

# **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, 49717-99151 Gonbad Kavous, Iran

## **Abstract**

Supplier selection and order allocation is one 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 deal with 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](mailto:m.keshavarz@gonbad.ac.ir)

## Introduction

The rapid shift towards globalization, competitive markets, significant technological advancements, and high customer expectations have convinced companies to reduce costs and enhance their competitive advantages. To achieve this goal, 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, requiring a trade-off 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 supplier 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 and finalized using a fuzzy programming technique. Finally, to evaluate the model's comprehensiveness and accuracy, a sensitivity analysis on 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:  $S_1$  to  $S_5$ ) and determine the environmental criteria. Based on the existing literature, seven criteria ( $C_1$  to  $C_7$ ) 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 converted into interval-valued Pythagorean fuzzy sets

through 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, and since this supplier's maximum capacity is utilized, the corresponding interval has collapsed into a single point. The same applies to the fourth supplier, which has been 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 contributes to improving 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, by defining desirability and undesirability in terms of membership and non-membership degrees, the uncertainties inherent in subjective evaluations are effectively considered. Additionally, the degree of response confidence is incorporated into the determination of membership and non-membership intervals, leading to a more comprehensive treatment of uncertainties at both 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, along with the order allocation parameters, are combined into a multi-objective model, which is solved using fuzzy programming techniques. This set 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 analyze 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 and efficient outcomes.

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

آماده انتشار

# 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 گنبد کاووس،  
گنبد کاووس، ایران

مهدی کشاورز

قربانی \* ID

## 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 استخراج شده، عملکرد نهایی هر تأمین‌کننده به صورت مجموعه فازی فیثاغورثی بازه‌ای-مقدار محاسبه می‌شود. در گام بعد یک مدل چندهدفه با توجه به پارامترهای تخصیص سفارش و عملکردهای به دست آمده 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 به دست آمده 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 سفارشات 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 منبع‌یابی (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، تصمیم‌بهنه را شناسایی کنند. بنابراین، نیاز دارند که طرف تأمین را با انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارشات 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. 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 (Tirkolaei 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 تأمین کننده و تخصیص سفارش می‌پردازد که از ترکیب چند رویکرد تصمیم‌گیری و ارزیابی بهره می‌برد. در گام نخست، ارزیابی اولیه تأمین کنندگان 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 به دست آمده، عملکرد نهایی هر تأمین کننده به صورت یک مجموعه فازی محاسبه و رتبه‌بندی می‌شود. سپس، داده‌های به دست 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 به کارگیری ترکیبی از تصمیم‌گیری گروهی، ارزیابی فازی، مدل‌سازی چندهدفه، و تحلیل حساسیت، گامی مؤثر در بهبود فرآیند انتخاب تأمین کننده 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 تأمین کنندگان، و همچنین مدل ریاضی تخصیص سفارش معرفی می‌شود. سپس، نتایج حاصل از حل یک مسئله به تفصیل 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 تأمین کننده 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<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۸) بر انتخاب تأمین کننده 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<sup>۲</sup> فازی برای ارزیابی تأمین کنندگان از نظر عملکرد، (۳) فرمول‌بندی یک مدل چندهدفه برای بهینه‌سازی تخصیص سفارش‌ها، و (۴) استفاده از روش تاپسیس برای به‌دست آوردن راه‌حل نهایی. گورن<sup>۳</sup> (۲۰۱۸) به بررسی انتخاب تأمین کننده و تخصیص سفارشات پایدار در زنجیره تأمین پرداخته است. او از روش دیمتل<sup>۴</sup> برای محاسبه وزن شاخص‌های پایداری استفاده کرده و از توابع هزینه تاگوجی برای رتبه‌بندی تأمین کنندگان بهره گرفته است. سپس مقادیر رتبه‌بندی برای تعیین مقادیر بهینه سفارش با استفاده از بهینه‌سازی دو هدفه به کار رفته‌اند. پارک<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۸) مسئله انتخاب تأمین کننده 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 منعکس کنند. این رویکرد دومرحله‌ای است: در مرحله اول، با استفاده از نظریه مطلوبیت چند معیاری، مناطق تأمین کننده 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<sup>۶</sup> (۲۰۱۸) یک مدل تصمیم‌گیری برای انتخاب تأمین کنندگان 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. تأمین کنندگان را بر اساس عملکرد رتبه‌بندی شده و در مدل بهینه‌سازی استفاده شده‌اند تا در نهایت مقدار سفارش هر تأمین کننده تعیین شود. بابار و امین<sup>۷</sup> (۲۰۱۸) مدل ریاضی جدیدی برای انتخاب تأمین کنندگان و تعیین مقدار سفارش‌ها ارائه داده‌اند. مدل پیشنهادی شامل تحلیل توسعه

---

<sup>1</sup> Mohammed

<sup>2</sup> TOPSIS

<sup>3</sup> Gören

<sup>4</sup> DEMATEL

<sup>5</sup> Park

<sup>6</sup> Amin-Tahmasbi and Alfi

<sup>7</sup> Babbar and Amin

عملکرد کیفیت<sup>۱</sup> دومرحله‌ای و مدل ریاضی چندهدفه تصادفی می‌باشد. اعداد فازی دوزنقه‌ای نیز برای مواجهه با عدم اطمینان به کار گرفته شده‌اند. صادقی<sup>۲</sup> (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<sup>۳</sup> 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<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۹) رویکردی برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش‌ها با هدف 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<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۹) مدل جدیدی را برای انتخاب تأمین‌کنندگان سبز و تخصیص سفارش توسعه داده‌اند که شامل ترکیبی از اعداد Z، روش صف‌بندی آلترناتیو<sup>۶</sup> و مدل برنامه‌ریزی چندهدفه می‌باشد. مدل پیشنهادی از اعداد Z برای ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان، تکنیک اسوارا<sup>۷</sup> برای محاسبه وزن شاخص‌ها، و روش صف‌بندی آلترناتیو برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان استفاده می‌کند. محمد<sup>۸</sup> 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.

