Industrial Management Studies
Vol. 22, No.74, Fall 2024; P 1-49
jims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/jims.2024.80903.2926

ATU PRESS

Original Research
Accepted:22/9/2024
Revised: 2/9/2024
Received: 19/7/2024
eISSN: 2476-602X
ISSN: 2251/8029

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 Ghorabaee *

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 Ghorabaee, 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

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.

مقاله پژوهشی
تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۴/۲۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۶/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۱
ISSN: 2251/8029
eISSN: 2476-602X

مطالعات مدیریت صنعتی
سال بیست و دوم، شماره ۷۴، پاییز ۱۴۰۳، ص ۱ تا ۴۹
jims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/jims.2024.80903.2926

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

مهدی کشاورز قرابائی * استادیار، گروه مدیریت، دانشکده علوم انسانی آزادشهر، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

چکیده

انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش یکی از مهم‌ترین مسائل در مدیریت زنجیره تأمین است که می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی 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 کمّی 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 به‌صورت مجموعه فازی فیثاغورثی بازه‌ای-مقدار محاسبه می‌شود. در گام بعد یک مدل چندهدفه با توجه به پارامترهای تخصیص سفارش و عملکردهای به‌دست‌آمده از تأمین‌کنندگان برای مسئله فرموله می‌شود. درنهایت از تکنیک برنامه‌ریزی فازی جهت حل مدل چندهدفه استفاده می‌شود. به‌منظور تحلیل کارایی رویکرد پیشنهادی، یک مثال کاربردی بر اساس شاخص‌های زیست‌محیطی در نظر گرفته‌شده 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.

* نویسنده مسئول: m.keshavarz@gonbad.ac.ir

مقدمه

حرکت سریع به‌سوی جهانی‌شدن، 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 تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان، خرده‌فروشان و مشتریان است که از خرید مواد اولیه آغازشده 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. درنهایت، در سطح عملیاتی، تصمیم‌گیری‌هایی مانند زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل در نظر گرفته می‌شود. شش فرآیند تصمیم‌گیری عمده در فرایند 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 قابل‌توجهی 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، تصمیم بهینه را شناسایی کنند؛ بنابراین، نیاز دارند که طرف تأمین

را با انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش‌ها به‌صورت 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. ازاین‌رو، سازمان‌ها برای کاهش هزینه‌ها، بهبود کیفیت محصولات خود و یا تمرکز بر یک بخش خاص از عملیات خود، به‌طور قابل‌توجهی 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 ازنظر 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 (Tirkolaee 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 درنتیجه 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 کمّی، 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 به‌دست‌آمده، عملکرد نهایی هر تأمین‌کننده به‌صورت یک مجموعه فازی محاسبه و رتبه‌بندی می‌شود. سپس، داده‌های به‌دست‌آمده در یک مدل چندهدفه ترکیب می‌شوند و با استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی فازی، مسئله بهینه‌سازی تخصیص سفارش‌ها حل و نهایی می‌گردد. درنهایت، 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

موردبررسی قرار می‌گیرد. در پایان، ویژگی‌ها و دستاوردهای پژوهش تحلیل‌شده 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[1] 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[2] فازی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان ازنظر عملکرد، (۳) فرمول‌بندی یک مدل چندهدفه برای بهینه‌سازی تخصیص سفارش‌ها و (۴) استفاده از روش تاپسیس برای به‌دست‌آوردن راه‌حل نهایی. گورن[3] (۲۰۱۸) به بررسی انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش‌های پایدار در زنجیره تأمین پرداخته است. او از روش دیمتل[4] 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[5] 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[1] (۲۰۱۸) یک مدل تصمیم‌گیری برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش‌ها در زنجیره تأمین سبز با رویکرد بهینه‌سازی فازی ارائه کردند. مسئله به‌صورت 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 درنهایت مقدار سفارش هر تأمین‌کننده تعیین شود. بابار و امین[2] (۲۰۱۸) مدل ریاضی جدیدی برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تعیین مقدار سفارش‌ها ارائه داده‌اند. مدل پیشنهادی شامل تحلیل توسعه عملکرد کیفیت[3] دومرحله‌ای و مدل ریاضی چندهدفه تصادفی می‌باشد. اعداد فازی ذوزنقه‌ای نیز برای مواجه با عدم اطمینان به کار گرفته شده‌اند. صادقی[4] (۲۰۱۸) یک رویکرد دومرحله‌ای بر اساس فرآیند تحلیل سلسله مراتبی 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 به‌دست‌آمده نشان‌دهنده اثربخشی مدل پیشنهادی می‌باشد. لو[5] 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.

ربیعه[6] 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

سفارش‌ها باهدف بهینه‌سازی پایداری ارائه کردند. با استفاده از روش دلفی، مجموعه‌ای از شاخص‌ها در جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شناسایی‌شده و سپس، برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش‌ها ارائه‌شده است. دوان[1] و همکاران (۲۰۱۹) مدل جدیدی را برای انتخاب تأمین‌کنندگان سبز و تخصیص سفارش توسعه داده‌اند که شامل ترکیبی از اعداد Z، روش صف‌بندی آلترناتیو[2] و مدل برنامه‌ریزی چندهدفه می‌باشد. مدل پیشنهادی از اعداد Z برای ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان، تکنیک اسوارا[3] برای محاسبه وزن شاخص‌ها و روش صف‌بندی آلترناتیو برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان استفاده می‌کند. محمد[4] 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 توسعه‌یافته است. خوش‌فطرت[5] 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 تعیین‌شده و همچنین روند انتخاب تأمین‌کنندگان از طریق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی 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[6] و همکاران (۲۰۲۰) یک مدل یکپارچه تصمیم‌گیری دوهدفه برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش در تولید ناب ارائه داده‌اند. معیارهای مرتبط با تولید ناب استخراج‌شده و با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی، تأمین‌کنندگان مناسب انتخاب‌شده‌اند. درنهایت، یک مدل ریاضی

1 Duan
2 Alternative Queuing Method (AQM)
3 SWARA
4 Mohammed
5 Khoshfetrat
6 Rezaei

دوهدفه برای تخصیص بهینه سفارش توسعه یافته است.

