

# **Sustainable Meat Supplier Selection Using the DEMATEL-TOPSIS Method Under Internal and External Uncertainty (Case study: Shahrvand Company)**

**Mojtaba Farrokh\*** 

Assistant professor, Department of  
Operations Management and Information  
Technology, Faculty of Management,  
Kharazmi University, Tehran, Iran

## **Abstract**

Nowadays, despite the growing awareness of evaluating suppliers based on sustainability aspects, there are still limitations in selecting suppliers according to sustainable performance due to the lack of a comprehensive list of sustainability criteria and well-developed methods for assessing them. Given the complexity and uncertainty surrounding these criteria and the supplier evaluation process, along with the need for high precision and sensitivity, this study aims to apply a rough-fuzzy DEMATEL-TOPSIS approach to rank meat and livestock suppliers. This hybrid method is designed to manage both internal and external uncertainties as well as the complexity of sustainability criteria. In the first phase, the rough-fuzzy DEMATEL method is used to determine the weights and interrelationships among the criteria. In the second phase, the rough-fuzzy TOPSIS method is employed to rank the suppliers. The applicability of this approach is examined through a case study in the meat supply chain. The results reveal that five criteria—cost, livestock health and meat freshness, impact on the local community, delivery reliability, and technological capability—are the most influential factors in selecting sustainable suppliers.

---

\* Corresponding Author: Farrokh@khu.ac.ir

**How to Cite:** xxxxxxxx

## **Introduction**

The selection of sustainable suppliers for meat and livestock has become a central topic within the food supply chain (Mohammed, 2020; Islam et al., 2024). Given the increasing global concerns regarding climate change, improving animal welfare conditions, and ensuring food quality and safety, the need for suppliers adhering to sustainability principles is becoming more urgent. Sustainable suppliers must not only comply with environmental requirements but also pay special attention to social and economic aspects to meet customer and community needs (Masudin et al., 2024; Singh et al., 2025). This paper examines the criteria and challenges associated with selecting sustainable suppliers in the meat and livestock industry and discusses innovative methods for evaluating and improving their performance .

This study proposes a methodology for selecting sustainable suppliers by developing a rough- fuzzy DEMATEL-TOPSIS approach that considers internal and external uncertainties. This approach offers several advantages: firstly, it combines the fuzzy and rough sets—merging internal and external uncertainty management (Chen et al., 2019). Secondly, the proposed rough-fuzzy method simplifies the understanding of uncertainty using convex polygons. Thirdly, the integration of fuzzy sets and rough sets provides a clear approach to managing various types of uncertainties, reducing distortions that could lead to incorrect outcomes (Chen et al., 2019; Stević et al., 2025). In this research, the Shahrvand Company was selected as a case study.

## **Literature Review**

Regarding the selection of meat and livestock suppliers, although selection criteria have been well-developed, there is no consensus on the number of criteria or the overarching theory that defines the sustainability criteria chosen. Aliikhani and colleagues (2019) show that strategic meat supplier selection is a multifaceted process that requires considering various factors, including sustainability and risk, yet no comprehensive research has simultaneously addressed both factors. According to them, traditional decision models in this area cannot distinguish sufficiently between different candidates, especially under conditions involving subjective judgments and separate criteria for each supplier. This study presents a multi-criteria approach utilizing fuzzy sets and a Data Envelopment Analysis (DEA) model that considers risk and sustainability simultaneously in supplier evaluation. Mohammed (2020) indicates that evaluating and selecting meat suppliers based on sustainability,

involving environmental, social, and economic criteria, requires multi-criteria decision-making methods and integrated fuzzy multi-criteria techniques. This research develops an integrated approach based on fuzzy multi-criteria techniques for assessing, selecting, and optimally allocating suppliers in the meat supply chain, contributing to more comprehensive and sustainable decision-making processes. Khan and Ali (2021) demonstrate that selecting a sustainable supplier in the meat distribution chain involves analyzing multiple factors, including environmental, economic, and social dimensions. Furthermore, innovative methods such as interpretive structural modeling (ISM) and fuzzy VIKOR were employed to identify key factors and evaluate suppliers in the Pakistani meat chain.

Developing a systematic methodology that simultaneously considers these two types of internal and external uncertainties is essential. To address this issue, Chen et al. (2019) used rough-fuzzy sets within a DEMATEL- ANP framework to evaluate the needs for sustainable value in product service systems, providing a valuable reference for managing internal and external uncertainties concurrently.

## **Methodology**

In this study, after gathering the effective criteria for supplier evaluation from a review of the literature in reputable databases and through interaction with the planning, commercial, production, research and development, and quality control departments of the studied company, a total of 14 sustainability indicators were selected. Additionally, five supplier companies were evaluated as decision-making model options. One of the objectives of this research is to examine the interrelationships among sustainability criteria across economic, social, and environmental dimensions. The proposed approach introduces a new framework for evaluating and selecting suppliers based on sustainability criteria. In the first stage, the rough-fuzzy DEMATEL method is used to determine the internal relationships among these criteria and their weights. In the second stage, the rough-fuzzy TOPSIS method is employed to rank the suppliers. The use of fuzzy numbers allows for considering external and internal impacts in selecting a sustainable supplier, providing more precise information for decision-making regarding the criteria and improving the accuracy of the ranking results (Chen et al., 2019).

## **Discussion and conclusion**

Based on the rankings derived from the rough-fuzzy DEMATEL method, the five top criteria are cost, livestock health and meat freshness, impact on the local community, delivery reliability, and technological capability, in that order. The analysis and ranking of the factors influencing the selection of sustainable suppliers for meat supply show that cost, livestock health, and meat freshness are the highest priority criteria. These findings suggest that organizational managers should primarily focus on controlling and improving factors related to cost and product quality, namely livestock health and meat freshness, as they directly affect customer satisfaction, supply process effectiveness, and organizational credibility. The criteria related to impact on the local community and delivery reliability also hold significant importance but are ranked lower; this indicates that, alongside quality and cost, special attention should be given to social interactions, especially considering the requirements for development and long-term sustainability .

Therefore, organizations should consider strategies that not only focus on economic criteria but also emphasize social aspects, enabling them to identify and develop leading and sustainable suppliers in competitive markets. This ranking also provides suppliers with insights to recognize their weaknesses and areas needing improvement, guiding them toward performance enhancement and alignment with sustainability goals.

**Keywords:** Supplier selection, Sustainability Criteria, Meat Supply Chain, Rough-Fuzzy DEMATEL, Rough-Fuzzy TOPSIS.

# انتخاب تامین کننده پایدار گوشت بكمك روش ديمتل-تاپسيس در شرايط عدم قطعيت داخلي و خارجي (مورد مطالعاتي: شركت شهروند)

استاديار، گروه مديريت عمليات و فناوري اطلاعات، دانشكده مديريت،  
دانشگاه خوارزمي، تهران، ايران.

مجتبي فرخ  \*

## چكیده

امروزه، با وجود آگاهی فزاینده‌ای که درباره ارزیابی تأمین کنندگان با توجه به جنبه‌های پایداری وجود دارد، محدودیت‌هایی در انتخاب تأمین کننده براساس عملکرد پایدار از نظر نبود فهرست جامعی از معیارهای پایداری و روش‌های توسعه یافته برای ارزیابی این معیارها وجود دارد. با توجه به فضای پیچیده و عدم اطمینان حاکم بر این معیارها و ارزیابی تأمین کنندگان و نیاز به دقت و حساسیت بالا در این ارزیابی، هدف این تحقیق استفاده از رویکرد ديمتل-تاپسيس راف-فازی در مسئله رتبه‌بندی تأمین کنندگان گوشت و دام زنده برای مدیریت هم عدم قطعیت داخلی و خارجی و هم پیچیدگی معیارهای پایداری است. در مرحله اول بكمك روش ديمتل راف-فازی وزن و روابط درونی بین این معیارها مشخص می‌شود. سپس در مرحله دوم روش تاپسيس راف-فازی برای تعیین رتبه تأمین کنندگان استفاده خواهد شد. قابلیت استفاده از این رویکرد با ارزیابی تأمین کنندگان در یک مورد مطالعه در زنجیره تأمین گوشت بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد پنج معیار هزینه، سلامت دام و تازگی گوشت، تأثیر روی جامعه محلی، قابلیت اطمینان تحویل و توانایی فناوری به ترتیب به عنوان پنج معیار برتر هستند که روی انتخاب تأمین کننده پایدار تأثیر چشم گیری دارند.

کلیدواژه‌ها: انتخاب تأمین کننده، معیارهای پایداری، ديمتل راف-فازی، تاپسيس راف-فازی.

## مقدمه

امروزه، شرکت‌ها بدلیل آگاهی فزاینده درباره پایداری، قوانین سختگیرانه دولتی و فشارها اجتماعی نمی‌توانند از مسئولیت‌های پایداری غفلت کنند (Stević et al., 2025). در این راستا، انتخاب تأمین‌کننده پایدار یکی از ارکان اساسی مدیریت زنجیره تأمین است که باید به خاطر اهمیت آن در تحقق اهداف پایداری شرکت‌ها و تأثیر آن در بهبود جایگاه رقابتی آن‌ها به دقت دنبال شود (Khan & Ali, 2021). این موضوع بر پایه این واقعیت استوار است که تأمین‌کنندگان می‌توانند نقش مهمی در مدیریت زنجیره تأمین پایدار ایفا کنند (Singh et al., 2025). در زنجیره تأمین خرده‌فروشی، انتخاب تأمین‌کننده پایدار<sup>1</sup> برای گوشت و دام زنده به عنوان یکی از مباحث محوری در زنجیره تأمین مواد غذایی مورد توجه قرار گرفته است (Mohammed, 2020; Islam et al., 2024). برای مثال، در سال‌های اخیر چندین فروشگاه زنجیره‌ای بزرگ بریتانیا مانند Tesco و Morrisons به دلیل همکاری با یک تأمین‌کننده متخلف که گوشت فاسد را به عنوان محصول سالم عرضه می‌کرد، با بحران اعتماد عمومی و آسیب جدی به اعتبار و سودآوری خود مواجه شدند. با توجه به نگرانی‌های فزاینده جهانی در مورد تغییرات اقلیمی، بهبود شرایط رفاه حیوانات و تضمین کیفیت و امنیت غذایی، نیاز به تأمین‌کنندگانی که به اصول پایدار پایبند باشند، بیش از پیش توسط شرکت‌های خرده‌فروشی احساس می‌شود. تأمین‌کنندگان پایدار نه تنها باید الزامات زیست‌محیطی را رعایت کنند، بلکه باید به جنبه‌های اجتماعی و اقتصادی نیز توجه ویژه‌ای داشته باشند تا بتوانند به نیازهای مشتریان و جامعه پاسخ دهند (Masudin et al., 2025; Singh et al., 2024). تأمین‌کننده‌ای که انتخاب می‌شود باید توانایی‌های لازم را برای تأمین با کیفیت مورد نظر داشته باشد و هدف مهم‌تر، شناسایی تأمین‌کننده‌ای است که امکان تأمین نیازهای شرکت براساس اهداف توسعه پایدار را دارا باشند (Alikhani et al., 2016; Khan & Ali, 2021).

ترکیب ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی در زنجیره تأمین به طور مکرر به عنوان مدیریت زنجیره تأمین پایدار تعبیر می‌شود که به رویکرد سه‌گانه معروف است (Li et al., 2019). انتخاب تأمین‌کننده پایدار به عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای مدیریت زنجیره تأمین پایدار در شرکت‌های خریده‌فروشی برای تأمین گوشت و دام زنده شناخته شده است، زیرا

---

<sup>1</sup> Sustainable supplier

فعالیت‌های تأمین‌کنندگان نقش حیاتی در کمک به آن‌ها برای دستیابی به مزیت رقابتی پایدار دارند (Mohammed et al., 2018). برخی پژوهشگران به معرفی معیارهای پایداری به عنوان معیارهایی عملیاتی و ضروری برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار پرداخته‌اند. با این حال، این معیارهای پایداری عمدتاً به صورت عمومی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان در زنجیره‌های تأمین معرفی شده‌اند (Nasri et al., 2023; Memari et al., 2019; Gökler & Boran, 2025) که برای زنجیره‌های تأمین شرکت‌های خرده‌فروشی که نیاز به ارزیابی تأمین‌کنندگان گوشت و دام زنده دارند، مناسب نیستند.

علاوه بر این، انتخاب تأمین‌کننده را می‌توان به عنوان یک فرایند تصمیم‌گیری چندمعیاره در نظر گرفت که شامل دو مرحله تعیین وزن معیارها و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان است. دیمتل<sup>۱</sup> روشی مفید برای تحلیل وابستگی‌های متقابل بین عوامل در یک فرایند پیچیده است و به طور گسترده در تحلیل معیارها، مدیریت و تصمیم‌گیری مسائل پیچیده‌ای مانند اولویت‌بندی معیارهای ارزیابی تأمین‌کننده پایدار مورد استفاده قرار گرفته است (Nasri et al., 2023; Chen et al., 2020; Gökler & Boran, 2025). این روش یک روش جامع برای ساخت و تحلیل یک مدل ساختاری که شامل روابط علی بین عوامل پیچیده و استراتژیک همانند معیارهای پایداری است، می‌باشد (Gökler & Boran, 2025). در روش دیمتل معیارها به دو گروه تقسیم می‌شوند: گروه علت و گروه معلول. گروه علت بر گروه معلول اثر می‌گذارد و چنین تأثیری برای برآورد وزن معیارها استفاده می‌شود (Dalalah et al., 2011). از این رو، مطالعه حاضر از روش دیمتل برای بررسی روابط درونی میان معیارها استفاده کرده و سپس وزن‌های معیارها را محاسبه می‌کند. از سوی دیگر، تاپسیس<sup>۲</sup>، روشی رایج در تصمیم‌گیری چندمعیاره است که به طور گسترده‌ای برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان پایدار مورد استفاده قرار گرفته است (Mohammed, 2020; Li et al., 2019; Memari et al., 2019). این روش بر پایه این ایده است که بهترین راه‌حل همواره نزدیک‌ترین فاصله اقلیدسی به راه‌حل ایده‌آل مثبت و دورترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل منفی را به طور همزمان دارد (Sangaiah et al., 2015). این روش قادر است عملکرد نسبی گزینه‌های تصمیم‌گیری را با کارایی محاسباتی بالا و حداقل محاسبات عددی اندازه‌گیری کند. با این حال، با توجه به عدم قطعیت داخلی و خارجی موجود در قضاوت خبرگان در

<sup>1</sup> DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory)

<sup>2</sup> TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution)

مرحله جمع‌آوری داده برای این روش‌ها، نه دیمتل و نه تاپسیس قطعی نمی‌توانند با این نوع عدم قطعیت‌ها به طور همزمان مقابله کنند. عدم قطعیت داخلی ناشی از ابهام فردی در تفکر و بیان ترجیحات تصمیم‌گیرندگان است (Chen et al., 2019). معمولاً فرآیند تصمیم‌گیری شامل حجم زیادی از اطلاعات و دانش خبرگانی است که معمولاً ناپایدار، ذهنی یا حتی ناسازگار است، زیرا تصمیم‌گیرندگان قضاوت‌های کلامی مبهمی را برای ارزیابی تأثیرات بین شاخص‌های پایداری به کار می‌برند که منجر به عدم قطعیت داخلی می‌شود. در حالی که عدم قطعیت خارجی به دلیل تنوع ترجیحات گروهی و تفاوت در قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان مختلف ایجاد می‌شود. به عبارت دیگر، هر تصمیم‌گیرنده بر مبنای ویژگی‌ها، اولویت‌ها و ارزش‌های شخصی خود قضاوت می‌کند و این تفاوت‌ها منجر به پاسخ‌ها و ارزیابی‌های متنوع می‌شود. این نوع عدم قطعیت ناشی از تفاوت‌های بین فردی است که به تنوع ترجیحات گروهی برمی‌گردد و نیازمند مدل‌های انعطاف‌پذیر برای ادغام دیدگاه‌های متفاوت است (Stević et al., 2025). برای مدیریت عدم قطعیت داخلی و خارجی به ترتیب از مجموعه‌های فازی<sup>۱</sup> و مجموعه‌های راف<sup>۲</sup> در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره توسط نویسندگان استفاده شده است (Chen et al., 2019; Pamučar et al., 2018). این ترکیب در طول فرآیند انتخاب، عدم قطعیت‌ها را در نظر می‌گیرد و از بروز تحریف در داده‌ها و نتایج نادرست جلوگیری می‌کند.