---

<sup>1</sup> Quality Function Deployment

<sup>2</sup> Sadeghi

<sup>3</sup> Lo

<sup>4</sup> Rabieh

<sup>5</sup> Duan

<sup>6</sup> Alternative Queuing Method (AQM)

<sup>7</sup> SWARA

<sup>8</sup> Mohammed

خوش فطرت<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۰) یک مدل ریاضی چندهدفه فازی، برای انتخاب تأمین کنندگان پایدار و تخصیص سفارش توسعه دادند. در این پژوهش، معیارهای اصلی انتخاب تأمین کنندگان پایدار تعیین شده و همچنین روند انتخاب تأمین کنندگان از طریق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی انجام شده است. شش تابع هدف شامل هزینه کل، امتیاز اقتصادی، امتیاز زیست محیطی، امتیاز اجتماعی، نرخ تورم و سطح ریسک به همراه محدودیت‌های مربوطه در مدل لحاظ شده‌اند. رضایی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۰) یک مدل یکپارچه تصمیم‌گیری دوهدفه برای انتخاب تأمین کنندگان و تخصیص سفارش در تولید ناب ارائه داده‌اند. معیارهای مرتبط با تولید ناب استخراج شده و با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی، تأمین کنندگان مناسب انتخاب شده‌اند. در نهایت، یک مدل ریاضی دوهدفه برای تخصیص بهینه سفارش توسعه یافته است.

فنگ و گنگ<sup>۳</sup> (۲۰۲۰) مدل یکپارچه‌ای را با ترکیب روش وزن دهی آنتروپی زبانی<sup>۴</sup> و برنامه‌ریزی چندهدفه برای انتخاب تأمین کننده و تخصیص سفارش در اقتصاد چرخشی پیشنهاد کرده‌اند. سیستم جامعی از معیارهای ارزیابی تأمین کنندگان سبز ایجاد شده و با استفاده از روش وزن آنتروپی، تأمین کنندگان رتبه‌بندی شده‌اند. مدل تخصیص سفارش با هدف کاهش هزینه‌ها، کاهش انتشار کربن و افزایش ارزش خرید طراحی شده است. ونگ<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی تأثیر طرح‌های تجارت انتشار کربن بر انتخاب تأمین کننده 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<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۲۰) یک مدل چندهدفه با پارامترهای فازی برای انتخاب تأمین کنندگان 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 تأمین کنندگان لحاظ شده است. رویکرد فازی تاپسیس برای تعیین وزن تأمین کنندگان استفاده و پارامترها به صورت اعداد فازی مثلثی در نظر گرفته شده است.

<sup>1</sup> Khoshfetrat

<sup>2</sup> Rezaei

<sup>3</sup> Feng and Gong

<sup>4</sup> Linguistic Entropy Weight Method

<sup>5</sup> Wang

<sup>6</sup> Khalilzadeh

کیلیک و یالچین<sup>۱</sup> (۲۰۲۰) روش شناسی یکپارچه‌ای شامل تاپسیس فازی شهودی و مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی دومرحله‌ای پیشنهاد کرده‌اند. وزن شاخص‌ها از تاپسیس فازی شهودی تعیین شده و این وزن‌ها در مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی به کار می‌روند تا بهترین تأمین کنندگان انتخاب شوند. تیرکلایی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۰) انتخاب تأمین کنندگان پایدار و تخصیص سفارش‌ها را در سه سطح زنجیره شامل تأمین کنندگان، انبارهای مرکزی و عمده‌فروشان بررسی کرده‌اند. با استفاده از روش‌های ترکیبی فازی، تأمین کنندگان 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<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۱) روش جدیدی برای انتخاب تأمین کنندگان 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<sup>۴</sup> (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<sup>۵</sup> 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. لیاقت<sup>۶</sup> 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

<sup>1</sup> Kilic and Yalcin

<sup>2</sup> Tirkolaee

<sup>3</sup> Beiki

<sup>4</sup> Hemmati and Pasandideh

<sup>5</sup> Khalili Nasr

<sup>6</sup> Liaqait

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<sup>۱</sup> (۲۰۲۲) 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<sup>۲</sup> 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<sup>۳</sup> (۲۰۲۳) یک مدل جامع برای انتخاب تأمین‌کنندگان سبز جهانی و تخصیص سفارشات 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<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۲۳) یک روش ترکیبی مبتنی بر مدل برنامه‌ریزی چندهدفه فازی برای حل مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارشات 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<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی انتخاب تأمین‌کنندگان جهانی و تخصیص سفارشات 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 سفارشات تخصیص یابد.

