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.2025.143018.1581

(Research paper)

A Hybrid Fuzzy DEA-OPA Framework for Supplier Performance Evaluation under Data Incompleteness

Mona Hemmati
Department of Industrial Management, Faculty of Governance, Shahed University, Tehran, Iran, mona.hemmati.69@gmail.com
Saeed Safari *
Department of Industrial Management, Faculty of Governance, Shahed University, Tehran, Iran, safari@shahed.ac.ir
Reza Abbasi
Department of Industrial Management, Faculty of Governance, Shahed University, Tehran, Iran, r.abbasi@shahed.ac.ir

Purpose: In competitive markets, supplier performance is a crucial factor in determining business success. High-performing suppliers generate value for buyers and boost a company's competitiveness. Therefore, evaluating, ranking, and selecting suppliers has a significant impact on profitability, product quality, service delivery, and overall operations. Effective supplier selection can greatly lower procurement costs and enhance organizational competitiveness, making robust evaluation methods like Data Envelopment Analysis (DEA) essential. This paper aims to propose a hybrid approach for supplier performance evaluation.

Design/methodology/approach: A thorough literature review identified essential supplier selection criteria. Based on these criteria, a questionnaire was created and distributed to managers, academics, and industry experts. The collected data underwent statistical analysis using SPSS and the Fuzzy Delphi Method to refine and finalize the criteria. Supplier performance was subsequently analyzed using Fuzzy DEA and the Ordinal Priority Approach (OPA). Fuzzy DEA assesses suppliers under uncertainty, while OPA combines human judgment and balances empirical data with expert insights.

Findings: The hybrid Fuzzy DEA-OPA model effectively integrates expert opinions and quantitative data for supplier evaluation. When expert knowledge is scarce, the model compensates for data gaps by utilizing available information. Emphasizing expert input also fosters innovative insights. Implementing a

* Corresponding author, 0000-0002-1693-2668 2981-0329 / © University of Isfahan
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

weighted Min-Max approach in the multi-objective model enables decision-makers to modify the weights assigned to DEA and OPA objectives. This method is versatile, applicable not only to sustainable supplier evaluation but also to various selection challenges by adjusting inputs and outputs.

Research limitations: Due to the limited number of suppliers at the studied company and the necessity to maintain an appropriate ratio between inputs, outputs, and decision-making units (DMUs), the number of evaluation indicators was limited. Future research should broaden the scope by incorporating more DMUs and a wider range of indicators. Generalizing findings necessitates caution, as the study concentrated on a specific product within Semnan Regional Electric Company.

Practical implications: The model can be adapted to assess other suppliers and components within the organization, although the selection criteria and their weights may need recalibration. The key prioritized criteria included compliance with standards, R&D capability, and technological expertise—indicating that electric utilities should focus on these aspects in procurement. Combining expert judgment with empirical data enhances evaluation accuracy when faced with incomplete information. While equal weights were assigned to OPA and DEA in this study, the model's flexibility permits adjustments to methodological influence. If the work experience of experts varies significantly, it is advisable to apply the model considering different scenarios of work experience and education.

Social implications: Transparent supplier evaluation fosters partnerships with entities that adhere to ethical, social, and environmental standards. Models that incorporate environmental indicators promote sustainable practices. Hybrid approaches, such as Fuzzy DEA-OPA, assist policymakers in establishing better criteria and support high-performing businesses in the face of data uncertainty. Ultimately, precise supplier assessment enhances product quality and supply chain resilience, contributing to a safer, more robust society.

Originality/value: Effective supplier selection necessitates advanced evaluation methods. While DEA effectively manages multiple inputs and outputs, it neglects human judgment. The Ordinal Priority Approach (OPA) addresses this shortcoming by integrating expert perspectives. Merging these methods establishes a robust framework that tackles multiple experts, incomplete data, input/output weighting, missing values, and lower-risk decision-making—providing substantial value for complex supplier selection.

Keywords: Supplier Evaluation and Ranking, Hybrid DEA-OPA Model, Data Envelopment Analysis, Ordinal Priority Approach

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهش در مدیریت تولید و عملیات، دوره ۱۶، شماره ۳، پیاپی ۴۲، پاییز ۱۴۰۴
دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۹ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۵ ص ۱-۱۸
DOI: 10.22108/POM.2025.143018.1581

(مقالهٔ پژوهشی)

ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان در مواجهه با داده‌های ناقص رویکرد ترکیبی DEA فازی و OPA

مونا همتی[۱]؛ سعید صفری*[۲]؛ رضا عباسی[۳]

۱- کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشکدهٔ حکمرانی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران، mona.hemmati.69@gmail.com
۲- دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکدهٔ حکمرانی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران، safari@shahed.ac.ir
۳- دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکدهٔ حکمرانی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران، r.abbasi@shahed.ac.ir

چکیده: در بازار رقابتی، عملکرد تأمین‌کنندگان یکی از عوامل کلیدی موفقیت کسب‌وکار است؛ بنابراین ارزیابی، رتبه‌بندی و انتخاب تأمین‌کنندگان برای سازمان‌ها نه‌تنها عامل مهمی در کسب سود محسوب می‌شود، عامل مؤثری در کیفیت تولید محصول، ارائهٔ خدمات و فعالیت‌های تجاری است. این انتخاب نیازمند به‌کارگیری روش‌های مناسب ارزیابی عملکرد است که یکی از روش‌های مناسب، تحلیل پوششی داده‌هاست. با توجه به اینکه تحلیل پوششی داده‌ها قضاوت انسانی را در نظر نمی‌گیرد، رویکرد اولویت ترتیبی با رفع این نقص، داده‌های دنیای واقعی و قضاوت انسانی را متعادل می‌کند. ترکیب این دو روش، رویکرد مفیدی برای انتخاب تأمین‌کننده است، مشکلات مربوط به چندین متخصص و ناقص‌بودن اطلاعات را حل می‌کند و همچنین تصمیم‌گیری با ریسک کمتر را به‌همراه دارد. در این پژوهش شاخص‌ها پس از استخراج، با استفاده از آزمون دوجمله‌ای و روش دلفی فازی در قالب ۱۵ شاخص پالایش شدند. این شاخص‌ها شامل ۸ شاخص ورودی، ۷ شاخص خروجی، ۴ شاخص کمی و ۱۱ شاخص کیفی‌اند؛ سپس ازطریق پرسش‌نامه، داده‌های مورد نیاز هریک از شاخص‌ها دربارهٔ ۴۵ تأمین‌کننده جمع‌آوری شد. به‌منظور رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان ابتدا از روش تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شد. طبق نتایج به دست آمده ۳۰ تأمین‌کننده، واحدهای کارا شناسایی شدند. برای حل این مشکل از رویکرد اولویت ترتیبی استفاده شد. مدل ترکیبی، وزن هریک از ورودی‌ها و خروجی‌ها را محاسبه و از مقادیر از دست رفته پشتیبانی کرد و پس از آن کارایی تأمین‌کنندگان به شکل دقیق‌تری محاسبه و اقدام به رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان شد. نتایج نشان داد قدرت تمیز مدل پیشنهادی بسیار بالاتر از مدل سنتی تحلیل پوششی داده‌هاست.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان، مدل ترکیبی DEA-OPA، تحلیل پوششی داده‌ها، رویکرد اولویت ترتیبی

* نویسنده مسئول، 0000-0002-1693-2668

2981-0329 / © University of Isfahan
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

۱- مقدمه

در میان موضوعات مدیریت زنجیرهٔ تأمین مربوط به فرآیند خرید، انتخاب تأمین‌کننده یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های واحد خرید شرکت‌هاست و واحد خرید نقش اساسی در اثربخشی و کارایی سازمان دارد؛ زیرا تصمیمات خرید تأثیر مستقیمی بر کاهش قیمت‌ها، توانایی سودآوری و انعطاف‌پذیری شرکت‌ها دارد (Mwikali, 2012) ؛ در طول سال‌ها، روش‌های متعددی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان پیشنهاد شده است. با این حال، کارشناسان معتقدند که در عمل، هیچ روش بهینهٔ واحدی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان وجود ندارد؛ درنتیجه، شرکت‌ها رویکردهای مختلفی را برای این موضوع براساس نیازهای خاص خود به کار می‌گیرند. این تنوع، شناسایی بهترین روش ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده را چالش‌برانگیز می‌کند (Azimian et al., 2017)؛ بنابراین در پاسخ به افزایش رقابت‌پذیری، کوتاه‌شدن چرخهٔ عمر محصول و تغییرات سریع در نیازها و سلایق مشتریان، بیشتر شرکت‌ها بر توسعهٔ قابلیت‌های بلندمدت تأمین‌کنندگان خود تمرکز کرده‌اند که نشان‌دهندهٔ اهمیت ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان است (Markabi & Sabbagh, 2014). انتخاب درست تأمین‌کنندگان نیازمند به‌کارگیری روش‌های مناسب برای ارزیابی عملکرد آنهاست که یکی از ابزارهای مناسب برای سنجش کارایی، تحلیل پوششی داده‌ها و توانایی آن در به‌کارگیری ورودی‌ها و خروجی‌های چندگانه در ارزیابی است؛ اما با توجه به اینکه تحلیل پوششی داده‌ها[۱] ، قضاوت انسان را در نظر نمی‌گیرد، روش رویکرد اولویت ترتیبی[۲] برای چگونگی قضاوت انسان مطرح می‌شود و داده‌های دنیای واقعی و قضاوت انسانی را متعادل می‌کند. ترکیب این دو روش، رویکرد مفیدی برای انتخاب تأمین‌کننده است، مسائل مربوط به چندین متخصص و ناقص‌بودن اطلاعات را حل می‌کند و همچنین تصمیم‌گیری با ریسک کمتر را به‌همراه دارد، وزن ورودی‌ها و خروجی‌ها را محاسبه و مقادیر از دست رفته را پشتیبانی می‌کند.

