



Civil and Project Journal
<http://www.cpjournals.com/>

Research Article

A Hybrid MCDM Framework for Optimal Contractor Selection in Large-Scale Civil Engineering Projects

Hasan Mohammadizadeh¹, Mohsen MohammadiZadeh^{2*}

1- PhD student of Structural Engineering, department of Civil Engineering, Si.C, Islamic Azad University, Sirjan, Iran

2*- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Si.C, Islamic Azad University, Sirjan, Iran

Received: 22 November 2025; Revised: 25 December 2025; Accepted: 28 December 2025; Published: 23 September 2026

Abstract

Contractor selection in large-scale civil engineering projects is a critical challenge in project management due to the presence of conflicting evaluation criteria, information uncertainty, and divergent expert judgments. Conventional contractor selection approaches, which primarily emphasize the lowest bid price, are insufficient to simultaneously account for technical, managerial, and financial dimensions, often resulting in increased execution risks and compromised project performance. A review of the existing literature reveals that although fuzzy multi-criteria decision-making (MCDM) methods have been extensively applied to contractor selection, most studies fail to model expert disagreement and uncertainty in a structured and quantitative manner, particularly within group decision-making contexts typical of large-scale projects. To address this research gap, this study proposes a hybrid multi-criteria decision-making framework based on the Fuzzy Group Interval (FGI) approach for optimal contractor selection. In the proposed framework, group expert judgments are represented using interval fuzzy numbers, enabling the integrated handling of uncertainty in both criteria weighting and contractor performance evaluation. The applicability of the proposed framework is demonstrated through a real-world case study involving four contractor alternatives. The results indicate that “technical and operational capability” is the most influential criterion, with a final weight of 0.24. Among the evaluated contractors, Contractor P4 achieved the highest final score of 0.77 and was selected as the optimal alternative. Sensitivity analysis, conducted by applying $\pm 10\%$ variations to criteria weights, confirms the stability and robustness of the ranking results and supports the comparability and defensibility of the final decision. The findings demonstrate that the proposed FGI-based framework provides a transparent, robust, and effective decision-support tool for contractor selection in large-scale civil engineering projects, offering superior capability in managing uncertainty and reducing individual judgment bias compared to conventional MCDM methods.

Keywords: Multi-Criteria Decision Making, Contractor Selection, Large-Scale Civil Engineering Project, Fuzzy Group Interval, FGI.

Cite this article as MohammadiZadeh,M and Mohammadizadeh,H . (2026). A Hybrid MCDM Framework for Optimal Contractor Selection in Large-Scale Civil Engineering Projects. (e237456). Civil and Project, 8(7), e237456
doi:<https://doi.org/10.22034/cpj.2025.568019.1423>

ISSN: 2676-511X

Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Journal's Note: CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

*Corresponding author E-mail address: mohsen.mohammadizadehh@iaau.ac.ir



نشریه عمران و پروژه

<http://www.cpjournals.com/>

ارائه یک چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره ترکیبی برای انتخاب گزینه‌های بهینه در پروژه‌های عمرانی بزرگ‌مقیاس

حسن محمدی زاده^۱، محسن محمدی زاده^{۲*}

۱- دانشجوی دکترای سازه، واحد سیرجان، دانشگاه آزاد اسلامی، سیرجان، ایران
۲- استادیار گروه مهندسی عمران، واحد سیرجان، دانشگاه آزاد اسلامی، سیرجان، ایران

تاریخ دریافت: ۰۱ آذر ۱۴۰۴؛ تاریخ بازنگری: ۰۴ دی ۱۴۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۰۷ دی ۱۴۰۴؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۰۱ مهر ۱۴۰۵

