



Research in Production and Operations Management  
University of Isfahan E-ISSN: 2981-0329  
Vol. 16, Issue 3, No. 42, Autumn 2025



DOI: [10.22108/pom.2025.145855.1627](https://doi.org/10.22108/pom.2025.145855.1627)

(Research paper)

## Enhancing Sustainability in Modular Megaprojects through an SF-CIMAS Approach for Identifying and Prioritizing Supplier Evaluation Criteria

Ali Memarpour Ghiaci

Industrial Engineering Department, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran,  
ali.memarpour@mut.ac.ir

Morteza Abbasi\*

Industrial Engineering Department, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran,  
mabbasi@mut.ac.ir

Jafar Gheidar-Kheljani

Industrial Engineering Department, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran,  
kheljani@mut.ac.ir

**Purpose:** Supplier evaluation plays a crucial role in the success of modular megaprojects, as these projects necessitate capable suppliers due to the complex coordination required among various subsystems and the precise integration of modules. In this context, this study aims to propose a novel approach for evaluating suppliers in modular megaprojects.

**Design/methodology/approach:** This study employs a novel approach. In the first stage, supplier evaluation criteria are identified, and data derived from the judgments of the decision-making team are collected as linguistic variables based on spherical fuzzy sets. Subsequently, the criteria weights are calculated using the developed SF-CIMAS method. Using purposive sampling, the decision-making team consisted of seven experts with experience and specialization in management systems implementation consultancy, engineering, and project and megaproject management. Information on the members indicates that the majority of the expert team have between six and eleven years of professional experience.

**Findings:** To illustrate the applicability of the proposed approach, supplier evaluation criteria were assessed and prioritized using the SF-CIMAS method. In this study, 31 criteria were evaluated and ranked from a sustainability perspective. First, each criterion was assessed by the decision-making team using linguistic

\* Corresponding author, [0000-0002-0926-6644](https://orcid.org/0000-0002-0926-6644)



variables based on spherical fuzzy sets. Given the uncertainty inherent in the evaluation criteria, spherical fuzzy sets were employed to address this uncertainty. The relative importance of the criteria was then determined using the developed CIMAS method based on spherical fuzzy sets. According to this method, cost, strategy and organization, and the amount of generated waste received the highest importance weights, respectively.

**Research limitations/implications:** The limited number of experts in the field of megaproject management and the absence of objective weighting methods in the prioritization process are among the limitations of this study. Employing objective methods for calculating criteria weights alongside subjective weights, to mitigate potential cognitive bias effects in experts' opinions during decision-making, as well as developing and comparing multi-criteria decision-making methods in uncertain environments — such as Pythagorean fuzzy, q-rung, and Fermatean fuzzy — and contrasting their results with the methods developed in this study, are suggested directions for future research. Regardless of the specific case used to implement the proposed approach in this study, the approach can be applied to various decision-making problems for prioritizing and determining the importance degree of criteria. We will extend our future research to evaluate and prioritize suppliers of modular megaprojects by applying the identified and assessed criteria.

**Practical implications:** Selecting the right supplier in the management of modular megaprojects is a strategic choice with significant consequences. The megaproject manager must ensure alignment between the project's overarching objectives and the supplier evaluation process, referencing key performance indicators in contracts—such as on-time delivery and waste management. The prominent role of the “amount of generated waste” criterion in the weights derived from the SF-CIMAS method in this study highlights the need for focused managerial attention on sustainability-related measures. The megaproject manager should establish joint waste-reduction programs with suppliers, set clear contractual targets, and promote innovations in material efficiency and the adoption of circular-economy principles. Finally, periodic reviews of the criteria and recalculations of their weights using updated data and insights, along with regular supplier assessments, will ensure that the supplier network remains aligned with the megaproject's goals.

**Originality/value:** Given the necessity for complex coordination among subsystems and precise integration of modules, the success of modular megaprojects heavily relies on the evaluation and selection of competent suppliers. This study aims, for the first time, to apply the developed SF-CIMAS method to the challenge of identifying and prioritizing supplier evaluation criteria. This method can effectively address uncertainty and facilitate group decision-making. In this research, also for the first time, the identification and prioritization of supplier evaluation criteria for megaprojects are conducted according to sustainability dimensions based on spherical fuzzy sets.

**Keywords:** Megaproject management, Modular megaprojects, Supplier evaluation, Sustainability, Multi-criteria decision-making, SF-CIMAS, Spherical fuzzy sets

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
رتال جامع علوم انسانی



پژوهش در مدیریت تولید و عملیات، دوره ۱۶، شماره ۳، پیاپی ۴۲، پاییز ۱۴۰۴

دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۴ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۵ ص ۹۹-۱۳۰



DOI: [10.22108/pom.2025.145855.1627](https://doi.org/10.22108/pom.2025.145855.1627)

(مقاله پژوهشی)

## شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان مگاپروژه‌های ماژولار از منظر پایداری با رویکرد SF-CIMAS

علی معمارپور غیائی<sup>۱</sup>؛ مرتضی عباسی<sup>۲\*</sup>؛ جعفر قیدر خلجانی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی صنایع، دانشکده مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران،

ali.memarpour@mut.ac.ir

۲- استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران، mabbasi@mut.ac.ir

۳- دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران، kheljani@mut.ac.ir

**چکیده:** موفقیت مگاپروژه‌های ماژولار، تا حد زیادی وابسته به ارزیابی دقیق تأمین‌کنندگان است؛ زیرا این پروژه‌ها با توجه به پیچیدگی هماهنگی زیرسیستم‌های متعدد و ضرورت یکپارچگی دقیق ماژول‌ها، نیازمند همکاری با تأمین‌کنندگانی توانمندند؛ از این رو هدف این تحقیق، ارائه یک چارچوب یکپارچه برای شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان مگاپروژه‌های ماژولار از منظر پایداری است. در این پژوهش، برای اولین بار به‌جهت شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان مگاپروژه‌های ماژولار، از رویکرد مبتنی بر روش CIMAS توسعه‌یافته براساس مجموعه‌های فازی کروی استفاده شده است. براساس این رویکرد، ۳۱ شاخص مبتنی بر ابعاد پایداری برای فرایند ارزیابی تأمین‌کنندگان مگاپروژه‌های ماژولار شناسایی شده است؛ سپس این شاخص‌ها براساس یک مطالعه موردی با استفاده از روش SF-CIMAS وزن‌دهی و اولویت‌بندی می‌شوند. براساس نتایج به دست آمده، شاخص‌های «هزینه» و «استراتژی و سازمان‌دهی»، به ترتیب در اولویت‌های اول و دوم از نظر درجه اهمیت قرار گرفتند. در آخر نتایج تحلیل حساسیت، قابلیت اطمینان رویکرد پیشنهادی و پایداری نتایج آن را در سناریوهای مختلف نشان می‌دهد. همچنین نتایج رویکرد پیشنهادی با روش‌های Fuzzy CIMAS و CIMAS مقایسه شده است که اعتبار و کارایی آن را نشان می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** مدیریت مگاپروژه، مگاپروژه‌های ماژولار، ارزیابی تأمین‌کننده، پایداری، تصمیم‌گیری چندمعیاره،

SF-CIMAS، مجموعه‌های فازی کروی

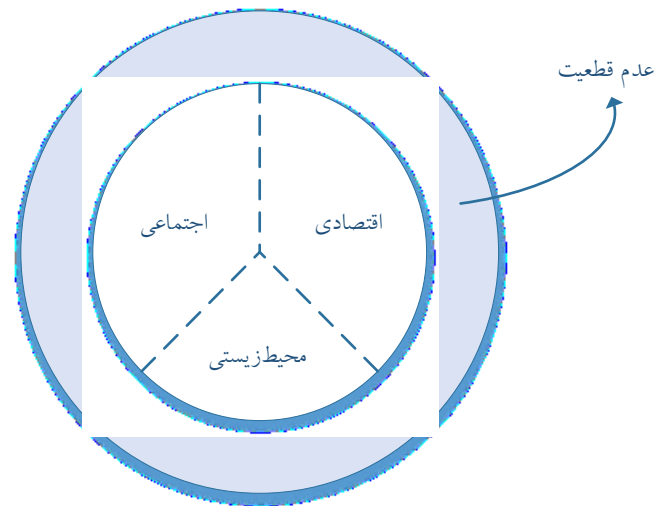


## ۱- مقدمه

با گسترش سریع اقتصاد جهانی، سرمایه‌گذاری در پروژه‌های عظیم در سطح جهان، طی چند دهه گذشته به‌طور چشمگیری افزایش یافته است (Wang et al., 2024). پروژه‌هایی با هزینه‌ای برابر یا بیش از یک میلیارد دلار، مگاپروژه شناخته می‌شوند (Flyvbjerg, 2014). این پروژه‌ها نقش کلیدی را در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه ایفا می‌کنند و بر پویایی‌های سیاسی، آثار اجتماعی و نتایج اقتصادی تأثیرگذارند (Jin, 2025). مگاپروژه‌ها به دلیل ارتباط ذاتی با رشد، توسعه و رقابت‌پذیری، به‌عنوان زیرساخت‌های جهانی شدن عمل می‌کنند (Ashkanani & Franzoi, 2023).

مگاپروژه‌ها هزینه زیادی دارند و ریسک‌های بسیاری باعث تأخیر یا شکست در طول اجرای آن می‌شوند (Tshidavhu & Khatleli, 2020); (Ibrahim et al., 2025). در عمل، دو چالش رایج عبارت‌اند از افزایش هزینه نسبت به بودجه مصوب و انحراف از برنامه زمان‌بندی (Famiyeh et al., 2017; Aljohani et al., 2017). «قانون آهنین مگاپروژه‌ها» بر گرایش این پروژه‌ها به عبور از بودجه، تحقق نیافتن زمان‌بندی و ارائه مزایای کمتر از انتظار دلالت دارد (Flyvbjerg, 2021). خانه‌ای سیدنی، نمونه‌ای بارز است که با ده سال تأخیر و ۱۴۰ درصد افزایش هزینه نسبت به برآورد اولیه تکمیل شد. تکمیل این مگاپروژه ده سال بیش از زمان برنامه‌ریزی شده به طول انجامید و هزینه ساخت آن ۱۴۰ درصد بیش از بودجه برنامه‌ریزی شده بود (Flyvbjerg, 2014). تنها خانه‌ای سیدنی نیست و مگاپروژه‌های بسیاری، افزایش هزینه نسبت به بودجه برنامه‌ریزی شده و افزایش زمان نسبت به برنامه زمان‌بندی را تجربه می‌کنند (Flyvbjerg, 2021). زمانی که زیرساخت به پایان عمر خود می‌رسد (مثلاً به دلایل اقتصادی، قانونی یا عملکردی)، برخی اجزا هنوز عمر باقی مانده‌ای دارند که معمولاً هدر می‌رود. ماژولارسازی با استفاده مجدد از کل ماژول‌ها (یا اجزای آنها) و حفظ کارایی آنها در دیگر زیرساخت‌ها، امکان استفاده از این اجزایی را فراهم می‌آورد که به پایان عمر خود نرسیده‌اند (Mignacca & Locatelli, 2021); بنابراین، ماژولارسازی یک محرک کلیدی برای کاهش زمان و هزینه مگاپروژه‌هاست (Flyvbjerg, 2021). با ماژولارشدن مگاپروژه‌ها، ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار خواهد بود. شواهد این مطلب، از مطالعه ژائو و همکاران (۲۰۱۹) استخراج می‌شود که اظهار داشته‌اند ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده، تأثیر مستقیمی بر عملکرد مگاپروژه‌های ماژولار دارد.

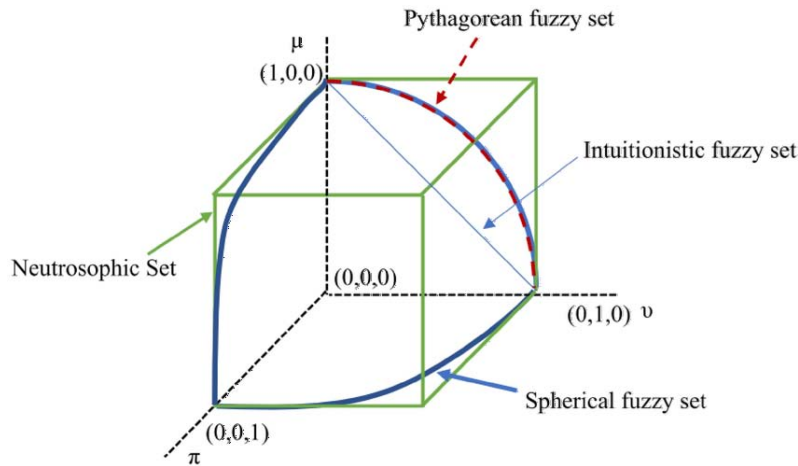
حال این سؤال مطرح می‌شود که چگونه تأمین‌کنندگان، مگاپروژه‌های ماژولار را در بلندمدت و هم‌زمان با کاهش تأخیرات پروژه ارزیابی می‌کنند؟ مطالعه حاضر بر این موضوع حیاتی متمرکز شده است که به مدیران پروژه و مگاپروژه با در نظر گرفتن دیدگاه توسعه پایدار کمک می‌کند. در گام اول، جمع‌آوری معیارهای اساسی از ابعاد مختلف نظیر اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی برای ارزیابی تأمین‌کننده پایدار ضروری است و سپس با بهره‌گیری از یک روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، درجه اهمیت این معیارها تعیین می‌شود و سپس تأمین‌کنندگان ارزیابی و اولویت‌بندی می‌شوند. مسئله ارزیابی تأمین‌کنندگان، ازجمله مسائل پیچیده است و در تمامی ابعاد پایداری (اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی)، شامل عدم قطعیت است (شکل ۱) (Elkington & Rowlands, 1999); (Nadeem et al., 2020; Jin, 2025).



