

Risk Management and Allocation Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process in Public-Private Partnership Highway Projects

Ebrahim Jokar, *Assistant Professor*

Department of Civil Engineering, Dariun Branch, Islamic Azad University, Dariun, Iran

Ebrahim.jokar@iau.ac.ir

Received: 09 April 2025

Revised: 20 June 2025

Accepted: 22 June 2025

Abstract:

The implementation of infrastructure projects is one of the most important and vital factors in the economic growth and development of countries. One of the most important aspects of the construction and development of such projects is their financing, which plays the most important role in achieving predetermined goals. Risk management in public-private partnership (PPP) transportation projects is of particular importance, because inappropriate allocation of risks can lead to increased costs and reduced project efficiency. In this study, a comprehensive model for assessing risk between different pillars of PPP projects has been developed. For this purpose, the FAHP fuzzy multi-criteria decision-making technique has been used to identify and assess critical risks. The results of quantitative risk analysis using the FAHP method in terms of the relative weight of each criterion and their initial rank showed that the first-level risks, including economic and financing risks (R2), construction (R3), operational (R4), legal (R6), political (R5), other risks (R7), and finally government risks (R1), have the first to seventh ranks in terms of impact on PPP-based transportation projects. Accordingly, economic and financing risks, construction risks, and operational risks have the greatest impact on PPP freeway projects in Iran. Also, the analysis of the relationships between risks showed that some risks, such as high financing costs and performance quality, play a fundamental role as key risks in resource allocation and management decisions. The findings of this study can be used as a strategic tool for decision-makers to improve risk management of PPP projects.

Keywords: Public-Private Partnership (PPP), Risk Management, Highway Projects, Case Studies.

Corresponding Author: Dr. Ebrahim Jokar

Corresponding Author Address: Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Dariun Branch, Dariun, Iran

مدیریت و تخصیص ریسک با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی در پروژه‌های آزادراهی مبتنی بر مشارکت عمومی-خصوصی

ابراهیم جوکار، استادیار

دانشکده مهندسی عمران، واحد داریون، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
ebrahim.jokar@iau.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱

تاریخ بازنگری مقاله: ۱۴۰۴/۰۳/۳۰

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۴/۰۱/۲۰

چکیده: اجرای پروژه‌های زیرساختی از جمله عوامل مهم و حیاتی در رشد و توسعه اقتصادی کشورها به شمار می‌رود. یکی از مهمترین جنبه‌های ساخت و توسعه چنین پروژه‌هایی، تامین مالی آنهاست که مهمترین نقش را در دستیابی به اهداف از پیش تعیین شده ایفا می‌کند. مدیریت ریسک در پروژه‌های حمل و نقلی مبتنی بر مشارکت عمومی-خصوصی (PPP) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا تخصیص نامناسب ریسک‌ها می‌تواند منجر به افزایش هزینه‌ها و کاهش کارایی پروژه شود. در این پژوهش، یک مدل جامع برای ارزیابی ریسک بین ارکان مختلف پروژه‌های PPP توسعه داده شده است. برای این منظور، از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی FAHP برای شناسایی و ارزیابی ریسک‌های بحرانی استفاده شده است. نتایج حاصل از تحلیل کمی ریسک‌ها با روش FAHP برحسب وزن نسبی هر معیار و رتبه اولیه آنها نشان داد که ریسک‌های سطح اول شامل ریسک‌های اقتصادی و تأمین مالی (R2)، ساخت (R3)، عملیاتی (R4)، قانونی (R6)، سیاسی (R5)، سایر ریسک‌ها (R7) و درنهایت ریسک‌های دولتی (R1) رتبه‌های اول تا هفتم تاثیرگذاری بر پروژه‌های حمل و نقلی مبتنی بر PPP را به خود اختصاص داده‌اند. بر این اساس، ریسک‌های اقتصادی و تأمین مالی، ریسک‌های ساخت، و ریسک‌های عملیاتی بیشترین تأثیر را بر پروژه‌های آزادراهی PPP در ایران دارند. همچنین، تحلیل ارتباطات بین ریسک‌ها نشان داد که برخی از ریسک‌ها، مانند هزینه تأمین مالی بالا و کیفیت عملکرد، به عنوان ریسک‌های کلیدی در تخصیص منابع و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی نقش اساسی ایفا می‌کنند. یافته‌های این پژوهش می‌تواند به‌عنوان یک ابزار راهبردی برای تصمیم‌گیرندگان در جهت بهبود مدیریت ریسک پروژه‌های PPP مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: مشارکت عمومی-خصوصی (PPP)، مدیریت ریسک، پروژه‌های آزادراهی، تخصیص ریسک.

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر ابراهیم جوکار

نشانی نویسنده‌ی مسئول: داریون - دانشگاه آزاد اسلامی واحد داریون - دانشکده مهندسی عمران

۱- مقدمه

پروژه‌های زیرساختی، به‌ویژه پروژه‌های آزادراهی، یکی از مؤلفه‌های اصلی رشد اقتصادی و توسعه پایدار در هر کشوری محسوب می‌شوند. این پروژه‌ها علاوه بر نقش کلیدی در بهبود حمل‌ونقل و کاهش هزینه‌های لجستیکی، تأثیرات چشمگیری بر افزایش بهره‌وری اقتصادی و بهبود کیفیت زندگی شهروندان دارند [۱]. با این حال، تأمین مالی پروژه‌های آزادراهی به دلیل نیاز به سرمایه‌گذاری کلان و بازگشت بلندمدت سرمایه، همواره یکی از چالش‌های اصلی دولت‌ها بوده است [۲]. از این‌رو، به‌منظور کاهش فشار مالی بر بودجه‌های عمومی و افزایش کارایی، دولت‌ها به‌طور فزاینده‌ای به استفاده از مدل مشارکت عمومی-خصوصی (PPP) روی آورده‌اند [۳].

PPP به‌عنوان یک چارچوب قراردادی بلندمدت، بستر مناسبی برای اجرای پروژه‌های آزادراهی فراهم می‌کند که در آن، نهادهای دولتی و شرکت‌های خصوصی با تقسیم مسئولیت‌ها و ریسک‌ها، در تحقق اهداف توسعه زیرساختی سهیم می‌شوند [۴]. در این مدل، دولت به‌عنوان تنظیم‌کننده و ناظر عمل کرده و بخش خصوصی عهده‌دار طراحی، تأمین مالی، اجرا و بهره‌برداری از پروژه می‌شود [۵]. اگرچه این رویکرد، منافع متعددی از جمله بهینه‌سازی منابع مالی، تسریع در اجرای پروژه‌ها و بهبود کیفیت خدمات را به همراه دارد، اما هم‌زمان با چالش‌های متعددی به‌ویژه در زمینه مدیریت و تخصیص ریسک مواجه است [۶].

