای احتمال وقوع و شدت اثر هر یک از ریسک‌های شناسایی شده، نیاز به تعیین نرخ ریسک (شامل تاثیر توامان احتمال و شدت وقوع ریسک) می‌باشد. مقدار نرخ ریسک که با استفاده از مفهوم امید ریاضی حاصل ضرب (PI=P x I)، تعیین می‌گردد، تاثیر ریسک بر هدف پروژه را نشان داده و ملاک اولویت‌بندی ریسک‌ها برحسب میزان اهمیت آنها قرار می‌گیرد. بنحوی که ریسک‌های شناسایی شده برحسب مقدار PI بدست آمده برای آنها در سه محدوده بحرانی (بیشتر از ۰/۲)، محدوده احتیاطی (تاثیر از ۰/۰۵ تا ۰/۲) و محدوده قابل پذیرش (کمتر از ۰/۰۵) طبقه‌بندی می‌گردد. در جدول ۱ نتایج مربوط به شاخص اهمیت نسبی احتمال وقوع و شدت اثر و نرخ ریسک برای هر یک از ریسک‌های سطح دوم ارائه شده است. براساس نتایج بدست آمده، ۳۲ ریسک در محدوده بحرانی، ۱۵ ریسک در محدوده احتیاطی و ۳ ریسک در محدوده قابل پذیرش رتبه‌بندی شده‌اند. بر این اساس، رتبه‌بندی اولیه ریسک‌ها برحسب آنالیز کیفی صورت گرفته و با مشخص شدن ریسک‌های بحرانی، از آنها در چرخه بعدی آنالیز ریسک استفاده شده است.

در ادامه به منظور انجام تحلیل کمی ریسک، فاکتورهای ریسک سطح اول و زیرفاکتورهای ریسک سطح دوم با درجه اهمیت بحرانی، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این ریسک‌ها به ترتیب به عنوان معیارهای سطح اول و دوم روش تصمیم‌گیری در نظر گرفته شده است. سپس با استفاده از روش تلفیقی تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر تحلیل AHP و TOPSIS فازی، اقدام به اولویت‌بندی ریسک‌ها در پروژه‌های حمل و نقلی مبتنی بر رویکرد PPP شده است.

تحلیل کمی ریسک:

در حالت کلی، روش‌های مختلفی برای تحلیل کمی ریسک وجود دارد. در پژوهش حاضر از روش پیمایش در تعدادی از پروژه‌های حمل و نقلی مبتنی بر رویکرد PPP در کشور ایران و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی برای تحلیل کمی ریسک‌ها استفاده شده است. مسائل مرتبط با ارزیابی کمی ریسک در پروژه‌های ساخت از پیچیدگی زیادی برخوردار بوده و این ارزیابی با عدم قطعیت‌های زیادی همراه

است. چراکه اغلب به دلیل فقدان اطلاعات و یا نبود دانش کامل متخصصین در حوزه ریسک‌ها، تغییرپذیری زیادی در داده‌های خام حاصل از پرسشنامه‌ها وجود دارد. از اینرو فاکتورهای درگیر در تحلیل کمی ریسک باید با در نظر گرفتن این مسئله مورد ارزیابی قرار بگیرد. روش فازی قادر است نتایج اهمیت اثر ریسک را با درجه‌ای از عدم قطعیت، به صورت دقیق‌تری تعیین نماید و با رویهم‌گذاری آنالیزهای فازی، می‌توان تاثیر ریسک‌ها را در پروژه‌های مختلف به صورت کامل‌تری برآورد نمود (Duarte et al., 2003). همچنین در خصوص پیچیدگی و نادرستی داده‌ها و مسائلی که در ارزیابی کمی ریسک در پروژه‌های واقعی رخ می‌دهد، توانایی تئوری فازی، این روش را به ابزاری قدرتمند در چنین ارزیابی‌هایی تبدیل نموده است (Darbra et al., 2008).

تفکیک میزان اهمیت ریسک‌های موجود در پروژه‌های زیرساختی مبتنی بر روش PPP به راحتی امکانپذیر نیست و نتایج ارزیابی کیفی در این خصوص ممکن است با کاستی‌هایی روبرو باشد. لذا برای ارائه یک الگوی منسجم تحلیل کمی ریسک، در این پژوهش از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی به صورت تلفیقی (FAHP و FTOPSIS) بهره گرفته شده است. بدین منظور فاکتورها و زیرفاکتورهای بحرانی ریسک در سطوح اول و دوم حاصل از تحلیل کیفی، به عنوان معیارها و زیرمعیارهای الگوی تصمیم‌گیری در نظر گرفته شد. بر این اساس، هفت فاکتور اصلی ریسک در سطح اول شامل ریسک‌های دولتی، ریسک‌های اقتصادی و تأمین مالی، ریسک‌های ساخت، ریسک‌های عملیاتی، ریسک‌های سیاسی، ریسک‌های قانونی و سایر ریسک‌ها به‌عنوان عوامل اصلی (معیارها) شناسایی شد. در سطح بعد، زیرفاکتورهای موجود در سطح دوم ریسک به عنوان عوامل فرعی (زیرمعیارها) در نظر گرفته شد. بر این اساس، به ترتیب ۴، ۶، ۵، ۴، ۴، ۵ و ۴ زیرمعیار (ریسک‌های بحرانی‌تر شناسایی شده در تحلیل کیفی) در ارتباط با هر معیار در نظر گرفته شد. در نهایت در سطح سوم الگوی تصمیم‌گیری نیز سه نمونه از پروژه‌های حمل و نقلی کشور ایران مبتنی بر روش PPP، به عنوان آلترناتیوهای تصمیم‌گیری در ارزیابی مد نظر قرار گرفت. لازم به ذکر است که هدف از ارائه این الگو، در درجه اول اولویت‌بندی مهمترین فاکتورهای ریسک سطح اول (معیارها) و زیرفاکتورهای ریسک سطح دوم (زیرمعیارها) موثر بر پروژه‌های زیرساختی مبتنی بر روش PPP است. هدف دوم الگوی ارائه شده نیز، اولویت‌بندی ریسک‌های ارجح‌تر از منظر آلترناتیوهای مسئله (پروژه‌های موردی PPP) برای انتخاب ریسک‌های مشترک بوده است. لازم به ذکر است که برای دستیابی به هدف اول از روش FAHP استفاده شده و اولویت‌بندی اولیه از ریسک‌های سطح اول و دوم تعیین شد. سپس با اختصاص وزن نهایی بدست آمده برای ۲۰ ریسک ارجح‌تر، از روش FTOPSIS برای تعیین ریسک‌های مشترک در پروژه‌های مورد مطالعه بهره گرفته شد.