شکل ۱- ابعاد پایداری و عدم قطعیت (Mahmoudi et al., 2021)

Fig. 1- Dimensions of sustainability and uncertainty (Mahmoudi et al., 2021)

نظریه مجموعه‌های فازی را لطفی<sup>۲</sup> (۱۹۶۵) معرفی کرد تا ابهام و عدم قطعیت را در مسائل پیچیده برطرف کند. از آن زمان تاکنون، مجموعه‌های فازی در بسیاری از حوزه‌های پژوهشی کاربرد یافته‌اند (Hosseini et al., 2021)؛ Memarpour Ghiaci et al., 2025 و این نظریه برای ارائه نتایجی مطمئن‌تر، گسترش یافته است. در مطالعه‌ای دیگر، زاده<sup>۳</sup> (۱۹۷۵) مجموعه‌های فازی نوع ۲ را معرفی کرد. مجموعه‌های فازی نوع ۲ در مقایسه با تابع عضویت مجموعه‌های فازی نوع ۱ که دو بعدی و ثابت است، دارای تابع عضویت سه‌بعدی فازی‌اند که آزادی بیشتری را به تصمیم‌گیرندگان در فرایند تصمیم‌گیری می‌بخشند (Memarpour Ghiaci et al., 2024). مجموعه‌های فازی شهودی، ساختاری دوبعدی است که هم درجه عضویت و هم درجه عدم عضویت را تعریف می‌کند. آتاناسوف و آتاناسوف<sup>۴</sup> (۱۹۹۹) با معرفی نماگرهای درجه عضویت ( $\mu(x)$ ) و درجه عدم عضویت ( $\nu(x)$ )، مجموعه‌های فازی شهودی را توسعه داد؛ به طوری که  $0 \leq \mu(x) + \nu(x) \leq 1$  برقرار باشد. یاگر<sup>۵</sup> (۲۰۱۳) مجموعه‌های فازی فیثاغورسی را توسعه داد، به گونه‌ای که  $0 \leq \mu^2(x) + \nu^2(x) \leq 1$  برقرار باشد؛ این مجموعه تعمیمی بر مجموعه‌های فازی شهودی است (Ghiaci & Ghoushchi, 2023). درنهایت، مجموعه فازی کروی را کوتلو گوندوخلو و کهرمان<sup>۶</sup> (۲۰۱۹) پیشنهاد داد که شکل تعمیم‌یافته مجموعه‌های فازی نوتروسوفیک و فیثاغورسی است (Memarpour Ghiaci et al., 2022). درجه تردید در مجموعه‌های فازی کروی، یک مؤلفه مستقل در نظر گرفته می‌شود و نسبت به مجموعه‌های فازی فیثاغورثی، آزادی بیشتری به تصمیم‌گیرندگان در فرایند تصمیم‌گیری می‌بخشد (Jafarzadeh Ghoushchi et al., 2022). شکل ۲، تفاوت بین مجموعه‌های فازی شهودی، فازی فیثاغورثی، نوتروسوفیک و فازی کروی را در فضای سه‌بعدی نشان می‌دهد.



شکل ۲- نمایش هندسی مجموعه‌های فازی شهودی، فازی فیثاغورثی، نوتروسوفیک و فازی کروی در فضای سه‌بعدی (Kahraman & Gundogdu, 2021)

(Gundogdu, 2021)

Fig. 2- Geometric representations of intuitionistic fuzzy, pythagorean fuzzy, neutrosophic and spherical fuzzy sets in 3D space (Kahraman & Gundogdu, 2021)

## ۲- پیشینه پژوهش

### ۲-۱- ارزیابی تأمین‌کنندگان با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

یکی از مهم‌ترین مسائل در مدیریت مگاپروژه‌ها، شناسایی شاخص‌هایی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان است. در جدول ۱، شاخص‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان مگاپروژه‌های ماژولار از نظر پایداری ارائه شده است.

جدول ۱- شاخص‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان از نظر پایداری

Table 1. The sustainable criteria for supplier selection

بعد	دسته‌بندی	معیار	منابع
مدیریت و سازمان	مدیریت و سازمان	استراتژی و سازمان‌دهی	محمودی و همکاران <sup>۷</sup> (۲۰۲۱)، سینگ و همکاران <sup>۸</sup> (۲۰۲۵)
		مدیریت داخلی	محمودی و همکاران (۲۰۲۱)، ورچندی و همکاران <sup>۹</sup> (۲۰۲۴)
		مدیریت زیرتأمین‌کننده	محمودی و همکاران (۲۰۲۱)، سینگ و همکاران (۲۰۲۵)
عملکرد مالی	هزینه	احمدی و امین <sup>۱۰</sup> (۲۰۱۹)، علیخانی و همکاران <sup>۱۱</sup> (۲۰۱۹)، فلاح‌پور و همکاران <sup>۱۲</sup> (۲۰۱۷)، لوترا و همکاران <sup>۱۳</sup> (۲۰۱۷)، سیثی و همکاران <sup>۱۴</sup> (۲۰۲۵)	
		وضعیت مالی (سودآوری)	محمودی و همکاران (۲۰۲۱)، سینگ و همکاران (۲۰۲۵)، سیثی و همکاران (۲۰۲۵)
اقتصادی	کیفیت	احمدی و امین (۲۰۱۹)، علوی و همکاران <sup>۱۵</sup> (۲۰۲۱)، علیخانی و همکاران (۲۰۱۹)، سینگ و همکاران (۲۰۲۵)، سیثی و همکاران (۲۰۲۵)، ورچندی و همکاران (۲۰۲۴)	
		تولید و لجستیک	علوی و همکاران (۲۰۲۱)، فلاح‌پور و همکاران (۲۰۱۷)، سینگ و همکاران (۲۰۲۵)
	قابلیت‌ها	فنآوری	علوی و همکاران (۲۰۲۱)، علیخانی و همکاران (۲۰۱۹)، لوترا و همکاران (۲۰۱۷)، معماری و همکاران <sup>۱۶</sup> (۲۰۱۹)
		بهره‌وری خدمات	علوی و همکاران (۲۰۲۱)، محمودی و همکاران (۲۰۲۱)
برداشت بیرونی	انعطاف‌پذیری	احمدی و امین (۲۰۱۹)، علوی و همکاران (۲۰۲۱)، فلاح‌پور و همکاران (۲۰۱۷)	
	ارتباطات	محمودی و همکاران (۲۰۲۱)، سینگ و همکاران (۲۰۲۵)	
	شهرت و تصویر برند	علوی و همکاران (۲۰۲۱)، معماری و همکاران (۲۰۱۹)	
		گواهینامه‌ها	علوی و همکاران (۲۰۲۱)، محمودی و همکاران (۲۰۲۱)

بعد	دسته‌بندی	معیار	منابع	
محیط‌زیستی	رویه‌های محیط‌زیستی	سیستم مدیریت محیط‌زیست	احمدی و امین (۲۰۱۹)، علیخانی و همکاران (۲۰۱۹)، سیثی و همکاران (۲۰۲۵)، ورجندی و همکاران (۲۰۲۴)	
		رعایت مقررات و استانداردهای محیط‌زیستی	علوی و همکاران (۲۰۲۱)، محمودی و همکاران (۲۰۲۱)، سنگ و همکاران (۲۰۲۵)	
	عملکرد محیط‌زیستی	قابلیت‌های محیط‌زیستی	محمودی و همکاران (۲۰۲۱)، شارما و همکاران <sup>۱۷</sup> (۲۰۲۰)، سیثی و همکاران (۲۰۲۵)	
		به‌کارگیری مواد سازگار محیط‌زیست	علوی و همکاران (۲۰۲۱)، علیخانی و همکاران (۲۰۱۹)	
		صرفه‌جویی در انرژی	محمودی و همکاران (۲۰۲۱)، سیثی و همکاران (۲۰۲۵)، ورجندی و همکاران (۲۰۲۴)	
		انتشار گازهای گلخانه‌ای	علوی و همکاران (۲۰۲۱)، معماری و همکاران (۲۰۱۹)، سیثی و همکاران (۲۰۲۵)	
	اجتماعی	رویه‌های اجتماعی	مشارکت ذی‌نفعان	محمودی و همکاران (۲۰۲۱)، ورجندی و همکاران (۲۰۲۴)
			مسئولیت اجتماعی	احمدی و امین (۲۰۱۹)، علوی و همکاران (۲۰۲۱)، محمودی و همکاران (۲۰۲۱)، سیثی و همکاران (۲۰۲۵)
		عملکرد اجتماعی	بهداشت و ایمنی شغلی	علوی و همکاران (۲۰۲۱)، محمودی و همکاران (۲۰۲۱)، معماری و همکاران (۲۰۱۹)
			توجه به مسئله کار کودکان و کار اجباری	علوی و همکاران (۲۰۲۱)، معماری و همکاران (۲۰۱۹)
دستمزدها			محمودی و همکاران (۲۰۲۱)، سیثی و همکاران (۲۰۲۵)، ورجندی و همکاران (۲۰۲۴)	
توازن کار و زندگی			محمودی و همکاران (۲۰۲۱)، سیثی و همکاران (۲۰۲۵)	
	جذب استعدادها	علیخانی و همکاران (۲۰۱۹)، محمودی و همکاران (۲۰۲۱)، سیثی و همکاران (۲۰۲۵)		
	آموزش کارکنان	محمودی و همکاران (۲۰۲۱)، سنگ و همکاران (۲۰۲۵)		
	تنوع در استخدام	محمودی و همکاران (۲۰۲۱)، ورجندی و همکاران (۲۰۲۴)		

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، کاربرد گسترده‌ای در مسائل مربوط به ارزیابی تأمین‌کنندگانی دارند که شامل شاخص‌های چندگانه و اغلب متضادند (Memari et al., 2019).

امین‌دوست و همکاران<sup>۱۸</sup> (۲۰۱۲) با بهره‌گیری از نظریه مجموعه‌های فازی، مسئله انتخاب تأمین‌کننده پایدار را بررسی و روش رتبه‌بندی نوینی را مبتنی بر سیستم استنتاج فازی ارائه کردند. مانی و همکاران<sup>۱۹</sup> (۲۰۱۴) بر ابعاد

اجتماعی پایداری در مسئله انتخاب تأمین‌کننده پایدار تمرکز و با استفاده از روش AHP، تأمین‌کننده مناسب را در میان گروهی از تأمین‌کنندگان شناسایی کردند؛ این رویکرد در صنایع مختلفی همچون سیمان، برق و خودرو به کار گرفته شد. لوترا و همکاران (۲۰۱۷)، مدل یکپارچه‌ای را در سه بعد اساسی پایداری (اقتصادی، محیط‌زیستی، اجتماعی) ارائه کردند و با ترکیب روش‌های AHP و VIKOR، بهترین تأمین‌کننده را براساس ۲۲ معیار برگزیدند. جوهار و پنت<sup>۲۰</sup> (۲۰۱۷) رویکردی مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) را برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده پایدار پیشنهاد کردند. ژو و می<sup>۲۱</sup> (۲۰۱۷) مرور جامعی را بر پایداری اجتماعی در مگاپروژه‌ها انجام دادند و توصیه‌هایی برای پژوهشگران علاقه‌مند به مسئولیت اجتماعی در این حوزه ارائه کردند. چراغعلی‌پور و فرساد<sup>۲۲</sup> (۲۰۱۸)، روش بهترین-بدترین (BWM) را برای وزن‌دهی معیارها مناسب دانستند و سپس با مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط (MILP)، تلاش کردند امتیاز کل تأمین‌کنندگان را بیشینه و هزینه کل را براساس رویکرد پایداری کمینه کنند. خان و همکاران<sup>۲۳</sup> (۲۰۱۸) روش مبتنی بر چشم‌اندازهای پایداری را ارائه کردند؛ سپس با استفاده از روش آنتروپی شانون، وزن معیارها را تعیین و با سیستم استنتاج فازی، تأمین‌کنندگان را رتبه‌بندی کردند. رشیدی و کولینان<sup>۲۴</sup> (۲۰۱۹) روش‌های TOPSIS فازی و DEA فازی را در زمینه انتخاب تأمین‌کننده پایدار مقایسه کردند. لیو و همکاران<sup>۲۵</sup> (۲۰۱۹) یک مدل یکپارچه مبتنی بر BWM را در محیط فازی شهودی بازه‌ای ارائه دادند. یاداوالی و همکاران<sup>۲۶</sup> (۲۰۱۹) با به‌کارگیری تئوری اعداد Z، روش TOPSIS توسعه‌یافته را برای حل مسئله سنتی انتخاب تأمین‌کننده به کار گرفتند و همچنین مدل دودسته‌ای را با برنامه‌ریزی آرمانی حل کردند تا موازنه میان حداکثرسازی پایداری و کمینه‌سازی هزینه‌ها را برقرار کنند. یو و همکاران<sup>۲۷</sup> (۲۰۱۹) چارچوب نوینی را مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی ارائه کردند و از گروه TOPSIS برای تصمیم‌گیری جمعی و از رویکرد فازی فیثاغورسی برای مدیریت عدم قطعیت بهره جستند. ژو و همکاران<sup>۲۸</sup> (۲۰۱۹) از روش AHP در محیط فازی نوع-۲ بازه‌ای استفاده کردند و آن را در مطالعه موردی انتخاب تأمین‌کننده مواد پایدار آزمودند. معماری و همکاران (۲۰۱۹) با در نظر گرفتن ۹ معیار و ۳۰ زیرمعیار، از TOPSIS فازی شهودی برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان براساس شاخص‌های پایداری استفاده کردند. هی و همکاران<sup>۲۹</sup> (۲۰۱۹) رابطه میان عملکرد پروژه و مسئولیت اجتماعی را در مگاپروژه‌ها بررسی کردند و نشان دادند مسئولیت اجتماعی، عملکرد پروژه را به‌طور مستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهد. تیرکلانی و همکاران<sup>۳۰</sup> (۲۰۲۰) به ترتیب از ANP فازی برای رتبه‌بندی معیارها، DEMATEL فازی برای شناسایی روابط میان معیارها و TOPSIS فازی برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان بهره بردند. هندیانی و همکاران<sup>۳۱</sup> (۲۰۲۰) چارچوب سلسله‌مراتبی تصمیم‌گیری را برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار پیشنهاد و از BWM فازی با توابع عضویت ذوزنقه‌ای استفاده کردند. محمودی و همکاران (۲۰۲۱) از رویکرد توسعه‌یافته OPA برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار در مگاپروژه‌ها استفاده کردند. فلاح‌پور و همکاران (۲۰۲۱) با توسعه یک مدل ترکیبی شامل روش‌های FIS، FANP، FBWM، FDEMATEL، مسئله ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان را براساس ۳۰ معیار در سه بعد عمومی، پایداری و تاب‌آوری بررسی کردند. حسینی و همکاران<sup>۳۲</sup> (۲۰۲۱) از مدل ترکیبی روش BWM فازی و سیستم استنتاج فازی برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار بهره بردند. در فاز اول پس از تعیین ۱۹ معیار، وزن نهایی معیارها استفاده از رویکرد BWM فازی محاسبه می‌شود؛ در فاز دوم، با اجرای سیستم استنتاج فازی موزون، پایدارترین تأمین‌کننده انتخاب شده است. اونال و تمور<sup>۳۳</sup> (۲۰۲۱) از روش AHP توسعه‌یافته براساس مجموعه‌های فازی کروی برای ارزیابی چهار معیار اقتصادی،

کیفیت، اجتماعی و زیست‌محیطی در مسئله انتخاب تأمین‌کننده پایدار استفاده کردند. شانگ و همکاران<sup>۳۴</sup> (۲۰۲۲) از روش ترکیبی BWM، آنتروپی شانون فازی و MULTIMOORA فازی برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار استفاده کردند. آنها وزن معیارها را با استفاده از روش‌های BWM، آنتروپی شانون فازی محاسبه و پس از ترکیب وزن‌های به دست آمده از این دو روش، تأمین‌کنندگان را با استفاده از روش MULTIMOORA ارزیابی و اولویت‌بندی کردند. سو و همکاران<sup>۳۵</sup> (۲۰۲۲) با استفاده از روش آنتروپی، وزن معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان را تعیین و سپس تأمین‌کنندگان امنیت با استفاده از روش TODIM، سامانه‌های صنعتی را ارزیابی و اولویت‌بندی کردند. لیانگ و همکاران<sup>۳۶</sup> (۲۰۲۳) از تکنیک TOPSIS فازی شهودی در مسئله ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار قطعات پیش‌ساخته استفاده کردند. حاجی‌آقایی کشتلی و همکاران<sup>۳۷</sup> (۲۰۲۳) از روش TOPSIS توسعه‌یافته براساس مجموعه‌های فازی فیثاغورثی برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده در صنعت غذا استفاده کردند. لین و همکاران<sup>۳۸</sup> (۲۰۲۴) از رویکرد ترکیبی مبتنی بر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارزیابی تأمین‌کنندگان خانه‌های پیش‌ساخته استفاده کردند. آنها با استفاده از روش آنتروپی، ۱۹ شاخص ارزیابی را وزندهی و سپس تأمین‌کنندگان را با روش VIKOR ارزیابی کردند. دنگ و همکاران<sup>۳۹</sup> (۲۰۲۴) از یک چارچوب تصمیم‌گیری ترکیبی بهبودیافته مبتنی بر اصول ناب، AHP و VIKOR برای انتخاب تأمین‌کننده و خطوط تولید قطعات پیش‌ساخته استفاده کردند. هلاک<sup>۴۰</sup> (۲۰۲۴) در مسئله ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده برای مگا پروژه‌های ساخت‌وساز در مناطق آسیب‌دیده از بحران‌های انسانی و طبیعی، از رویکرد مبتنی بر AHP فازی استفاده کرد. کریستانتو و همکاران<sup>۴۱</sup> (۲۰۲۵) از روش‌های MOORA فازی و VIKOR فازی برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده استفاده کردند. موروگان و ونگ<sup>۴۲</sup> (۲۰۲۵) از روش BWM توسعه‌یافته در محیط فازی برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده پایدار بهره بردند. آنها از روش BWM فازی برای وزندهی به معیارهای ارزیابی و همچنین اولویت‌بندی تأمین‌کنندگان برچسب بطری استفاده کردند. در جدول ۲، خلاصه مطالعات مرتبط در پیشینه ارزیابی تأمین‌کنندگان ارائه شده است.