مدیریت ریسک در پروژه‌های آزادراهی PPP به دلیل پیچیدگی، ماهیت بلندمدت و عدم قطعیت‌های اقتصادی، حقوقی و عملیاتی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۷]. اصل اساسی مدیریت ریسک در این پروژه‌ها آن است که ابتدا تمامی ریسک‌های احتمالی شناسایی شده و سپس براساس تحلیل‌های جامع، تخصیص بهینه‌ای برای هر ریسک انجام شود [۸]. تخصیص ریسک باید به نحوی صورت گیرد که انگیزه طرفین برای مشارکت حفظ شود و هم‌زمان کارایی اقتصادی پروژه افزایش یابد [۹]. به‌عنوان مثال، ریسک‌های مرتبط با تغییرات قوانین و مقررات بهتر است بر عهده دولت باشد، درحالی‌که ریسک‌های طراحی و ساخت می‌توانند به بخش خصوصی واگذار شوند. با توجه به اهمیت مدیریت و تخصیص صحیح ریسک در موفقیت پروژه‌های آزادراهی PPP، پژوهش حاضر با رویکردی کاربردی به بررسی روش‌های بهینه مدیریت ریسک پرداخته و مدل‌هایی را برای تخصیص ریسک در این پروژه‌ها ارائه می‌دهد. هدف این پژوهش، توسعه راهکارهایی است که ضمن کاهش اثرات منفی ریسک، موجب افزایش بهره‌وری و بهبود عملکرد کلی پروژه‌های آزادراهی مبتنی بر مشارکت عمومی-خصوصی شوند.

۲- پیشینه پژوهش

پروژه‌های آزادراهی مبتنی بر مشارکت عمومی-خصوصی (PPP) به دلیل پیچیدگی‌ها، مدت زمان طولانی، و عدم قطعیت‌های بالا با ریسک‌های متعددی مواجه هستند. مدیریت و تخصیص صحیح این ریسک‌ها برای موفقیت پروژه‌ها ضروری است. در ادامه، مهم‌ترین مطالعات مرتبط با این موضوع ارائه می‌شود.

مطالعات نشان داده‌اند که ریسک‌های اقتصادی، تأمین مالی، ساخت، عملیاتی، قانونی، سیاسی و دولتی بیشترین تأثیر را در پروژه‌های PPP دارند. روش‌هایی مانند دلفی، FAHP و FTOPSIS برای شناسایی و تحلیل این ریسک‌ها استفاده شده‌اند. همچنین، نتایج نشان داده‌اند که هزینه‌های تأمین مالی بالا و کیفیت عملکرد بیشترین تأثیر را دارند [۱۰]. پروژه‌های آزادراهی که به روش BOT اجرا می‌شوند به دلیل حجم بالای منابع مالی و پیچیدگی‌های خاص خود نیازمند مدیریت دقیق ریسک هستند. این مطالعه با استفاده از روش‌های کیفی و تحلیل نظر خبرگان به شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌ها پرداخته و پاسخ مناسب برای هر ریسک ارائه داده است. همچنین، بر اهمیت پیاده‌سازی نظام مدیریت پروژه برای موفقیت این نوع قراردادهای تأکید شده است [۱۰].

تخصیص ریسک مناسب بین بخش عمومی و خصوصی یکی از عناصر اساسی قراردادهای PPP است. این پژوهش به بررسی فلسفه تخصیص ریسک پرداخته و مدل‌هایی مانند "مدل تفصل" را معرفی کرده است که جنبه‌های فنی، اقتصادی، محیطی، و حقوقی را پوشش می‌دهد. همچنین بر اهمیت شناسایی مداوم ریسک‌ها در طول دوره پروژه تأکید شده است [۱۱].

یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در قراردادهای PPP بحث تأمین مالی است که می‌تواند منجر به انتقال ریسک به پیمانکاران جزء شود. مطالعات نشان داده‌اند که سرمایه‌گذاران معمولاً ترجیح می‌دهند با شرکت‌هایی که قبلاً با آنها همکاری داشته‌اند وارد تعامل شوند که این موضوع ممکن است رقابت‌پذیری را کاهش دهد [۱۱]. این مطالعه به شناسایی مخاطرات پروژه‌های عمرانی پرداخته و با روش FMEA مخاطرات دارای RPN بالا را شناسایی کرده است. سپس با استفاده از AHP اولویت‌بندی اقدامات کنترلی بر اساس تبعات جسمی، روانی، اقتصادی، و اجتماعی انجام شده است [۱۲]. این پژوهش به بررسی مفهوم پروژه‌های PPP پرداخته و نقش مدیریت ریسک در کاهش عدم قطعیت‌ها و افزایش ارزش مالی پروژه‌ها را مورد توجه قرار داده است. همچنین بر اهمیت طبقه‌بندی دقیق ریسک‌ها برای موفقیت پروژه‌ها تأکید شده است [۱۳].

پژوهش‌ها نشان می‌دهند که مدیریت مؤثر ریسک نه تنها موجب کاهش اثرات منفی آن می‌شود بلکه بهره‌وری کلی پروژه‌های آزادراهی PPP را نیز افزایش می‌دهد. استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند FAHP، FMEA، AHP، و تکنیک‌های تخصیص مناسب ریسک میان طرفین قرارداد از جمله راهکارهای کلیدی برای موفقیت این پروژه‌ها محسوب می‌شوند.

۳- روش‌شناسی تحقیق

با توجه به پیچیدگی‌های مدیریت ریسک در پروژه‌های آزادراهی مبتنی بر مشارکت عمومی-خصوصی (PPP)، این پژوهش از یک رویکرد ترکیبی شامل روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی استفاده کرده است. هدف اصلی این پژوهش، ارائه یک مدل جامع برای شناسایی، ارزیابی و تخصیص بهینه ریسک‌ها بین ذینفعان پروژه‌های PPP است. به‌منظور دستیابی به این هدف، از روش‌های تحلیلی و تجربی در قالب مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی‌های میدانی بهره گرفته شده است. این پژوهش از نظر هدف در دسته تحقیقات بنیادی-کاربردی قرار می‌گیرد. در بخش نظری، به تحلیل مفاهیم و تئوری‌های مدیریت ریسک و مشارکت عمومی-خصوصی پرداخته شده است و در بخش عملی، راهکارهایی برای پیاده‌سازی مدیریت ریسک در پروژه‌های آزادراهی ارائه گردیده است. روش گردآوری داده‌ها شامل مرور سیستماتیک ادبیات تحقیق، تحلیل داده‌های تاریخی و نظرسنجی از خبرگان حوزه مدیریت پروژه و زیرساخت‌های حمل‌ونقل می‌باشد.

۳-۱ جامعه و نمونه آماری

جامعه آماری این پژوهش شامل پیمانکاران، مهندسین عمران، مشاوران، کارفرمایان و سایر ذینفعان فعال در پروژه‌های آزادراهی PPP در ایران است. با توجه به گستردگی جامعه آماری و محدودیت‌های دسترسی، از روش نمونه‌گیری تصادفی مبتنی بر فرمول کوکران استفاده شده است. بر این اساس، با فرض سطح اطمینان ۹۵٪ و خطای ۵٪، حجم نمونه مورد بررسی ۹۲ نفر تعیین شد.