فنگ و گنگ[1] (۲۰۲۰) مدل یکپارچه‌ای را با ترکیب روش وزن دهی آنتروپی زبانی[2] و برنامه‌ریزی چندهدفه برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش در اقتصاد چرخشی پیشنهاد کرده‌اند. سیستم جامعی از معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان سبز ایجادشده 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[3] 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. به‌علاوه، 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[4] 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، حمل‌ونقل، سفارش، تحویل و وزن تأمین‌کنندگان لحاظ شده است. رویکرد فازی تاپسیس برای تعیین وزن تأمین‌کنندگان استفاده و پارامترها به‌صورت اعداد فازی مثلثی در نظر گرفته شده است. کیلیک و یالچین[5] (۲۰۲۰) روش‌شناسی یکپارچه‌ای شامل تاپسیس فازی شهودی و مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی دومرحله‌ای پیشنهاد کرده‌اند. وزن شاخص‌ها از تاپسیس فازی شهودی تعیین‌شده و این وزن‌ها در مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی به‌کار می‌روند تا بهترین تأمین‌کنندگان انتخاب شوند. تیرکلایی[6] 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 Tirkolaee

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[1] 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[2] (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 استفاده‌شده و با استفاده از تحلیل حساسیت و نمودار تورنادو، تأثیر تغییرات ورودی‌های مدل شده است. خلیلی نصر[3] 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[4] 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 چندحالته یک زنجیره تأمین چندسطحی بهینه شده‌اند. عوادنی و اوچی[5] (۲۰۲۲)

1 Beiki
2 Hemmati and Pasandideh
3 Khalili Nasr
4 Liaqait
5 Aouadni and Euchi

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

شیدپور[1] و همکاران (۲۰۲۳) یک مدل چندهدفه توسعه داده‌اند که علاوه بر معیارهای سنتی، به مسئولیت‌های اجتماعی توجه دارد. تأمین‌کنندگان 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[2] (۲۰۲۳) یک مدل جامع برای انتخاب تأمین‌کنندگان 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[3] و همکاران (۲۰۲۳) یک روش ترکیبی مبتنی بر مدل برنامه‌ریزی چندهدفه فازی برای حل مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش‌ها در محیطی با تقاضا و هزینه‌های نامشخص توسعه دادند. آن‌ها یک رویکرد چند شاخصه برای ارزیابی تأمین‌کنندگان بر اساس معیارهای سنتی، سبز و مقاوم ارائه کرده‌اند. علی[4] و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی انتخاب تأمین‌کنندگان 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 تأمین‌کنندگان است. سپس نتایج به‌دست‌آمده به مدل برنامه‌ریزی چندهدفه وارد می‌شود تا مقدار بهینه سفارش‌ها تخصیص یابد.

ژاو[5] و همکاران (۲۰۲۳) یک روش تلفیقی دومرحله‌ای مبتنی بر مجموعه‌های فازی،

1 Shidpour
2 Ali and Zhang
3 Mohammed
4 Ali
5 Zhao

روش توسعه‌یافته ویکور[1] 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[2] و همکاران (۲۰۲۳) رویکردی دومرحله‌ای برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش در مدیریت زنجیره تأمین سبز توسعه داده‌اند. در مرحله اول، روش مالتی‌مورا[3] 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[4] 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 مالتی‌مورا امتیاز تأمین‌کنندگان را تعیین می‌کند. در مرحله دوم، مدل برنامه‌ریزی مختلط دوهدفه برای انتخاب نهایی تأمین‌کنندگان و تخصیص بهینه سفارش‌ها به آن‌ها به‌کار می‌رود. گودرزی و غلامیان[5] (۲۰۲۴) انتخاب تأمین‌کننده سبز و تخصیص سفارش‌ها بررسی کرده‌اند. محققین با استفاده از ترکیبی از روش پرامتی[6] 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 به‌کار 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 استخراج‌شده 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[1] محاسبه می‌گردد. سپس با استفاده از یک عملگر تجمیع هندسی انیشتین و وزن‌های به‌دست‌آمده، عملکرد هر تأمین‌کننده به‌صورت 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 ارائه‌شده 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 درنهایت مدل چندهدفه پیشنهادی ارائه خواهد شد.

مجموعه فازی فیثاغورثی

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

1 CRITIC

$$P = \{\langle x, \mu_P(x), \nu_P(x)\rangle | x \in X\} \quad (۱)$$

که در آن $\mu_P: X \to [0,1]$ درجه عضویتو $\nu_P: X \to [0,1]$ درجه عدم عضویت عنصر $x \in X$ به مجموعه P هستند، به شرطی که $0 \leq \left(\mu_P(x)\right)^2 + \left(\nu_P(x)\right)^2 \leq 1$باشد.

درجه عدم قطعیت[1] به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\pi_P(x) = \sqrt{1 - \left(\mu_P(x)\right)^2 - \left(\nu_P(x)\right)^2} \quad (۲)$$

مجموعه فازی فیثاغورثی بازه‌ای-مقدار

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

$$\tilde{P} = \{\langle x, \mu_{\tilde{P}}(x), \nu_{\tilde{P}}(x)\rangle | x \in X\} \quad (۳)$$

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

$$\mu_{\tilde{P}}(x) = \left[\mu_{\tilde{P}}^l, \mu_{\tilde{P}}^u\right] \subset [0,1] \quad (۴)$$

$$\nu_{\tilde{P}}(x) = \left[\nu_{\tilde{P}}^l, \nu_{\tilde{P}}^u\right] \subset [0,1] \quad (۵)$$

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

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

$$\pi_{\tilde{P}}(x) = \left[\pi_{\tilde{P}}^l, \pi_{\tilde{P}}^u\right] \subset [0,1] \quad (۶)$$

$$\pi_{\tilde{P}}^l = \sqrt{1 - \left(\mu_{\tilde{P}}^u\right)^2 - \left(\nu_{\tilde{P}}^u\right)^2} \quad (۷)$$

$$\pi_{\tilde{P}}^u = \sqrt{1 - \left(\mu_{\tilde{P}}^l\right)^2 - \left(\nu_{\tilde{P}}^l\right)^2} \quad (۸)$$

برخی عملگرهای فازی فیثاغورثی بازه‌ای-مقدار که در این تحقیق مورداستفاده

1 Indeterminacy

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

- تابع امتیاز: برای مجموعه فرضی $\widetilde{P}$ به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

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

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

$$EWG(\tilde{p}_1,\tilde{p}_2,\tilde{p}_3,\ldots,\tilde{p}_n) = \left(\left[\mu_{EWG}^{l},\mu_{EWG}^{u}\right],\left[\nu_{EWG}^{l},\nu_{EWG}^{u}\right]\right) \quad (۱۰)$$

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

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

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

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

کمّی سازی نظرات تصمیم‌گیرندگان

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

1 Einstein weighted geometric (EWG) aggregation operator

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 (✓)، نامطلوب (×) و فاقد نظر (○). 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 ازنظر شاخص jام 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 به‌صورت زیر به دست آورد.

