Ind. Manag. Persp. 2024, 15(3), 58-90; doi: 10.48308/JIMP.15.3.58

Industrial Management Perspective

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

Original Article

A Novel Rough-Fuzzy DEMATEL-TOPSIS Approach for Contractor Selection with a Sustainable Perspective

Amir Tavassoli*
Mojtaba Farrokh**

Extended Abstract

Introduction: The selection of sustainable contractors is a critical challenge faced by executive managers and procurement personnel in today's competitive world. Each year, numerous industrial and manufacturing projects are delegated to contractors, and improper contractor selection can lead to project failures. The importance of this issue is especially evident in supply chain management, where choosing the right contractor based on quality, price, and timing is of great significance. Due to its unique position in telecommunications product manufacturing, the company under study has a large number of contractors, particularly in the mechanical sector. Recognizing the need for a clear framework and method for evaluating and selecting mechanical contractors within the Electro-Optic Industries Company (SaIran), this research aims to address this gap. It is noteworthy that given the sensitivity of projects and the significant outsourcing of modular product construction to contractors, the wrong choice of mechanical contractor can have serious ramifications regarding delivery time management, manufacturing costs, product quality, and the company's reputation.

Methods: This research develops a new framework for evaluating and selecting mechanical contractors, considering sustainability criteria. In the first phase, the internal power of each sustainability criterion is determined using the fuzzy AHP method, followed by identifying the internal relationships between these criteria using the fuzzy DEMATEL approach. In the second phase, the combination of internal power and the external impacts of the criteria results in the formation of a fuzzy power-relation matrix and the calculation of criteria weights. Finally, the fuzzy TOPSIS method is used to rank the contractors.

Results and discussion: The proposed model, which utilizes an integrated rough-fuzzy approach, can simultaneously assess internal strengths and the interrelationships among criteria while providing the necessary flexibility to manage internal and external uncertainties. This research demonstrates significant results by evaluating the effectiveness and performance of the model through a real case study of sustainable mechanical contractor evaluation and comparing it with other methods.

Received: Feb. 16, 2025; Revised: Mar. 07, 2025; Accepted: Aug. 02, 2025; Published Online: Aug. 09, 2025.

* Master's degree, Department of Industrial Management, Faculty of Management, Kharazmi University, Tehran, Iran.
** Assistant Professor, Department of Operations Management and Information Technology, Faculty of Management, Kharazmi University, Tehran, Iran.
Corresponding Author: farrokh@khu.ac.ir

Ind. Manag. Persp. 2024, 15(3), 58-90; doi: 10.48308/JIMP.15.3.58

Industrial Management Perspective

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

Original Article

The findings from the rough-fuzzy DEMATEL-TOPSIS method indicate that the five main criteria for selecting contractors include bid price, equipment, environmental management system, financial capability, and green and clean technology. Particularly in the current economic conditions and due to sanctions, the financial capability of contractors and the need for advanced equipment are of great importance. Given the economic conditions and sanctions, bid price should be considered the most crucial factor in contractor selection. The identified criteria reflect the positive impact of economic, environmental, and social sustainability on contractor selection, enabling managers to identify the best options and enhance their processes.

Conclusion: This research represents a significant advancement in sustainable contractor selection and introduces its innovative approach as an effective tool for managers. The provision of a fuzzy framework facilitates more accurate and effective decision-making in contractor selection and emphasizes the importance of focusing on sustainability in management processes. This model can serve as a comprehensive solution to address the challenges faced in contractor evaluation**.** Considering the combination of fuzzy sets and rough sets for the comprehensive management of internal and external uncertainties, the proposed rough-fuzzy method demonstrates a significantly different evaluation result compared to the other three methods. Therefore, the use of the rough-fuzzy method has a substantial impact on the final outcomes of the DEMATEL and TOPSIS methods.

Keywords: Contractor selection; Sustainable contractors; DEMATEL; Fuzzy power-relation; Fuzzy TOPSIS**.**

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

How to Cite: Tavassoli, Amir; Farrokh, Mojtaba; Yosefi zenouz, Reza (2025). A Novel Rough-Fuzzy DEMATEL-TOPSIS Approach for Contractor Selection with a Sustainable Perspective. *Ind. Manag. Persp.*, 15(3), 58-90 *(In Persian)*.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴۰۳، دوره ۱۵، شماره ۳، صص ۵۸ – ۹۰، doi: 10.48308/JIMP.15.3.58

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

نوع مقاله: پژوهشی

ارائه یک رویکرد نوین دیمتل-تاپسیس راف-فازی برای انتخاب پیمانکاران با رویکرد پایدار

امیر توسلی*

مجتبی فرخ**

چکیده گسترده

مقدمه و اهداف: انتخاب پیمانکار پایدار یک چالش حیاتی برای مدیران اجرایی و خرید به شمار می‌رود که در دنیای رقابتی امروزی با آن مواجه هستند. هر ساله، پروژه‌های صنعتی و تولیدی متعددی به پیمانکاران واگذار می‌شود و عدم انتخاب صحیح پیمانکار می‌تواند منجر به شکست در اجرای این پروژه‌ها شود. اهمیت این مسئله به ویژه در مدیریت زنجیره تأمین مشخص می‌شود، جایی که انتخاب پیمانکار مناسب بر اساس کیفیت، قیمت و زمان اهمیت زیادی دارد. شرکت مورد مطالعه به دلیل موقعیت ویژه‌ای که در زمینه تولید محصولات مخابراتی دارد، دارای تعداد زیادی پیمانکار، به ویژه در حوزه مکانیکی است. با توجه به اینکه احساس می‌شود نیاز به یک چهارچوب و روش مشخص برای ارزیابی و انتخاب پیمانکاران مکانیکی در شرکت صنایع الکترواپتیک صاایران وجود دارد، این تحقیق به منظور پر کردن این خلا در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است که با توجه به حساسیت پروژه‌ها و واگذاری بخش عمده‌ای از ساخت محصولات به صورت ماژولار به پیمانکاران، انتخاب نادرست پیمانکار مکانیکی می‌تواند تبعات سنگینی در زمینه مدیریت زمان تحویل محصول به مشتری، هزینه‌های تولید، کیفیت محصول و اعتبار شرکت داشته باشد.

روش‌ها: این تحقیق به توسعه یک چهارچوب جدید برای ارزیابی و انتخاب پیمانکاران مکانیکی با در نظر گرفتن معیارهای پایداری پرداخته است. در مرحله اول، قدرت داخلی هر یک از معیارهای پایداری توسط روش AHP راف-فازی تعیین شده و سپس با استفاده از روش دیمتل راف-فازی، روابط درونی بین این معیارها مشخص می‌شود. در مرحله دوم، ترکیب قدرت داخلی و تأثیرات خارجی معیارها منجر به تشکیل ماتریس قدرت-ارتباط راف-فازی و محاسبه وزن معیارها می‌شود. نهایتاً، برای تعیین رتبه پیمانکاران، از روش تاپسیس راف-فازی استفاده می‌شود .

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۱۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۱، تاریخ اولین انتشار: ۱۴۰۴/۰۵/۱۸.

* دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

** استادیار، گروه مدیریت عملیات و فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

نویسنده مسئول : farrokh@khu.ac.ir

چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴۰۳، دوره ۱۵، شماره ۳، صص ۵۸ – ۹۰، doi: 10.48308/JIMP.15.3.58

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

نوع مقاله: پژوهشی

یافته‌ها: مدل پیشنهادی که رویکردی راف-فازی یکپارچه است، می‌تواند به طور همزمان قدرت داخلی و تأثیرات بین معیارها را بررسی نماید و انعطاف لازم برای مدیریت عدم‌اطمینان داخلی و خارجی را فراهم کند. این تحقیق با بررسی کارایی و عملکرد مدل در یک مثال واقعی از ارزیابی پیمانکار مکانیکی پایدار و مقایسه آن با روش‌های دیگر، نتایج قابل توجهی را به نمایش می‌گذارد .نتایج حاصل از روش دیمتل-تاپسیس راف-فازی نشان می‌دهد که پنج شاخص اصلی در انتخاب پیمانکاران شامل قیمت مناقصه، تجهیزات، سیستم مدیریت محیطی، توانایی مالی و فناوری سبز و پاک است. به‌ویژه در شرایط اقتصادی کنونی و وجود تحریم‌ها، توجه به توان مالی پیمانکار و ضرورت تجهیزات پیشرفته اهمیت زیادی دارد.با توجه به شرایط اقتصادی و تحریم‌ها، قیمت مناقصه باید به عنوان مهم‌ترین عامل در انتخاب پیمانکاران در نظر گرفته شود. معیارهای شناسایی‌شده نشان‌دهنده تأثیر مثبت پایداری اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی بر انتخاب پیمانکار است و مدیران می‌توانند از آن‌ها برای شناسایی بهترین گزینه‌ها و بهبود فرآیندها استفاده کنند.

نتیجه‌گیری: تحقیق حاضر، نقطه قوتی در زمینه انتخاب پیمانکار پایدار به شمار می‌رود و رویکرد نوین خود را به عنوان ابزاری مؤثر برای مدیران معرفی می‌کند. ارائه یک چهارچوب راف-فازی، امکان تصمیم‌گیری دقیق‌تر و مؤثرتر در انتخاب پیمانکاران را فراهم می‌آورد و بر اهمیت توجه به پایداری در فرآیندهای مدیریتی تأکید می‌کند. این مدل می‌تواند به عنوان یک راهکار جامع برای مقابله با چالش‌های موجود در ارزیابی پیمانکاران به کار گرفته شود با توجه به ترکیب مجموعه فازی و مجموعه راف برای مدیریت کامل عدم‌قطعیت های داخلی و خارجی، روش راف-فازی پیشنهادی یک نتیجه ارزیابی قابل توجه متفاوتی در مقایسه با سه روش دیگر نشان می‌دهد. بنابراین، استفاده از روش راف-فازی تأثیر قابل توجهی بر نتیجه نهایی روش دیمتل و تاپسیس دارد

واژه‌های کلیدی: انتخاب پیمانکار؛ پیمانکار پایدار؛ دیمتل؛ قدرت-ارتباط راف-فازی؛ تاپسیس راف-فازی.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

استناددهی: توسلی، امیر؛ فرخ، مجتبی؛ یوسفی‌زنوز، رضا (۱۴۰۴). ارائه یک رویکرد نوین دیمتل-تاپسیس راف-فازی برای انتخاب پیمانکاران با رویکرد پایدار. چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۵(۳)، ۵۸-۹۰.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

۱. مقدمه

امروزه، تصمیم‌گیري براي انتخاب پیمانکار یک موضوع کلیدي است کـه مـدیران اجرایـی و خریـد بـراي بـاقی ماندن در دنیاي به شدت رقابتی با آن مواجه هستند. هر ساله تعداد زیادی پروژه در حوزه‌های صنعتی و تولیدی به پیمانکاران واگذار می‌شود که به دلیل عدم انتخاب پیمانکار مناسب با شکست در اجرای پروژه روبرو می‌گردند [۱۹]. پیمانکاری که انتخاب می‌شود باید توانایی‌های لازم را برای انجام پروژه در محدوده زمان و با کیفیت مورد نظر داشته باشد و هدف مهم‌تر، شناسایی پیمانکاری است که بالاترین ظرفیت را جهت تأمین نیازهای شرکت با یک هزینه قابل قبول دارا باشد [۱۴]. از آنجا که سازمان‌ها دارای ویژگی‌ها و شرایط متفاوتی هستند، بنابراین باید هر سازمانی متناسب با این تفاوت‌ها، نسبت به طراحی چارچوبی برای ارزیابی پیمانکاران اقدام نماید [۲۷]. هرچند در پژوهش‌های پیشین به مسئله انتخاب پیمانکار پرداخته شده است، اما ضروری است که تمرکز ویژه‌تری بر مفهوم پیمانکار پایدار و اهمیت آن در قالب نیازهای نوین و استراتژیک صنعت مورد مطالعه قرار گیرد. با رشد نگرانی‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی، نیاز است که فرآیندهای ارزیابی و انتخاب پیمانکاران، فراتر از معیارهای سنتی مانند قیمت و زمان، به ابعاد پایداری توجه ویژه‌ای داشته باشند [۲۳ و ۱]. در این راستا، فقدان رویکرد جامع و کاربردی برای ارزیابی و انتخاب پیمانکاران با رویکرد پایدار، مشکلی است که می‌تواند منجر به انتخاب نادرست، تاثیرات منفی بر محیط زیست، جامعه و اقتصاد پروژه‌ها و در نهایت کاهش کیفیت و بهره‌وری کل فرآیندهای عملیاتی گردد [۱۷]. بنابراین، توسعه روش‌ها و چارچوب‌های نوین و پایدار در فرآیند انتخاب پیمانکاران، از ضرورت‌های امروز صنعت و مدیریت پروژه‌ها محسوب می‌شود. در شرکت صنایع الکترواپتیک صاایران، که به‌عنوان تولیدکننده پیشرفته دستگاه‌های ایکس‌ری بازرسی چمدان و بار فعالیت می‌کند، اهمیت توجه به ابعاد پایداری در فرآیند انتخاب پیمانکاران بر اساس ملاحظات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. این دستگاه‌ها با استفاده از فناوری‌های پرتوزا و پرقدرت، نقش کلیدی در امنیت و کنترل مرزها، فرودگاه‌ها، اماکن عمومی و پارکینگ‌ها دارند. از سوی دیگر، این فناوری‌ها با توجه به حساسیت‌های زیست‌محیطی و ایمنی، نیازمند رعایت استانداردهای سختگیرانه در تولید و بهره‌برداری هستند. ابعاد پایداری در این صنعت شامل کاهش مصرف انرژی، کنترل انتشار اشعه‌های مضر، حفاظت از کارکنان و کاربران، حفظ سلامت جامعه و کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی است. همچنین، مسئولیت‌های اجتماعی و رعایت اصول ایمنی اهمیت ویژه‌ای دارد، چرا که خطا یا کم‌توجهی می‌تواند منجر به حوادث و خسارات جانی و مالی شود. بنابراین، در فرآیند انتخاب پیمانکاران باید معیارهای مربوط به پایداری در ابعاد مذکور مورد توجه قرار گیرد، تا بتوان راهکاری جامع و آگاهانه برای بهبود کیفیت، کاهش اثرات زیستی منفی و ارتقاء مسئولیت‌پذیری شرکتی اتخاذ کرد.

جهت انتخاب پیمانکار استفاده از روش‌های آزمون و خطا غیرممکن است و هزینه‌های زیادی را به سیستم تحمیل می‌کند. از سوی دیگر، در مسائل مربوط به تصمیم‌گیری انتخاب پیمانکار، عدم‌قطعیت و استواری جواب‌ها باعث انعطاف‌پذیری ساختار تصمیم‌گیری و کنترل روند تصمیم‌گیری می‌شود [۲۴]. بنابراین، استفاده از تکنیک‌های ریاضی مانند روش‌های تصمیم‌گیری تحت شرایط عدم‌اطمینان می‌تواند کمک زیادی به تصمیم‌گیرندگان در این زمینه کند. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره کارفرما را بر آن می‌دارد تا با تکیه بر نظرات کارشناسان معیارهای تصمیم‌گیری را تعیین کند و اهمیت نسبی معیارها را ارزیابی کند [۲۱].

برخی محققان از روش دیمتل[1] برای تعیین وزن شاخص‌های پایداری استفاده می‌کنند. این روش ابزار کاربردی است برای ساختاردهی روابط علت و معلولی پیچیده بین شاخص‌ها با ماتریس‌های رابطه مستقیم یا نمودارهای گرافیکی (مثلاً، نمودار علت و معلولی، نقشه تعامل)، که رابطه بین عناصر سیستم را نشان می‌دهد [۲۱ و ۴]. بااین‌حال، روش دیمتل اثر قدرت هر عامل بر تأثیرگذاری بین عوامل را در نظر نمی‌گیرد. در پژوهش حاضر، برای حل این مشکل، ابتدا قدرت داخلی هر شاخص پایداری با روش فرآیند سلسله مراتبی تحلیلی[2] (AHP) برآورد می‌شود. برای نشان دادن تأثیرات خارجی بین شاخص‌های پایداری، همزمان یک ماتریس رابطه مستقیم ساخته می‌شود. سپس، یک ماتریس کل رابطه قدرت-رابطه که هم اثرات داخلی و هم تأثیرات خارجی شاخص‌های پایداری را در نظر می‌گیرد، توسعه می‌یابد تا تأثیر کلی شاخص‌های پایداری ارزیابی پیمانکاران را به طور کامل منعکس کند. در نهایت، شاخص‌های پایداری براساس تأثیر کلی هر شاخص اولویت‌بندی می‌شوند. این روش در تعیین وزن شاخص‌های پایداری این مزیت را دارد که هم قدرت داخلی و هم تاثیر خارجی شاخص‌ها را در نظر می‌گیرد. این رویکرد نقطه

1. DEMATEL (DecisionMaking Trial and Evaluation Laboratory)
2. Analytic Hierarchy Process (AHP)

ضعف روش AHP و روش دیمتل که به ترتیب ارتباطات بین شاخص‌ها و قدرت شاخص‌ها را در نظر نمی‌گیرند را برطرف می‌کند. تفاوت این روش با روش دیمتل راف-فازی معرفی شده توسط چن[1] و همکاران (۲۰۲۰) [۷] در این است که در پژوهش حاضر قدرت داخلی شاخص‌ها نیز در محاسبه وزن شاخص‌ها لحاظ می‌شود .

فرآیند تصمیم‌گیری در مورد شاخص‌های پایداری همراه با عدم‌قطعیت داخلی ناشی از ابهام فردی در تفکر و بیان ترجیحات خبرگان و عدم‌قطعیت خارجی ناشی از تنوع ترجیحات گروهی با توجه به قضاوت‌های افراد مختلف است ازیک‌سو، فرآیند تصمیم‌گیری شامل حجم زیادی از اطلاعات و دانش خبرگانی است که معمولاً ناپایدار، ذهنی یا حتی ناسازگار است، زیرا تصمیم‌گیرندگان قضاوت‌های کلامی مبهمی را برای ارزیابی قدرت و تاثیرات بین شاخص‌های پایداری به کار می‌برند که منجر به عدم‌قطعیت داخلی می‌شود. بنابراین، فرآیندهای تصمیم‌گیری دقیق مناسب مدیریت چنین اطلاعاتی نیستند. برای مدیریت عدم‌قطعیت داخلی و ذهنیت کارشناسان مختلف، روش دیمتل فازی[2] توسط برخی محققین مانند [۷] برای ارزیابی شاخص‌های پایداری به کار گرفته شده است. علاوه براین، در بسیاری از مطالعات قبلی، مجموعه‌های راف[3] برای مدیریت عدم‌قطعیت خارجی به کار رفته است، زیرا این روش در تجمیع قضاوت‌های متعدد به بازه‌های راف انعطاف‌پذیر که حاوی اطلاعات کافی مربوط به تصمیم‌گیرندگان گروهی است، خوب عمل می‌کند. برخی از نویسندگان مانند [۳۳]، از دیمتل راف برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار استفاده کرده‌اند. این روش مبتنی بر مجموعه‌های راف قابلیت بالایی برای مدیریت عدم‌قطعیت خارجی دارند، هرچند که برای مقابله با عدم‌قطعیت داخلی مناسب نیستند. بنابراین، توسعه یک روش‌شناسی سیستماتیک برای در نظر گرفتن همزمان این دو نوع عدم‌قطعیت ضروری است. برای حل این مسئله، برخی از محققین مانند [۷] از مجموعه اعداد راف-فازی در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده کردند که مرجع مفیدی برای مدیریت همزمان عدم‌قطعیت داخلی و خارجی فراهم می‌آورد. نوآوری پژوهش حاضر شامل موارد زیر است: (۱) در نظر گرفتن همزمان قدرت و تأثیر شاخص‌های پایداری در مدل دیمتل تا تصویر کامل و دقیقی از جایگاه شاخص‌های پایداری ارائه دهد، که در تحقیقات قبلی دیده نشده است؛ (۲) روش دیمتل راف-فازی پیشنهادی در مقایسه با دیمتل فازی یا رویکرد مبتنی بر دیمتل راف، نتایج را دقیق‌تر و عینی‌تر ارائه می‌دهد؛ چون روش پیشنهادی، مزیت مجموعه فازی (مدیریت عدم‌قطعیت داخلی) و مجموعه راف (عدم‌قطعیت خارجی) را با هم ترکیب می‌کند [۴]. این ترکیب، عدم‌قطعیت را در طول فرآیند ارزیابی درنظر می‌گیرد و همچنین تحریف اطلاعات را کاهش می‌دهد که ممکن است به خروجی‌های نادرست منجر شود. در نتیجه، می‌توان گفت روش دیمتل- تاپسیس راف-فازی پیشنهادی به نتایج دقیق، عینی و تحریف نشده‌ای از ارزیابی معیارها و انتخاب پیمانکار دست می‌یابد [۷]؛ و (۳) درک رابطه بین معیارهای پایداری ارزیابی پیمانکاران برای تولید بینش‌های مفید و نکات عملی، و کمک به مدیران و پیمانکاران در تمرکز بر مسائل کلیدی که ممکن است بر عملکرد مدیریت و انتخاب پیمانکاران تأثیر بگذارند این مطالعه به شناسایی روشی برای انتخاب پیمانکار پایدار با توسعه یک رویکرد جدید دیمتل- تاپسیس[4] مبتنی بر مجموعه‌های راف-فازی را با در نظر گرفتن عدم‌قطعیت‌های داخلی و خارجی پیشنهاد می‌کند.