جدول ۲- خلاصه مطالعات مرتبط در پیشینه ارزیابی تأمین‌کنندگان

Table 2. A review on supplier evaluation

نویسنده	سال	روش	محیط عدم قطعیت
امین‌دوست و همکاران	<a href="#">۲۰۱۲</a>	Fuzzy inference system	Fuzzy set theory
مانی و همکاران	<a href="#">۲۰۱۴</a>	AHP	-
لوترا و همکاران	<a href="#">۲۰۱۷</a>	AHP-VIKOR	-
جوهار و پنت	<a href="#">۲۰۱۷</a>	DEA-DE	-
چراغعلی‌پور و فرساد	<a href="#">۲۰۱۸</a>	BWM-MILP	-
خان و همکاران	<a href="#">۲۰۱۸</a>	Shannon entropy- Fuzzy inference system	Fuzzy set theory
رشیدی و کولینان	<a href="#">۲۰۱۹</a>	TOPSIS-DEA	Fuzzy set theory
لیو و همکاران	<a href="#">۲۰۱۹</a>	BWM	Interval-valued intuitionistic
یاداوالی و همکاران	<a href="#">۲۰۱۹</a>	TOPSIS-Optimization	Fuzzy set theory and Z-number
یو و همکاران	<a href="#">۲۰۱۹</a>	TOPSIS	Pythagorean fuzzy sets
زو و همکاران	<a href="#">۲۰۱۹</a>	AHP	Interval type-2 fuzzy sets
معماری و همکاران	<a href="#">۲۰۱۹</a>	TOPSIS	Intuitionistic fuzzy

نویسنده	سال	روش	محیط عدم قطعیت
تیرکلانی و همکاران	۲۰۲۰	ANP-DEMATEL-TOPSIS	Fuzzy set theory
هندیانی و همکاران	۲۰۲۰	BWM	Fuzzy set theory
محمودی و همکاران	۲۰۲۱	OPA	-
فلاح‌پور و همکاران	۲۰۲۱	DEMATEL-BWM-FANP-Fuzzy inference system	Fuzzy set theory
حسینی و همکاران	۲۰۲۱	BWM-Fuzzy inference system	Fuzzy set theory
اونال و تمور	۲۰۲۱	AHP	Spherical fuzzy sets
شانگ و همکاران	۲۰۲۲	BWM-Shannon entropy-MULTIMOORA	Fuzzy set theory
سو و همکاران	۲۰۲۲	Shannon entropy-TODIM	-
لیانگ و همکاران	۲۰۲۳	TOPSIS	Intuitionistic fuzzy
حاجی‌آقایی کشتلی و همکاران	۲۰۲۳	TOPSIS	Pythagorean fuzzy sets
لین و همکاران	۲۰۲۴	Shannon entropy-VIKOR	-
دنگ و همکاران	۲۰۲۴	AHP-VIKOR	-
هلاک	۲۰۲۴	AHP	Fuzzy set theory
کریستانتو و همکاران	۲۰۲۵	MOORA-VIKOR	Fuzzy set theory
موروگان و ونگ	۲۰۲۵	BWM	Fuzzy set theory

## ۲-۲- شفاف دانش

در بخش مرور پیشینه، برخی از مقالات مرتبط با مسئله ارزیابی تأمین‌کنندگان و همچنین اهمیت این مسئله در مدیریت مگاپروژه‌ها بررسی شده است. پژوهش حاضر قصد دارد برای اولین بار، از روش توسعه‌یافته SF-CIMAS در مسئله شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان استفاده کند. این روش قادر است هم‌زمان با عدم قطعیت و تصمیم‌گیری گروهی مقابله کند. در این پژوهش برای اولین بار، مسئله شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان مگاپروژه براساس ابعاد پایداری در محیط فازی کروی انجام می‌شود. مجموعه‌های فازی کروی بر خلاف مجموعه‌های فازی فیثاغورثی، درجه تردید را یک مؤلفه مستقل در نظر می‌گیرد و آزادی بیشتری به تصمیم‌گیرندگان در فرآیند تصمیم‌گیری می‌بخشد (Jafarzadeh Ghouschi et al., 2022). برخی از نوآوری‌های مطالعه حاضر عبارت‌اند از:

- شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان مگاپروژه‌های ماژولار با استفاده از روش CIMAS؛
- در نظر گرفتن ابعاد اصلی پایداری (اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی) در مسئله شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان مگاپروژه‌های ماژولار؛
- در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در مسئله ارزیابی و اولویت‌بندی شاخص‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان براساس مجموعه‌های فازی کروی با استفاده از رویکرد توسعه‌یافته SF-CIMAS

## ۳- روش تحقیق

روش تحقیق حاضر از نوع کیفی - کمی است. در مرحله اول از جنبه کیفی، معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان شناسایی و پس از تعیین مجموعه معیارهای ارزیابی، تیم تصمیم‌گیری شامل تعدادی از خبره‌های حوزه، تشکیل می‌شود. داده‌های کیفی حاصل از قضاوت‌های تیم تصمیم‌گیری، به صورت متغیرهای زبانی و براساس مجموعه‌های فازی کروی گردآوری می‌شوند. در ادامه و با ارزیابی معیارهای شناسایی شده، محاسبه وزن معیارها با استفاده از روش SF-CIMAS و با استفاده از داده‌های کمی انجام می‌شود. از نظر میزان کاربرد پژوهشی، پژوهش حاضر کاربردی - توسعه‌ای به شمار می‌رود؛ زیرا به دنبال توسعه رویکرد علمی و نوین برای شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان در مگا پروژه‌های مازولار است. مجموعه مقالات بررسی شده در مرحله اول پژوهش شامل کلیه پژوهش‌های منتشر شده در پایگاه‌های علمی معتبر مرتبط با مسئله ارزیابی تأمین‌کنندگان، تا زمان انجام این پژوهش است. اطلاعات کیفی از طریق جلسات نیمه ساخت یافته و پرسش‌نامه‌های زبانی جمع‌آوری و قضاوت‌های تیم تصمیم‌گیری در قالب مجموعه‌های فازی کروی صورت‌بندی شد. استفاده از تصمیم‌گیری گروهی، به کاهش سوگیری‌های شناختی نظیر لنگرانداختن منجر می‌شود؛ زیرا هر یک از اعضای تیم، نقاط مرجع متفاوتی را مدنظر قرار می‌دهند. با استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند، تیم تصمیم‌گیری از ۷ خبره دارای تجربه و تخصص در زمینه‌های مشاور پیاده‌سازی سیستم‌های مدیریتی، مهندسی و مدیریت پروژه و مگا پروژه تشکیل شده است. اطلاعات مربوط به اعضا، نشان می‌دهد اکثریت تیم خبره بین ۶ تا ۱۱ سال سابقه کار دارند. در جدول ۳، مشخصات مرتبط با تیم خبره آمده است.

جدول ۳- مشخصات تیم خبره

Table 3. Information of decision making team

تعداد سال سابقه کار	مشاور سیستم‌های مدیریتی	مهندس	مدیر پروژه	مجموع
۵-۱	-	۱	-	۱
۱۰-۶	۲	-	۱	۳
۱۵-۱۱	-	۱	۱	۲
۱۶ و بیشتر	۱	-	-	۱
مجموع پاسخ‌دهندگان	۳	۲	۲	۷

## ۳-۱- مقدمه‌ای بر مجموعه‌های فازی کروی

مفهوم مجموعه فازی کروی، یکی از جدیدترین محیط‌های عدم قطعیت است که کوتلو گوندوخلو و کهرمان (۲۰۱۹) آن را پیشنهاد کرده‌اند. این بخش، برخی از ویژگی‌ها و عملیات حسابی مجموعه‌های فازی کروی را ارائه می‌دهد.

تعریف ۱: مجموعه فازی کروی  $S$  در فضای  $X$  به صورت رابطه (۱) نمایش داده می‌شود.

$$S = \left[ \left( x, (\mu_S(x), \nu_S(x), \pi_S(x)) \right) \mid x \in X \right] \quad (1)$$

که در آن:

$$\mu_S: X \rightarrow [0,1], v_S: X \rightarrow [0,1], \pi_S: X \rightarrow [0,1]$$

برای هر  $x$  اعداد  $\mu_S, v_S$  و  $\pi_S$  به ترتیب نشان‌دهندهٔ درجهٔ عضویت، درجهٔ عدم عضویت و تردید است. همچنین رابطهٔ (۲) همواره برقرار است.

$$0 \leq (\mu_S(x))^2 + (v_S(x))^2 + (\pi_S(x))^2 \leq 1 \quad (2)$$

تعریف ۲: اگر  $A_S = [\mu_{A_S}, v_{A_S}, \pi_{A_S}]$  و  $B_S = [\mu_{B_S}, v_{B_S}, \pi_{B_S}]$  دو فازی کروی باشند و  $k$  یک عدد ثابت بزرگ‌تر از ۰ باشد، عملیات ریاضی به صورت روابط (۳-۶) می‌شود.

$$A_S \oplus B_S = \left[ \sqrt{\mu_{A_S}^2 + \mu_{B_S}^2 - \mu_{A_S}^2 \mu_{B_S}^2}, v_{A_S} v_{B_S}, \sqrt{(1 - \mu_{B_S}^2) \pi_{A_S} + (1 - \mu_{A_S}^2) \pi_{B_S} - \pi_{A_S} \pi_{B_S}} \right] \quad (3)$$

$$A_S \otimes B_S = \left[ \mu_{A_S} \mu_{B_S}, \sqrt{v_{A_S}^2 + v_{B_S}^2 - v_{A_S}^2 v_{B_S}^2}, \sqrt{(1 - v_{B_S}^2) \pi_{A_S}^2 + (1 - v_{A_S}^2) \pi_{B_S}^2 - \pi_{A_S}^2 \pi_{B_S}^2} \right] \quad (4)$$

$$kS = \left[ \sqrt{1 - (1 - \mu_S^2)^k}, v_S^k, \sqrt{(1 - \mu_S^2)^k - (1 - \mu_S^2 - \pi_S^2)^k} \right] \quad (5)$$

$$S^k = \mu_S^k \cdot \sqrt{1 - (1 - v_S^2)^k}, \sqrt{(1 - v_S^2)^k - (1 - v_S^2 - \pi_S^2)^k} \quad (6)$$

تعریف ۳: مقدار امتیاز و تابع دقت عدد  $S = [\mu_S, v_S, \pi_S]$  به ترتیب با استفاده از روابط (۷) و (۸) محاسبه می‌شود.

$$Score(S) = (\mu_S - \pi_S)^2 - (v_S - \pi_S)^2 \text{ or} \quad (7)$$

$$Accuracy(S) = \mu_S^2 + v_S^2 + \pi_S^2 \quad (8)$$

تعریف ۴: میانگین حسابی کروی وزن‌دار (SWAM) با توجه به روی وزنی  $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ ، با استفاده از رابطهٔ (۹) محاسبه می‌شود.

$$SWAM_w(S_1, \dots, S_n) = w_1 S_1 + w_2 S_2 + \dots + w_n S_n = \left\{ \left[ 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_S^{2i}) \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \prod_{i=1}^n v_S^{w_i}, \left[ \prod_{i=1}^n (1 - \mu_S^{2i}) - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_S^2 - \pi_S^2)^{w_i} \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (9)$$

### ۲-۳- روش SF-CIMAS

این بخش مراحل پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی را ارائه می‌دهد. CIMAS یک روش تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ جدید است که بوزکویچ و همکاران<sup>۴۳</sup> (۲۰۲۳) آن را معرفی کردند. روش CIMAS در مسائل مختلف تصمیم‌گیری نظیر ارزیابی عملکرد وبسایت (Kara et al., 2024)، ارزیابی عملکرد مالی شرکت‌ها (Kara et al., 2024) و



جدول ۴- متغیرهای زبانی و اعداد فازی کروی مربوط با آنها

Table 4. Linguistic terms and their corresponding spherical fuzzy numbers

متغیر زبانی	عدد فازی کروی		
	$\mu$	$\nu$	$\pi$
AMI	۰/۹۰	۰/۱۰	۰/۱
VHI	۰/۸۰	۰/۲۰	۰/۲
HI	۰/۷۰	۰/۳۰	۰/۳
SMI	۰/۶۰	۰/۴۰	۰/۴
EI	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵
SLI	۰/۴۰	۰/۶۰	۰/۴
LI	۰/۳۰	۰/۷۰	۰/۳
VLI	۰/۲۰	۰/۸۰	۰/۲
ALI	۰/۱۰	۰/۹۰	۰/۱

گام ۶) تبدیل ماتریس داده‌های ورودی به اعداد فازی کروی

با توجه به ماتریس تشکیل شده در گام قبل، درایه‌های ماتریس با استفاده از جدول ۱، به اعداد فازی کروی تبدیل می‌شود و ماتریس رابطه (۱۱) با درایه‌های اعداد فازی کروی به دست می‌آید.