برای پرکردن شکاف پژوهشی مورد بحث فوق، مطالعه حاضر اولاً، به دنبال شناسایی مجموعه‌ای جامع از معیارهای پایداری با توجه به ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی است. این معیارها به عنوان معیارهای انتخاب تأمین‌کننده پایدار برای زنجیره تأمین شرکت‌های خرده‌فروشی جهت تأمین گوشت و دام زنده مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه بر این، نویسندگان تلاش می‌کنند از ترکیب دیمتل راف-فازی<sup>۳</sup> با تاپسیس راف-فازی استفاده کنند تا بتوان تأمین‌کنندگان را براساس معیارهای پایداری که از پیچیده‌گی و ابهام بالایی برخوردار هستند، ارزیابی کنند. پژوهش حاضر در نظر دارد ارزیابی جامعی از تأمین‌کنندگان براساس معیارهای پایداری با در نظر گرفتن وابستگی‌های بین این معیارها انجام دهد که در قالب یک سیستم ارزیابی تأمین‌کنندگان مبتنی بر معیارهای پایداری اجرا می‌شود.

---

<sup>1</sup> Fuzzy Sets

<sup>2</sup> Rough Sets

<sup>3</sup> Rough-Fuzzy

وزن معیارهای پایداری با استفاده از دیمتل راف-فازی محاسبه می‌شود که توانایی بالایی در در نظر گرفتن روابط بین معیارهای پیچیده را دارد و از تاپسیس راف-فازی برای رتبه‌بندی تامین کنندگان استفاده می‌کند.

در این پژوهش، شرکت کالا و خدمات شهروند به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. شهروند یکی از پیشرفته‌ترین زنجیره سوپرمارکت در ایران است که به مسائل پایداری اهمیت ویژه‌ای می‌دهد. این شرکت با توجه به جایگاه ویژه‌ای که در عرضه محصولات غذایی در کشور دارد دارای تامین کنندگان زیاد، به خصوص در زمینه گوشت است. با توجه به احساس نیاز به وجود یک چارچوب و روش منسجم برای ارزیابی و انتخاب تامین کنندگان گوشت در شرکت شهروند براساس اهداف پایداری، این موضوع به عنوان یک خلأ در نظر گرفته شده است و در دستور کار قرار گرفته است. در پژوهش جاری، با بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، تامین کنندگان گوشت و دام این شرکت رتبه‌بندی خواهند شد.

### پیشینه پژوهش

با وجود اینکه معیارهای پایداری ارزیابی تامین کنندگان مربوط به صنایع مختلف به خوبی توسط برخی نویسندگان شناسایی شده‌اند (Hendiani et al., 2020; Mohammed, 2020; Mishra et al., 2024; Singh et al., 2025)، اما هنوز در زمینه معیارهای پایداری ارزیابی تامین کنندگان گوشت و فراورده‌های دامی مطالعه جامعی صورت نگرفته است. برای این منظور، در زنجیره تامین اکثر خرده‌فروشی‌ها عمده‌تاز معیارهای سنتی مانند قیمت، کیفیت و قابلیت اطمینان تحویل معمولاً توسط تیم خرید برای ارزیابی تامین کنندگان گوشت و فراورده‌های دامی استفاده می‌شوند. به زعم محمد<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۸) تصمیم‌گیری در فرآیند انتخاب تامین کننده گوشت، نیازمند در نظر گرفتن معیارهای پایداری و پیچیدگی‌های مرتبط با آن است. علیخانی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۹) نشان می‌دهند که انتخاب استراتژیک تامین کننده گوشت، فرآیندی چندجانبه است که به عوامل مختلفی از جمله ابعاد پایداری و ریسک نیاز دارد، اما تاکنون پژوهشی جامع که هر دو عامل را هم‌زمان در نظر گیرد، انجام نشده است. خان و علی<sup>۳</sup> (۲۰۲۱) نشان می‌دهند که انتخاب تامین کننده پایدار در زنجیره

<sup>1</sup> Mohammed

<sup>2</sup> Alikhani

<sup>3</sup> Khan & Ali

توزیع گوشت، نیازمند تحلیل عوامل متعددی است که شامل ابعاد زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی می شود. نجفی و ذلفقاریان<sup>۱</sup> (۲۰۲۴) نشان می دهند که در زنجیره های تامین مواد غذایی، به ویژه در زنجیره تامین گوشت، ادغام ابعاد اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی برای دستیابی به پایداری چالش برانگیز است و رویکردهای چندهدفه و مدل سازی های چندمعیاره برای مدیریت این ابعاد توصیه می شود. ایسلام<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۴) یک چارچوب جامع و تلفیقی برای انتخاب تامین کننده گوشت و برنامه ریزی تخصیص سفارش ارائه دادند که بر افزایش کارایی اقتصادی، کاهش ضایعات غذایی و انتشار گازهای گلخانه ای تأکید دارد. با این حال، در هیچ یک از این مطالعات به شناسایی معیارهای پایداری ارزیابی تامین کنندگان در مدیریت زنجیره تامین گوشت و دام زنده براساس یک روش جامع، نظام مند و مبتنی بر نظرات خبرگان پرداخته نشده است. به طور کلی، ضعف در مطالعات مربوط به انتخاب تامین کنندگان گوشت شامل عدم وجود یک رویکرد جامع، محرمانه بودن نتایج، تکیه بر تصمیم گیری های مبتنی بر هزینه و نگاه جزیره ای به فرآیند است (Mohammed, 2020).

طی چند دهه گذشته، معرفی و توسعه روش های تصمیم گیری چندمعیاره برای ارزیابی و انتخاب تامین کننده پایداری، مورد توجه اکثر نویسندگان قرار گرفته است. در میان روش هایی مانند تحلیل سلسله مراتبی<sup>۳</sup> (AHP)، فرایند تحلیل شبکه<sup>۴</sup> (ANP) و دیمتل که توسط نویسندگان مختلف (Chen et al., 2020; Alikhani et al., 2019; Tadić et al., 2014; Awasthi et al., 2018) برای تعیین وزن ها معیارها استفاده شده است، روش دیمتل بدلیل در نظر گرفتن رابطه علی-معلولی میان معیارهای مختلف به عنوان یک رویکرد نسبتاً مؤثر و عملی در تعیین وزن معیارها شناخته شده است (Song & Cao, 2017). از سوی دیگر، به زعم اوپریکوویچ و تزنگ<sup>۵</sup> (2004) و زایمر و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۶)، تاپسیس در مقایسه با ELECTERE، PROMETHEE و VIKOR از برتری نسبی در رتبه بندی تامین کنندگان برخوردار است، به طوری که در یافتن گزینه های مطلوب و سازشی بهتر عمل می کند. ترکیب دو روش دیمتل و تاپسیس که توسط برخی نویسندگان مورد استفاده قرار

<sup>1</sup> Najafi & Zolfagharinia

<sup>2</sup> Islam

<sup>3</sup> Analytical hierarchy process (AHP)

<sup>4</sup> Analytic Network Process (ANP)

<sup>5</sup> Opricovic & Tzeng

<sup>6</sup> Zimmer et al.

گرفته است ( Li et al., 2020; Sangaiah et al., 2015; Baykasoğlu et al., 2013; Zhang & Su, 2019)، تصمیم‌گیری را در شرایط پیچیده و چندمعیاره بهینه و قابل اعتماد می‌سازد.

به زعم علیخانی و همکاران (۲۰۱۹)، مدل‌های سنتی تصمیم‌گیری در حوزه ارزیابی تامین‌کنندگان نمی‌توانند تفاوت قابل‌توجهی بین کاندیداهای مختلف، به‌ویژه در شرایط قضاوت ذهنی و مواقعی که با معیارهای پیچیده برای ارزیابی تامین‌کنندگان روبه‌رو هستیم، قائل شوند. در این راستا، برخی محققان اصلاحاتی روی دیمتل جهت مدیریت عدم‌قطعیت در این روش انجام داده‌اند. برای نمونه دلالة و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۱) این روش را با بیان تأثیر عوامل به صورت زبانی و استفاده از مجموعه‌های فازی برای مدیریت عدم‌قطعیت داخلی اصلاح کردند. به زعم آن‌ها، استفاده از اعداد فازی مثلی این امکان را فراهم می‌کند تا قضاوت‌های مبهم با تبدیل بیان زبانی به یک عدد فازی مثلی با استفاده از یک تابع عضویت از پیش تعیین‌شده مدیریت شوند. همچنین برای مدیریت عدم‌قطعیت داخلی و ابهام زبانی خبرگان، پژوهشگران دیگری در مسئله انتخاب تأمین‌کننده از روش دیمتل و تاپسیس فازی استفاده کرده‌اند. برای نمونه، محمد (۲۰۲۰) نشان می‌دهند که ارزیابی و انتخاب تامین‌کنندگان گوشت براساس معیارهای پایداری، نیازمند ادغام تکنیک‌های چندمعیاره فازی است. این مطالعه، یک رویکرد یکپارچه و مبتنی بر تاپسیس فازی را برای ارزیابی، انتخاب و تخصیص بهینه تامین‌کنندگان در زنجیره تامین گوشت توسعه می‌دهد. اگرچه این روش‌ها مزیت‌های متفاوتی از نظر مدیریت عدم‌قطعیت داخلی (فردی) ارائه می‌دهند، اما قادر به مدیریت عدم‌قطعیت خارجی (بین فردی) ناشی از تنوع ترجیحات تصمیم‌گیرندگان مختلف نیستند (Chen et al., 2019). از سوی دیگر، در بسیاری از مطالعات قبلی، از مجموعه راف در انواع روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای مدیریت عدم‌قطعیت خارجی استفاده شده است؛ این رویکرد در تجميع قضاوت‌های متعدد به بازه‌های انعطاف‌پذیر که حاوی اطلاعات کافی مربوط به تصمیم‌گیرندگان گروهی است، خوب عمل می‌کند. در زمینه ارزیابی معیارهای مسئله انتخاب تأمین‌کننده پایدار، برخی از نویسندگان (Song & Cao, 2017; Singh et al., 2025) از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر مجموعه‌های راف مانند دیمتل راف استفاده کرده‌اند که قابلیت بالایی در مدیریت عدم‌قطعیت خارجی دارند، هرچند که برای مقابله با عدم‌قطعیت داخلی مناسب نیستند. برای

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

حل این مسئله، چن<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۹) از مجموعه اعداد راف-فازی در روش ANP-دیمتل برای ارزیابی سیستم خدمات محصول ارزش افزوده برای دستیابی به اهداف پایداری استفاده کردند که مرجع مفیدی برای مدیریت همزمان عدم قطعیت داخلی و خارجی فراهم می‌آورد. همچنین پاموکار و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۸) از اعداد راف-فازی برای اصلاح روش بهترین-بدترین<sup>۳</sup> (BWM) استفاده کردند.

با بررسی پیشینه تحقیق، می‌توان مشاهده کرد که نیاز به بهبود قابل توجهی در چارچوب انتخاب تأمین‌کننده پایدار وجود دارد. برای پاسخ به این چالش‌ها، در پژوهش حاضر علاوه بر شناسایی معیارهای پایداری مختص ارزیابی تأمین‌کنندگان گوشت و دام زنده، از ترکیب روش‌های دیمتل و تاپسیس راف-فازی برای این منظور استفاده می‌شود. با توجه به پیچیدگی، اهمیت استراتژیک، ابهام در قضاوت خبرگان در خصوص معیارهای پایداری، از روش دیمتل راف-فازی در مسئله ارزیابی تأمین‌کنندگان گوشت و دام زنده جهت تعیین ساختار علی و معلولی بین این معیارها و مدیریت عدم قطعیت داخلی و خارجی قضاوت خبرگان در خصوص آن‌ها استفاده می‌شود تا بتوان وزن این معیارها را بدرستی تعیین کرد. علاوه بر این، از تاپسیس راف-فازی با توجه به نقاط قوت آن برای ارزیابی تأمین‌کنندگان پایدار استفاده می‌شود.

## روش

در این مطالعه، بعد از جمع‌آوری معیارهای موثر در ارزیابی تأمین‌کنندگان که از بررسی پیشینه پژوهش در پایگاه‌های داده معتبر مانند Google، Web of Science، Scopus و Scholar و ScienceDirect بدست آمدند، و تعامل با واحد بازرگانی و کنترل کیفیت شرکت مورد مطالعه و همچنین کارشناسان سازمان‌های دیگر که در فرایند تأمین گوشت درگیر هستند، نهایتاً ۱۴ شاخص پایداری برگزیده و در جدول شماره ۱ آورده شدند. در این جدول، معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان براساس ابعاد پایداری در سه بعد اقتصادی (EC)، اجتماعی (SC) و زیست محیطی (EN) آورده شده‌اند. همچنین تأمین‌کنندگان به عنوان گزینه‌های مدل تصمیم‌گیری مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت.

<sup>1</sup> Chen

<sup>2</sup> Pamučar et al.