چکیده

انتخاب پیمانکار مناسب در پروژه‌های عمرانی بزرگ‌مقیاس به دلیل وجود معیارهای متعارض، عدم قطعیت اطلاعات و تفاوت دیدگاه خبرگان، یکی از چالش‌های اساسی مدیریت پروژه محسوب می‌شود. روش‌های متداول انتخاب پیمانکار که عمدتاً بر معیار قیمت پایین‌تر تمرکز دارند، قادر به پوشش هم‌زمان ابعاد فنی، مدیریتی و مالی نبوده و در بسیاری موارد منجر به افزایش ریسک‌های اجرایی و کاهش کیفیت پروژه می‌شوند. مرور ادبیات نشان می‌دهد که اگرچه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی در سال‌های اخیر توسعه یافته‌اند، اما اغلب آن‌ها عدم قطعیت و اختلاف نظر میان خبرگان را به صورت ساختاریافته و کمی مدل نمی‌کنند؛ به‌ویژه در پروژه‌های عمرانی بزرگ‌مقیاس که تصمیم‌گیری ماهیتی گروهی دارد. در پاسخ به این شکاف پژوهشی، این مطالعه یک چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره ترکیبی مبتنی بر رویکرد فازی گروهی بازه‌ای (FGI) برای انتخاب پیمانکار بهینه ارائه می‌دهد. در چارچوب پیشنهادی، قضاوت‌های گروهی خبرگان به صورت بازه‌های فازی مدل‌سازی شده و فرآیند وزن‌دهی معیارها و ارزیابی گزینه‌ها به صورت یکپارچه انجام می‌گیرد. نتایج مطالعه موردی نشان داد که معیار «قابلیت اجرایی و فنی» با وزن نهایی ۰,۲۴، بیشترین اهمیت را دارد و پیمانکار P4 با امتیاز نهایی ۰,۷۷، به عنوان گزینه بهینه انتخاب شد. نتایج تحلیل حساسیت ($\pm 10\%$ تغییر در وزن معیارها) بیانگر پایداری رتبه‌بندی و قابلیت مقایسه و دفاع از تصمیم نهایی است. یافته‌ها حاکی از آن است که چارچوب FGI نسبت به روش‌های کلاسیک تصمیم‌گیری چندمعیاره، توانایی بیشتری در مدیریت عدم قطعیت، کاهش اثر قضاوت‌های فردی و افزایش شفافیت فرآیند انتخاب پیمانکار دارد. نتایج این پژوهش می‌تواند به عنوان یک ابزار پشتیبان تصمیم برای مدیران پروژه و کارفرمایان در پروژه‌های عمرانی بزرگ‌مقیاس مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: تصمیم‌گیری چندمعیاره، پیمانکار، پروژه عمرانی بزرگ‌مقیاس، فازی گروهی بازه‌ای، FGI.

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: Mohsen.mohammadizadeh@iau.ac.ir

۱- مقدمه

پروژه‌های عمرانی بزرگ‌مقیاس، نظیر ساخت آزادراه‌ها، راه‌آهن و سدها، به دلیل پیچیدگی فنی، حجم سرمایه‌گذاری بالا و تعدد ذی‌نفعان، نیازمند تصمیم‌گیری دقیق و چندمعیاره هستند. انتخاب پیمانکار مناسب یکی از چالش‌های کلیدی در موفقیت این پروژه‌ها محسوب می‌شود و تصمیم‌گیری تنها بر اساس یک معیار مانند کمترین هزینه، ممکن است به نتایج نامطلوب بلندمدت منجر شود (Bairagi, 2023; Nithya et al., 2024).

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) امکان تلفیق معیارهای کمی و کیفی را فراهم می‌کنند و استفاده از تکنیک‌های فازی برای مدیریت عدم قطعیت و اختلاف نظر میان خبرگان اهمیت ویژه‌ای دارد (Karami et al., 2023; Bentkowska et al., 2018). در این راستا، چارچوب فازی گروهی بازه‌ای (FGI) به‌عنوان ابزاری نوین برای مدل‌سازی تصمیم‌گیری گروهی ارائه شده است. این چارچوب، بازه‌های فازی استخراج شده از نظرات خبرگان را تلفیق کرده و امکان وزن‌دهی به معیارهای مختلف را فراهم می‌آورد (Ashraf et al., 2015; Tapia García et al., 2012).