$$\tilde{x}_{ij} = \left(\left[\mu^l_{\tilde{x}_{ij}}, \mu^u_{\tilde{x}_{ij}}\right], \left[\nu^l_{\tilde{x}_{ij}}, \nu^u_{\tilde{x}_{ij}}\right]\right) \quad (۱۵)$$

$$\mu^l_{\tilde{x}_{ij}} = \frac{kp_{ij}}{D} - (1-\alpha)\frac{kp_{ij}}{D} \quad (۱۶)$$

$$\mu^u_{\tilde{x}_{ij}} = \sqrt{\min\left(1, \left(\frac{kp_{ij}}{D} + (1-\alpha)\frac{kp_{ij}}{D}\right)\right)} \quad (۱۷)$$

$$\nu^l_{\tilde{x}_{ij}} = \frac{kn_{ij}}{D} - (1-\alpha)\frac{kn_{ij}}{D} \quad (۱۸)$$

$$\nu^u_{\tilde{x}_{ij}} = \sqrt{\min\left(1, \left(\frac{kn_{ij}}{D} + (1-\alpha)\frac{kn_{ij}}{D}\right)\right)} \quad (۱۹)$$

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

$$\alpha = \frac{1}{D}\sum_k \alpha_k \quad (۲۰)$$

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 استفاده‌شده و متوسط درجه اطمینان پاسخگویی جهت به دست آوردن مقادیر بازه به کار گرفته شده است. برای رعایت شرط $0 \le \left(\mu_P(x)\right)^2 + \left(\nu_P(x)\right)^2 \le 1$ از تابع min بهره‌گیری شده است. لازم به ذکر است که مقادیر α_k در بازه $[0,1]$ قرارگرفته و مقادیر بیشتر این پارامتر نشان‌دهنده اطمینان بالاتر تصمیم‌گیرنده نسبت به نظر اظهارشده می‌باشد. درنتیجه هرچه مقدار α به صفر نزدیک‌تر شود گستره بازه محاسبه‌شده 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[1]

در مسائل تصمیم‌گیری، شاخص‌ها می‌توانند به‌عنوان 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 به‌عنوان «وزن عینی» شناخته می‌شود. روش کریتیک برای تعیین وزن‌های عینی شاخص‌ها در مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه استفاده می‌شود (Diakoulaki et al., 1995). وزن‌های به‌دست‌آمده 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 x_{ij} نمایانگر مقدار عملکرد گزینه i ام بر اساس شاخص jام باشد ($i=1,2 \dots n$و $j=1,2,\dots,m$)، w_j وزن شاخص jام باشد، B مجموعه شاخص‌های مثبت و N مجموعه شاخص‌های منفی باشد. در این بخش، فرایند به‌دست‌آوردن وزن شاخص‌ها بر اساس این روش خلاصه می‌شود.

۱. به دست آوردن مقادیر نرمال شده از رابطه زیر

$$x_{ij}^{N} = \begin{cases} \frac{x_{ij}-x_j^-}{x_j^*-x_j^-} & if \quad j \in B \\ \frac{x_j^--x_{ij}}{x_j^--x_j^*} & if \quad j \in N \end{cases} \qquad (۲۱)$$

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

1 CRITIC

مربوط به شاخص jام به‌صورت زیر تعریف می‌شود

$$\mathbf{x}_j = \left(x_{1j}^N, x_{2j}^N, \dots, x_{nj}^N\right) \quad (۲۲)$$

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

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

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

$$\mathrm{H}_j = \sigma_j \sum_{l=1}^{m}(1 - r_{ij}) \quad (۲۳)$$

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

$$w_j = \frac{\mathrm{H}_j}{\sum_{l=1}^{m} \mathrm{H}_j} \quad (۲۴)$$

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 به‌عنوان ورودی روش کریتیک (عناصر ماتریس تصمیم) استفاده می‌شود و برای هر شاخص سه وزن به دست می‌آید. درنهایت از میانگین این سه وزن برای به دست آوردن یک وزن واقع‌گرایانه‌تر برای شاخص‌ها بهره‌گیری می‌شود.

ابتدا به‌جای مقدار x_{ij} از متوسط حد پایین و بالا درجه عضویت $\tilde{x}_{ij}$ به‌صورت زیر استفاده‌شده و وزن‌های مربوطه را محاسبه می‌کنیم و این وزن‌ها را با w_j^{μ} نشان می دهیم.

$$x_{ij} = \frac{\mu_{\tilde{x}_{ij}}^{l} + \mu_{\tilde{x}_{ij}}^{2}}{2} \quad (۲۵)$$

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

$$x_{ij} = \frac{\nu_{\tilde{x}_{ij}}^{l} + \nu_{\tilde{x}_{ij}}^{2}}{2} \quad (۲۶)$$

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 وبا w_j^s تعریف می‌کنیم.

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

$$w_j^c = \frac{w_j^\mu + w_j^\nu + w_j^s}{3} \quad (۲۷)$$

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 به‌دست‌آمده، تعریف می‌شود. هدف اول به شکل حداکثر سازی و مبتنی بر بازه به‌دست‌آمده برای درجه عضویت عملکرد تأمین‌کنندگان بوده و هدف دوم به‌صورت حداقل سازی و بر پایه بازه مربوط به درجه عدم عضویت عملکرد تأمین‌کنندگان می‌باشد. حداقل سازی هزینه کل به‌عنوان هدف سوم مدل در نظر گرفته می‌شود.

متغیرها و پارامترهای مدل به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

i اندیس تأمین کننده

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 (٪)

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_ν 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 به‌صورت زیر تعریف می‌گردد.

$$Max\ Z_\mu = \sum_{i=1}^{n} [\mu_i^l, \mu_i^u]\, x_i \quad (۲۸)$$

$$Min\ Z_\nu = \sum_{i=1}^{n} [\nu_i^l, \nu_i^l]\, x_i \quad (۲۹)$$

$$Min\ Z_C = \sum_{i=1}^{n} C_i^P\, x_i \quad (۳۰)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{n} x_i = Dm^T \quad (۳۱)$$

$$\sum_{i=1}^{n} df_i x_i \le Pmax \quad (۳۲)$$

$$\sum_{i=1}^{n} lt_i x_i \le Lmax \quad (۳۳)$$

$$x_i \ge y_i Qmin_i \quad \forall i \quad (۳۴)$$

$$x_i \le y_i CAP_i \quad \forall i \quad (۳۵)$$

$$x_i \ge 0 \text{ and} y_i \in \{0,1\} \quad (۳۶)$$

حل مدل چندهدفه

مدل ارائه‌شده در بخش قبل علاوه بر اینکه یک مدل چندهدفه می‌باشد، پارامترهای مربوط به اهداف اول و دوم آن به‌صورت 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[1] (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:

$$Max\ \lambda_1 \quad (۳۷)$$

Subject to:

$$\lambda_1 \leq 1 + \frac{Z_{\mu 1} - Z_{\mu 1}^{max}}{Z_{\mu 1}^{max} - Z_{\mu 1}^{min}} \quad (۳۸)$$

$$\lambda_1 \leq 1 - \frac{Z_{v1} - Z_{v1}^{min}}{Z_{v1}^{max} - Z_{v1}^{min}} \quad (۳۹)$$

$$\lambda_1 \leq 1 - \frac{Z_{C1} - Z_{C1}^{min}}{Z_{C1}^{max} - Z_{C1}^{min}} \quad (۴۰)$$

$$Z_{\mu 1} = \sum_{i=1}^{n} \mu_i^l\, x_{i1} \quad (۴۱)$$

$$Z_{v1} = \sum_{i=1}^{n} v_i^l\, x_{i1} \quad (۴۲)$$

$$Z_{C1} = \sum_{i=1}^{n} C_i^P\, x_{i1} \quad (۴۳)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{i1} = Dm^T \quad (۴۴)$$

$$\sum_{i=1}^{n} df_i x_{i1} \leq Pmax \quad (۴۵)$$

$$\sum_{i=1}^{n} lt_i x_{i1} \leq Lmax \quad (۴۶)$$

$$x_{i1} \geq y_{i1} Qmin_i \quad \forall i \quad (۴۷)$$

$$x_{i1} \leq y_{i1} CAP_i \quad \forall i \quad (۴۸)$$

$$x_{i1} \geq 0 \text{ and} y_{i1} \in \{0,1\} \quad (۴۹)$$

مدل ۲:

$$Max\ \lambda_2 \quad (۵۰)$$

Subject to:

$$\lambda_2 \leq 1 + \frac{Z_{\mu 2} - Z_{\mu 2}^{max}}{Z_{\mu 2}^{max} - Z_{\mu 2}^{min}} \quad (۵۱)$$

1 Zimmermann

$$\lambda_2 \leq 1 - \frac{Z_{v2} - Z_{v2}^{min}}{Z_{v2}^{max} - Z_{v2}^{min}} \quad (۵۲)$$

$$\lambda_2 \leq 1 - \frac{Z_{C2} - Z_{C2}^{min}}{Z_{C2}^{max} - Z_{C2}^{min}} \quad (۵۳)$$

$$Z_{\mu 2} = \sum_{i=1}^{n} \mu_i^u \, x_{i2} \quad (۵۴)$$

$$Z_{v2} = \sum_{i=1}^{n} v_i^u \, x_{i2} \quad (۵۵)$$

$$Z_{C2} = \sum_{i=1}^{n} C_i^P \, x_{i2} \quad (۵۶)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{i2} = Dm^T \quad (۵۷)$$

$$\sum_{i=1}^{n} df_i x_{i2} \leq Pmax \quad (۵۸)$$

$$\sum_{i=1}^{n} lt_i x_{i2} \leq Lmax \quad (۵۹)$$

$$x_{i2} \geq y_{i2} Qmin_i \quad \forall i \quad (۶۰)$$

$$x_{i2} \leq y_{i2} CAP_i \quad \forall i \quad (۶۱)$$

$$x_{i2} \geq 0 \text{ and} y_{i2} \in \{0,1\} \quad (۶۲)$$

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^{max} و Z^{min} برای هرکدام از توابع هدف در هر مدل ابتدا باید مدل را با در نظر گرفتن تابع هدف مربوطه به‌صورت تک هدفه حل نمود.

در شکل ۱ به‌منظور توضیح دقیق و شفاف روش تحقیق به‌کاررفته، یک فلوچارت از مراحل روش پژوهش ارائه شده است. این فلوچارت کمک می‌کند تا به‌طور 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 دستمال‌کاغذی استفاده‌شده و نتایج آن تحلیل می‌گردد. این شرکت انواع مختلفی از دستمال ازجمله دستمال‌های صورت، دستمال حوله‌ای، دستمال‌سفره و غیره را تولید می‌کند. در این شرکت بیش از ۱۶۰ نفر ازجمله 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 ازجمله ISO 9001:2015، می‌باشد. به دلیل تأثیرات ممکن محصولات

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 ازنظر 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 تعریف‌شده 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 زده‌شده 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 (○) جمع‌آوری‌شده است. این ارزیابی‌ها از طریق رویه‌ای که در بخش روش تحقیق ارائه شده است به مجموعه‌های فازی فیثاغورثی 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، قابل‌مشاهده است.

جدول ۱. شاخص‌های زیست‌محیطی و تعاریف آن‌ها

شاخص	تعریف
آلودگی محیط‌زیست (C_1)	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.
مصرف منابع (C_2)	این شاخص به سطح تخمینی مصرف مواد اولیه، مصرف انرژی و مصرف آب در فرآیند تولید مربوط می‌شود.
نوآوری اکولوژیکی (C_3)	این شاخص به توسعه فرآیندها و محصولاتی که می‌توانند با استفاده از کاربرد تجاری دانش برای دست‌یابی به بهبودهای مستقیم یا غیرمستقیم اکولوژیکی به توسعه پایدار کمک کنند مربوط می‌شود.
سیستم مدیریت محیط‌زیست (C_4)	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.
تعهد مدیران به بهبودهای محیط زیستی (C_5)	این شاخص به مشارکت مستقیم مدیران ارشد یک شرکت برای بهبود شیوه‌های مدیریت محیط‌زیست و عملکرد آن مربوط می‌شود.
استفاده از تکنولوژی‌های سبز در فرآیندهای تولید (C_6)	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 مواد سبز در فرآیندهای تولید (C_7)	این شاخص به سطح تخمینی استفاده از مواد قابل بازیافت در تمام فرآیندهای تولید شرکت ازجمله بسته‌بندی، تولید و غیره مربوط می‌شود.