---

<sup>1</sup> Aouadni and Euch

<sup>2</sup> Shidpour

<sup>3</sup> Ali and Zhang

<sup>4</sup> Mohammed

<sup>5</sup> Ali

ژاو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۳) یک روش تلفیقی دومارحله‌ای مبتنی بر مجموعه‌های فازی، روش توسعه‌یافته ویکور<sup>۲</sup> 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<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۳) رویکردی دومارحله‌ای برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش در مدیریت زنجیره تأمین سبز توسعه داده‌اند. در مرحله اول، روش مالتی‌مورا<sup>۴</sup> 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 داده شده تا تأمین‌کنندگان انتخاب شده و مقدار سفارش تخصیص یافته به آن‌ها تعیین شود. واعظی<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۲۴) شاخص‌های فناوری بلاکچین را در فرآیند انتخاب و تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان پایدار در نظر گرفته‌اند. محققان چارچوب دومارحله‌ای 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 به کار می‌رود. گودرزی و غلامیان<sup>۶</sup> (۲۰۲۴) انتخاب تأمین‌کننده سبز و تخصیص سفارش‌ها بررسی کرده‌اند. محققین با استفاده از ترکیبی از روش پرامتی<sup>۷</sup> 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 ذهنی ارزیابی می‌شوند. سپس نتایج این ارزیابی‌ها با یک رویه مشخص به مجموعه‌های فازی فیتاغورثی

---

<sup>1</sup> Zhao

<sup>2</sup> VIKOR

<sup>3</sup> Gai

<sup>4</sup> MULTIMOORA

<sup>5</sup> Vaezi

<sup>6</sup> Goudarzi and Gholamian

<sup>7</sup> PROMETHEE

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 مورد بررسی 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<sup>1</sup> 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):

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

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<sup>2</sup> به صورت زیر محاسبه می‌شود.

<sup>1</sup> CRITIC

<sup>2</sup> Indeterminacy



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

مجموعه فازی فیثاغورثی بازه‌ای-مقدار

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

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

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.

$$s(\tilde{P}) = \frac{1}{2} \left( (\mu_{\tilde{P}}^u)^2 + (\mu_{\tilde{P}}^l)^2 - (\nu_{\tilde{P}}^u)^2 - (\nu_{\tilde{P}}^l)^2 \right) \quad (9)$$

• عملگر تجمیع موزون هندسی انیشتین<sup>1</sup>: 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.

<sup>1</sup> Einstein weighted geometric (EWG) aggregation operator

$$EWG(\tilde{p}_1, \tilde{p}_2, \tilde{p}_3, \dots, \tilde{p}_n) = ([\mu_{EWG}^l, \mu_{EWG}^u], [v_{EWG}^l, v_{EWG}^u]) \quad (10)$$

$$\mu_{EWG}^l = \frac{\sqrt{2 \prod_j (\mu_{\tilde{p}_j}^l)^2}^{w_j}}{\sqrt{\prod_j (2 - (\mu_{\tilde{p}_j}^l)^2)^{w_j} + \prod_j (\mu_{\tilde{p}_j}^l)^2}^{w_j}} \quad (11)$$

$$\mu_{EWG}^u = \frac{\sqrt{2 \prod_j (\mu_{\tilde{p}_j}^u)^2}^{w_j}}{\sqrt{\prod_j (2 - (\mu_{\tilde{p}_j}^u)^2)^{w_j} + \prod_j (\mu_{\tilde{p}_j}^u)^2}^{w_j}} \quad (12)$$

$$v_{EWG}^l = \frac{\sqrt{\prod_j (1 + (v_{\tilde{p}_j}^l)^2)^{w_j} - \prod_j (1 - (v_{\tilde{p}_j}^l)^2)^{w_j}}}{\sqrt{\prod_j (1 + (v_{\tilde{p}_j}^l)^2)^{w_j} + \prod_j (1 - (v_{\tilde{p}_j}^l)^2)^{w_j}}} \quad (13)$$

$$v_{EWG}^u = \frac{\sqrt{\prod_j (1 + (v_{\tilde{p}_j}^u)^2)^{w_j} - \prod_j (1 - (v_{\tilde{p}_j}^u)^2)^{w_j}}}{\sqrt{\prod_j (1 + (v_{\tilde{p}_j}^u)^2)^{w_j} + \prod_j (1 - (v_{\tilde{p}_j}^u)^2)^{w_j}}} \quad (14)$$

### کمی سازی نظرات تصمیم گیرندگان

در این تحقیق رویه‌ای برای اخذ نظرات تصمیم گیرندگان جهت ارزیابی گزینه‌ها (تأمین کنندگان) روی هر شاخص و تبدیل آن‌ها به مجموعه‌های فازی فیثاغورثی بازه‌ای - مقدار استفاده می‌شود. در این رویه از هر تصمیم گیرنده در مورد مطلوبیت هر تأمین کننده 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 تصمیم گیرنده در مورد درجه اطمینان پاسخگویی سؤال می‌شود. فرض کنید تعداد تصمیم گیرندگان در فرایند ارزیابی برابر  $D$  باشد. اگر تعداد نظرات مطلوب و نامطلوب تصمیم گیرندگان در مورد تأمین کننده  $i$  از نظر شاخص  $j$ ام به ترتیب با  $kp_{ij}$  و  $kn_{ij}$  نشان داده شود و درجه اطمینان پاسخگویی تصمیم گیرنده  $k$  ام با  $\alpha_k$  تعریف شود، می‌توان درجه عضویت و درجه عدم عضویت مربوط به عناصر ماتریس تصمیم ( $\tilde{x}_{ij}$ ) را به صورت زیر به دست آورد.