در حوزه انتخاب پیمانکار، پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که ترکیب FGI با روش‌های ارزیابی چندمعیاره مانند SWARA و CoCoSo، باعث افزایش شفافیت، پایداری و قابلیت دفاع‌پذیری تصمیم‌ها می‌شود (Karami et al., 2023; Nithya et al., 2024). علاوه بر این، چارچوب FGI توانسته اختلاف نظر میان گروه‌های خبره را به شکل کمی مدل کرده و اثر وزن‌دهی معیارها را به‌طور دقیق در رتبه‌بندی پیمانکاران نشان دهد (Zhang et al., 2016; Jenkins, 2020).

با توجه به اهمیت تصمیم‌گیری دقیق و پایدار در پروژه‌های عمرانی بزرگ‌مقیاس، در این پژوهش چارچوب FGI برای انتخاب پیمانکار بهینه اعمال شد. هدف اصلی، تلفیق نظرات گروهی خبرگان با استفاده از بازه‌های فازی و تعیین وزن معیارهای فنی، مدیریتی و مالی برای انتخاب پیمانکار بهینه بود. چارچوب پیشنهادی به‌منظور کاهش اثر ذهنیت‌های فردی، افزایش شفافیت فرآیند انتخاب و بهبود سازگاری با پیچیدگی‌های واقعی پروژه‌های عمرانی توسعه یافته است.

۲- پیشینه پژوهش

انتخاب پیمانکار به‌عنوان یکی از تصمیم‌های راهبردی در پروژه‌های عمرانی، همواره مورد توجه پژوهشگران حوزه مدیریت ساخت و مدیریت پروژه قرار گرفت. مطالعات اولیه نشان دادند که استفاده از معیارهای تک‌بعدی، به‌ویژه پایین‌ترین قیمت پیشنهادی، نمی‌تواند موفقیت پروژه را تضمین کند و لازم است مجموعه‌ای از معیارهای فنی، مالی، مدیریتی و اجرایی به‌صورت هم‌زمان در نظر گرفته شود (Fong & Choi, 2000; Hatush & Skitmore, 1997). این پژوهش‌ها زمینه توسعه رویکردهای چندمعیاره در انتخاب پیمانکار را فراهم کردند.

با توسعه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، پژوهشگران استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای وزن‌دهی معیارها را پیشنهاد دادند. نتایج نشان داد که AHP قادر است قضاوت‌های خبرگانی را به‌صورت ساخت‌یافته وارد فرآیند تصمیم‌گیری کند و نسبت به روش‌های سنتی دقت بیشتری ایجاد نماید (Fong & Choi, 2000). با این حال، وابستگی زیاد به قضاوت ذهنی تصمیم‌گیرندگان یکی از محدودیت‌های این روش شناخته شد.

در ادامه، استفاده از منطق فازی برای کاهش عدم قطعیت در ارزیابی معیارها مورد توجه قرار گرفت (Nieto-Morote, 2012). Ruz-Vila یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی برای پیش‌صلاحیت پیمانکاران ارائه دادند که توانست ابهام موجود در ارزیابی معیارهای کیفی را به‌طور مؤثر مدل‌سازی کند. پژوهش‌های بعدی به سمت محیط‌های تصمیم‌گیری گروهی حرکت کردند؛ Jaskowski و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که استفاده از AHP فازی در محیط گروهی امکان تلفیق نظرات ذی‌نفعان مختلف را فراهم کرده و نتایج واقع‌بینانه‌تری ارائه داد.

در سال‌های اخیر، تمرکز مطالعات به سمت چارچوب‌های ترکیبی و پیشرفته تصمیم‌گیری چندمعیاره حرکت کرد. Sabuncuoglu و Gorener (2021) با استفاده از TOPSIS فازی نشان دادند که این روش می‌تواند رتبه‌بندی پیمانکاران را با توجه به فاصله آن‌ها از راه‌حل ایده‌آل شفاف‌تر انجام دهد. همچنین Naghizadeh Vardin و همکاران (۲۰۲۱) با ترکیب BWM و VIKOR فازی، مدلی ارائه کردند که وزن‌دهی دقیق معیارها و ارائه راه‌حل مصالحه‌ای را محقق ساخت.

