



Supplier Selection and Order Allocation Using Novel Simple Weight Calculation Method and Machine Learning

Mehdi Seifbarghy  *

Professor, Department of Industrial engineering, Faculty of Engineering, Alzahra University, Tehran, Iran.

Shamim Sheikh Ghanbari 

Master's student, Department of Industrial engineering, Faculty of Engineering, Alzahra University, Tehran, Iran.

Abstract

This research addresses supplier evaluation and order allocation by developing a comprehensive hybrid model that integrates supplier assessment, demand forecasting, and order allocation. Initially, the simple weighted sum method is applied for supplier evaluation, with a novel generalization by using it for both weighting criteria and ranking suppliers. Subsequently, various machine learning algorithms are employed to accurately forecast future demand for supplied items. Finally, a multi-objective optimization model is developed to minimize total supply costs, maximize order allocation to efficient suppliers, and minimize the number of suppliers, subject to probabilistic constraints on the authorized delivery delays and acceptable quality defect levels. These probabilistic constraints are converted into deterministic form using the chance constraint method, and the resulting three-objective model is solved via fuzzy programming through the assignment of membership degrees. Based on the findings, random forest method has the best performance in demand forecasting and the proposed hybrid model can be effectively implemented as an integrated enterprise decision support system.

* Corresponding Author: M.Seifbarghy@alzahra.ac.ir

How to Cite: xxxxxxxx

Introduction

Selecting the right suppliers and optimally allocating orders to them not only improves supply chain performance, but can also play an important role in increasing customer service levels. Supplier evaluation is a complex, multi-criteria issue that requires the use of scientific and data-driven methods in the face of large amounts of information and environmental uncertainties. Supplier selection and order allocation issues generally fall into three integrated categories: single sourcing for multiple products (using one supplier for all requirements), multi-sourcing for one product (using multiple suppliers for one product), and multi-sourcing for multiple products (using multiple suppliers for different products). The third case is more complex and requires broader coordination across the supply chain. The main gap in this research, considering the research background, is the lack or existence of few studies that have presented a coherent approach to combining supplier evaluation techniques, demand forecasting, and order allocation to them. Accordingly, in this research, a new method of simple weight calculation is used. Machine learning methods are also used to forecast demand, and finally a mathematical model is developed to optimally allocate orders to selected suppliers based on predicted demand.

Methodology

In general, the main steps of this research include identifying supplier evaluation criteria (based on literature and expert opinion), weighting these criteria using the SIWEC method, evaluating and ranking suppliers using the same method, collecting historical demand data and refining it, forecasting demand using machine learning methods, and finally designing a multi-objective mathematical model for optimal order allocation, considering cost, time, quality, and constraints such as capacity and demand. In the supplier selection criteria identification and determination stage, key criteria for evaluating and ranking suppliers are identified based on research literature and expert opinion. Ultimately, ۴ main criteria and ۷ sub-criteria have been selected. The main criteria include financial criteria, quality, responsiveness, and industry experience. For prediction, various algorithms are used, such as the random forest algorithm, which is a kind of composed of several parallel decision tree algorithms, which are used to increase the accuracy and diversity of the prediction. Finally, using several error criteria, the accuracy of the algorithms in question is examined and compared. In the rest, a multi-objective mathematical model is developed for finding the optimal order allocation to each supplier. In the developed model, the objectives are costs

minimization, maximization of collaboration with the qualified suppliers and collaborating with minimum number of suppliers. In order to solve the above multi-objective model, the fuzzy programming method is used. In this method, after solving the relevant mathematical model for each objective, taking into account the model constraints, the following single-objective mathematical model is formed and solved in order to maximize the minimum membership degrees of the various objectives.

Results and Discussion

The case study of this research was conducted in one of the sample companies considering the mentioned criteria. First, the supplier evaluation phase was carried out using the SIWEC method and using the opinions of experts in the range of very low, low, relatively low, medium, relatively high, high and very high. The weight of the price criterion was 0.171, financial flexibility 0.106, product quality 0.166, item variety 0.106, delivery time 0.106, geographical location 0.108, and finally experience in the industry 0.137. The same method was used for ranking suppliers with respect to the mentioned criteria. The machine learning algorithms were conducted and the best was selected based on the given error criteria. Then, the multi-objective model was solved and the result was that, a total of 5316.3, 2570.0, and 2480.0 kilograms of items 1, 2, and 3 to be purchased, respectively

Conclusion

This This research presents a three-stage integrated framework for supply chain management. In the first stage, suppliers were evaluated and ranked based on key criteria using the novel SIWEC method. Then, future demand was predicted using advanced machine learning algorithms including random forest, SARIMA, and extreme gradient boosting, with random forest having higher accuracy. In the final stage, a multi-objective optimization model under uncertainty was designed and solved to allocate orders in a way that minimizes costs, maximizes cooperation with the most efficient suppliers, and reduces the total number of suppliers. One of the main limitations of this research was the lack of access to different experts in various organizational units to evaluate the indicators. Another limitation is the limited access to data related to demand, which could have covered more years and increased the accuracy of the forecast.

Keywords: Supplier selection, Order allocation, Simple weighted sum, Machine learning, Demand forecasting

ارزیابی تامین کنندگان و تخصیص سفارش با استفاده از روش نوین محاسبه وزنی ساده (سایوک) و یادگیری ماشین

مهدی سیف برقی  * | استاد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران

شمیم شیخ قنبری  | کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران

مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری / پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع دانشگاه الزهراء است.

چکیده

این پژوهش با هدف توسعه یک مدل ترکیبی جامع برای ارزیابی تامین کنندگان، پیش بینی تقاضا و تخصیص سفارش ها، به حل این مسائل پرداخته است. در گام نخست این تحقیق، از روش نوین محاسبه وزنی ساده به عنوان یک روش موثر در ارزیابی تامین کنندگان استفاده می شود. در گام دوم، از الگوریتم های یادگیری ماشین متنوعی استفاده و تقاضای آتی برای اقلام مختلف مورد تامین پیش بینی شده است. در گام پایانی، یک مدل بهینه سازی چندهدفه شامل اهداف حداقل سازی هزینه های کل تامین، حداکثر نمودن تخصیص سفارشات به تامین کنندگان کارا و حداقل سازی تعداد تامین کنندگان با محدودیتهای احتمالی برای زمان مجاز تاخیر در تحویل سفارشات و میزان مجاز نقائص کیفی در اقلام دریافتی توسعه داده شده است. یافته های پژوهش نشان می دهد که روش جنگل تصادفی دارای بهترین عملکرد در پیش بینی تقاضا می باشد و مدل ترکیبی ارائه شده می تواند در قالب یک نرم افزار یکپارچه سازمانی به عنوان یک سیستم پشتیبان تصمیم توسعه داده شود.

کلیدواژه ها: ارزیابی تامین کننده، تخصیص سفارش، روش محاسبه وزنی ساده، یادگیری ماشین، پیش بینی فروش

مقدمه

مدیریت زنجیره تأمین کلید کاهش هزینه و افزایش کیفیت است. یکی از چالش‌های اصلی آن، انتخاب بهینه تأمین‌کنندگان می‌باشد (Hajiaghaei-Keshteli et al., ۲۰۲۳). انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب و تخصیص بهینه سفارش‌ها به آن‌ها، نه تنها منجر به بهبود عملکرد زنجیره تأمین می‌شود، بلکه می‌تواند نقش مهمی در افزایش سطح خدمت به مشتریان ایفا کند (Ali et al., ۲۰۲۳). ارزیابی تأمین‌کنندگان یک مسئله پیچیده و چندمعیاره است که انتخاب بهینه را مستلزم استفاده از روش‌های علمی و داده‌بنیان در مواجهه با حجم زیاد اطلاعات و عدم قطعیت‌های محیطی می‌کند (Nazari-Shirkouhi et al., ۲۰۲۳).

عدم قطعیت محیطی می‌تواند منجر به اختلال در فرآیند تأمین شود. انتخاب تأمین‌کنندگان انعطاف‌پذیر راهکاری برای کاهش هزینه‌های خرید، جلوگیری از تأخیر و افزایش پایداری است (Khan et al., ۲۰۲۳). انتخاب تأمین‌کنندگان ناکارآمد می‌تواند بحران‌های تولیدی ایجاد کند و بر کل زنجیره تأمین تأثیر منفی بگذارد. بنابراین، انتخاب صحیح آن‌ها نه تنها عملکرد زنجیره را بهبود می‌بخشد، بلکه ریسک را کاهش و قابلیت اطمینان سیستم را افزایش می‌دهد (Ali et al., ۲۰۲۳).

یکپارچگی و هماهنگی در زنجیره تأمین، نه تنها موجب افزایش کارایی و کاهش هزینه‌ها می‌شود، بلکه انعطاف‌پذیری سازمان را در برابر تغییرات محیطی و نیازهای مشتریان بهبود می‌بخشد (Gencer & Gürpınar, ۲۰۰۷). مسائل انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش به طور کلی در سه دسته یکپارچه قرار می‌گیرند: منبع‌یابی واحد برای چندین محصول (استفاده از یک تأمین‌کننده برای تمام نیازها)، منبع‌یابی چندگانه برای یک محصول (استفاده از چند تأمین‌کننده برای یک محصول) و منبع‌یابی چندگانه برای محصولات متعدد (استفاده از چند تأمین‌کننده برای محصولات مختلف). حالت سوم از پیچیدگی بیشتری برخوردار است و به هماهنگی گسترده‌تری در زنجیره تأمین نیاز دارد (Islam et al., ۲۰۲۱). در بخشی از تحقیقات از ابزارهای یادگیری ماشین و رویکردهای داده‌گرا برای پیش‌بینی تقاضا یا برآورد سایر پارامترهای تاثیرگذار استفاده شده است و این روندی است که در تحقیقات اخیر مشاهده می‌گردد (Vamarzani et al., ۲۰۲۶; Lo et al., ۲۰۲۶).

شکاف اصلی این پژوهش با توجه به پیشینه تحقیق، فقدان یا وجود محدود تحقیقاتی است که یک رویکرد منسجم برای ترکیب تکنیکهای ارزیابی تامین کنندگان، پیش بینی تقاضا و تخصیص سفارش به آنها را ارائه داده باشد. بر همین اساس در این تحقیق از روش نوین محاسبه وزنی ساده (SIWEC^۱) که من بعد به اختصار به صورت "سایوک" نشان داده می شود، به عنوان یک روش موثر در ارزیابی تامین کنندگان استفاده می شود (Puška et al., ۲۰۲۴). نوآوری اصلی این تحقیق، تعمیم یک روش نوین وزن دهی است که علاوه بر اختصاص وزن به معیارهای ارزیابی، برای رتبه بندی مستقیم تامین کنندگان نیز به کار گرفته می شود. همچنین، از روش های یادگیری ماشین، به ویژه مدل های سری زمانی، برای پیش بینی تقاضا استفاده می شود. این مدل ها با تحلیل روندهای گذشته، تغییرات آتی را پیش بینی کرده و به سازمان ها در برنامه ریزی مؤثر برای تقاضای آینده کمک می کنند (Nayeri et al., ۲۰۲۳). نهایتاً نتایج حاصل از ارزیابی تامین کنندگان و پیش بینی تقاضا به عنوان ورودیهای یک مدل بهینه سازی چند هدفه برای تخصیص سهم سفارش به تامین کنندگان مورد استفاده قرار می گیرد.

در کل اهداف اصلی این پژوهش شامل پیاده سازی یک روش جدید برای ارزیابی و رتبه بندی تامین کنندگان تحت عنوان "روش سایوک"، استفاده از روشهای یادگیری ماشین برای پیش بینی تقاضا به منظور یکپارچه سازی آن با مدل های بهینه سازی و نهایتاً طراحی یک مدل ریاضی برای تخصیص بهینه سفارشات به تامین کنندگان منتخب بر اساس تقاضای پیش بینی شده می باشد.

مهم ترین نوآوریهای این تحقیق را به صورت زیر برشمرد:

- پیاده سازی روش سایوک به منظور وزن دهی به معیارها و رتبه بندی تامین کنندگان به عنوان یکی از روشهای نوین وزن دهی
- مقایسه چندین روش مختلف یادگیری ماشینی برای پیش بینی تقاضا با در نظر گرفتن عامل تخفیف با داشتن داده های واقعی یک سازمان نمونه

^۱ Simple Weight Calculation

- ترکیب مدل جدید بهینه سازی تخصیص سهم سفارش با نتایج حاصل از یادگیری ماشین و رتبه بندی تامین کنندگان

پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر، تجزیه و تحلیل عملکرد تامین کنندگان به منظور انتخاب بهترین تامین کننده برای همکاری مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. در برخی تحقیقات صرفاً مسئله ارزیابی و رتبه بندی تامین کنندگان مورد بررسی قرار گرفته است مانند تحقیقات (یوسفی و سیف برقی، ۱۴۰۳ و ۲۰۲۶، Hamidi et al., و Seifbarghy and Hamidi, ۲۰۲۵) در حالیکه در تحقیقات دیگر علاوه بر این، مسئله تخصیص سفارش نیز در ادامه با آن ادغام گردیده است. Babbar & Amin (۲۰۱۸) مدلی دو مرحله ای برای ارزیابی و تخصیص سفارش ارائه نمودند به نحوی که در مرحله اول، ارزیابی تامین کنندگان بر اساس روش گسترش کارکرد کیفی (QFD^۱) صورت گرفته و در مرحله دوم یک مدل ریاضی چندهدفه تصادفی مبتنی بر سناریو برای تخصیص سفارش ارائه دادند. Moheb Alizadeh & Handfield (۲۰۱۸) یک مدل یکپارچه چندهدفه را توسعه دادند که در آن از تحلیل پوششی داده ها برای ارزیابی تامین کنندگان و از یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط غیر خطی (MINLP^۲) در حالت تصادفی برای انتخاب تامین کنندگان در بخش خدمات استفاده کردند.

Mohammed et al., (۲۰۱۹) از روشهای فرایند تحلیلی سلسله مراتبی فازی و روش ترتیب ترجیحات بر اساس بیشترین شباهت به جواب ایده آل (تاپسیس) فازی برای ارزیابی تامین کنندگان و از روش چند هدفه فازی برای تخصیص سفارش به تامین کنندگان استفاده کردند. (۲۰۲۰، Khoshfetrat et al.,) یک رویکرد ترکیبی تصمیم گیری برای مسئله ارزیابی تامین کنندگان و تخصیص سفارش توسعه دادند به نحوی که از فرایند تحلیلی سلسله مراتبی فازی برای ارزیابی تامین کنندگان استفاده کردند و یک مدل بهینه سازی چند هدفه فازی برای تخصیص مقادیر بهینه سفارش توسعه دادند. (۲۰۲۰، Wang et al.,) یک

^۱ Quality Function Deployment

^۲ Mixed Integer Nonlinear Programming

مدل چندهدفه MINLP را برای انتخاب و تخصیص سفارش به تأمین کنندگان خدمات لجستیکی مرتبط با سفارشی سازی انبوه ارائه نمودند. (Nasr et al., ۲۰۲۱) یک مدل جدید انتخاب تأمین کننده و تخصیص سفارش دو مرحله ای را در یک زنجیره تأمین حلقه بسته ارائه نمودند. در مرحله اول، از روش BWM برای انتخاب مناسب ترین تأمین کنندگان با توجه به معیارهای اقتصادی، زیست محیطی، اجتماعی استفاده می شود و در مرحله دوم، یک مدل برنامه ریزی خطی اعداد صحیح مختلط چندهدفه^۱ برای طراحی یک شبکه چند محصولی، چند دوره ای توسعه داده شد. (Islam et al., ۲۰۲۱) با ترکیب پیش بینی تقاضا و مدل های بهینه سازی چندهدفه از نوع MILP، روشی دو مرحله ای برای انتخاب تأمین کننده و تخصیص سفارش ارائه دادند.

(Hosseini et al., ۲۰۲۲) در مطالعه ای برای انتخاب تأمین کننده پایدار تحت عدم قطعیت تقاضا، ابتدا با روش های BWM و استدلال شهودی به ارزیابی پرداخته و سپس یک مدل دوهدفه (پایداری و هزینه) را با برنامه ریزی آرمانی چندگانه ای احتمالی حل نمودند.

(Nayeri et al., ۲۰۲۳) با استفاده از BWM فازی و یک رویکرد داده محور برای پیش بینی تقاضا، مسئله ارزیابی تأمین کنندگان تجهیزات پزشکی را در شرایط عدم قطعیت حل کردند و از برنامه ریزی آرمانی برای تخصیص سفارش بهره گرفتند. در مطالعه ای دیگر، با تلفیق معیارهای سنتی و تاب آوری، از DEA مبتنی بر اعداد Z و شبکه عصبی مصنوعی برای ارزیابی و انتخاب تأمین کنندگان در صنعت داروسازی استفاده نمودند (Nazari-Shirkouhi et al., ۲۰۲۳).

(Vaezi et al., ۲۰۲۴) یک رویکرد دو مرحله ای ارائه نمودند که در مرحله اول با استفاده از روش BWM به معیارهای اقتصادی، اجتماعی، اقتصاد چرخشی و بلاک چین وزن داده و سپس با یک روش توسعه یافته MULTIMOORA به رتبه بندی تأمین کنندگان می پردازد، و در ادامه یک مدل دوهدفه برای تخصیص سفارش توسعه دادند که هزینه های

^۱ Multi-Objective Mixed Integer Linear Programming

پایاده سازی سیستم اطلاعاتی مبتنی بر بلاک چین را نیز در نظر بگیرد. Jafari-Raddani et al., (۲۰۲۴) یک روش دو مرحله ای را توسعه دادند به نحوی که از فرایند تحلیلی سلسله مراتبی فازی برای وزن دهی به معیارها و از روش تاپسیس فازی برای رتبه بندی تامین کنندگان بهره گرفتند. همچنین یک مدل چند دوره ای چند هدفه تصادفی توسعه دادند و مقادیر سفارشات تخصیص یافته به تامین کنندگان برتر را تعیین نمودند. Taghavi et al., (۲۰۲۴) یک روش دو مرحله ای توسعه دادند. مرحله اول: انتخاب تأمین کنندگان بر اساس حداقل امتیاز پایداری-تاب آوری. مرحله دوم: طراحی مدل ریاضی با معیار CVaR برای تخصیص سفارش با در نظر گرفتن هزینه و ریسک.

Kumar et al., (۲۰۲۵) این مسئله را با تمرکز بر پایداری در دو مرحله حل کردند: ابتدا BWM فازی به ارزیابی تأمین کنندگان پرداخته و سپس یک مدل سه هدفه فازی (برای حداقل سازی هزینه، کربن و ضایعات) با برنامه ریزی آرمانی فازی حل نمودند. Tajally et al., (۲۰۲۵) مسئله یاد شده را با تمرکز بر چابکی، پایداری و تاب آوری مورد بررسی قرار دادند به نحوی که از روش BWM فازی برای وزن دهی به شاخصهای ارزیابی تامین کنندگان و از روش مجموع وزن دهی نرمال شده (NWS)^۱ فازی برای رتبه بندی تامین کنندگان استفاده نمودند. در ادامه از روش بهینه سازی استوار داده محور برای تخصیص سفارش استفاده نمودند.

لازم به ذکر است در رابطه با تکنیکهای مختلف وزن دهی، روشهای بسیار متنوعی وجود داشته است که توسط محققین مورد استفاده قرار گرفته است. در اینجا به چندین تکنیک نوین که در سالهای اخیر توسعه یافته است اشاره می شود. یکی از این تکنیکها، تکنیک سایوک (Puška et al., ۲۰۲۴) می باشد که در این تحقیق نیز استفاده شده است. فلسفه روش یاد شده در نظر گرفتن انحراف استاندارد نظرات خبرگان علاوه بر میانگین در محاسبه

^۱ Normalized Weighted Sum

اوزان شاخص های می باشد. روش دیگر تحت عنوان روش بهترین - بدترین عمومی می باشد که توسط (Tavana et al., ۲۰۲۳) ارائه گردید. تفاوت این روش با نسخه سنتی آن این است که وابستگی بین معیارها را نیز در نظر می گیرد. تکنیک دیگر توسط Moslem (۲۰۲۵) ارائه گردید که مجدداً توسعه دیگری بر روش بهترین - بدترین در فضای اعداد Z می باشد. نهایتاً از بین روشهای جدید می توان به روش $RANCOM^1$ که توسط (Więckowski, ۲۰۲۳) ارائه گردید اشاره کرد. در این روش، مقایسه شاخص ها با تخصیص مقادیر صفر و یک برای بهتر بودن یا نبودن یک شاخص نسبت به دیگری در مقایسات زوجی صورت گرفته و نهایتاً امتیازی برای هر شاخص بر این اساس محاسبه و نرمال سازی صورت می گیرد.

در جدول زیر ویژگیهای مهمی از تحقیقات قبلی در زمینه مسئله ارزیابی تامین کنندگان و تخصیص سفارش با در نظر گرفتن عدم قطعیت و بهره گیری از روشهای یادگیری ماشین ارائه می دهد.

جدول ۱. مروری بر ادبیات تحقیقات مرتبط

تحقیق	روش انتخاب تامین کننده	مدل ریاضی تخصیص سفارش	ابزار عدم قطعیت	پیش بینی تقاضا
(Babbar and Amin, ۲۰۱۸)	QFD فازی	چند هدفه خطی	فازی و مبتنی بر سناریو	ندارد
(Moheb-Alizadeh and Handfield, ۲۰۱۸)	DEA	MINLP	برنامه ریزی تصادفی	ندارد
(Mohammed et al., ۲۰۱۹)	AHP فازی و TOPSIS فازی	برنامه ریز چند هدفه فازی	فازی	ندارد
(Khoshfetrat et al., ۲۰۲۰)	AHP فازی	برنامه ریز چند هدفه فازی	فازی	ندارد
(Nasr et al., ۲۰۲۱)	BWM	MOMILP	فازی	ندارد

^۱ Ranking Comparison Method

دارد	برنامه ریزی تصادفی	MILP	MILP	(Islam et al., ۲۰۲۱)
ندارد	برنامه ریزی تصادفی	برنامه ریزی آرمانی چند گزینه ای	BWM و ER	(Hosseini et al., ۲۰۲۲)
دارد	استوار	برنامه ریزی آرمانی	BWM فازی	(Nayeri et al., ۲۰۲۳)
ندارد	فازی	-	Z-DEA	(Nazari-Shirkouhi et al., ۲۰۲۳)
ندارد	-	MOMILP	BWM و MULTIMOORA	(Vaezi et al., ۲۰۲۴)
ندارد	برنامه ریزی تصادفی	MOMILP	AHP فازی و TOPSIS فازی	(Jafari-Raddani et al., ۲۰۲۴)
ندارد	ارزش در معرض ریسک	برنامه ریزی خطی	دارا بودن حداقل امتیاز پایداری-تاب آوری	(Taghavi et al., ۲۰۲۴)
ندارد	فازی	برنامه ریزی آرمانی فازی	BWM فازی	(Kumar et al., ۲۰۲۵)
دارد	فازی و استوار	برنامه ریزی خطی	BWM فازی و NWS فازی	Tajally et al., (۲۰۲۵)
دارد	فازی	MOMILP	سایوک	این تحقیق

مهم ترین شکاف های تحقیقاتی شناسایی شده عبارتند از: (۱) عدم استفاده از روش نوین سایوک برای وزن دهی به معیارها، (۲) عدم به کارگیری روش سایوک برای رتبه بندی تأمین کنندگان، (۳) محدودیت تحقیقاتی در استفاده از روش های یادگیری ماشین برای پیش بینی پارامترهای غیرقطعی، و (۴) نبود پژوهشی یکپارچه که همزمان از سایوک، یادگیری ماشین و مدل بهینه سازی برای ارزیابی و تخصیص سفارش به تأمین کنندگان بهره برد.

مهم ترین نوآوری های این تحقیق عبارتند از:

- (۱) استفاده از چندین روش یادگیری ماشین برای پیش بینی تقاضا و انتخاب بهترین آن ها
- (۲) پیاده سازی روش نوین سایوک برای وزن دهی به معیارها و رتبه بندی تأمین کنندگان

۳) ترکیب یادگیری ماشین، تصمیم‌گیری چندمعیاره و بهینه‌سازی برای حل مسئله ارزیابی و تخصیص سفارش

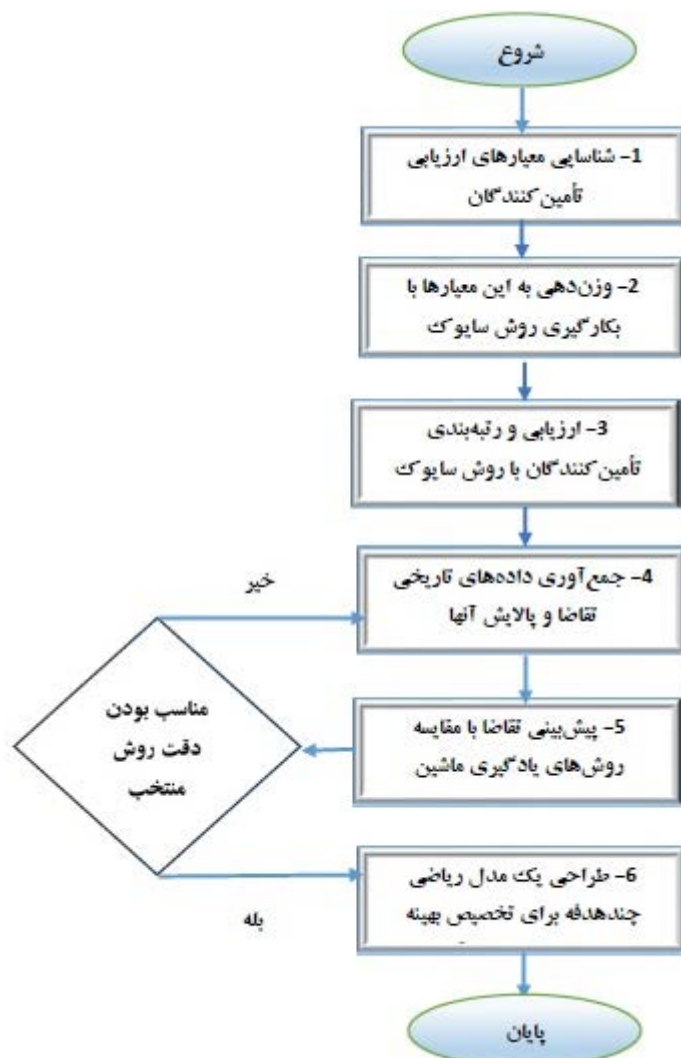
روش تحقیق

به طور کلی مراحل اصلی این تحقیق عبارتند از:

۱. شناسایی معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان (بر اساس ادبیات و نظر خبرگان).
 ۲. وزن‌دهی به این معیارها با روش سایوک (Puška et al., ۲۰۲۴).
 ۳. ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان با روش سایوک (ترکیب وزن معیارها و عملکرد). (Puška et al., ۲۰۲۴).
 ۴. جمع‌آوری داده‌های تاریخی تقاضا و پالایش آنها.
 ۵. پیش‌بینی تقاضا با روش‌های یادگیری ماشین.
 ۶. طراحی یک مدل ریاضی چندهدفه برای تخصیص بهینه سفارش با در نظر گرفتن هزینه، زمان، کیفیت و محدودیت‌هایی مانند ظرفیت و تقاضا. محدودیت‌هایی مانند ظرفیت تأمین‌کنندگان و میزان تقاضا در این مدل لحاظ می‌شود. همچنین محدودیت‌های احتمالی برای زمان مجاز تاخیر در تحویل اقلام و درصد نقائص کیفی آنها در مدل در نظر گرفته شده است.
- با توجه به روند مورد اشاره که در شکل ۱ نیز نشان داده شده است، از منظر روش تحقیق، روش به کار گرفته شده در این تحقیق از نوع کمی بوده و از نظر هدف تحقیق می‌توان گفت با توجه به تکنیک‌های به کار گرفته شده از نوع حل مسئله^۱ و پیش‌بینی^۲ می‌باشد.

^۱ Problem solving

^۲ Prediction



شکل ۱- مراحل مختلف تحقیق

شناسایی و تعیین معیارهای انتخاب تأمین کننده

در این مرحله، معیارهای کلیدی برای ارزیابی و رتبه بندی تأمین کنندگان بر اساس ادبیات تحقیق و نظر خبرگان شناسایی می شوند. لیست اولیه شاخصها عمدتاً بر اساس دو منبع

Babbar and Amin (۲۰۱۸) و Saneei et al. (۲۰۲۶) تشکیل و نهایتاً ۴ معیار اصلی و ۷ زیر معیار به شرح زیر انتخاب شده اند:

۱. معیارهای مالی: شامل قیمت (قیمت تمام شده دریافتی در درب کارخانه) و انعطاف در شرایط پرداخت (امکان پرداخت هزینه کالاهای دریافتی طی حداکثر یک دوره زمانی در آینده) می باشد.

۲. معیارهای کیفیت: شامل کیفیت فراورده (بر اساس نظرات مشتری) و امکان تامین اقلام متنوع می باشد.

۳. معیارهای پاسخگویی: شامل زمان تحویل (از زمان ارائه سفارش تا دریافت) و موقعیت جغرافیایی تامین کننده (فاصله تامین کننده تا کارخانه سازنده) است.

۴. سایر: شامل تجربه در صنعت (تعداد سالهای حضور در صنعت مربوطه) می باشد.

مراحل روش سایوک برای وزن دهی به معیارها و همچنین وزن دهی به عملکرد تامین کنندگان

مراحل استاندارد روش سایوک به شرح زیر است:

۱. اخذ نظرات خبرگان یا تصمیم گیرندگان در خصوص میزان اهمیت هر معیار به صورت عددی بین ۱ تا ۷ یا ۱ تا ۵ و سپس تشکیل ماتریس تصمیم مطابق رابطه (۱) به نحوی که متغیر x_{ij} نشان دهنده میزان اهمیت معیار j بر اساس نظره فرد خبره i می باشد. بدیهی است به هر میزان مقدار متغیر مورد اشاره بیشتر باشد نشان دهنده اهمیت بیشتر معیار یاد شده بر اساس نظر فرد خبره می باشد. در این رابطه فرض می شود تعداد n معیار توسط m فرد خبره ارزیابی می شوند.

$$A = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & x_{ij} & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

۲. نرمال کردن ماتریس تصمیم: در این روش، نرمال سازی با تقسیم هر عنصر

ماتریس تصمیم بر بیشترین مقدار کلیه عناصر (که نمایانگر بالاترین اهمیت است)

انجام می شود و به صورت n_{ij} نمایش داده می شود. که مطابق رابطه (۲) بدست می آید.

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_{i,j}\{x_{ij}\}} \quad (2)$$

۳. محاسبه انحراف استاندارد نظرات نرمال شده هر فرد خبره: در این گام با استفاده از رابطه (۳) انحراف استاندارد نظرات نرمال شده برای هر فرد خبره i که با نماد $St. dev_i$ نشان داده می شود محاسبه می شود.

$$St. dev_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \left(n_{ij} - \frac{\sum_{j=1}^n n_{ij}}{n} \right)^2}{n-1}} \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (3)$$

۴. در این مرحله، نظرات هر خبره با ضرب وزن های نرمال شده در انحراف معیار مربوطه تعدیل می شود v_{ij} تا اهمیت بیشتری به نظرات دقیق تر و متنوع تر داده شود. که مطابق رابطه (۴) بدست می آید.

$$v_{ij} = n_{ij} \times St. dev_i \quad \forall i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (4)$$

۵. در این مرحله میزان وزن هر معیار با جمع کردن مقادیر بدست آمده از مقادیر v_{ij} به ازای افراد خبره مختلف طبق رابطه (۵) محاسبه می شود.

$$s_j = \sum_{i=1}^m v_{ij} \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (5)$$

۶. مقدار وزن نرمال شده هر معیار یا همان وزن نسبی نهایی طبق رابطه (۶) محاسبه می شود.

$$w_j = \frac{s_j}{\sum_{j=1}^n s_j} \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (6)$$

جمع آوری داده های تاریخی

پیش بینی دقیق تقاضا یک عامل کلیدی موفقیت در زنجیره تأمین است، به ویژه برای سازمان هایی با نوسان بالای تقاضا. این پیش بینی با کاهش هزینه ها و افزایش رضایت مشتری همراه است. استفاده از داده های واقعی بازار به سازمان ها امکان تصمیم گیری هوشمندانه تری

در تأمین، موجودی و تولید را می‌دهد و به آن‌ها کمک می‌کند تا به شکل انعطاف‌پذیر و سریعی به تغییرات بازار واکنش نشان دهند (Javan-Molaei et al., ۲۰۲۴).

این تحقیق، یک شرکت تولیدکننده ملزومات پزشکی را به عنوان مطالعه موردی بررسی می‌کند. این شرکت به عنوان خریدار، پارچه مورد نیاز خود را از چندین تأمین‌کننده تهیه می‌کند. مصرف پارچه در این شرکت به دو عامل تقاضای دوره‌های گذشته، و میزان متوسط تخفیف ارائه‌شده توسط تأمین‌کنندگان بستگی دارد. این شرکت، اگرچه توانایی تولید بخشی از پارچه موردنیاز را در کارخانه وابسته به خود دارد، اما ترجیح می‌دهد برای تمرکز بر فعالیت اصلی (تولید ملزومات پزشکی)، در صورت دریافت تخفیف کافی، نیاز خود را از تأمین‌کنندگان خارجی برطرف کند.

استفاده از روشهای پیش‌بینی یادگیری ماشین

الگوریتم‌های داده‌محور مانند یادگیری ماشین و تحلیل سری‌های زمانی با شناسایی الگوهای پیچیده در داده‌ها، دقت پیش‌بینی‌ها را افزایش داده و کارایی، انعطاف‌پذیری و پایداری زنجیره تأمین را ارتقا می‌دهند.

الگوریتم جنگل تصادفی

جنگل تصادفی^۱ یک روش یادگیری گروهی است که برای طبقه‌بندی یا پیش‌بینی رگرسیونی با ساخت تعداد زیادی درخت تصمیم عمل می‌کند. این روش با استفاده از فرآیند کیسه‌بندی، نمونه‌های تصادفی‌ای از داده‌های اصلی با جایگزینی ایجاد می‌کند و برای هر نمونه یک درخت تصمیم هرس‌نشده آموزش می‌دهد. در نهایت، خروجی نهایی مدل از طریق ترکیب نتایج تمام درختان (با رای اکثریت در طبقه‌بندی یا میانگین‌گیری در رگرسیون) به دست می‌آید. دقت این مدل به تعداد درختان و متغیرهای مستقل در هر گره

^۱ Random Forest

بستگی دارد که مقادیر بهینه آنها معمولاً از طریق اعتبارسنجی متقابل تعیین می‌شود (Friedman, ۲۰۰۱).

الگوریتم تقویت گرادیان افراطی

تقویت گرادیان افراطی^۱، یک الگوریتم یادگیری ماشین قدرتمند، تحت نظارت و مبتنی بر درخت تصمیم است که هم برای طبقه‌بندی و هم برای رگرسیون به کار می‌رود. این الگوریتم که ابتدا توسط (Friedman, ۲۰۰۱) مطرح گردید و سپس توسط (Chen, ۲۰۱۶) توسعه یافته است، به دلیل سرعت بالا، دقت قابل قبول و توانایی مدیریت داده‌های پیچیده و حجیم، کاربرد گسترده‌ای در پیش‌بینی تقاضا دارد.

XGBoost برخلاف روش‌های قدیمی، درخت‌ها را به صورت موازی می‌سازد و با استفاده از نزول گرادیان خطاهای گام‌های قبل را اصلاح می‌کند. این مدل با ترکیب چندین یادگیرنده ضعیف به یک مدل قوی و کارآمد تبدیل می‌شود که آن را برای محیط‌های پیچیده و داده‌های با روابط غیرخطی ایده‌آل می‌سازد.

ویژگی‌های کلیدی این الگوریتم به شرح زیر است:

۱- افزایش تدریجی^۲: این روش با ایجاد مجموعه‌ای از مدل‌های ضعیف‌تر و ترکیب آن‌ها به مدل قوی‌تر می‌رسد.

۲- درخت‌های تصمیم‌گیری بهینه: مدل از درخت‌های تصمیم‌گیری با عمق مشخص و هرس مناسب استفاده می‌کند.

۳- کنترل برازش بیش از حد^۳: دارای انعطاف‌پذیری در تنظیم پارامترهای الگوریتم می‌باشد که در نتیجه از بیش‌برازش داده‌ها جلوگیری می‌نماید.

^۱ Extreme Gradient Boosting (XGBoost)

^۲ Boosting

^۳ Overfitting

الگوریتم ساریما

مدل ساریما^۱ یک مدل آماری پرکاربرد برای پیش‌بینی داده‌های زمانی است که نسخه‌ای توسعه‌یافته از ARIMA محسوب می‌شود. این مدل علاوه بر شناسایی روند کلی، الگوهای فصلی (مانون ماهانه یا فصلی) را نیز در پیش‌بینی لحاظ می‌کند. ساریما با ترکیب مؤلفه‌های خودرگرسیون، میانگین متحرک و تفاضل‌گیری به همراه بخش فصلی، قادر به مدل‌سازی الگوهای پیچیده و تکرارشونده در داده‌هاست. این ویژگی آن را برای پیش‌بینی دقیق داده‌های دارای رفتار دوره‌ای، مانند فروش فصلی یا تولید ماهانه، ایده‌آل می‌سازد (Javan-Molaei et al., ۲۰۲۴).

مزایای این الگوریتم به طور خلاصه به شرح زیر می‌باشد (Sen et al., ۲۰۲۴):

- توانایی در مدل‌سازی داده‌های فصلی و رونددار
- مناسب برای داده‌های سری زمانی که وابستگی زمانی قوی دارند
- قابلیت ارائه پیش‌بینی‌های دقیق برای دوره‌های آینده، حتی در صورت وجود الگوهای غیرخطی در داده‌ها
- شفافیت بالا و قابلیت تفسیر ساده مدل و پارامترهای آن

معیارهای ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی

معیارهای ارزیابی خطا، ابزارهایی برای سنجش تفاوت بین مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی هستند که به انتخاب بهترین مدل کمک می‌کنند (Robin et al., ۲۰۲۱).

الف- شاخص میانگین خطای مطلق (MAE)^۲: نشان دهنده میانگین خطای مطلق بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده است. این معیار نشان می‌دهد که مدل به‌طور متوسط چقدر در پیش‌بینی اشتباه کرده است و از رابطه (۷) محاسبه می‌شود که در آن y_i نشان دهنده مقدار واقعی داده و $\hat{y}_i$ مقدار پیش‌بینی شده توسط الگوریتم می‌باشد. ضمناً n تعداد نمونه‌ها می‌باشد.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (۷)$$

^۱ Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA)

^۲ Mean Absolute Error

ب- شاخص جذر میانگین مربعات خطا ($RMSE^1$): نشان دهنده جذر میانگین مربعات خطاهاست و خطاهای بزرگ را بیشتر از خطاهای کوچک جریمه می کند. بنابراین، در صورت وجود مقادیر پرت، حساسیت بیشتری نسبت به MAE دارد. این معیار خطا را می توان با رابطه (۸) نمایش داد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (8)$$

ج- شاخص R^2 یا ضریب تعیین^۲: نشان دهنده نسبت واریانس توضیح داده شده توسط مدل به کل واریانس داده ها است. این معیار اندازه ای نسبی از عملکرد مدل ارائه می دهد و طبق رابطه (۹) محاسبه می شود.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (9)$$

در صورتیکه مقدار شاخص برابر ۱ باشد به این معنی است که مدل پیش بینی کاملاً درست عمل می کند که البته معمولاً بعید است.

د- شاخص میانگین درصد خطای مطلق ($MAPE^3$): معرف درصد میانگین درصد خطای مطلق است و برای اندازه گیری درصد خطای پیش بینی نسبت به مقدار واقعی به کار می رود و مطابق رابطه (۱۰) نشان داده می شود. در واقع این شاخص، خطای نسبی را به صورت درصد بیان می کند و به همین دلیل مقیاس پذیر و مستقل از واحد داده است.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \times 100 \quad (10)$$

از ویژگی های هم آن موارد زیر را می توان برشمرد:

- وابستگی به صفر: زمانی که مقادیر واقعی (y_i) نزدیک به صفر باشند، به شدت افزایش می یابد و می تواند منجر به خطای بسیار بزرگ شود.

- مقیاس پذیری: این معیار مستقل از واحد اندازه گیری داده هاست و امکان مقایسه بین مدل های مختلف یا مجموعه داده های متفاوت را فراهم می کند.

^۱ Root Mean Square Error

^۲ Coefficient of Determination

^۳ Mean Absolute Percentage Error

-تفسیرپذیری آسان: نتیجه MAPE به صورت درصد ارائه می‌شود که تفسیر آن برای کاربران غیر تخصصی آسان‌تر است.

طراحی مدل ریاضی برای تخصیص سفارشات به تأمین کنندگان در این بخش، مدل ریاضی برای تخصیص سفارش به تأمین کنندگان ارائه می‌شود. فرض بر این است که تأمین اقلام از طریق چندین تأمین کننده انجام می‌گیرد و قیمت‌های همه آن‌ها در زمان تصمیم‌گیری مشخص است. با توجه به هزینه بالای تعامل با تأمین کنندگان، هدف، کاهش تعداد آن‌ها به حداقل ممکن است. همچنین، تأخیر در تحویل و نقص کیفی اقلام نباید از سقف مجاز فراتر رود. برای لحاظ کردن عدم قطعیت در این محدودیت‌ها، از برنامه‌ریزی محدودیت‌های شانسی استفاده خواهد شد. ابتدا نمادهای مدل معرفی شده و سپس توابع هدف و محدودیت‌ها تشریح می‌گردند.

• اندیس‌ها:

p : اندیس اقلام مورد تأمین ($p = 1, 2, 3, \dots, P$)

s : اندیس تأمین کنندگان ($s = 1, 2, 3, \dots, S$)

• پارامترها:

W_s : وزن نسبی تأمین کننده s که از طریق روش سایوک بدست می‌آید.

$MIND_p$: حداقل تقاضای قلم مورد تأمین p در طول یک دوره که بر اساس تجارب گذشته مشخص است

$MAXD_p$: حداکثر تقاضای قلم مورد تأمین p که بر اساس پیش بینی بدست می‌آید

P_{ps} : قیمت قلم مورد تأمین p که توسط تأمین کننده s اعلام می‌گردد

$MAUD_p$: حداکثر زمان مجاز برای تأخیر در تحویل به ازای هر واحد مورد تأمین p

$\bar{UD}_{ps}$: متغیر تصادفی زمان تحویل با تأخیر به ازای هر واحد قلم مورد تأمین p توسط

تأمین کننده s بر اساس تجارب قبلی همکاری. فرض می‌گردد از توزیع نرمال با میانگین

μD_{ps} و انحراف استاندارد σD_{ps} برخوردار است.

$MAUQ_p$: حداکثر درصد مجاز نقص کیفی در تحویل به ازای هر واحد مورد تأمین p

$\bar{U}Q_{ps}$: متغیر تصادفی درصد نقص کیفی به ازای هر واحد قلم مورد تامین p توسط تامین کننده S بر اساس تجارب قبلی همکاری. فرض می گردد از توزیع نرمال با میانگین μQ_{ps} و انحراف استاندارد σQ_{ps} برخوردار است.

CA_{ps} : ظرفیت تامین کننده S در تامین قلم مورد p در طول یک دوره

• متغیر تصمیم:

X_{ps} : مقدار سفارش گذاری قلم مورد تامین p به تامین کننده S در طول یک دوره

U_s : متغیر صفر و یک برای انتخاب یا عدم انتخاب یک تامین کننده خاص S

با تعریف مجموعه‌ها، متغیرها و پارامترها، مدل دو هدفه زیر را می توان توسعه داد:

$$\text{Min } Z_1 = \sum_{s=1}^{S=S} \sum_{p=1}^{p=P} P_{ps} X_{ps} \quad (11)$$

$$\text{Max } Z_2 = \sum_{s=1}^{S=S} \sum_{p=1}^{p=P} W_s X_{ps} \quad (12)$$

$$\text{Min } Z_3 = \sum_{s=1}^{S=S} U_s \quad (13)$$

Subject to:

$$\text{MIND}_p \leq \sum_{s=1}^{S=S} X_{ps} \leq \text{MAXD}_p \quad \forall p = 1, 2, 3, \dots, P \quad (14)$$

$$\frac{\sum_{s=1}^{S=S} \bar{U}D_{ps} X_{ps}}{\text{MAXD}_p} \leq \text{MAUD}_p \quad \forall p = 1, 2, 3, \dots, P \quad (15)$$

$$\frac{\sum_{s=1}^{S=S} \bar{U}Q_{ps} X_{ps}}{\text{MAXD}_p} \leq \text{MAUQ}_p \quad \forall p = 1, 2, 3, \dots, P \quad (16)$$

$$0 \leq X_{ps} \leq CA_{ps} \cdot U_s \quad \forall p = 1, 2, 3, \dots, P; \forall s = 1, 2, 3, \dots, S \quad (17)$$

هدف شماره اول در رابطه (۱۱) هزینه‌های خرید از تامین کنندگان را حداقل می کند. تابع هدف دوم در رابطه (۱۲) مجموع امتیاز خرید از تامین کنندگان کارا را حداکثر می کند. تابع هدف سوم در رابطه (۱۳) تعداد کل تامین کنندگان برای همکاری را حداقل می کند که مطلوبیتی مانند کاهش هزینه های ثابت سفارش دهی را به دنبال خواهد داشت. محدودیت (۱۴) تضمین می کند که مجموع خرید هر قلم از تامین کنندگان مختلف در

محدوده بین حداقل و حداکثر تقاضای آن قلم باشد. محدودیت (۱۵) کنترل می کند که کل تاخیرات هر قلم خریداری شده از تامین کنندگان مختلف از مقدار مجاز آن بیشتر نباشد. محدودیت (۱۶) مشابه محدودیت (۱۵) برای درصد نقائص کیفی در اقلام مورد تامین می باشد. محدودیت (۱۷) ظرفیت تامین هر قلم توسط هر تامین کننده را کنترل می کند.

محدودیت (۱۵) بر اساس روش محدودیت شانس مبتدا به صورت رابطه (۱۸) درآمده و سپس مطابق رابطه (۱۹) به فرم قطعی تبدیل می گردد (Miller and Wagner, ۱۹۶۵):

$$P\left(\frac{\sum_{s=1}^{S=S} \bar{U}_{ps} X_{ps}}{MAXD_p} \leq MAUD_p\right) \geq 1 - \alpha \quad \forall p = 1, 2, 3, \dots, P \quad (18)$$

$$\sum_{s=1}^{S=S} \mu D_{ps} X_{ps} + Z_{1-\alpha} \sqrt{\sum_{s=1}^{S=S} \sigma D_{ps}^2 X_{ps}^2} \leq MAUD_p \cdot MAXD_p \quad \forall p = 1, 2, 3, \dots, P \quad (19)$$

محدودیت (۱۶) نیز همانند محدودیت قبلی بر اساس روش محدودیت شانس به محدودیت (۲۰) تبدیل می گردد:

$$\sum_{s=1}^{S=S} \mu Q_{ps} X_{ps} + Z_{1-\alpha} \sqrt{\sum_{s=1}^{S=S} \sigma Q_{ps}^2 X_{ps}^2} \leq MAUQ_p \cdot MAXD_p \quad \forall p = 1, 2, 3, \dots, P \quad (20)$$

به منظور حل مدل چند هدفه فوق از روش برنامه ریزی فازی استفاده می شود. در این روش پس از حل مدل ریاضی مربوطه به ازای هر هدف با در نظر گرفتن محدودیتهای مدل، مدل ریاضی تک هدفه زیر به منظور حداکثر نمودن حداقل درجات عضویت اهداف مختلف تشکیل و حل می گردد. در این مدل λ نشان دهنده حداقل درجه عضویت اهداف می باشد. همچنین مقادیر Z_i^B و Z_i^W نشان دهنده بدترین و بهترین مقادیر توابع هدف سه گانه می باشد $(\forall i = 1, 2, 3)$.

$$Max \lambda \quad (21)$$

Subject to: (۱۶), (۱۷), (۱۹) - (۲۰)

$$\lambda \leq \frac{Z_1^W - Z_1}{Z_1^W - Z_1^B} \quad (22)$$

$$\lambda \leq \frac{Z_2 - Z_2^W}{Z_2^B - Z_2^W} \quad (23)$$

$$\lambda \leq \frac{Z_r^W - Z_r}{Z_r^W - Z_r^B} \quad (24)$$

$$\lambda \geq 0 \quad (25)$$

نتایج عددی و روش حل مدل ریاضی

مطالعه موردی این تحقیق در شرکت تولیدی سپید تن پرنیان پوش، به عنوان یکی از تولیدکنندگان تجهیزات پزشکی و محصولات ارتوپدی در ایران، انجام شده است. این شرکت در حوزه تولید محصولات یکبار مصرف پزشکی مانند بانداژ و ماسک‌های جراحی فعالیت دارد. تمرکز تحقیق بر تأمین یکی از مواد اولیه اصلی، یعنی پارچه، استوار است. برای تعیین معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان پارچه، از نظرات پنج خبره سازمانی شامل مدیر مالی، مدیر بازرگانی، کارشناس تدارکات و کارشناس کنترل کیفیت استفاده شده و نتایج در قالب معیارها و زیرمعیارهای طبقه‌بندی‌شده ارائه گردیده است که در جدول ۱.پ آورده شده است:

۱. معیارهای مالی: شامل قیمت (قیمت تمام شده دریافتی در درب کارخانه) و انعطاف مالی (امکان پرداخت هزینه کالاهای دریافتی طی حداکثر یک دوره زمانی در آینده) می باشد.

۲. معیارهای کیفیت: شامل کیفیت فراورده (انطباق با نظرات مشتری) و تنوع اقسام می باشد.

۳. معیارهای پاسخگویی: شامل زمان تحویل (از زمان ارائه سفارش تا دریافت) و موقعیت جغرافیایی (فاصله تأمین‌کننده تا کارخانه سازنده) است.

۴. سایر: شامل تجربه در صنعت (تعداد سالهای حضور در صنعت مربوطه) می باشد. برای معیارها از طیف ۱ تا ۷ به ترتیب برای اهمیت خیلی کم، کم، نسبتاً کم، متوسط، نسبتاً زیاد، زیاد، خیلی زیاد استفاده شده است.

با پیاده سازی مراحل مختلف روش سایوک جدول نهایی مربوط به حاصلضرب نظرات نرمال شده در مقادیر انحراف استاندارد به فرم جدول ۲.پ در می آید. به عنوان مثال ضرایب اهمیت ارائه شده توسط خبره اول برای معیارهای ۷ گانه به ترتیب ۶ و ۵ و ۶ و ۴ و

۵ و ۳ و ۴ می باشد که مقدار انحراف استاندارد آنها معادل ۰,۱۴۷, خواهد بود. حال اگر این مقدار در امتیاز نرمال شده خبره اول به اولین شاخص یعنی قیمت که معادل ۰,۸۵۷ است ضرب شود، مقدار بدست آمده ۰,۱۲۸, خواهد بود که در جدول ۲.پ ملاحظه می گردد. در ادامه وزن معیارهای ارزیابی تامین کنندگان پس از نرمال سازی وزنی مطابق جدول ۲ بدست می آید. به عنوان مثال عدد ۰,۱۷۱, برای شاخص قیمت از طریق متوسط مقادیر نرمال شده ۵ خبره موجود در جدول ۲.پ یعنی مقادیر ۰,۱۲۶, و ۰,۰۷۸, و ۰,۱۱۸, و ۱۲۹ و ۰,۱۵۳, بدست می آید.

جدول ۲- مقادیر نرمال شده وزن معیارها به کمک روش سایوک

معیارها	قیمت	انعطاف مالی	کیفیت فراورده	تنوع اقلام	زمان تحویل	موقعیت جغرافیایی	تجربه در صنعت
اوزان	۰,۱۷۱	۰,۱۵۶	۰,۱۶۶	۰,۱۰۶	۰,۱۵۶	۰,۱۰۸	۰,۱۳۷

با در نظر گرفتن ۶ تامین کننده و به کارگیری روش فوق به ازای هر معیار با ۵ فرد خبره (۷) با بکارگیری روش به تعداد معیارهای ارزیابی، نتایج حاصل از ضرائب اهمیت هر تامین کننده در خصوص هر معیار بدست خواهد آمد. به عنوان نمونه فرض کنیم امتیاز تامین کنندگان مختلف توسط افراد خبره در رابطه با معیار قیمت مطابق جدول ۳.پ داده شده باشد. مشابه چنین جدولی برای ۶ معیار دیگر نیز خواهیم داشت. نهایتاً نتیجه نهایی وزن تامین کنندگان در خصوص هر معیار مطابق جدول ۴.پ بدست می آید:

در ادامه با ضرب کردن وزن معیارهای نظیر برای هر تامین کننده از جدول ۲.پ در امتیاز وزنی بدست آمده در جدول ۴.پ و جمع نمودن امتیازات مطابق روش مجموع وزنی ساده، امتیازات وزنی زیر طبق جدول ۳ برای تامین کنندگان بدست خواهد آمد.

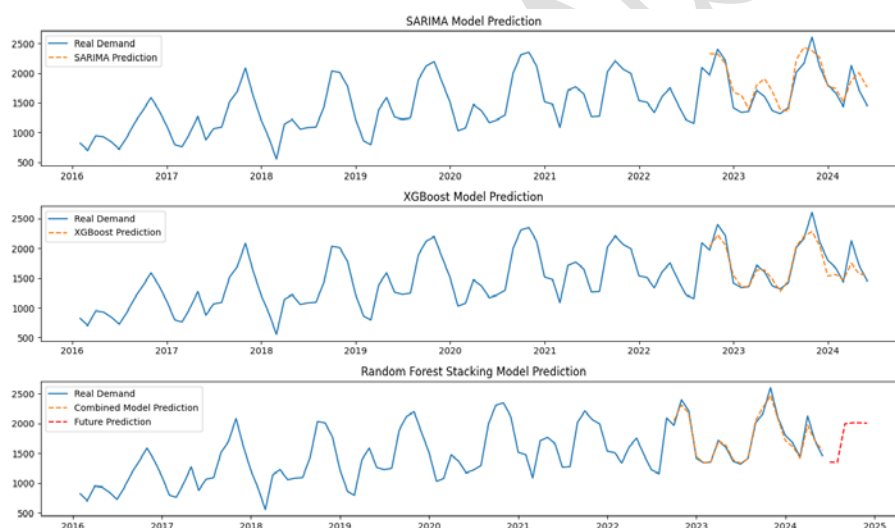
جدول ۳- امتیازات وزنی تامین کنندگان

تامین کننده	۱	۲	۳	۴	۵	۶

امتیاز	۰,۱۵۸	۰,۱۴۷	۰,۲۰۰	۰,۱۷۵	۰,۱۴۶	۰,۱۷۴
وزنی						

نتایج نشان می‌دهد که تأمین‌کننده ۳ با امتیاز ۰,۲۰۰ بیشترین میزان امتیاز وزنی و تأمین‌کننده شماره ۵ با امتیاز ۰,۱۴۶ کمترین میزان امتیاز وزنی را از دیدگاه مدل به خود اختصاص داده است.

برای حل مدل ریاضی تحقیق، پیش‌بینی دقیق پارامتر کلیدی تقاضا با استفاده از سه الگوریتم جنگل تصادفی، تقویت گرادیان افراطی و ساریما انجام شد. داده‌های ماهانه تقاضا و تخفیفات در بازه زمانی ۲۰۱۶ تا نیمه اول ۲۰۲۴ تحلیل گردید. شکل ۲ نتایج پیش‌بینی تقاضا برای شش ماهه دوم ۲۰۲۴ توسط هر سه الگوریتم را نشان می‌دهد.



شکل ۲- خروجی الگوریتم‌های پیش‌بینی تقاضا

عملکرد الگوریتم‌های مختلف بر اساس معیارهای ارزیابی همچون میانگین قدرمطلق خطا (MAE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تعیین (R^2) مورد سنجش قرار گرفت. نتایج در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- نتایج عملکرد الگوریتم‌ها

الگوریتم	R ²	RMSE	MAE
ساریمما	۰,۶۸۵	۲۱۲,۴۴	۱۸۰,۹۳
تقویت گرادیان افراطی	۰,۸۴۵	۱۴۹,۱۲	۱۱۰,۳۰
جنگل تصادفی	۰,۹۶۸	۶۷,۸۷	۵۱,۳۳

بر اساس نتایج، جنگل تصادفی بهترین عملکرد پیش‌بینی را داشت. کل تقاضای پارچه برای شش ماهه دوم ۲۰۲۴، ۱۰،۷۴۰ کیلوگرم پیش‌بینی شد که ترکیب آن به صورت ۵،۹۰۷ کیلوگرم نئوپرن (۵۵٪)، ۲،۵۷۸ کیلوگرم کتان حوله‌ای (۲۴٪) و ۲،۲۵۵ کیلوگرم نایلون جودان (۲۱٪) است. برای لحاظ کردن عدم قطعیت، حدود تقاضا با $\pm ۱۰\%$ (تلورانس) در نظر گرفته می‌شود.

همچنین جدول ۵ نشان دهنده قیمت‌های اقلام ۳ گانه می‌باشد که فرض شده است بر اساس استعلام از ۶ تامین کننده منتخب بدست آمده باشد:

جدول ۵- قیمت‌های پیشنهادی تامین کنندگان برای اقلام ۳ گانه

تامین کننده اقلام	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱- پارچه نئوپرن	۸۳۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰	۷۸۰۰۰۰	۷۳۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰	۸۱۰۰۰۰
۲- پارچه کتان حوله‌ای	۶۱۰۰۰۰	۵۶۰۰۰۰	۵۹۰۰۰۰	۵۶۰۰۰۰	۵۵۰۰۰۰	۵۹۵۰۰۰
۳- پارچه نایلون جودون	۵۳۰۰۰۰	۴۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۴۳۰۰۰۰	۴۳۵۰۰۰	۵۲۵۰۰۰

حداکثر زمان مجاز برای تاخیر در تحویل به ازای هر واحد از هر قلم یعنی به ازای هر یک کیلوگرم (با توجه به اینکه کل سفارش حدود ۱۰۰۰۰ کیلوگرم می باشد) معادل ۰,۰۰۳ روز در نظر گرفته می شود که حدود ۳۰ روز برای کل سفارش خواهد بود که مقدار مناسبی به نظر می رسد. همچنین متغیر تصادفی میزان تاخیرات به ازای هر کیلوگرم برای هر تامین کننده دارای توزیع نرمال با میانگین و انحراف استاندارد مطابق جدول ۶ در نظر گرفته می شود:

جدول ۶- میانگین و انحراف استاندارد تاخیرات بر حسب روز تامین کنندگان به ازای هر کیلوگرم از

هر نوع قلم مورد تامین						
تامین کننده	۱	۲	۳	۴	۵	۶
میانگین	۰,۰۰۲۰	۰,۰۰۳۸	۰,۰۰۲۵	۰,۰۰۲۹	۰,۰۰۳۶	۰,۰۰۳۳
انحراف استاندارد	٪ ۵	٪ ۵	٪ ۵	٪ ۵	٪ ۵	٪ ۵
میانگین	میانگین	میانگین	میانگین	میانگین	میانگین	میانگین

حداکثر درصد نقص کیفی به ازای هر واحد از هر قلم یعنی به ازای هر یک کیلوگرم (با توجه به اینکه کل سفارش حدود ۱۰۰۰۰ کیلوگرم می باشد) معادل ۳ درصد در نظر گرفته می شود که حدود ۳۰۰ کیلو برای کل سفارش خواهد بود که مقدار مناسبی به نظر می رسد. همچنین متغیر تصادفی درصد نقص کیفی به ازای هر کیلوگرم برای هر تامین کننده دارای توزیع نرمال با میانگین و انحراف استاندارد مطابق جدول ۵ پ در نظر گرفته می شود.

نهایتاً ظرفیت تامین کنندگان در تامین اقلام مختلف مطابق جدول ۶ پ می باشد:

به منظور حل مدل یاضی چند هدفه همانطور که قبلاً بدان اشاره شد از روش برنامه ریزی فازی مطابق روابط (۲۵) - (۲۱) و (۱۴) و (۱۷) و (۲۰) - (۱۹) استفاده می گردد. بدین منظور ابتدا مسئله مورد نظر به ازای هر تابع هدف جداگانه حل می گردد و جدول عایدات مطابق جدول ۷ (با در نظر گرفتن ضریب اطمینان ۹۵ درصد برای محدودیت احتمالی تاخیر در تحویل) تشکیل می گردد:

جدول ۷- جدول عایدات به ازای توابع هدف سه گانه

جوابها	Z_1	Z_2	Z_3
۱	$6,17 \times 10^9$	۱۵۷۱	۶
۲	$8,07 \times 10^9$	۲۰۶۰	۶
۳	$6,64 \times 10^9$	۱۴۹۱	۳

در صورت حل از طریق روش برنامه ریز فازی، نتایج مطابق جدول ۸ حاصل می گردد که بر این اساس تامین کنندگان ۱ و ۳ و ۴ و ۶ انتخاب می گردند و مقادیر خریداری شده از آنها نیز مطابق همین جدول به همراه مقدار تابع هدف داده شده است. بنابراین خریدی از تامین کنندگان ۲ و ۵ صورت نخواهد گرفت.

جدول ۸- نتایج حاصل از حل شامل اهداف و مقادیر متغیرهای تصمیم

$\begin{matrix} s \\ p \end{matrix}$	۱	۳	۴	۶	$y_1=1$	$Z_1=۶,۹۳ \times 10^9$
۱	$X_{11}=1۸۶۶,۳$	$X_{1۳}=1۴۰۰$	$X_{1۴}=11۵۰$	$X_{1۶}=۹۰۰$	$y_۳=1$	$Z_۳=1۸۳۲$
۲	$X_{۲1}=۷۷۵,۵$	$X_{۲۳}=۹۰۰$	$X_{۲۴}=۹۰۰$	$X_{۲۶}=۰$	$y_۳=1$	$Z_۳=۴$
۳	$X_{۳1}=۶۸۰,۵$	$X_{۳۳}=۷۰۰$	$X_{۳۴}=۸۰۰$	$X_{۳۶}=۳۰۰$	$y_۶=۰$	$\lambda=۰,۶۰۰$

ضمناً در کل از اقلام ۱ و ۲ و ۳ به ترتیب ۵۳۱۶,۳ و ۲۵۷۵,۵ و ۲۴۸۰,۵ کیلوگرم خریداری خواهد شد.

بحث و نتیجه گیری

این پژوهش یک چارچوب یکپارچه سه مرحله ای برای مدیریت زنجیره تأمین ارائه کرده است. در مرحله اول، تأمین کنندگان با استفاده از روش نوین سایوک بر اساس معیارهای کلیدی ارزیابی و رتبه بندی شدند. سپس، با بهره گیری از الگوریتم های پیشرفته یادگیری ماشین شامل جنگل تصادفی، ساریما و تقویت گرادیان افراطی، تقاضای آینده پیش بینی شد که در این میان جنگل تصادفی از دقت بالاتری برخوردار بود. در مرحله نهایی، یک مدل بهینه سازی چندهدفه تحت شرایط عدم قطعیت طراحی و حل شد تا تخصیص سفارش به

گونه‌ای انجام شود که هزینه‌ها به حداقل برسد، همکاری با کاراثرین تأمین کنندگان حداکثر شود و تعداد کل تأمین کنندگان کاهش یابد.

این مدل کاربردهای عملی گسترده‌ای دارد و می‌تواند به انتخاب بهینه تأمین کنندگان، بهبود برنامه‌ریزی تولید و موجودی، کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش پایداری و تاب‌آوری زنجیره تأمین کمک کند.

یکی از محدودیتهای اصلی این تحقیق عدم دسترسی به خبرگان مختلف در واحدهای متنوع سازمانی به منظور ارزیابی شاخصها بوده است. محدودیت دیگر دسترسی محدود به داده‌های مرتبط با تقاضا می‌باشد به نحوی که این داده‌ها می‌توانست سالهای بیشتری را در بر بگیرد و دقت پیش‌بینی را افزایش دهد. از محدودیتهای دیگر تحقیق در نظر گرفتن فرضیه نرمال بودن تقاضا می‌باشد که البته بیشتر اوقات به صورت تخمینی نرمال در نظر گرفته می‌شود. عدم قطعیت تقاضا می‌تواند بر اساس رویکرد بازه‌ای باشد که اصولاً روش بهینه‌سازی استوار روش مناسب‌تری برای مدلسازی آن می‌باشد به خصوص در زمانی که توزیع تقاضا نامشخص می‌باشد. هزینه خرید از تأمین کنندگان نیز ثابت در نظر گرفته شده است که می‌تواند یکی از محدودیتهای تحقیق باشد. این هزینه معمولاً در کشورهای با تورم بالا نظیر ایران در یک بازه چند ماهه ممکن است ثابت نباشد.

برای تحقیقات آینده، توسعه مدل به حالت چنددوره‌ای، ادغام معیارهای پایداری زیست‌محیطی و اجتماعی و اعتبارسنجی مدل در صنایع دیگری مانند خودروسازی و داروسازی پیشنهاد می‌شود. همچنین از نظر روش، بهره‌گیری و استفاده از روش‌های BWM عمومی، BWM در فضای اعداد Z و همچنین روش RANCOM اشاره کرد. ضمناً می‌توان از رویکرد بهینه‌سازی استوار و عدم قطعیت بازه‌ای برای مواجهه با عدم قطعیت تقاضا بهره گرفت.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تعارض منافع ندارند.

پیوست ۱. جداول پیوست:

جدول ۱.پ- اهمیت معیارهای ارزیابی از نظر خبرگان

معیار و خبره	قیمت	انعطاف مالی	کیفیت فراورده	تنوع اقلام	زمان تحویل	موقعیت جغرافیایی	تجربه در صنعت
۱	۶	۵	۶	۴	۵	۳	۴
۲	۶	۵	۶	۵	۵	۴	۵
۳	۵	۵	۶	۳	۶	۳	۵
۴	۶	۶	۶	۳	۶	۵	۶
۵	۷	۶	۵	۴	۵	۴	۴

جدول ۲.پ- مقادیر نظرات نرمال شده در انحراف استاندارد هر خبره

معیار و خبره	قیمت	انعطاف مالی	کیفیت فراورده	تنوع اقلام	زمان تحویل	موقعیت جغرافیایی	تجربه در صنعت
۱	۰,۱۲۶	۰,۱۰۵	۰,۱۲۶	۰,۰۸۴	۰,۱۰۵	۰,۰۶۳	۰,۰۸۴
۲	۰,۰۷۸	۰,۰۶۵	۰,۰۷۸	۰,۰۶۵	۰,۰۶۵	۰,۰۵۲	۰,۰۶۵
۳	۰,۱۱۸	۰,۱۱۸	۰,۱۴۲	۰,۰۷۱	۰,۱۴۲	۰,۰۷۱	۰,۱۱۸
۴	۰,۱۲۹	۰,۱۲۹	۰,۱۲۹	۰,۰۶۴	۰,۱۲۹	۰,۱۰۷	۰,۱۲۹
۵	۰,۱۵۳	۰,۱۳۱	۰,۱۰۹	۰,۰۸۷	۰,۱۰۹	۰,۰۸۷	۰,۰۸۷

جدول ۳.پ- اهمیت تامین کنندگان از منظر معیار قیمت از نظر خبرگان

تامین کننده و خبره	تامین کننده ۱	تامین کننده ۲	تامین کننده ۳	تامین کننده ۴	تامین کننده ۵	تامین کننده ۶
۱	۵	۳	۶	۳	۳	۲
۲	۶	۴	۶	۳	۵	۳
۳	۵	۳	۷	۳	۳	۴

۴	۴	۴	۶	۴	۴	۳
۵	۵	۴	۶	۳	۴	۴

جدول ۴. پ- مقادیر وزنی هر تامین کننده در خصوص هر معیار

معیار و تامین کننده	قیمت	انعطاف مالی	کیفیت فراورده	تنوع اقلام	زمان تحویل	موقعیت جغرافیایی	تجربه در صنعت
۱	۰,۲۰۵	۰,۲۲۲	۰,۱۱۲	۰,۱۳۱	۰,۱۰۲	۰,۱۶۴	۰,۱۶۱
۲	۰,۱۴۳	۰,۱۴۱	۰,۱۶۳	۰,۱۰۳	۰,۱۴۰	۰,۰۷۴	۰,۲۴۱
۳	۰,۲۵۲	۰,۱۷۸	۰,۲۵۳	۰,۱۵۰	۰,۱۳۹	۰,۱۶۹	۰,۲۲۶
۴	۰,۱۲۷	۰,۱۶۱	۰,۱۵۳	۰,۱۷۷	۰,۲۴۵	۰,۱۷۶	۰,۱۹۶
۵	۰,۱۴۴	۰,۱۰۰	۰,۱۵۶	۰,۲۶۱	۰,۱۸۲	۰,۱۵۷	۰,۰۵۱
۶	۰,۱۲۹	۰,۱۹۸	۰,۱۶۴	۰,۱۷۷	۰,۱۹۲	۰,۲۶۰	۰,۱۲۵

جدول ۵. پ- میانگین و انحراف استاندارد درصد نقص کیفی تامین کنندگان به ازای هر کیلوگرم از هر

نوع قلم مورد تامین

تامین کننده	۱	۲	۳	۴	۵	۶
میانگین	۲ درصد	۴ درصد	۲ درصد	۳ درصد	۲,۵ درصد	۳,۵ درصد
انحراف	٪ ۲۰	٪ ۲۰	٪ ۲۰	٪ ۲۰	٪ ۲۰	٪ ۲۰
استاندارد	میانگین	میانگین	میانگین	میانگین	میانگین	میانگین

جدول ۶. پ- ظرفیت تامین کنندگان در تامین اقلام بر حسب کیلوگرم

تامین کننده اقلام	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱- پارچه نئوپرن	۳۱۰۰	۱۶۰۰	۱۴۰۰	۱۱۵۰	۱۹۰۰	۹۰۰
۲- پارچه کتان حوله ای	۱۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۶۰۰	۰
۳- پارچه نایلون جودون	۱۴۵۰	۱۲۰۰	۷۰۰	۸۰۰	-	۳۰۰

ORCID

Mehdi Seifbarghy



<http://orcid.org/۰۰۰۰-۰۰۰۲-۰۷۷۲-۴۵۰۹>

Shamim Sheikh Ghanbari



<http://orcid.org/۰۰۰۹-۰۰۰۸-۶۰۶۷-۴۴۸۴>

منابع

۱- سیف برقی، مهدی و یوسفی، مروارید (۱۴۰۳). مسئله انتخاب تامین کنندگان با استفاده از رویکرد ترکیبی گسترش عملکرد کیفی و ارزیابی مبتنی بر فاصله از متوسط راه حل ها در محیط نوتروسوفیک. فصلنامه مطالعات مدیریت صنعتی، دوره ۲۲، شماره ۷۳، صفحه ۵۷-۹۸.

References

۱. Ali, M. R., Nipu, S. M. A., & Khan, S. A. (۲۰۲۳). A decision support system for classifying supplier selection criteria using machine learning and random forest approach. *Decision Analytics Journal*, ۷, ۱۰۰۲۳۸. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.dajour.۲۰۲۳.۱۰۰۲۳۸>
۲. Babbar, C., & Amin, S. H. (۲۰۱۸). A multi-objective mathematical model integrating environmental concerns for supplier selection and order allocation based on fuzzy QFD in beverages industry. *Expert Systems with Applications*, ۹۲, ۲۷-۳۸. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.eswa.۲۰۱۷.۰۹.۰۴۱>
۳. Chen, T. (۲۰۱۶). XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. *Cornell University*. <https://doi.org/۱۰.۱۱۴۵/۲۹۳۹۶۷۲.۲۹۳۹۷۸۵>
۴. Friedman, J. H. (۲۰۰۱). Greedy function approximation: a gradient boosting machine. *Annals of statistics*, ۱۱۸۹-۱۲۳۲. <https://doi.org/۱۰.۱۲۱۴/aos/۱۰۱۳۲.۰۳۴۵۱>
۵. Gencer, C., & Gürpınar, D. (۲۰۰۷). Analytic network process in supplier selection: A case study in an electronic firm. *Applied mathematical modelling*, ۳۱(۱۱), ۲۴۷۵-۲۴۸۶. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.apm.۲۰۰۶.۱۰.۰۰۲>

استناد به این مقاله: نام خانوادگی نویسنده اول، نام. (سال). عنوان مقاله. عنوان نشریه (ایتالیک)، سال (شماره)، ص آغاز-ص پایان.



Name of Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial ۴.۰ International License.

٦. Hajiaghaei-Keshteli, M., Cenk, Z., Erdebilli, B., Özdemir, Y. S., & Gholian-Jouybari, F. (٢٠٢٣). Pythagorean fuzzy TOPSIS method for green supplier selection in the food industry. *Expert Systems with Applications*, ٢٢٤, ١٢٠٠٣٦. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120036>
٧. Hamidi, M., Seifbarghy, M., & Yousefi, M. (٢٠٢٦). Integration of Quality Function Deployment and MCDM Techniques in a Neutrosophic Environment for Supplier Selection and Evaluation. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, ٤٢(٠١), ٢٥٥٠٠١٨. <https://doi.org/10.1142/S.21509692000.186>
٨. Hosseini, Z. S., Flapper, S. D., & Pirayesh, M. (٢٠٢٢). Sustainable supplier selection and order allocation under demand, supplier availability and supplier grading uncertainties. *Computers & Industrial Engineering*, ١٦٥, ١٠٧٨١١. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107811>
٩. Islam, S., Amin, S. H., & Wardley, L. J. (٢٠٢١). Machine learning and optimization models for supplier selection and order allocation planning. *International Journal of Production Economics*, ٢٤٢, ١٠٨٣١٥. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108315>
١٠. Jafari-Raddani, M., Asgarabad, H. C., Aghsami, A. & Jolai, F. (٢٠٢٤). A hybrid approach to sustainable supplier selection and order allocation considering quality policies and demand forecasting: a real-life case study. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, ٨(١), ٣٩-٦٩. <https://doi.org/10.1007/s43670-023-00300-x>
١١. Javan-Molaei, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., Ghanavati-Nejad, M., & Asghari-Asl, A. (٢٠٢٤). A data-driven robust decision-making model for configuring a resilient and responsive relief supply chain under mixed uncertainty. *Annals of Operations Research*, ١-٢٨. <https://doi.org/10.1007/s10479-024-0638-w>
١٢. Khan, M. M., Bashar, I., Minhaj, G. M., Wasi, A. I., & Hossain, N. U. I. (٢٠٢٣). Resilient and sustainable supplier selection: an integration of SCOR ٤.٠ and machine learning approach. *Sustainable and Resilient Infrastructure*, ٨(٥), ٤٥٣-٤٦٩. <https://doi.org/10.1080/23747968.2023.2160782>
١٣. Khoshfetrat, S., Rahiminezhad Galankashi, M., & Almasi, M. (٢٠٢٠). Sustainable supplier selection and order allocation: a fuzzy approach. *Engineering Optimization*, ٥٢(٩), ١٤٩٤-١٥٠٧. <https://doi.org/10.1080/0305210X.2019.1663180>
١٤. Kumar, A., Mangla, S. K., & Kumar, P. (٢٠٢٥). A decision framework for supplier selection and order allocation for environmentally-sustainable perishable food supply chains. *Annals of Operations Research*, ٣٤٦(٢), ١١٥٣-١١٨٥. <https://doi.org/10.1007/s10479-024-06413-y>
١٥. Lo, H. W., Chi, C. Y., Pai, C. J., & Deveci, M. (٢٠٢٦). A data-driven two-stage decision-making model for supplier selection and negotiation-based procurement planning. *International Journal of Production Research*, ٦٤(١), ٣٩-٦٢. <https://doi.org/10.1080/00207179.2025.2039300>

۱۶. Miller, B. L., & Wagner, H. M. (۱۹۶۵). Chance constrained programming with joint constraints. *Operations research*, ۱۳(۶), ۹۴۵-۹۳۰.
<https://doi.org/10.1287/opre.13.6.930>
۱۷. Mohammed, A., Harris, I., & Govindan, K. (۲۰۱۹). A hybrid MCDM-FMOO approach for sustainable supplier selection and order allocation. *International Journal of Production Economics*, ۲۱۷, ۱۷۱-۱۸۴.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.02.003>
۱۸. Moheb-Alizadeh, H., & Handfield, R. (۲۰۱۸). An integrated chance-constrained stochastic model for efficient and sustainable supplier selection and order allocation. *International Journal of Production Research*, ۵۶(۲۱), ۶۸۹۰-۶۹۱۶. <https://doi.org/10.1080/00207179.2017.1413208>
۱۹. Moslem, S. (۲۰۲۰). Evaluating commuters' travel mode choice using the Z-number extension of Parsimonious Best Worst Method. *Applied Soft Computing*, ۱۷۳, ۱۱۲۹۱۸. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.112918>
۲۰. Nasr, A. K., Tavana, M., Alavi, B., & Mina, H. (۲۰۲۱). A novel fuzzy multi-objective circular supplier selection and order allocation model for sustainable closed-loop supply chains. *Journal of Cleaner Production*, ۲۸۷, ۱۲۴۹۹۴.
۲۱. Nayeri, S., Khoei, M. A., Rouhani-Tazangi, M. R., GhanavatiNejad, M., Rahmani, M., & Tirkolaee, E. B. (۲۰۲۳). A data-driven model for sustainable and resilient supplier selection and order allocation problem in a responsive supply chain: A case study of healthcare system. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, ۱۲۴, ۱۰۶۵۱۱.
<https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106511>
۲۲. Nazari-Shirkouhi, S., Tavakoli, M., Govindan, K., & Mousakhani, S. (۲۰۲۳). A hybrid approach using Z-number DEA model and Artificial Neural Network for Resilient supplier Selection. *Expert Systems with Applications*, ۲۲۲, ۱۱۹۷۴۶. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119746>
۲۳. Puška, A., Nedeljković, M., Pamučar, D., Božanić, D., & Simić, V. (۲۰۲۴). Application of the new simple weight calculation (SIWEC) method in the case study in the sales channels of agricultural products. *MethodsX*, ۱۳, ۱۰۲۹۳۰.
<https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102930>
۲۴. Robin, X., Haas, J., Gumieny, R., Smolinski, A., Tauriello, G., & Schwede, T. (۲۰۲۱). Continuous Automated Model EvaluatiOn (CAMEO)-Perspectives on the future of fully automated evaluation of structure prediction methods. *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, ۸۹(۱۲), ۱۹۷۷-۱۹۸۶.
<https://doi.org/10.1002/prot.26213>
۲۵. Saneei, M., Seifbarghy, M., & Hamidi, M. (۲۰۲۶). Sustainable supplier selection and order allocation using hybrid fuzzy weighting methods, scenario-based programming, and flexible robust optimisation. *International Journal of Mathematics in Operational Research*, ۳۲(۲), ۲۳۸-۲۸۵.
<https://doi.org/10.1504/IJMOR.2026.102311>

۲۶. Seifbarghy, M., & Hamidi, M. (۲۰۲۰). Supplier selection in Neutrosophic environment with a hybrid fuzzy decision-making method. *OPSEARCH*, ۱-۱۹. <https://doi.org/10.1007/s12099-020-01030-9>
۲۷. Sen, N., Temur, L., & Atilla, D. (۲۰۲۴). Yellow Fever Vaccine Demand Forecasting with ARIMA, SARIMA, Linear Regression and XGBoost. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3017602>
۲۸. Taghavi, S. M., Ghezavati, V., Mohammadi Bidhandi, H., & Mirzapour Al-e-Hashem, S. M. J. (۲۰۲۴). Sustainable and resilient supplier selection, order allocation, and production scheduling problem under disruption utilizing conditional value at risk. *Journal of Modelling in Management*, ۱۹(۲), ۶۰۸-۶۹۲. <https://doi.org/10.1108/JM2-10-2022-020>
۲۹. Tajally, A., Babakhani, B., Jeyzanibrahimzade, E., Parvin, M., & Irani, S. (۲۰۲۰). Sustainable supplier selection and order allocation problem considering the agility and resilience dimensions: a novel multi-stage data-driven decision-making approach. *International journal of systems science: Operations & logistics*, ۱۲(۱), ۲۴۰۸۷۵۶. <https://doi.org/10.1080/2323.2674.2020.2408756>
۳۰. Tavana, M., Mina, H., & Santos-Arteaga, F. J. (۲۰۲۳). A general Best-Worst method considering interdependency with application to innovation and technology assessment at NASA. *Journal of Business Research*, ۱۵۴, ۱۱۳۲۷۲. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.08.036>
۳۱. Vaezi, A., Rabbani, E., & Yazdian, S. A. (۲۰۲۴). Blockchain-integrated sustainable supplier selection and order allocation: A hybrid BW-MULTIMOORA and bi-objective programming approach. *Journal of Cleaner Production*, ۴۴۴, ۱۴۱۲۱۶. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141216>
۳۲. Vamarzani, M. Z., GhanavatiNejad, M., Tirkolaee, E. B., Simic, V., Sazvar, Z., & Nayeri, S. (۲۰۲۶). A hybrid data-driven approach for the viable supplier selection problem: a case study of the oil and gas industry. *Environment, Development and Sustainability*, ۱-۴۱. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-04198-w>
۳۳. Wang, G., Hu, X., Li, X., Zhang, Y., Feng, S., & Yang, A. (۲۰۲۰). Multiobjective decisions for provider selection and order allocation considering the position of the CODP in a logistics service supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, ۱۴۰, ۱۰۶۲۱۶. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106216>
۳۴. Więckowski, J., Kizielewicz, B., Shekhovtsov, A., & Sałabun, W. (۲۰۲۳). RANCOM: A novel approach to identifying criteria relevance based on inaccuracy expert judgments. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, ۱۲۲, ۱۰۶۱۱۴. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106114>

References [In Persian]

۳۵. Seifbarghy, M., & Yousefi, M. (۲۰۲۴). Supplier Selection Problem Using Combined Approaches of Neutrosophic-Based Quality Function Deployment and EDAS. *Journal of Industrial Management Studies*, ۲۲(۷۳), ۵۷-۹۸. <https://doi.org/۱۰.۲۲۰۵۴/jims.۲۰۲۴.۷۹۶۱۴,۲۹۱۴>

آماده انتشار