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

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

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

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

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

در روابط بالا  $\alpha$  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  $0 \leq (\mu_P(x))^2 + (v_P(x))^2 \leq 1$  از تابع  $\min$  بهره‌گیری شده است. لازم به ذکر است که مقادیر  $\alpha_k$  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  $\alpha$  به صفر نزدیکتر شود گستره بازه محاسبه شده بیشتر خواهد شد. مقادیر رویه پیشنهادی بر اساس مفاهیم پایه مربوط به مجموعه‌های فازی شهودی، که اساس مجموعه‌های فازی فیثاغورثی هستند، طراحی شده است (Atanassov, 2013).

### تعیین وزن شاخص‌ها با روش کریتیک<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup> CRITIC

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  $j=1,2, \dots, m$ ) و  $w_j$  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 مربوط به شاخص  $j$  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 ( $\sigma_j$ ) 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  $l$  و  $j$ )

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 به‌عنوان ورودی روش کریٹیک (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 واقع‌گرایانه‌تر 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.

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

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.

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

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 $y_i = 0$ )
$\mu_i^l$	حد پایین درجه عضویت عملکرد تأمین‌کننده $i$ ام
$\mu_i^u$	حد بالای درجه عضویت عملکرد تأمین‌کننده $i$ ام

حد پایین درجه عدم عضویت عملکرد تأمین کننده $i$ ام	$v_i^l$
حد بالای درجه عدم عضویت عملکرد تأمین کننده $i$ ام	$v_i^u$
هزینه خرید از تأمین کننده $i$ ام ( $\times 10^2 \$/Ton$ )	$C_i^P$
نرخ نقص متوسط از تأمین کننده $i$ ام (%)	$df_i$
نرخ تأخیر متوسط از تأمین کننده $i$ ام (%)	$lt_i$
حداکثر ظرفیت تأمین کننده $i$ ام (Ton)	$CAP_i$
حداقل مقدار مجاز سفارش از تأمین کننده $i$ ام (Ton)	$Qmin_i$
حداکثر میزان مجاز نقص در سفارش	$Pmax$
حداکثر مجاز تأخیر در سفارش	$Lmax$
تقاضای کل	$Dm^T$
تابع هدف حداکثر سازی درجه عضویت عملکرد تأمین کنندگان	$Z_\mu$
تابع هدف حداقل سازی درجه عدم عضویت عملکرد تأمین کنندگان	$Z_v$
تابع هدف حداقل سازی هزینه کل	$Z_C$

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

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

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

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

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 می باشد، پارامترهای مربوط به اهداف اول و دوم آن به صورت مقادیر بازه ای تعریف شده اند. 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<sup>۱</sup> (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:

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

$$\lambda_2 \leq 1 - \frac{Z_{v 2} - Z_{v 2}^{\min}}{Z_{v 2}^{\max} - Z_{v 2}^{\min}} \quad (52)$$

<sup>1</sup> Zimmermann

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

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

$$Z_{v 2} = \sum_{i=1}^n v_i^u x_{i2} \quad (55)$$

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

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

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

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

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

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

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

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 کار رفته، یک فلوجارت از مراحل روش پژوهش ارائه شده است. این فلوجارت 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 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 ( $\checkmark$ )، نامطلوب ( $\times$ ) و فاقد نظر ( $O$ ) جمع‌آوری شده 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، 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 (C1)
این شاخص به سطح تخمینی مصرف مواد اولیه، مصرف انرژی و مصرف آب در فرآیند تولید مربوط می‌شود.	مصرف منابع (C2)
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.	نوآوری اکولوژیکی (C3)
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 (C4)
این شاخص به مشارکت مستقیم مدیران ارشد یک شرکت برای بهبود شیوه‌های مدیریت محیط‌زیست و عملکرد آن مربوط می‌شود.	تعهد مدیران به بهبودهای محیط‌زیستی (C5)
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 (C6)
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 (C7)