توسلی و همکاران[۳] (۲۰۲۰)، پایداری تأمین‌کنندگان را با یک مدل جدید تحلیل پوششی داده‌های تصادفی-فازی ارزیابی کردند. آنها یک مدل جدید تحلیل پوششی داده‌ها را برای ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان دربارهٔ پایداری ارائه دادند که تأمین‌کنندگان را در زمینهٔ پایداری، رتبه‌بندی و عملکرد تأمین‌کنندگان را با توجه به داده‌های تصادفی و داده‌های فازی در یک چارچوب یکپارچه ارزیابی کرد. محمودی و همکاران[۴] (۲۰۲۱)، در پژوهشی با عنوان «تصمیم‌گیری چند معیاره در مقیاس بزرگ با مقادیر گم‌شده»، به‌دنبال ارائهٔ چارچوبی جامع برای فرآیند تصمیم‌گیری با استفاده از داده‌های بزرگ، حتی زمانی که ناقص است، بودند. این رویکرد انعطاف‌پذیر، تعاملی، هوشمند و یکپارچه بود و زمان و هزینه‌های محاسباتی را به میزان درخور توجهی برای تصمیم‌گیرندگان کاهش می‌داد. یعقوب‌پور شیخ زاهدی و همکاران[۵] در سال ۲۰۲۴، مدل تحلیل پوششی داده‌های معکوس را برای بهبود کارایی ازطریق افزایش خروجی‌ها بررسی کردند که هدف این مقاله معرفی یک رویکرد جدید برای تخمین مقادیر ورودی با افزایش تدریجی ارزش هر خروجی واحدهای تصمیم‌گیری در طول فرآیند ارزیابی و درنتیجه حفظ یا بهبود کارایی هزینه بود. جدیدی و همکاران[۶] (۲۰۲۴) با کمک دو روش حل، رویه‌ای را برای انتخاب از بین راه‌حل‌های مختلف برای مسئلهٔ انتخاب تأمین‌کنندهٔ چند معیاره پیشنهاد دادند که برای تصمیم‌گیرندگان سودمند است. با توجه به بررسی پیشینهٔ گسترده دربارهٔ انتخاب و ارزیابی تأمین‌کنندگان، مشخص است که از مدل‌های متفاوتی برای حل

مسئلهٔ انتخاب و ارزیابی تأمین‌کنندگان استفاده شده است؛ اما کماکان در پژوهش‌های انجام‌شده، توجهی به داده‌های از دست رفته نشده است. به همین دلیل در این پژوهش، به داده‌های از دست رفته و ناقص توجه شده و مسئلهٔ اصلی تحقیق این است که چگونه با استفاده از ترکیب دو روش تحلیل پوششی داده‌های فازی و رویکرد اولویت ترتیبی عملکرد تأمین‌کنندگان در مواجهه با داده‌های ناقص ارزیابی شود؟

۲- مفاهیم و مبانی نظری

تکامل ارزیابی عملکرد به‌طور جدایی‌ناپذیری با توسعهٔ نظریه‌های مدیریت و مکاتب مدیریت مرتبط است. هنگام بررسی علت وجودی ارزیابی عملکرد، دو دیدگاه اصلی پدیدار می‌شوند: دیدگاه سنتی که بر ارزیابی به‌عنوان ابزاری برای قضاوت و بازخورد تأکید دارد و دیدگاه مدرن که بر رشد، توسعه و بهبود مستمر تأکید بیشتری دارد و ارزیابی را فرآیندی پویا می‌بینند که عملکرد آینده را هدایت می‌کند (Safari & Azar, 2020). انتخاب یک تأمین‌کنندهٔ کارآمد، مزایایی مانند کاهش هزینه‌های تولید، بهبود کیفیت محصول، تحویل به‌موقع و انعطاف‌پذیری را برای برآورده‌کردن نیازهای مشتری به‌همراه دارد. پیچیدگی این انتخاب مشهود است؛ زیرا تصمیم‌گیرندگان باید جنبه‌های کیفی و کمی زنجیرهٔ تأمین را درک کنند. تصمیمات مربوط به ارزیابی، انتخاب و مدیریت عملکرد تأمین‌کنندگان وزن درخور توجهی برای کسب و کارها دارد (Magableh, 2024). تحلیل پوششی داده‌ها ابزار قدرتمندی برای اندازه‌گیری کارایی است؛ اما در آن محدودیت‌هایی وجود دارد که باید در نظر گرفته شوند. در برخی شرایط، داده‌های موجود برای تجزیه و تحلیل کارایی، بیشتر به‌صورت داده‌های کیفی و زبانی خواهد بود و مدل تحلیل پوششی داده‌ها، قضاوت انسانی را در نظر نمی‌گیرد. رویکرد اولویت ترتیبی یک پیشرفت مهم در نظریهٔ تصمیم‌گیری چند معیاره است. این روش را عطایی و همکاران[۷] (۲۰۲۰) ارائه کردند. رویکرد اولویت ترتیبی برای به‌کارگیری قضاوت انسانی مطرح می‌شود و داده‌های دنیای واقعی و قضاوت انسانی را متعادل می‌کند. رویکرد اولویت ترتیبی از تصمیم‌گیری فردی و گروهی و همچنین محاسبهٔ وزن معیارها، کارشناسان و گزینه‌ها پشتیبانی می‌کند. درواقع، سه بعد اساسی تصمیم‌گیری شامل کارشناسان، معیارها و گزینه‌های جایگزین را به‌طور هم‌زمان در نظر می‌گیرد. در رویکرد اولویت ترتیبی، به‌جای مقایسهٔ زوجی یا ماتریس تصمیم، به رتبه‌بندی ویژگی‌ها و جایگزین‌ها نیاز است (Ataei et al., 2020).

رویکرد اولویت ترتیبی، رتبهٔ گزینه‌ها و وزن کارشناسان را به‌صورت موازی محاسبه می‌کند. نقاط قوتی چون مستقل از عادی‌سازی، مقایسهٔ زوجی، مجموعهٔ داده‌های کامل، راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت/منفی و روش‌های میانگین‌گیری برای جمع‌آوری نظرات کارشناسان، آن را نسبت‌به دیگر ابزارهای تصمیم‌گیری برتری می‌دهد. علاوه بر این، به تصمیم‌گیرندگان این امکان را می‌دهد برای مواردی که دانش یا تجربهٔ کافی دربارهٔ موضوع ندارند، برخی از موارد را بدون پاسخ رها کنند تا دقت و قابلیت اطمینان داده‌های خروجی را بهبود بخشد (Mahmoudi et al., 2022). رویکرد اولویت، ترتیبی انعطاف‌پذیری دارد و امکان پردازش اطلاعات کافی و نامشخص را فراهم می‌کند. در صورت ناآگاهی دربارهٔ ویژگی‌های خاص تصمیم، این الگوریتم اطلاعات کافی و مطمئن را به دست می‌آورد (Pamucar et al., 2023). مزایای استفاده از رویکرد اولویت ترتیبی این است که وزن متخصصان، معیارها و گزینه‌های جایگزین در مسائل تصمیم‌گیری گروهی را بدون استفاده از روش‌های دیگر تصمیم‌گیری چند معیاره[۸]

محاسبه می‌کند، مستلزم مقایسهٔ سادهٔ بین کارشناسان، معیارها و گزینه‌های جایگزین به‌عنوان داده‌های ورودی است که فرآیند تصمیم‌گیری را عملی، ساده و چابک می‌کند و هنگامی که کارشناسان دانش کافی را برای ارائهٔ یک معیار ندارند، از داده‌های ورودی ناقص پشتیبانی می‌کند (Mahmoudi et al., 2022).

