



A Multi-Objective Model Based on group Decision-Making and Interval-Valued Pythagorean Fuzzy Sets for the Supplier Selection and Order Allocation Problem

Mehdi Keshavarz
Ghorabae *

Assistant Professor, Department of Management,
Faculty of Humanities (Azadshahr Branch), Gonbad
Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

Abstract

Supplier selection and order allocation are two of the most important issues in supply chain management, which can have a significant impact on the overall performance and efficiency of an organization. This research presents a new approach based on group decision-making to address this problem. Firstly, the evaluation outputs of decision-makers are converted into interval-valued Pythagorean fuzzy sets using a quantitative procedure. Then, based on these fuzzy elements, the CRITIC method is employed to determine the weights of the criteria. Using the Einstein weighted geometric aggregation operator and the extracted weights, the final performance of each supplier is calculated as an interval-valued Pythagorean fuzzy set. In the next step, a multi-objective model is formulated considering the order allocation parameters and the obtained performances from the suppliers. Finally, the fuzzy programming technique is used to solve the multi-objective model. To analyze the efficiency of the proposed approach, a practical example based on environmental criteria is considered, and a sensitivity analysis is performed on the criteria weights to evaluate the reasonableness and efficiency of the results. The obtained results indicate the performance of the proposed approach in solving the supplier selection and order allocation problem.

* Corresponding Author: m.keshavarz@gonbad.ac.ir

How to Cite: Keshavarz Ghorabae, M. (2024). A Multi-Objective Model Based on group Decision-Making and Interval-Valued Pythagorean Fuzzy Sets for the Supplier Selection and Order Allocation Problem, *Industrial Management Studies*, 22(74), 1-49.

Introduction

The rapid shift towards globalization, competitive markets, significant technological advancements, and high customer expectations have prompted companies to reduce costs and enhance their competitive advantages. To achieve these goals, researchers and professionals have concluded that maintaining competitiveness requires collaboration with supply chain partners to improve supply chain performance. Suppliers have a significant influence on the strategic and operational performance of organizations. Moreover, the supplier selection process plays a crucial role in determining the cost, quality, and other aspects of the final product. In many cases, the criteria are conflicting, necessitating trade-offs between them. Thus, selecting the best suppliers becomes a multi-criteria decision-making problem. Additionally, order allocation to the selected suppliers, by determining the optimal order quantity from each, can provide significant economic benefits to companies.

This study presents a comprehensive and innovative framework for supplier selection and order allocation, utilizing a combination of decision-making and evaluation approaches. First, an initial evaluation of suppliers is carried out by a group of decision-makers. These qualitative evaluations are then transformed into interval-valued Pythagorean fuzzy sets through a precise quantitative process. Next, criteria weighting is performed using the CRITIC method. Following this, the final performance of each supplier is calculated and ranked as a fuzzy set using the Einstein weighted geometric aggregation operator and the obtained weights. Subsequently, the collected data are integrated into a multi-objective model, and the order allocation optimization problem is solved using a fuzzy programming technique. Finally, to evaluate the model's comprehensiveness and accuracy, a sensitivity analysis of the criteria weights is conducted to ensure the stability and reliability of the proposed approach.

Method

This paper presents a multi-objective model based on group decision-making and interval-valued Pythagorean fuzzy sets for supplier selection and order allocation. To develop this model, several options (suppliers) are evaluated by decision-makers based on multiple criteria. The opinions of these decision-makers are gathered using a specific procedure and converted into interval-valued Pythagorean

3 | A Multi-Objective Model Based on group ... ; Keshavarz Ghorabae

fuzzy numbers. The weight assigned to each criterion is calculated through the decision matrix and by employing the CRITIC method. Then, using the Einstein geometric aggregation operator and the obtained weights, the performance of each supplier is determined as interval-valued Pythagorean fuzzy numbers. Based on these fuzzy performances, a three-objective model for supplier selection and order allocation is designed. This proposed model is solved using a multi-objective optimization approach to ensure comprehensive and effective decision-making for supplier selection and optimal order allocation. In this study, a procedure is used to gather the opinions of decision-makers for evaluating options (suppliers) on each criterion and converting them into interval-valued Pythagorean fuzzy sets. In this procedure, each decision-maker is asked to assess the desirability of each supplier concerning each criterion. Three possible responses are considered: desirable, undesirable, and no opinion. Additionally, each decision-maker is asked about the degree of confidence in their responses. In this research, three values are used as input for the CRITIC method (elements of the decision matrix) to calculate the weight of each criterion, resulting in three weights for each criterion. Finally, the average of these three weights is used to derive a more realistic weight for the criteria.

Results

The proposed integrated model is applied to solve a supplier selection and order allocation problem, considering environmental criteria for a tissue manufacturing company, and the results are analyzed. Initially, decision-makers identify potential suppliers (five suppliers: S1 to S5) and determine the environmental criteria. Based on existing literature, seven criteria (C1 to C7) are defined by the decision-makers. The evaluations of the decision-makers regarding each supplier, based on each criterion, are collected in three possible states. These evaluations are then converted into interval-valued Pythagorean fuzzy sets using the procedure described in the research methodology section. Based on the results obtained from solving the proposed mathematical models, the largest order quantity is allocated to the third supplier. Since this supplier's maximum capacity is utilized, the corresponding interval collapses into a single point. The same applies to the fourth supplier, which is allocated the second-largest order volume. The second supplier ranks next, and an interval of confidence is provided

for it based on the two solved models. For the first supplier, an order interval is also determined by solving both models. Meanwhile, no volume is allocated to the fifth supplier, indicating its non-selection based on the problem parameters.


Conclusion

This research, aimed at developing a group decision-making approach for supplier selection and order allocation, significantly enhances the evaluation and decision-making process. One of the main advantages of this approach is the integration of subjective supplier assessments with a precise process for converting these assessments into interval-valued Pythagorean fuzzy sets. In this process, desirability and undesirability are defined in terms of membership and non-membership degrees, effectively addressing the uncertainties inherent in subjective evaluations. Moreover, the degree of response confidence is incorporated into the determination of membership and non-membership intervals, resulting in a more comprehensive treatment of uncertainties at both the linguistic and subjective levels. By employing the CRITIC method for weighting criteria and using the Einstein weighted geometric aggregation operator, the final performance of the suppliers is calculated accurately and reliably. These performance values, together with the order allocation parameters, are incorporated into a multi-objective model, which is solved using fuzzy programming techniques. This combination of approaches and techniques makes this research a powerful tool for optimizing the supplier selection and order allocation process, ultimately leading to more precise and efficient decisions. To examine and validate the proposed approach, a supplier selection and order allocation problem based on environmental criteria was investigated. Additionally, a sensitivity analysis on the criteria weights was conducted to evaluate the effectiveness and rationality of the results. This analysis demonstrated that the proposed approach effectively met the specified objectives and provided logical, efficient outcomes.

Keywords: supplier selection, order allocation, group decision-making, Pythagorean fuzzy sets, multi-objective programming.



یک مدل چندهدفه مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی و مجموعه‌های فازی فیثاغورثی بازه‌ای-مقدار برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش

استادیار، گروه مدیریت، دانشکده علوم انسانی آزادشهر، دانشگاه
مهدی کشاورز قرابائی *  [gndkcau@gu.ac.ir](#)
گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

چکیده

انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش یکی از مهم‌ترین مسائل در مدیریت زنجیره تأمین است که می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر روی عملکرد و بهره‌وری کلی یک سازمان داشته باشد. این تحقیق یک رویکرد مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی برای حل این مسئله ارائه می‌دهد. ابتدا، خروجی ارزیابی‌های تصمیم‌گیرندگان با استفاده از یک رویه کمی به مجموعه‌های فازی فیثاغورثی بازه‌ای-مقدار تبدیل می‌شوند. سپس بر مبنای این عناصر فازی، روش کریتیک برای تعیین وزن شاخص‌ها به کار می‌رود. با استفاده از عملگر تجمیع موزون هندسی انیشتین و اوزان استخراج‌شده، عملکرد نهایی هر تأمین‌کننده به صورت مجموعه فازی فیثاغورثی بازه‌ای-مقدار محاسبه می‌شود. در گام بعدی یک مدل چندهدفه با توجه به پارامترهای تخصیص سفارش و عملکردهای به‌دست‌آمده از تأمین‌کنندگان برای مسئله فرموله می‌شود. در نهایت از تکنیک برنامه‌ریزی فازی جهت حل مدل چندهدفه استفاده می‌شود. به منظور تحلیل کارایی رویکرد پیشنهادی، یک مثال کاربردی بر اساس شاخص‌های زیست‌محیطی در نظر گرفته شده و تحلیل حساسیت بر روی وزن شاخص‌ها صورت می‌پذیرد تا منطقی بودن و کارایی نتایج ارزیابی شود. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده عملکرد مناسب رویکرد پیشنهادی در حل مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش است.

کلیدواژه‌ها: انتخاب تأمین‌کننده، تخصیص سفارش، تصمیم‌گیری گروهی، مجموعه فازی فیثاغورثی، برنامه‌ریزی چندهدفه.

مقدمه

حرکت سریع به سوی جهانی شدن، بازار رقابتی، پیشرفت‌های چشمگیر در فناوری و انتظارات بالای مشتریان، شرکت‌ها را متقاعد کرده که هزینه‌ها را کاهش داده و مزیت‌های رقابتی خود را افزایش دهند. برای نیل به این هدف، پژوهشگران و متخصصان به این نتیجه رسیده‌اند که جهت حفظ رقابت‌پذیری، همکاری با شرکای زنجیره تأمین برای بهبود عملکرد زنجیره تأمین ضروری است (Hosseini et al., 2022). زنجیره تأمین شامل تأمین کنندگان، تولید کنندگان، توزیع کنندگان، خرده‌فروشان و مشتریان است که از خرید مواد اولیه آغاز شده و با مصرف محصول نهایی توسط مشتری پایان می‌یابد. به دلیل حضور بازیگران مختلف، مسائل تصمیم‌گیری در زنجیره تأمین پیچیده‌تر از سایر حوزه‌ها است. فرآیند تهیه و تأمین منابع به‌عنوان یکی از بنیادی‌ترین فرآیندها در زنجیره تأمین بالادستی و به دلیل تأثیرگذاری بر تمام اجزای سازمان، اکنون بیش‌ازپیش اهمیت یافته است (Gai et al., 2023).

تصمیم‌گیری‌ها در مدیریت زنجیره تأمین به سه دسته در سطوح استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی تقسیم می‌شوند. تصمیمات اصلی در سطح استراتژیک شامل انتخاب شراکت و طراحی شبکه زنجیره تأمین است که بیشترین تأثیر را بر عملکرد شبکه دارند. چالش‌های تأمین، تولید، برنامه‌ریزی توزیع و تخصیص سفارش‌ها از مهم‌ترین مسائل در سطح تاکتیکی هستند. در نهایت، در سطح عملیاتی، تصمیم‌گیری‌هایی مانند زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل در نظر گرفته می‌شود. شش فرآیند تصمیم‌گیری عمده در فرآیند خرید وجود دارد که عبارت‌اند از ساختن یا خریدن، انتخاب تأمین‌کننده، مذاکره قرارداد، همکاری در طراحی، تدارکات و تحلیل منبع یابی (Aissaoui et al., 2007). تحقیقات نشان داده‌اند که انتخاب تأمین‌کننده (در سطح تصمیم‌گیری استراتژیک) و تخصیص سفارش (در سطح تصمیم‌گیری تاکتیکی) تأثیر قابل توجهی بر عملکرد زنجیره تأمین دارند. شرایط ناپایدار و حوادث غیرمنتظره میان بازیگران زنجیره تأمین، تصمیم‌گیرندگان را مجبور می‌کند تا در هر سطح و هر شرایطی، تصمیم‌بهنه را شناسایی کنند؛ بنابراین، نیاز دارند که طرف تأمین

یک مدل چندهدفه مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی و مجموعه‌های فازی فیناغورثی...؛ کشاورز قربانی | ۷

را با انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش‌ها به صورت مشترک و سریع به‌روز کنند (Sahebjamnia, 2020).

تأمین‌کنندگان تأثیر بسیار زیادی بر عملکرد استراتژیک و عملیاتی سازمان‌ها دارند. علاوه بر این، فرآیند انتخاب تأمین‌کنندگان نقش مهمی در تعیین هزینه، کیفیت و سایر جنبه‌های محصول نهایی ایفا می‌کند. از این رو، سازمان‌ها برای کاهش هزینه‌ها، بهبود کیفیت محصولات خود و یا تمرکز بر یک بخش خاص از عملیات خود، به‌طور قابل توجهی بر تأمین‌کنندگان تکیه می‌کنند (Wu et al., 2023). انتخاب تأمین‌کنندگان پیچیده است زیرا سازمان‌ها باید جنبه‌های متعددی شامل شاخص‌های کمی و کیفی را در نظر بگیرند. در بسیاری از این موارد، شاخص‌ها متناقض هستند و نیازمند تعیین یک مبادله بین آن‌هاست؛ بنابراین، انتخاب بهترین تأمین‌کنندگان به یک مسئله تصمیم‌گیری چند شاخصه تبدیل می‌شود. از طرفی تخصیص سفارش‌ها به تأمین‌کنندگان منتخب از طریق تعیین مقدار بهینه سفارش از هر تأمین‌کننده می‌تواند از نظر اقتصادی مزایای خوبی برای شرکت‌ها ایجاد کند (Ali et al., 2023).

یکی از موضوعات مهم در مسائل دنیای واقعی، عدم قطعیت است که بخشی مهم از مسئله انتخاب تأمین‌کننده را تشکیل می‌دهد. عدم قطعیت یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که در فرآیندهای تصمیم‌گیری، به‌ویژه در ارزیابی‌های ذهنی تصمیم‌گیرندگان نمایان می‌شود. این عدم قطعیت، ناشی از کمبود اطلاعات کامل، تغییرات محیطی یا نوسانات بازار است و نقش مهمی در تصمیمات چند شاخصه دارد (Kilic & Yalcin, 2020). در انتخاب تأمین‌کننده، عوامل متعددی مانند کیفیت محصول، هزینه، زمان تحویل و قابلیت اطمینان مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. این عوامل گاهی بر مبنای اطلاعات کیفی و نه کمی و اغلب توسط افراد باتجربه و دانش مختلف ارزیابی می‌شوند. برای مواجهه با این عدم قطعیت، روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه مطرح می‌شوند که می‌توانند به تصمیم‌گیرندگان کمک کنند تا با توجه به شاخص‌های مختلف و با وزن دهی صحیح، به تصمیم بهتری برسند (Tirkolae et al., 2020). ارزیابی‌های ذهنی فردی مبنای

تصمیم‌گیری در گروه قرار می‌گیرد و تفاوت‌ها در این ارزیابی‌ها می‌تواند عدم قطعیت را در فرآیند تصمیم‌گیری گروهی افزایش دهد. هر فرد با توجه به تجارب، دانش و دیدگاه‌های خود، تفسیر و ارزیابی‌های متفاوتی از وضعیت موجود ارائه می‌دهد. این تنوع نظریات و برداشت‌ها به‌طور طبیعی منجر به پراکندگی نظرات و در نتیجه عدم قطعیت در تصمیم‌گیری گروهی می‌شود (Adam & Humphreys, 2008).

