



Production and Operations Management
University of Isfahan E-ISSN: 2423-6950
Vol. 14, Issue 1, No. 32, Spring 2023



<https://doi.org/10.22108/pom.2023.135052.1464>

(Research paper)

A models for supplier selection using value engineering-based type-2 fuzzy approach – Theocæ of Nasr Niroo Engineering Company in Yazd

Afarin Akhavan*

Industrial Engineering Group, Faculty of Engineering, Science and Arts University, Yazd, Iran,
akhavan@sau.ac.ir

Seyed Mahdi Ebrahimi

Industrial Engineering Group, Faculty of Engineering, Science and Arts University, Yazd, Iran,
s.mahdi.e69@gmail.com

Ali Sadri Esfahani

Industrial Engineering Group, Faculty of Engineering, Science and Arts University, Yazd, Iran,
ali.sadri@sau.ac.ir

Purpose: This research aims to propose an integrative approach for selecting suppliers for Nasr Niroo Engineering Company in Yazd. The proposed model applies value engineering in a type-2 fuzzy environment.

Design/methodology/approach: First, the purchase value has been calculated for each supplier using type-2 fuzzy data and the experts' opinions. Then, by dividing the value by the cost coefficient, the purchase value function of each supplier has been calculated for each product. The purchase value coefficients have been determined according to the opinion of experts and the buyers of equipment. In this research, verbal data has been collected from the experts, and out of this data, type-2 fuzzy numerical data has been extracted, calculated, and applied. The influence of type-2 fuzzy numbers in reducing uncertainty in the collected expert opinions has been the cause of such a problem. Following the determination of the purchase value function for each supplier, it has been assumed that quantitative information such as order cost, purchase cost, as well as each supplier's return rate, are also effective in selecting each supplier.

* Corresponding author



Findings: In this study, the subject of supplier selection was examined and solved for four separate product categories - iron, fibre, insulators, and fittings - for which there were two, two, four, and four different suppliers, respectively. After examining and solving the model considering the purchase value index as well as additional parameters including ordering and purchasing costs, each supplier's capacity, and the rate of return and failure of parts, five suppliers were selected. Two suppliers were selected for iron, and one supplier was selected for each of the other three products.

Research limitations/implications: The application of the proposed model appears to be highly difficult due to the numerous fuzzy number calculations, and obtaining information in this area is one of the limitations of this model. Also, type-2 fuzzy numbers could not be used for mathematical modelling and solution, because no model has been presented yet for the optimal solution of linear programming problems using type-2 fuzzy numbers.

Practical implications: The simultaneous use of value engineering techniques or multi-criteria decision-making methods with mathematical models can improve qualitative factors along with improving quantitative factors. This method can be used in project portfolio selection problems and problems with multiple quantitative and qualitative factors as well as different prices and values.

Social implications: For reasons such as the utilization of experts' perspectives on the quality factors affecting the selection of suppliers, the model described in this study can help ensure proper supplier selection; transforming the opinions of experts into type-2 fuzzy numbers, which is a practical method for reducing errors and uncertainty in judgments; employing value engineering to analyze viewpoints while keeping in mind the value of purchasing from each provider; using a mathematical model that accounts for costs, the percentage of orders that fail, and defects of order, which may be based on prior experiences or the supplier's announcement. Also, the use of type-2 fuzzy numbers is one of the solutions to face uncertainty in a system.

Originality/value: The topic of measuring the value of purchasing from suppliers is concentrated in this study instead of using other indicators such as purchasing risk, as a new indicator. Also, the simultaneous review of quantitative and qualitative data for the selection of suppliers can be considered one of the strengths of the reviewed model. Utilizing indications such as purchase value will be far more effective and better than using multi-criteria decision-making procedures, as seen when comparing this model with other applied models. The use of type-2 fuzzy numbers to lessen the uncertainty associated with using expert opinions and the development of the value calculation method in the area of supplier selection are the two major innovations of this study.

Keywords: Supply chain, Supplier selection, Value engineering, Type-2 fuzzy numbers



مدیریت تولید و عملیات، دوره ۱۴، شماره ۱، پیاپی ۳۲، بهار ۱۴۰۲

دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۸ ص ۲۱-۳۸



<https://doi.org/10.22108/pom.2023.135052.1464>

(مقاله پژوهشی)

انتخاب تأمین‌کننده با استفاده از روش ترکیبی مبتنی بر محاسبه ارزش در محیط فازی نوع ۲ (مطالعه موردی شرکت مهندسی نصر نیروی یزد)

آفرین اخوان^{۱*}، سید مهدی ابراهیمی^۲، علی صدری اصفهانی

۱- دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه علم و هنر، یزد، ایران، akhavan@sau.ac.ir

۲- کارشناسی ارشد گروه مهندسی صنایع، دانشگاه علم و هنر، یزد، ایران، s.mahdi.e69@gmail.com

۳- استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه علم و هنر، یزد، ایران، ali.sadri@sau.ac.ir

چکیده: افزایش شدید رقابت در بازارهای جهانی، توسعه تکنولوژی و ضرورت توجه به کارایی، کیفیت و هزینه تولیدات، موجب شده است تا شرکت‌های تولیدی و خدماتی، در جهت توسعه کسب و کار و بقا در بازار، نیازمند همکاری با شرکت‌ها و مؤسسات دیگری با عنوان تأمین‌کنندگان باشند. تأمین‌کنندگان می‌توانند بر کیفیت، قیمت و بسیاری از عوامل اثرگذار بر فروش محصولات تأثیرگذار باشند و این موضوع ضرورت توجه به مبحث انتخاب تأمین‌کننده مناسب را ضروری می‌کند. در این پژوهش در ابتدا، عوامل مؤثر بر انتخاب تأمین‌کننده و ارزش هر یک از معیارهای مؤثر در انتخاب تأمین‌کننده، با استفاده از نظر خبرگان سازمان و با بهره‌گیری از اعداد فازی نوع ۲ بررسی و شاخص ارزش خرید از هر تأمین‌کننده، بر مبنای روش مهندسی ارزش محاسبه می‌شود. در انتها با توجه به عوامل کمی شامل قیمت، میزان خرید و نرخ خرابی و با استفاده از یک مدل چندهدفه که در نرم‌افزار گمز حل شده است، میزان سفارش خرید از هر یک از تأمین‌کنندگان مشخص شده است. در این پژوهش عدم قطعیت موجود در بررسی مسائل کیفی از ۲ جنبه مدنظر قرار گرفته است؛ هم از این لحاظ که اعضای مجموعه تخصیص داده شده به هر معیار، قطعی نیست و فازی است و دوم آنکه درجه عضویت این اعداد فازی نیز قطعی نیست و با تغییرات همراه است.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین، انتخاب تأمین‌کننده، مهندسی ارزش، فازی نوع ۲



۱- مقدمه

امروزه با توجه به جهانی شدن اقتصاد، رقابت مابین شرکت‌های تولیدی و خدماتی به شدت افزایش یافته است. بر این اساس، قیمت و کیفیت به عنوان یکی از عوامل اساسی مؤثر بر خرید کالاها و خدمات توسط مشتریان، از عوامل اصلی حیات شرکت‌ها در نظر گرفته می‌شوند. با توجه به اینکه بسیاری از شرکت‌ها برای ساخت محصولات خود یا ارائه خدمات به مشتریان، به بهره‌گیری از خدمات و محصولات دیگر شرکت‌ها و خدمات‌دهندگان یا در اصطلاح تأمین‌کنندگان نیازمندند، بنابراین به باور بسیاری از پژوهشگران، انتخاب تأمین‌کننده مناسب از جمله عوامل مؤثر بر بقا و رقابت شرکت‌هاست که می‌تواند در قیمت و کیفیت محصول نهایی اثرگذار باشد.

فرآیند انتخاب تأمین‌کننده مناسب را نه تنها باید فراتر از بررسی مجموعه‌ای از لیست قیمت‌های موجود و مقایسه آنها دانست، باید شامل بررسی طیف گسترده‌ای از معیارهای مختلف، چه کیفی و چه کمی نیز باشد. در مدیریت زنجیره تأمین معاصر، عملکرد تأمین‌کننده بالقوه براساس معیارهای متعدد ارزیابی می‌شود، نه اینکه هزینه به عنوان ملاک اصلی در تصمیم‌گیری در نظر گرفته شود. این امر به دلیل تعدد معیارهایی است که باید در فرآیند ارزیابی در نظر گرفته شود (بادی و پاموکار^۱، ۲۰۲۰). با این حال مطابق پژوهش‌های انجام گرفته، ۷۰ درصد از هزینه‌های تولیدی مربوط به خرید کالاها و خدمات می‌شود (قدسی‌پور و اوبراین^۲، ۱۹۹۸). با توجه به موارد بیان شده، تاکنون پژوهش‌های متعددی در حوزه انتخاب تأمین‌کننده انجام شده است. با بررسی پژوهش‌های این حوزه، طیف وسیعی از روش‌ها و مدل‌ها مشاهده شدنی است. به صورت کلی تعدادی از پژوهش‌ها تنها موارد و معیارهای کمی همچون قیمت، زمان تحویل و میزان ضایعات را در انتخاب تأمین‌کننده و تعدادی نیز مباحث کیفی همچون کیفیت را بررسی کرده‌اند. همچنین تعدادی نیز با ارائه مدل‌های ترکیبی، به صورت هم‌زمان عوامل کمی و کیفی مؤثر بر انتخاب تأمین‌کننده را بررسی کرده‌اند. بر این اساس، در این پژوهش نیز معیارهای کمی و کیفی به صورت هم‌زمان در نظر گرفته شده است. با وجود این، موضوعی که می‌تواند در زمینه انتخاب تأمین‌کنندگان درخور توجه قرار گیرد، مبحث ارزش انتخاب و خرید از تأمین‌کنندگان است که تاکنون مدنظر واقع نشده است. بر این اساس این پژوهش، با استفاده از شاخصی با عنوان ارزش خرید تأمین‌کنندگان، سعی در گسترش کاربرد این شاخص دارد. همچنین با توجه به عدم اطمینان نسبت به داده‌های قطعی، در بررسی شاخص ارزش خرید، از داده‌های فازی نوع ۲ استفاده شده است. این تحقیق می‌کوشد تا بتواند گامی دربارۀ تجزیه و تحلیل داده‌ها برای رتبه‌بندی شرکت‌های تأمین‌کننده بردارد تا در آینده، مدیران و تصمیم‌گیرندگان سازمان‌ها بهتر بتوانند با محیط اقتصادی نامطمئن، تصمیمات درست را اتخاذ کنند. زنجیره تأمین عبارت است از همه فعالیت‌های مرتبط با جریان و تبدیل کالاها از مرحله ماده خام (استخراج) به حالت نهایی (مصرف) و نیز جریان‌های اطلاعاتی مرتبط با آنها. همچنین، مدیریت زنجیره تأمین را می‌توان یکپارچه‌سازی کلیه فعالیت‌های موجود در زنجیره تأمین، از طریق بهبود روابط زنجیره برای دستیابی به موقعیت رقابتی اتکاشدنی و مستدام در نظر گرفت. منظور از مدیریت زنجیره تأمین، شبکه‌ای از سازمان‌هاست که با صنایع پایین دستی و بالادستی در فرایندها و فعالیت‌ها در ارتباطند و به صورت محصول و خدمات ارائه شده به مشتری نهایی، تولید ارزش می‌کنند. زنجیره تأمین از چند سازمان تشکیل می‌شود که رسماً از هم جدا هستند، ولی توسط جریان‌های مواد، مالی و اطلاعات به هم مربوط‌اند. هدف مدیریت زنجیره تأمین این است که به گونه‌ای جریان اطلاعات، مالی و مواد با هم هماهنگ شوند که مشتریان بتوانند خدمت خود را با بالاترین سطح اطمینان، سرعت،

کیفیت و هزینه مناسب دریافت کنند (آقاجانی و همکاران، ۱۳۹۳). بر این اساس در این پژوهش، در ابتدا معیارهای مناسب انتخاب تأمین‌کنندگان با استفاده از نظرات خبرگان جمع‌آوری شده و سپس این معیارها توسط خبرگان و با استفاده از یک طیف اعداد فازی نوع ۲ رتبه‌بندی شده است. در ادامه ضریب اهمیت، ضریب هزینه و ارزش خرید از هریک از تأمین‌کنندگان نسبت به یکدیگر محاسبه شده و با استفاده از یک مدل چندهدفه با توجه به درصد بازگشت کالاها، ارزش خرید از هر تأمین‌کننده و هزینه خرید و سفارش‌دهی هر قطعه و تعداد بهینه خرید از هر تأمین‌کننده مشخص شده است.

۲- پیشینه نظری پژوهش

بر اساس پژوهش نصیری و پورمحمدضیا^۴ (۱۳۹۴)، فرآیند انتخاب تأمین‌کننده شامل سه مرحله اساسی تعیین معیارهای انتخاب، پیش‌ارزیابی و انتخاب نهایی تأمین‌کنندگان است. با توجه به اینکه در این پژوهش بخش‌های پیش‌ارزیابی و انتخاب نهایی تأمین‌کنندگان مدنظر است، بنابراین، سعی شده است که پیشینه روش‌های ارزیابی و انتخاب نهایی بیشتر بررسی شود. می‌توان گفت اولین مراحل در ارزیابی تأمین‌کننده مناسب، بررسی شاخص‌های مناسب برای ارزیابی است که در این حوزه فعالیت‌های متعددی انجام شده است. در پژوهش سهیلی‌فر و فلاح لاجیمی^۵ (۱۳۹۸)، ابتدا با استفاده از پرسش‌نامه دلفی فازی، ۱۴ معیار پایداری از میان معیارهای برگرفته از تحقیقات پیشین شناسایی شد؛ سپس با استفاده از تکنیک دیمتل خاکستری، اوزان هریک از معیارها محاسبه شده است. دورسان و کارساک^۶ (۲۰۱۳)، برای انتخاب تأمین‌کننده ابتدا با استفاده از تکنیک تاپسیس، معیارهای کیفی انتخاب تأمین‌کنندگان را بررسی کردند؛ سپس با استفاده از یک مدل چندهدفه، تخصیص سفارش به هریک از تأمین‌کنندگان انجام گرفته است. برای رسیدن به جواب مناسب در انتخاب تأمین‌کنندگان، از روش QFD^۷ و روش میانگین وزنی فازی برای انتخاب تأمین‌کننده استفاده شده است. پژوهش پویا و علیزاده زوارام^۸ (۱۳۹۳)، مسئله انتخاب تأمین‌کننده را در یک شرکت تولید آب معدنی با استفاده از مدل ترکیبی تحلیل سلسله‌مراتبی دلفی فازی و ویکور بررسی کرده است. سمیع‌زاده و افشاری^۹ (۱۳۹۶) در پژوهش خود بیان کردند که برای انتخاب تأمین‌کنندگان با انعطاف‌پذیری بالاتر و قیمت بهتر، کاهش هزینه‌ها و درنهایت افزایش سود مورد انتظار، میزان تخفیف پیشنهادشده توسط تأمین‌کنندگان در فرآیند انتخاب و تخصیص سفارش به آنها نقش کلیدی دارد. مسئله انتخاب تأمین‌کننده به صورت یک مسئله دو هدفه تحت شرایط زمان و حجم تقاضای احتمالی مدل‌سازی شده است. با توجه به اینکه مسئله مدنظر جزء مسائل NP-hard^{۱۰} به شمار می‌آید، الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مدل به کار گرفته شده است و درنهایت الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی غلبه‌نشده (NSGA-II)^{۱۱} و الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غلبه‌نشده (NRGA)^{۱۲} با هم مقایسه شده‌اند. رسولی تکلیمی^{۱۳} (۱۳۹۶) در پژوهش خود برای رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر انتخاب تأمین‌کنندگان صنعت سیمان، از تکنیک تاپسیس و ویکور استفاده کرده است. آسمی و آسمی^{۱۴} (۲۰۱۴) مسئله انتخاب تأمین‌کننده مناسب را با استفاده از روش تاپسیس در محیط فازی بررسی کرده است. همچنین در پژوهش بوران و همکاران^{۱۵} (۲۰۰۹)، از تاپسیس فازی برای انتخاب تأمین‌کننده استفاده شده است. داوودآبادی و همکاران^{۱۶} (۲۰۲۰) در پژوهشی از روش PCA^{۱۷} برای کاهش ابعاد و همبستگی بین معیارها در انتخاب تأمین‌کنندگان انعطاف‌پذیر استفاده کردند. در پژوهش آنان علاوه بر این، از تجزیه و تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)^{۱۸} برای تعیین وزن معیارها و

رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان استفاده شده است. وزن معیارها با استفاده از روش DEA، آنتروپی^{۱۹} و داوری‌های تصمیم‌گیرندگان^{۲۰} (DM) به‌طور هم‌زمان تعیین شده است. علی‌خانی و همکاران^{۲۱} (۲۰۱۹) بیان می‌کنند که انتخاب تأمین‌کننده، یک تصمیم استراتژیک چند وجهی است؛ اما هیچ تحقیقی وجود ندارد که عواملی مانند پایداری و ریسک را به‌طور هم‌زمان در نظر بگیرد. آنها در پژوهش خود از مجموعه‌های فازی بازه‌ای نوع ۲ برای تعیین کمیت ورودی‌های تصمیم‌گیرندگان استفاده و یک مدل DEA با کارایی فوق‌العاده را پیشنهاد می‌کنند که شامل ورودی‌ها و خروجی‌های مطلوب و نامطلوب برای ارزیابی تأمین‌کنندگان است. این رویکرد به‌طور هم‌زمان پایداری و ریسک تأمین‌کنندگان را در مسئله انتخاب تأمین‌کننده گنجانده است.

گیانکیس و همکاران^{۲۲} (۲۰۲۰) با استفاده از نظرات ۱۴۴ نفر در کشورهای فرانسه و انگلیس، تأمین‌کنندگان را با استفاده از روش ANP دسته‌بندی و رتبه‌بندی کرده‌اند. چن و همکاران^{۲۳} (۲۰۲۰) در پژوهشی، مطالعه یک رویکرد^{۲۴} DEMATEL- TOPSIS فازی ترکیبی را برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار برای یک زنجیره تأمین هوشمند پیشنهاد می‌کنند. اثربخشی و دقت روش پیشنهادی از طریق کاربرد آن در انتخاب تأمین‌کننده انتقال خودرو پایدار و از طریق مقایسه با روش‌های دیگر نشان داده می‌شود. آگراوال و همکاران^{۲۶} (۲۰۲۱) مسئله انتخاب تأمین‌کننده را برای ۵ تأمین‌کننده و ۱۴ پارامتر با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده‌آل یا تاپسیس و با استفاده از داده‌های فازی بررسی کرده‌اند. دویری و همکاران^{۲۷} (۲۰۱۶) یک مدل ترکیبی روش تحلیل سلسله‌مراتبی را بر پایه سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری در یک شرکت خودروسازی توسعه دادند. تانگ و همکاران^{۲۸} (۲۰۲۳) در پژوهشی، توسعه یک مدل یکپارچه را برای ارزیابی ریسک حمل‌ونقل زیاده‌های پزشکی COVID-19 با ادغام یک مدل ساختاری تفسیری کل فازی نوع ۲ توسعه یافته (TISM^{۲۹}) با یک شبکه بیزی (BN) بررسی کرده‌اند. همچنین در این پژوهش یک مقیاس رتبه‌بندی ریسک حمل‌ونقل مبتنی بر فازی نوع ۲ برای کمک به کارشناسان، برای بیان اطلاعات ارزیابی نامشخص معرفی می‌شود که در آن یک روش جدید برش آلفای دوگانه برای فازی‌زدایی اعداد فازی نوع ۲ ایجاد شده است. نظری شیرکوهی و همکاران^{۳۰} (۲۰۱۳) در پژوهش خود، مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش را با یک مدل دو مرحله‌ای برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی، با توجه به میزان نقص در محصولات و میزان کمبود بررسی کرده‌اند. روی و همکاران^{۳۱} (۲۰۲۰) به این موضوع اشاره کرده‌اند که انتخاب تأمین‌کننده، یک موضوع چالش‌برانگیز و مستلزم ارزیابی معیارهای کمی و کیفی براساس اطلاعات نادرست و محدود است. بر این اساس این پژوهش، برای تعیین وزن معیارها از روش تحلیل سلسله‌مراتبی با اعداد فازی و برای رتبه‌بندی تأمین‌کننده از روش پرومته استفاده کرده است. اردوغان و کایا^{۳۲} (۲۰۱۴) مسئله انتخاب دانشگاه را با استفاده از روش تاپسیس در محیط فازی نوع ۲ بررسی کرده‌اند. کشاورز قرابائی و همکاران^{۳۳} (۲۰۱۴) مسئله انتخاب تأمین‌کننده را با استفاده از متغیرهای کلامی فازی نوع ۲ و با روش کوپراس «COPRAS» بررسی کرده‌اند. زاوادسکاس و همکاران^{۳۵} (۲۰۲۰) بیان می‌کنند که تصمیم‌گیری صحیح هنگام انتخاب تأمین‌کننده امری حیاتی است؛ زیرا انتخاب بهینه باعث تضمین هزینه کمتر و کیفیت بالاتر محصول و در نتیجه رقابت بیشتر در بازار می‌شود. بر این اساس در پژوهش خود از روش تحلیل سلسله‌مراتبی با استفاده از داده‌های فازی استفاده کرده‌اند. اکا^{۳۶} (۲۰۲۰) در پژوهشی برای انتخاب تأمین‌کننده سبز و به‌منظور مقابله بهتر با ابهام در حل مسئله، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی با استفاده از داده‌های فازی نوع ۲ استفاده کرده است. همچنین برای نشان‌دادن اثربخشی و کارایی مدل IT2FAHP^{۳۷} یک کاربرد واقعی نیز در یک

تولیدکننده لوازم خانگی انجام شده است. مندل^{۳۸} (۲۰۰۳) روش عملیات بر داده‌های فازی نوع ۲ را شرح داده است. دوسی و همکاران^{۳۹} (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای به رتبه‌بندی شاخص‌های مؤثر بر انتخاب مکان تأسیسات خرید کردن خودرو، با استفاده از رویکرد دلفی و مجموعه‌های فازی نوع ۲ پرداخته‌اند.

۳- مفاهیم و مبانی نظری پژوهش

تأمین‌کننده می‌تواند مواد اولیه، تجهیزات تولیدی، انرژی و یا حتی نیروی انسانی مورد نیاز سازمان را تأمین کند. در برخی موارد تأمین‌کنندگان سازمان‌ها انحصاری‌اند و سازمان چاره‌ای جز خرید از آنها و یا ساخت محصول ندارد؛ اما در بسیاری از موارد تأمین‌کنندگان توانایی آن را دارند که به‌طور هم‌زمان چندین نیاز سازمان را برطرف کنند و سازمان باید با توجه به نیازهای حال و آینده خود با آنان همکاری کند؛ بنابراین یکی از مسائلی که همیشه در مدیریت زنجیره تأمین مطرح است، انتخاب تأمین‌کننده است.

در فرآیندهای تصمیم‌گیری در زنجیره تأمین، فاکتور اصلی که ممکن است اثربخشی پیکربندی و هماهنگی را در طول زنجیره تحت تأثیر قرار دهد، عدم قطعیت است (آذر و همکاران^{۴۰}، ۱۳۹۳). برای بررسی این عدم قطعیت و کاهش هرچه بیشتر اثر آن در تصمیم‌گیری، معمولاً از داده‌های فازی استفاده می‌شود. انتخاب تأمین‌کننده مسئله مهمی در زنجیره تأمین محسوب می‌شود؛ به‌گونه‌ای که تولیدکنندگان معمولاً ۶۰ درصد از زمان خود را صرف تأمین مواد اولیه، اجزا و قطعات می‌کنند (کراجوسلد و ریترمن^{۴۱}، ۲۰۰۲). به علاوه اینکه ۷۰ درصد هزینه‌های تولیدی مربوط به خرید کالا و خدمات می‌شود (قدسی‌پور و اوبراین، ۱۹۹۸)؛ بنابراین انتخاب و تعیین مناسب‌ترین تأمین‌کننده موضوع مهمی در زنجیره تأمین محسوب می‌شود که باید به‌گونه‌ای استراتژیک بررسی شود. معمولاً در مباحثی که تاکنون برای مبحث انتخاب تأمین‌کنندگان معرفی شده است، سعی بر این بوده است که یا با استفاده از تحلیل نظرات خبرگان با روش‌های گوناگون همچون ویکور، تاپسیس و تحلیل سلسله‌مراتبی و ... بهترین تأمین‌کنندگان شناسایی شوند و یا اینکه با استفاده از مدل‌های ریاضی همچون برنامه‌ریزی آرمانی، به این مهم دست یابند؛ اما موضوعی که از آن غفلت شده است، این است که بهتر است علاوه بر در نظر گرفتن نظرات خبرگان یک سازمان، سعی شود عوامل کمی انتخاب تأمین‌کنندگان نیز مطرح و ارزیابی شود. بر این اساس در این پژوهش سعی شده است تا انتخاب تأمین‌کننده با توجه به مبحث مهندسی ارزش بررسی شود که مهم‌ترین هدف آن کاهش هزینه‌ها در قبال افزایش و یا حداقل ثابت‌ماندن کیفیت است. برای این منظور با استفاده از نظرات خبرگان سازمان درباره تأمین‌کنندگان یک محصول خاص، در ابتدا ارزش خرید از هر یک محاسبه و سپس با استفاده از مدل ریاضی براساس داده‌هایی همچون قیمت و میزان خرید از هر یک از تأمین‌کنندگان، تعداد بهینه خرید از هر یک از تأمین‌کنندگان محاسبه شده است.

۳-۱- تشریح مبانی فازی نوع ۲

با توجه به هدف این پژوهش که یکی از فعالیت‌های اساسی محاسبه ارزش خرید از تأمین‌کنندگان با استفاده از تئوری فازی نوع ۲ است، در ابتدا اعداد فازی نوع ۲ بررسی شده است؛ در حالی که مجموعه‌های فازی نوع ۱ در توابع عضویت دو بعدی (MFs)^{۴۲} مشخص می‌شوند، مجموعه‌های فازی نوع ۲ با MF های سه بعدی مشخص

می‌شوند. به دلیل این ساختار گسترده، مجموعه‌های فازی نوع ۲ اغلب پتانسیل بهتری نسبت به مجموعه‌های نوع ۱ برای گرفتن عدم قطعیت دارند (دوسی و همکاران، ۲۰۲۲). تابع فازی نوع ۲ در حالت پیوسته به صورت رابطه (۱) و براساس جفال و چنگ^{۳۳} (۲۰۱۱) تعریف می‌شود.

$$\bar{A} = \int_{x \in X} \mu_{\bar{A}}(x)/x = \int_{x \in X} \left[\int_{u \in J_x} f_x(u)/u \right] / x \quad (1)$$

در رابطه (۱) $f_x(u)$ تابع عضویت ثانویه نامیده می‌شود و میزان آن عضویت دوم یا دومین عضو است. به علاوه U یک آرگومان از تابع عضویت ثانویه است و از J_x به عنوان عضو اصلی x نام برده می‌شود. $\mu_{\bar{A}}(x)$ تابع عضویت این عدد فازی نوع ۲ است و بازه تعرف آن $[0, 1]$ است و به صورت رابطه (۲) براساس جفال و چنگ (۲۰۱۱) تعریف می‌شود.

$$\mu_{\bar{A}} = \int_{u \in J_x} f_x(u)/u \quad (2)$$

اگر A یک عدد فازی نوع ۲ دوزنقه‌ای باشد، به شرح رابطه (۳) تعریف می‌شود.

$$A = (A^u, A^l) = (a_1^u, a_2^u, a_3^u, a_4^u, H_1(A^u), H_2(A^u)), (a_1^l, a_2^l, a_3^l, a_4^l, H_1(A^l), H_2(A^l)) \quad (3)$$

که در آن A^u تابع عضویت بالا، A^l تابع عضویت پایین نامیده می‌شود. $a_1^u, a_2^u, a_3^u, a_4^u, a_1^l, a_2^l, a_3^l, a_4^l$ نقاط مرجع نامیده می‌شوند. $H_1(A^l), H_2(A^l)$ بیشترین میزان تابع عضویت و $H_1(A^u), H_2(A^u)$ کمترین میزان تابع عضویت نام‌گذاری می‌شود. جمع، تفریق، ضرب، ضرب اسکالر در عدد فازی و رابطه $A_1 \geq A_2$ اعداد فازی نوع ۲ استفاده شده در این تحقیق، طبق روابط تعریف شده توسط جفال و چنگ (۲۰۱۱) است.

توابع عضویت فازی نوع ۲ به وسیله مشخصه‌ای به نام نگاشت عدم قطعیت‌ها «Fou^{۴۴}» توصیف می‌شوند. «FOU» را می‌توان به صورت یک ناحیه محدود از نامعینی‌ها در توابع عضویت اولیه فازی نوع ۲ تعریف کرد که نمایانگر اجتماع توابع عضویت‌های اولیه است. همچنین برای تبدیل اعداد فازی نوع ۲ دوزنقه‌ای به اعداد قطعی، می‌توان از رابطه‌های (۴-۷) استفاده کرد که در منبع جفال و چنگ (۲۰۱۱) آمده است. زکران بالا و یا پایین اعداد فازی را نشان می‌دهد.

$$M_p(A_i^j) = \frac{(a_{ip}^j + a_{i(p+1)}^j)}{2}, \quad 1 \leq p \leq 3 \quad (4)$$

رابطه (۵) میانگین عدد مرجع a_{ip}^j تا عدد $a_{i(p+1)}^j$ را نشان می‌دهد.

$$s_q(A_i^j) = \sqrt{1/2 \sum_{k=q}^{q+1} \left(a_{ik}^j - 1/2 \sum_{k=q}^{q+1} a_{ik}^j \right)^2}, \quad 1 \leq q \leq 3 \quad (5)$$

رابطه (۵) برای محاسبه انحراف معیار سه عدد مرجع اول عدد دوزنقه‌ای برای هرکدام از حدود بالا و پایین، از اعداد قبل و بعد خود به کار می‌رود و برای محاسبه انحراف معیار عدد ۴م نیاز است از رابطه (۶) استفاده شود که انحراف معیار عدد مرجع ۴م را نسبت به ۳ عدد قبل از خود محاسبه می‌کند.

$$s_4(A_i^j) = \sqrt{1/4 \sum_{k=1}^4 \left(a_{ik}^j - 1/4 \sum_{k=q}^{q+1} a_{ik}^j \right)^2} \quad (6)$$

معادله کلی تبدیل اعداد فازی نوع ۲ به عدد قطعی در رابطه (۷) ارائه شده است. همان‌طور که قبلاً گفته شد $H_i(A_i^j)$ درجه عضویت حدود بالا و پایین عدد فازی نوع ۲ را نشان می‌دهد.

$$\begin{aligned} Rank(A_1) = & M_1(A_1^U) + M_1(A_1^L) + M_2(A_1^U) + M_2(A_1^L) + M_3(A_1^U) + M_3(A_1^L) \\ & - \frac{1}{4} (s_1(A_1^U)) \\ & + s_1(A_1^L) + s_2(A_1^U) + s_2(A_1^L) + s_3(A_1^U) + s_3(A_1^L) + s_4(A_1^U) + s_4(A_1^L) + H_1(A_1^U) \\ & + H_1(A_1^L) + H_2(A_1^U) + H_2(A_1^L) \end{aligned} \quad (7)$$

۲-۳- محاسبه ضریب ارزش خرید تأمین‌کننده با استفاده از اعداد فازی نوع ۲

در این تحقیق، در ابتدا معیارهای مناسب برای انتخاب تأمین‌کنندگان با استفاده از نظر خبرگان (کارشناسان شاغل در بخش خرید و فنی) مشخص شد. این معیارها عبارتند از: قیمت، کیفیت، تحویل به موقع، انعطاف‌پذیری، میزان پاسخگویی؛ سپس از کارشناسان خواسته شد تا اهمیت این معیارها را در طیف ۷ تایی «خیلی کم» تا «خیلی زیاد» طبق جدول (۱) مشخص کنند.

جدول ۱- اعداد فازی نوع ۲ نسبت داده شده به متغیرهای کلامی (کشاورز قربانی و همکاران، ۲۰۱۴)

Table 1- Type ۲ fuzzy numbers attributed to verbal variables. (Ghorabae et al., 2014)

Linguistic variable	متغیرهای کلامی	Fuzzy number
VL (Very Low)	خیلی کم	$((0, 0, 0, 0.1; 1, 1), (0, 0, 0, 0.05; 0.9, 0.9))$
L (Low)	کم	$((0, 0.1, 0.15, 0.3; 1, 1), (0.05, 0.1, 0.15, 0.2; 0.9, 0.9))$
ML (Medium Low)	متوسط به پایین	$((0.1, 0.3, 0.35, 0.5; 1, 1), (0.2, 0.3, 0.35, 0.4; 0.9, 0.9))$
M (Medium)	متوسط	$((0.3, 0.5, 0.55, 0.7; 1, 1), (0.4, 0.5, 0.55, 0.6; 0.9, 0.9))$
MH (Medium High)	متوسط به بالا	$((0.5, 0.7, 0.75, 0.9; 1, 1), (0.6, 0.7, 0.75, 0.8; 0.9, 0.9))$
H (High)	زیاد	$((0.7, 0.85, 0.9, 1; 1, 1), (0.8, 0.85, 0.9, 0.95; 0.9, 0.9))$
VH (Very High)	خیلی زیاد	$((0.9, 1, 1, 1; 1, 1), (0.95, 1, 1, 1; 0.9, 0.9))$

نظرات ۳ کارشناس D_i درباره معیارهای انتخاب تأمین‌کنندگان آهن‌آلات و میانگین فازی نظرات کارشناسان درباره اهمیت هر معیار (اهمیت معیار)، که با استفاده از رابطه‌های (۷-۴) محاسبه می‌شود، در جدول (۲) آورده شده است. به‌طور نمونه، نحوه محاسبه میانگین فازی نظرات کارشناسان (اهمیت معیار) درباره معیار قیمت در رابطه (۸) نشان داده شده است.

$$MH+MH+H=((0.5,0.7,0.75,0.9;1,1),(0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9))+((0.5,0.7,0.75,0.9;1,1),(0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9))+((0.7,0.85,0.9,1;1,1),(0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9))=((1.7,2.25,2.4,2.8;1,1),(2,2.25,2.4,2.55;0.9,0.9))$$

(۸)

$$1/3*((2.5,2.85,2.9,3;1,1),(2.7,2.85,2.9,2.95;0.9,0.9))=((0.566,0.75,0.8,0.933;1,1),(0.6,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9))$$

جدول ۲- اهمیت معیارهای انتخاب تأمین کنندگان براساس نظر کارشناسان

Table 2- Importance of supplier selection criteria based on experts opinion

D ₃	D ₂	D ₁	معیار
H	MH	MH	قیمت
VH	VH	H	کیفیت
H	VH	MH	تحويل به موقع
MH	H	H	انعطاف پذیری
H	VH	H	پاسخگویی

در مرحله دوم به بعد، از کارشناسان خواسته شد تا تجهیزات هریک از تأمین کنندگان را با توجه به ۵ معیار انتخاب تأمین کننده ارزش گذاری کنند. میانگین نظرات کارشناسان در هر سطر به عنوان اهمیت تأمین کننده در معیار آورده شده است.

در مرحله سوم، ضریب اهمیت فازی هر تأمین کننده در معیارهای مختلف (کل وزن معیار نسبت داده شده به تأمین کننده زام) از طریق ضرب اهمیت معیار (از جدول ۲) در اهمیت تأمین کننده هر معیار محاسبه می شود. پس از محاسبه ضریب اهمیت فازی تأمین کنندگان در هر معیار، در مرحله بعد با استفاده از رابطه های (۷-۴) این اعداد به اعداد قطعی تبدیل می شوند. نحوه محاسبه ضریب اهمیت قطعی تأمین کننده ۱ آهن آلات در معیار قیمت به شرح زیر است:

$$A = ((0.434, 0.675, 0.733, 0.9; 1, 1), (0.55, 0.675, 0.733, 0.79; 0.9, 0.9))$$

$$M_1(A^U) = (0.434 + 0.675) / 2 = 0.554 \quad M_1(A^L) = (0.55 + 0.675) / 2 = 0.615$$

$$M_2(A^U) = (0.675 + 0.733) / 2 = 0.7 \quad M_2(A^L) = (0.675 + 0.733) / 2 = 0.7$$

$$M_3(A^U) = (0.733 + 0.9) / 2 = 0.817 \quad M_3(A^L) = (0.733 + 0.79) / 2 = 0.763$$

$$M_4(A^U) = (0.434 + 0.675 + 0.733 + 0.9) / 2 = 0.686 \quad M_4(A^L) = (0.55 + 0.675 + 0.733 + 0.79) / 2 = 0.689$$

$$S_1(A^U) = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{k=1}^2 \left(a_k^j - \frac{1}{2} \sum_{k=1}^2 a_k^j \right)^2} = \sqrt{1/2 \left((0.434 - 0.554)^2 + (0.675 - 0.554)^2 \right)} = 0.012$$

$$S_1(A^L) = 0.09$$

$$S_2(A^L) = 0.029$$

$$S_3(A^L) = 0.062$$

$$S_2(A^U) = 0.029$$

$$S_3(A^U) = 0.084$$

$$S_3(A^L) = 0.087$$

$$S_4(A^U) = 0.11$$

$$Rank(A) = 0.554 + 0.615 + 0.7 + 0.7 + 0.817 + 0.763 - 1/4(0.12 + 0.029 + 0.084 + 0.11 + 0.09 + 0.029 + 0.062 + 0.087) + 0.9 + 0.9 + 1 + 1 = 7.80473$$

۳-۳- محاسبه ضریب هزینه هر تأمین کننده

در مرحله چهارم ارزش کل هر تأمین کننده (F_j) از جمع ضرایب اهمیت آن تأمین کننده در همه معیارها محاسبه می شود. ضریب ارزش (F_T) هر تأمین کننده، از تقسیم ارزش کل هر تأمین کننده بر مجموع ارزش کل همه تأمین کنندگان، به دست می آید. با توجه به میزان تقاضا و همچنین هزینه های خرید و حمل و نقل، ضریب هزینه کل هر تأمین کننده محاسبه می شود. از تقسیم هزینه کل هر تأمین کننده بر مجموع هزینه های کل، ضریب هزینه به دست می آید. نتایج برای تأمین کنندگان آهن آلات در جدول (۲) آورده شده است.

۳-۴- محاسبه ارزش خرید از هر تأمین کننده

تابع ارزش خرید از هر تأمین کننده برای هر کالا، با تقسیم ضرایب ارزش بر ضرایب هزینه محاسبه می شود. ارزش خرید آهن آلات از تأمین کنندگان در جدول (۳) آورده شده است. پس از محاسبه ارزش کل، نیاز است ضریب عملکرد هر تأمین کننده نسبت به کل تأمین کنندگان موجود محاسبه و نیز ارزش کل تمامی تأمین کنندگان محاسبه شود.

جدول ۳- محاسبه ضریب هزینه هر تأمین کننده و ارزش خرید آهن آلات از هر تأمین کننده آهن

Table3- Calculation of the cost factor of each supplier and the purchase value of iron from each iron supplier

تأمین کنندگان	میزان تقاضا	هزینه کل	ضریب هزینه	ضریب ارزش	ارزش خرید
۱	۳۰۰۰	۱۴,۲۱۴	۰/۱۹	۰/۲۱۹	۱/۱۱
۲	۳۰۰۰	۱۴,۵۰۵	۰/۲	۰/۱۹	۰/۹۸
۳	۳۰۰۰	۱۴,۶۴۳	۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۹۴
۴	۳۰۰۰	۱۴,۵۰۸	۰/۲	۰/۲۰	۱/۰۳
۵	۳۰۰۰	۱۴,۷۱۵	۰/۲	۰/۱۸	۰/۹۲

همان طور که در جدول (۳) مشخص است، اولویت خرید از تأمین کنندگان آهن آلات با توجه به معیار ارزش خرید به ترتیب و با توجه به میزان ارزش بالاتر به صورت $V_1 f V_4 f V_2 f V_3 f V_5$ است و همچنین با توجه به محاسبات اولویت خرید پیراق آلات به صورت $V_1 f V_4 f V_2 f V_3 f V_5$ ، اولویت خرید مقرر به صورت $V_1 f V_2$ و اولویت خرید فیبر نوری $V_2 f V_1$ است. اگر هدف، تخصیص مجموعه ای از سفارش ها با کیفیت و قیمت های متفاوت باشد، می توان با استفاده از روش مهندسی ارزش و محاسبه به وسیله اعداد فازی، ارزش کل خرید هر کالا از هر تأمین کننده مشخص شود و سپس با توجه به مدل ارائه شده در بخش بعد، میزان سفارش به هریک از تأمین کنندگان را با در نظر گرفتن قیمت خرید، تعداد سفارش و میزان خرابی قطعات و همچنین با توجه به تابع ارزش آنها محاسبه کرد.

۵-۳- مدل ریاضی انتخاب تأمین کننده

در این پژوهش مدل ریاضی به گونه‌ای بررسی شده است که ارزش خرید کالاها یا خدمات از تأمین کنندگان تا حد امکان افزایش یابد. در این مدل سعی شده است تا خرید از تأمین کننده به صورتی انجام شود که هزینه خرید و سفارش دهی محصول و درصد بازگشت قطعات معیوب تا حد ممکن کاهش یابد و همچنین ارزش خرید تا حد ممکن افزایش یابد. این مدل با توجه به مدل فازی بررسی شده توسط منبع نظری شیرکوهی و همکاران (۲۰۱۳)، با افزودن تابع هدف افزایش ارزش خرید نوشته شده است که در ادامه اجزای مدل به طور کامل شرح داده خواهد شد.

اندیس‌های مدل:

$$i = 1 \dots m$$

تنوع محصولات

$$j = 1 \dots n$$

مجموعه تأمین کنندگان

$$K = 1 \dots k$$

سطح کیفی ارائه شده برای محصول

پارامترهای مدل:

$$D_i$$

تعداد قطعه i ام که باید خریداری شود (تقاضا).

$$T_{ijk}$$

ارزش خرید قطعه i ام از تأمین کننده k ام در سطح قیمتی k ام

$$x_{ijk}$$

میزان خرید قطعه i ام از تأمین کننده k ام در سطح قیمتی k ام

$$p_{ijk}$$

هزینه خرید کالای i ام و تنوع k ام از تأمین کننده k ام

$$O_{ij}$$

هزینه سفارش کالای i ام از تأمین کننده k ام

$$q_{ijk}$$

درصد بازگشت کالای i ام و تنوع k ام از تأمین کننده k ام

$$C_{ij}$$

ظرفیت تأمین کننده k ام برای تولید کالای i ام

$$L$$

پارامتر عدد بزرگ

متغیرهای تصمیم:

$$Y_{ijk}$$

اگر کالای i از تأمین کننده k در سطح قیمت k خریداری شود ۱ و در غیر این صورت ۰ است.

$$Y_j$$

اگر حداقل یک کالا از تأمین کننده k خریداری شود ۱ و در غیر این صورت صفر است

مدل ریاضی:

$$\min z_1: \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{K=1}^k p_{ijk} x_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n O_{ij} y_i \quad (9)$$

$$\min z_2: \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{K=1}^k q_{ijk} x_{ijk} \quad (10)$$

$$\min z_3: \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{K=1}^k T_{ijk} x_{ijk} \quad (11)$$

Subject to:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{K=1}^k x_{ijk} = D_i \quad i = 1 \dots m \quad (12)$$

$$1 \times y_{ijk} \leq X_{ijk} \leq C_{ijk} y_{ijk} \quad i=1..m \quad j=1..n \quad K=1..k \quad (13)$$

$$y_j \leq \sum_{i=1}^M \sum_{K=1}^K Y_{ijk} \leq L y_j \quad j=1..n \quad (14)$$

$$Y_{ijk} \geq 0, \text{integer} \quad i=1..m \quad j=1..n \quad K=1..k \quad (15)$$

$$Y_{ijk} \in \{0,1\} \quad (16)$$

تابع هدف رابطه (۹) بیان می‌کند که میزان خرید و سفارش‌دهی از تأمین‌کنندگان باید به صورتی انجام گیرد که هزینه خرید و سفارش‌دهی تا حد امکان کاهش یابد. تابع هدف رابطه (۱۰) بر این نکته تأکید دارد که با توجه به اینکه هریک از تأمین‌کنندگان در تحویل اقلام به میزان متغیری درصد بازگشت و معیوبی قطعات را لحاظ می‌کنند، این میزان تا حد امکان کاهش یابد. در تابع هدف رابطه (۱۱) با توجه به اینکه خرید هر کالایی از تأمین‌کنندگان دارای ارزش‌های متفاوتی است، لازم است خرید به صورتی انجام شود که ارزش خرید از تأمین‌کنندگان تا حد امکان افزایش یابد. محدودیت رابطه (۱۲) بیان می‌کند که کل خرید کالای i از هر کدام از تأمین‌کنندگان و در هر سطح قیمتی باید به میزان تقاضای آن کالا باشد. محدودیت رابطه (۱۳) به این نکته اشاره دارد که اگر محصول i از تأمین‌کننده j در هر سطح قیمتی k خریداری شود، این میزان باید کمتر یا حداقل مساوی با ظرفیت آن تأمین‌کننده برای آن نوع از کالا باشد. ضمن آنکه اگر قرار است خریدی شود، حداقل مقدار باید خریداری شود و اگر خریدی نشود، میزان خرید صفر است. محدودیت رابطه (۱۴) این موضوع را بیان می‌کند که اگر کالای i از تأمین‌کننده j خریداری شود، در هر سطح قیمتی k که باشد، ضریب هزینه سفارش یعنی z برابر ۱ می‌شود و در تابع هدف، هزینه سفارش محاسبه می‌شود. محدودیت رابطه (۱۵) بیان می‌کند که میزان خرید از تأمین‌کنندگان می‌تواند صفر و یا عددی مثبت باشد. در مدل ریاضی بیان‌شده، فرض بر این است که تابع ارزش خرید و میزان خرید عددی مثبت است. البته در واقعیت میزان خرید می‌تواند به صورت بازگشتی به تأمین‌کننده نشان داده شود؛ اما در این مدل در نظر گرفته نشده است. همچنین رابطه (۱۶) بیانگر این موضوع است که از هریک از تأمین‌کنندگان و در هر سطح کیفی یا خرید می‌شود یا نمی‌شود.

۳-۶- یافته‌ها

پس از جمع‌آوری داده‌ها، با استفاده از تلفیق مبحث مهندسی ارزش و تئوری فازی نوع ۲، تابع ارزش خرید برای هریک از تأمین‌کنندگان مشخص می‌شود. موضوعی که در واقعیت مطرح است، این است که معمولاً خریداران، نیازمند خرید چند نوع کالا در سطح قیمت و کیفیت متفاوت‌اند؛ بنابراین در مرحله بعد، با استفاده از مدل ریاضی، میزان تخصیص سفارش برای هر کالا و به هر تأمین‌کننده، برای کاهش هرچه بیشتر هزینه خرید و افزایش هرچه بیشتر ارزش حاصل از خرید، بررسی خواهد شد. در اینجا از نظرات سه نفر از کارشناسان شرکت مطالعه‌شده، استفاده شده است. همچنین هدف، مشخص کردن میزان خرید کالا از تأمین‌کنندگان مناسب برای ۴ گروه کالایی

آهن‌آلات، فیبر، مقره و یراق است. در این تحقیق برای رعایت اصل امانت‌داری، نام شرکت‌های تأمین‌کننده آورده نشده و به جای آن از کدهای عددی برای نام‌گذاری استفاده شده است.

برای حل این مدل سه هدفه، می‌توان از روش‌های برنامه‌ریزی آرمانی «Goal programming» و «RPM, LP-norm» استفاده کرد که در اینجا از روش LP-norm با توجه به دقت و سادگی آن و با توجه به اینکه می‌توان به هر یک از اهداف درجه‌ای از اهمیت را نسبت داد، استفاده شده است و نتایج حل و تخصیص خرید، مشاهده‌شدنی است. روش حل به این گونه است که هرکدام از توابع هدف، ابتدا جداگانه با تمام محدودیت‌ها حل می‌شوند؛ سپس تابع هدف مینیمم جدیدی تعریف می‌شود که برای توابع هدف، ماکزیمم مقدار تابع هدف به دست آمده از مرحله قبل، از مقدار بهینه کم و بر مقدار بهینه تقسیم می‌شود و برای توابع هدف‌های مینیمم، مقدار بهینه از مقدار تابع هدف به دست آمده در مرحله قبل کم و بر مقدار بهینه تقسیم می‌شود. همانند رابطه (۱۷)، به هر یک از توابع هدف با توجه به اهمیت آنها، ضریبی اختصاص می‌یابد که مجموع این ضریب باید یک شود. پس از نوشتن تابع هدف جدید، این تابع هدف با محدودیت‌های قبل حل می‌شود. برای حل مدل، پس از به دست آوردن Z_1^*, Z_2^*, Z_3^* تابع هدف جدیدی به صورت رابطه (۱۸) نوشته و با توجه به تمامی محدودیت‌های گذشته مدل، دوباره حل می‌شود. همچنین در این مسئله با توجه به اهمیت قیمت، بیشترین میزان ضریب تابع هدف برای تابع قیمت تعریف شده است.

$$\min obj_3 = \left[wei \times \frac{obj_1 - obj_1^*}{obj_1^*} + (1 - wei) \times \frac{obj_2 - obj_2^*}{obj_2^*} \right] \quad (17)$$

$$\min obj_4 = \left[(0.4) \times \frac{z_1 - z_1^*}{z_1^*} + (0.25) \times \frac{z_2 - z_2^*}{z_2^*} + (0.35) \times \frac{z_3 - z_3^*}{z_3^*} \right] \quad (18)$$

Subject to:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^k x_{ijk} = D_i$$

$$1 \times Y_{ijk} \leq x_{ijk} \leq C_{ijk} Y_{ijk}$$

$$Y_j \leq \sum_{i=1}^M \sum_{K=1}^K Y_{ijk} \leq LY_j$$

$$X_{IJK} \geq 0 \text{ Integer}$$

$$Y_{ijk}, Y_j \in \{0,1\}$$

$$i = 1, \dots, M$$

$$i = 1, \dots, M; j = 1, \dots, N; K = 1, \dots, K$$

$$j = 1, \dots, N$$

$$i = 1, \dots, M; j = 1, \dots, N; K = 1, \dots, K$$

پارامترهای مدل عبارتند از:

d_1, d_2, d_3, d_4 به ترتیب نیاز کالاهای ۱، ۲، ۳ و ۴ است که مقدار آن به ترتیب برابر است با ۳۰۰۰ و ۱۸۰۰۰ و ۳۰۰۰ و ۸۰ است. همچنین میزان بازگشتی و خرابی قطعات به صورت تصادفی تعریف شده است. P_{ijk}, C_{ijk} همان طور که قبلاً گفته شد، ظرفیت و قیمت هر تأمین‌کننده برای هرکدام از کالاها را می‌توان در چند سطح قیمتی و کیفیتی بررسی کرد که در اینجا با توجه به نیازهای شرکت و اینکه تأمین‌کنندگان تقریباً کالاهای خود را در یک سطح قیمتی و کیفیتی تولید می‌کنند، فقط در یک سطح قیمتی در نرم‌افزار Gams مسئله حل شده است. مقادیر بهینه متغیرهای خرید و هزینه‌های سفارش متغیرهای صفر و یک، در جداول (۴) و (۵) آورده شده است. y_{ijk}

نمایش دهنده این است که از کدام تأمین‌کننده و در چه سطح کیفی خرید انجام شده است؛ بنابراین تمامی y_{ijk} که مقدار ۱ دارند، از آنها خرید شده است.

جدول ۴- متغیر میزان بهینه خرید و متغیر صفر و یک Y_{ijk}

Table 4- variable of optimal amount of purchase and zero and one variable Y_{ijk}

مقدار y_{ijk} در جواب بهینه	متغیرهای هزینه سفارش y_{ijk}	تعداد بهینه خرید	متغیرهای تعداد خرید
۱	y_{121}	۱	x_{121}
۱	y_{131}	۲۹۹۹	x_{131}
۱	y_{221}	۱۸۰۰۰	x_{221}
۱	y_{331}	۳۰۰۰	x_{331}
۱	y_{421}	۸۰	x_{421}

جدول ۵- متغیر صفر و یک هزینه سفارش دهی

Table 5- variable zero and one ordering cost

متغیر هزینه سفارش	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6
متغیر صفر و یک	0	1	1	0	0	0

همچنین میزان بهینه هر کدام از توابع هدف با استفاده از نرم‌افزار گمز به صورت زیر محاسبه شده است:

$$obj_4 = 0.028$$

$$Z_1.L = 1.146124E + 9$$

$$Z_2.L = 1021.6$$

$$Z_3.L = 25279.76$$

Z_1, Z_2, Z_3 میزان بهینه توابع هدف، مینیمم قیمت، بازگشتی و ماکزیمم ارزش خرید تأمین‌کنندگان است. همچنین

obj_4 عددی بسیار کوچک شده است که نشان‌دهنده کم بودن انحرافات و نزدیکی جواب‌ها به جواب بهینه است.

همچنین از اینکه Y_2, Y_3 مقدار گرفته اند، این‌گونه برداشت می‌شود که فقط از تأمین‌کنندگان ۲ و ۳، از هر کالا خرید می‌شود.

۳-۷- اعتبارسنجی و آنالیز حساسیت

یکی از راهکارهای اعتبارسنجی مدل‌ها و به‌خصوص مدل‌های تحقیق در یک عملیات را می‌توان بهره‌گیری از روش آنالیز حساسیت در نظر گرفت. این موضوع به‌وضوح در مرجع اسمیت و همکاران^{۴۵} (۲۰۰۸) تشریح شده است؛ بنابراین با توجه به نوع ساختار مدل بررسی‌شده، در پژوهش پیش رو از روش آنالیز حساسیت برای بررسی اعتبار مدل استفاده شده است. در آنالیز حساسیت، هدف تعیین حساسیت نسبت به پارامترهای تعریف‌شده در مدل ریاضی است. پارامترهای تغییردانی در بازه کاهش ۲۰ درصدی تا افزایش ۲۰ درصدی تغییر داده می‌شوند تا میزان حساسیت آنها بررسی شود. در ابتدا برای پارامتر تقاضا، بررسی انجام شده است (جدول ۶).

جدول ۶- جدول تغییرات تابع هدفها نسبت به تغییر تقاضا

Table 6- The table of changes in the function of objectives with change in demand

تابع هدف	حل مسئله به ازای میزان تغییرات تقاضا D_i				
	۰/۸	۰/۹	۱	۱/۱	۱/۲
Mob_j	۰/۰۳۲	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۰/۰۳۴	۰/۰۴۳
Z_1	۸E+۹/۶	۹E+۱/۰۵	۹E+۱/۱۴	۹E+۱/۳۳	۹E+۱/۴۳
Z_2	۸۱۷/۲۸	۱۰۲۱/۶	۱۰۲۱/۶	۱۱۲۶/۸۴	۱۲۴۸/۰۸۰
Z_3	۲۰۵۱۳/۸۵	۲۵۲۷۹/۷۶	۲۵۲۷۹/۷۶	۲۷۶۰۲/۵۶	۲۹۹۲۵/۰۲

با توجه به جدول (۶)، به ازای کاهش ۱۰ درصدی، تغییری حاصل نشده است، ولی به ازای کاهش ۲۰ درصدی، مقدار mob_j زیاد شده است، برای افزایش تقاضا نیز مقادیر mob_j در حال افزایش است. همچنین به ازای کاهش ۱۰ درصدی تقاضا، Z_2 تغییر نکرده و به ازای کاهش ۲۰ درصدی کاهش یافته است. به ازای افزایش پارامتر تقاضا نیز مقدار Z_2 افزایش یافت. در ادامه برای پارامتر ارزش خرید، تحلیل حساسیت با افزایش و کاهش ۲۰ درصدی مقادیر محاسبه شده است (جدول ۷).

جدول ۷- جدول تغییرات تابع هدفها نسبت به تغییر ارزش خرید

Table 7- The table of changes in the function of objectives with change in purchase value

تابع هدف	حل مسئله به ازای میزان تغییرات پارامتر ارزش خرید T_{ijk}				
	۰/۸	۰/۹	۱	۱/۱	۱/۲
Mob_j	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۲۸	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱
Z_1	۹E+۱/۱۴۶۱۲۴	۹E+۱/۱۴۶۱۲۴	۹E+۱/۱۴۶۱۲۴	۹E+۱/۱۴۶۱۲۴	۹E+۱/۱۴۶۱۲۴
Z_2	۱۰۲۱/۶۰۰	۱۰۲۱/۶۰۰	۱۰۲۱/۶۰	۱۰۲۱/۶۰	۱۰۲۱/۶۰
Z_3	۳۳۰۹۲/۰۱	۴۵۵۰۱/۵۲	۲۵۲۷۹/۷۶	۴۵۵۰۱/۵۲	۴۹۶۳۸/۰۲

در این بخش با افزایش ۱۰ درصدی ارزش خرید، mob_j افزایش و با کاهش ۱۰ درصدی ارزش خرید نیز mob_j افزایش می یابد و به ازای مقادیر دیگر افزایش و کاهش، تغییری در mob_j رخ نمی دهد. همچنین با افزایش و کاهش ۱۰ درصدی حجم فروش، مقدار Z_3 افزایش و با کاهش ۲۰ درصدی نسبت به کاهش ۱۰ درصدی، دوباره Z_3 کاهش می یابد، ولی با افزایش این پارامتر، مقدار Z_3 در حال افزایش است که این میزان افزایش برای ۱۰ درصد اول بیشتر است. تغییرات تابع هدفها نسبت به تغییر قیمت هر تأمین کننده یا هزینه خرید کالا در جدول (۸) آورده شده است.

جدول ۸- جدول تغییرات تابع هدفها نسبت به تغییر قیمت هر تأمین کننده یا هزینه خرید کالا

Table 8- The table of changes in the function of objectives in relation to the change in the price of each supplier or the cost of purchasing goods

تابع هدف	حل مسئله به ازای میزان تغییرات پارامتر قیمت فروش p_{ijk}				
	۰/۸	۰/۹	۱	۱/۱	۱/۲
Mob_j	۰/۰۲۷	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹
Z_1	۸E+۹/۶۲۸۷۹۲	۹E+۱/۰۵۴۵۰۲	۹E+۱/۱۴۶۱۲۴	۹E+۱/۴۸۹۷۰۸	۹E+۱/۶۰۴۲۳۶
Z_2	۱۰۲۱/۶۰	۱۰۲۱/۶۰	۱۰۲۱/۶۰	۱۰۲۱/۶۰	۱۰۲۱/۶۰
Z_3	۲۵۲۷۹/۷۶	۲۵۲۷۹/۷۶	۲۵۲۷۹/۷۶	۲۵۲۷۹/۷۶	۲۵۲۷۹/۷۶

با افزایش ۱۰ درصدی قیمت فروش، میزان mobj افزایش می‌یابد و با افزایش ۲۰ درصدی، نسبت به افزایش ۱۰ درصدی ابتدایی تغییری حاصل نمی‌شود. با کاهش ۱۰ درصدی نیز تغییری نداریم، ولی با کاهش ۲۰ درصدی، مقدار mobj کاهش یافته است.

۴- بحث

در این پژوهش، مسئله انتخاب تأمین‌کننده برای ۴ نوع کالای مختلف شامل آهن‌آلات، فیبر، مقره و یراق‌آلات، که به ترتیب برای هر کدام ۲، ۴، ۲ و ۴ تأمین‌کننده متفاوت وجود داشته است، بررسی و حل شده است. در ابتدا ارزش خرید از هر یک از تأمین‌کنندگان با استفاده از نظرات خبرگان و داده‌های فازی نوع ۲، محاسبه شده است. همان‌گونه که توضیح داده شد، تابع ارزش خرید از هر تأمین‌کننده برای هر کالا با تقسیم ضرایب ارزش بر ضرایب هزینه، محاسبه می‌شود. با توجه به اینکه ضرایب ارزش خرید با توجه به نظر خبرگان و کارشناسان و به صورت کلی خریداران تجهیزات مشخص می‌شود، در این پژوهش از داده‌های جمع‌آوری شده کلامی خبرگان و صاحب‌نظران، داده‌های عددی فازی نوع دو استخراج، محاسبه و از آنها استفاده شده است. علت این موضوع نیز شرایط اعداد فازی نوع دو در کاهش عدم قطعیت در نظرات جمع‌آوری شده خبرگان و کارشناسان است. پس از مشخص شدن تابع ارزش خرید از هر تأمین‌کننده، باید این موضوع نیز مدنظر قرار گیرد که داده‌های کمی همچون هزینه سفارش، هزینه خرید و همچنین میزان بازگشتی هر یک از تأمین‌کنندگان نیز در انتخاب هر تأمین‌کننده مؤثر است؛ بنابراین در این پژوهش، مدل ترکیبی ارائه شده است تا علاوه بر موضوع کیفی شاخص ارزش خرید از هر تأمین‌کننده، دیگر شاخص‌های کمی مهم در بحث انتخاب آن نیز بررسی شود. پس از بررسی و حل مدل با توجه به شاخص ارزش خریدی و همچنین دیگر پارامترها، همچون هزینه سفارش دهی، خرید و ظرفیت هر یک از تأمین‌کنندگان و همچنین میزان بازگشتی و خرابی قطعات، در نهایت ۵ تأمین‌کننده شامل ۲ تأمین‌کننده آهن‌آلات تعیین و برای هر یک از سه کالای دیگر، یک تأمین‌کننده انتخاب شده است. در ادامه پژوهش برای نشان دادن مبحث کارایی مدل ارائه شده درباره مسائل دنیای واقعی، تحلیل حساسیت بر پارامترهای مهم و اساسی مدل تحقیق در عملیات انجام شده است.

۵- نتیجه‌گیری

استفاده از مدل ارائه شده در این پژوهش، می‌تواند برای انتخاب مناسب یک تأمین‌کننده مفید واقع شود. بنا به دلایلی از قبیل استفاده از نظر خبرگان درباره عوامل کیفی مؤثر بر انتخاب تأمین‌کنندگان، تبدیل نظرات خبرگان به اعداد فازی نوع ۲ که یکی از شیوه‌های مفید برای کاهش خطا و عدم قطعیت در تصمیم‌گیری‌هاست، تجزیه و تحلیل نظرات با استفاده از مهندسی ارزش و توجه به مفهوم ارزش خرید از هر تأمین‌کننده، استفاده از مدل ریاضی و با در نظر گرفتن هزینه‌ها، میزان

خرابی و نقص سفارش‌ها، که می‌تواند براساس تجربیات گذشته و یا براساس اعلام تأمین‌کننده باشد، استفاده از مدل ارائه شده در این پژوهش می‌تواند برای انتخاب مناسب یک تأمین‌کننده مفید واقع شود. همچنین استفاده از اعداد فازی نوع دو، یکی از راهکارهایی است که به منظور مواجهه با عدم قطعیت در یک سیستم ارائه می‌شود. موضوعی که در این پژوهش بر آن تأکید شده است، مبحث اندازه‌گیری ارزش خرید از تأمین‌کنندگان به جای

بهره‌گیری از دیگر شاخص‌ها همچون ریسک خرید است که به‌نوعی یک شاخص جدید در این مبحث است. همچنین بررسی هم‌زمان داده‌های کمی و کیفی برای انتخاب تأمین‌کنندگان را می‌توان یکی از نقاط قوت مدل بررسی شده بیان کرد. در مقایسه این مدل با دیگر مدل‌های استفاده‌شده، این موضوع به‌وضوح مشخص است که استفاده از شاخص‌هایی همچون ارزش خرید، بسیار کاراتر و بهتر از بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره خواهد بود. نوآوری این پژوهش را می‌توان در مجموع، بسط روش محاسبه ارزش در مبحث انتخاب تأمین‌کنندگان و همچنین استفاده از اعداد فازی نوع ۲ برای کاهش عدم قطعیت بهره‌گیری از نظرات خبرگان بیان کرد. در ادامه تحقیقات مسائل انتخاب تأمین‌کننده، مدل ریاضی که بتواند هم‌زمان عوامل کمی و کیفی را در نظر گیرد، می‌تواند مدنظر قرار گیرد. همچنین مدلی بررسی شود که به صورتی ساده، علاوه بر ارزش خرید از هر یک از تأمین‌کنندگان، ریسک خرید از آنان را به‌طور هم‌زمان مدنظر قرار دهد.

References

- Aghajani, H.A., Samadi, H., & Farmanzadeh, M. (2014). Investigation and Measurement of Flexibility of Supply Chain with Fuzzy Logic Approach, (Experimental Evidence: Automotive Manufacturing Industry in Mazandaran Province). *Quarterly Journal of Industrial Management*, 9(27), 83-94. (In Persian)
- Agrawal, V., Dixit, J. K., & Agarwal, S. (2021). FTOPSIS approach for material supplier selection: A study. *Materials Today: Proceedings*, 6(4), 635-664.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.91310>.
- Alikhani, R., Torabi, S. A., & Altay, N. (2019). Strategic supplier selection under sustainability and risk criteria. *International Journal of Production Economics*, 45(6), 69-82.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.11.018>
- Alizadeh Zoeram A, Pooya A. Solving the Supplier Selection Problem Using a Model Based On Fdahn-Vikor Combined Approach. *ORMR 2015*; 4 (4), 23-48.
- Asemi, A., & Asemi, A. (2014). Intelligent MCDM method for supplier selection under fuzzy environment. *International Journal of Information Science and Management (IJISM)*, 33-40.
- Azar, Adel; Mousavi, Seyyed Fazel, (2013). Designing a three-stage integrated probabilistic and stable model for supplier selection with an uncertainty approach. *Journal of Research in Operations and Its Applications*, 11(1), 63-79. (In Persian)
- Badi, I., & Pamucar, D. (2020). Supplier selection for steel making company by using combined Grey-MARCOS methods. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 3(2), 37-48. <https://doi.org/10.31181/dmame2003037b>
- Boran, F. E., Genç, S., Kurt, M., & Akay, D. (2009). A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method. *Expert systems with applications*, 36(8), 11363-11368. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.03.039>
- 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>
- Davoudabadi, R., Mousavi, S. M., & Sharifi, E. (2020). An integrated weighting and ranking model based on entropy, DEA and PCA considering two aggregation approaches for resilient supplier selection problem. *Journal of Computational Science*, 40, 101074. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2019.101074>
- Deveci, M., Simic, V., Karagoz, S., & Antucheviciene, J. (2022). An interval type-2 fuzzy sets based Delphi approach to evaluate site selection indicators of sustainable vehicle shredding facilities. *Applied Soft Computing*, 118, 108465. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.108465>

- Dursun, M., & Karsak, E. E. (2013). A QFD-based fuzzy MCDM approach for supplier selection. *Applied Mathematical Modelling*, 37(8), 5864-5875. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.11.014>
- Dweiri, F., Kumar, S., Khan, S. A., & Jain, V. (2016). Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry. *Expert Systems with Applications*, 62, 273-283. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.06.030>
- Ecer, F. (2020). Multi-criteria decision making for green supplier selection using interval type-2 fuzzy AHP: a case study of a home appliance manufacturer. *Operational Research*, 1-35. <https://doi.org/10.1007/s12351-020-00552-y>
- Erdoğan, M., & Kaya, İ. (2014). A type-2 fuzzy MCDM method for ranking private universities in Istanbul. *In Proceedings of the World Congress on Engineering*, 1, 2-4.
- Ghodsypour, S. H., & O'Brien, C. (1998). A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming. *International journal of production economics*, 56, 199-212. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(97\)00009-1](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(97)00009-1)
- Giannakis, M., Dubey, R., Vlachos, I., & Ju, Y. (2020). Supplier sustainability performance evaluation using the analytic network process. *Journal of cleaner production*, 247, 119439. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119439>
- Jaffal, H., & Cheng, T. (2011). *Multiple Attributes Group Decision Making by Type-2 Fuzzy Sets and Systems, Masters Thesis, for Degree of Master of Sciences in Mathematical Modeling and Simulation*. Blekinge Institute of Technology.
- Keshavarz Ghorabae, M., Amiri, M., Salehi Sadaghiani, J., & Hassani Goodarzi, G. (2014). Multiple criteria group decision-making for supplier selection based on COPRAS method with interval type-2 fuzzy sets. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 75(5), 1115-1130.
- Krajewski, L. J., & Ritzman, L. P. (2002). *Operations management: strategy and analysis* (Vol. 120). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Mendel Jerry, M. (2003). Type-2 Fuzzy Sets: Some Questions and Answers. Department of Electrical Engineering. University of Southern California, Los Angeles, CA, 49(1), 128-117.
- Nasiri, M.M., & Pourmohammadzia, N. (2015). A Combined Model for Selecting Suppliers and Assigning Orders in the Supply Chain. Specialized Journal of Industrial Engineering, 49(1). (In Persian)
- Nazari-Shirkouhi, S., Shakouri, H., Javadi, B., & Keramati, A. (2013). Supplier selection and order allocation problem using a two-phase fuzzy multi-objective linear programming. *Applied Mathematical Modelling*, 37(22), 9308-9323.
- Rasouli Taklimi, S.W. (2017). *Identification and Optimization of Factors Affecting the Selection of Cement Industry Suppliers with Topsis and Vikor Model*. M.Sc. Thesis, Islamic Azad University, Naraq Branch. (In Persian)
- Roy, S. A., Ali, S. M., Kabir, G., Enayet, R., Suhi, S. A., Haque, T., & Hasan, R. (2020). A framework for sustainable supplier selection with transportation criteria. *International Journal of Sustainable Engineering*, 13(2), 77-92. <https://doi.org/10.1080/19397038.2019.1625983>
- Samizadeh, R., & Afshari, P. (2017). Provide a Two-Tier Model of Supplier selection in the Supply Chain and Solve it Through Meta-Innovative Algorithms. *International Journal of Industrial Engineering and Production Management*, 28(3), 391-404. (In Persian)
- Smith, E. D., Szidarovszky, F., Karnavas, W. J., & Bahill, A. T. (2008). Sensitivity analysis, a powerful system validation technique. *The Open Cybernetics & Systemics Journal*, 2(1), 39-56. <https://doi.org/10.2174/1874110X00802010039>
- Soheilifar, S., & Fallah Lajimi, H. (2019). Evaluate the Effective Criteria in Selecting Suppliers of Raw Materials Used in the Marine Industry with a Sustainability Approach. *Journal of Marine Science and Technology*, 23(90), 23-13. (In Persian)

- Tang, J., Liu, X., & Wang, W. (2023). COVID-19 medical waste transportation risk evaluation integrating type-2 fuzzy total interpretive structural modeling and Bayesian network. *Expert Systems with Applications*, 213, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118885>
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Stević, Ž., & Mardani, A. (2020). Modelling procedure for the selection of steel pipes supplier by applying fuzzy AHP method. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 3(2), 39-53. <https://doi.org/10.31181/oresta190101s>

¹ Badi & Pamucar

² Ghodsypour & O'Brien

³ Aghajani et al.

⁴ Nasiri & Pourmohammadzia

⁵ Soheilifar & Fallah Lajimi

⁶ Dursun & Karsak

⁷ Quality Function Deployment

⁸ Pouya & Alizadeh Zavaram

⁹ Samizadeh & Afshari

¹⁰ Nondeterministic polynomial time problem.

¹¹ Non dominated sorting genetic algorithm II

¹² Non-dominated Ranking Genetic Algorithm

¹³ Rasouli Taklimi

¹⁴ Asemi & Asemi

¹⁵ Boran et al.

¹⁶ Davoudabadi

¹⁷ Principal components analysis

¹⁸ Data Envelopment Analysis

¹⁹ Entropy

²⁰ Decision Maker

²¹ Alikhani et al.

²² Giannakis

²³ Chen et al.

²⁴ Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

²⁵ Decision making trial and evaluation laboratory

²⁶ Agrawal

²⁷ Dweiri

²⁸ Tang et al.

²⁹ Total interpretive structural model

³⁰ Shirkouhi et al.

³¹ R. la te yo

³² Erdogan & Kaya

³³ Ghorabae et al

³⁴ Complex proportional assessment

³⁵ Zavadskas et al.

³⁶ Ecer

³⁷ interval type-2 fuzzy AHP

³⁸ Mendel

³⁹ Deveci et al.

⁴⁰ Azar et al.

⁴¹ Krajewsl & Ritzman

⁴² Membership Functions

⁴³ Jaffal & Cheng

⁴⁴ Footprint of uncertainty

⁴⁵ Smith et al.