$$\Delta = \begin{bmatrix} (\mu_{11}, \nu_{11}, \pi_{11}) & \cdots & (\mu_{1p}, \nu_{1p}, \pi_{1p}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu_{q1}, \nu_{q1}, \pi_{q1}) & \cdots & (\mu_{qp}, \nu_{qp}, \pi_{qp}) \end{bmatrix} \quad (11)$$

گام ۷) محاسبه تابع امتیاز ماتریس داده‌های ورودی

در این گام، تابع امتیاز ماتریس داده‌های ورودی با استفاده از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود.

$$Sc(x_{ij}) = \mu_{ij} \times (1 - \nu_{ij}) \times (1 - \pi_{ij}) \quad (12)$$

گام ۸) نرمال‌سازی ماتریس داده‌های ورودی

پس از محاسبه تابع امتیاز ماتریس داده‌های ورودی، نرمال‌سازی این ماتریس با استفاده از رابطه (۱۳) انجام می‌شود.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^q x_{ij}}, i = 1, 2, \dots, q; j = 1, 2, \dots, p \quad (13)$$

گام ۹) محاسبه ماتریس موزون

در این گام، مقادیر نرمال‌شده با اوزان متخصصان ضرب می‌شوند و به این ترتیب ماتریس موزون براساس حاصل ضرب مقادیر نرمال‌شده با درجه اهمیت نظر هر خبره (محاسبه‌شده در گام چهارم) و با استفاده از رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود.

$$\widehat{x}_{ij}^* = x_{ij}^* \times w^E, i = 1, 2, \dots, q; j = 1, 2, \dots, p \quad (14)$$

گام ۱۰) تعیین مقادیر حداکثر و حداقل هر معیار

در این گام، مقادیر حداکثر ( $R_{jmax}$ ) و حداقل ( $R_{jmin}$ ) هر معیار به ترتیب با استفاده از روابط (۱۵) و (۱۶) تعیین می‌شوند.

$$R_{j_{max}} = \max_i \widehat{x}_{ij}^*, j = 1, 2, \dots, p \quad (15)$$

$$R_{j_{min}} = \min_i \widehat{x}_{ij}^*, j = 1, 2, \dots, p \quad (16)$$

گام ۱۱) محاسبهٔ اختلاف بین مقادیر حداکثر و حداقل

اختلاف بین مقادیر حداکثر و حداقل هر معیار ( $B_j$ ) با استفاده از رابطهٔ (۱۷) به دست می‌آید.

$$B_j = R_{j_{max}} - R_{j_{min}}, j = 1, 2, \dots, p \quad (17)$$

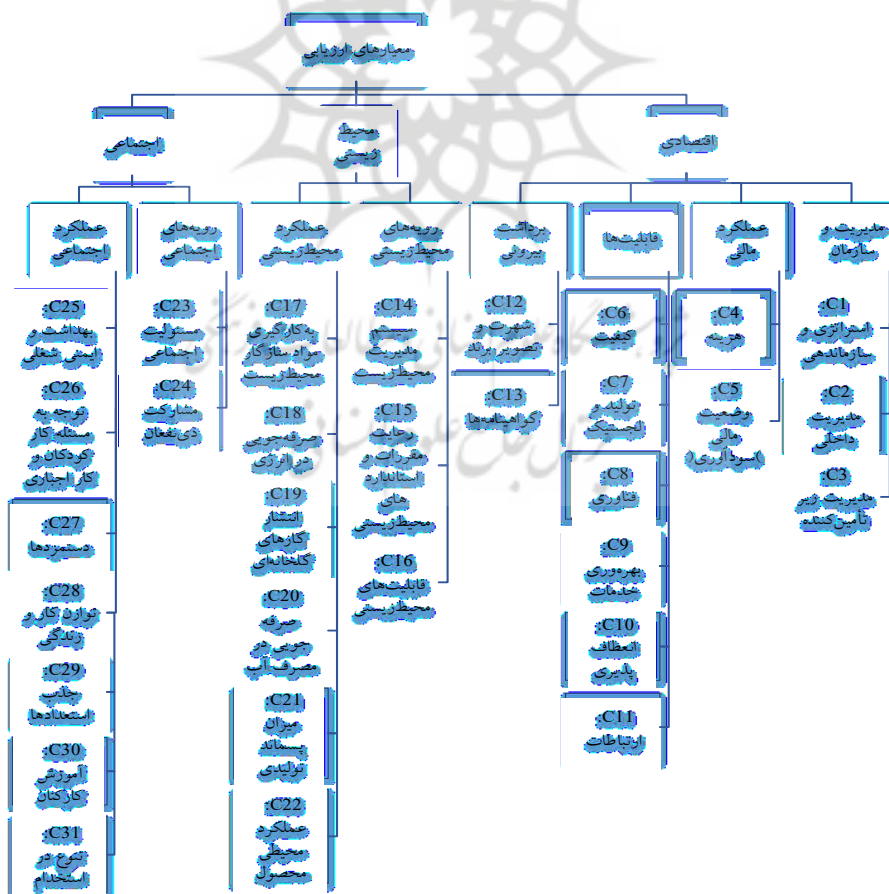
گام ۱۲) محاسبهٔ درجهٔ اهمیت و اولویت‌بندی معیارها

در گام آخر، درجهٔ اهمیت معیارها با استفاده از رابطهٔ (۱۸) محاسبه و سپس اولویت‌بندی معیارها براساس وزن‌های به دست آمده انجام می‌شود.

$$L_j = \frac{B_j}{\sum_{j=1}^p B_j}, j = 1, 2, \dots, p \quad (18)$$

#### ۴- مطالعهٔ موردی و یافته‌ها

در راستای بررسی قابلیت رویکرد پیشنهادی در این تحقیق، سعی بر آن است تا ارزیابی و اولویت‌بندی تأمین‌کنندگان مگا پروژه‌های ماژولار با استفاده از این رویکرد انجام شود. در این مطالعه درجهٔ اهمیت ۳۱ شاخص ارزیابی تأمین‌کنندگان مگا پروژه‌های ماژولار صنعت دریایی تعیین می‌شوند. معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان براساس ابعاد پایداری در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۴- معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان در مگا پروژه‌های ماژولار  
Fig. 4. Suppliers evaluation criteria in modular megaprojects

در این بخش، نتایج حاصل از پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی در مسئله تعیین درجه اهمیت و اولویت‌بندی شاخص‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان مگاپروژه‌های مازولار بررسی می‌شود. ابتدا پس از شناسایی و تعیین معیارهای ارزیابی، تیم تصمیم‌گیری تشکیل می‌شود. در ادامه، اهمیت نظر هر خبره براساس دانش و تجربه فعالیت او در حوزه ارزیابی تأمین‌کنندگان در مگاپروژه‌های مازولار براساس مجموعه‌های فازی کروی تعیین می‌شود. روند و نتایج محاسبه درجه اهمیت نظر هر خبره در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- محاسبه درجه اهمیت نظر هر خبره

Table 5- Calculation of the importance of each experts' opinion

Experts	Skills	SFN	Score	Weight
E1	VHI	(۰/۸، ۰/۲، ۰/۲)	۰/۵۱۲	۰/۱۵۱
E2	EI	(۰/۹، ۰/۱، ۰/۱)	۰/۷۲۹	۰/۲۱۵
E3	SMI	(۰/۷، ۰/۳، ۰/۳)	۰/۳۴۳	۰/۱۰۱
E4	VHI	(۰/۹، ۰/۱، ۰/۱)	۰/۷۲۹	۰/۲۱۵
E5	VHI	(۰/۶، ۰/۴، ۰/۴)	۰/۲۱۶	۰/۰۶۴
E6	HI	(۰/۷، ۰/۳، ۰/۳)	۰/۳۴۳	۰/۱۰۱
E7	SMI	(۰/۸، ۰/۲، ۰/۲)	۰/۵۱۲	۰/۱۵۱

سپس، ارزیابی هر معیار را تیم تصمیم‌گیری براساس متغیرهای زبانی فازی کروی انجام می‌دهد. با توجه به عدم قطعیت موجود در معیارهای ارزیابی مسئله، از مجموعه‌های فازی کروی برای مقابله با عدم قطعیت استفاده شده است. مقادیر متغیرهای زبانی اهمیت معیارهای ارزیابی براساس نظرات تیم تصمیم‌گیری، در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶- ماتریس داده‌های ورودی در قالب متغیرهای زبانی فازی کروی

Table 6- Input data matrix based on spherical fuzzy linguistic terms

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
C1	HI	VHI	SMI	VHI	HI	HI	AMI
C2	EI	EI	HI	HI	VHI	EI	SMI
C3	EI	SMI	EI	HI	EI	EI	HI
C4	HI	VHI	HI	VHI	VHI	SMI	EI
C5	EI	SMI	EI	HI	HI	SMI	EI
C6	EI	SMI	LI	EI	EI	VHI	SMI
C7	AMI	HI	EI	SMI	HI	SMI	HI
C8	SMI	HI	EI	SLI	EI	SLI	HI
C9	LI	SLI	LI	SMI	EI	LI	SLI
C10	SMI	EI	SLI	SMI	LI	EI	SLI
C11	EI	VLI	EI	EI	VLI	SLI	SLI
C12	SMI	SMI	VHI	SMI	VHI	HI	EI
C13	SMI	EI	VHI	SMI	SMI	SMI	EI
C14	EI	HI	SMI	SLI	SLI	SLI	SMI
C15	HI	SMI	LI	SLI	HI	SMI	EI
C16	LI	SMI	VLI	LI	VHI	EI	HI
C17	EI	SMI	SMI	SMI	VLI	SMI	SMI
C18	EI	EI	HI	EI	SMI	EI	SMI
C19	HI	VHI	SLI	HI	SMI	EI	EI
C20	VLI	SLI	EI	EI	LI	SMI	EI
C21	HI	SMI	VHI	HI	SLI	SMI	SMI
C22	EI	EI	VHI	SLI	SLI	EI	SMI
C23	SLI	EI	LI	SLI	EI	SLI	VLI
C24	SMI	EI	SLI	LI	SLI	LI	SMI

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
C25	EI	SMI	SMI	VLI	SLI	SMI	SMI
C26	EI	LI	SMI	LI	SMI	LI	EI
C27	VHI	EI	SMI	EI	VHI	SMI	EI
C28	EI	HI	EI	LI	VHI	HI	SMI
C29	VLI	SMI	HI	LI	SMI	EI	SMI
C30	SMI	SMI	LI	SLI	LI	EI	EI
C31	SMI	LI	VLI	VLI	VLI	SMI	EI

در ادامه، مقادیر متغیرهای زبانی اهمیت معیارهای ارزیابی ارائه‌شده در گام قبل با استفاده از جدول ۴، به اعداد فازی کروی تبدیل می‌شوند و بعد تابع امتیاز ماتریس داده‌های ورودی با استفاده از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود. ماتریس داده‌های ورودی براساس اعداد فازی کروی در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷- ماتریس داده‌های ورودی در قالب اعداد فازی کروی

Table 7- Input data matrix based on spherical fuzzy linguistic numbers

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
C1	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.8, 0.2, 0.2)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.8, 0.2, 0.2)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.9, 0.1, 0.1)
C2	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.8, 0.2, 0.2)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.6, 0.4, 0.4)
C3	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.7, 0.3, 0.3)
C4	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.8, 0.2, 0.2)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.8, 0.2, 0.2)	(0.8, 0.2, 0.2)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.5, 0.5)
C5	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.5, 0.5)
C6	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.8, 0.2, 0.2)	(0.6, 0.4, 0.4)
C7	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.7, 0.3, 0.3)
C8	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.4, 0.6, 0.4)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.4, 0.6, 0.4)	(0.7, 0.3, 0.3)
C9	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.4, 0.6, 0.4)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.4, 0.6, 0.4)
C10	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.4, 0.6, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.4, 0.6, 0.4)
C11	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.2, 0.8, 0.2)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.2, 0.8, 0.2)	(0.4, 0.6, 0.4)	(0.4, 0.6, 0.4)
C12	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.8, 0.2, 0.2)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.8, 0.2, 0.2)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.5, 0.5, 0.5)
C13	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.8, 0.2, 0.2)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.5, 0.5)
C14	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.4, 0.6, 0.4)	(0.4, 0.6, 0.4)	(0.4, 0.6, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.4)
C15	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.4, 0.6, 0.4)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.5, 0.5)
C16	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.2, 0.8, 0.2)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.8, 0.2, 0.2)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.7, 0.3, 0.3)
C17	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.2, 0.8, 0.2)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.4)
C18	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.6, 0.4, 0.4)
C19	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.8, 0.2, 0.2)	(0.4, 0.6, 0.4)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)
C20	(0.2, 0.8, 0.2)	(0.4, 0.6, 0.4)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.5, 0.5)
C21	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.8, 0.2, 0.2)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.4, 0.6, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.4)
C22	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.8, 0.2, 0.2)	(0.4, 0.6, 0.4)	(0.4, 0.6, 0.4)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.6, 0.4, 0.4)
C23	(0.4, 0.6, 0.4)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.4, 0.6, 0.4)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.4, 0.6, 0.4)	(0.2, 0.8, 0.2)
C24	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.4, 0.6, 0.4)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.4, 0.6, 0.4)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.4)
C25	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.2, 0.8, 0.2)	(0.4, 0.6, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.4)
C26	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.5, 0.5, 0.5)
C27	(0.8, 0.2, 0.2)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.8, 0.2, 0.2)	(0.6, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.5, 0.5)

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
C28	(۰/۵، ۰/۵، ۰/۵)	(۰/۷، ۰/۳، ۰/۳)	(۰/۵، ۰/۵، ۰/۵)	(۰/۳، ۰/۷، ۰/۳)	(۰/۸، ۰/۲، ۰/۲)	(۰/۷، ۰/۳، ۰/۳)	(۰/۶، ۰/۴، ۰/۴)
C29	(۰/۲، ۰/۸، ۰/۲)	(۰/۶، ۰/۴، ۰/۴)	(۰/۷، ۰/۳، ۰/۳)	(۰/۳، ۰/۷، ۰/۳)	(۰/۶، ۰/۴، ۰/۴)	(۰/۵، ۰/۵، ۰/۵)	(۰/۶، ۰/۴، ۰/۴)
C30	(۰/۶، ۰/۴، ۰/۴)	(۰/۶، ۰/۴، ۰/۴)	(۰/۳، ۰/۷، ۰/۳)	(۰/۴، ۰/۶، ۰/۴)	(۰/۳، ۰/۷، ۰/۳)	(۰/۵، ۰/۵، ۰/۵)	(۰/۵، ۰/۵، ۰/۵)
C31	(۰/۶، ۰/۴، ۰/۴)	(۰/۳، ۰/۷، ۰/۳)	(۰/۲، ۰/۸، ۰/۲)	(۰/۲، ۰/۸، ۰/۲)	(۰/۲، ۰/۸، ۰/۲)	(۰/۶، ۰/۴، ۰/۴)	(۰/۵، ۰/۵، ۰/۵)