<sup>3</sup> Best–Worst Method (BWM)

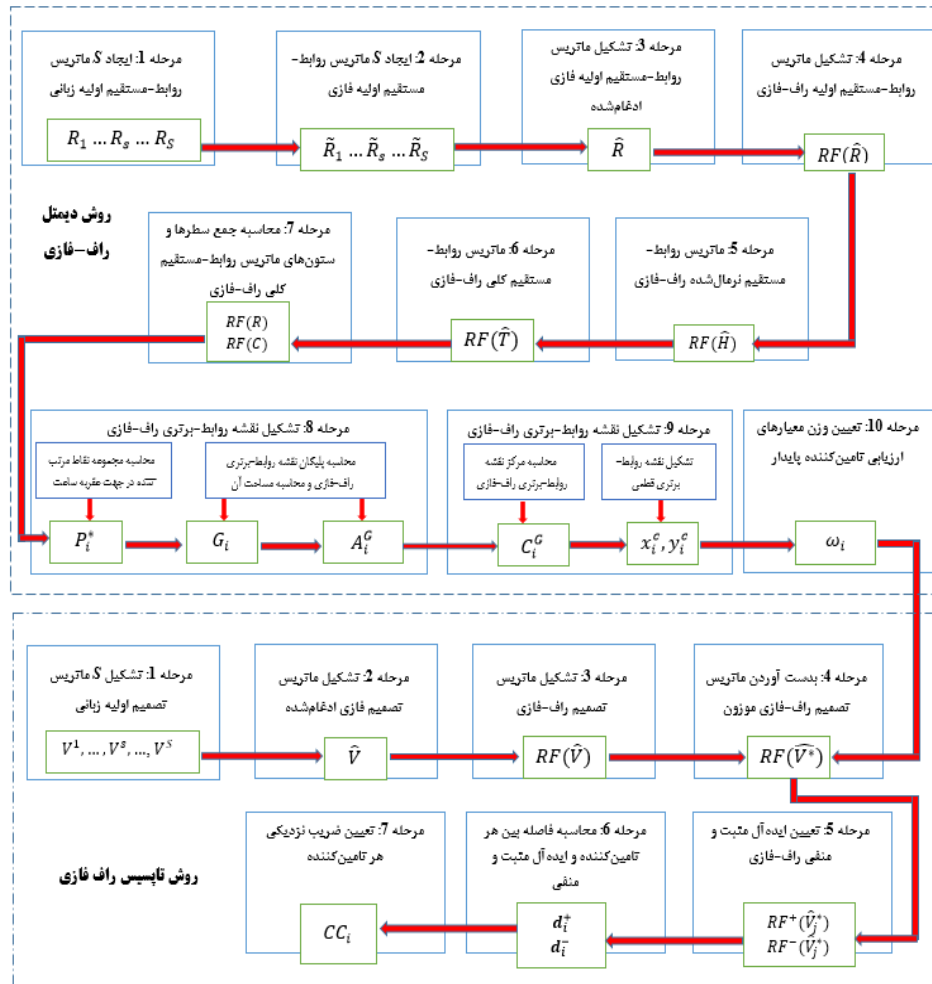
جدول ۱. معیارهای پایداری ارزیابی تامین کنندگان

| نماد            | معیار                  | شرح                                                                        | منابع                                                                                |
|-----------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| EC <sub>1</sub> | سلامت دام و تازگی گوشت | تضمین کیفیت و تازگی گوشت برای رضایت مشتری و کاهش ضایعات غذایی              | Mohammed, 2020; Islam et al., 2024; Najafi & Zolfagharinia, 2024; Singh et al., 2025 |
| EC <sub>2</sub> | توانایی فناوری         | بهره گیری از فناوری های نوین برای بهبود فرآیندهای تولید و کنترل کیفیت      | Masudin et al., 2024; Singh et al., 2025                                             |
| EC <sub>3</sub> | انعطاف پذیری           | قابلیت مقابله با تغییرات بازار و تقاضای مشتریان در فرآیندهای تامین و توزیع | Mishra et al., 2024; Islam et al., 2024; Najafi & Zolfagharinia, 2024                |
| EC <sub>4</sub> | قابلیت اطمینان تحویل   | توانایی تحویل به موقع و بدون نقص محصولات طبق توافقات زمانی و کمی           | Najafi & Zolfagharinia, 2024; Masudin et al., 2024                                   |
| EC <sub>5</sub> | سهولت ارتباطی          | برقرار کردن ارتباط موثر و شفاف با تامین کنندگان و ذینفعان زنجیره تامین     | Khan & Ali, 2021; Mishra et al., 2024; Islam et al., 2024                            |
| EC <sub>6</sub> | هزینه                  | هزینه های مرتبط با خرید، حمل و نقل و نگهداری کالا در فرآیند تامین و توزیع  | Mohammed et al., 2018; Alikhani et al., 2019; Mohammed, 2020                         |
| SC <sub>1</sub> | توسعه کارکنان          | برنامه های آموزشی و انگیزشی جهت ارتقاء مهارت ها و دانش کارکنان مرتبط       | Banaeian et al., 2015; Mohammed et al., 2018                                         |
| SC <sub>2</sub> | افشای اطلاعات          | شفافیت در عملیات، مستندسازی و گزارش دهی موثر به ذینفعان خارجی و داخلی      | Mishra et al., 2024; Islam et al., 2024; Singh et al., 2025                          |
| SC <sub>3</sub> | تاثیر روی جامعه محلی   | مشارکت در توسعه اقتصادی و اجتماعی جوامع محلی مرتبط با زنجیره تامین         | Najafi & Zolfagharinia, 2024; Masudin et al., 2024; Singh et al., 2025               |

| نماد            | معیار                       | شرح                                                                            | منابع                                                                     |
|-----------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| SC <sub>4</sub> | ایمنی، حقوق و سلامت کارکنان | رعایت مقررات ایمنی، حقوق انسانی و سلامت در تمامی مراحل زنجیره تامین            | Mohammed et al., 2018; Alikhani et al., 2019; Ecer & Pamucar, 2020        |
| EN <sub>1</sub> | مدیریت سبز                  | اجرای سیاست‌ها و اقدامات سبز برای کاهش اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های تامین‌کننده | Banaeian et al., 2015; Çalık et al., 2019                                 |
| EN <sub>2</sub> | مدیریت ضایعات               | کاهش و بازیافت ضایعات و جلوگیری از هدررفت مواد و منابع در فرآیندهای تولید      | Mohammed, 2020; Khan & Ali, 2021; Mishra et al., 2024; Islam et al., 2024 |
| EN <sub>3</sub> | مدیریت و سیاست‌های محیطی    | تدوین و رعایت سیاست‌های زیست‌محیطی و مدیریتی برای پایداری سازمانی              | Mohammed et al., 2018; Alikhani et al., 2019; Mohammed, 2020              |
| EN <sub>4</sub> | کنترل آلودگی                | اجرای اقدامات کاهش آلودگی هوا، آب و خاک در فعالیت‌های زنجیره تامین             | Najafi & Zolfagharinia, 2024; Masudin et al., 2024                        |

در این پژوهش از رویکرد ترکیبی دیمتل و تاپسیس راف-فازی برای رتبه‌بندی تامین‌کنندگان استفاده می‌شود. روش دیمتل راف فازی که توسط چن و همکاران (۲۰۲۰) توسعه یافته است با روش تاپسیس راف-فازی جهت ارزیابی تامین‌کنندگان با توجه به معیارهای پایداری ترکیب می‌شود. در مرحله اول بکممک روش دیمتل راف-فازی روابط درونی بین معیارهای اقتصادی، اجتماعی و محیطی و وزن آن‌ها مشخص می‌شود. در مرحله دوم روش تاپسیس راف-فازی برای تعیین رتبه تامین‌کنندگان استفاده خواهد شد. استفاده از مجموعه‌های راف و فازی در این رویکرد می‌تواند عدم قطعیت خارجی و داخلی قضاوت‌های خبرگان را در ارزیابی معیارهای پایداری و تامین‌کنندگان را در نظر بگیرد و باعث بهبود تصمیم‌گیری در رتبه‌بندی تامین‌کنندگان شود (Chen et al., 2019). مراحل محاسباتی رویکرد دیمتل و تاپسیس راف-فازی در شکل ۱ آورده شده است.

شکل ۱. مراحل محاسباتی روش ترکیبی دیمتل و تاپسیس راف-فازی



## روش دیمتل راف-فازی

در روش دیمتل، برای جمع آوری داده ها، پرسش نامه طراحی شده بین خبرگان توزیع شد. قضاوت خبرگان در این پرسشنامه بر پایه عبارات کیفی استوار است که در ادامه، بر اساس جدول ۲، این عبارات به عبارات کمی تبدیل می شوند. مراحل روش دیمتل راف-فازی:

مرحله ۱. ایجاد ماتریس های رابطه-مستقیم اولیه زبانی

برای اندازه گیری روابط بین  $n$  شاخص ارزیابی تامین کنندگان، از یک گروه تصمیم گیری متشکل از  $S$  تصمیم گیرندگان (DM) دعوت می شود تا با بیان قضاوت های زبانی برای مقایسات زوجی بین  $n$  شاخص، مجموعه ای از ماتریس های مقایسه زوجی را بسازند. ماتریس رابطه-مستقیم اولیه زبانی  $S$  امین خبره به صورت زیر تشکیل می شود:

$$R^s = \begin{pmatrix} 0 & r_{12}^s & \cdots & r_{1n}^s \\ r_{21}^s & 0 & \cdots & r_{2n}^s \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1}^s & r_{n2}^s & \cdots & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

جایی که  $r_{ij}^s$  ارزیابی خبره  $s$ ام از درجه که معیار  $i$ ام روی معیار  $j$ ام تاثیر می گذارد را نشان می دهد، و  $S$  تعداد خبرگان، و  $n$  تعداد معیارهای ارزیابی تامین کنندگان است.

## مرحله ۲. تشکیل ماتریس های رابطه-مستقیم اولیه فازی

بر طبق پاموکار و همکاران (۲۰۱۸) و براساس مقیاس فازی جدول ۲، عناصر  $r_{ij}^s$  ماتریس زبانی  $R^s$  به اعداد فازی مثلثی  $^1 \tilde{r}_{ij}^s = (l_{ij}^{rs}, m_{ij}^{rs}, u_{ij}^{rs})$  تبدیل می شود، جایی که  $l_{ij}^{rs}$ ،  $m_{ij}^{rs}$  و  $u_{ij}^{rs}$  به ترتیب نشان دهنده حد پایین، وسط و بالای هر عدد فازی مثلثی هستند.

جدول ۲. مقیاس اعداد فازی مثلثی برای متغیرهای زبانی (Chen et al., 2020)

| شماره | اصطلاحات زبانی         | مقیاس فازی مثلثی |
|-------|------------------------|------------------|
| 1     | بدون تأثیر (NI)        | (0, 0, 0)        |
| 2     | تأثیر بسیار کم (VLI)   | (0, 0, 0/5)      |
| 3     | تأثیر کم (LI)          | (0/5, 1, 1/5)    |
| 4     | تأثیر متوسط (MI)       | (1/5, 2, 2/5)    |
| 5     | تأثیر زیاد (HI)        | (2/5, 3, 3/5)    |
| ۶     | تأثیر بسیار زیاد (VHI) | (3/5, 4, 4)      |

سپس، ماتریس رابطه-مستقیم اولیه فازی  $\tilde{R}^s$  به صورت زیر ایجاد می شود:

$$\tilde{R}^s = \begin{pmatrix} 0 & \tilde{r}_{12}^s & \cdots & \tilde{r}_{1n}^s \\ \tilde{r}_{21}^s & 0 & \cdots & \tilde{r}_{2n}^s \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{r}_{n1}^s & \tilde{r}_{n2}^s & \cdots & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

<sup>1</sup> Triangular Fuzzy Numbers (TFN)

مرحله ۳. تشکیل ماتریس‌های روابط-مستقیم اولیه فازی ادغام‌شده

با تجمع ماتریس‌های رابطه-مستقیم اولیه فازی با یکدیگر که توسط S خبره تشکیل شده، ماتریس رابطه-مستقیم اولیه فازی ادغام‌شده به صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$\hat{R} = \begin{pmatrix} 0 & \hat{r}_{12} & \cdots & \hat{r}_{1n} \\ \hat{r}_{21} & 0 & \cdots & \hat{r}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{r}_{n1} & \hat{r}_{n2} & \cdots & 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

جایی که  $\hat{r}_{ij} = (\hat{l}_{ij}, \hat{m}_{ij}, \hat{u}_{ij})$   $\hat{l}_{ij} = \{l_{ij}^1, \dots, l_{ij}^s, \dots, l_{ij}^S\}$   $\hat{m}_{ij} = \{m_{ij}^1, \dots, m_{ij}^s, \dots, m_{ij}^S\}$   $\hat{u}_{ij} = \{u_{ij}^1, \dots, u_{ij}^s, \dots, u_{ij}^S\}$  و اعداد فازی مثلثی ادغام‌شده همچنین به صورت  $\hat{r}_{ij} = (\tilde{r}_{ij}^1, \dots, \tilde{r}_{ij}^s, \dots, \tilde{r}_{ij}^S)$  بیان می‌شود.

مرحله ۴. تشکیل ماتریس رابطه-مستقیم اولیه راف-فازی

بر طبق پاولاک<sup>۱</sup> (۱۹۸۲)، اعداد فازی مثلثی ادغام‌شده  $\hat{r}_{ij}$  می‌تواند طبق رویه عملیات زیر به اعداد راف-فازی تبدیل شوند:

برای اعداد فازی مثلثی ادغام‌شده  $\hat{r}_{ij} = \{\tilde{r}_{ij}^1, \dots, \tilde{r}_{ij}^s, \dots, \tilde{r}_{ij}^S\}$ ، تقریب‌های بالا و پایین S امین  $\tilde{r}_{ij}^s$  به ترتیب به صورت زیر می‌تواند بدست آید:

$$\underline{Apr}(\tilde{r}_{ij}^s) = \cup \{ \tilde{r}_{ij}^t \in \hat{r}_{ij} / \tilde{r}_{ij}^t \leq \tilde{r}_{ij}^s \} \quad (4)$$

$$\overline{Apr}(\tilde{r}_{ij}^s) = \cup \{ \tilde{r}_{ij}^t \in \hat{r}_{ij} / \tilde{r}_{ij}^t \geq \tilde{r}_{ij}^s \} \quad (5)$$

جایی که  $\underline{Apr}(\tilde{r}_{ij}^s)$  و  $\overline{Apr}(\tilde{r}_{ij}^s)$  به ترتیب تقریب پایین و بالای  $\tilde{r}_{ij}^s$  هستند (Chen et al., 2020). سپس حد بالا و حد پایین  $\tilde{r}_{ij}^s$  به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\underline{Lim}(\tilde{r}_{ij}^s) = (\underline{Lim}(l_{ij}^s), \underline{Lim}(m_{ij}^s), \underline{Lim}(u_{ij}^s)) = \left( \frac{\sum_{k=1}^{N_s^L} x_i^l}{N_s^L}, \frac{\sum_{k=1}^{N_s^L} x_i^m}{N_s^L}, \frac{\sum_{k=1}^{N_s^L} x_i^u}{N_s^L} \right) \quad (6)$$

$$\overline{Lim}(\tilde{r}_{ij}^s) = (\overline{Lim}(l_{ij}^s), \overline{Lim}(m_{ij}^s), \overline{Lim}(u_{ij}^s)) = \left( \frac{\sum_{k=1}^{N_s^U} y_i^l}{N_s^U}, \frac{\sum_{k=1}^{N_s^U} y_i^m}{N_s^U}, \frac{\sum_{k=1}^{N_s^U} y_i^u}{N_s^U} \right) \quad (7)$$

<sup>1</sup> Pawlak

جایی که  $x_i^l$ ،  $x_i^m$  و  $x_i^u$  به ترتیب عناصر تقریب پایین برای مرز پایین، مرز متوسط، و مرز بالای عدد فازی مثلثی  $\tilde{r}_{ij}^s$  هستند، و  $y_i^l$ ،  $y_i^m$  و  $y_i^u$  به ترتیب عناصر تقریب بالا برای مرز پایین، مرز متوسط، و مرز بالای عدد فازی مثلثی  $\tilde{r}_{ij}^s$  هستند. همچنین،  $N_s^L$  و  $N_s^U$  به تعداد موارد موجود در تقریب پایین و تقریب بالای عدد فازی مثلثی  $\tilde{r}_{ij}^s$  اشاره دارند.