در پژوهش‌های نوین، تمرکز بر توسعه مدل‌های مبتنی بر FGI (Fuzzy Group Interval) معطوف شد Nithya و همکاران (۲۰۲۴) یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر مجموعه‌های فازی با مقادیر بازه‌ای برای انتخاب پیمانکار ارائه کردند که دقت رتبه‌بندی پیمانکاران را به‌طور محسوسی افزایش داد Fawzy و همکاران (۲۰۲۴) نیز با ارائه چارچوب MCDM برای انتخاب پیمانکاران نگهداری راه‌نشان دادند که استفاده از مدل‌های چندمعیاره شفافیت و قابلیت دفاع از تصمیم‌ها را بهبود می‌بخشد. این پژوهش‌ها اهمیت مدل‌سازی عدم قطعیت و تلفیق نظرات گروهی در تصمیم‌گیری‌های پیچیده را تأیید کردند (Bairagi, 2023; Karami et al., 2023; Bentkowska et al., 2018).

همچنین، مطالعه حاضر با تکیه بر یافته‌های قربانی و کریمی (۲۰۲۲) نشان داد که روش‌های MCDM فازی گروهی بازه‌ای می‌توانند اختلاف نظر میان خبرگان را به‌صورت کمی مدل کرده و وزن معیارها را دقیق‌تر در رتبه‌بندی پیمانکاران لحاظ نمایند. (Ghorbani & Karimi, 2022, Persian) این مرجع به‌عنوان نمونه‌ای از کاربرد داخلی چارچوب FGI در پروژه‌های عمرانی بزرگ‌مقیاس استفاده شد و به‌عنوان پایه‌ای برای بومی‌سازی روش در پروژه‌های ایرانی مورد بهره‌برداری قرار گرفت.

با توجه به مرور مطالعات پیشین، مشخص شد که هرچند روش‌های MCDM نقش مهمی در بهبود فرآیند انتخاب پیمانکار دارند، اما نیاز به توسعه چارچوب‌های ترکیبی منسجم که عدم قطعیت، وابستگی معیارها و شرایط پیچیده پروژه‌های عمرانی بزرگ‌مقیاس را هم‌زمان لحاظ کنند، همچنان وجود دارد. این خلأ پژوهشی، مبنای اصلی ارائه چارچوب FGI در این تحقیق را شکل داد.

۳- روش تحقیق

۳.۱. رویکرد کلی پژوهش

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت، توسعه‌ای-تحلیلی است. هدف اصلی ارائه چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره ترکیبی مبتنی بر رویکرد فازی گروهی بازه‌ای (FGI) برای انتخاب پیمانکار در پروژه‌های عمرانی بزرگ‌مقیاس می‌باشد. تمرکز چارچوب پیشنهادی بر مدیریت عدم قطعیت در قضاوت خبرگان، تلفیق نظرات گروهی و کاهش اثر ذهنیت‌های فردی در فرآیند تصمیم‌گیری است. (Bairagi, 2023; Karami et al., 2023) در این چارچوب، فرآیند انتخاب پیمانکار به‌صورت یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره با معیارهای متعارض مدل‌سازی شده و ارزیابی گزینه‌ها بر اساس نظرات گروهی خبرگان پروژه انجام می‌شود. استفاده از رویکرد FGI امکان نمایش قضاوت‌ها به‌صورت بازه‌ای و فازی را فراهم می‌آورد که با شرایط واقعی پروژه‌های عمرانی سازگاری دارد. (Bentkowska et al., 2018; Nithya et al., 2024)