۳- روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر، پژوهشی کمی و ازلحاظ هدف در زمرهٔ پژوهش‌های کاربردی قرار می‌گیرد. ازنظر روش تحلیل داده‌ها نیز در دستهٔ مدل‌سازی ریاضی و ازلحاظ گردآوری اطلاعات، میدانی و کتابخانه‌ای است. جامعهٔ آماری برای شناسایی شاخص‌ها و دیگر داده‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی، ۳۰ نفر از خبرگان شرکت برق و کارشناسان دانشگاهی‌اند که دربارهٔ موضوع اطلاعات کافی دارند و به روش نمونه‌گیری غیر تصادفی هدفدار برای جمع‌آوری اطلاعات انتخاب شدند. پرسش‌نامهٔ شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های انتخاب تأمین‌کننده بین این افراد توزیع شد. بخش دیگر جامعهٔ این پژوهش برای اولویت‌بندی شاخص‌ها، ارزیابی تأمین‌کنندگان و دیگر داده‌های مورد نیاز کارشناسان شرکت با حداقل سابقهٔ ۱۸ سال‌اند که علت این امر هم تخصصی‌بودن محتوای پرسش‌نامه است. پرسش‌نامهٔ ارزیابی شاخص‌ها در اختیار آنان قرار داده شد و هدف رتبه‌بندی اهمیت شاخص‌ها با توجه به نظرات کارشناسان بود.

به‌منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات پس از مطالعهٔ پیشینهٔ پژوهش و شناسایی معیارهای انتخاب تأمین‌کننده، معیارهای استخراج‌شده در غالب پرسش‌نامه در اختیار مدیران و خبرگان شامل استادان و کارشناسان قرار گرفت و پس از جمع‌آوری برای پالایش معیارهای انتخاب تأمین‌کننده از آزمون‌های آماری و نرم‌افزار اس‌پی‌اس‌اس و همچنین روش دلفی فازی استفاده و درنهایت شاخص‌های نهایی تعیین شد. به‌منظور اعتبارسنجی مدل براساس اعتبار محتوایی مدل پیشنهادی براساس مبانی نظری تحلیل پوششی داده‌ها و اولویت ترتیبی طراحی و اصول اساسی این دو رویکرد در آن رعایت شده است. همچنین پارامترها و شاخص‌های انتخاب‌شده برای ارزیابی تأمین‌کنندگان، مبتنی بر پیشینهٔ معتبر و مشورت با متخصصان صنعت (تعداد و زمینهٔ تخصص) بوده است. نظرات خبرگان در اصلاح و تأیید نهایی شاخص‌ها نیز لحاظ شده است. براساس اعتبار همگرا، نتایج مدل ترکیبی DEA-OPA با خروجی‌های روش DEA مقایسه شده است. براساس اعتبار تشخیصی، مدل قدرت تفکیک و تمیز بیشتری بین تأمین‌کنندگان با سطوح عملکردی متفاوت نسبت‌به مدل DEA دارد. به‌عبارتی اختلاف معناداری بین گروه‌های کارا و ناکارا مشاهده شد. براساس ارزیابی با داده‌های واقعی و مطالعات موردی، مدل روی داده‌های واقعی اعمال شد. نتایج نشان داد که مدل ترکیبی DEA-OPA قادر است ناسازگاری‌های روش‌های تک‌بعدی را کاهش دهد (ترکیب DEA و OPA موجب بهبود دقت در شناسایی تأمین‌کنندگان کارا و ناکارآ شد). براساس مزیت ترکیب DEA و OPA، ترکیب DEA با OPA به مدل اجازه داد ناکارایی عملیاتی و الزامات استراتژیک را هم‌زمان پوشش دهد. این رویکرد از محدودیت‌های ذاتی هر روش (مانند نادیده‌گرفتن ترجیحات تصمیم‌گیرنده در DEA یا وابستگی به داده‌های ذهنی در OPA) می‌کاهد و براساس تأییدپذیری تمام مراحل پیاده‌سازی مدل (شامل کدهای نرم‌افزاری، فرمول‌های ریاضی و مجموعهٔ داده‌ها) در بخش مکمل مقاله یا پیوست ارائه می‌شود تا امکان بازتولید نتایج را محققان دیگر فراهم کنند. ابزار استفاده‌شده در این پژوهش نیز به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری‌شده،

تحلیل پوششی داده‌های فازی و رویکرد اولویت ترتیبی بود. در این پژوهش بـه داده‌هـای از دسـت رفتـه و نـاقص توجه و با استفاده از ترکیب دو روش تحلیل پوششی داده‌های فازی و رویکرد اولویت ترتیبی، این مشکل حل شد.

۴- مطالعهٔ کاربردی و یافته‌ها

تحلیل پوششی داده‌ها یک مدل ریاضی غیر پارامتری برای ارزیابی کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیـری اسـت کـه در آن هر واحد تصمیم‌گیری، یک جعبهٔ سیاه در نظر گرفته می‌شود؛ به این معنا که نحوهٔ تبدیل ورودی‌ها به خروجی‌ها به‌طور مستقیم بررسی نمی‌شود. تحلیل پوششی داده‌ها، یک چارچوب کلی بـرای ارزیـابی تـأمین‌کننـدگان در مـدیریت مواد و تأمین در غیاب وزن معیارها به کار می‌رود (Vörösmarty & Dobos, 2020). مدل‌های تحلیل پوششی داده‌هـای فازی نسبت‌به مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های معمولی، مسائل دنیای واقعی را به‌طور واقعی‌تر نشان می‌دهد. همچنـین اجازه می‌دهند تا داده‌های زبانی به‌طور مستقیم در مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شـوند (Lertworasirikul et al., 2003). در ادامه، مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرها به‌صورت جدول ۱ تعریف می‌شوند:

جدول ۱- تعریف مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرها

Table 1- Definition of sets, parameters, and variables

داده‌های ورودی واحد تصمیم‌گیری	$x_{ij}(i = 1. \dots . m)$
داده‌های خروجی واحد تصمیم‌گیری	$y_{rj}(\mathrm{r} = 1 \dots . \mathrm{s})$
مجموعه‌ای از واحدهای تصمیم‌گیری	$DMU_j\ (j = 1. \dots . n)$
تابع هدف	θ^{ccr}
وزن هر ورودی	v_i
وزن هر خروجی	u_r
مقدار ورودی i ام از واحد j ام	x_{ij}
مقدار خروجی r ام از واحد j ام	y_{rj}
مقدار واحد تصمیم‌گیری هدف در ورودی i ام	x_{i0}
مقدار واحد تصمیم‌گیری هدف در خروجی r ام	y_{r0}

مدل‌های برنامه‌نویسی کسری زیر به‌ترتیب برای گرفتن بهترین مقادیر ممکن $\theta_0^M . \theta_0^L$ و θ_0^U استفاده می‌شوند.

$$\text{Max } \theta_0^L = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r0}^L \qquad (۱)$$

St.

$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{i0}^U = 1$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^M - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^M \leq 0. j = 1. \dots . n$$

$$u_r . v_i \geq 0. i = 1. \dots . m;\ r = 1. \dots . s$$

$$\text{Max } \theta_0^M = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r0}^M \qquad (۲)$$

St.

$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{i0}^M = 1$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^M - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^M \leq 0. j = 1. \dots . n$$

$$u_r . v_i \geq 0. i = 1. \dots . m;\ r = 1. \dots . s$$

$$\text{Max } \theta_0^U = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r0}^U \quad (۳)$$

St.

$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{i0}^L = 1$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^M - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^M \leq 0. j = 1. \ldots . n$$

$$u_r. v_i \geq 0. i = 1. \ldots . m;\ r = 1. \ldots . s$$

با حل مدل های ۳-۱ برای هر واحد تصمیم‌گیری، بهترین بازده نسبی فازی n واحد تصمیم‌گیری به دست می‌آید که براساس آن واحدهای تصمیم‌گیری مقایسه و رتبه‌بندی می‌شود. در مدل ارائه‌شده، تابع هدف به‌دنبال بیشینه‌سازی مقادیر $\theta_0^M . \theta_0^L$ و θ_0^U است؛ به همین دلیل از مقدار فازی پایین در تابع هدف استفاده می‌شود. استفاده از مقدار فازی پایین در تابع هدف باعث می‌شود که مدل، حداقل مقدار ممکن را بیشینه کند که درواقع بدترین حالت ممکن را بررسی می‌کند و به تصمیمات پایدار و محتاطانه‌تر منجر می‌شود. مقدار فازی بالا یا میانگین در محدودیت‌ها به این دلیل است که مدل به‌سمت در نظر گرفتن شرایط سخت‌گیرانه‌تر هدایت شود که باعث جلوگیری از نتایج بیش از حد خوش‌بینانه می‌شود و تضمین می‌کند که حتی در بدترین شرایط، محدودیت‌ها همچنان برقرار باشند و تصمیم نهایی عملی و اجرایی باشد. مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرها در رویکرد اولویت ترتیبی به‌صورت جدول ۲ تعریف می‌شوند:

