



Network Design in Strategic Alliance under Uncertainty with a Trade-off between Risk and Performance

Hamid Saffari 

Ph.D. Candidate, Department of Industrial Engineering, Malik Ashtar University of Technology, Tehran, Iran. E-mail: hamidsaffari@mut.ac.ir

Morteza Abbasi * 

*Corresponding Author, Assistant Prof., Department of Industrial Engineering, Malek Ashtar University, Tehran, Iran. E-mail: mabbasi@mut.ac.ir

Jafar Gheidar Kheljanie 

Associate Prof., Department of Industrial Engineering, Malek Ashtar University, Tehran, Iran. E-mail: kheljani@mut.ac.ir

Abstract

Objective: The purpose of this study is to present a new mathematical model to design a supply network by considering the strategic alliance and the relationships between the supply chain members under uncertainty. This study attempts to create a suitable decision-making environment for managers to optimize the network and make appropriate strategic decisions accordingly. Since the mathematical model of network design has computational complexity, providing a suitable solution method for the proposed model is another goal of this research.

Methods: As this paper is an applied study, a new mixed-integer linear programming model (MILP) has been presented. The robust optimization method has been used to deal with uncertainty risks such as the risk of changing sales and the return of products. In the mathematical model, strategic alliance levels and the level of risk for each of the partners are considered. The model has two objectives; minimizing the cost, and minimizing the risk of establishing a strategic alliance. The optimal location of the facilities, the selection of production methods, the capacity of facilities, the selection of colleagues, the level of strategic alliance, and their control level have been determined in the presented mathematical model. Considering the computational complexity of the mathematical model, The Benders decomposition method has been applied, and a solution for the proposed mathematical model has been developed and localized by using acceleration mechanisms.

Results: The results show the effectiveness of strategic alliances in reducing the costs of the production and distribution network of goods. The quantification of the concepts related to the strategic alliance in the supply chain, and the establishment of a trade-off

between the risk and benefits of the strategic alliance are other research findings. Considering the different levels of strategic alliance and risk for each partner, the results of the current research show that a strategic alliance reduces the cost, and this cost reduction depends on the risk level of the partners. In addition, the computational results show the efficiency of the accelerated Benders decomposition algorithm for solving mathematical models in large-scale problems. In some problems that the Gams software is not able to provide the right answer in the appropriate time, the algorithm based on benders methods provided acceptable answers in a shorter time frame.

Conclusion: Applying the industry data shows the effectiveness of the model in creating a decision-making environment for managers and decision-makers. Also, the results show the appropriate performance of the solution method. Therefore, the finding of this research indicates a new research viewpoint in the field of network design under strategic alliance for the production and distribution of products.

Keywords: Accelerated Benders decomposition, Colleague selection, Risk management, Strategic alliance, Supply chain management.

Citation: Saffari, Hamid; Abbasi, Morteza & Gheidar Kheljanie, Jafar (2023). Network Design in Strategic Alliance under Uncertainty with a Trade-off between Risk and Performance. *Industrial Management Journal*, 15(1), 112-149. (in Persian)

Industrial Management Journal, 2023, Vol. 15, No 1, pp. 112-149

Published by University of Tehran, Faculty of Management

<https://doi.org/10.22059/IMJ.2023.347959.1007977>

Article Type: Research Paper

© Authors

Received: September 01, 2022

Received in revised form: January 07, 2023

Accepted: January 29, 2023

Published online: April 19, 2023





طراحی شبکه در اتحاد استراتژیک تحت عدم قطعیت با رویکرد موازنه بین ریسک و عملکرد شبکه

حمید صفاری

دانشجو دکتری، گروه مهندسی صنایع، مجتمع مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران. رایانامه: hamidsaffari@mut.ac.ir

مرتضی عباسی *

* نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی صنایع، مجتمع مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران. رایانامه: mabbasi@mut.ac.ir

جعفر قیدر خلجانی

دانشیار، گروه مهندسی صنایع، مجتمع مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران. رایانامه: kheljani@mut.ac.ir

چکیده

هدف: هدف این مطالعه، ارائه یک مدل ریاضی جدید، برای طراحی شبکه تأمین تحت اتحاد استراتژیک و در نظرگیری مفاهیم مرتبط با اتحاد استراتژیک و همکاری بین اعضای زنجیره تأمین است. مدل پیشنهادی این پژوهش، نخستین مدل برای طراحی شبکه روبه جلو و عقب و تحت شرایط عدم قطعیت است.

روش: روش پژوهش، از نوع بنیادی و کاربردی است. در این پژوهش با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی استوار تلاش شده است که یک مدل ریاضی کارا برای مقابله با عدم قطعیت ارائه شود. با توجه به پیچیدگی محاسباتی مدل ریاضی پیشنهادی، روش تجزیه بندرز استفاده شده و با به کارگیری سازوکارهای شتاب‌دهی به روش بندرز، راه‌حلی کارا برای حل مدل ریاضی ارائه شده است.

یافته‌ها: نتایج تحقیق نشان‌دهنده کارایی اتحاد استراتژیک و همکاری در کاهش هزینه‌های شبکه تولید و توزیع کالاهاست. همچنین، کمی‌سازی مفاهیم مرتبط با اتحاد استراتژیک در زنجیره تأمین و کارایی مدل پیشنهادی برای ایجاد فضای تصمیم‌گیری با توجه به برقراری رابطه تعادل بین ریسک و مزایای اتحاد استراتژیک، از یافته‌های دیگر این پژوهش بوده است.

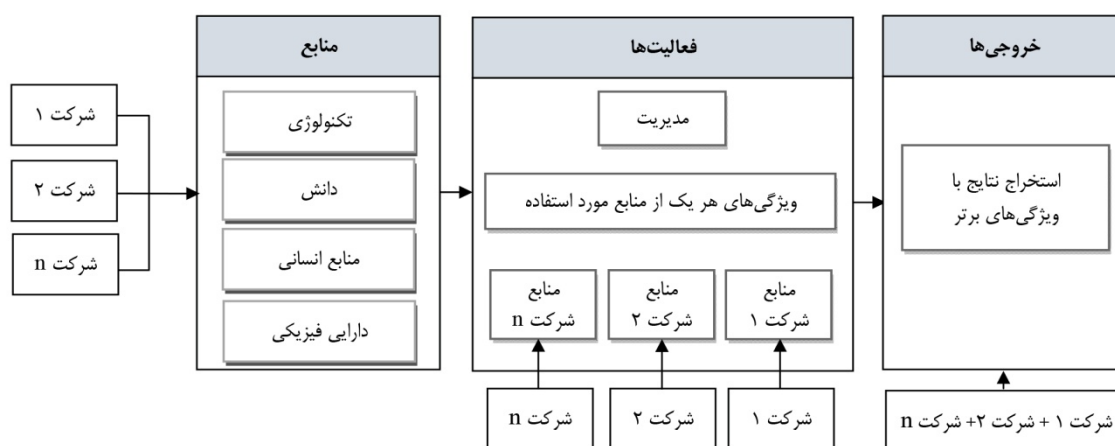
نتیجه‌گیری: نتایج استفاده از داده‌های یک زنجیره تأمین آهن و فولاد، نشان‌دهنده کارایی مدل ریاضی برای ایجاد فضای تصمیم‌گیری مدیران و تصمیم‌گیران حوزه زنجیره تأمین آهن و فولاد است و همچنین نشان می‌دهد که روش ارائه‌شده، برای حل این مسئله عملکرد مناسبی دارد.

کلیدواژه‌ها: اتحاد استراتژیک، برنامه‌ریزی استوار، تجزیه بندرز شتاب‌یافته، مدیریت ریسک، مدیریت زنجیره تأمین.

استناد: صفاری، حمید؛ عباسی، مرتضی و قیدر خلجانی، جعفر (۱۴۰۲). طراحی شبکه در اتحاد استراتژیک تحت عدم قطعیت با رویکرد موازنه بین ریسک و عملکرد شبکه. مدیریت صنعتی، ۱۱۵(۱)، ۱۱۲-۱۴۹.

مقدمه

طی دهه‌های اخیر همکاری بین اعضای زنجیره تأمین به منظور افزایش سودآوری سازمان‌ها مورد توجه قرار گرفته است (سامباسیوان، پایک، محمد و لئونگ^۱، ۲۰۱۳). اتحاد استراتژیک یکی از شکل‌های اساسی همکاری است. در این نوع همکاری دو یا چند شرکت با معاوضه و اشتراک دارایی‌ها و قابلیت‌ها، تلاش می‌کنند که سودآوری کلی هر دو شرکت را افزایش دهند (کاله و ساینگ^۲، ۲۰۰۷). در واقع، دو یا چند شرکت منابع فیزیکی و فناوری خود را به اشتراک می‌گذارند که هر شرکت صاحب دارایی خودش است و در استفاده از نتایج به دست آمده حقوق مشخصی دارد (چیژا^۳، ۲۰۰۱). شکل ۱ توضیح ارائه شده را نمایش می‌دهد. از مزایای اتحاد استراتژیک می‌توان به افزایش میل رقابتی، اکتساب دانش و قابلیت‌های جدید، توسعه مهارت‌ها و منابع و نیز کاهش ریسک سرمایه‌گذاری اشاره کرد (مسرورال^۴، ۲۰۱۲؛ ستیادی^۵، ۲۰۲۲).



شکل ۱. نحوه برقراری اتحاد استراتژیک بر اساس مطالعه چیژا (۲۰۰۱)

به منظور بهره‌گیری کارا از مفاهیم اتحاد استراتژیک در حوزه تأمین مواد، تولید محصولات و توزیع آن‌ها، تئوری‌های مختلفی مانند تئوری هزینه‌های مبادله، تئوری مبتنی بر منابع، تئوری ارتباطات ارائه شده است (سامباسیوان و همکاران، ۲۰۱۳). تئوری هزینه مبادله بیشتر روی کاهش هزینه‌های مبادله و تولید تمرکز دارد (ارسلان، آرچتی، جیلی لاپورت و اسپرناز^۶، ۲۰۲۰)؛ اما دیدگاه مبتنی بر منابع، نوع دیگری از رویکرد را ارائه می‌کند و بیان می‌دارد که هرچند شرکت‌ها در محیط رقابتی کار می‌کنند، ولی باید به منابع خود و رقبا بیشتر توجه کنند. در اتحاد استراتژیک، توجه به تئوری مبتنی بر منابع حائز اهمیت می‌شود؛ زیرا در همکاری و برقراری اتحاد، شرکت‌ها به منابع شرکت‌های دیگر توجه می‌کنند (ارسلان و همکاران، ۲۰۲۰). توجه به منابع و دارایی‌های شرکت‌های دیگر باعث شده است که پژوهشگران مختلف، همکاری را

1. Sambasivan, Siew-Phaik, Mohamed & Leong
2. Kale & Singh
3. Chiesa
4. Masrurul
5. Setyadi
6. Arslan, Archetti, Jabali, Laporte & Speranza

به‌عنوان راه‌کاری برای مقابله با بعضی از ریسک‌های زنجیره تأمین معرفی کنند (دیفرانسکو، مینا و تیبروالا^۱، ۲۰۲۱؛ دانگ و چانگ^۲، ۲۰۲۰). از طرفی، تعدادی از نویسندگان هم، خود همکاری را دلیل وجود تعدادی از ریسک‌ها می‌دانند؛ برای مثال خاص بودن دارایی‌ها، سازمان‌ها را به برقراری رابطه همکاری تشویق می‌کند. از طرفی سرمایه‌گذاری کردن در همکاری، شرکت را در معرض ریسک فرصت‌طلبی قرار می‌دهد (مافینی و موپوشی^۳، ۲۰۱۷). بنابراین همان‌طور که اشتراک دارایی‌ها در زنجیره تأمین، عملکرد بهتر سازمان و کاهش هزینه‌ها را باعث می‌شود (رجیون، مختاری، خرده‌بینان، زارع و حسنی^۴، ۲۰۱۹)، ریسک‌هایی را نیز در سازمان به همراه خواهد داشت، مانند کمبود مهارت‌های شرکت، تأمین‌کنندگان غیرقابل اعتماد، امنیت اطلاعات و ریسک‌های فرصت‌طلبی افراد (مافینی و موپوشی، ۲۰۱۷) که می‌تواند به هزینه اضافی در سازمان منجر شود. به همین دلیل در نظر گرفتن تصمیمات مربوط به همکاری و اتحاد استراتژیک در تصمیمات استراتژیک سازمان بسیار مهم می‌باشد؛ زیرا هرگونه تغییر باعث انحراف از هزینه‌های بهینه در آینده می‌شود.

با توجه موارد ذکرشده و تئوری‌های مطرح‌شده، مسئله اصلی در این پژوهش عبارت است از طراحی شبکه اتحاد استراتژیک تحت شرایط عدم قطعیت که در آن، هم‌زمان به جریان روبه‌جلو و عقب محصولات توجه شده است. هدف پژوهش نیز، ارائه راه‌حلی مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی، برای ایجاد شبکه بهینه با توجه به موازنه هزینه و ریسک برقراری اتحاد استراتژیک و همکاری است. ادامه مقاله بدین ترتیب ساختار بندی شده است. در بخش بعد، پیشینه پژوهش با توجه به زیربخش‌های نظری و تجربی بیان می‌شود. در بخش سوم، روش پژوهش تشریح می‌شود که استفاده از مدل ریاضی تحت شرایط عدم قطعیت است. در بخش چهارم، روش حل معرفی می‌شود که شامل استفاده از الگوریتم تجزیه بندرز و سازوکارهای ایجاد شتاب در عملکرد الگوریتم است. در بخش پنجم، یافته‌های تحقیق و تحلیل‌ها آورده می‌شود و در نهایت، در بخش آخر، نتیجه‌گیری و زمینه‌های تحقیقات آتی پیشنهاد خواهد شد.

پیشینه پژوهش

در این بخش ابتدا رویکردها و تئوری‌های ارائه‌شده در خصوص اتحاد استراتژیک و همچنین ریسک‌های ناشی از همکاری و اتحاد استراتژیک، به‌عنوان پیشینه نظری مرور می‌شود. در ادامه، مدل‌های ریاضی ارائه‌شده در خصوص همکاری در زنجیره تأمین، به‌عنوان پیشینه تجربی بررسی و در نهایت، نوآوری‌های مطالعه تشریح می‌شود.

پیشینه نظری

یکی از مطالعات اولیه در خصوص همکاری و اتحاد استراتژیک، مطالعه داس و تنگ^۵ (۲۰۰۰) است که در مطالعه آن‌ها، تئوری مبتنی بر منابع اتحاد استراتژیک تشریح می‌شود. در ادامه، پژوهشگران دیگر مانند وردونک، کاریز، راماکرز و جانسنز^۶ (۲۰۱۳) به بررسی نقش اتحاد و همکاری و مفاهیم تئوری مربوطه در شبکه حمل‌ونقل پرداخته‌اند. آگروال و

1. Difrancesco, Meena & Tibrewala
2. Duong and Chong
3. Mafini and Muposhi
4. Rajabion, Mokhtari, Khordehbinan, Zare & Hassani
5. Das and Teng
6. Verdonck, Caris, Ramaekers & Janssens

ارگان^۱ (۲۰۰۸) نقش اتحاد را در سطح عملیاتی شبکه خدمات چند کاناله ارزیابی کردند. هوگتالن، ارگان و سوکل^۲ (۲۰۱۱) به بررسی نحوه پهنه‌سازی اتحاد در شبکه حمل‌ونقل با اشتراک ظرفیت پرداختند. هی، مدوز، آنگوین، گامز و چاپلند^۳ (۲۰۲۰) نقش اتحاد استراتژیک را در شبکه حمل‌ونقل دیجیتال ارزیابی کردند و مفاهیم بنیادی و تئوری را در این زمینه توسعه دادند. ویلامز، اسپر و اوزمنت^۴ (۲۰۲۲) اثر ناشی از ارتباطات الکترونیک زنجیره تأمین بر اتحادها و مشارکت‌های استراتژیک در زنجیره تأمین را بررسی کردند. فیلسوفیان، اخوان و عباسی^۵ (۲۰۲۲) برای بررسی نقش اتحاد استراتژیک در افزایش پایداری زنجیره تأمین، به ارائه مقاله مروری اقدام کردند. سوجینو، راهیو و ویبوو^۶ (۲۰۲۲) تأثیر عدم قطعیت بر اتحاد استراتژیک را در یک شرکت حمل‌ونقل مورد ارزیابی قرار دادند. ریان چارلتون، گنیوالی و اولیوریا^۷ (۲۰۲۲) طیفی از نتایج برقراری اتحاد استراتژیک را بررسی کردند و به تبیین جهت‌گیری‌های آتی در این حوزه پرداختند.

در خصوص نقش همکاری در کاهش ریسک نیز، پژوهشگران مطالعات و نظریه‌های مختلفی ارائه کرده‌اند. تعدادی از پژوهشگران بیان می‌دارند که با ایجاد اتحاد و همکاری می‌توان به بسیاری از ریسک‌ها غلبه کرد (دانگ و چانگ، ۲۰۲۰؛ دیفرانسکو و همکاران، ۲۰۲۱؛ اوه، مین و آهن^۸، ۲۰۲۱)؛ اما تعدادی دیگر، به نقش اتحاد و همکاری در به وجود آمدن تعدادی از ریسک‌ها پرداخته‌اند؛ برای مثال در مقاله داس و تنگ (۱۹۹۸) دو نوع ریسک در برقراری اتحاد استراتژیک ارائه شده است: ریسک ارتباط و ریسک عملکرد، ریسک ارتباط مربوط به ارتباطات همکاری است. برای مثال، از زیر کارهای همکاری شانه خالی کردن، تحریف و انتشار اطلاعات، دزدی مهارت‌های شرکا و افراد که به‌عنوان رفتارهای فرصت‌طلبانه افراد در نظر گرفته می‌شوند، در این نوع ریسک دسته‌بندی می‌شوند (داس و تنگ، ۱۹۹۸). از طرف دیگر، ریسک عملکرد به این موضوع مربوط می‌شود که اهداف استراتژیک در نظر گرفته شده، محقق نشود. برای مثال ریسک‌های تحقیق و توسعه، ریسک‌های تجاری و... در این دسته‌بندی آورده شده‌اند (داس و تنگ، ۱۹۹۸).

مافینی و موپوشی (۲۰۱۷) نیز به مقوله مدیریت ریسک در محیط همکاری می‌پردازند و ریسک‌هایی مانند کمبود مهارت‌های شرکا، تأمین‌کنندگان غیرقابل اعتماد و امنیت اطلاعات را به‌عنوان ریسک‌های همکاری معرفی می‌کنند. تنگ، لهود و پتون^۹ (۲۰۱۶) در مقاله خود بیان می‌دارند، اغلب شرکت‌هایی که با یکدیگر همکاری دارند، مجبورند به بسیاری از مشکلات و محدودیت‌های تکنیکی و سازمانی غلبه کنند؛ اما آن‌ها اغلب، در خصوص به اشتراک اطلاعات استراتژیک یا منابعی که مربوط به هسته اصلی کسب‌وکار آن‌ها می‌شود، حساس‌اند. شه‌باز و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۹) در مقاله‌ای ریسک‌های زنجیره تأمین را به سه گروه الف) داخل سازمان، ب) خارج از زنجیره تأمین و ج) خارج سازمان و داخل زنجیره تأمین دسته‌بندی کردند و ریسک‌های مرتبط با همکاری را در گروه ریسک‌های داخل زنجیره تأمین و بین سازمان‌ها آورده‌اند.

1. Agarwal and Ergun
2. Houghtalen, Ergun & Sokol
3. He, Meadows, Angwin, Gomes & Child
4. William, Esper & Ozment
5. Philsoophian, Akhavan & Abbasi
6. Sugiono, Rahayu, & Wibowo
7. Ryan-Charleton, Gnyawali, & Oliveira
8. Oh, Min & Ahn
9. Tang, Lehuédé, & Péton
10. Shahbaz, Sohu, Khaskhelly, Bano & Soomro

پیشینه تجربی

یکی از مطالعات اولیه در زمینه مدل‌های کمی زنجیره تأمین، مربوط به مطالعه گروسد، رایجگروک و تواسزی^۱ (۲۰۰۵) است. هرچند در مطالعه آنها از مدل ریاضی استفاده نشده است، ولی نتایج نشان‌دهنده کارایی همکاری در کاهش هزینه‌ها و سفرهای کلی در سرتاسر شبکه می‌باشد. در ادامه، کارجوسکا، کاپفر، لاپورت، روپکه و زاگور^۲ (۲۰۰۸) نقش اتحاد در مسئله مسیریابی و زمان‌بندی شبکه حمل‌ونقل را با استفاده از نظریه بازی‌ها، موردتحقیق قرار دادند. لیو، ژو و ژنگ^۳ (۲۰۱۰) یک مدل جایابی برای زنجیره تأمین چند کاناله برای انبارهای محلی با ظرفیت محدود ارائه دادند که هدف آن برقراری رابطه تعادل بین تأثیرات اجرای زنجیره تأمین تلفیقی و هزینه‌ها در زنجیره تأمین دوسطحی است. بالوت و فانتان^۴ (۲۰۱۰) نقش همکاری شبکه حمل‌ونقل را در کاهش میزان کربن دی‌اکسید کل زنجیره تأمین مورد بررسی قرار دادند.

سعید^۵ (۲۰۱۳) مدلی را بر اساس نظریه تئوری بازی‌ها برای همکاری در زنجیره تأمین توسعه داد. پن، بالوت و فانتان^۶ (۲۰۱۳) و پن، بالوت، فانتان و حکیمی^۷ (۲۰۱۴) به ارائه مدل‌های ریاضی در خصوص همکاری پرداختند، که در آن میزان بار و تعداد سفر با توجه به شرایط همکاری در زنجیره تأمین سه سطحی باهدف کاهش میزان کربن دی‌اکسید و نیز هزینه‌های حمل‌ونقل بهینه می‌شود. همچنین در مقاله مقدم و نوف^۸ (۲۰۱۶) سازوکار جدیدی برای تخصیص منابع بازمان واقعی، مدیریت سفارش‌ها، پایش فرایند در شبکه همکاری شرکت‌ها ارائه شده است. کایزو^۹ (۲۰۱۷) یک روش حل و مدل جدید برای شبکه حمل‌ونقل تحت شرایط اتحاد و همکاری بین اعضای شبکه ارائه داده است. اوحداد و الکیال^{۱۰} (۲۰۱۷) مقاله‌ای ارائه دادند که در این مقاله، تأثیرهای بالقوه اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیست، ترکیب انبارها و تصمیم‌های مسیریابی وسایل حمل‌ونقل جاده‌های شهری تحت شرایط همکاری افقی بررسی شده است.

حبیبی، الوی و گونگالوس^{۱۱} (۲۰۱۸) با ارائه مدل ریاضی در مقاله خود ادعا کرده‌اند که همکاری اعضای زنجیره تأمین باعث کاهش هزینه‌های آن‌ها می‌شود. در این مقاله تمرکز اصلی آن‌ها روی مسئله مکان‌یابی هاب در دو زنجیره توزیع مختلف بوده است. در مقاله ارسلان و همکاران (۲۰۲۰) به مسئله طراحی شبکه اتحاد استراتژیک پرداخته شده است که در این شبکه مقدار کالای جریان یافته در هر یک از مسیرها و تعداد شرکت‌هایی که در این مسیرها با یکدیگر همکاری می‌کنند، توسط مدل ریاضی مشخص می‌شود.

1. Groothedde
2. Krajewska, Kopfer, Laporte, Ropke & Zaccour
3. Liu, Zhou & Zhang
4. Ballot & Fontane
5. Saeed
6. Pan, Ballot & Fontane
7. Pan, Ballot, Fontane & Hakimi
8. Moghaddam, and Nof
9. Kuyzu
10. Ouhader and El Kyal
11. Habibi, Allaoui & Goncalves

وانگ و همکاران^۱ (۲۰۲۰) مدلی را برای طراحی شبکه لجستیک همکارانه با در نظر گرفتن تخصیص پنجره‌های زمانی ارائه کردند. در مقاله آلوی، همانی، درویچه و دلاهوچه^۲ (۲۰۲۱) مسئله برنامه‌ریزی یکپارچه مکان‌یابی، موجودی و مسیریابی در شبکه زنجیره تأمین دوسطحی سبز، تحت شرایط همکاری و عدم همکاری مورد بررسی قرار گرفته است. گائو، یو، آلوی و چوهاری^۳ (۲۰۲۲) نیز با ارائه مدل ریاضی نشان دادند که وجود همکاری باعث کاهش هزینه‌ها و افزایش شاخص‌های پایداری در دو زنجیره تأمین مستقل می‌شود. فروزش، کریمی و موسوی^۴ (۲۰۲۲) نیز مدلی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین ارائه کردند و در آن از همکاری افقی به‌عنوان راه‌کاری برای مقابله با ریسک اختلال و کاهش گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده‌اند. در جدول ۱ خلاصه‌ای از مرتبط‌ترین مطالعات انجام شده آورده شده است.

شکاف تحقیقات و نوآوری‌های پژوهش

با بررسی ادبیات ارائه‌شده در این حوزه مشخص می‌شود که در خصوص تئوری‌ها و مفاهیم مرتبط با همکاری و برقراری اتحاد استراتژیک، پژوهشگران به ارائه مطالعات خود پرداخته‌اند؛ اما در حوزه تحقیقات کمی و به‌ویژه مدل‌سازی ریاضی، تحقیقات اندکی انجام پذیرفته است. همچنین با بررسی مدل‌های ریاضی ارائه‌شده مشخص می‌شود که تاکنون مدلی برای شبکه اتحاد استراتژیک با در نظرگیری جریان جلو و عقب ارائه نشده است. همچنین طراحی شبکه اتحاد استراتژیک تحت عدم قطعیت، در ادبیات دیده نمی‌شود. از طرفی، ایجاد فضای تصمیم‌گیری به‌صورت موازنه بین ریسک و عملکرد هزینه‌ای شبکه، موضوعی است که در ادبیات به آن اشاره نشده است. از سوی دیگر با توجه به پیچیدگی محاسباتی مدل‌های ریاضی ارائه‌شده، توسعه روش‌های حل کارا برای مدل‌های ارائه‌شده، از جمله نیازهای ضروری در این حوزه است. بنابراین در این مطالعه سعی شده است با نگاه به شکاف تحقیقاتی و ارائه یک مدل ریاضی جدید، به غنی‌سازی ادبیات این حوزه کمک شود.

مدل ارائه‌شده در این تحقیق دو هدفه است و از یک مدل برنامه‌ریزی خطی آمیخته عدد صحیح برای مدل‌سازی استفاده شده است. در این تحقیق برای اولین بار مفاهیم مرتبط با اتحاد استراتژیک در طراحی شبکه روبه‌جلو و عقب استفاده شده است؛ به طوری که علاوه بر استقرار تسهیلات و جریان بین آن‌ها که در طراحی شبکه سنتی مورد توجه بوده است، نحوه برقراری اتحاد استراتژیک و انتخاب همکار و سطوح همکاری و میزان کنترل ارتباطات در همکاری نیز توسط مدل ریاضی تعیین می‌شود. همچنین در این مدل سعی شده است، علاوه بر جریان روبه‌جلو و عقب محصولات، به جریان همکاری بین اعضای شبکه نیز توجه شود که این موضوع منجر به شکل‌گیری مدلی جدید در این حوزه شده است. به‌علاوه در مدل‌سازی سعی شده است مفاهیم مرتبط با ریسک برقراری اتحاد بین تسهیلات در نظر گرفته شود، به‌صورتی که سطح کنترل شریک مورد نظر در اتحاد نیز به کمک مدل ریاضی تعیین می‌شود. در ادامه، از الگوریتم تجزیه بندرز شتاب یافته برای حل مسئله مدنظر بهره گرفته شده است. بنابراین نوآوری‌های این تحقیق را به این صورت می‌توان خلاصه کرد:

1. Wang et al.
2. Aloui, Hamani, Derrouiche & Delahocche
3. Guo, Yu, Allaoui, & Choudhary
4. Foroozesh, Karimi & Mousavi

- در نظر گرفتن مفاهیم مرتبط با همکاری و اتحاد استراتژیک در تصمیمات استراتژیک زنجیره تأمین؛
- معرفی یک مسئله جدید به نام طراحی شبکه روبه‌جلو و عقب اتحاد استراتژیک؛
- در نظر گرفتن هم‌زمان ریسک‌های عملیاتی و ریسک‌های برقراری اتحاد استراتژیک و ایجاد یک فضای تصمیم‌گیری بین ریسک و عملکرد شبکه؛
- کمینه‌سازی مفاهیم مرتبط با کنترل و اعتماد و سطوح برقراری همکاری در مدل ریاضی؛
- ارزیابی کارایی مدل ریاضی ارائه‌شده با استفاده از داده‌های یک صنعت در حوزه تولید محصولات فلزی؛
- بومی‌سازی یک مدل استوار برای مقابله با تغییرات تقاضا و نیز نرخ بازگشت محصولات در شبکه همکاری؛
- به‌کارگیری و بومی‌سازی الگوریتم تجزیه بندرز برای مدل ریاضی استوار و ارائه سازوکارهای تسریع و بهبود جواب‌های ارائه‌شده.

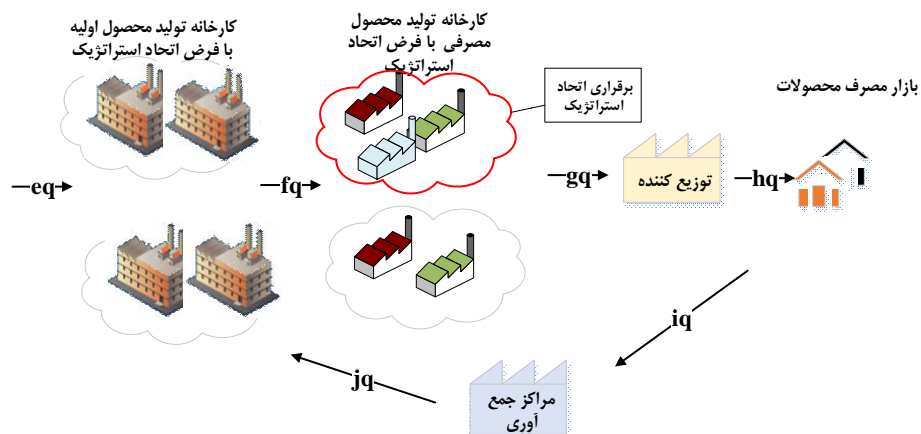
روش‌شناسی پژوهش

در این تحقیق ابتدا مطالعات انجام‌شده در خصوص اتحاد استراتژیک و مدل‌های کمی همکاری در زنجیره تأمین، مورد بررسی قرار گرفت و با شناسایی خلأهای تحقیقاتی، مدلی ریاضی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی آمیخته عدد صحیح برای طراحی شبکه اتحاد استراتژیک ارائه گردید. با توجه به عدم قطعیت در تعدادی از داده‌ها، روش برنامه‌ریزی استوار ارائه‌شده توسط مولوی، واندربی و زنیوس^۱ (۱۹۹۵) به کارگرفته شده است. به‌منظور حل مدل چند هدفه، از روش محدودیت جزئی و با توجه به پیچیدگی‌های محاسباتی مدل ریاضی ارائه‌شده، از روش تجزیه بندرز برای حل مدل در مقیاس بزرگ استفاده شده است. شکل ۲ مراحل پژوهش را به‌صورت خلاصه نمایش می‌دهد.

شبکه مورد مطالعه در این تحقیق از سه نوع تسهیل در جهت روبه‌جلو زنجیره، شامل کارخانه‌های تولید مواد اولیه، کارخانه‌های تولید محصولات مصرفی و توزیع‌کنندگان و یک تسهیل در جهت عقب به نام مراکز جمع‌آوری تشکیل شده است. جریان محصولات در شبکه به این صورت است که در کارخانه‌های تولید محصول اولیه با توجه به نوع همکاری اقدام به تولید محصول اولیه می‌شود. بعد از تولید محصول اولیه این محصولات به کارخانه‌های تولید محصولات مصرفی منتقل می‌شوند تا از آن‌ها محصولات مختلف ساخته شود. در این کارخانه‌ها نیز امکان همکاری وجود خواهد داشت، به این صورت که کارخانه‌ها به‌جای تولید مستقل با اشتراک دارایی‌ها، توانمندی‌های نگهداری و تعمیرات و نیز قابلیت‌های تولیدی خود اقدام به تولید می‌کنند که در نهایت محصول تولیدی در اختیار توزیع‌کننده‌ها قرار گیرند. این محصولات پس از توزیع در میان نقاط مصرف مختلف و اتمام دوره عمر آن‌ها مجدد به مرکز جمع‌آوری منتقل می‌گردند. در این شبکه مکان تسهیلات، جریان بین تسهیلات و نیز انتخاب نوع تکنولوژی و ظرفیت کارخانه‌های تولید محصول اولیه، شرکت‌های همکاری‌کننده و تعداد آن‌ها و سطوح همکاری و کنترل ارتباطات با توجه به اهداف هزینه و ریسک انجام می‌گیرد. شکل ۳ توضیحات فوق را به‌صورت گرافیکی نشان می‌دهد. این نوع زنجیره تولید محصولات، در صنایع مختلف مانند صنایع تولید محصولات فلزی کاربرد دارد.



شکل ۲. خلاصه‌ای از روش پژوهش



شکل ۳. شبکه متشکل از همکاران و جریان روبه جلو و عقب

سایر فرضیه‌های در نظر گرفته شده در این مدل به صورت زیر است:

- کارخانه‌های تولید محصول اولیه ظرفیت‌های گوناگونی دارند و در آن‌ها استفاده از روش‌های مختلف امکان پذیر است.
- اشتراک دارایی‌ها مانند قابلیت‌های نگهداری و تعمیرات، نیروهای متخصص، تجهیزات پایش وضعیت و... امکان پذیر است.
- فرض می‌شود مقدار مواد اولیه به صورت نامحدود وجود دارد.
- فرض می‌شود که کیفیت محصولات جمع‌آوری شده از نقاط مصرف گوناگون، در سطح کیفیت واحدی است.
- تنها یک محصول در شبکه جریان دارد و مدل مدنظر برای یک دوره در نظر گرفته شده است.
- مکان کارخانه تولید محصولات مصرفی و مشتریان از قبل مشخص است.
- ظرفیت هر تسهیل محدود و از قبل مشخص است.
- جریان محصولات فقط بین دو سطح متوالی از زنجیره امکان پذیر است.
- فرض می‌شود که در کارخانه‌های تولید محصول اولیه فقط یک نوع محصول تولید می‌شود.
- تقاضا و درصد بازگشت میزان محصولات غیرقطعی است.
- محدودیتی در ظرفیت جریان مواد در طول شبکه در نظر گرفته نشده است.
- برقراری همکاری بین کارخانه‌های تولید محصولات اولیه و محصولات مصرفی امکان پذیر است.

نمادهای مدل ریاضی

e : اندیس نقاط بالقوه کارخانه تولید محصولات اولیه

f : اندیس نقاط ثابت کارخانه‌های محصولات مصرفی

c : اندیس ظرفیت‌های مختلف برای احداث کارخانه تولید محصول اولیه

t : اندیس تکنولوژی‌های مورداستفاده در کارخانه‌های تولید فولاد

g : اندیس مجموعه نقاط بالقوه توزیع کننده‌ها

h : اندیس نقاط ثابت بازار مصرف

i : اندیس بالقوه مراکز جمع‌آوری

I : اندیس سطوح کنترل در نظر گرفته شده برای همکاری در اتحاد استراتژیک

m : اندیس سطح همکاری اتحاد استراتژیک در کارخانه‌های تولید محصول اولیه

n : اندیس سطح همکاری اتحاد استراتژیک در کارخانه‌های تولید محصول مصرفی

o : اندیس تعداد کارخانه‌های تولید محصول اولیه همکاری کننده در یک اتحاد استراتژیک

p : اندیس تعداد کارخانه‌های تولید محصول اولیه همکاری کننده در یک اتحاد استراتژیک

s : اندیس نشان دهنده سناریو

پارامترها

- $F e_e^{ct}$: هزینه ثابت راهاندازی کارخانه تولید محصول اولیه e با تکنولوژی t و با ظرفیت c
- $F g_g$: هزینه ثابت راهاندازی مرکز توزیع g
- $F i_i$: هزینه ثابت احداث مرکز جمع‌آوری i
- $C e_{em}^{tc}$: حداکثر ظرفیت کارخانه تولید محصول اولیه e با سطح ظرفیت c تکنولوژی t و سطح همکاری m
- $C f_f^n$: حداکثر ظرفیت کارخانه تولید محصولات مصرفی f با سطح همکاری n
- $C g_g$: حداکثر ظرفیت مرکز توزیع g
- $C i_i$: حداکثر ظرفیت مرکز جمع‌آوری i
- ρ_{ij} : فاصله بین دو تسهیل j, i
- $e p_{em}^{tc}$: هزینه تولید هر واحد محصول در کارخانه e، با استفاده از تکنولوژی t و با ظرفیت c سطح همکاری m
- $f p_f^n$: هزینه تولید هر واحد محصول در کارخانه f با سطح همکاری n
- $g p_g$: هزینه عملیاتی هر واحد محصول در توزیع‌کننده g
- $i p_i$: هزینه عملیاتی هر واحد محصول در مرکز جمع‌آوری i
- γ : هزینه حمل هر واحد به ازای هر کیلومتر
- d_h^s : مقدار تقاضا در بازار مصرف h تحت سناریو s
- l_h^s : نرخ برگشت محصولات در بازار مصرف h
- Re_{max} : مقدار بیشینه تعداد اتفاق‌های نامطلوب در اثر برقراری اتحاد با شرکت‌های دیگر در کارخانه‌های تولید محصول اولیه
- Re_{min} : مقدار کمینه تعداد اتفاق‌های نامطلوب در اثر برقراری اتحاد با شرکت‌های دیگر در کارخانه‌های تولید محصول اولیه
- Rf_{max} : مقدار بیشینه تعداد اتفاق‌های نامطلوب در اثر برقراری اتحاد با شرکت‌های دیگر در کارخانه‌های تولید محصول مصرفی
- Rf_{min} : مقدار کمینه تعداد اتفاق‌های نامطلوب در اثر برقراری اتحاد با شرکت‌های دیگر در کارخانه‌های تولید محصول مصرفی
- $Re_{e'e'}^r$: تعداد اتفاق‌های نامطلوب محتمل در اثر برقراری اتحاد شرکت e با شرکت e' با سطح کنترل r
- $Rf_{f'f'}^r$: تعداد اتفاق‌های نامطلوب محتمل در اثر برقراری اتحاد شرکت f با شرکت f' با سطح کنترل r
- $le(m)$: حد پایین برای قرار گرفتن در سطوح همکاری m
- $ue(m)$: حد بالا برای قرار گرفتن در سطوح همکاری m
- $lf(n)$: حد پایین برای قرار گرفتن در سطوح همکاری n
- $uf(n)$: حد بالا برای قرار گرفتن در سطوح همکاری n

se_e^{mr} : میزان هزینه همکاری کارخانه‌های تولید محصول اولیه در اتحاد استراتژیک وقتی تعداد شرکت‌های همکار m و سطح کنترل r است

sf_e^{mr} : میزان هزینه همکاری کارخانه‌های تولید محصول اولیه در اتحاد استراتژیک وقتی تعداد شرکت‌های همکار m و سطح کنترل r است.

we, wf : وزن در نظر گرفته شده برای کارخانه‌های تولید محصول اولیه و مصرفی به منظور نرمال‌سازی میزان ریسک در تابع هدف مرتبط با ریسک اتحاد

po_s : احتمال رخ دادن سناریو S

π_s : ضریب خطی سازی مدل در مدل استوار

$\theta_1^{sh}, \theta_2^{sh}$: مقدار نشدنی بودن در مدل استوار در نقاط مصرف h و تحت سناریو s

β : وزن تخصیص یافته به مقدار انحرافات در مدل ریاضی

ω_1, ω_2 : مقدار جریمه نشدنی بودن محدودیت‌ها

متغیرهای تصمیم

z_{em}^{tc} : اگر در مکان e ، کارخانه فولاد با تکنولوژی t و ظرفیت c و سطح همکاری m راه‌اندازی شود، یک و در غیر این صورت صفر است.

η_g : اگر در مکان g توزیع‌کننده راه‌اندازی شود، یک و در غیر این صورت صفر است.

γ_i : اگر در مکان i مرکز جمع‌آوری تأسیس شود، یک و در غیر این صورت صفر است.

$se_{e'e'}$: اگر کارخانه e با کارخانه e' اتحاد استراتژیک با سطح کنترل r داشته باشد، یک و در غیر این صورت صفر است.

$sf_{ff'}$: اگر کارخانه f با کارخانه f' اتحاد استراتژیک با سطح کنترل r داشته باشد، یک و در غیر این صورت صفر است.

ee^{mr} : اگر کارخانه e به سطوح همکاری m با سطح کنترل r تخصیص یابد.

ef_f^{nr} : اگر کارخانه f به سطوح همکاری n با سطح کنترل r تخصیص یابد.

ne_{er}^0 : اگر تعداد کارخانه‌هایی که با کارخانه e اتحاد استراتژیک با سطح کنترل r دارند 0 باشد، یک و در غیر این صورت صفر است.

$nf_{ff'}^p$: اگر تعداد کارخانه‌هایی که با کارخانه e اتحاد استراتژیک با سطح کنترل r دارند p باشد، یک و در غیر این صورت صفر است.

eq_q^s : مقدار قراضه ورودی به کارخانه تولید محصولات e تحت سناریو s

$f q_{em}^{tcs}$: مقدار محصول ارسالی از کارخانه e با سطح تکنولوژی t و ظرفیت c و سطح همکاری m به کارخانه تولید فلزات f تحت سناریو s

gq_{fg}^{ns} : مقدار محصول ارسالی از کارخانه تولید l با سطح همکاری n به توزیع‌کننده g تحت سناریو s

hq_{gh}^s : مقدار محصول ارسالی از توزیع‌کننده g به نقاط مصرف h تحت سناریو s

iq_{hi}^s : مقدار محصول ارسالی از نقاط مصرف h به مرکز جمع‌آوری i تحت سناریو s

$j: q_{ie}^s$: مقدار محصول ارسالی از مرکز جمع‌آوری i به کارخانه e تحت سناریو s

به‌منظور ارائه مدل ریاضی، با توجه به عدم قطعیت در میزان تقاضای محصولات و نرخ بازگشت محصولات جمع‌آوری‌شده، از ترکیب روش استوار مولوی، واندربی و زنیوس (۱۹۹۵) و یو و لی (۲۰۰۰) بهره گرفته شده است؛ زیرا این روش این قابلیت را دارد که میزان انحراف هزینه‌های ناشی از عدم قطعیت را در مدل ریاضی در نظر گیرد و باعث شود که تصمیم‌های اتخاذشده، ریسک کمتری در آینده داشته باشند. همچنین از دیگر مزایای این روش این است که با تخصیص میزان جریمه تأثیر پارامترهای غیرقطعی برای مثال تقاضای تأمین نشده و محصولات برگشتی جمع‌آوری نشده در آینده را نیز در نظر گیرد. برای تشریح مدل استوار و محدودیت‌های مورد نظر مدل ساده زیر را در نظر بگیرید.

$$\min \theta (v_1, v_2, \dots, v_s) + \omega \phi(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_s) \quad \text{رابطه ۱}$$

$$Du = \tau \quad \text{رابطه ۲}$$

$$K_s u + L_s y_s + \theta_s = \nabla_s \quad \forall s \in S \quad \text{رابطه ۳}$$

$$u, v_s, \theta_s \geq 0 \quad \forall s \in S \quad \text{رابطه ۴}$$

u, v متغیرهای تصمیم‌گیری، ∇ بردار سمت راست و k, l ضرایب فنی تصادفی را نشان می‌دهد. (v_1, v_2, \dots, v_s) نمایش‌دهنده متغیرهای کنترلی و $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_s)$ نشان‌دهنده میزان نشدنی بودن مدل ریاضی است. با توجه به موارد ذکر شده تابع هدف را می‌توان به‌صورت رابطه (۵) نوشت.

$$\sum_{s \in S} p_s \varphi_s + \beta_s \sum_s p_s \left| \varphi_s - \sum_{s \in S} p_s \varphi_s \right| \quad \text{رابطه ۵}$$

در رابطه ۵ داخل قدر مطلق، میزان انحراف‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به غیرخطی بودن رابطه ۵، یو و لی (۲۰۰۰) رابطه‌های خطی شده ۶ و ۷ را پیشنهاد دادند که رابطه ۷ به‌صورت محدودیت به مدل ریاضی اضافه می‌شود.

$$\sum_{s \in S} \varphi_s + \beta \sum_{s \in S} p_s \left[\left(\varphi_s - \sum_{s \in S} p_s \varphi_s \right) + 2\pi_s \right] \quad \text{رابطه ۶}$$

$$\varphi_s - \sum_{s \in S} p_s \varphi_s + \pi_s \geq 0 \quad \forall s \in S \quad \text{رابطه ۷}$$

اگر به روابط بالا میزان هزینه نشدنی بودن $(\omega \sum_{s \in S} p_s \theta_s)$ را اضافه کنیم مدل نهایی به‌صورت رابطه ۸ می‌شود.

$$\sum_{s \in S} \varphi_s + \beta \sum_{s \in S} p_s \left[\left(\varphi_s - \sum_{s \in S} p_s \varphi_s \right) + 2\pi_s \right] + \omega \sum_{s \in S} p_s \theta_s \quad \text{رابطه ۸}$$

با توجه به موارد ذکر شده مدل استوار به شرح زیر است.

$$\begin{aligned}
\text{Min } z_1 = & \sum_e \sum_m \sum_t \sum_c F e_e^{ct} z_{em}^{tc} + \sum_g F g_g \eta_g + \sum_i F i_i y_i + \sum_o \sum_e \sum_r s e_e^{mr} n e_e^o \quad \text{رابطه ۹} \\
& + \sum_o \sum_e \sum_r s f_e^{mr} n f_{fr}^p + \sum_s p s_s \left(\sum_m \sum_e \sum_c \sum_t \sum_f f q_{emf}^{tcs} (\rho_{ef} \gamma + e p_{em}^{tc}) \right) \\
& + \sum_f \sum_g \sum_n (\rho_{fg} \gamma + f p_f^n) g q_{fg}^{ns} + \sum_g \sum_h (\rho_{gh} \gamma + g p_g) h q_{gh}^s \\
& + \sum_h \sum_i \rho_{hi} \gamma i q_{hi}^s + \sum_i \sum_e (\rho_{ie} \gamma + i p_i) j q_{ie}^s \\
& + \beta_s \sum_s p s_s \left[\left(\sum_m \sum_e \sum_c \sum_t \sum_f f q_{emf}^{tcs} (\rho_{ef} \gamma + e p_{em}^{tc}) \right) \right. \\
& + \sum_f \sum_g \sum_n (\rho_{fg} \gamma + f p_f^n) g q_{fg}^{ns} + \sum_g \sum_h (\rho_{gh} \gamma + g p_g) h q_{gh}^s \\
& + \sum_h \sum_i \rho_{hi} \gamma i q_{hi}^s + \sum_i \sum_e (\rho_{ie} \gamma + i p_i) j q_{ie}^s \\
& - \sum_s p o_s \left(\sum_m \sum_e \sum_c \sum_t \sum_f f q_{emf}^{tcs} (\rho_{ef} \gamma + e p_{em}^{tc}) \right) \\
& + \sum_f \sum_g \sum_n (\rho_{fg} \gamma + f p_f^n) g q_{fg}^{ns} + \sum_g \sum_h (\rho_{gh} \gamma + g p_g) h q_{gh}^s \\
& + \sum_h \sum_i \rho_{hi} \gamma i q_{hi}^s + \sum_i \sum_e (\rho_{ie} \gamma + i p_i) j q_{ie}^s + 2\pi_s \left. \right] \\
& + \omega_1 \sum_s \sum_l p s_s \theta_1^{sh} + \omega_2 \sum_s \sum_n p s_s \theta_2^{sh}
\end{aligned}$$

سه عبارت اول در تابع هدف اول، به هزینه‌های احداث تسهیلات و دو عبارت بعدی مرتبط با هزینه‌های همکاری بین تسهیلات مربوط است. دو عبارت آخر مربوط به هزینه‌های نشدنی بودن مدل ریاضی hsj و باقی عبارات نیز مرتبط با میانگین و انحراف هزینه‌های حمل‌ونقل داخل شبکه زنجیره تأمین هستند.

$$\text{Min } z_2 = w e \frac{\sum_e (e \neq e') \sum_r R e_{ee'}^r s e_{ee'}^r - R e_{min}}{R e_{max} - R e_{min}} + w f \frac{\sum_f (f \neq f') \sum_r R f_{ff'}^r s f_{ff'}^r - R f_{min}}{R f_{max} - R f_{min}} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

در تابع هدف دوم، تعداد اتفاق‌های نامطلوب ناشی از برقراری همکاری برای کاهش میزان ریسک برقراری همکاری کمینه می‌شود. برای این منظور برای انجام همکاری در کارخانه‌های تولید محصول اولیه و نیز کارخانه‌های تولید محصول مصرفی وزن‌های جداگانه در نظر گرفته شده است.

$$\sum_g h q_{gh}^s + \theta_1^{sh} = d_h^s \quad \forall h, s \quad \text{رابطه ۱۱}$$

$$\sum_i i q_{hi}^s + \theta_2^{sh} = \sum_g h q_{gh}^s * l_h^s \quad \forall h, s \quad \text{رابطه ۱۲}$$

$$\sum_f \sum_n g q_{fg}^{ns} = \sum_h h q_{gh}^s \quad \forall g, s \quad \text{رابطه ۱۳}$$

$$\sum_m \sum_e \sum_c \sum_t f q_{emf}^{tcs} = \sum_g \sum_n g q_{fg}^{ns} \quad \forall f, s \quad \text{رابطه ۱۴}$$

$$\sum_i jq_{ie}^s + eq_e^s = \sum_f \sum_t \sum_c \sum_m fq_{emf}^{tcs} \quad \forall e, s \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

$$\sum_e jq_{ie}^s = \sum_h iq_{hi}^s \quad \forall i, s \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

$$\sum_f fq_{emf}^{tcs} \leq Ce_{em}^{tc} z_{em}^{tc} \quad \forall e, m, c, t \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

$$\sum_g gq_{fg}^{ns} \leq Cf_f^n el_f^n \quad \forall n, f, s \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

$$\sum_h hq_{gh}^s \leq Cg_g \eta_g \quad \forall g, s \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

$$\sum_e jq_{ie}^s \leq Ci_i y_i \quad \forall i, s \quad \text{رابطه (۲۰)}$$

$$\sum_m \sum_t \sum_c z_{em}^{tc} \leq 1 \quad \forall e \quad \text{رابطه (۲۱)}$$

$$\sum_{e' (e \neq e')} se_{ee'}^r = \sum_o o * ne_{er}^o \quad \forall e, r \quad \text{رابطه (۲۲)}$$

$$\sum_{f' (f \neq f')} sf_{ff'}^r = \sum_p p * nf_{fr}^p \quad \forall f, r \quad \text{رابطه (۲۳)}$$

$$\sum_m ee_e^{mr} \leq 1 \quad \forall e, r \quad \text{رابطه (۲۴)}$$

$$\sum_n ef_f^{nr} \leq 1 \quad \forall f, r \quad \text{رابطه (۲۵)}$$

$$\sum_m ee_e^{mr} \leq \sum_o ne_{er}^o \quad \forall e, r \quad \text{رابطه (۲۶)}$$

$$\sum_n ef_f^{nr} \leq \sum_p nf_{fr}^p \quad \forall f, r \quad \text{رابطه (۲۷)}$$

$$\sum_m le(m) ee_e^{mr} \leq \sum_o o * ne_{er}^o \quad \forall e, r \quad \text{رابطه (۲۸)}$$

$$\sum_o o * ne_{er}^o \leq \sum_m ue(m)ee_e^{mr} \quad \forall e, r \quad \text{رابطه ۲۹}$$

$$\sum_n lf(n)ef_f^{nr} \leq \sum_p p * nf_{fr}^p \quad \forall f, r \quad \text{رابطه ۳۰}$$

$$\sum_p p * nf_{fr}^p \leq \sum_n uf(n)ef_f^{nr} \quad \forall f, r \quad \text{رابطه ۳۱}$$

$$se_{ee'}^r + se_{e'e''}^r - se_{ee''}^r \leq 1 \quad \forall e, r \quad \text{رابطه ۳۲}$$

$$sf_{ff'}^r + sf_{f'f''}^r - sf_{ff''}^r \leq 1 \quad \forall e, r \quad \text{رابطه ۳۳}$$

$$\sum_m \sum_t \sum_c z_{em}^{tc} \geq se_{ee'}^r \quad \forall e, e', r \quad \text{رابطه ۳۴}$$

$$z_{em}^{tc} \leq ee_e^{mr} \quad \forall e, m, t, c, r \quad \text{رابطه ۳۵}$$

$$\begin{aligned} & ((\sum_m \sum_e \sum_c \sum_t \sum_f f q_{emf}^{tcs} (\rho_{ef}\gamma + ep_{em}^{tc}) + \sum_f \sum_g \sum_n (\rho_{fg}\gamma + fp_f^n) gq_{fg}^{ns} \\ & + \sum_g \sum_h (\rho_{gh}\gamma + gp_g) hq_{gh}^s + \sum_h \sum_i \rho_{hi}\gamma iq_{hi}^s + \sum_i \sum_e (\rho_{ie}\gamma + ip_i) jq_{ie}^s) \\ & - \sum_s p o_s (\sum_m \sum_e \sum_c \sum_t \sum_f f q_{emf}^{tcs} (\rho_{ef}\gamma + ep_{em}^{tc})) \\ & + \sum_f \sum_g \sum_n (\rho_{fg}\gamma + fp_f^n) gq_{fg}^{ns} + \sum_g \sum_h (\rho_{gh}\gamma + gp_g) hq_{gh}^s \\ & + \sum_h \sum_i \rho_{hi}\gamma iq_{hi}^s + \sum_i \sum_e (\rho_{ie}\gamma + ip_i) jq_{ie}^s) + \pi_s \geq 0 \quad \forall s \end{aligned} \quad \text{رابطه ۳۶}$$

$$z_{em}^{tc}, y_i, x_g, se_{ee'}^r, sf_{ff'}^r, ne_{er}^o, nf_{fr}^p, ef_f^{nr}, ee_e^{mr}, ef_f^{nr} \in \{0,1\} \quad \text{رابطه ۳۷}$$

$$eq_e^s, f q_{emf}^{tcs}, gq_{fg}^{ns}, hq_{gh}^s, iq_{hi}^s, jq_{ie}^s \geq 0 \quad \text{رابطه ۳۸}$$

محدودیت ۱۱ بیان می‌دارد که تقاضا بازار مصرف باید توسط میزان محصولات منتقل شده از توزیع‌کننده‌ها تأمین شود. محدودیت ۱۲ نشان‌دهنده مقدار محصولات جمع‌آوری شده و منتقل شده به مراکز جمع‌آوری است. محدودیت‌های ۱۳ تا ۱۶ به محدودیت‌های تعادل جریان ورود و خروج در تسهیلات مربوط است.

محدودیت‌های ۱۷ تا ۲۰ محدودیت ظرفیت تسهیلات را نشان می‌دهند. محدودیت ۲۱ بیان می‌دارد که از هر نوع ظرفیت، تکنولوژی و سطح همکاری تنها یک مورد می‌تواند در کارخانه‌های احداث شده مورد استفاده قرار گیرد. محدودیت‌های ۲۲ و ۲۳ تعداد شرکت‌های همکار کارخانه‌های تولیدکننده محصول اولیه و مصرفی را نشان می‌دهد. محدودیت‌های ۲۴ و ۲۵ این را نشان می‌دهند که کارخانه‌ها در صورت جابجایی می‌توانند تنها به یک سطح همکاری تخصیص یابند. عبارات ۲۶ و ۲۷ با تخصیص شرکت‌ها به سطوح همکاری مدنظر مرتبط هستند.

محدودیت‌های ۲۸ تا ۳۱ بازه‌های مدنظر برای تخصیص سطوح همکاری را تعیین می‌کنند. محدودیت‌های ۳۲ و ۳۳ نشان می‌دهند که اگر شرکتی با شرکت دیگر رابطه همکاری داشته باشد و شرکت دوم با شرکت سوم نیز رابطه همکاری داشته باشد، شرکت اول با شرکت سوم نیز دارای رابطه همکاری است. رابطه ۳۴ این را نشان می‌دهد که شرکت زمانی می‌تواند رابطه همکاری داشته باشد که تأسیس شده باشد و رابطه ۳۵ هم تضمین می‌کند که در صورت راه‌اندازی یک شرکت، این شرکت به یکی از سطوح همکاری تخصیص یابد. رابطه ۳۶ محدودیت مربوط به خطی‌سازی مدل استوار است. در نهایت دو محدودیت آخر هم متغیرهای صفر و یک و نیز متغیرهای پیوسته را نشان می‌دهند.

برای مطالعه موردی تعداد نقاط کاندید برای کارخانه تولیدکننده محصولات اولیه ۸ نقطه، تعداد نقاط ثابت کارخانه تولیدکننده محصولات مصرفی ۸ نقطه، تعداد مراکز توزیع کننده ۱۰، بازار مصرف محصولات ۱۵ و مراکز جمع‌آوری نیز ۱۰ نقطه وجود دارد، دو نوع تکنولوژی و سطح ظرفیت وجود دارد و ۳ سطح همکاری و ۳ سطح ریسک در نظر گرفته شده است (۸ × ۸ × ۱۰ × ۱۵ × ۱۰). این مسئله تعداد ۶۹۳۴ متغیر و ۲۰۳۷ محدودیت مدل ریاضی دارد. همچنین شایان ذکر است که با توجه به وجود متغیرهای پیوسته و صفر و یک از نظر پیچیدگی، این مدل ریاضی در حوزه NP-hard دسته‌بندی می‌شود که این موضوع در مقاله سلیمانی و کانان^۱ (۲۰۱۵) تأکید شده است. به همین منظور و با توجه به پیچیدگی مدل مدنظر برای ابعاد مسئله در اندازه‌های متوسط و بزرگ نیز الگوریتم حل بندرز توسعه داده شده است.

به‌کارگیری روش تجزیه بندرز

در این روش مدل برنامه‌ریزی آمیخته عدد صحیح به یک مسئله اصلی^۲ (MP) و زیر مسئله^۳ (SP) تقسیم می‌شود که با استفاده از جواب یکدیگر و استفاده از دوگان بندرز و اضافه کردن برش‌های بندرز حل می‌شوند (بندرز^۴، ۱۹۶۲). برخلاف الگوریتم متاهورستیک که رسیدن به حل بهینه را تضمین نمی‌کنند، الگوریتم تجزیه بندرز می‌تواند به جواب بهینه دست پیدا کند. به همین دلیل این الگوریتم در تنوعی از مسائل مانند طراحی شبکه، حمل و نقل، برنامه‌ریزی تولید و ... کاربرد دارد (مردان، گویدان، مینا و غلامی زنجانی^۵، ۲۰۱۹). برای مثال آزاد و هسینی^۶ (۲۰۱۹) برای طراحی شبکه زنجیره تأمین از این الگوریتم استفاده کردند. با توجه به توضیحات ارائه شده مسئله SP به صورت زیر است.

1. Soleimani & Kannan
2. Master Problem
3. Sub Problem
4. Benders
5. Mardan, Govindan, Mina & Gholami-Zanjani
6. Azad & Hassini

$$\begin{aligned}
\text{Min } z_1 = & \sum_e \sum_m \sum_t \sum_c F e_e^{ct} z_{em}^{tc} + \sum_g F g_g \eta_g + \sum_i F i_i y_i + \sum_o \sum_e \sum_r s e_e^{mr} n e_e^{or} & \text{رابطه (۳۹)} \\
& + \sum_o \sum_e \sum_r s f_e^{mr} n f_{fr}^p \\
& + \sum_s p s_s \left(\sum_m \sum_e \sum_c \sum_t \sum_f f q_{emf}^{tcs} (\rho_{ef} \gamma + e p_{em}^{tc}) \right. \\
& + \sum_f \sum_g \sum_n (\rho_{fg} \gamma + f p_f^n) g q_{fg}^{ns} + \sum_g \sum_h (\rho_{gh} \gamma + g p_g) h q_{gh}^s \\
& + \sum_h \sum_i \rho_{hi} \gamma i q_{hi}^s + \sum_i \sum_e (\rho_{ie} \gamma + i p_i) j q_{ie}^s \\
& + \beta_s \sum_s p s_s \left[\left(\sum_m \sum_e \sum_c \sum_t \sum_f f q_{emf}^{tcs} (\rho_{ef} \gamma + e p_{em}^{tc}) \right. \right. \\
& + \sum_f \sum_g \sum_n (\rho_{fg} \gamma + f p_f^n) g q_{fg}^{ns} + \sum_g \sum_h (\rho_{gh} \gamma + g p_g) h q_{gh}^s \\
& + \sum_h \sum_i \rho_{hi} \gamma i q_{hi}^s + \sum_i \sum_e (\rho_{ie} \gamma + i p_i) j q_{ie}^s \\
& - \sum_s p o_s \left(\sum_m \sum_e \sum_c \sum_t \sum_f f q_{emf}^{tcs} (\rho_{ef} \gamma + e p_{em}^{tc}) \right. \\
& + \sum_f \sum_g \sum_n (\rho_{fg} \gamma + f p_f^n) g q_{fg}^{ns} + \sum_g \sum_h (\rho_{gh} \gamma + g p_g) h q_{gh}^s \\
& + \sum_h \sum_i \rho_{hi} \gamma i q_{hi}^s + \sum_i \sum_e (\rho_{ie} \gamma + i p_i) j q_{ie}^s \left. \left. + 2 \pi_s \right] \right. \\
& + \omega_1 \sum_s \sum_h p s_s \theta_1^{sh} + \omega_2 \sum_s \sum_n p s_s \theta_2^{sh}
\end{aligned}$$

$$\sum_g h q_{gh}^s + \theta_1^{sh} = d_h^s \quad \forall h, s \quad \text{رابطه (۴۰)}$$

$$\sum_i i q_{hi}^s + \theta_2^{sh} = \sum_g h q_{gh}^s * l_h^s \quad \forall h, s \quad \text{رابطه (۴۱)}$$

$$\sum_f \sum_n g q_{fg}^{ns} = \sum_h h q_{gh}^s \quad \forall g, s \quad \text{رابطه (۴۲)}$$

$$\sum_m \sum_e \sum_c \sum_t f q_{emf}^{tcs} = \sum_g \sum_n g q_{fg}^{ns} \quad \forall f, s \quad \text{رابطه (۴۳)}$$

$$\sum_i j q_{ie}^s + e q_e^s = \sum_f \sum_t \sum_c \sum_m f q_{emf}^{tcs} \quad \forall e, s \quad \text{رابطه (۴۴)}$$

$$\sum_e j q_{ie}^s = \sum_h i q_{hi}^s \quad \forall i, s \quad \text{رابطه (۴۵)}$$

$$\sum_f f q_{emf}^{tcs} \leq C e_m^{tc} z_{em}^{tc} \quad \forall e, m, c, t, s \quad \text{رابطه (۴۶)}$$

$$\sum_g gq_{fg}^{ns} \leq Cf_f^n e_l^n \quad \forall n, f, s \quad \text{رابطه (۴۷)}$$

$$\sum_n hq_{gh}^s \leq Cg_g n_g \quad \forall g, s \quad \text{رابطه (۴۸)}$$

$$\sum_e jq_{ie}^s \leq Ci_i y_i \quad \forall i, s \quad \text{رابطه (۴۹)}$$

$$\begin{aligned} & \left(\sum_m \sum_e \sum_c \sum_t \sum_f f q_{emf}^{tcs} (\rho_{ef}\gamma + ep_{em}^{tc}) \right. & \text{رابطه (۵۰)} \\ & + \sum_f \sum_g \sum_n (\rho_{fg}\gamma + fp_f^n) gq_{fg}^{ns} \\ & + \sum_g \sum_h (\rho_{gh}\gamma + gp_g) hq_{gh}^s + \sum_h \sum_i \rho_{hi}\gamma i q_{hi}^s \\ & + \sum_i \sum_e (\rho_{ie}\gamma + ip_i) jq_{ie}^s \\ & - \sum_s p o_s \left(\sum_m \sum_e \sum_c \sum_t \sum_f f q_{emf}^{tcs} (\rho_{ef}\gamma + ep_{em}^{tc}) \right. \\ & + \sum_f \sum_g \sum_n (\rho_{fg}\gamma + fp_f^n) gq_{fg}^{ns} \\ & + \sum_g \sum_h (\rho_{gh}\gamma + gp_g) hq_{gh}^s + \sum_h \sum_i \rho_{hi}\gamma i q_{hi}^s \\ & \left. + \sum_i \sum_e (\rho_{ie}\gamma + ip_i) jq_{ie}^s \right) + \pi_s \geq 0 \quad \forall s \end{aligned}$$

$$eq_e^s, f q_{emf}^{tcs}, gq_{fg}^{ns}, hq_{gh}^s, i q_{hi}^s, jq_{ie}^s \geq 0 \quad \text{رابطه (۵۱)}$$

به منظور نوشتن دوال SP علائم زیر در این مدل در نظر گرفته می شوند:

متغیر دوال متناظر با محدودیت اول تا $v11^s, v10_i^s, v9_g^s, v8_{n,f}^s, v7_{emct}^s, v6_i^s, v5_e^s, v4_f^s, v3_g^s, v2_h^s, v1_h^s$,

یازدهم.

دوال (DSP) SP به صورت زیر است.

$$\begin{aligned} \text{Max } zdsp = & \sum_s \sum_h v1_h^s d_h^s + \sum_s \sum_h v2_h^s d_h^s l_h^s + \sum_e \sum_m \sum_c \sum_t \sum_s v7_{emct}^s Ce_{em}^{tc} \overline{z_{em}^{tc}} \\ & + \sum_n \sum_f \sum_s v8_{n,f}^s e_l^n Cf_f^n + \sum_g \sum_s v9_g^s Cg_g x_g + \sum_s \sum_i v10_i^s Ci_i y_i \end{aligned} \quad \text{رابطه (۵۲)}$$

$$\begin{aligned} v4_f^s - v5_e^s + v7_{emct}^s + (\rho_{ef}\gamma + ep_{em}^{tc}) v11^s & \quad \forall k, p, c, e, l, s \\ - p o_s (\rho_{ef}\gamma + ep_{em}^{tc}) \sum_{s'} v11^{s'} \leq p o_s (\rho_{ef}\gamma + ep_{em}^{tc}) & \end{aligned} \quad \text{رابطه (۵۳)}$$

$$v3_g^s - v4_f^s + d8_{iq}^s + (\rho_{fg}\gamma + fp_f^n)v11^s - p0_s(\rho_{fg}\gamma + fp_f^n) \sum_{s'} v11^s \leq p0_s(\rho_{fg}\gamma + fp_f^n) \quad \forall l, q, m, s \quad \text{رابطه (۵۴)}$$

$$v1_h^s - v3_g^s + v9_g^s + (\rho_{gh}\gamma + gp_g)v11^s - p0_s(\rho_{gh}\gamma + gp_g) \sum_{s'} v11^s \leq p0_s(\rho_{gh}\gamma + gp_g) \quad \forall m, n, s \quad \text{رابطه (۵۵)}$$

$$v6_i^s + v10_i^s + (\rho_{ie}\gamma + ip_i)v11^s - p0_s(\rho_{ie}\gamma + ip_i) \sum_{s'} v11^s \leq p0_s(\rho_{ie}\gamma + ip_i) \quad \forall h, i, s \quad \text{رابطه (۵۶)}$$

$$v2_h^s - v6_i^s + (\rho_{hi}\gamma iq_{hi}^s)v11^s - p0_s(\rho_{hi}\gamma iq_{hi}^s) \sum_{s'} v11^s \leq p0_s(\rho_{hi}\gamma iq_{hi}^s) \quad \forall i, e, s \quad \text{رابطه (۵۷)}$$

$$v11^s \leq 2p0_s\beta_s \quad \forall s \quad \text{رابطه (۵۸)}$$

$$v1_h^s \leq 2\omega_1 p0_s \quad \forall s, h \quad \text{رابطه (۵۹)}$$

$$v2_h^s \leq 2\omega_2 p0_s \quad \forall s, h \quad \text{رابطه (۶۰)}$$

$$v11^s \geq 0 \quad \forall s \quad \text{رابطه (۶۱)}$$

$$v7_{emct}^s, v8_{n,f}^s, v9_g^s, v10_i^s, v5_e^s \leq 0 \quad \text{رابطه (۶۲)}$$

$$v1_h^s, v2_h^s, v3_g^s, v4_f^s, v6_i^s \text{ free} \quad \text{رابطه (۶۳)}$$

به منظور بهبود الگوریتم ارائه شده، از دو سازوکار الف و ب استفاده شده است.

الف) اضافه کردن محدودیت‌های جدید

اضافه کردن اطلاعاتی از مسئله اصلی می‌تواند موجب بهبود سرعت حل توسط روش بندرز شود زیرا یکی از دلایل پایین بودن سرعت حل، وجود جواب‌هایی با کیفیت پایین در مسئله MP است (ساهرادیس، بویل و تئوفانیس^۱، ۲۰۱۱). اضافه کردن این محدودیت‌ها باعث می‌شوند که با ایجاد جواب اولیه بهتر، تعداد برش‌ها کاهش یابد و الگوریتم زودتر همگرا شود (جیحونیان، زنجانی و جندرائو^۲، ۲۰۱۶).

در این مسئله از محدودیت‌های زیر به منظور ایجاد جواب‌های با کیفیت‌تر استفاده می‌شود.

$$\sum_s \sum_h p o_s d_h^s \leq \sum_m \sum_e \sum_c \sum_t C e_{em}^{tc} z_{em}^{tc} \quad \text{رابطه ۶۴}$$

$$\sum_s \sum_h p o_s d_h^s \leq \sum_f \sum_n C f_f^n e l_f^n \quad \text{رابطه ۶۵}$$

$$\sum_s \sum_h p o_s d_h^s \leq \sum_g C g_g \eta_g \quad \text{رابطه ۶۶}$$

$$\sum_s \sum_h p o_s d_h^s l_h^s \leq \sum_i C i_i y_i \quad \text{رابطه ۶۷}$$

این محدودیت‌ها بیان می‌دارند که تعداد و ظرفیت تسهیلات راه اندازی شده باید میانگین تقاضای نقاط مصرف را مرتفع کنند و از آنجایی که این موضوع یکی از فرضیات مدل مورد نظر می‌باشد، این محدودیت‌ها بدون تغییر در جواب می‌توانند به ایجاد جواب با کیفیت کمک کنند.

ب) جداسازی برش‌های بندرز

آستر، اساوران، آکسلی و ستینکایا^۱ (۲۰۰۷) با تفکیک مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته به دو زیر مسئله زنجیره روبه‌جلو و عقب، به افزایش کارایی الگوریتم بندرز کمک کردند. دلیل این موضوع این است که هرچقدر فضای حل مدل MP محدودتر باشد، تعداد تکرارها و بنابراین زمان حل کاهش می‌یابد. برای این منظور باید در صورت امکان مسئله DSP به مسائل کوچک‌تر تجزیه شوند (دوگان و گوئیچالکس^۲ ۱۹۹۹). با توجه به این نکته در این مقاله نیز با تفکیک زیر مسئله SP به دو مسئله زنجیره روبه‌جلو و عقب، از این ویژگی برای بهبود فضای حل بهره گرفته می‌شود. در لجستیک روبه‌جلو، DSP به صورت زیر می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{Max } zdsp = & \sum_s \sum_h v 1_h^s d_h^s + \sum_e \sum_m \sum_c \sum_t \sum_s v 7_{emct}^s C e_{em}^{tc} \bar{z}_{em}^{tc} \\ & + \sum_n \sum_f \sum_s v 8_{n,f}^s \bar{e} l_f^n C f_f^n + \sum_g \sum_s v 9_g^s C g_g \eta_g \end{aligned} \quad \text{رابطه ۶۸}$$

$$\begin{aligned} v 4_f^s - v 5_e^s + v 7_{emct}^s + (\rho_{ef} \gamma + e p_{em}^{tc}) v 11^s - p o_s (\rho_{ef} \gamma \\ + e p_{em}^{tc}) \sum_{s'} v 11^{s'} \leq p o_s (\rho_{ef} \gamma + e p_{em}^{tc}) \end{aligned} \quad \forall k, p, c, e, l, s \quad \text{رابطه ۶۹}$$

$$\begin{aligned} v 3_g^s - v 4_f^s + d 8_{lq}^s + (\rho_{fg} \gamma + f p_f^n) v 11^s - p o_s (\rho_{fg} \gamma + f p_f^n) \sum_{s'} v 11^{s'} \\ \leq p o_s (\rho_{fg} \gamma + f p_f^n) \end{aligned} \quad \forall l, q, m, s \quad \text{رابطه ۷۰}$$

$$v1_h^s - v3_g^s + v9_g^s + (\rho_{gh}\gamma + gp_g)v11^s - p_o_s(\rho_{gh}\gamma + gp_g) \sum_{s'} v11^s \leq p_o_s(\rho_{gh}\gamma + gp_g) \quad \forall m, n, s \quad \text{رابطه (۷۱)}$$

$$v11^s \leq 2p_o_s\beta_s \quad \forall s \quad \text{رابطه (۷۲)}$$

$$v1_h^s \leq 2\omega_1 p_o_s \quad \forall s, h \quad \text{رابطه (۷۳)}$$

$$v11^s \geq 0 \quad \forall s \quad \text{رابطه (۷۴)}$$

$$v7_{emct}^s, v8_{n,f}^s, v9_g^s, v5_e^s \leq 0 \quad \text{رابطه (۷۵)}$$

$$v1_h^s, v3_g^s, v4_f^s \text{ free} \quad \text{رابطه (۷۶)}$$

و در لجستیک رو به عقب:

$$\text{Max } zdsp = \sum_s \sum_h v2_h^s d_h^s l_h^s + \sum_s \sum_i v10_i^s C_i y_i \quad \text{رابطه (۷۷)}$$

$$v6_i^s + v10_i^s + (\rho_{ie}\gamma + ip_i)v11^s - p_o_s(\rho_{ie}\gamma + ip_i) \sum_{s'} v11^s \leq p_o_s(\rho_{ie}\gamma + ip_i) \quad \forall h, i, s \quad \text{رابطه (۷۸)}$$

$$v2_h^s - v6_i^s + (\rho_{hi}\gamma iq_{hi}^s)v11^s - p_o_s(\rho_{hi}\gamma iq_{hi}^s) \sum_{s'} v11^s \leq p_o_s(\rho_{hi}\gamma iq_{hi}^s) \quad \forall i, e, s \quad \text{رابطه (۷۹)}$$

$$v11^s \leq 2p_o_s\beta_s \quad \forall s \quad \text{رابطه (۸۰)}$$

$$v2_h^s \leq 2\omega_2 p_o_s \quad \forall s, h \quad \text{رابطه (۸۱)}$$

$$v11^s \geq 0 \quad \forall s \quad \text{رابطه (۸۲)}$$

$$v10_i^s \leq 0 \quad \text{رابطه (۸۳)}$$

$$v2_h^s, v6_i^s \text{ free} \quad \text{رابطه (۸۴)}$$

و MP به صورت زیر خواهد شد:

$$\begin{aligned} \text{Min } z_1 = & \sum_e \sum_m \sum_t \sum_c F e_e^{ct} z_{em}^{tc} + \sum_g F g_g \eta_g + \sum_i F i_i y_i + \sum_o \sum_e \sum_r s e_e^{mr} n e_{er}^o \\ & + \sum_o \sum_e \sum_r s f_e^{mr} n f_{fr}^p + \vartheta_1 + \vartheta_2 \end{aligned} \quad \text{رابطه ۸۵}$$

$$\begin{aligned} \vartheta_1 \geq & \sum_s \sum_h \overline{v1_h^{sb}} d_h^s + \sum_e \sum_m \sum_c \sum_t \sum_s \overline{v7_{emct}^{sb}} C e_{em}^{tc} z_{em}^{tc} \\ & + \sum_n \sum_f \sum_s \overline{v8_{n,f}^{sb}} e l_f^n C f_f^n + \sum_g \sum_s \overline{v9_g^{sb}} C g_g \eta_g \end{aligned} \quad \forall b = 1,2,3, \dots \text{iter} \quad \text{رابطه ۸۶}$$

$$\begin{aligned} & \sum_s \sum_h \overline{v1_h^{sb}} d_h^s + \sum_e \sum_m \sum_c \sum_t \sum_s \overline{v7_{emct}^{sb}} C e_{em}^{tc} z_{em}^{tc} \\ & + \sum_n \sum_f \sum_s \overline{v8_{n,f}^{sb}} e l_f^n C f_f^n + \sum_g \sum_s \overline{v9_g^{sb}} C g_g \eta_g \\ & \geq 0 \end{aligned} \quad \forall b = 1,2,3, \dots \text{iter} \quad \text{رابطه ۸۷}$$

$$\vartheta_2 \geq \sum_s \sum_h \overline{v2_h^{sb}} d_h^s l_h^s + \sum_s \sum_i \overline{v10_i^{sb}} C i_i y_i \quad \forall b = 1,2,3, \dots \text{iter} \quad \text{رابطه ۸۸}$$

$$\sum_s \sum_h \overline{v2_h^{sb}} d_h^s l_h^s + \sum_s \sum_i \overline{v10_i^{sb}} C i_i y_i \geq 0 \quad \forall b = 1,2,3, \dots \text{iter} \quad \text{رابطه ۸۹}$$

$$Z_2 \geq \varepsilon \quad \text{رابطه ۹۰}$$

$$\sum_m \sum_t \sum_c z_{em}^{tc} = 1 \quad \forall e \quad \text{رابطه ۹۱}$$

$$\sum_{e' (e \neq e')} s e_{e'e'}^r = \sum_o o * n e_{er}^o \quad \forall e, r \quad \text{رابطه ۹۲}$$

$$\sum_{f' (f \neq f')} s f_{f'f'}^r = \sum_p p * n f_{fr}^p \quad \forall f, r \quad \text{رابطه ۹۳}$$

$$\sum_m e e_e^{mr} \leq 1 \quad \forall e, r \quad \text{رابطه ۹۴}$$

$$\sum_n e f_f^{nr} \leq 1 \quad \forall f, r \quad \text{رابطه ۹۵}$$

$$\sum_m e e_e^{mr} \leq \sum_o n e_{er}^o \quad \forall e, r \quad \text{رابطه ۹۶}$$

$$\sum_n e f_f^{nr} \leq \sum_p n f_{fr}^p \quad \forall f, r \quad \text{رابطه (۹۷)}$$

$$\sum_m l e(m) e e_e^{mr} \leq \sum_o o * n e_{er}^o \quad \forall e, r \quad \text{رابطه (۹۸)}$$

$$\sum_o o * n e_{er}^o \leq \sum_m u e(m) e e_e^{mr} \quad \forall e, r \quad \text{رابطه (۹۹)}$$

$$\sum_n l f(n) e f_f^{nr} \leq \sum_p p * n f_{fr}^p \quad \forall f, r \quad \text{رابطه (۱۰۰)}$$

$$\sum_p p * n f_{fr}^p \leq \sum_n u f(n) e f_f^{nr} \quad \forall f, r \quad \text{رابطه (۱۰۱)}$$

$$s e_{ee'}^r + s e_{e'e''}^r - s e_{ee''}^r \leq 1 \quad \forall e, r \quad \text{رابطه (۱۰۲)}$$

$$s f_{ff'}^r + s f_{f'f''}^r - s f_{ff''}^r \leq 1 \quad \forall e, r \quad \text{رابطه (۱۰۳)}$$

$$\sum_m \sum_t \sum_c z_{em}^{tc} \geq s e_{ee'}^r \quad \forall e, e', r \quad \text{رابطه (۱۰۴)}$$

$$z_{em}^{tc} \leq e e_e^{mr} \quad \forall \leq \quad \text{رابطه (۱۰۵)}$$

$$\sum_s \sum_h p o_s d_h^s \leq \sum_m \sum_e \sum_c \sum_t C e_{em}^{tc} z_{em}^{tc} \quad \text{رابطه (۱۰۶)}$$

$$\sum_s \sum_h p o_s d_h^s \leq \sum_f \sum_n C f_f^n e l_f^n \quad \text{رابطه (۱۰۷)}$$

$$\sum_s \sum_h p o_s d_h^s \leq \sum_g C g_g \eta_g \quad \text{رابطه (۱۰۸)}$$

$$\sum_s \sum_h p o_s d_h^s l_h^s \leq \sum_i C i_i y_i \quad \text{رابطه (۱۰۹)}$$

$$z_{em}^{tc}, y_i, x_g, s e_{ee'}^r, s f_{ff'}^r, n e_{er}^o, n f_{fr}^p, e f_f^{nr}, e e_e^{mr}, e f_f^{nr} \in \{0,1\} \quad \text{رابطه (۱۱۰)}$$

در نهایت خلاصه الگوریتم تجزیه بندرز شتاب یافته به صورت زیر خواهد بود:

$$1. (LB) = -\infty, (UB) = +\infty$$

۲. مسئله MP را حل نمایید

۳. حد پایین را برابر Z Master در نظر بگیرید

۴. DSP(1) را حل نمایید.

۵. DSP(2) را حل نمایید.

۶. حد بالا را مقدار زیر در نظر بگیرید

$$zdsp1 + zdsp2 + \sum_e \sum_m \sum_t \sum_c Fe_e^{ct} z_{em}^{tc} + \sum_g Fg_g \eta_g + \sum_i Fi_i y_i + \sum_o \sum_e \sum_r se_e^{mr} ne_{er}^o + \sum_o \sum_e \sum_r sf_e^{mr} n_{fr}^p$$

۷. اگر شرط زیر برقرار بود الگوریتم خاتمه می‌یابد

$$UB - LB / UB \leq \delta$$

و در غیر این صورت برش های زیر را اضافه نمایید

$$v4_f^s - v5_e^s + v7_{emct}^s + (\rho_{ef}\gamma + ep_{em}^{tc})v11^s - p_o_s(\rho_{ef}\gamma + ep_{em}^{tc}) \sum_{s'} v11^s \leq p_o_s(\rho_{ef}\gamma + ep_{em}^{tc})$$

$$\forall k, p, c, e, l, s$$

And

$$\sum_s \sum_h \overline{v1_h^{sb}} d_h^s + \sum_e \sum_m \sum_c \sum_t \sum_s \overline{v7_{emct}^{sb}} Ce_{em}^{tc} z_{em}^{tc} + \sum_n \sum_f \sum_s \overline{v8_{n,f}^{sb}} el_f^n Cf_f^n + \sum_g \sum_s \overline{v9_g^{sb}} Cg_g \eta_g \geq 0$$

$$\forall b = iteration$$

$$\omega_2 \geq \sum_s \sum_h \overline{v2_h^{sb}} d_h^s l_h^s + \sum_s \sum_i \overline{v10_i^{sb}} Ci_i y_i$$

$$\forall b = iteration$$

$$\sum_s \sum_h \overline{v2_h^{sb}} d_h^s l_h^s + \sum_s \sum_i \overline{v10_i^{sb}} Ci_i y_i \geq 0 \quad \forall b = iteration$$

۸. به تکرار یک شماره اضافه و مرحله ۲ بروید.

یافته‌های پژوهش

از آنجایی که در صنعت آهن و فولاد همکاری نقش اساسی در افزایش کارایی صنعت دارد، از این صنعت به عنوان مطالعه موردی و تجزیه و تحلیل نتایج استفاده شده است. مصاحبه با خبرگان صنعت آهن و فولاد نشان می‌دهد که تولیدکنندگان این صنعت به جای تولید مستقل می‌توانند با برقراری همکاری و اشتراک دارایی‌ها مانند توانمندی‌های نگهداری و تعمیرات تجهیزات، نیروی انسانی متخصص و قابلیت‌های تولیدی خود مانند دارایی‌های فیزیکی نسبت به تولید محصولات، اقدام کنند. شکل ۴ نقاط کاندید برای راه‌اندازی کارخانه‌های تولید فولاد را نمایش می‌دهد. برای سایر داده‌ها از داده‌های ارائه شده در حوزه آهن و فولاد مانند مقاله وحدانی، توکلی مقدم، مدرس و بابلی^۱ (۲۰۱۲) و نیز داده‌های ارائه شده توسط خبره‌های صنعت فولاد شرکت هیبرید زرنیدیه بهره گرفته شده است (جدول ۲).



شکل ۴. نقاط کاندید جهت استقرار تسهیلات

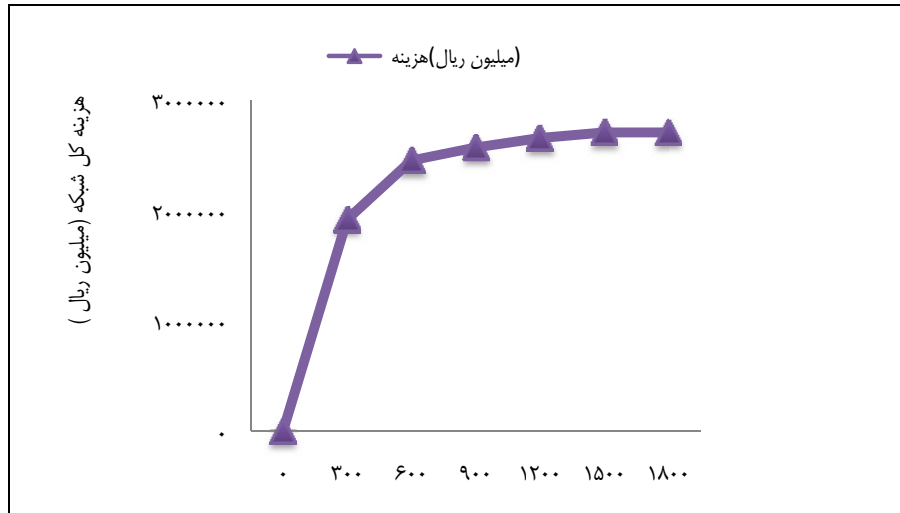
جدول ۲. بازه داده‌های مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل مدل ارائه شده

مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر
(۶۵۰-۲۰۰۰)	Ci_i	(۳۲۰۰۰۰-۹۸۰۰۰۰)	Fe_e^{1t}
(۱۵-۱۳۰۰)	ρ_{ij}	$\partial * Fe_e^{1t}$	Fe_e^{2t}
(۵۵-۱۲۵)	ep_{em}^{tc}	(۰/۵-۰/۷۵)	∂
(۲۲-۴۰)	fp_f^n	(۳۵۰۰-۸۵۰۰)	Fg_g
(۱-۶/۵)	gp_g	(۳۵۰۰-۸۵۰۰)	Fi_i
(۱-۶/۵)	ip_i	(۱۶۰۰, ۳۳۰۰)	Ce_{em}^{1c}
(۰/۸۲-۰/۹۷)	l_h	(۸۰۰-۱۷۰۰)	Ce_{em}^{2c}
(۶۰۰-۱۳۰۰)	d_h	(۱۶۰۰-۳۳۰۰)	Cf_f^n
		(۶۵۰-۲۰۰۰)	Cg_g

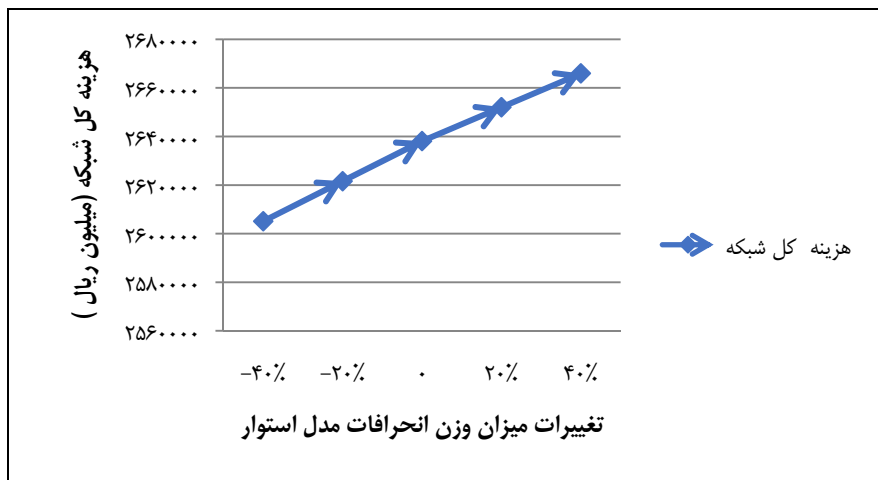
با استفاده از نظر کارشناسان خبره وزن ۰/۵ در تابع هدف مربوط به ریسک همکاری در کارخانه‌های تولید محصول اولیه و مصرفی در نظر گرفته می‌شود. برای حل مدل مدنظر از نرم‌افزار گمز و کامپیوتر با CPU Core-i5 و رم ۴ گیگابایت استفاده شده است.

به منظور تحلیل حساسیت پارامترهای مدل استوار ارائه شده، تغییرات میزان هزینه کل در شبکه با توجه به میزان جریمه نشدنی بودن و عدم تأمین کالای بازار مصرف، مورد ارزیابی قرار گرفت. همان‌طور که از شکل ۵ پیداست با افزایش میزان جریمه نشدنی بودن مقدار هزینه‌های شبکه به صورت نمایی رشد می‌کند که این موضوع با نتایج ارائه شده توسط مولوی، واندری و زنیوس (۱۹۹۵) منطبق است. از طرف دیگر تغییرات میزان هزینه مدل با توجه به تغییر در

ضریب تخصیص یافته به میزان انحرافات هزینه، در شکل ۶ نمایش داده شده است که با افزایش میزان انحرافات مقدار هزینه افزایش پیدا می‌کند؛ زیرا هزینه انحرافات افزایش پیدا کرده است.

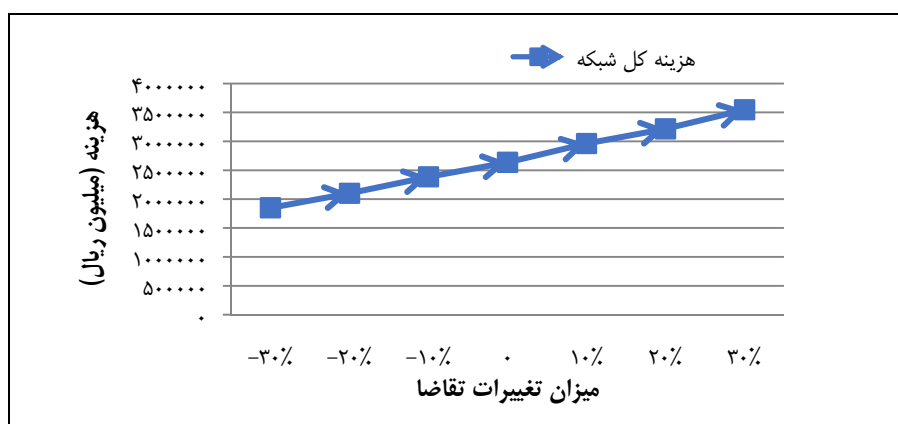


شکل ۵. ارتباط میزان جریمه نشدنی بودن با هزینه کل



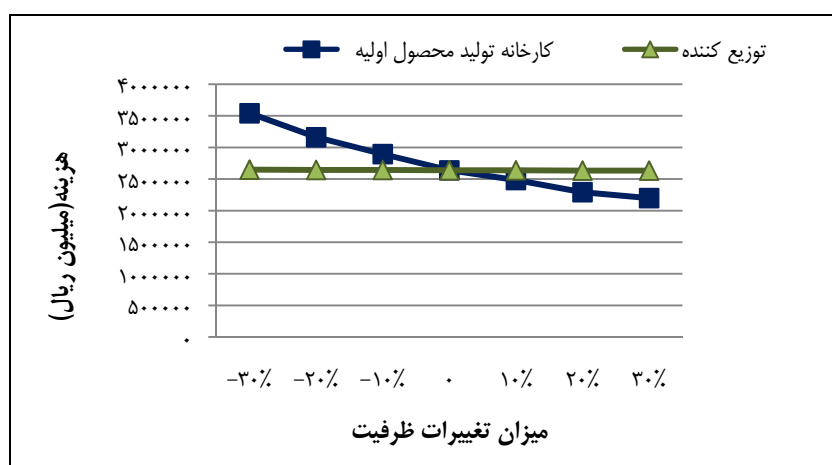
شکل ۶. ارتباط تغییر در میزان وزن تخصیص یافته به انحرافات با هزینه کل

در شکل ۷ تحلیل حساسیت روی تغییرپذیری میزان تقاضا انجام گرفته است. همان طور که در شکل نمایش داده شده است با افزایش تقاضا، شبکه برای تأمین تقاضا و جلوگیری از کمبود، میل به ایجاد تسهیلات بیشتر دارد و بنابراین هزینه‌های ثابت افزایش و میزان حمل‌ونقل نیز در شبکه افزایش پیدا خواهد کرد که در نتیجه باعث افزایش در هزینه کل شبکه می‌شود.



شکل ۷. ارتباط تغییر در میزان تغییرات تقاضا با هزینه کل

همچنین با تغییر ظرفیت کارخانه تولیدکننده محصول اولیه و نیز توزیع‌کننده و با فرض ثابت بودن میزان هزینه ثابت تسهیلات، میزان تغییر هزینه‌های کل در شکل ۸ نمایش داده شده است. همان طور که در شکل ۸ نشان داده شده است با افزایش ظرفیت تعداد تسهیلات مورد نیاز برای تأمین تقاضای مشتریان کاهش پیدا می‌کند و از طرفی میزان حمل و نقل داخل شبکه نیز کاهش یافته و بنابراین میزان هزینه کل کاهش می‌یابد.



شکل ۸. ارتباط تغییر در میزان وزن تخصیص یافته به انحرافات با هزینه کل

به‌منظور بررسی کارایی الگوریتم مورد نظر، مقایسه کارایی این الگوریتم با سه روش حل دیگر انجام شده است که عبارت‌اند از:

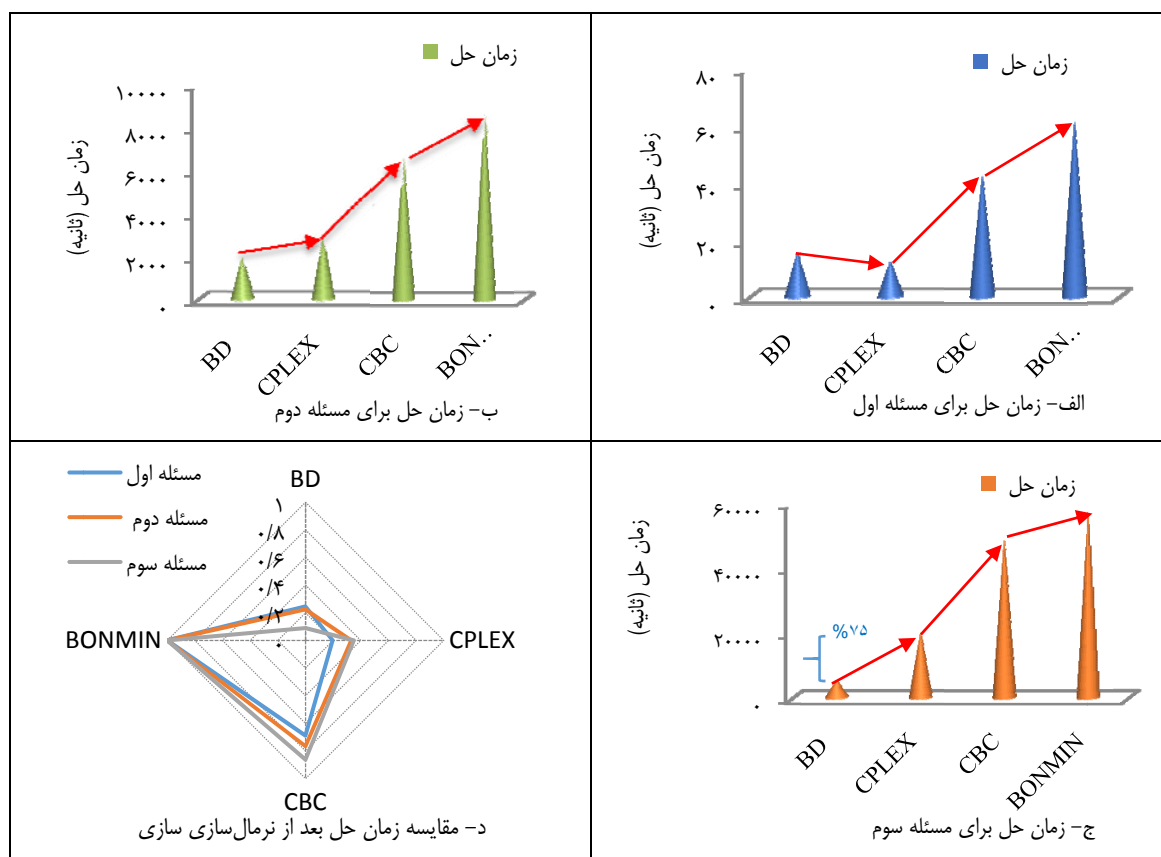
۱. سپلکس^۱ (این روش با ارائه یک الگوریتم غربالگری روی مسائل با متغیرهای باینری و پیوسته کاربرد دارد)؛
۲. الگوریتم مبتنی بر شاخه و برش (CBC)؛
۳. روش حل BONMIN (یک کد منبع باز ++C تجربی که برای حل مسائل کلی برنامه‌ریزی خطی و غیرخطی آمیخته عدد صحیح کاربرد دارد).

با در نظر گیری نسبت اختلاف حد بالا و پایین به میزان ۰/۰۰۲ برای تعدادی از E های مختلف، نتایج حل با استفاده از الگوریتم در جدول ۳ نمایش داده شده است. میزان اختلاف در این جدول نیز به دلیل در نظر گیری مقدار ۰/۰۰۲ بوده است که این میزان از نظر تصمیم گیرندگان مورد قبول واقع شده است. با در نظر گرفتن محدوده زمانی ۳۰۰۰۰ ثانیه در مسائل با سایز بزرگ سایر روش ها قادر به ارائه جواب مناسب نبوده که این موارد با رنگ نارنجی در جدول ۳ نمایش داده شده است؛ اما الگوریتم ارائه شده جواب های مناسبی را ارائه کرده است.

جدول ۳. مقایسه زمان و هزینه روش سپلکس و الگوریتم تجزیه بندرز

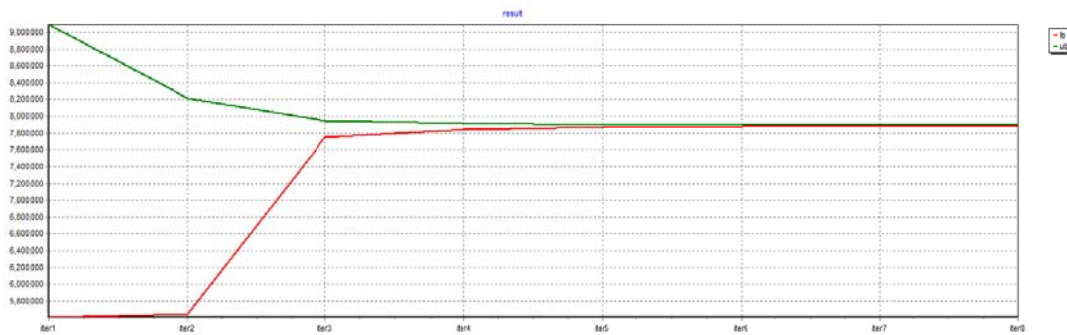
زمان BON MIN	زمان - CBC	زمان - CPLEX (ثانیه)	هزینه - CPLEX (میلیون ریال)	میزان اختلاف	زمان - الگوریتم بندرز (ثانیه)	هزینه الگوریتم بندرز (میلیون ریال)	مطلوبیت ریسک	سایز مسئله
۲۰	۱۳	۴	۲۸۲۳۶۳۹	۰/۰۰۱۷	۹	۲۸۲۸۳۷۲	۱	۸-۸-۱۰-۱۵-۱۰
۱۸	۱۲	۳	۲۷۶۵۷۳۷	۰/۰۰۲۷	۷	۲۷۷۳۳۲۳	۰/۹	
۲۰	۲۴	۶	۲۷۱۴۲۳۵	۰/۰۰۰۵	۱۰	۲۷۱۵۵۷۶	۰/۸	
۲۵	۲۳	۸	۲۷۰۸۶۵۳	۰/۰۰۱۱	۱۵	۲۷۱۱۵۶۵	۰/۷	
۷۵	۴۷	۱۳	۲۶۴۵۲۷۸	۰/۰۰۰۸	۱۱	۲۶۴۷۲۷۵	۰/۶	
۸۵	۵۹	۱۷	۲۶۳۸۱۲۰	۰/۰۰۲۴	۱۷	۲۶۴۴۴۱۲	۰/۵	
۹۴	۶۳	۱۷	۲۶۲۹۹۶۵	۰/۰۰۱۱	۱۶	۲۶۳۲۸۶۱	۰/۴	
۹۱	۵۸	۱۶	۲۶۲۸۸۳۴	۰/۰۰۱۱	۲۴	۲۶۳۱۷۹۰	۰/۳	
۱۱۸	۸۳	۲۸	۲۶۲۱۳۹۶	۰/۰۰۱۵	۳۲	۲۶۲۵۳۱۲	۰/۲	
۶۱	۴۲	۱۲		۰/۰۰۱۴	۱۵			
۱۵۸۰	۱۴۰	۳۵	۶۵۷۵۸۶۳	۰/۰۰۱۱	۴۴	۶۵۸۳۰۴۲	۱	۱۲-۱۲-۳۰-۲۵-۳۰
۵۲۰۵	۳۱۰۲	۱۶۰۲	۶۴۶۹۹۰۲	۰/۰۰۱۵	۲۸۰	۶۴۷۹۸۷۵	۰/۹	
۵۴۲۵	۲۸۴۷	۷۱۲	۶۳۵۷۱۲۰	۰/۰۰۲۴	۹۸	۶۳۷۲۳۴۱	۰/۸	
۱۰۳۰۵	۹۳۰۴	۳۲۶۰	۶۲۹۴۵۸۴	۰/۰۰۱۲	۲۶۸۰	۶۳۰۲۳۶۸	۰/۷	
۱۱۵۰۶	۱۰۰۰۴	۴۲۵۱	۶۲۷۵۴۵۶	۰/۰۰۲۱	۱۲۲۲	۶۲۸۸۴۷۵	۰/۶	
۸۶۵۲	۶۵۶۲	۳۵۰۶	۶۲۰۵۴۵۶	۰/۰۰۲۸	۳۴۳۴	۶۲۲۲۹۷۳	۰/۵	
۷۲۰۶	۳۲۳۶	۱۲۵۰	۶۱۷۲۵۳۶	۰/۰۰۱۴	۲۲۴۶	۶۱۸۱۲۴۷	۰/۴	
۱۳۶۴۵	۱۲۴۵۹	۵۵۷۵	۶۱۳۰۶۰۰	۰/۰۰۱۶	۳۱۰۶	۶۱۴۰۵۲۶	۰/۳	
۱۳۱۵۵	۱۱۰۲۵	۵۲۴۲	۶۱۱۹۸۰۳	۰/۰۰۲۷	۴۰۸۶	۶۱۳۶۱۷۴	۰/۲	
۸۵۲۰	۶۵۲۰	۲۸۲۵		۰/۰۰۱۹	۱۹۱۱			میانگین
>۳۰۰۰۰	۷۱۹۲	۱۳۰۸	۱۰۱۹۵۹۵۰۰	۰/۰۰۱۰	۸۷۰	۱۰۲۰۶۱۵۶	۱	۱۵-۱۵-۴۰-۳۵-۴۰
>۳۰۰۰۰	۲۹۴۵۶	۱۵۲۶۴	۹۸۵۴۶۸۷	۰/۰۰۲۱	۵۴۰۲	۹۸۷۵۱۸۸	۰/۹	
>۳۰۰۰۰	۲۷۹۸۷	۱۱۶۲۵	۹۷۴۵۷۸۲	۰/۰۰۱۵	۲۲۵۴	۹۷۶۰۰۳۳	۰/۸	
>۳۰۰۰۰	>۳۰۰۰۰	۲۳۴۷۸	۹۶۵۲۹۸۵	۰/۰۰۲۳	۴۳۵۵	۹۶۷۴۸۹۶	۰/۷	
>۳۰۰۰۰	>۳۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	-	-	۳۹۵۲	۹۵۹۳۶۷۸	۰/۶	
>۳۰۰۰۰	>۳۰۰۰۰	۱۴۴۳۶	۹۵۲۶۴۵۲	۰/۰۰۲۵	۵۴۶۴	۹۵۵۰۳۳۸	۰/۵	
>۳۰۰۰۰	>۳۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	-	-	۸۶۳۳	۹۵۳۰۲۰۸	۰/۴	
>۳۰۰۰۰	>۳۰۰۰۰	۱۹۶۷۵	۹۴۹۱۰۴۶	۰/۰۰۲۹	۴۲۷۴	۹۵۱۸۶۱۵	۰/۳	
>۳۰۰۰۰	>۳۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	-	-	۹۵۶۲	۹۴۸۳۶۲۹	۰/۲	
>۳۰۰۰۰	>۳۰۰۰۰	۱۹۵۳۱			۴۹۷۴		۰/۷۴	

همچنین مقایسه زمان‌های حل در شکل‌های ۹-الف، ۹-ب و ۹-ج به ترتیب برای مسائل با سایز کوچک، متوسط و بزرگ انجام پذیرفته است. همان طور که از این شکل‌ها مشخص است، در مسائل با سایز کوچک عملکرد حل‌کننده سپلکس بهتر بوده است؛ اما در خصوص مسائل با اندازه‌های متوسط و بزرگ روش بندرز کارایی بهتری دارد، به صورتی که این روش ارائه شده در مسئله ۲ حدود ۳۲ درصد و در مسئله ۳ حدود ۷۴ درصد زمان حل را بهبود داده است. در نهایت به منظور بررسی کارایی هم زمان سه روش حل، نرمال سازی زمان‌ها انجام گرفته است و نتیجه در شکل ۹-د نمایش داده شده است.

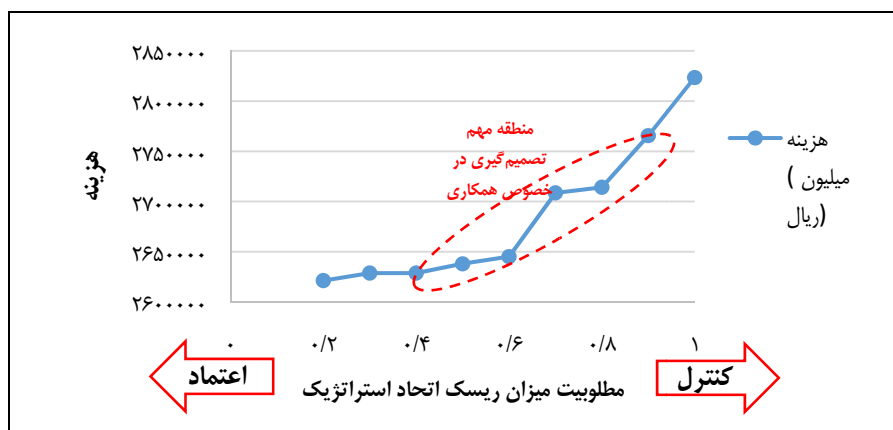


شکل ۹. مقایسه زمان حل الگوریتم تجزیه بندرز با روش‌های حل دیگر

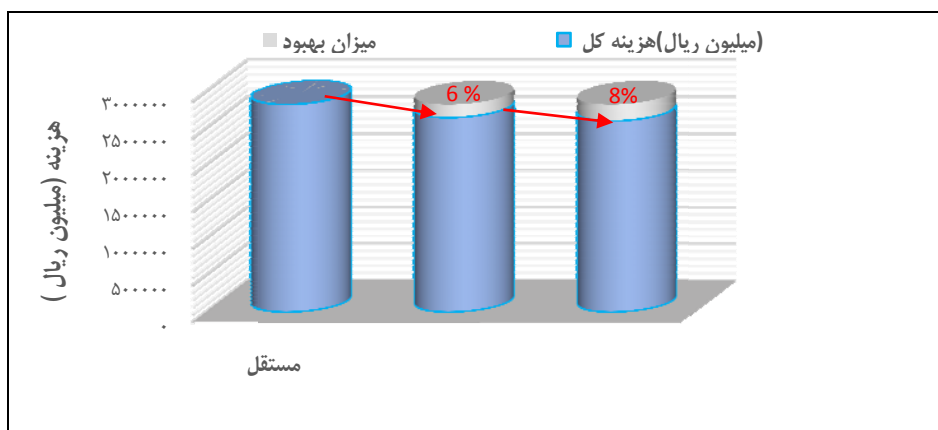
همچنین نحوه هم‌گرایی الگوریتم مورد نظر در نرم افزار گمز در شکل ۱۰ تصویر کشیده شده است. در شکل ۱۱ رابطه میزان هزینه کل شبکه و مطلوبیت میزان ریسک آورده شده است. به منظور افزایش مطلوبیت ریسک باید تعداد کمتری اتحاد در شبکه شکل بگیرد که این موضوع افزایش هزینه‌ها را به دنبال خواهد داشت. نکته‌ای که در این شکل حائز اهمیت است این است که با افزایش میزان مطلوبیت ریسک‌های همکاری، میزان شیب نمودار بیشتر شده که این به منزله افزایش بیشتر هزینه‌ها در سیاست‌های کنترلی است.



شکل ۱۰. نحوه همگرا شدن الگوریتم تجزیه بندرز



شکل ۱۱. ارتباط مطلوبیت ریسک اتحاد استراتژیک و هزینه در زنجیره تأمین



شکل ۱۲. نقش استراتژی‌های مبتنی بر اتحاد استراتژیک در کاهش هزینه‌ها

به منظور بررسی تأثیر اتحاد استراتژیک بر میزان هزینه‌های شبکه سه سناریو الف) عدم اتحاد و فعالیت هر یک از اعضا به صورت مستقل ب) برقراری اتحاد با در نظرگیری سطوح بالای کنترل ج) برقراری اتحاد با اعتماد کامل در نظر

گرفته شد و نقش هر یک از سناریوها در کاهش هزینه‌های شبکه مورد ارزیابی قرار گرفت. همان طوری که در شکل ۱۲ نمایش داده شده است، اتحاد باعث کاهش هزینه‌های شبکه می‌شود و در صورتی که میزان ریسک برقراری اتحاد زیاد باشد می‌توان با استفاده از سازوکارهای کنترلی مانند بستن قرارداد در خصوص منافع ایجادشده، هم اتحاد کاراتری را ایجاد کرد و هم باعث کاهش هزینه‌های شبکه شد.

کاربردها و بینش‌های اجرایی مهمی که با استفاده از نتایج پژوهش به دست می‌آید، در ادامه ارائه شده است.

- با توجه به اینکه نتایج پژوهش نشان‌دهنده کارایی اتحاد استراتژیک در کاهش هزینه‌هاست، مدیران و تصمیم‌گیران حوزه زنجیره تأمین می‌توانند در مواردی که امکان برقراری اتحاد استراتژیک وجود دارد، از این روش ارائه‌شده استفاده کنند و با سایر اعضای زنجیره تأمین و همچنین زنجیره تأمین‌های موازی همکاری داشته باشند.
- از آنجایی که سیاست‌های برقراری اتحاد با سیاست‌های کنترل و اعتماد هر دو در کاهش هزینه‌ها مؤثر است، در مواقعی که ریسک‌های همکاری زیاد است، مدیران می‌توانند سیاست کنترل را اتخاذ کنند و با بستن قراردادهایی که به کاهش ریسک منجر می‌شود، ضمن استفاده از مزایای همکاری از بروز ریسک‌ها نیز پیشگیری کنند.
- انتخاب تکنولوژی و ظرفیت برای تسهیلات تولید فولاد بسیار حائز اهمیت خواهد بود؛ زیرا در هزینه‌ها و شاخص‌های مختلف پایداری برای یک دوره طولانی مدت اثرگذار است و از آنجایی که برقراری اتحاد نقش اساسی در انتخاب تکنولوژی و ظرفیت خواهد داشت، استفاده از نتایج مدل ارائه‌شده می‌تواند باعث اتخاذ تصمیمات آگاهانه‌تری توسط مدیران ارشد صنایع فولاد شود.
- نگهداری و تعمیرات یکی از مواردی است که در صنعت آهن و فولاد نقش حیاتی دارد برقراری همکاری در زمینه نگهداری و تعمیرات کمک زیادی به کاهش هزینه‌های این صنعت خواهد کرد. برای مثال اشتراک توانمندی‌های نگهداری و تعمیرات و نیز اشتراک تجهیزات نگهداری و تعمیرات مانند تجهیزات پایش وضعیت بین اعضای زنجیره تأمین با توجه به نتایج ارائه شده در کاهش هزینه‌ها مؤثر خواهد بود.
- از آنجایی که وجود پارامترهای غیرقطعی در طراحی شبکه اجتناب‌ناپذیر است، به کارگیری روش استوار ارائه‌شده، در کاهش انحراف‌های هزینه و نیز افزایش هزینه به‌خاطر کمبود کالا در آینده، نقش مفیدی خواهد داشت که تصمیم‌گیران حوزه زنجیره تأمین می‌توانند با توجه به میزان عدم قطعیت در زنجیره تأمین پارامترها مدل استوار را تعیین کنند و در مواردی که ریسک عدم قطعیت زیاد است با اعطای وزن بیشتر در مدل ریاضی طراحی مناسب‌تری را انجام دهند.
- از آنجایی که مدل ریاضی ارائه‌شده، فضای پارتویی را در اختیار مدیران و تصمیم‌گیران صنایع آهن و فولاد می‌گذارد، آن‌ها می‌توانند با دسته‌بندی حوزه‌های همکاری و استفاده از سیاست‌های تعیین میزان ریسک همکاران، گروه‌بندی‌های لازم را انجام دهند و با استفاده از نتایج پژوهش و موازنه بین ریسک و هزینه، تصمیم‌های کاراتری را اتخاذ کنند.

- با توجه به اینکه امکان اضافه شدن نقاط کاندید جهت استقرار تسهیلات تولید آهن و فولاد و نیز کارخانه‌های تولید محصولات فلزی وجود دارد و این موضوع می‌تواند میزان ابعاد مسئله را افزایش دهد، استفاده از الگوریتم ارائه شده می‌تواند جواب‌های کاراتری را در اختیار مدیران و خبرگان زنجیره تأمین آهن و فولاد بگذارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در سال‌های اخیر، سازمان‌ها دریافته‌اند که به‌منظور ارتقا و حفظ دارایی‌ها و نیز کاهش هزینه‌های خود، به‌جای انجام فعالیت‌های مستقل با یکدیگر همکاری کنند. یکی از صورت‌های همکاری برقراری اتحاد استراتژیک است. در این مطالعه سعی شد که یک مدل ریاضی برای شبکه‌ای از تولیدکنندگان مختلف ارائه شود که با یکدیگر اتحاد استراتژیک دارند. از آنجایی که امکان وجود ریسک در برقراری همکاری وجود دارد و سازمان‌ها سطوح مختلفی را برای برقراری همکاری با شریک خود در نظر می‌گیرند، سعی شد با در نظر گرفتن هدف جداگانه، این مسئله نیز در مدل ریاضی در نظر گرفته شود. همچنین با توجه به وجود عدم قطعیت در بعضی از پارامترها و مواجهه با ریسک‌های عملیاتی در شبکه اتحاد استراتژیک از روش‌های بهینه‌سازی استوار بهره گرفته شده است. با توجه به وجود متغیرهای صفر و یک و پیوسته در مدل ریاضی و پیچیدگی محاسباتی حل مدل مدنظر از الگوریتم تجزیه بندرز برای حل مسائل بزرگ‌مقیاس بهره گرفته شد و سعی شد با استفاده از سازوکارهای شتاب‌دهی و بومی‌سازی الگوریتم مدنظر برای مدل ریاضی ارائه شده، عملکرد این الگوریتم بهبود داده شود. محاسبات عددی نشان‌دهنده کارایی الگوریتم ارائه شده در کاهش زمان حل بوده که این مقدار در مسائل بزرگ‌مقیاس بسیار چشمگیر است. همچنین نتایج نشان‌دهنده کارایی مدل ریاضی ارائه شده برای ایجاد فضای تصمیم‌گیری استراتژیک برای مدیران با توجه به معیارهای هزینه و ریسک برقراری همکاری است. از طرف دیگر، تجزیه و تحلیل مدل ریاضی ارائه شده با داده‌های یک صنعت تولید محصولات فلزی نشان‌دهنده کاهش هزینه‌ها در صورت استفاده از همکاری و برقراری اتحاد استراتژیک به میزان حداقل ۶ درصد در کل شبکه است که این میزان کاهش هزینه، با در نظر گرفتن سیاست‌های اعتماد کامل، می‌تواند تا حدود ۸ درصد نیز افزایش پیدا کند.

در این مطالعه مدلی ارائه شد که تصمیم‌های مرتبط با برقراری اتحاد در تصمیم‌های استراتژیک طراحی شبکه در نظر گرفته شده است؛ بنابراین می‌توان این مدل را به‌عنوان مدلی پایه، برای ایجاد چشم‌انداز در تحقیقاتی آینده در نظر گرفت و با توسعه مدل ارائه شده به غنی‌سازی ادبیات این حوزه کمک کرد. مدل ارائه شده در این تحقیق، فقط برای یک دوره زمانی در نظر گرفته شده است؛ از این رو در تحقیقات آتی می‌توان مدل چنددوره‌ای را توسعه داد. همچنین پارامترهای محیط زیستی و مسئولیت‌پذیری اجتماعی (برای این منظور می‌توانید به مقاله موسوی، جمالی و قربان پور (۱۴۰۰)، صفاری، ماکویی، محمودیان و پیشوایی^۱ (۲۰۱۵) مراجعه کنید) یا تاب‌آوری (به مقاله خلیلی، پویا و کاظمی (۱۴۰۱) و مقاله سیبویه، آذر و زندیه (۱۴۰۱) مراجعه کنید) و نیز قابلیت اطمینان همکاران (مقاله اختیاری، زندیه، عالم تبریز و ربیع (۱۳۹۸) در این خصوص می‌تواند کمک کننده باشد) در زنجیره تأمین، به‌عنوان مطالعات آتی به مدل ارائه شده اضافه شوند. در نظرگیری نرخ بهره و ریسک‌های سرمایه‌گذاری در اتحاد استراتژیک، می‌تواند از دیگر موضوعات

جالب برای تحقیقات آتی باشد (برای اطلاعات بیشتر می‌توانید به مقاله یوسفی زنوز، حقیقی راد و ذاکری تبار (۱۴۰۰) مراجعه کنید). استفاده از سایر روش‌های برنامه‌ریزی استوار (مانند روش به کار گرفته شده در مقاله دهشیری، امیری، الفت و پیشوایی (۱۴۰۱) و محمدی، امیرسالار و عالم تبریز (۱۳۹۸)) و مقایسه با مطالعه انجام شده، می‌تواند به‌عنوان تحقیق آتی در کانون توجه قرار گیرد. همچنین، در این مطالعه همکاری افقی در یک سطح مورد مطالعه قرار گرفت، در صورتی که استفاده از همکاری ترکیبی افقی و عمودی می‌تواند در مطالعات آتی انجام پذیرد.

منابع

- اختیاری، مصطفی؛ زندیه، مصطفی؛ عالم تبریز، اکبر؛ ربیع، مسعود (۱۳۹۸). ارائه یک مدل برنامه ریزی دوسطحی برای زنجیره تأمین چند مرحله‌ای با تأکید بر قابلیت اطمینان در شرایط عدم قطعیت. *مدیریت صنعتی*، ۱۱ (۲)، ۱۱۷-۲۰۶.
- حسینی دهشیری، سید جلال الدین؛ امیری، مقصود؛ الفت، لعیا؛ پیشوایی، میرسامان (۱۴۰۱). رویکرد برنامه‌ریزی فازی استوار جدید به‌منظور طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته. *مدیریت صنعتی*، ۱۴ (۳)، ۴۲۱-۴۵۷.
- خلیلی، سید محمد؛ پویا، علیرضا؛ کاظمی، مصطفی؛ فکور ثقیه، امیرمحمد (۱۴۰۱). طراحی یک شبکه زنجیره تأمین بنزین پایدار و تاب‌آور تحت شرایط عدم قطعیت اختلال (مطالعه موردی: شبکه زنجیره تأمین بنزین استان خراسان رضوی). *مدیریت صنعتی*، ۱۴ (۱)، ۲۷-۷۹.
- سیبویه، علی؛ آذر، عادل؛ زندیه، مصطفی (۱۴۰۱). ارائه مدل دومرحله‌ای احتمالی استوار برای طراحی زنجیره تأمین خون تاب‌آور با در نظر گرفتن اختلال زلزله و بیماری واگیردار. *مدیریت صنعتی*، ۱۳ (۴)، ۶۶۴-۷۰۳.
- محمدی، امیرسالار؛ عالم تبریز، اکبر؛ پیشوایی، میرسامان (۱۳۹۸). طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز حلقه بسته همراه با تصمیم‌های مالی در شرایط عدم قطعیت. *مدیریت صنعتی*، ۱۰ (۱)، ۶۱-۸۴.
- موسوی، مهسا؛ جمالی، غلامرضا؛ قربان پور، احمد (۱۴۰۰). ارائه مدل بهینه‌سازی شبکه زنجیره تأمین سبز- تاب‌آور در صنایع سیمان، *مدیریت صنعتی*، ۱۳ (۲)، ۲۲۲-۲۴۵.
- یوسفی زنوز، رضا؛ حقیقی راد، فرزاد؛ ذاکری تبار، سجاد (۱۴۰۰). طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته در فضای عدم قطعیت. *فصلنامه مدیریت راهبردی در سیستم‌های صنعتی*، ۱۵ (۵۴)، ۱۹۷-۲۱۸.

References

- Agarwal, R., & Ergun, Ö. (2008). Mechanism design for a multicommodity flow game in service network alliances. *Operations Research Letters*, 36(5), 520-524.
- Aloui, A., Hamani, N., Derrouiche, R., & Delahoche, L. (2021). Assessing the benefits of horizontal collaboration using an integrated planning model for two-echelon energy efficiency-oriented logistics networks design. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 1-22.
- Arslan, O., Archetti, C., Jabali, O., Laporte, G., & Speranza, M. G. (2020). Minimum cost network design in strategic alliances. *Omega*, 96, 102079.

- Azad, N., & Hassini, E. (2019). A benders decomposition method for designing reliable supply chain networks accounting for multi mitigation strategies and demand losses, *Transportation Science*, 53(5), 1287-1312.
- Ballot, E., & Fontane, F. (2010). Reducing transportation CO2 emissions through pooling of supply networks: perspectives from a case study in French retail chains. *Production Planning & Control*, 21(6), 640-650.
- Benders, J. F. (1962). Partitioning procedures for solving mixed-variables programming problems, *Numerische mathematic*, 4(1), 238-252.
- Chiesa, V. (2001). *R&D strategy & organisation: Managing technical change in dynamic contexts*. World Scientific.
- Das, T. K., & Teng, B. S. (1998). Resource and risk management in the strategic alliance making process. *Journal of management*, 24(1), 21-42.
- Das, T. K., & Teng, B. S. (2000). A resource-based theory of strategic alliances. *Journal of management*, 26(1), 31-61.
- Difrancesco, R. M., Meena, P., & Tibrewala, R. (2021). Buyback and risk-sharing contracts to mitigate the supply and demand disruption risks. *European Journal of Industrial Engineering*, 15(4), 550-581.
- Dogan, K., & Goetschalckx, M. (1999). A primal decomposition method for the integrated design of multi-period production-distribution systems. *Iie Transactions*, 31(11), 1027-1036.
- Ekhteari, M., Zandieh, M., Alam Tabriz, A., Rabia, M. (2018). Presenting a two-level planning model for a multi-stage supply chain with an emphasis on reliability in uncertainty. *Industrial Management Journal*, 11 (2), 117-206. (in Persian)
- Foroozesh, N., Karimi, B., & Mousavi, S. M. (2022). Green-resilient supply chain network design for perishable products considering route risk and horizontal collaboration under robust interval-valued type-2 fuzzy uncertainty: A case study in food industry. *Journal of Environmental Management*, 307, 114470.
- Groothedde, B., Ruijgrok, C., & Tavasszy, L. (2005). Towards collaborative, intermodal hub networks: A case study in the fast moving consumer goods market. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 41(6), 567-583.
- Guo, Y., Yu, J., Allaoui, H., & Choudhary, A. (2022). Lateral collaboration with cost-sharing in sustainable supply chain optimisation: A combinatorial framework. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 157, 102593
- Habibi, M. K., Allaoui, H., & Goncalves, G. (2018). Collaborative hub location problem under cost uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, 124, 393-410.
- He, Q., Meadows, M., Angwin, D., Gomes, E., & Child, J. (2020). Strategic alliance research in the era of digital transformation: Perspectives on future research. *British Journal of Management*, 31(3), 589-617.

- Hosseini Dahshiri, S.J., Amiri, M., Olfat, L. & Pishvae, M. (2022). A new robust fuzzy programming approach to design a closed-loop supply chain network. *Industrial Management Journal*, 14(3), 421-457. (in Persian)
- Houghtalen, L., Ergun, Ö. & Sokol, J. (2011). Designing mechanisms for the management of carrier alliances. *Transportation Science*, 45(4), 465-482.
- Jeihoonian, M., Zanjani, M. K., and Gendreau, M. (2016). Accelerating Benders decomposition for closed-loop supply chain network design: Case of used durable products with different quality levels. *European Journal of Operational Research*, 251(3), 830-845.
- Kale, P., & Singh, H. (2007). Building Firm Capabilities through Learning: The Role of the Alliance Learning Process in Alliance Capability and Firm-Level Alliance Success. *Strategic Management Journal*, 28, 981-1000.
- Khalili, S.M., Poya, A., Kazemi, M., Fakkur Thaqih, A.M.. (2022). Designing a sustainable and resilient gasoline supply chain network under disruption uncertainty (case study: Gasoline supply chain network of Razavi Khorasan). *Industrial Management Journal*, 14(1), 27-79. (in Persian)
- Krajewska, M. A., Kopfer, H., Laporte, G., Ropke, S., & Zaccour, G. (2008). Horizontal cooperation among freight carriers: request allocation and profit sharing. *Journal of the Operational Research Society*, 59(11), 1483-1491.
- Kuyzu, G. (2017). Lane covering with partner bounds in collaborative truckload transportation procurement. *Computers & Operations Research*, 77, 32-43.
- Liu, K., Zhou, Y., & Zhang, Z. (2010). Capacitated location model with online demand pooling in a multi-channel supply chain. *European journal of operational research*, 207(1), 218-231.
- Mafini, C., & Muposhi, A. (2017). Predictive analytics for supply chain collaboration, risk management and financial performance in small to medium enterprises. *Southern African Business Review*, 21(1), 311-338.
- Mardan, E., Govindan, K., Mina, H., and Gholami-Zanjani, S. M. (2019). An accelerated benders decomposition algorithm for a bi-objective green closed loop supply chain network design problem, *Journal of cleaner production*, 235, 1499-1514.
- Masrurul, M. (2012). An overview of strategic alliance: competitive advantages in alliance constellations. *Advances in management*, 5, 12.
- Moghaddam, M., & Nof, S. Y. (2016). Real-time optimization and control mechanisms for collaborative demand and capacity sharing. *International Journal of Production Economics*, 171, 495-506.
- Mohammadi, A., Alam Tabriz, A. & Pishvae, M. (2018). Designing a closed-loop green supply chain network with financial decisions under uncertainty. *Industrial Management Journal*, 10(1), 61-84. (in Persian)
- Mousavi, M., Jamali, Gh., Gurbanpour, A. (2021). Presenting the optimization model of green-resilient supply chain cement industries, *Industrial Management Journal*, 13(2), 222-245. (in Persian)

- Mulvey, J. M., Vanderbei, R. J., & Zenios, S. A. (1995). Robust optimization of large-scale systems. *Operations research*, 43(2), 264-281.
- Oh, S. C., Min, H., & Ahn, Y. H. (2021). Inventory risk pooling strategy for the food distribution network in Korea. *European Journal of Industrial Engineering*, 15(4), 439-462.
- Pan, S., Ballot, E., & Fontane, F. (2013). The reduction of greenhouse gas emissions from freight transport by pooling supply chains. *International journal of production economics*, 143(1), 86-94.
- Pan, S., Ballot, E., Fontane, F., & Hakimi, D. (2014). Environmental and economic issues arising from the pooling of SMEs' supply chains: case study of the food industry in western France. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 26(1), 92-118.
- Philsoophian, M., Akhavan, P., & Abbasi, M. (2021). Strategic alliance for resilience in supply chain: A bibliometric analysis. *Sustainability*, 13(22), 12715.
- Rajabion, L., Mokhtari, A. S., Khordehbinan, M. W., Zare, M., & Hassani, A. (2019). The role of knowledge sharing in supply chain success: Literature review, classification and current trends. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 17(6), 1222-1249.
- Ryan-Charleton, T., Gnyawali, D. R., & Oliveira, N. (2022). Strategic alliance outcomes: Consolidation and new directions. *Academy of Management Annals*, 16(2), 719-758.
- Saeed, N. (2013). Cooperation among freight forwarders: Mode choice and intermodal freight transport. *Research in Transportation Economics*, 42(1), 77-86.
- Saffari, H., Makui, A., Mahmoodian, V., & Pishvaei, M. S. (2015). Multi-objective robust optimization model for social responsible closed-loop supply chain solved by non-dominated sorting genetic algorithm. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 8(3), 42-58.
- Saharidis, G. K., Boile, M., and Theofanis, S. (2011). Initialization of the Benders master problem using valid inequalities applied to fixed-charge network problems, *Expert Systems with Applications*, 38 (6), 6627-6636.
- Sambasivan, M., Siew-Phaik, L., Mohamed, Z. A., & Leong, Y. C. (2013). Factors influencing strategic alliance outcomes in a manufacturing supply chain: role of alliance motives, interdependence, asset specificity and relational capital. *International Journal of Production Economics*, 141(1), 339-351.
- Setyadi, T. (2022). Strategic alliances, competitive advantages, and bandwagon effect in the perum perhutani wood industry. *International Journal of Science and Environment (IJSE)*, 2(2), 47-53.
- Shahbaz, M. S., Sohu, S., Khaskhelly, F. Z., Bano, A., & Soomro, M. A. (2019). A novel classification of supply chain risks. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 9(3), 4301-4305.
- Siboyeh, A., Azar, A. & Zandiyeh, M. (2022). Presenting a robust two-stage probabilistic model for the design of a resilient blood supply chain considering earthquake and infectious disease disruption. *Industrial Management Journal*, 13(4), 703-664. (in Persian)

- Soleimani, H., & Kannan, G. (2015). A hybrid particle swarm optimization and genetic algorithm for closed-loop supply chain network design in large-scale networks. *Applied Mathematical Modelling*, 39(14), 3990-4012.
- Sugiono, A., Rahayu, A., & Wibowo, L. A. (2022). Environmental uncertainty factor, incoterm and implication for a strategic alliance in freight forwarder companies' case study in Indonesia. *Asian Journal of Logistics Management*, 1(1), 1-15.
- Tang, X., Lehuédé, F., & Péton, O. (2016). Location of distribution centers in a multi-period collaborative distribution network. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 52, 293-300.
- Üster, H., Easwaran, G., Akçali, E., and Çetinkaya, S. (2007). Benders decomposition with alternative multiple cuts for a multi-product closed-loop supply chain network design model. *Naval research logistics (NRL)*, 54 (8), 890-907.
- Vahdani, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., Modarres, M., & Baboli, A. (2012). Reliable design of a forward/reverse logistics network under uncertainty: a robust-M/M/c queuing model. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 48(6), 1152-1168.
- Verdonck, L., Caris, A. N., Ramaekers, K., & Janssens, G. K. (2013). Collaborative logistics from the perspective of road transportation companies. *Transport Reviews*, 33(6), 700-719.
- Wang, Y., Zhang, S., Guan, X., Peng, S., Wang, H., Liu, Y., & Xu, M. (2020). Collaborative multi-depot logistics network design with time window assignment. *Expert Systems with Applications*, 140, 112910.
- Williams, L. R., Esper, T. L., & Ozment, J. (2022). The electronic supply chain: Its impact on the current and future structure of strategic alliances, partnerships and logistics leadership. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32(8), 703-719.
- Yousefi Zenouz, R., Haghigi Rad, F., Zakari Tabar, S. (2021). Designing a closed-loop supply chain network in uncertainty. *Journal of Strategic Management in Industrial Systems*, 15(54), 197-218. (in Persian)