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	×	×	✓	✓	○	×	×	✓	✓	✓
	S_2	✓	✓	✓	○	✓	✓	×	○	✓	✓
	S_3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	○	✓
	S_4	×	×	×	×	✓	○	○	×	×	×
	S_5	○	×	✓	○	×	✓	×	✓	✓	×
C_2	S_1	×	✓	✓	○	✓	✓	○	✓	×	×
	S_2	✓	○	✓	✓	✓	×	×	✓	✓	✓
	S_3	○	×	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	×
	S_4	×	✓	×	✓	○	×	○	×	×	○
	S_5	×	○	✓	○	✓	×	✓	○	✓	×
C_3	S_1	×	✓	✓	✓	○	×	✓	✓	×	✓
	S_2	✓	✓	×	×	✓	✓	✓	✓	○	✓
	S_3	✓	○	○	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓
	S_4	○	✓	✓	○	○	✓	×	✓	×	✓
	S_5	✓	✓	○	×	○	○	✓	✓	○	✓
C_4	S_1	×	✓	×	○	○	✓	×	✓	×	×
	S_2	○	✓	✓	✓	×	✓	✓	×	✓	✓
	S_3	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	○	✓	✓
	S_4	×	○	×	✓	○	✓	○	×	✓	×
	S_5	✓	✓	×	✓	✓	○	✓	✓	×	✓
C_5	S_1	○	×	○	✓	✓	✓	○	✓	✓	×
	S_2	○	○	✓	✓	○	✓	×	✓	✓	✓
	S_3	×	×	○	✓	✓	○	✓	✓	✓	○
	S_4	○	✓	✓	×	×	✓	○	✓	○	×
	S_5	✓	○	×	×	✓	×	✓	○	○	×
C_6	S_1	○	×	×	✓	○	×	✓	○	×	×
	S_2	✓	○	×	×	✓	○	○	✓	✓	×
	S_3	✓	×	✓	✓	○	×	✓	✓	×	✓
	S_4	○	×	×	✓	✓	○	✓	○	✓	○
	S_5	×	○	○	×	○	✓	✓	✓	×	✓
C_7	S_1	○	×	✓	○	○	×	✓	×	×	×

		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

		$\tilde{x}_{ij} = (\left[\mu^l_{\tilde{x}_{ij}}, \mu^u_{\tilde{x}_{ij}}\right], \left[\nu^l_{\tilde{x}_{ij}}, \nu^u_{\tilde{x}_{ij}}\right])$
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])

		$\tilde{x}_{ij} = (\left[\mu^l_{\tilde{x}_{ij}}, \mu^u_{\tilde{x}_{ij}}\right], \left[\nu^l_{\tilde{x}_{ij}}, \nu^u_{\tilde{x}_{ij}}\right])$
	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 ٤. 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^{v}	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 ٥. 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 بیان‌شده در جدول ۵ مدل‌های ۱ و ۲ به‌صورت 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:

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

$$\lambda_2 \leq 1 - \frac{Z_{v2} - 2699.30}{3062.23 - 2699.30}$$

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

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

$$Z_{v2} = 0.656x_{12} + 0.502x_{22} + 0.487x_{32} + 0.641x_{42} + 0.617x_{52}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

لازم به ذکر است همان‌طور که در بخش قبل نیز بیان شد، مقادیر Z^{max} و Z^{min} برای هرکدام 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 به‌دست‌آمده برای هریک 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. بااین‌حال خروجی این مدل نشان‌دهنده این است که مدل ارائه‌شده می‌تواند در عمل برای تصمیم‌گیری با ارزیابی‌های

غیرقطعی برای تأمین‌کنندگان کاربردی باشد.

جدول ٦. مقادیر به‌دست‌آمده برای متغیرها و توابع هدف

متغیر		مقدار متغیر	بازه متغیر
x_1	x_{11}	566.45	[566.45, 567.3]
	x_{12}	567.3	
x_2	x_{21}	1333.55	[1332.7, 1333.55]
	x_{22}	1332.7	
x_3	x_{31}	1700	[1700, 1700]
	x_{32}	1700	
x_4	x_{41}	1400	[1400, 1400]
	x_{42}	1400	
x_5	x_{51}	0	[0, 0]
	x_{52}	0	
Z_μ	$Z_{\mu 1}$	3326.219	[3326.219, 3683.147]
	$Z_{\mu 2}$	3683.147	
Z_ν	$Z_{\nu 1}$	2225.532	[2225.532, 2767.358]
	$Z_{\nu 2}$	2767.358	
Z_C	Z_{C1}	25660.38	[25658.87, 25660.38]
	Z_{C2}	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 تبدیل‌شده است. این موضوع در مورد تأمین‌کننده چهارم که پس‌ازآن بیشترین حجم سفارش را به خود تخصیص داده است نیز وجود دارد. تأمین‌کننده دوم پس‌ازاین دو قرار گرفته است و با توجه به دو مدل حل‌شده یک بازه اطمینان برای آن ارائه شده است. برای تأمین‌کننده اول نیز با حل دو مدل یک بازه سفارش دهی به‌دست‌آمده است. دراین‌بین 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

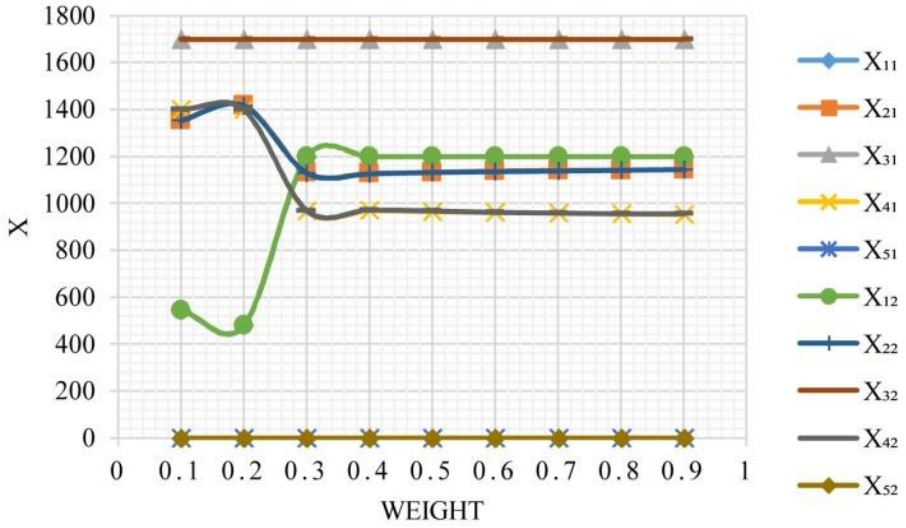
از وزن‌های به‌دست‌آمده از روش کریتیک، وزن هر شاخص با ثابت نگه‌داشتن وزن سایر شاخص‌ها تغییر داده می‌شود. برای انجام این کار وزن شاخص موردنظر را برابر w_g در نظر گرفته و برای محاسبه وزن سایر شاخص‌ها از رابطه زیر استفاده می‌شود. در اینجا نه مقدار (از ۰/۱ تا ۰/۹) برای هر شاخص در نظر گرفته می‌شود.