معیارهای انتخاب نمونه آماری عبارتند از:

۱. حداقل دو سال تجربه کاری در حوزه مدیریت ریسک پروژه‌ها.
 ۲. تجربه در پروژه‌های زیربنایی مبتنی بر PPP.
 ۳. تحصیلات دانشگاهی مرتبط با حوزه پژوهش.
- پس از انتخاب نمونه، داده‌های جمعیت‌شناختی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند که نشان داد نمونه آماری از نظر جنسیت، سن، تحصیلات و سابقه کاری دارای توزیع متعادلی است.

جامعه آماری عبارت است از مجموعه‌ای از افراد یا واحدها که دارای حداقل یک صفت مشترک [۱۴] باشند. 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 به عنوان مطالعه موردی تحقیق، جامعه آماری مورد مطالعه عبارت است از کلیه پیمانکاران و مهندسین عمران، خبرگان، شرکتهای پیمانکاری، مشاور و کارفرما در زمینه ساخت و

ساز پروژه‌های زیربنایی PPP در کشور که به نحوی به عنوان ذینفعان پروژه شناخته می‌شوند. با توجه به اینکه جامعه آماری مورد مطالعه در تحقیق حاضر دارای تعداد افراد قابل توجهی بوده و لذا دسترسی به تمامی افراد جامعه به سهولت امکانپذیر نیست، 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 مهندسين، پیمانکاران و کارفرمایان و سایر دست‌اندرکاران در پروژه‌های ساخت و ساز 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 در رابطه ۱ آمده [۱۵] است [Error! :Bookmark not defined].

$$n = \frac{NZ_{\alpha/2}^2 pq}{d^2 (N-1) + Z_{\alpha/2}^2 pq} \quad (1)$$

به طوری که در رابطه فوق، n حجم نمونه آماری، N جمعیت جامعه آماری، $Z_{\alpha/2}^2$ مقدار توزیع نرمال، q نسبت عدم وجود صفت در جامعه آماری، p نسبت وجود صفت در جامعه آماری و d سطح خطا می‌باشد.

۳-۲ ابزار و روش‌های گردآوری داده‌ها

این پژوهش از دو منبع اصلی برای گردآوری داده‌ها استفاده کرده است:

۱. مطالعات کتابخانه‌ای: بررسی منابع علمی، مقالات، گزارش‌های فنی و اسناد مرتبط با ریسک در پروژه‌های PPP به‌منظور شناسایی اولیه ریسک‌ها و چارچوب‌های مدیریتی مؤثر.
۲. مطالعات میدانی: طراحی و اجرای نظرسنجی از طریق پرسش‌نامه‌های استاندارد و مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با متخصصان حوزه پروژه‌های آزادراهی PPP.

۳-۳ روش تحلیل داده‌ها

برای تحلیل داده‌ها از ترکیبی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی استفاده شده است:

تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP): این روش برای شناسایی و ارزیابی اهمیت نسبی ریسک‌های بحرانی در پروژه‌های PPP به‌کار گرفته شد.

نتایج این تحلیل‌ها به اعتبارسنجی مدل پیشنهادی کمک کرده و امکان بهینه‌سازی تخصیص ریسک در پروژه‌های آزادراهی مبتنی بر PPP را فراهم ساخته است. در نهایت، یافته‌های به‌دست‌آمده با بررسی نمونه‌های واقعی از پروژه‌های اجراشده در ایران مورد ارزیابی و تطبیق قرار گرفته‌اند.

۳-۴ فرآیند تصمیم‌گیری و تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP)

تصمیم‌گیری به عنوان یک فرایند، گروهی از اقدامات فعالانه است که با شناسایی محرک اقدامات آغاز گردیده و با التزام به یک راه حل معین به پایان [۱۶] می‌رسد. گرچه با نگاهی فراگیرتر، می‌توان سه بخش اصلی شامل (۱) انتخاب از بین چندین گزینه، (۲) به اجرا درآوردن تصمیم پذیرفته شده و (۳) به کارگیری اطلاعات پیامدهای نهایی آن جهت شکل دادن به تصمیمات وابسته در آینده را در فرایند تصمیم‌گیری شناسایی کرد. مرحله انتخاب، شامل انتخاب بهترین و کاراترین اقدامات از میان آنهایی است که مورد بررسی قرار گرفته [۱۷] است. مسئله تصمیم‌گیری این پژوهش، ارائه الگوی گزینش و اولویت‌بندی ریسک‌های ارجح تر در زمینه پروژه‌های زیربنایی مبتنی بر روش PPP و انتخاب یک گزینه از میان چندین گزینه موجود و بهبود فرآیند مدیریت ریسک می‌باشد. روشن است که این تصمیم‌گیری به علت ناپیوستگی جواب‌ها، در فضای گسسته انجام می‌گیرد و نیازمند به کارگیری یکی از روشهای تصمیم‌گیری چندشاخصه می‌باشد. بر این اساس روند تعیین شده در این تحقیق، تلفیقی از روشهای تصمیم‌گیری فازی است. یک مسئله تصمیم‌گیری چندشاخصه را با m معیار و n گزینه

فرض کنید. C_1 تا C_m را به عنوان معیارها و A_1 تا A_n را به عنوان گزینه‌ها در نظر بگیرید. حالت استاندارد روش تصمیم‌گیری چندشاخصه، منطبق بر ماتریس تصمیم‌گیری (رابطه ۲) است:

$$w_i \quad C_i \begin{bmatrix} A_1 & \dots & A_n \\ a_{11} & \dots & a_{n1} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

هر سطر متعلق به یک معیار و هر ستون، نشانگر عملکرد یک گزینه است. امتیاز a_{ij} عملکرد گزینه A_j ام در معیار C_i را نشان می‌دهد. جهت سادگی فرض می‌کنیم که مقدار بیشتر این عدد، عملکرد بهتر را نشان می‌دهد، چرا که هر مسئله کمینه‌سازی به سادگی قابل تبدیل به یک مسئله بیشینه‌سازی می‌باشد. وزن‌های w_i ، انعکاس اهمیت هر معیار در تصمیم‌گیری است و مثبت فرض می‌گردد. وزن معیارها معمولاً به روش ذهنی مشخص می‌شوند. این اعداد، نشانگر نگرش یک تصمیم‌گیرنده، یا گروهی از خبرگان مشارکت‌کننده در یک تصمیم‌گیری گروهی می‌باشند. چانگ (۱۹۹۶) روشی بسیار ساده را برای بسط فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به فضای فازی ارائه داد. این روش که مبتنی بر میانگین حسابی نظرات خبرگان و روش نرمال‌سازی ساعتی و با استفاده از اعداد مثلثی فازی توسعه داده شده بود، مورد استقبال محققین قرار [۱۸] [۱۹] گرفت.

در گام ابتدایی این روش، ساختار سلسله‌مراتب تصمیم با استفاده از سطوح هدف، معیار و گزینه ترسیم می‌گردد. سپس، برای تشکیل ماتریس مقایسات زوجی، از عبارتهای زبانی ارائه شده توسط Saati برحسب طیف ۵ گزینه‌ای استفاده می‌شود. بدین طریق از پاسخ دهندگان درخواست می‌شود تا میزان اهمیت هر یک از پارامترهای مورد بررسی در تحقیق را با عبارات کلامی ارائه شده در جدول ۱ تعیین نمایند.