براساس گام هشتم از این روش، نرمال‌سازی ماتریس داده‌های ورودی با استفاده از رابطه (۱۳) انجام می‌شود. ماتریس نرمال‌شده در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول ۸- ماتریس داده‌های ورودی نرمال‌شده

Table 8- Normalized input data matrix

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
C1	۰/۰۵۵	۰/۰۷۷	۰/۰۳۵	۰/۰۹۱	۰/۰۵۰	۰/۰۶۱	۰/۱۱۸
C2	۰/۰۲۰	۰/۰۱۹	۰/۰۵۵	۰/۰۶۱	۰/۰۷۴	۰/۰۲۲	۰/۰۳۵
C3	۰/۰۲۰	۰/۰۳۳	۰/۰۲۰	۰/۰۶۱	۰/۰۱۸	۰/۰۲۲	۰/۰۵۶
C4	۰/۰۵۵	۰/۰۷۷	۰/۰۵۵	۰/۰۹۱	۰/۰۷۴	۰/۰۳۸	۰/۰۲۰
C5	۰/۰۲۰	۰/۰۳۳	۰/۰۲۰	۰/۰۶۱	۰/۰۵۰	۰/۰۳۸	۰/۰۲۰
C6	۰/۰۲۰	۰/۰۳۳	۰/۰۱۰	۰/۰۲۲	۰/۰۱۸	۰/۰۹۱	۰/۰۳۵
C7	۰/۱۱۷	۰/۰۵۲	۰/۰۲۰	۰/۰۳۸	۰/۰۵۰	۰/۰۳۸	۰/۰۵۶
C8	۰/۰۳۵	۰/۰۵۲	۰/۰۲۰	۰/۰۱۷	۰/۰۱۸	۰/۰۱۷	۰/۰۵۶
C9	۰/۰۱۰	۰/۰۱۴	۰/۰۱۰	۰/۰۳۸	۰/۰۱۸	۰/۰۱۱	۰/۰۱۶
C10	۰/۰۳۵	۰/۰۱۹	۰/۰۱۵	۰/۰۳۸	۰/۰۰۹	۰/۰۲۲	۰/۰۱۶
C11	۰/۰۲۰	۰/۰۰۵	۰/۰۲۰	۰/۰۲۲	۰/۰۰۴	۰/۰۱۷	۰/۰۱۶
C12	۰/۰۳۵	۰/۰۳۳	۰/۰۸۲	۰/۰۳۸	۰/۰۷۴	۰/۰۶۱	۰/۰۲۰
C13	۰/۰۳۵	۰/۰۱۹	۰/۰۸۲	۰/۰۳۸	۰/۰۳۱	۰/۰۳۸	۰/۰۲۰
C14	۰/۰۲۰	۰/۰۵۲	۰/۰۳۵	۰/۰۱۷	۰/۰۱۴	۰/۰۱۷	۰/۰۳۵
C15	۰/۰۵۵	۰/۰۳۳	۰/۰۱۰	۰/۰۱۷	۰/۰۵۰	۰/۰۳۸	۰/۰۲۰
C16	۰/۰۱۰	۰/۰۳۳	۰/۰۰۵	۰/۰۱۱	۰/۰۷۴	۰/۰۲۲	۰/۰۵۶
C17	۰/۰۲۰	۰/۰۳۳	۰/۰۳۵	۰/۰۳۸	۰/۰۰۵	۰/۰۳۸	۰/۰۳۵
C18	۰/۰۲۰	۰/۰۱۹	۰/۰۵۵	۰/۰۲۲	۰/۰۳۱	۰/۰۲۲	۰/۰۳۵
C19	۰/۰۵۵	۰/۰۷۷	۰/۰۱۵	۰/۰۶۱	۰/۰۳۱	۰/۰۲۲	۰/۰۲۰
C20	۰/۰۰۵	۰/۰۱۴	۰/۰۲۰	۰/۰۲۲	۰/۰۰۹	۰/۰۳۸	۰/۰۲۰
C21	۰/۰۵۵	۰/۰۳۳	۰/۰۸۲	۰/۰۶۱	۰/۰۱۴	۰/۰۳۸	۰/۰۳۵
C22	۰/۰۲۰	۰/۰۱۹	۰/۰۸۲	۰/۰۱۷	۰/۰۱۴	۰/۰۲۲	۰/۰۳۵
C23	۰/۰۱۵	۰/۰۱۹	۰/۰۱۰	۰/۰۱۷	۰/۰۱۸	۰/۰۱۷	۰/۰۰۵
C24	۰/۰۳۵	۰/۰۱۹	۰/۰۱۵	۰/۰۱۱	۰/۰۱۴	۰/۰۱۱	۰/۰۳۵
C25	۰/۰۲۰	۰/۰۳۳	۰/۰۳۵	۰/۰۰۶	۰/۰۱۴	۰/۰۳۸	۰/۰۳۵
C26	۰/۰۲۰	۰/۰۰۹	۰/۰۳۵	۰/۰۱۱	۰/۰۳۱	۰/۰۱۱	۰/۰۲۰
C27	۰/۰۸۲	۰/۰۱۹	۰/۰۳۵	۰/۰۲۲	۰/۰۷۴	۰/۰۳۸	۰/۰۲۰
C28	۰/۰۲۰	۰/۰۵۲	۰/۰۲۰	۰/۰۱۱	۰/۰۷۴	۰/۰۶۱	۰/۰۳۵
C29	۰/۰۰۵	۰/۰۳۳	۰/۰۵۵	۰/۰۱۱	۰/۰۳۱	۰/۰۲۲	۰/۰۳۵
C30	۰/۰۳۵	۰/۰۳۳	۰/۰۱۰	۰/۰۱۷	۰/۰۰۹	۰/۰۲۲	۰/۰۲۰
C31	۰/۰۳۵	۰/۰۰۹	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۳۸	۰/۰۲۰

سپس، ماتریس موزون براساس حاصل ضرب مقادیر نرمال‌شده با درجه اهمیت نظر هر خبره و با استفاده از رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود. ماتریس موزون در جدول ۹ ارائه شده است.

جدول ۹- ماتریس موزون  
Table 9- Weighted matrix

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
C1	۰/۰۰۸	۰/۱۱۰	۰/۰۰۳	۰/۳۷۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶	۰/۰۱۸
C2	۰/۰۰۳	۰/۰۲۷	۰/۰۰۶	۰/۲۵۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵
C3	۰/۰۰۳	۰/۰۴۷	۰/۰۰۲	۰/۲۵۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸
C4	۰/۰۰۸	۰/۱۱۰	۰/۰۰۶	۰/۳۷۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳
C5	۰/۰۰۳	۰/۰۴۷	۰/۰۰۲	۰/۲۵۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳
C6	۰/۰۰۳	۰/۰۴۷	۰/۰۰۱	۰/۰۹۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۵
C7	۰/۰۱۸	۰/۰۷۴	۰/۰۰۲	۰/۱۵۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۸
C8	۰/۰۰۵	۰/۰۷۴	۰/۰۰۲	۰/۰۷۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸
C9	۰/۰۰۲	۰/۰۲۱	۰/۰۰۱	۰/۱۵۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲
C10	۰/۰۰۵	۰/۰۲۷	۰/۰۰۲	۰/۱۵۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
C11	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۹۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
C12	۰/۰۰۵	۰/۰۴۷	۰/۰۰۸	۰/۱۵۷	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳
C13	۰/۰۰۵	۰/۰۲۷	۰/۰۰۸	۰/۱۵۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳
C14	۰/۰۰۳	۰/۰۷۴	۰/۰۰۳	۰/۰۷۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵
C15	۰/۰۰۸	۰/۰۴۷	۰/۰۰۱	۰/۰۷۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳
C16	۰/۰۰۲	۰/۰۴۷	۰/۰۰۱	۰/۰۴۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸
C17	۰/۰۰۳	۰/۰۴۷	۰/۰۰۳	۰/۱۵۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵
C18	۰/۰۰۳	۰/۰۲۷	۰/۰۰۶	۰/۰۹۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵
C19	۰/۰۰۸	۰/۱۱۰	۰/۰۰۲	۰/۲۵۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳
C20	۰/۰۰۱	۰/۰۲۱	۰/۰۰۲	۰/۰۹۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳
C21	۰/۰۰۸	۰/۰۴۷	۰/۰۰۸	۰/۲۵۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵
C22	۰/۰۰۳	۰/۰۲۷	۰/۰۰۸	۰/۰۷۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵
C23	۰/۰۰۲	۰/۰۲۷	۰/۰۰۱	۰/۰۷۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
C24	۰/۰۰۵	۰/۰۲۷	۰/۰۰۲	۰/۰۴۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵
C25	۰/۰۰۳	۰/۰۴۷	۰/۰۰۳	۰/۰۲۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵
C26	۰/۰۰۳	۰/۰۱۴	۰/۰۰۳	۰/۰۴۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳
C27	۰/۰۱۲	۰/۰۲۷	۰/۰۰۳	۰/۰۹۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳
C28	۰/۰۰۳	۰/۰۷۴	۰/۰۰۲	۰/۰۴۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵
C29	۰/۰۰۱	۰/۰۴۷	۰/۰۰۶	۰/۰۴۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵
C30	۰/۰۰۵	۰/۰۴۷	۰/۰۰۱	۰/۰۷۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳
C31	۰/۰۰۵	۰/۰۱۴	۰/۰۰۱	۰/۰۲۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳

سیس در این مرحله، مقادیر  $R_{jmax}$  و  $R_{jmin}$  به ترتیب با استفاده از روابط (۱۵) و (۱۶) به دست می‌آیند. در ادامه، مقدار  $(B_j)$  با استفاده از رابطه (۱۷) برای هر معیار محاسبه می‌شود. در آخر، با محاسبه مقدار  $L_j$  با استفاده از رابطه (۱۸)، درجه اهمیت هر معیار محاسبه می‌شود و سپس معیارها به صورت نزولی اولویت بندی می‌شوند. روند محاسبات و نتایج روش SF-CIMAS در جدول ۱۰ آمده است.

جدول ۱۰- محاسبات و نتایج روش SF-CIMAS

Table 10- Calculations and results of the SF-CIMAS method

	$R_{jmax}$	$R_{jmin}$	$B_j$	Weight ( $L_j$ )	Rank
C1	۰/۳۷۳	۰/۰۰۳	۰/۳۷۰	۰/۰۹۰	۲
C2	۰/۲۵۰	۰/۰۰۲	۰/۲۴۸	۰/۰۶۰	۷
C3	۰/۲۵۰	۰/۰۰۱	۰/۲۴۹	۰/۰۶۱	۴
C4	۰/۳۷۳	۰/۰۰۳	۰/۳۷۰	۰/۰۹۰	۱
C5	۰/۲۵۰	۰/۰۰۲	۰/۲۴۸	۰/۰۶۰	۶
C6	۰/۰۹۱	۰/۰۰۱	۰/۰۹۰	۰/۰۲۲	۱۶
C7	۰/۱۵۷	۰/۰۰۲	۰/۱۵۵	۰/۰۳۸	۱۲
C8	۰/۰۷۴	۰/۰۰۱	۰/۰۷۳	۰/۰۱۸	۲۰
C9	۰/۱۵۷	۰/۰۰۱	۰/۱۵۶	۰/۰۳۸	۱۰
C10	۰/۱۵۷	۰/۰۰۱	۰/۱۵۷	۰/۰۳۸	۹
C11	۰/۰۹۱	۰/۰۰۰	۰/۰۹۱	۰/۰۲۲	۱۴
C12	۰/۱۵۷	۰/۰۰۳	۰/۱۵۴	۰/۰۳۸	۱۳
C13	۰/۱۵۷	۰/۰۰۲	۰/۱۵۵	۰/۰۳۸	۱۱
C14	۰/۰۷۴	۰/۰۰۱	۰/۰۷۳	۰/۰۱۸	۱۹
C15	۰/۰۷۰	۰/۰۰۱	۰/۰۶۹	۰/۰۱۷	۲۵
C16	۰/۰۴۷	۰/۰۰۱	۰/۰۴۶	۰/۰۱۱	۲۶
C17	۰/۱۵۷	۰/۰۰۰	۰/۱۵۷	۰/۰۳۸	۸
C18	۰/۰۹۱	۰/۰۰۲	۰/۰۸۹	۰/۰۲۲	۱۷
C19	۰/۲۵۰	۰/۰۰۲	۰/۲۴۸	۰/۰۶۰	۵
C20	۰/۰۹۱	۰/۰۰۱	۰/۰۹۱	۰/۰۲۲	۱۵
C21	۰/۲۵۰	۰/۰۰۱	۰/۲۴۹	۰/۰۶۱	۳
C22	۰/۰۷۰	۰/۰۰۱	۰/۰۶۹	۰/۰۱۷	۲۴
C23	۰/۰۷۰	۰/۰۰۱	۰/۰۶۹	۰/۰۱۷	۲۳
C24	۰/۰۴۶	۰/۰۰۱	۰/۰۴۵	۰/۰۱۱	۲۹
C25	۰/۰۴۷	۰/۰۰۱	۰/۰۴۶	۰/۰۱۱	۲۸
C26	۰/۰۴۶	۰/۰۰۱	۰/۰۴۵	۰/۰۱۱	۳۰
C27	۰/۰۹۱	۰/۰۰۳	۰/۰۸۸	۰/۰۲۱	۱۸
C28	۰/۰۷۴	۰/۰۰۲	۰/۰۷۲	۰/۰۱۷	۲۱
C29	۰/۰۴۷	۰/۰۰۱	۰/۰۴۶	۰/۰۱۱	۲۷
C30	۰/۰۷۰	۰/۰۰۱	۰/۰۶۹	۰/۰۱۷	۲۲
C31	۰/۰۲۳	۰/۰۰۰	۰/۰۲۳	۰/۰۰۶	۳۱

با توجه به جدول ۱۰، مشاهده می‌شود که براساس رویکرد پیشنهادی معیارهای C4 (هزینه)، C1 (استراتژی و سازمان‌دهی) و C21 (میزان پسماند تولیدی) به ترتیب با در اولویت‌های اول الی سوم قرار گرفته‌اند.