جدول ۲. ارزیابی تصمیم‌گیرندگان روی شاخص‌ها

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

جدول ۳. عناصر ماتریس تصمیم‌گیری

		$\tilde{x}_{ij} = ([\mu_{\tilde{x}_{ij}}^l, \mu_{\tilde{x}_{ij}}^u], [v_{\tilde{x}_{ij}}^l, v_{\tilde{x}_{ij}}^u])$
C <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	([0.67,0.74],[0.59,0.67])
	S <sub>2</sub>	([0.79,0.88],[0.17,0.41])
	S <sub>3</sub>	([0.9,0.99],[0,0.3])
	S <sub>4</sub>	([0.3,0.33],[0.83,0.84])
	S <sub>5</sub>	([0.6,0.66],[0.6,0.66])
C <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	([0.67,0.74],[0.5,0.59])
	S <sub>2</sub>	([0.79,0.88],[0.36,0.52])
	S <sub>3</sub>	([0.73,0.81],[0.49,0.6])
	S <sub>4</sub>	([0.42,0.47],[0.69,0.72])
	S <sub>5</sub>	([0.6,0.66],[0.51,0.58])
C <sub>3</sub>	S <sub>1</sub>	([0.73,0.81],[0.49,0.6])
	S <sub>2</sub>	([0.79,0.88],[0.36,0.52])
	S <sub>3</sub>	([0.79,0.88],[0.17,0.41])
	S <sub>4</sub>	([0.67,0.74],[0.39,0.5])
	S <sub>5</sub>	([0.67,0.74],[0.22,0.39])
C <sub>4</sub>	S <sub>1</sub>	([0.52,0.57],[0.69,0.73])
	S <sub>2</sub>	([0.79,0.88],[0.36,0.52])
	S <sub>3</sub>	([0.85,0.94],[0.14,0.42])
	S <sub>4</sub>	([0.52,0.57],[0.61,0.66])
	S <sub>5</sub>	([0.79,0.88],[0.36,0.52])
C <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	([0.67,0.74],[0.39,0.5])
	S <sub>2</sub>	([0.73,0.81],[0.2,0.4])
	S <sub>3</sub>	([0.67,0.74],[0.39,0.5])
	S <sub>4</sub>	([0.6,0.66],[0.51,0.58])
	S <sub>5</sub>	([0.52,0.57],[0.61,0.66])
C <sub>6</sub>	S <sub>1</sub>	([0.42,0.47],[0.69,0.72])
	S <sub>2</sub>	([0.6,0.66],[0.51,0.58])
	S <sub>3</sub>	([0.73,0.81],[0.49,0.6])
	S <sub>4</sub>	([0.6,0.66],[0.4,0.49])
	S <sub>5</sub>	([0.6,0.66],[0.51,0.58])
C <sub>7</sub>	S <sub>1</sub>	([0.42,0.47],[0.69,0.72])
	S <sub>2</sub>	([0.67,0.74],[0.39,0.5])
	S <sub>3</sub>	([0.67,0.74],[0.22,0.39])
	S <sub>4</sub>	([0.6,0.66],[0.6,0.66])
	S <sub>5</sub>	([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

انجستين عملكرد نهايي هر گزينه يا تايمين كننده را محاسبه كرد. وزن محاسبه شده شاخص ها در جدول ۴ ارائه شده است. همچنين جدول ۵ نشان دهنده مقادير به دست آمده از عملگر تجميع انجستين در کنار ساير پارامترهاي مدل رياضي مي باشد.

جدول ۴. وزن شاخص ها محاسبه شده به وسيله روش كريتيك

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>
$w_i^\mu$	0.1622	0.1623	0.1610	0.1654	0.1261	0.1161	0.1069
$w_i^\nu$	0.1157	0.1985	0.1632	0.1046	0.1677	0.1461	0.1041
$w_i^s$	0.1348	0.2043	0.1829	0.1413	0.0960	0.1378	0.1029
$w_i^c$	0.1376	0.1884	0.1690	0.1371	0.1299	0.1333	0.1046

جدول ۵. عملكرد تايمين كنندگان و ساير پارامترهاي مدل

	$C_i^P$	$df_i$	$lt_i$	$CAP_i$	$Qmin_i$	$EWG_i$
S <sub>1</sub>	4.5	0.25	0.1	1200	100	([0.57,0.631],[0.595,0.656])
S <sub>2</sub>	6.3	0.2	0.25	1500	150	([0.729,0.807],[0.364,0.502])
S <sub>3</sub>	6.1	0.1	0.25	1700	150	([0.755,0.836],[0.343,0.487])
S <sub>4</sub>	3.1	0.35	0.15	1400	100	([0.534,0.592],[0.587,0.641])
S <sub>5</sub>	5.8	0.15	0.1	1500	100	([0.608,0.673],[0.543,0.617])
$Pmax$			12			
$Lmax$			18			
$Dm^T$			5000			

با توجه به مقادير بيان شده در جدول ۵ مدل هاي ۱ و ۲ به صورت زير نوشته مي شوند.

مدل ۱:

$$Max \lambda_1$$

Subject to:

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

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

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

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

$$Z_{\nu 1} = 0.595x_{11} + 0.364x_{21} + 0.343x_{31} + 0.587x_{41} + 0.543x_{51}$$

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

$$\begin{aligned}
x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} &= 5000 \\
0.25x_{11} + 0.2x_{21} + 0.1x_{31} + 0.35x_{41} + 0.15x_{51} &\leq 12 \\
0.1x_{11} + 0.25x_{21} + 0.25x_{31} + 0.15x_{41} + 0.1x_{51} &\leq 18 \\
x_{11} \geq 100y_{11}, x_{21} \geq 150y_{21}, x_{31} \geq 150y_{31}, \\
x_{41} \geq 100y_{41}, x_{51} \geq 100y_{51} \\
x_{11} \leq 1200y_{11}, x_{21} \leq 1500y_{21}, x_{31} \leq 1700y_{31}, \\
x_{41} \leq 1400y_{41}, x_{51} \leq 1500y_{51} \\
x_{11}, x_{21}, x_{31}, x_{41}, x_{51} &\geq 0 \\
y_{11}, y_{21}, y_{31}, y_{41}, y_{51} &\in \{0,1\}
\end{aligned}$$

مدل ۲:

*Max*  $\lambda_2$

Subject to:

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

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

$$\lambda_2 \leq 1 - \frac{Z_{C 2} - 23930}{29870 - 23930}$$

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

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

$$Z_{C 2} = 4.5x_1 + 6.3x_2 + 6.1x_3 + 3.1x_4 + 5.8x_5$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 گرفته شده 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 گرفته شده در تحقیق حاضر، نمی‌توان انتظار بازه‌های با گستره بالا را داشت. باین‌حال خروجی این مدل نشان‌دهنده این است که مدل ارائه شده می‌تواند در عمل برای تصمیم‌گیری با ارزیابی‌های غیرقطعی برای تأمین‌کنندگان کاربردی باشد.