در ادامه پس از گردآوری نظرات اولیه متخصصان، اقدام به تشکیل ماتریس مقایسات زوجی فازی برای مقایسه معیارها و زیرمعیارها برحسب متغیرهای زبانی شده است. بدین منظور از خبرگان درخواست شد تا نظرات خود را درخصوص میزان اهمیت معیارها (فاکتورهای ریسک سطح اول) و زیرمعیارها (زیرفاکتورهای ریسک سطح دوم) از طریق عبارت‌های زبانی بیان نمایند. سپس با بهره‌گیری از اعداد فازی مثلثی و میانگین حسابی نظرات، ماتریس مقایسات زوجی تهیه شد. لازم به ذکر است که گزینه‌های مورد مطالعه در این تحقیق پروژه A (آزادراه اصفهان- شیراز)، پروژه B (آزادراه سلفچگان- اراک) و پروژه C (آزادراه خرم آباد- اراک) انتخاب شدند.

مقایسه فاکتورهای ریسک سطح اول (معیارها):

در ادامه به منظور تعیین اهمیت و اثرگذاری معیارهای اصلی بر پروژه‌های حمل و نقلی مبتنی بر PPP، بر اساس نتایج حاصل از نظرات و آراء اولیه خبرگان، به مقایسه زوجی هفت معیار اصلی پرداخته شده است. براساس مقادیر ماتریس مقایسات زوجی، نمرات درجه اولویت عوامل اصلی مطابق با جدول ۲ به صورت ماتریس نرمالایزشده تعیین شد. لازم به ذکر است که در مرحله مقایسات زوجی، به منظور اندازه گیری سطح سازگاری مقایسات، مقادیر شاخص‌های نرخ ناسازگاری (CRm و CRg) نیز محاسبه شد. این شاخص‌ها نشان دهنده مطلوب بودن پاسخ‌های بدست آمده در راستای اولویت‌بندی صحیح معیارها می‌باشد تا بدین طریق اختلاف بین اهمیت و ارجحیت پارامترها معنادار باشد. با توجه به کوچکتر شدن مقادیر شاخص‌های ناسازگاری از ۰،۱، می‌توان دریافت که در مقایسات زوجی انجام بین زیرمعیارهای مرتبط با هر عامل اصلی سازگاری وجود دارد و نتایج بدست آمده از اعتبار کافی برخوردار می‌باشد. در نهایت وزن نسبی هر معیار و رتبه اولیه آنها مطابق جدول ۲ بدست آمد. بر اساس نتایج بدست آمده ملاحظه می‌گردد که ریسک‌های (R2) با امتیاز نسبی ۰/۲۲۳، ریسک‌های (R3) با امتیاز نسبی ۰/۲۱۴، ریسک‌های (R4) با امتیاز نسبی ۰/۲۰۳، ریسک‌های (R6) با امتیاز نسبی ۰/۱۵۲، ریسک‌های (R5) با امتیاز نسبی ۰/۰۸۴، ریسک‌های (R7) با امتیاز نسبی ۰/۰۷۵ و در نهایت ریسک‌های دولتی (R1) با امتیاز نسبی ۰/۰۴۹، رتبه‌های اول تا هفتم تاثیرگذاری بر پروژه‌های حمل و نقلی مبتنی بر PPP را به خود اختصاص داده‌اند.

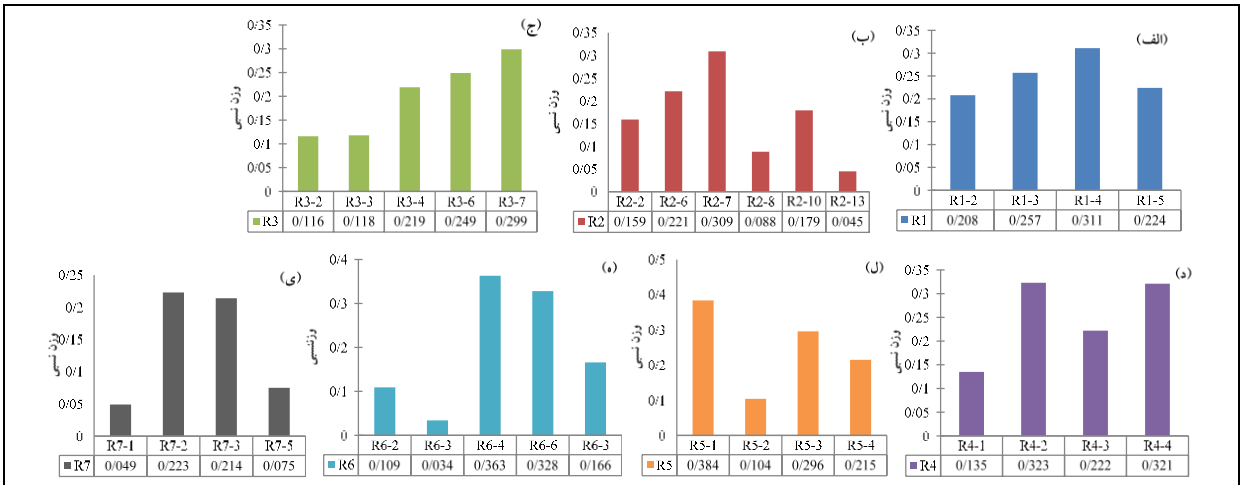
جدول ۲. ماتریس نرمالایزشده برای ترکیب اوزان، وزن نسبی و اولویت نهایی فاکتورهای سطح اول ریسک