## ۵- بحث

### ۵-۱- تحلیل حساسیت

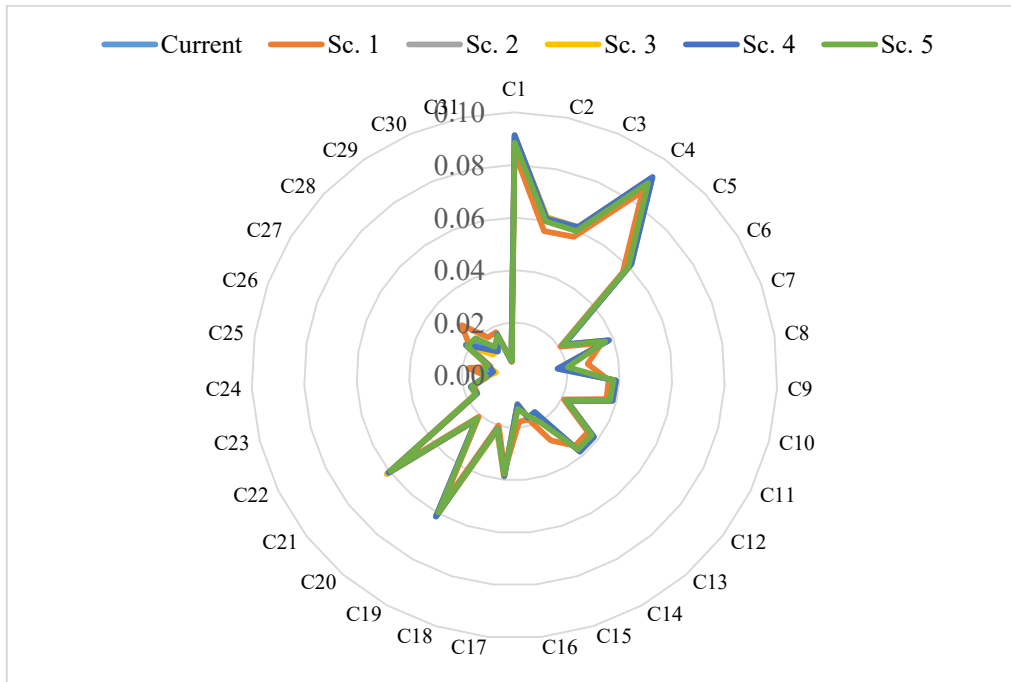
در این بخش، برای سنجش پایداری روش پیشنهادی، تحلیل حساسیت در قالب چند سناریو طراحی شد. این سناریوها رابطه بین نتایج حاصل از پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی را در شرایط متفاوت و یافته‌های تحقیق بررسی می‌کند. روند تغییرات وزن معیارها با تغییر اهمیت نظر هر خبره در سناریوهای تحلیل حساسیت، بررسی شده‌اند. در این راستا، پنج سناریو در نظر گرفته شد که در آنها تغییرات درجه اهمیت و اولویت معیارهای ارزیابی، بررسی شد. متغیرهای زبانی در نظر گرفته شده برای میزان اهمیت نظر هر خبره، در فرآیند تعیین وزن و اولویت‌بندی معیارها برای هر سناریو در جدول ۱۱ ارائه شده است.

جدول ۱۱- تحلیل حساسیت براساس سناریوهای مختلف برای میزان اهمیت نظر هر خبره

Table 11- Sensitivity analysis based on various scenarios for the importance of each experts' opinion

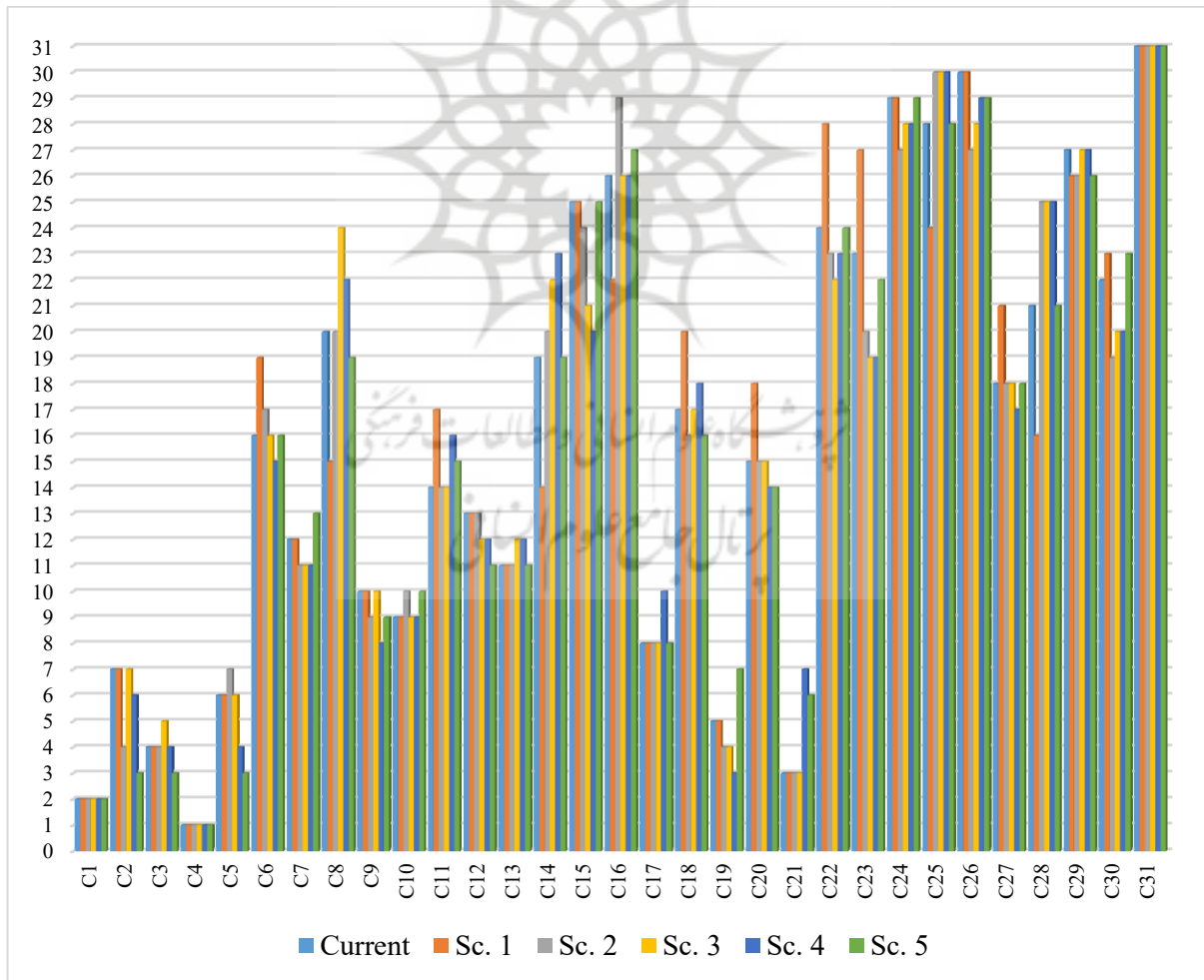
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
Current	VHI	AMI	HI	AMI	SMI	HI	VHI
Sc. 1	HI	HI	AMI	VHI	HI	SMI	AMI
Sc. 2	AMI	VHI	HI	HI	SMI	VHI	HI
Sc. 3	EI	EI	EI	EI	EI	EI	EI
Sc. 4	HI	SMI	SMI	HI	AMI	VHI	SMI
Sc. 5	SMI	VHI	AMI	VHI	HI	SMI	HI

براساس جدول ۱۱، روند تغییرات وزن معیارها با تغییر اهمیت نظر هر خبره بررسی می‌شود؛ برای مثال در سناریوی سوم، شرایطی در نظر گرفته می‌شود که درجه اهمیت نظرات تمام اعضای تیم تصمیم‌گیری در فرآیند تعیین وزن و اولویت‌بندی معیارها یکسان است. در ادامه، شکل ۵ تغییرات وزن معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان را در مگا پروژه‌های مازولار براساس سناریوهای مختلف تحلیل حساسیت نشان می‌دهد. همچنین شکل ۶ اولویت‌بندی معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان در مگا پروژه‌های مازولار را براساس سناریوهای مختلف تحلیل حساسیت مقایسه می‌کند. بر این اساس اگرچه تغییرات درجه اهمیت نظر هر خبره باعث ایجاد تغییر در وزن معیارها و همچنین اولویت‌بندی برخی معیارها می‌شود، این تغییرات از نظر آماری معنادار نیستند و موجب تغییر بااهمیت‌ترین معیار نمی‌شوند؛ بنابراین، نتایج نشان می‌دهد که انحراف درخور توجهی در رتبه‌بندی گزینه‌ها رخ نمی‌دهد.



شکل ۵- تغییرات وزن معیارهای ارزیابی تأمین کنندگان در مگا پروژه های ماژولار بر اساس سناریوهای مختلف تحلیل حساسیت

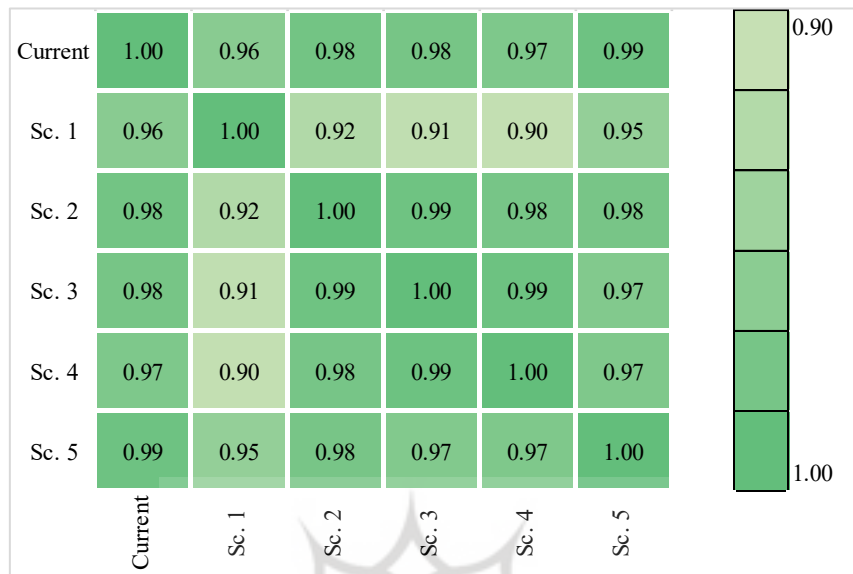
Fig. 5- Variations of suppliers evaluation criteria weights in modular megaprojects based on various scenarios of the sensitivity analysis



شکل ۶- مقایسه اولویت بندی معیارهای ارزیابی تأمین کنندگان در مگا پروژه های ماژولار بر اساس سناریوهای مختلف تحلیل حساسیت

Fig. 6- Comparison of suppliers evaluation criteria in modular megaprojects prioritization based on various scenarios of the sensitivity analysis

شکل ۷ نقشه حرارتی درجه همبستگی زوجی نتایج براساس سناریوهای مختلف تحلیل حساسیت را نشان می‌دهد. تمامی همبستگی‌ها در بازه‌ای بالا قرار دارند که همگرایی قوی را در رتبه‌بندی‌های ارائه‌شده از سوی رویکرد پیشنهادی در سناریوهای مختلف تصمیم‌گیری منعکس می‌کند؛ بنابراین نتایج رویکرد پیشنهادی، پایداری و قابلیت اعتماد آن را در سناریوهای پیچیده تصمیم‌گیری نشان می‌دهد.



شکل ۷- نقشه حرارتی همبستگی زوجی نتایج براساس سناریوهای مختلف تحلیل حساسیت

Fig. 7- Pairwise correlation heat map based on the results of various scenarios of the sensitivity analysis

## ۵-۲- تحلیل مقایسه‌ای

در این بخش، به منظور نشان‌دادن اعتبار و کارایی روش پیشنهادی و صحت خروجی‌های به دست آمده، این روش با روش‌های CIMAS و F-CIMAS (روش توسعه‌یافته CIMAS در محیط فازی) مقایسه می‌شود (جدول ۱۲).

جدول ۱۲- نتایج ارزیابی و اولویت‌بندی شاخص‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان در مگا پروژه‌های مازولار براساس روش‌های SF-CIMAS، F-CIMAS و CIMAS

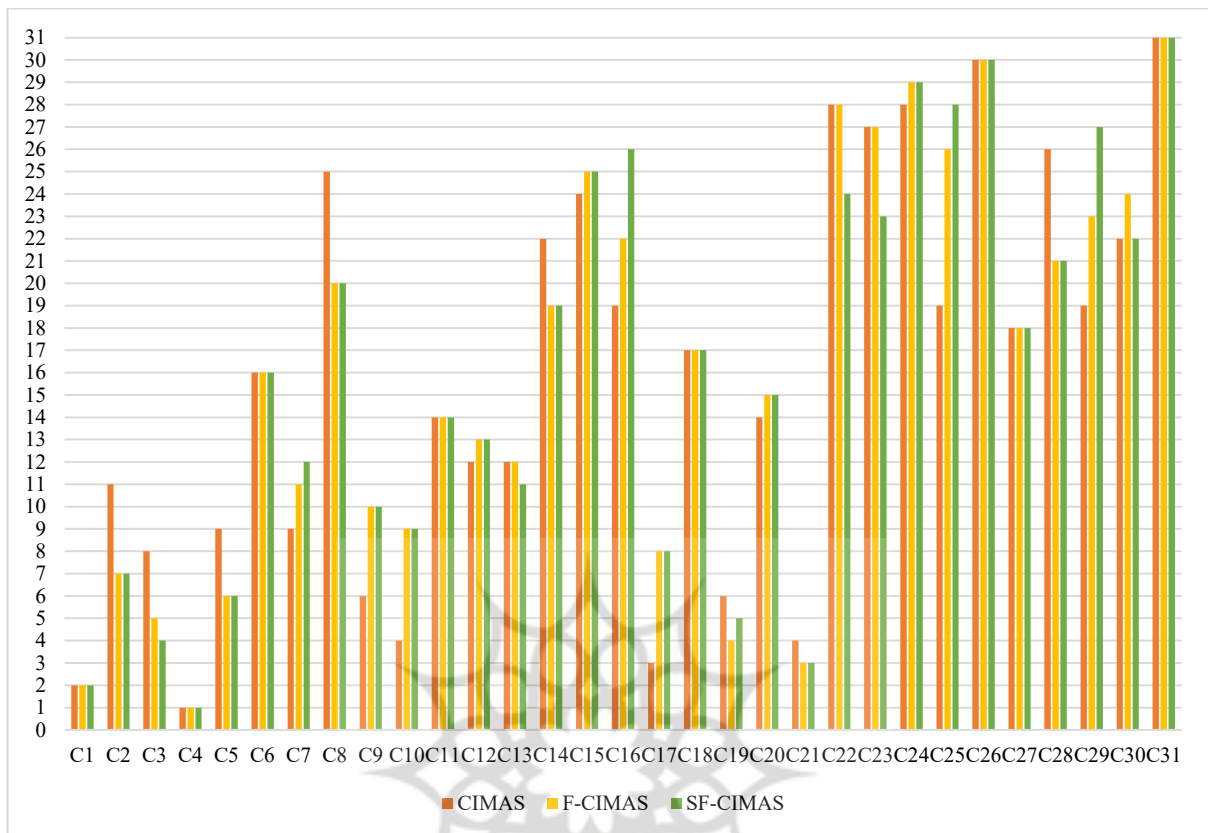
Table 12- Results of evaluation and prioritization of suppliers evaluation criteria in modular megaprojects based on SF-CIMAS, F-CIMAS and CIMAS methods