در این پژوهش، شرکت صنایع الکترواپتیک صاایران به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. این شرکت با توجه به جایگاه ویژه‌ای که در تولید محصولات مخابراتی در کشور دارد دارای پیمانکاران زیاد، به خصوص در شاخه مکانیکی می‌باشد. با توجه به اینکه وجود یک چهارچوب و روش برای ارزیابی و انتخاب پیمانکاران مکانیکی در شرکت صنایع الکترواپتیک صاایران به عنوان خلا و نقص احساس می‌شود، این تحقیق در دستور کار قرار گرفته است لازم به ذکر است که با توجه به حساس بودن پروژه‌ها و برونسپاری بخش اعظمی از ساخت محصولات به صورت ماژولار به پیمانکاران، انتخاب نامناسب پیمانکار مکانیکی، عواقب سنگینی در مدیریت زمان تحویل محصول به مشتری، بهای تمام شده و کیفیت محصول و همچنین اعتبار شرکت ایجاد می‌کند. در مرحله بعدی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به رتبه‌بندی پیمانکاران مکانیکی این شرکت پرداخته خواهد شد. در این تحقیق چهارچوبی ارائه خواهد شد که بتواند ارتباط و قدرت بین معیارها را در نظر گرفت. هدف اساسی در این پژوهش ارزیابی و رتبه‌بندی شرکت‌های پیمانکار مکانیکی براساس معیارهای پایداری می‌باشد.

1. Chen
2. Fuzzy
3. Rough
4. TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution)

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱ ارزیابی پیمانکار پایدار

پیمانکار شخصی حقیقی یا حقوقی است که طی امضای قرارداد با کارفرما، متعهد به اجرای موضوع مورد قرارداد می‌شود. پیمانکار موظف به انجام کاری است که توسط کارفرما در قرارداد به او محول شده است. یک پیمانکار، با خرید قطعات و تجهیزات، مواد، لوازم و خدمات، فعالیت‌هایی انجام می‌دهد که باعث ارزش افزوده می‌شود [۲]. برای پیمانکار بسیار مهم است که محصولات را در زمان مناسب، در مقادیری که کارفرما نیاز دارد و به شیوه‌ای مقرون به صرفه به آن‌ها تحویل دهد. با این حال، به دلیل تغییرات در محیط کسب و کار امروز و سرعت شتابان آن تغییرات، پیش‌بینی تقاضا در بازار دشوار است و رضایت مشتریان دشوارتر است. از آنجایی که عملکرد تجاری یک پیمانکار تا حد زیادی به تامین کنندگان آن وابسته است، مدیریت استراتژیک تامین کننده، از دیدگاه یک پیمانکار، به یک موضوع مهم تبدیل شده است.

بررسی مقالات نشان می‌دهد اگر چه در ظاهر در میان انتخاب پیمانکار و انتخاب تامین کننده شباهت وجود دارد، اما در واقع این چنین نیست. با وجود ظاهر مشابه جزئیات این عملکردها متفاوت است. ارتباط کاری پیمانکار با تامین کننده در حین اجرای پروژه با ویژگی‌های مربوط به ارتباط خریدار و فروشنده متفاوت است. بنابراین تمام معیارهای مورد بررسی نیز به دلیل تمایز در نوع رابطه و عملکرد به گونه‌ای متفاوت هستند. برای مثال، معیار زمان در انتخاب تامین‌کننده شاخص مهمی در تحویل به موقع مصالح و مواد مصرفی است اما در انتخاب پیمانکار این شاخص به طور مستقیم اهمیت چندانی در انتخاب ندارد و در زمان اجرای پروژه یعنی پس از انتخاب اهمیت می‌یابد و انجام هر مرحله از زمان مشخص شده برای ورود به مراحل بعدی پروژه امری الزامی است [۲۰]. در مورد انتخاب پیمانکاران، هرچند که معیارهای انتخاب به خوبی توسعه یافته اند، اما نه در مورد تعداد معیارها و نه نظریه‌ی کلی که معیارهای انتخاب شده را تعیین کنند، اتفاق نظر وجود ندارد. به طور کلی، ضعف در شیوه انتخاب پیمانکاران شامل فقدان یک رویکرد جهانی، محرمانه بودن نتایج پیش از احراز صلاحیت، اتکا به تصمیم‌گیری مبتنی بر هزینه و موضوعیت فرایند می‌باشد [۱۴].

ارزیابی پیمانکار پایدار یکی از مهم‌ترین مراحل در تضمین اجرای پروژه‌های بلندمدت و محافظت از محیط زیست و جامعه است. این فرآیند شامل بررسی معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است تا ضمن ارزیابی توانایی فنی و مالی پیمانکار، تأثیرات محیطی و اجتماعی اجرای پروژه نیز مورد توجه قرار گیرد. بهره‌گیری از روش‌های نوین مانند شاخص‌های پایداری، معیاری سازی کیفیت و دوام، و توجه همزمان به مسئولیت‌های اجتماعی، به تصمیم‌گیری صحیح و بهبود عملکرد کلی پیمانکار کمک می‌کند. در نتیجه، ارزیابی جامع و مستمر پیمانکار، نقش کلیدی در ارتقاء سطح پایداری پروژه‌ها و کاهش اثرات منفی آن‌ها ایفا می‌کند [۲۳ و ۱]. در مطابقت با سیاست پایداری، پیمانکاران باید استراتژی پایداری روشنی برای دستیابی به اهداف پایداری خود داشته باشند. استراتژی‌های پایداری باید برای بهبود عملکرد پایداری پیمانکاران و تقویت ارتباط بین آن‌ها طراحی شود. بنابراین، پیمانکاران برای بهبود رقابت آتی خود باید استراتژی پایداری خود را توسعه دهند. پیاده‌سازی سیاست پایداری در سازمان‌های پیمانکاری ضروری است. سیاست پایداری بیانیه‌ای از تعهد پیمانکار در مورد اهداف مورد نظر است. این تعهد برای حفاظت از محیط زیست و افزایش مسئولیت اجتماعی است [۱۷].

گو[1] و همکاران (۲۰۲۳) چارچوبی یکپارچه برای پژوهش‌های آینده و راهنمایی برای مدیران اجرایی در جهت تقویت توانمندی‌های سبز پیمانکاران ارائه دادند. به زعم آن‌ها، توانمندی‌های پیمانکاران در حوزه پایداری، نقش اساسی در تحقق اهداف توسعه پایدار ایفا می‌کند. با وجود اینکه تحقیقات متعددی در زمینه مدیریت پایدار به صورت مستقل انجام شده است، اما مکانیزم‌های شکل‌گیری و عملکرد پایداری به دلیل چندرشته‌ای بودن آن، هنوز کاملاً روشن نیست. آن‌ها بر اساس مرور سیستماتیک ۷۴ مقاله منتشر شده بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۲، پنج حوزه اصلی در پژوهش‌های مرتبط شناسایی شده است: اجرا و عملکرد پایدار، تاثیر عمیق آن، رابطه‌اش با پایداری کلی [۱۴]. به زعم النسور[2] و همکاران (۲۰۲۳) در حوزه ارزیابی عملکرد پیمانکاران در پروژه‌های ساخت‌وساز، توسعه شاخص‌های ارزیابی پایداری پیمانکاران، با توجه به اثرات منفی صنعت ساخت‌وساز بر محیط‌زیست، جامعه و اقتصاد، اهمیت فزاینده‌ای یافته است. در حالی که تمرکز بر ارتقاء عملکرد پایدار پیمانکاران در پروژه‌های ساخت‌وساز می‌تواند نقش کلیدی در کاهش اثرات منفی این صنعت ایفا کند، نبود رویکرد جامع و یکپارچه در ارزیابی

1. Gu
2. Alnsour

این عملکرد، یکی از چالش‌های اصلی محسوب می‌شود. بر این اساس، تحقیقات اخیر اقدام به توسعه مجموعه‌ای از ۷۸ شاخص در ابعاد محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی، تولید ناب و فرهنگی برای ارزیابی عملکرد پیمانکاران در مرحله ساخت کرده است. این شاخص‌ها، بر پایه مرور ادبیات، نظرسنجی‌ها و نظر خبرگان طراحی شده‌اند تا بهبود فرآیند ارزیابی و ارتقاء پایداری پروژه‌های ساختمانی در کشورهای در حال توسعه مانند اردن را تسهیل کنند و به بهبود عملکرد پیمانکاران در راستای اهداف توسعه پایدار کمک نمایند [۱].

در این پژوهش، روش‌های انتخاب پیمانکار پایدار از طریق مرور ادبیات طبقه‌بندی می‌شوند. در این پژوهش، پایداری محیطی شامل مدیریت و کنترل آلودگی، فناوری سبز و پاک (استفاده از انرژی های تجدیدپذیر)، مدیریت منابع (جلوگیری از تولید ضایعات) و سیستم‌های مدیریت محیطی هستند. توانایی فنی، عملکرد گذشته شرکت، قیمت محصول، توانایی مالی، کیفیت محصول، زمان تحویل، تجهیزات، خدمات پس از فروش و توانایی مدیریتی به عنوان محرک‌های پایداری اقتصادی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در نهایت، پایداری اجتماعی با در نظر گرفتن آموزش کارکنان (افزایش دانش و مهارت کارکنان)، بهداشت و ایمنی، افشای اطلاعات، حقوق و علایق کارکنان در این مقاله ارزیابی می‌شود.

۲/۲. روش‌های ارزیابی پیمانکار پایدار

حسینی‌نصب و میرغانی‌قمصریان[1] (۲۰۱۵) الگویی برای انتخاب پیمانکاران ارائه داده‌اند. این مدل براساس مدل معیارهای چند مرحله‌ای برای ارزیابی صلاحیت پیمانکار ساخته شده است. برای ارزیابی پیمانکاران، از طریق تحقیقات ادبی و نظرات کارشناسان، ۶ معیار و ۲۲ زیرمعیار به تصویب رسید. سپس، AHP برای تهیه یک مدل ارزیابی فازی پیاده‌سازی شد. سپس از روش تاپسیس فازی برای رتبه‌بندی پیمانکاران استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد ثبات مالی، ظرفیت فنی و تجربه مهم‌ترین معیار در انتخاب پیمانکار هستند [۱۲]. الخولي[2] (۲۰۱۹) یک تکنیک جدید به نام CBA[3] برای انتخاب پیمانکاران ارائه کرده است. در این تکنیک پس از تعیین عوامل موثر بر انتخاب پیمانکاران، تکنیک پیشنهادی در یک مطالعه موردی توسعه یافته و با روش‌های مشابه مقایسه شد. معیارهای نهایی برای انتخاب پیمانکاران شامل قیمت مناقصه، عملکرد گذشته، گواهینامه‌های کیفی، توانایی فنی کارکنان، وضعیت مالی، زمان تحویل پروژه، بهداشت و ایمنی، مدیریت ارتباطات، ظرفیت تولید و تجهیزات می‌باشند [۹]. سنتیل[4] و همکاران (۲۰۱۵) یک روش ترکیبی استوار با استفاده از AHP و تاپسیس فازی برای اولویت‌بندی پیمانکاران ارائه کرده‌اند. معیارهای ارزیابی احتمالی مربوط به انتخاب پیمانکار، براساس بررسی ادبیات و با اعتبار متخصصان صنعتی تعریف شد و شامل زمان، هزینه، انعطاف‌پذیری، ذخیره‌سازی، بسته‌بندی، مرتب‌سازی، تحویل، بازیابی، بازیافت، تولید مجدد، استفاده مجدد، دفع مجدد، ظرفیت مالی برای سرمایه‌گذاری، سطح تجهیزات پیشرفته، ظرفیت شبکه، ظرفیت حمل و نقل، به موقع بودن سرویس، سرویس شخصی‌سازی شده، توانایی کنار آمدن با مشکلات، به اشتراک‌گذاری مزایا و خطرات، سازگاری فرهنگ سازمان، آشنایی با منطقه، موقعیت جغرافیایی، تناسب فرهنگی، منابع انسانی، عملکرد گذشته، تبادل اطلاعات الکترونیکی، سطح فناوری اطلاعات می‌باشد [۲۹]. لیسنیاك[5] و همکاران (۲۰۱۸) مدلی را براساس AHP فازی برای بهبود کارآیی انتخاب پیمانکار ارائه کرده‌اند. مدل پیشنهادی براساس فاکتورهای انتخاب شده توسط پیمانکاران لهستانی بود. عنصر اصلی مدل شامل ۴ معیار اصلی (توانایی‌های شرکت، ویژگی‌های سرمایه‌گذاری، شرایط مالی و ویژگی‌های مناقصه) و ۱۵ زیر معیار برای ارزیابی پروژه‌های تصمیم‌گیری در زمینه سرمایه‌گذاری بودند. از نظر نویسندگان جانمایی شرکت، تجربه گذشته، زمان تحویل، وضعیت پیمانکاران زیردستی، شرایط مالی و .... پیمانکار می‌تواند برای ارزیابی آن اهمیت داشته باشد [۱۸]. سرکیس[6] و همکاران (۲۰۱۲) به ارائه یک الگوی تصمیم‌گیری استوار و چارچوبی برای انتخاب پیمانکاران براساس جنبه های سه‌گانه اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی پرداختند. مدل و چارچوب تصمیم‌گیری پیشنهادی به تصمیم‌گیرنده در تشکیل تیم پروژه ساختمانی کمک می‌کند که بیشترین سود را برای کل هدف پایداری و سازگاری در بین شرکت‌های پیمانکار داشته باشد. این مدل از هر دو AHP و ANP استفاده می‌کند. استواری تصمیمات نیز با استفاده از تجزیه و تحلیل حساسیت تضمین می‌شود [۳۰]. کشاورزقباخلو[7] و همکاران (۲۰۱۸) فرآیند ارزیابی پیمانکاران را با توجه به

1. Hosseini Nasab & Mirghani Ghamsarian
2. El-Kholy
3. Cost By Advantages
4. Senthil
5. Leśniak
6. Sarkis
7. Keshavarz-Ghorabaee

عدم‌اطمینان اطلاعات بررسی کردند. آن‌ها این فرآیند را به عنوان یک مسئله تصمیم‌گیری گروهی چندمعیاره پویا تعریف کردند. روش پیشنهادی براساس روش EDAS[1] طراحی شد که یک رویکرد جدید و کارآمد تصمیم‌گیری چند معیاره است. در روش پیشنهادی می‌توان مجموعه‌های مختلفی از گزینه‌ها، معیارها و تصمیم‌گیرندگان را در دوره‌های زمانی مختلف تعریف کرد و ارزیابی را در یک محیط فازی انجام داد. در این پژوهش به بررسی معیارهای پایداری قابلیت اطمینان، توانایی مدیریت و برنامه‌ریزی، مدیریت منابع انسانی پرداخته شد. در این رویکرد، عملکرد هر گزینه در هر دوره با یک تابع تجمیعی به روز می‌شود، بنابراین، می‌توان اطمینان حاصل کرد که ارزیابی نهایی اهمیت اطلاعات تصمیم‌گیری به روز را در برمی‌گیرد. از آنجا که وزن معیارها و همچنین مجموعه معیارها می‌توانند در هر دوره در فرآیند استفاده از رویکرد پیشنهادی تغییر کنند، برای انجام تجزیه و تحلیل حساسیت در روش پیشنهادی، یک روش تحقیق جدید طراحی شد. روند ارزیابی توسط پیمانکار اصلی پروژه در چهار دوره انجام می‌شود. در این مسئله، چهار معیار قابلیت اطمینان، توانایی کنترل برنامه، توانایی مدیریت و کیفیت کار برای ارزیابی پیمانکاران تعریف شده است [۱۶].

بولات[2] (۲۰۱۶) یک رویکرد تصمیم‌گیری یکپارچه، متشکل از AHP و روش پرومته[3] برای انتخاب پیمانکار ارائه کرد. در روش پیشنهادی، از AHP برای تدوین ساختار مسئله انتخاب پیمانکار و تعیین وزن معیارها و از روش پرومته برای تعیین اولویت‌های گزینه‌ها استفاده شد .معیارهای انتخاب پیمانکاران شامل قیمت مناقصه، وضعیت مالی، کفایت منابع، تجربه کاری مشابه، تعهد و حجم کار فعلی، عملکرد با کیفیت، عملکرد ایمنی، امکان تحویل به موقع کار، صلاحیت فنی، روابط با پیمانکار اصلی، اعتبار شرکت و دسترسی به پیمانکار می‌باشد. رویکرد پیشنهادی برای انتخاب مناسب‌ترین پیمانکار در یک پروژه ساخت و ساز بین المللی اعمال شد [۲۵]. حسنین[4] و همکاران (۲۰۱۸) از روش AHP برای شناسایی و اولویت‌بندی فاکتورهای موثر بر تصمیم‌گیری انتخاب پیمانکار استفاده کردند. در مجموع ۱۵ عامل از تحقیقات پیشین منتشر شده از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ شناسایی شد .علاوه بر این، ۳۶ متخصص ساخت و ساز با حداقل ۵ سال تجربه از طریق پرسشنامه، نظرات خود را برای تعیین مقادیر ماتریس‌های زوجی اعلام کردند. معیارهای بررسی شده توسط نویسندگان شامل پیشنهاد قیمت مناقصه، هزینه چرخه عمر پروژه، توانایی مالی، منابع مالی اضافی برای پروژه‌های اولویت‌دار، عملکرد و تخصص گذشته شرکت، تعداد پرسنل اصلی، استفاده بهینه از منابع، سطح آموزش و مهارت تیم پروژه، اقدامات کنترل کیفی، پاسخگویی به الزامات طراحی، انتظارات و رضایت کاربر، برنامه واقعی برای کارهای مشابه، روند کنترل و نظارت بر پروژه، اثرات زیست محیطی و عملکرد ایمنی و بهداشتی بود [۱۳]. چالیک[5] و همکاران (۲۰۱۹) رویکردی یکپارچه برای انتخاب تأمین کننده یک شرکت الکترونیکی در ترکیه ارائه کرده‌اند که شامل سه مرحله است. در مرحله اول به منظور تعیین وزن معیارها با توجه به نظرات متخصصان، از روش AHP فازی استفاده شد. در این تحقیق معیارهای هزینه، کیفیت، تحویل به موقع، کاهش ضایعات، اجتناب از مواد خطرناک، بهره‌وری انرژی، ایمنی و بهداشت شغلی، مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها و غیره مطرح شد. خروجی مرحله اول داده‌های کمی یک مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه است. در مرحله بعدی، یک رویکرد فازی جدید با حداکثر انطباق با تصمیم‌گیری گروهی پیشنهاد و اعمال شد تا تضمین کند که درجه رضایت هر یک از توابع هدف در مدل چندهدفه بیشتر یا برابر با وزن خودشان است [۵]. کوک[6] و همکاران (۲۰۲۳) بر توسعه مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی ترکیبی AHP و TOPSIS، تمرکز کرده‌اند تا فرآیند ارزیابی و شناسایی پیمانکاران در پروژه‌های ساخت‌وساز را به صورت سیستماتیک، شفاف و کارآمد ارتقاء دهند. این رویکردها در پروژه‌هایی مانند نیروگاه‌های آبی به‌دلیل چالش‌های زیست‌محیطی، نقش کلیدی در انتخاب پیمانکاران دارای توان مالی قوی، استراتژی‌های پایدار و روش‌های نوین ساختمانی مانند ساخت مدولار ایفا می‌کنند. استفاده از این مدل‌های تصمیم‌گیری، ابزار مؤثری برای توسعه راهکارهای سازگار با اصول پایدار و اقتصاد چرخشی در صنعت ساخت‌وساز است که منجر به کاهش ضایعات، صرفه‌جویی در هزینه‌ها و حفظ منابع طبیعی می‌شود [۱۷]. ماسمودی[7] و همکاران (۲۰۲۵) رویکردی نوین در تخصیص پایدار پیمانکاران برای نگهداری ساختمان‌های عمومی ارائه دادند که با استفاده از AHP، TOPSIS و مدل بهینه‌سازی دوهدفه، هزینه‌ها را کاهش و شاخص‌های پایداری را بهبود می‌بخشید. مطالعه موردی در امارات، نشان‌دهنده کارایی و اثربخشی

1. Evaluation based on Distance from Average Solution
2. Polat
3. PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations)
4. Hasnain
5. Çalık
6. Koc
7. Masmoudi

این روش در کاهش هزینه‌ها و محدودسازی تعداد پیمانکاران است. نتایج نشان می‌دهد که ادغام اهداف پایداری در مدیریت تأسیسات، به افزایش پایداری و تحقق اهداف توسعه‌ی جهانی کمک می‌کند [۲۳].