هر  $\tilde{r}_{ij}^s$  به فرم راف-فازی تبدیل می‌شود. فرم راف-فازی  $RF(\tilde{r}_{ij}^s)$  به صورت زیر می‌تواند بیان شود:

$$RF(\tilde{r}_{ij}^s) = [\tilde{r}_{ij}^{sL}, \tilde{r}_{ij}^{sU}] = [(l_{ij}^{sL}, m_{ij}^{sL}, u_{ij}^{sL}), (l_{ij}^{sU}, m_{ij}^{sU}, u_{ij}^{sU})] \quad (8)$$

$$[\tilde{r}_{ij}^{sL}, \tilde{r}_{ij}^{sU}] = [\underline{Lim}(\tilde{r}_{ij}^s), \overline{Lim}(\tilde{r}_{ij}^s)] \quad (9)$$

$$(l_{ij}^{sL}, m_{ij}^{sL}, u_{ij}^{sL}) = (\underline{Lim}(l_{ij}^s), \underline{Lim}(m_{ij}^s), \underline{Lim}(u_{ij}^s)) \quad (10)$$

$$(l_{ij}^{sU}, m_{ij}^{sU}, u_{ij}^{sU}) = (\overline{Lim}(l_{ij}^s), \overline{Lim}(m_{ij}^s), \overline{Lim}(u_{ij}^s)) \quad (11)$$

جایی که  $\tilde{r}_{ij}^{sL}$  و  $\tilde{r}_{ij}^{sU}$  به ترتیب حد بالا و حد پایین عدد راف-فازی  $RF(\tilde{r}_{ij}^s)$  هستند.  $l_{ij}^{sL}$  و  $l_{ij}^{sU}$  به ترتیب حد بالا و حد پایین عدد راف  $RN(l_{ij}^s)$  هستند؛  $m_{ij}^{sL}$  و  $m_{ij}^{sU}$  به ترتیب حد بالا و حد پایین عدد راف  $RN(m_{ij}^s)$  هستند؛  $u_{ij}^{sL}$  و  $u_{ij}^{sU}$  به ترتیب حد بالا و حد پایین عدد راف  $RN(u_{ij}^s)$  هستند. سپس عدد راف-فازی متوسط  $RF(\hat{r}_{ij})$  با تجمع اعداد راف-فازی ادغام شده  $RF(\tilde{r}_{ij}^s)$  با استفاده از اصول محاسبه راف به صورت زیر بدست می‌آید:

$$RF(\hat{r}_{ij}) = [\tilde{r}_{ij}^L, \tilde{r}_{ij}^U] \quad (12)$$

$$\tilde{r}_{ij}^L = (r_{ij}^{lL}, r_{ij}^{mL}, r_{ij}^{uL}) = \left( \frac{\sum_{s=1}^S l_{ij}^{sL}}{S}, \frac{\sum_{s=1}^S m_{ij}^{sL}}{S}, \frac{\sum_{s=1}^S u_{ij}^{sL}}{S} \right) \quad (13)$$

$$\tilde{r}_{ij}^U = (r_{ij}^{lU}, r_{ij}^{mU}, r_{ij}^{uU}) = \left( \frac{\sum_{s=1}^S l_{ij}^{sU}}{S}, \frac{\sum_{s=1}^S m_{ij}^{sU}}{S}, \frac{\sum_{s=1}^S u_{ij}^{sU}}{S} \right) \quad (14)$$

جایی که  $\tilde{r}_{ij}^L$  و  $\tilde{r}_{ij}^U$  به ترتیب حد بالا و حد پایین عدد بازه راف-فازی  $RF(\hat{r}_{ij})$  هستند.  $l_{ij}^L$  و  $l_{ij}^U$  به ترتیب حد بالا و حد پایین بازه راف  $RN(\hat{l}_{ij})$  هستند؛  $m_{ij}^L$  و  $m_{ij}^U$  به ترتیب حد بالا و حد پایین عدد راف  $RN(\hat{m}_{ij})$  هستند؛  $u_{ij}^L$  و  $u_{ij}^U$  به ترتیب حد بالا و حد پایین بازه راف  $RN(\hat{u}_{ij})$  هستند (Chen et al., 2020).

نظر به حسابی بودن اعداد مربوط به رابطه بین معیارها، از میانگین حسابی جهت تجميع نظرات خبرگان در رابطه (۱۳) و (۱۴) استفاده شده است. برطبق (Chen et al., 2019)، ماتريس رابطه مستقيم اوليه راف-فازی را می توان به صورت زیر نوشت:

$$RF(\hat{R}) = \begin{pmatrix} 0 & RF(\hat{r}_{12}) & \dots & RF(\hat{r}_{1n}) \\ RF(\hat{r}_{21}) & 0 & \dots & RF(\hat{r}_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ RF(\hat{r}_{n1}) & RF(\hat{r}_{n2}) & \dots & 0 \end{pmatrix} \quad (15)$$

جایی که  $\tilde{r}_{ij}^U = (r_{ij}^{IU}, r_{ij}^{mU}, r_{ij}^{uU})$  و  $\tilde{r}_{ij}^L = (r_{ij}^{IL}, r_{ij}^{mL}, r_{ij}^{uL})$ ،  $RF(\hat{r}_{ij}) = [\tilde{r}_{ij}^L, \tilde{r}_{ij}^U]$

مرحله ۵. بدست آوردن ماتريس رابطه-مستقيم نرمال شده راف-فازی

ماتريس رابطه-مستقيم نرمال شده راف-فازی  $RF(\hat{H}) = [RF(\hat{h}_{ij})]_{n \times n}$  از طریق روابط (۱۸)-(۱۶) به ماتريس رابطه-مستقيم اوليه نرماليزه شده راف-فازی تبديل می شود، جایی که  $RF(\hat{h}_{ij}) = [(h_{ij}^{IL}, h_{ij}^{mL}, h_{ij}^{uL}), (h_{ij}^{IU}, h_{ij}^{mU}, h_{ij}^{uU})]$  ابتدا بكمك رابطه (۱۷)، يك عدد راف محاسبه و سپس اعداد راف-فازی رابطه (۱۵) در رابطه (۱۶) بر این عدد تقسيم می شوند.

$$RF(\hat{h}_{ij}) = \frac{RF(\hat{r}_{ij})}{RN(r)} \quad (16)$$

$$RN(r) = \left[ \max \sum_{j=1}^n r_{ij}^{uL}, \max \sum_{j=1}^n r_{ij}^{uU} \right], i, j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (17)$$

با درنظر گرفتن دو رابطه فوق  $RF(\hat{h}_{ij})$  می تواند به صورت زیر بدست آید:

$$RF(\hat{h}_{ij}) = \left[ \left( \frac{r_{ij}^{IL}}{\max \sum_{j=1}^n r_{ij}^{uL}}, \frac{r_{ij}^{mL}}{\max \sum_{j=1}^n r_{ij}^{uL}}, \frac{r_{ij}^{uL}}{\max \sum_{j=1}^n r_{ij}^{uL}} \right), \left( \frac{r_{ij}^{IU}}{\max \sum_{j=1}^n r_{ij}^{uU}}, \frac{r_{ij}^{mU}}{\max \sum_{j=1}^n r_{ij}^{uU}}, \frac{r_{ij}^{uU}}{\max \sum_{j=1}^n r_{ij}^{uU}} \right) \right] \quad (18)$$

مرحله ۶. بدست آوردن ماتريس رابطه کلی راف-فازی

در این گام شش ماتريس قطعی  $H_{mL} = [h_{ij}^{mL}]$ ،  $H_{IU} = [h_{ij}^{IU}]$ ،  $H_{IL} = [h_{ij}^{IL}]$ ،  $H_{uU} = [h_{ij}^{uU}]$ ،  $H_{uL} = [h_{ij}^{uL}]$ ،  $H_{mU} = [h_{ij}^{mU}]$  از ماتريس  $RF(\hat{H})$  استخراج می کنیم. ماتريس های  $H_{IU} = [h_{ij}^{IU}]$  و  $H_{IL} = [h_{ij}^{IL}]$  برای مثال به صورت زیر تعريف می شوند:

$$H_{IL} = \begin{pmatrix} h_{11}^{IL} & h_{12}^{IL} & \cdots & h_{1n}^{IL} \\ h_{21}^{IL} & h_{22}^{IL} & \cdots & h_{2n}^{IL} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{n1}^{IL} & h_{n2}^{IL} & \cdots & h_{nn}^{IL} \end{pmatrix}, H_{IU} = \begin{pmatrix} h_{11}^{IU} & h_{12}^{IU} & \cdots & h_{1n}^{IU} \\ h_{21}^{IU} & h_{22}^{IU} & \cdots & h_{2n}^{IU} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{n1}^{IU} & h_{n2}^{IU} & \cdots & h_{nn}^{IU} \end{pmatrix} \quad (19)$$

ماتریس رابطه کلی راف-فازی به صورت زیر محاسبه می شود:

$$RF(\hat{T}) = RF(\hat{H})(I - RF(\hat{H}))^{-1} \quad (20)$$

اجازه دهید  $RF(\hat{T}) = [RF(\hat{t}_{ij})]_{n \times n}$  باشد، جایی که  $RF(\hat{t}_{ij}) = [(l_{ij}^{tL}, m_{ij}^{tL}, u_{ij}^{tL}), (l_{ij}^{tU}, m_{ij}^{tU}, u_{ij}^{tU})]$  سپس:

$$T_{IL} = [t_{ij}^{IL}]_{n \times n} = H_{IL}(I - H_{IL})^{-1} \quad (21)$$

$$T_{IU} = [t_{ij}^{IU}]_{n \times n} = H_{IU}(I - H_{IU})^{-1} \quad (22)$$

به طور مشابه ماتریس  $T_{mL} = [t_{ij}^{mL}]_{n \times n}$ ،  $T_{mU} = [t_{ij}^{mU}]_{n \times n}$  و  $T_{uL} = [t_{ij}^{uL}]_{n \times n}$  با استفاده از روابط (۲۲)–(۱۹) می توانند بدست آیند.

مرحله ۷. محاسبه جمع ردیف ها و ستون های ماتریس رابطه راف-فازی

بر طبق سانگ و کاو<sup>۱</sup> (۲۰۱۷)، در ماتریس رابطه کلی راف-فازی، جمع ردیف ها و ستون ها به صورت جداگانه به عنوان بردارهای راف-فازی  $RF(P)$  و  $RF(C)$  نشان داده می شوند:

$$RF(P) = [RF(P_i)]_{n \times 1} = [(P_i^{tL}, P_i^{mL}, P_i^{uL}), (P_i^{tU}, P_i^{mU}, P_i^{uU})]_{n \times 1} \quad (23)$$

$$= \left[ \left( \sum_{j=1}^n t_{ij}^{tL}, \sum_{j=1}^n t_{ij}^{mL}, \sum_{j=1}^n t_{ij}^{uL} \right), \left( \sum_{j=1}^n t_{ij}^{tU}, \sum_{j=1}^n t_{ij}^{mU}, \sum_{j=1}^n t_{ij}^{uU} \right) \right]_{n \times 1}$$

$$RF(C) = [RF(C_i)]_{n \times 1} = [(C_i^{tL}, C_i^{mL}, C_i^{uL}), (C_i^{tU}, C_i^{mU}, C_i^{uU})]_{n \times 1} \quad (24)$$

$$= \left[ \left( \sum_{i=1}^n t_{ij}^{tL}, \sum_{i=1}^n t_{ij}^{mL}, \sum_{i=1}^n t_{ij}^{uL} \right), \left( \sum_{i=1}^n t_{ij}^{tU}, \sum_{i=1}^n t_{ij}^{mU}, \sum_{i=1}^n t_{ij}^{uU} \right) \right]_{n \times 1}$$

مقدار  $RF(P_i)$  نشان دهنده مجموع ردیف نام ماتریس  $RF(\hat{T})$  است و مجموع اثرات مستقیم و غیرمستقیم را نشان می دهد که معیار  $i$  روی سایر معیارها دارد. به طور مشابه، مقدار  $RF(C_i)$  مجموع ستون نام ماتریس  $RF(\hat{T})$  است و کل اثرات مستقیم و غیرمستقیم را که معیار نام از سایر معیارها دریافت می کند را نشان می دهد.

مرحله ۸. تشکیل نقشه رابطه-برتری راف-فازی

<sup>1</sup> Song & Cao

برای تعیین مقدار برتری، نوع رابطه، وزن نسبی و درجه عدم قطعیت معیارهای پایداری، نقشه برتری-رابطه راف-فازی براساس یک روش پیشنهادی مبتنی بر گراف که توسط چن و همکاران (۲۰۱۹) معرفی شده است، ساخته می‌شود. بردار راف-فازی  $RF(X_i)$  که "برتری راف-فازی" نامیده می‌شود با افزودن  $RF(P_i)$  به  $RF(C_i)$  بدست می‌آید. به طور مشابه، بردار  $RF(Y_i)$  که بردار "رابطه راف-فازی" نامیده می‌شود با تفریق  $RF(P_i)$  به  $RF(C_i)$  ساخته می‌شود. سپس  $RF(X_i)$  را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$RF(X_i) = \left[ (X_i^{LL}, X_i^{ML}, X_i^{UL}), (X_i^{LU}, X_i^{MU}, X_i^{UU}) \right]_{n \times 1} = \left[ (P_i^{LL} + C_i^{LL}, P_i^{ML} + C_i^{ML}, P_i^{UL} + C_i^{UL}), (P_i^{LU} + C_i^{LU}, P_i^{MU} + C_i^{MU}, P_i^{UU} + C_i^{UU}) \right]_{n \times 1} \quad (25)$$

$$RF(Y_i) = \left[ (Y_i^{LL}, Y_i^{ML}, Y_i^{UL}), (Y_i^{LU}, Y_i^{MU}, Y_i^{UU}) \right]_{n \times 1} = \left[ (P_i^{LL} - C_i^{LL}, P_i^{ML} - C_i^{ML}, P_i^{UL} - C_i^{UL}), (P_i^{LU} - C_i^{LU}, P_i^{MU} - C_i^{MU}, P_i^{UU} - C_i^{UU}) \right]_{n \times 1} \quad (26)$$

یک مجموعه نقاط  $P_i = \{p_i^k = (x_i^k, y_i^k) \mid k = 1, 2, \dots, 6\}$  برای آامین معیار تعریف کنید، جایی که:

$$\begin{cases} x_i^k \in \{X_i^{LL}, X_i^{ML}, X_i^{UL}, X_i^{LU}, X_i^{MU}, X_i^{UU}\} \\ y_i^k \in \{Y_i^{LL}, Y_i^{ML}, Y_i^{UL}, Y_i^{LU}, Y_i^{MU}, Y_i^{UU}\} \end{cases} \quad (27)$$