$$w_j = \frac{1 - w_g}{m - 1} \; j \in \{1,2, \dots, m\}, \qquad j \neq g \tag{۶۳}$$

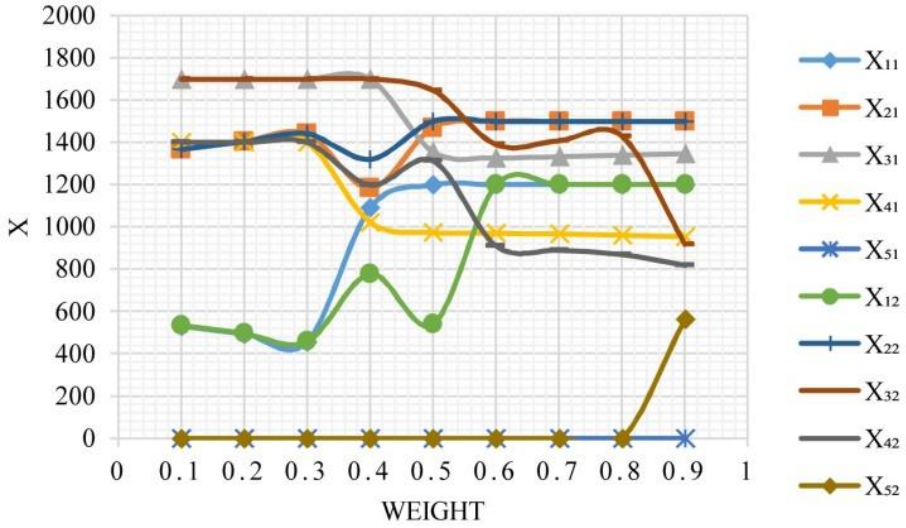
شکل ۲ نشان‌دهنده مقادیر متغیرها با توجه به تغییرات مربوط به شاخص «آلودگی محیط‌زیست» (C_1) می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ابتدا با افزایش وزن این شاخص تغییراتی در مقدار متغیرها به وجود می‌آید، اما در مقادیر بیش از ۰/۳ مقادیر به ثبات می‌رسند. همچنین می‌توان دید که حدود بالا و پایین درجه‌های عضویت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

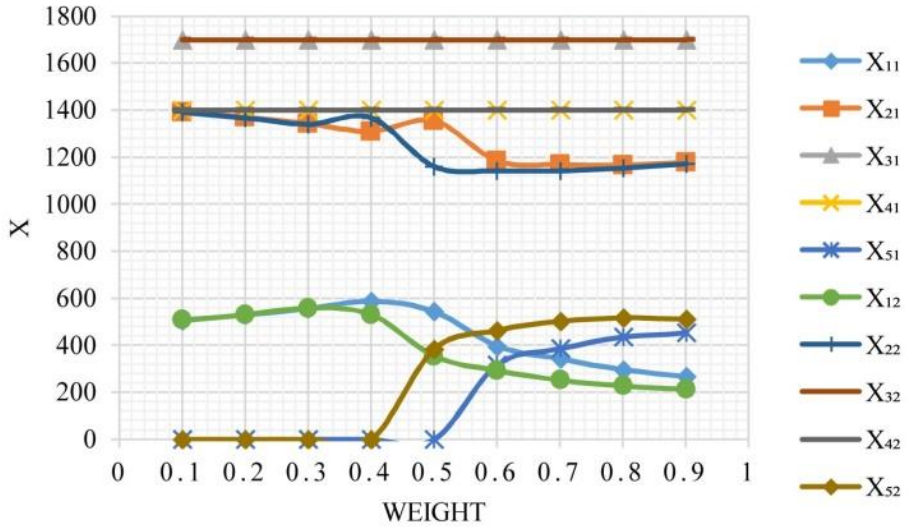


نتـایج به‌دسـت‌آمده از تغییـر وزن شـاخص «نـوآوری اکولـوژیکی» (C_3) در شـکل ۴ قابل‌مشاهده است. تـأثیر تغییـر در وزن ایـن شـاخص ماننـد شـاخص C_2 شـدید نیسـت، امـا تغییراتـی در مقـادیر متغیرهـای x_1، x_4 و x_5 مشـاهده می‌شـود کـه مـی‌بایسـت در فراینـد

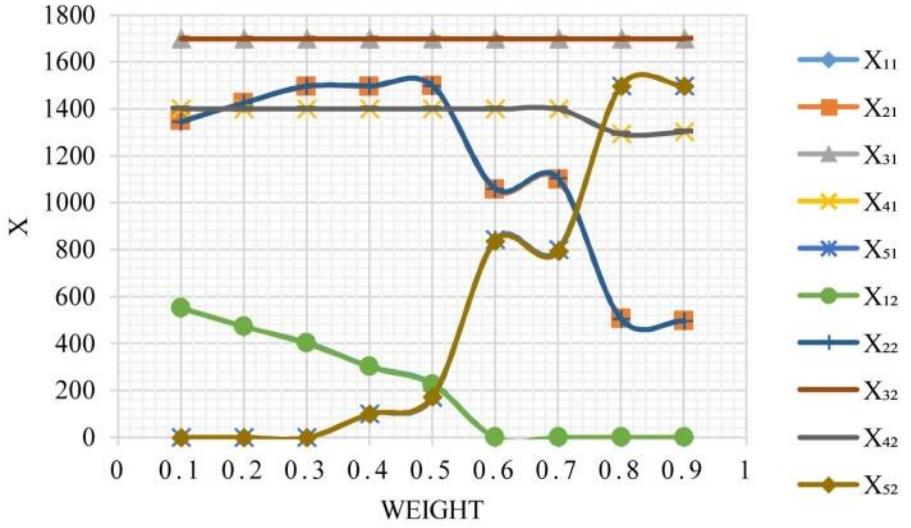
تصمیم‌گیری به آن توجه داشت. گرچه نوع تغییرات مشاهده‌شده از نوع تغییرات نامنظم نیست بااین‌حال این تغییرات در مقادیر به‌دست‌آمده از حدود بالا و پایین درجه‌های عضویت و عدم عضویت (مدل‌های ۱ و ۲) مربوط به متغیرها نیز اثرگذار بوده است.

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 پیداکرده 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 قابل‌توجهی در مقادیر متغیرهای به‌دست‌آمده با توجه به حدود بالا و پایین درجه‌های عضویت و عدم عضویت (مدل‌های ۱ و ۲) مشاهده نمی‌شود.