در بررسی مقالات و پژوهش‌های مرتبط، بیشتر مطالعات در حوزه پروژه‌های عمرانی و ساختمانی متمرکز شده‌اند و معیارهای پایداری مورد استفاده اغلب در دسته‌بندی‌هایی مانند مالی، مهارت فنی، ایمنی، تجهیزات، کیفیت، عملکرد گذشته، محیط‌زیست و مدیریت سازمانی قرار دارند. با این حال، بررسی‌های صورت گرفته هنوز به صورت جامع و سیستماتیک، تفاوت‌ها، نقاط قوت و ضعف هر رویکرد و ابزار مورد استفاده در ارزیابی این معیارها را به تفصیل تحلیل نکرده‌اند. از سوی دیگر، بسیاری از این پژوهش‌ها در مواجهه با عدم‌قطعیت‌ها و ابهامات، به طور کافی به تحلیل و مدیریت آن‌ها نپرداخته‌اند و کمبود رویکردهای ترکیبی و جامع که هم عدم‌قطعیت‌های داخلی و خارجی را مدنظر قرار دهند، احساس می‌شود. بر اساس این بررسی، مشخص گردید که معرفی رویکردهای نوین و تلفیقی، مانند ادغام نظریه مجموعه‌های فازی و مجموعه‌های راف، به همراه ابزارهای تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند AHP، دیمتل و تاپسیس، می‌تواند برترین راهکار برای بهبود فرآیند ارزیابی و رتبه‌بندی پیمانکاران در زمینه‌های پایداری باشد. بنابراین، هدف پژوهش حاضر، پر کردن این خلأهای موجود در ادبیات با توسعه یک مدل ترکیبی است که هم امکان در نظر گرفتن هر دو نوع عدم‌قطعیت را فراهم می‌کند و هم قدرت ارزیابی معیارهای پایداری را بهبود می‌بخشد، به‌طوری‌که بتوان پیمانکاران مکانیکی در پروژه‌های ساخت‌وساز با معیارهای دقیق‌تر و علمی‌تر ارزیابی و رتبه‌بندی شوند .

۳. روش‌شناسی پژوهش

این مطالعه یک مدل یکپارچه را برای انتخاب پیمانکاران پایدار ارائه می‌دهد .در این چهارچوب، اعداد فازی مثلثی و اعداد راف برای بررسی عدم‌قطعیت مسئله ترکیب شده‌اند. روش پیشنهادی می‌تواند به طور همزمان قدرت داخلی و تأثیرات خارجی انتخاب پیمانکار پایدار را در نظر بگیرد. این قابلیت اطلاعات دقیق‌تری را برای تصمیم‌گیری در مورد معیارها ارائه می‌دهد و نتایج رتبه‌بندی را دقیق‌تر می‌کند [۴]. رویکرد پیشنهادی یک چهارچوب جدید برای ارزیابی و انتخاب پیمانکاران مکانیکی با توجه به معیارهای پایداری است. در مرحله اول معیارهای پایداری ارزیابی پیمانکاران با بررسی پیشینه پژوهش بدست آمدند، و سپس در مرحله دوم با انجام روش دلفی فازی معیارهای پایداری ارزیابی پیمانکاران از دید خبرگان نهایی می‌شود. در مرحله بعد، قدرت داخلی هر یک از معیارهای پایداری بکمک روش AHP راف-فازی تعیین و سپس بکمک روش دیمتل راف-فازی روابط درونی بین این معیارها مشخص می‌شود. سپس با ترکیب قدرت داخلی و تاثیرات خارجی معیارها، ماتریس قدرت-ارتباط راف-فازی تشکیل و وزن معیارها محاسبه می‌شوند. در مرحله نهایی روش تاپسیس راف-فازی برای تعیین رتبه پیمانکاران استفاده خواهد شد. در ادامه به تشریح روش حل مسئله ارزیابی و انتخاب پیمانکاران پرداخته می‌شود .

۱.۳. شناسایی شاخص‌های پایداری و پیمانکاران

در این مطالعه، ابتدا معیارهای موثر در ارزیابی پیمانکاران که از بررسی پیشینه پژوهش به دست آورده شد. معیارهای ارزیابی پیمانکاران را می‌توان براساس ابعاد پایداری در سه بعد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی آورده شده‌اند.

۲.۳. روش دلفی فازی[1]

این مرحله شامل غربالگری شاخص‌های پایداری در ارزیابی پیمانکاران با بهره‌گیری از روش دلفی فازی است. این رویکرد، روشی است مبتنی بر اصول منطق فازی و سیستم‌های استنتاج فازی، که هدف آن رسیدن به توافق جمعی در مورد شاخص‌ها از دیدگاه خبرگان است. در این مطالعه، فرآیندهای زیر برای ارزیابی و پالایش شاخص‌ها انجام شد:

جمع‌آوری نظرات گروه تصمیم‌گیری: نمره ارزیابی اهمیت هر شاخص توسط هر خبره با استفاده از متغیرهای زبانی در پرسشنامه‌ها به‌دست می‌آید.

تعیین اعداد فازی: مقدار ارزیابی هر شاخص بر اساس نظر کارشناسان براساس جدول ۱ محاسبه می‌شود.

1. Fuzzy Delphi

جدول ۱. مجموعه اصطلاحات زبانی ارزیابی و اعداد فازی مثلثی متناظر با آن [۳۴]

شماره	اصطلاحات زبانی	مقیاس فازی مثلثی
۱	بسیار مهم (VI)	(۷,۹,۹)
۲	مهم (I)	(۵,۷,۹)
۳	متوسط (M)	(۳,۵,۷)
۴	کم اهمیت (U)	(۱,۳,۵)
۵	بسیار کم اهمیت (VU)	(۱,۱,۳)

فرمول محاسباتی به صورت زیر است

فرض کنید مقدار ارزیابی اهمیت شاخص i که توسط خبره s از مجموع S خبره ارائه شده است، برابر با $\tilde{F}_{is}=(a_{is},b_{is},c_{is})$ باشد ($s = 1, 2, ..., S$ و $i = 1, 2, ..., n$)؛ در این صورت، وزن فازی شاخص i ام، برابر با $\tilde{F}_i=(a_i,b_i,c_i)$ خواهد بود، به طوری که:

$$\tilde{F}_i=\left(\underset{s}{Min}\{a_{is}\},\frac{1}{n}\sum_{s=1}^{S}b_{is},\underset{s}{Max}\{c_{is}\}\right)=(a_i,b_i,c_i),\ \ i=1,2,...,n \qquad (۱)$$

قطعی‌سازی: از روش مرکز ثقل ساده برای تبدیل وزن فازی هر شاخص به مقدار قطعی استفاده می‌شود. این مطالعه از مدل میانگین هندسی برای روش دلفی فازی استفاده کرده است تا درک مشترک از تصمیم گروهی به‌دست آید .نتایج به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$F_i=\frac{a_i+b_i+c_i}{3},\ \ i=1,2,..,n \qquad (۲)$$

غربال شاخص‌های ارزیابی: در نهایت، شاخص‌های مناسب از میان شاخص‌های متعدد با تعیین آستانه‌ای α انتخاب می‌شوند. اصل فرآیند غربالگری به شرح زیر است:

- اگر $F_i \geq \alpha$ ، شاخص شماره i به عنوان شاخص ارزیابی انتخاب می‌شود.
- اگر $F_i < \alpha$ ، شاخص شماره i حذف می‌گردد.

سپس فرآیند دلفی برای مرحله بعد تکرار گردید. این حلقه تکرار تا زمانی ادامه می‌یابد که دیگر شاخصی حذف یا افزوده نشود و فرآیند به پایان برسد [۱۱]. نتیجه نهایی این فرآیند، انتخاب ۱۷ شاخص پایداری بود که در جدول شماره ۲ ارائه شده‌اند

جدول ۲. معیارهای پایداری ارزیابی پیمانکاران

ابعاد پایداری	نماد	معیار	شرح	نویسندگان
اقتصادی	EC_1	توانایی فنی	میزان مهارت و تجربه کارکنان	[۹؛ ۱۲؛ ۱۶؛ ۲۵]
	EC_2	عملکرد گذشته شرکت	اعتبار و سابقه در پروژه‌های مشابه	[۹؛ ۱۲؛ ۱۸؛ ۲۹]
	EC_3	قیمت مناقصه	بهای تمام شده اعلامی به کارفرما	[۵؛ ۹؛ ۱۳؛ ۲۵؛ ۲۹؛ ۳۰]
	EC_4	توانایی مالی	گردش مالی و نقدینگی و اعتبار بانکی	[۹؛ ۱۲؛ ۱۳؛ ۱۶؛ ۲۵]
	EC_5	کیفیت	ساخت براساس طراحی و رضایت مشتری	[۵؛ ۱۲؛ ۱۳؛ ۲۵؛ ۲۹]
	EC_6	زمان تحویل	زمان تکمیل ساخت و تحویل به کارفرما	[۵؛ ۹؛ ۱۸؛ ۲۵؛ ۲۹؛ ۳۰]
	EC_7	تجهیزات	ماشین‌آلات و نیروی انسانی	[۹؛ ۱۲؛ ۱۸؛ ۲۵]
	EC_8	خدمات پس از فروش	قطعات یدکی در ساخت	[۹]
	EC_9	توانایی مدیریتی	مدیریت پروژه، منابع انسانی، دانش و ارتباطات	[۹؛ ۲۵؛ ۲۹]
اجتماعی	SC_1	حقوق کارکنان	دستمزد مکفی و عدالت کاری	[۳؛ ۵]
	SC_2	ایمنی و سلامت	رفاه، ایمنی و سلامت کارکنان در محل کار	[۳؛ ۵؛ ۹؛ ۲۵]
	SC_3	افشای اطلاعات	ارائه اطلاعات به مشتریان و ذینفعان آن‌ها تا حد مشخص	[۲۲]
	SC_4	آموزش کارکنان	افزایش دانش و مهارت کارکنان برای یک کار خاص	[۳؛ ۱۰]
زیست محیطی	EN_1	آلودگی محیطی	حداقل میزان آلودگی هنگام تولید محصول	[۳؛ ۵؛ ۱۳؛ ۳۰]
	EN_2	فناوری سبز و پاک	استفاده از انرژی های تجدیدپذیر	[۵؛ ۲۹؛ ۳۰]
	EN_3	مدیریت منابع	جلوگیری از تولید ضایعات	[۳؛ ۵؛ ۲۹؛ ۳۰]
	EN_4	سیستم مدیریت محیطی	سیاست های محیطی مانند انواع ISO	[۹؛ ۲۲]

۳.۳. تحلیل قدرت-رابطه راف-فازی پیشنهادی برای ارزیابی معیارها

برای جمع‌آوری داده‌ها از روش پرسش‌نامه استفاده شده است و پرسش‌نامه بین خبرگان صنعت توزیع می‌شود. داده‌های اخذ شده براساس عبارات کیفی هستند که در ادامه، با توجه به جدول ۳ عبارات کیفی به عبارات کمی تبدیل می گردد.

مرحله ۱. تعیین قدرت درونی معیارها بکمک AHP راف-فازی

مرحله ۱.۱. تشکیل ماتریس مقایسات زوجی زبانی

با فرض اینکه یک گروه تصمیم متشکل از S تصمیم‌گیرنده (DM) وجود دارد که جهت تعیین وزن نسبی معیارها دعوت شده‌اند. از s امین DM خواسته می‌شود که از عبارات کلامی برای بیان درجه ترجیحات یک معیار نسبت به معیارهای دیگر در ماتریس مقایسات زوجی زبانی A^s استفاده کنند که به صورت زیر است:

$$A^s = \begin{pmatrix} 1 & a_{12}^s & \cdots & a_{1n}^s \\ a_{21}^s & 1 & \cdots & a_{1n}^s \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1}^s & a_{n2}^s & \cdots & 1 \end{pmatrix} \quad (۳)$$

جایی که a_{ij}^s درجه ترجیح معیار iام نسبت به معیار j ام را نشان می‌دهد، و $s = 1, 2, ..., S$.

جدول ۳. مقیاس اعداد فازی مثلثی برای متغیرهای زبانی [۳۲]

شماره	اصطلاحات زبانی	مقیاس فازی مثلثی
۱	اهمیت برابر (EI)	(۱، ۱، ۱)
۲	اهمیت ضعیف(WI)	(۰٫۶۷، ۱، ۱٫۵)
۳	اهمیت نسبتاً زیاد (FI)	(۱٫۵، ۲، ۲٫۵)
۴	اهمیت بسیار زیاد (VI)	(۲٫۵، ۳، ۳٫۵)
۵	اهمیت مطلق(AI)	(۳٫۵، ۴، ۴)

مرحله ۲.۱. تشکیل ماتریس مقایسات زوجی فازی

بر طبق باموکار و همکاران[1] (۲۰۱۸) و براساس مقیاس فازی جدول ۳، عناصر a_{ij}^s ماتریس زبانی A^s به اعداد فازی مثلثی[2] $\tilde{a}_{ij}^s = (l_{ij}^s, m_{ij}^s, u_{ij}^s)$ تبدیل می‌شود، جایی که l_{ij}^s و m_{ij}^s و u_{ij}^s به ترتیب نشان دهنده حد پایین، وسط و بالای هر TFN هستند [۲۶]. این ماتریس برای مقایسه زوجی اهمیت نسبی معیارها در مقابل معیارهای دیگر با استفاده از روش AHP تشکیل شده است. عدد فازی مثلثی برای ارزیابی ترجیح هر یک از معیارهای پایداری در رابطه با سایر معیارهای ارزیابی پیمانکاران استفاده می‌شود [۳۱].

سپس، ماتریس مقایسات زوجی فازی $\tilde{A}^s$ به صورت زیر ایجاد می‌شود:

$$\tilde{A}^s = \begin{pmatrix} 1 & \tilde{a}_{12}^s & \cdots & \tilde{a}_{1n}^s \\ \tilde{a}_{21}^s & 1 & \cdots & \tilde{a}_{2n}^s \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1}^s & \tilde{a}_{n2}^s & \cdots & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \tilde{a}_{12}^s & \cdots & \tilde{a}_{1n}^s \\ 1/\tilde{a}_{12}^s & 1 & \cdots & \tilde{a}_{2n}^s \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/\tilde{a}_{1n}^s & 1/\tilde{a}_{2n}^s & \cdots & 1 \end{pmatrix} \quad (۴)$$

مرحله ۳.۱. تشکیل ماتریس مقایسات زوجی فازی گروهی

با تجمیع ماتریس‌های مقایسات زوجی فازی با همدیگر که توسط S خبره تشکیل شده، ماتریس مقایسات زوجی فازی گروهی به صورت زیر تشکیل می‌شود:

1. Pamučar et al.
2. Triangular Fuzzy Numbers (TFN)

$$\hat{A}=\begin{pmatrix}1 & \hat{a}_{12} & \cdots & \hat{a}_{1n}\\ \hat{a}_{21} & 1 & \cdots & \hat{a}_{2n}\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ \hat{a}_{n1} & \hat{a}_{n2} & \cdots & 1\end{pmatrix} \quad (۵)$$

جایی که $\hat{a}_{ij}=(\hat{l}_{ij},\hat{m}_{ij},\hat{u}_{ij})$ ، $\hat{l}_{ij}=\{l_{ij}^1,...,l_{ij}^s,...,l_{ij}^S\}$ ، $\hat{m}_{ij}=\{m_{ij}^1,...,m_{ij}^s,...,m_{ij}^S\}$ ، $\hat{u}_{ij}=\{u_{ij}^1,...,u_{ij}^s,...,u_{ij}^S\}$ و TFNs گروهی همچنین به صورت $\hat{a}_{::}=(\tilde{a}_{::}^1,...,\tilde{a}_{::}^s,...,\tilde{a}_{::}^S)$ بیان می‌شود.

مرحله ٤.١. تشکیل ماتریس مقایسات زوجی راف-فازی

TFNs فازی گروهی $\hat{a}_{::}$ می‌تواند طبق رویه عملیات زیر به اعداد راف-فازی تبدیل شود

مرحله ١.٤.١. بدست آوردن تقریب بالا و پایین هر TFNs

برای TFNs گروهی $\hat{a}_{::}=\{\tilde{a}_{::}^1,...,\tilde{a}_{::}^s,...,\tilde{a}_{::}^S\}$ ، تقریب‌های بالا و پایین s امین $\tilde{a}_{::}^s$ به ترتیب به صورت زیر می‌تواند بدست آید:

$$\underline{Apr}(\tilde{a}_{ij}^s)=\cup\{\tilde{a}_{ij}^t\in\hat{a}_{ij}\,/\,\tilde{a}_{ij}^t\le\tilde{a}_{ij}^s\} \quad (۶)$$

$$\overline{Apr}(\tilde{a}_{ij}^s)=\cup\{\tilde{a}_{ij}^t\in\hat{a}_{ij}\,/\,\tilde{a}_{ij}^t\ge\tilde{a}_{ij}^s\} \quad (۷)$$

جایی که $\underline{Apr}(\tilde{a}_{::}^s)$ و $\overline{Apr}(\tilde{a}_{::}^s)$ به ترتیب تقریب پایین و بالای $\tilde{a}_{::}^s$ هستند [۶].

مرحله ٢.٤.١. بدست آوردن حد بالا و پایین هر TFNs

حد بالا و حد پایین $\tilde{a}_{::}^s$ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\underline{Lim}(\tilde{a}_{ij}^s)=\left(\underline{Lim}(l_{ij}^s),\underline{Lim}(m_{ij}^s),\underline{Lim}(u_{ij}^s)\right)=\left(\left(\prod_{k=1}^{N_s^L}x_i^l\right)^{1/N_s^L},\left(\prod_{k=1}^{N_s^L}x_i^m\right)^{1/N_s^L},\left(\prod_{k=1}^{N_s^L}x_i^u\right)^{1/N_s^L}\right) \quad (۸)$$

$$\overline{Lim}(\tilde{a}_{ij}^s)=\left(\overline{Lim}(l_{ij}^s),\overline{Lim}(m_{ij}^s),\overline{Lim}(u_{ij}^s)\right)=\left(\left(\prod_{k=1}^{N_s^U}y_i^l\right)^{1/N_s^U},\left(\prod_{k=1}^{N_s^U}y_i^m\right)^{1/N_s^U},\left(\prod_{k=1}^{N_s^U}y_i^u\right)^{1/N_s^U}\right) \quad (۹)$$

جایی که x_i^l ، x_i^m و x_i^u به ترتیب عناصر تقریب پایین برای مرز پایین، مرز متوسط، و مرز بالای عدد فازی مثلثی $\tilde{a}_{ij}^s$ هستند، و y_i^l ، y_i^m و y_i^u به ترتیب عناصر تقریب بالا برای مرز پایین، مرز متوسط، و مرز بالای عدد فازی مثلثی $\tilde{a}_{ij}^s$ هستند. همچنین، N_s^L و N_s^U به تعداد موارد موجود در تقریب پایین و تقریب بالای عدد فازی مثلثی $\tilde{a}_{::}^s$ اشاره دارند.

مرحله ٣.٤.١. تبدیل هر TFN به فرم راف-فازی

فرم راف-فازی $RF(\tilde{a}_{::}^s)$ به صورت زیر می‌تواند بیان شود

$$RF(\tilde{a}_{ij}^s)=\left[\tilde{a}_{ij}^{sL},\tilde{a}_{ij}^{sU}\right]=\left[(l_{ij}^{sL},m_{ij}^{sL},u_{ij}^{sL}),(l_{ij}^{sU},m_{ij}^{sU},u_{ij}^{sU})\right] \quad (10)$$

$$\left[\tilde{a}_{ij}^{sL},\tilde{a}_{ij}^{sU}\right]=\left[\underline{Lim}(\tilde{a}_{ij}^s),\overline{Lim}(\tilde{a}_{ij}^s)\right] \quad (11)$$

$$(l_{ij}^{sL},m_{ij}^{sL},u_{ij}^{sL})=(\underline{Lim}(l_{ij}^s),\underline{Lim}(m_{ij}^s),\underline{Lim}(u_{ij}^s)) \quad (12)$$

$$(l_{ij}^{sU},m_{ij}^{sU},u_{ij}^{sU})=(\overline{Lim}(l_{ij}^s),\overline{Lim}(m_{ij}^s),\overline{Lim}(u_{ij}^s)) \quad (13)$$

جایی که $\tilde{a}_{ij}^{sL}$ و $\tilde{a}_{ij}^{sU}$ به ترتیب حد بالا و حد پایین عدد راف-فازی $RF(\tilde{a}_{ij}^s)$ هستند. l_{ij}^{sL} و l_{ij}^{sU} به ترتیب حد بالا و حد پایین عدد راف $RN(l_{ij}^s)$ هستند؛ m_{ij}^{sL} و m_{ij}^{sU} به ترتیب حد بالا و حد پایین عدد راف $RN(m_{ij}^s)$ هستند؛ u_{ij}^{sL} و u_{ij}^{sU} به ترتیب حد بالا و حد پایین عدد راف $RN(u_{ij}^s)$ هستند .

مرحله ٤.٤.١. بدست آوردن عدد بازه راف-فازی TFNs گروهی

عدد راف-فازی متوسط $RF(\hat{a}_{..})$ با تجمع اعداد راف-فازی گروهی $RF(\tilde{a}^{s}_{..})$ با استفاده از اصول محاسبه راف به صورت زیر بدست می‌آید:

$$RF(\hat{a}_{ij}) = \left[\tilde{a}^{L}_{ij}, \tilde{a}^{U}_{ij}\right] \quad (14)$$

$$\tilde{a}^{L}_{ij} = (l^{L}_{ij}, m^{L}_{ij}, u^{L}_{ij}) = \left[\left(\prod_{s=1}^{S} l^{sL}_{ij}\right)^{1/S}, \left(\prod_{s=1}^{S} m^{sL}_{ij}\right)^{1/S}, \left(\prod_{s=1}^{S} u^{sL}_{ij}\right)^{1/S}\right] \quad (15)$$

$$\tilde{a}^{U}_{ij} = (l^{U}_{ij}, m^{U}_{ij}, u^{U}_{ij}) = \left[\left(\prod_{s=1}^{S} l^{sU}_{ij}\right)^{1/S}, \left(\prod_{s=1}^{R} m^{sU}_{ij}\right)^{1/S}, \left(\prod_{s=1}^{S} u^{sU}_{ij}\right)^{1/S}\right] \quad (16)$$

جایی که $\tilde{a}^{L}_{ij}$ و $\tilde{a}^{U}_{ij}$ به ترتیب حد بالا و حد پایین عدد بازه راف-فازی $RF(\hat{a}_{ij})$ هستند. l^{L}_{ij} و l^{U}_{ij} به ترتیب حد بالا و حد پایین بازه راف $RN(\hat{l}_{ij})$ هستند؛ m^{L}_{ij} و m^{U}_{ij} به ترتیب حد بالا و حد پایین عدد راف $RN(\hat{m}_{ij})$ هستند؛ u^{L}_{ij} و u^{U}_{ij} به ترتیب حد بالا و حد پایین بازه راف $RN(\hat{u}_{..})$ هستند .