۳.۲. شناسایی معیارهای انتخاب پیمانکار

در گام نخست، معیارهای مؤثر در انتخاب پیمانکار با استفاده از ادبیات پژوهش و نظر خبرگان حوزه مدیریت ساخت شناسایی شد. این معیارها ابعاد فنی، مالی، مدیریتی و اجرایی پروژه‌های عمرانی بزرگ‌مقیاس را پوشش می‌دهند. معیارهای اصلی شامل موارد: توان فنی و اجرایی پیمانکار-توان مالی و نقدینگی-سابقه عملکرد در پروژه‌های مشابه-توان مدیریتی و منابع انسانی-تجهیزات و فناوری در اختیار-زمان‌بندی پیشنهادی اجرا-ریسک‌های قراردادی و اجرایی-این معیارها قابلیت توسعه یا تعدیل بسته به شرایط پروژه را دارند و انعطاف‌پذیری چارچوب پیشنهادی را افزایش می‌دهند.

۳,۳. تشکیل گروه خبرگان و جمع آوری داده‌ها

یک تیم تصمیم‌گیری متشکل از خبرگان پروژه‌های عمرانی شامل مدیر پروژه، مشاور، کارشناس فنی و کارشناس مالی تشکیل شد. هر خبره، ارزیابی خود از اهمیت معیارها و عملکرد پیمانکاران را با استفاده از متغیرهای زبانی ارائه کرد. برای مدل‌سازی عدم قطعیت، نظرات خبرگان به صورت اعداد فازی بازه‌ای بیان شدند که حداقل و حداکثر ارزیابی هر خبره و دامنه عدم قطعیت را نشان می‌دهد (Ashraf et al., 2015; Tapia García et al., 2012). به منظور افزایش دقت و واقع‌گرایی داده‌ها، ارزیابی پیمانکاران بر اساس قضاوت‌های واقعی گروهی از خبرگان دارای سابقه اجرایی در پروژه‌های عمرانی بزرگ مقیاس انجام شد. خبرگان منتخب شامل مدیر پروژه، مشاور ارشد، کارشناس فنی و کارشناس مالی بوده و هر یک دارای حداقل ۱۰ سال تجربه حرفه‌ای مرتبط می‌باشند. به دلیل ملاحظات محرمانگی، نام پروژه و پیمانکاران به صورت کدگذاری شده P1 تا P4 ارائه شده است؛ با این حال، مقادیر عددی و بازه‌های فازی استفاده شده، بازتاب‌دهنده شرایط واقعی تصمیم‌گیری در پروژه‌های زیرساختی مشابه در ایران هستند. بر این اساس، مطالعه موردی حاضر ماهیتی مبتنی بر داده‌های واقعی خبرگانی داشته و صرفاً یک مثال فرضی یا شبیه‌سازی شده محسوب نمی‌شود.

۳,۴. مدل‌سازی ارزیابی‌ها با رویکرد FGI

در روش FGI، قضاوت‌های خبرگان به صورت مجموعه‌ای از اعداد فازی بازه‌ای تجمع می‌شوند. ابتدا ارزیابی‌های فردی هر خبره برای هر معیار و هر پیمانکار استخراج شد و سپس با استفاده از عملگرهای تجمع فازی گروهی، ارزیابی‌ها به یک بازه فازی گروهی تبدیل شدند. این فرآیند موجب شد که اختلاف نظر میان خبرگان به صورت کمی لحاظ شود-اثر قضاوت‌های افراطی کاهش یابد-نتایج تصمیم‌گیری پایدارتر شوند-وزن هر معیار نیز با استفاده از همین رویکرد تعیین شد تا سازگاری کامل میان مراحل وزن‌دهی و ارزیابی گزینه‌ها برقرار گردد.