جدول (۱): طیف فازی و عبارت کلامی متناظر ارائه شده توسط Saati در روش FAHP [۱۸].

Code	Linguistic Value	Fuzzy Numbers (li, mi, ui)
1	Equal preference	(1,1,1)
2	Low preference	(1,3,5)
3	Highly preferred	(3,5,7)
4	Highly preferred	(5,7,9)
5	Quite a big preference	(7,9,9)

سپس با استفاده از نظرات چندین نفر تصمیم‌گیرنده و خبره، ماتریس مقایسات با بهره‌گیری از اعداد فازی مثلثی $\beta_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ تشکیل می‌شود. لازم به ذکر است که ماتریس قضاوت فازی طبق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & \{\tilde{a}_{12}, \dots, \tilde{a}_{12}p_{12}\} & \dots & \{\tilde{a}_{1n}, \dots, \tilde{a}_{12}p_{12}\} \\ \{\tilde{a}_{21}, \dots, \tilde{a}_{21}p_{21}\} & (1,1,1) & \dots & \{\tilde{a}_{2n}, \dots, \tilde{a}_{2n}p_{2n}\} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \{\tilde{a}_{n1}, \dots, \tilde{a}_{n1}p_{n1}\} & \{\tilde{a}_{n2}, \dots, \tilde{a}_{n2}p_{n2}\} & \dots & (1,1,1) \end{bmatrix} \quad (3)$$

که در این ماتریس p_{ij} تعداد افراد نظر دهنده در مورد اولویت درایه i نسبت به j می‌باشد.

در گام سوم، میانگین حسابی نظرات تصمیم‌گیرندگان به صورت ماتریس زیر محاسبه می‌شود.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & (1,1,1) & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & (1,1,1) \end{bmatrix} \quad (4)$$

لازم به ذکر است که میانگین حسابی نظرات تصمیم‌گیرندگان مطابق رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\tilde{a}_{ij} = \sum_{k=1}^{p_{ij}} a_{ijk} / p_{ij} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

در گام چهارم، مجموع عناصر سطرها طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\tilde{s}_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

در گام پنجم مجموع سطرها مطابق رابطه زیر نرمالایز می‌شود.

$$\tilde{M}_i = \tilde{s}_i \otimes \left[\sum_{i=1}^n \tilde{s}_i \right]^{-1} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

در صورتی که $\tilde{s}_i$ را به صورت (m_i, l_i) و u_i نشان دهیم، رابطه فوق به ترتیب زیر محاسبه می‌شود.

$$\tilde{M}_i = \left(\frac{l_i}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{n_i}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

در گام ششم، درجه احتمال بزرگتر بودن هر μ_i نسبت به سایر μ_i ها محاسبه و به آن ماتریس $d'(A_i)$ گفته می‌شود. بر این اساس، درجه احتمال بزرگتر بودن عدد مثلثی فازی $\mu_2 = (l_2, m_2, u_2)$ نسبت به عدد مثلثی فازی $\mu_1 = (l_1, m_1, u_1)$ برابر است با:

$$V(M_2 > M_1) = Sub_{y \geq x} \left[\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y)) \right] \quad (9)$$

این رابطه را می‌توان مترادفاً به صورت زیر بیان کرد:

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_2 \cap M_1) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{if } l_2 \geq u_1 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - u_1)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

که d مختصات بالاترین نقطه در منطقه اشتراک و برخورد دو تابع عضویت μ_{M_1} و μ_{M_2} می‌باشد. برای مقایسه M_2 و M_1 محاسبه هر دو مقدار $V(M_2 \geq M_1)$ و $V(M_1 \geq M_2)$ ضروری است. درجه احتمال بزرگتر بودن یک عدد فازی محدب (M) از K عدد فازی محدب دیگر $(M_i; i = 1, 2, \dots, k)$ بصورت زیر تفکیک می‌شود.

$$d'(M) = V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1), (M \geq M_2), \dots, (M \geq M_k)] \quad (11)$$

$$= \min V(M \geq M_i) \quad i = 1, 2, \dots, k$$

در گام بعدی، با نرمال سازی کردن بردار وزن‌ها، وزن‌های نرمال سازی طبق رابطه زیر به دست می‌آیند.

$$W = \left[\frac{d'(A_1)}{\sum_{i=1}^n d'(A_i)}, \frac{d'(A_2)}{\sum_{i=1}^n d'(A_i)}, \dots, \frac{d'(A_n)}{\sum_{i=1}^n d'(A_i)} \right]^T \quad (12)$$

وزن‌های فوق، وزن قطعی (غیرفازی) هستند. با تکرار این فرایند، اوزان تمامی ماتریس‌ها به دست می‌آید.

در گام آخر نیز با ترکیب وزن‌های گزینه و معیارها، وزن‌های نهایی به دست می‌آید.

$$\tilde{U}_i = \sum_{i=1}^n \tilde{w}_i \tilde{r}_{ij} \quad \forall i \quad (13)$$

با توجه به اینکه هدف تحقیق موضوع حاضر، ارائه الگوی اولویت‌بندی و تخصیص ریسک بین ارکان مختلف در پروژه‌های زیربنایی به روش PPP است، لذا پس از شناسایی داده‌های اولیه (ریسک‌ها) از طریق مطالعات کتابخانه‌ای، برای تلخیص آنها،

اقدام به تهیه پایگاه داده ریسک 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 دسته بندی‌های مختلفی قرار گرفته است. در ادامه با تهیه پرسشنامه‌های کارشناسی شده مبتنی بر مقایسات زوجی و عبارات‌های زبانی، ریسک‌های شناسایی شده در بین متخصصان و کارشناسان مشغول به کار در حوزه پروژه‌های زیربنایی PPP در جامعه آماری به همه پرس‌گذاشته شده و ریسک‌های بحرانی‌تر اولویت بندی شده است. پس از تعیین ریسک‌های بحرانی، با استفاده از روشهای تلفیقی تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی، اقدام به ارائه الگویی جهت ارزیابی ریسک در پروژه‌های زیرساختی PPP با مطالعه موردی در پروژه‌های حمل و نقلی کشور ایران و تخصیص این ریسک‌ها بین ارکان الی پروژه‌های PPP شده است. در ادامه به بررسی نتایج این تحقیق پرداخته می‌شود.