معیار	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	وزن نسبی	رتبه
R1	_	۰/۸۸۳	۰/۷۶۸	۱	۱	۱	۰/۹۵	۰/۰۴۹	۷
R2	۱	_	۰/۸۸۹	۱	۱	۱	۱	۰/۲۲۳	۱
R3	۱	۱	_	۱	۱	۱	۱	۰/۲۱۴	۲
R4	۰/۹۹۸	۰/۸۹۷	۰/۷۶۳	_	۱	۱	۰/۹۴۸	۰/۲۰۳	۳
R5	۰/۸۳۳	۰/۷۰۱	۰/۵۷۹	۰/۸۳۵	_	۱	۰/۷۸۳	۰/۰۸۴	۵
R6	۰/۴۲۸	۰/۲۷	۰/۱۵۱	۰/۴۳	۰/۶۴۴	_	۰/۳۹۱	۰/۱۵۲	۴
R7	۰/۹۸۲	۰/۸۷	۰/۷۵۹	۰/۹۸۴	۱	۱	_	۰/۰۷۵	۶

منبع: محاسبات نویسندگان، ۱۴۰۰

مقایسه فاکتورهای ریسک سطح دوم (زیرمعیارها):

جهت تعیین ارجحیت در بین زیرفاکتورهای ریسک سطح دوم در ارتباط با هر عامل اصلی مجدداً با تکرار فرآیند اجرا شده در مرحله قبل، وزن نسبی و رتبه هر یک از زیرمعیارها تعیین شد. در ادامه با انجام محاسبات مربوطه، ماتریس نرمالایز شده برای ترکیب اوزان زیرمعیارها مرتبط با هر یک از معیارهای اصلی بدست آمد. در نهایت با ترکیب اوزان نهایی، میزان درجه ارجحیت و وزن نسبی هر یک زیرمعیارها محاسبه شده و رتبه نهایی آنها از نظر میزان اهمیت و تاثیرگذاری بر پروژه‌های حمل و نقلی مبتنی بر PPP تعیین شد. نتایج مربوط به به وزن نسبی و اولویت نهایی زیرمعیارها در مقایسه با یکدیگر و به ازای هر معیار اصلی در نمودار شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصل از مقایسات زوجی زیرفاکتورهای ریسک سطح دوم در ریسک‌های دولتی (شکل ۲–الف)، پارامتر تأخیر در مصوبات و مجوزهای پروژه (R1-4) با وزن ۰/۳۱۱ و پارامتر مداخله دولت (R1-2) با وزن ۰/۲۰۸، به ترتیب بیشترین و کمترین درجه اهمیت را کسب نموده‌اند. در ریسک‌های اقتصادی و تامین مالی (شکل ۲–ب) زیرمعیارهای هزینه تامین مالی بالا (R2-7) و تغییر و تخمین نامناسب تقاضای بازار (R2-13) به ترتیب با وزن ۰/۳۰۹ و ۰/۰۴۵ بیشترین و کمترین اهمیت را به خود اختصاص داده‌اند. در ریسک‌های ساخت (شکل ۲–ج) زیرمعیارهای ریسک تکمیل ساخت (R3-7) با وزن ۰/۲۹۹و عدم دسترسی به مصالح/ پرسنل (R3-2) با وزن ۰/۱۱۶ به ترتیب از بیشترین و کمترین میزان اثرگذاری بر پروژه‌های PPP برخوردار می‌باشند. در ریسک‌های عملیاتی (شکل ۲–د)، زیرمعیارهای کیفیت عملکرد و استانداردها (R4-2) با وزن ۰/۳۲۳ و افزایش هزینه عملیاتی (R4-1) با وزن ۰/۱۳۵ به ترتیب بیشترین و کمترین تاثیر را دارا هستند. در ریسک‌های سیاسی (شکل ۲–ل) زیرمعیارهای سلب مالکیت و ملی سازی (R5-1) و مخالفت سیاسی/ عمومی (R5-2) به ترتیب با وزن ۰/۳۸۴ و ۰/۱۰۴ بیشترین و کمترین اهمیت را به خود اختصاص داده‌اند. در ریسک‌های قانونی (شکل ۲–ه) زیرمعیارهای افزایش هزینه و زمان به دلیل ابهامات قراردادی (R6-4) با وزن ۰/۳۶۳ و تأخیر / نقض شخص ثالث (R6-3) با وزن ۰/۰۳۴ به ترتیب از بیشترین و کمترین تاثیر برخوردار بوده‌اند. در نهایت در بین معیار سایر ریسک‌ها (شکل ۲–ی) نیز ریسک‌های سازمانی و هماهنگی (R7-2) با وزن ۰/۲۲۳ و تأثیرات فرهنگی و اجتماعی (R3-7) با وزن ۰/۰۴۹ به ترتیب از بیشترین و کمترین میزان اثرگذاری بر پروژه‌های PPP برخوردار می‌باشند. بر اساس نتایج بدست آمده، در صورت برخورد با هر یک از ریسک‌های سطح اول در پروژه‌های حمل و نقلی مبتنی بر PPP، می‌توان اولویت ریسک‌های سطح دوم را مطابق اولویت‌های تعیین شده، مورد ارزیابی قرار داد.