مرحله ۵.٤.۱. بدست آوردن ماتریس مقایسات زوجی راف-فازی

سپس ماتریس مقایسات زوجی راف-فازی را می توان به صورت زیر نوشت

$$RF(\hat{A}) = \begin{pmatrix} 1 & RF(\hat{a}_{12}) & \cdots & RF(\hat{a}_{1n}) \\ RF(\hat{a}_{21}) & 1 & \cdots & RF(\hat{a}_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ RF(\hat{a}_{n1}) & RF(\hat{a}_{n2}) & \cdots & 1 \end{pmatrix} \quad (۱۷)$$

مرحله ۵.۱. بدست آوردن قدرت راف-فازی معیارها

عدد قدرت بازه‌ای راف-فازی $RF(\hat{W}_{i})$ هر معیار با گرفتن میانگین هر سطر ماتریس مقایسات زوجی راف-فازی بدست می‌آید:

$$RF(\hat{W}_{i}) = \left[\tilde{w}^{L}_{i}, \tilde{w}^{U}_{i}\right] \quad (18)$$

$$\tilde{w}^{L}_{i} = (w^{lL}_{i}, w^{mL}_{i}, w^{uL}_{i}) = \left[\frac{\sum_{j=1}^{n} l^{L}_{ij}}{n}, \frac{\sum_{j=1}^{n} m^{L}_{ij}}{n}, \frac{\sum_{j=1}^{n} u^{L}_{ij}}{n}\right], \quad i \quad \{1,2,...,n\} \quad (19)$$

$$\tilde{w}^{U}_{i} = (w^{lU}_{i}, w^{mU}_{i}, w^{mU}_{i}) = \left[\frac{\sum_{j=1}^{n} l^{U}_{ij}}{n}, \frac{\sum_{j=1}^{n} m^{U}_{ij}}{n}, \frac{\sum_{j=1}^{n} u^{U}_{ij}}{n}\right] \quad (20)$$

جایی که $\tilde{w}^{L}_{i}$ و $\tilde{w}^{U}_{i}$ به ترتیب حد بالا و حد پایین عدد قدرت بازه‌ای راف-فازی $RF(\hat{W}_{i})$ هستند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مرحله ۲. تشکیل ماتریس رابطه اولیه راف-فازی

مرحله ۱.۲. ایجاد ماتریس روابط مستقیم اولیه زبانی

برای اندازه گیری روابط بین n شاخص ارزیابی پیمانکاران، از یک گروه تصمیم‌گیری متشکل از S تصمیم‌گیرندگان دعوت می‌شود تا با بیان قضاوت‌های زبانی برای مقایسات زوجی بین n شاخص، مجموعه‌ای از ماتریس‌های مقایسه زوجی را بسازند. ماتریس روابط مستقیم اولیه زبانی s امین خبره به صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$R^{s} = \begin{pmatrix} 0 & r^{s}_{12} & \cdots & r^{s}_{1n} \\ r^{s}_{21} & 0 & \cdots & r^{s}_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r^{s}_{n1} & r^{s}_{n2} & \cdots & 0 \end{pmatrix} \quad (۲۱)$$

جایی که r^{s}_{ij} ارزیابی خبره sام از درجه که معیار iام روی معیار j ام تاثیر می‌گذارد را نشان می‌دهد، و S تعداد خبرگان، و n تعداد معیارهای ارزیابی پیمانکاران است

مرحله ۲.۲. تشکیل ماتریس‌های روابط مستقیم اولیه فازی گروهی

بر طبق باموکار و همکاران (۲۰۱۸) و براساس مقیاس فازی جدول ۴، عناصر r_{ij}^{s} ماتریس زبانی R^{s} به اعداد فازی مثلثی[1] $\tilde{r}_{ij}^{s}=(l_{ij}^{rs},m_{ij}^{rs},u_{ij}^{rs})$ تبدیل می‌شود، جایی که l^{rs}، m^{rs} و u^{rs} به ترتیب نشان دهنده حد پایین، وسط و بالای هر TFN هستند [۲۶].

جدول ۴. مقیاس اعداد فازی مثلثی برای متغیرهای زبانی [۸]

شماره	اصطلاحات زبانی	مقیاس فازی مثلثی
۱	هیچ تأثیری(NI)	(۰، ۰، ۰)
۲	تأثیر بسیار کم(VLI)	(۰، ۰، ۰٫۵)
۳	تأثیر کم(LI)	(۰، ۰٫۵، ۱)
۴	تأثیر متوسط(MI)	(۰٫۵، ۱، ۱٫۵)
۵	تأثیر زیاد(HI)	(۱، ۱٫۵، ۲)
۶	تأثیر بسیار زیاد(VHI)	(۱٫۵، ۲، ۲٫۵)

سپس ماتریس روابط مستقیم اولیه فازی $\tilde{R}^{s}$ به صورت زیر ایجاد می‌شود:

$$\tilde{R}^{s}=\begin{pmatrix}0 & \tilde{r}_{12}^{s} & \cdots & \tilde{r}_{1n}^{s}\\ \tilde{r}_{21}^{s} & 0 & \cdots & \tilde{r}_{1n}^{s}\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ \tilde{r}_{n1}^{s} & \tilde{r}_{n2}^{s} & \cdots & 0\end{pmatrix} \qquad (۲۲)$$

با تجمیع ماتریس‌های روابط مستقیم اولیه فازی با یکدیگر که توسط S خبره تشکیل شده، ماتریس روابط مستقیم اولیه فازی گروهی به صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$\hat{R}=\begin{pmatrix}0 & \hat{r}_{12} & \cdots & \hat{r}_{1n}\\ \hat{r}_{21} & 0 & \cdots & \hat{r}_{1n}\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ \hat{r}_{n1} & \hat{r}_{n2} & \cdots & 0\end{pmatrix} \qquad (۲۳)$$

جایی که $\hat{r}_{ij}=(\hat{l}_{ij}^{r},\hat{m}_{ij}^{r},\hat{u}_{ij}^{r})$ ، $\hat{l}_{ij}^{r}=\{l_{ij}^{r1},...,l_{ij}^{rs},...,l_{ij}^{rS}\}$ ، $\hat{m}_{ij}^{r}=\{m_{ij}^{r1},...,m_{ij}^{rs},...,m_{ij}^{rS}\}$ ، $\hat{u}_{ij}^{r}=\{u_{ij}^{r1},...,u_{ij}^{rs},...,u_{ij}^{rS}\}$ و TFNs گروهی همچنین به صورت $\hat{r}_{..}=(\tilde{r}_{..}^{1},...,\tilde{r}_{..}^{s},...,\tilde{r}_{..}^{S})$ بیان می‌شود.

مرحله ۳.۲. تشکیل ماتریس‌های روابط مستقیم اولیه راف-فازی

برای TFNs گروهی $\hat{r}_{ij}$ ، تقریب‌های بالا و پایین s امین $\tilde{r}_{ij}^{s}$ مشابه روابط (۶) و (۷) بدست می‌آید. سپس حد بالا و حد پایین $\tilde{r}_{ij}^{s}$ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\underline{Lim}(\tilde{r}_{ij}^{s})=\left(\underline{Lim}(l_{ij}^{rs}),\underline{Lim}(m_{ij}^{rs}),\underline{Lim}(u_{ij}^{rs})\right)=\left(\frac{\sum_{k=1}^{N_{rs}^{L}}x_{i}^{l}}{N_{rs}^{L}},\frac{\sum_{k=1}^{N_{rs}^{L}}x_{i}^{m}}{N_{rs}^{L}},\frac{\sum_{k=1}^{N_{rs}^{L}}x_{i}^{u}}{N_{rs}^{L}}\right) \qquad (۲۴)$$

$$\overline{Lim}(\tilde{r}_{ij}^{s})=\left(\overline{Lim}(l_{ij}^{rs}),\overline{Lim}(m_{ij}^{rs}),\overline{Lim}(u_{ij}^{rs})\right)=\left(\frac{\sum_{k=1}^{N_{rs}^{U}}y_{i}^{l}}{N_{rs}^{U}},\frac{\sum_{k=1}^{N_{rs}^{U}}y_{i}^{m}}{N_{rs}^{U}},\frac{\sum_{k=1}^{N_{rs}^{U}}y_{i}^{u}}{N_{rs}^{U}}\right) \qquad (۲۵)$$

1. Triangular Fuzzy Numbers (TFN)

فرم راف-فازی $RF(\tilde{r}_{ij}^{s})$ $\tilde{r}_{ij}^{s}$ به صورت زیر می‌تواند بیان شود

$$RF(\tilde{r}_{ij}^{s})=\left[\tilde{r}_{ij}^{sL},\tilde{r}_{ij}^{sU}\right]=\left[(l_{ij}^{rsL},m_{ij}^{rsL},u_{ij}^{rsL}),(l_{ij}^{rsU},m_{ij}^{rsU},u_{ij}^{rsU})\right] \quad (۲۶)$$

$$\left[\tilde{r}_{ij}^{sL},\tilde{r}_{ij}^{sU}\right]=\left[\underline{Lim}(\tilde{r}_{ij}^{s}),\overline{Lim}(\tilde{r}_{ij}^{s})\right] \quad (۲۷)$$

$$(l_{ij}^{rsL},m_{ij}^{rsL},u_{ij}^{rsL})=(\underline{Lim}(l_{ij}^{rs}),\underline{Lim}(m_{ij}^{rs}),\underline{Lim}(u_{ij}^{rs})) \quad (۲۸)$$

$$(l_{ij}^{rsU},m_{ij}^{rsU},u_{ij}^{rsU})=(\overline{Lim}(l_{ij}^{rs}),\overline{Lim}(m_{ij}^{rs}),\overline{Lim}(u_{ij}^{rs})) \quad (۲۹)$$

جایی که $\tilde{r}_{ij}^{sL}$ و $\tilde{r}_{ij}^{sU}$ به ترتیب حد بالا و حد پایین عدد راف-فازی $RF(\tilde{r}_{ij}^{s})$ هستند. سپس عدد متوسط راف-فازی $RF(\hat{r}_{ij})$ با تجمع اعداد راف-فازی گروهی $RF(\tilde{r}_{ij}^{s})$ با استفاده از اصول محاسبه راف به صورت زیر بدست می‌آید:

$$RF(\hat{r}_{ij})=\left[\tilde{r}_{ij}^{L},\tilde{r}_{ij}^{U}\right] \quad (۳۰)$$

$$\tilde{r}_{ij}^{L}=(r_{ij}^{lL},r_{ij}^{mL},r_{ij}^{uL})=\left(\frac{\sum_{s=1}^{S}l_{ij}^{rsL}}{S},\frac{\sum_{s=1}^{S}m_{ij}^{rsL}}{S},\frac{\sum_{s=1}^{S}u_{ij}^{rsL}}{S}\right) \quad (۳۱)$$

$$\tilde{r}_{ij}^{U}=(r_{ij}^{lU},r_{ij}^{mU},r_{ij}^{uU})=\left(\frac{\sum_{s=1}^{S}l_{ij}^{rsU}}{S},\frac{\sum_{s=1}^{S}m_{ij}^{rsU}}{S},\frac{\sum_{s=1}^{S}u_{ij}^{rsU}}{S}\right) \quad (۳۲)$$

جایی که $\tilde{r}_{ij}^{L}$ و $\tilde{r}_{ij}^{U}$ به ترتیب حد بالا و حد پایین عدد بازه راف-فازی $RF(\hat{r}_{ij})$ هستند.

سپس ماتریس رابطه مستقیم اولیه گروه راف-فازی را می توان به صورت زیر نوشت

$$RF(\hat{R})=\begin{pmatrix}0 & RF(\hat{r}_{12}) & \cdots & RF(\hat{r}_{1n})\\ RF(\hat{r}_{21}) & 0 & \cdots & RF(\hat{r}_{2n})\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ RF(\hat{r}_{n1}) & RF(\hat{r}_{n2}) & \cdots & 0\end{pmatrix} \quad (۳۳)$$

جایی که $RF(\hat{r}_{ij})=\left[\tilde{r}_{ij}^{L},\tilde{r}_{ij}^{U}\right]$ ، $\tilde{r}_{ij}^{L}=(r_{ij}^{lL},r_{ij}^{mL},r_{ij}^{uL})$ و $\tilde{r}_{ij}^{U}=(r_{ij}^{lU},r_{ij}^{mU},r_{ij}^{uU})$.

مرحله ۳. تشکیل ماتریس رابطه-قدرت کلی

مرحله ۳.۱. تشکیل ماتریس رابطه-قدرت اولیه گروهی

اعداد راف-فازی $RF(\hat{W}_{i})$ که قدرت معیارهای ارزیابی پیمانکاران را نشان می داد درون قطر اصلی ماتریس رابطه- قدرت اولیه گروهی قرار می‌گیرد و بالا و پایین قطر اصلی این ماتریس اعداد ماتریس رابطه مستقیم $RF(\hat{R})$ خواهند بود. لذا، در این ماتریس، برای $i=j$ ، $RF(\hat{d}_{ii})$ قدرت دورنی راف -فازی شاخص i ام و برای $i\neq j$ ، $RF(\hat{d}_{ii})$ تاثیر راف -فازی شاخص i ام روی شاخص j ام است. ماتریس رابطه-قدرت اولیه گروهی D به صورت زیر بدست می‌آید:

$$RF(\hat{D})=\begin{pmatrix}RF(\hat{d}_{11}) & RF(\hat{d}_{12}) & \cdots & RF(\hat{d}_{1n})\\ RF(\hat{d}_{21}) & RF(\hat{d}_{22}) & \cdots & RF(\hat{d}_{2n})\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ RF(\hat{d}_{n1}) & RF(\hat{d}_{n2}) & \cdots & RF(\hat{d}_{nn})\end{pmatrix} \quad (۳۴)$$

جایی که

$$RF(\hat{d}_{ij})=\left[\tilde{d}_{ij}^{L},\tilde{d}_{ij}^{U}\right]=\left[\left(d_{ij}^{lL},d_{ij}^{mL},d_{ij}^{uL}\right),\left(d_{ij}^{lU},d_{ij}^{mU},d_{ij}^{uU}\right)\right]=\begin{cases}\left[\tilde{w}_{i}^{L},\tilde{w}_{i}^{U}\right], & if\ \ i=j\\ \left[\tilde{r}_{ij}^{L},\tilde{r}_{ij}^{U}\right], & if\ \ i\neq j\end{cases} \quad (۲۵)$$

مرحله ۲.۳. نرمال‌سازی ماتریس روابط-قدرت راف-فازی

ماتریس روابط-قدرت راف-فازی نرمالیزه شده $RF(\hat{H})=\left[RF(\hat{h}_{ij})\right]_{n\times n}$ از طریق تقسیم هر عنصر ماتریس $RF(\hat{D})$ در عدد راف $RN(r)$ بدست می‌آید. ماتریس $RF(\hat{D})$ به ماتریس روابط-قدرت اولیه نرمالیزه شده راف-فازی از طریق روابط (۳۸)-(۳۶) تبدیل می‌شود، جایی که $RF(\hat{h}_{ii})=\left[\left(h_{ii}^{lL},h_{ii}^{mL},h_{ii}^{uL}\right),\left(h_{ii}^{lU},h_{ii}^{mU},h_{ii}^{uU}\right)\right]$.

$$RF(\hat{h}_{ij})=\frac{RF(\hat{d}_{ij})}{RN(r)} \qquad (۳۶)$$

$$RN(r)=\left[\max\sum_{j=1}^{n}d_{ij}^{uL},\max\sum_{j=1}^{n}d_{ij}^{uU}\right],i,j\in\{1,2,...,n\} \qquad (۳۷)$$

سپس $RF(\hat{h}_{..})$ می‌تواند به صورت زیر بدست آید:

$$RF(\hat{h}_{ij})=\left[\left(\frac{d_{ij}^{lL}}{\max\sum_{j=1}^{n}d_{ij}^{uL}},\frac{d_{ij}^{mL}}{\max\sum_{j=1}^{n}d_{ij}^{uL}},\frac{d_{ij}^{uL}}{\max\sum_{j=1}^{n}d_{ij}^{uL}}\right),\left(\frac{d_{ij}^{lU}}{\max\sum_{j=1}^{n}d_{ij}^{lU}},\frac{d_{ij}^{mU}}{\max\sum_{j=1}^{n}d_{ij}^{lU}},\frac{d_{ij}^{uU}}{\max\sum_{j=1}^{n}d_{ij}^{lU}}\right)\right] \qquad (۳۸)$$

مرحله ۳.۳. بدست آوردن ماتریس روابط-قدرت کلی راف-فازی

در این گام شش ماتریس قطعی $H_{lL}=\left[h_{ij}^{lL}\right]$، $H_{lU}=\left[h_{ij}^{lU}\right]$، $H_{mL}=\left[h_{ij}^{mL}\right]$، $H_{mU}=\left[h_{ij}^{mU}\right]$، $H_{uL}=\left[h_{ij}^{uL}\right]$، $H_{uU}=\left[h_{ij}^{uU}\right]$ از ماتریس $RF(\hat{H})$ استخراج می کنیم. ماتریس‌های $H_{..}=\left[h_{ij}^{lL}\right]$ و $H_{..}=\left[h_{ij}^{lU}\right]$ برای مثال به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$H_{lL}=\begin{pmatrix}h_{11}^{lL}&h_{12}^{lL}&\cdots&h_{1n}^{lL}\\h_{21}^{lL}&h_{22}^{lL}&\cdots&h_{2n}^{lL}\\\vdots&\vdots&\ddots&\vdots\\h_{n1}^{lL}&h_{n2}^{lL}&\cdots&h_{nn}^{lL}\end{pmatrix},\ H_{lU}=\begin{pmatrix}h_{11}^{lU}&h_{12}^{lU}&\cdots&h_{1n}^{lU}\\h_{21}^{lU}&h_{22}^{lU}&\cdots&h_{2n}^{lU}\\\vdots&\vdots&\ddots&\vdots\\h_{n1}^{lU}&h_{n2}^{lU}&\cdots&h_{nn}^{lU}\end{pmatrix} \qquad (۳۹)$$

ماتریس روابط-قدرت کلی راف-فازی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$RF(\hat{T})=RF(\hat{H})(I-RF(\hat{H}))^{-1} \qquad (۴۰)$$

اجازه دهید $RF(\hat{T})=\left[RF(\hat{t}_{ij})\right]$ باشد، جایی که $RF(\hat{t}_{ii})=\left[\left(l_{ii}^{lL},m_{ii}^{lL},u_{ii}^{lL}\right),\left(l_{ii}^{lU},m_{ii}^{lU},u_{ii}^{lU}\right)\right]$، سپس

$$T_{lL}=\left[t_{ij}^{lL}\right]_{n\times n}=H_{lL}(I\quad H_{lL})^{-1} \qquad (۴۱)$$

$$T_{lU}=\left[t_{ij}^{lU}\right]_{n\times n}=H_{lU}(I\quad H_{lU})^{-1} \qquad (۴۲)$$

به طور مشابه ماتریس $T_{mL}=\left[t_{ij}^{mL}\right]_{n\times n}$، $T_{mU}=\left[t_{ij}^{mU}\right]_{n\times n}$ و $T_{uL}=\left[t_{ij}^{uL}\right]_{n\times n}$ $T_{uU}\left[t_{ij}^{uU}\right]_{n\times n}$ با استفاده از روابط (۴۰)-(۳۸) می‌توانند بدست آیند.