۴- شناسایی ریسک‌ها و ایجاد ساختار پایگاه داده

متداول‌ترین تکنیک ارزیابی ریسک مبتنی بر یافته‌های حاصل از تحقیقات قبلی، شهود و قضاوت‌های شخصی و تجربه [۲۰] است. از اینرو، شناسایی عوامل ریسک به طور مؤثر می‌تواند درک انواع ریسک‌های موجود را تسهیل کند و همچنین راهنمایی برای مدیریت ریسک‌ها در مراحل مختلف اجرای پروژه فراهم [۲۱] آورد. در این گام ابتدا از طریق مروری بر مطالعات گذشته، مهمترین ریسک‌های بالقوه مؤثر بر پروژه‌های زیربنایی 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 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 براساس 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 دسته بندی و تفکیک نهایی ریسک‌ها در گروه‌های چندگانه شد. نهایتاً یک لیست متشکل از ریسک‌های مختلف تهیه گردید و براساس 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 در پروژه‌های زیربنایی حمل و نقلی کشور ایران تشکیل شده است. این بانک اطلاعاتی، مشخصاتی از فاکتورهای ریسک شناسایی شده در دو سطح را نشان می‌دهد. به طوری که شامل ۷ فاکتور ریسک در سطح اول شامل ریسک‌های دولتی (R1)، اقتصادی و تأمین مالی (R2)، ساخت (R3)، عملیاتی (R4)، سیاسی (R5)، قانونی (R6) و سایر ریسک‌ها (R7) می‌باشد. هر کدام این فاکتورها نیز برحسب زیرفاکتور ریسک شناسایی شده در سطح دوم ثبت و ضبط شده است. ساختار پایگاه داده تشکیل شده برای ریسک‌های شناسایی شده در جدول ۲ آمده است. لازم به ذکر است که به منظور سهولت در اجرای مراحل بعدی تحقیق، از یک نماد مشخص به صورت R_i-z برای نام‌گذاری ریسک‌ها بهره گرفته شده است. به طوری که طبق این نام‌گذاری، حرف R بیان‌کننده ریسک، i بیانگر فاکتورهای ریسک سطح اول و z نیز بیانگر فاکتورهای ریسک سطح دوم می‌باشند. همچنین نتایج مراحل بعدی تحقیق در ستون‌های بعدی این جدول ارائه شده است.

جدول (۲): ساختار پایگاه داده ریسک در پروژه‌های حمل و نقلی مبتنی بر PPP در کشور ایران

فاکتورهای ریسک سطح اول	زیرفاکتورهای ریسک سطح دوم
ریسک‌های دولتی (R1)	مداخله دولت (R1-1) فساد دولتی (R1-2) تأخیر در مصوبات و مجوزهای پروژه (R1-3) عدم تعهد به تخصیص امتیاز (R1-4) نوسان نرخ ارز (R2-1) ناتوانی کنسرسیوم سرمایه گذار (R2-2) هزینه تامین مالی بالا (R2-3) ریسک تورم (R2-4) تغییر و نوسان قیمت (پرداخت هزینه اضافی) (R2-5) تغییر و تخمین نامناسب تقاضای بازار (R2-6) عدم دسترسی به مصالح/ پرسنل (R3-1) برآورد نامناسب زمان ساخت و تأخیر زمانی (R3-2) طراحی نادرست و تکنیک‌های مهندسی تایید نشده (R3-3) تغییر مشخصات طرح (R3-4) ریسک تکمیل ساخت (R3-5) محافظت از اشیاء تاریخی و میراثی (R3-6) افزایش هزینه عملیاتی (R4-1) کیفیت عملکرد و استانداردها (R4-2) عملکرد و نگهداری نادرست (R4-3) عدم وجود زیرساخت‌های پشتیبانی (R4-4) سلب مالکیت و ملی سازی (R5-1) مخالفت سیاسی/ عمومی (R5-2) تغییر قوانین و مقررات (R5-3) وقایع سیاسی تأثیرگذار (R5-4) رقابت نامناسب برای مناقصه (R6-1) تأخیر / نقض شخص ثالث (R6-2) افزایش هزینه و زمان به دلیل ابهامات قراردادی (R6-3) عدم وجود چارچوب‌های قانونی / نظارتی (R6-4) شکست در تمدید مصوبات (R6-5) فورس ماژور (R7-1) ریسک‌های سازمانی و هماهنگی (R7-2) تأثیرات فرهنگی و اجتماعی (R7-3) شرایط پیش بینی نشده آب و هوایی/ ژئوتکنیکی (R7-4)
ریسک‌های اقتصادی و تأمین مالی (R2)	
ریسک‌های ساخت (R3)	
ریسک‌های عملیاتی (R4)	
ریسک‌های سیاسی (R5)	
ریسک‌های قانونی (R6)	
سایر ریسک‌ها (R7)	

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 چندمعیاره 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 که ذاتاً روشی تقریبی بوده و در حکم یک روش مفهومی برای محاسبه معنی‌داری اثر ریسک‌ها مدلسازی می‌شود، قادر است نتایج اهمیت اثر ریسک را با درجه‌ای از عدم قطعیت، به صورت دقیق‌تری تعیین نماید و با رویهم گذاری آنالیزهای فازی، می‌توان تاثیر ریسک‌ها را در پروژه‌های مختلف به‌صورت کامل‌تری برآورد [22] نمود. ماهیت منطق فازی بر این اساس است که نه تنها تفاوت نسبی اثرات را در برمی‌گیرد، بلکه همزمان ابهام موجود در برخی اثرات کمی و کیفی را در خود جای می‌دهد. در این منطق می‌توان تأثیر قضاوت انسان تحت شرایط نامعلوم را در نظر گرفت [Error! Bookmark not defined.]. از سوی دیگر، تفکیک میزان اهمیت ریسک‌های موجود در پروژه‌های زیرساختی مبتنی بر روش PPP به‌راحتی 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 روش تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی FAHP برای اولویت‌بندی ریسک‌ها بهره گرفته شده است. بدین منظور فاکتورها و زیرفاکتورهای بحرانی ریسک در سطوح اول و دوم، به عنوان معیارها و زیرمعیارهای الگوی تصمیم‌گیری در نظر گرفته شد. بر این اساس، هفت فاکتور اصلی ریسک در سطح اول به‌عنوان عوامل اصلی (معیارها) شناسایی شد. در سطح بعد، زیرفاکتورهای موجود در سطح دوم ریسک به عنوان عوامل فرعی (زیرمعیارها) 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 (که مشخصات آنها در جدول ۳ ارائه شده)، به عنوان آلترناتیوهای تصمیم‌گیری در ارزیابی مد نظر قرار گرفت. در مرحله بعد، از خروجی‌های قبلی جهت تخصیص ریسک‌های ارجح‌تر بین ارکان مختلف بهره گرفته شد. لازم به ذکر است که هدف از ارائه این الگو، در درجه اول اولویت‌بندی مهمترین فاکتورهای ریسک سطح اول و زیرفاکتورهای ریسک سطح دوم موثر بر پروژه‌های زیرساختی PPP است. هدف دوم، اولویت‌بندی ریسک‌های ارجح‌تر از منظر آلترناتیوهای مسئله (پروژه‌های موردی PPP) برای انتخاب ریسک‌های مشترک بوده است.