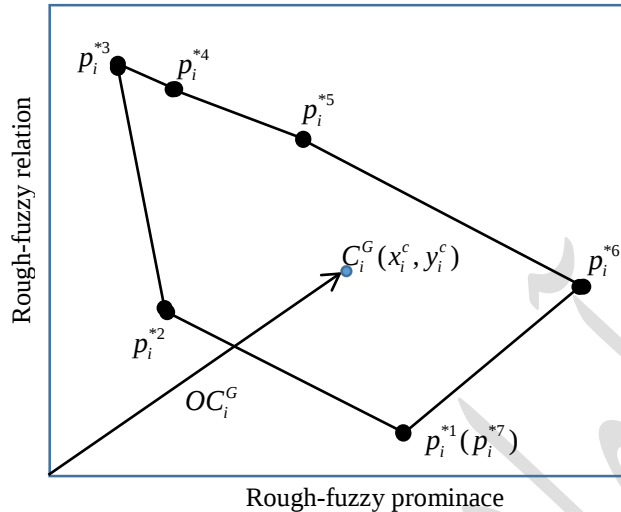
برای تشکیل نقشه رابطه-برتری راف-فازی برای آامین معیار، مجموعه نقاط  $P_i$  برای ایجاد پلگان محدب بسته  $G_i$  استفاده می‌شود. ابتدا، لازم است مجموعه نقاط  $P_i$  را به یک مجموعه نقاط جدید  $P_i^{*k} = \{p_i^{*k} = (x_i^{*k}, y_i^{*k}) \mid k = 1, 2, \dots, 6\}$  تبدیل کنیم که در آن همه نقاط  $p_i^k = (x_i^k, y_i^k)$  در جهت عقربه‌های ساعت مرتب می‌شوند. رویه تبدیل  $P_i$  به  $P_i^{*k}$  در مدل زیر ارائه می‌شود:

$\bar{p}_i = (\bar{x}_i, \bar{y}_i)$  را به عنوان نقطه مرکزی مجموعه نقاط  $P_i$  تعریف کنید، جایی که  $\bar{y}_i = \sum_{1 \leq k \leq 6} y_i^k / 6$  و  $\bar{x}_i = \sum_{1 \leq k \leq 6} x_i^k / 6$ . مختصات نسبی  $(\Delta x_i^k, \Delta y_i^k)$  هر نقطه  $p_i^k$  به نقطه مرکز  $\bar{p}_i$  به صورت محاسبه می‌شود:  $\Delta x_i^k = x_i^k - \bar{x}_i$  و  $\Delta y_i^k = y_i^k - \bar{y}_i$ . سپس مختصات نسبی را به مختصات قطبی  $(\Delta \rho_i^k, \Delta \theta_i^k)$  تبدیل کنید، جایی که  $\Delta \theta_i^k = \arctan(\Delta y_i^k / \Delta x_i^k)$ . بنابراین، با رتبه‌بندی  $\Delta \theta_i^k$  در جهت نزولی، مجموعه نقاط  $P_i$  به  $P_i^{*k}$  تبدیل می‌شود.

<sup>1</sup> Rough-fuzzy prominence

<sup>2</sup> Rough-fuzzy relation

شکل ۲. پلیگان رابطه-برتری راف- فازی



با نداشت مجموعه نقاط مرتب شده جدید  $P_i^{*k}$  برای هر معیار، یک چند ضلعی (پلیگان) محدب بسته  $G_i$  در صفحه دو بعدی همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، ساخته می‌شود. برای معیار  $\lambda_i$ ، پلیگان  $G_i$  منطقه راف-فازی برتری و روابط معیار  $\lambda_i$  را نشان می‌دهد، که به وسیله مساحت  $A_i^G$  مشخص می‌شود. منطقه  $A_i^G$  عدم اطمینان تصمیم‌گیری در خصوص معیار  $\lambda_i$  را نشان می‌دهد، که منعکس‌کننده تنوع ترجیحات (عدم قطعیت خارجی) و ابهام زبانی (عدم قطعیت داخلی) است و به صورت زیر محاسبه می‌شود (Steger, 1996):

$$A_i^G = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^6 (x_i^{*k} \times y_i^{*k+1} - x_i^{*k+1} \times y_i^{*k}) \quad (28)$$

که در این رابطه  $x_i^{*7} = x_i^{*1}$  و  $y_i^{*7} = y_i^{*1}$  می‌باشد. در واقع نقطه پایان، نقطه شروع نیز است (Chen et al., 2019).

### مرحله 9. تشکیل دیاگرام تاثیر - علی قطعی

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، نقطه  $C_i^G(x_i^c, y_i^c)$  در واقع مرکز ثقل پلیگان بسته است. بعد افقی  $x_i^c$  و بعد قائم  $y_i^c$  مربوط به مرکز  $C_i^G$  بوده که به ترتیب نشان‌دهنده «برتری» و «نوع رابطه» قطعی معیار  $\lambda_i$  است و می‌تواند به صورت زیر محاسبه شود.

$$x_i^c = \frac{1}{6A_i^G} \sum_{k=1}^6 ((x_i^{*k} + y_i^{*k+1}) \times (x_i^{*k} y_i^{*k+1} - x_i^{*k+1} y_i^{*k})) \quad (29)$$

$$y_i^c = \frac{1}{6A_i^G} \sum_{k=1}^6 ((y_i^{*k} + x_i^{*k+1}) \times (x_i^{*k} y_i^{*k+1} - x_i^{*k+1} y_i^{*k})) \quad (30)$$

به گفته سانگ و کاو (۲۰۱۷)، بردار  $y_i^c$  معیارها را به دو گروه علی و معلولی تقسیم می‌کند. وقتی معیاری به گروه علی تعلق دارد که مقدار  $y_i^c$  آن مثبت باشد. برعکس، اگر مقدار  $y_i^c$  منفی باشد، این معیار در گروه معلولی قرار می‌گیرد که به معیارهای دیگر وابسته است. نمودار علی و معلولی قطعی را می‌توان با نگاشت مجموعه داده  $(x_i^c, y_i^c)$  به دست آورد، که اطلاعات قابل مشاهده در مورد تعامل بین معیارهای مختلف را ارائه می‌دهد.

#### مرحله 10. تعیین وزن معیارهای پایداری

اهمیت معیار  $i$  با طول  $d_i^{oc}$  بردار  $OC_i^G$  که از مبدا به مرکز مرکزی  $C_i^G$  هدایت می‌شود نشان داده می‌شود که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$d_i^{oc} = \sqrt{(x_i^c)^2 + (y_i^c)^2} \quad (31)$$

سپس وزن‌های نرمال شده معیار  $i$ ام می‌تواند با نرمال کردن طول بردار  $d_i^{oc}$  که نشان‌دهنده برتری این معیار در بین معیارهای دیگر است، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$w_i = \frac{d_i^{oc}}{\sum_{1 \leq i \leq n} d_i^{oc}} \quad (32)$$

#### روش تاپسیس راف-فازی

در این بخش، روش تاپسیس راف-فازی که توسط لای<sup>۱</sup> و همکاران (۱۹۹۴) برای ارزیابی تامین‌کنندگان ارائه شده است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. ارزیابی زبانی خبرگان در مورد تامین‌کنندگان با توجه به هر معیار به عدد بازه راف-فازی تبدیل می‌شود. مراحل محاسباتی در ادامه نشان داده شده است:

#### مرحله ۱. ایجاد ماتریس‌های تصمیم اولیه زبانی

<sup>1</sup> Lai

با فرض اینکه  $p$  تامین کننده وجود دارند که توسط  $S$  تصمیم گیرنده با توجه به  $n$  معیار ارزیابی می شوند، ماتریس ارزیابی اولیه زبانی  $V^s$  که توسط  $S$  امین تصمیم گیرنده ساخته شده است به صورت زیر ایجاد می شود:

$$V^s = \begin{pmatrix} v_{11}^s & v_{12}^s & \cdots & v_{1n}^s \\ v_{21}^s & v_{22}^s & \cdots & v_{2n}^s \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{p1}^s & v_{p2}^s & \cdots & v_{pn}^s \end{pmatrix} \quad (33)$$

$v_{ij}^s$  نشان دهنده متغیر زبانی تامین تصمیم گیرنده در مورد عملکرد تامین کننده  $i$  ام تحت معیار  $j$  ام است ( $i=1, 2, \dots, p$ ).

مرحله ۲. تشکیل ماتریس تصمیم فازی ادغام شده

براساس مقیاس فازی جدول ۳، عناصر  $v_{ij}$  ماتریس زبانی  $V^s$  به  $\tilde{v}_{ij}^s = (l_{ij}^{vs}, m_{ij}^{vs}, u_{ij}^{vs})$  تبدیل می شوند. سپس ماتریس تصمیم فازی به صورت زیر تشکیل می شود:

$$\tilde{V}^s = \begin{pmatrix} \tilde{v}_{11}^s & \tilde{v}_{12}^s & \cdots & \tilde{v}_{1n}^s \\ \tilde{v}_{21}^s & \tilde{v}_{22}^s & \cdots & \tilde{v}_{2n}^s \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{v}_{p1}^s & \tilde{v}_{p2}^s & \cdots & \tilde{v}_{pn}^s \end{pmatrix} \quad (34)$$

جدول ۳. مقیاس اعداد فازی مثلثی برای متغیرهای زبانی (Dalalah et al., 2011)

| شماره | اصطلاحات زبانی  | مقیاس فازی        |
|-------|-----------------|-------------------|
| 1     | بسیار خوب (VG)  | (0/75, 1, 1)      |
| 2     | خوب (G)         | (0/5, 0/75, 1)    |
| 3     | منصفانه (F)     | (0/25, 0/5, 0/75) |
| 4     | ضعیف (P)        | (0, 0/25, 0/5)    |
| 5     | بسیار ضعیف (VP) | (0, 0, 0/25)      |

ماتریس فازی ادغام شده  $\hat{V}$  برای نشان دادن بهتر ماتریس های فازی متعدد ساخته شده توسط  $S$  تصمیم گیرنده معرفی شده است. هر عنصر از این ماتریس فازی ادغام شده با ترکیب عناصر منفرد مربوطه از  $S$  ماتریس فازی به دست می آید که به صورت زیر نشان داده شده است:

$$\hat{V} = \begin{pmatrix} \hat{v}_{11} & \hat{v}_{12} & \cdots & \hat{v}_{1n} \\ \hat{v}_{21} & \hat{v}_{22} & \cdots & \hat{v}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{v}_{p1} & \hat{v}_{p2} & \cdots & \hat{v}_{pn} \end{pmatrix} \quad (35)$$

جایی که  $\hat{v}_{ij} = (\hat{l}_{ij}^v, \hat{m}_{ij}^v, \hat{u}_{ij}^v)$ ،  $\hat{l}_{ij}^v = \{l_{ij}^{v1}, \dots, l_{ij}^{vs}, \dots, l_{ij}^{rs}\}$ ،  $\hat{m}_{ij}^v = \{m_{ij}^{v1}, \dots, m_{ij}^{vs}, \dots, m_{ij}^{rs}\}$  و اعداد فازی مثلثی ادغام شده همچنین به صورت  $\hat{u}_{ij}^v = \{u_{ij}^{v1}, \dots, u_{ij}^{vs}, \dots, u_{ij}^{rs}\}$  بیان می شود.  $\tilde{v}_{ij} = (\tilde{v}_{ij}^1, \dots, \tilde{v}_{ij}^s, \dots, \tilde{v}_{ij}^S)$

### مرحله ۳. تشکیل ماتریس تصمیم راف-فازی

مشابه روابط (۱۴)–(۴)، ماتریس تصمیم فازی ادغام شده می تواند تبدیل به ماتریس تصمیم راف-فازی شود:

$$RF(\hat{V}) = \begin{pmatrix} RF(\hat{v}_{11}) & RF(\hat{v}_{12}) & \cdots & RF(\hat{v}_{1n}) \\ RF(\hat{v}_{21}) & RF(\hat{v}_{22}) & \cdots & RF(\hat{v}_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ RF(\hat{v}_{p1}) & RF(\hat{v}_{p2}) & \cdots & RF(\hat{v}_{pn}) \end{pmatrix} \quad (36)$$

جایی که  $RF(\hat{v}_{ij}) = [\tilde{v}_{ij}^L, \tilde{v}_{ij}^U]$ ،  $\tilde{v}_{ij}^L = (v_{ij}^{lL}, v_{ij}^{mL}, v_{ij}^{uL})$  و  $\tilde{v}_{ij}^U = (v_{ij}^{lU}, v_{ij}^{mU}, v_{ij}^{uU})$ .

### مرحله ۴. تشکیل ماتریس تصمیم راف-فازی موزون

سپس، مقادیر ماتریس راف-فازی موزون  $RF(\hat{V}^*)$  به صورت زیر محاسبه می شود:

$$RF(\hat{V}_j^*) = w_j \times RF(\hat{V}_j) = [(w_j v_{ij}^{lL}, w_j v_{ij}^{mL}, w_j v_{ij}^{uL}), (w_j v_{ij}^{lU}, w_j v_{ij}^{mU}, w_j v_{ij}^{uU})] \quad (37)$$

$$= [(v_{ij}^{*lL}, v_{ij}^{*mL}, v_{ij}^{*uL}), (v_{ij}^{*lU}, v_{ij}^{*mU}, v_{ij}^{*uU})]$$

که  $w_j$  وزن هر کدام از معیارها است که در رابطه (۳۲) محاسبه شد.

### مرحله ۵. تعیین ایده آل مثبت و منفی راف-فازی

راه حل های ایده آل مثبت و منفی راف-فازی با استفاده از روابط زیر از ماتریس

تصمیم گیری راف-فازی مشخص می شوند:

$$RF^+(\hat{V}_j^*) = \max_i RF(\hat{V}_{ij}^*) \text{ where } \hat{v}_j^{*+uU} = \max_i \hat{v}_{ij}^{*+uU} \quad (38)$$

$$RF^-(\hat{V}_j^*) = \min_i RF(\hat{V}_{ij}^*) \text{ where } \hat{v}_j^{*-lL} = \min_i \hat{v}_{ij}^{*-lL} \quad (39)$$

که در آن  $RF^+(\hat{V}_j^*)$  و  $RF^-(\hat{V}_j^*)$  به طور جداگانه ایده آل مثبت و منفی راف-فازی را

نشان می دهد.