مرحله ۴٫۳. محاسبه جمع ردیف و ستون ماتریس روابط-قدرت راف-فازی

بر طبق سانگ و کاو[1] (۲۰۱۷) [۳۳]، در ماتریس روابط-قدرت کلی راف-فازی، جمع ردیف‌ها و ستون‌ها به صورت جداگانه به عنوان بردارهای راف-فازی $RF(P)$ و $RF(C)$ نشان داده می‌شوند:

$$\begin{aligned}RF(P)&=\left[RF(P_i)\right]_{n\times1}=\left[(P_i^{lL},P_i^{mL},P_i^{uL}),(P_i^{lU},P_i^{mU},P_i^{uU})\right]_{n\times1}\\&=\left[\left(\sum_{j=1}^{n}t_{ij}^{lL},\sum_{j=1}^{n}t_{ij}^{mL},\sum_{j=1}^{n}u_{ij}^{tL}\right),\left(\sum_{j=1}^{n}t_{ij}^{lU},\sum_{j=1}^{n}t_{ij}^{mU},\sum_{j=1}^{n}t_{ij}^{uU}\right)\right]_{n\times1}\end{aligned} \qquad (۴۳)$$

1. Song & Cao

$$RF(C)=\left[RF(C_i)\right]_{n\times 1}=\left[(C_i^{lL},C_i^{mL},P_i^{uL}),(C_i^{lU},C_i^{mU},C_i^{uU})\right]_{n\times 1}$$
$$=\left[\left(\sum_{i=1}^{n}t_{ij}^{lL},\sum_{i=1}^{n}t_{ij}^{mL},\sum_{i=1}^{n}u_{ij}^{tL}\right),\left(\sum_{i=1}^{n}t_{ij}^{lU},\sum_{i=1}^{n}t_{ij}^{mU},\sum_{i=1}^{n}t_{ij}^{uU}\right)\right]_{n\times 1} \quad (٤٤)$$

مقدار $RF(P_i)$ نشان‌دهنده مجموع ردیف iام ماتریس $RF(\hat{T})$ است و مجموع اثرات مستقیم و غیرمستقیم را نشان می‌دهد که معیار i به سایر معیارها می‌دهد. به طور مشابه، مقدار $RF(C_i)$ مجموع ستون iم ماتریس $RF(\hat{T})$ است و کل اثرات مستقیم و غیرمستقیم را که معیار i ام از سایر معیارها دریافت می‌کند را نشان می‌دهد.

مرحله ۵.۳. تشکیل نقشه روابط-قدرت راف-فازی

برای تعیین برتری، رابطه، وزن نسبی و عدم‌قطعیت تصمیم معیارها، نقشه برتری-رابطه راف-فازی براساس یک روش پیشنهادی جدید مبتنی بر گراف ساخته شده است. بردار راف-فازی $RF(X_i)$ که "برتری راف-فازی[1]" نامیده می‌شود با افزودن $RF(P_i)$ به $RF(C_i)$ بدست می‌آید. به طور مشابه، بردار $RF(Y_i)$ که بردار "رابطه راف-فازی[2]" نامیده می‌شود با تفریق $RF(P_i)$ به $RF(C_i)$ ساخته می‌شود. سپس $RF(X_i)$ را می‌توان به صورت زیر نوشت

$$RF(X_i)=\left[(X_i^{lL},X_i^{mL},X_i^{uL}),(X_i^{lU},X_i^{mU},X_i^{uU})\right]_{n\times 1}=$$
$$\left[(P_i^{lL}+C_i^{lL},P_i^{mL}+C_i^{mL},P_i^{uL}+C_i^{uL}),(P_i^{lU}+C_i^{lU},P_i^{mU}+C_i^{mU},P_i^{uU}+C_i^{uU})\right]_{n\times 1} \quad (٤٥)$$

$$RF(Y_i)=\left[(Y_i^{lL},Y_i^{mL},Y_i^{uL}),(Y_i^{lU},Y_i^{mU},Y_i^{uU})\right]_{n\times 1}=$$
$$\left[(P_i^{lL}-C_i^{lL},P_i^{mL}-C_i^{mL},P_i^{uL}-C_i^{uL}),(P_i^{lU}-C_i^{lU},P_i^{mU}-C_i^{mU},P_i^{uU}-C_i^{uU})\right]_{n\times 1} \quad (٤٦)$$

یک مجموعه نقاط $P_i=\{p_i^k=(x_i^k,y_i^k)\mid k=1,2,\ldots,6\}$ برای i امین معیار تعریف کنید، جایی که:

$$\begin{cases}x_i^k\in\left\{X_i^{lL},X_i^{mL},X_i^{uL},X_i^{lU},X_i^{mU},X_i^{uU}\right\}\\ y_i^k\in\left\{Y_i^{lL},Y_i^{mL},Y_i^{uL},Y_i^{lU},Y_i^{mU},Y_i^{uU}\right\}\end{cases} \quad (٤٧)$$

برای تشکیل نقشه رابطه- برتری راف- فازی برای i امین معیار، مجموعه نقاط P_i برای ایجاد پلگان محدب بسته G_i استفاده می‌شود. ابتدا، لازم است مجموعه نقاط P_i را به یک مجموعه نقاط جدید $P_i^{*k}=\left\{p_i^{*k}=(x_i^{*k},y_i^{*k})\mid k=1,2,\ldots,6\right\}$ تبدیل کنیم که در آن همه نقاط $p_i^k=(x_i^k,y_i^k)$ در جهت عقربه‌های ساعت مرتب می‌شوند. رویه تبدیل P_i به P_i^{*k} در مدل زیر ارائه می‌شود:

$\bar{p}_i=(\bar{x}_i,\bar{y}_i)$ را به عنوان نقطه مرکزی مجموعه نقاط P_i تعریف کنید، جایی که $\bar{x}_i=\sum x_i/6$ و $\bar{y}_i=\sum y_i/6$. مختصات نسبی $(\Delta x_i^k,\Delta y_i^k)$ هر نقطه p_i^k به نقطه مرکز $\bar{p}_i$ به صورت محاسبه می‌شود: $\Delta x_i^k=x_i^k-\bar{x}_i$ و $\Delta y_i^k=y_i^k-\bar{y}_i$ $\left(1\le k\le 6\right)$. تشکیل مختصات نسبی را به مختصات قطبی $(\Delta\rho_i^k,\Delta\theta_i^k)$ تبدیل کنید، جایی که $\Delta\theta_i^k=\arctan(\Delta y_i^k/\Delta x_i^k)$. بنابراین، با رتبه‌بندی $\Delta\theta_i^k$ در جهت نزولی، مجموعه نقاط P_i به P_i^{*k} تبدیل می‌شود.

با نگاشت مجموعه نقاط مرتب شده جدید P_i^{*k} برای هر معیار، یک چند ضلعی محدب بسته G_i در صفحه دو بعدی همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است ساخته می‌شود. برای معیار i ام، پلیگان G_i ناحیه راف-فازی برتری و رابطه را برای معیار i ام را نشان می‌دهد، که که به وسیله منطقه A_i^G مشخص می‌شود. منطقه A_i^G عدم‌اطمینان تصمیم‌گیری معیار i ام را نشان می‌دهد، که تنوع برتری و ابهام زبانی منعکس می‌کند که به صورت زیر محاسبه می‌شود [۲۸]. در ادامه باید مقدار ناحیه A_i^G مشخص گردد. این مقدار عدم‌قطعیت تصمیم‌گیری در مورد هر معیار را نشان می‌دهد، که به شرح زیر محاسبه می‌شود :

$$A_i^G=\frac{1}{2}\sum_{k=1}^{6}(x_i^{*k}\times y_i^{*k+1}-x_i^{*k+1}\times y_i^{*k}) \quad (48)$$

که در این رابطه $x_i^{*7}=x_i^{*1}$ و $y_i^{*7}=y_i^{*1}$ می‌باشد. در واقع نقطه پایان، نقطه شروع نیز است

1. Rough-fuzzy prominence
2. Rough-fuzzy relation

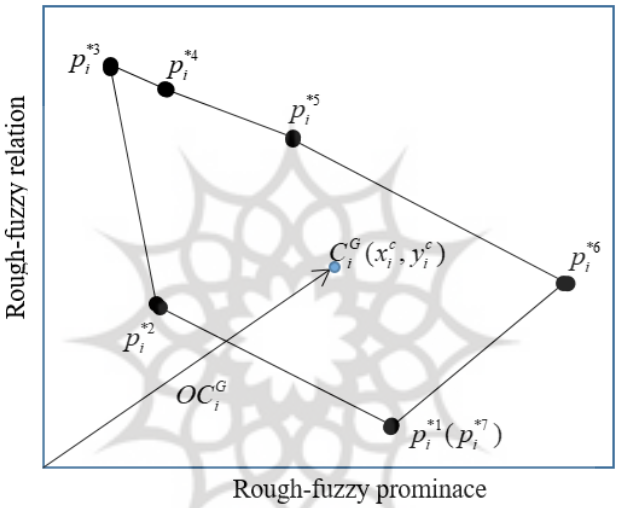
مرحله ۶.۳. تشکیل دیاگرام تاثیر- علی قطعی

همانگونه که در شکل ۱ نشان داده شده است، نقطه $C_i^G\left(x_i^c, y_i^c\right)$ در واقع مرکز ثقل پلیگان بسته هست. بعد افقی x_i^c و بعد قائم y_i^c مرکز C_i^G به طور جداگانه به «برتری» و «رابطه» قطعی معیار i ام رجوع می‌کند و می‌تواند به صورت زیر محاسبه شود.

$$x_i^c = \frac{1}{6A_i^G}\sum_{k=1}^{6}\left((x_i^{*k} + y_i^{*k+1})\times(x_i^{*k}y_i^{*k+1} - x_i^{*k+1}y_i^{*k})\right) \quad (49)$$

$$y_i^c = \frac{1}{6A_i^G}\sum_{k=1}^{6}\left((y_i^{*k} + x_i^{*k+1})\times(x_i^{*k}y_i^{*k+1} - x_i^{*k+1}y_i^{*k})\right) \quad (51)$$

به گفته سانگ و کاو (۲۰۱۷)، بردار y_i^c معیارها را به دو گروه علت و معلول تقسیم می‌کند. معیار به گروه علت تعلق دارد زمانی که مقدار y_i^c آن مثبت باشد، که یک علت خالص برای سایر معیارها است [۳۳]. برعکس، اگر مقدار y_i^c منفی باشد، این معیار در گروه معلول قرار می‌گیرد که به معیارهای دیگر وابسته است. نمودار علت و معلول قطعی را می‌توان با نگاشت مجموعه داده (x_i^c, y_i^c) به دست آورد، که اطلاعات قابل مشاهده در مورد تعامل بین معیارهای مختلف را ارائه می‌دهد.



شکل ۱. پلیگان رابطه-برتری راف- فازی

مرحله ۷.۳. محاسبه اهمیت معیارها

اهمیت معیار i با طول d_i^{oc} بردار OC_i^G که از مبدا به مرکز مرکزی C_i^G هدایت می‌شود نشان داده می‌شود که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$d_i^{oc} = \sqrt{(x_i^c)^2 + (y_i^c)^2} \quad (۵۱)$$

سپس وزن های نرمال شده معیار i ام می‌تواند با نرمال کردن طول بردار d_i^{oc} که نشان‌دهنده برتری این معیار در بین معیارهای دیگر است، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$w_i = \frac{d_i^{oc}}{\sum_{1\le i\le n} d_i^{oc}} \quad (۵۲)$$

۴.۳. به دست آوردن بهترین پیمانکار با استفاده از روش تاپسیس راف- فازی

در این بخش، روش تاپسیس راف-فازی که توسط لای[1] و همکاران (۱۹۹۴) [۱۵] ارائه شده است، برای ارزیابی پیمانکاران مورد استفاده قرار می‌گیرد. ارزیابی زبانی گروهی در مورد پیمانکاران با توجه به هر معیار به عدد بازه راف- فازی با هدف دستکاری عدم‌قطعیت داخلی و خارجی به طور همزمان تبدیل می‌شود. مراحل محاسباتی در ادامه نشان داده شده است

1. Lai

مرحله ٤.١. ایجاد ماتریس تصمیم اولیه

با فرض اینکه p پیمانکار وجود دارند که توسط S تصمیم‌گیرنده با توجه به n معیار ارزیابی می‌شوند، ماتریس ارزیابی اولیه زبانی V_k که توسط s امین تصمیم‌گیرنده ساخته شده است به صورت زیر ایجاد می‌شود:

$$V^s = \begin{pmatrix} v_{11}^s & v_{12}^s & \cdots & v_{1n}^s \\ v_{21}^s & v_{22}^s & \cdots & v_{2n}^s \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{p1}^s & v_{p2}^s & \cdots & v_{pn}^s \end{pmatrix} \quad (۵۳)$$

جایی که s_i پیمانکار i ($i = 1,2,...,p$) را نشان می‌دهد و v_{ij}^s نشان دهنده متغیر زبانی s امین تصمیم‌گیرنده برای عملکرد پیمانکار i ام تحت معیار j ام است

مرحله ٤.٢. تشکیل ماتریس تصمیم فازی گروهی

براساس مقیاس فازی جدول ۵، عنصر v_{ij} ماتریس زبانی V^s به $\tilde{v}_{ij}^s = (l_{ij}^{vs}, m_{ij}^{vs}, u_{ij}^{vs})$ تبدیل می‌شود. سپس ماتریس تصمیم فازی به صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$\tilde{V}^s = \begin{pmatrix} \tilde{v}_{11}^s & \tilde{v}_{12}^s & \cdots & \tilde{v}_{1n}^s \\ \tilde{v}_{21}^s & \tilde{v}_{22}^s & \cdots & \tilde{v}_{2n}^s \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{v}_{p1}^s & \tilde{v}_{p2}^s & \cdots & \tilde{v}_{pn}^s \end{pmatrix} \quad (۵۴)$$

جدول ۵. مقیاس اعداد فازی مثلثی برای متغیرهای زبانی [۸]

شماره	اصطلاحات زبانی	مقیاس فازی
۱	بسیار خوب(VG)	(۰.۷۵، ۱، ۱)
۲	خوب(G)	(۰.۵، ۰.۷۵، ۱)
۳	منصفانه(F)	(۰.۲۵، ۰.۵، ۰.۷۵)
۴	ضعیف(P)	(۰، ۰.۲۵، ۰.۵)
۵	بسیار ضعیف(VP)	(۰، ۰، ۰.۲۵)

ماتریس فازی گروهی $\hat{V}$ برای نشان دادن بهتر ماتریس‌های فازی متعدد ساخته شده توسط S تصمیم‌گیرنده معرفی شده است. هر عنصر از این ماتریس فازی گروهی با ترکیب عناصر منفرد مربوطه از S ماتریس فازی به دست می‌آید که به صورت زیر نشان داده شده است

$$\hat{V} = \begin{pmatrix} \hat{v}_{11} & \hat{v}_{12} & \cdots & \hat{v}_{12} \\ \hat{v}_{21} & \hat{v}_{22} & \cdots & \hat{v}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{v}_{p1} & \hat{v}_{p2} & \cdots & \hat{v}_{pn} \end{pmatrix} \quad (۵۵)$$

جایی که $\hat{v}_{ij} = (\hat{l}_{ij}^v, \hat{m}_{ij}^v, \hat{u}_{ij}^v)$ ، $\hat{l}_{ij}^v = \{l_{ij}^{v1}, ..., l_{ij}^{vs}, ..., l_{ij}^{rS}\}$ ، $\hat{m}_{ij}^v = \{m_{ij}^{v1}, ..., m_{ij}^{vs}, ..., m_{ij}^{vS}\}$ ، $\hat{u}_{ij}^v = \{u_{ij}^{v1}, ..., u_{ij}^{vs}, ..., u_{ij}^{vS}\}$ و TFNs گروهی همچنین به صورت $\hat{v}_{..} = (\tilde{v}_{..}^1, ..., \tilde{v}_{..}^s, ..., \tilde{v}_{..}^S)$ بیان می‌شود.

مرحله ٤.٣. تشکیل ماتریس تصمیم راف-فازی

مشابه روابط (۱۶)-(۶)، ماتریس تصمیم فازی گروهی می‌تواند تبدیل به ماتریس تصمیم راف-فازی شود به صورت زیر:

$$RF(\hat{V}) = \begin{pmatrix} RF(\hat{v}_{11}) & RF(\hat{v}_{12}) & \cdots & RF(\hat{v}_{12}) \\ RF(\hat{v}_{21}) & RF(\hat{v}_{22}) & \cdots & RF(\hat{v}_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ RF(\hat{v}_{p1}) & RF(\hat{v}_{p2}) & \cdots & RF(\hat{v}_{pn}) \end{pmatrix} \quad (۵۶)$$

جایی که $RF(\hat{v}_{..}) = \left[\tilde{v}_{..}^{L}, \tilde{v}_{..}^{U}\right]$ ، $\tilde{v}_{..}^{L} = (v_{..}^{lL}, v_{..}^{mL}, v_{..}^{uL})$ و $\tilde{v}_{..}^{U} = (v_{..}^{lU}, v_{..}^{mU}, v_{..}^{uU})$.

مرحله ٤.٤. تشکیل ماتریس تصمیم راف-فازی وزنی

ارزیابی وزنی راف- فازی $RF(\hat{v}_{..}^{*})$ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$RF(\hat{v}_{ij}^{*}) = w_j \times RF(\hat{v}_{ij}) \quad \left[(w_j v_{ij}^{lL}, w_j v_{ij}^{mL}, w_j v_{ij}^{uL}), (w_j v_{ij}^{lU}, w_j v_{ij}^{mU}, w_j v_{ij}^{uU})\right] = \left[(v_{ij}^{*lL}, v_{ij}^{*mL}, v_{ij}^{*uL}), (v_{ij}^{*lU}, v_{ij}^{*mU}, v_{ij}^{*uU})\right] \quad (۵۷)$$

که w_j وزن هر کدام از معیارها می‌باشد که از روش دیمتل راف-فازی پیشنهادی در رابطه (۵۲) محاسبه گردید .

مرحله ٥.٤. تعیین ایده‌آل مثبت و منفی اعداد راف-فازی

راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی راف-فازی با استفاده از روابط زیر از ماتریس تصمیم‌گیری راف-فازی مشخص می‌شوند:

$$RF^{+}(\hat{v}_{j}^{*}) = \max_{i} RF(\hat{v}_{ij}^{*}) \quad where \quad \hat{v}_{j}^{*+uU} = \max_{i} \hat{v}_{ij}^{*uU} \quad (۵۸)$$

$$RF^{-}(\hat{v}_{j}^{*}) = \min_{i} RF(\hat{v}_{ij}^{*}) \quad where \quad \hat{v}_{j}^{*-lL} = \min_{i} \hat{v}_{ij}^{*lL} \quad (۵۹)$$

که در آن $RF^{+}(\hat{v}_{j}^{*})$ و $RF^{-}(\hat{v}_{..}^{*})$ به طور جداگانه ایده‌آل مثبت و منفی راف-فازی را نشان می‌دهد.

مرحله ٦.٤. تعیین فاصله بین هر پیمانکار و ایده‌آل‌های اعداد راف-فازی

فاصله بین گزینه‌ها و ایده‌آل‌های مثبت و منفی طبق فرمول‌های زیر محاسبه می گردد.

$$d_i^{+} = \sqrt{\frac{1}{6}\sum_{j=1}^{n}\left[\begin{array}{l}(v_{ij}^{*lL} - v_{j}^{*+lL})^2 + (v_{ij}^{*mL} - v_{j}^{*+mL})^2 + (v_{ij}^{*uL} - v_{j}^{*+uL})^2 + \\ (v_{ij}^{*lU} - v_{j}^{*+lU})^2 + (v_{ij}^{*mU} - v_{j}^{*+mU})^2 + (v_{ij}^{*uU} - v_{j}^{*+uU})^2\end{array}\right]} \quad (۶۰)$$

$$d_i^{-} = \sqrt{\frac{1}{6}\sum_{j=1}^{n}\left[\begin{array}{l}(v_{ij}^{*lL} - v_{j}^{*-lL})^2 + (v_{ij}^{*mL} - v_{j}^{*-mL})^2 + (v_{ij}^{*uL} - v_{j}^{*-uL})^2 + \\ (v_{ij}^{*lU} - v_{j}^{*-lU})^2 + (v_{ij}^{*mU} - v_{j}^{*-mU})^2 + (v_{ij}^{*uU} - v_{j}^{*-uU})^2\end{array}\right]} \quad (۶۱)$$

مرحله ٧.٤. تعیین ضریب نزدیکی پیمانکاران

ضریب نزدیکی هر پیمانکار را می‌توان به شرح زیر محاسبه کرد.

$$CC_i = \frac{d_i^{-}}{d_i^{+} + d_i^{-}} \quad (۶۲)$$

در واقع مقدار ضریب نزدیکی اولویت و رتبه پیمانکار را مشخص می‌کند.

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

۱.٤. مطالعه موردی

در این بخش برای نشان دادن کارایی و عملکرد مدل پیشنهادی، این روش در یک شرکت تولید کننده تجهیزات الکُتریکی مستقر در ایران بکار گرفته می‌شود. این شرکت بزرگترین تولید کننده کالاهای الکترونیک خانگی و صنعتی است که محصولات خود را برای فروش در ایران و خاورمیانه تولید می‌کند. یکی از محصولات این شرکت دستگاه‌های ایکس‌ری بازرسی چمدان و بار است که فرآیند تولید این محصولات به سه بخش کلی مکانیک، الکترونیک و نرم افزار تقسیم می‌شود. بخش مکانیک این دستگاه‌ها، تحت عنوان قراردادی به پیمانکاران خارج از شرکت برونسپاری می‌شود. با توجه به فشار روزافزون مشتریان و دولت بر روی توسعه محصولات سازگار با محیط زیست، این شرکت در تلاش برای بهبود عملکرد پایدار خود برای دستیابی به موقعیت بهتر در بین رقبا است مالکان و مدیران ارشد شرکت انتخاب دقیق پیمانکار برای برونسپاری

ساخت بدنه فلزی این دستگاه‌ها را به عنوان یک استراتژی توسعه پایدار ضروری شناسایی کرده‌اند. در نتیجه، رویکرد پیشنهادی برای کمک به این شرکت برای ارزیابی پیمانکاران بدنه فلزی براساس معیارهای ارزیابی پایدار اجرا می‌شود .پس از تعامل با واحدهای برنامه‌ریزی، بازرگانی، تولید، تحقیق و توسعه و کنترل کیفیت شرکت مورد مطالعه، تعداد ۵ شرکت تولید کننده بدنه فلزی به عنوان کاندید شامل شرکت تکنو صنعت پویا (A_1)، شرکت پارس کوشا (A_2)، شرکت علم و صنعت (A_3)، شرکت نوین رایان توسعه (A_4) و شرکت پویان ارم (A_5) انتخاب شدند.