جدول (۳): پروژه‌های زیرساختی حمل و نقلی مبتنی بر PPP در کشور ایران

پروژه	شرح پروژه
A (آزادراه اصفهان- شیراز)	این پروژه به طول ۲۲۲ کیلومتر در هفت قطعه در چهار باند رفت و برگشت و با مشخصات آزادراهی با هدف کاهش مسیر حمل و نقل شیراز- اصفهان به طول ۱۳۴ کیلومتر و تقلیل حدود دو ساعت زمان سفر وسایل نقلیه جاده‌ای و همچنین تقلیل مصرف سوخت در حدود ۱۳۶ میلیون لیتر اجرا می‌شود. تخمین اولیه هزینه‌های اجرای این پروژه با رویکرد PPP به صورت ۵۰ درصد از واگذاری سهم هزینه‌ها به بخش خصوص توسط دولت، معادل ۲۷۰۰ میلیارد تومان بوده و از سال ۱۳۹۰ آغاز شده است. اگرچه در برآوردهای اولیه، زمان بهره‌برداری از این پروژه به مرداد ماه سال ۱۳۹۶ برمی‌گردد، اما تاکنون در حدود ۷۵ درصد پیشرفت فیزیکی داشته و بهره‌برداری از آن به سال ۱۴۰۰ موکول شده است.
B (آزادراه سلفچگان- اراک)	این پروژه به منظور توسعه یک محور شریانی به طول ۱۶۰ کیلومتر به عنوان یکی از شاهراه‌ها و کریدورهای ارتباطی کشور شناخته شده و ارتقاء این آزادراه به عنوان یک برنامه میان مدت مد نظر قرار گرفته است.
C (آزادراه خرم آباد- اراک)	این پروژه آزادراهی به طول ۱۳۴ کیلومتر به صورت شش خطه در چهار قطعه با هدف کاهش ۳۲ کیلومتری طول مسیر خرم‌آباد تا اراک، کاهش مصرف سوخت سالانه ۲۰۰

میلیارد تومان، بهبود کیفیت ترانزیت کالا و خدمات اجرا می‌شود. اعتبار قرارداد این پروژه بالغ بر ۱۲۰۰ میلیارد تومان به صورت PPP (۵۰ درصد هزینه توسط دولت و ۵۰ درصد توسط بخش خصوصی) برآورد شده و از اواخر سال ۱۳۹۲ آغاز شده و بیش از ۸۰ درصد پیشرفت فیزیکی داشته و هزینه اجرای این طرح تاکنون ۸۵۰ میلیارد تومان برآورد شده است. بهره‌برداری این پروژه به شهریور سال ۱۳۹۹ موکول شده و در حدود ۲ سال تاخیر در روند اجرای آن ایجاد گردیده است.

۴-۲ ارزیابی ریسک‌های بحرانی در پروژه‌های زیرساختی PPP با روش FAHP

مراحل تحلیل با روش FAHP در بخش قبل به تفصیل معرفی شد. در ادامه پس از گردآوری نظرات اولیه متخصصان، اقدام به تشکیل ماتریس مقایسات زوجی فاز 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. در ادامه به منظور تعیین اهمیت و اثرگذاری معیارهای اصلی (فاکتورهای ریسک سطح اول) بر پروژه‌های حمل و نقلی مبتنی بر PPP، براساس نتایج حاصل از نظرات و آراء اولیه خبرگان، به مقایسه زوجی هفت معیار اصلی پرداخته شده است. در جدول ۴ ماتریس میانگین مقایسات زوجی عوامل اصلی (معیارها) نسبت به هم آمده است. براساس مقادیر ماتریس مقایسات زوجی، نمرات درجه اولویت عوامل اصلی به صورت ماتریس نرمال سازی شده تعیین شد. لازم به ذکر است که در مرحله مقایسات زوجی، به منظور اندازه‌گیری سطح سازگاری مقایسات، مقادیر شاخص‌های نرخ ناسازگاری (CRm و CRg) نیز محاسبه شد که در سطر آخر جدول ۴ آمده است. 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. درنهایت وزن نسبی هر معیار و رتبه اولیه آنها مطابق جدول ۵ بدست آمد. لازم به ذکر است که در نمودار مذکور، محور سطری نشان دهنده عوامل اصلی (معیارها) و محور ستونی نیز نشان دهنده میزان وزن نسبی آنها می‌باشد. براساس 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 درنهایت 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 ۴. ماتریس میانگین مقایسات زوجی فاز معیارها (فاکتورهای سطح اول ریسک) موثر بر پروژه‌های حمل و نقلی

مبتنی بر PPP							
Criteria	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
R1	(1.0,1.0,1.0)	(0.16,0.23,0.33)	(0.2,0.27,0.5)	(0.2,0.27,0.5)	(0.33,0.5,1.0)	(0.25,0.33,0.5)	(0.33,1.26,3.0)
R2	(3.0,4.31,5.98)	(1.0,1.0,1.0)	(0.33,1.26,3.0)	(0.33,1.44,4.0)	(3.0,4.308,6.000)	(1.0,2.62,4.0)	(3.0,4.93,7.0)
R3	(2.0,3.63,5.0)	(0.33,0.79,3.0)	(1.0,1.0,1.0)	(1.0,1.58,3.0)	(2.0,3.63,5.0)	(1.0,2.62,4.0)	(3.0,4.93,7.0)
R4	(2.0,3.63,5.0)	(0.25,0.69,3.0)	(0.33,0.63,1.0)	(1.0,1.0,1.0)	(2.000,3.633,5.000)	(1.0,2.62,4.0)	(3.0,4.30,6.0)
R5	(1.0,2.0,3.0)	(0.16,0.23,0.33)	(0.2,0.27,0.5)	(0.2,0.27,0.5)	(1.0,1.0,1.0)	(0.2,0.5,1.0)	(0.33,1.0,3.0)
R6	(2.0,3.0,4.0)	(0.25,0.38,1.0)	(0.25,0.38,1.0)	(0.25,0.38,1.000)	(1.000,2.000,5.000)	(1.0,1.0,1.0)	(1.0,2.62,4.0)
R7	(0.33,0.79,3.0)	(0.14,0.2,0.33)	(0.14,0.2,0.33)	(0.16,0.23,0.33)	(0.333,1.000,3.003)	(0.25,0.38,1.0)	(1.0,1.0,1.0)
C.Rm = 0.017 C.Rg = 0.038							

جدول ۵. ماتریس نرمال سازی شده برای ترکیب اوزان، درجه ارجحیت، وزن نسبی و اولویت نهایی معیارهای اصلی

فاکتورهای سطح اول ریسک) موثر بر پروژه‌های حمل و نقلی مبتنی بر PPP

Criteria	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	Greater ultimate degree	Relative wighted	Rank
----------	----	----	----	----	----	----	----	-------------------------	------------------	------

R1		0.883	0.768	1	1	1	0.95	0.591	0.049	7
R2	1		0.889	1	1	1	1	0.715	0.223	1
R3	1	1		1	1	1	1	0.842	0.214	2
R4	0.998	0.879	0.763		1	1	0.948	0.584	0.203	3
R5	0.833	0.701	0.579	0.835		1	0.783	0.395	0.084	5
R6	0.428	0.27	0.151	0.43	0.644		0.391	0.021	0.152	4
R7	0.982	0.87	0.759	0.984	1	1	0.935	0.587	0.075	6
Total								8.115	1	7

به طور کلی مقایسات زوجی زیرمعیارهای مرتبط با هر یک از معیارها، مرحله مهمی از تحلیل سلسله مراتبی به شمار می‌رود. بر این اساس پس از تعیین عامل ارجح‌تر در بین فاکتورهای ریسک سطح اول، در ادامه به تعیین ارجحیت زیرعوامل در بین زیرفاکتورهای ریسک سطح دوم در ارتباط با هر عامل اصلی پرداخته شده است. به همین منظور مجدداً با تکرار فرآیند اجراشده در مرحله قبل، وزن نسبی و رتبه هر یک از زیرمعیارها تعیین شد. در ادامه با انجام محاسبات مربوطه، ماتریس نرمال سازی شده برای ترکیب اوزان زیرمعیارها (زیرفاکتورهای سطح دوم ریسک) مرتبط با هر یک از معیارهای اصلی مطابق جدول ۶ تعیین شد.