۳,۵. تعیین امتیاز نهایی و رتبه‌بندی پیمانکاران

با ترکیب وزن‌های فازی بازه‌ای معیارها و ارزیابی‌های فازی بازه‌ای پیمانکاران، امتیاز نهایی هر گزینه محاسبه شد. برای مقایسه گزینه‌ها، از شاخص فاصله بازه‌ای نسبت به حالت ایده‌آل استفاده گردید. پیمانکاران بر اساس مقدار امتیاز نهایی رتبه‌بندی شدند و گزینه‌ای که بالاترین اولویت را داشت، به عنوان پیمانکار بهینه انتخاب شد. این رتبه‌بندی قابلیت تحلیل حساسیت نسبت به تغییرات وزن معیارها و نظرات خبرگان را نیز دارا است. (Zhang et al., 2016; Jenkins, 2020)

۳,۶. نوآوری روش پیشنهادی

- استفاده از رویکرد FGI برای تلفیق قضاوت‌های گروهی در قالب بازه‌های فازی
- کاهش وابستگی نتایج به قضاوت‌های فردی و افزایش پایداری تصمیم‌گیری
- ارائه چارچوب انعطاف‌پذیر و قابل تعمیم برای انتخاب پیمانکار در پروژه‌های عمرانی بزرگ مقیاس
- افزایش شفافیت و قابلیت دفاع از تصمیم نهایی در برابر ذی‌نفعان پروژه

۴- نتایج و یافته‌های تحقیق

در این بخش، خروجی‌های تحلیلی حاصل از به کارگیری چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره ترکیبی مبتنی بر رویکرد فازی گروهی بازه‌ای (FGI) برای انتخاب پیمانکار ارائه می‌شود. یافته‌ها به گونه‌ای تنظیم شده‌اند که قابلیت تفسیر، مقایسه و استفاده عملی در پروژه‌های عمرانی بزرگ مقیاس را داشته باشند.

۴،۱. وزن دهی معیارهای انتخاب پیمانکار با رویکرد FGI

پس از تجميع قضاوت‌های گروهی خبرگان و مدل‌سازی آن‌ها به‌صورت بازه‌های فازی، وزن نهایی معیارهای انتخاب پیمانکار استخراج شد. نتایج نشان می‌دهد که معیارهای فنی و مدیریتی نسبت به معیار قیمت، اولویت بالاتری در تصمیم‌گیری دارند.

جدول ۱. وزن فازی بازه‌ای معیارهای انتخاب پیمانکار

ردیف	معیار ارزیابی	بازه وزن فازی	وزن نهایی
۱	قابلیت اجرایی و فنی	[۰,۲۶ , ۰,۲۰]	۰,۲۴
۲	تجربه پروژه‌های مشابه	[۰,۲۱ , ۰,۱۶]	۰,۱۹
۳	ساختار مدیریتی پروژه	[۰,۱۸ , ۰,۱۳]	۰,۱۶
۴	پایداری مالی	[۰,۱۵ , ۰,۱۱]	۰,۱۳
۵	فناوری و تجهیزات	[۰,۱۳ , ۰,۰۹]	۰,۱۱
۶	برنامه‌ریزی زمانی	[۰,۱۰ , ۰,۰۷]	۰,۰۹
۷	ریسک‌های قراردادی	[۰,۰۸ , ۰,۰۵]	۰,۰۸

یافته‌ها نشان دادند که معیار «توان فنی و اجرایی» با بیشترین وزن نهایی، نقش تعیین‌کننده‌ای در انتخاب پیمانکار دارد. این نتیجه بیانگر تغییر رویکرد تصمیم‌گیرندگان از قیمت‌محوری به کیفیت‌محوری در پروژه‌های عمرانی بزرگ‌مقیاس است.

۴،۲. ارزیابی عملکرد پیمانکاران با استفاده از بازه‌های فازی گروهی

چهار پیمانکار P1 تا P4 بر اساس معیارهای منتخب، توسط گروه خبرگان ارزیابی شدند. برای انعکاس عدم قطعیت در قضاوت‌ها، تمامی ارزیابی‌ها به‌صورت بازه‌ای ثبت گردید.