این پژوهش به ارائه یک چارچوب جامع و نوآورانه برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش می‌پردازد که از ترکیب چند رویکرد تصمیم‌گیری و ارزیابی بهره می‌برد. در گام نخست، ارزیابی اولیه تأمین‌کنندگان توسط گروهی از تصمیم‌گیرندگان انجام می‌شود. این ارزیابی‌های کیفی سپس از طریق یک فرآیند دقیق کمی، به مجموعه‌های فازی فیثاغورثی با مقادیر بازه‌ای تبدیل می‌شوند. در مرحله بعد، وزن‌دهی به شاخص‌ها با بهره‌گیری از روش کریتیک صورت می‌گیرد. به دنبال آن، با استفاده از عملگر تجمیع موزون هندسی انیشتین و وزن‌های به‌دست آمده، عملکرد نهایی هر تأمین‌کننده به صورت یک مجموعه فازی محاسبه و رتبه‌بندی می‌شود. سپس، داده‌های به‌دست آمده در یک مدل چندهدفه ترکیب می‌شوند و با استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی فازی، مسئله بهینه‌سازی تخصیص سفارش‌ها حل و نهایی می‌گردد. در نهایت، برای ارزیابی جامعیت و دقت مدل، یک تحلیل حساسیت بر روی وزن شاخص‌ها انجام می‌گیرد تا از پایداری و قابلیت اطمینان رویکرد پیشنهادی اطمینان حاصل شود. این پژوهش با به‌کارگیری ترکیبی از تصمیم‌گیری گروهی، ارزیابی فازی، مدل‌سازی چندهدفه و تحلیل حساسیت، گامی مؤثر در بهبود فرآیند انتخاب تأمین‌کننده و مدیریت تخصیص سفارش‌ها برداشته است.

در این پژوهش، ابتدا پیشینه تحقیق مرور شده و به بررسی تعدادی از پژوهش‌های اخیر پرداخته می‌شود. در بخش روش‌شناسی، مجموعه‌های فازی فیثاغورثی، تعاریف و عملگرهای مرتبط با آن‌ها، چارچوب ارزیابی تأمین‌کنندگان و همچنین مدل ریاضی تخصیص سفارش معرفی می‌شود. سپس، نتایج حاصل از حل یک مسئله به تفصیل

یک مدل چندهدفه مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی و مجموعه‌های فازی فیناغورثی...؛ کشاورز قربانی | ۹

مورد بررسی قرار می‌گیرد. در پایان، ویژگی‌ها و دستاوردهای پژوهش تحلیل شده و نتیجه‌گیری نهایی ارائه می‌گردد.

پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در زمینه مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش انجام شده است. در ادامه برخی از آن‌ها که ارتباط بیشتری با ساختار تحقیق حاضر داشته‌اند بررسی خواهد شد. در بررسی پیشینه پژوهش سعی شده به رویکردهایی پرداخته شود که از ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه و مدل‌سازی ریاضی استفاده نموده‌اند.

محمد^۱ و همکاران (۲۰۱۸) بر انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش در زنجیره تأمین گوشت تمرکز کرده و یک روش یکپارچه با در نظر گرفتن شاخص‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی ارائه کرده‌اند. این روش شامل چهار مرحله است: (۱) استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی برای تعیین وزن نسبی شاخص‌های پایداری، (۲) استفاده از روش تاپسیس^۲ فازی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان از نظر عملکرد، (۳) فرمول‌بندی یک مدل چندهدفه برای بهینه‌سازی تخصیص سفارش‌ها و (۴) استفاده از روش تاپسیس برای به‌دست آوردن راه‌حل نهایی. گورن^۳ (۲۰۱۸) به بررسی انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش‌های پایدار در زنجیره تأمین پرداخته است. او از روش دیمتل^۴ برای محاسبه وزن شاخص‌های پایداری استفاده کرده و از توابع هزینه تاگوچی برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان بهره گرفته است. سپس مقادیر رتبه‌بندی برای تعیین مقادیر بهینه سفارش با استفاده از بهینه‌سازی دو هدفه به کار رفته‌اند. پارک^۵ و همکاران (۲۰۱۸) مسئله انتخاب تأمین‌کننده پایدار در زنجیره تأمین جهانی را در نظر گرفته و قصد داشته‌اند تا با استفاده از رویکردی یکپارچه، عوامل اقتصادی، اجتماعی و محیطی منطقه‌ای را در طراحی زنجیره تأمین

1 Mohammed

2 TOPSIS

3 Gören

4 DEMATEL

5 Park

منعکس کنند. این رویکرد دومرحله‌ای است: در مرحله اول، با استفاده از نظریه مطلوبیت چند معیاری، مناطق تأمین‌کننده پایدار شناسایی می‌شوند و در مرحله دوم، از مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح چندهدفه برای به حداقل رساندن اهداف اقتصادی و محیطی استفاده شده است.

امین-طهماسبی و الفی^۱ (۲۰۱۸) یک مدل تصمیم‌گیری برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش‌ها در زنجیره تأمین سبز با رویکرد بهینه‌سازی فازی ارائه کردند. مسئله به صورت برنامه‌ریزی فازی فرموله شده است و پنج شاخص اصلی شامل هزینه، کیفیت، تحویل، فناوری و مزیت‌های زیست‌محیطی تعریف شده است. تأمین‌کنندگان را بر اساس عملکرد رتبه‌بندی شده و در مدل بهینه‌سازی استفاده شده‌اند تا در نهایت مقدار سفارش هر تأمین‌کننده تعیین شود. بابار و امین^۲ (۲۰۱۸) مدل ریاضی جدیدی برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تعیین مقدار سفارش‌ها ارائه داده‌اند. مدل پیشنهادی شامل تحلیل توسعه عملکرد کیفیت^۳ دومرحله‌ای و مدل ریاضی چندهدفه تصادفی می‌باشد. اعداد فازی دوزنقه‌ای نیز برای مواجهه با عدم اطمینان به کار گرفته شده‌اند. صادقی^۴ (۲۰۱۸) یک رویکرد دومرحله‌ای بر اساس فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و برنامه‌ریزی ریاضی ارائه کرده است. در مرحله اول، ارزیابی اولیه تأمین‌کنندگان انجام می‌شود و در مرحله دوم، مقدار سفارش بهینه و مسیر بهینه برای هر تأمین‌کننده تعیین می‌شود. این رویکرد در یک شرکت تولید پلی‌اتیلن در ایران پیاده‌سازی و بررسی شده است و نتایج به دست آمده نشان‌دهنده اثربخشی مدل پیشنهادی می‌باشد. لو^۵ و همکاران (۲۰۱۸) مدلی جدید مبتنی بر روش بهترین-بدترین، تکنیک فازی اصلاح‌شده تاپسیس و برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی جهت حل مسائل انتخاب تأمین‌کننده سبز و تخصیص سفارش ارائه شده است.

ربیع^۶ و همکاران (۲۰۱۹) رویکردی برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص

1 Amin-Tahmasbi and Alfi

2 Babbar and Amin

3 Quality Function Deployment

4 Sadeghi

5 Lo

6 Rabieh

یک مدل چندهدفه مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی و مجموعه‌های فازی فیناغورثی ...؛ کشاورز قرابائی | ۱۱

سفارش‌ها باهدف بهینه‌سازی پایداری ارائه کردند. با استفاده از روش دلفی، مجموعه‌ای از شاخص‌ها در جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شناسایی شده و سپس، برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش‌ها ارائه شده است. دوان^۱ و همکاران (۲۰۱۹) مدل جدیدی را برای انتخاب تأمین‌کنندگان سبز و تخصیص سفارش توسعه داده‌اند که شامل ترکیبی از اعداد Z، روش صف‌بندی آلترناتیو^۲ و مدل برنامه‌ریزی چندهدفه می‌باشد. مدل پیشنهادی از اعداد Z برای ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان، تکنیک اسوارا^۳ برای محاسبه وزن شاخص‌ها و روش صف‌بندی آلترناتیو برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان استفاده می‌کند. محمد^۴ و همکاران (۲۰۱۹) یک روش ترکیبی تصمیم‌گیری و بهینه‌سازی چندهدفه را برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار و تخصیص سفارش ارائه کرده‌اند. این روش شامل ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی و تاپسیس فازی بر اساس شاخص‌های سه‌گانه (معمول، سبز و اجتماعی) است. همچنین یک مدل چندهدفه برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش توسعه یافته است. خوش‌فطرت^۵ و همکاران (۲۰۲۰) یک مدل ریاضی چندهدفه فازی، برای انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار و تخصیص سفارش توسعه دادند. در این پژوهش، معیارهای اصلی انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار تعیین شده و همچنین روند انتخاب تأمین‌کنندگان از طریق فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی انجام شده است. شش تابع هدف شامل هزینه کل، امتیاز اقتصادی، امتیاز زیست‌محیطی، امتیاز اجتماعی، نرخ تورم و سطح ریسک به همراه محدودیت‌های مربوطه در مدل لحاظ شده‌اند. رضایی^۶ و همکاران (۲۰۲۰) یک مدل یکپارچه تصمیم‌گیری دوهدفه برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش در تولید ناب ارائه داده‌اند. معیارهای مرتبط با تولید ناب استخراج شده و با فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، تأمین‌کنندگان مناسب انتخاب شده‌اند. در نهایت، یک مدل ریاضی

1 Duan

2 Alternative Queuing Method (AQM)

3 SWARA

4 Mohammed

5 Khoshfetrat

6 Rezaei

دو هدفه برای تخصیص بهینه سفارش توسعه یافته است.

فنگ و گنگ^۱ (۲۰۲۰) مدل یکپارچه‌ای را با ترکیب روش وزن دهی آنتروپی زبانی^۲ و برنامه‌ریزی چندهدفه برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش در اقتصاد چرخشی پیشنهاد کرده‌اند. سیستم جامعی از معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان سبز ایجاد شده و با استفاده از روش وزن آنتروپی، تأمین‌کنندگان رتبه‌بندی شده‌اند. مدل تخصیص سفارش با هدف کاهش هزینه‌ها، کاهش انتشار کربن و افزایش ارزش خرید طراحی شده است. ونگ^۳ و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی تأثیر طرح‌های تجارت انتشار کربن بر انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش پرداخته‌اند. در این راستا از یک مدل مبتنی بر برنامه‌ریزی عدد صحیح و فرایند تحلیل شبکه استفاده شده است. به علاوه، آن‌ها مدلی را با استفاده از یک تولیدکننده بزرگ تجهیزات الکترونیکی در چین ارزیابی کرده‌اند تا تأثیر قیمت‌های مختلف کربن را بررسی کنند. خلیل زاده^۴ و همکاران (۲۰۲۰) یک مدل چندهدفه با پارامترهای فازی برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش‌ها برای دوره‌های متعدد، منابع متعدد، محصولات گوناگون و زنجیره تأمین دوسطحی ارائه کرده‌اند. در این مدل، هزینه‌های خرید، حمل و نقل، سفارش، تحویل و وزن تأمین‌کنندگان لحاظ شده است. رویکرد فازی تاپسیس برای تعیین وزن تأمین‌کنندگان استفاده و پارامترها به صورت اعداد فازی مثلثی در نظر گرفته شده است. کیلیک و یالچین^۵ (۲۰۲۰) روش‌شناسی یکپارچه‌ای شامل تاپسیس فازی شهودی و مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی دو مرحله‌ای پیشنهاد کرده‌اند. وزن شاخص‌ها از تاپسیس فازی شهودی تعیین شده و این وزن‌ها در مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی به کار می‌روند تا بهترین تأمین‌کنندگان انتخاب شوند. تیرکلایی^۶ و همکاران (۲۰۲۰) انتخاب تأمین‌کننده‌های پایدار و تخصیص سفارش‌ها را در سه سطح زنجیره شامل تأمین‌کنندگان، انبارهای مرکزی و عمده‌فروشان بررسی کرده‌اند. با استفاده از روش‌های

1 Feng and Gong

2 Linguistic Entropy Weight Method

3 Wang

4 Khalilzadeh

5 Kilic and Yalcin

6 Tirkolae

یک مدل چندهدفه مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی و مجموعه‌های فازی فیناغورثی...؛ کشاورز قرابائی | ۱۳

ترکیبی فازی، تأمین‌کنندگان اولویت‌بندی شده و یک مدل سه‌هدفه برای بهینه‌سازی زنجیره تأمین طراحی شده است. این اهداف شامل کاهش هزینه‌ها، افزایش ارزش محصولات و افزایش قابلیت اطمینان زنجیره تأمین است.

بیکی^۱ و همکاران (۲۰۲۱) روش جدیدی برای انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار و تخصیص سفارش با ترکیب روش وزن‌دهی آنتروپی زبانی و برنامه‌ریزی چندهدفه معرفی کرده‌اند. مدل پیشنهادی با سه هدف کاهش هزینه کل، انتشار کربن و افزایش ارزش تأمین در جهت بهبود پایداری طراحی شده است. همتی و پسندیده^۲ (۲۰۲۱) یک مدل در زنجیره تأمین دوسطحی برای مکان‌یابی تأمین‌کننده، انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش با محدودیت‌های سبز ارائه کرده‌اند. این مدل سعی می‌کند هم‌زمان اهداف کاهش هزینه‌های کل و کاهش انتشار گاز دی‌اکسید کربن در حمل‌ونقل را محقق سازد. برای مقابله با عدم قطعیت‌ها از تحلیل سناریو استفاده شده و با استفاده از تحلیل حساسیت و نمودار تورنادو، تأثیر تغییرات ورودی‌های مدل شده است. خلیلی نصر^۳ و همکاران (۲۰۲۱) یک مدل نوآورانه برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش در دو مرحله و با استفاده از روش فازی بهترین-بدترین و برنامه‌ریزی چندهدفه ارائه داده‌اند. هدف این مدل، کاهش هزینه‌های شبکه، اثرات زیست‌محیطی نامطلوب و فروش‌های ازدست‌رفته و افزایش فرصت‌های شغلی و خریدهای پایدار از تأمین‌کنندگان می‌باشد. لیاقیت^۴ و همکاران (۲۰۲۲) مفهوم پایداری را در فرآیند انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش در نظر گرفته‌اند. آن‌ها یک چارچوب تصمیم‌گیری چندمرحله‌ای ارائه داده‌اند که شامل یک مدل ریاضی برنامه‌ریزی غیرخطی چندهدفه، تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه فازی و پیش‌بینی تقاضا می‌باشد. اهداف اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی مختلف برای شبکه حمل‌ونقل چندحالتی یک زنجیره تأمین چندسطحی بهینه شده‌اند. عوادنی و اوچی^۵ (۲۰۲۲)

1 Beiki

2 Hemmati and Pasandideh

3 Khalili Nasr

4 Liaqait

5 Auadani and Euchi

محققان با استفاده از روش بهترین-بدترین و تکنیک تاپسیس یک روش ترکیبی برای مسئله انتخاب تأمین کننده و تخصیص منصفانه سفارش توسعه داده‌اند. این روش ترکیبی بهبود قابل توجهی در کیفیت راه‌حل‌ها نسبت به روش‌های موجود ارائه می‌دهد.