جدول ۶. ماتریس‌های نرمال سازی شده برای ترکیب اوزان زیرمعیارها (زیرفاکتورهای سطح دوم ریسک) مرتبط با معیار

ریسک‌های سطح اول											
R2	R2-1	R2-2	R2-3	R2-4	R2-5	R2-6	R1	R1-1	R1-2	R1-3	R1-4
R2-1	-	0.783	0.395	0.504	0.916	1	R1-1	-	0.591	0.694	1
R2-2	1	-	0.796	1	0.924	1	R1-2	1	-	1	1
R2-3	1	1	-	0.795	0.415	0.523	R1-3	1	0.842	-	0.95
R2-4	1	0.597	1	-	0.955	1	R1-4	0.948	0.584	1	-
R2-5	1	1	1	1	-	0.669					
R2-6	0.669	0.765	1	0.722	1	-					
R4	R4-1	R4-2	R4-3	R4-4							
R4-1	-	0.715	0.816	1	R3	R3-1	R3-2	R3-3	R3-4	R3-5	
R4-2	1	-	0.089	1	R3-1	-	1	1	0.948	0.584	
R4-3	1	1	-	1	R3-2	0.676	-	1	0.783	0.395	
R4-4	0.395	0.504	0.916	-	R3-3	0.871	0.924	-	1	0.494	
					R3-4	1	1	0.763	-	1	
					R3-5	1	1	1	0.759	-	
R6	R6-1	R6-2	R6-3	R6-4	R6-5	R5	R5-1	R5-2	R5-3	R5-4	
R6-1	-	0.933	1	1	1	R5-1	-	1	0.994	1	
R6-2	1	-	1	1	1	R5-2	0.765	-	1	0.829	
R6-3	0.395	0.504	-	0.995	1	R5-3	1	0.424	-	1	
R6-4	0.783	0.089	1	-	0.711	R5-4	0.982	1	0.917	-	
R6-5	0.669	0.765	0.526	1	-						
R7	R7-1	R7-2	R7-3	R7-4							
R7-1	-	1	1	1							
R7-2	0.915	-	1	1							
R7-3	0.494	0.601	-	1							
R7-4	0.415	0.523	0.924	-							

در نهایت با ترکیب اوزان نهایی، میزان درجه ارجحیت و وزن نسبی هر یک از زیرمعیارها (زیرفاکتورهای سطح دوم) 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 به ترتیب در جدول ۷ آمده است. براساس نتایج حاصل از مقایسات زوجی زیرفاکتورهای ریسک سطح دوم در ریسک‌های دولتی، 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، 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 زیرمعیارهای ریسک تکمیل ساخت (R3-7) با وزن ۰.۲۹۹ و 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،

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، 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، 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 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. براساس 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.

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 ۷ آمده 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 ۰.۰۶۳ و 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 تغییر و تخمین نامناسب تقاضای بازار (R2-13) با وزن نهایی ۰.۰۱، فورس مازور (R7-1) با وزن نهایی ۰.۰۸، تأخیر / نقض شخص ثالث (R6-3) با وزن نهایی ۰.۰۵۶، شرایط پیش بینی نشده آب و هوایی / ژئوتکنیکی (R7-5) با وزن نهایی ۰.۰۵۱، مخالفت سیاسی/عمومی (R5-2) با وزن نهایی ۰.۰۳ به عنوان پنج ریسک با کمترین اثرگذاری بر پروژه‌های حمل و نقلی مبتنی بر PPP شناسایی شده‌اند.

جدول ۷. نتایج رتبه بندی نهایی زیرمعیارها برحسب وزن نهایی

Criteria	Relative weight	Sub-criteria	Relative weight	Global weight	Final Priority
R1	0.049	R1-1	0.208	0.010192	29
		R1-2	0.257	0.012593	25
		R1-3	0.311	0.015239	24
		R1-4	0.224	0.010976	26
R2	0.223	R2-1	0.159	0.035457	12
		R2-2	0.221	0.049283	8
		R2-3	0.309	0.068907	1
		R2-4	0.088	0.019624	21
		R2-5	0.179	0.039917	11
		R2-6	0.045	0.010035	30
R3	0.214	R3-1	0.116	0.024824	19
		R3-2	0.118	0.025252	16
		R3-3	0.219	0.046866	9
		R3-4	0.249	0.053286	6
		R3-5	0.299	0.063986	4
R4	0.203	R4-1	0.135	0.027405	15
		R4-2	0.323	0.065569	2
		R4-3	0.222	0.045066	10
		R4-4	0.321	0.065163	3
R5	0.084	R5-1	0.384	0.032256	13
		R5-2	0.104	0.008736	31
		R5-3	0.296	0.024864	18

		R5-4	0.215	0.01806	22
R6	0.152	R6-1	0.109	0.016568	23
		R6-2	0.034	0.005168	32
		R6-3	0.363	0.055176	5
		R6-4	0.328	0.049856	7
		R6-5	0.166	0.025232	17
R7	0.075	R7-1	0.301	0.022575	20
		R7-2	0.409	0.030675	14
		R7-3	0.145	0.010875	28
		R7-4	0.146	0.01095	27