مرحله ۶. تعیین فاصله بین هر گزینه و ایده‌آل‌های مثبت و منفی

فاصله بین هر تامین‌کننده و ایده‌آل‌های مثبت و منفی طبق فرمول‌های زیر محاسبه می‌گردد:

$$d_i^+ = \sqrt{\frac{1}{6} \sum_{j=1}^n \left[ (v_{ij}^{*IL} - v_j^{*+IL})^2 + (v_{ij}^{*mL} - v_j^{*+mL})^2 + (v_{ij}^{*uL} - v_j^{*+uL})^2 + (v_{ij}^{*lU} - v_j^{*+lU})^2 + (v_{ij}^{*mU} - v_j^{*+mU})^2 + (v_{ij}^{*uU} - v_j^{*+uU})^2 \right]} \quad (40)$$

$$d_i^- = \sqrt{\frac{1}{6} \sum_{j=1}^n \left[ (v_{ij}^{*IL} - v_j^{*-IL})^2 + (v_{ij}^{*mL} - v_j^{*-mL})^2 + (v_{ij}^{*uL} - v_j^{*-uL})^2 + (v_{ij}^{*lU} - v_j^{*-lU})^2 + (v_{ij}^{*mU} - v_j^{*-mU})^2 + (v_{ij}^{*uU} - v_j^{*-uU})^2 \right]} \quad (41)$$

مرحله ۷. تعیین ضریب نزدیکی تامین‌کنندگان

ضریب نزدیکی<sup>۱</sup> تامین‌کنندگان جهت رتبه‌بندی آن‌ها به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (42)$$

#### یافته‌ها

در این بخش برای نشان دادن کارایی و عملکرد مدل ارائه شده، این روش در شرکت کالا و خدمات شهروند بکار گرفته می‌شود. این شرکت یکی از نهادهای معروف و معتبر در ایران است که در زمینه ارائه خدمات و فروش کالاهای مختلف فعالیت می‌کند. شرکت شهروند دارای فروشگاه‌های زنجیره‌ای در سراسر کشور است که در آن‌ها محصولات خوراکی، بهداشتی، آرایشی، الکترونیکی و دیگر کالاها به فروش می‌رسد. شهروند با تأمین کالاهای مورد نیاز از تولیدکنندگان و توزیع آن‌ها به فروشگاه‌های خود، نقش مهمی در زنجیره تأمین ایفا می‌کند. یکی از محصولات مورد نیاز در این شرکت گوشت و دام زنده است که فرآیند تأمین آن از پیچیدگی و چالش‌های مختلفی مواجهه است. تأمین گوشت و دام برای شرکت شهروند با چالش‌های متعددی همراه است که می‌تواند بر عملکرد و کیفیت خدمات این شرکت تأثیرگذار باشد. نوسانات شدید بازار و تغییرات قیمت، مشکلات بهداشتی و نیاز به نظارت دقیق بر کیفیت محصولات، محدودیت‌های وارداتی و صادراتی ناشی از سیاست‌های دولتی، چالش‌های لجستیکی در زنجیره تأمین، تأثیرات منفی تغییرات اقلیمی بر دامداری، و تعهدات اجتماعی و اخلاقی نسبت به دامداران محلی همگی از جمله مشکلاتی هستند که شرکت باید در مدیریت تأمین گوشت و دام به آن‌ها توجه کند. از سوی

<sup>1</sup> Closeness Coefficient (CC)

دیگر، با توجه به فشار روزافزون مشتریان و دولت برای عرضه گوشت و دام سالم که فرایند تامین و تولید آن توسط تامین کنندگانی که استانداردهای محیط زیست و منافع اجتماعی را رعایت می کنند، این شرکت در تلاش برای بهبود عملکرد پایدار خود برای دستیابی به موقعیت بهتر در بین رقبا است. در این راستا، مالکان و مدیران ارشد این شرکت انتخاب صحیح تامین کننده برای تامین گوشت و دام زنده را به عنوان یک استراتژی توسعه پایدار ضروری دانسته اند. در نتیجه، چارچوب پیشنهادی برای کمک به این شرکت برای ارزیابی تامین کنندگان براساس معیارهای ارزیابی پایدار اجرا می شود. بدین منظور، پس از تعامل با واحدهای بازرگانی و کنترل کیفیت شرکت، تعداد ۵ شرکت عرضه کننده گوشت و دام به عنوان کاندید انتخاب شدند. این تامین کنندگان شامل یک شرکت واردکننده گوشت از کشور برزیل که با فروشگاه های زنجیره ای در تأمین گوشت منجمد همکاری می کند، شرکت پشتیبانی امور دام کشور که امکان تهیه گوشت با قیمت های مصوب برای مصرف کنندگان از بازار داخل و خارج را فراهم می سازد، یک شرکت بسته بندی مستقر در تهران که به تامین گوشت تازه و منجمد برای فروشگاه های بزرگی مانند شهروند و رفا مشغول است، یک شرکت فرآورده های گوشتی مستقر در آمل که با فروشگاه های زنجیره ای برای عرضه گوشت همکاری می کند، و یک شرکت دیگر که در حوزه دامداری و صنایع روستایی قادر به تأمین گوشت تازه از دام های داخل کشور است. هر یک از این تامین کنندگان دارای نقاط قوت و ضعف های از نظر معیارهای پایداری هستند و شرکت شهروند پس از بررسی آنها بکمک چارچوب پیشنهادی قصد دارد جهت تامین گوشت مورد نیاز خود آن ها را اولویت بندی کند.

در این مطالعه، یک پنل از خبرگان متشکل از پنج متخصص از درون و بیرون شرکت شهروند تشکیل شد که برای تایید و ارزیابی معیارهای پایداری و تعیین امتیاز تامین کنندگان مورد بررسی بکار گرفته شدند. مشارکت کنندگان در این پنل شامل یک دامپزشک و متخصص علوم دامی از سازمان دامپزشکی، یک کارشناس محیط زیست آشنا با زنجیره تامین گوشت، یک کارشناس از وزارت جهاد کشاورزی آشنا با فرایند تأیید صلاحیت تامین کنندگان و صدور مجوزهای قانونی، و نهایتاً مدیر بازرگانی و مدیر کنترل کیفیت و ایمنی مواد غذایی شهروند هستند که هر یک بیش از ده سال سابقه کاری در حوزه تخصصی خود دارند. تمامی اعضای پنل دارای تخصص فنی یا مدیریتی لازم در حوزه تولید و تامین

گوشت از بازار داخل یا خارج کشور بوده و از دانش کافی در ارزیابی تامین کنندگان و معیارهای پایداری بهره‌مند هستند. این خبرگان به صورت مستقل نظرات خود را در خصوص تاثیر معیارها روی هم و ارزیابی تامین کنندگان ارائه کردند تا مبنای دقیق و قابل اعتمادی برای تحلیل‌های مورد نیاز مدیران شهروند باشد.

برای درک و تایید معیارهای شناسایی شده، از روش دلفی استفاده شد. برای این منظور، جلسات دلفی در سه دور تکرار شد تا همگرایی در نظرات خبرگان حاصل شود. کارشناسان پنل، ۱۴ شاخص ارزیابی پایداری تامین کنندگان ( $EC_1, EC_2, \dots, EC_{14}$ ) جدول ۱ را مرتبط تشخیص دادند؛ بنابراین تصمیم گرفته شد این معیارها به عنوان معیارهای ارزیابی تامین کنندگان استفاده شوند.

برای جمع‌آوری داده‌ها، هر یک از این خبرگان ترجیحات خود را با متغیرهای زبانی، با توجه به دانش حوزه خود در خصوص معیارهای ارزیابی تامین کننده پایدار و عملکرد گذشته تامین کنندگان بیان می‌کنند. ابتدا برای اندازه‌گیری روابط بین ۱۴ معیار پایدار، هر یک از اعضای پنل دعوت می‌شوند تا براساس مقیاس جدول ۲ با بیان قضاوت‌های زبانی در خصوص روابط بین معیارهای ارزیابی تامین کنندگان، مجموعه‌ای از ماتریس‌های رابطه-مستقیم اولیه را به عنوان پرسشنامه اول پر کنند. در نتیجه، ماتریس‌های رابطه-مستقیم اولیه زبانی تهیه می‌شود. نهایتاً، ماتریس‌های اولیه ارزیابی زبانی براساس مقیاس جدول ۳ برای ۵ تامین کننده نامزد با توجه به هر شاخص از نظر ۵ خبره تهیه می‌شود. در ادامه، روش‌های دیمتل-تاپسیس راف-فازی برای ارزیابی و اولویت‌بندی تامین کنندگان اجرا می‌شود.

با توجه به محدودیت طول این مقاله، این بخش عمدتاً برخی از نتایج محاسباتی کلیدی روش دیمتل-تاپسیس راف-فازی را ارائه می‌کند. فرآیند تعیین وزن معیارها با استفاده از روش دیمتل راف-فازی در ادامه نشان داده شده است. هر یک از اعضای گروه تصمیم‌گیری، به ترتیب براساس مقیاس جدول ۲ قضاوت‌های زبانی را برای ارتباط معیارهای ارزیابی تامین کننده پایدار ارائه می‌کنند و در نتیجه، ماتریس‌های رابطه مستقیم اولیه زبانی آن‌ها فراهم می‌شود. سپس ارزیابی‌های زبانی تصمیم‌گیرندگان با استفاده از جدول ۲ به نمرات فازی تبدیل می‌شوند. گام بعدی، تشکیل ماتریس‌های رابطه-مستقیم اولیه راف-فازی برای معیارها است. این ماتریس‌ها بکمک روابط (۱۴)-(۴) با توجه به ماتریس‌های رابطه-مستقیم فازی ادغام شده به دست می‌آیند. عملیات تفصیلی برای تبدیل ماتریس مقایسات زوجی فازی

ادغام شده به ماتریس مقایسات زوجی راف-فازی ادغام شده با ذکر مثال مربوط به عدد فازی  
تأثیر معیار  $SC_1$  در معیار  $EC_2$  تشریح می شود. نظر خبره ۱ تا ۵ در بررسی تأثیر معیار  $SC_1$  در  
معیار  $EC_2$  به ترتیب  $(\frac{3}{5}, \frac{3}{5}, \frac{3}{5}, \frac{2}{5})$ ،  $(\frac{1}{5}, \frac{1}{5}, \frac{1}{5}, \frac{0}{5})$ ،  $(\frac{3}{5}, \frac{3}{5}, \frac{2}{5}, \frac{2}{5})$  و  $(\frac{4}{5}, \frac{4}{5}, \frac{4}{5}, \frac{4}{5})$   
است. در این صورت،  $\hat{m}_{12} = \{3, 1, 3, 2, 4\}$  که در ماتریس مقایسات زوجی فازی ادغام  
شده نشان داده شده است را در نظر بگیرید. عدد راف-فازی برای هر عنصر را می توان با  
استفاده از رابطه (۱۱)–(۴) به دست آورد:

$$\begin{aligned}\underline{Lim}(1) &= 1 & \overline{Lim}(1) &= (1+2+3+3+4)/5 = 2.6 \\ \underline{Lim}(2) &= (1+2)/2 = 1.5 & \overline{Lim}(2) &= (2+3+3+4)/4 = 3 \\ \underline{Lim}(3) &= (1+2+3+3)/4 = 2.25 & \overline{Lim}(3) &= (3+3+4)/3 = 3.33 \\ \underline{Lim}(4) &= (1+2+3+3+4)/5 = 2.6 & \overline{Lim}(4) &= 4 \\ RN(m_{12}^1) &= RN(m_{12}^3) = [\underline{Lim}(3), \overline{Lim}(3)] = [2.25, 3.33] \\ RN(m_{12}^2) &= [\underline{Lim}(1), \overline{Lim}(1)] = [1, 2.6] \\ RN(m_{12}^4) &= [\underline{Lim}(2), \overline{Lim}(2)] = [1.5, 3] \\ RN(m_{12}^5) &= [\underline{Lim}(4), \overline{Lim}(4)] = [2.6, 4]\end{aligned}$$

سپس با تجمیع این اعداد تقریبی طبق روابط (۱۴)–(۱۲)، میانگین تقریبی عدد راف به  
صورت  $RN(\hat{m}_{12}) = [1.92, 3.25]$  خواهد بود. با اتخاذ رویه های محاسباتی مشابه، فرم عددی  
راف برای  $\hat{I}_{12}$  و  $\hat{u}_{12}$  به صورت  $RN(\hat{I}_{12}) = [1.52, 2.75]$  و  $RN(\hat{u}_{12}) = [2.3, 3.54]$  بدست  
می آید. در نهایت، قضاوت های فازی ادغام شده به عدد راف-فازی  
 $RN(\hat{r}_{12}) = [(1.52, 1.92, 2.3), (2.75, 3.25, 3.54)]$  تبدیل می شوند. به همین ترتیب، سایر  
اعداد فازی مثلثی ادغام شده در ماتریس رابطه-مستقیم اولیه ادغام شده می توانند با به همین  
صورت به عدد راف-فازی تبدیل و ماتریس رابطه-مستقیم اولیه راف-فازی تشکیل شود.  
در مرحله بعد، این ماتریس که تأثیر معیارهای ارزیابی را روی هم نشان می داد، طبق روابط  
(۱۸)–(۱۶) به ماتریس رابطه راف-فازی نرمال تبدیل و سپس، ماتریس رابطه کلی راف-  
فازی طبق روابط (۲۲)–(۱۹) بدست می آید. در ادامه، جمع سطر و ستون های این ماتریس  
طبق روابط (۲۳) و (۲۴) محاسبه می شوند.

مختصات رأس و مساحت چند ضلعی مربوط به هر یک از معیارهای ارزیابی تأمین کننده  
پایدار براساس روابط (۳۰)–(۲۵) محاسبه و در جدول ۴ آورده شده است. سپس با نگاشت  
این مختصات همانند شکل ۲ در یک صفحه دو بعدی، چند ضلعی بسته (پلیگان) مربوط به

هر یک از این معیارها (نقشه رابطه-برتری راف-فازی) ساخته می‌شود. این نمودار نشان می‌دهد که هر چند ضلعی مرتبط با هر یک از معیارها، دارای ابعاد مشخصی از نظر اندازه و موقعیت مکانی بر روی نمودار است. مساحت هر چندضلعی نشان‌دهنده اندازه راف-فازی مرتبط با هر یک از معیارها است. درواقع، بزرگ بودن ناحیه چندضلعی به معنای افزایش عدم قطعیت از نظر ابهام زبانی (عدم قطعیت داخلی) و تنوع ترجیحات گروهی (عدم قطعیت خارجی) است. به عبارت دیگر، اندازه و موقعیت مکانی هر چند ضلعی بسته (پلیگان) که با اتصال این نقاط برای هر معیار بدست می‌آید، علاوه بر این که میزان عدم قطعیت داخلی و خارجی هر معیار را نشان دهد، امکان محاسبه مقدار تاثیر هر معیار بر روی معیارهای دیگر و همچنین درجه علی بودن هر معیار را مشخص می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که معیار  $EN_4$  دارای بزرگترین منطقه راف-فازی تصمیم (مساحت چند ضلعی) با مقدار  $0/847$  است. این بیان می‌کند که ارزیابی‌های خبرگان در مورد رابطه متقابل بین  $EN_4$  و سایر معیارها دارای بزرگترین مقادیر عدم قطعیت هستند. فرض بر این است که ابهام زبانی (عدم قطعیت داخلی) ناشی از قضاوت فردی به وسیله عدم قطعیت خارجی ناشی از خبره‌های گروهی تقویت شده است. علاوه بر این،  $EC_5$  دارای کوچک‌ترین اندازه عدم قطعیت داخلی و خارجی است، که به این معنی است که پنج خبره تناقض کمتری در قضاوت‌های این معیار دارند. این اندازه‌گیری می‌تواند مرجع قابل توجهی برای درک اینکه کدام معیار به بررسی‌های بیشتر نیاز دارد ارائه دهد.