شکل ۲- وزن نسبی زیرمعیارهای مرتبط با معیار (الف) ریسک‌های دولتی، (ب) ریسک‌های اقتصادی و تأمین مالی، (ج) ریسک‌های ساخت، (د) ریسک‌های عملیاتی، (ل) ریسک‌های سیاسی، (ه) ریسک‌های قانونی، (ی) سایر ریسک‌ها (منبع: محاسبات نویسندگان، ۱۴۰۰)

رتبه بندی کلی زیرمعیارها:

پس از تعیین میزان اهمیت و رتبه‌بندی اولیه مهمترین معیارها و زیرمعیارهای ریسک موثر بر پروژه‌های حمل و نقلی مبتنی بر رویکرد PPP به صورت مجزا، در این بخش، نتایج حاصل از رتبه‌بندی کلی زیرمعیارها با روش FAHP تعیین شده است. این رتبه‌بندی با ضرب وزن نسبی معیارها در وزن نسبی زیرمعیارها تعیین می‌گردد و نتایج حاصل از آن برای انتخاب تعداد مشخصی از ریسک‌ها با درجه اهمیت بیشتر جهت مراحل بعدی قابل استفاده است. نتایج مربوط به وزن مطلق و رتبه نهایی زیرمعیارها به ترتیب در جدول ۳ ارائه شده است. به عنوان یک نتیجه کلی حاصل از رتبه‌بندی‌ها مشاهده می‌شود که به ترتیب ریسک‌های هزینه تامین مالی بالا (R2-7) با وزن نهایی ۰/۰۶۸، کیفیت عملکرد و استانداردها (R4-2) با وزن نهایی ۰/۰۶۵۵، عدم وجود زیرساختهای پشتیبانی (R4-4) با وزن نهایی ۰/۰۶۵۱، ریسک تکمیل ساخت (R3-7) با وزن نهایی ۰/۰۶۳و افزایش هزینه و زمان به دلیل ابهامات قراردادی (R6-4) با وزن نهایی ۰/۰۵۵ به عنوان پنج ریسک با بیشترین اثرگذاری بر پروژه‌های حمل و نقلی مبتنی بر PPP شناسایی شده‌اند. از سوی دیگر، به ترتیب ریسک‌های تأخیر / نقص شخص ثالث (R6-3) با وزن نهایی ۰/۰۰۵، مخالفت سیاسی/ عمومی (R5-2) با وزن نهایی ۰/۰۰۸۷، تغییر و تخمین نامناسب تقاضای بازار (R2-13) با وزن نهایی ۰/۰۱، مداخله دولت (R1-2) با وزن نهایی ۰/۰۱۰۱، تاثیرات فرهنگی و اجتماعی (R7-3) با وزن نهایی ۰/۰۱۰۸ به عنوان پنج ریسک با کمترین اثرگذاری بر پروژه‌های حمل و نقلی مبتنی بر PPP شناسایی شده‌اند.

جدول ۳. نتایج رتبه بندی نهایی زیرمعیارها برحسب وزن نهایی

رتبه نهایی	وزن مطلق	زیرمعیار	وزن نسبی زیرمعیار	معیار	وزن نسبی معیار		رتبه نهایی	وزن مطلق	وزن نسبی زیرمعیار	زیرمعیار	معیار	وزن نسبی معیار
۱۵	۰/۰۲۷۴۰۵	R4-1	۰/۱۳۵	R4	۰/۲		۲۹	۰/۰۱۰۱۹	۰/۲۰۸	R1-2	R1	۰/۰۴۹
2	0/065569	R4-2	۰/۳۲۳				۲۵	۰/۰۱۲۵۹	۰/۲۵۷	R1-3		
۱۰	۰/۰۴۵۰۶۶	R4-3	۰/۲۲۲				۲۴	۰/۰۱۵۲۴	۰/۳۱۱	R1-4		
۳	۰/۰۶۵۱۶۳	R4-4	۰/۳۲۱				۲۶	۰/۰۱۰۹۸	۰/۲۲۴	R1-5		
۱۳	۰/۰۳۲۲۵۶	R5-1	۰/۳۸۴	R5	۰/۰۸		۱۲	۰/۰۳۵۴۶	۰/۱۵۹	R2-2	R2	۰/۲۲۳
۳۱	۰/۰۰۸۷۳۶	R5-2	۰/۱۰۴				۸	۰/۰۴۹۲۸	۰/۲۲۱	R2-6		
۱۸	۰/۰۲۴۸۴۶	R5-3	۰/۲۹۶				۱	۰/۰۶۸۹۱	۰/۳۰۹	R2-7		
۲۲	۰/۰۱۸۰۶	R5-4	۰/۲۱۵				۲۱	۰/۰۱۹۶۲	۰/۰۸۸	R2-8		
۲۳	۰/۰۱۶۵۶۸	R6-2	۰/۱۰۹	R6	۰/۱۵		۱۱	۰/۰۳۹۹۲	۰/۱۷۹	R2-10		

رتبه نهایی	وزن مطلق	وزن نسبی زیرمعیار	زیرمعیار	وزن نسبی معیار	معیار		رتبه نهایی	وزن مطلق	وزن نسبی زیرمعیار	زیرمعیار	وزن نسبی معیار	معیار
۳۲	۰/۰۰۵۱۶۸	۰/۰۳۴	R6-3				۳۰	0/01004	۰/۰۴۵	R2-13		
۵	۰/۰۵۵۱۷۶	۰/۳۶۳	R6-4				۱۹	۰/۰۲۴۸۲	۰/۱۱۶	R3-2		
۷	۰/۰۴۹۸۵۶	۰/۳۲۸	R6-6				۱۶	۰/۰۲۵۲۵	۰/۱۱۸	R3-3		
۱۷	۰/۰۲۵۲۳۳	۰/۱۶۶	R6-7				۹	۰/۰۴۶۸۷	۰/۲۱۹	R3-4	۰/۲۱۴	R3
۲۰	۰/۰۲۲۵۷۵	۰/۳۰۱	R7-1	۰/۰۸	R7		۶	۰/۰۵۳۲۹	۰/۲۴۹	R3-6		
۱۴	۰/۰۳۰۶۷۵	۰/۴۰۹	R7-2				۴	۰/۰۶۳۹۹	۰/۲۹۹	R3-7		
۲۸	۰/۰۱۰۸۷۵	۰/۱۴۵	R7-3									
۲۷	۰/۰۱۰۹۵	۰/۱۴۶	R7-5									