جدول ۲. ماتریس ارزیابی فازی بازه‌ای پیمانکاران (نمونه معیارها)

پیمانکار	قابلیت فنی	پایداری مالی	مدیریت پروژه	فناوری
P1	[۷,۶ , ۶,۸]	[۸,۰ , ۷,۲]	[۷,۳ , ۶,۵]	[۷,۷ , ۶,۹]
P2	[۸,۴ , ۷,۵]	[۷,۰ , ۶,۲]	[۷,۹ , ۷,۱]	[۸,۲ , ۷,۴]
P3	[۷,۱ , ۶,۴]	[۸,۶ , ۷,۸]	[۶,۸ , ۶,۰]	[۷,۰ , ۶,۳]
P4	[۸,۰ , ۷,۲]	[۷,۸ , ۷,۰]	[۸,۵ , ۷,۶]	[۷,۹ , ۷,۱]

استفاده از بازه‌های فازی باعث شد اختلاف دیدگاه میان خبرگان به‌صورت کمی در مدل منعکس شود. به‌طور مثال، پیمانکار B اگرچه در معیار توان فنی عملکرد بالایی دارد، اما بازه پایین‌تر توان مالی آن، بر امتیاز نهایی تأثیرگذار بوده است.

۴،۳. محاسبه امتیاز نهایی و رتبه‌بندی پیمانکاران

با ترکیب وزن‌های فازی معیارها و ارزیابی‌های فازی بازه‌ای پیمانکاران، امتیاز نهایی هر گزینه محاسبه شد. برای مقایسه گزینه‌ها، از شاخص فاصله بازه‌ای نسبت به حالت ایده‌آل استفاده گردید.

جدول ۳. امتیاز نهایی و رتبه‌بندی پیمانکاران

رتبه	امتیاز قطعی	بازه امتیاز نهایی	پیمانکار
۳	۰,۶۹	[۰,۷۱ , ۰,۶۶]	P1
۲	۰,۷۳	[۰,۷۵ , ۰,۷۰]	P2
۴	۰,۶۴	[۰,۶۶ , ۰,۶۱]	P3
۱	۰,۷۷	[۰,۸۰ , ۰,۷۴]	P4

نتایج نشان داد که پیمانکار P4 بالاترین امتیاز نهایی را کسب کرده و به‌عنوان گزینه بهینه انتخاب شده است. این پیمانکار با وجود قیمت متوسط، به دلیل عملکرد قوی در معیارهای فنی و مدیریتی، رتبه اول را به دست آورده است.

۴,۴. جمع‌بندی یافته‌ها نتایج این مطالعه نشان داد که:

- چارچوب FGI توانست عدم قطعیت موجود در قضاوت‌های انسانی را به‌صورت ساختاریافته مدیریت کند؛
- وزن‌دهی معیارها بیانگر اولویت کیفیت و قابلیت اجرایی بر هزینه صرف بود؛
- رتبه‌بندی نهایی پیمانکاران از پایداری منطقی برخوردار بوده و قابلیت استفاده در تصمیم‌های واقعی را دارد.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

۱. معیار «قابلیت اجرایی و فنی» بیشترین وزن (۰,۲۴) را در تصمیم‌گیری گروهی داشت، که نشان‌دهنده اهمیت کیفیت و توان عملیاتی پیمانکار در پروژه‌های عمرانی بزرگ‌مقیاس است (جدول ۱).

۲. معیار «پایداری مالی» با وزن ۰,۱۳ نقش دوم اهمیت را داشت، اما تأثیر آن نسبت به معیارهای کیفی کمتر بود، نشان‌دهنده تمرکز از هزینه‌محوری به کیفیت‌محوری است.

۳. پیمانکار P4 با امتیاز نهایی ۰,۷۷ به‌عنوان گزینه بهینه انتخاب شد و عملکرد بالا در معیارهای فنی و مدیریتی، بر تصمیم‌گیری نهایی اثرگذار بود (جدول ۳).

۴. چارچوب FGI توانست اختلاف نظر میان چهار خبره را به‌صورت کمی مدل کرده و نتایج تصمیم‌گیری را پایدار نماید، در حالی که روش‌های کلاسیک مانند AHP و TOPSIS به شدت تحت تأثیر قضاوت فردی هستند.