جدول ۴. ماتریس نقاط گوشه‌ای چند ضلعی راف-فازی

| دسته            | $P_1^*$          | $P_2^*$          | $P_3^*$          | $P_4^*$          | $P_5^*$          | $P_6^*$          | $P_7^*$          | $A_i^G$ |
|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------|
| EC <sub>1</sub> | (3/432 , -1/638) | (3/849 , -1/269) | (2/249 , -1/009) | (1/629 , -0/759) | (1/309 , -0/869) | (1/839 , -0/959) | (3/432 , -1/638) | 0/441   |
| EC <sub>2</sub> | (3/165 , -1/145) | (3/430 , -1/021) | (1/430 , -0/521) | (1/530 , -0/451) | (1/830 , -0/521) | (2/230 , -0/781) | (3/165 , -1/145) | 0/170   |
| EC <sub>3</sub> | (3/108 , -1/118) | (3/416 , -1/010) | (2/316 , -0/610) | (1/426 , -0/410) | (1/116 , -0/037) | (1/816 , -0/712) | (3/108 , -1/118) | 0/413   |
| EC <sub>4</sub> | (3/065 , -1/735) | (3/460 , -1/231) | (2/230 , -0/961) | (1/560 , -0/742) | (1/130 , -0/581) | (1/830 , -0/991) | (3/065 , -1/735) | 0/548   |
| EC <sub>5</sub> | (1/758 , 0/657)  | (1/226 , 0/470)  | (1/316 , 0/310)  | (2/326 , 0/560)  | (3/845 , 0/9370) | (3/316 , 1/012)  | (1/758 , 0/657)  | 0/438   |
| ...             | ...              | ...              | ...              | ...              | ...              | ...              | ...              | ...     |
| EN <sub>4</sub> | (1/114 , -0/258) | (2/016 , -0/450) | (1/346 , -0/210) | (0/486 , -0/110) | (0/516 , -0/130) | (0/816 , -0/212) | (1/114 , -0/258) | 0/117   |

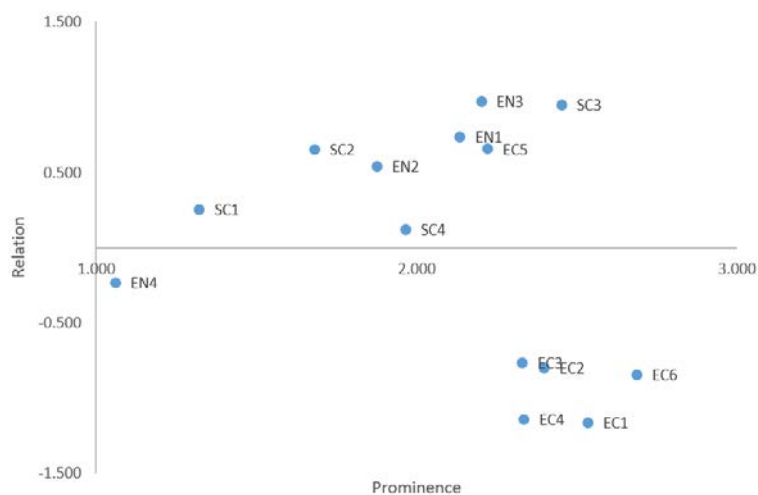
جدول شماره ۵ پارامترهای خاص چند ضلعی رابطه راف-فازی را برای هر معیار نشان می‌دهد. پارامترهای  $x_i^c$  و  $y_i^c$  به طور جداگانه نمایانگر بعد افقی و بعد عمودی مرکز  $C_i^G$  هر چندضلعی معیار هستند.  $d_i^{oc}$  نشان دهنده طول بردار  $OC_i^G$  است که از مبدأ به مرکز  $C_i^G$  هدایت می‌شود. این پارامتر برای اندازه‌گیری قدرت اهمیت معیار  $\bar{\alpha}$ ام استفاده می‌شود. رتبه‌بندی اوزان معیارهای ارزیابی تامین‌کننده پایدار به شرح زیر ارائه شده است:

معیار  $EC_6$  (هزینه)،  $EC_1$  (سلامت دام و تازگی گوشت)،  $SC_3$  (تاثیر روی جامعه محلی)،  $EC_4$  (قابلیت اطمینان تحویل) و  $EC_2$  (توانایی فناوری) به ترتیب به عنوان پنج معیار برتر تعیین می‌شوند. بعلاوه، همانطور که در جدول ۵ و شکل ۳ نشان داده شده است،  $EC_1$ ،  $EC_2$ ،  $EC_3$ ،  $EC_4$ ،  $EC_6$  و  $SC_1$  به گروه معلول تعلق دارند، زیرا مقادیر مختصات  $y_i^c$  آن‌ها منفی است و به صورت عدد پررنگ در جدول ۵ نشان داده شده است. بقیه معیارها به عنوان معیارهای علی و ساطع‌کننده اثر شناسایی می‌شوند.

جدول ۵. ماتریس وزن و رتبه معیارها

| شاخص   | $x_i^c$ | $y_i^c$       | $d_i^{oc}$ | $w_i$ | رتبه |
|--------|---------|---------------|------------|-------|------|
| $EC_1$ | 2.534   | <b>-1.163</b> | 2.788      | 0.090 | 2    |
| $EC_2$ | 2.397   | <b>-0.798</b> | 2.526      | 0.082 | 5    |
| $EC_3$ | 2.329   | <b>-0.764</b> | 2.452      | 0.079 | 6    |
| $EC_4$ | 2.334   | <b>-1.139</b> | 2.598      | 0.084 | 4    |
| $EC_5$ | 2.221   | 0.658         | 2.316      | 0.075 | 8    |
| $EC_6$ | 2.687   | <b>-0.842</b> | 2.816      | 0.091 | 1    |
| $SC_1$ | 1.321   | 0.254         | 1.345      | 0.043 | 13   |
| $SC_2$ | 1.681   | 0.654         | 1.804      | 0.058 | 12   |
| $SC_3$ | 2.452   | 0.954         | 2.631      | 0.085 | 3    |
| $SC_4$ | 1.965   | 0.123         | 1.969      | 0.064 | 10   |
| $EN_1$ | 2.135   | 0.741         | 2.260      | 0.073 | 9    |
| $EN_2$ | 1.875   | 0.542         | 1.952      | 0.063 | 11   |
| $EN_3$ | 2.201   | 0.974         | 2.407      | 0.078 | 7    |
| $EN_4$ | 1.058   | <b>-0.233</b> | 1.084      | 0.035 | 14   |

شکل ۳. ارتباط علت و معلولی معیارها در روش پیشنهادی



### رتبه‌بندی تامین‌کنندگان

در این قسمت، با استفاده از روابط (۳۹)–(۳۳)، هر دو راه حل ایده‌آل مثبت و منفی راف-فازی محاسبه شده و در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶. ماتریس ایده‌آل‌های مثبت و منفی روش تاپسیس راف-فازی پیشنهادی

| شاخص            | راه حل ایده‌آل مثبت                                   | راه حل ایده‌آل منفی                                   |
|-----------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| EC <sub>1</sub> | [(0/009 , 0/024 , 0/028),<br>(0/033 , 0/048 , 0/053)] | [(0/014 , 0/028 , 0/043),<br>(0/042 , 0/057 , 0/057)] |
| EC <sub>2</sub> | [(0/006 , 0/014 , 0/021),<br>(0/017 , 0/030 , 0/043)] | [(0/018 , 0/031 , 0/045),<br>(0/030 , 0/043 , 0/052)] |
| EC <sub>3</sub> | [(0/001 , 0/007 , 0/006),<br>(0/022 , 0/040 , 0/065)] | [(0/008 , 0/028 , 0/037),<br>(0/036 , 0/058 , 0/079)] |
| EC <sub>4</sub> | [(0/007 , 0/025 , 0/027),<br>(0/043 , 0/061 , 0/073)] | [(0/023 , 0/041 , 0/059),<br>(0/052 , 0/070 , 0/073)] |
| EC <sub>5</sub> | [(0/002 , 0/014 , 0/022),<br>(0/019 , 0/033 , 0/047)] | [(0/009 , 0/023 , 0/037),<br>(0/026 , 0/040 , 0/054)] |
| ...             | ...                                                   | ...                                                   |
| EN <sub>3</sub> | [(0/001 , 0/014 , 0/023),<br>(0/025 , 0/041 , 0/056)] | [(0/011 , 0/027 , 0/042),<br>(0/030 , 0/046 , 0/061)] |
| EN <sub>4</sub> | [(0/000 , 0/012 , 0/024),<br>(0/024 , 0/043 , 0/058)] | [(0/000 , 0/018 , 0/036),<br>(0/042 , 0/061 , 0/071)] |

جدول ۷ مربوط به مرحله ۶ روش تاپسیس راف-فازی است؛ در این مرحله، فاصله هر گزینه (تامین کننده) از ایده آل مثبت و منفی طبق روابط (۴۰) و (۴۱) محاسبه می شود. در این مرحله، با محاسبه این فواصل، عملیات دیفازی کردن اعداد راف فازی نیز صورت می گیرد. سپس، با اعمال رابطه (۴۲)، ضریب نزدیکی و رتبه هر تامین کننده، همانطور که در جدول ۷ نشان داده شده است، به دست می آید.

جدول ۷. ماتریس رتبه نهایی تامین کنندگان در روش پیشنهادی

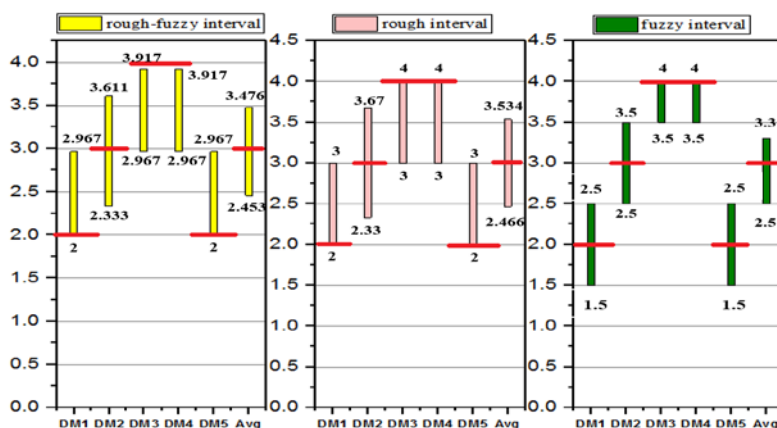
| رتبه | $CC_i$ | $d_i^-$ | $d_i^+$ | تامین کننده |
|------|--------|---------|---------|-------------|
| 5    | 0.365  | 0.102   | 0.177   | 1           |
| 3    | 0.569  | 0.169   | 0.128   | 2           |
| 2    | 0.581  | 0.182   | 0.131   | 3           |
| 1    | 0.605  | 0.069   | 0.045   | 4           |
| 4    | 0.532  | 0.115   | 0.101   | 5           |

### مقایسه مدیریت عدم قطعیت روش های مختلف

در این قسمت، نحوه مدیریت عدم قطعیت در روش دیمتل راف-فازی و مقایسه آن با روش های دیمتل قطعی، فازی، راف، با استفاده از روش مورد استفاده توسط چن و همکاران (۲۰۲۰) و سانگ و کاو (۲۰۱۷) نمایش داده می شود. تفاوت های بین این چهار روش عمدتاً ناشی از مکانیسم های مختلف مدیریت قضاوت تصمیم گیرندگان از لحاظ عدم قطعیت داخلی و خارجی است که منجر به فواصل تخمینی متفاوت در این روش ها می شود. در این قسمت، به منظور مقایسه تفاوت بین این چهار روش، از قضاوت های زبانی گروهی تصمیم گیرندگان در مورد تاثیر معیار سوم  $EC_3$  روی معیار دهم  $SC_{10}$  به عنوان مثال استفاده می کنیم. پنج نفر از خبرگان به ترتیب درجه تاثیر  $EC_3$  روی  $SC_2$  را به صورت  $MI$ ،  $VHI$ ،  $HI$ ،  $MI$  و  $VHI$  ارائه داده اند. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، مقادیر آن ها در روش قطعی که با خط قرمز مشخص شده، به صورت ۲ و ۳ و ۴ و ۴ و ۲ است. همچنین مقادیر روش فازی عبارتند از  $[1,5, 2,5]$ ،  $[2,5, 3,5]$ ،  $[3,5, 4]$ ،  $[3,5, 4]$  و  $[3,5, 4]$ . به همین ترتیب مقادیر مربوط به روش راف عبارتند از  $[2, 3]$ ،  $[2,33, 3,67]$ ،  $[3, 4]$ ،  $[3, 4]$  و  $[3, 3]$ ، و در گام آخر مقادیر مربوط به روش راف-فازی عبارتند از  $[2, 2,96]$ ،  $[2,33, 3,61]$ ،  $[2,96, 3,91]$ ،  $[2,96, 3,91]$  و  $[2, 2,96]$ . برای نمونه، با توجه به نظرات تصمیم گیرنده اول ( $DM_1$ ) و پنجم ( $DM_5$ ) که مقادیر قطعی آن ها ۲ است، می توان روش های مدیریت

عدم قطعیت مختلف را نشان داد. نتایج مقایسه نظرات این دو تصمیم گیرنده نشان می دهد که حد پایین روش فازی (۱,۵) نسبت به حد پایین روش راف-فازی (۲)، کمتر برآورد شده است، چون روش فازی تنها عدم قطعیت درون فردی را در نظر می گیرد و تأثیر دیدگاه دیگر تصمیم گیرندگان را در نظر نمی گیرد. به همین صورت، حد بالا در روش فازی (۲,۵) مقدار کمتری نسبت به حد بالا در روش راف-فازی (۲,۹۶۷) است. همچنین، حد بالای دامنه راف (یعنی [۲,۳]) در مقایسه با حد بالای دامنه راف-فازی (یعنی [۲,۲,۹۶]) مقدار بیشتری است؛ چرا که روش راف، عدم قطعیت درون فردی و ابهام زبانی را در نظر نمی گیرد. علاوه بر این، با محاسبه میانگین حسابی نظرات تصمیم گیرندگان در چهار روش، مقدار میانگین در روش قطعی عدد ۳ تعیین می شود. بازه های متوسط گروهی در روش های فازی، راف و راف-فازی به ترتیب برابر با [۲,۵، ۳,۳]، [۲,۴۶، ۳,۵۳] و [۲,۴۵، ۳,۴۷] است. این نتایج نشان می دهد که حد بالای دامنه میانگین در روش راف-فازی، بین حد پایین دامنه میانگین در روش های فازی و راف قرار دارد. به طور کلی، بازه میانگین گروهی در روش راف-فازی، وضعیت واقعی عدم قطعیت های درون فردی و بین فردی را منعکس می کند. در نتیجه، می توان نتیجه گرفت که در مطالعه حاضر، روش راف-فازی پیشنهادی امکان توصیف دقیق تر و واقعی تری از وضعیت معیارهای مورد نظر در مسئله ارزیابی تأمین کننده پایدار را فراهم می آورد.