منبع: محاسبات نویسندگان، ۱۴۰۰

انتخاب ریسک‌های ارجح‌تر در آلترناتیوهای مختلف (پروژه‌های مورد مطالعه):

به منظور تکمیل الگوی ارائه شده برای تعیین تاثیرگذاری این ریسک‌ها در پروژه‌های واقعی، اقدام به اولویت‌بندی ریسک‌ها برای گزینه‌های مختلف مسئله تصمیم‌گیری شده است. به همین منظور ۲۰ ریسک با درجه اهمیت بیشتر (با وزن کلی بیش از ۰/۰۲ از روش FAHP) مد نظر قرار گرفت و از سوی دیگر سه نمونه از پروژه‌های حمل و نقلی کشور ایران مبتنی بر روش PPP شامل پروژه‌های A، B و C به‌عنوان آلترناتیوهای مسئله تصمیم‌گیری انتخاب شده‌اند. سپس با استفاده از روش FTopsis به اولویت‌بندی ریسک‌ها در هر یک از این پروژه‌ها پرداخته شده است. با توجه به اینکه هدف، تعیین میزان تاثیرگذاری و اولویت ریسک‌های ارجح‌تر و شناسایی شده در مرحله قبلی بر آلترناتیوها است، لذا در مرحله اول، اقدام به تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری فازی شد. بدین منظور از متخصصین برگزیده (به تعداد ۱۵ نفر در هر پروژه) درخواست شد که بر اساس اهمیت ریسک‌ها، وزن آنها را در مقایسه با یکدیگر ازطریق عبارت‌های زبانی تعیین نمایند. سپس این عبارات زبانی به اعداد فازی تبدیل شده و ماتریس ارزیابی تصمیم گیری فازی تعیین شد. لازم به ذکر است که وزن اولیه مورد نیاز برای هر یک از ریسک‌ها در این مرحله، از وزن‌های نهایی بدست آمده برای آنها با روش FAHP استخراج شده است. در ادامه با انجام محاسبات مربوطه، ابتدا ماتریس ارزیابی بی‌مقیاس فازی و سپس ماتریس ارزیابی وزین فازی با ضرب وزن‌های زیرمعیارها (محاسبه شده از روش FAHP) در اعداد فازی مربوطه برای هر یک از ریسک‌ها در سه پروژه مورد مطالعه تعیین شد. پس از تعیین ماتریس تصمیم‌گیری وزین فازی، لازم است در مورد ماهیت زیرمعیارها برای برآورد رتبه نهایی ریسک‌ها در هر یک از پروژه‌های مورد مطالعه قضاوت شود و میزان نزدیکی آنها از نظر شباهت به راه حل ایده آل تعیین گردد. بدین منظور ابتدا تمامی ریسک‌ها به عنوان پارامترهای مضر در نظر گرفته شده و راه حل‌های حل ایده‌آل (FPIS,A+) و ضد ایده‌آل (FNID,A-) فازی برای تمامی ریسک‌ها منطبق بر هر یک از پروژه‌ها تعیین شد.

در ادامه فاصله از حل فازی ایده‌آل (Si*) و ضد ایده‌آل (Si-) برای هر یک از ریسک‌ها بر حسب پروژه‌های مورد مطالعه تعیین شد (مطابق جدول ۴). نتایج مربوط به آنالیز حساسیت داده‌ها درخصوص میزان فاصله‌داری ریسک‌ها از راه حل‌های ایده آل فازی مثبت و منفی نسبت به هر یک از پروژه‌های مورد مطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، می‌توان حساسیت ریسک‌های مختلف را نسبت به هر یک از پروژه‌ها از نظر میزان مشابهت به حل ایده آل و غیرایده آل فازی مشاهده نمود.

جدول ۴. مقادیر فاصله گزینه‌های مختلف تصمیم گیری از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل فازی برحسب زیرمعیارها

معیار	زیرمعیار	Risks	Ratings of Alternatives(Projects)			Ratings of Alternatives(Projects)		
			A	B	C	A	B	C
R2	R2-2	C1	۰/۰۱۹۷	۰/۰۲۴	۰/۰۲۲۹	۰/۰۱۷۷	۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۹۳
	R2-6	C2	۰/۰۲۹۶	۰/۰۳۶۳	۰/۰۳۴۴	۰/۰۲۴۵	۰/۰۰۸	۰/۰۱۰۳
	R2-7	C3	۰/۰۳۸۷	۰/۰۲۶۹	۰/۰۳۴۷	۰/۰۱۲۴	۰/۰۲۹۹	۰/۰۱۷۴
	R2-10	C4	۰/۰۱۵۲	۰/۰۱۸۲	۰/۰۱۵۷	۰/۰۱۴۹	۰/۰۱۰۳	۰/۰۱۴۹
R3	R3-2	C5	۰/۰۱۲۲	۰/۰۱۵	۰/۰۱۶۷	۰/۰۱۲۱	۰/۰۰۶۹	۰/۰۰۴۴