جدول ۶. مقادیر به دست آمده 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	
$Z_\mu$	$Z_{\mu1}$ 3326.219	[3326.219, 3683.147]
	$Z_{\mu2}$ 3683.147	
$Z_v$	$Z_{v1}$ 2225.532	[2225.532, 2767.358]
	$Z_{v2}$ 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 تبدیل شده است. این موضوع در مورد تأمین کننده چهارم که پس از آن بیشترین حجم سفارش را به خود تخصیص داده است نیز وجود دارد. تأمین کننده 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 تأمین کننده اول نیز با حل دو مدل یک بازه سفارش دهی به دست آمده است. در این بین به تأمین کننده پنجم هیچ حجمی تخصیص داده نشده است. این موضوع نشان دهنده عدم انتخاب این تأمین کننده با توجه به پارامترهای مسئله است ( $y_5 = 0$ ).

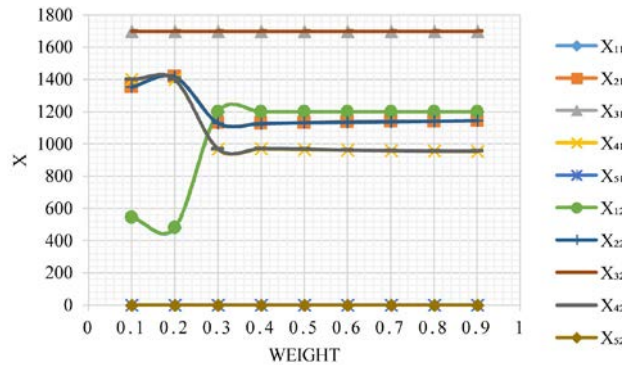
جهت تحلیل بیشتر یافته‌ها در ادامه به بررسی تأثیر تغییرات وزن‌های شاخص‌ها بر مقدار متغیرهای اصلی و همین‌طور تابع هزینه پرداخته می‌شود. بدین منظور به جای استفاده از وزن‌های به دست آمده از روش کریتیک، وزن هر شاخص با ثابت نگه داشتن وزن سایر شاخص‌ها تغییر داده می‌شود. برای انجام این کار وزن شاخص مورد نظر 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.

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

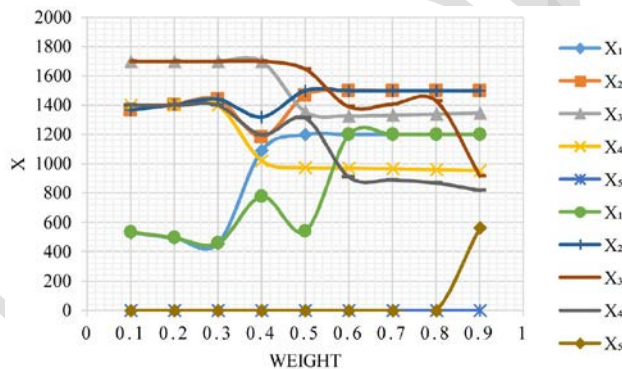
شکل ۲ نشان دهنده مقادیر متغیرها با توجه به تغییرات مربوط به شاخص "آلودگی محیط زیست" ( $C_1$ ) می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ابتدا با افزایش وزن این شاخص تغییراتی در مقدار متغیرها به وجود می‌آید، اما در مقادیر بیش از ۰/۳ مقادیر به ثبات می‌رسند. همچنین می‌توان دید که حدود بالا و پایین درجه‌های 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 به دست آمده از حدود بالا و پایین درجه‌های عضویت و عدم عضویت (مدل‌های ۱ و ۲) نیز تأثیر داشته است. این موضوع نشان دهنده این است که تصمیم گیرندگان 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  $C_2$

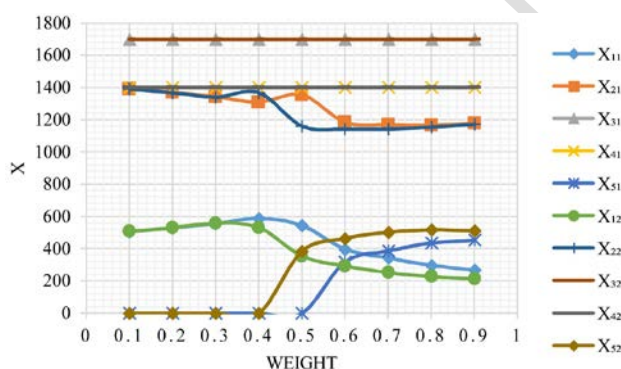


نتایج به دست آمده از تغییر وزن شاخص "نواوری اکولوژیکی" ( $C_3$ ) در شکل ۴ قابل مشاهده است. تأثیر تغییر در وزن این شاخص مانند شاخص  $C_2$  شدید نیست، اما تغییراتی در مقادیر متغیرهای  $X_1$ ،  $X_4$  و  $X_5$  مشاهده می شود که می بایست در فرایند تصمیم گیری به آن توجه داشت. گرچه نوع تغییرات مشاهده شده از نوع تغییرات نامنظم نیست با این حال این تغییرات در مقادیر به دست آمده از حدود بالا و پایین درجه های عضویت و عدم عضویت (مدل های ۱ و ۲) مربوط به متغیرها نیز اثر گذار بوده است.