شکل ٤. مقادیر متغیرها با توجه به تغییرات C_3

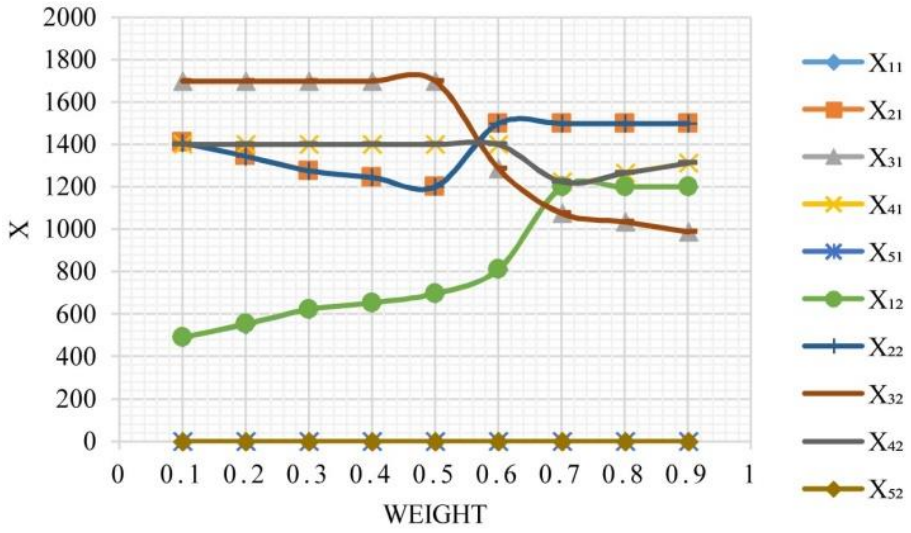


شکل ۵. مقادیر متغیرها با توجه به تغییرات C_4



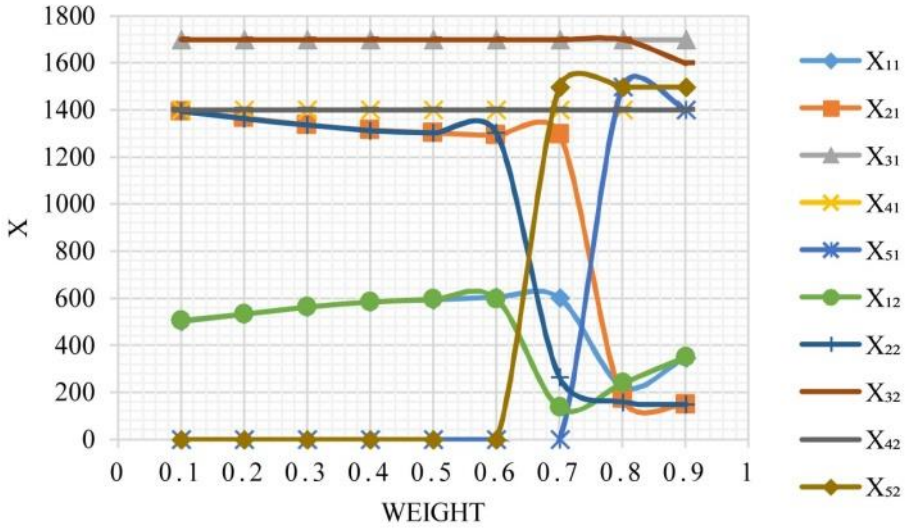
در شکل ۶ می‌توان اثر تغییرات در وزن شاخص «تعهد مدیران به بهبودهای محیط زیستی» (C_5) بر مقدار متغیرها را مشاهده کرد. در اینجا سطح مقداری دو متغیر x_1 و x_3 دچار تغییرات قابل‌توجهی شده است. گرچه میزان این تغییرات به‌اندازه تغییرات شکل ۵ نیست، اما چنین تغییراتی در تصمیم‌گیری در انتخاب تأمین‌کننده موردنظر اثرگذار خواهد بود. همچون شاخص قبل در این شکل حدود بالا و پایین درجه‌های عضویت و عدم عضویت (مدل‌های ۱ و ۲) تأثیر قابل‌توجهی در مقادیر متغیرهای به‌دست‌آمده نداشته‌اند.

شکل ٦. مقادیر متغیرها با توجه به تغییرات C_5



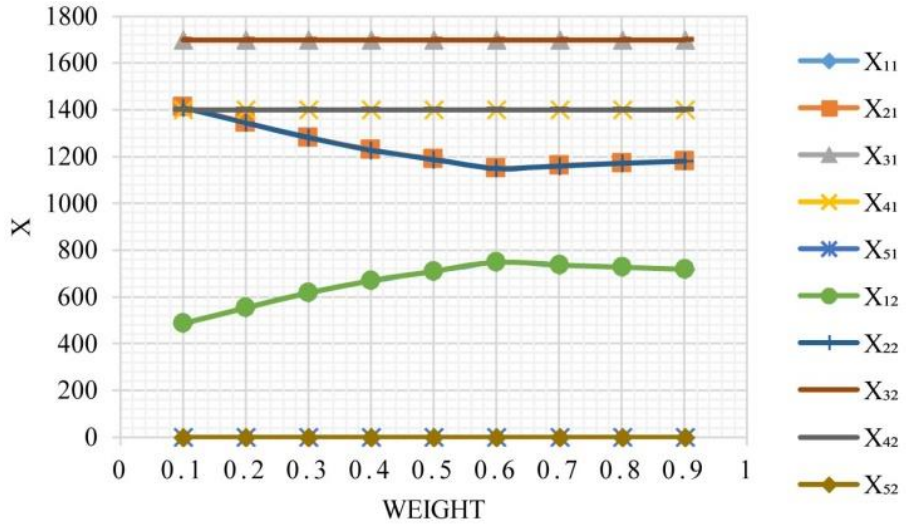
با تغییر وزن شاخص «استفاده از تکنولوژی‌های سبز در فرآیندهای تولید» (C_6) تغییراتی در مقادیر به‌دست‌آمده از متغیرها به وجود می‌آید که در شکل ۷ نشان داده شده است. بیشترین تغییرات مربوط به متغیرهای x_2 و x_5 می‌باشند. در این شکل می‌توان تأثیر حدود بالا و پایین درجه‌های عضویت و عدم عضویت (مدل‌های ۱ و ۲) بر مقادیر متغیرها را مشاهده نمود. با توجه به تغییرات مشاهده‌شده 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 مشاهده‌شده و دیگر متغیرها ثابت هستند. حدود بالا و پایین درجه‌های عضویت و عدم عضویت (مدل‌های ۱ و ۲) نیز تأثیری در تغییر مقادیر به‌دست‌آمده ندارند. می‌توان نتیجه گرفت که همه تأمین‌کنندگان در سطحی نسبتاً متعادل ازنظر این شاخص قرار دارند و تغییرات وزنی شاخص اثر قابل‌توجهی در فرایند انتخاب آن‌ها نخواهد داشت.