در این مطالعه، پنل خبرگان متشکل از پنج مدیر ارشد و متخصص شرکت صاایران، برای ارزیابی معیارهای ارزیابی پیمانکاران و تعیین وزن‌های آن‌ها انتخاب شدند. خبرگان شامل مدیر پروژه‌های توسعه محصولات، مدیر بخش مهندسی ساخت، مدیر کنترل کیفیت، مدیر تحقیق و توسعه، و مدیر بخش ارزیابی فنی بودند. تمامی این خبرگان به‌طور مستقیم در فرآیند تولید، کنترل کیفیت و ارزیابی فنی محصولات شرکت فعالیت دارند و هر یک بیش از ده سال سابقه کاری در حوزه تولید، مهندسی و ارزیابی پروژه‌های شرکت صاایران دارند. تمامی اعضای پنل دارای تخصص فنی و مدیریتی لازم در حوزه تولید دستگاه‌های ایکس‌ری بوده و از دانش کافی در ارزیابی پیمانکاران و معیارهای پایداری بهره‌مندند. این خبرگان به صورت مستقل نظرات خود را در خصوص وزن‌دهی معیارها و ارزیابی پیمانکاران ارائه کردند تا مبنای دقیق و قابل اعتماد برای تحلیل‌های مرتبط باشد. در مرحله جمع‌آوری داده‌ها، معیارهای ارزیابی پیمانکار پایدار از سه جنبه اقتصادی، اجتماعی و محیطی با بررسی ادبیات استخراج می‌شوند. سپس تیم تصمیم‌گیری یک بحث گروهی متمرکز به مدت هشت ساعت برای درک و اعتبارسنجی معیارهای شناسایی شده از ادبیات انجام می‌دهد. کارشناسان گروه، ۱۷ شاخص ارزیابی پایداری پیمانکاران ($EC_1, EC_2, ..., EN_4$). در جدول ۲ را مرتبط با کار خود می دانند و بنابراین تصمیم گرفته شد این معیارها به عنوان معیارهای ارزیابی پیمانکاران استفاده شوند.

۲.٤. جمع‌آوری داده‌ها

معیارهای پایداری که در قسمت ۳ بکمک روش دلفی فازی شناسایی شده‌اند به عنوان معیارهای ارزیابی پایدار برای پیمانکار پایدار استفاده می‌شوند. در این مطالعه، روش دلفی در سه دور تکرار شد تا زمانی که میزان توافق و تشابه نظرات اعضا به حد مطلوب رسید و دیگر تغییر معنی‌داری در نتایج مشاهده نشد. در هر دور، نظرات و امتیازهای اعضا جمع‌آوری و تحلیل شده، و براساس نتایج به دست آمده، پرسشنامه‌ها بروزرسانی شدند تا در نهایت به نقطه تعادل و اشباع نظرات برسند. همچنین، میزان همگرایی هر معیار با آستانه به طور دقیق محاسبه شد و مقدار آن با عدد آستانه مقایسه گردید. پس از ارزیابی‌های مکرر، معیارهایی که دارای فاصله کم‌تر از مقدار آستانه ۰/۵ بودند، به عنوان معیارهای نهایی انتخاب شدند که در جدول ۲ آورده شده است.

برای جمع‌آوری داده‌ها، هر یک از این خبرگان ترجیحات خود را با متغیرهای زبانی، با توجه به دانش حوزه خود در خصوص معیارهای ارزیابی پیمانکار پایدار و عملکرد گذشته پیمانکاران بیان می کنند. ابتدا از تصمیم‌گیرندگان خواسته شد تا پرسشنامه اول را پر کنند که با انجام مقایسه زوجی n شاخص براساس مقایس جدول ۳ برای تعیین قدرت معیارها تهیه می‌شود. در نتیجه، ماتریس‌های مقایسه زوجی معیارها بدست آورده می‌شود. سپس برای اندازه گیری روابط بین n معیار پایدار، هر یک از اعضای گروه تصمیم‌گیری به ترتیب دعوت می‌شود تا براساس مقیاس جدول ۴ با بیان قضاوت‌های زبانی در خصوص روابط بین معیارهای ارزیابی پیمانکاران، مجموعه‌ای از ماتریس‌های روابط مستقیم اولیه را به عنوان پرسشنامه دوم پر کنند. در نتیجه، ماتریس‌های روابط مستقیم اولیه زبانی تهیه می‌شود. نهایتا، ماتریس‌های اولیه ارزیابی زبانی براساس مقیاس جدول ۵ برای ۵ پیمانکار نامزد با توجه به هر شاخص از نظر ۵ خبره تهیه می‌شود.

۲.٤. محاسبه ماتریس روابط- قدرت کلی راف-فازی

با توجه به محدودیت طول این مقاله، این بخش عمدتاً برخی از نتایج محاسباتی کلیدی را با استفاده از روش راف-فازی پیشنهادی ارائه می‌کند. فرآیند تعیین قدرت معیارها در رابطه با هدف با استفاده از روش AHP راف-فازی در ادامه نشان داده شده است هر یک از اعضای گروه تصمیم‌گیری، به ترتیب قضاوت‌های زبانی را برای مقایسه زوجی معیارهای ارزیابی پیمانکار پایدار ارائه می کنند و در نتیجه، ماتریس‌های مقایسات زوجی زبانی آن‌ها فراهم می‌شود. سپس نمرات فازی با تبدیل ارزیابی‌های زبانی تصمیم‌گیرندگان با استفاده از روابط ارائه شده به دست می‌آید. گام بعدی، تشکیل ماتریس‌های مقایسات زوجی راف-فازی برای معیارها است. این ماتریس‌ها با توجه به ماتریس‌های رابطه مستقیم

فازی گروهی با استفاده از روش مجموعه راف بکمک روابط (۱۶)-(۶) به دست می آیند. عملیات تفصیلی برای تبدیل ماتریس مقایسات زوجی فازی گروهی به ماتریس مقایسات زوجی راف-فازی گروهی با ذکر مثال مربوط به مرکز عدد فازی ترجیح معیار EC_1 نسبت به معیار EC_2 تشریح می‌شود. ترجیحات خبره ۱ تا ۵ در مقایسه زوجی این دو معیار به ترتیب (۴، ۴، ۳.۵)، (۱.۵، ۱، ۰.۶۷)، (۳.۵، ۳، ۲.۵)، (۲.۵، ۲، ۱.۵) و (۴، ۴، ۳.۵) است در این صورت، $\hat{m}_{12}=\{4,1,3,2,4\}$ که در ماتریس مقایسات زوجی فازی گروه نشان داده شده است را در نظر بگیرید. عدد راف-فازی برای هر عنصر را می‌تواند با استفاده از رابطه (۱۳)-(۶) به دست آورده شود، و عدد میانگین راف-فازی (RN) با استفاده از رابطه (۱۶)-(۱۴) به شرح زیر به دست می‌آید:

$\underline{Lim}(1)=1$ $\quad\overline{Lim}(1)=\sqrt[5]{1\times2\times3\times4\times4}$ 2.49

$\underline{Lim}(2)=\sqrt[2]{1\times2}=1.41$ $\quad\overline{Lim}(2)=\sqrt[4]{2\times3\times4\times4}$ =3.13

$\underline{Lim}(3)=\sqrt[3]{1\times2\times3}=1.82$ $\quad\overline{Lim}(3)=\sqrt[3]{3\times4\times4}$ =3.63

$\underline{Lim}(4)=\sqrt[5]{1\times2\times3\times4\times4}=2.49$ $\quad\overline{Lim}(4)=4$

$$RN(m_{12}^1)=RN(m_{12}^5)=\left[\underline{Lim}(4),\overline{Lim}(4)\right]=[2.49,4]$$

$$RN(m_{12}^2)=\left[\underline{Lim}(1),\overline{Lim}(1)\right]=[1,2.49]$$

$$RN(m_{12}^3)=\left[\underline{Lim}(3),\overline{Lim}(3)\right]=[1.82,3.63]$$

$$RN(m_{12}^4)=\left[\underline{Lim}(2),\overline{Lim}(2)\right]=[1.41,3.13]$$

سپس با تجمیع این اعداد تقریبی طبق روابط (۱۶)-(۱۴)، میانگین تقریبی راف به صورت $RN(\hat{m}_{12})=[1.803,3.397]$ خواهد بود .با اتخاذ همین رویه‌های محاسباتی، شکل عددی تقریبی $RN(\hat{l}_{12})$ و $RN(\hat{u}_{12})$ نیز قابل محاسبه خواهد بود. در نهایت، عدد قدرت متوسط راف-فازی هر معیار از ماتریس مقایسات زوجی راف-فازی با استفاده از رابطه (۲۰)-(۱۸) بدست آورده می‌شود که نتایج آن در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶. ماتریس نهایی اعداد راف-فازی ماتریس قدرت معیارها

معیارها	قدرت داخلی معیارها	معیارها	قدرت داخلی معیارها
EC1	[(۱.۸۶, ۲.۳۶, ۲.۸۴), (۲.۷۵, ۳.۲۵, ۳.۵۵)]	SC_1	[(۲.۱۵, ۲.۶۵, ۳.۱۳), (۲.۸۵, ۳.۳۵, ۳.۶۶)]
EC2	[(۰.۸۹, ۱.۳۵, ۱.۷۹), (۲.۴۸, ۲.۹۸, ۳.۲۶)]	SC_2	[(۱.۲, ۲.۱۷, ۲.۶۵), (۲.۵۶, ۳.۰۶, ۳.۳۵)]
EC3	[(۱.۶۷, ۲.۱۷, ۲.۶۵), (۲.۵۶, ۳.۰۶, ۳.۳۵)]	SC_3	[(۱.۴۲, ۱.۹۲, ۲.۴۰), (۲.۷۵, ۳.۲۵, ۳.۵۴)]
EC4	[(۱.۴۲, ۱.۹۲, ۲.۴۰), (۲.۷۵, ۳.۲۵, ۳.۵۴)]	SC_4	[(۲.۱۵, ۲.۶۵, ۳.۱۳), (۲.۸۵, ۳.۳۵, ۳.۶۶)]
EC5	[(۰.۱۵, ۰.۶۵, ۲.۱۵), (۱.۸۵, ۲.۳۵, ۲.۸۵)]	EN_1	[(۱.۸۶, ۲.۳۵, ۲.۸۶), (۲.۳۴, ۲.۸۴, ۳.۳۴)]
EC6	[(۲.۲۵, ۲.۷۵, ۳.۱۷), (۳.۱۴, ۳.۶۴, ۳.۸۰)]	EN_2	[(۱.۴۲, ۱.۹۲, ۲.۴۰), (۲.۷۵, ۳.۲۵, ۳.۵۴)]
EC7	[(۲.۸۶, ۳.۳۶, ۳.۶۸), (۳.۳۴, ۳.۸۴, ۳.۹۲)]	EN_3	[(۱.۵۴, ۲.۰۴, ۲.۵۴), (۱.۸۶, ۲.۳۶, ۲.۸۶)]
EC8	[(۰.۱۵, ۰.۶۵, ۲.۱۵), (۱.۸۵, ۲.۳۵, ۲.۸۵)]	EN_4	[(۲.۲۵, ۲.۷۵, ۳.۱۷), (۳.۱۴, ۳.۶۴, ۳.۸۰)]
EC9	[(۱.۹۳, ۲.۴۳, ۲.۹۱), (۲.۷۵, ۳.۲۵, ۳.۵۵)]		

پس از اینکه هر یک از اعضای گروه تصمیم‌گیری، قضاوت‌های زبانی مربوط به درجه تاثیر معیارها بر روی یکدیگر را بیان کردند، عملیات تبدیل ماتریس روابط مستقیم زبانی گروهی به ماتریس روابط مستقیم راف-فازی گروهی طبق روابط (۳۳)-(۲۱) انجام می‌شود. سپس اعداد راف-فازی محاسبه شده در قسمت قبل که قدرت معیارهای ارزیابی پیمانکاران را نشان می‌داد طبق روابط (۳۵)-(۳۴) درون قطر اصلی ماتریس روابط- مستقیم راف-فازی گروهی قرار می‌گیرد. در ادامه، پس از نرمال سازی ماتریس روابط-قدرت راف-فازی در روابط (۳۸)-(۳۶)، ماتریس روابط-قدرت کلی راف-فازی طبق روابط (۴۲)-(۳۹) بدست می‌آید.

۳.٤. تحلیل عدم‌قطعیت، وزن و روابط معیارها

جدول ۷ مختصات رأس و مساحت هر چند ضلعی معیارهای ارزیابی پیمانکار پایدار را نشان می‌دهد. با نگاشت آن مختصات در جدول ۷ در یک صفحه دو بعدی، چند ضلعی بسته هر معیار، یعنی نقشه رابطه برتری راف-فازی ساخته می‌شود. این نشان می‌دهد که هر چند ضلعی معیار دارای اندازه و محل متمایز است. مساحت یک چند ضلعی نشان دهنده درجه راف-فازی مرتبط با معیار ارزیابی پیمانکار پایدار است. یک ناحیه چند ضلعی بزرگتر به معنای عدم‌قطعیت بالاتر از نظر ابهام زبانی و تنوع ترجیحی است. مقدار کمتر A_i^G برای هر معیار اندازه عدم‌قطعیت داخلی و خارجی آن را نشان می‌دهد، که به این معنی است که خبرگان تناقض کمتری در قضاوت‌های این معیار دارند و مقدار بزرگتر نشان می‌دهد که ارزیابی‌های گروه اولیه در مورد رابطه متقابل بین هر معیار با سایر معیارها دارای بزرگترین مقادیر عدم‌قطعیت هستند. این اندازه گیری می‌تواند مرجع قابل توجهی برای درک اینکه کدام معیار به بررسی‌های بیشتر نیاز دارد ارائه دهد.

[, (۲.۷۵, ۳.۲۵, ۳.۵۵)]

جدول ۷. ماتریس نقاط گوشه‌ای چند ضلعی راف-فازی

دسته	P_1^*	P_2^*	P_3^*	P_4^*	P_5^*	P_6^*	P_7^*	A_i^G
EC_1	(۳.۸۶۱, ۰.۴۳۸)	(۲.۱۴۹, ۰.۲۶۹)	(۱.۱۶۰, ۰.۱۶۴)	(۱.۵۸۶, ۰.۰۳۷)	(۲.۷۳۷, ۰.۰۷۷)	(۴.۵۵۰, ۰.۱۲۵)	(۳.۸۶۱, ۰.۱۲۵)	۰.۷۲۱
EC_2	(۱.۳۸۰, -۰.۶۶۴)	(۰.۹۳۰, -۰.۵۲۱)	(۱.۷۲۱, -۰.۹۰۱)	(۳.۱۱۳, -۱.۵۴۹)	(۳.۸۱۸, -۱.۶۶۷)	(۲.۳۳۵, -۱.۰۸۱)	(۱.۳۸۰, -۱.۰۸۱)	۰.۲۶۰
EC_3	(۶.۱۰۸, -۰.۰۱۸)	(۷.۰۰۶, ۰.۰۹۰)	(۴.۳۳۱, ۰.۰۷۸)	(۲.۵۵۲, ۰.۰۶۸)	(۱.۹۳۱, -۰.۰۲۸)	(۳.۴۷۱, -۰.۰۳۰)	(۶.۱۰۸, -۰.۰۳۰)	۰.۴۴۰
EC_4	(۲.۶۰۷, -۰.۲۷۹)	(۱.۳۴۱, -۰.۲۲۲)	(۱.۸۵۳, -۰.۲۸۸)	(۳.۳۰۷, -۰.۳۹۴)	(۵.۶۲۵, -۰.۴۶۵)	(۴.۸۳۴, -۰.۳۲۰)	(۲.۶۰۷, -۰.۳۲۰)	۰.۳۲۸
EC_5	(۱.۴۸۱, -۰.۴۴۴)	(۲.۵۶۳, -۰.۸۰۵)	(۴.۲۲۰, -۱.۴۱۶)	(۳.۷۸۱, -۱.۱۴۹)	(۲.۱۷۶, -۰.۵۹۱)	(۱.۲۱۲, -۰.۳۰۱)	(۱.۴۸۱, -۰.۳۰۱)	۰.۲۲۶
...	...	...	...	...	...	...	...	...
EN_4	(۲.۵۱۵, ۰.۷۷۰)	(۲.۳۹۶, ۰.۵۱۷)	(۱.۷۵۴, ۰.۶۰۵)	(۴.۴۰۰, ۱.۱۴۳)	(۵.۰۲۱, ۱.۳۰۷)	(۳.۰۳۲, ۰.۹۱۰)	(۲.۵۱۵, ۰.۷۷۰)	۰.۸۴۷

جدول شماره ۸ پارامترهای خاص چند ضلعی رابطه راف-فازی را برای هر معیار نشان می‌دهد. پارامترهای x_i^c و y_i^c به طور جداگانه نمایانگر بعد افقی و بعد عمودی مرکز C_i^G هر چندضلعی معیار هستند. d_i^{oc} نشان دهنده طول بردار OC_i^G است که از مبدأ به مرکز C_i^G هدایت می‌شود. این پارامتر برای اندازه گیری قدرت اهمیت معیار i استفاده می‌شود. رتبه‌بندی اوزان معیارهای ارزیابی پیمانکار پایدار به شرح زیر ارائه شده است:

معیار EC_3 (قیمت مناقصه)، EC_7 (تجهیزات)، EN_4 (سیستم مدیریت محیطی)، EC_4 (توانایی مالی) و EN_2 (فناوری سبز و پاک) به ترتیب به عنوان پنج معیار برتر تعیین می‌شوند. بعلاوه، همانطور که در جدول ۸ و شکل ۱ نشان داده شده است، EC_2 ، EC_4 ، EC_5 ، EC_6 ، EC_8، SC_1 ، SC_2، EN_2 و EN_3 به گروه معلول تعلق دارند، زیرا مقادیر مختصات مرکز آن‌ها منفی است و به صورت عدد پررنگ در جدول ۸ نشان داده شده است. بقیه معیارها به عنوان معیارهای ساتع‌کننده اثر شناسایی می‌شوند.

جدول ۸. ماتریس وزن و رتبه معیارها

شاخص	x_i^c	y_i^c	d_i^{oc}	w_i	رتبه
توانایی فنی	۲.۹۶۸	۰.۲۰۶	۲.۹۵۷	۰.۰۵۸	۹
عملکرد گذشته شرکت	۲.۴۸۹	-۱.۱۹۰	۲.۷۵۹	۰.۰۵۳	۱۱
قیمت مناقصه	۴.۴۲۶	۰.۰۲۷	۴.۴۲۶	۰.۰۸۶	۱
توانایی مالی	۳.۷۳۲	-۰.۳۵۰	۳.۷۴۸	۰.۰۷۳	۴
کیفیت	۲.۷۸۷	-۰.۸۵۳	۲.۹۱۴	۰.۰۵۶	۱۰
زمان تحویل	۲.۵۲۴	-۰.۸۱۵	۲.۶۵۲	۰.۰۵۱	۱۲
تجهیزات	۳.۸۴۱	۰.۷۸۴	۳.۹۲۱	۰.۰۷۶	۲
خدمات پس از فروش	۲.۳۰۵	-۰.۷۱۲	۲.۴۱۳	۰.۰۴۷	۱۴
توانایی مدیریتی	۲.۹۲۱	۱.۲۷۲	۲.۱۸۶	۰.۰۶۲	۸
حقوق کارکنان	۱.۹۸۸	-۰.۰۲۷	۱.۹۸۸	۰.۰۳۸	۱۷
ایمنی و سلامت	۳.۰۱۲	-۱.۳۳۳	۳.۲۹۴	۰.۰۶۴	۶

شاخص	x_i^c	v_i^c	d_i^{oc}	w_i	رتبه
افشای اطلاعات	۱.۸۷۴	۰.۶۸۲	۱.۹۹۴	۰.۰۳۹	۱۶
آموزش کارکنان	۲.۱۸۷	۱.۳۰۴	۲.۵۴۶	۰.۰۴۹	۱۳
آلودگی محیطی	۲.۲۲۳	۰.۲۴۷	۲.۲۳۷	۰.۰۴۳	۱۵
فناوری سبز و پاک	۳.۵۲۵	-۰.۲۶۱	۳.۵۳۴	۰.۰۶۸	۵
مدیریت منابع	۳.۲۱۹	-۰.۲۳۲	۳.۲۲۷	۰.۰۶۲	۷
سیستم مدیریت محیطی	۳.۷۰۲	۱.۰۲۲	۳.۸۴۱	۰.۰۷۴	۳

۳.٤. رتبه‌بندی پیمانکاران با استفاده از روش تاپسیس راف-فازی

با استفاده از روابط (۵۹)-(۵۳)، هر دو راه حل ایده‌آل مثبت و منفی راف-فازی محاسبه شده و در جدول ۹ آمده است. با اعمال روابط (۶۰) و (۶۱)، فواصل بین هر پیمانکار و راه حل ایده‌آل در جدول ۱۰ محاسبه و نشان داده شده است. با اعمال رابطه (۶۲)، ضریب نزدیکی و رتبه‌بندی هر پیمانکار، همانطور که در جدول ۱۰ نشان داده شده است، به دست می‌آید.