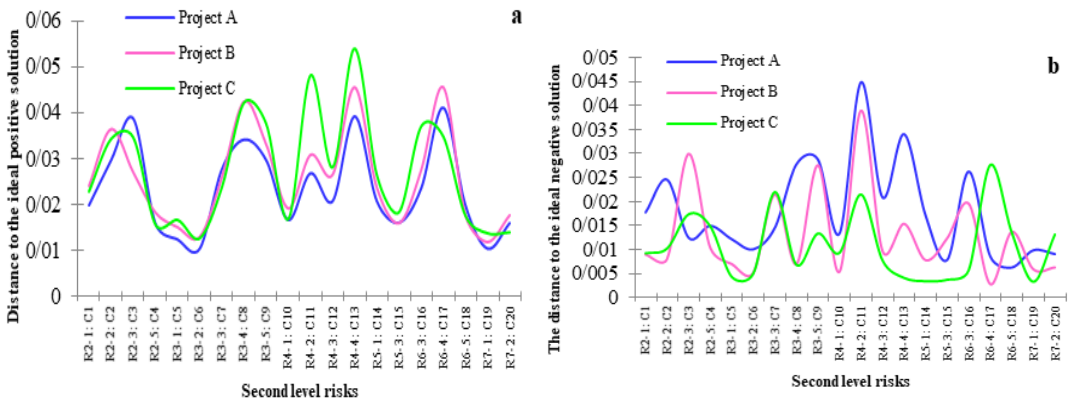
معیار	زیرمعیار	Risks	Ratings of Alternatives(Projects)			Ratings of Alternatives(Projects)		
			A	B	C	A	B	C
	R3-3	C6	۰/۰۱۰۲	۰/۰۱۲۹	۰/۰۱۲۷	۰/۰۱	۰/۰۰۵۱	۰/۰۰۵۱
	R3-4	C7	۰/۰۲۷۶	۰/۰۲۵۸	۰/۰۲۳۸	۰/۰۱۴۵	۰/۰۲۱۴	۰/۰۲۲
	R3-6	C8	۰/۰۳۴۱	۰/۰۴۲۳	۰/۰۴۲۳	۰/۰۲۷۷	۰/۰۰۶۹	۰/۰۰۶۹
	R3-7	C9	۰/۰۲۹۶	۰/۰۳۳	۰/۰۳۷۷	۰/۰۲۸۷	۰/۰۲۷۵	۰/۰۱۳۴
R4	R4-1	C10	۰/۰۱۶۵	۰/۰۱۹۱	۰/۰۱۶۹	۰/۰۱۳۳	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۹۴
	R4-2	C11	۰/۰۲۶۷	۰/۰۳۰۷	۰/۰۴۸۲	۰/۰۴۴۸	۰/۰۳۸۹	۰/۰۲۱۵
	R4-3	C12	۰/۰۲۰۶	۰/۰۲۶۴	۰/۰۲۸۲	۰/۰۲۴۸	۰/۰۰۹۶	۰/۰۰۷۸
	R4-4	C13	۰/۰۳۹۲	۰/۰۴۵۴	۰/۰۵۴۱	۰/۰۳۰۴	۰/۰۱۵۳	۰/۰۰۴۲
R5	R5-1	C14	۰/۰۲۰۶	۰/۰۲۳۶	۰/۰۲۶۵	۰/۰۱۷	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۳۵
	R5-3	C15	۰/۰۱۵۹	۰/۰۱۵۹	۰/۰۱۸۴	۰/۰۰۸۷	۰/۰۱۲۳	۰/۰۰۳۸
R6	R6-4	C16	۰/۰۲۳۴	۰/۰۲۷۴	۰/۰۳۷۱	۰/۰۲۶۲	۰/۰۱۹۵	۰/۰۰۵۸
	R6-6	C17	۰/۰۴۱۱	۰/۰۴۵۴	۰/۰۳۴۹	۰/۰۰۸۵	۰/۰۰۲۷	۰/۰۲۷۶
	R6-7	C18	۰/۰۱۹۷	۰/۰۱۷۶	۰/۰۱۷۶	۰/۰۰۶۲	۰/۰۱۳۶	۰/۰۱۳۶
R7	R7-1	C19	۰/۰۱۰۲	۰/۰۱۱۸	۰/۰۱۳۸	۰/۰۰۹۸	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۳۴
	R7-2	C20	۰/۰۱۵۸	۰/۰۱۷۶	۰/۰۱۴	۰/۰۰۹	۰/۰۰۶۲	۰/۰۱۳۲

منبع: محاسبات نویسندگان، ۱۴۰۰

در نهایت مقادیر شاخص شباهت (CCi) یا به عبارتی تاثیرپذیری گزینه‌های مختلف تصمیم‌گیری از ریسک‌ها محاسبه شده و رتبه‌بندی پروژه‌ها انجام شد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که مطابق با نظرات کارشناسان پروژه‌های مورد مطالعه، به ترتیب پروژه‌های A، B و C با امتیازهای ۰/۴۳۳، ۰/۳۳۶۹ و ۰/۲۸۳ از اولویت بیشتری برخوردار بوده و تاثیرپذیری بیشتری را از ریسک‌ها داشته‌اند.

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها

در این پژوهش، با نوآوری نسبت به مطالعات قبلی در زمینه ارائه یک الگوی نظام‌مند جهت شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک در پروژه‌های زیربنایی PPP در قالب ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی شده است. لازم به ذکر است که در راستای توسعه این الگو، از روش‌های آماری و استنباطی همچون روش‌های چندمعیاره، تحلیل کیفی و کمی و تعیین میزان اهمیت ریسک‌های شناسایی شده و اولویت‌بندی آنها بهره گرفته شد.



شکل ۳- نتایج تحلیل حساسیت و عملکرد گزینه ها برحسب فاصله از ایده آل مثبت و منفی (منبع: محاسبات نویسندگان، ۱۴۰۰)

نتایج مربوط به تحلیل کیفی ریسک‌ها نشان داد که در مجموع ۳۲ ریسک در محدوده بحرانی، ۱۵ ریسک در محدوده احتیاطی و ۳ ریسک در محدوده قابل پذیرش شناسایی شده‌اند.