شکل ۸. مقادیر متغیرها با توجه به تغییرات C_7



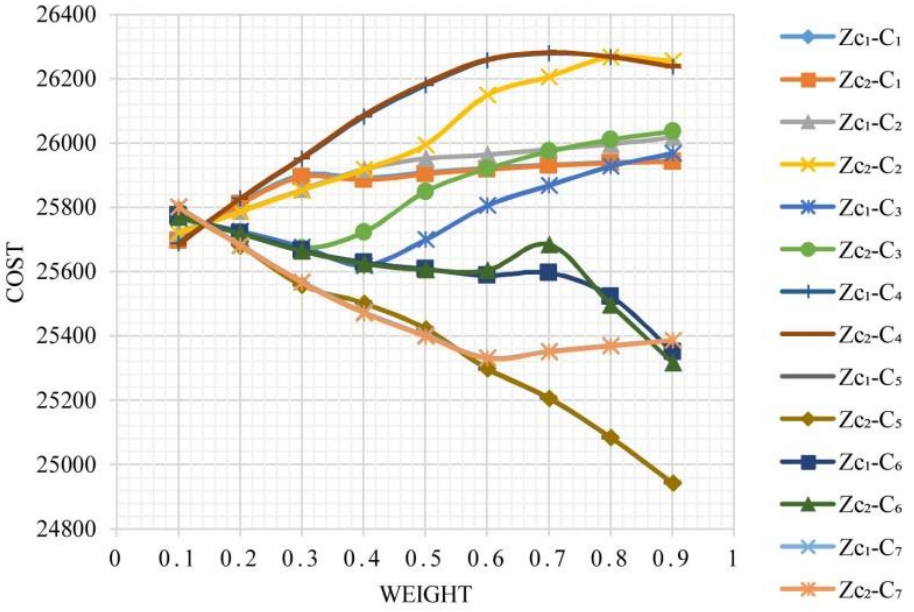
با توجه به اهمیت تابع هدف هزینه در فرایند تصمیم‌گیری، اثر تغییرات وزن شاخص‌ها بر این تابع در شکل ۹ ارائه شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، تغییرات وزن شاخص‌ها می‌تواند اثری کاهشی و یا افزایشی روی تابع هزینه داشته باشد. به‌طور مثال شاخص‌های C_2 و C_3 اثری افزایشی بر تابع هزینه داشته درحالی‌که 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

تأمین‌کنندگان بیش‌ازپیش احساس می‌شود. اتخاذ تصمیمات نادرست در این مرحله می‌تواند منجر به کاهش کیفیت کالاها، افزایش هزینه‌ها و درنهایت به کاهش رضایت مشتریان و کاهش سهم بازار منجر شوند. ازاین‌رو، بررسی و به‌کارگیری روش‌های جدید و کارآمد برای این منظور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

شکل ۹. مقادیر تابع هزینه با توجه به تغییرات شاخص‌ها



تحقیق حاضر باهدف توسعه یک رویکرد تصمیم‌گیری گروهی برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش‌ها، به‌طور قابل‌توجهی به بهبود فرآیند ارزیابی و تصمیم‌گیری کمک می‌کند. یکی از مزایای اصلی این رویکرد، تلفیق ارزیابی ذهنی تأمین‌کنندگان با یک فرآیند دقیق برای تبدیل این ارزیابی‌ها به مجموعه‌های فازی فیثاغورثی بازه‌ای-مقدار است. در این فرآیند، با تعریف مطلوبیت و عدم مطلوبیت به‌صورت درجه عضویت و عدم عضویت، عدم اطمینان‌های موجود در ارزیابی‌های ذهنی به‌خوبی در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر این، درجه اطمینان پاسخگویی نیز در تعیین بازه‌های درجه عضویت و عدم عضویت لحاظ می‌شود که به پوشش کامل‌تر عدم اطمینان‌ها در دو سطح زبانی و ذهنی

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 به‌صورت درجه عضویت و عدم عضویت، به تصمیم‌گیرندگان این امکان را می‌دهد که نه‌تنها 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 نه‌تنها بر اساس اطلاعات موجود بلکه با در نظر گرفتن سطح عدم اطمینان موجود در این اطلاعات، اتخاذ شوند. با به‌کارگیری روش کریتیک برای وزن‌دهی به شاخص‌ها و استفاده از عملگر تجمیع موزون هندسی انیشتین، عملکرد نهایی تأمین‌کنندگان به‌طور دقیق و قابل‌اعتماد 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 درنهایت به تصمیمات دقیق‌تر و کارآمدتر منجر می‌شود. برای بررسی و تحلیل رویکرد پیشنهادی، یک مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش بر اساس شاخص‌های زیست‌محیطی موردبررسی قرارگرفته است. علاوه بر این، یک تحلیل حساسیت بر روی وزن شاخص‌ها انجام‌شده تا کارایی و منطقی بودن نتایج مورد ارزیابی قرار گیرد. این تحلیل نشان می‌دهد که رویکرد پیشنهادی توانسته است به شکل مؤثری به اهداف تعیین‌شده دست یابد و نتایج منطقی و کارآمدی را ارائه کند.

باید درنظر 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 ارائه‌شده با پارامترهای غیرقطعی بیشتر و مسائل بزرگ‌تر بررسی گردد. همچنین می‌توان تأثیر استفاده از عملگرهای تجمیع فازی دیگری را بر نتایج مورد تحلیل قرار داد. در این تحقیق و در بیان نظرات، وزن تصمیم‌گیرندگان یکسان در نظر گرفته شد. در تحقیقات آتی می‌توان با موزون کردن پارامترهای kp_{ij}، kn_{ij} و α_k اثر وزنی تصمیم‌گیرندگان را نیز در نظر گرفت. علاوه بر این به‌جای روش کریتیک می‌توان از روش‌های دیگر برای محاسبه وزن شاخص‌ها استفاده نمود. در نظر گرفتن مدل به‌صورت چند سطحی، چند محصولی و چند دوره‌ای و نیز واردکردن اهداف مربوط به پایداری زنجیره تأمین می‌تواند به توسعه مدل چندهدفه پیشنهادی کمک کند.

تعارض منافع

نویسنده هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارد.

ORCID

Mehdi Keshavarz-Ghorabaee **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., & Euchi, 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
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

استناد به این مقاله: کشاورز قرابائی، مهدی. (۱۴۰۳). یک مدل چندهدفه مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی و مجموعه‌های فازی فیثاغورثی 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.