	CIMAS		F-CIMAS		SF-CIMAS	
	Weight	Rank	Weight	Rank	Weight	Rank
C1	۰/۱۱۵	۲	۰/۱۰۱	۲	۰/۰۹۰	۲
C2	۰/۰۵۰	۱۱	۰/۰۶۵	۷	۰/۰۶۰	۷
C3	۰/۰۵۰	۸	۰/۰۶۵	۶	۰/۰۶۱	۴
C4	۰/۱۱۵	۱	۰/۱۰۱	۱	۰/۰۹۰	۱
C5	۰/۰۵۰	۹	۰/۰۶۵	۶	۰/۰۶۰	۶
C6	۰/۰۱۶	۱۶	۰/۰۲۱	۱۶	۰/۰۲۲	۱۶
C7	۰/۰۵۰	۹	۰/۰۳۸	۱۱	۰/۰۳۸	۱۲
C8	۰/۰۱۵	۲۵	۰/۰۱۹	۲۰	۰/۰۱۸	۲۰
C9	۰/۰۵۰	۶	۰/۰۳۸	۱۰	۰/۰۳۸	۱۰

	CIMAS		F-CIMAS		SF-CIMAS	
	Weight	Rank	Weight	Rank	Weight	Rank
C10	۰/۰۵۰	۴	۰/۰۳۸	۹	۰/۰۳۸	۹
C11	۰/۰۱۶	۱۴	۰/۰۲۱	۱۴	۰/۰۲۲	۱۴
C12	۰/۰۵۰	۱۲	۰/۰۳۸	۱۳	۰/۰۳۸	۱۳
C13	۰/۰۵۰	۱۲	۰/۰۳۸	۱۲	۰/۰۳۸	۱۱
C14	۰/۰۱۵	۲۲	۰/۰۱۹	۱۹	۰/۰۱۸	۱۹
C15	۰/۰۱۵	۲۴	۰/۰۱۱	۲۵	۰/۰۱۷	۲۵
C16	۰/۰۱۵	۱۹	۰/۰۱۱	۲۲	۰/۰۱۱	۲۶
C17	۰/۰۵۰	۳	۰/۰۳۸	۸	۰/۰۳۸	۸
C18	۰/۰۱۶	۱۷	۰/۰۲۱	۱۷	۰/۰۲۲	۱۷
C19	۰/۰۵۰	۶	۰/۰۶۵	۴	۰/۰۶۰	۵
C20	۰/۰۱۶	۱۴	۰/۰۲۱	۱۵	۰/۰۲۲	۱۵
C21	۰/۰۵۰	۴	۰/۰۳۸	۳	۰/۰۶۱	۳
C22	۰/۰۰۵	۲۸	۰/۰۰۹	۲۸	۰/۰۱۷	۲۴
C23	۰/۰۰۵	۲۷	۰/۰۰۹	۲۷	۰/۰۱۷	۲۳
C24	۰/۰۰۵	۲۸	۰/۰۰۶	۲۹	۰/۰۱۱	۲۹
C25	۰/۰۱۵	۱۹	۰/۰۱۱	۲۶	۰/۰۱۱	۲۸
C26	۰/۰۰۲	۳۰	۰/۰۰۳	۳۰	۰/۰۱۱	۳۰
C27	۰/۰۱۶	۱۸	۰/۰۲۱	۱۸	۰/۰۲۱	۱۸
C28	۰/۰۱۵	۲۶	۰/۰۱۹	۲۱	۰/۰۱۷	۲۱
C29	۰/۰۱۵	۱۹	۰/۰۱۱	۲۳	۰/۰۱۱	۲۷
C30	۰/۰۱۵	۲۲	۰/۰۱۱	۲۴	۰/۰۱۷	۲۲
C31	۰/۰۰۱	۳۱	۰/۰۰۱	۳۱	۰/۰۰۶	۳۱

با توجه به جدول ۱۲، مشاهده می‌شود که براساس روش CIMAS، معیارهای C4 (هزینه) و C1 (استراتژی و سازمان‌دهی) به ترتیب در اولویت‌های اول و دوم قرار گرفته‌اند. از طرفی برخی معیارها در اولویت‌های مشترک قرار گرفته‌اند. برای مثال معیارهای C10 (انعطاف‌پذیری) و C21 (میزان پسماند تولیدی) به‌طور مشترک در جایگاه چهارم، C9 (بهره‌وری خدمات) و C19 (انتشار گازهای گلخانه‌ای) به‌طور مشترک در جایگاه ششم، C5 (وضعیت مالی، سودآوری) و C7 (تولید و لجستیک) به‌طور مشترک در جایگاه نهم قرار گرفته‌اند. قرارگرفتن معیارها در اولویت‌های مشترک، موجب سردرگمی تصمیم‌گیرندگان در تعیین میزان اهمیت این معیارها می‌شود. این ضعف در روش F-CIMAS با توجه به در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت بر طرف شده است. براساس اولویت‌بندی حاصل از روش F-CIMAS، معیارهای C4 (هزینه) و C1 (استراتژی و سازمان‌دهی) به ترتیب در اولویت‌های اول و دوم قرار گرفته‌اند. در ادامه و براساس نتایج حاصل از روش SF-CIMAS، معیارهای C4 (هزینه) و C1 (استراتژی و سازمان‌دهی) به ترتیب در اولویت‌های اول و دوم قرار گرفته‌اند. مقایسه اولویت‌بندی معیارها براساس نتایج روش‌های CIMAS، F-CIMAS و SF-CIMAS در شکل ۸ نشان داده شده است. پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی با روش F-CIMAS در اولویت‌بندی علل شکست، تقریباً مشابه عمل می‌کند و نتایج ضریب همبستگی ۰/۹۸۵ را

نشان می‌دهد؛ بنابراین نتیجه گرفته می‌شود که روش توسعه‌یافته پژوهش براساس مجموعه‌های فازی کروی، با در نظر گرفتن درجه تردید به‌عنوان یک مؤلفه مستقل برای مقابله با عدم قطعیت موجود در مسئله، مطمئن‌تر و معتبرتر است.



شکل ۸- اولویت‌بندی معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان در مگاپروژه‌های ماژولار براساس روش‌های SF-CIMAS، F-CIMAS و CIMAS  
 Fig. 8- Suppliers evaluation criteria prioritization in modular megaprojects based on SF-CIMAS, F-CIMAS and CIMAS methods

### ۳-۵- بینش‌های عملیاتی و مدیریتی

انتخاب تأمین‌کننده مناسب در مدیریت مگاپروژه‌های ماژولار، یک تصمیم استراتژیک با آثار کلان است. مدیر مگاپروژه باید همسویی اهداف کلان پروژه و فرایند ارزیابی تأمین‌کنندگان را بررسی و در قراردادها، به شاخص‌های کلیدی عملکرد نظیر تحویل به‌موقع و مدیریت پسماند تولیدی اشاره کند. جایگاه بالای معیار میزان پسماند تولیدی در نتایج حاصل از وزن‌دهی به معیارها، براساس روش SF-CIMAS در این پژوهش، نیاز به تمرکز مدیریتی ویژه بر اقدامات مرتبط با پایداری را نشان می‌دهد. مدیر مگاپروژه باید برنامه‌های مشترک کاهش ضایعات را با تأمین‌کنندگان توسعه دهد، اهداف واضحی را در قراردادها تعیین و از نوآوری در بهره‌وری مواد و پیاده‌سازی اصول اقتصاد چرخشی حمایت کند. در آخر، بازبینی دوره‌ای معیارها و محاسبه وزن معیارها با داده‌ها و نظرات جدید و همچنین ارزیابی دوره‌ای تأمین‌کنندگان، تضمین می‌کند که شبکه تأمین‌کنندگان همواره با اهداف مگاپروژه همگام باشد.

## ۶- نتیجه‌گیری

در عصر حاضر، اهمیت مگاپروژه‌ها در تأمین زیرساخت‌های جهانی، تسریع رشد اقتصادی و شکل‌دهی چشم‌انداز جوامع انکارنشدنی است؛ اما با این حال، پیچیدگی و مقیاس ذاتی این پروژه‌ها، آنها را در معرض چالش‌هایی چون تأخیر زمانی و افزایش هزینه‌ها قرار می‌دهد. ماژولارسازی، یکی از راهکارهای مؤثر در مدیریت مگاپروژه‌ها، مستلزم هماهنگی دقیق زیرسیستم‌ها و ادغام منسجم ماژول‌هاست؛ از این رو، ارزیابی تأمین‌کنندگان نقش کلیدی در تضمین موفقیت مگاپروژه‌های ماژولار دارد. پژوهش حاضر به منظور شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان مگاپروژه‌های ماژولار، رویکرد نوینی را معرفی کرده است؛ از این رو، فهرست جامعی از معیارهای پایداری برای ارزیابی تأمین‌کنندگان مگاپروژه‌های ماژولار شناسایی شده است؛ سپس درجه اهمیت این معیارها با استفاده از رویکرد توسعه‌یافته مبتنی بر روش SF-CIMAS، براساس مجموعه‌های فازی کروی تعیین شده‌اند. در این رویکرد، پس از تعیین معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان، تعداد خبره‌ها مشخص و تیم تصمیم‌گیری تشکیل می‌شود؛ سپس با تعیین اهمیت نظر هر خبره براساس دانش و تجربه فعالیت در حوزه مرتبط براساس متغیرهای زبانی فازی کروی، درجه اهمیت نظر خبره مشخص می‌شود؛ سپس با پیاده‌سازی مراحل روش توسعه‌یافته CIMAS براساس مجموعه‌های فازی کروی، وزن هر معیار تعیین می‌شود. براساس نتایج این روش هزینه، استراتژی و سازمان‌دهی به ترتیب دارای بیشترین درجه اهمیت میان معیارهای ارزیابی هستند. در راستای سنجش پایداری روش پیشنهادی، تحلیل حساسیت در قالب چند سناریو طراحی شد. در این بخش، روند تغییرات وزن معیارها با تغییر اهمیت نظر هر خبره در ۵ سناریو مختلف بررسی شد. بر این اساس تغییر در درجه اهمیت نظر خبرگان باعث ایجاد تغییر در وزن معیارها و همچنین اولویت‌بندی برخی معیارها می‌شود؛ اما این تغییرات از نظر آماری معنادار نیستند و موجب تغییر بااهمیت‌ترین معیار نمی‌شوند و نتایج، انحراف درخور توجهی را در رتبه‌بندی گزینه‌ها نشان نمی‌دهد. همچنین با انجام مقایسات زوجی، همبستگی نتایج براساس سناریوهای مختلف تحلیل حساسیت، تمامی همبستگی‌ها در بازه‌ای بالا قرار دارند که همگرایی قوی را در رتبه‌بندی‌های ارائه‌شده از سوی رویکرد پیشنهادی در سناریوهای مختلف تصمیم‌گیری منعکس می‌کند. تعداد محدود خبرگان در حوزه مدیریت مگاپروژه‌ها و همچنین در نظر نگرفتن وزن‌های عینی در فرآیند اولویت‌بندی شاخص‌های ارزیابی، از جمله محدودیت‌های این پژوهش است. استفاده از روش‌های محاسبه وزن‌های عینی معیارها نظیر LOPCOW، MEREC، CRITIC و غیره در کنار وزن‌های ذهنی معیارها با هدف کاهش آثار احتمالی وقوع سوگیری‌های شناختی در نظرات خبرگان در فرایند تصمیم‌گیری و همچنین توسعه و مقایسه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در محیط‌های عدم قطعیت نظیر فازی فیشاغورثی، q-rung، فازی کروی و فازی فرماتین و مقایسه نتایج آن با روش‌های توسعه‌یافته در پژوهش حاضر از جمله پیشنهادها برای پژوهش‌های آتی است. فارغ از مسئله استفاده‌شده برای پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی این پژوهش، این رویکرد در سناریوهای مختلف اولویت‌بندی و تعیین درجه اهمیت شاخص‌ها در مسائل تصمیم‌گیری اجرایی خواهد بود. ما در آینده تحقیقات خود را در راستای ارزیابی و اولویت‌بندی تأمین‌کنندگان مگاپروژه‌های ماژولار، با به‌کارگیری شاخص‌ها و اولویت‌بندی ارائه‌شده برای درجه اهمیت آنها در این پژوهش، گسترش خواهیم داد.

## References

- Ahmadi, S., & Amin, S. H. (2019). An integrated chance-constrained stochastic model for a mobile phone closed-loop supply chain network with supplier selection. *Journal of cleaner production*, 226, 988-1003. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.132>
- Alavi, B., Tavana, M., & Mina, H. (2021). A dynamic decision support system for sustainable supplier selection in circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 905-920. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.015>
- Alikhani, R., Torabi, S. A., & Altay, N. (2019). Strategic supplier selection under sustainability and risk criteria. *International Journal of Production Economics*, 208, 69-82. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.11.018>
- Aljohani, A., Ahiaga-Dagbui, D., & Moore, D. (2017). Construction projects cost overrun: What does the literature tell us? *International Journal of Innovation. Management and Technology*, 8(2), 137. <https://doi.org/10.18178/ijimt.2017.8.2.717>
- Amindoust, A., Ahmed, S., Saghafinia, A., & Bahreininejad, A. (2012). Sustainable supplier selection: A ranking model based on fuzzy inference system. *Applied Soft Computing*, 12(6), 1668-1677. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2012.01.023>
- Ashkanani, S., & Franzoi, R. (2023). Gaps in megaproject management system literature: a systematic overview. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 30(3), 1300-1318. <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2021-1113>
- Atanassov, K. T., & Atanassov, K. T. (1999). *Intuitionistic fuzzy sets*. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-7908-1870-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-7908-1870-3_1)
- Bošković, S., Jovčić, S., Simić, V., Švadlenka, L., Dobrodolac, M. and Bacanin, N. (2023). A new criteria importance assessment (Cimas) method in multi-criteria group decision-making: Criteria evaluation for supplier selection. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 23(2), 335-349. <https://doi.org/10.22190/FUME230730050B>
- Cheraghalipour, A., & Farsad, S. (2018). A bi-objective sustainable supplier selection and order allocation considering quantity discounts under disruption risks: A case study in plastic industry. *Computers & Industrial Engineering*, 118, 237-250. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.02.04>
- Christanto, S., Runtuk, J. K., & Ng, P. K. (2025). Optimizing Supplier Selection: A Comparative Study of Fuzzy Vikor and Fuzzy Moora for Performance-Based Decision Making. *IEEE Access*, 13, 8456-8468. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3525362>
- Dang, P., Gao, H., Niu, Z., Geng, L., Hui, F. K. P., & Sun, C. (2024). The Supplier Selection of Prefabricated Component Production Line: A Lean-Based AHP-Improved VIKOR Framework. *Buildings*, 14(12), 4018. <https://doi.org/10.3390/buildings14124018>
- Elkington, J., & Rowlands, I. H. (1999). Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business. *Alternatives Journal*, 25(4), 42.
- Fallahpour, A., Nayeri, S., Sheikhalishahi, M., Wong, K. Y., Tian, G., & Fathollahi-Fard, A. M. (2021). A hyper-hybrid fuzzy decision-making framework for the sustainable-resilient supplier selection problem: a case study of Malaysian Palm oil industry. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-21. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12491-y>
- Fallahpour, A., Olugu, E. U., Musa, S. N., Wong, K. Y., & Noori, S. (2017). A decision support model for sustainable supplier selection in sustainable supply chain management. *Computers & Industrial Engineering*, 105, 391-410. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.01.005>
- Famiyeh, S., Amoatey, C. T., Adaku, E., & Agbenohevi, C. S. (2017). Major causes of construction time and cost overruns: A case of selected educational sector projects in Ghana. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 15(2), 181-198. <https://doi.org/10.1108/JEDT-11-2015-0075>
- Flyvbjerg, B. (2014). What you should know about megaprojects and why: An overview. *Project management journal*, 45(2), 6-19. <https://doi.org/10.1002/pmj.21409>