نتایج حاصل از تحلیل کمی ریسک‌ها با روش FAHP نشان داد که ریسک‌های سطح اول شامل ریسک‌های اقتصادی و تأمین مالی، ساخت، عملیاتی، قانونی، سیاسی، سایر و در نهایت ریسک‌های دولتی رتبه‌های اول تا هفتم تاثیرگذاری بر پروژه‌های حمل و نقلی مبتنی بر

PPP را به خود اختصاص داده‌اند. بر اساس نتایج بدست آمده، در صورت برخورد با هر یک از ریسک‌های سطح اول در پروژه‌های حمل و نقلی مبتنی بر PPP، می‌توان اولویت ریسک‌های سطح دوم را مطابق اولویت‌های تعیین شده، مورد ارزیابی قرار داد. همچنین به عنوان یک نتیجه کلی حاصل از رتبه‌بندی کلی زیرمعیارها مشخص شد که به ترتیب ریسک‌های هزینه تامین مالی بالا، کیفیت عملکرد و استانداردها، عدم وجود زیرساختهای پشتیبانی، ریسک تکمیل ساخت و افزایش هزینه و زمان به دلیل ابهامات قراردادی به عنوان پنج ریسک با بیشترین اثرگذاری بر پروژه‌های حمل و نقلی مبتنی بر PPP شناسایی شده‌اند. همچنین نتایج حاصل از تاثیرپذیری پروژه‌های مورد مطالعه از ریسک‌ها محاسبه شده و رتبه‌بندی پروژه‌ها نشان داد که به ترتیب پروژه‌های A، B و C از اولویت بیشتری برخوردار بوده و تاثیرپذیری بیشتری را از ریسک‌ها داشته‌اند.

References

1. Agyemang, P. (2011). Effectiveness of Public Private Partnership in infrastructure projects (Issue ProQuest LLC, UMI Number: 1493621). The University of Texas at Arlington.
2. Akbari Ahmadabadi, A., & Heravi, G. (2019). Risk assessment framework of PPP-megaprojects focusing on risk interaction and project success. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 124, 169–188. https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.03.011
3. Bing, L., Akintoye, A., Edwards, P. J., & Hardcastle, C. (2005). The allocation of risk in PPP/PFI construction projects in the UK. International Journal of Project Management, 23(1), 25–35. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2004.04.006
4. Chan, A. P. C., Lam, P. T. I., Chan, D. W. M., & Cheung, E. (2008). Application of public private partnership (PPP) in Hong Kong special administrative region-the critics' perspectives.
5. Chan, A. P. C., Yeung, J. F. Y., Yu, C. C. P., Wang, S. Q., & Ke, Y. (2011). Empirical study of risk assessment and allocation of public-private partnership projects in China. Journal of Management in Engineering, 27(3), 136–148. https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000049
6. Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, 95(3), 649–655. https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2
7. Cheung, E. (2009). Developing a best practice framework for implementing PPP in Hong Kong. In School of Urban Development, Faculty og Built Environment and Engineering: Vol. Doctor of. Queensland University of Technology.
8. Cui, C., Liu, Y., Hope, A., & Wang, J. (2018). Review of studies on the public–private partnerships (PPP) for infrastructure projects. International Journal of Project Management, 36(5), 773–794. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2018.03.004
9. Danaeifard, H., Alvani, S. M., & Azar, A. (2004). Quantitative research methodology in management: a comprehensive approach. In First Printing, Publishing Saffar, Tehran. [In Persian]
10. Darbra, R. M., Eljarrat, E., & Barceló, D. (2008). How to measure uncertainties in environmental risk assessment. TrAC - Trends in Analytical Chemistry, 27(4), 377–385. https://doi.org/10.1016/j.trac.2008.02.005
11. Du, L., & Gao, J. (2021). Risk and Income Evaluation Decision Model of PPP Project Based on Fuzzy Borda Method. Mathematical Problems in Engineering, 2021.
12. Duarte, O. G., Delgado, M., & Requena, I. (2003). Algorithms to extend crisp functions and their inverse functions to fuzzy numbers. International Journal of Intelligent Systems, 18(8), 855–876. https://doi.org/10.1002/int.10121
13. Dymova, L., Sevastjanov, P., & Tikhonenko, A. (2013). An approach to generalization of fuzzy TOPSIS method. Information Sciences, 238, 149–162. https://doi.org/10.1016/j.ins.2013.02.049
14. Estache, A., Juan, E., & Trujillo, L. (2011). Public-private partnerships in transport. In A Handbook of Transport Economics (pp. 708–725). Edward Elgar Publishing. https://doi.org/10.4337/9780857930873.00040
15. Eybpoosh, M., Dikmen, I., & Birgonul, M. T. (2011). Identification of risk paths in international construction projects using structural equation modeling. Journal of Construction Engineering and Management, 137(12), 1164–1175. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000382
16. Gao, L. (2017). Risk Management of Sponge City PPP Project in China. Yunnan University of Finance and Economics.

17. Global Infrastructure hub. (2019). PPP Risk Allocation Tool 2019 Edition- Social Infrastructure In collaboration with Allen & Overy.

18. Hardcastle, C., Edwards, P. J., Akintoye, A., & Li, B. (2005). Critical success factors for PPP/PFI projects in the UK construction industry: a factor analysis approach. Construction Management and Economics, 23(5), 459–471.

19. Hwang, B. G., Zhao, X., & Gay, M. J. S. (2013). Public private partnership projects in Singapore: Factors, critical risks and preferred risk allocation from the perspective of contractors. International Journal of Project Management, 31(3), 424–433. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.08.003

20. Ke, Y., Wang, S. Q., & Chan, A. P. C. (2010). Risk allocation in public-private partnership infrastructure projects: Comparative study. Journal of Infrastructure Systems, 16(4), 343–351. https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000030

21. Ke, Y., Wang, S. Q., Chan, A. P. C., & Lam, P. T. I. (2010). Preferred risk allocation in China's public-private partnership (PPP) projects. International Journal of Project Management, 28(5), 482–492. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2009.08.007

22. Keers, B. B. M., & van Fenema, P. C. (2018). Managing risks in public-private partnership formation projects. International Journal of Project Management, 36(6), 861–875.