شیدپور^۱ و همکاران (۲۰۲۳) یک مدل چندهدفه توسعه داده‌اند که علاوه بر معیارهای سنتی، به مسئولیت‌های اجتماعی توجه دارد. تأمین کنندگان با استفاده از اصطلاحات زبانی و اعداد فازی ارزیابی شده‌اند و روش بهترین-بدترین برای تعیین وزن‌ها و روش تاپسیس برای رتبه‌بندی راه‌حل‌ها استفاده شده است. علی و ژنگ^۲ (۲۰۲۳) یک مدل جامع برای انتخاب تأمین کنندگان سبز جهانی و تخصیص سفارش‌ها ارائه داده‌اند. در این راستا، از روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای محاسبه وزن نسبی شاخص‌ها و از مدل برنامه‌ریزی چندهدفه برای کاهش هزینه‌های کل تدارکات، نرخ رد کیفیت، تأخیر در تحویل، انتشار گازهای گلخانه‌ای و ریسک‌های حمل‌ونقل خارجی استفاده شده است. محمد^۳ و همکاران (۲۰۲۳) یک روش ترکیبی مبتنی بر مدل برنامه‌ریزی چندهدفه فازی برای حل مسئله انتخاب تأمین کننده و تخصیص سفارش‌ها در محیطی با تقاضا و هزینه‌های نامشخص توسعه دادند. آن‌ها یک رویکرد چند شاخصه برای ارزیابی تأمین کنندگان بر اساس معیارهای سنتی، سبز و مقاوم ارائه کرده‌اند. علی^۴ و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی انتخاب تأمین کنندگان جهانی و تخصیص سفارش‌ها در زنجیره تأمین محیط‌زیستی تحت شرایط عدم قطعیت داده پرداخته‌اند. محققان روشی طراحی کرده‌اند که شامل فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای محاسبه وزن معیارها و یک تکنیک فازی برای رتبه‌بندی عملکرد تأمین کنندگان است. سپس نتایج به دست آمده به مدل برنامه‌ریزی چندهدفه وارد می‌شود تا مقدار بهینه سفارش‌ها تخصیص یابد.

ژاو^۵ و همکاران (۲۰۲۳) یک روش تلفیقی دو مرحله‌ای مبتنی بر مجموعه‌های فازی،

1 Shidpour

2 Ali and Zhang

3 Mohammed

4 Ali

5 Zhao

یک مدل چندهدفه مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی و مجموعه‌های فازی فیناغورثی...؛ کشاورز قرابائی | ۱۵

روش توسعه‌یافته ویکور^۱ و برنامه‌ریزی چندهدفه برای انتخاب و تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان پایدار و مقاوم ارائه داده‌اند. نتایج نشان داده‌اند روش پیشنهادی می‌تواند راه‌حل‌های قابل‌قبولی ارائه دهد. گای^۲ و همکاران (۲۰۲۳) رویکردی دومرحله‌ای برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش در مدیریت زنجیره تأمین سبز توسعه داده‌اند. در مرحله اول، روش مالٹی‌مورا^۳ با استفاده از اعداد Z زبانی برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان سبز به کار رفته است. در مرحله دوم، نتایج رتبه‌بندی به یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی دو هدفه داده‌شده تا تأمین‌کنندگان انتخاب‌شده و مقدار سفارش تخصیص‌یافته به آن‌ها تعیین شود. واعظی^۴ و همکاران (۲۰۲۴) شاخص‌های فناوری بلاکچین را در فرآیند انتخاب و تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان پایدار در نظر گرفته‌اند. محققان چارچوب دومرحله‌ای را پیشنهاد کرده‌اند که ابتدا با روش بهترین-بدترین وزن معیارهای مختلف را محاسبه می‌کند و سپس با روش مالٹی‌مورا امتیاز تأمین‌کنندگان را تعیین می‌کند. در مرحله دوم، مدل برنامه‌ریزی مختلط دوهدفه برای انتخاب نهایی تأمین‌کنندگان و تخصیص بهینه سفارش‌ها به آن‌ها به کار می‌رود. گودرزی و غلامیان^۵ (۲۰۲۴) انتخاب تأمین‌کننده سبز و تخصیص سفارش‌ها بررسی کرده‌اند. محققین با استفاده از ترکیبی از روش پرامتی^۶ و روش گروهی بهترین-بدترین و روش برنامه‌ریزی خطی چندهدفه، به تحلیل و بهینه‌سازی مسئله پرداخته‌اند. این روش‌ها به‌منظور کاهش عدم قطعیت در ارزیابی‌های کارشناسان و ایجاد یک ساختار تصمیم‌گیری کارآمد گروهی به کار گرفته شده‌اند.

در بررسی تحقیقات قبلی، مشخص شد که تاکنون رویکردی با ویژگی‌های تحقیق فعلی مطرح نشده است. در تحقیق حاضر، رویکرد جدیدی برای تصمیم‌گیری گروهی در راستای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش به کار گرفته شده است، طوری که تأمین‌کنندگان توسط هر یک از تصمیم‌گیرندگان بر اساس شاخص‌های مختلف به‌طور

1 VIKOR

2 Gai

3 MULTIMOORA

4 Vaezi

5 Goudarzi and Gholamian

6 PROMETHEE

ذهنی ارزیابی می‌شوند. سپس نتایج این ارزیابی‌ها با یک رویه مشخص به مجموعه‌های فازی فیثاغورثی بازه‌ای-مقدار تبدیل می‌گردد. همچنین، ترکیب این رویکرد با روش‌های کریتیک و مدل‌سازی چندهدفه در پژوهش‌های پیشین مشاهده نشده است.

روش

در این بخش مدلی چندهدفه مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی و مجموعه‌های فازی فیثاغورثی بازه‌ای برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش ارائه می‌شود. برای ارائه این مدل، ابتدا چند گزینه (تأمین‌کننده) با توجه به چند شاخص توسط تصمیم‌گیرندگان موردبررسی قرار می‌گیرند. نظرات این تصمیم‌گیرندگان با استفاده از یک رویه استخراج شده و به اعداد فازی فیثاغورثی بازه‌ای تبدیل می‌شوند. وزنی که برای هر شاخص در نظر گرفته می‌شود، از طریق ماتریس تصمیم و با بهره‌گیری از روش کریتیک^۱ محاسبه می‌گردد. سپس با استفاده از یک عملگر تجمیع هندسی انیشتین و وزن‌های به‌دست آمده، عملکرد هر تأمین‌کننده به صورت اعداد فازی فیثاغورثی بازه‌ای مشخص می‌شود. در ادامه و با توجه به این عملکردهای فازی، مدلی سه‌هدفه جهت انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش طراحی شده است. این مدل ارائه شده با استفاده از یک رویکرد بهینه‌یابی چندهدفه حل می‌گردد تا تصمیم‌گیری جامع و مؤثری برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص بهینه‌ی سفارش‌ها انجام شود.

در ادامه تعاریف و عملگرهای مربوط به مجموعه‌های فازی فیثاغورثی بازه‌ای-مقدار که در تحقیق حاضر از آن‌ها استفاده شده است بیان می‌شوند، سپس توضیحاتی در مورد روش کریتیک بیان شده و در نهایت مدل چندهدفه پیشنهادی ارائه خواهد شد.

مجموعه فازی فیثاغورثی

یک مجموعه فازی فیثاغورثی P در گستره X به صورت زیر تعریف می‌شود (Peng & Yang, 2016):

یک مدل چندهدفه مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی و مجموعه‌های فازی فیثاغورثی ...؛ کشاورز قرابائی | ۱۷

$$P = \{(x, \mu_P(x), \nu_P(x)) | x \in X\} \quad (1)$$

که در آن $\mu_P: X \rightarrow [0,1]$ درجه عضویت و $\nu_P: X \rightarrow [0,1]$ درجه عدم عضویت عنصر $x \in X$ به مجموعه P هستند، به شرطی که $0 \leq (\mu_P(x))^2 + (\nu_P(x))^2 \leq 1$ باشد. درجه عدم قطعیت^۱ به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\pi_P(x) = \sqrt{1 - (\mu_P(x))^2 - (\nu_P(x))^2} \quad (2)$$

مجموعه فازی فیثاغورثی بازه‌ای-مقدار

یک مجموعه فازی فیثاغورثی بازه‌ای-مقدار \tilde{P} در گستره X به صورت زیر تعریف می‌شود
(Peng & Yang, 2016):

$$\tilde{P} = \{(x, \mu_{\tilde{P}}(x), \nu_{\tilde{P}}(x)) | x \in X\} \quad (3)$$

که در آن درجه عضویت و درجه عدم عضویت به صورت یک بازه مانند زیر می‌باشند.

$$\mu_{\tilde{P}}(x) = [\mu_{\tilde{P}}^l, \mu_{\tilde{P}}^u] \subset [0,1] \quad (4)$$

$$\nu_{\tilde{P}}(x) = [\nu_{\tilde{P}}^l, \nu_{\tilde{P}}^u] \subset [0,1] \quad (5)$$

علائم l و u به ترتیب نشان‌دهنده حد بالا و پایین این مقادیر می‌باشند و مجموعه \tilde{P} معمولاً به صورت $([\mu_{\tilde{P}}^l, \mu_{\tilde{P}}^u], [\nu_{\tilde{P}}^l, \nu_{\tilde{P}}^u])$ نشان داده می‌شود.

درجه عدم قطعیت یک مجموعه فازی فیثاغورثی بازه‌ای-مقدار به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\pi_{\tilde{P}}(x) = [\pi_{\tilde{P}}^l, \pi_{\tilde{P}}^u] \subset [0,1] \quad (6)$$

$$\pi_{\tilde{P}}^l = \sqrt{1 - (\mu_{\tilde{P}}^u)^2 - (\nu_{\tilde{P}}^u)^2} \quad (7)$$

$$\pi_{\tilde{P}}^u = \sqrt{1 - (\mu_{\tilde{P}}^l)^2 - (\nu_{\tilde{P}}^l)^2} \quad (8)$$

برخی عملگرهای فازی فیثاغورثی بازه‌ای-مقدار که در این تحقیق مورد استفاده

قرار گرفته‌اند به صورت زیر است. برای مطالعه عملگرهای دیگر، مراجعه به منابع اصلی پیشنهاد می‌گردد (Peng & Yang, 2016; Rahman et al., 2020).

- تابع امتیاز: برای مجموعه فرضی \tilde{P} به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$s(\tilde{P}) = \frac{1}{2} \left((\mu_{\tilde{P}}^u)^2 + (\mu_{\tilde{P}}^l)^2 - (v_{\tilde{P}}^u)^2 - (v_{\tilde{P}}^l)^2 \right) \quad (۹)$$

- عملگر تجمیع موزون هندسی انیشتین^۱: فرض کنید برای n مجموعه فازی فیثاغورثی بازه‌ای-مقدار یک بردار وزن به صورت $w = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)^T$ داشته باشیم طوری که $\sum_j w_j = 1$ و $w_j \in [0, 1]$ باشد. در این صورت این عملگر به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$EWG(\tilde{p}_1, \tilde{p}_2, \tilde{p}_3, \dots, \tilde{p}_n) = ([\mu_{EWG}^l, \mu_{EWG}^u], [v_{EWG}^l, v_{EWG}^u]) \quad (۱۰)$$

$$\mu_{EWG}^l = \frac{\sqrt{2 \prod_j (\mu_{\tilde{p}_j}^l)^2}^{w_j}}{\sqrt{\prod_j (2 - (\mu_{\tilde{p}_j}^l)^2)^{w_j} + \prod_j (\mu_{\tilde{p}_j}^l)^2}^{w_j}} \quad (۱۱)$$

$$\mu_{EWG}^u = \frac{\sqrt{2 \prod_j (\mu_{\tilde{p}_j}^u)^2}^{w_j}}{\sqrt{\prod_j (2 - (\mu_{\tilde{p}_j}^u)^2)^{w_j} + \prod_j (\mu_{\tilde{p}_j}^u)^2}^{w_j}} \quad (۱۲)$$

$$v_{EWG}^l = \frac{\sqrt{\prod_j (1 + (v_{\tilde{p}_j}^l)^2)^{w_j} - \prod_j (1 - (v_{\tilde{p}_j}^l)^2)^{w_j}}}{\sqrt{\prod_j (1 + (v_{\tilde{p}_j}^l)^2)^{w_j} + \prod_j (1 - (v_{\tilde{p}_j}^l)^2)^{w_j}}} \quad (۱۳)$$

$$v_{EWG}^u = \frac{\sqrt{\prod_j (1 + (v_{\tilde{p}_j}^u)^2)^{w_j} - \prod_j (1 - (v_{\tilde{p}_j}^u)^2)^{w_j}}}{\sqrt{\prod_j (1 + (v_{\tilde{p}_j}^u)^2)^{w_j} + \prod_j (1 - (v_{\tilde{p}_j}^u)^2)^{w_j}}} \quad (۱۴)$$

کمی سازی نظرات تصمیم‌گیرندگان

در این تحقیق رویه‌ای برای اخذ نظرات تصمیم‌گیرندگان جهت ارزیابی گزینه‌ها (تأمین کنندگان) روی هر شاخص و تبدیل آن‌ها به مجموعه‌های فازی فیثاغورثی بازه‌ای-

¹ Einstein weighted geometric (EWG) aggregation operator

یک مدل چندهدفه مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی و مجموعه‌های فازی فیناغورثی ...؛ کشاورز قربانی | ۱۹

مقدار استفاده می‌شود. در این رویه از هر تصمیم‌گیرنده در مورد مطلوبیت هر تأمین‌کننده با توجه به هر شاخص سؤال می‌شود. در پاسخ به این سؤال سه حالت در نظر گرفته می‌شود: مطلوب (\checkmark)، نامطلوب (\times) و فاقد نظر (\circ). علاوه بر این از هر تصمیم‌گیرنده در مورد درجه اطمینان پاسخگویی سؤال می‌شود. فرض کنید تعداد تصمیم‌گیرندگان در فرایند ارزیابی برابر D باشد. اگر تعداد نظرات مطلوب و نامطلوب تصمیم‌گیرندگان در مورد تأمین‌کننده i ام از نظر شاخص j ام به ترتیب با kp_{ij} و kn_{ij} نشان داده شود و درجه اطمینان پاسخگویی تصمیم‌گیرنده k امبا α_k تعریف شود، می‌توان درجه عضویت و درجه عدم عضویت مربوط به عناصر ماتریس تصمیم (\tilde{x}_{ij}) را به صورت زیر به دست آورد.

$$\tilde{x}_{ij} = \left(\left[\mu_{\tilde{x}_{ij}}^l, \mu_{\tilde{x}_{ij}}^u \right], \left[\nu_{\tilde{x}_{ij}}^l, \nu_{\tilde{x}_{ij}}^u \right] \right) \quad (15)$$

$$\mu_{\tilde{x}_{ij}}^l = \frac{kp_{ij}}{D} - (1 - \alpha) \frac{kp_{ij}}{D} \quad (16)$$

$$\mu_{\tilde{x}_{ij}}^u = \sqrt{\min\left(1, \left(\frac{kp_{ij}}{D} + (1 - \alpha) \frac{kp_{ij}}{D}\right)\right)} \quad (17)$$

$$\nu_{\tilde{x}_{ij}}^l = \frac{kn_{ij}}{D} - (1 - \alpha) \frac{kn_{ij}}{D} \quad (18)$$

$$\nu_{\tilde{x}_{ij}}^u = \sqrt{\min\left(1, \left(\frac{kn_{ij}}{D} + (1 - \alpha) \frac{kn_{ij}}{D}\right)\right)} \quad (19)$$

در روابط بالا α نشان‌دهنده متوسط درجه اطمینان پاسخگویی تصمیم‌گیرندگان می‌باشد و به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\alpha = \frac{1}{D} \sum_k \alpha_k \quad (20)$$

در این رویه از نسبت تعداد نظرات مطلوب به تعداد کل نظرها برای محاسبه درجه عضویت و همین‌طور از نسبت تعداد نظرات نامطلوب به تعداد کل نظرها برای محاسبه درجه عدم عضویت استفاده شده و متوسط درجه اطمینان پاسخگویی جهت به دست آوردن مقادیر بازه به کار گرفته شده است. برای رعایت شرط $0 \leq (\mu_p(x))^2 + (\nu_p(x))^2 \leq 1$ از تابع \min بهره‌گیری شده است. لازم به ذکر است که مقادیر α_k در بازه $[0, 1]$ قرار گرفته و مقادیر بیشتر این پارامتر نشان‌دهنده اطمینان بالاتر تصمیم‌گیرنده نسبت به نظر اظهار شده می‌باشد. در نتیجه هرچه مقدار α به صفر نزدیک‌تر شود گستره بازه محاسبه شده بیشتر

خواهد شد. مقادیر رویه پیشنهادی بر اساس مفاهیم پایه مربوط به مجموعه‌های فازی شهودی، که اس مجموعه‌های فازی فیثاغورثی هستند، طراحی شده است (Atanassov, 2013).

