



Original Article

A New Rough BWM Approach for Evaluating and Selecting a Sustainable Supplier in Supply Chain Management

Amin Amini*, **Alireza Alinezhad****^{ID}, **Davood Gharakhani*****

Abstract

In recent years, many studies have been conducted about how to select a sustainable supplier so different methods have been proposed for this regard in fuzzy and deterministic environments. In this article a new model of BWM improved using Rough Sets Theory for Sustainable Supplier Selection (SSS) in the supply chain. One of the advantages of the proposed method is modeling the uncertainty related to personal evaluations and zeroing the subjective judgment error of the decision maker, using the decision table approach. Also, using the concept of conditional entropy in rough sets, the significance of criteria is calculated and the selection of the best and the worst criterion, as well as making pairwise comparisons in the best-worst method, is done respectively. Using this approach, the inconsistency ratio of the best-worst method becomes zero in all stages. Moreover, TOPSIS and SAW methods have been used to determine the weight of suppliers and the results have been compared. To illustrate the model and demonstrate its capability, a real SSS case in Iran Khodro Company (IKCO), was examined by three experts in the automotive industry. The results show that the first supplier (ISACO Parts Supply Company) is the best sustainable supplier.

Keywords: Sustainability; Supplier Selection; Rough Sets Theory; Conditional Entropy; BWM; Uncertainty.

How to Cite: Amini, Amin; Alinezhad, Alireza; Gharakhani, Davood (2023). A New Rough BWM Approach for Evaluating and Selecting a Sustainable Supplier in Supply Chain Management, *Ind. Manag. Persp.*, 13(3), 9-38 (In Persian).

Received: May. 07, 2023; Revised: Jun. 02, 2023; Accepted: Aug. 12, 2023; Published Online: Aug. 22, 2023.

* Ph.D Student, Faculty of Management and Accounting, Islamic Azad University, Qazvin Branch, Qazvin, Iran.

** Associate Professor, Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Qazvin branch, Qazvin, Iran.

Corresponding author. Email: alalinezhad@gmail.com

*** Assistant Professor, Faculty of Management and Accounting, Islamic Azad University, Qazvin branch, Qazvin, Iran.



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

رویکرد یکپارچه برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار بر اساس روش بهترین - بدترین و نظریه مجموعه‌های راف (مورد مطالعه: شرکت ایران خودرو)

امین امینی*، علیرضا علی‌نژاد**^{id}، داود قراخانی***

چکیده

در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در خصوص چگونگی انتخاب تأمین‌کننده پایدار صورت گرفته است و برای این منظور، مدل‌ها و روش‌های مختلفی در محیط‌های فازی و قطعی پیشنهاد شده است. در این پژوهش برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار، یک مدل جدید بر اساس روش بهترین-بدترین که با تئوری مجموعه‌های راف بهبود یافته است، ارائه می‌شود. یکی از مزایای روش پیشنهادی، مدل کردن عدم قطعیت مربوط به ارزیابی‌های شخصی و صفر کردن خطای قضاوت ذهنی تصمیم‌گیرنده، با استفاده از رویکرد جدول تصمیم‌گیری می‌باشد. همچنین با استفاده از مفهوم آنتروپی شرطی در مجموعه‌های راف، معناداری (اهمیت) معیارها محاسبه می‌گردد و انتخاب بهترین و بدترین معیار و نیز انجام مقایسات زوجی در روش بهترین-بدترین، بر این اساس صورت می‌گیرد. با بهره‌گیری از این رویکرد، نرخ ناسازگاری روش بهترین-بدترین در تمامی مراحل صفر می‌شود. در ادامه از دو روش TOPSIS و SAW برای تعیین وزن تأمین‌کنندگان استفاده شده است و نتایج با هم مقایسه گردیده است. برای اثبات قابلیت مدل، شرکت ایران خودرو به عنوان مطالعه موردی، برای مسأله انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار، در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که در رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان شرکت ایران خودرو بر اساس شاخص‌های پایداری، شرکت ایساکو در رتبه اول قرار دارد.

کلیدواژه‌ها: پایداری؛ انتخاب تأمین‌کننده؛ روش بهترین-بدترین؛ عدم قطعیت؛ آنتروپی شرطی؛ تئوری مجموعه‌های راف.

استناددهی: امینی، امین؛ علی‌نژاد، علیرضا؛ قراخانی، داود (۱۴۰۲). رویکرد یکپارچه برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار بر اساس روش بهترین - بدترین و نظریه مجموعه‌های راف (مورد مطالعه: شرکت ایران خودرو). چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۳(۳)، ۹-۳۸.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۷، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۱۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۱، تاریخ اولین انتشار: ۱۴۰۲/۰۵/۳۱.

* دانشجوی دکتری، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران.

** دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران.

*** نویسنده مسئول Email: alalinezhad@gmail.com

*** استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران.



۱. مقدمه

در سال‌های اخیر توجه به اثرات بلندمدت مباحث محیط‌زیستی و سرمایه‌های اجتماعی در توسعه اقتصادی و رشد شرکت‌ها، با تمرکز بالا مطرح شده و پیگیری می‌شود. به بیان دقیق‌تر، موضوعات اجتماعی نظیر فقر، معلولیت‌ها، حقوق کودکان، زنان، اقلیت‌ها و غیره و نیز مباحث زیست‌محیطی مانند ایجاد زیرساخت‌های کاهش آلاینده‌ها، آب، هوا و خاک، گازهای گلخانه‌ای، استفاده بهینه از منابع و به‌کارگیری انرژی‌های پاک و غیره، در کنار موضوعات اقتصادی اهمیت یافته و مفهومی به‌عنوان پایداری شکل گرفته است. امروزه در دنیای مدرن، سازمان‌ها باید پایدار باشند تا توانایی پاسخگویی برای رفع نیازهای نسل‌های آینده را داشته باشند و از آنجاکه مدیریت زنجیره تأمین، رفتار مسئولانه در تمام مراحل و اعضای زنجیره تأمین را در نظر می‌گیرد، حوزه‌ای متأثر از رویکردها و پارادایم‌های محیطی (نظیر ناب، چابک، سبز، تاب آور، پایدار و غیره) هم‌راستا با تحولات سریع دانشی، توسعه یافته است. هر یک از این رویکردها زاینده تفکرات و نیز مبنایی برای توسعه مفاهیم جدید در زمینه مدیریت زنجیره تأمین شده است. یکی از این رویکردها زنجیره تأمین پایدار است که در چند سال گذشته به مقوله زنجیره تأمین اضافه شده است [۹]. امروزه رقابت برای توسعه زنجیره‌های تأمین پایدار جایگزین رقابت‌های سنتی متعارف بنگاه‌ها و شرکت‌ها شده است. تأمین‌کنندگان به‌عنوان یک شریک حیاتی در زنجیره تأمین بالادستی، سهم زیادی در دستیابی به پایداری صنعت دارند [۱۴]؛ بنابراین نخستین گام برای دستیابی به پایداری در زنجیره تأمین، انتخاب تأمین‌کنندگان بر اساس شاخص‌های پایداری است [۴]. مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان با این واقعیت که انواع معیارها و زیرمعیارهای پایداری را باید در فرآیند تصمیم‌گیری در نظر گرفت، پیچیده‌تر می‌شود؛ از این‌رو انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره است [۲۵]. از آنجاکه عملکرد هر سازمان موجود در یک زنجیره، به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر عملکرد سایر اجزای زنجیره و نیز عملکرد کلی زنجیره اثرگذار خواهد بود، اخذ تصمیم نادرست در خصوص انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار، هزینه‌های مشهود و نامشهود زیادی را بر تمام فرآیندها، حلقه‌ها و سازمان زنجیره تحمیل کرده (قاعده اثر شلاق چرمی) و سبب وجود عدم‌اطمینان و عدم‌هماهنگی در طی زنجیره تأمین می‌شود که نتایج و پیامدهای منفی بسیاری را برای شرکت‌ها و ارکان زنجیره تأمین در پی خواهد داشت [۷]. با توجه به این مسائل و نظر به هزینه‌بر و وقت‌گیر بودن فرآیند انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار از یک سو و توانمندی روزافزون فناوری اطلاعات و ارتباطات از سوی دیگر و با در نظر گرفتن لزوم به‌کارگیری سیستم‌های انعطاف‌پذیر و سریع در تصمیم‌گیری در مواجهه با چالش‌های اجتماعی و دغدغه‌های زیست‌محیطی جهان امروز، در این پژوهش تلاش می‌شود تا با توجه به پیچیدگی‌ها و تعداد معیارهای ارزیابی تأمین‌کننده پایدار در ابعاد مختلف پایداری، یک مدل مناسب و کارآمد برای انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار ارائه شود؛ همچنین در این پژوهش نشان داده می‌شود که انتخاب

توانمندترین تأمین‌کنندگان پایدار در تک‌تک حلقه‌ها، به توسعه پایدار زنجیره تأمین در فضای رقابتی امروز منجر خواهد شد. نتایج پژوهش حاضر در طراحی زنجیره‌های تأمین پایدار و در مواجهه با شرایطی که سازمان‌های عضو زنجیره تأمین در کنار اهداف اقتصادی به دنبال تأمین اهداف زیست‌محیطی و اجتماعی نیز هستند، به‌خوبی می‌تواند راهگشا باشد و مورد استفاده قرار گیرد. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی به مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار پرداخته‌اند و مدل‌ها و رویکردهای مختلفی توسط پژوهشگران برای این منظور پیشنهاد شده است؛ اما در مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار، مطالعات کمی وجود دارد که به هر سه جزء پایداری (اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی) بپردازد؛ بنابراین شکاف تحقیقاتی در این زمینه وجود دارد [۲۰]. معیارها و زیرمعیارهای استفاده‌شده در این پژوهش، هر سه جزء پایداری (اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی) را تحت پوشش قرار می‌دهد. از طرف دیگر با توجه به شرایط حاکم بر جوامع امروزی و افزایش پیچیدگی‌ها در جهان، مدل‌ها و روش‌هایی که مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار را در محیط‌های نامشخص و تحت شرایط عدم قطعیت بررسی می‌کند، اهمیت بیشتری یافته است. از آنجاکه موضوع انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار ویژگی‌های یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره را دارد، مدل‌ها و روش‌های مختلفی در این خصوص توسط پژوهشگران ارائه شده است. با این وجود اینکه پژوهشگرانی اندکی به موضوع انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار در شرایط عدم قطعیت پرداخته‌اند، این مسئله یک شکاف تحقیقاتی دیگر در این زمینه است که پژوهش حاضر به آن می‌پردازد. در میان مدل‌ها و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره که اخیراً برای مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار مورد استفاده قرار گرفته است، روش بهترین - بدترین^۱ بیشتر مورد توجه پژوهشگران بوده است. این روش نخستین بار توسط رضایی (۲۰۱۵)، مطرح شد. روش بهترین - بدترین (BWM) می‌تواند برای اتخاذ تصمیم درست به منظور انتخاب تأمین‌کننده پایدار مفید واقع شود؛ اما این روش از قضاوت ذهنی تصمیم‌گیرنده در خصوص انتخاب بهترین و بدترین معیار و نیز اهمیت نسبی آن‌ها نسبت به معیارهای دیگر، استفاده می‌کند (مقایسات زوجی) و این امر ممکن است دقت مقایسه را که بر اساس قضاوت کیفی صورت می‌گیرد، کاهش دهد (نرخ سازگاری^۲). با ارتقای روش بهترین - بدترین توسط نظریه مجموعه‌های راف^۳ که اخیراً در تحلیل تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره کاربرد وسیعی یافته است، می‌توان قضاوت کیفی را در مقایسه، دقیق‌تر انجام داد و خطاهای ارزیابی در فرآیند مقایسات زوجی را از بین برد. ترکیب روش بهترین - بدترین و نظریه مجموعه‌های راف، البته با رویکرد ارائه‌شده در این پژوهش، مدلی جدید بوده و تاکنون برای مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار،

1. Best Worst Method (BWM)
 2. Consistency Ratio
 3. Rough Sets Theory

مورد استفاده قرار نگرفته است. پژوهشگران اندکی از نظریه مجموعه‌های راف برای بهبود و ارتقای روش بهترین - بدترین برای مسئله انتخاب تأمین کنندگان (نه لزوماً پایدار) استفاده کرده‌اند. با وجود این موضوع، در هیچ‌یک از این پژوهش‌ها رویکرد جدول تصمیم‌گیری^۱ و مفهوم آنتروپی شرطی^۲ در نظریه مجموعه‌های راف با هم بررسی نشده است. یکی از مزایای روش پیشنهادی، مدل کردن عدم قطعیت مربوط به ارزیابی‌های شخصی و صفر کردن خطای قضاوت ذهنی تصمیم‌گیرنده، با استفاده از رویکرد جدول تصمیم‌گیری در نظریه مجموعه‌های راف است؛ همچنین با بهره‌گیری از مفهوم آنتروپی شرطی در مجموعه‌های راف، معناداری (اهمیت)^۳ معیارها محاسبه می‌شود و انتخاب بهترین و بدترین معیار و نیز انجام مقایسات زوجی در روش بهترین - بدترین بر این اساس صورت می‌گیرد. با این روش پیشنهادی، دیگر نیاز نیست از قضاوت ذهنی تصمیم‌گیرنده در خصوص انتخاب بهترین و بدترین معیار و نیز اهمیت نسبی آن‌ها نسبت به معیارهای دیگر استفاده شود. با به‌کارگیری این مدل که نخستین بار برای توسعه روش بهترین - بدترین معرفی شده است، نرخ ناسازگاری روش BWM در تمامی مراحل صفر می‌شود و این خود نشان‌دهنده این امر است که قضاوت کیفی در مقایسه، دقیق‌تر شده و خطاهای ارزیابی در فرآیند مقایسات زوجی از بین رفته است. توسعه تکنیک بهترین - بدترین توسط نظریه مجموعه‌های راف، البته با رویکرد معرفی شده در این پژوهش برای نخستین بار به‌منظور تعیین وزن معیارها در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره ارائه می‌شود و به‌کارگیری آن در خصوص مسئله انتخاب تأمین کنندگان پایدار نیز موضوع جدیدی است. در ادامه از دو روش‌های TOPSIS و SAW نیز برای تعیین وزن تأمین کنندگان پایدار استفاده شده و نتایج با هم مقایسه شده است. مدل ارائه شده در زنجیره تأمین «شرکت ایران خودرو» به کار گرفته شده و معیارهای تصمیم‌گیری بر اساس مرور مبانی نظری پیشین و نظر کارشناسان خبره انتخاب شده است. رویکرد پیشنهادی این پژوهش به راحتی می‌تواند توسط شرکت‌های دیگر مورد استفاده قرار گیرد.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در این بخش، پژوهش‌های مرتبط با مسئله انتخاب تأمین کنندگان پایدار که از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده کرده‌اند، مرور خواهد شد و معیارهایی که در این پژوهش‌ها، بیشتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند، برای استفاده در تحقیق فعلی انتخاب خواهند شد. در مدیریت زنجیره تأمین، تأکید بر جنبه‌های پایداری در انتخاب تأمین کنندگان، فرآیند تصمیم‌گیری را سخت‌تر و حساس‌تر می‌کند. تکنیک‌ها و مدل‌های مختلفی برای انتخاب تأمین کنندگان پایدار

1. Decision Table Approach
 2. Conditional Entropy
 3. Significance

توسط پژوهشگران پیشنهاد شده است، به‌عنوان مثال، لین^۱ و همکاران (۲۰۱۸)، از یک روش دیمتل فازی تقریبی^۲ برای تحلیل معیارهای پایداری و انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار در زنجیره تأمین، تحت شرایط عدم قطعیت استفاده کردند. وحیدی و همکاران (۲۰۱۸)، یک مدل ترکیبی SWOT-QFD را برای شناسایی عوامل تأثیرگذار بر مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار به‌کار بردند. آن‌ها همچنین یک مدل هیبریدی^۳ دومارحله‌ای با توابع هدف جدید را برای انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار و تخصیص سفارش در شرایط انعطاف‌پذیر ارائه دادند. لی^۴ و همکاران (۲۰۱۸)، یک روش یکپارچه ANP-VIKOR را بر پایه مجموعه‌های فازی نوع دو ارائه کردند. آن‌ها روش ANP را برای تعیین وزن معیارها به‌کار گرفتند و روش VIKOR را برای انتخاب و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان پایدار مورد استفاده قرار دادند. عظیمی‌فرد و همکاران (۲۰۱۸)، ترکیب روش AHP و TOPSIS را برای مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار در صنایع فولاد پیشنهاد دادند. آن‌ها با روش AHP وزن معیارها را محاسبه کردند و با روش TOPSIS تأمین‌کنندگان صنعت فولاد ایران را بر اساس شاخص‌های پایداری رتبه‌بندی کردند. عبدالباسط^۵ و همکاران (۲۰۱۸)، یک روش هیبریدی مبتنی بر ANP-TOPSIS را برای مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار توسعه دادند. این روش بر اساس ارزش‌های بازه‌ای مجموعه‌های نتروسفیک^۶ بود. آن‌ها روش ANP را برای محاسبه وزن معیارها و روش TOPSIS را برای محاسبه وزن تأمین‌کنندگان پایدار به‌کار گرفتند. ماتیک^۷ و همکاران (۲۰۱۹)، یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره هیبریدی جدید را برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین پایدار توسعه دادند. آن‌ها این مدل را در شرکت‌های ساختمانی به‌کار گرفتند. یزدانی و همکاران (۲۰۱۹)، یک نسخه توسعه‌یافته از روش راه‌حل سازشی ترکیبی موسوم به CoCoSo^۸ را که با اعداد خاکستری^۹ ترکیب شده بود، برای ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان در یک زنجیره تأمین پایدار ارائه کردند. آن‌ها از دو روش وزن‌دهی BWM و DEMATEL استفاده کردند. آن‌ها روش DEMATEL را برای تعیین بهترین و بدترین شاخص به‌کار بردند و سپس روش BWM برای رتبه‌بندی معیارها مورد استفاده قرار دادند. سرانجام روش CoCoSo برای محاسبه رتبه هر تأمین‌کننده و رتبه‌بندی آن‌ها مورد استفاده قرار گرفت. ژانگ^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۹)، روش

1. Lin

2. Approximate Fuzzy Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (AFDEMATEL)

3. Hybrid

4. Liu

5. Abdel-Basset

6. Interval-valued Neutrosphic Sets (INS)

7. Matic

8. Combined Compromise Solution (COCOSO)

9. Gray Numbers

10. Zhang

EDAS^۱ فازی را برای مسئله انتخاب تأمین کنندگان پایدار پیشنهاد دادند. آن‌ها با یک مثال عددی این مدل را برای انتخاب تأمین کننده پایدار مفید دانستند. عبدالباسط و همکاران (۲۰۱۹)، یک روش یکپارچه ANP-VIKOR را در شبکه عصبی برای مسئله انتخاب تأمین کنندگان پایدار معرفی کردند. روش ANP برای محاسبه وزن معیارها بکار گرفته شد و روش VIKOR برای انتخاب تأمین کنندگان پایدار مورد استفاده قرار گرفت. مماری^۲ و همکاران (۲۰۱۹)، از روش FUZZY TOPSIS برای مسئله انتخاب تأمین کنندگان پایدار بهره گرفتند. آن‌ها نظریه مجموعه‌های فازی را برای بیان جنبه‌های مبهم معیارها به کار بردند. لی^۳ و همکاران (۲۰۱۹)، برای مسئله انتخاب تأمین کنندگان پایدار، یک مدل ابری^۴ مبتنی بر روش TOPSIS ارائه دادند. آن‌ها برای مواجهه با شرایط عدم قطعیت از نظریه مجموعه‌های راف استفاده کردند.

ژانگ^۵ و همکاران (۲۰۲۰)، از یک مدل ترکیبی تصمیم‌گیری چندمعیاره با تلفیق روش BWM و روش COCOSO که مبتنی بر اعداد بازه‌ای راف مرزی^۶ بود، برای انتخاب تأمین کنندگان پایدار در توسعه صنعت مسکن بهره گرفتند. امیری و همکاران (۲۰۲۰)، روش BWM را با نظریه مجموعه‌های فازی ترکیب کردند و این روش را برای مسئله انتخاب تأمین کنندگان پایدار مفید دانستند. آن‌ها این روش را برای مسئله انتخاب تأمین کنندگان پایدار در شرکت «ایران خودرو» به کار بردند. دورمیک^۷ و همکاران (۲۰۲۰)، روش سازگاری کامل^۸ را با روش Rough SAW ترکیب کردند و آن را برای مسئله انتخاب تأمین کنندگان پایدار به کار گرفتند. آن‌ها ارزیابی گروهی معیارها را در دو سطح انجام دادند و برای محاسبه اوزان معیارها از روش FUCOM استفاده کردند و برای اجتناب از عدم قطعیت، روش Rough SAW را مورد استفاده قرار دادند. راشی^۹ و همکاران (۲۰۲۱)، برای مسئله انتخاب تأمین کنندگان پایدار در زنجیره تأمین غذا، ترکیب روش BWM و نظریه مجموعه‌های فازی را ارائه دادند. آدیتی^{۱۰} و همکاران (۲۰۲۲)، از ترکیب روش BWM و MARCOS برای انتخاب تأمین کنندگان پایدار استفاده کردند. آن‌ها روش BWM را برای تعیین وزن معیارها و روش MARCOS را برای تعیین وزن نهایی تأمین کنندگان به کار بردند. راکش^{۱۱} و همکاران (۲۰۲۲)، ترکیب روش AHP و TOPSIS را برای انتخاب تأمین کنندگان پایدار در زنجیره تأمین صنایع الکترونیک پیشنهاد

1. Evaluation based on Distance from Average Solution (EDAS)

2. Memari

3. Li

4. Cloud Model

5. Zhang

6. Interval Rough Boundaries

7. Durmic

8. Full Consistency Method (FUCOM)

9. Rashi

10. Aditi

11. Rakesh

دادند. جواچیم^۱ و همکاران (۲۰۲۳)، یک رویکرد جدید تصمیم‌گیری چندمعیاره برای مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار ارائه دادند. آن‌ها برای انتخاب معیارهای مناسب از روش Delphi، برای تعیین وزن معیارها از روش BWM و برای محاسبه و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان از روش TOPSIS استفاده کردند. عزیززی و شاهرخی (۲۰۲۳)، مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره بر پایه روش تصمیم‌گیری چندمعیاره COPRAS را برای انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار پیشنهاد دادند. آن‌ها از اعداد فازی نوع ۲ برای این منظور استفاده کردند. ساناتان^۲ و همکاران (۲۰۲۳)، در پژوهشی که برای مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار انجام دادند از رویکرد تحلیل رابطه‌ای خاکستری^۳ برای شناسایی و تعیین وزن معیارها استفاده کردند و برای محاسبه وزن تأمین‌کنندگان، روش TOPSIS را ارائه دادند. آن‌ها مدل پیشنهادی خود را با عنوان GRA-TOP Model، در صنایع خودروسازی مورد استفاده قرار دادند. جان^۴ و همکاران (۲۰۲۳)، برای مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار، رویکرد VIKOR مبتنی بر آنتروپی فازی^۵ را به کار بردند. کاظمی تاش^۶ و همکاران (۲۰۲۱)، روش BWM را با نظریه مجموعه‌های راف ترکیب کردند و آن را برای مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان با معیارهای سبز^۷ به کار بردند. در مدل ارائه‌شده توسط آن‌ها از مفهوم معناداری معیارها و آنتروپی در نظریه مجموعه‌های راف استفاده نشده است؛ بلکه منطق اعداد راف به جای اعداد قطعی، برای ارزیابی معیارها و مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان سبز مطرح شده است. در این مدل از قضاوت ذهنی تصمیم‌گیرنده در خصوص انتخاب بهترین و بدترین معیار و نیز اهمیت نسبی آن‌ها نسبت به معیارهای دیگر، استفاده شده است (مقایسات زوجی) و این امر باز هم دقت مقایسه را که بر اساس قضاوت کیفی صورت می‌گیرد، کاهش می‌دهد. آن‌ها برای اعتبارسنجی روش خود این موضوع را در شرکت‌های بیوسوختی^۸ مورد استفاده قرار دادند. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی به مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار پرداخته‌اند و مدل‌ها و رویکردهای مختلفی توسط پژوهشگران برای این منظور پیشنهاد شده است؛ اما در مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار، مطالعات کمی وجود دارد که به هر سه جزء پایداری (اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی) پرداخته باشد؛ بنابراین یک شکاف پژوهشی در این زمینه وجود دارد. از آنجاکه موضوع انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار ویژگی‌های یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره را دارد، پژوهشگران مدل‌ها و روش‌های مختلفی در این خصوص ارائه کرده‌اند. باوجوداین در پژوهش‌های کمی به موضوع انتخاب تأمین‌کنندگان

-
1. Joachim
 2. Sanatan
 3. Grey Relational Analysis (GRA)
 4. Jun
 5. Fuzzy Entropy
 6. Kazemitash
 7. Green Supplier Selection (GSS)
 8. Biofuel

پایدار در شرایط عدم قطعیت پرداخته شده و این مسئله یک شکاف تحقیقاتی دیگر در این زمینه است که جزو اهداف این پژوهش به شمار می‌رود. پژوهشگران اندکی از نظریه مجموعه‌های راف برای بهبود و ارتقای روش بهترین - بدترین، به‌منظور مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان (نه لزوماً پایدار) استفاده کرده‌اند. با وجود این موضوع، هیچ‌یک از این پژوهشگران، رویکرد جدول تصمیم‌گیری و مفهوم آنتروپی شرطی در نظریه مجموعه‌های راف را بررسی نکرده‌اند. با ارتقای روش بهترین - بدترین توسط این مفاهیم که اخیراً در تحلیل تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره کاربرد وسیعی یافته است، می‌توان قضاوت کیفی را در مقایسه، دقیق‌تر انجام داد و خطاهای ارزیابی در فرآیند مقایسات زوجی را از بین برد. این موضوع هدف اصلی پژوهش حاضر است. نخستین بار، خیا^۱ و همکاران (۲۰۰۷)، مفهوم معناداری معیارها و آنتروپی در نظریه مجموعه‌های راف را با روش AHP، برای مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان ترکیب کردند. با وجود این تاکنون این مفاهیم در نظریه مجموعه‌های راف، با روش BWM ترکیب نشده و برای مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار به کار گرفته نشده است (در تمامی پژوهش‌های مربوط به انتخاب تأمین‌کنندگان، این موضوع به چشم می‌خورد). خلاصه‌ای از پژوهش‌های انجام‌شده قبلی و تفاوت آن‌ها با پژوهش حاضر، در جدول ۱، آمده است.

جدول ۱. مرور مبانی نظری

پژوهشگر (سال)	تکنیک مورد استفاده	مجموعه‌های راف			روش
		مفهوم آنتروپی شرطی	مفهوم معناداری	رویکرد جدول تصمیم	بهترین - بدترین
لین و همکاران، (۲۰۱۸)	Fuzzy DEMATEL	-	-	-	-
وحیدی و همکاران، (۲۰۱۸)	SWOT-QFD	-	-	-	-
لی و همکاران، (۲۰۱۸)	ANP-VIKOR with interval type-2 fuzzy sets	-	-	-	-
عظیمی فرد و همکاران، (۲۰۱۸)	AHP-TOPSIS	-	-	-	-
عبدالباسط و همکاران، (۲۰۱۸)	A Hybrid neutrosophic Group ANP-TOPSIS	-	-	-	-
ماتیک، (۲۰۱۹)	Hybrid MCDM methods	-	-	-	-
یزدانی و همکاران، (۲۰۱۹)	Combined compromise	-	-	-	■

پژوهشگر (سال)	تکنیک مورد استفاده	روش بهترین - بدترین	مجموعه‌های راف		
			مفهوم مفهوم معناداری	مفهوم آنتروپی شرطی	رویکرد جدول تصمیم
اعداد راف					
	solution method with grey numbers CoCoSo-G				
-	Picture fuzzy EDAS model (۲۰۱۹)	-	-	-	-
-	Neutrosophic ANP and VIKOR methods (۲۰۱۹)	-	-	-	-
-	Fuzzy TOPSIS method (۲۰۱۹)	-	-	-	-
■	Developed TOPSIS with Cloud Model (۲۰۱۹)	-	-	-	-
■	BWM+COCOSO+ Interval Rough Boundaries (۲۰۲۰)	■	-	-	-
-	New fuzzy approach based on BWM and α -cut (۲۰۲۰)	■	-	-	-
■	FULL COnsistency Method (FUCOM)+SAW (۲۰۲۰)	-	-	-	-
-	Fuzzy BWM (۲۰۲۱)	■	-	-	-
-	BWM-MARCOS (۲۰۲۲)	■	-	-	-
-	AHP-TOPSIS (۲۰۲۲)	-	-	-	-
-	Delphi-BWM- TOPSIS (۲۰۲۳)	■	-	-	-
-	COPRAS-interval type-2 fuzzy sets (۲۰۲۳)	-	-	-	-
-	Grey Relational Analysis-TOPSIS (۲۰۲۳)	-	-	-	-
-	Fuzzy Entropy- VIKOR (۲۰۲۳)	-	-	-	-
■	Rough BWM (۲۰۲۱)	■	-	-	-
-	Rough AHP (۲۰۰۷)	-	■	■	■
-	Rough BWM پژوهش حاضر	■	■	■	■

۳. روش شناسی پژوهش

رویکرد جدول داده (جدول تصمیم)، آنتروپی و مفهوم معناداری در نظریه راف. نظریه مجموعه‌های راف، نخستین بار توسط پاولاک^۱ (۱۹۸۲) مطرح شد. این دیدگاه برای بیان و بررسی مسائلی است که در آن‌ها عدم قطعیت و ابهام وجود دارد و معمولاً برای یافتن ناهمگونی‌ها و ارتباطات در اطلاعات به کار می‌رود. مهم‌ترین ویژگی‌های این نظریه عبارت است از [۲۳]:

۱. برخورداری از الگوریتم بهینه برای یافتن الگوها؛
 ۲. جست‌وجوی روابطی که توسط روش‌های آماری کشف نمی‌شود؛
 ۳. امکان استفاده از اطلاعات کمی و کیفی؛
 ۴. یافتن مجموعه مینی‌مال از داده‌ها که برای کلاس‌بندی مفید است (مانند کم کردن ابعاد و تعداد اطلاعات)؛
 ۵. ارزیابی معناداری معیارها (از این مفهوم در پژوهش حاضر استفاده می‌شود)؛
 ۶. تولید قوانین تصمیم‌گیری از روی داده‌ها [۲۳].
- برخی از مفاهیم مهم نظریه مجموعه‌های راف چنین شرح داده می‌شود:
به‌طور کلی هر جدول داده می‌تواند به‌صورت رابطه ۱، باشد [۱۱]:

$$S = \langle U, R, V, f \rangle \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه ۱، U مجموعه‌ای محدود از هر شیء است. برای مثال، در رابطه $R = P \cup Q$ ، R مجموعه‌ای از معیارها است و زیرمجموعه‌های P و Q به‌ترتیب مجموعه معیارهای شرطی و مجموعه معیارهای تصمیم هستند. V_r دامنه مشخصه (معیار) r است و داریم:

$$V = \bigcup_{r \in R} V_r \quad \text{رابطه (۲)}$$

r عضوی از R است. همچنین برای هر r عضو R و هر x عضو U داریم:

$$f: U \times R \rightarrow V \quad \text{رابطه (۳)}$$

تابع کامل f ، تابع اطلاعات است. برای هر زیرمجموعه غیرتهی مثل B از مجموعه معیارهای R ، یک رابطه همسانی (غیرقابل تمیز) با $IND(B)$ مشخص می‌شود و خواهیم داشت [۱۱]:

$$IND(B) = \{(x, y) | (x, y) \in U \times U, \forall b \in B (b(x) = b(y))\} \quad \text{رابطه (۴)}$$

واضح است که این رابطه همسانی یک رابطه هم‌ارزی (بازتابی، متقارن و غیرمستقیم) است. مجموعه تمامی کلاس‌های هم‌ارزی رابطه $IND(B)$ را با $U|IND(B)$ مشخص می‌کنند و نمایش می‌دهند [۱۹].

تعریف ۱: آنتروپی $H(P)$ از مجموعه معیارهای P به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۱]:

$$H(P) = -\sum_{i=1}^n p(X_i) \log_2 p(X_i) \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن:

$$p(X_i) = \frac{|X_i|}{|U|}$$

درواقع $p(X_i)$ احتمال X_i را مشخص می‌کند. وقتی که P در ناحیه $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ از مرجع U افراز شده باشد.

تعریف ۲: آنتروپی شرطی $H(Q|P)$ با توجه به اطلاعات Q (Q مجموعه معیارهای تصمیم است) [۱۱]:

$$Q(U|IND(Q)) = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$$

که وابسته به اطلاعات P (P مجموعه معیارهای شرطی است):

$$P(U|IND(P)) = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$$

است، چنین تعریف می‌شود:

$$H(Q|P) = -\sum_{i=1}^n p(X_i) \sum_{j=1}^m p(Y_j|X_i) \log_2 p(Y_j|X_i) \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن Q مجموعه معیارهای تصمیم و P مجموعه معیارهای شرطی و $p(Y_j|X_i)$ احتمال شرطی است.

تعریف ۳: اگر جدول تصمیم $S = \langle U, R, V, f \rangle$ موجود باشد و $R = P \cup Q$ (در آن R مجموعه‌ای از مشخصات یا معیارهاست و زیرمجموعه‌های P و Q به ترتیب مجموعه معیارهای شرطی و مجموعه معیارهای تصمیم هستند) باشد و زیرمجموعه مشخصه A که زیرمجموعه مجموعه P است نیز مفروض باشد، آنگاه می‌توان اهمیت مشخصه a (a عضو P است ولی عضو

A نیست) را که به صورت $SGF(a, A, Q)$ نشان داده می‌شود، بر اساس رابطه زیر محاسبه کرد [۱۱]:

$$SGF(a, A, Q) = H(Q|A) - H(Q|A \cup \{a\}) \quad \text{رابطه (۷)}$$

با داشتن زیرمجموعه مشخصه A ، هر چه مقدار $SGF(a, A, Q)$ بیشتر باشد، مشخصه a برای تصمیم Q مهم‌تر است (معناداری معیار a بیشتر است).

بهبود روش BWM با استفاده از مفهوم معناداری در نظریه مجموعه‌های راف: روش بهترین - بدترین، برای تعیین وزن معیارها در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره، نخستین بار توسط رضایی (۲۰۱۵)، معرفی شد. در این پژوهش، روش BWM با چندین روش تصمیم‌گیری چندمعیاره از جمله AHP مقایسه شد و با توجه به نتایج، مشخص شد که این روش می‌تواند یکی از کاراترین روش‌های موجود باشد [۱۰]. در این روش، بهترین و بدترین شاخص‌ها و معیارها توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود و سپس مقایسه زوجی بین هر یک از این دو شاخص که بهترین و بدترین هستند، با دیگر شاخص‌ها صورت می‌گیرد. آنگاه مسئله تبدیل به یک مسئله برنامه‌ریزی خطی می‌شود؛ بدین گونه که وزن شاخص‌ها به صورتی به دست آید که تفاوت‌های مطلق اوزان کمینه شود. این روش نیاز به تعداد مقایسات زوجی کمتری نسبت به روش AHP دارد و همچنین در این روش، مقایسات زوجی سازگارتر و نتایج با قابلیت اطمینان بیشتر حاصل می‌شود [۲۴]. در روش BWM از تصمیم‌گیرنده خواسته می‌شود تا بهترین و بدترین معیار را بر اساس قضاوت ذهنی خود، انتخاب و مشخص کند؛ بنابراین روش BWM در اصل به قضاوت انسان مربوط می‌شود و این موضوع می‌تواند سازگاری را تحت تأثیر قرار دهد؛ همچنین در این روش برای مقایسه زوجی بهترین و بدترین معیار با دیگر شاخص‌ها از ارجحیت آن‌ها نسبت به سایر معیارها بر اساس طیف ۱ تا ۹ استفاده می‌شود که همین موضوع نیز به قضاوت‌های ذهنی انسان مرتبط است. از طرفی دیگر اطلاعات ناکافی و ناقص از متغیرها و وجود معیارهای کیفی در ارزیابی آن‌ها، سبب پیچیدگی تصمیم‌گیری در انتخاب گزینه ایده‌آل می‌شود؛ از این رو نیاز نظری برای ایجاد یک روش قدرتمند به منظور حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره همراه با عدم قطعیت احساس می‌شود. بدین منظور و برای کاستن از مفهوم ذهنی قضاوت انسان، رویکرد جدول تصمیم‌گیری مطابق نظریه مجموعه‌های راف، برای به دست آوردن وزن‌های عینی‌تر در این پژوهش پیشنهاد می‌شود؛ همچنین آنتروپی شرطی و مفهوم معناداری معیارها در نظریه مجموعه‌های راف در روش BWM مورد استفاده قرار می‌گیرد تا سازگاری قضاوت را بهبود بخشد و مشکل خطای ارزیابی در این روش را حل کند. مدل پیشنهادی در این پژوهش، نرخ ناسازگاری روش BWM را به صفر می‌رساند و سازگارترین نتایج را ارائه می‌دهد.

گام‌های اصلی BWM بهبودیافته توسط نظریه مجموعه‌های راف به شرح زیر است:

مرحله ۱: تعیین مجموعه‌ای از معیارهای تصمیم‌گیری؛

مرحله ۲: طراحی جدول تصمیم‌گیری برای معیارها؛

مرحله ۳: ارزش‌گذاری ستون تصمیم در جداول تصمیم‌گیری توسط گروه ارزیابی؛

مرحله ۴: محاسبه معناداری و اهمیت معیارها با استفاده از جداول تصمیم‌گیری و روابط ۱ تا ۷؛

مرحله ۵: انتخاب بهترین و بدترین معیار با توجه به SGF محاسبه‌شده برای هر معیار در مرحله قبل (در این مرحله، بهترین و بدترین معیار به‌طور ذهنی انتخاب نمی‌شود، بلکه بر اساس میزان اهمیت و معناداری محاسبه‌شده (SGF) با استفاده از روابط راف، بهترین و بدترین معیار مشخص می‌شود)؛

مرحله ۶: مقایسه زوجی بین بهترین معیار با سایر معیارها (در این مرحله برای ارجحیت بهترین معیار نسبت به سایر معیارها، از طیف ۱ تا ۹ استفاده نمی‌شود؛ بلکه ارجحیت بهترین معیار (B) نسبت به سایر معیارها (z)، با استفاده از رابطه ۸، محاسبه می‌شود:

$$a_{Bj} = \frac{SGF_B}{SGF_j} \quad a_{BB} = 1 \quad \text{رابطه (۸)}$$

و بردار «بهترین با سایرین» به صورت زیر ایجاد می‌شود:

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})$$

مرحله ۷: مقایسه‌های زوجی بین سایر معیارها نسبت به بدترین معیار (در این مرحله برای ارجحیت سایر معیارها نسبت به بدترین معیار، از طیف ۱ تا ۹ استفاده نمی‌شود؛ بلکه ارجحیت سایر معیارها (z) نسبت به بدترین معیار (W)، با استفاده از رابطه ۹، محاسبه می‌شود:

$$a_{jW} = \frac{SGF_j}{SGF_W} \quad a_{WW} = 1 \quad \text{رابطه (۹)}$$

و بردار «سایرین با بدترین» به صورت زیر ایجاد می‌شود:

$$A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})$$

مرحله ۸: تعیین وزن معیارها (در این گام با استفاده از مدل بهینه‌سازی مطابق رابطه ۱۰، وزن معیارها به صورتی به دست می‌آید که تفاوت‌های مطلق اوزان کمینه شود) [۲۴]. این مدل را می‌توان در نرم‌افزارهایی همچون لینگو اجرا و حل کرد.

$$\min \max \left\{ \left| \frac{W_B}{W_j} - a_{Bj} \right|, \left| \frac{W_j}{W_W} - a_{jW} \right| \right\} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$\begin{aligned} \text{s. t.} \\ \sum_j W_j &= 1 \\ W_j &\geq 0 \text{ for all } j \end{aligned}$$

رابطه ۱۰ را می‌توان به صورت رابطه ۱۱، نیز مدل کرد [۲۴]:

$$\min \epsilon \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

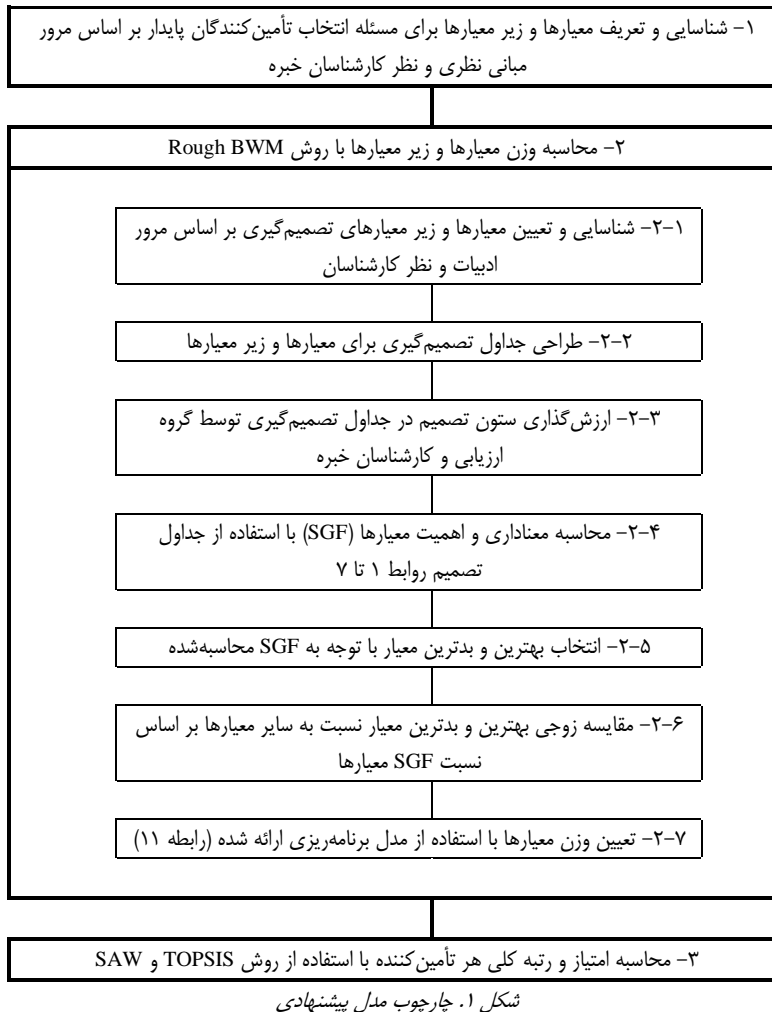
$$\begin{aligned} \text{s. t.} \\ \left| \frac{W_B}{W_j} - a_{Bj} \right| &\leq \epsilon \text{ for all } j \\ \left| \frac{W_j}{W_W} - a_{jW} \right| &\leq \epsilon \text{ for all } j \\ \sum_j W_j &= 1 \\ W_j &\geq 0 \text{ for all } j \end{aligned}$$

مرحله ۹: هنگامی که وزن‌های بهینه به دست آمد، به منظور بررسی اعتبار مقایسات، میزان سازگاری آن‌ها باید محاسبه شود. میزان سازگاری با استفاده از رابطه ۱۲، محاسبه می‌شود [۲۴]. هرچه مقادیر میزان ناسازگاری به صفر نزدیک‌تر باشد، نتایج سازگاری بیشتری دارد.

$$\text{Inconsistency Ratio} = \frac{\epsilon^*}{\text{Consistency Index}} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

در مدل پیشنهادی این پژوهش، مقدار ϵ^* حاصل از حل مدل رابطه ۱۱، همیشه برابر صفر است؛ بنابراین میزان ناسازگاری در این روش همیشه صفر است و استفاده از این مدل، سازگارترین نتایج را ارائه می‌دهد.

حل مسئله انتخاب تأمین کننده پایدار با استفاده از مدل پیشنهادی Rough BWM. در این پژوهش، مسئله انتخاب تأمین کننده پایدار برای «شرکت ایران خودرو» ارائه شده است. این شرکت می‌تواند کالای مورد نیاز خود را از تعدادی تأمین کننده دریافت کند.



مجموعه تأمین‌کنندگان فعال «شرکت ایران خودرو» در این پژوهش عبارت‌اند از: *SAPCO* (ساپکو)، *ISACO* (ایساکو) و *MCPCO* (ام سی پیکو).
برای این منظور نیاز به اولویت‌بندی تأمین‌کنندگان است تا ترتیب خرید کالا از آن‌ها تعیین شود. در پژوهش حاضر هر سه جنبه پایداری که شامل معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است، برای ارزیابی تأمین‌کنندگان در نظر گرفته شده است؛ سپس با استفاده از روش پیشنهادی *Rough BWM* وزن معیارها و زیرمعیارها تعیین شده است. درنهایت با استفاده از روش مجموع ساده وزنی، امتیاز تأمین‌کنندگان محاسبه شده و اولویت‌بندی مناسب برای خرید

کالاها مشخص شده است. شایان ذکر است که هر تأمین کننده می تواند همه کالاهای مورد نیاز شرکت را تأمین کند.

گام های اصلی مدل پیشنهادی در شکل ۱، نشان داده شده و به شرح زیر است:

مرحله ۱: شناسایی و تعریف معیارها برای مسئله انتخاب تأمین کننده پایدار؛

مرحله ۲: محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارها با روش Rough BWM (در قسمت قبلی به طور مفصل شرح داده شد)؛

مرحله ۳: محاسبه امتیاز کلی هر تأمین کننده با استفاده از روش SAW و TOPSIS.

۴. تحلیل داده ها و یافته های پژوهش

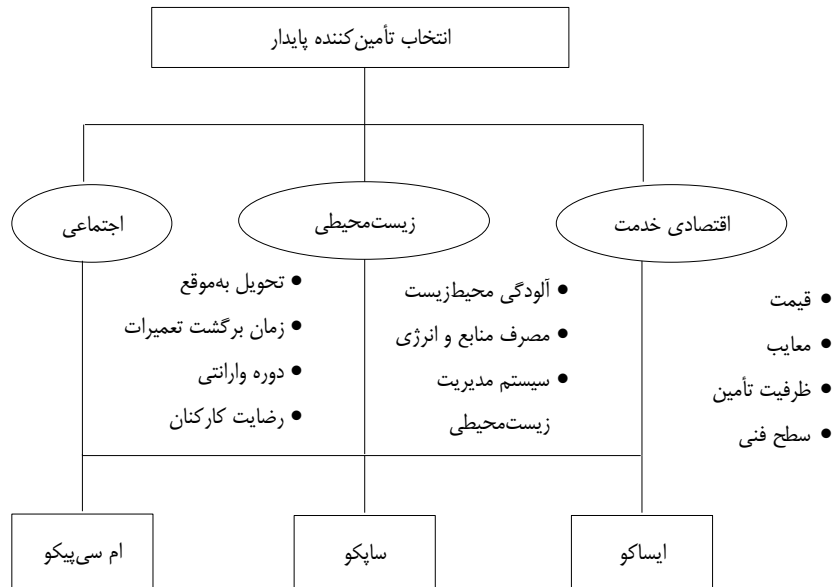
شناسایی و تعریف معیارها برای مسئله انتخاب تأمین کننده پایدار. به منظور ارزیابی و انتخاب تأمین کننده پایدار با توجه به جنبه های پایداری، تعدادی معیار و زیرمعیار بر اساس مطالعات گذشته انتخاب شده و توسط کارشناسان «شرکت ایران خودرو» مورد مطالعه قرار گرفته و تأیید شده است. معیارها و زیرمعیارهای انتخاب شده برای این مطالعه به شرح جدول ۲، است.

جدول ۲. معیارها و زیرمعیارهای انتخاب تأمین کننده پایدار در این پژوهش

معیار	زیرمعیار	منبع
اقتصادی	قیمت	[۴]
	معایب	[۲۹]
	سطح فنی	[۳۰]
	ظرفیت تأمین	[۲۸]
زیست محیطی	مصرف منابع و انرژی	[۳۲]
	میزان آلودگی محیط زیست	[۸]
	سیستم مدیریت محیط زیست	[۵]
اجتماعی	تحویل به موقع	[۲۲]
	دوره وارانتی	[۳۱]
	زمان برگشت تعمیرات	[۱۵]
	رضایت کارکنان	[۱۷]

با داشتن تعداد زیادی از عوامل تأثیرگذار بر تصمیم گیری انتخاب تأمین کننده پایدار، تصمیم گیری باید بر اساس دنباله مرتبی از این مراحل به وجود آید. در واقع بیشتر شرکتها نمی توانند به طور همزمان تعداد زیادی از عوامل را هنگام تصمیم گیری مورد استفاده قرار دهند؛ در نتیجه این مسئله پیچیده باید از طریق سلسله مراتب تصمیم گیری چندسطحی، به زیرمسئله های قابل کنترل تجزیه شود. ساختار سلسله مراتبی توسعه یافته در این پژوهش، یک سلسله مراتب چهارمرحله ای است که در آن سطح بالا، هدف مسئله (انتخاب تأمین کننده پایدار

برای شرکت ایران خودرو) را نشان می‌دهد و سطح آخر شامل تأمین‌کنندگان متفاوت «شرکت ایران خودرو» (سپکو، ایساکو و ام‌سی‌پیکو) است. سطح دوم این ساختار شامل معیارهای پایداری است که معمولاً در انتخاب تأمین‌کننده پایدار در نظر گرفته می‌شود. این معیارها عبارت‌اند از: اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی. در سطح سوم، این معیارها به زیرمعیارهای مختلفی تجزیه می‌شوند که ممکن است انتخاب تأمین‌کننده پایدار را تحت تأثیر قرار دهد. سلسله‌مراتب کلی مورد استفاده در این پژوهش در شکل ۱، نشان داده شده است.



شکل ۲. سلسله‌مراتب انتخاب تأمین‌کننده پایدار

جدول ۳. جدول تصمیم برای معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی

گزینه	اقتصادی (a)	اجتماعی (b)	زیست‌محیطی (c)	تصمیم (d)
۱	۲	۱	۱	۱
۲	۳	۱	۱	۰
۳	۱	۲	۲	۱
۴	۲	۲	۲	۱
۵	۳	۲	۱	۰
۶	۱	۲	۳	۰
۷	۱	۳	۱	۰
۸	۱	۱	۳	۱
۹	۲	۲	۱	۱
۱۰	۲	۲	۳	۰
۱۱	۳	۳	۱	۰

گزینه	اقتصادی (a)	اجتماعی (b)	زیست محیطی (c)	تصمیم (d)
۱۲	۳	۲	۲	۰
۱۳	۲	۳	۱	۰
۱۴	۲	۱	۳	۰

محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارها با روش **Rough BWM**. در این مرحله، برای سطح دوم از شکل ۱، یک جدول تصمیم‌گیری شبیه جدول ۳، طراحی می‌شود (البته این جدول مقادیر ستون تصمیم را شامل نمی‌شود) تا گروه ارزیابی پس از تصمیم‌گیری، نتیجه تصمیم را در ستون تصمیم درج کند. برای طراحی جدول تصمیم‌گیری، ابتدا معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی در سه سطح با مقادیر ۱، ۲ و ۳ ارزش‌گذاری می‌شوند که به ترتیب معادل خوب، متوسط و ضعیف برای هر سه معیار است. نمونه همین ارزش‌گذاری برای زیرمعیارها که در سه سطح ۱، ۲ و ۳، انجام شده است، در جدول ۷، ارائه می‌شود؛ سپس یک جدول تصمیم‌گیری مطابق جدول ۳، طراحی می‌شود که در آن گزینه‌های مختلف به همراه ترکیبات مختلف از امتیاز معیارها، قبل از فرآیند ارزیابی فهرست می‌شود. در جدول ۳، چهارده ترکیب مختلف فهرست شده است. یادآوری می‌شود که چهارده گزینه فهرست شده در جدول ۳، لزوماً نشان‌دهنده تعداد تأمین‌کنندگان مورد استفاده نیست؛ بلکه نمایانگر حالت‌های مختلف امتیاز معیارها است. برای مثال، گزینه ۲ در جدول ۳، نشان‌دهنده تأمین‌کننده خاصی نیست؛ بلکه حالتی را نشان می‌دهد که تأمین‌کننده از نظر اقتصادی در وضعیت ضعیف و از نظر اجتماعی و زیست محیطی در وضعیت خوبی برای شرکت قرار دارد؛ سپس این جدول برای تصمیم‌گیری به گروه ارزیابی داده می‌شود. عدد ۱ در ستون تصمیم نمایانگر این است که با امتیاز معیارهای مشخص شده در جدول ۳، تأمین‌کننده انتخاب می‌شود و عدد صفر نشان می‌دهد که با این امتیاز معیارها، تأمین‌کننده انتخاب نمی‌شود. برای مثال، ترکیب دوم در سطر دوم توصیف می‌کند که اگر تأمین‌کننده‌ای از نظر اقتصادی در وضعیت ضعیفی قرار داشته باشد، انتخاب نمی‌شود؛ حتی اگر از نظر اجتماعی و زیست محیطی، شرایط خوبی داشته باشد.

با استفاده از جدول تصمیم‌گیری ۳ و روابط ۱ تا ۷، معناداری (*SGF*) معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی از طریق روابط ۱۳ تا ۲۲، محاسبه می‌شود [۳۰]:

$$U|IND\{a, b, c\} = \left\{ \begin{array}{l} \{1\}, \{2\}, \{3\}, \{4\}, \{5\}, \\ \{6\}, \{7\}, \{8\}, \{9\}, \\ \{10\}, \{11\}, \{12\}, \{13\}, \{14\} \end{array} \right\} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$U|IND\{d\} = \{\{2,5,6,7,10,11,12,13,14\}, \{1,3,4,8,9\}\} = \{Y_1, Y_2\} \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

$$U|IND\{b, c\} = \left\{ \begin{array}{l} \{1,2\}, \{3,4,12\}, \{5,9\}, \{6,10\}, \\ \{7,11,13\}, \{8,14\} \end{array} \right\} \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

$$= \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6\}$$

$$p(X_1) = \frac{2}{14} \quad p(Y_1|X_1) = \frac{1}{2} \quad p(Y_2|X_1) = \frac{1}{2} \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

$$p(X_2) = \frac{3}{14} \quad p(Y_1|X_2) = \frac{1}{3} \quad p(Y_2|X_2) = \frac{2}{3} \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

$$p(X_3) = \frac{2}{14} \quad p(Y_1|X_3) = \frac{1}{2} \quad p(Y_2|X_3) = \frac{1}{2} \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

$$p(X_4) = \frac{2}{14} \quad p(Y_1|X_4) = 1 \quad p(Y_2|X_4) = 0 \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

$$p(X_5) = \frac{3}{14} \quad p(Y_1|X_5) = 1 \quad p(Y_2|X_5) = 0 \quad \text{رابطه (۲۰)}$$

$$p(X_6) = \frac{2}{14} \quad p(Y_1|X_6) = \frac{1}{2} \quad p(Y_2|X_6) = \frac{1}{2} \quad \text{رابطه (۲۱)}$$

$$SGF(a, \{b, c\}, \{d\}) = H(\{d\}|\{b, c\}) - H(\{d\}|\{a, b, c\}) \quad \text{رابطه (۲۲)}$$

$$= -\frac{2}{14} \left(\frac{1}{2} \log \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \log \frac{1}{2} \right) \times 3 - \frac{3}{14} \left(\frac{1}{3} \log \frac{1}{3} + \frac{2}{3} \log \frac{2}{3} \right)$$

$$= 0.1882$$

معناداری مشخصه a (معیار اقتصادی) محاسبه شد و عدد ۰/۱۸۸۲ به دست آمد. مشابه همین فرآیند برای معناداری مشخصه b (معیار اجتماعی) عدد ۰/۱۰۲۲ حاصل شد؛ همچنین معناداری مشخصه c (معیار زیست‌محیطی) با استفاده از این فرآیند برابر ۰/۱۴۵۲ است. با توجه به مقدار معناداری محاسبه‌شده برای سه معیار، بهترین معیار، a (اقتصادی) و بدترین معیار، b (اجتماعی) است. مطابق رابطه ۸، بردار «بهترین با سایرین» به صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$a_{ab} = \frac{SGF_a}{SGF_b} = \frac{0.1882}{0.1022} = 1.8415 \quad \text{رابطه (۲۳)}$$

$$a_{ac} = \frac{SGF_a}{SGF_c} = \frac{0.1882}{0.1452} = 1.2961 \quad \text{رابطه (۲۴)}$$

همچنین مطابق رابطه ۹، بردار «سایرین با بدترین» به صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$a_{ab} = \frac{SGF_a}{SGF_b} = \frac{0.1882}{0.1022} = 1.8415 \quad \text{رابطه (۲۵)}$$

$$a_{cb} = \frac{SGF_c}{SGF_b} = \frac{0.1452}{0.1022} = 1.4207 \quad \text{رابطه (۲۶)}$$

جدول ۴. بردار مقایسات زوجی بهترین معیار با سایرین

معیار	A	b	c
بهترین معیار: a	۱	۱/۸۴۱۵	۱/۳۹۶۱

جدول ۵. بردار مقایسات زوجی سایر معیارها با بدترین معیار

معیار	بدترین معیار: b
A	۱/۸۴۱۵
B	۱
C	۱/۴۲۰۷

با استفاده از رابطه ۱۱ و مطابق جداول بردارهای مقایسات زوجی، مدل زیر برای محاسبه وزن معیارهای پایداری ارائه می‌شود:

رابطه (۲۷)

$$\begin{aligned} & \min \epsilon \\ & s. t. \\ & \left| \frac{W_a}{W_b} - 1.8415 \right| \leq \epsilon \\ & \left| \frac{W_a}{W_c} - 1.2961 \right| \leq \epsilon \\ & \left| \frac{W_c}{W_b} - 1.4207 \right| \leq \epsilon \\ & W_a + W_b + W_c = 1 \\ & W_a, W_b, W_c \geq 0 \end{aligned}$$

مدل بالا با استفاده از نرم‌افزار لینگو حل شده و نتایج مطابق جدول ۶ ارائه شده است:

جدول ۶. نتایج محاسباتی وزن معیارهای پایداری

وزن (W)	ϵ^*
اقتصادی (a)	۰/۴۳۲۱
اجتماعی (b)	۰/۲۳۴۶
زیست‌محیطی (c)	۰/۳۳۳۳

مقدار ϵ^* برابر صفر است؛ بنابراین میزان سازگاری صفر بوده و سازگارترین نتیجه حاصل شده است. در جدول ۷، مقادیر ۱، ۲ و ۳ حامل معانی متفاوت برای زیرمعیارهای ذکر شده در

شکل ۱، است. جدول ۸، یک جدول تصمیم‌گیری برای اولویت‌بندی زیرمعیارهای اقتصادی است که عبارت‌اند از: قیمت؛ سطح فنی؛ معایب و ظرفیت تأمین (سطح ۳ از شکل ۱). جدول ۹ یک جدول تصمیم‌گیری برای اولویت‌بندی زیرمعیارهای زیست‌محیطی است که عبارت‌اند از: مصرف منابع و انرژی؛ سیستم مدیریت محیط زیست؛ میزان آلودگی محیط زیست. در جدول ۱۰ نیز تصمیم‌گیری برای اولویت‌بندی زیرمعیارهای اجتماعی ثبت شده است. زیرمعیارهای اجتماعی عبارت‌اند از: تحویل به‌موقع؛ دوره وارانتی؛ زمان برگشت تعمیرات و رضایت کارکنان (سطح ۳ از شکل ۱).

جدول ۷. معانی مقادیر ۱ تا ۳ برای زیرمعیارهای مختلف پایداری

مقدار	قیمت	سطح فنی	معایب	ظرفیت تأمین	تحویل به‌موقع	دوره وارانتی	تعمیرات	زمان برگشت	رضایت کارکنان	مصرف منابع و انرژی	سیستم مدیریت محیط زیست	میزان آلودگی محیط زیست	تصمیم
۱	کم	زیاد	کم	بالا	خوب	بلند	کوتاه	زیاد	زیاد	کم	خوب	کم	خوب
۲	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط
۳	زیاد	کم	زیاد	پایین	ضعیف	کوتاه	بلند	کم	زیاد	زیاد	ضعیف	زیاد	ضعیف

جدول ۸. جدول تصمیم درباره زیرمعیارهای اقتصادی

گزینه	قیمت	معایب	ظرفیت تأمین	سطح فنی	تصمیم
۱	۱	۱	۲	۲	خوب
۲	۱	۲	۲	۱	خوب
۳	۱	۲	۳	۳	متوسط
۴	۲	۲	۲	۲	متوسط
۵	۲	۱	۱	۳	متوسط
۶	۳	۲	۱	۱	ضعیف
۷	۳	۱	۲	۲	متوسط
۸	۱	۳	۲	۳	متوسط
۹	۳	۲	۲	۱	ضعیف
۱۰	۳	۱	۱	۱	متوسط
۱۱	۲	۲	۱	۱	متوسط
۱۲	۲	۳	۲	۲	ضعیف

گزینه	قیمت	معایب	ظرفیت تأمین	سطح فنی	تصمیم
۱۳	۲	۲	۲	۳	متوسط
۱۴	۲	۲	۳	۲	ضعیف
۱۵	۱	۱	۳	۳	متوسط
۱۶	۲	۳	۱	۳	ضعیف
۱۷	۱	۱	۱	۳	خوب
۱۸	۱	۱	۳	۱	خوب

جدول ۹. جدول تصمیم درباره زیرمعیارهای زیست محیطی

گزینه	میزان آلودگی محیط زیست	مصرف منابع و انرژی	سیستم مدیریت محیط زیست	تصمیم
۱	۱	۱	۲	خوب
۲	۱	۲	۱	خوب
۳	۱	۲	۲	متوسط
۴	۲	۱	۲	خوب
۵	۲	۲	۱	متوسط
۶	۲	۲	۲	متوسط
۷	۱	۱	۳	متوسط
۸	۳	۱	۲	متوسط
۹	۳	۳	۲	ضعیف
۱۰	۲	۳	۲	ضعیف

جدول ۱۰. جدول تصمیم درباره زیرمعیارهای اجتماعی

گزینه	تحويل به موقع	زمان برگشت تعمیرات	دوره وارانتی	رضایت کارکنان	تصمیم
۱	۱	۱	۲	۲	خوب
۲	۱	۲	۲	۱	خوب
۳	۱	۲	۳	۳	متوسط
۴	۲	۲	۲	۲	متوسط
۵	۲	۱	۱	۳	متوسط
۶	۳	۲	۱	۱	ضعیف
۷	۳	۱	۲	۲	متوسط
۸	۱	۳	۲	۳	متوسط
۹	۳	۲	۲	۱	ضعیف
۱۰	۳	۱	۱	۱	متوسط
۱۱	۲	۲	۱	۱	متوسط

گزینه	تحويل به موقع	زمان برگشت تعمیرات	دوره وارانتی	رضایت کارکنان	تصمیم
۱۲	۲	۳	۲	۲	ضعیف
۱۳	۲	۲	۲	۳	متوسط
۱۴	۲	۲	۳	۲	ضعیف
۱۵	۱	۱	۳	۳	متوسط
۱۶	۲	۳	۱	۳	ضعیف
۱۷	۱	۱	۱	۳	خوب
۱۸	۱	۱	۳	۱	خوب

با تکرار روابط ۱۳ تا ۲۷، برای زیرمعیارها، نتایج محاسبه‌شده برای وزن زیرمعیارهای اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی، در جداول ۱۱ تا ۱۳، نشان داده شده است.

جدول ۱۱. نتایج محاسباتی درباره زیرمعیارهای اقتصادی

€*	وزن (W)	SGF	
	۰/۴۰۰۰	۰/۱۳۳۷	قیمت
*	۰/۳۰۰۰	۰/۱۰۰۳	معايب
	۰/۲۰۰۰	۰/۰۶۶۹	ظرفیت تأمین
	۰/۱۰۰۰	۰/۰۳۳۴	سطح فنی

جدول ۱۲. نتایج محاسباتی درباره زیرمعیارهای زیست‌محیطی

€*	وزن (W)	SGF	
	۰/۲۷۱۵	۰/۱۴۳۱	میزان آلودگی محیط‌زیست
*	۰/۵۰۰۰	۰/۲۶۳۵	مصرف منابع و انرژی
	۰/۲۲۸۵	۰/۱۲۰۴	سیستم مدیریت زیست‌محیطی

جدول ۱۳. نتایج محاسباتی درباره زیرمعیارهای اجتماعی

€*	وزن (W)	SGF	
	۰/۴۰۰۰	۰/۱۳۳۷	تحويل به موقع
*	۰/۳۰۰۰	۰/۱۰۰۳	زمان برگشت تعمیرات
	۰/۲۰۰۰	۰/۰۶۶۹	دوره وارانتی
	۰/۱۰۰۰	۰/۰۳۳۴	رضایت کارکنان

نتایج نشان می‌دهد که میزان ناسازگاری در روش BMW با استفاده از رویکرد پیشنهادی در تمامی مراحل صفر است. این موضوع نشان می‌دهد که استفاده از رویکرد پیشنهادی در این پژوهش، میزان سازگاری را در روش BMW بهبود می‌بخشد و سازگارترین نتایج را ارائه می‌دهد. وزن‌های کلی و وزن‌های موضعی برای تمامی معیارها و زیرمعیارها تعیین شده و در جدول ۱۴، ثبت شده است. آخرین ستون جدول ۱۴، ترتیب تقدم معیارها است. چنان‌که مشاهده می‌شود معیار قیمت دارای بالاترین امتیاز در جدول است.

با این فرض که ۳ تأمین کننده، SAPCO (سپکو)، ISACO (ایساکو) و MCPCO (ام سی پی‌کو) در فرآیند ارزیابی تأمین کنندگان «شرکت ایران خودرو» مدنظر قرار گرفته است، اگر اطلاعات کمی مربوط به معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی معلوم باشد، مطابق داده‌های واقعی موجود، رتبه تأمین کنندگان مشخص می‌شود. در خصوص زیرمعیارهای زیست‌محیطی، گروه ارزیابی «شرکت ایران خودرو»، متشکل از کارشناسان خبره این حوزه، تأمین کنندگان را در سه سطح ۱ (خوب)، ۲ (متوسط) و ۳ (ضعیف) ارزیابی کرده‌اند. اطلاعات کمی تأمین کنندگان مربوط به معیارهای پایداری در جدول ۱۵ آمده است.

جدول ۱۴. وزن‌های اولویت ترکیبی برای معیارها و زیرمعیارها

معیار	وزن‌های موضعی	زیرمعیار	وزن‌های موضعی	وزن‌های کلی	ترتیب اولویت
اقتصادی	۰/۴۳۲۱	قیمت	۰/۴	۰/۱۷۲۸۴	۱
		معایب	۰/۳	۰/۱۲۹۶۳	۳
		ظرفیت تأمین	۰/۲	۰/۰۸۶۴۲	۶
		سطح فنی	۰/۱	۰/۰۴۳۲۱	۱۰
زیست‌محیطی	۰/۳۳۳۳	آلودگی محیط‌زیست	۰/۲۷۱۵	۰/۰۹۰۴۹	۵
		مصرف منابع و انرژی	۰/۵	۰/۱۶۶۶۵	۲
		سیستم مدیریت زیست‌محیطی	۰/۲۲۸۵	۰/۰۷۶۱۶	۷
		تحويل به موقع	۰/۴	۰/۰۹۳۸۴	۴
اجتماعی	۰/۲۳۴۶	زمان برگشت تعمیرات	۰/۳	۰/۰۷۰۳۸	۸
		دوره وارانتی	۰/۲	۰/۰۴۶۹۲	۹
		رضایت کارکنان	۰/۱	۰/۰۲۳۴۶	۱۱

جدول ۱۵. اطلاعات کمی تأمین‌کنندگان

رضایت کارکنان (%)	دوره وراثتی (ماه)	زمان برگشت تعصبات (هفته)	تحويل به‌موقع (نرخ)	سیستم مدیریت زیست‌محیطی (سطح)	مصرف منابع و انرژی (سطح)	آلودگی محیط‌زیست (سطح)	سطح فنی (درجه)	ظرفیت تأمین (عدد)	معایب (نرخ)	قیمت (میلیون تومان)	تأمین‌کننده
۰/۸۰	۳	۱	۰/۹۵	۲	۱	۲	۲	۷۰۰	۰/۰۱	۴۰	ISACO
۰/۸۳	۳	۱	۰/۹۸	۲	۲	۳	۱	۶۰۰	۰/۰۲	۴۵	SAPCO
۰/۸۵	۴	۳	۰/۹۰	۲	۳	۱	۳	۵۰۰	۰/۰۶	۵۰	MCPCO

محاسبه امتیاز کلی هر تأمین‌کننده با استفاده از روش مجموع ساده وزنی. به‌منظور محاسبه وزن نهایی تأمین‌کنندگان باید وزن‌های کلی معیارها و زیرمعیارها مطابق جدول ۱۴ و امتیاز تأمین‌کنندگان در هر زیرمعیار مطابق جدول ۱۵ (البته بعد از بی‌مقیاس نمودن)، با هم ترکیب شوند. محاسبات انجام‌شده در این قسمت، مطابق محاسبات روش مجموع ساده وزنی (SAW) است. نتایج مربوط به محاسبه وزن نهایی تأمین‌کنندگان در جدول ۱۶، نشان داده شده است؛ همچنین وزن نهایی تأمین‌کنندگان با استفاده از روش TOPSIS نیز محاسبه شده و نتایج در جدول ۱۷، نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که نتایج حاصل از رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان «شرکت ایران خودرو»، با هر دو روش کاملاً یکسان است (نتایج هر دو روش نشان می‌دهد که در رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان «شرکت ایران خودرو» بر اساس شاخص‌های پایداری، «شرکت ایساکو» در رتبه نخست قرار دارد).

جدول ۱۶. وزن نهایی تأمین‌کنندگان با روش SAW

وزن تأمین‌کنندگان	رضایت کارکنان	دوره وراثتی	زمان برگشت تعصبات	تحويل به‌موقع	سیستم مدیریت زیست‌محیطی	مصرف منابع و انرژی	آلودگی محیط‌زیست	سطح فنی	ظرفیت تأمین	معایب	قیمت	تأمین‌کننده
۰/۴۱۱۷	۰/۸۰	۳	۱	۰/۹۵	۲	۱	۲	۲	۷۰۰	۰/۰۱	۴۰	ISACO
۰/۳۲۰۳	۰/۸۳	۳	۱	۰/۹۸	۲	۲	۳	۱	۶۰۰	۰/۰۲	۴۵	SAPCO
۰/۲۶۸۰	۰/۸۵	۴	۳	۰/۹۰	۲	۳	۱	۳	۵۰۰	۰/۰۶	۵۰	MCPCO

جدول ۱۷. وزن نهایی تأمین کنندگان با روش TOPSIS

وزن تأمین کنندگان	رضایت کارکنان	دوره وارنتی	زمان برگشت تعمیرات	تحویل به موقع	سیستم مدیریت زیست محیطی	مصرف منابع و انرژی	الودگی محیط زیست	سطح فنی	ظرفیت تأمین	معايب	قیمت	تأمین کننده
۰/۸۴۵۲	۰/۸۰	۳	۱	۰/۹۵	۲	۱	۲	۲	۷۰۰	۰/۰۱	۴۰	ISACO
۰/۶۰۰۸	۰/۸۳	۳	۱	۰/۹۸	۲	۲	۳	۱	۶۰۰	۰/۰۲	۴۵	SAPCO
۰/۲۴۸۷	۰/۸۵	۴	۳	۰/۹۰	۲	۳	۱	۳	۵۰۰	۰/۰۶	۵۰	MCPCO

۵. نتیجه گیری و پیشنهادها

در این پژوهش برای انتخاب تأمین کننده پایدار، یک مدل جدید بر اساس روش بهترین - بدترین که با نظریه مجموعه های راف بهبود یافته است، ارائه شد. با توجه به اینکه روش بهترین - بدترین مبتنی بر قضاوت تصمیم گیرنده است، برای مدل کردن عدم قطعیت مربوط به ارزیابی های شخصی و محاسبه وزن های عینی تر، از رویکرد جدول تصمیم گیری استفاده شد. به منظور بهبود نرخ سازگاری در روش بهترین - بدترین، مفاهیم آنتروپی شرطی و معناداری (اهمیت) که در نظریه مجموعه های راف کاربرد دارد، پیشنهاد شد. توسعه تکنیک بهترین - بدترین توسط نظریه مجموعه های راف، البته با رویکرد معرفی شده در این پژوهش، برای نخستین بار، به منظور تعیین وزن معیارها در مسائل تصمیم گیری چندمعیاره ارائه شد. مدل ارائه شده برای تعیین وزن معیارهای پایداری، در زنجیره تأمین «شرکت ایران خودرو» به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که میزان سازگاری در روش BWM با استفاده از رویکرد پیشنهادی در تمامی مراحل صفر است. این موضوع نشان می دهد که استفاده از رویکرد پیشنهادی در این پژوهش، میزان سازگاری را در روش BWM بهبود بخشیده و سازگارترین نتایج را ارائه می دهد. در ادامه از روش های TOPSIS و SAW برای تعیین وزن تأمین کنندگان «شرکت ایران خودرو» استفاده شد و نتایج این دو روش با هم مقایسه گردید. نتایج حاصل از رتبه بندی تأمین کنندگان «شرکت ایران خودرو»، با هر دو روش کاملاً یکسان بود. با توجه به یافته ها، در شرکت ایران خودرو که به عنوان مطالعه موردی، برای مسئله انتخاب تأمین کنندگان پایدار در این پژوهش در نظر گرفته شد، مشاهده شد که در رتبه بندی تأمین کنندگان «شرکت ایران خودرو» بر اساس شاخص های پایداری، «شرکت ایساکو» در رتبه نخست قرار دارد. با مقایسه نتایج پژوهش حاضر با پژوهش امیری و همکاران (۲۰۲۰) که ترکیب روش BWM با نظریه مجموعه های فازی را برای مسئله انتخاب تأمین کنندگان پایدار در «شرکت ایران خودرو» به کار برده اند، ملاحظه می شود که نتایج حاصل از رتبه بندی تأمین کنندگان «شرکت ایران خودرو»، در هر دو پژوهش

کاملاً یکسان است. با توجه به نتایج هر دو پژوهش، مشخص می‌شود که در رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان «شرکت ایران‌خودرو» بر اساس معیارهای پایداری، شرکت‌های ایساکو و ساپکو به ترتیب در جایگاه اول و دوم قرار دارند. نتایج این پژوهش در طراحی زنجیره‌های تأمین پایدار و در مواجهه با شرایطی که سازمان‌های عضو زنجیره تأمین در کنار اهداف اقتصادی به دنبال تأمین اهداف زیست‌محیطی و اجتماعی نیز هستند، به‌خوبی می‌تواند راهگشا بوده و مورد استفاده قرار گیرد. بدیهی است که تکنیک معرفی‌شده را می‌توان در سازمان‌های مختلف با ویژگی‌های محیطی متفاوت به‌کار گرفت؛ همچنین رویکرد ارائه‌شده در این پژوهش را می‌توان برای بهبود سایر تکنیک‌های وزن‌دهی معیارها در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره، به‌عنوان پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی در نظر گرفت.

تعارض منافع. برای ارائه مطالب و نگارش این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از هیچ فرد، نهاد و سازمانی دریافت نشده است و نتایج و دستاوردهای این مقاله به نفع یا ضرر سازمان یا فردی خاص نخواهد بود. حضور نویسندگان در این پژوهش به‌عنوان شاهدی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافی ندارند.

منابع

1. Abdel-Baset, M., Chang, V., Gamal, A., & Smarandache, F. (2019). An integrated neutrosophic ANP and VIKOR method for achieving sustainable supplier selection: A case study in importing field. *Comput Ind*, 106, 94-110.
2. Abdel-Baset, M., Mohamed, M., & Smarandache, F. (2018). A hybrid neutrosophic group ANP-TOPSIS framework for supplier selection problems. *Symmetry*, 10(6), 226.
3. Aditi, Kannan, D., Darbari, J. D., & Jha, P. C. (2022). Sustainable supplier selection model with a trade-off between supplier development and supplier switching. *Annals of Operations Research*, 45(68), 58-63.
4. Amiri, M., Hashemi, M., Ghahremanloo, M., Keshavarz, M., Zavadskas, E. K., & Banaitis, A. (2020). A new fuzzy BWM approach for evaluating and selecting a sustainable supplier in supply chain management. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 20(69), 134-153.
5. Azimifard, A., Moosavirad, SH., & Ariaifar, S. (2018). Selecting sustainable supplier countries for Iran's steel industry at three levels by using AHP and TOPSIS methods. *Resour Policy*, 57, 30-44.
6. Azizi nafteh, M., & Shahrokhi, M. (2023). Presenting a Mathematical Programming Model for Sustainable Supplier Selection and Order Allocation Using the COPRAS Method. *Supply Chain Management*, 25(79), 87-101. (In Persian)
7. De Boer, L., Labro, E., & Morlacchi, P. (2001). A review of methods supporting supplier selection. *European J. Purchasing & Supply Management*, 40(63), 48-53.
8. Durmić, E., Stević, Z., Chatterjee, P., Vasiljević, M., & Tomašević, M. (2020). Sustainable supplier selection using combined FUCOM–Rough SAW model. *Reports in Mechanical Engineering*, 1(1), 34-43.
9. Ehteshamrasi, R., & Jalali, A. (2018). Sustainable Supplier Selection in Wear Supply Chain using Best Wrosts Method. *Supply Chain Management*, 20(61), 68-93. (In Persian)
10. Govindan, K., Khodaverdi, R., & Jafarian, A. (2013). A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach, *Journal of Cleaner Production*, c
11. Guoyin, W. (2001). Theory and Knowledge Acquisition of Rough Sets, *Xi'an Jiao Tong University Publication*, (In Chines).
12. Joachim, G., Lagouge, T., & Modestus, O. (2023). Sustainable supplier selection in the oil and gas industry: An integrated multi-criteria decision making approach. *Procedia Computer Science*, 217, 1243-1255.
13. Jun, Z., Linze, L., Jing, Z., Liping, C., & Guojiao, C. (2023). Private-label sustainable supplier selection using a fuzzy entropy-VIKOR-based approach. *Complex & Intelligent Systems*, 9, 2361-2378.
14. Karami, A., Fatahi, M., & Hasani, A. (2023). Sustainable Supplier Selection of Refined Products under Risk and Options Contract using Conditional Value at Risk. *Industrial Management Perspective*, 12(48), 289-323. (In Persian)
15. Kazemitash, N., Fazlollahtabar, H., & Abbaspour, M. (2021). Rough Best-Worst Method for Supplier Selection in Biofuel Companies Based on Green Criteria. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 1(12), 2620-1747.
16. Li, J., Fang, H., & Song, W. (2019). Sustainable supplier selection based on SSCM practices: A rough cloud TOPSIS approach. *J Clean Prod*, 222, 606-621.
17. Lin, K., Tseng, M., & Pai, P. (2018). Sustainable supply chain management using approximate fuzzy DEMATEL method. *Resour Conserv Recycl*, 128, 134-142.

18. Liu, K., Liu, Y., & Qin, J. (2018). An integrated ANP-VIKOR methodology for sustainable supplier selection with interval type-2 fuzzy sets. *Granul Comput*, 3(3), 193-208.
19. Liu, Q. (2001). Rough Set and Rough Reasoning. *Chinese Science Press, Beijing*, pp, 11(1).
20. Liu, Y., Eckert, C., Yannou-Le Bris, G., & Petit, G. (2019). A fuzzy decision tool to evaluate the sustainable performance of suppliers in an agrifood value chain. *International Journal of Comput Ind Eng*, 127(33), 196-212.
21. Matic, B., Jovanovic, S., Das, D., Zavadskas, E., Sremac, S., & Marinkovic, M. (2019). A new hybrid MCDM model: sustainable supplier selection in a construction company. *Symmetry*, 11(3), 353.
22. Memari, A., Dargi, A., Jokar, M., Ahmad, R., & Rahim, A. (2019). Sustainable supplier selection: A multi-criteria intuitionistic fuzzy TOPSIS method. *J Manuf Syst*, 50, 9-24.
23. Pawlak, Z. (1982). Rough sets. *International Journal of Computer and Information Sciences*, 11(5), 341-356.
24. Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53(18), 49-57.
25. Rokneddini, S. A., Andalib, D., Zare, H., & Hosseini, S. M. (2023). Modeling the Enablers of Industry 4.0 in the Implementation of a Sustainable Supply Chain with Fuzzy DEMATEL-ANP. *Industrial Management Perspective*, 13(49), 141-172. (In Persian)
26. Rashi, S., & Darbari, J. D. (2021). Integrated Optimization Model for Sustainable Supplier Selection and Order Allocation in Food Supply Chain. *Soft Computing for Problem Solving*, 23(4), 557-572.
27. Sanatan, R., Mohit, B., & Kumar, B. (2023). Sustainable Supplier Selection in Automobile Sector Using GRA-TOP Model. *Advances in Industrial and Production Engineering*, 845, 393-400.
28. Seifbarghy, M. (2022). A Multi-Objective Sustainable Closed Loop Supply Chain Model Considering Suppliers Evaluation and using SWARA-WASPAS Method. *Industrial Management Perspective*, 12(47), 63-88. (In Persian)
29. Vahidi, F., Torabi, S., & Ramezankhani, M. (2018). Sustainable supplier selection and order allocation under operational and disruption risks. *J Clean Prod*, 174, 1351-1365.
30. Xia, W., & Wu, Z. (2007). Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments. *Omega*, 35(2007), 494-504.
31. Yazdani, M., Wen, Z., Liao, H., Banaitis, A., & Turskis, Z. (2019). A grey combined compromise solution (CoCoSo-G) method for supplier selection in construction management. *J Civ Eng Manag*, 25(8), 858-874.
32. Zhang, S., Wei, G., Gauo, H., Wei, C., & Wei, Y. (2019). Method for multiple criteria group decision making with picture fuzzy information and its application to green suppliers selections. *Technol Econ Dev Econ*, 25(6), 1123-1138.
33. Zhang, Z., Liao, H., Al-Barakati, A., Zavadskas, E., & Antuchevičienė, J. (2020). Supplier selection for housing development by an integrated method with interval rough boundaries. *Int J Strateg Prop Manag*, 24(4), 269-284.