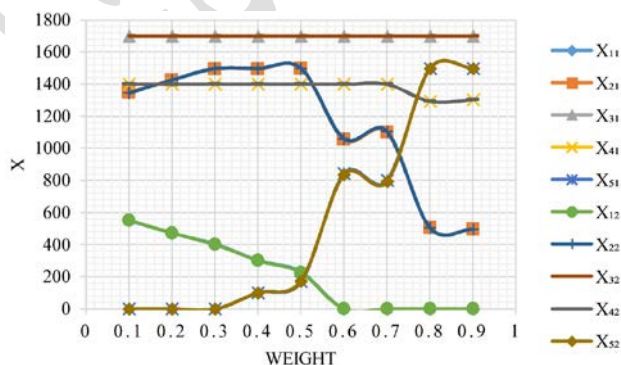
شکل ۵ نشان دهنده تأثیر تغییرات وزن شاخص "سیستم مدیریت محیط زیست" ( $C_4$ ) روی مقدار متغیرها می باشد. تغییر وزن این شاخص باعث تغییرات بسیار شدید در مقادیر متغیرهای  $X_2$  و  $X_5$  شده است. طوری که مقدار متغیر  $X_2$  از حدود ۱۴۰۰ به حدود ۴۰۰ کاهش

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 قابل‌توجهی در مقادیر متغیرهای به‌دست‌آمده 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  $C_3$



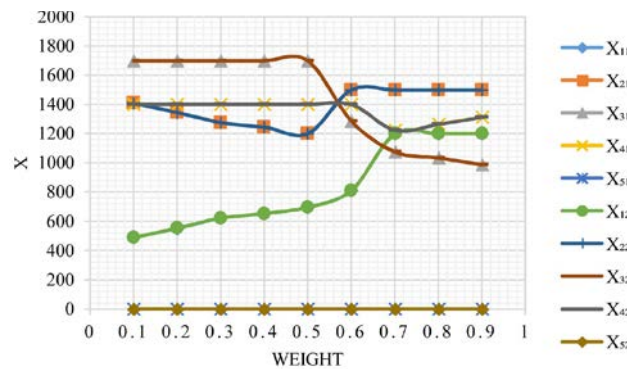
شکل ۵. مقادیر متغیرها با توجه به تغییرات  $C_4$



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 قابل‌توجهی شده است. گرچه میزان این تغییرات به اندازه تغییرات شکل ۵ نیست، اما چنین تغییراتی در تصمیم‌گیری در انتخاب تأمین‌کننده موردنظر اثرگذار خواهد

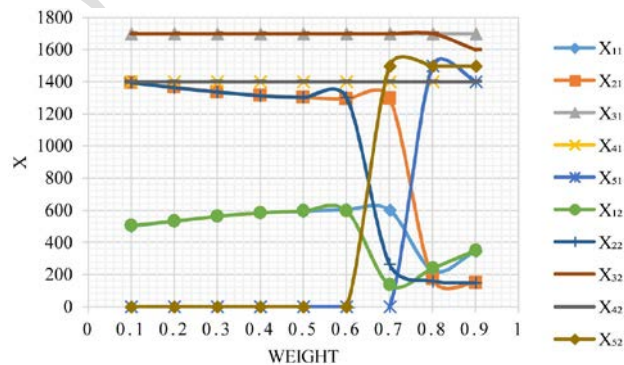
بود. همچون شاخص قبل در این شکل حدود بالا و پایین درجه‌های عضویت و عدم عضویت (مدل‌های ۱ و ۲) تأثیر قابل توجهی در مقادیر متغیرهای به‌دست آمده نداشته‌اند.

شکل ۶. مقادیر متغیرها با توجه به تغییرات  $C_5$



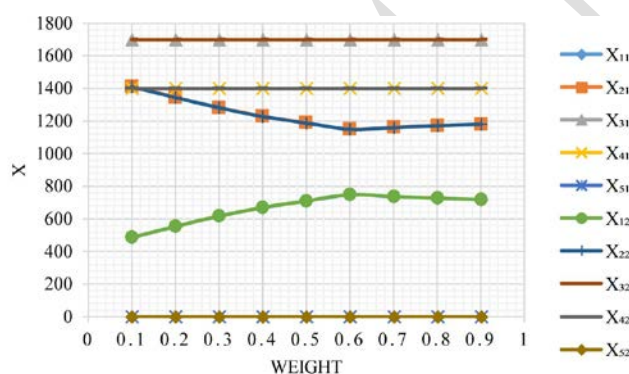
با تغییر وزن شاخص "استفاده از تکنولوژی‌های سبز در فرآیندهای تولید" ( $C_6$ ) تغییراتی در مقادیر به‌دست آمده از متغیرها به وجود می‌آید که در شکل ۷ نشان داده شده است. بیشترین تغییرات مربوط به متغیرهای  $X_2$  و  $X_5$  می‌باشند. در این شکل می‌توان تأثیر حدود بالا و پایین درجه‌های عضویت و عدم عضویت (مدل‌های ۱ و ۲) بر مقادیر متغیرها را مشاهده نمود. با توجه به تغییرات 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" (C7) می‌باشد که اثر تغییرات وزن آن در شکل ۸ نشان داده شده است. با تغییرات وزن این شاخص تغییراتی در مقدار متغیرهای X1 و X2 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 C7