23. Kubler, S., Robert, J., Derigent, W., Voisin, A., & Le Traon, Y. (2016). A state-of the-art survey & testbed of fuzzy AHP (FAHP) applications. Expert Systems with Applications, 65, 398–422. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.08.064

24. Kumar, L., Jindal, A., & Velaga, N. R. (2018). Financial risk assessment and modelling of PPP based Indian highway infrastructure projects. Transport Policy, 62, 2–11. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.03.010

25. Kumaraswamy, M. M., & Zhang, X. Q. (2001). Governmental role in BOT-led infrastructure development. International Journal of Project Management, 19(4), 195–205. https://doi.org/10.1016/S0263-7863(99)00069-1

26. Lam, K. C., Wang, D., Lee, P. T. K., & Tsang, Y. T. (2007). Modelling risk allocation decision in construction contracts. International Journal of Project Management, 25(5), 485–493. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.11.005

27. Lang, Q., Xu, D., & Li, L. (2017). Study on risk sharing mechanism of Sponge City PPP project. Management and Administration, 11, 141–144.

28. Liu, J., Zhao, X., & Yan, P. (2016). Risk paths in international construction projects: Case study from Chinese contractors. Journal of Construction Engineering and Management, 142(6), 05016002 %@ 0733-9364. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001116

29. Liu, T., Wang, Y., & Wilkinson, S. (2016). Identifying critical factors affecting the effectiveness and efficiency of tendering processes in Public–Private Partnerships (PPPs): A comparative analysis of Australia and China. International Journal of Project Management, 34(4), 701–716.

30. Liu, X. (2017). Risk research on PPP mode of infrastructure construction – the case study of urban sewage treatment plant. International Journal of Finance & Economics, 10, 126–128.

31. Marques, R. C., & Berg, S. (2011). Risks, contracts, and private-sector participation in infrastructure. Journal of Construction Engineering and Management, 137(11), 925–9364.

32. Maslyukivska, O., & Sohail, M. (2007). European infrastructure procurement through PPP. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Management, Procurement and Law, 160(4), 159–167. https://doi.org/10.1680/mpal.2007.160.4.159.

33. Medda, F. (2007). A game theory approach for the allocation of risks in transport public private partnerships. International Journal of Project Management, 25(3), 213–218. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.06.003

34. Mo'meni, M., & Qayyumi, A. (2007). Statistical Data Analysis Using SPSS. Ketab-e-Naw Publications. [In Persian]

35. Molaei Hashjin, N., & Forutan Pishebijary, Z. (2021). On the Evaluation of Projects Management of Rural Guide Plans' Implementation by PMBOK Method in the West of Guilan Province. Journal of Regional Planning, 11(41), 37-52 [In Persian]

36. Naqibzadeh, A. R., Shams al-Dini, A., & Soltani, A. (2020). Assessing Barriers to Private Sector Participation in Urban Development and Case Study: Shiraz. Journal of Sustainable City, 2(4), 115-128 [In Persian]. https://doi.org/10.22034/jsc.2020.210973.1162

37. Ng, A., & Loosemore, M. (2007). Risk allocation in the private provision of public infrastructure. International Journal of Project Management, 25(1), 66–76. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.06.005

38. Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2009). Research methods for business students. Pearson education.

39. Shen, L. Y., Platten, A., & Deng, X. P. (2006). Role of public private partnerships to manage risks in public sector projects in Hong Kong. International Journal of Project Management, 24(7), 587–594. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.07.006

40. Shrestha, A., Chan, T. K., Aibinu, A. A., & Chen, C. (2017). Efficient risk transfer in PPP wastewater treatment projects. Utilities Policy, 48, 132–140. https://doi.org/10.1016/j.jup.2017.03.003

41. Sokaran, A., Saebi, M., & Shirazi, M. (2007). Research Methods in Management (5ed (ed.)). Higher Institute of Management Education and Research and Planning.

42. Thomas, A. V., Kalidindi, S. N., & Ganesh, L. S. (2006). Modelling and assessment of critical risks in BOT road projects. Construction Management and Economics, 24(4), 407–424. https://doi.org/10.1080/01446190500435275

43. Valipour, A., Yahaya, N., Md Noor, N., Kildienė, S., Sarvari, H., & Mardani, A. (2015). A fuzzy analytic network process method for risk prioritization in freeway PPP projects: an Iranian case study. Journal of Civil Engineering and Management, 21(7), 933–947. [In Persian]

44. Wang, S. Q., Tiong, R. L. K., Ting, S. K., & Ashley, D. (2000). Evaluation and management of foreign exchange and revenue risks in China's BOT projects. Construction Management and Economics, 18(2), 197–207. https://doi.org/10.1080/014461900370825

45. Wu, Y., Zhang, T., Chen, K., & Yi, L. (2020). A risk assessment framework of seawater pumped hydro storage project in China under three typical public-private partnership management modes. Journal of Energy Storage, 32, 101753.

46. Xu, Y., Sun, C., Skibniewski, M. J., Chan, A. P. C., Yeung, J. F. Y., & Cheng, H. (2012). System Dynamics (SD)-based concession pricing model for PPP highway projects. International Journal of Project Management, 30(2), 240–251.

47. Xu, Y., Yeung, J. F. Y., Chan, A. P. C., Chan, D. W. M., Wang, S. Q., & Ke, Y. (2010). Developing a risk assessment model for PPP projects in China-A fuzzy synthetic evaluation approach. Automation in Construction, 19(7), 929–943. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.06.006

48. Yehoue, M. E. B., Hammami, M., & Ruhashyankiko, J.-F. (2006). Determinants of public-private partnerships in infrastructure (Issues 6–99). International Monetary Fund.

49. Zhang, L., Sun, X., & Xue, H. (2019). Identifying critical risks in Sponge City PPP projects using DEMATEL method: A case study of China. Journal of Cleaner Production, 226, 949–958. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.067

50. Zhang, S., Li, J., Li, Y., & Zhang, X. (2021). Revenue Risk Allocation Mechanism in Public-Private Partnership Projects: Swing Option Approach. Journal of Construction Engineering and Management, 147(1), 4020153.

51. Zhang, X. (2005). Critical success factors for public-private partnerships in infrastructure development. Journal of Construction Engineering and Management, 131(1), 3–14. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:1(3)