- Flyvbjerg, B. (2021). Make megaprojects more modular. *Harvard Business Review*, 58-63.
- Ghiaci, A. M., & Ghoushchi, S. J. (2023). Assessment of barriers to IoT-enabled circular economy using an extended decision-making-based FMEA model under uncertain environment. *Internet of Things*, 22, 100719. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100719>
- Hajiaghaei-Keshteli, M., Cenk, Z., Erdebilli, B., Özdemir, Y. S., & Gholian-Jouybari, F. (2023). Pythagorean fuzzy TOPSIS method for green supplier selection in the food industry. *Expert Systems with applications*, 224, 120036. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120036>
- Hallak, J. (2024). Optimizing construction supplier selection in conflict-affected regions: a hybrid multi-criteria framework. *Operations Management Research*, 1-25. <https://doi.org/10.1007/s12063-024-00505-0>
- He, Q., Chen, X., Wang, G., Zhu, J., Yang, D., Liu, X., & Li, Y. (2019). Managing social responsibility for sustainability in megaprojects: An innovation transitions perspective on success. *Journal of cleaner production*, 241, 118395. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118395>
- Hendiani, S., Mahmoudi, A., & Liao, H. (2020). A multi-stage multi-criteria hierarchical decision-making approach for sustainable supplier selection. *Applied Soft Computing*, 94, 106456. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106456>
- Hoseini, S. A., Fallahpour, A., Wong, K. Y., Mahdiyar, A., Saberi, M., & Durdyev, S. (2021). Sustainable supplier selection in construction industry through hybrid fuzzy-based approaches. *Sustainability*, 13(3), 1413. <https://doi.org/10.3390/su13031413>
- Hosseini, S. M., Paydar, M. M., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (2021). Recovery solutions for ecotourism centers during the Covid-19 pandemic: Utilizing Fuzzy DEMATEL and Fuzzy VIKOR methods. *Expert Systems with applications*, 185, 115594. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115594>
- Ibrahim, A., Zayed, T., & Lafhaj, Z. (2025). Trends and gaps in lean construction practices for construction of megaprojects: A critical review. *Alexandria Engineering Journal*, 118, 174-193. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2025.01.046>
- Jafarzadeh Ghoushchi, S., Shaffiee Haghshenas, S., Memarpour Ghiaci, A., Guido, G., & Vitale, A. (2022). Road safety assessment and risks prioritization using an integrated SWARA and MARCOS approach under spherical fuzzy environment. *Neural Computing and Applications*, 1-19. <https://doi.org/10.1007/s00521-022-07929-4>
- Jafarzadeh Ghoushchi, S., Memarpour Ghiaci, A., Rahnamay Bonab, S., & Ranjbarzadeh, R. (2022). Barriers to circular economy implementation in designing of sustainable medical waste management systems using a new extended decision-making and FMEA models. *Environmental science and pollution research*, 29(53), 79735-79753. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19018-z>
- Jauhar, S. K., & Pant, M. (2017). Integrating DEA with DE and MODE for sustainable supplier selection. *Journal of computational science*, 21, 299-306. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2017.02.011>
- Jin, S. (2025). Current status and trends of megaproject research: bibliometric and text mining analysis. *Engineering, Construction and Architectural Management*, Vol. ahead-of-print, No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2024-0495>
- Kahraman, C., & Gündogdu, F. K. (2021). Decision making with spherical fuzzy sets. *Studies in fuzziness and soft computing*, 392, 3-25. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-45461-6>
- Kara, K., Yalçın, G.C., Çetinkaya, A., Simic, V. and Pamucar, D. (2024). A single-valued neutrosophic CIMAS-CRITIC-RBNAR decision support model for the financial performance analysis: A study of technology companies. *Socio-Economic Planning Sciences*, 92, 101851. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2024.101851>
- Kara, K., Yalçın, G.C., Kaygısız, E.G., Simic, V., Örnek, A.Ş. and Pamucar, D. (2024). A picture fuzzy CIMAS-ARTASI model for website performance analysis in human resource management. *Applied Soft Computing*, 162, p.111826. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2024.111826>

- Khan, S. A., Kusi-Sarpong, S., Arhin, F. K., & Kusi-Sarpong, H. (2018). Supplier sustainability performance evaluation and selection: A framework and methodology. *Journal of cleaner production*, 205, 964-979. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.144>
- Kutlu Gündoğdu, F., & Kahraman, C. (2019). Spherical fuzzy sets and spherical fuzzy TOPSIS method. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 36(1), 337-352. <https://doi.org/10.3233/JIFS-181401>
- Liang, R., Li, R., Yan, X., Xue, Z., & Wei, X. (2023). Evaluating and selecting the supplier in prefabricated megaprojects using extended fuzzy TOPSIS under hesitant environment: A case study from China. *Engineering. Construction and Architectural Management*, 30(5), 1902-1931. <https://doi.org/10.1108/ECAM-09-2021-0793>
- Lin, C., Chen, J., Feng, C., & Li, X. (2024). Optimizing supplier selection for prefabricated components: a comprehensive evaluation. *Engineering, Construction and Architectural Management*, Vol. ahead-of-print, No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/ECAM-09-2024-1230>
- Liu, H.-C., Quan, M.-Y., Li, Z., & Wang, Z.-L. (2019). A new integrated MCDM model for sustainable supplier selection under interval-valued intuitionistic uncertain linguistic environment. *Information sciences*, 486, 254-270. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.02.056>
- Lotfi, Z. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.
- Luthra, S., Govindan, K., Kannan, D., Mangla, S. K., & Garg, C. P. (2017). An integrated framework for sustainable supplier selection and evaluation in supply chains. *Journal of cleaner production*, 140, 1686-1698. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.078>
- Mahmoudi, A., Deng, X., Javed, S. A., & Zhang, N. (2021). Sustainable supplier selection in megaprojects: grey ordinal priority approach. *Business Strategy and the Environment*, 30(1), 318-339. <https://doi.org/10.1002/bse.2623>
- Mani, V., Agrawal, R., & Sharma, V. (2014). Supplier selection using social sustainability: AHP based approach in India. *International strategic management review*, 2(2), 98-112. <https://doi.org/10.1016/j.ism.2014.10.003>
- Memari, A., Dargi, A., Jokar, M. R. A., Ahmad, R., & Rahim, A. R. A. (2019). Sustainable supplier selection: A multi-criteria intuitionistic fuzzy TOPSIS method. *Journal of manufacturing systems*, 50, 9-24. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.11.002>
- Memarpour Ghiaci, A., Abbasi, M., & Gheidar-Kheljani, J. (2025). An assessment of the causes of schedule and cost overruns in megaprojects using Z-BWM-MARCOS integrated method. *Journal of Industrial Management Perspective*, 15(1), 73-100. <https://doi.org/10.48308/jimp.15.1.73>
- Memarpour Ghiaci, A., Abbasi, M., Piri, M., & Akhavan, P. (2024). Barriers to blockchain adoption in humanitarian logistics in an uncertain environment. *Business Intelligence Management Studies*, 12(47), 153-184. <https://doi.org/10.22054/ims.2023.72916.2304>
- Memarpour Ghiaci, A., Garg, H., & Jafarzadeh Ghouschi, S. (2022). Improving emergency departments during COVID-19 pandemic: a simulation and MCDM approach with MARCOS methodology in an uncertain environment. *Computational and Applied Mathematics*, 41(8), 1-23. <https://doi.org/10.1007/s40314-022-02080-1>
- Mignacca, B., & Locatelli, G. (2021). Modular circular economy in energy infrastructure projects: Enabling factors and barriers. *Journal of Management in Engineering*, 37(5), 04021053. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000949](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000949)
- Murugan, R. B., & Wong, K. Y. (2025). Sustainable Supplier Selection for Labelling Materials Used in a Herbicide Manufacturing Company. In *Green Finance and Energy Transition: Innovation, Legal Frameworks and Regulation* (pp. 147-158). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-75960-4\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-031-75960-4_15)

- Nadeem, M., Gyapong, E., & Ahmed, A. (2020). Board gender diversity and environmental, social, and economic value creation: Does family ownership matter? *Business Strategy and the Environment*, 29(3), 1268-1284. <https://doi.org/10.1002/bse.2432>
- Rashidi, K., & Cullinane, K. (2019). A comparison of fuzzy DEA and fuzzy TOPSIS in sustainable supplier selection: Implications for sourcing strategy. *Expert Systems with applications*, 121, 266-281. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.12.025>
- Shang, Z., Yang, X., Barnes, D., & Wu, C. (2022). Supplier selection in sustainable supply chains: Using the integrated BWM, fuzzy Shannon entropy, and fuzzy MULTIMOORA methods. *Expert Systems with applications*, 195, 116567. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.116567>
- Sharma, M., Joshi, S., Kannan, D., Govindan, K., Singh, R., & Purohit, H. (2020). Internet of Things (IoT) adoption barriers of smart cities' waste management: An Indian context. *Journal of cleaner production*, 270, 122047. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122047>
- Singh, A., Kumar, V., & Verma, P. (2025). Sustainable supplier selection in a construction company: a new MCDM method based on dominance-based rough set analysis. *Construction Innovation*, 25(2), 328-362. <https://doi.org/10.1108/CI-12-2022-0324>
- Sithi, S. S., Ara, M., Dhruvo, A. T., Rony, A. H., & Shabur, M. A. (2025). Sustainable supplier selection in the textile industry using triple bottom line and SWARA-TOPSIS approaches. *Discover Sustainability*, 6(1), 1-23. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01206-9>
- Su, Y., Zhao, M., Wei, C., & Chen, X. (2022). PT-TODIM method for probabilistic linguistic MAGDM and application to industrial control system security supplier selection. *International Journal of Fuzzy Systems*, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s40815-021-01125-7>
- Švadlenka, L., Bajec, P., Pivtorak, H., Bošković, S., Jovčić, S. and Dobrodolac, M. (2024). Risk Prioritization from the Crowd-Shipping Provider's Perspective using the CIMAS Method. *Spectrum of Engineering and Management Sciences*, 2(1), 234-246. <https://doi.org/10.31181/sems21202430s>
- Tirkolaei, E. B., Mardani, A., Dashtian, Z., Soltani, M., & Weber, G.-W. (2020). A novel hybrid method using fuzzy decision making and multi-objective programming for sustainable-reliable supplier selection in two-echelon supply chain design. *Journal of cleaner production*, 250, 119517. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119517>
- Tshidavhu, F., & Khatleli, N. (2020). An assessment of the causes of schedule and cost overruns in South African megaprojects: A case of the critical energy sector projects of Medupi and Kusile. *Acta Structilia*, 27(1), 119-143.
- Unal, Y., & Temur, G. T. (2021). Sustainable supplier selection by using spherical fuzzy AHP. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 42(1), 593-603. <https://doi.org/10.3233/JIFS-219214>
- Varchandi, S., Memari, A., & Jokar, M. R. A. (2024). An integrated best-worst method and fuzzy TOPSIS for resilient-sustainable supplier selection. *Decision Analytics Journal*, 11, 100488. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2024.100488>
- Wang, S., Chong, H.-Y., & Zhang, W. (2024). The impact of BIM-based integration management on megaproject performance in China. *Alexandria Engineering Journal*, 94, 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.03.036>
- Xu, Z., Qin, J., Liu, J., & Martínez, L. (2019). Sustainable supplier selection based on AHPSort II in interval type-2 fuzzy environment. *Information sciences*, 483, 273-293. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.013>
- Yadavalli, V. S., Darbari, J. D., Bhayana, N., Jha, P., & Agarwal, V. (2019). An integrated optimization model for selection of sustainable suppliers based on customers' expectations. *Operations Research Perspectives*, 6, 100113. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2019.100113>
- Yager, R. R. (2013). Pythagorean fuzzy subsets. *2013 joint IFSA world congress and NAFIPS annual meeting (IFSA/NAFIPS)*, pp. 57-61. <https://doi.org/10.1109/IFSA-NAFIPS.2013.6608375>

- Yu, C., Shao, Y., Wang, K., & Zhang, L. (2019). A group decision making sustainable supplier selection approach using extended TOPSIS under interval-valued Pythagorean fuzzy environment. *Expert Systems with applications*, 121, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.12.010>
- Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I. *Information sciences*, 8(3), 199-249. [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(75\)90017-1](https://doi.org/10.1016/0020-0255(75)90017-1)
- Zhao, L., Liu, Z., & Mbachu, J. (2019). Optimization of the supplier selection process in prefabrication using BIM. *Buildings*, 9(10), 222. <https://doi.org/10.3390/buildings9100222>
- Zhou, Z., & Mi, C. (2017). Social responsibility research within the context of megaproject management: Trends, gaps and opportunities. *International journal of project management*, 35(7), 1378-1390. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.02.017>

<sup>1</sup> Zhao et al.

<sup>2</sup> Lotfi

<sup>3</sup> Zadeh

<sup>4</sup> Atanassov and Atanassov

<sup>5</sup> Yager

<sup>6</sup> Kutlu Gündoğdu and Kahraman

<sup>7</sup> Mahmoudi et al.

<sup>8</sup> Singh et al.

<sup>9</sup> Varchandi et al.

<sup>10</sup> Ahmadi and Amin

<sup>11</sup> Alikhani et al.

<sup>12</sup> Fallahpour et al.

<sup>13</sup> Luthra et al.

<sup>14</sup> Sithi et al.

<sup>15</sup> Alavi et al.

<sup>16</sup> Memari et al.

<sup>17</sup> Sharma et al.

<sup>18</sup> Amindoust et al.

<sup>19</sup> Mani et al.

<sup>20</sup> Jauhar and Pant

<sup>21</sup> Zhou and Mi

<sup>22</sup> Cheraghalipour and Farsad

<sup>23</sup> Khan et al.

<sup>24</sup> Rashidi and Cullinane

<sup>25</sup> Liu et al.

<sup>26</sup> Yadavalli et al.

<sup>27</sup> Yu et al.

<sup>28</sup> Xu et al.

<sup>29</sup> He et al.

<sup>30</sup> Tirkolaee et al.

<sup>31</sup> Hendifi et al.

<sup>32</sup> Hoseini et al.

<sup>33</sup> Unal and Temur

<sup>34</sup> Shang et al.

<sup>35</sup> Su et al.

<sup>36</sup> Liang et al.

<sup>37</sup> Hajiaghaci-Keshteli et al.

<sup>38</sup> Lin et al.

<sup>39</sup> Dang et al.

<sup>40</sup> Hallak

<sup>41</sup> Christanto et al.

<sup>42</sup> Murugan and Wong

<sup>43</sup> Bošković et al.



**This page intentionally left blank.**



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
رتال جامع علوم انسانی