جدول ۹. ماتریس ایده‌آل‌های مثبت و منفی روش تاپسیس راف-فازی پیشنهادی

شاخص	راه حل ایده‌آل مثبت	راه حل ایده‌آل منفی
EC_1	[(۰.۰۳۳, ۰.۰۴۸, ۰.۰۵۳), (۰.۰۰۹, ۰.۰۲۴, ۰.۰۲۸)]	[(۰.۰۴۲, ۰.۰۵۷, ۰.۰۶۷), (۰.۰۱۴, ۰.۰۲۸, ۰.۰۴۳)]
EC_2	[(۰.۰۱۷, ۰.۰۳۰, ۰.۰۴۳), (۰.۰۰۱, ۰.۰۰۷, ۰.۰۰۶)]	[(۰.۰۳۰, ۰.۰۴۳, ۰.۰۵۲), (۰.۰۱۸, ۰.۰۳۱, ۰.۰۴۵)]
EC_3	[(۰.۰۲۲, ۰.۰۴۰, ۰.۰۶۵), (۰.۰۰۱, ۰.۰۰۷, ۰.۰۰۶)]	[(۰.۰۳۶, ۰.۰۵۸, ۰.۰۷۹), (۰.۰۰۸, ۰.۰۲۸, ۰.۰۳۷)]
EC_4	[(۰.۰۴۳, ۰.۰۶۱, ۰.۰۷۳), (۰.۰۰۷, ۰.۰۲۵, ۰.۰۲۷)]	[(۰.۰۵۲, ۰.۰۷۰, ۰.۰۷۳), (۰.۰۲۳, ۰.۰۴۱, ۰.۰۵۹)]
EC_5	[(۰.۰۱۹, ۰.۰۳۳, ۰.۰۴۷), (۰.۰۰۲, ۰.۰۱۴, ۰.۰۲۲)]	[(۰.۰۲۶, ۰.۰۴۰, ۰.۰۵۴), (۰.۰۰۹, ۰.۰۲۳, ۰.۰۳۷)]
...	...	...
EN_{16}	[(۰.۰۲۵, ۰.۰۴۱, ۰.۰۵۶), (۰.۰۰۱, ۰.۰۱۴, ۰.۰۲۳)]	[(۰.۰۳۰, ۰.۰۴۶, ۰.۰۶۱), (۰.۰۱۱, ۰.۰۲۷, ۰.۰۴۲)]
EN_{17}	[(۰.۰۲۴, ۰.۰۴۳, ۰.۰۵۸), (۰.۰۰۰, ۰.۰۱۲, ۰.۰۲۴)]	[(۰.۰۴۲, ۰.۰۶۱, ۰.۰۷۱), (۰.۰۰۰, ۰.۰۱۸, ۰.۰۳۶)]

جدول ۱۰. ماتریس رتبه نهایی پیمانکاران در روش پیشنهادی

شرکت	D_i^+	D_i^-	CC_i	رتبه
تکنو صنعت پویا	۰.۱۰۳	۰.۰۲۱	۰.۱۶۶	۵
پارس کوشا	۰.۰۵۷	۰.۰۷۵	۰.۵۶۹	۳
علم و صنعت	۰.۰۳۳	۰.۰۸۹	۰.۷۲۹	۱
نوین رایان توسعه	۰.۰۵۳	۰.۰۸۲	۰.۶۰۷	۲
شرکت پویان ارم	۰.۰۶۲	۰.۰۷۰	۰.۵۳۰	۴

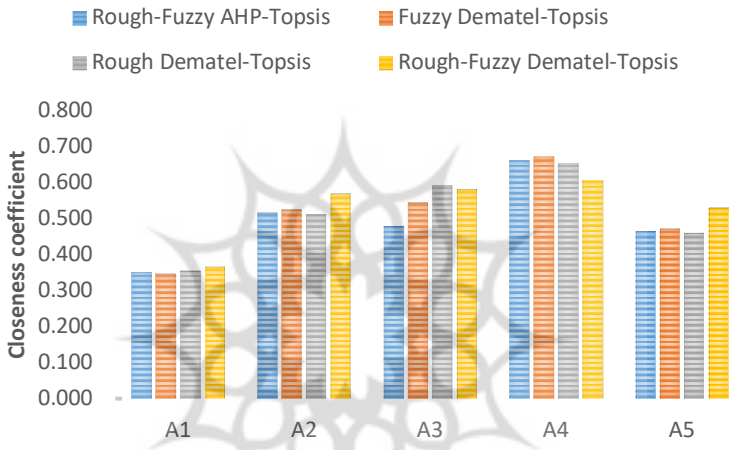
٤.٤. مقایسه روش دیمتل راف-فازی با روش‌های دیگر

در این قسمت، امکان سنجی و مزایای روش پیشنهادی از طریق مقایسه بین روش پیشنهادی و سه روش مرتبط دیگر نشان داده شده است در اولین مقایسه، تفاوت بین نتایج روش‌های Dematel-Topsis راف-فازی پیشنهادی، با نتایج روش‌های AHP-Topsis راف-فازی، Dematel-Topsis فازی و Dematel-Topsis راف در رتبه‌بندی پیمانکاران بررسی خواهند شد. در مقایسه دوم، هدف کشف تفاوت‌های ارزیابی بین وزن‌های معیارها را در میان چهار روش را نشان می‌دهد .رتبه‌بندی روش‌های متفاوت کمک می‌کند چون به درک ما درباره قوت‌ها و محدودیت‌های هر روش و انتخاب بهترین روش برای تصمیم‌گیری نهایی می‌افزاید. همچنین، این تحلیل نشان می‌دهد که چگونه تغییر در روش‌های ارزیابی می‌تواند بر اهمیت و وزن‌دهی معیارها تأثیر بگذارد. شناخت این تفاوت‌ها به تصمیم‌گیرنده کمک می‌کند تا درک عمیق‌تری از حساسیت نتایج نسبت به روش‌های ارزیابی داشته باشد و در انتخاب و استفاده از روش مناسب، آگاهانه‌تر عمل کند

در این دو مقایسه، پاسخ‌های زبانی خبرگان به ترتیب به یک عدد فازی، عدد راف و عدد راف–فازی و عدد راف–فازی روش پیشنهادی تبدیل می‌شوند. در رویکرد مبتنی بر فازی، عدد میانگین بازه فواصل فازی گروهی با محاسبه مقدار میانگین هندسی یا حسابی قضاوت‌های فازی گروه به دست می‌آید. یک رویه راف برای تجمیع قضاوت‌های قطعی گروهی برای محاسبه عدد بازه‌های راف میانگین گروه در روش مبتنی بر راف اتخاذ شده است. چهار روش مقایسه شده اساساً یک چهارچوب مشابه با روش AHP، دیمتل و تاپسیس را اتخاذ می کنند.

۱.۴.٤. مقایسه رتبه‌بندی پیمانکاران نهایی تحت روش‌های مختلف رتبه‌بندی

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، ضریب نزدیکی و ترتیب رتبه‌بندی پیمانکاران، تفاوت های خاصی را بین چهار روش رتبه‌بندی نشان می‌دهد. به عنوان مثال، در تمام روش‌ها، پیمانکار A_4 در رتبه اول و پیمانکار A_1 در رتبه آخر قرار دارد، در حالی که رویکرد پیشنهادی با سایر رویکردها در رتبه‌بندی شرکت‌های A_2، A_3 و A_4 با یکدیگر تفاوت دارند. تفاوت نتایج انتخاب بین چهار روش را می‌توان از تأثیر مکانیسم دستکاری عدم‌قطعیت و در نظر گرفتن قدرت و روابط بین معیارها بر روی نتایج ارزیابی وزن معیارهای انتخاب پیماتکار پایدار و نتایج نهایی رتبه‌بندی مبتنی بر تاپسیس استنباط کرد.



شکل ۲. مقایسه رتبه پیمانکاران

۲.۴.٤. مقایسه وزن معیارها در روش‌های مختلف

برای ارزیابی اثربخشی و نقاط قوت رویکرد ارائه شده در این مطالعه، یک تحلیل مقایسه‌ای برای حل همان مسئله انجام شد. روش‌های مقایسه شامل روش مبتنی بر AHP راف–فازی، روش مبتنی بر دیمتل راف، و روش دیمتل فازی است. ترتیب رتبه‌بندی شاخص‌های پایداری که با این روش‌ها بدست آمده است در جدول ۱۱ و ساختار روابط بین معیارها در شکل‌های ۳ تا ۵ نشان داده شده است.

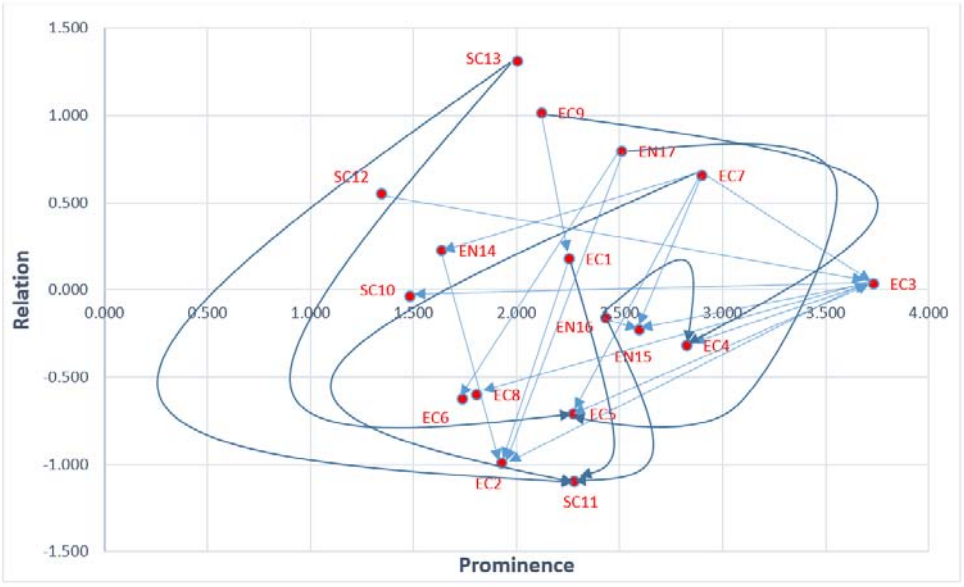
تفاوت‌هایی در ترتیب رتبه‌بندی‌های به‌دست‌آمده از این چهار روش وجود دارد. اولین مقایسه با نتیجه به دست آمده از روش مبتنی بر AHP راف–فازی انجام شده است. همانطور که از جدول ۱۱ مشاهده می‌شود، به جز EC_3 (قیمت مناقصه)، EC_7 (تجهیزات) و EN_1 (آلودگی محیطی)، ترتیب رتبه‌بندی سایر معیارها تعیین شده توسط دیمتل با ترتیب بدست آمده با روش AHP متفاوت است. دلایل این واگرایی عمدتاً در کاستی‌های مرتبط به روش AHP نهفته است که تنها قدرت معیارها را در فرآیند ارزیابی در نظر می‌گیرد و تاثیرات بین معیارها را در چارچوب تحلیل خود ادغام نمی‌کند. EC_1 (توانایی فنی) رتبه سوم را در روش AHP دارد، زیرا اکثر تصمیم‌گیرندگان تصور می‌کنند که این معیار منجر به پیامدهای جدی می‌شود. روش دیمتل پیشنهادی نه تنها قدرت معیارها را در نظر می‌گیرد، بلکه تعاملات آن‌ها را با سایر معیارها نیز در نظر می‌گیرد. برای مثال، تأثیر کل معیار EC_1 (تأثیر ساطح شده و دریافتی) ۰/۰۶ است که کمتر از بسیاری از معیارها است. لذا، روش پیشنهادی رتبه نسبی پایین‌تری را برای EC_1 فراهم می‌کند (رتبه ۹). از سوی دیگر، بر خلاف دیمتل پیشنهادی، روش AHP نمی‌تواند تجزیه و تحلیل علت و معلولی خاصی از معیارهای ارزیابی پیمانکار پایدار را ارائه دهد بنابراین، در تصمیم‌گیری ارزیابی معیارها، دیمتل پیشنهادی می‌تواند اطلاعات ارزشمندتری نسبت به روش AHP ارائه دهد

درجاتی از شباهت بین نتایج رتبه‌بندی روش پیشنهادی و نتایج رتبه‌بندی روش‌های دیمتل راف و دیمتل فازی وجود دارد. با توجه به جدول ۱۱، نتایج رتبه‌بندی از دیمتل راف و دیمتل فازی و روش پیشنهادی به جز EC_3 (قیمت مناقصه)، EC_7 (تجهیزات)، SC_1 (حقوق کارکنان)، SC_2 (ایمنی و سلامت)، SC_3 (افشای اطلاعات)، EN_1 (آلودگی محیطی) و EN_2 (فناوری سبز و پاک) متفاوت است. دو روش دیمتل فازی و دیمتل راف برخلاف دیمتل راف-فازی پیشنهادی قدرت معیارها را در فرآیند تصمیم‌گیری رابطه کل در نظر نمی‌گیرد، گرچه ارتباطات بین شاخص‌های پایداری بررسی می‌شود. این امر باعث ایجاد تفاوت‌هایی در روابط بحرانی بین شاخص‌های ارزیابی پیمانکاران می‌شود. رابطه EC_1، EC_6، EC_8 و SC_4 در روش دیمتل پیشنهادی مهم‌تر از سایر روش‌ها ظاهر می‌شود. این به این دلیل است که روش پیشنهادی تأثیر قدرت این معیار را نیز در نظر می‌گیرد.

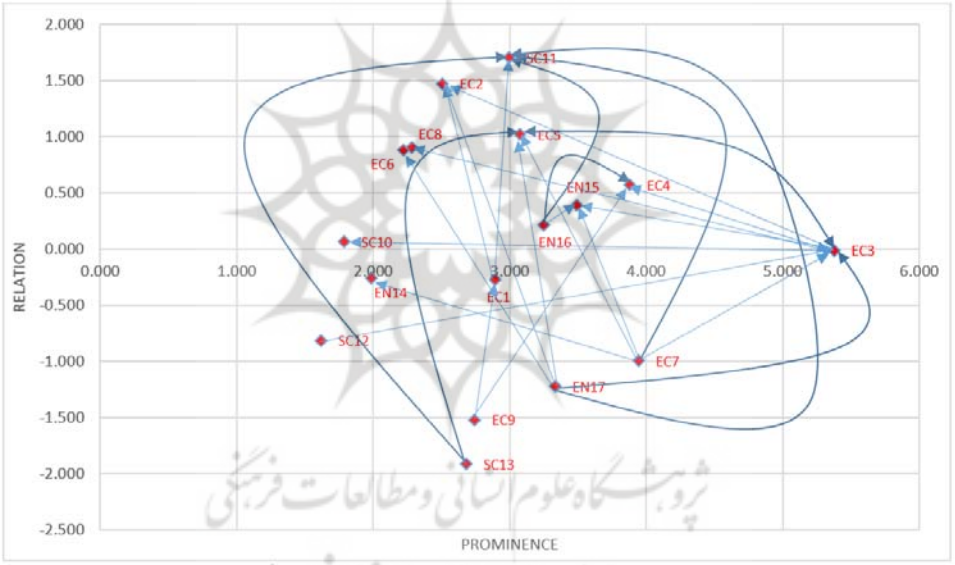
با توجه به ترکیب مجموعه فازی و مجموعه راف برای مدیریت کامل عدم‌قطعیت های داخلی و خارجی، و همچنین یکپارچه‌سازی قدرت معیارها و تاثیرات بین معیارها در روش دیمتل راف-فازی پیشنهادی، یک نتیجه ارزیابی قابل توجه متفاوت در مقایسه با سه روش دیگر نشان می‌دهد. نتایج مقایسه‌ای نشان می‌دهد که دیمتل راف-فازی پیشنهادی با درنظر گرفتن عدم‌قطعیت‌های داخلی و خارجی تفاوت‌هایی با روش‌های دیمتل راف و دیمتل فازی پیدا می‌کند. روش پیشنهادی همزمان مکانیزمی برای مدیریت عدم‌قطعیت داخلی و خارجی در فرآیند تصمیم‌گیری دارد. از جهت عدم‌قطعیت خارجی، اطلاعات مربوط به تصمیم‌گیری در مورد شاخص‌های پایداری به نُمره راف تبدیل می‌شود که ناپایداری در قضاوت‌های کلامی کارشناسان را در بر می‌گیرد. برای این منظور، تصمیم‌گیرندگان نظرات خود در خصوص شاخص‌ها را ابتدا به شکل کلامی بیان و سپس در روش پیشنهادی این نمرات کلامی را به صورت بازه‌های راف تبدیل می‌کند که ناهماهنگی در اطلاعات قضاوتی را مدنظر قرار می‌دهد. از جهت عدم‌قطعیت داخلی، در حالی که روش پیشنهادی از اعداد فازی استفاده می‌کند، روش دیمتل فازی از اعداد فازی مثلثی بر پایه نظریه مجموعه فازی بهره می‌گیرد. بااین‌حال، این روش تغییرات قضاوتی در عدم‌قطعیت را بازتاب نمی‌دهد. در مقابل، روش دیمتل راف-فازی پیشنهادی در مدیریت اطلاعات نامطمئن تصمیم‌گیری بسیار انعطاف‌پذیرتر عمل می‌کند. بنابراین، در فرآیند ارزیابی شاخص‌های پایداری، دیمتل پیشنهادی قادر است اطلاعات ارزشمندتری نسبت به دیمتل راف و دیمتل فازی ارائه دهد

جدول ۱۱. مقایسه وزن نهایی معیارها

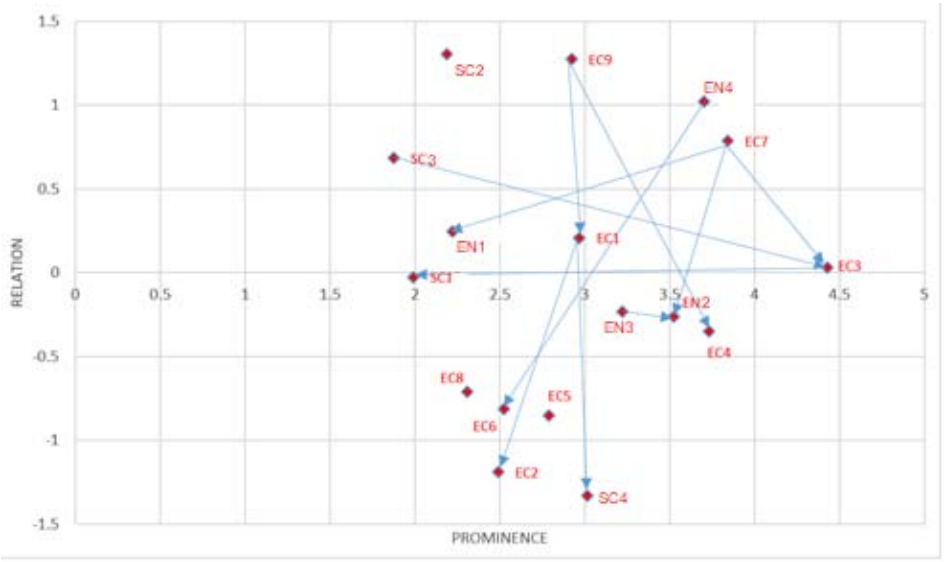
شاخص	Rough-fuzzy AHP		دیمتل فازی		دیمتل راف		دیمتل راف-فازی	
EC_1	۰.۰۷۰	۳	۰.۰۵۷	۱۱	۰.۰۵۵	۱۱	۰.۰۵۸	۹
EC_2	۰.۰۶۲	۷	۰.۰۵۵	۱۲	۰.۰۵۵	۱۲	۰.۰۵۳	۱۱
EC_3	۰.۰۸۰	۱	۰.۰۹۴	۱	۰.۱۰۱	۱	۰.۰۸۶	۱
EC_4	۰.۰۵۶	۱۱	۰.۰۷۲	۳	۰.۰۷۴	۳	۰.۰۷۳	۴
EC_5	۰.۰۴۹	۱۴	۰.۰۶۰	۹	۰.۰۶۱	۹	۰.۰۵۶	۱۰
EC_6	۰.۰۶۶	۵	۰.۰۴۷	۱۴	۰.۰۴۵	۱۴	۰.۰۵۱	۱۲
EC_7	۰.۰۷۰	۲	۰.۰۷۵	۲	۰.۰۷۷	۲	۰.۰۷۶	۲
EC_8	۰.۰۴۴	۱۶	۰.۰۴۸	۱۳	۰.۰۴۶	۱۳	۰.۰۴۷	۱۴
EC_9	۰.۰۶۶	۴	۰.۰۵۹	۱۰	۰.۰۵۹	۱۰	۰.۰۶۲	۸
SC_1	۰.۰۵۶	۱۳	۰.۰۳۷	۱۷	۰.۰۳۴	۱۷	۰.۰۳۸	۱۷
SC_2	۰.۰۵۸	۸	۰.۰۶۴	۶	۰.۰۶۵	۶	۰.۰۶۴	۶
SC_3	۰.۰۵۶	۱۲	۰.۰۳۷	۱۶	۰.۰۳۴	۱۶	۰.۰۳۹	۱۶
SC_4	۰.۰۴۴	۱۷	۰.۰۶۰	۸	۰.۰۶۲	۷	۰.۰۴۹	۱۳
EN_1	۰.۰۴۶	۱۵	۰.۰۴۲	۱۵	۰.۰۳۸	۱۵	۰.۰۶۸	۱۵
EN_2	۰.۰۵۷	۹	۰.۰۶۶	۵	۰.۰۶۶	۵	۰.۰۶۶	۵
EN_3	۰.۰۵۷	۱۰	۰.۰۶۱	۷	۰.۰۶۱	۸	۰.۰۶۲	۷
EN_4	۰.۰۶۲	۶	۰.۰۶۶	۴	۰.۰۶۷	۴	۰.۰۷۴	۳



شکل ۳. ارتباط علی و معلولی معیارها در روش دیمتل فازی



شکل ۴. ارتباط علی و معلولی معیارها در روش دیمتل راف



شکل ۵. ارتباط علی و معلولی معیارها در روش دیمتل راف-فازی پیشنهادی

مقایسه بین روش دیمتل راف-فازی پیشنهادی و سه روش دیگر در جدول ۱۲ خلاصه شده است .