جدول۲- تعریف مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرها

Table 2- Definition of sets, parameters, and variables

مجموعه‌ای از کارشناسان	I
مجموعه‌ای از شاخص‌ها	J
اندیس کارشناسان	i=(1,...,p)
اندیس شاخص ترجیحات	j=(1,…,m+s)
تابع هدف	Z
وزن jامین شاخص براساس نظر کارشناس iام در رتبه r_j	$w_{ij}^{r_j}$
رتبهٔ کارشناس i	r_i
رتبهٔ شاخص j	r_j
تعداد ویژگی‌های ورودی	m
تعداد ویژگی‌های خروجی	s

مراحل روش رویکرد اولویت ترتیبی به‌صورت زیر ارائه می‌شود:

۱. کارشناسان را مشخص و آنها را براساس عواملی مانند سابقهٔ کاری یا مدرک تحصیلی و غیره مرتب کنید؛

۲. تعیین ویژگی‌های ورودی و خروجی و رتبه‌بندی آنها به‌وسیلهٔ هر متخصص؛

۳. حل مدل (۴) با استفاده از داده‌های مراحل قبل (Mahmoudi et al., 2021).

$$\text{Max } Z \quad (۴)$$

St.

$$Z \leq r_i \left(r_j \left(w_{ij}^{r_j} - w_{ij}^{r_j+1} \right) \right) \quad \forall \text{ i and j}$$

$$Z \leq r_i\, r_{m+s}\, w_{ij}^{r_{m+s}} \quad \forall \text{ i and j}$$

$$\sum_{i=1}^{p} \sum_{j=1}^{m+s} w_{ij} = 1$$

$$w_{ij} \geq 0 \quad \forall \text{ i and j}$$

آزاد در علامت Z

این مدل بر محاسبهٔ امتیازهای کارایی برای مجموعه‌ای از واحدهای تصمیم‌گیری متمرکز است. هدف اصلی تعیین مقادیر بهینه برای w_{ij} است که امتیاز کارایی Z را با توجه به محدودیت‌های داده‌شده به حداکثر می‌رساند. هدف حداکثرکردن مقدار Z است که نشان‌دهندهٔ امتیاز کارایی برای واحدهای تصمیم‌گیری است. هدف به حداکثر رساندن کارایی و در عین حال به حداقل رساندن ورودی‌ها یا حداکثرکردن خروجی‌هاست. محدودیت اول مجموعهٔ قیودی برای Z است که به امتیازهای کارایی مربوط می‌شوند و اطمینان می‌دهند که Z کمتر یا مساوی عبارت خاصی براساس وزن‌هاست. محدودیت دوم مجموعهٔ قیودی برای Z است که به امتیازهای کارایی و محاسبهٔ Z کمک می‌کند. محدودیت سوم تضمین می‌کند که مجموع w_{ij} ها برابر یک است. این محدودیت به نرمال‌کردن وزن‌ها کمک می‌کند. پس از حل مدل (۴)، وزن صفات با استفاده از معادلهٔ (۵) تعیین می‌شود.

$$w_j = \sum_{i=1}^{p} w_{ij} \qquad \forall j \tag{۵}$$

پس از حل مدل۳-۱ مقادیر $\theta_0^M.\theta_0^L$ و $\theta\ _0^U$ به دست می‌آید که به محاسبهٔ کارایی واحد تصمیم‌گیری هدف کمک می‌کند؛ با این حال این مدل‌ها برای ترکیب با مدل رویکرد اولویت ترتیبی به‌دلیل محدودیت $\sum_{i=1}^{m} v_i x_{i0}^U = 1$ ، $\sum_{i=1}^{m} v_i x_{i0}^M = 1$ و $\sum_{i=1}^{m} v_i x_{i0}^L = 1$ نامناسب‌اند؛ پس به شکل دیگری از مدل ۱-۳ نیاز داریم تا همان کارایی را به دست آوریم. در اینجا دو لم و یک قضیه بررسی می‌شود که برای پژوهش حاضر ضروری است.

لم ۱: فرض کنید که θ_j^* راه‌حل بهینهٔ مدل ۳-۱ است؛ بنابراین $(\hat{x}_j.\hat{y}_j) = (\theta_j^* x_j.y_j)$ طرح‌ریزی واحد تصمیم‌گیری jام در مرز کارآمد نامیده می‌شود.

لم ۲: اگر ضرایب در مدل ۳-۱ مثبت باشند و $\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^M - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^M = 0.$ باشد، واحد تصمیم‌گیری jام کاراست.

مدل ۶ برای CCR-DEA پیشنهاد می‌شود.

$$\text{Max } \sum_{r=1}^{s} u_r \hat{y}_{r0} - \sum_{i=1}^{m} v_i\, \hat{x}_{i0} \tag{۶}$$

St.

$$\sum_{r=1}^{s} u_r \hat{y}_{rj}^M - \sum_{i=1}^{m} v_i \hat{x}_{ij}^M \le 0. j = 1. \dots . n$$

$$\sum_{i=1}^{m} v_i^U + \sum_{r=1}^{s} u_r^U + \sum_{i=1}^{m} v_i^M + \sum_{r=1}^{s} u_r^M + \sum_{i=1}^{m} v_i^L + \sum_{r=1}^{s} u_r^L = 1$$

$$u_r, v_i \ge 0. i = 1. \dots . m;\ r = 1. \dots . s$$

قضیهٔ ۱: جایی که $v_i^*.u_r^*$ جواب بهینه مدل ۲ است، داریم: $\sum_{r=1}^{s} u_r^* y_{rj}^M / \sum_{i=1}^{m} v_i^* x_{ij}^M = \theta_j^*$

اثبات: مجموعهٔ امکان تولید $(\hat{x}_j.\hat{y}_j$ مشابه مجموعهٔ امکان تولید اصلی است. علاوه بر این، با توجه به اینکه $(\theta_j^* x_j.y_j)$ تصویر مبتنی بر ورودی DMU بر روی مرز کاراست، این حالت یک نقطهٔ کارا در نظر گرفته می‌شود (با توجه به لم‌های ۱ و ۲)؛ پس نتیجه می‌شود:

$$\sum_{r=1}^{s} u_r^* y_{rj}^M / \sum_{i=1}^{m} v_i^* x_{ij}^M = \theta_j^*$$

براساس اطلاعات ذکرشده پس از تعویض $(\hat{x}_j.\hat{y}_j) = (\theta_j^* x_j.y_j)$ در مدل۶)، مدل۷ به دست می‌آید.

$$\text{Max } \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r0} - \theta_0^{CCR} \sum_{i=1}^{m} v_i\, x_{i0} \tag{۷}$$

St.

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^M - \theta_j^{CCR} \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^M \le 0. j = 1. \dots . n$$

$$\sum_{i=1}^{m} v_i^U + \sum_{r=1}^{s} u_r^U + \sum_{i=1}^{m} v_i^M + \sum_{r=1}^{s} u_r^M + \sum_{i=1}^{m} v_i^L + \sum_{r=1}^{s} u_r^L = 1$$

$$u_r.v_i \ge 0. i = 1. \dots . m;\ r = 1. \dots . s$$

هدف مطالعهٔ حاضر استفاده از مدل ۷، برای ترکیب آن با مدل رویکرد اولویت ترتیبی است که دارای ویژگی‌های زیر است: مدل ۷، یک مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی مبتنی بر مدل سی‌سی‌آر است. هدف مدل بیشینه‌سازی مقدار خروجی‌های وزنی نسبت‌به ورودی‌های وزنی است. محدودیت اول بیان می‌کند که کارایی محاسبه‌شده برای تمام واحدهای تصمیم‌گیری نباید بیشتر از یک باشد. محدودیت دوم نیز وزن‌های نرمال‌شده را به دست می‌آورد که مجموع وزن‌ها برابر ۱ است و تضمین می‌کند که وزن‌ها نرمال‌سازی شوند تا از مقیاس‌بندی نادرست جلوگیری شود.

در ادامه، ترکیب مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی و رویکرد اولویت ترتیبی با کمک مدل ۷ انجام شده است. به‌منظور در نظر گرفتن نظر خبرگان در حین اندازه‌گیری کارایی واحدهای تصمیم‌گیری در روش تحلیل پوششی داده‌ها، انجام برخی بهبودها در مدل اصلی تحلیل پوششی داده‌ها ضروری است. رویکرد اولویت ترتیبی، یک روش جدید و قوی در زمینهٔ تصمیم‌گیری چند ویژگی است که انواع مختلفی از مسائل تصمیم‌گیری چند ویژگی را با استفاده از مراحل ساده حل می‌کند؛ بنابراین، مطالعهٔ حاضر برای بهبود عملکرد مدل اصلی تحلیل پوششی داده‌ها با استفاده از رویکرد اولویت ترتیبی تلاش می‌کند. با در نظر گرفتن مدل‌های ۴ و۷، مدل چند هدفهٔ ۸ برای ایجاد تعادل بین مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های فازی و رویکرد اولویت ترتیبی پیشنهاد می‌شود.

$$\text{Max } f_j = \sum_{r=1}^{s}\sum_{i=1}^{p} w_{ij}y_{r0} - \theta_0^{CCR}\sum_{i=1}^{m}\sum_{i=1}^{p} w_{ij}\,x_{i0}.\, j = 1.\ldots.n \qquad (۸)$$

$$\text{Max } f_{n+1} = Z$$

St.

$$\sum_{r=1}^{s}\sum_{i=1}^{p} w_{ij}y_{rj} - \theta_j^{CCR}\sum_{i=1}^{m}\sum_{i=1}^{p} w_{ij}x_{ij} \le 0\,.\, j = 1.\ldots.n$$

$$\sum_{j=1}^{m+s}\sum_{i=1}^{p} w_{ij} = 1$$

$$Z \le \mathrm{r_i}\,(\,\mathrm{r_j}\,(\,w_{ij}^{r_j} - w_{ij}^{r_j+1}\,)) \quad \forall\, i \text{ and } j$$

$$Z \le r_i r_{m+s}\, w_{ij}^{r_{m+s}} \quad \forall\, i \text{ and } j$$

$$w_{ij} \ge 0 \quad \forall\, i \text{ and } j$$

Z آزاد در علامت

این مدل نشان‌دهندهٔ یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای تحلیل پوششی داده‌ها با تأکید بر مدل سی‌سی‌آر است. با توجه به اینکه مدل ۸ یک برنامه‌ریزی خطی چندهدفه است، انتخاب یک رویکرد مناسب برای حل آن ضروری است. در این مطالعه از روش Min-Max وزنی استفاده شده است؛ زیرا وزن مخصوص هر تابع هدف را در نظر می‌گیرد. این روش نسبت‌به روش Min-Max برای تصمیم‌گیرندگان انعطاف‌پذیرتر است؛ زیرا گزینه‌ای برای تعیین این مسئله وجود دارد که کدام مدل باید نقش مهم‌تری را در نتایج بازی کند. با توجه به اینکه مقیاس اهداف تحلیل پوششی داده‌های فازی با هدف رویکرد اولویت ترتیبی متفاوت است، توابع هدف باید به توابع هدف غیر بعدی تبدیل شوند. معادلهٔ ۹ برای تبدیل توابع هدف به کار برده می‌شود.

$$\mathrm{f_j^{Trans}} = \frac{\mathrm{f_j^*} - \mathrm{f_j(x)}}{\mathrm{f_j^*} - \mathrm{f_j^{min}}}.\mathrm{j} = 1\ldots.\mathrm{n}+1 \qquad (۹)$$

فرض کنید که S_{DEA} و S_{OPA} به ترتیب وزن توابع هدف تحلیل پوششی داده‌های فازی و رویکرد اولویت‌ترتیبی‌اند؛ در حالی که $S_{DEA} + S_{OPA} = 1$ است؛ بنابراین مدل ۸ به مدل Min-Max شمارهٔ ۱۰ تبدیل می‌شود.

$$\text{MinMax}\left\{\left(\frac{S_{DEA}}{n}\right)\left[\frac{f_j^* - (\sum_{r=1}^{s}\sum_{i=1}^{p} w_{ij}y_{r0} - \theta_0^{CCR} y_{r0} \sum_{i=1}^{m}\sum_{i=1}^{p} w_{ij}x_{i0})}{f_j^* - f_j^{min}}\right].S_{OPA}\left[\frac{f_{n+1}^* - Z}{f_{n+1}^* - f_{n+1}^{min}}\right]\right\} \quad (۱۰)$$

$j = 1. \ldots . n$

St.

$$\sum_{r=1}^{s}\sum_{i=1}^{p} w_{ij}y_{rj} - \theta_j^{CCR}\sum_{i=1}^{m}\sum_{i=1}^{p} w_{ij}x_{ij} \le 0 . j = 1. \ldots . n$$

$$\sum_{j=1}^{m+s}\sum_{i=1}^{p} w_{ij} = 1$$

$$Z \le r_i\left(r_j\left(w_{ij}^{r_j} - w_{ij}^{r_j+1}\right)\right) \quad \forall\, i \text{ and } j$$

$$Z \le r_i r_{m+s} w_{ij}^{r_{m+s}} \quad \forall\, i \text{ and } j$$

$$w_{ij} \ge 0 \quad \forall\, i \text{ and } j$$

آزاد در علامت Z

پس از استفاده از روش Min-Max وزنی برای حل مدل چند هدفهٔ ۱۰، می‌توان آن را به‌عنوان مدل ۱۱ نوشت که به آن مدل ترکیبی تحلیل پوششی داده‌های فازی و رویکرد اولویت ترتیبی می‌گویند. این مدل یک هدف واحد است؛ بنابراین، با استفاده از الگوریتم‌های معمولی در زمینهٔ برنامه‌ریزی خطی حل می‌شود.

$$\text{Min } \lambda \quad (۱۱)$$

St.

$$\left(\frac{S_{DEA}}{n}\right)\left[\frac{f_j^* - \left(\sum_{r=1}^{s}\sum_{i=1}^{p} w_{ij}y_{r0} - \theta_0^{CCR}\sum_{i=1}^{m}\sum_{i=1}^{p} w_{ij}x_{i0}\right)}{f_j^* - f_j^{min}}\right] - \lambda \le 0 . j = 1. \ldots . n$$

$$S_{OPA}\left[\frac{f_{n+1}^* - Z}{f_{n+1}^* - f_{n+1}^{min}}\right] - \lambda \le 0$$

$$\sum_{r=1}^{s}\sum_{i=1}^{p} w_{ij}y_{rj} - \theta_j^{CCR}\sum_{i=1}^{m}\sum_{i=1}^{p} w_{ij}x_{ij} \le 0 . j = 1. \ldots . n$$

$$\sum_{j=1}^{m+s}\sum_{i=1}^{p} w_{ij} = 1$$

$$Z \le r_i\left(r_j\left(w_{ij}^{r_j} - w_{ij}^{r_j+1}\right)\right) \quad \forall\, i \text{ and } j$$

$$Z \le r_i r_{m+s} w_{ij}^{r_{m+s}} \quad \forall\, i \text{ and } j$$

$$w_{ij} \ge 0 \quad \forall\, i \text{ and } j$$

آزاد در علامت Z

باید توجه داشت که وزن اهداف تحلیل پوششی داده‌ها و رویکرد اولویت ترتیبی به‌طور مساوی در نظر گرفته شده است:

$$(S_{DEA} + S_{OPA} = ۱)$$

پس از حل مدل پیشنهادی ترکیبی تحلیل پوششی داده‌های فازی و رویکرد اولویت‌ترتیبی و یافتن مقدار بهینهٔ u_r^* و v_i^*، معادلهٔ ۱۲ مدل پیشنهادی رویکرد اولویت ترتیبی و تحلیل پوششی داده‌های فازی، برای تعیین کارایی واحد تصمیم‌گیری jام استفاده می‌شود.

$$\theta_j^{DEA-OPA} = \frac{\sum_{r=1}^{s}\sum_{i=1}^{p} w_{ij}^{DEA-OPA} y_{rj}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{i=1}^{p} w_{ij}^{DEA-OPA} x_{ij}} \quad (۱۲)$$

براساس اطلاعات ذکرشده در بالا، مدل ترکیبی تحلیل پوششی داده‌های فازی و اولویت ترتیبی، روشی جامع است و وزن ورودی‌ها و خروجی‌ها را با استفاده از نظرات کارشناسان و همچنین داده‌های کمی دربارهٔ تأمین‌کنندگان محاسبه می‌کند. جالب است بدانید که این مدل ترکیبی، مقادیر از دست رفته را نیز پشتیبانی می‌کند. زمانی که متخصص دربارهٔ یک خروجی یا ورودی دانش کافی نداشته باشد، نیازی به اظهار نظر دربارهٔ آن نیست. در این حالت، محدودیت مربوط به این ورودی یا خروجی باید از محدودیت‌های رویکرد اولویت ترتیبی حذف شود.

با مطالعهٔ پیشینهٔ پژوهش و مطالعات کتابخانه‌ای، معیارهای اساسی مؤثر در انتخاب و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان استخراج شد؛ سپس براساس آزمون دوجمله‌ای در نرم‌افزار اس‌پی‌اس‌اس، شاخص‌های دارای اهمیت شناسایی شدند. برای رعایت نسبت بین ورودی‌ها و خروجی‌ها و واحدهای تصمیم‌گیری و با توجه به محدودیت تعداد تأمین‌کنندگان شرکت بررسی‌شده، باید شاخص‌ها محدود و از شاخص‌های کمتری استفاده شود که به این منظور از روش دلفی فازی استفاده شد. طبق نتایج آزمون دلفی فازی برای شاخص‌های بررسی‌شده در سناریو ۰/۵ تعداد ۲۶ شاخص، در سناریو ۰/۶ تعداد ۱۵ شاخص و در سناریو ۰/۷ تعداد ۳ شاخص تأیید شد. با توجه به اینکه نیاز به تعداد شاخص مناسب و برقراری تناسب بین شاخص‌ها و تعداد واحدهای تصمیم‌گیری وجود دارد، از بین سه سناریوی انجام‌شده در روش دلفی فازی، سناریو۰/۶ در بر گیرندهٔ تعداد شاخص‌های مناسب‌تری است که معیارهای نهایی مدنظر برای رتبه‌بندی و انتخاب تأمین‌کننده در نظر گرفته شد. این معیارها در جدول ۳ آمده است.

جدول۳- معیارهای اساسی مؤثر در انتخاب و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان

Table 3- Key criteria influencing the selection and ranking of suppliers

ردیف	شاخص	ورودی	خروجی	کمی	کیفی
۱	کیفیت محصول تولیدشده توسط تأمین‌کنندگان		*	*	
۲	عملکرد محصول		*		*
۳	حفظ عملکرد		*		*
۴	تطابق با استانداردها	*			*
۵	هزینهٔ کل	*		*	
۶	هزینهٔ تولید و محصول	*		*	
۷	کیفیت خدمات پس از فروش		*		*
۸	پایبندی به تعهدات		*		*
۹	گارانتی و ضمانت		*		*
۱۰	شهرت و موقعیت در صنعت		*		*
۱۱	اتوماسیون	*			*
۱۲	قابلیت فنی	*			*
۱۳	قابلیت تکنولوژیکی تأمین‌کننده	*			*
۱۴	توانایی تحقیق و توسعه	*			*
۱۵	زمان راه‌اندازی	*		*	
		۸	۷	۴	۱۱

اطلاعات مورد نیاز در این تحقیق به دو گروه اطلاعات کمی و کیفی تقسیم و برای جمع‌آوری اطلاعات مربوط به متغیرهای کمی از بانک اطلاعاتی شرکت برق استفاده شد. برای جمع‌آوری اطلاعات مربوط به متغیرهای کیفی نیز، پرسش‌نامه‌ای طراحی و از کارشناسان درخواست شد تا در قالب یک طیف ۵ تایی از خیلی زیاد تا خیلی کم، عملکرد تأمین‌کنندگان را تعیین و به سؤالات پاسخ دهند؛ سپس برای تطبیق عبارات کلامی با اعداد فازی به هریک از این گزینه‌های کیفی یک عدد فازی تخصیص داده شد. در ادامه برای مدل‌سازی ۴۵ شرکت تولیدی برحسب ۸ ورودی و ۷ خروجی ارزیابی شدند. شرکت‌های تولیدی همگی یک نوع محصول (سکسیونر هوایی) را با

کیفیت‌های مختلف تولید می‌کنند. در این مرحله با استفاده از داده‌های ورودی و خروجی برای هر تأمین‌کننده مدل ۳-۱، برای هر تأمین‌کننده به‌طور جداگانه حل می‌شود تا مقدار θ_0^L،θ_0^M،θ_0^U به دست آید؛ سپس مقادیر به دست آمدهٔ فازی به اعداد قطعی تبدیل شدند. طبق نتایج به دست آمده در مقادیر بازده نسبی فازی برای هر تأمین‌کننده، تعداد ۳۰ تأمین‌کننده، واحد کارا معرفی شدند. با توجه به اینکه کارشناسان دارای سابقهٔ کاری نسبتاً یکسانی بودند، فقط براساس تحصیلات اولویت‌بندی شدند. شایان ذکر است که اولویت کارشناسان به‌صورت کارشناس۱ > کارشناس۳ > کارشناس۲ > کارشناس۵ > کارشناس۴ در نظر گرفته شده است. داده‌های به دست آمده ازطریق نظرسنجی از کارشناسان خبره در صنعت برق در مقیاس ۱ تا ۱۵ دسته‌بندی شده است (مهم‌ترین شاخص دارای رتبهٔ ۱ و کم‌اهمیت‌ترین شاخص دارای رتبهٔ ۱۵). با استفاده از داده‌های ورودی و خروجی برای هر تأمین‌کننده و مقادیر بازده نسبی فازی و رتبه‌بندی اهمیت ورودی‌ها و خروجی‌ها با توجه به نظرات کارشناسان، مدل ۸ به‌طور جداگانه از سوی هر تابع هدف ساخته و با نرم‌افزار گمز حل شد. باید توجه داشت که وزن اهداف تحلیل پوششی داده‌ها و رویکرد اولویت ترتیبی به‌طور مساوی در نظر گرفته شده است ($S_{DEA} + S_{OPA}$ =۱). با استفاده از داده‌های ورودی و خروجی برای هر تأمین‌کننده و مقادیر بازده نسبی فازی و رتبه‌بندی اهمیت ورودی‌ها و خروجی‌ها با توجه به نظرات کارشناسان و مقادیر به دست آمده از جدول قبل، مدل ۱۱ برای به دست آوردن وزن هرکدام از ورودی‌ها و خروجی‌ها ساخته و حل شده است. وزن ورودی‌ها و خروجی‌ها با استفاده از نرم‌افزار گمز در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴- وزن هریک از شاخص‌های ورودی و خروجی

Table 4- Weight of each input and output indicator

	شاخص	وزن	رتبه		شاخص	وزن	رتبه
ورودی‌ها	هزینهٔ تولید و محصول	۰/۰۶۲	8	خروجی‌ها	عملکرد محصول	۰/۰۶۲	۸
	هزینهٔ کل	۰/۰۷۳	4		حفظ عملکرد	۰/۰۷۰	۵
	زمان راه‌اندازی	۰/۰۷۰	5		کیفیت خدمات پس از فروش	۰/۰۷۰	۵
	تطابق با استانداردها	۰/۰۸۲	1		گارانتی و ضمانت	۰/۰۶۴	۷
	اتوماسیون	۰/۰۶۵	6		شهرت و موقعیت در صنعت	۰/۰۶۵	۶
	قابلیت فنی	۰/۰۶۰	9		کیفیت محصول تولیدشده توسط تأمین‌کنندگان	۰/۰۳۵	۱۰
	قابلیت تکنولوژیکی تأمین‌کننده	۰/۰۷۶	3		پایبندی به تعهدات	۰/۰۶۵	۶
	توانایی تحقیق و توسعه	۰/۰۸۰	2				

همان‌طور که در جدول ۴ می‌بینید، شاخص تطابق با استانداردها مهم‌ترین و شاخص کیفیت محصول تولیدشده توسط تأمین‌کنندگان کمترین وزن را دارد؛ سپس کارایی تأمین‌کنندگان با استفاده از وزن‌های به دست آمده در جدول ۶ محاسبه می‌شود. برای این منظور از معادلهٔ ۱۲ استفاده شده است و نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است. همچنین رتبه‌های تأمین‌کنندگان براساس مقادیر کارایی به دست آمده است.

جدول ۵- کارایی هریک از تأمین‌کنندگان

Table 5- Efficiency of each supplier

تأمین‌کنندگان	کارایی	رتبه	تأمین‌کنندگان	کارایی	رتبه	تأمین‌کنندگان	کارایی	رتبه
تأمین‌کننده۱۶	۰/۱۶۰	۱	تأمین‌کننده۶	۰/۰۹۵	۱۳	تأمین‌کننده۲۸	۰/۰۸۶	۲۰
تأمین‌کننده۲۴	۰/۱۳۴	۲	تأمین‌کننده۷	۰/۰۹۳	۱۴	تأمین‌کننده۲۷	۰/۰۸۵	۲۱
تأمین‌کننده۲۲	۰/۱۲۵	۳	تأمین‌کننده۴۲	۰/۰۹۳	۱۴	تأمین‌کننده۲۹	۰/۰۸۵	۲۱
تأمین‌کننده۵	۰/۱۲۳	۴	تأمین‌کننده۳۴	۰/۰۹۱	۱۵	تأمین‌کننده۳۲	۰/۰۸۵	۲۱
تأمین‌کننده۳۷	۰/۱۲۳	۴	تأمین‌کننده۳۰	۰/۰۹۰	۱۶	تأمین‌کننده۳۳	۰/۰۸۵	۲۱
تأمین‌کننده۲۱	۰/۱۲۰	۵	تأمین‌کننده۱۱	۰/۰۸۹	۱۷	تأمین‌کننده۴۴	۰/۰۸۵	۲۱
تأمین‌کننده۲۵	۰/۱۱۹	۶	تأمین‌کننده۱	۰/۰۸۹	۱۷	تأمین‌کننده۴	۰/۰۸۳	۲۲
تأمین‌کننده۱۸	۰/۱۱۹	۶	تأمین‌کننده۳۸	۰/۰۸۹	۱۷	تأمین‌کننده۱۵	۰/۰۷۱	۲۳
تأمین‌کننده۱۹	۰/۱۱۰	۷	تأمین‌کننده۳۵	۰/۰۸۸	۱۸	تأمین‌کننده۴۵	۰/۰۷۱	۲۳
تأمین‌کننده۳۶	۰/۱۰۷	۸	تأمین‌کننده۳۱	۰/۰۸۸	۱۸	تأمین‌کننده۱۲	۰/۰۷۰	۲۴
تأمین‌کننده۲۳	۰/۱۰۶	۹	تأمین‌کننده۴۳	۰/۰۸۸	۱۸	تأمین‌کننده۸	۰/۰۷۰	۲۴
تأمین‌کننده۲۰	۰/۱۰۶	۹	تأمین‌کننده۴۱	۰/۰۸۷	۱۹	تأمین‌کننده۱۰	۰/۰۷۰	۲۴
تأمین‌کننده۳	۰/۱۰۴	۱۰	تأمین‌کننده۱۷	۰/۰۸۷	۱۹	تأمین‌کننده۱۴	۰/۰۶۹	۲۵
تأمین‌کننده۴۰	۰/۱۰۰	۱۱	تأمین‌کننده۲۶	۰/۰۸۷	۱۹	تأمین‌کننده۹	۰/۰۶۸	۲۶
تأمین‌کننده۳۹	۰/۰۹۸	۱۲	تأمین‌کننده۲	۰/۰۸۷	۱۹	تأمین‌کننده۱۳	۰/۰۶۸	۲۶

۵- بحث

این پژوهش با شناسایی شاخص‌های مهم و تأثیرگذار در ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان براساس مرور پیشینه آغاز و پس از استخراج معیارهای مرتبط با انتخاب تأمین‌کننده از نظرات استادان دانشگاهی و خبرگان برای پالایش و تعیین معیارهای نهایی استفاده شد. بر این اساس، ۷۷ شاخص اولیهٔ استخراج‌شده از پیشینهٔ پژوهش ازطریق پرسش‌نامه پالایش و با استفاده از آزمون دوجمله‌ای، ۴۵ شاخص تأیید شدند. همچنین برای رعایت تناسب بین ورودی‌ها و خروجی‌ها و واحدهای تصمیم‌گیری و همین‌طور محدودیت تعداد تأمین‌کنندگان بررسی‌شده از روش دلفی فازی استفاده شد که درنهایت ۱۵ شاخص نهایی این پژوهش شناسایی شد. در ادامه، ۴۵ شرکت تولیدی برحسب ۸ ورودی و ۷ خروجی پس از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز و حل مدل، ارزیابی و مقدار کارایی برای هر تأمین‌کننده به دست آمد. در بخش دوم شاخص‌های اساسی به دست آمده از مرحلهٔ قبل در قالب پرسش‌نامه در اختیار کارشناسان خبرهٔ شرکت قرار گرفت و پس از جمع‌آوری نظرات کارشناسان، با استفاده از داده‌های ورودی و خروجی برای هر تأمین‌کننده و مقادیر بازده نسبی فازی و رتبه‌بندی اهمیت ورودی‌ها و خروجی‌ها با توجه به نظرات کارشناسان، برای هر تابع هدف مدل‌سازی و حل انجام شد. در بخش سوم، پس از یافتن وزن هر تابع هدف و با استفاده از مدل ترکیبی رویکرد اولویت ترتیبی و تحلیل پوششی داده‌ها، به کمک نرم‌افزار گمز، وزن هریک از ورودی‌ها و خروجی‌ها محاسبه و رتبه‌بندی انجام شد. در بخش چهارم، کارایی تأمین‌کنندگان محاسبه و به رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان در شرکت مطالعه‌شده اقدام و درنهایت تأمین‌کنندهٔ برتر انتخاب شد.

بررسی پژوهش‌های انجام‌شده در حوزهٔ موضوع تحقیق نشان‌دهندهٔ فراوانی استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها به‌عنوان پرکاربردترین تکنیک استفاده‌شده در زمینهٔ رتبه‌بندی معیارهای انتخاب تأمین‌کننده است. با این حال، آن را

برای در نظر گرفتن قضاوت‌های انسانی در طول فرایند تصمیم‌گیری گسترش می‌دهیم و به راه‌حل‌های واقعی‌تر می‌رسیم. انسان هم‌زمان عوامل زیادی مانند شرایط محیطی، آثار غیرمستقیم، محدودیت‌های نامشهود و حتی قضاوت‌های ذهنی را در تصمیم‌گیری‌های خود لحاظ می‌کند؛ در حالی که تحلیل پوششی‌داده‌ها یک مدل ریاضی است و فقط ورودی‌ها و خروجی‌های کمی و اندازه‌گیری‌شدنی را پردازش می‌کند؛ بنابراین مطالعهٔ حاضر مدل ترکیبی تحلیل پوششی داده‌های فازی و رویکرد اولویت ترتیبی را برای غلبه بر این کاستی پیشنهاد داده است. مدل ترکیبی تحلیل پوششی داده‌های فازی و رویکرد اولویت ترتیبی، نظرات کارشناسان و داده‌های کمی را برای محاسبهٔ کارایی تأمین‌کنندگان در نظر می‌گیرد و زمانی که کارشناسان فاقد دانش کافی باشند، داده‌های ناقص را در صورت کمبود اطلاعات مدیریت می‌کند. همچنین اولویت کارشناسان را در محاسبهٔ کارایی تأمین‌کنندگان در نظر می‌گیرد و به نتایج جدیدی منجر می‌شود. با توجه به اینکه از رویکرد Min-Max وزنی برای حل مدل چند هدفه استفاده شده است، تصمیم‌گیرنده وزن‌های تحلیل پوششی داده‌ها و توابع هدف رویکرد اولویت ترتیبی را نیز مشخص می‌کند. رویکرد پیشنهادی نه‌تنها برای مشکلات ارزیابی پایدار تأمین‌کننده استفاده می‌شود، برای انواع دیگر مشکلات ارزیابی تأمین‌کنندگان با تغییر ورودی‌ها و خروجی‌ها نیز به کار می‌رود.

براساس نتایج تحقیق، پیشنهادهای کاربردی زیر ارائه می‌شود: مدل پیشنهادی برای ارزیابی و انتخاب دیگر تأمین‌کنندگان و قطعات شرکت استفاده می‌شود. بدیهی است که در این راستا، بسته به قطعهٔ مدنظر، بازنگری در معیارها و اهمیت نسبی آنها اجتناب‌ناپذیر است. در رتبه‌بندی معیارهای انتخاب تأمین‌کنندهٔ این پژوهش، سه معیار تطابق با استانداردها، توانایی تحقیق و توسعه و قابلیت تکنولوژیکی تأمین‌کننده در صدر معیارهای انتخاب تأمین‌کننده قرار گرفتند؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود برای انتخاب تأمین‌کننده به این شاخص‌ها توجه بیشتری داشته باشند. گفتنی است که مدل پیشنهادی نظر کارشناسان را در انتخاب تأمین‌کنندگان دخیل می‌کند؛ درنتیجه شرکت‌ها در تصمیم‌گیری‌های خود از کارشناسان کمک می‌گیرند و نظرات آنها را تجمیع می‌کنند. درنهایت با استفاده از این مدل، ضمن مدیریت داده‌های ورودی ناقص، داده‌های دنیای واقعی با قضاوت‌های انسانی ترکیب و درنتیجه دقت و جامعیت در تصمیم‌گیری افزایش می‌یابد.

۶- نتیجه‌گیری

مقایسهٔ نتایج این پژوهش با دیگر پژوهش‌های انجام‌شده در حوزهٔ مطالعه‌شده نشان داد که در مقایسه با پژوهش رجبی[۹] (۲۰۱۸)، شاخص‌های پایبندی به تعهدات، خدمات پس از فروش، گارانتی، حفظ عملکرد، تطابق با استانداردها و قابلیت فنی وتکنولوژیکی در هر دو تحقیق به کار گرفته شده‌اند. در پژوهش محمودی و دیگران (۲۰۲۱)، نحوهٔ به‌کارگیری رویکرد اولویت ترتیبی متفاوت از پژوهش حاضر است. در پژوهش فوق، رویکرد تحلیل مؤلفهٔ اصلی برای خوشه‌بندی معیارها انتخاب شده است؛ سپس الگوریتم کامیانگین[۱۰] برای خوشه‌بندی گزینه‌ها به کار رفته است که با استفاده از روش اِلبو تعداد بهینهٔ خوشه‌ها را تخمین می‌زند و از تاپسیس فازی و رویکرد اولویت ترتیبی برای رتبه‌بندی خوشه‌ها استفاده شده است. درنهایت، بهترین جایگزین در خوشهٔ بالا با کمک رویکرد اولویت ترتیبی شناسایی شده است. در این مطالعه، رویکرد اولویت ترتیبی و تحلیل پوششی داده‌ها دنبال و معیار هزینهٔ تولید و محصول در مدل به کار گرفته شده است. در مطالعهٔ عطایی و همکاران (۲۰۲۰)، کارشناسان

داده‌ای دربارهٔ درجهٔ ترجیح ارائه نمی‌کنند و تنها به رتبه‌بندی گزینه‌ها، ویژگی‌ها و خبرگان به‌عنوان دادهٔ ورودی نیاز است؛ اما در این پژوهش به‌دلیل استفاده از رویکرد اولویت ترتیبی، به کارشناسانی که دانش کافی ندارند، اجازه داد تا کادر پاسخ را خالی بگذارند. توسلی و همکاران (۲۰۲۰)، عملکرد تأمین‌کنندگان را با یک مدل جدید تحلیل پوششی داده‌های تصادفی فازی ارزیابی کردند که معیارهای هزینهٔ کل و کیفیت محصول تولیدشده توسط تأمین‌کنندگان با پژوهش حاضر مشترک بودند. دیگر پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه، هم‌زمان از هر دو رویکرد به کار گرفته شده در این پژوهش استفاده نکرده‌اند. نکتهٔ دیگری که از مشاهدهٔ پژوهش‌های انجام‌شده در این حوزه برداشت می‌شود، فراوانی استفاده از تحلیل پوششی داده‌هاست که پرکاربردترین تکنیک استفاده‌شده در زمینهٔ رتبه‌بندی معیارها، انتخاب تأمین‌کننده به نظر می‌رسد.