تعیین وزن شاخص‌ها با روش کریتیک^۱

در مسائل تصمیم‌گیری، شاخص‌ها می‌توانند به عنوان منبع اطلاعات در نظر گرفته شوند. وزن اهمیت شاخص‌ها می‌تواند میزان اطلاعات موجود در هر یک از آن‌ها را منعکس کند. این وزن که از اطلاعات موجود در ماتریس تصمیم به دست می‌آید به عنوان «وزن عینی» شناخته می‌شود. روش کریتیک برای تعیین وزن‌های عینی شاخص‌ها در مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه استفاده می‌شود (Diakoulaki et al., 1995). وزن‌های به دست آمده از این روش هم شدت تضاد درون هر شاخص را در بر می‌گیرند و هم شدت تضاد بین شاخص‌ها را. شدت تضاد درون شاخص‌ها در این روش با پارامتر انحراف معیار در نظر گرفته می‌شود و تضاد بین شاخص‌ها با ضریب همبستگی اندازه‌گیری می‌شود. فرض کنید نمایانگر مقدار عملکرد گزینه i ام بر اساس شاخص j ام باشد ($i=1,2, \dots, n$ و $j=1,2, \dots, m$) وزن شاخص j ام باشد، B مجموعه شاخص‌های مثبت و N مجموعه شاخص‌های منفی باشد. در این بخش، فرایند به دست آوردن وزن شاخص‌ها بر اساس این روش خلاصه می‌شود.

۱. به دست آوردن مقادیر نرمال شده از رابطه زیر

$$x_{ij}^N = \begin{cases} \frac{x_{ij} - x_j^-}{x_j^* - x_j^-} & \text{if } j \in B \\ \frac{x_j^- - x_{ij}}{x_j^- - x_j^*} & \text{if } j \in N \end{cases} \quad (21)$$

در رابطه فوق x_j^* و x_j^- به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر ایده‌آل و ضد ایده‌آل برای هر شاخص می‌باشد. برای شاخص‌های مثبت $x_j^* = \max_i x_{ij}$ و $x_j^- = \min_i x_{ij}$ و برای شاخص‌های منفی $x_j^* = \min_i x_{ij}$ و $x_j^- = \max_i x_{ij}$ می‌باشند. بر این اساس بردار

یک مدل چندهدفه مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی و مجموعه‌های فازی فیناغورثی ...؛ کشاورز قرابائی | ۲۱

مربوط به شاخص Z_j ام به صورت زیر تعریف می‌شود

$$\mathbf{x}_j = (x_{1j}^N, x_{2j}^N, \dots, x_{nj}^N) \quad (22)$$

۲. محاسبه انحراف معیار مربوط به هر شاخص (σ_j) بر اساس بردارهای به دست آمده.

۳. به دست آوردن ضریب همبستگی بین شاخص‌ها (r_{jl}) با توجه به بردارهای به دست آمده (در اینجا بردارهای فرضی Z_j و l)

۴. به دست آوردن مقیاس اطلاعات مربوط به هر شاخص با استفاده از رابطه زیر.

$$H_j = \sigma_j \sum_{l=1}^m (1 - r_{lj}) \quad (23)$$

۵. محاسبه وزن هر معیار با استفاده از رابطه زیر.

$$w_j = \frac{H_j}{\sum_{l=1}^m H_j} \quad (24)$$

بر اساس رابطه فوق هرچه میزان تغییرات درون هر شاخص بیشتر باشد باعث افزایش وزن نهایی و هرچه میزان همبستگی شاخص با دیگر شاخص‌ها بیشتر باشد منجر به کاهش وزن آن شاخص خواهد شد.

در این تحقیق جهت محاسبه وزن هر شاخص از سه مقدار به عنوان ورودی روش کورتیک (عناصر ماتریس تصمیم) استفاده می‌شود و برای هر شاخص سه وزن به دست می‌آید. در نهایت از میانگین این سه وزن برای به دست آوردن یک وزن گرایانه‌تر برای شاخص‌ها بهره‌گیری می‌شود.

ابتدا به جای مقدار x_{ij} از متوسط حد پایین و بالا درجه عضویت \tilde{x}_{ij} به صورت زیر استفاده شده و وزن‌های مربوطه را محاسبه می‌کنیم و این وزن‌ها را با w_j^u نشان می‌دهیم.

$$x_{ij} = \frac{\mu_{\tilde{x}_{ij}}^l + \mu_{\tilde{x}_{ij}}^r}{2} \quad (25)$$

سپس بر اساس رابطه زیر متوسط حد پایین و بالا درجه عدم عضویت \tilde{x}_{ij} را به جای مقدار x_{ij} قرار داده و وزن‌ها را به دست می‌آوریم. این وزن‌ها با w_j^v نشان داده می‌شود.

$$x_{ij} = \frac{v_{\tilde{x}_{ij}}^l + v_{\tilde{x}_{ij}}^r}{2} \quad (26)$$

در مرحله بعد، با توجه به مقادیر تابع امتیاز هر عنصر فازی فیثاغورثی بازه‌ای-مقدار یا به عبارتی مقادیر $x_{ij} = s(\tilde{x}_{ij})$ وزن‌های هر شاخص را به دست می‌آوریم و با w_j^s تعریف می‌کنیم.

در نهایت با استفاده از رابطه زیر وزن‌های ترکیبی هر شاخص را محاسبه می‌کنیم.

$$w_j^c = \frac{w_j^u + w_j^v + w_j^s}{3} \quad (27)$$

مدل‌سازی ریاضی چندهدفه

در این بخش یک مدل چندهدفه برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش ارائه می‌شود. این مدل سه هدف خواهد داشت طوری که اهداف اول و دوم آن بر اساس عملکرد تأمین‌کنندگان که با توجه به نظرات تصمیم‌گیرندگان به دست آمده، تعریف می‌شود. هدف اول به شکل حداکثر سازی و مبتنی بر بازه به دست آمده برای درجه عضویت عملکرد تأمین‌کنندگان بوده و هدف دوم به صورت حداقل سازی و بر پایه بازه مربوط به درجه عدم عضویت عملکرد تأمین‌کنندگان می‌باشد. حداقل سازی هزینه کل به عنوان هدف سوم مدل در نظر گرفته می‌شود.

متغیرها و پارامترهای مدل به صورت زیر تعریف می‌شود.

i	اندیس تأمین‌کننده
x_i	میزان سفارش از تأمین‌کننده i ام
y_i	متغیر تخصیص (اگر $x_i > 0$ آنگاه $y_i = 1$ در غیر این صورت $y_i = 0$)
μ_i^l	حد پایین درجه عضویت عملکرد تأمین‌کننده i ام
μ_i^u	حد بالای درجه عضویت عملکرد تأمین‌کننده i ام
ν_i^l	حد پایین درجه عدم عضویت عملکرد تأمین‌کننده i ام
ν_i^u	حد بالای درجه عدم عضویت عملکرد تأمین‌کننده i ام
C_i^P	هزینه خرید از تأمین‌کننده i ام ($\times 10^2$ \$/Ton)
df_i	نرخ نقص متوسط از تأمین‌کننده i ام (%)
lt_i	نرخ تأخیر متوسط از تأمین‌کننده i ام (%)

یک مدل چندهدفه مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی و مجموعه‌های فازی فیناغورثی ...؛ کشاورز قرابائی | ۲۳

CAP_i	حداکثر ظرفیت تأمین‌کننده i ام (Ton)
$Qmin_i$	حداقل مقدار مجاز سفارش از تأمین‌کننده i ام (Ton)
$Pmax$	حداکثر میزان مجاز نقص در سفارش
$Lmax$	حداکثر مجاز تأخیر در سفارش
Dm^T	تقاضای کل
Z_μ	تابع هدف حداکثر سازی درجه عضویت عملکرد تأمین‌کنندگان
Z_v	تابع هدف حداقل سازی درجه عدم عضویت عملکرد تأمین‌کنندگان
Z_C	تابع هدف حداقل سازی هزینه کل

با توجه به متغیرها و پارامترهای مسئله مدل ریاضی به صورت زیر تعریف می‌گردد.

$$Max Z_\mu = \sum_{i=1}^n [\mu_i^l, \mu_i^u] x_i \quad (28)$$

$$Min Z_v = \sum_{i=1}^n [v_i^l, v_i^u] x_i \quad (29)$$

$$Min Z_C = \sum_{i=1}^n C_i^P x_i \quad (30)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^n x_i = Dm^T \quad (31)$$

$$\sum_{i=1}^n df_i x_i \leq Pmax \quad (32)$$

$$\sum_{i=1}^n lt_i x_i \leq Lmax \quad (33)$$

$$x_i \geq y_i Qmin_i \quad \forall i \quad (34)$$

$$x_i \leq y_i CAP_i \quad \forall i \quad (35)$$

$$x_i \geq 0 \text{ and } y_i \in \{0,1\} \quad (36)$$

حل مدل چندهدفه

مدل ارائه شده در بخش قبل علاوه بر اینکه یک مدل چندهدفه می‌باشد، پارامترهای مربوط به اهداف اول و دوم آن به صورت مقادیر بازه‌ای تعریف شده‌اند. برای به دست آوردن جواب بهینه برای مدل پیشنهادی، بر اساس مقادیر حد پایین و بالای مربوط به بازه‌ها، آن را

به دو مدل چندهدفه تبدیل کرده و با روش برنامه‌ریزی فازی ارائه‌شده توسط زیمرمن^۱ (۱۹۷۸) به حل آن می‌پردازیم. در این راستا، با حل دو مدل زیر می‌توان جواب بهینه مدل پیشنهادی را به دست آورد. لازم به ذکر است، اندیس‌های ۱ و ۲ به ترتیب نشان‌دهنده متغیرهای مربوط به حد پایین و حد بالای درجه‌های عضویت و عدم عضویت می‌باشد.

مدل ۱:

$$\text{Max } \lambda_1 \quad (37)$$

Subject to:

$$\lambda_1 \leq 1 + \frac{Z_{\mu 1} - Z_{\mu 1}^{\max}}{Z_{\mu 1}^{\max} - Z_{\mu 1}^{\min}} \quad (38)$$

$$\lambda_1 \leq 1 - \frac{Z_{v 1} - Z_{v 1}^{\min}}{Z_{v 1}^{\max} - Z_{v 1}^{\min}} \quad (39)$$

$$\lambda_1 \leq 1 - \frac{Z_{C 1} - Z_{C 1}^{\min}}{Z_{C 1}^{\max} - Z_{C 1}^{\min}} \quad (40)$$

$$Z_{\mu 1} = \sum_{i=1}^n \mu_i^l x_{i1} \quad (41)$$

$$Z_{v 1} = \sum_{i=1}^n v_i^l x_{i1} \quad (42)$$

$$Z_{C 1} = \sum_{i=1}^n C_i^P x_{i1} \quad (43)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i1} = Dm^T \quad (44)$$

$$\sum_{i=1}^n df_i x_{i1} \leq Pmax \quad (45)$$

$$\sum_{i=1}^n lt_i x_{i1} \leq Lmax \quad (46)$$

$$x_{i1} \geq y_{i1} Qmin_i \quad \forall i \quad (47)$$

$$x_{i1} \leq y_{i1} CAP_i \quad \forall i \quad (48)$$

$$x_{i1} \geq 0 \text{ and } y_{i1} \in \{0,1\} \quad (49)$$

مدل ۲:

$$\text{Max } \lambda_2 \quad (50)$$

Subject to:

$$\lambda_2 \leq 1 + \frac{Z_{\mu 2} - Z_{\mu 2}^{\max}}{Z_{\mu 2}^{\max} - Z_{\mu 2}^{\min}} \quad (51)$$

یک مدل چندهدفه مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی و مجموعه‌های فازی فیناغورثی...؛ کشاورز قربانی | ۲۵

$$\lambda_2 \leq 1 - \frac{Z_{v2} - Z_{v2}^{min}}{Z_{v2}^{max} - Z_{v2}^{min}} \quad (52)$$

$$\lambda_2 \leq 1 - \frac{Z_{C2} - Z_{C2}^{min}}{Z_{C2}^{max} - Z_{C2}^{min}} \quad (53)$$

$$Z_{\mu 2} = \sum_{i=1}^n \mu_i^u x_{i2} \quad (54)$$

$$Z_{v2} = \sum_{i=1}^n v_i^u x_{i2} \quad (55)$$

$$Z_{C2} = \sum_{i=1}^n C_i^P x_{i2} \quad (56)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i2} = Dm^T \quad (57)$$

$$\sum_{i=1}^n df_i x_{i2} \leq Pmax \quad (58)$$

$$\sum_{i=1}^n lt_i x_{i2} \leq Lmax \quad (59)$$

$$x_{i2} \geq y_{i2} Qmin_i \quad \forall i \quad (60)$$

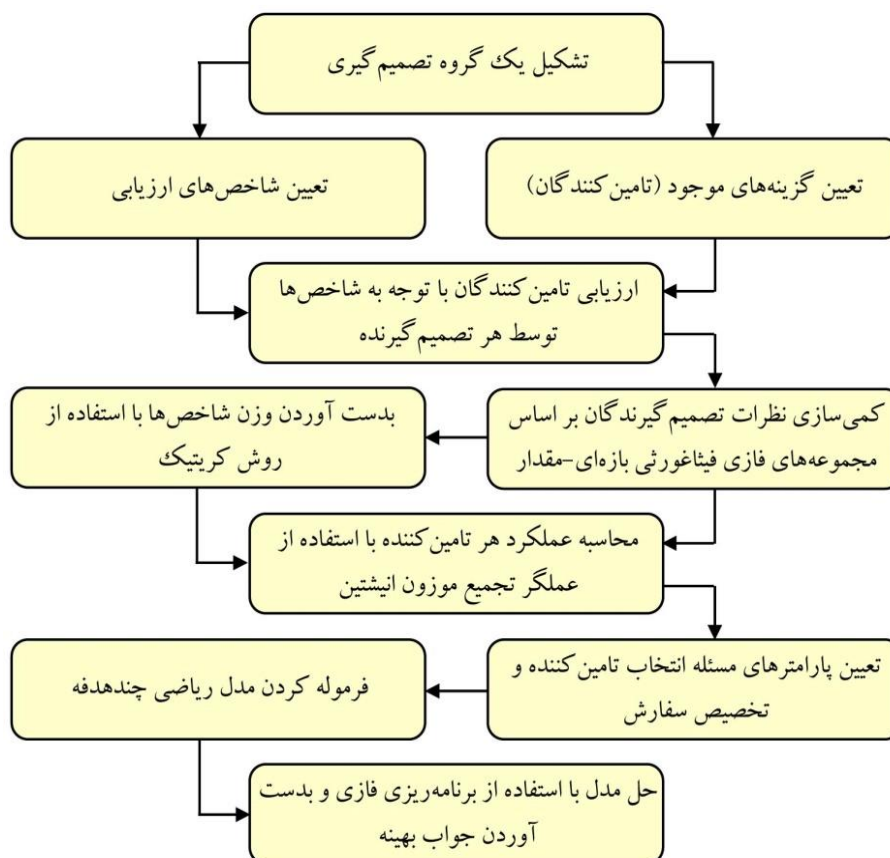
$$x_{i2} \leq y_{i2} CAP_i \quad \forall i \quad (61)$$

$$x_{i2} \geq 0 \text{ and } y_{i2} \in \{0,1\} \quad (62)$$

با حل دو مدل فوق مقادیر متغیرها و توابع هدف در یک بازه به دست خواهد آمد. باید توجه داشت که حد بالا (یا پایین) مقادیر متغیرها و توابع هدف لزوماً با در نظر گرفتن حد بالا (یا پایین) درجه‌های عضویت و عدم عضویت به دست نمی‌آید و این موضوع از تبادل بین اهداف مدل ناشی می‌شود. علاوه بر این، برای به دست آوردن مقادیر Z^{min} و Z^{max} برای هر کدام از توابع هدف در هر مدل ابتدا باید مدل را با در نظر گرفتن تابع هدف مربوطه به صورت تک هدفه حل نمود.

در شکل ۱ به منظور توضیح دقیق و شفاف روش تحقیق به کاررفته، یک فلوچارت از مراحل روش پژوهش ارائه شده است. این فلوچارت کمک می‌کند تا به طور ساده و تصویری روش تحقیق درک شود.

شکل ۱. فلوچارت روش تحقیق



یافته‌ها

در این بخش، مدل یکپارچه پیشنهادی برای حل یک مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش با توجه به شاخص‌های زیست‌محیطی در یک شرکت تولیدکننده دستمال کاغذی استفاده شده و نتایج آن تحلیل می‌گردد. این شرکت انواع مختلفی از دستمال از جمله دستمال‌های صورت، دستمال حوله‌ای، دستمال سفره و غیره را تولید می‌کند. در این شرکت بیش از ۱۶۰ نفر از جمله مدیران، کارمندان و کارگران فنی مشغول به کار هستند. ظرفیت تولید شرکت تقریباً ۵۰۰۰ تن در سال می‌باشد. این شرکت دارای گواهی بسیاری از استانداردها از جمله ISO 9001:2015، می‌باشد. به دلیل تأثیرات ممکن محصولات

یک مدل چندهدفه مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی و مجموعه‌های فازی فیناغورثی ...؛ کشاورز قرابائی | ۲۷

کاغذی بر محیط‌زیست، این شرکت در سال‌های اخیر به طراحی بهبود فرآیندهای خود با توجه به جنبه‌های زیست‌محیطی و کسب گواهینامه ISO 14001 پرداخته است. به‌عنوان بخشی از طرح زیست‌محیطی خود، شرکت تصمیم گرفته مواد اولیه موردنیاز سالانه را از تعدادی تأمین‌کننده بر اساس شاخص‌های زیست‌محیطی تأمین کند. در ۱۰ سال گذشته، این شرکت مواد اولیه را از بیش از ۱۴ تأمین‌کننده خریداری کرده است، اما برخی از آن‌ها کیفیت موردنیاز شرکت را رعایت نکرده‌اند؛ بنابراین، شرکت قصد دارد تعداد تأمین‌کنندگان را محدود و تأمین‌کنندگانی را انتخاب کند که درجه‌های بالاتری از کیفیت و نرخ‌های کمتری از نظر تأخیر داشته و به اصول زیست‌محیطی پایبندی داشته باشند. برای این منظور، هیئت‌مدیره شرکت گروهی متشکل از ده کارشناس از بخش‌های مختلف (تولید، تحقیق و توسعه، خرید، بازاریابی و مدیریت منابع انسانی) تشکیل داد. در تحقیق حاضر این افراد به‌عنوان گروه تصمیم‌گیرندگان در نظر گرفته می‌شوند.

تصمیم‌گیرندگان در ابتدا تأمین‌کنندگان بالقوه (پنج تأمین‌کننده) را شناسایی و شاخص‌های زیست‌محیطی را تعیین می‌کنند. بر اساس ادبیات موجود در این زمینه، هفت شاخص (C_1 تا C_7) توسط تصمیم‌گیرندگان تعریف شده که در جدول ۱ نشان داده شده است (Govindan et al., 2015; Nielsen et al., 2014). سپس میانگین نرخ نقص‌ها و میانگین نرخ تأخیر هر تأمین‌کننده و همچنین میزان مواد اولیه (کل تقاضا) بر اساس داده‌های تاریخی شرکت تخمین زده شده که در ادامه به‌عنوان پارامترهای مسئله ارائه خواهد شد.

در ادامه ارزیابی تصمیم‌گیرندگان از هر تأمین‌کننده با توجه به هر شاخص در سه حالت مطلوب (✓)، نامطلوب (×) و فاقد نظر (O) جمع‌آوری شده است. این ارزیابی‌ها از طریق رویه‌ای که در بخش روش تحقیق ارائه شده است به مجموعه‌های فازی فیناغورثی بازه‌ای-مقدار تبدیل می‌شود. در این بخش جهت روشن شدن رویه مذکور ارزیابی تصمیم‌گیرندگان (D_1 تا D_{10}) از هر تأمین‌کننده (S_1 تا S_5) روی شاخص‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

در جدول ۳ نیز عناصر ماتریس تصمیم به شکل مجموعه‌های فازی فیثاغورثی بازه‌ای-مقدار، قابل مشاهده است.

جدول ۱. شاخص‌های زیست‌محیطی و تعاریف آن‌ها

تعریف	شاخص
این شاخص به سطح تخمینی انتشار آلاینده‌های هوا، مواد مضر، ضایعات جامد، انتشار آلاینده‌های هوا و پساب‌های تولیدی توسط یک تأمین‌کننده در فرآیند تولید مربوط می‌شود.	آلودگی محیط‌زیست (C ₁)
این شاخص به سطح تخمینی مصرف مواد اولیه، مصرف انرژی و مصرف آب در فرآیند تولید مربوط می‌شود.	مصرف منابع (C ₂)
این شاخص به توسعه فرآیندها و محصولات می‌تواند با استفاده از کاربرد تجاری دانش برای دستیابی به بهبودهای مستقیم یا غیرمستقیم اکولوژیکی به توسعه پایدار کمک کند مربوط می‌شود.	نوآوری اکولوژیکی (C ₃)
این شاخص به برنامه‌ریزی منابع برای توسعه، ساختار سازمانی و اجرای سیاست‌های حفاظت از محیط‌زیست مربوط می‌شود. استانداردهای ISO 14000 و ISO 14001 به‌عنوان پرکاربردترین استانداردها در سیستم مدیریت محیط‌زیست شناخته می‌شوند.	سیستم مدیریت محیط‌زیست (C ₄)
این شاخص به مشارکت مستقیم مدیران ارشد یک شرکت برای بهبود شیوه‌های مدیریت محیط‌زیست و عملکرد آن مربوط می‌شود.	تعهد مدیران به بهبودهای محیط‌زیستی (C ₅)
این شاخص به کاربرد علم محیط‌زیست و دستگاه‌های الکترونیکی سبز برای مدل‌سازی، نظارت و حفظ منابع طبیعی محیط‌زیست و کنترل اثرات منفی بر محیط‌زیست مربوط می‌شود.	استفاده از تکنولوژی‌های سبز در فرآیندهای تولید (C ₆)
این شاخص به سطح تخمینی استفاده از مواد قابل بازیافت در تمام فرآیندهای تولید شرکت از جمله بسته‌بندی، تولید و غیره مربوط می‌شود.	استفاده از مواد سبز در فرآیندهای تولید (C ₇)

جدول ۲. ارزیابی تصمیم‌گیرندگان روی شاخص‌ها

		D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	D ₈	D ₉	D ₁₀
C ₁	S ₁	x	x	✓	✓	○	x	x	✓	✓	✓
	S ₂	✓	✓	✓	○	✓	✓	x	○	✓	✓
	S ₃	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	○	✓
	S ₄	x	x	x	x	✓	○	○	x	x	x
	S ₅	○	x	✓	○	x	✓	x	✓	✓	x
C ₂	S ₁	x	✓	✓	○	✓	✓	○	✓	x	x
	S ₂	✓	○	✓	✓	✓	x	x	✓	✓	✓
	S ₃	○	x	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	x
	S ₄	x	✓	x	✓	○	x	○	x	x	○
	S ₅	x	○	✓	○	✓	x	✓	○	✓	x
C ₃	S ₁	x	✓	✓	✓	○	x	✓	✓	x	✓
	S ₂	✓	✓	x	x	✓	✓	✓	✓	○	✓
	S ₃	✓	○	○	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓
	S ₄	○	✓	✓	○	○	✓	x	✓	x	✓
	S ₅	✓	✓	○	x	○	○	✓	✓	○	✓
C ₄	S ₁	x	✓	x	○	○	✓	x	✓	x	x
	S ₂	○	✓	✓	✓	x	✓	✓	x	✓	✓
	S ₃	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	○	✓	✓
	S ₄	x	○	x	✓	○	✓	○	x	✓	x
	S ₅	✓	✓	x	✓	✓	○	✓	✓	x	✓
C ₅	S ₁	○	x	○	✓	✓	✓	○	✓	✓	x
	S ₂	○	○	✓	✓	○	✓	x	✓	✓	✓
	S ₃	x	x	○	✓	✓	○	✓	✓	✓	○
	S ₄	○	✓	✓	x	x	✓	○	✓	○	x
	S ₅	✓	○	x	x	✓	x	✓	○	○	x
C ₆	S ₁	○	x	x	✓	○	x	✓	○	x	x
	S ₂	✓	○	x	x	✓	○	○	✓	✓	x
	S ₃	✓	x	✓	✓	○	x	✓	✓	x	✓
	S ₄	○	x	x	✓	✓	○	✓	○	✓	○
	S ₅	x	○	○	x	○	✓	✓	✓	x	✓
C ₇	S ₁	○	x	✓	○	○	x	✓	x	x	x

		D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	D ₈	D ₉	D ₁₀
	S ₂	×	✓	○	✓	✓	○	○	✓	×	✓
	S ₃	✓	○	✓	✓	○	○	○	✓	✓	×
	S ₄	×	×	○	✓	✓	○	✓	×	✓	×
	S ₅	×	×	×	✓	✓	×	✓	×	○	×

جدول ۳. عناصر ماتریس تصمیم‌گیری

		$\tilde{x}_{ij} = \left(\left[\mu_{\tilde{x}_{ij}}^l, \mu_{\tilde{x}_{ij}}^u \right], \left[\nu_{\tilde{x}_{ij}}^l, \nu_{\tilde{x}_{ij}}^u \right] \right)$
C ₁	S ₁	([0.67,0.74], [0.59,0.67])
	S ₂	([0.79,0.88], [0.17,0.41])
	S ₃	([0.9,0.99], [0,0.3])
	S ₄	([0.3,0.33], [0.83,0.84])
	S ₅	([0.6,0.66], [0.6,0.66])
C ₂	S ₁	([0.67,0.74], [0.5,0.59])
	S ₂	([0.79,0.88], [0.36,0.52])
	S ₃	([0.73,0.81], [0.49,0.6])
	S ₄	([0.42,0.47], [0.69,0.72])
	S ₅	([0.6,0.66], [0.51,0.58])
C ₃	S ₁	([0.73,0.81], [0.49,0.6])
	S ₂	([0.79,0.88], [0.36,0.52])
	S ₃	([0.79,0.88], [0.17,0.41])
	S ₄	([0.67,0.74], [0.39,0.5])
	S ₅	([0.67,0.74], [0.22,0.39])
C ₄	S ₁	([0.52,0.57], [0.69,0.73])
	S ₂	([0.79,0.88], [0.36,0.52])
	S ₃	([0.85,0.94], [0.14,0.42])
	S ₄	([0.52,0.57], [0.61,0.66])
	S ₅	([0.79,0.88], [0.36,0.52])
C ₅	S ₁	([0.67,0.74], [0.39,0.5])
	S ₂	([0.73,0.81], [0.2,0.4])
	S ₃	([0.67,0.74], [0.39,0.5])
	S ₄	([0.6,0.66], [0.51,0.58])

یک مدل چندهدفه مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی و مجموعه‌های فازی فیناغورثی...؛ کشاورز قرابائی | ۳۱

		$\tilde{x}_{ij} = ([\mu_{\tilde{x}_{ij}}^l, \mu_{\tilde{x}_{ij}}^u], [v_{\tilde{x}_{ij}}^l, v_{\tilde{x}_{ij}}^u])$
	S ₅	([0.52,0.57], [0.61,0.66])
C ₆	S ₁	([0.42,0.47], [0.69,0.72])
	S ₂	([0.6,0.66], [0.51,0.58])
	S ₃	([0.73,0.81], [0.49,0.6])
	S ₄	([0.6,0.66], [0.4,0.49])
	S ₅	([0.6,0.66], [0.51,0.58])
C ₇	S ₁	([0.42,0.47], [0.69,0.72])
	S ₂	([0.67,0.74], [0.39,0.5])
	S ₃	([0.67,0.74], [0.22,0.39])
	S ₄	([0.6,0.66], [0.6,0.66])
	S ₅	([0.52,0.57], [0.75,0.79])

پس از به دست آوردن عناصر ماتریس تصمیم، می‌توان وزن شاخص‌ها را با استفاده از روش کریتیک به دست آورد و با استفاده از این وزن‌ها و عملگر تجمیع موزون هندسی انیشتین عملکرد نهایی هر گزینه یا تأمین‌کننده را محاسبه کرد. وزن محاسبه‌شده شاخص‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. همچنین جدول ۵ نشان‌دهنده مقادیر به‌دست‌آمده از عملگر تجمیع انیشتین در کنار سایر پارامترهای مدل ریاضی می‌باشد.

جدول ۴. وزن شاخص‌ها محاسبه‌شده به‌وسیله روش کریتیک

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
w_j^{μ}	0.1622	0.1623	0.1610	0.1654	0.1261	0.1161	0.1069
w_j^{ν}	0.1157	0.1985	0.1632	0.1046	0.1677	0.1461	0.1041
w_j^s	0.1348	0.2043	0.1829	0.1413	0.0960	0.1378	0.1029
w_j^c	0.1376	0.1884	0.1690	0.1371	0.1299	0.1333	0.1046

جدول ۵. عملکرد تأمین‌کنندگان و سایر پارامترهای مدل

	C_i^P	df_i	lt_i	CAP_i	$Qmin$	EWG_i
S ₁	4.5	0.25	0.1	1200	100	([0.57,0.631], [0.595,0.656])
S ₂	6.3	0.2	0.25	1500	150	([0.729,0.807], [0.364,0.502])
S ₃	6.1	0.1	0.25	1700	150	([0.755,0.836], [0.343,0.487])
S ₄	3.1	0.35	0.15	1400	100	([0.534,0.592], [0.587,0.641])
S ₅	5.8	0.15	0.1	1500	100	([0.608,0.673], [0.543,0.617])
$Pmax$	12					

	C_i^P	df_i	lt_i	CAP_i	$Qmin$	EWG_i
$Lmax$	18					
Dm^T	5000					

با توجه به مقادیر بیان شده در جدول ۵ مدل‌های ۱ و ۲ به صورت زیر نوشته می‌شوند.

مدل ۱:

$$Max \lambda_1$$

Subject to:

$$\lambda_1 \leq 1 + \frac{Z_{\mu 1} - 3460.47}{3460.47 - 2999.61}$$

$$\lambda_1 \leq 1 - \frac{Z_{v1} - 2118.86}{2677.52 - 2118.86}$$

$$\lambda_1 \leq 1 - \frac{Z_{C1} - 23930}{29870 - 23930}$$

$$Z_{\mu 1} = 0.57x_{11} + 0.729x_{21} + 0.755x_{31} + 0.534x_{41} + 0.608x_{51}$$

$$Z_{v1} = 0.595x_{11} + 0.364x_{21} + 0.343x_{31} + 0.587x_{41} + 0.543x_{51}$$

$$Z_{C1} = 4.5x_{11} + 6.3x_{21} + 6.1x_{31} + 3.1x_{41} + 5.8x_{51}$$

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} = 5000$$

$$0.25x_{11} + 0.2x_{21} + 0.1x_{31} + 0.35x_{41} + 0.15x_{51} \leq 12$$

$$0.1x_{11} + 0.25x_{21} + 0.25x_{31} + 0.15x_{41} + 0.1x_{51} \leq 18$$

$$x_{11} \geq 100y_{11}, x_{21} \geq 150y_{21}, x_{31} \geq 150y_{31},$$

$$x_{41} \geq 100y_{41}, x_{51} \geq 100y_{51}$$

$$x_{11} \leq 1200y_{11}, x_{21} \leq 1500y_{21}, x_{31} \leq 1700y_{31},$$

$$x_{41} \leq 1400y_{41}, x_{51} \leq 1500y_{51}$$

$$x_{11}, x_{21}, x_{31}, x_{41}, x_{51} \geq 0$$

$$y_{11}, y_{21}, y_{31}, y_{41}, y_{51} \in \{0,1\}$$

مدل ۲:

$$Max \lambda_2$$

Subject to:

یک مدل چندهدفه مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی و مجموعه‌های فازی فیناغورثی...؛ کشاورز قرابائی | ۳۳

$$\lambda_2 \leq 1 + \frac{Z_{\mu 2} - 3831.36}{3831.36 - 3322.13}$$

$$\lambda_2 \leq 1 - \frac{Z_{\nu 2} - 2699.30}{3062.23 - 2699.30}$$

$$\lambda_2 \leq 1 - \frac{Z_{C2} - 23930}{29870 - 23930}$$

$$Z_{\mu 2} = 0.631x_{12} + 0.807x_{22} + 0.836x_{32} + 0.592x_{42} + 0.673x_{52}$$

$$Z_{\nu 2} = 0.656x_{12} + 0.502x_{22} + 0.487x_{32} + 0.641x_{42} + 0.617x_{52}$$

$$Z_{C2} = 4.5x_1 + 6.3x_2 + 6.1x_3 + 3.1x_4 + 5.8x_5$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} = 5000$$

$$0.25x_{12} + 0.2x_{22} + 0.1x_{32} + 0.35x_{42} + 0.15x_{52} \leq 12$$

$$0.1x_{12} + 0.25x_{22} + 0.25x_{32} + 0.15x_{42} + 0.1x_{52} \leq 18$$

$$x_{12} \geq 100y_{12}, x_{22} \geq 150y_{22}, x_{32} \geq 150y_{32},$$

$$x_{42} \geq 100y_{42}, x_{52} \geq 100y_{52}$$

$$x_{12} \leq 1200y_{12}, x_{22} \leq 1500y_{22}, x_{32} \leq 1700y_{32},$$

$$x_{42} \leq 1400y_{42}, x_{52} \leq 1500y_{52}$$

$$x_{12}, x_{22}, x_{32}, x_{42}, x_{52} \geq 0$$

$$y_{12}, y_{22}, y_{32}, y_{42}, y_{52} \in \{0,1\}$$

لازم به ذکر است همان‌طور که در بخش قبل نیز بیان شد، مقادیر Z^{min} و Z^{max} برای هر کدام از توابع هدف با حل تک هدفه مدل با در نظر گرفتن تابع هدف مربوطه به دست می‌آید. با حل دو مدل فوق مشخص می‌شود که شرکت می‌بایست از کدام تأمین‌کنندگان و به چه مقدار سفارش دهد تا توابع هدف در نظر گرفته‌شده بهینه گردند. مقادیر متغیرهای سفارش و همچنین توابع هدف در جدول ۶ ارائه شده است. با توجه به حداقل و حداکثر مقدار به دست آمده برای هر یک از متغیرها می‌توان یک بازه برای آن‌ها ارائه داد. هرچند باید توجه داشت که در مسائل با اندازه کوچک، همچون مسئله در نظر گرفته‌شده در تحقیق حاضر، نمی‌توان انتظار بازه‌های با گستره بالا را داشت. با این حال خروجی این مدل نشان‌دهنده این است که مدل ارائه‌شده می‌تواند در عمل برای تصمیم‌گیری با ارزیابی‌های

غیرقطعی برای تأمین‌کنندگان کاربردی باشد.

جدول ۶. مقادیر به‌دست‌آمده برای متغیرها و توابع هدف

متغیر	مقدار متغیر	بازه متغیر
x_1	x_{11}	566.45
	x_{12}	567.3
x_2	x_{21}	1333.55
	x_{22}	1332.7
x_3	x_{31}	1700
	x_{32}	1700
x_4	x_{41}	1400
	x_{42}	1400
x_5	x_{51}	0
	x_{52}	0
Z_μ	$Z_{\mu 1}$	3326.219
	$Z_{\mu 2}$	3683.147
Z_v	$Z_{v 1}$	2225.532
	$Z_{v 2}$	2767.358
Z_c	$Z_{c 1}$	25660.38
	$Z_{c 2}$	25658.87

همان‌طور که از جدول ۶ مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار سفارش مربوط به تأمین‌کننده سوم است و با توجه به اینکه از حداکثر ظرفیت این تأمین‌کننده استفاده شده است بازه مربوطه به یک نقطه تبدیل شده است. این موضوع در مورد تأمین‌کننده چهارم که پس از آن بیشترین حجم سفارش را به خود تخصیص داده است نیز وجود دارد. تأمین‌کننده دوم پس از این دو قرار گرفته است و با توجه به دو مدل حل شده یک بازه اطمینان برای آن ارائه شده است. برای تأمین‌کننده اول نیز با حل دو مدل یک بازه سفارش دهی به‌دست‌آمده است. در این بین به تأمین‌کننده پنجم هیچ حجمی تخصیص داده نشده است. این موضوع نشان‌دهنده عدم انتخاب این تأمین‌کننده با توجه به پارامترهای مسئله است ($y_5 = 0$).

جهت تحلیل بیشتر یافته‌ها در ادامه به بررسی تأثیر تغییرات وزن‌های شاخص‌ها بر مقدار متغیرهای اصلی و همین‌طور تابع هزینه پرداخته می‌شود. بدین منظور به‌جای استفاده

یک مدل چندهدفه مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی و مجموعه‌های فازی فیناغورثی ...؛ کشاورز قرابائی | ۳۵

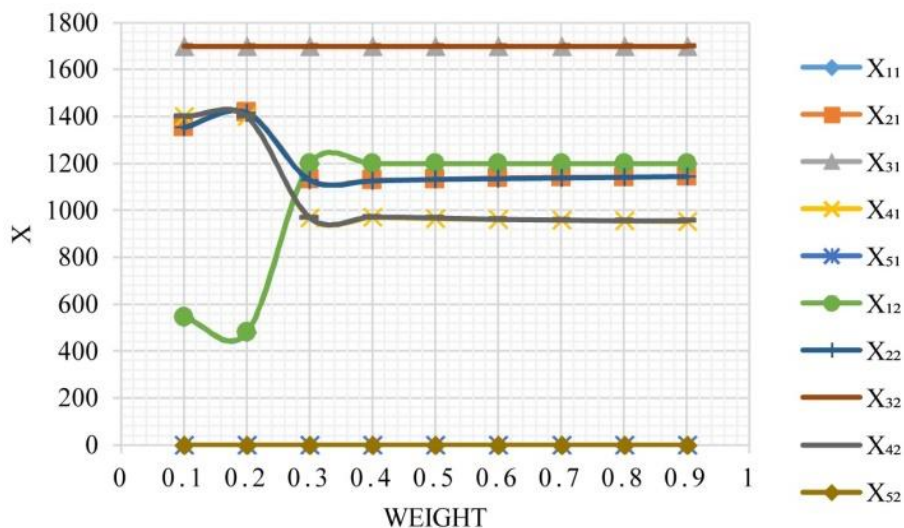
از وزن‌های به‌دست‌آمده از روش کریتیک، وزن هر شاخص با ثابت نگه‌داشتن وزن سایر شاخص‌ها تغییر داده می‌شود. برای انجام این کار وزن شاخص موردنظر را برابر w_g در نظر گرفته و برای محاسبه وزن سایر شاخص‌ها از رابطه زیر استفاده می‌شود. در اینجا نه مقدار (از ۰/۱ تا ۰/۹) برای هر شاخص در نظر گرفته می‌شود.

$$w_j = \frac{1 - w_g}{m - 1} \quad j \in \{1, 2, \dots, m\}, \quad j \neq g \quad (63)$$

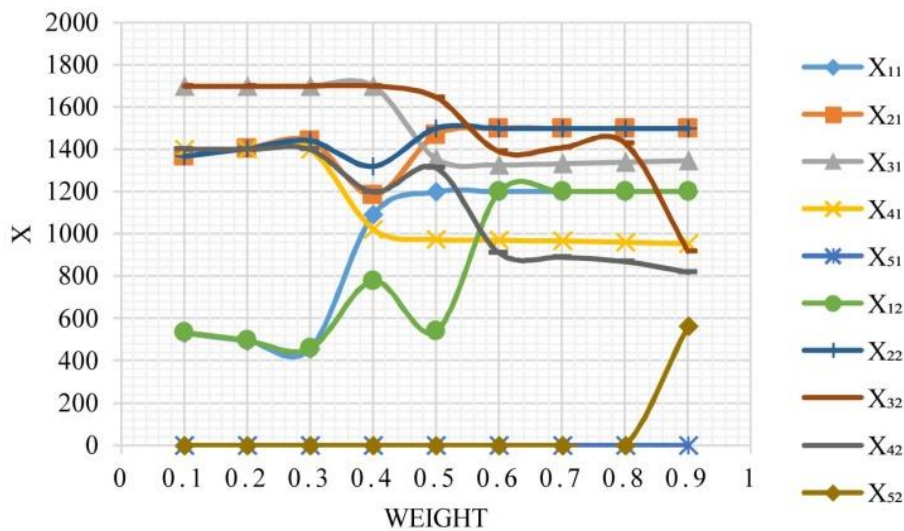
شکل ۲ نشان‌دهنده مقادیر متغیرها با توجه به تغییرات مربوط به شاخص «آلودگی محیط‌زیست» (C_1) می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ابتدا با افزایش وزن این شاخص تغییراتی در مقدار متغیرها به وجود می‌آید، اما در مقادیر بیش از ۰/۳ مقادیر به ثبات می‌رسند. همچنین می‌توان دید که حدود بالا و پایین درجه‌های عضویت و عدم عضویت (مدل‌های ۱ و ۲) تأثیری در تعیین مقادیر متغیرها در این شاخص ندارند.

تغییرات متغیرها با توجه به تغییر شاخص «مصرف منابع» (C_2) در شکل ۳ تصویر شده است. با تغییر وزن این شاخص تغییرات زیادی در مقدار متغیرها مشاهده می‌شود. علاوه بر این، تغییرات در وزن این شاخص در مقادیر متغیرهای به‌دست‌آمده از حدود بالا و پایین درجه‌های عضویت و عدم عضویت (مدل‌های ۱ و ۲) نیز تأثیر داشته است. این موضوع نشان‌دهنده این است که تصمیم‌گیرندگان باید در تعیین وزن این شاخص دقت بالایی را در نظر بگیرند.

شکل ۲. مقادیر متغیرها با توجه به تغییرات C_1



شکل ۳. مقادیر متغیرها با توجه به تغییرات C_2



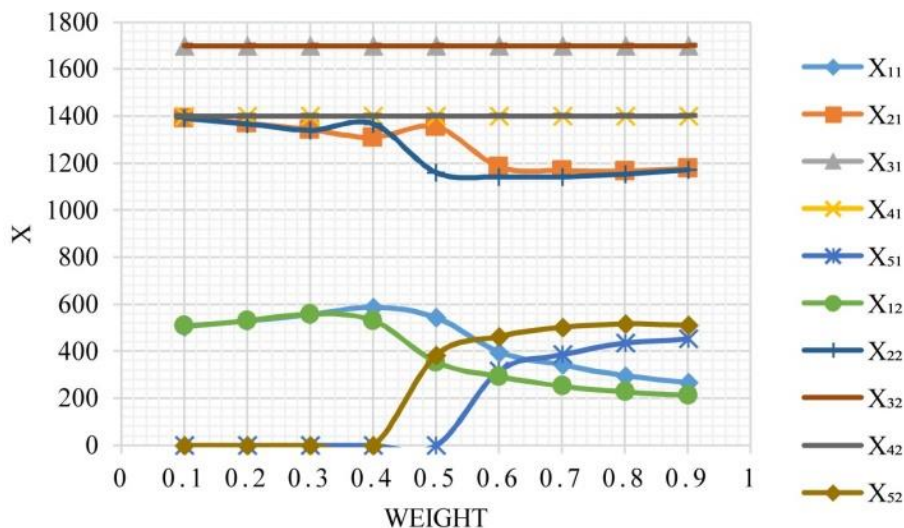
نتایج به دست آمده از تغییر وزن شاخص «نوآوری اکولوژیکی» (C_3) در شکل ۴ قابل مشاهده است. تأثیر تغییر در وزن این شاخص مانند شاخص C_2 شدید نیست، اما تغییراتی در مقادیر متغیرهای X_1 ، X_4 و X_5 مشاهده می شود که می بایست در فرایند

یک مدل چندهدفه مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی و مجموعه‌های فازی فیناغورثی ...؛ کشاورز قرابائی | ۳۷

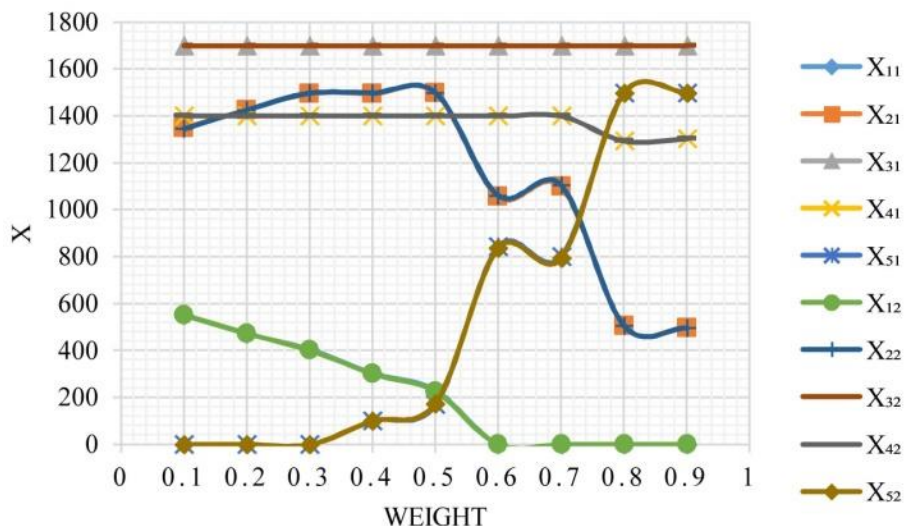
تصمیم‌گیری به آن توجه داشت. گرچه نوع تغییرات مشاهده شده از نوع تغییرات نامنظم نیست با این حال این تغییرات در مقادیر به دست آمده از حدود بالا و پایین درجه‌های عضویت و عدم عضویت (مدل‌های ۱ و ۲) مربوط به متغیرها نیز اثرگذار بوده است.

شکل ۵ نشان‌دهنده تأثیر تغییرات وزن شاخص «سیستم مدیریت محیط‌زیست» (C_4) روی مقدار متغیرها می‌باشد. تغییر وزن این شاخص باعث تغییرات بسیار شدید در مقادیر متغیرهای X_2 و X_5 شده است. طوری که مقدار متغیر X_2 از حدود ۱۴۰۰ به حدود ۴۰۰ کاهش پیدا کرده و مقدار متغیر X_5 از حدود صفر به بیش از ۱۴۰۰ افزایش پیدا کرده است. تغییرات این شاخص نشان‌دهنده اثر شدید آن بر انتخاب برخی از تأمین‌کنندگان می‌باشد که باید در فرایند تصمیم‌گیری به آن توجه نمود. در اینجا تأثیر قابل توجهی در مقادیر متغیرهای به دست آمده با توجه به حدود بالا و پایین درجه‌های عضویت و عدم عضویت (مدل‌های ۱ و ۲) مشاهده نمی‌شود.

شکل ۴. مقادیر متغیرها با توجه به تغییرات C_3

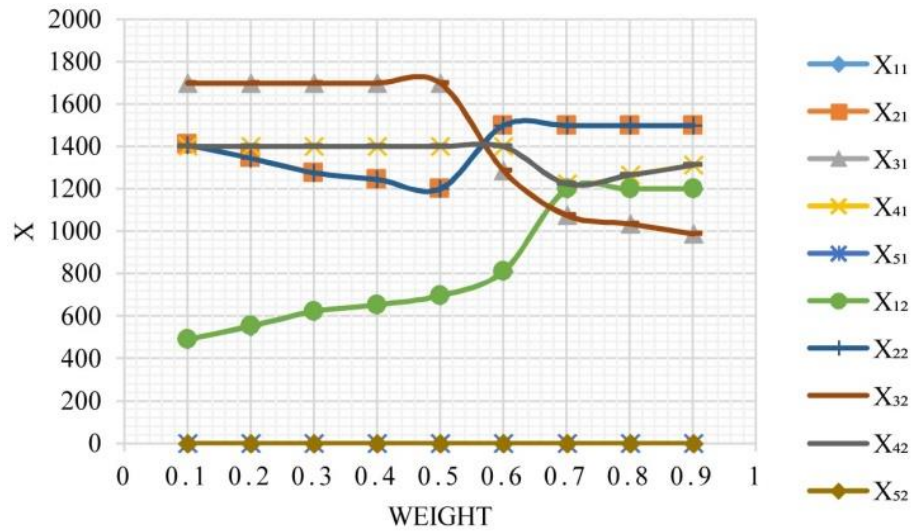


شکل ۵. مقادیر متغیرها با توجه به تغییرات C_4



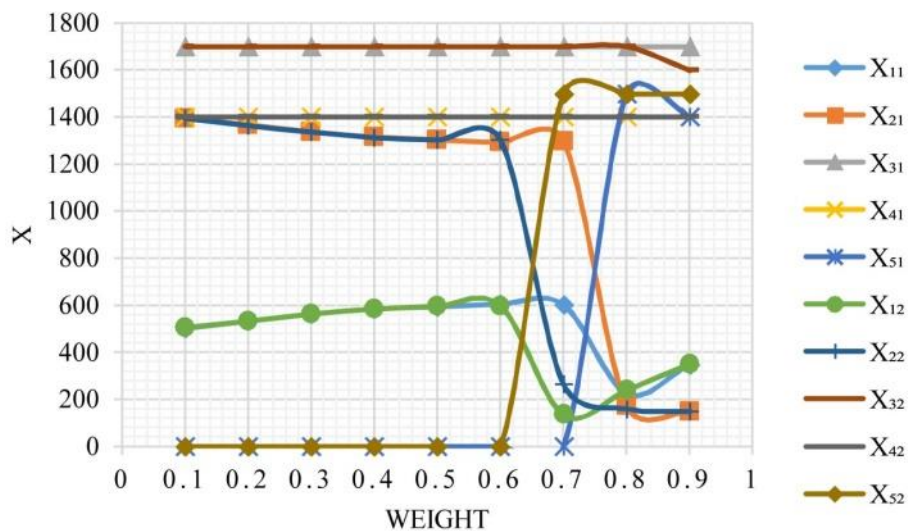
در شکل ۶ می‌توان اثر تغییرات در وزن شاخص «تعهد مدیران به بهبودهای محیط زیستی» (C_5) بر مقدار متغیرها را مشاهده کرد. در اینجا سطح مقداری دو متغیر X_1 و X_3 دچار تغییرات قابل توجهی شده است. گرچه میزان این تغییرات به اندازه تغییرات شکل ۵ نیست، اما چنین تغییراتی در تصمیم‌گیری در انتخاب تأمین‌کننده موردنظر اثرگذار خواهد بود. همچون شاخص قبل در این شکل حدود بالا و پایین درجه‌های عضویت و عدم عضویت (مدل‌های ۱ و ۲) تأثیر قابل توجهی در مقادیر متغیرهای به‌دست آمده نداشته‌اند.

شکل ۶. مقادیر متغیرها با توجه به تغییرات C_5



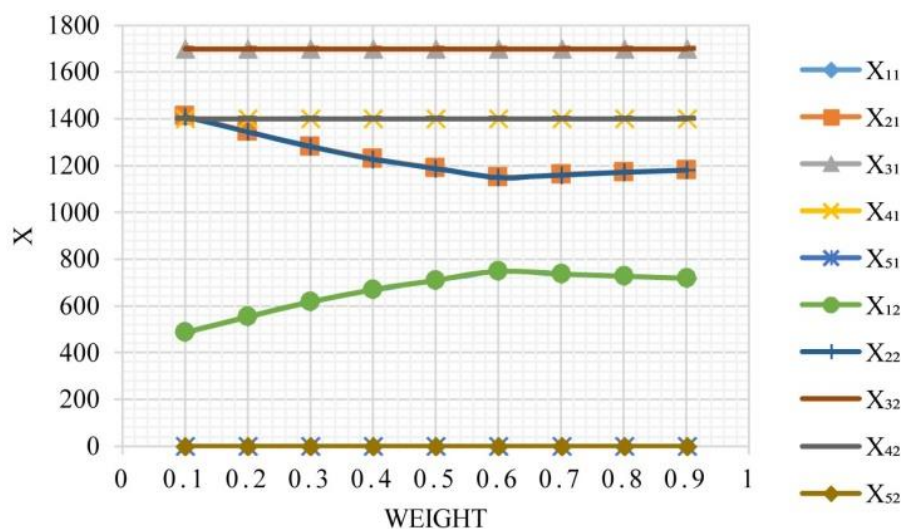
با تغییر وزن شاخص «استفاده از تکنولوژی‌های سبز در فرآیندهای تولید» (C_6) تغییراتی در مقادیر به دست آمده از متغیرها به وجود می‌آید که در شکل ۷ نشان داده شده است. بیشترین تغییرات مربوط به متغیرهای X_5 و X_2 می‌باشند. در این شکل می‌توان تأثیر حدود بالا و پایین درجه‌های عضویت و عدم عضویت (مدل‌های ۱ و ۲) بر مقادیر متغیرها را مشاهده نمود. با توجه به تغییرات مشاهده شده تصمیم‌گیرندگان توجه ویژه‌ای به وزن دهی این شاخص در هنگام انتخاب تأمین‌کنندگان دوم و پنجم داشته باشند.

شکل ۷. مقادیر متغیرها با توجه به تغییرات C_6



آخرین شاخص «استفاده از مواد سبز در فرآیندهای تولید» (C_7) می‌باشد که اثر تغییرات وزن آن در شکل ۸ نشان داده شده است. با تغییرات وزن این شاخص تغییراتی در مقدار متغیرهای X_1 و X_2 مشاهده شده و دیگر متغیرها ثابت هستند. حدود بالا و پایین درجه‌های عضویت و عدم عضویت (مدل‌های ۱ و ۲) نیز تأثیری در تغییر مقادیر به دست آمده ندارند. می‌توان نتیجه گرفت که همه تأمین کنندگان در سطحی نسبتاً متعادل از نظر این شاخص قرار دارند و تغییرات وزنی شاخص اثر قابل توجهی در فرایند انتخاب آن‌ها نخواهد داشت.

شکل ۸. مقادیر متغیرها با توجه به تغییرات C_7



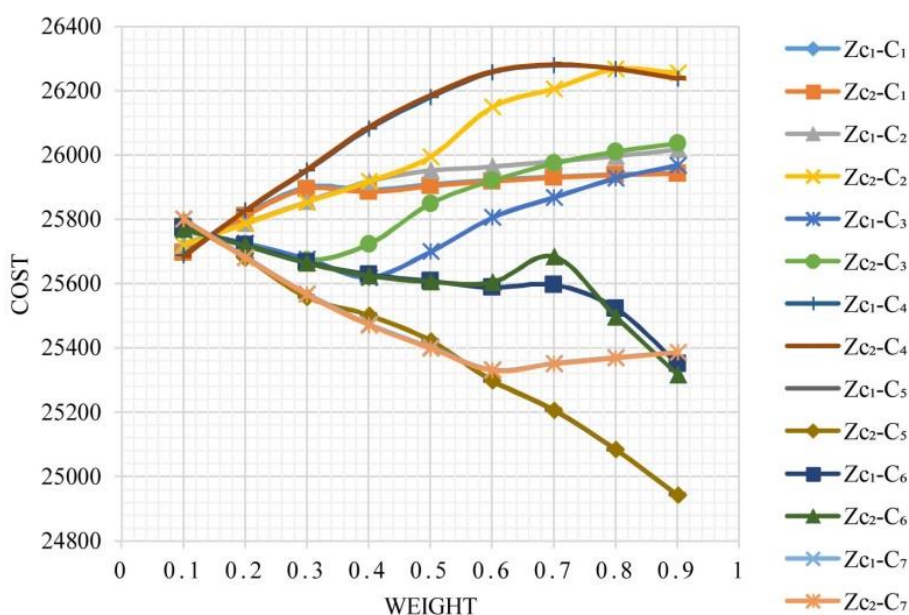
با توجه به اهمیت تابع هدف هزینه در فرایند تصمیم‌گیری، اثر تغییرات وزن شاخص‌ها بر این تابع در شکل ۹ ارائه شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، تغییرات وزن شاخص‌ها می‌تواند اثری کاهشی و یا افزایشی روی تابع هزینه داشته باشد. به‌طور مثال شاخص‌های C_2 و C_3 اثری افزایشی بر تابع هزینه داشته درحالی‌که شاخص‌های C_5 و C_7 اثری کاهشی بر این تابع داشته است. علاوه بر این درجه عدم اطمینان نظرات تصمیم‌گیرندگان که تعیین‌کننده حدود بالا و پایین درجه‌های عضویت و عدم عضویت (مدل‌های ۱ و ۲) می‌باشند نیز در میزان افزایش یا کاهش این تابع بسیار تأثیرگذار بوده است. نمونه‌های این تأثیرگذاری را می‌توان در شاخص‌های C_2 و C_3 مشاهده نمود.

بحث و نتیجه‌گیری

انتخاب تأمین‌کننده مناسب و تخصیص صحیح سفارش‌ها، یکی از کلیدی‌ترین مراحل در فرآیند مدیریت زنجیره تأمین است. این تصمیم‌ها، تأثیر بسزایی در کیفیت محصولات نهایی، هزینه‌ها و کارایی کلی سیستم دارد. با توجه به رقابت فزاینده در بازار و نیاز به تحقق تعهدات زیست‌محیطی و اجتماعی، نیاز به روش‌هایی دقیق و علمی برای ارزیابی و انتخاب

تأمین کنندگان بیش از پیش احساس می شود. اتخاذ تصمیمات نادرست در این مرحله می تواند منجر به کاهش کیفیت کالاها، افزایش هزینه ها و در نهایت به کاهش رضایت مشتریان و کاهش سهم بازار منجر شوند. از این رو، بررسی و به کارگیری روش های جدید و کارآمد برای این منظور از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

شکل ۹. مقادیر تابع هزینه با توجه به تغییرات شاخص ها



تحقیق حاضر باهدف توسعه یک رویکرد تصمیم گیری گروهی برای انتخاب تأمین کننده و تخصیص سفارش ها، به طور قابل توجهی به بهبود فرآیند ارزیابی و تصمیم گیری کمک می کند. یکی از مزایای اصلی این رویکرد، تلفیق ارزیابی ذهنی تأمین کنندگان با یک فرآیند دقیق برای تبدیل این ارزیابی ها به مجموعه های فازی فیشاغورثی بازه ای-مقدار است. در این فرآیند، با تعریف مطلوبیت و عدم مطلوبیت به صورت درجه عضویت و عدم عضویت، عدم اطمینان های موجود در ارزیابی های ذهنی به خوبی در نظر گرفته می شود. علاوه بر این، درجه اطمینان پاسخگویی نیز در تعیین بازه های درجه عضویت و عدم عضویت لحاظ می شود که به پوشش کامل تر عدم اطمینان ها در دو سطح زبانی و ذهنی

یک مدل چندهدفه مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی و مجموعه‌های فازی فیناغورثی...؛ کشاورز قرابائی | ۴۳

منجر می‌گردد. در بسیاری از فرآیندهای تصمیم‌گیری، ارزیابی‌های ذهنی به دلیل ماهیت ذهنی و زبانی آن‌ها با سطح بالایی از ابهام و عدم قطعیت همراه هستند. تعریف مطلوبیت و عدم مطلوبیت به صورت درجه عضویت و عدم عضویت، به تصمیم‌گیرندگان این امکان را می‌دهد که نه تنها میزان مطلوبیت هر تأمین‌کننده را با دقت بیشتری اندازه‌گیری کنند، بلکه عدم اطمینان مرتبط با این ارزیابی‌ها را نیز به‌طور مستقیم در فرآیند تصمیم‌گیری لحاظ کنند. همچنین، در نظر گرفتن درجه اطمینان پاسخگویی به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا تفاوت‌های احتمالی در سطح اطمینان افراد مختلف را در ارزیابی‌های خود منعکس کنند. این امر باعث می‌شود که نتایج نهایی نه تنها بر اساس اطلاعات موجود بلکه با در نظر گرفتن سطح عدم اطمینان موجود در این اطلاعات، اتخاذ شوند. با به کارگیری روش کریٹیک برای وزن‌دهی به شاخص‌ها و استفاده از عملگر تجمیع موزون هندسی انیشتین، عملکرد نهایی تأمین‌کنندگان به‌طور دقیق و قابل اعتماد محاسبه می‌شود. این عملکردها، همراه با پارامترهای تخصیص سفارش، در قالب یک مدل چندهدفه ترکیب‌شده و با استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی فازی حل می‌شوند. این مجموعه از رویکردها و تکنیک‌ها، این تحقیق را به ابزاری قدرتمند برای بهینه‌سازی فرآیند انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش‌ها تبدیل کرده است که در نهایت به تصمیمات دقیق‌تر و کارآمدتر منجر می‌شود. برای بررسی و تحلیل رویکرد پیشنهادی، یک مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش بر اساس شاخص‌های زیست‌محیطی مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر این، یک تحلیل حساسیت بر روی وزن شاخص‌ها انجام شده تا کارایی و منطقی بودن نتایج مورد ارزیابی قرار گیرد. این تحلیل نشان می‌دهد که رویکرد پیشنهادی توانسته است به شکل مؤثری به اهداف تعیین شده دست یابد و نتایج منطقی و کارآمدی را ارائه کند.

باید در نظر داشت که با توجه به محدودیت‌های موجود، در این تحقیق به بررسی عملکرد رویکرد پیشنهادی تنها بر اساس یک مثال کاربردی کوچک پرداخته شده است. برای بررسی تأثیر عدم اطمینان موجود در ارزیابی‌های تصمیم‌گیرندگان، پیشنهاد می‌شود

در تحقیقات آینده رویکرد ارائه شده با پارامترهای غیرقطعی بیشتر و مسائل بزرگ تر بررسی گردد. همچنین می توان تأثیر استفاده از عملگرهای تجمیع فازی دیگری را بر نتایج مورد تحلیل قرار داد. در این تحقیق و در بیان نظرات، وزن تصمیم گیرندگان یکسان در نظر گرفته شد. در تحقیقات آتی می توان با موزون کردن پارامترهای kp_{ij} ، kn_{ij} و α_k اثر وزنی تصمیم گیرندگان را نیز در نظر گرفت. علاوه بر این به جای روش کریتیک می توان از روش های دیگر برای محاسبه وزن شاخص ها استفاده نمود. در نظر گرفتن مدل به صورت چند سطحی، چند محصولی و چند دوره ای و نیز وارد کردن اهداف مربوط به پایداری زنجیره تأمین می تواند به توسعه مدل چندهدفه پیشنهادی کمک کند.

تعارض منافع

نویسنده هیچ گونه تعارض منافی ندارد.

ORCID

Mehdi
Keshavarz-Ghorabae



<https://orcid.org/0000-0002-0362-1633>

References

1. Adam, F., & Humphreys, P. (2008). *Encyclopedia of Decision Making and Decision Support Technologies*: Information Science Reference.
2. Aissaoui, N., Haouari, M., & Hassini, E. (2007). Supplier selection and order lot sizing modeling: A review. *Computers & Operations Research*, 34(12), 3516–3540. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2006.01.016>
3. Ali, H., & Zhang, J. (2023). A fuzzy multi-objective decision-making model for global green supplier selection and order allocation under quantity discounts. *Expert Systems with Applications*, 225, 120119. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120119>
4. Ali, H., Zhang, J., Liu, S., & Shoaib, M. (2023). An integrated decision-making approach for global supplier selection and order allocation to create an environment-friendly supply chain. *Kybernetes*, 52(8), 2649–2671. <https://doi.org/10.1108/K-10-2021-1046>
5. Amin-Tahmasbi, H., & Alfi, S. (2018). A fuzzy multi-criteria decision model for integrated suppliers selection and optimal order allocation in the green supply chain. *Decision Science Letters*, 7(4), 549–566.
6. Aouadni, S., & Euch, J. (2022). Using Integrated MMD-TOPSIS to Solve the Supplier Selection and Fair Order Allocation Problem: A Tunisian Case Study. *Logistics*, 6(1), 8. <https://doi.org/10.3390/logistics6010008>
7. Atanassov, K. T. (2013). *Intuitionistic Fuzzy Sets: Theory and Applications*: Physica-Verlag HD.
8. Babbar, C., & Amin, S. H. (2018). A multi-objective mathematical model integrating environmental concerns for supplier selection and order allocation based on fuzzy QFD in beverages industry. *Expert Systems with Applications*, 92, 27–38. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.09.041>
9. Beiki, H., Mohammad Seyedhosseini, S., V. Ponkratov, V., Olegovna Zekiy, A., & Ivanov, S. A. (2021). Addressing a sustainable supplier selection and order allocation problem by an integrated approach: a case of automobile manufacturing. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 38(4), 239–253. <https://doi.org/10.1080/21681015.2021.1877202>
10. Diakoulaki, D., Mavrotas, G., & Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: The CRITIC method. *Computers & Operations Research*, 22(7), 763–770. [http://dx.doi.org/10.1016/0305-0548\(94\)00059-H](http://dx.doi.org/10.1016/0305-0548(94)00059-H)
11. Duan, C.-Y., Liu, H.-C., Zhang, L.-J., & Shi, H. (2019). An Extended Alternative Queuing Method with Linguistic Z-numbers and Its Application for Green Supplier Selection and Order Allocation.

- International Journal of Fuzzy Systems*, 21(8), 2510–2523.
<https://doi.org/10.1007/s40815-019-00717-8>
12. Feng, J., & Gong, Z. (2020). Integrated linguistic entropy weight method and multi-objective programming model for supplier selection and order allocation in a circular economy: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 277, 122597.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122597>
 13. Gai, L., Liu, H.-c., Wang, Y., & Xing, Y. (2023). Green supplier selection and order allocation using linguistic Z-numbers MULTIMOORA method and bi-objective non-linear programming. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 22(2), 267–288.
<https://doi.org/10.1007/s10700-022-09392-1>
 14. Gören, H. G. (2018). A decision framework for sustainable supplier selection and order allocation with lost sales. *Journal of Cleaner Production*, 183, 1156–1169.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.211>
 15. Goudarzi, A., & Gholamian, M. R. (2024). An integrated GBWM-PROMETHEE-CLOUD & MCGP model for green supplier selection and order allocation (GSSOA) in an oil refinery. *Journal of Cleaner Production*, 440, 140782.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140782>
 16. Govindan, K., Rajendran, S., Sarkis, J., & Murugesan, P. (2015). Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, 98, 66–83. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.046>
 17. Hemmati, M., & Pasandideh, S. H. R. (2021). A bi-objective supplier location, supplier selection and order allocation problem with green constraints: scenario-based approach. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12(8), 8205–8228.
<https://doi.org/10.1007/s12652-020-02555-1>
 18. Hosseini, Z. S., Flapper, S. D., & Pirayesh, M. (2022). Sustainable supplier selection and order allocation under demand, supplier availability and supplier grading uncertainties. *Computers & Industrial Engineering*, 165, 107811.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107811>
 19. Khalili Nasr, A., Tavana, M., Alavi, B., & Mina, H. (2021). A novel fuzzy multi-objective circular supplier selection and order allocation model for sustainable closed-loop supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 287, 124994.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124994>
 20. Khalilzadeh, M., Karami, A., & Hajikhani, A. (2020). The multi-objective supplier selection problem with fuzzy parameters and

- solving the order allocation problem with coverage. *Journal of Modelling in Management*, 15(3), 705–725. <https://doi.org/10.1108/JM2-04-2018-0049>
21. Khoshfetrat, S., Rahiminezhad Galankashi, M., & Almasi, M. (2020). Sustainable supplier selection and order allocation: a fuzzy approach. *Engineering Optimization*, 52(9), 1494–1507. <https://doi.org/10.1080/0305215X.2019.1663185>
 22. Kilic, H. S., & Yalcin, A. S. (2020). Modified two-phase fuzzy goal programming integrated with IF-TOPSIS for green supplier selection. *Applied Soft Computing*, 93, 106371. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106371>
 23. Liaqait, R. A., Warsi, S. S., Agha, M. H., Zahid, T., & Becker, T. (2022). A multi-criteria decision framework for sustainable supplier selection and order allocation using multi-objective optimization and fuzzy approach. *Engineering Optimization*, 54(6), 928–948. <https://doi.org/10.1080/0305215X.2021.1901898>
 24. Lo, H.-W., Liou, J. J. H., Wang, H.-S., & Tsai, Y.-S. (2018). An integrated model for solving problems in green supplier selection and order allocation. *Journal of Cleaner Production*, 190, 339–352. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.105>
 25. Mohammed, A., Bai, C., Channouf, N., Ahmed, T. A., & Mohamed, S. M. (2023). G-resilient multi-tier supplier selection and order allocation in food industry: a hybrid methodology. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 10(1), 2195055. <https://doi.org/10.1080/23302674.2023.2195055>
 26. Mohammed, A., Harris, I., & Govindan, K. (2019). A hybrid MCDM-FMOO approach for sustainable supplier selection and order allocation. *International Journal of Production Economics*, 217, 171–184. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.02.003>
 27. Mohammed, A., Setchi, R., Filip, M., Harris, I., & Li, X. (2018). An integrated methodology for a sustainable two-stage supplier selection and order allocation problem. *Journal of Cleaner Production*, 192, 99–114. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.131>
 28. Nielsen, I., Banaeian, N., Golińska, P., Mobli, H., & Omid, M. (2014). Green Supplier Selection Criteria: From a Literature Review to a Flexible Framework for Determination of Suitable Criteria. In P. Golinska (Ed.), *Logistics Operations, Supply Chain Management and Sustainability* (pp. 79-99): Springer International Publishing.
 29. Park, K., Okudan Kremer, G. E., & Ma, J. (2018). A regional information-based multi-attribute and multi-objective decision-making approach for sustainable supplier selection and order allocation. *Journal of Cleaner Production*, 187, 590–604.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.035>

30. Peng, X., & Yang, Y. (2016). Fundamental Properties of Interval-Valued Pythagorean Fuzzy Aggregation Operators. *International Journal of Intelligent Systems*, 31(5), 444-487. <https://doi.org/10.1002/int.21790>
31. Rabieh, M., Fadaei Rafsanjani, A., Babaei, L., & Esmaeili, M. (2019). Sustainable supplier selection and order allocation: An integrated delphi method, fuzzy TOPSIS and multi-objective programming model. *Scientia Iranica*, 26(4), 2524–2540.
32. Rahman, K., Ali, A., & Abdullah, S. (2020). Multiattribute group decision making based on interval-valued Pythagorean fuzzy Einstein geometric aggregation operators. *Granular Computing*, 5(3), 361–372. <https://doi.org/10.1007/s41066-019-00154-w>
33. Rezaei, A., Rahiminezhad Galankashi, M., Mansoorzadeh, S., & Mokhatab Rafiei, F. (2020). Supplier Selection and Order Allocation with Lean Manufacturing Criteria: An Integrated MCDM and Bi-objective Modelling Approach. *Engineering Management Journal*, 32(4), 253–271. <https://doi.org/10.1080/10429247.2020.1753490>
34. Sadeghi, A. (2018). An integrated FAHP and multi-objective programming approach for green supplier selection and order allocation considering green vehicle routing problem. *International Journal of Management Concepts and Philosophy*, 11(2), 156–171.
35. Sahebjamnia, N. (2020). Resilient supplier selection and order allocation under uncertainty. *Scientia Iranica*, 27(1), 411–426.
36. Shidpour, H., Shidpour, M., & Tirkolaee, E. B. (2023). A multi-phase decision-making approach for supplier selection and order allocation with corporate social responsibility. *Applied Soft Computing*, 149, 110946. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110946>
37. Tirkolaee, 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>
38. Vaezi, A., Rabbani, E., & Yazdian, S. A. (2024). Blockchain-integrated sustainable supplier selection and order allocation: A hybrid BWM-MULTIMOORA and bi-objective programming approach. *Journal of Cleaner Production*, 444, 141216. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141216>
39. Wang, C., Yang, Q., & Dai, S. (2020). Supplier Selection and Order Allocation under a Carbon Emission Trading Scheme: A Case Study from China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1). <https://doi.org/10.3390/ijerph17010111>

40. Wu, C., Gao, J., & Barnes, D. (2023). Sustainable partner selection and order allocation for strategic items: an integrated multi-stage decision-making model. *International Journal of Production Research*, 61(4), 1076–1100. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2025945>
41. Zhao, P., Ji, S., & Xue, Y. (2023). An integrated approach based on the decision-theoretic rough set for resilient-sustainable supplier selection and order allocation. *Kybernetes*, 52(3), 774–808. <https://doi.org/10.1108/K-11-2020-0821>
42. Zimmermann, H. J. (1978). Fuzzy programming and linear programming with several objective functions. *Fuzzy Sets and Systems*, 1(1), 45–55. [http://dx.doi.org/10.1016/0165-0114\(78\)90031-3](http://dx.doi.org/10.1016/0165-0114(78)90031-3)

استناد به این مقاله: کشاورز قرابائی، مهدی. (۱۴۰۳). یک مدل چندهدفه مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی و مجموعه‌های فازی فیناگورثی بازه‌ای-مقدار برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش، مدیریت صنعتی، ۲۲(۷۴)، ۱-۴۹. DOI: 10.22054/jims.2024.80903.2926



Industrial Management Studies is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.