جدول ۱۲. اصلی‌ترین تفاوت‌های بین دیمتل راف-فازی پیشنهادی و روش‌های ذکر شده

روش‌ها	در نظر گرفتن قدرت شاخص‌ها	در نظر گرفتن تأثیر شاخص‌ها	تحلیل علت و معلولی	مدیریت عدم‌قطعیت داخلی	مدیریت عدم‌قطعیت خارجی	انعطاف‌پذیری
AHP راف-فازی	بله	خیر	خیر	خیر	خیر	پایین
دیمتل فازی	خیر	بله	بله	بله	خیر	پایین
دیمتل راف	خیر	بله	بله	خیر	بله	پایین
دیمتل راف-فازی پیشنهادی	بله	بله	بله	بله	بله	بله

۵. دستاوردهای مدیریتی و نظری

۱.۵. بینش‌های مدیریتی

تحلیل مفصل هر معیار مرجع مفیدی برای شناسایی نقش حمایتی ابعاد پایداری در بهبود پایداری پیمانکاران فراهم می‌کند. اول، انتخاب پیمانکار مناسب می‌تواند بر نگرانی‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و جنبه‌های اجتماعی مدیریت زنجیره تامین پایدار تأثیر بگذارد، زیرا انتخاب پیمانکار نقش مهمی در دستیابی به منافع اجتماعی، زیست‌محیطی و اقتصادی دارد. مدیران باید به دقت بر شناسایی سیستماتیک معیارهای ارزیابی پیمانکار پایدار تاکید کنند، چرا که این معیارها مرجع ارزشمندی برای مدیران فراهم می‌کند تا پیمانکاران مناسب را در راستای الزامات توسعه پایدار بشناسند. این معیارها می‌تواند به مدیران کمک کنند تا پیمانکاران مناسب را در مرحله مقدماتی توسعه پایدار، سریع‌تر هدف قرار دهند. هدف اصلی در چنین مواردی انتخاب پیمانکار مناسب و تضمین روند پایدار است.

معیارهای شناسایی‌شده، بینش‌های ارزشمندی درباره تأثیرات مثبت پارامترهای مرتبط با پایداری اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی ارائه می‌دهند. این معیارها می‌توانند هم توسط مدیران ارشد سازمان‌ها برای شناسایی و انتخاب بهترین پیمانکار کاربرد داشته باشند و هم توسط خود پیمانکاران برای شناسایی نقاط ضعف و هدایت روند تحول آینده بر اساس نیازهای نوین در فرآیند انتخاب پیمانکار مورد استفاده قرار گیرند. بر اساس رتبه‌بندی به دست آمده از روش دیمتل-تاپسیس راف-فازی، پنج شاخص اصلی شامل قیمت مناقصه، تجهیزات، سیستم مدیریت محیطی، توانایی مالی، و فناوری سبز و پاک تعیین شده‌اند. با توجه به شرایط اقتصادی کشور، تحریم‌ها، و ضرورت کاهش هزینه‌های صنعتی،

شاخص قیمت مناقصه اهمیت ویژه‌ای یافته و باید در فرآیند انتخاب پیمانکاران شرکت مورد مطالعه در اولویت قرار گیرد. در فرآیند استعلام، این شاخص در واحد بازرگانی و کمیسیون‌های اقتصادی شرکت بررسی می‌شود. همچنین، با توجه به فناوری‌های به‌کارگرفته شده در محصولات تولیدی شرکت، نیاز به ماشین‌آلات و ابزارهای پیشرفته و دقت بالا احساس می‌شود. بنابراین، تجهیزات و زیرساخت‌های مناسب برای تولید بدنه‌های فلزی دستگاه‌های ایکس‌ری نیز به عنوان عامل مهم در انتخاب پیمانکار مورد نظر قرار می‌گیرند. مهم‌تر از آن، با توجه به فضای امنیتی حاکم بر شرکت و لزوم مستندسازی دقیق مدارک و مستندات پروژه‌ها، مدیران باید بر سیستم‌های ISO و فرآیندهای حفاظت اطلاعات تمرکز ویژه‌ای داشته باشند و مطابق نتایج روش پیشنهادی، شاخص سیستم مدیریت محیطی در رتبه سوم قرار می‌گیرد. در شرایط اقتصادی فعلی و با توجه به نوع فعالیت‌های شرکت، توانایی مالی پیمانکاران از اهمیت بالایی برخوردار است. چرا که پروژه‌ها و محصولات شرکت اغلب به صورت تحقیقاتی و آزمایشی هستند، و پیمانکار باید توان مالی برای تولید نمونه‌های اولیه بدون نیاز به پیش‌پرداخت مستقیم را داشته باشد. در نهایت، به دلیل استفاده دستگاه‌های ایکس‌ری چمدان و بار از ژنراتورهای تولید اشعه ایکس، لازم است پیمانکار محیط و زیرساخت مناسب، مانند دیوارهای سربی، جهت جذب و کنترل اشعه در حین ساخت را فراهم کند. بنابراین، مدیران تولید و مهندسی شرکت باید نگاه جامع‌تری به شاخص فناوری سبز و پاک داشته باشند تا هم از لحاظ ایمنی و هم از حیث حفاظت محیط‌زیستی، بهترین انتخاب ممکن صورت گیرد. به طور کلی، معیارهای شناسایی‌شده، ابزارهای عملیاتی هستند که می‌توانند در تصمیم‌گیری‌های روزمره، بهبود کارایی، کاهش ریسک‌های پروژه و افزایش سازگاری با الزامات زیست‌محیطی و اجتماعی را تضمین کنند. استفاده مؤثر از این بینش‌ها، سازمان را در مسیر توسعه پایدار، رقابت‌پذیری و پاسخگویی به نیازهای بازار هدایت می‌کند.

۲.۵. بینش‌های نظری

در فرآیندهای تصمیم‌گیری چندمعیاره، اغلب اطلاعات و داده‌ها تابع عدم‌قطعیت و ابهام هستند که نمی‌توان آن‌ها را به صورت قطعی و عددی دقیق مدل‌سازی کرد. اعداد راف فازی به نمایندگی از درجات عدم‌قطعیت و ابهام در این داده‌ها کمک می‌کنند، و با انعطاف‌پذیری بیشتر، امکان ارزیابی واقع‌بینانه‌تر و جامع‌تر را فراهم می‌آورند. در ترکیب با روش AHP، اعداد راف فازی به صورت وزنه‌های فازی، وزن‌های موثر و قابل اطمینان را تعیین می‌کنند و در مرحله‌ی تاپسیس، راهکارهای تصمیم‌گیری پایدار و مقاوم در مقابل ابهامات ارائه می‌دهند. در نتیجه، استفاده از این تکنیک‌ها، موجب افزایش دقت، پایایی و قابلیت اعتماد نتایج نهایی می‌شود و کمک می‌کند تا تصمیم‌گیرندگان بتوانند گزینه‌های بهینه را در شرایط عدم‌قطعیت مشخص و منطقی انتخاب کنند .

علاوه بر این، این مطالعه یک رویکرد جدید دیمتل-تاپسیس راف-فازی را با در نظر گرفتن همزمان قدرت و روابط بین معیارها پیشنهاد می‌کند. اول در ارزیابی معیارهای پایداری به طور همزمان قدرت و تأثیر این معیارها را در نظر می‌گیرد. در واقع تأثیر قدرت معیارها بر وابستگی‌های متقابل آن‌ها را در نظر می‌گیرد، که در ادبیات قبلی بررسی نشده است. در حالی که رویکرد AHP تنها به قدرت معیارها و رویکرد دیمتل تنها به روابط بین معیارها توجه دارد. بنابراین رویکرد پیشنهادی می‌تواند به مدیران زنجیره تامین رهنمود درخوری در بررسی مکانیسم تعامل بین شاخص‌های پایداری ارائه دهد تا تصمیمات معقولی را در اتخاذ کنند. دوم، در مقایسه با رویکرد مبتنی بر فازی یا رویکرد مبتنی بر راف، روش راف-فازی پیشنهادی، عملکرد بهتری در ارائه نتایج دقیق‌تر و عینی‌تر دارد، زیرا مزیت مجموعه فازی را در مدیریت عدم‌قطعیت داخلی و محاسن مجموعه راف در دستکاری عدم‌قطعیت خارجی را ترکیب می‌کند. سوم، ترکیب مجموعه فازی، مجموعه راف، AHP، دیمتل و تاپسیس یک روش روشن برای مدیریت قدرت و وابستگی معیارها و همزمان انواع متعدد عدم‌قطعیت ارائه می‌دهد. این ترکیب شکاف شناسایی معیار پایداری و روابط متقابل این معیارها را پر می‌کند و همچنین تحریف اطلاعات را که ممکن است به خروجی‌های نادرست منجر شود کاهش می‌دهد. در نتیجه، می‌توان گفت که دیمتل-تاپسیس راف-فازی پیشنهادی به نتایج دقیق، عینی، تحریف نشده و آموزنده‌تری از ارزیابی معیارها و انتخاب پیمانکار دست می‌یابد. رویکرد پیشنهادی می‌تواند به مدیران زنجیره تامین کمک کند تا تصمیمات معقولی زیست محیطی و مالی اتخاذ کنند

٦. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش با بررسی ادبیات به شناسایی معیارهای ارزیابی پیمانکار پایدار و توسعه یک رویکرد جدید برای انتخاب پیمانکار پایدار می پردازد. روش دیمتل راف-فازی پیشنهادی مجموعه فازی و مجموعه راف را با در نظر گرفتن ابهام زبانی فردی و تنوع ترجیحات گروهی، ادغام می‌کند تا قضاوت‌های زبانی چندین کارشناس خبره را به اعداد بازه‌ای راف-فازی تبدیل کند. علاوه بر این روش پیشنهادی، قدرت روش دیمتل را در مدیریت روابط متقابل پیچیده و روش تاپسیس در جستجوی گزینه‌های سازشی ترکیب می‌کند.

نتایج به دست آمده از مقدار وزن معیارها در روش دیمتل راف-فازی، حاکی از این موضوع است که قیمت مناقصه، تجهیزات، سیستم مدیریت محیطی، توانایی مالی و فناوری سبز و پاک به عنوان پنج معیار برتر ظاهر شده‌اند. ضمن اینکه با استفاده از روش پیشنهادی این نتیجه دریافت شد که پیمانکار سوم (شرکت علم و صنعت) دارای رتبه بهتری در مقایسه با دیگر پیمانکاران است نتایج روش پیشنهادی همچنین با نتایج حاصل از روش‌های دیگرمقایسه می‌شود. نهایتا با مقایسه چهار روش AHP-تاپسیس راف-فازی، دیمتل- تاپسیس فازی، دیمتل- تاپسیس راف و دیمتل- تاپسیس راف-فازی پیشنهادی این نتیجه به دست آمد که تفاوت‌هایی بین روابط متقابل بین معیارها وجود دارد. با توجه به ترکیب مجموعه فازی و مجموعه راف برای مدیریت کامل عدم‌قطعیت های داخلی و خارجی، روش راف-فازی پیشنهادی یک نتیجه ارزیابی قابل توجه متفاوتی در مقایسه با سه روش دیگر نشان می‌دهد. بنابراین، استفاده از روش راف-فازی تأثیر قابل توجهی بر نتیجه نهایی روش دیمتل و تاپسیس دارد.

با توجه به محدودیت‌های موجود در انطباق شاخص‌ها با شرایط خاص مطالعه و زمینه صنعت مورد بررسی، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی، در روند شناسایی و تأیید شاخص‌ها، از رویه‌ای منسجم و نظام‌مند بهره‌گیری گردد. در این رویکرد، خبرگان حوزه‌های مرتبط با پروژه و صنعت، شاخص‌های پیشنهادی را بررسی و ارزیابی کرده و از نظر تطابق آن‌ها با شرایط عملیاتی و استراتژیک شرکت، اصلاحات و اولویت‌بندی‌های لازم را انجام می‌دهند. این فرآیند باعث می‌شود شاخص‌های نهایی ضمن تایید علمی، بیش‌ترین سازگاری و کاربردپذیری را در محیط واقعی عملیاتی یافته و بتوانند به طور مؤثر در فرآیند ارزیابی پیمانکاران مورد استفاده قرار گیرند. افزون بر این، پیاده‌سازی این مدل در پروژه‌های واقعی و ارزیابی اثربخش آن، می‌تواند راهنمایی عملی برای بهره‌برداری بهتر از رویکردهای پیشنهادی در صنعت باشد و زمینه‌ساز توسعه و بهبود فرایندهای ارزیابی پیمانکاران در آینده شود. از سوی دیگر، روش‌های دیگر تصمیم‌گیری چند معیاره را می‌توان برای حل همین چالش و مقایسه با رویکرد پیشنهادی توسعه داد.

تعارض منافع برای ارائه مطالب و نگارش این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از هیچ فرد، نهاد و سازمانی دریافت نشده است و نتایج و دستاوردهای این مقاله به نفع یا ضرر سازمان یا فردی خاص نخواهد بود. حضور نویسندگان در این پژوهش به‌عنوان شاهدی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

منابع

1. Alnsour, M., Zeidan, A., Al Quwaider, B., Alkubaisi, A., Alreqeb, R., & Bader, M. (2023). Developing sustainability assessment indicators for measuring contractor's performance during the construction phase of construction projects in Jordan. *Asian Journal of Civil Engineering*, *24*(1), 245-266.
2. Amin-Tahmasbi, H., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Najafi, S. E. (2016). IAHP/DEA Model for Contractor Assessment in Construction Industries in the Presence of Imprecise Data. *Research in Production and Operations Management*, *7*(2), 199-216. (*In Persian*).
3. Arowosafe, O., Oduyemi, O., Ceranic, B., & Dean, A. (2018). Sustainable infrastructure delivery in Nigeria: implementation of the analytic network process for contractor selection. *Sustainable Buildings*.
4. Chen, Z., Ming, X., Zhang, X., Yin, D., & Sun, Z. (2019). A rough-fuzzy DEMATEL-ANP method for evaluating sustainable value requirement of product service system. *Journal of Cleaner Production*, *228*, 485-508.
5. Çalık, A., Paksoy, T., & Huber, S. (2019). Lean and green supplier selection problem: a novel multi objective linear programming model for an electronics board manufacturing company in Turkey. *Multiple Criteria Decision Making and Aiding: Cases on Models and Methods with Computer Implementations*, 281-309.
6. Chen, Z., & Ming, X. (2020). A rough–fuzzy approach integrating best–worst method and data envelopment analysis to multi-criteria selection of smart product service module. *Applied Soft Computing*, *94*, 106479.

7. Chen, Z., Ming, X., Zhou, T., & Chang, Y. (2020). Sustainable supplier selection for smart supply chain considering internal and external uncertainty: An integrated rough-fuzzy approach. *Applied Soft Computing*, *87*, 106004.
8. Dalalah, D., Hayajneh, M., & Batieha, F. (2011). A fuzzy multi-criteria decision making model for supplier selection. *Expert systems with applications*, *38*(7), 8384-8391.
9. El-Kholy, A. M. (2019). A new technique for subcontractor selection by adopting choosing by advantages. International Journal of Construction Management, 1-23.
10. Ecer, F., & Pamucar, D. (2020). Sustainable supplier selection: A novel integrated fuzzy best worst method (F-BWM) and fuzzy CoCoSo with Bonferroni (CoCoSo'B) multi-criteria model. Journal of Cleaner Production, 266, 121981.
11. Hsu, Y. L., Lee, C. H., & Kreng, V. B. (2010). The application of Fuzzy Delphi Method and Fuzzy AHP in lubricant regenerative technology selection. *Expert systems with Applications*, *37*(1), 419-425.
12. Hosseini Nasab, H., & Mirghani Ghamsarian, M. (2015). A fuzzy multiple-criteria decision-making model for contractor prequalification. *Journal of Decision Systems*, *24*(4), 433-448.
13. Hasnain, M., Ullah, F., Thaheem, M. J., & Sepasgozar, S. M. (2018). Prioritizing best value contributing factors for contractor selection: An AHP approach. In *Proceedings of the 21st International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate* (pp. 1121-1131). Springer Singapore.
14. Gu, J., Guo, F., Peng, X., & Wang, B. (2023). Green and sustainable construction industry: A systematic literature review of the contractor's green construction capability. *Buildings*, *13*(2), 470.
15. Lai, Y. J., Liu, T. Y., & Hwang, C. L. (1994). Topsis for MODM. *European journal of operational research*, *76*(3), 486-500.
16. Keshavarz-Ghorabaee, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2018). A dynamic fuzzy approach based on the EDAS method for multi-criteria subcontractor evaluation. Information, 9(3), 68.
17. Koc, K., Ekmekcioglu, Ö., & Işık, Z. (2023). Developing a hybrid fuzzy decision-making model for sustainable circular contractor selection. *Journal of Construction Engineering and Management*, *149*(10), 04023095.
18. Leśniak, A., Kubek, D., Plebankiewicz, E., Zima, K., & Belniak, S. (2018). Fuzzy AHP application for supporting contractors' bidding decision. Symmetry, 10(11), 642.
19. Nazari, A., Parchami Jalal, M., Shahidi Nashroud Kola, S., & Hojat Panah, S. (2022). Analytical Review of the Construction Contractors' Challenges in the Contractual Claims. *Journal of Industrial Management Perspective*, *12*(4), 199-221. (*In Persian*).
20. Najiazarpour, S., & Teimouri, E. (2018). SUPPLY CHAIN MANAGEMENT AND UTILIZATION OF PROMTHE E. *Sharif Journal of Industrial Engineering & Management*, *34*(1.1), 29-37. (*In Persian*).
21. Mirmousa, S., & Dehnavi, H. D. (2016). Development of criteria of selecting the supplier by using the fuzzy DEMATEL method. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 230, 281-289.
22. Mohammed, A., Setchi, R., Filip, M., Harris, I., & Li, X. (2018). An integrated methodology for a sustainable two-stage supplier selection and order allocation problem. *Journal of Cleaner Production*, *192*, 99-114.
23. Masmoudi, M., Alshamsi, M., Piya, S., & Gupta, S. (2025). Contractors allocation for public building maintenance: a sustainable approach aligned with SDGs using AHP-TOPSIS and bi-objective optimization. *International Transactions in Operational Research*.
24. Prakash, C., & Barua, M. K. (2016). A robust multi-criteria decision-making framework for evaluation of the airport service quality enablers for ranking the airports. Journal of Quality Assurance in Hospitality & Tourism, 17(3), 351-370.
25. Polat, G. (2016). Subcontractor selection using the integration of the AHP and PROMETHEE methods. Journal of Civil Engineering and Management, 22(8), 1042-1054.
26. Pamučar, D., Petrović, I., & Ćirović, G. (2018). Modification of the Best–Worst and MABAC methods: A novel approach based on interval-valued fuzzy-rough numbers. *Expert systems with applications*, *91*, 89-106.
27. Ranaei Koroshlooei, H., Alimohammadloo, M., Mirghaderi, S. H., & Amini, M. (2018). A framework for evaluating qualification and selecting contractor in the process of outsourcing the creation and maintenance of green space projects case study: Shiraz municipality. *Journal of Iranian public administration studies*, *1*(1), 59-85. (*In Persian*).
28. Steger, C. (1996). On the calculation of moments of polygons. *Reporte técnico, Technische Universität München*.
29. Senthil, S., Srirangacharyulu, B., & Ramesh, A. (2015). A robust hybrid multi-criteria decision making methodology for contractor evaluation and selection in third-party reverse logistics. Expert Systems with Applications, 41(1), 50-58.
30. Sarkis, J., Meade, L. M., & Presley, A. R. (2012). Incorporating sustainability into contractor evaluation and team formation in the built environment. Journal of Cleaner Production, 31, 40-53.
31. Sun, C. C. (2010). A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Expert systems with applications*, *37*(12), 7745-7754.
32. Saaty, T. L. (1989). Decision making, scaling, and number crunching. *Decision sciences*, *20*(2), 404-409.
33. Song, W., & Cao, J. (2017). A rough DEMATEL-based approach for evaluating interaction between requirements of product-service system. *Computers & Industrial Engineering*, *110*, 353-363.

34. Zhang, J. (2017). Evaluating regional low-carbon tourism strategies using the fuzzy Delphi-analytic network process approach. *Journal of Cleaner Production*, *141*, 409-419.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی