

A Stochastic Programming Model of Sustainable-Resilient Supplier Selection and Order Allocation under Disruption Risks – The Case of Iran-Khodro Supply Chain

(Document Type: Research Paper)

Asma Bakhtiari Tavana

Department of Industrial and Information Technology Management, Management and Accounting Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran,
asma.bakhtiari@yahoo.com

Masood Rabieh*

Department of Industrial and Information Technology Management, Management and Accounting Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, m_rabieh@sbu.ac.ir

Mahdi Esmaeili

Department of Industrial Management, Management and Accounting Faculty, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran, esmaeili.m.e@gmail.com

Purpose: Suppliers, as one of the vital partners of the supply chain, contribute to creating a sustainable supply chain. Also, resilient supplier selection can help to reduce the severity of the disruptions' effects. Thus, the simultaneous application of the sustainability and resilience principles in the process of supplier selection and order allocation plays a significant role in achieving sustainability and continuity of business processes in the occurrence of disruptions. This study aims to select a set of sustainable and resilient suppliers and to allocate demand in an automotive supply chain under disruption risks.

Design/methodology/approach: In this research, a hybrid approach has been presented for evaluating and ranking suppliers based on sustainability criteria and modeling the problem of selecting a sustainable-resilient supplier and order allocation under disruption risks. VIKOR (Vlse Kriterijumska Optimizacija Kompromisno Resenje which means multi-criteria optimization and compromise solution, in Serbian) as a multi-criteria decision-making technique has been used to determine the sustainability score of suppliers and the results have been considered as the input parameter for the mathematical model. The proposed mathematical model is two-stage stochastic programming to minimize total cost and maximizing sustainability performance in the case of disruptions, which is solved using the ϵ -constraint method. Multiple sourcing and flexibility in the production capacity of suppliers have been considered as effective strategies to reduce the severity of disruptions. Iran-Khodro supply chain data has been also used to validate the research model. Finally, sensitivity analysis has been performed to investigate the effects of parameters' change on the final results.

Findings: The results indicated that by increasing the importance coefficient of sustainability performance in the supply chain, the overall value of the supply process increases during disruptions,

* Corresponding author

Copyright © 2020, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

and multiple sourcing and the use of suppliers' flexible capacity are effective strategies in reducing the severity of disruptions. Also, examining the effect of reliability on the expected cost indicates that the occurrence probability of disruption risk in suppliers can affect the total cost of the procurement process and can also reduce the sustainability goals.

Research limitations/implications: In this research, the effect of disruption risk has been examined. As a subject of future study, the operational risk is suggested to be recognized in the supplier selection problem. Besides, unique events have been considered in the model of this research. In the future, semi-super and super events can be also studied. Finally, using other resilience strategies in supplier selection problem such as adopting backup suppliers, protecting suppliers, and pre-positioning inventory can be a potential direction for future research.

Practical implications: The company under study can consider the results of the presented model and focus on utilizing suppliers' flexible capacity, multiple sourcing instead of single sourcing of parts, partially. Given the importance of sustainable development, particularly in automotive supply chains, it is essential to consider the sustainability performance of suppliers in sourcing decisions with disruption risk in addition to cost and reliability criteria. Thus, the company can evaluate the suppliers' sustainable performance in the occurrence of disruption to achieve sustainable development and business continuity and to meet the needs of stakeholders.

Social implications: Due to the subject of this study, i.e. sustainable supplier selection in the resilient supply chain, the performance of each supplier has been evaluated based on social and environmental criteria to consider social responsibility and environmental issues in the sourcing decisions under disruption risk.

Originality/value: A few studies have taken into account the dimensions of sustainability and supplier risk simultaneously in the field of supplier selection and demand allocation. Flexibility in the supply capacity of the supplier, as an effective resilience strategy, and economic criteria such as C/100 index, PPM production line, payday resistance, communication system, etc. have not been studied in the literature of sustainable and resilient supplier selection.

Keywords: Supplier selection, Order allocation, Sustainability, Resilience, Disruption risk, Stochastic Programming

مدیریت تولید و عملیات، دوره ۱۱، شماره ۱، پیاپی ۲۰، بهار ۱۳۹۹

دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۵ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۱۹

صص: ۱۳۲-۱۱۱ (نوع مقاله: پژوهشی)

مدل برنامه‌ریزی تصادفی انتخاب تأمین‌کننده پایدار- تاب‌آور و تخصیص سفارش تحت ریسک‌های اختلال (مورد مطالعه: زنجیره تأمین ایران خودرو)

اسماء بختیاری توانا^۱، مسعود ربیع^{۲*}، مهدی اسماعیلی^۳

۱- کارشناس ارشد مدیریت صنعتی و فناوری اطلاعات، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران، asma.bakhtiari@yahoo.com

۲- استادیار مدیریت صنعتی و فناوری اطلاعات، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران، m_rabieh@sbu.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران، esmaeili.m.e@gmail.com

چکیده: به‌کارگیری هم‌زمان اصول پایداری و تاب‌آوری در فرایند انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش، نقش بسیار مهمی در دستیابی به پایداری و تداوم فرایندهای کسب‌وکار در شرایط وقوع اختلال‌ها دارد. در این پژوهش، رویکردی ترکیبی، شامل ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان براساس معیارهای پایداری و مدل‌سازی مسئله انتخاب تأمین‌کننده پایدار- تاب‌آور و تخصیص سفارش تحت ریسک‌های اختلال معرفی می‌شود. درحقیقت، برای تعیین امتیاز پایداری تأمین‌کنندگان، یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (VIKOR) به کار می‌رود که نتایج حاصل از آن، پارامتر ورودی برای مدل ریاضی است. مدل ریاضی پیشنهادی از نوع برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای با هدف حداقل‌سازی هزینه کل و بیشینه‌سازی عملکرد پایداری در شرایط اختلال است که با استفاده از روش محدودیت افسیلون حل و برای بررسی اثر تغییر پارامترها بر نتایج نهایی، تحلیل حساسیت نیز انجام می‌شود. همچنین برای نشان دادن عملکرد مدل پژوهش، از موردی مطالعاتی (زنجیره تأمین ایران خودرو) استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد با افزایش ضریب اهمیت عملکرد پایداری در زنجیره تأمین، ارزش کلی فرایند تأمین در زمان اختلال‌ها افزایش می‌یابد و منبع‌یابی چندگانه و استفاده از ظرفیت منعطف تأمین‌کنندگان، یک استراتژی مؤثر تاب‌آور برای کاهش شدت اختلال‌هاست.

واژه‌های کلیدی: انتخاب تأمین‌کننده، تخصیص سفارش، پایداری، تاب‌آوری، ریسک اختلال، برنامه‌ریزی

تصادفی

*نویسنده مسؤول

۱- مقدمه

در بازار جهانی رقابتی امروز، شرکت‌ها به واگذاری برخی از فرایندهای کسب‌وکار خود به سازمان‌های خارجی، تمایل بیشتری یافته‌اند. کاهش هزینه، بهبود کیفیت محصول، نوآوری خدمات و افزایش قابلیت‌های رقابتی با تمرکز بر شایستگی‌های اصلی، از جمله دلایل شرکت‌ها برای برون‌سپاری محصولات و خدماتشان است (ترابی و همکاران، ۲۰۱۵؛ حسینی و همکاران، ۲۰۱۹). مسئله انتخاب پایه تأمین^۱ مناسب، تصمیمی چالش‌برانگیز در برون‌سپاری است و نقش مهمی در موفقیت زنجیره‌های تأمین، به‌خصوص زنجیره تأمین جهانی بازی می‌کند (ترابی و همکاران، ۲۰۱۵). در سال‌های اخیر، افزایش رقابت جهانی، فشارهای ذی‌نفعان مختلف، به‌ویژه قانون‌گذاران دولتی و فعالان اجتماعی و زیست‌محیطی، بسیاری از سازمان‌ها را به لحاظ کردن پایداری در عملکردشان ملزم کرده است (ربیع و همکاران، ۲۰۱۹). تأمین‌کنندگان به‌عنوان شریک حیاتی زنجیره تأمین بالادست، سهم بسزایی در دستیابی به پایداری صنعت دارند؛ از این‌رو، انتخاب تأمین‌کنندگان از منظر پایداری، تصمیم استراتژیک و مهمی است. انتخاب تأمین‌کننده پایدار، مستلزم ارزیابی عملکرد تأمین‌کننده براساس ابعاد سه‌گانه^۲ اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است (جین و سینگ^۳، ۲۰۲۰).

امروزه، زنجیره‌های تأمین به‌علت جهانی‌شدن، بیشتر در معرض تهدیدهای طبیعی، انسانی یا تکنولوژیکی همچون سیل، زلزله، آتش‌سوزی، حوادث حمل‌ونقل، اعتصاب‌های کارگری، حملات تروریستی، بیماری‌ها، رکود اقتصادی و غیره قرار دارد (تیت^۴ و همکاران، ۲۰۱۱؛ امین‌دوست، ۲۰۱۸). چنین رویدادهایی باعث اختلال در زنجیره تأمین می‌شود که بهره‌وری، درآمد، مزیت رقابتی، سودآوری و غیره را می‌تواند کاهش دهد؛ بنابراین، با توجه به وقوع اختلال‌ها در زنجیره تأمین و تأثیر آنها بر عملکرد شرکت‌ها، فراهم کردن یک رویکرد تاب‌آوری برای زنجیره تأمین برای محافظت از خریدار در برابر کمبودها و اختلال‌ها، ضروری است. از آنجا که تأمین‌کنندگان به‌عنوان یکی از منابع اصلی آسیب‌پذیری، بر موفقیت زنجیره تأمین اثر می‌گذارند، تاب‌آوری در تصمیم‌گیری انتخاب تأمین‌کننده برای کاهش شدت آثار اختلال‌ها باید در نظر گرفته شود.

وجود اختلال‌ها در زنجیره تأمین، باعث کاهش اهداف پایداری آن می‌شود (امین‌دوست، ۲۰۱۸)؛ بنابراین، شیوه‌های تاب‌آوری در شرایط بحرانی، به ایجاد پایداری در زنجیره تأمین کمک می‌کند و درحقیقت، تاب‌آوری، مزیت رقابتی پایداری برای تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین است (ولی‌پور پرکوهی و همکاران، ۲۰۱۹). با توجه به اینکه توسعه پایدار، بخش جدایی‌ناپذیر تقریباً هر کسب‌وکاری در دنیای امروز است، این واقعیت، خواستار رویکردهای مدیریتی است که هنگام طراحی زنجیره تأمین تاب‌آور، سه بعد پایداری (اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی) را در نظر بگیرد. در مبانی زنجیره تأمین، تاب‌آوری و پایداری در زنجیره تأمین هم‌زمان با هم و نیز ارتباط آنها بررسی شده است؛ به‌عنوان مثال، جبارزاده و همکاران (۲۰۱۸)، ارتباط پایداری- تاب‌آوری را در طراحی زنجیره تأمین بررسی کردند. راجش^۵ (۲۰۱۸) در پژوهش خود، مراحل تکامل زنجیره‌های تأمین تاب‌آور و پایدار را بررسی کرد. در پژوهشی دیگر، رمضانخانی و همکاران (۲۰۱۸)، عملکرد زنجیره تأمین را از دیدگاه دو مفهوم پایداری و تاب‌آوری ارزیابی کردند. در مبانی انتخاب تأمین‌کننده نیز مفهوم تاب‌آوری و پایداری، به‌طور مستقل و یا هم‌زمان بررسی شده است. در جدول شماره ۱، برخی از مطالعات انجام‌شده در این حوزه، ارائه شده است. ترابی و همکاران (۲۰۱۵) با بهره‌گیری از یک مدل احتمالی- تصادفی دوهدفه به انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش تحت ریسک‌های اختلال و عملیاتی در زنجیره تأمین تاب‌آور توجه کردند. آنها استراتژی‌های تقویت تأمین‌کنندگان،

عقد قرارداد با تأمین‌کنندگان پشتیبان و برنامه‌های تداوم کسب‌وکار تأمین‌کنندگان را برای افزایش سطح تاب‌آوری در نظر گرفتند. کمال‌احمدی و ملت‌پرست (۲۰۱۶) برای بررسی تخصیص بهینه تقاضا بین تأمین‌کنندگانی که با ریسک تأمین و ریسک محیطی مواجه می‌شوند و همچنین انتخاب کانال حمل‌ونقل، یک مدل برنامه‌ریزی دومرحله‌ای عدد صحیح مختلط ارائه دادند و برای تأمین‌کنندگان، یک ظرفیت تأمین منعطف در نظر گرفتند. نتایج نشان داد توسعه برنامه‌های اقتضایی با استفاده از انعطاف‌پذیری در ظرفیت تولید تأمین‌کنندگان، استراتژی مؤثری برای کاهش حساسیت اختلال‌هاست. یکی از پژوهش‌های اخیر در حوزه پایداری، پژوهش آزادنیسا و همکاران (۲۰۱۵) است که پژوهشگران در آن، رویکرد ترکیبی مبتنی بر روش وزنی فازی مبتنی بر قانون^۶ (برای ارزیابی تأمین‌کنندگان براساس معیارهای اجتماعی و زیست‌محیطی)، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی^۷ (برای ارزیابی تأمین‌کنندگان براساس معیارهای کیفی اقتصادی) و برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه را برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار و تخصیص سفارش معرفی کردند. ربیع و همکاران (۲۰۱۹) به کمک روش دلفی، شاخص‌های ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان شرکت مورد مطالعه (ساپکو) را در سه بعد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شناسایی؛ سپس با استفاده از این شاخص‌ها، مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه‌ای را برای حل مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش به آنها ارائه کردند. جین و سینگ (۲۰۲۰) مسئله ارزیابی عملکرد پایداری تأمین‌کنندگان و انتخاب بهترین تأمین‌کنندگان را در صنعت آهن و فولاد بررسی کردند. آنها چارچوب تصمیم‌گیری ای مبتنی بر سیستم استنتاج فازی^۸ پیشنهاد دادند که شامل مدل کانو فازی^۹ برای خوشه‌بندی معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است. پژوهش‌های ذکرشده، مسئله انتخاب تأمین‌کننده براساس رویکرد تاب‌آوری و یا شاخص‌های پایداری را بررسی کرده‌اند؛ به عبارت دیگر، در نظر گرفتن هم‌زمان معیارهای تاب‌آوری و پایداری در مدیریت زنجیره تأمین، حوزه پژوهشی نوظهوری است. با این حال، به‌تازگی، مطالعات محدودی در زمینه انتخاب تأمین‌کننده، مفاهیم پایداری و تاب‌آوری و نیز ریسک تأمین‌کننده را به‌طور هم‌زمان بررسی کرده‌اند. در ادامه، به برخی از این پژوهش‌ها اشاره شده است.

وحیدی و همکاران (۲۰۱۸) برای اولین بار در مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش، معیارهای پایداری و تاب‌آوری را در نظر گرفتند. آنها برای انتخاب تأثیرگذارترین معیارهای پایداری از تجزیه‌وتحلیل SWOT^{۱۰} و مدل گسترش عملکرد کیفیت^{۱۱} استفاده کردند و با بهره‌گیری از یک مدل برنامه‌ریزی احتمالی - تصادفی دوهدفه و ارائه یک تابع هدف مختلط پایداری- تاب‌آوری به انتخاب پایه تأمین پایدار و تاب‌آور توجه کردند. استراتژی‌های پیشگیرانه برای افزایش سطح تاب‌آوری پایه تأمین، شامل قرارداد با تأمین‌کنندگان پشتیبان و در نظر گرفتن ظرفیت اضافی برای گره‌های تأمین بود. آنها برای اعتبارسنجی و کاربرد مدل توسعه‌یافته از مثال‌های عددی و موردی مطالعاتی استفاده کردند. امین‌دوست (۲۰۱۸) چارچوب تاب‌آور- پایداری را براساس شاخص‌های انتخاب تأمین‌کننده پیشنهاد کرد. وی برای مقابله با عدم قطعیت و ذهنیت در فرایند تصمیم‌گیری انتخاب تأمین‌کننده، از نظریه مجموعه فازی^{۱۲} و برای محاسبه شاخص‌های وابستگی تأمین‌کنندگان در رابطه با پایداری و تاب‌آوری از سیستم استنتاج فازی و نیز برای تعیین وزن شاخص‌ها برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان از روش تحلیل پوششی داده‌ها^{۱۳} استفاده کرد. عرب‌شیبانی و همکاران (۲۰۱۸) با بهره‌گیری از رویکردی یکپارچه مبتنی بر مورا فازی برای تعیین امتیاز تأمین‌کننده و تجزیه‌وتحلیل حالت‌های شکست و آثار آن^{۱۴} برای بررسی و تعیین ریسک‌های تأمین‌کننده، به ارزیابی عملکرد کلی تأمین‌کننده اقدام کردند. علاوه بر این، یک مدل ریاضی چندهدفه برای در نظر

گرفتن پایداری تأمین‌کننده، تخصیص سفارش و نیز تخفیف‌های مقداری ارائه دادند. آنها کارایی و کاربرد رویکرد پیشنهادی را با مطالعه‌ای موردی نشان دادند. نتایج نشان داد به‌کارگیری مدل ارائه‌شده، علاوه بر اینکه سود کل را افزایش می‌دهد، موجب کاهش میزان ریسک‌های ناشی از پایداری نیز می‌شود. علیخانی و همکاران (۲۰۱۹) در مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان، عوامل پایداری و ریسک تأمین‌کننده را به‌صورت هم‌زمان و نیز رابطه پایداری و ریسک را در نظر گرفتند. برای این منظور، از مجموعه‌های فازی فاصله‌ای نوع دوم^{۱۵} برای مواجهه با قضاوت شهودی تصمیم‌گیرندگان پیرامون ریسک تأمین‌کننده و تفسیر آن به اعداد قطعی استفاده کردند. آنها با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها با کارایی زیاد، میزان اهمیت شاخص‌های پایداری را تعیین و تأمین‌کنندگان منتخب را رتبه‌بندی کردند. در این مدل، معیارهای پایداری تعیین شده، به‌عنوان ورودی و عوامل ریسک هر تأمین‌کننده، به‌عنوان خروجی در نظر گرفته شد. آنها برای نشان‌دادن کارایی چارچوب پیشنهادی از موردی مطالعاتی استفاده کردند. نتایج نشان داد در نظر گرفتن شاخص‌های پایداری و یا عوامل ریسک، به‌طور مجزا به تصمیم‌های نادرست منجر می‌شود. چراغعلی‌پور و فرساد (۲۰۱۸) در مطالعه خود، روش ترکیبی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط و تصمیم‌گیری چندمعیاره را برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار و تخصیص سفارش با در نظر گرفتن تخفیف‌های مقداری در شرایط وجود ریسک اختلال ارائه کردند. آنها از روش بهترین-بدترین^{۱۶} برای محاسبه اوزان معیارهای پایداری تعیین شده و نیز مشخص کردن امتیاز هر تأمین‌کننده بالقوه براساس این معیارها بهره گرفتند. اهداف مدل ریاضی پیشنهادی آنها به حداقل رساندن هزینه کل و به حداکثر رساندن امتیاز همه تأمین‌کنندگان با توجه به جنبه‌های پایداری بود. آنها روش برنامه‌ریزی آرمانی چندانتخابی تجدیدنظرشده^{۱۷} را برای حل مدل ریاضی دوهدفه به کار گرفتند و مطالعه‌ای موردی را برای نشان‌دادن کارایی و عملکرد مدل پیشنهادی ارائه دادند.

مرور این پژوهش‌ها نشان می‌دهد مطالعات محدودی در حوزه انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش با در نظر گرفتن ابعاد پایداری، تاب‌آوری زنجیره تأمین و یا ریسک تأمین‌کننده، به‌طور هم‌زمان انجام شده است. با توجه به جدول شماره ۱، فقط در یک پژوهش (وحیدی و همکاران، ۲۰۱۸) در مسئله انتخاب تأمین‌کننده پایدار و تاب‌آور برای مواجهه با ریسک اختلال از برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای استفاده شده است. همچنین انعطاف‌پذیری در ظرفیت تولید تأمین‌کننده و نیز برخی از معیارهای اقتصادی پژوهش حاضر (مانند شاخص $C/100$ ، PPM خط تولید، مقاومت به روزپرداخت، سیستم ارتباطی و ...) تاکنون در مطالعات انجام‌شده با موضوع انتخاب تأمین‌کننده پایدار و تاب‌آور در نظر گرفته نشده است؛ بنابراین، هدف پژوهش حاضر، انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار و تاب‌آور و تخصیص سفارش تحت ریسک اختلال برپایه روش ترکیبی ویکور و برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای دوهدفه است؛ به‌گونه‌ای که تداوم کسب‌وکار در زمان اختلال‌ها و نیز حرکت به سمت پایداری مهیا شود و هزینه کل مورد انتظار به حداقل برسد. در این پژوهش، منبع‌یابی چندگانه و انعطاف‌پذیری در ظرفیت تولید تأمین‌کنندگان به‌عنوان استراتژی مؤثری برای کاهش شدت اختلال‌ها در نظر گرفته شده است.

در ادامه، در بخش دوم، مروری اجمالی بر مبانی نظری پژوهش انجام می‌شود. روش‌شناسی پژوهش در بخش سوم و مطالعه کاربردی و یافته‌های پژوهش در بخش چهارم ارائه می‌شود. بخش پنجم به تفسیر یافته‌های پژوهش و تحلیل حساسیت اختصاص می‌یابد و در بخش ششم، نتیجه‌گیری و پیشنهادها برای پژوهش‌های بعدی مطرح می‌شود.

۲- مبانی نظری

در این بخش، مواردی از مفاهیم و مبانی نظری پژوهش حاضر و خلاصه‌ای از پیشینه ارائه شده در مقدمه در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

۲-۱- انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش

ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده، مهم‌ترین وظیفه بخش تهیه و تدارکات هر شرکت تولیدی و فرایند یافتن بهترین تأمین‌کنندگانی است که بتوانند کالا و خدمات با کیفیت را در زمان مناسب و با قیمت منصفانه فراهم کنند (حسینی و الخالد^{۱۸}، ۲۰۱۶). منظور از تخصیص سفارش نیز تصمیم‌گیری درباره تخصیص تقاضا بین تأمین‌کنندگان انتخاب‌شده براساس قیمت، تخفیفات مقداری، حداکثر ظرفیت و قابلیت اطمینان تأمین‌کننده است (مینا و سارما^{۱۹}، ۲۰۱۶).

۲-۲- تاب‌آوری زنجیره تأمین

در سال‌های اخیر، پژوهشگران و مدیران صنعت به ایده تاب‌آوری زنجیره تأمین برای کاهش آثار بالقوه اختلال‌ها توجه بیشتری کرده‌اند. با توجه به نوظهوری مفهوم تاب‌آوری در زنجیره تأمین، در حال حاضر، تعریف مشخص و پایه‌ای برای آن وجود ندارد؛ اما کاربردی‌ترین تعریف برای تاب‌آوری زنجیره تأمین عبارت است از: توانایی زنجیره تأمین برای بازگشت به وضعیت اولیه یا وضعیت جدید مطلوب‌تر پس از بروز اختلال (کریستوفر و پک^{۲۰}، ۲۰۰۴).

۲-۳- ریسک اختلال

برگر^{۲۱} و همکاران (۲۰۰۴) برای اولین بار، ریسک اختلال تأمین‌کننده را در انتخاب تأمین‌کننده بررسی و با استفاده از رویکرد درخت تصمیم، تعداد بهینه تأمین‌کنندگان را تعیین کردند. در مبانی نظری پژوهش، ریسک اختلال به اختلال‌های عمده‌ای اشاره دارد که به‌علت حوادث طبیعی، انسانی یا تهدیدهای تکنولوژیکی (مانند زلزله، سیل، حملات تروریستی یا اعتصاب کارکنان) رخ می‌دهد (ترابی و همکاران، ۲۰۱۵).

۲-۴- تکنیک ویکور

در پژوهش حاضر از تکنیک ویکور^{۲۲} برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان استفاده شده است. روش ویکور را اپریکوویچ (۱۹۹۸) و اپریکوویچ و تی‌ژنگ^{۲۳} (۲۰۰۴) برای مقابله با مشکلات تصمیم‌گیری چندمعیاره در سیستم‌های پیچیده معرفی کردند. این روش بر رتبه‌بندی و انتخاب از مجموعه‌ای از گزینه‌ها متمرکز است و جواب‌های سازشی را برای یک مسئله با معیارهای متناقض تعیین می‌کند که تصمیم‌گیرندگان را در دستیابی به یک تصمیم نهایی یاری می‌دهد. جواب سازشی، جوابی ممکن، نزدیک به جواب ایدئال است و کلمه سازش به توافق با تبادلات متقابل اشاره دارد. راه حل سازشی، یک شاخص رتبه‌بندی براساس نزدیکی به جواب ایدئال ایجاد می‌کند (اپریکوویچ و تی‌ژنگ، ۲۰۰۷؛ علیخانی و همکاران، ۲۰۱۹).

جدول ۱- مروری بر مطالعات اخیر انتخاب تأمین‌کننده پایدار و تاب‌آور

نویسنده	تخصیص سفارش	معیارهای پایداری			ریسک اختلال تأمین‌کننده	ظرفیست منعطف تأمین‌کننده	مطالعه موردی	روش حل
		اقتصادی	اجتماعی	زیست محیطی				
ترابی و همکاران (۲۰۱۵)	✓	✓	-	-	✓	-	برنامه‌ریزی احتمالی- تصادفی دوهدفه	
آزادنیا و همکاران (۲۰۱۵)	✓	✓	✓	✓	-	-	روش وزنی فازی مبتنی بر قانون، FAHP و برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه	
کمال‌احمدی و ملت‌پرست (۲۰۱۶)	✓	✓	-	-	✓	✓	برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای	
ربیع و همکاران (۲۰۱۹)	✓	✓	✓	✓	-	-	دلفی، TOPSIS فازی و برنامه‌ریزی چندهدفه	
وحیدی و همکاران (۲۰۱۸)	✓	✓	✓	✓	✓	-	ترکیبی SWOT- QFD برنامه‌ریزی احتمالی- تصادفی	
امین‌دوست (۲۰۱۸)	-	✓	✓	✓	-	-	نظریه مجموعه فازی، سیستم استنتاج فازی و DEA	
عرب‌شیبانی و همکاران (۲۰۱۸)	✓	✓	✓	✓	✓	-	مورا فازی و FMEA مدل‌سازی ریاضی چندهدفه	
چراغعلی‌پور و فرساد (۲۰۱۸)	✓	✓	✓	✓	✓	-	BWM و برنامه‌ریزی آرمانی چندانتخابی تجدید نظر شده	
علیخانی و همکاران (۲۰۱۹)	-	✓	✓	✓	✓	-	مجموعه‌های فازی فاصله‌ای نوع دوم و VIKOR و DEA	
جین و سینگ (۲۰۲۰)	-	✓	✓	✓	-	-	مدل کانو فازی و سیستم استنتاج فازی	
پژوهش جاری	✓	✓	✓	✓	✓	✓	ویکور و مدل‌سازی تصادفی دومرحله‌ای دوهدفه	

۳- روش‌شناسی پژوهش

۳-۱- تعریف مسئله

در پژوهش حاضر، رویکردی ترکیبی برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده پایدار- تاب‌آور و تخصیص سفارش تحت ریسک اختلال به کار رفته است که به‌طور کلی، شامل دو بخش است. در بخش اول، عملکرد پایداری تأمین‌کنندگان براساس معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی ارزیابی شده است. بدین‌منظور، پس از تعیین معیارهای مناسب پایداری با تأیید کارشناسان زنجیره تأمین مورد مطالعه، از روش ویکور برای تعیین امتیاز پایداری تأمین‌کنندگان استفاده شده است. در بخش دوم، مدل برنامه‌ریزی تصادفی عدد صحیح دوهدفه‌ای ارائه شده است که در تابع هدف دوم امتیازهای پایداری به‌دست‌آمده در مرحله اول، به‌عنوان پارامترهای ورودی استفاده شده است. سایر داده‌های لازم مدل با رجوع به مستندات سازمانی و مصاحبه با کارشناسان جمع‌آوری شده است. شکل شماره ۱، مراحل انجام‌دادن این پژوهش را نشان می‌دهد. نمونه مورد مطالعه این پژوهش، زنجیره تأمین ایران‌خودرو است که متولی سازمانی پژوهش، شرکت سایکو است. درحقیقت، ریسک اختلال (مانند بلایای طبیعی، تحریم‌های بین‌المللی، نوسان‌های نرخ ارز، اعتصاب کارکنان و ...) بر تأمین‌کنندگان قطعات خودرو به‌علت گستردگی و پیچیدگی زنجیره‌های تأمین خودروسازی، تأثیر زیادی دارد. یک خودرو به‌طور متوسط از ۲۰۰۰۰ قطعه تشکیل شده است و در صورت در دسترس نبودن یکی از قطعات، تولید محصول نهایی امکان‌پذیر نخواهد بود. همچنین انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار، یعنی تأمین‌کنندگانی که در فرایند عملیات خود، علاوه بر عوامل اقتصادی، موضوعات اجتماعی و زیست‌محیطی را لحاظ کنند، برای دستیابی به پایداری، به‌خصوص در صنایع خودروسازی، بسیار مهم است؛ زیرا محصولات این صنایع در طول مصرف، تعامل زیادی با جامعه و محیط‌زیست دارد.

مدل ارائه‌شده در این پژوهش، که مدل توسعه‌یافته پژوهش کمال‌احمدی و ملت‌پرست (۲۰۱۶) است، به‌لحاظ در نظر گرفتن سناریو برای ریسک‌های اختلال، از نوع برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای است که در آن، تصمیم‌ها به دو گروه تقسیم می‌شود: (۱) تصمیم‌های مرحله اول که بدون آگاهی از وقوع سناریو تصادفی اتخاذ می‌شود و (۲) تصمیم‌های مرحله دوم که پس از وقوع هر سناریو برای جبران آثار نامطلوب احتمالی تصمیم‌های مرحله اول گرفته می‌شود (فالاسکا و زوبل^{۲۴}، ۲۰۱۱). ریسک اختلال با نسبت‌دادن احتمال به هر سناریوی بالقوه‌ای که ممکن است به‌علت شکست تأمین‌کنندگان رخ دهد، در نظر گرفته شده است. در هر سناریو، تأمین‌کنندگان ممکن است دچار اختلال شوند و نتوانند مقدار سفارش تخصیص‌یافته را ارائه دهند؛ بنابراین، پارامتر صفر و یک $Sos_{s,h}$ در مدل ریاضی، وضعیت تحویل‌دادن یا ندادن سفارش برای هر تأمین‌کننده h در سناریوی s را نشان می‌دهد؛ به عبارت دیگر، اگر مقدار این پارامتر برابر با یک باشد، یعنی تأمین‌کننده h در هر سناریوی s دچار اختلال نشده و در دسترس است و اگر برابر با صفر باشد، به معنای مختل شدن هر تأمین‌کننده و تحویل‌ندادن مقدار سفارش تخصیص‌یافته است. تعداد سناریوهای بالقوه 2^h خواهد بود و هر سناریو s احتمال وقوع p_s دارد که به‌صورت ذیل محاسبه می‌شود:

$$p_s = \prod_h [(1 - Sos_{s,h})p_h + Sos_{s,h}(1 - p_h)] \quad (1)$$

در رابطه مذکور، پارامتر ph نشان‌دهنده احتمال وقوع رویداد اختلال برای تأمین‌کننده h است که با توجه به نظر خبرگان و داده‌های تاریخی تعیین می‌شود. مدل ریاضی پیشنهادی در مقایسه با مدل کمال‌احمدی و ملت‌پرست (۲۰۱۶)، چندمحصولی و دوهدفه است و علاوه بر تابع هدف هزینه کل مورد انتظار، تابع هدف جدیدی برای لحاظ کردن مفهوم پایداری در مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان و نیز محدودیت‌هایی مانند محدودیت حداقل سفارش به هر تأمین‌کننده و حداکثر نرخ خرابی قطعات تعریف شده است. نرخ خرابی به درصد قطعاتی اشاره دارد که از شرکت تأمین‌کننده به صورت معیوب ارسال می‌شود که این خرابی‌ها ممکن است به علت حوادث حمل‌ونقل، مسائل تکنولوژیکی و خطاهای انسانی رخ دهد. همچنین این پژوهش به کاربرد عملی مدل ارائه شده در شرایط واقعی توجه کرده است. همانگونه که بیان شد، در مدل پیشنهادی، پارامتری برای انعطاف‌پذیری ظرفیت تأمین‌کنندگان در نظر گرفته شده است که به آنها امکان می‌دهد هنگام مواجه شدن سایر تأمین‌کنندگان با ریسک اختلال، نیاز شرکت را با تحویل قطعاتی بیشتر از میزان سفارش تخصیص یافته به آنها برآورده کنند.



شکل ۱- مراحل پژوهش

۳-۲- ارزیابی عملکرد پایداری تأمین‌کنندگان

برای ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان با توجه به جنبه‌های پایداری، معیارها و زیرمعیارهایی بنا بر نظر کارشناسان شرکت مورد مطالعه و معیارهای استفاده شده در پژوهش ربیعه و همکاران (۲۰۱۹) به کار رفته که در جدول شماره ۲، این معیارها و نیز تعریف مختصری از آنها ارائه شده است. برای تعیین مقادیر این معیارها پرسش‌نامه‌ای طراحی شد و در اختیار خبرگان مرتبط با موضوع پژوهش قرار گرفت تا عملکرد هر یک از تأمین‌کنندگان را براساس معیارهای پایداری ارزیابی کنند.

جدول ۲- معیارها و زیرمعیارهای پایداری به‌کاررفته در مدل پیشنهادی

معیارهای اقتصادی		
معیارها	زیرمعیارها	تعریف
انحراف از قیمت برنامه‌ریزی شده	-	میزان تفاوت قیمت ارائه‌شده توسط هر تأمین‌کننده نسبت به قیمت متداول در صنعت
هزینه گارانتی	-	هزینه‌ای که بابت رفع نقص قطعات معیوب پرداخت می‌شود.
کیفیت	PPM خط تولید	شاخص کیفی تعداد قطعات برگشتی
	شاخص C/100	شاخص کیفی تعداد قطعات برگشتی
عملکرد تحویل	توقف خط تولید	مجموع مدت زمانی که سازمان موجب توقف خط تولید مشتری می‌شود.
	تأخیر زمانی کانبان	تحویل در زمان تعیین‌شده، اما با مقداری کمتر از سفارش تخصیص‌یافته
	تأخیر حجمی کانبان	تأخیر تأمین‌کننده در زمان تحویل سفارش
سطح تکنولوژی	دانش	سطح دانش تأمین‌کننده در برآورده کردن نیازهای فعلی و آتی تأمین‌کننده
	قابلیت‌های فنی	سطح قابلیت‌های فنی تأمین‌کننده در برآورده کردن نیازهای فعلی و آتی تأمین‌کننده
مقاومت به روزپرداخت	-	تعداد روزهایی که تأمین‌کننده پس از ارسال قطعات به خریدار به آن شرکت برای پرداخت هزینه مهلت می‌دهد.
ظرفیت تولیدی	-	حداکثر توان تولید تأمین‌کنندگان
سیستم ارتباطی	-	میزان تبادل اطلاعات به‌صورت برخط
معیارهای زیست‌محیطی		
سیستم مدیریت زیست‌محیطی	داشتن گواهی ایزو ۱۴۰۰۱	سیستم مدیریت زیست‌محیطی، بخشی از سیستم مدیریت است که شامل ساختار سازمانی، فعالیت‌های طرح‌ریزی، مسئولیت‌ها، روش‌ها، فرایندها و منابع برای تهیه، اجرا، حصول، بازنگری و حفظ خط‌مشی زیست‌محیطی است.
	اجرای سیاست‌های	
	پیشگیری از آلودگی	
	برنامه‌ریزی برای اهداف زیست‌محیطی	
طراحی و تولید سبز	تخصیص مسئولیت‌های زیست‌محیطی	طراحی محصول متناسب با الزامات زیست‌محیطی
	تولید سبز	تولید محصولات دوستدار طبیعت
معیارهای اجتماعی		
سلامت و ایمنی نیروی کار	-	میزان اجرای سیاست‌های حمایت از کارکنان برای حفظ سلامت جسمی و روحی آنان در شرکت تأمین‌کننده
پاسخگویی	احترام به قانون	میزان توجه تأمین‌کننده به الزامات حقوقی و قانونی
	احترام به علایق ذی‌نفعان	توان سازمان در برآورده کردن علایق ذی‌نفعان مستقیم و غیرمستقیم خود
	احترام به حقوق اجتماعی کارکنان	میزان توجه سازمان به مسائل اجتماعی و انسانی کارکنان جدای از مسائل اقتصادی آنها

۳-۳- مدل ریاضی مسئله

مفروضات مدل

۱. احتمال وقوع رویداد اختلال برای تأمین‌کنندگان متفاوت است.
۲. احتمال هر سناریو متفاوت و با استفاده از فرمول محاسبه می‌شود.
۳. تنها یک نقطه تقاضا (شرکت خریدار) وجود دارد.
۴. تقاضا برای هر قطعه مستقل، قطعی و معین است.

اندیس‌های مدل

$H = \{1, \dots, h\}$	مجموعه تأمین‌کنندگان	H
$I = \{1, \dots, n\}$	مجموعه قطعات	I
$S = \{1, \dots, s\}$	مجموعه سناریوها	S

پارامترهای مدل

	هزینه ثابت قرارداد با تأمین‌کننده h ام	F_h
	ظرفیت تولید تأمین‌کننده h ام برای قطعه i ام	$Cap_{i,h}$
	هزینه خرید و حمل و نقل قطعه i ام از تأمین‌کننده h ام در شرایط عادی	$Cn_{i,h}$
	هزینه خرید و حمل و نقل اضافی قطعه i ام از تأمین‌کننده h ام در شرایط اختلال، زمانی که تأمین‌کننده بیشتر از پایه تخصیصش تحویل می‌دهد.	$Cd_{i,h}$
	انعطاف‌پذیری تأمین‌کننده h ام برای قطعه i ام	$b_{i,h}$
	هزینه کمبود قطعه i ام	m_i
	میزان تقاضا برای قطعه i ام	d_i
	نرخ خرابی مورد انتظار تأمین‌کننده h ام برای قطعه i ام	$dr_{i,h}$
	حداکثر نرخ خرابی مطلوب برای قطعه i ام	$dr_{i,h}^{\max}$
	امتیاز تأمین‌کننده i ام برحسب معیارهای پایداری	Su_h
	پارامتر صفر و یک مربوط به وضعیت تأمین‌کننده h ام در سناریوی s ام. ۱ اگر تأمین‌کننده تحویل دهد و ۰ در غیر این صورت	$Sos_{s,h}$
	احتمال وقوع رویداد اختلال برای تأمین‌کننده h ام	P_h
	احتمال رخداد سناریوی s ام	P_s

متغیرهای تصمیم مرحله اول

	متغیر صفر و یک انتخاب‌کردن یا نکردن تأمین‌کننده h ام برای تأمین قطعه i ام	$z_{i,h}$
	تعداد قطعه i تخصیص یافته به تأمین‌کننده h ام	$a_{i,h}$

متغیرهای تصمیم مرحله دوم

	تعداد قطعه i که از تأمین‌کننده h ام در سناریوی s ام انتقال می‌یابد.	$q_{i,s,h}$
	تعداد قطعه i که از تأمین‌کننده h ام در سناریوی s ام بیشتر از پایه تخصیصش انتقال می‌یابد.	$Eq_{i,s,h}$
	تعداد قطعه i برآورده نشده در سناریوی s ام	$U_{i,s}$

۳-۳-۱- توابع هدف

مدل ریاضی پژوهش حاضر، دو تابع هدف دارد.

۱. هزینه کل مورد انتظار: براساس تابع هدف اول، مجموع هزینه‌های مرحله اول و مرحله دوم به حداقل می‌رسد. هزینه‌های مرحله اول را شرکت پیش از آگاهی درباره وقوع هر سناریوی بالقوه باید پرداخت کند و در مدل ارائه شده، فقط شامل هزینه مدیریت تأمین‌کننده (هزینه‌ای که شرکت برای مدیریت و حفظ ارتباط با تأمین‌کنندگان متحمل می‌شود) است. منظور از هزینه‌های مرحله دوم، هزینه‌هایی است که شرکت برای پاسخدهی به آن سناریو باید پردازد که هزینه‌های خرید و حمل و نقل در سناریوی S ، هزینه خرید و حمل و نقل اقلام اضافی در سناریوی S و هزینه کمبود در سناریوی S در این گروه قرار می‌گیرد. هزینه خرید و حمل و نقل اقلام اضافی به تأمین‌کنندگانی پرداخت می‌شود که سفارش شرکت را بیشتر از میزان تخصیص عادی خود برای برآورده کردن تقاضای ارضانشده توسط تأمین‌کنندگان آسیب‌دیده، تحویل می‌دهند. رابطه ذیل، تابع هدف هزینه کل مورد انتظار را نشان می‌دهد:

$$\text{Min } Z_1 = \sum_{h \in H} F_h Z_{i,h} + \sum_{s=1}^S P_s \left(\sum_{i \in I} \sum_{h \in H} Cn_{i,h} q_{i,h,s} + \sum_{i \in I} \sum_{h \in H} Cd_{i,h} Eq_{i,h,s} + \sum_{i \in I} M_i U_{i,s} \right) \quad (2)$$

۲. امتیاز پایداری کل تأمین‌کنندگان: رابطه ۳، نشان‌دهنده تابع هدف مربوط به امتیاز کل پایداری تأمین‌کنندگان منتخب است. گفتنی است امتیاز هر یک از تأمین‌کنندگان براساس معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به کمک روش ویکور به دست آمده است. در این روش، تأمین‌کنندگان برحسب شاخص ویکور، به ترتیب صعودی رتبه‌بندی می‌شوند؛ یعنی تأمین‌کننده‌ای که کمترین مقدار شاخص ویکور را دارد، در رتبه بهتری قرار می‌گیرد؛ بنابراین، تابع هدف پایداری از نوع حداقل‌سازی است.

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{s \in S} P_s \left(\sum_{i \in I} \sum_{h \in H} S u_h q_{i,h,s} \right) \quad (3)$$

۳-۳-۲- محدودیت‌ها

رابطه ۴ تضمین می‌کند که تقاضای هر قطعه به تأمین‌کنندگان تخصیص داده می‌شود. رابطه ۵، حد به‌کارگیری ظرفیت هر تأمین‌کننده را برای جواب به سفارش‌های اضافی در طول اختلال‌ها نشان می‌دهد. رابطه ۶، نشان‌دهنده محدودیت حداقل میزان سفارش به هر تأمین‌کننده است. این محدودیت، مانع انتخاب تأمین‌کنندگانی با مقدار سفارش خیلی کم می‌شود و براساس آن، میزان تخصیص هر تأمین‌کننده باید حداقل ۶ درصد تقاضای هر قطعه باشد. روابط ۷ و ۸، حد بالا و پایین تعداد قطعاتی را نشان می‌دهد که از هر تأمین‌کننده در هر سناریو ارسال می‌شود. رابطه ۹، نشان‌دهنده مقدار قطعات اضافی است که تأمین‌کنندگان در دسترس در سناریوهای متفاوت تأمین می‌کنند. براساس رابطه ۱۰، نرخ خرابی مورد انتظار هر قطعه خریداری شده باید کمتر یا مساوی حداکثر نرخ خرابی مطلوب باشد. رابطه ۱۱، نشان‌دهنده مقدار تقاضای برآورده‌نشده هر قطعه در هر سناریو است. دو رابطه ۱۲ و ۱۳ نیز نوع متغیرهای تصمیم را مشخص می‌کند.

$$\sum_{h \in H} a_{i,h} = d_i \quad \forall i \in I \quad (4)$$

$$a_{i,h}(1 + b_{i,h}) \leq Z_{i,h} cap_{i,h} \quad \forall i \in I, h \in H \quad (5)$$

$$a_{i,h} \geq 0/06 d_i Z_{i,h} \quad \forall i \in I, h \in H \quad (6)$$

$$q_{i,h,s} \leq a_{i,h}(1 + b_{i,h}) Sos_{s,h} \quad \forall i \in I, h \in H, s \in S \quad (7)$$

$$q_{i,h,s} \geq a_{i,h} Sos_{s,h} \quad \forall i \in I, s \in S, h \in H \quad (8)$$

$$Eq_{i,h,s} = (q_{i,h,s} - a_{i,h}) Sos_{s,h} \quad \forall i \in I, h \in H, s \in S \quad (9)$$

$$\sum_{h \in H} dr_{i,h} q_{i,h,s} \leq dr_{max}^i d_i \quad \forall i \in I, s \in S \quad (10)$$

$$U_{i,s} = d_i - \sum_{h \in H} q_{i,h,s} \quad \forall i \in I, s \in S \quad (11)$$

$$z_{i,h} = \{0,1\} \quad \forall i \in I, h \in H \quad (12)$$

$$a_{i,h} \geq 0 \quad q_{i,h,s} \geq 0 \quad Eq_{i,h,s} \geq 0 \quad U_{i,s} \geq 0 \text{ and integer} \quad \forall i \in I, h \in H, s \in S \quad (13)$$

۳-۴- روش محدودیت اپسیلون تقویت شده

همانگونه که پیش تر اشاره شد، روش حل مدل ارائه شده به علت چندهدفه بودن آن، روش محدودیت اپسیلون تقویت شده است. این روش، نسخه بهبودیافته روش کلی محدودیت اپسیلون است که جواب های بهینه پارتوی مناسب را ارائه می دهد و از جواب های ناکارآمد پرهیز می کند. در روش مذکور، مهم ترین تابع هدف، به عنوان تابع هدف اصلی در نظر گرفته می شود و بقیه توابع هدف به عنوان محدودیت به صورت ذیل به مدل اضافه می شود.

$$Max f_1(x) + \varphi \left(\frac{s_2}{r_2} + \dots + \frac{s_n}{r_n} \right) \quad (14)$$

s.t.

$$f_i(x) - s_i = \varepsilon_i$$

$$x \in S \quad s_i \in R^+ \quad i \in [2, n]$$

در رابطه ۱۴، S نشان دهنده منطقه موجه و φ یک عدد بسیار کوچک (معمولاً بین ۰/۰۰۰۰۰۱ و ۰/۰۰۱) و s_i متغیر کمکی متناظر با تابع هدف نام است (فلفل^{۲۵} و همکاران، ۲۰۱۶).

برای تسهیل فرایند تصمیم گیری برای انتخاب بهترین جواب بهینه پارتو، از یک رویکرد فازی می توان استفاده کرد. در این روش فازی، با فرض k جواب بهینه پارتو، تابع عضویت μ_i^k نشان دهنده درجه بهینگی برای تابع هدف نام در جواب پارتو k ام است. برای توابع هدف حداقل سازی و حداکثر سازی، مقدار تابع عضویت، به ترتیب از رابطه ۱۵ و ۱۶ محاسبه می شود:

$$\mu_i^k = \begin{cases} 1 & f_i^k(x) \leq l_i \\ \frac{u_i - f_i^k(x)}{u_i - l_i} & l_i < f_i^k(x) \leq u_i \\ 0 & f_i^k(x) > u_i \end{cases} \quad (15)$$

$$\mu_i^k = \begin{cases} 0 & f_i^k(x) \leq l_i \\ \frac{f_i^k(x) - l_i}{u_i - l_i} & l_i < f_i^k(x) \leq u_i \\ 1 & f_i^k(x) > u_i \end{cases} \quad (16)$$

در این روابط، l_i و u_i به ترتیب، نشان‌دهنده حد بالا و پایین تابع هدف f_i است و $f_i^k(x)$ مقدار تابع هدف نام در جواب بهینه پارتو k ام را بیان می‌کند؛ به گونه‌ای که $f_i^k(x) \in [l_i, u_i]$.
در ادامه، پس از تعیین ضریب وزنی برای هر تابع هدف توسط تصمیم‌گیرنده، که نشان‌دهنده اهمیت نسبی هر یک از توابع هدف است، مقدار کل تابع عضویت جواب پارتو k ام (μ_k) با رابطه ذیل محاسبه می‌شود. جواب پارتویی که بیشترین مقدار μ_k را دارد، به عنوان بهترین راه حل انتخاب می‌شود (یلماز بالامان^{۲۶} و همکاران، ۲۰۱۸).

$$\mu_k = \frac{\sum_{i=1}^m w_i \cdot \mu_i^k}{\sum_{i=1}^m w_i} \quad (17)$$

۴- مطالعه کاربردی و یافته‌ها

همانگونه که بیان شد، مورد مطالعه پژوهش، زنجیره تأمین ایران خودرو است که مسئولیت تأمین قطعات این زنجیره تأمین بر عهده شرکت ساپکو است. درحقیقت، مأموریت شرکت ساپکو، شناسایی و انتخاب منابع تأمین، طراحی و تأمین قطعات و مجموعه‌های خودرو برای بازارهای هدف داخلی و خارجی است. مسئله مدنظر در این شرکت، انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص تقاضا به تأمین‌کنندگان پایدار است که هنگام وقوع اختلال در دیگر تأمین‌کنندگان، پاسخگوی تقاضای شرکت باشند. برای این منظور، ۸ قطعه ضروری شرکت (قطعات مربوط به ترمز خودرو)- که ۵ تأمین‌کننده، آنها را تأمین می‌کنند- انتخاب شد. سایر پارامترهای لازم مدل (شامل هزینه‌های مربوط، ظرفیت تأمین‌کننده، تقاضا، احتمال وقوع رویداد، نرخ انعطاف‌پذیری) نیز با استفاده از مستندات سازمانی تعیین شد. سناریوهای اختلال، که وضعیت تأمین‌کنندگان را هنگام وقوع رویداد اختلال نشان می‌دهد، براساس یک پارامتر صفر و یک ($SOS_{s,h}$) تعیین شده است و با توجه به اینکه ۵ تأمین‌کننده انتخاب شد، در مدل پیشنهادی ۲^۵ سناریو تعیین شدنی است که در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- سناریوهای اختلال و احتمال وقوع آنها

سناریو	وضعیت هر تأمین‌کننده ($SOS_{s,h}$)					احتمال وقوع (p_s)	سناریو	وضعیت هر تأمین‌کننده ($SOS_{s,h}$)					احتمال وقوع (p_s)
	۵	۴	۳	۲	۱			۵	۴	۳	۲	۱	
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۸۷۶۳	۱۷	۱	۱	۰	۰	۱	۰/۰۰۰۳
۲	۰	۰	۰	۰	۱	۰/۰۰۰۰۰۰۰۷۲	۱۸	۱	۰	۱	۰	۱	۰/۰۰۰۰۶
۳	۱	۱	۱	۱	۰	۰/۰۳۶۵	۱۹	۰	۱	۱	۰	۱	۰/۰۰۰۰۸
۴	۱	۱	۱	۰	۱	۰/۰۲۷۱	۲۰	۱	۰	۰	۱	۱	۰/۰۰۰۰۲
۵	۱	۱	۰	۱	۱	۰/۰۰۸۹	۲۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰/۰۰۰۰۳
۶	۱	۰	۱	۱	۱	۰/۰۱۷۹	۲۲	۰	۰	۱	۱	۱	۰/۰۰۰۰۶

۰/۰۰۰۰۱۱۴۰۷۲	۱	۱	۰	۰	۰	۲۳	۰/۰۲۷۱	۰	۱	۱	۱	۱	۷
۰/۰۰۰۰۲۳۰۴۷۲	۱	۰	۱	۰	۰	۲۴	۰/۰۰۰۰۰۰۱۷۲۸	۰	۰	۰	۰	۱	۸
۰/۰۰۰۰۳۴۹۲۷۲	۰	۱	۱	۰	۰	۲۵	۰/۰۰۰۰۰۰۲۳۲۸	۰	۰	۰	۱	۰	۹
۰/۰۰۰۰۰۷۵۲۷۲	۱	۰	۰	۱	۰	۲۶	۰/۰۰۰۰۰۰۱۷۲۸	۰	۰	۱	۰	۰	۱۰
۰/۰۰۰۰۱۱۴۰۷۲	۰	۱	۰	۱	۰	۲۷	۰/۰۰۰۰۰۰۳۵۲۸	۰	۱	۰	۰	۰	۱۱
۰/۰۰۰۰۲۳۰۴۷۲	۰	۰	۱	۱	۰	۲۸	۰/۰۰۰۰۰۰۲۳۲۸	۱	۰	۰	۰	۰	۱۲
۰/۰۰۰۰۰۵۵۸۷۲	۱	۰	۰	۰	۱	۲۹	۰/۰۰۱۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱۳
۰/۰۰۰۰۰۸۴۶۷۲	۰	۱	۰	۰	۱	۳۰	۰/۰۰۰۴	۱	۱	۰	۱	۰	۱۴
۰/۰۰۰۰۱۷۱۰۷۲	۰	۰	۱	۰	۱	۳۱	۰/۰۰۰۷	۱	۰	۱	۱	۰	۱۵
۰/۰۰۰۰۰۵۵۸۷۲	۰	۰	۰	۱	۱	۳۲	۰/۰۰۱۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱۶

برای تعیین امتیاز ۵ تأمین‌کننده منتخب براساس معیارهای پایداری با استفاده از روش ویکور، پس از جمع‌آوری داده‌ها از طریق پرسش‌نامه، محاسبات لازم در نرم‌افزار EXCEL انجام شد که نتایج آن در جدول شماره ۴ آورده شده است. با توجه به مقادیر جدول، تأمین‌کننده سوم براساس شاخص ویکور (Q) بالاترین اولویت را به خود اختصاص داده است.

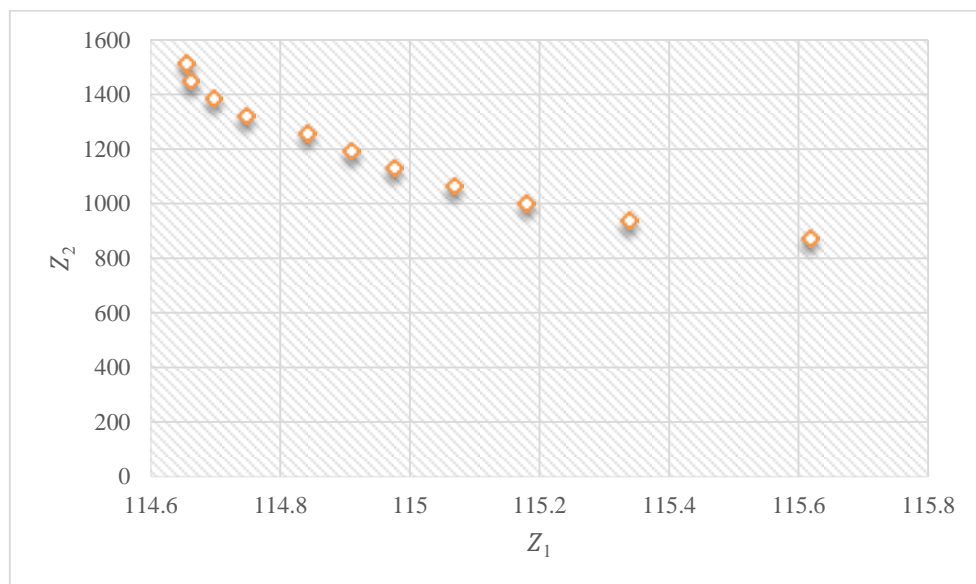
جدول ۴- امتیاز تأمین‌کنندگان براساس معیارهای پایداری

کد تأمین‌کننده	۱	۲	۳	۴	۵
امتیاز پایداری	۰/۸۵	۰/۸۸۹۶	.	۰/۵۵۷۲	۰/۴۲۳۲

پس از تعیین داده‌های ورودی لازم و نیز سناریوهای اختلال، مدل ریاضی در نرم‌افزار GAMS (نسخه ۳، ۱، ۲۴) در یک سیستم با Intel Core i5 CPU و RAM 4 GB، کدنویسی شد. در روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده، تابع هدف هزینه به‌عنوان تابع هدف اصلی و تابع هدف عملکرد پایداری تأمین‌کننده به‌عنوان یک محدودیت در نظر گرفته شد. جواب‌های پارتو حاصل از حل مدل با استفاده از نرم‌افزار GAMS در جدول شماره ۵ آورده شده و نمودار پارتو نیز برای این جواب‌ها مطابق شکل شماره ۲ ارائه شده است. برای تسهیل فرایند تصمیم‌گیری و انتخاب بهترین جواب پارتو، مقدار تابع عضویت برای هر نقطه پارتو به دست آمده است. همانگونه که بیان شد، برای تعیین تابع عضویت کلی، وزن توابع هدف لازم است. برای این منظور، براساس نظر کارشناسان شرکت ساپکو، برای توابع هدف هزینه و عملکرد پایداری تأمین‌کنندگان، به ترتیب وزن، ۰/۷ و ۰/۳ لحاظ شد. در نهایت، نقطه‌ای که بیشترین مقدار μ_k را دارد (نقطه پارتوی شماره ۴) به‌عنوان بهترین جواب بهینه پارتو برای مسئله مدنظر انتخاب شد. مقادیر بهینه تخصیص سفارش هر قطعه به تأمین‌کنندگان در جدول شماره ۶ و مقدار متغیرهای تصمیم مرحله دوم، شامل تعداد قطعات ارسالی از هر تأمین‌کننده ($q_{i,h,s}$)، تعداد قطعات اضافی ارسالی از تأمین‌کنندگان در دسترس ($Eq_{i,h,s}$) و تعداد قطعات برآورده‌نشده برای قطعه ۸ در سه سناریوی اختلال، در جدول شماره ۷ ارائه شده است.

جدول ۵- مقادیر توابع هدف و تابع عضویت به‌ازای نقاط مختلف پارتو

ردیف	تابع هدف هزینه	تابع هدف عملکرد پایداری تأمین‌کننده	مقدار کل تابع عضویت (μ_k)
۱	۱۱۴۶۵۴۳۰۰	۱۵۱۷/۱۷	۰/۸۲۳۱
۲	۱۱۴۶۶۰۵۰۰	۱۴۵۳/۰۴	۰/۸۳۹۲
۳	۱۱۴۶۹۶۲۰۰	۱۳۸۹/۰۳	۰/۸۴۸۰
۴	۱۱۴۷۴۶۱۰۰	۱۳۲۴/۹۶	۰/۸۵۳۲
۵	۱۱۴۸۴۰۸۰۰	۱۲۶۰/۸۹	۰/۸۴۷۳
۶	۱۱۴۹۰۸۶۰۰	۱۱۹۶/۸۲	۰/۸۴۸۰
۷	۱۱۴۹۷۴۴۰۰	۱۱۳۲/۷۵	۰/۸۴۹۳
۸	۱۱۵۰۶۷۳۰۰	۱۰۶۸/۶۸	۰/۸۴۳۸
۹	۱۱۵۱۷۹۰۰۰	۱۰۰۴/۶۱	۰/۸۳۳۶
۱۰	۱۱۵۳۳۷۱۰۰	۹۴۰/۵۴	۰/۸۱۱۸
۱۱	۱۱۵۶۱۷۱۰۰	۸۷۶/۴۷	۰/۷۵۹۶



شکل ۲- نمودار پارتو برای توابع هدف هزینه و عملکرد پایداری

جدول ۶- مقدار تخصیص هر قطعه به تأمین‌کنندگان مختلف در بهترین جواب بهینه پارتو

۴				۳				۲				۱				کد قطعه
۵	۴	۲	۱	۵	۴	۳	۲	۵	۴	۲	۱	۵	۴	۳	۲	کد تأمین‌کننده
۱۰۸	۱۳۳	۲۶	۱۳۳	۳۴	۶۶	۶۴	۳۶	۶۵	۵۷	۱۲	۶۶	۱۲	۱۳۳	۴۳	۱۲	مقدار تخصیص ($a_{i,h}$)
۸				۷				۶				۵				کد قطعه
۵	۴	۳	۲	۵	۴	۳	۲	۵	۴	۲	۱	۵	۴	۲	۱	کد تأمین‌کننده
۷۲	۱۳۳	۱۶۰	۳۵	۳۸	۱۳۳	۱۶۰	۶۹	۱۲۰	۱۳۳	۲۴	۱۳۳	۱۱۰	۱۳۳	۲۴	۱۳۳	مقدار تخصیص ($a_{i,h}$)

جدول ۷- مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم مرحله دوم در چندین سناریو

سناریو ۱۳			سناریو ۷			سناریو ۱			کد تأمین کننده	کد قطعه
$U_{i,s}$	$Eq_{i,h,s}$	$q_{i,h,s}$	$U_{i,s}$	$Eq_{i,h,s}$	$q_{i,h,s}$	$U_{i,s}$	$Eq_{i,h,s}$	$q_{i,h,s}$		
.	۰	۰	.	۶	۴۱	.	۰	۳۵	۲	۸
	۹	۱۶۹		۴۰	۲۰۰		۰	۱۶۰	۳	
	۲۶	۱۵۹		۲۶	۱۵۹		۰	۱۳۳	۴	
	۰	۷۲		۰	۰		۰	۷۲	۵	

۵- بحث

همانگونه که در نمودار پارتو مشاهده می شود، با افزایش میزان پایداری پایه تأمین، هزینه کل مورد انتظار افزایش می یابد؛ به این علت که همه تأمین کنندگان در پایه تأمین قرار نمی گیرند و تأمین کنندگانی انتخاب می شوند که ممکن است با وجود امتیاز پایداری زیاد، هزینه خرید و احتمال شکست بیشتری داشته باشند. براساس جدول شماره ۶، با توجه به اینکه تابع هدف هزینه نسبت به تابع هدف پایداری، وزن بیشتری دارد، به شاخص هزینه و قابلیت اطمینان در تخصیص سفارش قطعات در مقایسه با امتیاز پایداری تأمین کنندگان، توجه بیشتری شده است؛ به عنوان مثال، تأمین کننده ۱ به علت هزینه بیشتر و قابلیت اطمینان کمتر برای تأمین برخی از قطعات انتخاب نشده است. در هر سناریو هنگام شکست یک یا چند تأمین کننده، شرکت برای برآورده کردن تقاضا و نیز جلوگیری از کمبود می تواند میزان تخصیص منابع تأمین خارج از دسترس را به تأمین کنندگان در دسترس براساس هزینه خرید و حمل و نقل، نرخ انعطاف پذیری و امتیاز پایداری آنها انتقال دهد. با توجه به مقادیر جدول شماره ۷، هنگام وقوع اختلال در تأمین، میزان تخصیص تأمین کننده های آسیب دیده به تأمین کنندگان در دسترس انتقال یافته است و از طریق ظرفیت منعطف آنها با پرداخت هزینه اضافی تمام یا تعدادی از قطعات تأمین نشده توسط تأمین کنندگان آسیب دیده، جبران شده است. از آنجایی که تابع هدف هزینه، اهمیت بیشتری دارد، از میان تأمین کنندگان در دسترس، آنهایی برای تأمین میزان تقاضای برآورده نشده انتخاب می شوند که ابتدا هزینه کمتر و سپس امتیاز پایداری و نرخ انعطاف پذیری بیشتری نسبت به سایر تأمین کنندگان داشته باشند؛ به طور مثال، در سناریوی ۱۳ که در آن، تأمین کننده ۲ دچار اختلال شده است و نمی تواند قطعه ۸ را تأمین کند، میزان تخصیص این تأمین کننده آسیب دیده، ابتدا به تأمین کننده ۴ انتقال یافته است؛ به این علت که این تأمین کننده، هزینه خرید و حمل و نقل کمتری دارد و سپس از بین تأمین کننده ۳ و ۵ که هزینه یکسانی دارند، تأمین کننده ۳ به علت امتیاز پایداری و نیز نرخ انعطاف پذیری بیشتر انتخاب شده است.

در این بخش نیز تحلیل حساسیت برای درک رفتار مدل پیشنهادی در شرایط گوناگون و اعتماد بیشتر به نتایج به دست آمده، با در نظر گرفتن موارد ذیل انجام شده است.

۵-۱- تغییر وزن توابع هدف

در این حالت، رفتار مدل، زمانی بررسی می‌شود که وزن توابع هدف هزینه و عملکرد پایداری تغییر می‌کند. برای این منظور، ۳ سناریوی مختلف برای وزن توابع هدف در نظر گرفته و در هر سناریو، مقادیر بهینه و مقدار تابع عضویت محاسبه شده است. در سناریوی سوم- که تابع هدف عملکرد پایداری تأمین‌کنندگان، وزن بیشتری دارد- نقطه پارتوی شماره ۱۱ به‌علت بیشترین مقدار μ_k انتخاب شده است. براساس این نقطه پارتو هنگام تخصیص عادی به تأمین‌کنندگان، پیش از وقوع هر سناریوی اختلال، تأمین‌کنندگانی انتخاب می‌شوند که امتیاز پایداری بیشتری دارند و در نتیجه، شاخص‌های دیگر، مانند هزینه و قابلیت اطمینان، تأثیر خیلی کمی در انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص تقاضا دارد؛ به عبارت دیگر، تأمین‌کننده ۲ با کمترین امتیاز پایداری، در پایه تأمین قرار نمی‌گیرد. همچنین در هر سناریوی اختلال، هنگام تخصیص سفارش‌های اضافی به تأمین‌کنندگان، برای جبران تخصیص تأمین‌کنندگان مختل شده، شاخص پایداری در اولویت قرار دارد. علاوه بر این، هنگامی که تابع هدف هزینه، اهمیت بیشتری دارد (سناریوی دوم)، برای کاهش اثر اختلال‌ها، میزان کمبود و هزینه مرتبط با آن، همه تأمین‌کنندگان در پایه تأمین قرار می‌گیرند. با توجه به جدول شماره ۸ مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار تابع عضویت، مربوط به سناریویی است که تابع هدف پایداری، وزن نسبی بیشتری نسبت به تابع هدف هزینه دارد؛ بنابراین، این نتیجه به دست می‌آید که اگر شرکت مورد مطالعه در تصمیم‌های منبع‌یابی تحت ریسک اختلال تأکید بیشتری بر پایداری تأمین‌کنندگان داشته باشد، ارزش کلی فرایند تأمین افزایش می‌یابد.

جدول ۸- سناریوهای مربوط به تغییر وزن توابع هدف

سناریو ۳	سناریو ۲	سناریو ۱	وزن توابع هدف	
۰/۳	۰/۵	۰/۷	هزینه	عملکرد پایداری
۰/۷	۰/۵	۰/۳	عملکرد پایداری	
۰/۸۹۷	۰/۸۴۸۷	۰/۸۵۳۲	مقدار تابع عضویت (μ_k)	
۱۱	۱۰	۴	شماره نقطه پارتو	

۵-۲- ارزیابی تأثیر قابلیت اطمینان تأمین‌کنندگان بر هزینه کل

برای بررسی اثر قابلیت اطمینان تأمین‌کنندگان بر هزینه کل مورد انتظار، فرض شده است که هیچ تأمین‌کننده‌ای دچار اختلال نخواهد شد و احتمال وقوع رویداد اختلال برای هر تأمین‌کننده، صفر است. با توجه به نتایج حاصل از حل مدل با لحاظ کردن این تغییرات مشاهده می‌شود که میزان هزینه کل در شرایط نبود اختلال نسبت به زمانی که احتمال وقوع رویداد اختلال در تأمین‌کنندگان وجود دارد، کاهش می‌یابد. در شرایط نبود اختلال، فرض بر این است که قابلیت اطمینان تأمین‌کنندگان، بسیار زیاد است و هر تأمین‌کننده، تمام قطعات تخصیص‌یافته را تأمین می‌کند؛ بنابراین، شرکت با کمبود مواجه نمی‌شود؛ در نتیجه، هزینه کمبود و هزینه خرید در شرایط اختلال، صفر و هزینه کل مورد انتظار کمتر است؛ اما زمانی که احتمال وقوع رویداد اختلال در مدل ریاضی در نظر گرفته می‌شود، طبیعی است که به‌علت وقوع اختلال، تأمین‌کنندگان نمی‌توانند میزان سفارش تخصیص‌یافته را ارائه دهند و شرکت، متحمل هزینه اضافه‌ای برای برآورده کردن تقاضای خود از طریق سایر تأمین‌کنندگان در دسترس خواهد شد. همچنین

ممکن است به علت محدودیت استفاده از ظرفیت منعطف تأمین کنندگان و جبران نکردن کمبودها به طور کامل، هزینه کمبود و در نتیجه، هزینه کل افزایش یابد؛ به عبارت دیگر، ریسک اختلال بر هزینه کل فرایند تأمین اثر می گذارد؛ در نتیجه، لازم است احتمال وقوع اختلال در مسئله انتخاب تأمین کننده و تخصیص سفارش به عنوان عامل مهمی در نظر گرفته شود تا به تأمین کنندگانی که کمتر در معرض اختلال قرار می گیرند، میزان تقاضای بیشتری تخصیص داده شود. همانگونه که در جدول شماره ۹ دیده می شود مقدار تابع هدف پایداری، هنگام وقوع اختلال در تأمین در مقایسه با شرایط نبود اختلال، کمی کاهش یافته است؛ زیرا با در نظر گرفتن احتمال وقوع رویداد اختلال، میزان تخصیص بیشتری به تأمین کنندگان با قابلیت اطمینان بیشتر صورت گرفته است که برخی از این تأمین کنندگان، امتیاز پایداری کمتری دارند.

جدول ۹- نتیجه حل مدل در شرایط وجود و نبود ریسک اختلال

مقدار تابع عضویت (μ_k)	میزان پایداری (Z_2)	هزینه کل مورد انتظار (Z_1)	
۰/۸۵۳۲	۱۳۲۴/۹۶۰	۱۱۴۷۴۶۱۰۰	شرایط اختلال (مدل اصلی)
۰/۸۵۱۳	۱۳۱۹/۷۱۰	۱۱۴۲۹۰۹۰۰	شرایط نبود اختلال
۰/۲۲۲۶	۰/۳۹۶۲	۰/۳۹۶۷	درصد کاهش

۵-۳- ارزیابی تأثیر انعطاف پذیری تأمین کنندگان

در این بخش، اثر تغییر پارامتر انعطاف پذیری تأمین کنندگان ($b_{i,h}$) بر جواب بهینه بررسی می شود. نتایج حاصل در جدول شماره ۱۰ ارائه شده است. هنگامی که مقدار این پارامتر، ۱۰ درصد افزایش می یابد، تأمین کنندگان در دسترس برای جبران کمبود ناشی از شکست دیگر تأمین کنندگان، پاسخگوی سفارش های درخواستی بیشتری از طرف شرکت مورد مطالعه خواهند بود و تعداد قطعات اضافی ارسال شده در هر سناریو ($Eq_{i,h,s}$) افزایش و هزینه کمبود نسبت به قبل کاهش و هزینه کل مورد انتظار نیز به علت زیادبودن هزینه خرید برخی از تأمین کنندگان در شرایط اختلال، درصد کمی افزایش می یابد؛ اما میزان کاهش هزینه کمبود، بیشتر از درصد افزایش هزینه کل مورد انتظار است؛ بنابراین، ضروری است که هنگام استفاده از ظرفیت منعطف تأمین کنندگان، بین هزینه مازادی که در ازای دریافت قطعات اضافی از تأمین کنندگان در دسترس پرداخت می شود و هزینه کمبود ناشی از برآورده نشدن تقاضا توازن برقرار شود. براساس جدول شماره ۱۰، میزان تابع هدف دوم با افزایش انعطاف پذیری، ۱/۰۸۵ درصد کاهش یافته است؛ زیرا به برخی از تأمین کنندگان، که امتیاز پایداری بیشتری دارند، سفارش کمتری تخصیص می یابد. در مرحله بعد با افزایش پارامتر انعطاف پذیری و کاهش هزینه خرید اضافی در شرایط اختلال ($Cd_{i,h}$) به میزان ۱۰ درصد، هزینه کل مورد انتظار، هزینه کمبود و هزینه خرید اضافی در مقایسه با نتایج مدل اصلی کاهش می یابد. به طور کلی، گفتنی است در صورت مقرون به صرفه بودن هزینه خرید اضافی تأمین کنندگان، انتقال سفارش های تأمین نشده به تأمین کنندگان در دسترس براساس ظرفیت انعطاف پذیر آنها راهبرد مناسبی برای کاهش اثر اختلال ها خواهد بود.

جدول ۱۰- اثر تغییر پارامتر انعطاف‌پذیری بر جواب بهینه مدل

میزان پایداری (Z_2)	هزینه خرید در شرایط اختلال	هزینه کمبود	هزینه کل (Z_1)	
۱۳۲۴/۹۶۰	۲۰۲۴۰۴/۶۷	۱۳۷۱۹۰۹	۱۱۴۷۴۶۱۰۰	مدل اصلی
۱۳۳۹/۳۳۰	۲۱۶۷۲۹/۸۶	۱۲۸۰۹۶۲	۱۱۴۷۶۰۲۰۰	افزایش ۱۰ درصدی پارامتر انعطاف‌پذیری
۱/۰۸۵	۷/۰۷۷	۶/۶۳	۰/۰۱۲	درصد اختلاف
۱۳۳۹/۳۳	۱۹۷۰۹۱/۶۸	۱۲۶۴۹۹۸	۱۱۴۷۳۸۴۰۰	افزایش انعطاف‌پذیری و کاهش هزینه خرید اضافی
۱/۰۸۵	۲/۶۲	۷/۷۹	۰/۰۰۶۷	درصد اختلاف

به‌طور کلی، با توجه به وقوع اختلال‌های گسترده و متنوع در حوزه فعالیت شرکت ساپکو (مانند بلایای طبیعی، رکود اقتصادی، ورشکستگی، اعتصاب کارکنان، نوسان‌های نرخ ارز، تحریم‌های بین‌المللی و ...)، که می‌تواند موجب کاهش رقابت‌پذیری، رضایت مشتری و سودآوری شود، پیشنهاد می‌شود که این شرکت با استفاده از مدل ارائه‌شده در پژوهش حاضر و نتایج حاصل، به جای تأمین برخی از قطعات فقط از یک تأمین‌کننده، بر منبع‌یابی چندگانه و استفاده از ظرفیت منعطف تأمین‌کنندگان تمرکز و همچنین به ارزیابی عملکرد پایداری تأمین‌کنندگان در شرایط وقوع اختلال در فرایند تأمین اقدام کنند تا دستیابی به توسعه پایدار و نیز تداوم کسب‌وکار در زمان اختلال‌ها، مهیا و نیازهای ذی‌نفعان برآورده شود.

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت جنبه‌های پایداری و تاب‌آوری در مسئله انتخاب تأمین‌کننده و با وجود پژوهش‌های گسترده که به‌صورت مجزا، مفاهیم پایداری و تاب‌آوری را بررسی کردند، مطالعات اندکی برای بررسی مشترک این دو موضوع وجود دارد؛ بنابراین، هدف پژوهش حاضر، حفظ عملکرد پایداری زنجیره تأمین تاب‌آور در شرایط اختلال از طریق انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار است. برای این منظور، رویکردی ترکیبی شامل ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان براساس معیارهای پایداری و مدل‌سازی مسئله انتخاب تأمین‌کننده پایدار- تاب‌آور و تخصیص سفارش تحت ریسک اختلال ارائه شد. ابتدا، پس از تعیین معیارهای پایداری در سه بعد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی و جمع‌آوری داده‌های لازم، روش ویکور برای تعیین امتیاز پایداری تأمین‌کنندگان به کار رفت؛ سپس یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای دو هدفه برای تعیین تصمیم‌های برون‌سپاری طراحی شد. برای حل مدل پیشنهادی، روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده و برای تعیین بهترین جواب پارتو، رویکردی فازی به کار رفت. کاربرد و کارایی مدل پیشنهادی از طریق موردی مطالعاتی در زنجیره تأمین ایران‌خودرو (شرکت ساپکو) بررسی شد. تحلیل‌های انجام‌شده براساس نتایج نشان می‌دهد در صورت تأکید بیشتر بر انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار در شرایط ریسک اختلال، دستیابی به سطح بالاتری از عملکرد پایداری با اندکی افزایش در هزینه‌ها امکان‌پذیر خواهد بود و ارزش کلی فرایند تأمین افزایش می‌یابد. در تحلیل بعدی با بررسی تأثیر قابلیت اطمینان بر هزینه مورد انتظار مشخص شد که احتمال وقوع ریسک اختلال در تأمین‌کنندگان بر هزینه کل فرایند تأمین اثر می‌گذارد و همچنین

موجب کاهش اهداف پایداری می‌شود. در این پژوهش، به‌کارگیری استراتژی منبع‌یابی چندگانه و استفاده از ظرفیت انعطاف‌پذیر تأمین‌کنندگان بررسی شد. با توجه به نتایج حاصل، گفتنی است با افزایش انعطاف‌پذیری ظرفیت تولید تأمین‌کنندگان و جبران کمبودهای ناشی از شکست برخی از تأمین‌کنندگان، میزان کمبود و هزینه‌های آن کاهش می‌یابد. به‌طور کلی، وقوع اختلال‌ها در فرایند تأمین موجب کاهش اهداف پایداری می‌شود؛ اما با توجه به اهمیت توسعه پایدار، به‌خصوص در زنجیره‌های تأمین پیچیده، مانند خودرو ضروری است در تصمیم‌های منبع‌یابی همراه با ریسک اختلال و نیز هنگام تخصیص سفارش‌های تأمین‌نشده به تأمین‌کنندگان در دسترس، علاوه بر هزینه و قابلیت اطمینان به عملکرد پایداری تأمین‌کنندگان نیز توجه و ایجاد توازن بین معیارهای هزینه، قابلیت اطمینان و پایداری در نظر گرفته شود. همچنین استفاده از شیوه‌های تاب‌آوری، مانند منبع‌یابی چندگانه و انعطاف‌پذیری در ظرفیت تأمین‌کنندگان ممکن است هزینه‌های بیشتری بر شرکت تحمیل کند؛ اما بسیاری از هزینه‌های احتمالی ریسک اختلال و نیز هزینه ناشی از کمبود قطعات را کاهش می‌دهد.

پیشنهادهاى پژوهشى برای توسعه پژوهش حاضر و افزایش لزوم توجه به موضوعات پایداری و تاب‌آوری در تصمیم‌های منبع‌یابی به‌طور هم‌زمان به شرح ذیل است:

– توجه به ریسک عملیاتی با در نظر گرفتن عدم قطعیت برای پارامترهای مدل، از جمله تقاضا، هزینه و ظرفیت؛

– در نظر گرفتن رویدادهای اختلال فوق‌العاده^{۲۷} (جهانی) یا نیمه‌فوق‌العاده^{۲۸} (محلی) که بر تمام یا مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان اثر می‌گذارد؛

– استفاده از سایر استراتژی‌های تاب‌آوری در مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان، از جمله اتخاذ تأمین‌کنندگان پشتیبان، حفظ تأمین‌کنندگان، ذخیره موجودی راهبردی و ...

References

- Alikhani, R., Torabi, S.A., and Altay, N. (2019). "Strategic supplier selection under sustainability and risk criteria". *International Journal of Production Economics*, 208: 69-82.
- Amindoust, A. (2018). "A resilient-sustainable based supplier selection model using a hybrid intelligent method". *Computers and Industrial Engineering*, 126: 122-135.
- Arabsheybani, A., Paydar, M.M., and Safaei, A.S. (2018). "An integrated fuzzy MOORA method and FMEA technique for sustainable supplier selection considering quantity discounts and supplier's risk". *Journal of cleaner production*, 190: 577-591.
- Azadnia, A.H., Saman, M.Z.M., and Wong, K.Y. (2015). "Sustainable supplier selection and order lot-sizing: an integrated multi-objective decision-making process". *International Journal of Production Research*, 53(2): 383-408.
- Berger, P.D., Gerstenfeld, A., and Zeng, A.Z. (2004). "How many suppliers are best? A decision-analysis approach". *Omega*, 32(1): 9-15.
- Cheraghalipour, A., and Farsad, S. (2018). "A bi-objective sustainable supplier selection and order allocation considering quantity discounts under disruption risks: A case study in plastic industry". *Computers and Industrial Engineering*, 118: 237-250.
- Christopher, M., and Peck, H. (2004). "Building the resilient supply chain". *The international journal of logistics management*, 15(2): 1-14.

- Falasca, M., and Zobel, C.W. (2011). "A two-stage procurement model for humanitarian relief supply chains". *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 1(2): 151-169.
- Felfel, H., Ayadi, O., and Masmoudi, F. (2016). "A decision-making approach for a multi-objective multisite supply network planning problem". *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 29 (7): 754-767.
- Hosseini, S., and Al Khaled, A. (2019). "A hybrid ensemble and AHP approach for resilient supplier selection". *Journal of Intelligent Manufacturing*, (30)1: 207-228.
- Hosseini, S., Morshedlou, N., Ivanov, D., Sarder, M.D., Barker, K., and Al Khaled, A. (2019). "Resilient supplier selection and optimal order allocation under disruption risks". *International Journal of Production Economics*, 213: 124-137.
- Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., and Sabouhi, F. (2018). "Resilient and sustainable supply chain design: sustainability analysis under disruption risks". *International Journal of Production Research*, 56(17): 5945-5968.
- Jain, N., and Singh, A.R. (2020). "Sustainable supplier selection under must-be criteria through Fuzzy inference system". *Journal of Cleaner Production*, 248: 119275.
- Kamalahmadi, M., and Mellat-Parast, M. (2016). "Developing a resilient supply chain through supplier flexibility and reliability assessment". *International Journal of Production Research*, 54(1): 302-321.
- Meena, P.L., and Sarmah, S.P. (2016). "Supplier selection and demand allocation under supply disruption risks". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 83(1-4): 265-274.
- Opricovic, S. (1998). "Multi-criteria optimization of civil engineering systems". *Faculty of Civil Engineering, Belgrade*, 2(1): 5–21.
- Opricovic, S., and Tzeng, G.H. (2004). "Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS". *European Journal of Operational Research*, 156: 445–455.
- Opricovic, S., and Tzeng, G.H. (2007). "Extended VIKOR method in comparison with outranking methods". *European journal of operational research*, 178(2): 514-529.
- Rabieh, M., Babae, L., Fadaei Rafsanjani, A., and Esmacili, M. (2019). "Sustainable Supplier Selection and Order Allocation: An Integrated Delphi Method, Fuzzy TOPSIS and Multi-Objective Programming Model". *Scientia Iranica*, 26(4): 2524-2540.
- Rajesh, R. (2018). "On sustainability, resilience, and the sustainable–resilient supply networks". *Sustainable Production and Consumption*, 15: 74-88.
- Ramezankhani, M.J., Torabi, S.A., and Vahidi, F. (2018). "Supply chain performance measurement and evaluation: A mixed sustainability and resilience approach". *Computers and Industrial Engineering*, 126: 531-548.
- Tate, W.L., Dooley, K.J., and Ellram, L.M. (2011). "Transaction cost and institutional drivers of supplier adoption of environmental practices". *Journal of Business Logistics*, 32(1): 6-16.
- Torabi, S.A., Baghersad, M., and Mansouri, S.A. (2015). "Resilient supplier selection and order allocation under operational and disruption risks". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 79: 22-48.
- Vahidi, F., Torabi, S.A., and Ramezankhani, M.J. (2018). "Sustainable supplier selection and order allocation under operational and disruption risks". *Journal of Cleaner Production*, 174: 1351-1365.
- Valipour Parkouhi, S., Safaei Ghadikolaei, A., Fallah Lajimi, H. (2019). "Resilient supplier selection and segmentation in grey environment". *Journal of cleaner production*, 207: 1123-1137.

- Yılmaz Balaman, S., Matopoulos, A., Wright, D.G., and Scott, J. (2018). “Integrated optimization of sustainable supply chains and transportation networks for multi technology bio-based production: A decision support system based on fuzzy ϵ -constraint method”. *Cleaner Production*, 172: 2594-2617.

-
1. Supply Base
 2. Triple Bottom Line (TBL)
 3. Jain and Singh
 4. Tate
 5. Rajesh
 6. Rule-Based Weighted Fuzzy Method
 7. Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)
 8. Fuzzy Inference System (FIS)
 9. Fuzzy Kano Model
 10. Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
 11. Quality Function Deployment (QFD)
 12. Fuzzy Set Theory
 13. Data Envelopment Analysis (DEA)
 14. Failure Mode And Effects Analysis (FMEA)
 15. interval type-2 fuzzy sets
 16. Best Worst Method (BWM)
 17. Revised Multi- Choice Goal Programming (RMCGP)
 18. Al Khaled
 19. Meena and Sarmah
 20. Christopher and Peck
 21. Berger
 22. VIKOR (VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje)
 23. Opricovic and Tzeng
 24. Falasca and Zobel
 25. Felfel
 26. Yılmaz Balaman
 27. Super events
 28. Semi-super events