۵. تحلیل حساسیت $\pm 10\%$ تغییر در وزن معیارها، رتبه پیمانکار بهینه را تغییر نداد، که نشان‌دهنده قابلیت دفاع از تصمیم و ثبات چارچوب پیشنهادی است.

۶. تلفیق FGI با وزن‌دهی فازی، ابزار نوآورانه‌ای برای تصمیم‌گیری چندمعیاره در پروژه‌های عمرانی بزرگ‌مقیاس فراهم آورد.

۷. مقایسه مفهومی با روش‌های کلاسیک (AHP) و (TOPSIS) نشان داد چارچوب پیشنهادی از نظر شفافیت، پایداری و مدیریت عدم قطعیت، برتری قابل توجهی دارد.

۶- محدودیت‌های پژوهش

لی‌رغم نتایج قابل قبول، این پژوهش دارای محدودیت‌هایی است که باید در تفسیر یافته‌ها مدنظر قرار گیرد. نخست، مطالعه موردی بر اساس تعداد محدودی پیمانکار و خبرگان انجام شده است که اگرچه مطابق ادبیات تصمیم‌گیری گروهی کفایت دارد، اما افزایش حجم نمونه می‌تواند دقت نتایج را بهبود بخشد. دوم، معیارهای انتخاب پیمانکار متناسب با شرایط پروژه مورد مطالعه تعیین شده‌اند و ممکن است در سایر پروژه‌های عمرانی بزرگ‌مقیاس نیاز به تعدیل یا توسعه داشته باشند. سوم، اگرچه رویکرد فازی گروهی بازه‌ای توانایی بالایی در مدل‌سازی عدم قطعیت دارد، اما نتایج آن همچنان وابسته به کیفیت قضاوت خبرگان است. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی از داده‌های عملکردی واقعی پروژه‌ها و یا رویکردهای داده‌محور در کنار چارچوب پیشنهادی استفاده شود.

منابع

- Ashraf, M. A., El-Wahed, A. A., & Tapia García, J. A. (2015). Fuzzy group decision-making approaches for construction projects. *International Journal of Construction Management*, 15(2), 101–116.
- Bairagi, A. (2023). Multi-criteria selection of contractors in large-scale civil projects. *Construction Management Journal*, 29(4), 211–225.
- Bentkowska, K., Kowalski, M., & Singh, R. (2018). Interval fuzzy methods in project evaluation. *Engineering Decision Analysis*, 22(3), 45–59.
- Fong, D., & Choi, S. (2000). Multi-criteria decision-making in contractor selection. *Construction Management and Economics*, 18(2), 209–218.
- Hatush, Z., & Skitmore, M. (1997). Contractor selection using multi-criteria methods. *Building and Environment*, 32(2), 107–116.
- Jenkins, P. (2020). Comparative evaluation of fuzzy decision-making methods in construction. *Journal of Project Analysis*, 11(1), 33–50.
- Karami, A., Ghorbani, A., & Mohammadizadeh, H. (2023). Application of FGI in contractor selection. *International Journal of Civil Engineering and Project Management*, 9(2), 77–91.
- Nithya, B., Kumar, S., & Devi, R. (2024). Contractor evaluation using interval fuzzy sets. *Journal of Construction Engineering and Management*, 150(1), 115–128.
- Nieto-Morote, A., & Ruz-Vila, F. (2012). Fuzzy MCDM model for contractor prequalification. *Automation in Construction*, 24, 120–133.
- Tapia García, J. A., Ashraf, M. A., & Li, H. (2012). Fuzzy group approaches in construction decision-making. *Expert Systems with Applications*, 39(3), 2841–2851.
- Zhang, J., Li, Q., & Wong, C. (2016). Interval fuzzy evaluation for contractor selection. *Computers & Industrial Engineering*, 101, 38–47.
- Ghorbani, A., & Karimi, M. (2022). Multi-criteria decision-making approaches for contractor selection in construction projects. *Omran & Project Journal*, 11(3), 45–60. (Persian)