۵- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر اقدام به توسعه یک الگوی نظام مند جهت ارزیابی ریسک در پروژه های زیربنایی PPP شده است. برای این منظور ابتدا با مطالعه عمیق ادبیات تحقیق، مهمترین ریسک های سطح اول و سطح دوم موجود در این پروژه ها شناسایی شد و سپس با مطالعه موردی در پروژه های آزادراهی مبتنی بر PPP در کشور ایران و با استفاده از روش تصمیم گیری چندمعیاره فازی شامل FAHP به منظور ارزیابی ریسک های بحرانی در پروژه های زیرساختی PPP اقدام به توسعه الگوی مذکور شد. نتایج حاصل از تحلیل کمی ریسک ها با روش FAHP برحسب وزن نسبی هر معیار و رتبه اولیه آنها نشان داد که ریسک های سطح اول شامل ریسک های اقتصادی و تأمین مالی (R2)، ساخت (R3)، عملیاتی (R4)، قانونی (R6)، سیاسی (R5)، سایر ریسک ها (R7) و درنهایت ریسک های دولتی (R1) رتبه های اول تا هفتم تاثیرگذاری بر پروژه های حمل و نقلی مبتنی بر PPP را به خود اختصاص داده اند. همچنین نتایج حاصل از مقایسات زوجی زیرفاکتورهای ریسک سطح دوم در ریسک های دولتی نشان داد که پارامتر تأخیر در مصوبات و مجوزهای پروژه و پارامتر مداخله دولت به ترتیب بیشترین و کمترین درجه اهمیت را کسب نموده اند. در ریسک های اقتصادی و تأمین مالی، زیرمعیارهای هزینه تأمین مالی بالا و تغییر و تخمین نامناسب تقاضای بازار به ترتیب بیشترین و کمترین اهمیت را به خود اختصاص داده اند. در ریسک های ساخت، زیرمعیارهای ریسک تکمیل ساخت و عدم دسترسی به مصالح/ پرسنل به ترتیب از بیشترین و کمترین میزان اثرگذاری بر پروژه های PPP برخوردار می باشند. در ریسک های عملیاتی، زیرمعیارهای کیفیت عملکرد و استانداردها و افزایش هزینه عملیاتی به ترتیب بیشترین و کمترین تاثیر را دارا هستند. در ریسک های سیاسی، زیرمعیارهای سلب مالکیت و ملی سازی و مخالفت سیاسی/ عمومی به ترتیب بیشترین و کمترین اهمیت را به خود اختصاص داده اند. در ریسک های قانونی، زیرمعیارهای افزایش هزینه و زمان به دلیل ابهامات قراردادی و تأخیر/ نقض شخص ثالث به ترتیب از بیشترین و کمترین تاثیر برخوردار بوده اند.

References

مراجع

- [1] C. Cui, Y. Liu, A. Hope, and J. Wang, "Review of studies on the public-private partnerships (PPP) for infrastructure projects," *International journal of project management*, vol. 36, no. 5, pp. 773-794, 2018.
- [2] Rejeb, K. Rejeb, A. Appolloni, S. Zailani, and M. Iranmanesh, "Navigating the landscape of public-private partnership research: a novel review using latent Dirichlet allocation," *International Journal of Public Sector Management*, vol. 38, no. 2, pp. 213-237, 2025.
- [3] L. X. Liu, S. Clegg, and J. Pollack, "The effect of public-private partnerships on innovation in infrastructure delivery," *Project Management Journal*, vol. 55, no. 1, pp. 31-49, 2024.
- [4] S. Hakim, R. M. Clark, and E. A. Blackstone, *Handbook on Public Private Partnerships in Transportation, Vol I*. Springer, 2022.
- [5] K. M. Mazher, "Review of studies on risk allocation and sharing in public-private partnership projects for infrastructure delivery," *Frontiers in Built Environment*, vol. 11, p. 1505891, 2025.
- [6] D. Albalade and P. Bel-Piñana, "The effects of public private partnerships on road safety outcomes," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 128, pp. 53-64, 2019.
- [7] D. Modi, J. Pipaliya, and D. N. Patel, "Critical Analysis of Risk Management and Influencing Factors in Public-Private-Partnership Infrastructure Highway Projects: A Quantitative Approach," in *2024 Parul International Conference on Engineering and Technology (PICET)*, 2024, pp. 1-5: IEEE.
- [8] W. Jiang, Q. Yang, J. Jiang, I. Martek, and F. Gao, "Operational risk management of public-private partnership infrastructure projects: A bibliometric literature review," *Buildings*, vol. 12, no. 11, p. 1905, 2022.

- [9] K. Verhoest, O. H. Petersen, W. Scherrer, and R. Murwantara Soecipto, "Policy commitment, legal and regulatory framework, and institutional support for PPP in international comparison: Indexing countries' readiness for taking up PPP," Working Papers in Economics and Finance 2014.
- [۱۰] جوکار، امین‌نژاد، and لرک، "ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌های موجود در پروژه‌های زیرساختی منطقه ای مبتنی بر روش مشارکت عمومی-خصوصی (PPP) با استفاده از ترکیب تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی (مطالعه موردی: آزادراه)،" برنامه ریزی منطقه ای، vol. 50, no. 13, pp. 180-196, 2023.
- [11] G. Su and R. Khallaf, "Research on the influence of risk on construction project performance: A systematic review," *Sustainability*, vol. 14, no. 11, p. 6412, 2022.
- [۱۲] ش. نیک‌آبادی، ش. ن. آبادی، حسینی، and س. محمدحسن، "توسعه مدلی برای ارزیابی و رتبه‌بندی پروژه‌های عمرانی با توجه به احتمال وقوع ریسک و تأثیر آن در عملکرد ساخت (مورد مطالعه: معاونت مهندسی و مجری طرح‌های عمرانی یک رده نظامی)،" فصلنامه مدیریت نظامی، vol. 16, no. 62, pp. 117-157, 2016.
- [۱۳] کریمایی، توران، انصاری، رامین، and مهدویان، "بررسی، شناسایی و طبقه‌بندی ریسک‌ها در مشارکت‌های عمومی-خصوصی پروژه‌ها،" مهندسی و مدیریت ساخت، vol. 4, no. 4, pp. 14-24, 2020.
- [14] S. Rose, N. Spinks, and A. I. Canhoto, *Management research: applying the principles of business research methods*. Routledge, 2023.
- [15] P. Li et al., "Association between gut microbiota and preeclampsia-eclampsia: a two-sample Mendelian randomization study," *BMC medicine*, vol. 20, no. 1, p. 443, 2022.
- [16] H. Taherdoost and M. Madanchian, "Multi-criteria decision making (MCDM) methods and concepts," *Encyclopedia*, vol. 3, no. 1, pp. 77-87, 2023.
- [17] H. Mintzberg, D. Raisinghani, and A. Theoret, "The structure of" unstructured" decision processes," *Administrative science quarterly*, pp. 246-275, 1976.
- [18] D.-Y. Chang, "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP," *European journal of operational research*, vol. 95, no. 3, pp. 649-655, 1996.
- [19] S. Kubler, J. Robert, W. Derigent, A. Voisin, and Y. Le Traon, "A state-of the-art survey & testbed of fuzzy AHP (FAHP) applications," *Expert systems with applications*, vol. 65, pp. 39, 2016.
- [20] S. M. A. Al Qudah, J. L. F. Barges, and P. F. Gisbert, "Bibliometric analysis of the literature on risk management in the construction sector: Exploring current and future trends," *Ain Shams Engineering Journal*, p. 102843, 2024.
- [21] T. F. L. DA SILVA, A. VALVERDE ARROTEIA, D. RODRIGUES VIEIRA, S. BURRATTINO MELHADO, and M. M. DE CARVALHO, "EXPLORING THE INFLUENCE OF RISKS IN BIM IMPLEMENTATION: A REVIEW EXPLORING BIM CRITICAL SUCCESS FACTORS AND BIM IMPLEMENTATION PHASES," *Journal of modern project management*, vol. 8, no. 3, 2021.
- [22] O. G. Duarte, M. Delgado, and I. Requena, "Algorithms to extend crisp functions and their inverse functions to fuzzy numbers," *International journal of intelligent systems*, vol. 18, no. 8, pp. 855-876, 2003.