شکل ۴. مقایسه بازه های تخمینی روش های مختلف



بحث و نتیجه گیری

این پژوهش با بررسی ادبیات به شناسایی معیارهای ارزیابی تامین کنندگان پایدار برای شرکت‌های خرده‌فروشی که به دنبال ارزیابی تامین کنندگان گوشت و دام زنده هستند، می‌پردازد. سپس، از ترکیب روش دیمتل-تاپسیس راف-فازی برای انتخاب تامین کننده پایدار استفاده می‌کند. روش دیمتل راف-فازی پیشنهادی، مجموعه‌های فازی و راف را با در نظر گرفتن ابهام زبانی فردی و تنوع ترجیحات گروهی، تلفیق می‌کند تا قضاوت‌های زبانی چندین کارشناس خبره را به بازه‌های عددی راف-فازی تبدیل کند تا بتوان عدم قطعیت داخلی و خارجی را به طور همزمان مدیریت کرد. انتخاب تامین کننده مناسب براساس روش دیمتل-تاپسیس راف-فازی می‌تواند ارتباط پیچیده و توأم با عدم قطعیت بین معیارها را در ارزیابی تامین کنندگان در نظر بگیرد. هدف اصلی در چنین مواردی انتخاب تامین کننده مناسب و تضمین روند پایدار است. اولاً، در چارچوب پیشنهادی به دقت بر شناسایی سیستماتیک معیارهای ارزیابی تامین کننده پایدار تاکید دارد، چرا که این معیارها مرجع ارزشمندی برای مدیران فراهم می‌کنند تا تامین کنندگان مناسب را در راستای الزامات توسعه پایدار بشناسند. این معیارها می‌تواند به مدیران کمک کنند تا تامین کنندگان مناسب را در مرحله توسعه پایدار، سریع‌تر هدف قرار دهند. ثانیاً، چارچوب مورد استفاده، توانایی دیمتل را در مدیریت روابط پیچیده و مبهم، به همراه قابلیت‌های روش تاپسیس در یافتن گزینه‌های مصالحه‌ای، ترکیب می‌نماید. تحلیل مفصل هر معیار در روش دیمتل مرجع مفیدی برای شناسایی نقش ابعاد پایداری در بهبود پایداری تامین کنندگان فراهم می‌کند.

نتایج به دست آمده، نشان‌دهنده تأثیر مثبت برخی از عوامل مرتبط با ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی پایداری روی یکدیگر است و بینش‌هایی را درباره اهمیت هر یک ارائه می‌دهد. این معیارها می‌توانند توسط مدیران عالی سازمان‌ها برای شناسایی و انتخاب بهترین تامین کننده مورد استفاده قرار گیرند، و همچنین توسط تامین کنندگان برای تشخیص نقاط ضعف، و تحلیل روندهای آینده و نیازهای جدید در حوزه انتخاب تامین کننده به کار روند. با توجه به رتبه‌بندی به دست آمده از روش دیمتل راف-فازی، پنج معیار هزینه، سلامت دام و تازگی گوشت، تأثیر روی جامعه محلی، قابلیت اطمینان تحویل و توانایی فناوری به ترتیب به عنوان پنج معیار برتر تعیین می‌شوند. در تحلیل و رتبه‌بندی معیارهای تأثیرگذار بر انتخاب تامین کننده پایدار در تامین گوشت، نتایج نشان می‌دهد که معیارهای هزینه تامین، سلامت دام و تازگی گوشت، در اولویت قرار دارند. این یافته‌ها نشان می‌دهد

که مدیران سازمان باید بیشترین تمرکز را بر کنترل و بهبود شاخص‌های مرتبط با هزینه و کیفیت محصول، یعنی سلامت دام و تازگی گوشت، قرار دهند، چرا که این عوامل مستقیماً بر رضایت مشتری، اثربخشی فرآیند تامین و اعتبار سازمان تاثیرگذار هستند. معیار تاثیرگذاری بر جامعه محلی و قابلیت اطمینان تحویل نیز از اهمیت قابل توجهی برخوردارند، اما در رتبه‌های پایین‌تر قرار گرفته‌اند؛ این نشان می‌دهد که در کنار کیفیت و هزینه، باید توجه ویژه‌ای به تعاملات اجتماعی به‌ویژه با توجه به الزامات پاسخگویی به نیازهای توسعه‌ای و پایداری بلندمدت صورت گیرد. بنابراین، سازمان‌ها باید استراتژی‌هایی را در نظر بگیرند که نه تنها بر معیارهای اقتصادی تمرکز داشته باشند، بلکه به ابعاد اجتماعی نیز اهمیت بدهند تا بتوانند در بازارهای رقابتی، تأمین‌کنندگان پایداری را شناسایی کنند. این رتبه‌بندی همچنین به تأمین‌کنندگان فرصت می‌دهد تا نقاط ضعف و حوزه‌های نیازمند تحول در زنجیره تامین خود را تشخیص دهند و در راستای بهبود عملکرد کلی، به سمت مسیرهای سازگار با اهداف پایداری حرکت کنند.

اگرچه روش‌های مورد استفاده دارای نقاط قوت است، اما در آینده تحقیقات بیشتری نیز در مورد آن باید انجام شود. برای مثال، از جمله محدودیت‌های استفاده از روش دیمتل این است که در تعیین وزن معیارها تنها به تاثیر بین آن‌ها توجه دارد و به اهمیت و قدرت معیارها توجه نمی‌کند. برای این منظور، می‌توان از روش AHP استفاده کرد. همچنین مطالعات آینده می‌توانند به توسعه و بهبود مدل‌های چندمعیاره‌ای بپردازد که قابلیت ادغام پارامترهای دیگر مانند معیارهای مالی، عملیاتی و ریسک‌های مرتبط با پایداری را در ارزیابی تامین‌کنندگان داشته باشند. همچنین، بهره‌گیری از داده‌های واقعی در محیط‌های صنعتی مختلف و مقایسه نتایج حاصل از رویکردهای مختلف، می‌تواند منجر به تعمیم‌پذیری بیشتر مدل شود. علاوه بر این، تحقیقات بیشتری درباره ادغام سایر نظریه‌های مجموعه فازی (مانند مجموعه فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای<sup>۱</sup> و مجموعه فازی تردیدی با مقادیر بازه‌ای<sup>۲</sup>) و نظریه مجموعه‌های راف می‌تواند برای بررسی سازوکارهای برخورد با عدم قطعیت چندگانه با روش دیمتل و تاپسیس انجام گیرد.

## تعارض منافع

---

<sup>1</sup> Interval-valued intuitionistic fuzzy set

<sup>2</sup> Interval-valued hesitant fuzzy set

نویسنده هیچ گونه تعارض منافع ندارد.

## ORCID

Mojtaba Farrokh



<https://orcid.org/0000-0003-1390-3105>

## References

1. Alikhani, R., Torabi, S. A., & Altay, N. (2019). Strategic supplier selection under sustainability and risk criteria. *International Journal of Production Economics*, 208, 69-82. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.11.018>
2. Awasthi, A., Govindan, K., & Gold, S. (2018). Multi-tier sustainable global supplier selection using a fuzzy AHP-VIKOR based approach. *International Journal of Production Economics*, 195, 106-117. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.10.013>
3. Baykasoğlu, A., Kaplanoğlu, V., Durmuşoğlu, Z. D., & Şahin, C. (2013). Integrating fuzzy DEMATEL and fuzzy hierarchical TOPSIS methods for truck selection. *Expert systems with applications*, 40(3), 899-907. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.046>
4. Banaeian, N., Mobli, H., Nielsen, I. E., & Omid, M. (2015). Criteria definition and approaches in green supplier selection—a case study for raw material and packaging of food industry. *Production & Manufacturing Research*, 3(1), 149-168. <https://doi.org/10.1080/21693277.2015.1016632>
5. Najafi, M., & Zolfagharinia, H. (2024). A Multi-objective integrated approach to address sustainability in a meat supply chain. *Omega*, 124, 103011. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2023.103011>
6. Çalık, A., Paksoy, T., & Huber, S (2019). Lean and green supplier selection problem: A novel multi objective linear programming model for an electronics board manufacturing company in Turkey. In Multiple criteria decision making and aiding (pp. 281-309). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-99304-1\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-99304-1_10)

7. Chen, Z., Ming, X., Zhang, X., Yin, D., & Sun, Z. (2019). A rough-fuzzy DEMATEL-ANP method for evaluating sustainable value requirement of product service system. *Journal of Cleaner Production*, 228, 485-508. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.145>
8. Caccialanza, A., Cerrato, D., & Galli, D. (2023). Sustainability practices and challenges in the meat supply chain: a systematic literature review. *British Food Journal*, 125(12), 4470-4497. <https://doi.org/10.1108/BFJ-10-2022-0866>
9. Chen, Z., Lu, M., Ming, X., Zhang, X., & Zhou, T. (2020). Explore and evaluate innovative value propositions for smart product service system: A novel graphics-based rough-fuzzy DEMATEL method. *Journal of Cleaner Production*, 243, 118672. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118672>
10. Chen, Z., Ming, X., Zhou, T., & Chang, Y. (2020). Sustainable supplier selection for smart supply chain considering internal and external uncertainty: An integrated rough-fuzzy approach. *Applied Soft Computing*, 87, 106004. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.106004>
11. Dalalah, D., Hayajneh, M., & Batieha, F. (2011). A fuzzy multi-criteria decision making model for supplier selection. *Expert systems with applications*, 38(7), 8384-8391. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.01.031>
12. Ecer, F., & Pamucar, D (2020). Sustainable supplier selection: A novel integrated fuzzy best worst method (F-BWM). and fuzzy CoCoSo with Bonferroni (CoCoSo'B). multi-criteria model. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121981. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121981>
13. Gökler, S. H., & Boran, S. (2025). A novel resilient and sustainable supplier selection model based on D-AHP and DEMATEL methods. *Journal of engineering research*, 13(1), 57-67. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.07.015>
14. Hendiani, S., Mahmoudi, A., & Liao, H (2020). A multi-stage multi-criteria hierarchical decision-making approach for sustainable supplier selection. *Applied Soft Computing Journal* 94. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106456>
15. Li, J., Fang, H., & Song, W. (2019). Sustainable supplier selection based on SSCM practices: A rough cloud TOPSIS approach. *Journal of cleaner production*, 222, 606-621. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.070>
16. Li, X., Han, Z., Zhang, R., Zhang, Y., & Zhang, L. (2020). Risk assessment of hydrogen generation unit considering dependencies using integrated DEMATEL and TOPSIS approach. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(53), 29630-29642. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.07.243>
17. Lai, Y. J., Liu, T. Y., & Hwang, C. L. (1994). Topsis for MODM. *European journal of operational research*, 76(3), 486-500. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)90282-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)90282-8)
18. Khan, A. U., & Ali, Y. (2021). Sustainable supplier selection for the cold supply chain (CSC) in the context of a developing country. *Environment*,

development and sustainability, 1-30. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01203-0>

19. Memari, A., Dargi, A., Jokar, M. R. A., Ahmad, R., & Rahim, A. R. A. (2019). Sustainable supplier selection: A multi-criteria intuitionistic fuzzy TOPSIS method. *Journal of manufacturing systems*, 50, 9-24. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.11.002>
20. 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>
21. Mohammed, A. (2020). Towards a sustainable assessment of suppliers: an integrated fuzzy TOPSIS-possibilistic multi-objective approach. *Annals of operations research*, 293(2), 639-668. <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03167-5>
22. Masudin, I., Zuliana, P. E., Utama, D. M., & Restuputri, D. P. (2024). Assessment and risk mitigation on halal meat supply chain using fuzzy best-worst method (BWM) and risk mitigation number (RMN). *Journal of Islamic Marketing*, 15(3), 842-865. <https://doi.org/10.1108/JIMA-08-2022-0240>
23. Mishra, A. R., Rani, P., Pamucar, D., & Saha, A. (2024). An integrated Pythagorean fuzzy fairly operator-based MARCOS method for solving the sustainable circular supplier selection problem. *Annals of Operations Research*, 342(1), 523-564. <https://doi.org/10.1007/s10479-023-05453-9>
24. Nasri, S. A., Ehsani, B., Hosseini-nezhad, S. J., & Safaie, N. (2023). A sustainable supplier selection method using integrated Fuzzy DEMATEL–ANP–DEA approach (case study: Petroleum Industry). *Environment, Development and Sustainability*, 25(11), 12791-12827. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02590-2>
25. Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European journal of operational research*, 156(2), 445-455. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)
26. Pamučar, D., Petrović, I., & Ćirović, G. (2018). Modification of the Best–Worst and MABAC methods: A novel approach based on interval-valued fuzzy-rough numbers. *Expert systems with applications*, 91, 89-106. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.08.042>
27. Pawlak, Z. (1982). Rough sets. *International journal of computer & information sciences*, 11(5), 341-356. <https://doi.org/10.1007/BF01001956>
28. Sangaiah, A. K., Subramaniam, P. R., & Zheng, X. (2015). A combined fuzzy DEMATEL and fuzzy TOPSIS approach for evaluating GSD project outcome factors. *Neural Computing and Applications*, 26(5), 1025-1040. <https://doi.org/10.1007/s00521-014-1771-1>
29. Stević, Ž., Karamaşa, Ç., Demir, E., & Korucuk, S. (2025). Assessing sustainable production under circular economy context using a novel rough-fuzzy MCDM model: A case of the forestry industry in the Eastern Black

- Sea region. *Journal of Enterprise Information Management*, 38(1), 261-291.  
<https://doi.org/10.1108/JEIM-10-2020-0419>
30. Singh, A., Kumar, V., & Verma, P. (2025). Sustainable supplier selection in a construction company: a new MCDM method based on dominance-based rough set analysis. *Construction Innovation*, 25(2), 328-362.  
<https://doi.org/10.1108/CI-12-2022-0324>
  31. Song, W., & Cao, J. (2017). A rough DEMATEL-based approach for evaluating interaction between requirements of product-service system. *Computers & Industrial Engineering*, 110, 353-363.  
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.06.020>
  32. Islam, S., Amin, S. H., & Wardley, L. J. (2024). A supplier selection & order allocation planning framework by integrating deep learning, principal component analysis, and optimization techniques. *Expert Systems with Applications*, 235, 121121. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121121>
  33. Steger, C. (1996). On the calculation of moments of polygons. *Reporte técnico*, Technische Universität München.  
<https://mv.in.tum.de/media/members/steger/publications/1996/fgbv-96-04-steger.pdf>
  34. Tadić, S., Zečević, S., & Krstić, M. (2014). A novel hybrid MCDM model based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy VIKOR for city logistics concept selection. *Expert systems with applications*, 41(18), 8112-8128.  
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.07.021>
  35. Zhai, L. Y., Khoo, L. P., & Zhong, Z. W. (2008). A rough set enhanced fuzzy approach to quality function deployment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 37(5), 613-624. <https://doi.org/10.1007/s00170-007-0989-9>
  36. Zimmer, K., Fröhling, M., & Schultmann, F. (2016). Sustainable supplier management—a review of models supporting sustainable supplier selection, monitoring and development. *International journal of production research*, 54(5), 1412-1442.  
<https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1079340>
  37. Zhang, X., & Su, J. (2019). A combined fuzzy DEMATEL and TOPSIS approach for estimating participants in knowledge-intensive crowdsourcing. *Computers & Industrial Engineering*, 137, 106085.  
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106085>