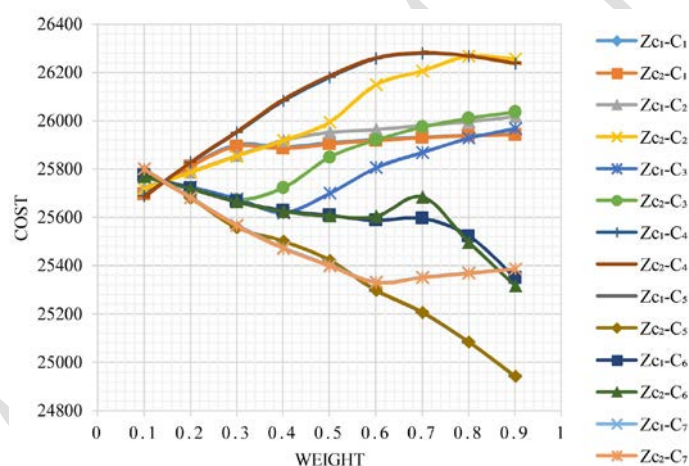
با توجه به اهمیت تابع هدف هزینه در فرایند تصمیم‌گیری، اثر تغییرات وزن شاخص‌ها بر این تابع در شکل ۹ ارائه شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، تغییرات وزن شاخص‌ها می‌تواند اثری کاهشی و یا افزایشی روی تابع هزینه داشته باشد. به‌طور مثال شاخص‌های C2 و C3 اثری افزایشی بر تابع هزینه داشته در حالی که شاخص‌های C5 و C7 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 C2 و C3 مشاهده نمود.

### بحث و نتیجه‌گیری

انتخاب تأمین‌کننده مناسب و تخصیص صحیح سفارشات، 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 بیش از پیش احساس می‌شود. اتخاذ تصمیمات نادرست در این مرحله می‌تواند منجر به کاهش کیفیت کالاها، افزایش هزینه‌ها و در نهایت به کاهش رضایت مشتریان و کاهش سهم بازار منجر شوند. از این‌رو، 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 با هدف توسعه یک رویکرد تصمیم‌گیری گروهی برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارشات، 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 فیناگورثی 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 به صورت درجه عضویت و عدم عضویت، به تصمیم گیرندگان این امکان را می دهد که نه تنها میزان مطلوبیت هر تأمین کننده را با دقت بیشتری اندازه گیری کنند، بلکه عدم اطمینان مرتبط با این ارزیابی ها را نیز به طور مستقیم در فرآیند تصمیم گیری لحاظ کنند. همچنین، در نظر گرفتن درجه اطمینان پاسخگویی به تصمیم گیرندگان کمک می کند تا تفاوت های احتمالی در سطح اطمینان افراد مختلف را در ارزیابی های خود منعکس کنند. این امر باعث می شود 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 کریتیک برای وزن دهی به شاخص ها و استفاده از عملگر تجمع موزون هندسی انیشتین، عملکرد نهایی تأمین کنندگان به طور دقیق و قابل اعتماد محاسبه می شود. این عملکردها، همراه با پارامترهای تخصیص سفارش، در قالب یک مدل چندهدفه ترکیب شده و با استفاده از تکنیک برنامه ریزی فازی حل می شوند. این مجموعه از رویکردها و تکنیک ها، این تحقیق را به ابزاری قدرتمند برای بهینه سازی فرآیند انتخاب تأمین کننده و تخصیص سفارشات تبدیل کرده است که در نهایت به تصمیمات دقیق تر و کارآمدتر منجر می شود. برای بررسی و تحلیل رویکرد پیشنهادی، یک مسئله انتخاب تأمین کننده و تخصیص سفارش بر اساس شاخص های زیست محیطی مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر این، یک تحلیل حساسیت بر روی وزن شاخص ها انجام شده تا کارایی و منطقی بودن نتایج مورد ارزیابی قرار گیرد. این تحلیل نشان می دهد 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 محدودیت های 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 ارزیابی های تصمیم گیرندگان، پیشنهاد می شود در تحقیقات آینده رویکرد ارائه شده با پارامترهای غیرقطعی بیشتر و مسائل بزرگ تر بررسی گردد. همچنین می توان تأثیر استفاده از عملگرهای تجمع 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 میتوان با موزون کردن پارامترهای  $kp_{ij}$  و  $kn_{ij}$  و 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 شاخص‌ها استفاده نمود. در نظر گرفتن مدل به صورت چند سطحی، چند محصولی و چند دوره‌ای و نیز وارد کردن اهداف مربوط به پایداری زنجیره تأمین می‌تواند به توسعه مدل چندهدفه پیشنهادی کمک کند.

### تعارض منافع

نویسنده هیچ‌گونه تعارض منافی ندارد.

### ORCID

Mehdi

Keshavarz-Ghorabae



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

### References

- Adam, F., & Humphreys, P. (2008). *Encyclopedia of Decision Making and Decision Support Technologies*: Information Science Reference.
- 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>
- 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>
- 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>
- 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.
- 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>
- Atanassov, K. T. (2013). *Intuitionistic Fuzzy Sets: Theory and Applications*: Physica-Verlag HD.
- 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>
- 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>
- 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)
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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.
- 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>

- 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>
- Rabieh, M., Fadaei Rafsanjani, A., Babaei, L., & Esmaili, 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.
- 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>
- Rezaei, A., Rahiminezhad Galankashi, M., Mansoorzadeh, S., & Mokhtab 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>
- 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.
- Sahebjamnia, N. (2020). Resilient supplier selection and order allocation under uncertainty. *Scientia Iranica*, 27(1), 411–426.
- Shidpour, H., Shidpour, M., & Tirkolae, 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>
- Tirkolae, 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>

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)

اماده انتشار