بررسی سوابق موضوع نشان داد تاکنون از مدل‌های متفاوتی برای حل مسئله انتخاب و ارزیابی تأمین‌کنندگان استفاده شده است؛ اما با توجه به جست‌وجوهای انجام‌شده دربارهٔ پیشینهٔ تحقیقات، کماکان در پژوهش‌های انجام‌شده توجهی به نظرات کارشناسی و داده‌های از دست رفته و ابزاری برای حل آن ارائه نشده است؛ به همین دلیل در این پژوهش، به داده‌های از دست رفته و ناقص توجه و با استفاده از ترکیب دو روش تحلیل پوششی داده‌های فازی و رویکرد اولویت ترتیبی، این مشکل حل شد. در این پژوهش ابتدا از روش تحلیل پوششی داده‌ها برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان و انتخاب تأمین‌کنندهٔ برتر استفاده شد. طبق نتایج به دست آمده در مقادیر بازده نسبی فازی برای هر تأمین‌کننده، ۳۰ تأمین‌کننده به‌عنوان واحدهای کارا شناسایی شدند. در این مرحله نظر کارشناسان در انتخاب دخالت داده نشد. چنانکه نتایج نشان می‌دهد، قدرت تمیز این مدل بسیار پایین و تعداد واحدهای کارا زیاد است. برای حل این مشکل، از رویکرد اولویت ترتیبی استفاده شد که برای به دست آوردن وزن ویژگی‌ها و کارشناسان به داده‌های ورودی ساده نیاز داشت. مدل ترکیبی پیشنهادشده، وزن هریک از ورودی‌ها و خروجی‌ها را محاسبه و از مقادیر از دست رفته پشتیبانی کرد و پس از آن کارایی تأمین‌کنندگان محاسبه و اقدام به رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان شد. نتایج نشان داد توانایی ارزیابی و ایجاد تمایز بین واحدهای تصمیم‌گیری در مدل نهایی ترکیبی، بسیار بیشتر از مدل اولیه است.

این مطالعه با محدودیت‌های زیر مواجه بود: برای رعایت نسبت بین ورودی‌ها و خروجی‌ها و واحدهای تصمیم‌گیری و با توجه به محدودیت تعداد تأمین‌کنندگان، شاخص‌ها محدود و از شاخص‌های کمتری استفاده شد که در مطالعات بعدی محققان تعداد واحدهای تصمیم‌گیری بیشتری را در نظر می‌گیرند و از تمامی شاخص‌ها استفاده می‌کنند. تحقیق حاضر برای یک محصول و در شرکت برق منطقه‌ای استان سمنان انجام شد و باید در تعمیم آن به دیگر محصولات و شرکت‌ها احتیاط شود. با توجه به تجربیات به دست آمده در انجام این تحقیق، موارد زیر برای تحقیقات آتی پیشنهاد شده است: وزن رویکرد اولویت ترتیبی و تحلیل پوششی داده‌ها مساوی در نظر گرفته شد، با توجه به اینکه رویکرد ترکیبی از سطح بالایی از انعطاف‌پذیری برخوردار است، مشخص می‌شود که کدام‌یک بر نتایج تأثیر بیشتری داشته باشند. در این مقاله به‌دلیل سابقهٔ کاری یکسان کارشناسان خبره، نظرات آنها براساس تحصیلات اولویت‌بندی شد. در صورت یکسان‌نبودن میزان تجربهٔ کاری، مدل براساس دو سناریوی تجربهٔ کاری و مدرک تحصیلی اجرا می‌شود.

References

Ataei, Y., Mahmoudi, A., Feylizadeh, M. R., & Li, D. F. (2020). Ordinal priority approach (OPA) in multiple attribute decision-making. *Applied Soft Computing, 86*, 105893. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105893

Azimian, M., Javadi, H., Farshchiha, A., & Nosohi, I. (2017). Selection the Optimum Suppliers Compound Using a Mixed Model of MADM and Fault Tree Analysis. *Research in Production and Operations Management, 8*(1), 45-64. https://doi.org/10.22108/jpom.2017.21545

Pamucar, D., Deveci, M., Gokasar, I., Delen, D., Köppen, M., & Pedrycz, W. (2023). Evaluation of metaverse integration alternatives of sharing economy in transportation using fuzzy Schweizer-Sklar based ordinal priority approach. *Decision support systems, 171*, 113944. https://doi.org/10.1016/j.dss.2023.113944

Jadidi, O., Firouzi, F., & Loucks, J. S. (2024). A Procedure for Choosing among Different Solutions to the Multi-Criteria Supplier Selection Problem along with Two Solution Methods. *Systems, 12*(6), 191. https://doi.org/10.3390/systems12060191

Lertworasirikul, S., Fang, S. C., Joines, J. A., & Nuttle, H. L. (2003). Fuzzy data envelopment analysis (DEA): a possibility approach. *Fuzzy sets and Systems, 139*(2), 379-394. https://doi.org/10.1016/S0165-0114(02)00484-0

Mahmoudi, A., Deng, X., Javed, S. A., & Yuan, J. (2021). Large-scale multiple criteria decision-making with missing values: project selection through TOPSIS-OPA. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 12*(10), 9341-9362. https://doi.org/10.1007/s12652-020-02649-w

Mahmoudi, A., Sadeghi, M., & Deng, X. (2022). Performance measurement of construction suppliers under localization, agility, and digitalization criteria: Fuzzy Ordinal Priority Approach. *Environment, Development and Sustainability*, 1-26. https://doi.org/10.1007/s10668-022-02301-x

Mahmoudi, A., Abbasi, M., & Deng, X. (2022). A novel project portfolio selection framework towards organizational resilience: robust ordinal priority approach. *Expert systems with applications, 188*, 116067. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116067

Markabi, M. S., & Sabbagh, M. (2014). A hybrid method of GRA and DEA for evaluating and selecting efficient suppliers plus a novel ranking method for grey numbers. *Journal of Industrial Engineering and Management, 7*(5), 1197-1221. https://doi.org/10.3926/jiem.872

Magableh, G. M. (2024). An integrated model for rice supplier selection strategies and a comparative analysis of fuzzy multicriteria decision-making approaches based on the fuzzy entropy weight method for evaluating rice suppliers. *Plos one, 19*(4), e0301930. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0301930

Mwikali, R., & Kavale, S. (2012). Factors affecting the selection of optimal suppliers in procurement management. *International Journal of humanities and social science, 2*(14), 189-193.

Safari, S., & Azar, A. (2020). Performance Evaluation of Organization Emphasizing Quality Prizes Criteria â DEA Approach. *Commercial Strategies, 2*(8), 1-14. https://cs.shahed.ac.ir/article_1941.html

Rajabi, M. J. (2018). *A model for identifying and prioritizing supplier selection criteria and ranking suppliers using a hybrid approach of Quality Function Deployment and Data Envelopment Analysis in a fuzzy environment (Case study: SAPCO Company)* [Master's thesis, Shahed University].

Tavassoli, M., Saen, R. F., & Zanjirani, D. M. (2020). Assessing sustainability of suppliers: A novel stochastic-fuzzy DEA model. *Sustainable production and consumption, 21*, 78-91. https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.11.001

Vörösmarty, G., & Dobos, I. (2020). A literature review of sustainable supplier evaluation with Data Envelopment Analysis. *Journal of Cleaner Production, 264*, 121672.

Yahyapour Shikhzahedi, M. T., Amirteimoori, A., Kordrostami, S., & Edalatpanah, S. A. (2024). Inverse Data Envelopment Analysis Model to Improve Efficiency by Increasing Outputs. *Decision Making: Applications in Management and Engineering, 7*(2), 1-14. https://doi.org/10.31181/dmame722024788

[1] Data Envelopment Analytic (DEA)
[2] Ordinal priority Approach (OPA)
[3] Tavassoli et al
[4] Mahmoudi et al
[5] Yahyapour Shikhzahedi et al
[6] Jadidi et al.
[7] Ataei et al.
[8] Multi Criteria Decision Making (MCDM)
[9] Rajabi
[10] The K-means algorithm

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی