Industrial Management Journal
Print ISSN: 2008-5885
Online ISSN: 2423-5369

Designing a Sustainable and Resilient Gasoline Supply Chain Network under Uncertainty (Case study: Gasoline Supply Chain Network of Khorasan Razavi Province)

Seyed Mohammad Khalili
Ph.D. Candidate, Department of Management, Faculty of Economics and Administrative sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: m.khalili@mail.um.ac.ir

Alireza Pooya*
*Corresponding Author, Prof., Department of Management, Faculty of Economics and Administrative sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: alirezapooya@um.ac.ir

Mostafa Kazemi
Prof., Department of Management, Faculty of Economics and Administrative sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: kazemi@um.ac.ir

Amir Mohammad Fakoor Saghih
Associate Prof., Department of Management, Faculty of Economics and Administrative sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: amf@um.ac.ir

Abstract

Objective: Today, extensive political, economic, social, and environmental challenges have made designing the gas supply chain network one of the biggest concerns of governments, local states, and global companies. Due to the development of global regulations about environmental concerns, important issues such as sustainability and resilience are needed to be considered in building up supply chain networks. The purpose of this study is to present a mathematical model of a three-echelon gasoline supply chain network, as well as to consider sustainability and resilience approaches.

Methods: This is a fundamental and applied study. The mathematical model developed in this research is a two-stage scenario-based multi-objective stochastic one that considers the risks of chain disruption in the form of stochastic scenarios. The disruption considered in this study included supply disruption due to disruption of refinery production capacity, reduction of gasoline imports due to political pressures, disruption of storage facilities, and a demand surge in some customer zones. In order to find robust solutions against scenarios, the Aghezzaf robust optimization method was used, and to find efficient solutions. The Torabi-Hosseini approach was applied to the multi-objective model.

Results: Some of the most important findings of the present study were the quantification of sustainability measures, including the cost of network establishment, environmental effects of CO_2 emissions due to the gasoline production and transmission in the network, and the social effects of the network development on the job opportunities, while improving the economic conditions of local areas. The development of a quantitative approach to optimizing various dimensions of the network resilience, including design quality besides the proactive-reactive capabilities against these disturbances were the other finding of this study. Proactive capabilities encompass the establishment of backup storage facilities in critical nodes of the chain and devising backup links for transporting gasoline from backup refineries to the disrupted facilities. In addition, fortification of critical facilities to be operable in the face of disruptions was another proactive option considered in the proposed mathematical model. Reactive capabilities included planning the recovery of disrupted storage tanks and gasoline pipelines.

Conclusion: The proposed model, that quantitatively optimizes all three aspects of sustainability, i.e., economic, social, and environmental, in the gasoline supply chain network, strengthens the network resilience against disruption. Besides, the applicability and efficiency of the proposed approach were shown through a real case study of the gasoline supply chain network design problem in the Khorasan Razavi province of Iran. The obtained results showed that the cost reduction in the whole network along with sustainability and resilience achievements were made in comparison with the current condition of the gasoline supply chain in Khorasan Razavi.

Keywords: Disruption, Resilience, Robust optimization, Supply chain management, Sustainability.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Citation: Khalili, Seyed Mohammad; Pooya, Alireza; Kazemi, Mostafa & Fakoor Saghih, Amir Mohammad (2022). Designing a sustainable and resilient gasoline supply chain network under uncertainty (Case study: gasoline supply chain network of Khorasan Razavi province). *Industrial Management Journal*, 14(1), 27- 79. https://doi.org/10.22059/IMJ.2022.334524.1007896 (*in Persian*)

Industrial Management Journal, 2021, Vol. 14, No 1, pp. 27-79
Published by University of Tehran, Faculty of Management
doi: https://doi.org/10.22059/IMJ.2022.334524.1007896
Article Type: Research Paper
© Authors
Received: November 26, 2021
Received in revised form: February 03, 2022
Accepted: February 26, 2022
Published online: June 21, 2022

مدیریت صنعتی
شاپا چاپی: ۵۸۸۵-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۵۳۶۹-۲۴۲۳

طراحی یک شبکه زنجیره تأمین بنزین پایدار و تاب‌آور تحت شرایط عدم قطعیت اختلال (مطالعه موردی: شبکه زنجیره تأمین بنزین استان خراسان رضوی)

سید محمد خلیلی
دانشجوی دکتری، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: m.khalili@mail.um.ac.ir

علیرضا پویا
* نویسنده مسئول، استاد، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: alirezapooya@um.ac.ir

مصطفی کاظمی
استاد، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: kazemi@um.ac.ir

امیرمحمد فکور ثقیه
دانشیار، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: amf@um.ac.ir

چکیده

هدف: امروزه تحولات گسترده سیاسی، اقتصادی، اجتماعی و محیطی باعث شده است که طراحی شبکه زنجیره تأمین بنزین یکی از چالش‌های دولت‌ها شود و ابعاد مهم دیگری همچون پایداری و تاب‌آوری در طراحی این شبکه ضرورت یابد. هدف از پژوهش حاضر ارائه یک مدل ریاضی طراحی شبکه زنجیره تأمین بنزین سه سطحی با در نظر گرفتن رویکردهای پایداری و تاب‌آوری به‌صورت هم‌زمان است.

روش: روش این پژوهش، از نوع بنیادی ـ کاربردی است و مدل ریاضی توسعه یافته در آن، یک مدل چند هدفه احتمالی دومرحله‌ای مبتنی بر سناریو است که ریسک‌های اختلال در زنجیره را در قالب سناریوهای احتمالی در نظر می‌گیرد. اختلال‌های در نظر گرفته شده در این پژوهش عبارت‌اند از: اختلال در تأمین به‌دلیل تخریب ظرفیت تولید پالایشگاه‌ها، کاهش واردات بنزین تحت تأثیر فشارهای سیاسی، تخریب تسهیلات ذخیره‌سازی و افزایش ناگهانی تقاضای برخی از نقاط. به‌منظور یافتن جواب‌های استوار در مقابل تغییرات ناشی از سناریوها، از روش بهینه‌سازی استوار آغزاف و برای یافتن جواب‌های کارای مدل چندهدفه از رویکرد ترابی ـ حسینی بهره برده شده است.

یافته‌ها: کمّی‌سازی رویکردهای پایداری شامل هزینه ایجاد شبکه، اثرهای زیست‌محیطی ناشی از انتشار گاز CO_2 در اثر تولید و انتقال بنزین در شبکه و اثرهای اجتماعی توسعه شبکه بر بهبود فرصت‌های شغلی و ارتقای وضعیت اقتصادی مناطق محلی، یکی از یافته‌های مهم این پژوهش است. یافته مهم دیگر این پژوهش، توسعه رویکردی کمّی برای بهینه‌سازی ابعاد مختلف تاب‌آوری شبکه، یعنی کیفیت طراحی، قابلیت‌های پیشگیرانه و قابلیت‌های واکنشی در مقابل این اختلال‌هاست.

نتیجه‌گیری: مدل پیشنهادی ضمن بهینه‌سازی کمّی هر سه بُعد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شبکه زنجیره تأمین بنزین، قادر است تاب‌آوری شبکه را نیز در مقابل اختلال تقویت کند. از سوی دیگر، کارایی رویکرد پیشنهادی از طریق به‌کارگیری آن در مطالعه موردی شبکه زنجیره تأمین بنزین در استان خراسان رضوی نشان داده شده است.

کلیدواژه‌ها: اختلال، بهینه‌سازی استوار، پایداری، تاب‌آوری، مدیریت زنجیره تأمین.
استناد: خلیلی، سید محمد؛ پویا، علیرضا؛ کاظمی، مصطفی و 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.

مدیریت صنعتی، ۱۴۰۱، دوره ۱۴، شماره ۱، صص. ۲۷- ۷۹
ناشر: دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران
نوع مقاله: علمی پژوهشی
© نویسندگان
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۵
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۷
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۳/۳۱
doi: https://doi.org/10.22059/IMJ.2022.334524.1007896

مقدمه

یک «زنجیره تأمین» شبکه‌ای از تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارهای نگهداری محصول و مراکز توزیع است که می‌بایست به گونه‌ای سازمان‌دهی شوند که فرایند تدارک و دریافت قطعات و مواد اولیه، تبدیل این مواد اولیه به محصول نهایی و توزیع این محصولات به مشتریان را تسهیل کند (بیدهندی، یوسف، احمد و بکار[۱]، ۲۰۰۹). امروزه با توجه به تحولات گسترده و سریع سیاسی، اقتصادی ـ اجتماعی، تکنولوژی، محیطی و غیره، ابعاد مهم دیگری مانند «مدیریت زنجیره تأمین پایدار»[۲] و «مدیریت ریسک زنجیره تأمین»[۳] مطرح شده است (میکسل و گارگیا[۴]، ۲۰۰۵).

زنجیره تأمین پایدار شامل مدیریت مواد، اطلاعات و جریان مالی در میان شرکت‌های مشارکت‌کننده در زنجیره تأمین یا تسهیلات در طول کل زنجیره است؛ به‌گونه‌ای که اهداف اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی نشئت‌گرفته از نیازهای مشتریان و خواسته‌های ذی‌نفعان برآورده شود (ریچی و برینلی[۵]، ۲۰۰۷). «تاب‌آوری»[۶] زنجیره تأمین، رویکرد جدیدی برای مدیریت اختلال‌ها و ریسک‌ها در زنجیره‌های تأمین و برگرفته از مفهوم سیستم‌های تاب‌آور بیولوژیک است (زیدیسین و واگنر[۷]، ۲۰۱۰). تعریف تاب‌آوری یک سیستم عبارت است از «قابلیت یک سیستم برای ادامهٔ حیات، تطبیق و رشد در مواجهه با تحولات و عدم قطعیت‌ها» (منصوری، نیلچیانی و مستشاری[۸]، ۲۰۱۰؛ ساویک[۹]، ۲۰۱۳).

از مهم‌ترین شبکه‌های حمل‌ونقل در هر کشوری، شبکه زنجیره تأمین فراورده‌های نفتی بوده و صنعت نفت از جمله صنایع بالادستی کشورهای صاحب نفت و بزرگ‌ترین منبع انرژی در جهان به شمار می‌رود. برای مثال حدود ۳۹درصد از کل تقاضای انرژی ایالات‌متحده در سال ۲۰۱۰، از محصولات پالایشگاهی تأمین شده است. این آمار در سال ۲۰۲۰، علی‌رغم سرمایه‌گذاری‌های گسترده در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر، به حدود ۳۷ درصد رسیده و پیش‌بینی شده است که تا سال ۲۰۵۰ نیز این سهم در حدود ۳۵درصد حفظ شود که این آمارها همچنان اهمیت بسیار زیاد محصولات پالایشگاهی در تأمین انرژی را نشان می‌دهد (شاه، لی و ایراپتریتو[۱۰]، ۲۰۱۰؛ مرکز مطالعات محصولات پالایشگاهی بریتانیا[۱۱]، ۲۰۲۰).

در بحث تأمین نفت خام پالایشگاه‌های نفت و همچنین انتقال محصولات پالایشگاهی به مراکز مصرف، انتخاب مُد حمل‌ونقل بسیار تأثیرگذار است. یکی از پرکاربردترین مدهای حمل‌ونقل در صنعت نفت، خط لوله[۱۲] محسوب می‌شود. به‌دلیل حجم سرمایه‌گذاری زیاد در خطوط لوله، مسئله انتخاب مسیر خطوط انتقال نفت خام بسیار بااهمیت است و

1. Bidhandi, Yusuff, Ahmad & Bakar
2. Sustainable supply chain management
3. Supply chain risk management
4. Meixell & Gargeya
5. Ritchie & Brindley
6. Resilience
7. Zsidisin & Wagner
8. Mansouri, Nilchiani & Mostashari
9. Sawik
10. Shah, Li & Ierapetritou
11. British Petroleum Center
12. Pipeline

به‌دلیل طول عمر بالای این زنجیره، باید در مسئله طراحی شبکه در نظر گرفته شود (متسون و کوپر[1]، ۲۰۰۴). زنجیره تأمین نفت و محصولات پالایشگاهی از مهم‌ترین شبکه‌های انتقال انرژی در کشورها محسوب می‌شود که از یک سو اختلال‌ها و ریسک‌های بالقوه در آن رو به افزایش گذاشته و از سوی دیگر، تضمین امنیت انرژی کشورها را به خطر انداخته است (پاسکوالتی و سواکول[2]، ۲۰۱۲). در ادبیات موضوع مدیریت ریسک و اختلال‌های زنجیره تأمین، مثال‌های گوناگونی به‌خصوص در مورد نفت و محصولات پالایشگاهی وجود دارد. برای مثال، جنگ عراق در بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۱ که هم‌زمان با بروز مشکلات تولید نفت در روسیه اتفاق افتاد، زنجیره تأمین جهانی نفت را با بحران مواجه کرده و قیمت نفت را به بیش از ۴۵ دلار برای هر بشکه رساند (کولیاس، کرتسو و پاپادامو[3]، ۲۰۱۳). وقوع طوفان کاترینا و ریتا[4] در سال ۲۰۰۵ میلادی صنایع تولید کننده نفت و گاز را به شدت تحت تأثیر قرار داده و به تعطیلی پالایشگاه‌هایی منجر شد که در مجموع، روزانه ۱/۳ میلیون بشکه نفت خام را پالایش می‌کردند. در پی وقوع این بحران، زنجیره تأمین بنزین در آمریکای شمالی دچار اختلال شده و قیمت بنزین بسیار افزایش پیدا کرد و به بروز نا آرامی‌های اجتماعی نیز منجر گردید (کومینز و بامبرگر، ۲۰۰۵). در ۲۱ سپتامبر سال ۲۰۰۵، شرکت انرژی والرو[5] به‌دلیل برخی مسائل سیاسی اقدام به افزایش قیمت هر گالن بنزین به ۳ دلار نمود (یرگین[6]، ۲۰۰۶). از سویی دیگر زنجیره تأمین نفت و محصولات پالایشگاهی می‌تواند اثرهای زیادی را روی ابعاد مختلف محیط‌زیست و سلامتی انسان داشته باشد، زیرا صنایع نفت، گاز و پتروشیمی، از منابع مهم نشر آلاینده‌های هوا و گازهای گلخانه‌ای محسوب می‌شود. از لحاظ اجتماعی نیز زنجیره تأمین نفت و محصولات پالایشگاهی در ابعاد مختلفی تأثیرگذار است و می‌تواند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم فرصت‌های شغلی زیادی را تولید کند. تمامی مراحل زنجیره شامل اکتشاف[7]، استحصال[8]، انتقال[9] و پالایش[10]، به افراد متخصص و حرفه‌ای در رشته‌های متعددی نیاز دارد (خاراکا و دورسی[11]، ۲۰۰۵). اغلب جهت سهولت در برخورد با مسائل مدیریت زنجیره تأمین نفت و محصولات پالایشگاهی، آن را به سه سطح بالادستی[12]، میان دستی[13] و پایین‌دستی[14] تقسیم‌بندی می‌کنند. قسمت بالادستی شامل مراحل اکتشاف و انتقال نفت خام از منابع تأمین‌کننده نفت خام به پالایشگاه‌هاست. در قسمت میان دستی، نفت خام به محصولات پالایشگاهی در پالایشگاه‌های نفت تبدیل می‌شود و قسمت پایین‌دستی شامل مراحل انتقال محصولات از پالایشگاه‌ها به مشتریان است (سینها و همکاران[15]، ۲۰۱۱).

1. Matheson & Cooper
2. Pasqualetti & Sovacool
3. Kollias, Kyrtsou & Papadamou
4. Katrina and Rita
5. Valero Energy Corp
6. Yergin
7. Exploration
7. Extraction
8. Transportation
9. Refinement
11. Kharaka & Dorsey
12. Upstream
13. Midstream
14. Downstream
15. Sinha et al.

بر اساس سند «طرح جامع حمل‌ونقل کشور» یکی از مهم‌ترین عوامل زیربنایی برای توسعه هر کشوری، توسعه یک شبکه حمل‌ونقل بهره‌ور می‌باشد. یکی از موضوعات مهم در توسعه یک شبکه حمل‌ونقل بهره‌ور، مدیریت زنجیره تأمین در این شبکه‌ها است. از مهم‌ترین شبکه‌های حمل‌ونقل در کشور، شبکه زنجیره تأمین فراورده‌های نفتی است. هر ساله برای تأمین تقاضای نقاط مختلف کشور به این محصولات، حجم عظیمی از آن‌ها در شبکه حمل‌ونقل کشور جریان پیدا می‌کند. وجود حجم گسترده محصولات پالایشگاهی، تأثیرگذاری زیاد محصولات نفتی بر صنایع دیگر و طیف وسیع مصرف‌کنندگان، این زنجیره تأمین را به یکی از بزرگ‌ترین زنجیره‌های تأمین تبدیل می‌کند. زنجیره تأمین نفت و فراورده‌های آن شبکه‌ای بزرگ از تجهیزات، زیرساخت‌ها و فرایندهای پیچیده‌ای است که از استخراج نفت تا تحویل فراورده‌های آن به مشتری را شامل می‌شود. در این زنجیره‌های تأمین، نفت خام به محصولات پالایشی مورد نیاز جامعه تبدیل و به مصرف‌کنندگان نهایی منتقل می‌شود.

یکی از مسائل بسیار مهم تصمیم‌گیری در سطح راهبُردی و در قالب افق زمانی بلندمدت در حوزه مدیریت زنجیره تأمین، مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین است. مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین مجموعه تصمیم‌های مرتبط با مکان‌یابی، تعیین ظرفیت و انتخاب تکنولوژی تولید مورد استفاده در تسهیلات تولیدی و انبارها هستند که این تصمیم‌گیری‌های سطح استراتژیک معمولاً در قالب یک افق زمانی چندین ساله مورد بررسی قرار می‌گیرند. تقاضای محصولات نهایی نیز نقش کلیدی در زنجیره تأمین نفت و فراورده‌های آن ایفا می‌کند. کشورها بر اساس تقاضا برای محصولات مختلف پالایشگاهی، به مکان‌یابی تسهیلات، انتخاب مُدهای حمل‌ونقل[1] برای انتقال محصولات و تعیین میزان ارسال محصولات به نقاط تقاضا می‌پردازند. از آنجا که موضوع امنیت انرژی[2] کشورها به شدت وابسته به تأمین نفت و محصولات پالایشی است، توجه به ریسک‌ها و اختلالات در این زنجیره تأمین اهمیت بسیار زیادی دارد (پاسکوالتی و سواکول، ۲۰۱۲). برای نمونه در کشورمان، بحران ناشی از گرانی بنزین در سال ۹۸ به دلیل تغییرات قیمت آن، یکی از اختلالاتی است که نشان دهنده اهمیت بسیار بالای مدیریت ریسک در این زنجیره تأمین است. همچنین نمونه‌های دیگری همچون مشکلات در تأمین بنزین استان مازندارن در مرداد ماه سال ۱۳۹۷ ناشی از اعتصاب تانکرداران که به افزایش قیمت لاستیک اعتراض داشتند و بحران هک شدن پمپ بنزین‌ها در سال ۱۴۰۰ نمونه‌های دیگری از اختلالات بالقوه در شبکه زنجیره تأمین بنزین در کشور بوده است که لزوم برنامه‌ریزی پیشگیرانه و توجه به رویکردهای تاب‌آوری در زنجیره تأمین بنزین را نشان می‌دهد. از سویی دیگر، توجه به معیارهای پایداری در شبکه‌های زنجیره تأمین نفت و محصولات پالایشگاهی با توجه به ابعاد گسترده اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی آن ضروری است (پالنسیا، فروبایاشی و ناکاتا[3]، ۲۰۱۲). توجه به این موضوع به‌عنوان بندی مهم در سند «طرح جامع حمل‌ونقل کشور» مطرح شده است و وزارت راه و شهرسازی از سازمان‌ها و ارگان‌های ذی‌ربط در شبکه حمل نقل کشور خواسته است در سطح برنامه‌ریزی کلان حمل‌ونقل کشور به اثرهای متقابل بخش‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی در

1. Transportation Modes
2. Energy Security
3. Palencia, Furubayashi & Nakata

راستای برنامه‌های توسعه پایدار توجه ویژه داشته باشند. لذا هدف از این پژوهش، ارائه و ارزیابی یک مدل ریاضی طراحی شبکه زنجیره تأمین میان دستی و پایین‌دستی صنعت نفت برای محصول بنزین خودرو با درنظر گرفتن هم‌زمان رویکردهای مدیریت ریسک و معیارهای پایداری در مدیریت زنجیره تأمین مذکور می‌باشد.

در نظر گرفتن معیارهای پایداری در انتخاب مسیر انتقال بنزین، تعیین مکان تأسیس تسهیلات ذخیره‌سازی در سطح کشور و توجه به ابعاد اجتماعی آن، انتخاب مدهای حمل‌ونقل و توجه به تکنولوژی تولید در پالایشگاه‌ها، به همراه بهینه‌سازی معیار تاب‌آوری زنجیره در مقابل ریسک‌های اختلال از دیگر نوآوری‌های این پژوهش به شمار می‌رود. عدم قطعیت مرتبط با ریسک‌های اختلال از طریق برنامه‌ریزی احتمالی سناریو محور در مدل درنظر گرفته می‌شوند. اهداف این مدل نیز شامل حداقل‌سازی هزینه‌ها و اثرهای زیست محیطی و حداکثرسازی تاب‌آوری شبکه در مقابل اختلال‌ها و ریسک‌ها است. در مدل پیشنهادی، محدودیت‌های تولید پالایشگاه‌ها، میزان انبارش، ظرفیت حمل‌ونقل و ارضای نیاز مشتری در نظر گرفته خواهند شد. همچنین مطالعه موردی در این رساله شبکه زنجیره تأمین بنزین استان خراسان رضوی در نظر گرفته شده است. همچنین با تعدیل فرضیه‌ها و پارامترهای مدل پیشنهادی این پژوهش، می‌توان از نتایج آن در تمامی مسائل طراحی شبکه زنجیره تأمین که رویکردهای پایداری و تاب‌آوری زنجیره تأمین ضروری است، استفاده کرد.

در ادامه ابتدا پیشینه پژوهش مورد بررسی قرار گرفته، سپس روش‌شناسی پژوهش و مسئله مورد بررسی معرفی می‌شود. در ادامه مدل ریاضی برای مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین بنزین پایدار و تاب‌آور توسعه یافته است و در بخش بعدی، پیاده‌سازی مدل پیشنهادی در مطالعه موردی همراه با تحلیل نتایج ارائه خواهد شد. در بخش آخر، جمع‌بندی مقاله و ارائه پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی ارائه می‌شود.

پیشینهٔ پژوهش

در این بخش با توجه به حیطه مسئله در نظر گرفته شده در این پژوهش، در زیربخش پیشینه نظری، تاریخچه مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین به همراه بررسی مفاهیم مدیریت ریسک و پایداری در طراحی زنجیره تأمین مدنظر قرار گرفته است. در زیربخش پیشینه تجربی، حیطه بررسی مقالات گسترش یافته و مسائل طراحی شبکه زنجیره تأمین در حوزه محصولات پالایشی بررسی می‌شوند. در انتها نیز شکاف تحقیقاتی و سهم این پژوهش در ادبیات موضوع تبیین می‌گردد.

پیشینهٔ نظری

لارسن[1] (۲۰۰۱) «مدیریت زنجیره تأمین» را مجموعه رویکردهایی برای مدیریت یکپارچه تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارهای توزیع و خرده‌فروشان می‌دانند، که از این طریق اجناس به مقدار مناسب، در زمان مناسب به مکان مناسب منتقل می‌شود، به طوریکه هزینه‌های کل سیستم حداقل بوده و سطح سرویس‌دهی مورد انتظار برآورده می‌گردد.

1. Larson

تصمیم‌گیری‌هایی که در چارچوب مدیریت زنجیره تأمین صورت می‌گیرند بر اساس میزان اهمیت آن‌ها و افق زمانی که تحت پوشش قرار می‌دهند، در سه شاخه کلی تصمیم‌گیری‌های سطح استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی قابل تقسیم‌بندی هستند (کوردیو، پسین و سولومون[۱]، ۲۰۰۶). پس از جفریون و گریوز[۲] (۱۹۷۴) که اولین مقاله در حوزه طراحی یک شبکه توزیع چند محصولی را در سال ارائه کردند، مطالعات متعددی در حوزه مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین انجام گرفته است. همین مدل بعدها با در نظر گرفتن برخی ملاحظات کاربردی دیگر در تولید، انبارش و توزیع توسعه پیدا کرد. کوهن و موون[۳] (۱۹۹۱) در مطالعه دیگری به مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین یکپارچه پرداختند که در آن یک مدل ریاضی مختلط عدد صحیح برای تعیین مسیریابی بهینه جریان مواد در یک شبکه زنجیره تأمین چند محصولی ارائه شده بود.

توماس و گریفین[۴] (۱۹۹۶) یک مرور ادبیات در رابطه با یکپارچه‌سازی مراحل مختلف در یک زنجیره تأمین ارائه کردند و زمینه‌ساز تحقیقات گسترده‌ای در دهه‌های بعدی در حوزه مسائل طراحی شبکه زنجیره تأمین شده‌اند. یلدیز و همکاران[۵] (۲۰۱۶) یک مدل ریاضی دو هدفه به‌منظور طراحی شبکه زنجیره تأمین ارائه کرده‌اند به طوری که این دو هدف شامل حداقل سازی هزینه‌ها و حداکثر سازی پایایی شبکه است. مدل ریاضی دو هدفه غیر خطی پیشنهادی آن‌ها از طریق یک الگوریتم ترکیبی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای مثال های عددی گوناگون حل شده است. جبارزاده، هاتون و خسروجردی[۶] (۲۰۱۸) یک مدل ریاضی احتمالی مبتنی بر بهینه‌سازی استوار برای طراحی یک شبکه زنجیره تأمین تحت شرایط ریسک‌های عملیاتی و اختلال ارائه نموده‌اند. در مدل پیشنهادی آنها امکان ارسال جانبی کالا در یک سطح زنجیره به‌عنوان یک رویکرد واکنشی در صورت بروز ریسک اختلال در شبکه در نظر گرفته شده است. همچنین اعتبارسنجی مدل پیشنهادی از طریق انجام یک مطالعه موردی در صنعت تولید شیشه انجام شده است.

اختلال را می‌توان از دو بعد دلیل وقوع و قابلیت پیش‌بینی و سرعت وقوع بررسی نمود. از منظر وقوع، اختلال به دو دسته فاجعه طبیعی[۷] و فاجعه ساخته بشر[۸] و از منظر قابلیت پیش‌بینی و سرعت وقوع به دو دسته ناگهانی و آرام الوقوع[۹] تقسیم می‌شوند. آن دسته از فجایعی که وقوع‌شان ناگهانی است، تلاش‌های لجستیکی بیشتری را می‌طلبند، زیرا به پاسخ‌های سریعی نیاز دارند، بلایا و اقدامات تخریبی از این دسته‌اند. برای مثال یک بلا مانند زلزله می‌تواند منجر به یک بلای فراگیر مانند یک بیماری واگیردار، وقوع یک سیل یا آتش سوزی و حتی یک بحران اقتصادی شود (میشرا و شارما[۱۰]، ۲۰۲۰).

اختلال در زنجیره تأمین، وقوع یک حادثه در یک جزء زنجیره است که می‌تواند اثر منفی بر عملکرد یک یا چندین

1. Cordeau, Pasin & Solomon
2. Geoffrion & Graves
3. Cohen & Moon
4. Thomas & Griffin
5. Yildiz et al.
6. Jabbarzadeh, Haughton & Khosrojerdi
7. Natural
8. Man-made
9. Sudden and Slow-onset
10. Mishra & Sharma

جزء زنجیره گذاشته و جریان معمول انتقال مواد و محصولات را مختل نماید (کریگهد و همکاران[1]، ۲۰۰۷). مدیریت ریسک در زنجیره تأمین، مدیریت ریسک‌های خارجی و داخلی زنجیره تأمین است که از طریق یک رویکرد هماهنگ بین اعضای زنجیره تأمین به جهت کاهش آسیب‌پذیری زنجیره تأمین انجام می‌شود . مدیریت ریسک در زنجیره تأمین می‌تواند دارای چارچوب‌های متفاوتی بوده و فعالیت‌های گوناگونی را شامل شود (ریچی و بریندلی، ۲۰۰۷). از بُعد زمانی شامل یک رویکرد دو مرحله‌ای «برنامه‌ریزی پیش از بروز اختلال» و «برنامه‌ریزی پس از بروز اختلال» می‌باشد (کوولیس و همکاران[2]، ۲۰۱۱). به همین ترتیب این دو مرحله با عناوین دو دیدگاه «پیشگیری»[3] و «پاسخ»[4] نیز مطرح شده‌اند (تون و هونیگ[5]، ۲۰۱۱). با توجه به دسته‌بندی مطرح شده، به طور خلاصه می‌توان ادعا نمود که مدیریت اختلال در زنجیره تأمین دارای دو هدف «شناسایی اختلالات بالقوه به همراه احتمال و شدت اثر آن‌ها، سرمایه‌گذاری در منابع مورد نیاز پیش از وقوع اختلال» و «استفاده بهینه از منابع اولیه برای مدیریت اختلالات پس از وقوع آن‌ها» است. مورد اول در ادبیات «مدیریت ریسک در زنجیره تأمین»[6] (فینچ[7]، ۲۰۰۴؛ هالیکاس و همکاران[8]، ۲۰۰۴؛ تانگ[9]، ۲۰۰۶) یا «تحلیل ریسک در زنجیره تأمین»[10] (سینها و همکاران ، ۲۰۰۴) به طور مفصّل مطرح شده و با فعالیت‌های اصلی پیش از وقوع اختلال (مانند شناسایی، ارزیابی و کاهش احتمال و اثر وقوع ریسک) سروکار دارد.

مورد دوم با عنوان «مدیریت اختلال در زنجیره تأمین»[11] (بلک هرست و همکاران[12]، ۲۰۰۵؛ یو و کی[13]، ۲۰۰۴) یا «مدیریت شرایط غیر طبیعی»[14] (آدیتیا، سرینیواسان و کریمی[15]، ۲۰۰۷) در ادبیات موضوع مطرح شده و بر روی فعالیت‌های لازم برای مقابله با یک اختلال که واقع شده است، تمرکز می‌کند. تاب‌آوری به‌عنوانرویکرد مدیریت اختلالات نه تنها احتمال وقوع آن‌ها را کاهش می‌دهد، بلکه قابلیت سیستم برای بازگشت از وضعیت اختلال به حالت مطلوب را ارتقا می‌بخشد (هالدار و همکاران، ۲۰۱۲).

گلیکمن و وایت (۲۰۰۶) بیان می‌کنند که وقوع اختلالات در زنجیره‌های تأمین اجتناب‌ناپذیر است، بنابراین مدیران نباید به وقایع احتمالی مصیبت‌بار تمرکز کنند، بلکه لازم است زنجیره تأمین را به گونه‌ای مدیریت کنند که زنجیره بتواند در مقابل شُک‌ها و اختلالات پیشرو به خوبی واکنش داده و به شرایط عادی بازگردد. بیشتر مقالات تاکنون بر برنامه‌ریزی پیش از بروز اختلال تمرکز داشته‌اند و تعداد کمتری تحقیق در مورد رویکردهای لازم پس از بروز اختلال

1. Craighead et al.
2. Kouvelis et al.
3. Prevention
4. Response
5. Thun & Hoenig
6. Supply chain risk management
7. Finch
8. Hallikas et al.
9. Tang
10. Supply chain risk analysis
11. Supply chain disruption management
12. Blackhurst
13. Yu & Qi
14. Abnormal-situation management
15. Adhitya, Srinivasan & Karimi

مشاهده می‌شود. همچنین تحقیقات بسیار کمتری وجود دارند که هر دو بخش پیش و پس از بروز اختلال را مورد توجه قرار دهند. برای نمونه نادری[1] (۲۰۱۸) در پژوهشی به‌منظور طراحی شبکه زنجیره تأمین محصولات پتروشیمی، از استراتژی‌های پیشگیرانه و واکنشی برای مقابله با اختلالات استفاده کرده و ترکیبی از روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی فازی و بهینه‌سازی استوار بهره برده است. اختیاری، زندیه، عالم تبریز و ربیعه (۱۳۹۸) در تحقیقی یک مدل برنامه‌ریزی دوسطحی برای طراحی یک زنجیره تأمین چند مرحله‌ای با تأکید بر قابلیت اطمینان در مقابل اختلالات در زنجیره تأمین فولاد ارائه نموده‌اند.

در مدیریت زنجیره تأمین پایدار، روش‌های کمی و کیفی متعددی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. سئورینگ[2] (۲۰۱۳) حدود ۳۰۰ مقاله که در زمینه مدیریت زنجیره تأمین سبز یا پایدار نگارش شده است را مورد مطالعه قرار داد. جنبه‌های اجتماعی و همچنین یکپارچه‌سازی هر سه بعد پایداری (اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی) در ادبیات زنجیره تأمین پایدار کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بخش وسیعی از ادبیات توسعه پایدار در حوزه مدیریت زنجیره تأمین معطوف به جنبه محیط‌زیست توسعه پایدار شده است. در واقع یکپارچه کردن دو رکن توسعه پایدار شامل اقتصاد (سود) و محیط‌زیست در سطح زنجیره تأمین باعث معرفی اصطلاح مدیریت زنجیره تأمین سبز[3] شد. از سال ۱۹۹۰، تولیدکنندگان با فشار گروه‌های محیط‌زیست و همچنین دولت‌ها برای در نظر گرفتن مدیریت زنجیره تأمین سبز مواجه شدند. هر یک از اجزای زنجیره تأمین شامل تأمین کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و خرده فروشان و بخش حمل‌ونقل روی محیط‌زیست اثرگذارند. فاز طراحی منطقی‌ترین مرحله برای پیش‌گیری از اثرات مخرب هر یک از اجزای زنجیره تأمین با در نظر گرفتن سرمایه‌گذاری اولیه و تجهیزات حفاظت از محیط‌زیست به شمار می‌رود.

به طور کلی مدیریت زنجیره تأمین سبز، در نظر گرفتن بعد محیط‌زیست در کنار بعد اقتصادی در مدیریت زنجیره تأمین است که در ادبیات به نام‌های دیگری مانند زنجیره تأمین سازگار با محیط‌زیست و یا کارایی محیط زیستی[4] زنجیره تأمین هم از آن یاد می‌شود. در بُعد محیط زیستی عمدتاً مدیریت زنجیره تأمین سبز بر کاهش استفاده از منابع، کاهش تولید ضایعات و کاهش اثرات سوء بر محیط‌زیست متمرکز است. آلودگی کربنی[5] ناشی از فعالیت‌های زنجیره تأمین یک موضوع مورد بحث دیگر در ادبیات زنجیره تأمین سبز است. حمل‌ونقل در زنجیره تأمین بزرگ‌ترین منبع تولید آلودگی‌های خطرناک زیست‌محیطی در زنجیره تأمین است (وو و دان[6]، ۱۹۹۵).

گیلن، گوسالبز و گروسمان[7] (۲۰۰۹) یک مدل برای طراحی سبز زنجیره تأمین صنایع شیمیایی با در نظر گرفتن عدم قطعیت در چرخه عمر که از عملیات شبکه زنجیره تأمین موجب می‌شود، ارائه کرده‌اند. مسئله به‌صورت دو معیاره و مدل غیرخطی مختلط عدد صحیح احتمالی، مدل‌سازی شده است. وانگ، لای و شی[8] (۲۰۰۱) یک مدل طراحی سبز

1. Naderi
2. Seuring
3. Green Supply Chain Management (GrSCM)
4. Eco-Efficiency
5. Carbon Emission
6. Wu & Dunn
7. Guillén-Gosálbez & Grossmann
8. Wang, Lai & Shi

زنجیره تأمین بر اساس مسئله کلاسیک مکان‌یابی معرفی کردند. نتو و همکاران[1] (۲۰۰۸) یک مدل دو هدفه برنامه‌ریزی خطی برای طراحی شبکه لجستیک پایدار کاغذ ارائه کرده‌اند. الهدهلی و مریک[2] (۲۰۱۲) یک مدل طراحی زنجیره تأمین سبز که هزینه آلودگی‌های کربنی را به‌عنوان یکی از توابع هدف در نظر گرفته‌اند، توسعه داده‌اند.

متا و بادوردین[3] (۲۰۱۸) برای کاهش اثرات زیست‌محیطی و اجتماعی زنجیره تأمین و دستیابی به یک سود بلندمدت مداوم، طراحی محصول و طراحی زنجیره تأمین را به‌صورت یکپارچه در نظر گرفته‌اند. نویسندگان مقاله معتقدند که این یکپارچه‌سازی باعث بهبود عملکرد پایداری زنجیره می‌شود. فتحی، نصراللهی و زمانیان (۱۳۹۸) در مقاله‌ای به‌منظور طراحی زنجیره تأمین پایدار حلقه بسته در وضعیت عدم قطعیت ارائه با اهداف حداقل‌سازی آثار زیست‌محیطی و حداکثرسازی آثار اجتماعی و سود اقتصادی، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط چندهدفه فازی ارائه داده و آن را با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری NSGA-II و MOPSO حل نموده‌اند. در پژوهشی توسط ایوانف[4] (۲۰۱۸) ارتباطات بین معیارهای پایداری و ریسک های اختلال در زنجیره های تأمین مورد بررسی قرار گرفته است و راه‌کارهایی به‌منظور کاهش تأثیرات این ریسک‌ها در راستای افزایش پایداری زنجیره تأمین پیشنهاد شده است. در تحقیقی که توسط سنگبر، صافی، آذر و ربیعه (۱۴۰۰) با استفاده از ترکیب روش‌های خوشه‌بندی نقشه خودسازمان‌دهنده، تئوری گراف و رویکرد ماتریس و نگاشت شناختی فازی لایه‌ای، انجام شده است، مسئله دستیابی به مدیریت زنجیره تأمین پایدار در صنعت پتروشیمی، تحلیل شده و بر اساس نتایج حاصل، «همکاری در زنجیره تأمین»، «توسعه سازمانی» و «تعهدات مدیریت به توسعه پایدار» به ترتیب مؤثرترین عوامل در توانمندسازی مدیریت زنجیره تأمین پایدار در صنعت پتروشیمی معرفی شده‌اند. موسوی، جمالی و قربان‌پور (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای به ارائه یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه جهت طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز ـ تاب‌آور در صنایع سیمان پرداخته‌اند. در این پژوهش، شرکت صنایع سیمان دشتستان برای اعتبارسنجی و پیاده‌سازی مدل، انتخاب شده و نتایج آن نشان می‌دهد که سطح تولید صنایع سیمان روی هزینه انتشار شبکه تأثیر کمی داشته و هزینه انتشار دی‌اکسیدکربن در شبکه طراحی‌شده، بیشتر از مقدار انتشار کربن در گره‌های تولیدی و کمان‌ها ناشی می‌شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پیشینهٔ تجربی

سییر[5] (۱۹۹۳) اولین فردی بود که از رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی در مدیریت زنجیره تأمین در صنعت نفت استفاده نمود. در این پژوهش انواع بشکه‌ها برای انتقال نفت و هزینه انتقال جاده‌ای نفت مدل‌سازی شده است. پس از او نیز پژوهشگرانی مفاهیم و مسائل زنجیره تأمین را در این صنعت مورد توجه قرار دادند.

اسکودرو، کوئینتانا و سالمرون[6] (۱۹۹۹) یک مدل برنامه‌ریزی خطی ارائه کردند که شامل تأمین، تبدیل و انتقال نفت و فراورده‌های نفتی با در نظر گرفتن عدم قطعیت در هزینه‌های تأمین، تقاضا و قیمت محصولات است. دمپستر و

1. Neto et al.
2. Elhedhli & Merrick
3. Metta & Badurdeen
4. Ivanov
5. Sear
6. Escudero, Quintana & Salmerón

همکاران[1] (۲۰۰۰) یک رویکرد برنامه‌ریزی احتمالی برای برنامه‌ریزی زنجیره تأمین یک شرکت نفتی به‌کاربرده‌اند. در ابتدا، یک مدل قطعی خطی چند دوره‌ای برای تأمین، تولید و توزیع توسعه یافته است. در ادامه، این مدل قطعی مبنای مدل‌سازی به شیوه‌ی برنامه‌ریزی تصادفی با در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضا و قیمت محصولات شده است. نیرو و پینتو (۲۰۰۴) یک چارچوب کلی برای مدل‌سازی زنجیره تأمین نفت ارائه کردند، به طوری‌که این پژوهش چارچوب‌های خاصی برای تانکرهای ذخیره‌سازی و خطوط لوله پیشنهاد داده است. میرحسنی[2] (۲۰۰۸) یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای فعالیت‌های حمل‌ونقل محصولات پالایشگاهی و نفت خام با در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضای این محصولات ارائه کرده است. آل عثمان و همکاران[3] (۲۰۰۸) نیز یک مدل چند دوره‌ای تصادفی برای صنعت نفت با در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت ارائه کرده‌اند. کیم، یون، پارک، پارک و فان[4] (۲۰۰۸) یک مدل یکپارچه‌سازی برای شبکه تأمین و برنامه‌ریزی تولید پالایشگاه با مکان‌یابی مجدد مراکز توزیع محصولات پالایشگاهی ارائه کرده‌اند. سینها و همکاران (۲۰۱۱) از تکنیک چند عامله[5] برای حل مدل میان‌مدت زنجیره تأمین نفت استفاده کرده‌اند. القحطانی و الکمال[6] (۲۰۰۸) نیز یک مدل مختلط خطی عدد صحیح دو مرحله‌ای احتمالی برای طراحی و آنالیز زنجیره تأمین نفت با یکپارچه‌سازی تولید ارائه نموده‌اند.

چن[7] (۲۰۱۴) به‌منظور بهینه‌سازی شبکه زنجیره تأمین نفت و تعیین مناسب‌ترین مُد حمل‌ونقل در این شبکه، یک مدل ریاضی غیر خطی با تابع هدف حداقل‌سازی هزینه‌های حمل‌ونقل ارائه کردند. این مدل ریاضی با طراحی یک الگوریتم ژنتیک حل شده است. یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح[8] برای طراحی شبکه میان دستی و پایین‌دستی صنعت نفت ارائه کردند که به مکان‌یابی انبارهای محصولات پالایشگاهی، مسیرهای انتقال، مدهای حمل‌ونقل و تخصیص شبکه می‌پردازد. کشور پرتغال با دو پالایشگاه، نه مرکز توزیع، هجده ناحیه تقاضا و هفت محصول نیز به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. در این مدل، محدودیت‌های تولید، انبارش، حمل‌ونقل، ارضای نیاز مشتری و ظرفیت‌ها در نظر گرفته شده است. در این پژوهش فرض شده است محصولات پالایشگاهی می‌توانند به وسیله تانکرهای نفت‌کش، قطارهای مخزن‌دار، کشتی‌های نفت کش و خطوط لوله منتقل شوند.

بیرانوند، غضنفری، صاحبی و پیشوایی[9] (۲۰۱۸) در پژوهشی به ارائه یک مدل ریاضی به‌منظور طراحی شبکه زنجیره تأمین نفت خام پرداخته‌اند. محققان این پژوهش عدم قطعیت در پارامترهای تقاضا و قیمت را در قالب یک مدل برنامه‌ریزی استوار مدل‌سازی کرده‌اند و کاربرد این پژوهش در قالب یک مطالعه موردی در شبکه زنجیره تأمین نفت خام در ایران مورد بررسی قرار گرفته است.

1. Dempster et al.
2. MirHassani
3. Al-Othman et al.
4. Kim, Yun, Park, Park & Fan
5. Multi Agent
6. Al-Qahtani & Elkamel
7. Chen
8. Mixed Integer Linear Programming
9. Beiranvand, Ghazanfari, Sahebi & Pishvaee

جدول ۱. جمع‌بندی مهم‌ترین مقاله‌های بررسی شده و تبیین سهم پژوهش

نویسنده (سال)	اهداف/معیارها					نوع زنجیره تأمین	روش‌شناسی	مطالعه موردی/ صنعت بررسی‌شده/ مثال عددی
	پایداری			تاب‌آوری	سایر اهداف/معیارها			
	اقتصادی	زیست‌محیطی	اجتماعی					
کیم، چن و لیندرمن[1] (۲۰۱۵)	✓			✓		دو سطحی	تئوری گراف	مثال‌های عددی
کار و سینگ[2] (۲۰۱۶)	✓	✓		✓	معیار تاب‌آوری از طریق مکانیزم‌های توانایی مقابله با تغییرات تقاضا	دو سطحی	آزادسازی محدودیت‌ها	پنج نمونه شبکه به‌صورت تصادی
گیانسلو، ایوانف و باتینی[3] (۲۰۱۷)	✓			✓	عملکرد مالی شرکت	شش سحطی	شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته پیشامد	صنعت خودرو
خلیلی، جولای و ترابی[4] (۲۰۱۷)	✓			✓	معیار ارزش شرطی در معرض ریسک	دو سطحی	برنامه‌ریزی فازی ـ احتمالی دومرحله‌ای، روش چبیشف	مثال‌های عددی
فرناندز، رلواس و باربوسا ـ پووا[5] (۲۰۱۷)	✓				متوسط ارزش فعلی خالص، ریسک	چهار سطحی	برنامه‌ریزی احتمالی ـ روش محدودیت اپسیلون تقویت شده	صنعت پیتروشیمی در کشور پرتغال
ظهیری، ژوانگ و محمدی[6] (۲۰۱۷)	✓	✓		✓	–	سه سطحی	برنامه‌ریزی احتمالی ـ امکان ـ الگوریتم حل ترکیبی مبتنی بر تئوری بازی‌ها	زنجیره تأمین دارو
جبارزاده و همکاران (۲۰۱۸)	✓			✓	–	سه سطحی حلقه بسته	بهینه‌سازی استوار– الگویتم آزادسازی لاگرانژ	صنعت شیشه
نصیری و همکاران (۲۰۱۸)	✓			✓	شاخص ارزیابی عملکرد کلی شبکه	شبکه هاب	بهینه‌سازی استوار – شبیه‌سازی مونت کارلو	مثال‌های عددی
گوا و همکاران[7] (۲۰۱۹)	✓	✓			میزان دی اکسید کربن و میزان آب مصرفی	سه سطحی	الگوریتم شاخه و حد – الگوریتم ابتکاری تقریبی	مثال‌های عددی
حقیقی و ترابی[8] (۲۰۱۸)	✓	✓	✓	✓	–	دو سطحی	تحلیل پوششی داده‌ها– روش بهترین بدترین	شبکه بیمارستان‌ها

1. Kim, Chen & Linderman
2. Kaur & Singh
3. Gianesello, Ivanov & Battini
4. Khalili, Jolai & Torabi
5. Fernandes, Relvas & Barbosa-Póvoa
6. Zahiri, Zhuang & Mohammadi
7. Guo
8. Haghighi & Torabi

نویسنده (سال)	اهداف/معیارها					نوع زنجیره تأمین	روش‌شناسی	مطالعه موردی/ صنعت بررسی‌شده/ مثال عددی
	پایداری			تاب‌آوری	سایر اهداف/معیارها			
	اقتصادی	زیست‌محیطی	اجتماعی					
فهیم‌نیا، جبار زاده و سرکیس[1] (۲۰۱۸)	✓	✓		✓	نمره زیست محیطی	دو سطحی	بهینه‌سازی استوار تقویت شده	صنعت پوشاک یک شرکت چند ملیتی
بیرانوند و همکاران (۲۰۱۸)	✓					چهار سطحی	بهینه‌سازی استوار	زنجیره تأمین نفت خام
توسرکانی و امین[2] (۲۰۱۹)	✓	✓			ماکسیمم سازی میزان انطباق تأمین کنندگان با الزامات زیست محیطی	حلقه بسته چند سطحی	برنامه‌ریزی فازی – برنامه‌ریزی احتمالی سناریو محور–فازی ANP	زنجیره تأمین باتری در کشور کانادا
کائور و همکاران[3] (۲۰۲۰)	✓	✓		✓	درنظر گرفتن تغییرات تقاضا	دو سطحی	برنامه‌ریزی غیرخطی–رویکرد چند معیاره فازی	مثال عددی
سازوار و همکاران[4] (۲۰۲۱)	✓	✓	✓	✓	برنامه‌ریزی ظرفیت اضافی	سه سطحی	برنامه‌ریزی فازی–ستوار	زنجیره تأمین واکسن
صبوحی، جبل عاملی و جبارزاده[5] (۲۰۲۱)	✓	✓	✓	✓	شاخص پایداری نواحی با روش k-میانگین	دو سطحی	بهینه‌سازی استوار–تجزیه بندرز	صنعت پتروشیمی ایران
فروزش، کریمی و موسوی[6] (۲۰۲۲)	✓	✓		✓	ریسک مسیرها–محصولات فاسد شدنی	سه سحطی	فازی نوع ۲ تعمیم یافته–ب بهینه‌سازی استوار	صنعت غذایی
کویی، جین، لی و وانگ[7] (۲۰۲۲)	✓	✓	✓	✓	–	دو/ سه/ چهار سطحی	معادلات ساختاری	۳۲۲ شرکت تولیدی در کشور چین
پژوهش حاضر	✓	✓	✓	✓	–	سه سطحی	برنامه‌ریزی ریاضی احتمالی دو مرحله‌ای سناریو محور	بنزین در خراسان رضوی

1. Fahimnia, Jabbarzadeh & Sarkis
2. Tosarkani & Amin
3. Kaur et al.
4. Sazvar et al.
5. Sabouhi, Jabalameli & Jabbarzadeh
6. Foroozesh, Karimi & Mousavi
7. Cui, Jin, Li & Wang

جمع‌بندی پیشینهٔ پژوهش و تبیین شکاف تحقیقاتی

با توجه به مرور ادبیات صورت گرفته نتیجه‌گیری می‌شود که علی‌رغم تعدد مقالات در حوزه طراحی شبکه زنجیره تأمین، توجه هم‌زمان به رویکردهای «مدیریت ریسک و اختلالات زنجیره تأمین» و «مدیریت زنجیره تأمین پایدار» در این مسئله کمتر مورد توجه بوده است. به خصوص این موضوع در مسائل طراحی شبکه زنجیره تأمین نفت و محصولات پالایشگاهی نیز زمینه تحقیقاتی است که نیازمند توجه بیشتر پژوهشگران می‌باشد. در جدول ۱، جمع‌بندی مقالات بررسی شده و سهم این پژوهش در ادبیات موضوع، نشان داده شده است. در پژوهش حاضر توجه هم‌زمان به سه بُعد ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی از منظر پایداری، همراه با استفاده از رویکرد تاب‌آوری برای مقابله با ریسک‌ها و اختلالات در مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین است. تصمیمات مورد توجه در مدل ریاضی پیشنهادی این پژوهش شامل مکان‌یابی انبارهای بنزین، تعیین میزان انتقال از هر پالایشگاه به انبارها، میزان ذخیره‌سازی در مراکز توزیع، انتخاب مُدهای حمل‌ونقل و تخصیص نقاط تقاضا به مراکز توزیع در شبکه است. در صورت از بین رفتن ظرفیت‌های شبکه در اثر بروز اختلالات، برنامه‌ریزی بازیابی ظرفیت از دست رفته نیز در مدل ریاضی به‌عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته خواهد شد. نهایتاً می‌توان وجه تمایز تحقیق حاضر با دیگر تحقیقات موجود را در نکات زیر دانست:

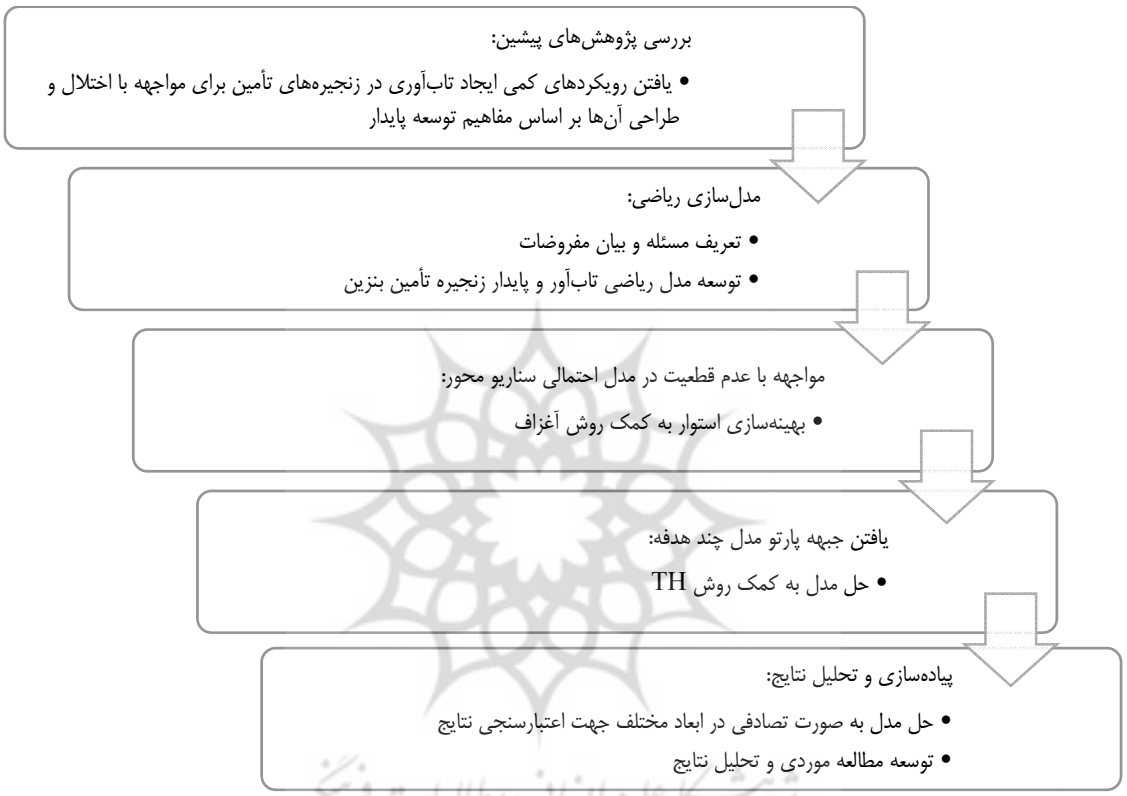
- در نظر گرفتن هم‌زمان معیارهای پایداری و تاب‌آوری در مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین بنزین خودرو به‌صورت یک مدل ریاضی دو مرحله ـ احتمالی سناریو محور چند هدفه. این معیارها به طور هم‌زمان در قالب توابع هدف حداقل‌سازی هزینه، حداقل‌سازی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و حداکثرسازی تاب‌آوری زنجیره تأمین با استفاده از استراتژی‌های بازیابی ظرفیت‌های از دست رفته و تنوع بخشی[1] لحاظ می‌شوند.
- در نظر گرفتن ریسک‌های اختلال در مدل ریاضی به‌منظور توجه نمودن به عدم قطعیت در پارامترهای مهم مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین بنزین خودرو در دنیای واقعی و کاهش آسیب پذیری زنجیره‌های تأمین در مقابل وقایع و فجایع گوناگون طبیعی و ساخت بشر[2] از طریق رویکرد بهینه‌سازی استوار[3].

روش‌شناسی پژوهش

در این مقاله پس از بررسی رویکردهای مختلفی که پژوهش‌های پیشین برای ایجاد تاب‌آوری در زنجیره‌های تأمین برای مواجهه با اختلال و طراحی آن‌ها بر اساس مفاهیم توسعه پایدار ذکر کرده‌اند، به کمی‌سازی این مفاهیم در قالب یک مدل برنامه‌ریزی چند هدفه ـ دو مرحله‌ای احتمالی مبتنی بر سناریو[4] پرداخته شده است. از آنجا که مدل پیشنهادی شامل پارامترها و متغیرهای مبتنی بر سناریو در قالب یک مدل ریاضی دو مرحله‌ای بوده و توسعه یک رویکرد که توانایی درنظر گرفتن بدترین سناریوهای ممکن[5] در برنامه‌ریزی تأمین و توزیع بنزین در کشور را داشته باشد، در این پژوهش مورد

1. Diversification
2. Natural and manmade disasters
3. Robust optimization
4. Multi-Objective Two stage stochastic scenario based planning
5. The Worst case scenarios

توجه می‌باشد، روش بهینه‌سازی استوار آغزاف[1] مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین به‌منظور یافتن جبهه پارتو[2] مدل چند هدفه از روش TH [3] بهره گرفته شده است. نهایتاً مدل ریاضی توسعه یافته، در قالب مثال‌های عددی حل شده و اعتبارسنجی آن انجام گردید، سپس از این مدل در مطالعه موردی شبکه زنجیره تأمین بنزین استان خراسان رضوی استفاده شده است. برای درک بهتر موضوع، روش تحقیق به‌صورت نمودار در شکل ۱ ارائه گردیده و در ادامه رویکرد بهینه‌سازی استوار و روش حل مدل چند هدفه استفاده شده توضیح داده می‌شود.



شکل ۱. مراحل پژوهش

بهینه‌سازی استوار به کمک روش آغزاف

این روش در ادامه رویکرد ارائه‌شده توسط مالوی و همکاران[4] (۱۹۹۵)، برای بهینه‌سازی مسائل احتمالی مبتنی بر سناریو که در سال ۲۰۱۰ توسط آغزاف ارائه شده است و تابع هدف (رابطهٔ ۱) به‌صورت زیر است (آغزاف، سیتمپل و نجید[5]، ۲۰۱۰):

$$minz = \eta.\max(\xi_s - \xi_s^*) + \lambda.\sum_{s\epsilon S} P_s.\xi_s$$ رابطه ۱)

1. Aghezzaf Robust Optimiztion
2. Pareto Frontier
3. Torabi-Hassini
4. Mulvey et al.
5. Aghezzaf, Sitompul & Najid

در رابطه فوق، ξ_s بیانگر هزینه بهینه در سناریوی s می‌باشد، و ξ_s^* مقدار بهینه حل قطعی مدل تحت سناریوی s است. η و λ پارامترهایی هستند که توسط تصمیم‌گیرنده به ترتیب بر مبنای میزان اهمیت بیشینه مقدار تغییرپذیری (توجه به بدترین سناریو) و متوسط تغییرات سناریوها تعیین می‌گردند. عبارت $\max(\xi_s - \xi_s^*)$ بیانگر بیشینه مقدار تغییرپذیری و عبارت $\sum_{s\epsilon S} P_s . \xi_s$ بیانگر متوسط اثرات سناریوها می‌باشند. می‌توان با درنظر گرفتن مقادیر مختلف η و λ توسط تصمیم‌گیرنده، تبادلی بین این دو عبارت انجام داد. افزایش وزن η سبب تغییرپذیری کمتر و هزینه مورد انتظار بیشتر می‌شود و بالعکس.

یافتن جبهه پارتو مدل چند هدفه

در بین روش‌های حل مدل‌های ریاضی چند هدفه، روش‌های فازی به‌طور گسترده‌ای مورد استقبال قرار گرفته است. یکی از مهم‌ترین دلایلی که این رویکردها مورد استقبال قرار گرفته‌اند، توانایی درنظرگرفتن درجه ارضای هریک از توابع هدف توسط این روش‌ها می‌باشد (سامانی، حسینی مطلق و قنادپور[1]، ۲۰۱۹). اولین رویکرد فازی برای حل مسائل چند هدفه توسط زیمرمن[2] با عنوان رویکرد حداکثر ـ حداقل در سال ۱۹۷۸ ارائه گردید (زیمرمن، ۱۹۷۸). در این رویکرد و رویکردهای مشابه، ابتدا به‌ازای تک‌تک اهداف، جواب‌های ایدئال مثبت و منفی با تشکیل جدول موازنه مشخص می‌گردند و برای هریک از توابع، تابع عضویتی تعیین می‌شود. سپس و در مرحله بعدی با کمک تابع ادغامی، این توابع ادغام می‌شوند (سلیم، آراز و اوزکاراهان[3]، ۲۰۰۸). در این راستا روش‌های مختلفی ارائه شده است، که زیمرمن به‌عنوان اولین تحقیق در این زمینه، از تابع حداکثر ـ حداقل استفاده نمود. اما اثبات می‌شود که رویکرد وی برخی‌اوقات جواب‌های غیر کارا ایجاد می‌کند، بنابراین جهت بهبود آن، روش‌های مختلفی جهت ادغام توابع عضویت ارائه گردید (لیانگ[4]، ۲۰۰۶). یکی از مناسب‌ترین روش‌ها که در این زمینه تاکنون توسعه یافته به‌عنوان روش TH شناخته شده و توسط ترابی و هسینی در سال ارائه گردیده است (ترابی و حسینی[5]، ۲۰۰۸). این روش قابلیت آن را دارد که با فراهم‌کردن درجه ارضای هر تابع هدف، به تصمیم‌گیرنده این امکان را دهد باتوجه به ارجحیت خود بین توابع هدف مبادله انجام دهد (حسینی مطلق، سامانی و همایی[6]، ۲۰۲۰). گام‌های این روش شامل موارد ذیل می‌شود (ترابی و حسینی، ۲۰۰۸):

گام اول: تعیین جواب ایدئال مثبت (PIS) و جواب ایدئال منفی (NIS) که به‌منظور به‌دست‌آوردن پاسخ ایدئال مثبت تابع هدف hام (Z_h^{PIS}, v_h^{PIS})، هرکدام از توابع هدف به‌صورت مجزا بهینه‌سازی می‌گردند و سپس جواب ایدئال منفی آن تابع هدف به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$Z_h^{NIS} = \max_{k=1,2,\dots k,k\neq h}\{Z_h(v_k^*)\} \qquad \forall h \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

که در رابطه فوق v_k^* بیانگر متغیر تصمیم مرتبط با PIS از kامین تابع هدف است.

1. Samani, Hosseini-Motlagh & Ghannadpour
2. Zimmermann
3. Selim, Araz & Ozkarahan
4. Liang
5. Torabi & Hassini
6. Hosseini-Motlagh, Samani & Homaei

گام دوم: تعیین تابع عضویت برای هریک از توابع هدف به‌صورت زیر است:

رابطه ۳)
$$\mu_h(x) = \begin{cases} 1 & Z_h < Z_h^{PIS} \\ \dfrac{Z_h^{NIS} - Z_h}{Z_h^{PIS} - Z_h^{NIS}} & Z_h^{PIS} \le Z_h \le Z_h^{NIS} \\ 0 & Z_h > Z_h^{NIS} \end{cases}$$

گام سوم: تبدیل مدل ریاضی چند هدفه به مدل تک‌هدفه معادل براساس تابع هدف ادغامی و محدودیت‌های پیشنهادی روش TH:

رابطه ۴)
$$\max \lambda(\upsilon) = \gamma\lambda_0 + (1-\gamma)\sum_h \theta_h \mu_h(\upsilon)$$

Subject to:

رابطه ۵)
$$\lambda_0 \le \mu_h(\upsilon) \qquad h = 1,2 \dots H$$

رابطه ۶)
$$\upsilon \in F(\upsilon);\ \lambda_0, \gamma \in [0,1]$$

که در مدل فوق، λ_0 بیانگر حداقل درجه رضایت اهداف، $F(\upsilon)$ بیانگر ناحیه شدنی به‌دست آمده از محدودیت‌های مدل قطعی و γ پارامتری است که جهت مبادله بین کمینه ـ بیشینه سطح رضایت بر اساس نظر تصمیم‌گیرنده را فراهم می‌کند.

گام چهارم: در این گام مقادیر پارامترها تعیین شده و مدل‌های تک‌هدفه ایجادشده در گام قبلی حل می‌گردند. سپس با انجام تعامل با تصمیم‌گیرنده، درصورتی‌که جواب‌های به‌دست‌آمده برای تصمیم‌گیرندگان رضایت‌بخش باشد، متوقف شده و در غیر این صورت به‌منظور دستیابی به جواب‌های جدید، مقادیر پارامترهای γ و θ_h را تغییر کرده و فرایند حل مجدداً تکرار می‌شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

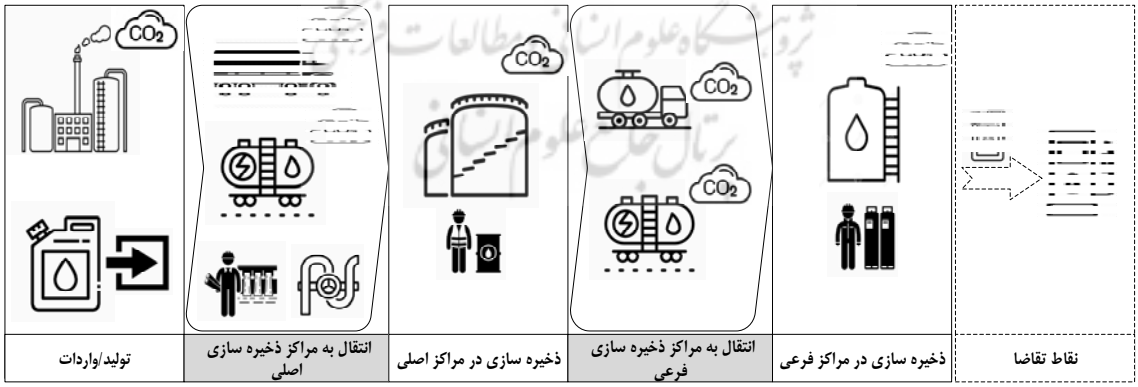
توصیف سیستم

در این مقاله یک زنجیره تأمین بنزین (GSC)[1] سه سطحی مطابق با شکل ۲ درنظر گرفته شده است و افق برنامه‌ریزی بر اساس ماتریس برنامه‌ریزی زنجیره تأمین که توسط اشتدلر (۲۰۰۵) معرفی گردیده، استراتژیک می‌باشد. بنزین یکی از مهم‌ترین محصولات صنعت نفت می‌باشد که باتوجه به پیچیدگی‌های فرایند تولید و توزیع، اثرات اقتصادی، محیط زیستی و اجتماعی آن، مدیریت اثربخش و کارای عملیات زنجیره تأمین آن اهمیت ویژه‌ای دارد. مسئله درنظر گرفته شده در این پژوهش از منظر شرکت ملی پالایش و پخش فراورده‌های نفتی کشور می‌باشد که مسئولیت تأمین تقاضای بنزین از پالایشگاه‌های داخلی و پایانه‌های واردات فراورده‌های نفت را دارا می‌باشد. به عبارتی دیگر، شرکت ملی پالایش و پخش فراورده‌های نفتی از یک سو با یک مسئله انتخاب تأمین‌کننده (پالایشگاه‌ها و پایانه‌های واردات فراورده‌های نفتی) و تخصیص مقدار سفارش به آن‌ها، و از سویی دیگر، با مسئله برنامه‌ریزی انتقال، ذخیره‌سازی و توزیع بنزین در کشور

1. Gasoline Supply Chain

مواجه است. هر پالایشگاه از یک نوع تکنولوژی تولید با اثرات زیست محیطی مشخص استفاده کرده و بنزینی با کیفیتی منحصربه‌فرد تولید می‌کند. با تأمین بنزین از پالایشگاه‌های و مبادی واردات، باید تقاضای بنزین در نقاط مختلف کشور تأمین گردد. این کار از طریق انتقال بنزین از پالایشگاه‌ها و پایانه‌های واردات فراورده‌های نفتی به مراکز ذخیره‌سازی اصلی صورت می‌پذیرد، که در آنجا بنزین با اتانول ترکیب شده و سپس به مراکز توزیع فرعی انتقال می‌یابد. همچنین در این پژوهش فرض شده است، شرکت ملی پالایش و پخش فراورده‌های نفتی قصد دارد تا بهترین محل‌ها در کشور را برای مراکز ذخیره‌سازی اصلی و فرعی پیدا کند. به‌علاوه، در این پژوهش مناسب‌ترین مُدهای حمل‌ونقل (خط لوله، واگن‌های ریلی مخزن‌دار و نفتکش‌های جاده پیما) جهت حمل بنزین نیز انتخاب خواهد شد. مهم‌ترین تمرکز این تحقیق، موضوع پشتیبانی زنجیره تأمین بنزین بوده و جزئیات فرایند تولید در هر پالایشگاه مورد نظر نخواهد بود. موضوع پایداری یکی از مهم‌ترین دغدغه‌ها برای دولت‌ها و سازمان‌هایی بوده که در صنعت نفت و گاز مشغول به فعالیت می‌باشند. آلودگی زیست‌محیطی یکی از مشخص‌ترین نتایج تولید بنزین و توزیع آن در زنجیره تأمین بنزین در کشورها می‌باشد. همچنین، نصب و بهره‌بردای از مراکز ذخیره‌سازی اصلی و فرعی در یک منطقه می‌تواند به توسعه اقتصادی و اجتماعی جامعه محلی کمک نماید، حال آن‌که ممکن است پیامدهای زیست محیطی نامناسبی نیز به همراه داشته باشد. در این تحقیق، فرصت‌های شغلی ایجادشده همراه با توسعه شبکه زنجیره تأمین بنزین در کشور نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. بنابراین این مقاله از سه جهت بر موضوع پایداری تمرکز می‌کند:

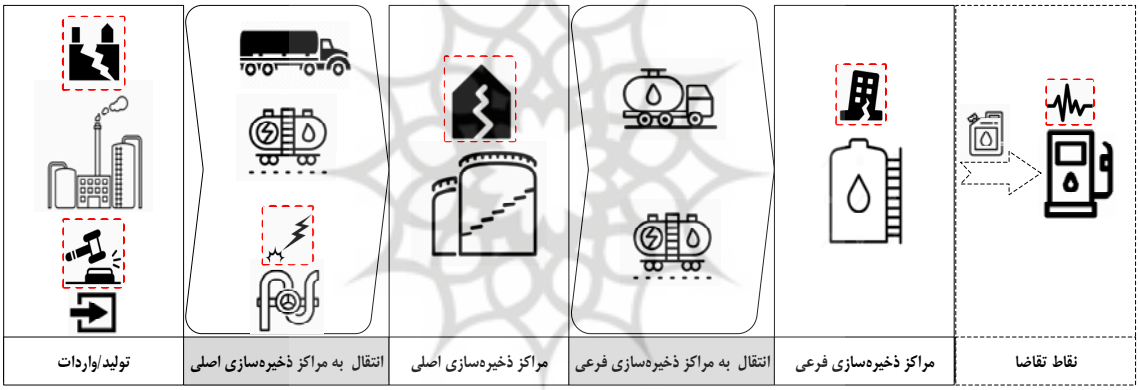
۱. هزینه ایجاد شبکه و توزیع بنزین از طریق توسعه زنجیره تأمین بنزین؛
۲. اثرات زیست‌محیطی عملیات پشتیبانی در زنجیره تأمین بنزین از نظر انتشار گاز CO_2 وسایل نقلیه و اثرات زیست‌محیطی تولید بنزین در پالایشگاه‌ها؛
۳. اثرهای اجتماعی ایجاد شبکه بر توسعه فرصت‌های شغلی و بهبود اقتصادی مناطق محلی.



شکل ۲. شبکه زنجیره تأمین مفروض در این پژوهش

به‌طور کلی، زنجیره تأمین نفت توسط بی‌ثباتی‌های ژئوپلیتیک، پیش‌بینی‌ناپذیری قیمت‌ها، رقابت‌های جهانی و مسئل سیاسی به مطور مداوم تحت تأثیر قرار می‌گیرد. به‌ویژه، تولید و توزیع بنزین به‌عنوان یک محصول حیاتی در صنعت نفت تحت تأثیر تعداد زیادی از اختلال‌ها (انسانی و غیر انسانی) می‌باشد. در این مقاله این‌طور فرض شده است

که اختلال‌های عرضه می‌تواند ظرفیت تولید پالایشگاه‌ها را کاهش دهد یا واردات بنزین تحت تأثیر فشارهای سیاسی دولت‌های دیگر محدود شود. کاهش ظرفیت تولید پالایشگاه‌ها می‌تواند به دلایل مختلفی از جمله کاهش میزان خوراک نفت، خرابی تجهیزات تولیدی یا مشکلات تأمین انرژی در پالایشگاه‌ها باشد. همچنین فرض شده است، ظرفیت حمل‌ونقل لوله‌های انتقال بنزین، بنزین ذخیره‌شده در مراکز ذخیره‌سازی اصلی و فرعی ممکن است توسط برخی از اختلال‌ها کاهش یابند. اختلال رایج دیگر در زنجیره تأمین بنزین که کمتر در تحقیقات به آن پرداخته شده است، افزایش تقاضای برخی از نقاط تقاضا به‌دلیل حوادث طبیعی مانند زلزله است. بعد از پایان چنین حوادثی، افراد آسیب‌دیده شوک‌زده شده و باک ماشین‌های خود را برای سپری‌کردن چند روز آینده از بنزین پر می‌کنند. شایان ذکر است که در این مقاله اختلال‌های مربوط به وسایل حمل‌ونقل بین پالایشگاه‌ها و مراکز ذخیره‌سازی اصلی و همچنین بین مراکز ذخیره‌سازی اصلی و فرعی درنظر گرفته نشده است، زیرا این تسهیلات توسط تأمین‌کنندگان طرف سومی (3PLs)[1] ارائه می‌شوند که تحت نظارت شرکت ملی پالایش و پخش فراورده‌های نفتی نیست. شکل ، زنجیره تأمین مذکور و اجزای آسیب‌پذیر آن با سایه قرمز رنگ نشان می‌دهد.



شکل ۳. شبکه زنجیره تأمین مفروض در این پژوهش و اجزای آسیب‌پذیر آن

بر این اساس، در این تحقیق یک تحلیل احتمالی مبتنی بر سناریو از مسئله انجام می‌شود تا مجموعه‌ای از سناریوهای تصادفی که می‌توانند زنجیره تأمین مذکور را تهدید کنند، شناسایی شوند. هر سناریو اختلال که شناسایی می‌شود، احتمال وقوع و شدت اثر از پیش‌تعریف‌شده‌ای بر عملیات سیستم دارا است. به‌منظور طراحی یک زنجیره تأمین تاب‌آور که قابلیت مواجهه با اختلال‌های بیان‌شده را داشته باشد، این مقاله از ابعاد مختلف تاب‌آوری یعنی کیفیت طراحی[2]، قابلیت‌های پیشگیرانه[3] و قابلیت‌های واکنشی[4] در مدل ریاضی طراحی شبکه زنجیره تأمین بنزین بهره می‌برد (ژاله چیان، ترابی و محمدی[5]، ۲۰۱۸). در ادامه هریک از این ابعاد تاب‌آوری به‌صورت مختصری توضیح داده می‌شوند.

1. Third-Party Logistics Providers (3PLs)
2. Design Quality
3. Proactive Capabilities
4. Reactive Capabilities
5. Zhalechian, Torabi & Mohammadi

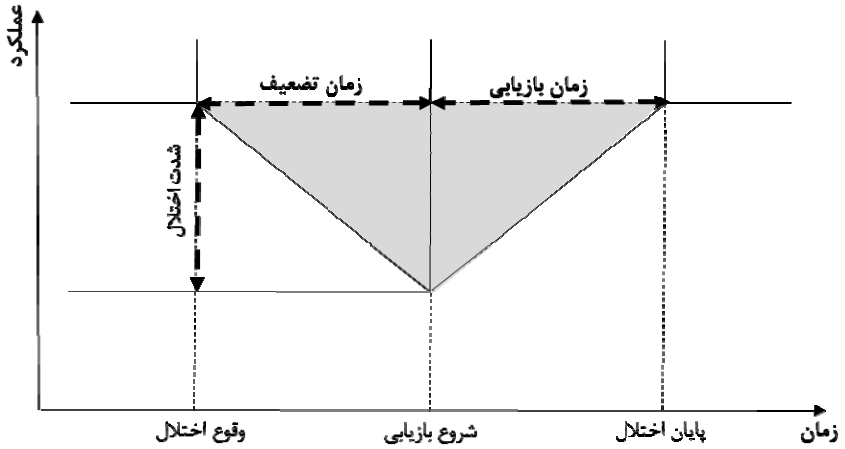
کیفیت طراحی

کیفیت طراحی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین جنبه‌های تاب‌آوری در ادبیات موضوع شناخته می‌شود (آذرون و همکاران[1]، ۲۰۰۸؛ فالاسکا، زوبل و کوک[2]، ۲۰۰۸). این معیار با سه زیرمعیار مرتبط است: چگالی شبکه[3]، بحرانی‌بودن گره[4] و پیچیدگی شبکه[5] (آدنسو دیاز و همکاران[6]، ۲۰۱۲). به‌طور کلی کیفیت طراحی به ترکیب‌بندی فضایی شبکه زنجیره تأمین تأمین مرتبط می‌شود و سعی می‌کند تا سطح تاب‌آوری شبکه را در مقابل اختلال‌های گوناگون تقویت نماید. چگالی شبکه، فاصله جغرافیایی بین هر گره از سایرگره‌ها را در شبکه زنجیره تأمین درنظر می‌گیرد و بیان می‌کند که شبکه‌هایی با چگالی بیشتر، سطح بالاتری از آسیب‌پذیری را در برابر اثرات اختلال‌ها دارند (کریگهد و همکاران، ۲۰۰۷). بحرانی‌بودن گره بیان‌گر اهمیت نسبی گره‌ها در شبکه و سهم آن‌ها در عبور جریان کل می‌باشد. همان طور که مشخص است، گره‌های بحرانی، آن مواردی هستند که تصمیم‌گیران باید بر آن‌ها تمرکز کرده و اولویت بیشتری برای محافظت از آن‌ها در مقابل اختلال‌ها اختصاص دهند (کاردوسو و همکاران[7]، ۲۰۱۵). پیچیدگی شبکه به تعداد کل گره‌ها و روابط بین آن‌ها آن‌ها در شبکه مرتبط می‌شود. در شبکه‌های پیچیده‌تر، اختلال‌ها با سرعت بیشتری به زنجیره نفوذ کرده و مدیریت آن‌ها در شرایط اضطراری مشکل‌تر می‌باشد (کریگهد و همکاران، ۲۰۰۷). در مدل پیشنهادی که در قسمت بعدی توضیح داده خواهد شد، چگالی شبکه از طریق حفظ حداقل فاصله بین مراکز ذخیره‌سازی اصلی صورت می‌پذیرد. مراکز ذخیره‌سازی اصلی و پشتیبان بحرانی تعیین شده و تعداد مراکز ذخیره‌سازی بحرانی محدود می‌شوند، همچنین امکان احداث مراکز ذخیره‌سازی پشتیبان برای مراکز ذخیره‌سازی فرعی بحرانی در مدل پیشنهادی فراهم می‌شود.

قابلیت‌های پیشگیرانه و واکنشی

قابلیت‌های پیشگیرانه شامل اقدامات پیش از وقوع اختلال می‌باشند که در جهت تقویت قابلیت جذب[8] اثرات اختلالات طراحی می‌شوند تا در مقابل رویدادهای اختلالی کمتر آسیب به زنجیره تأمین وارد شود. درحالی‌که، قابلیت‌های واکنشی به‌دنبال انطباق سیستم با موقعیت‌های اختلالی هستند و می‌خواهند عواقب ناسازگار اختلال‌ها را در عملکرد نرمال سیستم، کاهش دهند. مفهوم مثلث تاب‌آوری (شکل ۴) می‌تواند رابطه بین قابلیت‌های پیشگیرانه و واکنشی و تأثیر آن بر تاب‌آوری سیستم را نمایش دهد (شفی[9]، ۲۰۰۷؛ کاروالو، آزودو، کروز ـ ماچادو[10]، ۲۰۱۴). همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود، عمق مثلث بیانگر اثر اختلال‌ها بر عملکرد سیستم می‌باشد و طول آن شامل زمان تعدیل و بهبود است.

1. Azaron et al.
2. Falasca, Zobel & Cook
3. Network Density
4. Node Criticality
5. Network Complexity
6. Adenso-Diaz, Mena, García-Carbajal & Liechty
7. Cardoso
8. Absorption Ability
9. Sheffi
10. Carvalho, Azevedo & Cruz-Machado



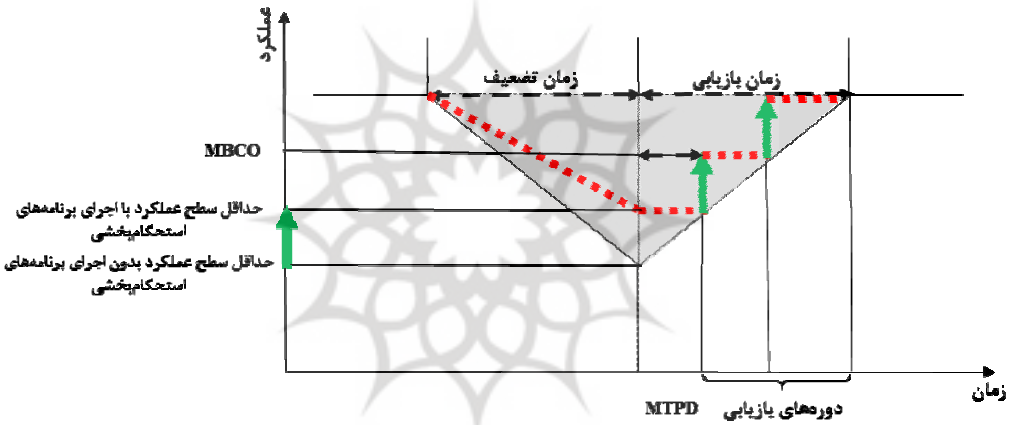
شکل ٤. مثلث تاب‌آوری

منبع: کاروالو و همکاران (۲۰۱۴)

قابلیت‌های پیشگیرانه شامل اقدامات مختلف افزونگی[1] و برنامه‌های استحکام‌بخشی[2] است که در پیشینه تحقیق مکرراً بیان شده است. این اقدامات و برنامه‌ها می‌توانند منجر به تعدیل شدت اختلال[3] و یا کاهش زمان تضعیف[4] سیستم داشته باشند (در شکل ۳ شدت اختلال و زمان تضعیف سیستم نشان در مثلث تاب‌آوری داده شده است (بلک هرست، ۲۰۰۵؛ چن، میلر هوکس[5]، ۲۰۱۲؛ ترنگست و ووگرین[6]، ۲۰۱۳). پیاده‌سازی استراتژی افزایش استحکام‌بخشی شامل ایجاد تسهیلاتی است با سطوح مشخص استحکام‌بخشی که دارای هزینه‌ها و اثرات کاهشی از پیش تعیین شده‌ای هستند. بدیهی است که پیاده‌سازی سطوح بالاتری از برنامه‌های افزایش استحکام‌بخشی، هزینه‌های بیشتری هم در پی داشته و از طرفی اثرات تقویتی بیشتری نیز بر تاب‌آوری تسهیلات در هنگام مواجهه با رویدادهای اختلالی دارند. قابلیت‌های واکنشی شامل برنامه‌های بازیابی[7] هستند که پس از وقوع اختلال و به‌منظور کاهش زمان بازیابی جهت بازگشت عملکرد سیستم به سطح نرمال اجرا می‌شوند (چودهری و کاداس[8]، ۲۰۱۷؛ صاحب جام نیا، ترابی و منصوری[9]، ۲۰۱۵). درنتیجهٔ اجرای اقدامات پیشگیرانه و واکنشی، سطح مثلث تاب‌آوری (شکل ۴) کوچکتر شده و می‌توان بیان داشت که که سیستم تاب‌آورتر می‌باشد (زوبل و خانسا[10]، ۲۰۱۴). براساس چارچوب مدیریت تداوم کسب و کار[11] پیشنهادشده توسط ISO22301 و BS25999 در فاز پیش از اختلال، اقدامات افزایش استحکام‌بخشی می‌توانند عواقب منفی اختلال را بر حداقل سطح عملکرد سیستم را تعدیل نمایند (خطوط افقی قرمز خطچین شکل ۵ در زمان تضعیف

1. Redundancy
2. Fortification
3. Disruption Severity
4. Dampen Time
5. Chen & Miller-Hooks
6. Turnquist & Vugrin
7. Recovery Plans
8. Chowdhury & Quaddus
9. Sahebjamnia, Torabi & Mansouri
10. Zobel & Khansa
11. Business Continuity Management (BCM) Framework

سیستم را مشاهده نمایید). در مرحله پس از اختلال، استانداردهای BCM تمرکز بـر دو شـاخص را پیشـنهاد مـی‌دهنـد: «حداقل سطح تداوم کسب و کار (MBCO)[1]» و «حداکثر زمان قابل تحمل اختلال (MTPD)[2]». MBCO بـه کمینـه سطح عملکرد قابل قبول از سیستمی که باید در مدت زمان MTPD ایجاد شود، اشاره دارد و این دو معیار باید از قبـل و همراه با برنامه‌های استحکام‌بخشی و بازیابی ظرفیت‌ها به مقادیر اولیـه‌شـان، تعیـین شـوند (خطـوط عمـودی سـبزرنگ خط‌چین را در شکل ۵ در زمان بازیابی مشاهده نمایید). در ایـن تحقیـق، اقـدامات پیشـگیرانه شـامل، در نظـر گـرفتن پالایشگاه‌های پشتیبان جهت تأمین بنزین، قرارداد با تأمین‌کنندگان طرف سومی جهت ایجاد خطوط حمل‌ونقلی پشتیبان برای ارسال بنزین به‌طور مستقیم از پالایشگاه‌ها به مراکز ذخیره‌سازی فرعی، ایجاد مراکز ذخیـره‌سـازی پشـتیبان بـرای مراکز ذخیره‌سازی فرعی بحرانی و استحکام‌بخشی مراکز ذخیره‌سازی اصلی و فرعی. همچنین، اقدامات واکنشـی شـامل برنامه‌ریزی برای بازیـابی زود هنگام ظرفیت‌های ازدست‌رفته در خطوط لوله، مراکز ذخیره‌سازی اصلی و فرعـی در مـدل ریاضی پیشنهادی مدنظر قرار گرفته است.



شکل ۵. نمایش MBCO و MTPD، اثرات اجرای برنامه‌های تقویت استحکام‌بخشی و برنامه‌های بازیابی در مثلث تاب‌آوری

مدل‌سازی ریاضی

معرفی متغیرها، پارامترها و مجموعه‌های مورد استفاده در مدل ریاضی این پژوهش در بخش پیوسـت آورده شـده اسـت. همچنین، سایر مفروضات زیر جهت توسعه مدل ریاضی درنظر گرفته شده است:

۱. مجموعه‌ای از مسیرهای از پیش‌تعریف‌شده بین پالایشگاه‌ها و مراکز ذخیره‌سازی اصلی جهت نصب خط لوله وجـود دارد، هرچند، برخی از این مسیرها می‌توانند انتخاب شوند. ضمناً، نصب خط لوله به‌عنوان یک مُد حمل‌ونقل تنهـا در لایه اول زنجیره تأمین بنزین درنظر گرفته شده است.

۲. این طور فرض شده است که نصب اولیه خط لوله سبب انتشار کربن دی‌اکسید می‌شود، درحـالی‌کـه حمـل‌ونقـل از طریق خطوط لوله، انتشار کربن دی‌اکسید قابل ملاحظه‌ای نسبت به سایر مُدهای حمل‌ونقل ندارد.

1. Minimum Business Continuity Objective
2. Maximum Tolerable Period of Disruption

۳. هر مرکز ذخیره‌سازی اصلی توسط مجموعه‌ای از پالایشگاه‌ها و مبادی واردات فراورده‌های نفتی، تأمین می‌شود. این امکان وجود دارد که هر مرکز ذخیره‌سازی فرعی بتواند از طریق مراکز ذخیره‌سازی فرعی متعددی بنزین دریافت کند. همچنین نیاز هر نقطه تقاضا به بنزین از طریق چندین مرکز ذخیره‌سازی فرعی برآورده می‌شود.

۴. تخصیص مرکز ذخیره‌سازی پشتیبان تنها برای مراکز ذخیره‌سازی فرعی بحرانی امکان‌پذیر است و مراکز ذخیره‌سازی پشتیبان از تعدادی انبارهای تدارکاتی پشتیبان که در استان‌های اطراف قرار دارند تأمین می‌شوند.

۵. ارسال بنزین به مراکز ذخیره‌سازی پشتیبان تنها درصورتی امکان‌پذیر است که در فاز پیش از وقوع اختلال یک مسیر انتقال از طریق انعقاد قرارداد با یک 3PL فراهم شده باشد.

۶. هر پالایشگاه تکنولوژی تولید خاصی با امتیاز سبزبودن منحصر به فردی (با توجه به گزارش مراجع ذی صلاح با توجه به میزان انتشار گازهای آلاینده محیط زیست) دارد. همچنین این‌طور فرض شده است که هر پالایشگاه با توجه به برنامه‌های توسعه‌ای ویژه خود، ظرفیت تولید مشخصی در هر دوره زمانی دارد. علی‌رغم این‌که مبادی واردات ظرفیت نامحدودی از بنزین دارند، اما واردات از آن‌ها می‌تواند تحت تأثیر تحریم‌های سیاسی محدود شود.

۷. بسته‌های تقویت استحکام‌بخشی و امکان بازیابی ظرفیت‌های تخریب شده برای خطوط لوله، مراکز ذخیره‌سازی اصلی و فرعی مدنظر قرار گرفته شده است. بودجه کل تقویت استحکام‌بخشی و بازیابی محدود بوده و مدل تلاش می‌کند تا بهترین تخصیص بودجه را برای هر کدام پیدا کند.

۸. این طور فرض شده است که در تمام سناریوهای اختلال، 3PLها ظرفیت حمل نامحدودی برای حمل بنزین در زنجیره دارند و اختلال‌ها بر 3PLها اثری ندارد.

۹. هر نقطه تقاضا، تقاضایی غیرقطعی مبتنی بر سناریو در هر دوره دارد که می‌تواند برآورده شود یا دچار کمبود شود.

۱۰. سناریوهای اختلال به‌صورت مستقل و با احتمال و شدت اثر مشخصی رخ می‌دهند.

توابع هدف مرحله اول

تابع هدف طراحی: اولین هدف مرحله اول (*Dof*)، بر کمینه‌سازی هزینه کل طراحی شبکه زنجیره تأمین تمرکز دارد. این تابع هدف به‌ترتیب شامل هزینه ثابت احداث خطوط لوله، هزینه ثابت قراردادها با 3PLها به‌منظور فراهم کردن ظرفیت انتقال در مجاری اصلی و پشتیبان و هزینه ثابت ایجاد مراکز ذخیره‌سازی اصلی، فرعی و پشتیبان می‌باشد.

رابطه ۷)

$$\begin{aligned}\text{Min } Dof = &\sum_{r=1}^{R} cr_r y_r + \sum_{i=1}^{I} ci_i yi_i + \sum_{r=1}^{R}\sum_{p=1}^{P}\sum_{\tau_{rp}=1}^{T_{rp}}\sum_{n=1}^{N} cp_{rp\tau_{rp}n} y'_{rp\tau_{rp}n} \\ &+ \sum_{r=1}^{R}\sum_{p=1}^{P}\sum_{m=1}^{M} ctp_{rpm} y''_{rpm} + + \sum_{i=1}^{I}\sum_{p=1}^{P}\sum_{m=1}^{M} cti_{ipm} yi'_{ipm} \\ &+ \sum_{p=1}^{P}\sum_{c=1}^{C}\sum_{m=1}^{M} ctc_{pcm} y'''_{pcm} + \sum_{b=1}^{B}\sum_{c=1}^{C}\sum_{m=1}^{M} cbl_{bcm} bl_{bcm} \\ &+ \sum_{p=1}^{P}\sum_{l=1}^{L} cd_{pl} x_{pl} + \sum_{c=1}^{C}\sum_{l=1}^{L} cc_{cl} x'_{cl} + \sum_{c=1}^{C}\sum_{l=1}^{L} cbr_{cl} br_{cl}\end{aligned}$$

تابع هدف پایداری: تابع هدف دوم مرحله اول (*Sof*)، بر بیشینه‌سازی پایداری شبکه زنجیره تأمین از طریق بهینه‌سازی اثرات زیست‌محیطی طراحی (*DEI*) و اثرات اجتماعی طراحی (*DSI*) تمرکز دارد. *DEI* به ترتیب امتیاز سبزبودن پالایشگاه‌ها، میزان انتشار اولیه کربن دی‌اکسید هنگام نصب خطوط لوله در زنجیره را درنظر می‌گیرد. *DSI* نرخ بیکاری را در مناطق احداث مراکز ذخیره‌سازی اصلی و فرعی همراه با تمرکز بر مسیرهایی واقع در مناطق کمتر توسعه یافته برای نصب خطوط لوله مدنظر قرار می‌دهد.

رابطه ۸)
$$\text{Max } Sof = DEI + DSI$$

که در آن داریم:

رابطه ۹)
$$DEI = \frac{[\sum_{r=1}^{R} g_r y_r] - [\sum_{r=1}^{R} g_r y_r]^{min}}{[\sum_{r=1}^{R} g_r y_r]^{max} - [\sum_{r=1}^{R} g_r y_r]^{min}}$$

$$+ \frac{\left[sco \sum_{r=1}^{R} \sum_{p=1}^{P} \sum_{\tau_{rp}=1}^{T_{rp}} \sum_{n=1}^{N} d_{rp} y'_{rp\tau_{rp}n}\right]^{max} - \left[sco \sum_{r=1}^{R} \sum_{p=1}^{P} \sum_{\tau_{rp}=1}^{T_{rp}} \sum_{n=1}^{N} d_{rp} y'_{rp\tau_{rp}n}\right]}{\left[sco \sum_{r=1}^{R} \sum_{p=1}^{P} \sum_{\tau_{rp}=1}^{T_{rp}} \sum_{n=1}^{N} d_{rp} y'_{rp\tau_{rp}n}\right]^{max} - \left[sco \sum_{r=1}^{R} \sum_{p=1}^{P} \sum_{\tau_{rp}=1}^{T_{rp}} \sum_{n=1}^{N} d_{rp} y'_{rp\tau_{rp}n}\right]^{min}}$$

رابطه ۱۰)
$$DSI = \frac{[\sum_{p=1}^{P} \sum_{l=1}^{L} ue_p x_{pl}] - [\sum_{p=1}^{P} \sum_{l=1}^{L} ue_p x_{pl}]^{min}}{[\sum_{p=1}^{P} \sum_{l=1}^{L} ue_p x_{pl}]^{max} - [\sum_{p=1}^{P} \sum_{l=1}^{L} ue_p x_{pl}]^{min}}$$

$$+ \frac{[\sum_{c=1}^{C} \sum_{l=1}^{L} ue'_c x'_{cl}] - [\sum_{c=1}^{C} \sum_{l=1}^{L} ue'_c x'_{cl}]^{min}}{[\sum_{c=1}^{C} \sum_{l=1}^{L} ue'_c x'_{cl}]^{max} - [\sum_{c=1}^{C} \sum_{l=1}^{L} ue'_c x'_{cl}]^{min}}$$

$$+ \frac{\left[\sum_{r=1}^{R} \sum_{p=1}^{P} \sum_{\tau_{rp}=1}^{T_{rp}} \sum_{n=1}^{N} rd_{\tau_{rp}} y'_{rp\tau_{rp}n}\right] - \left[\sum_{r=1}^{R} \sum_{p=1}^{P} \sum_{\tau_{rp}=1}^{T_{rp}} \sum_{n=1}^{N} rd_{\tau_{rp}} y'_{rp\tau_{rp}n}\right]^{min}}{\left[\sum_{r=1}^{R} \sum_{p=1}^{P} \sum_{\tau_{rp}=1}^{T_{rp}} \sum_{n=1}^{N} rd_{\tau_{rp}} y'_{rp\tau_{rp}n}\right]^{max} - \left[\sum_{r=1}^{R} \sum_{p=1}^{P} \sum_{\tau_{rp}=1}^{T_{rp}} \sum_{n=1}^{N} rd_{\tau_{rp}} y'_{rp\tau_{rp}n}\right]^{min}}$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

توابع هدف مرحله دوم

تابع هدف لجستیک: اولین تابع هدف مرحله دوم رابطه ۱۱ به ترتیب بر کمینه‌سازی هزینه کل لجستیک شامل هزینه حمل‌ونقل بنزین از طریق خطوط لوله یا انواع دیگر مُدهای حمل‌ونقل بین پالایشگاه‌ها و مراکز ذخیره‌سازی اصلی، هزینه حمل‌ونقل بین مبادی واردات و مراکز ذخیره‌سازی اصلی و هزینه حمل‌ونقل بین مراکز ذخیره‌سازی اصلی و مراکز ذخیره‌سازی فرعی تمرکز می‌کند. به‌علاوه، هزینه حمل‌ونقل ارسال بنزین به مراکز ذخیره‌سازی پشتیبان از پالایشگاه‌ها در این تابع هدف درنظر گرفته شده است.

رابطه ۱۱)
$$Min\ LC_s = \sum_{r=1}^{R} \sum_{p=1}^{P} \sum_{t=1}^{T} \sum_{n=1}^{N} d_{rp} sp_n tp_{rpts} + \sum_{r=1}^{R} \sum_{p=1}^{P} \sum_{m=1}^{M} \sum_{t=1}^{T} d_{rp} sr_m\, tr_{rpmts} + \sum_{i=1}^{I} \sum_{p=1}^{P} \sum_{m=1}^{M} \sum_{t=1}^{T} d''''_{ip} sr_m\, tib_{ipmts} + \sum_{p=1}^{P} \sum_{c=1}^{C} \sum_{m=1}^{M} \sum_{t=1}^{T} d'_{pc} sr_m\, tc_{pcmts} + \sum_{b=1}^{B} \sum_{c=1}^{C} \sum_{m=1}^{M} \sum_{t=1}^{T} d''_{bc} sr_m\, tps_{bcmts}$$

تابع هدف انتشار کربن دی‌اکسید: دومین تابع هدف مرحله دوم رابطه ۱۲ میزان انتشار کربن دی‌اکسید ناشی از حمل‌ونقل بنزین با سایر مُدهای حمل‌ونقل (به غیر از خطوط لوله) در زنجیره را کمینه می‌کند.

رابطه ۱۲)
$$Min\ CE_s = \frac{[\sum_{r=1}^{R}\sum_{p=1}^{P} d_{rp}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} co_m tr_{rpmts}]-[\sum_{r=1}^{R}\sum_{p=1}^{P} d_{rp}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} co_m tr_{rpmts}]^{min}}{[\sum_{r=1}^{R}\sum_{p=1}^{P} d_{rp}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} co_m tr_{rpmts}]^{max}-[\sum_{r=1}^{R}\sum_{p=1}^{P} d_{rp}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} co_m tr_{rpmts}]^{min}} + \frac{[\sum_{p=1}^{P}\sum_{c=1}^{C} d'_{pc}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} co_m tc_{pcmts}]-[\sum_{p=1}^{P}\sum_{c=1}^{C} d'_{pc}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} co_m tc_{pcmts}]^{min}}{[\sum_{p=1}^{P}\sum_{c=1}^{C} d'_{pc}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} co_m tc_{pcmts}]^{max}-[\sum_{p=1}^{P}\sum_{c=1}^{C} d'_{pc}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} co_m tc_{pcmts}]^{min}}$$

تابع هدف تاب‌آوری: سومین تابع هدف مرحله دوم رابطه ۱۳ بر بهینه‌سازی تاب‌آوری کل زنجیره تأمین بنزین متمرکز است. به‌منظور کمی‌سازی میزان تاب‌آوری شبکه، این تابع هدف سعی می‌کند تا ظرفیت در دسترس تسهیلات در زنجیره را تا حد ممکن در سطح مقادیر اولیه آن‌ها حفظ کند.

رابطه ۱۳)
$$Min\ R_s = \sum_{r=1}^{R}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\frac{\left(\sum_{\tau_{rp}=1}^{T_{rp}}\sum_{n=1}^{N} cap_n y'_{rp\tau_{rp}n}\right)-ac_{rpts}}{cap_N} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\frac{(\sum_{l=1}^{L} cap'_l x_{pl})-ac'_{pts}}{cap'_L} + \sum_{c=1}^{C}\sum_{t=1}^{T}\frac{(\sum_{l=1}^{L} cap''_l x'_{cl})-ac''_{cts}}{cap''_L}$$

تابع هدف کمبود: چهارمین تابع هدف مرحله دوم، یعنی رابطه ۱۴ سعی می‌کند تا کمبود کل بنزین در نقاط تقاضای مشتریان را در کمینه کند. همان طور در قسمت بیان مسئله آورده شد، بنزین یک جزء مهم در میان محصولات نفتی می‌باشد و نقش مهمی را در امنیت انرژی هر کشوری بازی می‌کند. بنابراین، توسعه برنامه‌های دقیق به‌منظور مواجهه با هرنوع اختلالی در زنجیره بنزین حیاتی است. به‌طور کلی، زنجیره‌های تأمین بنزین قادر هستند تا به تغییرات کوچک تقاضا پاسخ دهند، اما رویدادهای حادثه‌زا مانند زمین‌لرزه یا سیل‌ها که اثرات بزرگی داشته و احتمال وقوع کمی دارند، در فرایند مدیریت ریسک زنجیره تأمین از اهمیت بالایی برخوردارهستند. در بسیاری از وقایع ناگوار در زنجیره‌های تأمین شاهد آن هستیم که بیشینه اثرات و ضررهای ایجاد شده از میانگین پیش‌بینی شده مفروض نتایج آن‌ها بسیار بیشتر می‌باشد (کلی، اشنایدر و یی[1]، ۲۰۱۴). پتیت (۲۰۰۸) بیان می‌کند که رویکردهای رایج مدیریت ریسک برای مواجهه با ریسک‌های اختلال مناسب نمی‌باشند و توجه به بدترین سناریوهای ممکن ضرروی است. اولسن و وو[2] (۲۰۱۳) پیشنهاد می‌کنند برای مدیریت موقعیت‌های فاجعه‌بار، ریسک‌ها باید در بدترین حالت ممکن در برنامه‌ریزی‌ها لحاظ گردند. به طور معمول، مدیران از احتمال وقوع پایین ریسک‌های اختلال فریفته شده و اثرات آن‌ها را کمتر از حد لازم تخمین می‌زنند (لیم و همکاران، ۲۰۱۰). هیمز[3] (۲۰۰۶) بیان می‌دارد که کمی افزایش هزینه‌های اولیه طراحی می‌تواند نتایج زیادی در تعدیل اثرات ناشی از ریسک‌های اختلال به همراه داشته باشد. با توجه این موارد و اهمیت ویژه به تابع هدف کمبود بنزین در سناریوهای اختلال، این تابع هدف به‌صورت استوار[4] بهینه‌سازی می‌شود تا پیش‌بینی‌های لازم جهت مواجه با ریسک‌های اختلال زنجیره تأمین بنزین صورت گیرد.

1. Kelle, Schneider & Yi
2. Olson & Wu
3. Haimes
4. Robust

رابطه ۱۴) $$Min\ BoR_s = \sum_{c=1}^{C} \sum_{t=1}^{T} b_{cts}$$

محدودیت‌های مدل

محدودیت‌های منطقی

رابطه ۱۵) $$\sum_{\tau_{rp}=1}^{T_{rp}} \sum_{n=1}^{N} y'_{rp\tau_{rp}n} \leq 1 \qquad \forall r \in R; p \in P$$

رابطه ۱۶) $$\sum_{m=1}^{M} y''_{rpm} \leq 1 \qquad \forall r \in R; p \in P$$

رابطه ۱۷) $$\sum_{m=1}^{M} yi'_{ipm} \leq 1 \qquad \forall i \in I; p \in P$$

رابطه ۱۸) $$\sum_{m=1}^{M} y'''_{pcm} \leq 1 \qquad \forall p \in P; c \in C$$

رابطه ۱۹) $$\sum_{l=1}^{L} x_{pl} \leq 1 \qquad \forall p \in P$$

رابطه ۲۰) $$\sum_{l=1}^{L} x'_{cl} \leq 1 \qquad \forall c \in C$$

رابطه ۲۱) $$\sum_{l=1}^{L} br_{cl} \leq 1 \qquad \forall c \in C$$

رابطه ۲۲) $$y'_{rp\tau_{rp}n} \leq y_r \qquad \forall r \in R; p \in P; n \in N$$

رابطه ۲۳) $$y''_{rpm} \leq y_r \qquad \forall r \in R; p \in P; m \in M$$

رابطه ۲۴) $$yi'_{ipm} \leq yi_i \qquad \forall i \in I;\ p \in P;\quad m \in M$$

رابطه ۲۵) $$\sum_{r=1}^{R} \sum_{\tau_{rp}=1}^{T_{rp}} \sum_{n=1}^{N} y'_{rp\tau_{rp}n} + \sum_{r=1}^{R} \sum_{m=1}^{M} y''_{rpm} + \sum_{i=1}^{I} \sum_{m=1}^{M} yi'_{ipm} \leq M. \sum_{l=1}^{L} x_{pl} \qquad \forall p \in P$$

رابطه ۲۶) $$y'''_{pcm} \leq \sum_{l=1}^{L} x_{pl} \qquad \forall p \in P;\ c \in C;\quad m \in M$$

رابطه ۲۷) $$y'''_{pcm} \leq \sum_{l=1}^{L} x'_{cl} \qquad \forall p \in P;\ c \in C;\quad m \in M$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$bl_{bcm} \le \sum_{l=1}^{L} br_{cl} \qquad \forall b \in B;\ c \in C;\ m \in M$$ رابطه ۲۸)

$$\sum_{l=1}^{L} br_{cl} \le \sum_{l=1}^{L} x'_{cl} \qquad \forall c \in C$$ رابطه ۲۹)

$$ad_{dcts} \le dis_{dc}.\sum_{l=1}^{L} x'_{cl} \qquad \forall d \in D;\ c \in C;\ t \in T;\ s \in S$$ رابطه ۳۰)

محدودیت رابطه ۱۵، تعداد مسیرهای نصب خط لوله‌ها و اندازه‌های آن‌ها را محدود می‌کند. محدودیت‌های رابطه ۱۶ تا رابطه ۱۸ تضمین می‌کنند که تنها یک نوع مُد حمل‌ونقل می‌تواند بین پالایشگاه‌ها و مراکز ذخیره‌سازی اصلی ، بین پایانه‌های واردات و مراکز ذخیره‌سازی اصلی و بین مراکز ذخیره‌سازی اصلی و مراکز ذخیره‌سازی فرعی انتخاب شود. محدودیت‌های رابطه ۱۹ تا رابطه ۲۱ اندازه تسهیلات ایجادشده در مراکز ذخیره‌سازی اصلی ، مراکز ذخیره‌سازی فرعی و مراکز ذخیره‌سازی پشتیبان را کنترل می‌کنند. محدودیت‌های رابطه ۲۲ تا رابطه ۲۵ بین متغیرهای انتخاب مُد حمل‌ونقل بین لایه‌های زنجیره تأمین بنزین (یعنی انتخاب مُد حمل‌ونقل بین پالایشگاه‌ها/پایانه‌های واردات و مراکز ذخیره‌سازی اصلی)، متغیرهای انتخاب تأمین‌کننده (یعنی انتخاب پالایشگاه‌ها/پایانه‌های واردات)، و متغیرهای ایجاد مراکز ذخیره‌سازی اصلی ارتباط منطقی ایجاد می‌کنند. محدودیت‌های رابطه ۲۶ و رابطه ۲۷ اشاره می‌کنند که تنها در صورتی حمل‌ونقل بین مراکز ذخیره‌سازی اصلی و مراکز ذخیره‌سازی فرعی صورت می‌گیرد که تسهیلات در مبدا و مقصد ایجاد شده باشند. محدودیت رابطه ۲۸ منطق مشابهی را برای حمل‌ونقل بین انبارهای تدارکاتی پشتیبان و مراکز ذخیره‌سازی پشتیبان دنبال می‌کند. محدودیت رابطه ۲۹ بیان می‌کند که ایجاد تسهیلات پشتیبان تنها برای مراکز ذخیره‌سازی فرعی نصب‌شده مجاز است. محدودیت رابطه ۳۰ برآورده شدن تقاضای هر نقطه تقاضا را تنها از مراکز ذخیره‌سازی فرعی نصب‌شده در شعاع مجاز را کنترل می‌کند، لازم به توضیح است در شرایط وقوع اختلال و تأمین تقاضا از مراکز ذخیره‌سازی پشتیبان، محدودیت شعاع مجاز وجود ندارد.

محدودیت‌های طراحی

$$tp_{rpts} \le M.\sum_{\tau_{rp}=1}^{T_{rp}} \sum_{n=1}^{N} y'_{rp\tau_{rp}n} \qquad \forall r \in R;\ p \in P;\ t \in T;\ s \in S$$ رابطه ۳۱)

$$tr_{rpmts} \le M.y''_{rpm} \qquad \forall r \in R;\ p \in P;\ m \in M;\ t \in T;\ s \in S$$ رابطه ۳۲)

$$tib_{ipmts} \le M.yi'_{ipm} \qquad \forall i \in I;\ p \in P;\ m \in M;\ t \in T;\ s \in S$$ رابطه ۳۳)

$$tc_{pcmts} \le M.y'''_{pcm} \qquad \forall p \in P;\ c \in C;\ m \in M;\ t \in T;\ s \in S$$ رابطه ۳۴)

$$tps_{bcmts} \le M.bl_{bcm} \qquad \forall b \in B;\ c \in C;\ m \in M;\ t \in T;\ s \in S$$ رابطه ۳۵)

محدودیت رابطه ۳۱ امکان انتقال بنزین از طریق خطوط لوله را بین پالایشگاه‌ها و مراکز ذخیره‌سازی اصلی از طریق مسیرهای خط لوله‌ای که در مرحله اول مدل انتخاب شده‌اند را فراهم می آورد. محدودیت‌های رابطه‌های ۳۲ و ۳۳ جریان بنزین از پالایشگاه‌ها و پایانه‌های واردات به مراکز ذخیره‌سازی اصلی را درصورت وجود تجهیزات حمل‌ونقل در آن مسیر مهیا می‌سازند. به‌طور مشابه، محدودیت‌های رابطه‌های ۳۴ و ۳۵ امکان انتقال بنزین از مراکز ذخیره‌سازی اصلی و انبارهای تدارکاتی پشتیبان را به مراکز ذخیره‌سازی اصلی و مراکز ذخیره‌سازی پشتیبان را درصورت وجود تسهیلات حمل‌ونقل فراهم می‌آورد.

محدودیت‌های جریان

رابطه ۳۶)
$$tp_{rpts} \geq mpl. \sum_{\tau_{rp}=1}^{T_{rp}} \sum_{n=1}^{N} y'_{rp\tau_{rp}n} \qquad \forall r \in R; \quad p \in P \quad t \in T; \quad s \in S$$

رابطه ۳۷)
$$\sum_{c=1}^{C} \sum_{m=1}^{M} tc_{pcmts} \leq \sum_{r=1}^{R} tp_{rpts} + \sum_{r=1}^{R} \sum_{m=1}^{M} tr_{rpmts} + \sum_{i=1}^{I} \sum_{m=1}^{M} tib_{ipmts} \qquad \forall p \in P; \quad t \in T; \quad s \in S$$

رابطه ۳۸)
$$\sum_{d=1}^{D} ad_{dcts} - \sum_{p=1}^{P} \sum_{m=1}^{M} tc_{pcmts} - \sum_{b=1}^{B} \sum_{m=1}^{M} tps_{bcmts} = b_{cts} \qquad \forall c \in C; \quad t \in T; \quad s \in S$$

رابطه ۳۹)
$$\sum_{c=1}^{C} ad_{dcts} = de_{dts} \qquad \forall d \in D; \quad t \in T; \quad s \in S$$

محدودیت رابطه ۳۶ جریان انتقال از طریق خط لوله را مشروط به وجود حداقل جریان قابل قبول برای احداث خط لوله می‌کند. محدودیت رابطه ۳۷ کنترل مربوط به تعادل جریان تعادلی بین مراکز ذخیره‌سازی اصلی و فرعی است. محدودیت‌های رابطه ۳۸ و رابطه ۳۹ به برآورده‌سازی تقاضا از طریق مراکز ذخیره‌سازی فرعی و پشتیبان اختصاص دارد و مقدار کمبود اتفاق افتاده در هر مرکز ذخیره‌سازی فرعی را محاسبه می‌کند.

محدودیت‌های ظرفیت

رابطه ۴۰)
$$\sum_{p=1}^{P} tp_{rpts} + \sum_{p=1}^{P} \sum_{m=1}^{M} tr_{rpmts} + \sum_{c=1}^{C} \sum_{m=1}^{M} tps_{rcmts} \leq capr_{rs} \qquad \forall r \in R; \quad t \in T; \quad s \in S$$

رابطه ۴۱)
$$\sum_{b=1}^{B} \sum_{m=1}^{M} tps_{bcmts} \leq capb_{b} \qquad \forall b \in B; \quad t \in T; \quad s \in S$$

رابطه ۴۲) $tp_{rpts} \le ac_{rpts}$ $\forall r \in R;\ p \in P;\ t \in T;\ s \in S$

رابطه ۴۳) $\sum_{r=1}^{R} tp_{rpts} + \sum_{r=1}^{R}\sum_{m=1}^{M} tr_{rpmts} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{m=1}^{M} tib_{ipmts} \le ac'_{pts}$ $\forall p \in P;\ t \in T;\ s \in S$

رابطه ۴۴) $\sum_{p=1}^{P}\sum_{m=1}^{M} tc_{pcmts} + \sum_{r=1}^{R}\sum_{m=1}^{M} tps_{rcmts} \le ac''_{cts}$ $\forall c \in C;\ t \in T; s \in S$

رابطه ۴۵) $\sum_{b=1}^{B}\sum_{m=1}^{M} tps_{bcmts} \le cap''_{l}.\sum_{l=1}^{L} br_{cl}$ $\forall c \in C;\ t \in T; s \in S$

محدودیت‌های رابطه ۴۰ تا رابطه ۴۵ ظرفیت تولید پالایشگاه‌ها، ظرفیت تحویل بنزین انبارهای تدارکاتی پشتیبان، ظرفیت حمل‌ونقل خطوط لوله، ظرفیت ذخیره‌سازی مراکز ذخیره‌سازی اصلی، فرعی و پشتیبان را در مدل ریاضی لحاظ می‌کند.

محدودیت‌های تقویت استحکام‌بخشی و بازیابی ظرفیت‌ها

رابطه ۴۶) $ac_{rpts} \le cap_n\left[(1-fl_{rpf})(1-\theta_{rps}) + fl_{rpf}(1-\alpha_{fs}\theta_{rps})\right] + \sum_{t'=1}^{t-1}\sum_{v=1}^{V} cap_n \alpha'_{vs} rl_{rpvt's}$ $\forall r \in R;\ p \in P;\ n \in N;\ f \in F;\ t \in T;\ s \in S$

رابطه ۴۷) $ac'_{pts} \le cap'_l\left[(1-fp_{pf})(1-\theta'_{ps}) + fp_{pf}(1-\beta_{fs}\theta'_{ps})\right] + \sum_{t'=1}^{t-1}\sum_{v=1}^{V} cap'_l \beta'_{vs} rp_{pvt's}$ $\forall p \in P;\ l \in L;\ f \in F; t \in T; s \in S$

رابطه ۴۸) $ac''_{cts} \le cap''_l\left[(1-fc_{cf})(1-\theta''_{cs}) + fc_{cf}(1-\gamma_{fs}\theta''_{cs})\right] + \sum_{t'=1}^{t-1}\sum_{v=1}^{V} cap''_l \gamma'_{vs} rc_{cvt's}$ $\forall c \in C;\ l \in L;\ f \in F; t \in T; s \in S$

رابطه ۴۹) $\sum_{f=1}^{F} fl_{rpf} \le \sum_{\tau_{rp}=1}^{T_{rp}}\sum_{n=1}^{N} y'_{rp\tau_{rp}n}$ $\forall r \in R; p \in P$

رابطه ۵۰) $ac_{rpts} \le \sum_{\tau_{rp}=1}^{T_{rp}}\sum_{n=1}^{N} y'_{rp\tau_{rp}n}\, cap_n$ $\forall r \in R;\ p \in P\ t \in T; s \in S$

رابطه ۵۱) $\sum_{f=1}^{F} fp_{pf} \le \sum_{l=1}^{L} x_{pl}$ $\forall p \in P$

رابطه ۵۲) $$ac'_{pts} \le \sum_{l=1}^{L} x_{pl}\, cap'_{l} \qquad \forall p \in P;\ t \in T; s \in S$$

رابطه ۵۳) $$\sum_{f=1}^{F} fc_{cf} \le \sum_{l=1}^{L} x'_{cl} \qquad \forall c \in C$$

رابطه ۵۴) $$ac''_{cts} \le \sum_{l=1}^{L} x'_{cl}\, cap''_{l} \qquad \forall c \in C; t \in T;\ s \in S$$

رابطه ۵۵) $$\sum_{v=1}^{V} rl_{rpvts} \le \sum_{\tau_{rp}=1}^{T_{rp}} \sum_{n=1}^{N} y'_{rp\tau_{rp}n} \qquad \forall r \in R; p \in P;\ t \in T; s \in S$$

رابطه ۵۶) $$\sum_{v=1}^{V} \sum_{t=1}^{T} \alpha'_{vs} rl_{rpvts} \le 1 \qquad \forall r \in R; p \in P;\ s \in S$$

رابطه ۵۷) $$\sum_{v=1}^{V} rp_{pvts} \le \sum_{l=1}^{L} x_{pl} \qquad \forall p \in P; t \in T; s \in S$$

رابطه ۵۸) $$\sum_{v=1}^{V} \sum_{t=1}^{T} \beta'_{vs} rp_{pvts} \le 1 \qquad \forall p \in P; s \in S$$

رابطه ۵۹) $$\sum_{v=1}^{V} rc_{cvts} \le \sum_{l=1}^{L} x'_{cl} \qquad \forall c \in C; t \in T; s \in S$$

رابطه ۶۰) $$\sum_{v=1}^{V} \sum_{t=1}^{T} \gamma'_{vs} rc_{cvts} \le 1 \qquad \forall c \in C; s \in S$$

رابطه ۶۱) $$\begin{aligned} &\sum_{f=1}^{F} \sum_{r=1}^{R} \sum_{p=1}^{P} fcp_f fl_{rpf} + \sum_{f=1}^{F} \sum_{p=1}^{P} fcdp_f fp_{pf} \\ &+ \sum_{f=1}^{F} \sum_{c=1}^{C} fcdc_f fc_{cf} \\ &+ \sum_{r=1}^{R} \sum_{p=1}^{P} \sum_{v=1}^{V} \sum_{t=1}^{T} rcp_v rl_{rpvts} \\ &+ \sum_{p=1}^{P} \sum_{v=1}^{V} \sum_{t=1}^{T} rcdp_v rp_{pvts} \\ &+ \sum_{c=1}^{C} \sum_{v=1}^{V} \sum_{t=1}^{T} rcdc_v rc_{cvts} \\ &\le B \end{aligned} \qquad \forall s \in S$$

محدودیت‌های رابطه ۴۶ تا رابطه ۴۸ بیانگر حداکثر ظرفیت دردسترس خطوط لوله، مراکز ذخیره‌سازی اصلی و فرعی هستند. در سمت راست، محدودیت رابطه ۴۶، اولین قسمت مستحکم‌سازی خطوط لوله جهت انتقال بنزین در شرایط بروز اختلال را در نظر می‌گیرد. اگر یک خط لوله با اندازه n بین پالایشگاه r و مرکز ذخیره‌سازی اصلی که در مکان p قرار گرفته است، در سطح l مستحکم‌سازی شود، (یعنی $fl_{rpf} = 1$) آنگاه ظرفیت انتقال خط لوله مذکور بلافاصله پس از وقوع سناریو s به‌صورت ($ac_{rpts} = cap_n \alpha_{fs} \theta_{rps}$) می‌باشد. که در آن ($\alpha_{fs}$) به اثر تعدیل‌کننده ظرفیت انتقال خط لوله با بسته تقویت مستحکم‌سازی f جهت کاهش اثر اختلال (i.e., θ_{rps}) در ظرفیت انتقال خط لوله مربوط می‌شود. دومین قسمت سمت راست این محدودیت شامل بازیابی ظرفیت انتقال خطوط لوله در طی دوره‌های زمانی پس از وقوع اختلال می‌باشد. در هردوره زمانی اگر بازیابی ظرفیت انتقال در سطح v برای خط لوله ذکرشده انجام

شود، یعنی ($rl_{rpvtts}=1$)، در این صورت ظرفیت انتقال در دسترس برای دوره بعدی به مقدار ($cap_n\alpha'_{vs}$) افزایش می‌یابد. محدودیت‌های رابطه‌های ۴۷ و ۴۸ روند مشابهی را برای استحکام‌بخشی ـ بازیابی ظرفیت ذخیره‌سازی مراکز ذخیره‌سازی اصلی و فرعی در دوره‌های زمانی پس از وقوع سناریوهای اختلال را مدنظر قرار می‌دهند. محدودیت‌های رابطه ۴۹، رابطه ۵۱ و رابطه ۵۳، بیانگر آن هستند که استحکام‌بخشی در صورتی قابل اجرا است که تسهیلات (یعنی خطوط لوله، مراکز ذخیره‌سازی اصلی و فرعی) احداث شده باشند. محدودیت‌های رابطه ۲۰، رابطه ۵۲ و رابطه ۵۴ بیشینه ظرفیت دردسترس تسهیلات (یعنی خطوط لوله، مراکز ذخیره‌سازی اصلی و فرعی) را کنترل می‌کنند و اجازه نمی‌دهند که ظرفیت‌های در دسترس از مقادیر اولیه‌شان بیشتر شوند. محدودیت‌های رابطه ۵۵)، رابطه ۵۷ و رابطه ۵۹ تضمین می‌کنند که برنامه‌های بازیابی ظرفیت‌های تخریب شده برای تسهیلات نصب‌شده قابل اجرا باشند. محدودیت‌های رابطه ۵۶، رابطه ۵۸ و رابطه ۶۰ نشان می‌دهند که بازیابی ظرفیت‌ها در دوره‌های زمانی مختلف پس از وقوع اختلال نهایتاً می‌تواند تا آخرین دوره زمانی افق برنامه‌ریزی منجر به بازیابی آن‌ها تا سطح مقادیر اولیه‌شان شود. شایان ذکر است که بازیابی سریع‌تر ظرفیت‌های ازدست‌رفته به‌دلیل تابع هدف تاب‌آوری یعنی رابطه ۱۳ در اولویت مدل است. در نهایت، محدودیت رابطه ۶۱ وظیفه کنترل بودجه در دسترس جهت تخصیص آن بین مستحکم‌سازی و بازیابی ظرفیت‌ها را بر عهده دارد.

محدودیت‌های طراحی تاب‌آوری

رابطه ۶۲) $$x_{pl}x_{p'l}d'''_{pp'}+M\left(1-x_{pl}x_{p'l}\right)\geq nds \qquad \forall p\in P;l\in L$$

رابطه ۶۳) $$\left[\sum_{i=1}^{I}\sum_{m=1}^{M}tib_{ipmts}+\sum_{r=1}^{R}tp_{rpts}+\sum_{r=1}^{R}\sum_{m=1}^{M}tr_{rpmts}\right]+\left[\sum_{c=1}^{C}\sum_{m=1}^{M}tc_{pcmts}\right]\leq ncr+M.z_p \qquad \forall p\in P;\ t\in T;s\in S$$

رابطه ۶۴) $$\left[\sum_{i=1}^{I}\sum_{m=1}^{M}tib_{ipmts}+\sum_{r=1}^{R}tp_{rpts}+\sum_{r=1}^{R}\sum_{m=1}^{M}tr_{rpmts}\right]+\left[\sum_{c=1}^{C}\sum_{m=1}^{M}tc_{pcmts}\right]+M.(1-z_p)\geq \widetilde{ncr} \qquad \forall p\in P;\ t\in T;s\in S$$

رابطه ۶۵) $$\sum_{p=1}^{P}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T}tc_{pcmts}\leq ncr+M.z'_c \qquad \forall c\in C;\ t\in T;s\in S$$

رابطه ۶۶) $$\sum_{p=1}^{P}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T}tc_{pcmts}+M.(1-z'_c)\geq ncr \qquad \forall c\in C\ t\in T;s\in S$$

$$\sum_{p=1}^{P} z_p \leq ncx \qquad \text{رابطه ۶۷)}$$

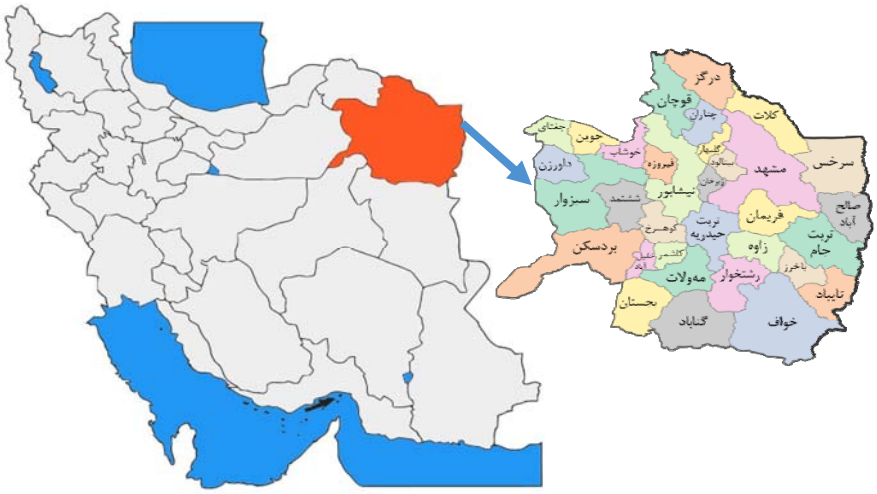
$$\sum_{l=1}^{L} br_{cl} \leq z'_c \qquad \forall c \in C \qquad \text{رابطه ۶۸)}$$

محدودیت رابطه ۶۲ چگالی شبکه را مدنظر قرار می‌دهد و کمینه فاصله بین هر دو مرکز ذخیره‌سازی اصلی در شبکه را کنترل می‌کند. همان طور که پیش‌تر بیان شد، آسیب‌پذیری شبکه در مقابل اختلال‌ها هنگامی که گره‌ها به‌صورت گسترده‌ای در یک منطقه پخش شده‌اند، کاهش می‌یابد. محدودیت‌های رابطه ۶۳ و رابطه ۶۴ مراکز ذخیره‌سازی اصلی بحرانی شبکه را تعیین می‌کنند، به طوری که اگر مجموع جریان ورودی‌ها و خروجی یک مرکز ذخیره‌سازی مقدار بیشتری از (ncr) شود، آنگاه گره مذکور بحرانی درنظر گرفته می‌شود. محدودیت‌های رابطه ۶۵ و رابطه ۶۶ از رویه مشابهی جهت تعیین مراکز ذخیره‌سازی فرعی بحرانی استفاده می‌کند. محدودیت رابطه ۶۷ پیچیدگی شبکه را از طریق محدودسازی تعداد مراکز ذخیره‌سازی اصلی بحرانی شبکه کنترل می‌کند و در نهایت محدودیت رابطه ۶۸ بیانگر این است که مرکز ذخیره‌سازی پشتیبان برای مراکز ذخیره‌سازی فرعی بحرانی قابل احداث است.

یافته‌های پژوهش

مطالعه موردی

در این مقاله شبکه زنجیره تأمین بنزین در استان خراسان رضوی (شکل ۶) به‌عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده است. منطقه شمال شرق ایران (سه استان خراسان شمالی، خراسان رضوی و خراسان جنوبی) تقریباً ۱۵ درصد مساحت کشور را شامل می‌شود و استان خراسان رضوی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین استان‌های کشور، از نظر اقتصادی و جغرافیایی دارای اهمیت زیادی می‌باشد. بر همین اساس شرکت ملی پخش فراورده‌های نفتی منطقه خراسان رضوی وظیفه خطیری در تأمین و توزیع بنزین مورد نیاز جمعیت گسترده این شهر، مسافران و زائرین بر عهده دارد. به طور کلی کشور ایران به‌دلیل موقعیت جغرافیایی و ساختمان زمین شناسی آن جزء ده کشور حادثه خیز دنیا به شمار می‌آید و این منطقه در طول تاریخ مخاطرات طبیعی گوناگونی را تجربه کرده و خسارت‌های فراوانی را متحمل شده است (هزاره و باخزری قزالحصار، ۲۰۱۸؛ جوانبخت و حسینی، ۲۰۱۹). بر اساس اطلاعات موجود در سازمان مدیریت بحران استان خراسان رضوی، انواع مخاطرات طبیعی این استان شامل مخاطرات زلزله، سیل، خشکسالی، بیابان‌زایی و جابجایی شن‌های روان می‌باشند، که در این پژوهش از بین موارد مذکور بر اساس نظر خبرگان دو مخاطره طبیعی زلزله و سیل به دلیل تکرار بیشتر و تأثیرات گسترده‌تر در مدل پیشنهادی در نظر گرفته می‌شود. همچنین همان‌طور که در بخش بیان مسئله مطرح شد، اختلال در تأمین بنزین شامل تخریب ظرفیت تولید برخی پالایشگاه‌ها و تحریم‌های بین المللی که مانع واردات بنزین می‌شود به‌عنوان سایر سناریوهای اختلال در نظر گرفته می‌شوند. از طرفی دیگر در همان بخش، اختلال افزایش ناگهانی تقاضای برخی نقاط مطرح شده است که در این مطالعه موردی لحاظ می‌شود. در ادامه ابتدا توضیحاتی پیرامون ثابت‌ها، پارامترها و سناریوهای اختلال در این مطالعه موردی ارائه شده است و پس از آن نتایج کسب شده به همراه تحلیل حساسیت پارامترهای مهم مدل ارائه خواهند شد.

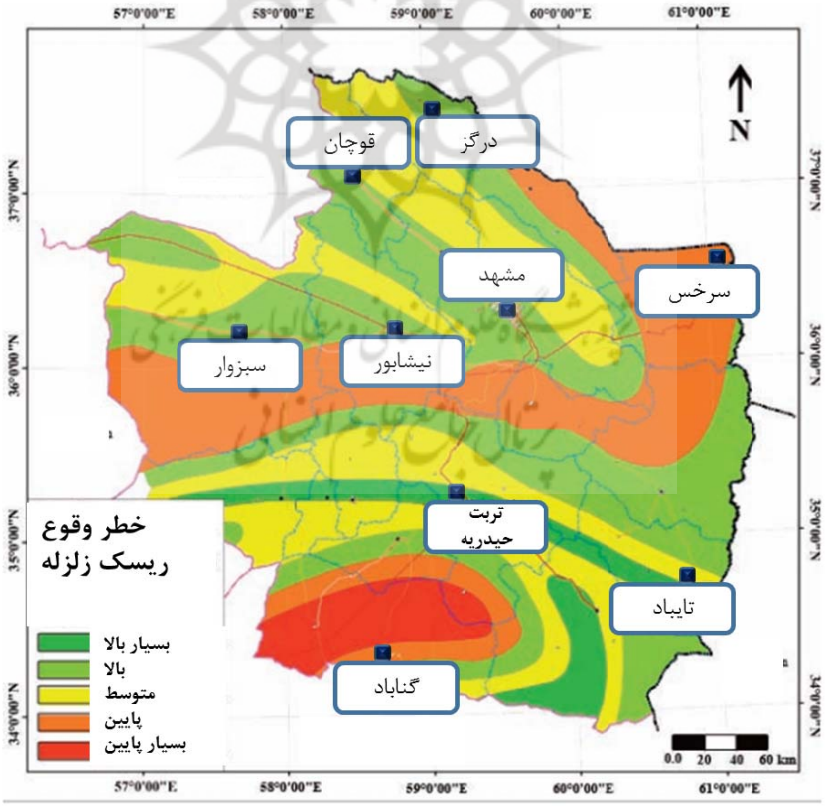


شکل ٦. منطقه مدنظر در مطالعه موردی (استان خراسان رضوی)

مقادیر ثابت، پارامترها و سناریوهای اختلال

با توجه به شبکه انتقال بنزین در کشور در حال حاضر یازده پالایشگاه آبادان، اصفهان، شازند، کرمانشاه تبریز، تهران، شیراز، لاوان، بندرعباس و ستاره خلیج فارس وظیفه تولید بنزین در کشور را به عهده دارند. همچنین در این پژوهش مبادی واردات بنزین شامل پایانه‌های نفتی شمال (نکا)، پایانه نفتی ماهشهر و پایانه‌های ریلی سرخس و رازی می‌باشند. در دو پایانه ریلی مذکور مُد حمل‌ونقل ریلی در دسترس بوده و در سایر مبادی مُد حمل‌ونقل جاده‌ای در دسترس می‌باشد. همچنین با توجه به شرایط جغرافیای و امکانات موجود در استان خراسان رضوی و بر اساس نظرات خبرگان، سه شهر مشهد، سبزوار و گناباد به‌عنوان مکان‌های نامزد جهت احداث مراکز ذخیره‌سازی اصلی و فرعی و چهار شهر تایباد، سرخس، درگز و نیشابور به‌عنوان مکان‌های نامزد جهت احداث مراکز ذخیره‌سازی فرعی مفروض می‌باشند. بر اساس آمار نامه مصرف فراورده‌های انرژی‌زا، یازده شهر مشهد، قوچان، نیشابور، درگز، تربت جام، تایباد، فریمان، سرخس بردسکن، تربت حیدریه، کاشمر، گناباد و خواف به‌عنوان نقاط تقاضا در نظر گرفته شده‌اند. سه مرکز استان مجاور، یعنی شهرهای بجنورد، بیرجند و سمنان به‌عنوان محل‌های انبارهای تدارکاتی پشتیبان بوده و افق زمانی سه ساله با دوره‌های سه ماهه یعنی مجموعه دوازده دوره زمانی در این مطالعه موردی به کار گرفته شده است. افق زمانی مذکور با توجه به ماهیت مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین، حداقل دوره‌های زمانی معقول برای بازیابی پس از اختلال و نظرات خبرگان تعیین شده است. خطوط لوله بنزین قابل احداث بین پالایشگاه‌ها و مراکز ذخیره‌سازی اصلی مشابه با پژوهش گلستانی، صدرزاده مقدم و عظیم‌زاده (۱۳۹۱) در سایزهای ۱۶، ۲۶ و ۳۶ اینچ فرض شده‌اند. همچنین برای مستحکم‌سازی تسهیلات و بازیابی ظرفیت‌های تخریب شده مطابق با پیشنهاد مقاله بهشتیان و همکاران (۲۰۱۷) سه سطح در نظر گرفته شده است. میزان انتشار گاز CO_2 به ازای ساخت هر کیلومتر خط لوله انتقال بنزین ۵۸۰۰۰ گرم فرض شده است (مک کوی، روبین، ۲۰۰۸). مقادیر سایر پارامترهای مهم مدل بر اساس موارد ذکر شده در آخرین نسخه از آمار نامه مصرف فراورده‌های انرژی‌زا، ترازنامه هیدروکربی کشور، ترازنامه انرژی کشور، آمار نامه سالانه کشور و همچنین نظرات

خبرگان لحاظ شده‌اند که با توجه به حجم بسیار زیاد داده‌ها ارائه تمامی مقادیر ممکن نمی‌باشد. با توجه به اختلال‌های معرفی شده در بخش قبل، شش دسته سناریو در مدل برنامه‌ریزی احتمالی سناریو محور این مطالعه موردی بررسی می‌شود. دسته یک از سناریوها مربوط به ریسک زلزله می‌باشد و با توجه به محل جغرافیای تسهیلات و ویژگی‌های زمین شناسی آن منطقه تعیین می‌شود. بر اساس پژوهش (اکبری، غفوری، مقدس و لشکری پور، ۲۰۱۱) ناحیه‌های مختلف استان خراسان رضوی از نظر میزان در معرض ریسک زلزله بودن شرایط شکل ۷ را دارد و در این شکل نقاط ذخیره‌سازی اصلی و فرعی نیز نشان داده شده است. با توجه به این شکل و محل‌های نقاط ذخیره‌سازی اصلی و فرعی، بر اساس نظرات خبرگان سناریوهای تخریب مراکز ذخیره‌سازی اصلی و فرعی در مشهد و تربت حیدریه در نظر گرفته می‌شود. در دسته دوم سناریوها، ریسک سیل مدنظر می‌باشد که با توجه به نقشه آسیب‌پذیری استان خراسان رضوی در مقابل این اختلال که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، بر اساس نظر خبرگان سناریوهای تخریب مراکز ذخیره‌سازی اصلی در سبزوار و مشهد مفروض می‌باشد. دسته سوم از سناریوهای اختلال به افزایش ناگهانی تقاضا در نقاط پرجمعیت استان اشاره دارد و با توجه نقاط تقاضای معرفی شده، بر اساس نظر خبرگان افزایش پنجاه درصدی تقاضا در شهرهای مشهد و نیشابور در دوره اول برنامه‌ریزی در نظر گرفته شده است. دسته چهارم از سناریوهای اختلال مربوط به ریسک سیاسی بوده و در این سناریو فرض شده است امکان واردات بنزین به کشور به دلیل فشار تحریم‌های سیاسی وجود ندارد.



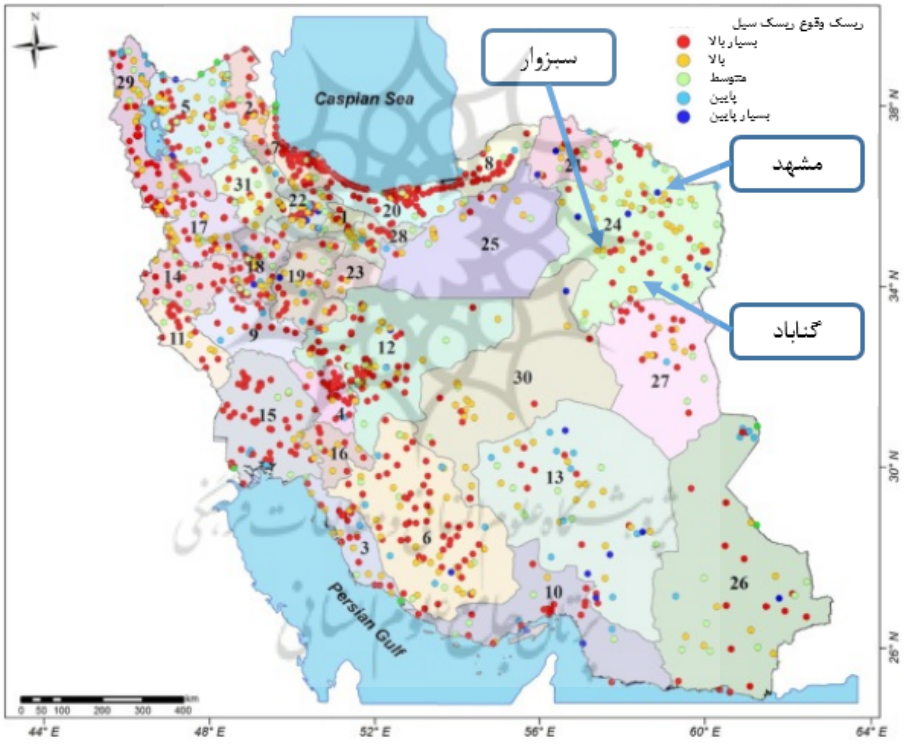
شکل ۷. وضعیت استان خراسان رضوی از نظر میزان ریسک زلزله و نقاط ذخیره‌سازی اصلی و فرعی

منبع: اکبری و همکاران (۲۰۱۱)

دسته پنجم از سناریوهای اختلال مربوط به تخریب ظرفیت تولید پالایشگاه‌های بنـزین کشـور مـی‌باشـد. ظرفیـت کنونی پالایشگاه‌های فعال کشور به طور تقریبی بر اساس آخرین نسخه از آمار نامـه مصـرف فـراورده‌هـای انـرژی‌زا در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به سهم عمده دو پالایشگاه ستار خلیج فارس و شازند در تولید بنـزین کشـور، بـر اساس نظر خبرگان تخریب ظرفیت تولید هر کدام از این پالایشگاه‌ها به‌عنوان سناریوهای اختلال در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۲. ظرفیت تولید بنزین پالایشگاه‌های کشور بر حسب میلیون لیتر در روز

پالایشگاه	ستاره خلیج فارس	شازند	بندرعباس	آبادان	اصفهان	تهران	تبریز	لاوان	شیراز	کرمانشاه
تولید روزانه	۲۱/۳	۱۴/۸	۱۱/۱	۱۰/۵	۹/۵	۶/۷	۳/۳	۲	۱/۴	۰/۶



شکل ۸. وضعیت استان خراسان رضوی از نظر میزان ریسک سیل و نقاط ذخیره‌سازی اصلی

منبع: خسروی و همکاران (۲۰۲۰)

دسته ششم از سناریوهای مدل پیشنهادی در این مطالعه موردی مربوط به وضعیت بدون اختلال می‌باشد. در نهایت سناریوهای در نظر گرفته شده و جزئیات آن‌ها بر اساس اطلاعات جمع آوری شده و نظرات خبرگـان در جـدول ۳ نشـان داده شده است.

جدول ۳. جزئیات سناریوهای در نظر گرفته شده در مطالعه موردی

دسته سناریو	شدت اثر	شماره سناریو	احتمال
زلزله	تخریب تسهیلات مشهد	S1	۰/۰۵
	تخریب تسهیلات تربت حیدریه	S2	۰/۰۵
سیل	تخریب تسهیلات مشهد	S3	۰/۰۵
	تخریب تسهیلات سبزوار	S4	۰/۰۵
افزایش تقاضا	افزایش تقاضا ۵۰درصدی در مشهد	S5	۰/۰۵
	افزایش تقاضا پنجاه درصدی در نیشابور	S6	۰/۰۵
تحریم	عدم امکان واردات	S7	۰/۱
تخریب پالایشگاه	پالایشگاه ستاره خلیج فارس	S8	۰/۰۵
	پالایشگاه شازند	S9	۰/۰۵
بدون اختلال	–	S10	۰/۰۵

نتایج حل مدل

مدل ریاضی پیشنهادی در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار گمز[1] و توسط کامپیوتری با مشخصات ۴ گیگ RAM و پردازنده Core i7 1.9 GHz حل شده است. مدل ریاضی پیشنهادی با مقادیر پارامترهای مربوط به روش استوارسازی یعنی پارامترهای η و λ برابر با ۰/۵ و اوزان توابع هدف در روش TH مطابق با جدول ۴ بر اساس نظرات خبرگان حل شده است و نتایج کسب شده برای طراحی شبکه زنجیره تأمین بنزین استان خراسان رضوی به‌صورت جدول ۵ است. مراکز ذخیره‌سازی اصلی احداث شده از سایز ۳ بوده و در مراکز ذخیره‌سازی فرعی نیز مراکز مشهد و گناباد از سایز ۳ و سایر مراکز از سایز ۲ می‌باشد. همچنین مراکز ذخیره‌سازی پشتیبان در مشهد از سایز ۲ و در سبزوار از سایز ۳ می‌باشد. انبارهای تدارکاتی پشتیبان در استان‌های همجوار در شهرهای بجنورد و سمنان وظیفه پشتیبانی از نیاز مراکز تقاضای استان را به عهده دارند. پالایشگاه‌های تأمین کننده و مبادی واردات نیز در جدول ۵ نشان داده شده‌اند. تمامی مُدهای حمل‌ونقل در شبکه مورد استفاده قرار گرفته و از بین آن‌ها خط لوله ۲۶ اینچی بین پالایشگاه اصفهان و مرکز ذخیره‌سازی اصلی گناباد و خط لوله ۳۶ اینچی بین پالایشگاه تهران و مرکز ذخیره‌سازی اصلی مشهد احداث شده است.

جدول ٤. مشخصات توابع هدف مطالعه موردی

شماره هدف	اجزای هدف	عنوان کلی هدف	وزن نسبی
۱	تجمیع توابع هدف طراحی و لجستیک	هزینه	۰/۴۵
۲	تجمیع توابع هدف پایداری و انتشار کربن دی اکسید	پایداری	۰/۱۵
۳	تابع هدف تاب‌آوری	تاب‌آوری	۰/۱
۴	تابع هدف کمبود	کمبود	۰/۳

1. GAMS

جدول ۵. نتایج حاصل از اجرای مدل در طراحی شبکه

متغیرهای طراحی شبکه	نتایج
مراکز ذخیره‌سازی اصلی	مشهد، گناباد
مراکز ذخیره‌سازی فرعی	مشهد، گناباد، سرخس، نیشابور و سبزوار
مراکز ذخیره‌سازی بحرانی	مشهد، سرخس و سبزوار
مراکز ذخیره‌سازی پشتیبان	مشهد و سبزوار
انبارهای تدارکاتی پشتیبان	بجنورد و سمنان
پالایشگاه‌های طرف قرارداد	اصفهان، کرمانشاه، تهران، ستاره خلیج فارس و آبادان
مبادی واردات	پایانه ریلی سرخس و پایانه نفتی شمال (نکا)
مُدهای حمل‌ونقل انتخابی	خط لوله، واگن‌های ریلی مخزن‌دار و نفتکش‌های جاده پیما

مقادیر متغیرهای جریان بین لایه‌های زنجیره موردنظر به دلیل تعدد بالای آن‌ها به‌صورت محدود گزارش می‌شود. در سناریو S10 مقادیر متغیرهای جریان بین لایه مراکز ذخیره‌سازی اصلی و فرعی در دوره اول مطابق جدول ۶ است. همچنین تأمین کنندگان نقاط تقاضا تحت سناریو بدون اختلال به‌صورت جدول ۷ به‌دست آمده است. یکی از ویژگی‌های جواب‌های حاصل از این مدل، توسعه متناسب شبکه با توجه به میزان توسعه یافتگی مناطق مختلف استان بوده و همان‌گونه که مشاهده می‌شود، توسعه تسهیلات در شهرهای گناباد، سرخس و نیشابور و احداث خط لوله در منطقه جنوب استان خراسان رضوی از دستاوردهای این پژوهش در حوزه توسعه پایدار شبکه می‌باشد.

جدول ٦. مقادیر انتقال بنزین بین مراکز ذخیره‌سازی اصلی و فرعی (اعداد برحسب هزار لیتر)

مرکز ذخیره‌سازی اصلی / مرکز ذخیره‌سازی فرعی	مشهد	گناباد	سرخس	نیشابور	سبزوار
مشهد	۲۸۲۴۷۵	۳۶۵۴	۵۰۲۹	۳۶۴۹۵	۳۶۶۵۸
گناباد	۱۲۱۰۶۰	۸۵۲۸	۵۵۸	۴۰۵۴	۴۰۷۳

از ویژگی‌های مهم رویکرد پیشنهادی در این پژوهش بهینه‌سازی تاب‌آوری شبکه در مقابل اختلالات می‌باشد که در این راستا مستحکم‌سازی تسهیلات پیش از اختلال، بازیابی ظرفیت‌ها پس از اختلال و توجه به طراحی کیفیت شبکه از مهم‌ترین موارد بوده است. از نتایج پیاده‌سازی پیرامون این موضوع می‌توان به مستحکم‌سازی مرکز ذخیره‌سازی اصلی در مشهد در سطح ۱ بوده که منجر به مقاومت آن تسهیل در مقابل ریسک اختلال سیل بوده است و این موضوع منجر به در دسترس بودن این ظرفیت در سناریو S3 شده است. همچنین مراکز ذخیره‌سازی فرعی مشهد، سرخس و سبزوار به دلیل حجم بالای جریان در آن‌ها به‌عنوان گره‌های بحرانی شناسایی شده‌اند و در شهرهای مشهد و سبزوار مرکز ذخیره‌سازی پشتیبان احداث شده است. ظرفیت این تسهیلات پشتیبان در دسته سناریوهای سیل، افزایش تقاضا و تحریم مورد استفاده قرار گرفته‌اند که جزئیات نحوه استفاده از آن‌ها در پاسخ‌گویی به تقاضای شهرهای مختلف در جدول ۸ جدول مشاهده می‌شود.

جدول ۷. تأمین کنندگان نقاط تقاضا تحت سناریو بدون اختلال

نقاط تقاضا	مراکز ذخیره‌سازی فرعی				
	مشهد	گناباد	سرخس	نیشابور	سبزوار
مشهد	✓				✓
قوچان	✓			✓	
نیشابور	✓	✓		✓	✓
درگز	✓		✓	✓	
تربت جام	✓		✓		
تیباد	✓	✓			
فریمان	✓				
سرخس	✓		√		
سبزوار	✓			✓	✓
بردسکن		✓		✓	
تربت حیدریه		✓			✓
کاشمر		✓		✓	✓
گناباد		✓		✓	
خواف	✓	✓	✓		

به بیان دیگر در جدول ۸ نشان داده شده است که نقاط تقاضا در هر کدام از سناریوهای اختلال از کدام مراکز ذخیره‌سازی پشتیبان تقاضای خود را تأمین می‌کنند. همچنین بازیابی ظرفیت‌های تخریب شده از دیگر رویکردهای ایجاد تاب‌آوری در شبکه بوده است که در این مطالعه موردی برای نمونه نحوه بازیابی ظرفیت مرکز ذخیره‌سازی فرعی سبزوار در طی زمان در شکل نشان داده شده است.

جدول ۸. تخصیص نقاط تقاضا به مراکز ذخیره‌سازی پشتیبان

نقاط تقاضا	مراکز ذخیر سازی پشتیبان	
	مشهد	سبزوار
مشهد	S3	S3,S4
قوچان	S3,S4	S6
نیشابور	S3,S4	S3,S4,S5
درگز	S4	S3,S4
تربت جام	S5,S7	S3,S5
تایباد	S3,S5	S4
فریمان	S6,S7	S4
سرخس	S7	S5,S7
سبزوار	S3,S4	S7
بردسکن	S5	S3,S5
تربت حیدریه	S6,S7	S5
کاشمر	S4,S5	S7
گناباد	S6	S5,S7
خواف	S4,S5	S6

از سویی دیگر به‌منظور بررسی تأثیر هزینه‌های ایجاد تاب‌آوری در شبکه، مقادیر کمبود و هزینه‌ها با حل مدل پیشنهادی در دو حالت وجود و عدم وجود رویکردهای تاب‌آوری بررسی شده است و نتایج آن در شکل به نمایش گذاشته است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود با کمی افزایش هزینه‌های اولیه، مقادیر کمبود ایجاد شده در طی افق برنامه‌ریزی کاهش چشمگیری پیدا می‌کند. در جدول ۹ نتایج حاصل از توسعه شبکه با توجه به نرخ بیکاری نوحی محل احداث مراکز ذخیره‌سازی اصلی و فرعی نشان داده شده است و این نتایج نشان دهنده اهمیت شاخص نرخ بیکاری در بُعد اجتماعی تابع هدف پایداری در مدل ریاضی پیشنهادی می‌باشد.

جدول ۹. نتایج حاصل از حل مدل در بُعد پایداری (میزان نرخ بیکاری در محل ایجاد تسهیلات)

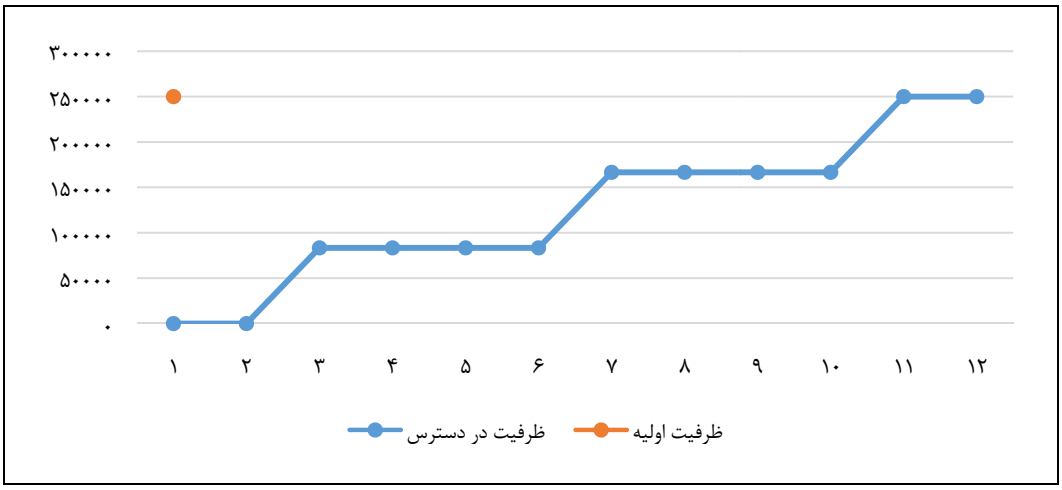
نقاط احداث مراکز ذخیره‌سازی اصلی/فرعی	نرخ بیکاری*	مرکز ذخیره‌سازی اصلی	مرکز ذخیره‌سازی اصلی
مشهد	۱۱/۴۵	✓	✓
نیشابور	۱۱/۴۵		✓
درگز	۸/۹۵		
تایباد	۱۵/۹		
سرخس	۱۵/۹		✓
سبزوار	۱۱/۴۵		✓
گناباد	۵/۵۵	✓	✓

* بر اساس داده‌های موجود در سالنامه آماری کشور در ۱۳۹۹ (اعداد به درصد و به‌صورت تقریبی می‌باشند).

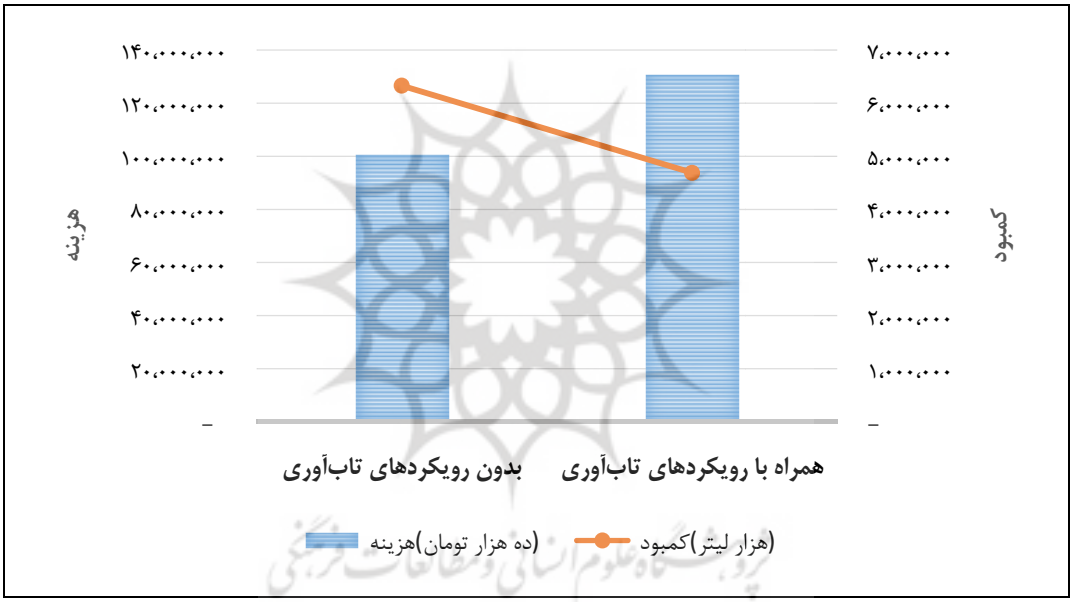
جدول ۱۰. نتایج حاصل از حل مدل در بُعد پایداری (میزان انتشار گاز کربن دی‌اکسید)

منبع تولید گاز کربن دی‌اکسید	مقدار
احداث خطوط لوله	۱۰۱.۳۲۶ (تن)
انتقال بنزین به وسیله مُد حمل‌ونقل واگن ریلی مخزن‌دار	۱۶.۶۸۶ (تن در سال)
انتقال بنزین به وسیله مُد حمل‌ونقل نفتکش جاده پیما	۱.۱۷۷.۶۷۰ (تن در سال)

از ویژگی‌های مهم روش حل برنامه چند هدفه TH قابلیت تنظیم پارامتری جهت ارتقای حداقل درجه ارضای اهداف علاوه بر وزن نسبی هر هدف می‌باشد. در این پژوهش به‌منظور توسعه پاسخ‌های ارائه شده به تصمیم‌گیران مدل ریاضی ارائه شده برای مقادیر مختلف از پارامتر مذکور (γ) حل شده است و درجه ارضای اهداف در هر حالت ارائه شده است. همان گونه که در جدول ۱۱ مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار درجه ارضای اهداف به هم نزدیک‌تر شده است، هرچند به دلیل وزن نسبی بالاتر هدف هزینه، درجه ارضای آن همچنان نسبت به بقیه اهداف بالاتر باقی مانده است.



شکل ۹. بازیابی ظرفیت مرکز ذخیره‌سازی فرعی سبزوار در طی زمان

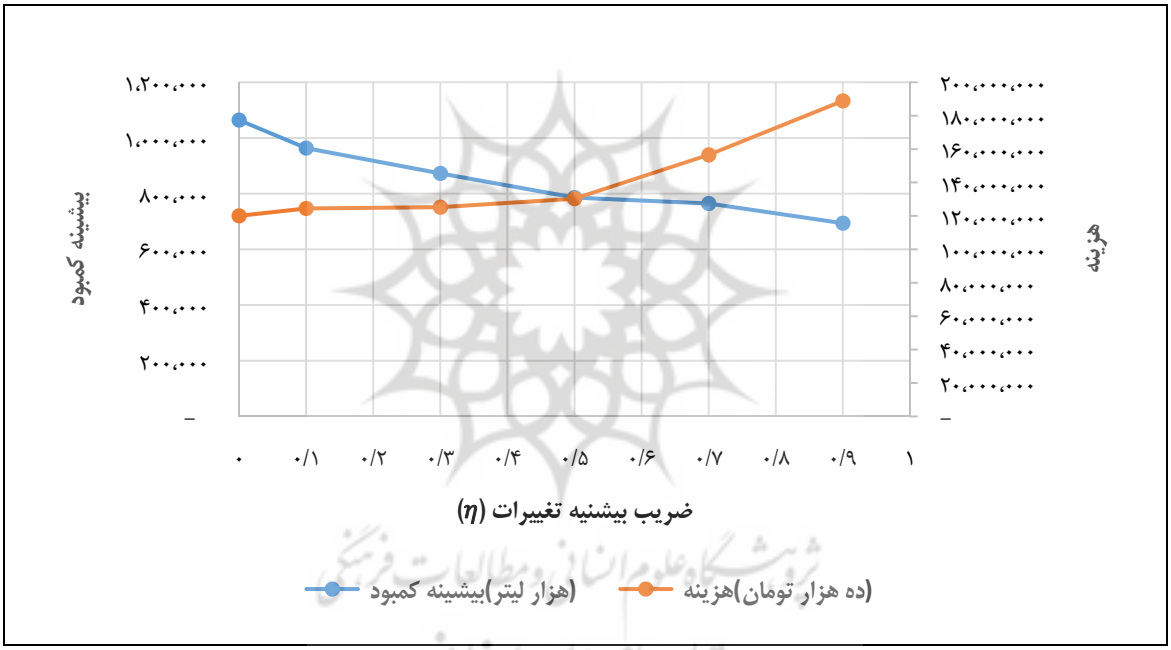


شکل ۱۰. بررسی اثر هزینه‌های ایجاد تاب‌آوری بر روی میزان کمبود

جدول ۱۱. تحلیل حساسیت پارامتر γ در روش TH

γ	درجه ارضای اهداف				
	هزینه	پایداری	تاب‌آوری	کمبود	کل
۰	۰/۹۸۷	۰/۴۴۲	۰/۴۳۶	۰/۸۳۹	۰/۸۵۸
۰/۱	۰/۹۲۱	۰/۴۶۵	۰/۴۵۳	۰/۷۹۲	۰/۸۴۹
۰/۳	۰/۸۸۱	۰/۴۹۱	۰/۴۸۲	۰/۷۵۵	۰/۸۴۲
۰/۵	۰/۸۳۵	۰/۵۱۵	۰/۵۰۵	۰/۷۱۶	۰/۸۳۴
۰/۷	۰/۷۹۳	۰/۵۴۶	۰/۵۳۴	۰/۶۸۲	۰/۸۲۵
۰/۹	۰/۷۵۴	۰/۵۷۳	۰/۵۶۲	۰/۶۴۸	۰/۸۱۶

روش بهینه‌سازی استوار آغزاف که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است، امکان ایجاد جواب‌های استوار در مقابل بیشینه تغییرات و متوسط تغییرات در سناریوهای مخلف در هر یک از توابع هدف را فراهم می‌آورد کـه توضـیحات آن در بخش روش‌شناسی پژوهش تشریح گردید. در این بخش به دلیل اهمیت بالای هدف کمبود برای تصمیم‌گیران در حوزه تأمین بنزین به‌عنوان یک محصول بسیار حیاتی، تحلیل حساسیت روی ضریب بیشترین تغییرات (η) در تابع هـدف کمبود مطابق شکل ۱۱ ارائه شده است. همان گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، مقدار بیشینه کمبود در سناریوهای اختلال با افزایش این ضریب کاهش یافته است. همچنین در این شکل مقدار تابع هدف هزینه نیز به ازای مقادیر کمبود ایجاد شده نمایش داده شده است. به عبارتی این تحلیل به تصمیم‌گیران کمک می‌کند موازنه مناسبی بین کـل هزینـه و بیشینه کمبود ممکن در سناریوهای مختلف مشاهده نموده و بر اساس میزان ریسک‌پذیری/گریـزی خـود، مناسـب‌تـرین تصمیم را اتخاذ نمایند.



شکل ۱۱. بررسی اثر تغییرات ضریب بیشینه تغییرات روش استوارسازی بر مقادیر بیشینه کمبود و کل هزینه

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله به‌منظور طراحی شبکه زنجیره تأمین بنزین، یک مدل ریاضی چند هدفه، دو مرحلـه‌ای احتمـالی مبتنـی بـر سناریو جدید با در نظر گرفتن هم‌زمان رویکردهای پایداری و تاب‌آوری ارائه شده است. مدل ریاضی ارائه شده بـه‌منظـور بهبود تصمیمات از منظر شرکت ملی پالایش و پخش فراورده‌های نفتی توسعه یافته است. این شرکت از یک سو با یـک مسئله انتخاب تأمین‌کننده (پالایشگاه‌ها و پایانه‌های واردات فراورده‌های نفتی) و تخصیص مقدار سفارش بـه آن‌هـا، و از سویی دیگر، با مسئله برنامه‌ریزی انتقال، ذخیره‌سازی و توزیع بنزین در کشور مواجه است. از مهم‌ترین تصمیمات در این مدل، انتخاب پالایشگاه‌ها برای تأمین بنزین، تعیین مبادی واردات بنزین و مقادیر واردات از هر کدام، تعیین مناسب‌تـرین مکان‌ها برای احداث مراکز ذخیره‌سازی اصلی و فرعی، تعیین مقادیر حمل بین لایه‌های زنجیره و نوع مُدهای حمل‌ونقل

بین گره‌ها می‌باشد. در حالی که پژوهش‌های گذشته به طور جامع به تمامی ابعاد پایداری در مدل‌های طراحی زنجیره تأمین نپرداخته‌اند، مدل ریاضی توسعه یافته در این تحقیق از سه جهت بر موضوع پایداری تمرکز می‌کند، هزینه ایجاد شبکه، اثرات زیست‌محیطی ناشی از انتشار گاز CO_2 وسایل نقلیه و اثرات زیست‌محیطی تولید بنزین در پالایشگاه‌ها و اثرات اجتماعی توسعه شبکه بر بهبود فرصت‌های شغلی و ارتقای شرایط اقتصادی مناطق محلی. همچنین مقالات پیشین مفاهیم پایداری را در کنار رویکردهای تاب‌آوری به‌صورت یکپارچه درنظر نگرفته‌اند، در صورتی که در این مقاله توسعه رویکردهای تاب‌آوری به‌منظور مقابله با اختلالات عرضه به دلیل تخریب ظرفیت تولید پالایشگاه‌ها، کاهش واردات بنزین تحت تأثیر فشارهای سیاسی تخریب مراکز ذخیره‌سازی اصلی و فرعی و افزایش ناگهانی تقاضای برخی از نقاط تقاضا در مدل ریاضی در نظر گرفته شده است. این مقاله از ابعاد مختلف تاب‌آوری یعنی کیفیت طراحی، قابلیت‌های پیشگیرانه و قابلیت‌های واکنشی در مدل ریاضی بهره می‌برد و از مهم‌ترین نوآوری‌های آن، کمی‌سازی این رویکردها در قالب تابع هدف و محدودیت‌هایی می‌باشد. در فاز پیش از اختلال، استحکام‌بخشی تسهیلات و پیش‌بینی ظرفیت‌های پشتبان پیشنهاد شده است، و در فاز پس از اختلال برنامه‌ریزی بازیابی ظرفیت‌های از دست رفته و تطبیق با شرایط اختلال در این پژوهش به‌کار گرفته شده است. این رویکرد یکپارچه پیشگیرانه و واکنشی در مقابل اختلالات همراه با تابع هدف تاب‌آوری در مدل ریاضی، یکی از مهم‌ترین نوآوری این پژوهش محسوب می‌شود. به‌منظور حل مدل ریاضی احتمالی سناریو محور از روش بهینه‌سازی استوار آغزاف و برای یافتن جواب‌های کارای مدل چند هدفه از رویکرد TH استفاده شده است. مدل ریاضی توسعه یافته و روش حل پیشنهادی در قالب یک مطالعه موردی در مورد شبکه زنجیره تأمین بنزین استان خراسان رضوی به‌کار گرفته شده و نتایج آن شامل طراحی شبکه شامل مراکز ذخیره‌سازی اصلی، فرعی و پشتیبان، مقادیر حمل بنزین بین پالایشگاه‌ها و مبادی واردات، مقادیر جریان‌های پشتیبان و نحوه استحکام‌بخشی و بازیابی ظرفیت تسهیلات به‌دست آمده است. از مهم‌ترین بینش‌های مدیریتی که نتایج این پژوهش به همراه دارد، ارائه یک رویکرد متعادل و بهینه به‌منظور تخصیص بودجه (رابطه ۶۱) مقابله با اختلالات بین مراحل پیش و پس از اختلال می‌باشد. همچنین از دیگر بینش‌های مدیریتی می‌توان به امکان بررسی مقایسه اثربخشی جریان‌های پیتشبان از طریق انبارهای تدارکاتی پشتیبان و رویکردهای پیشگیرانه و واکنشی در مقابل اختلالات اشاره نمود.

با توجه به محدودیت‌های این پژوهش به ویژه مواردی که در فرضیات مدل‌سازی مطرح شده است، می‌توان به توسعه این تحقیق پرداخت. یکی از مهم‌ترین موارد، درنظر گرفتن ظرفیت حمل‌ونقل برای لایه پشتیبان توزیع و توجه به قابلیت اطمینان آن در مدل ریاضی می‌باشد. ایجاد امکان بیمه کردن تجهیزات پیش از وقوع اختلالات به‌عنوان رویکردی پیش‌گیرانه برای تقویت شبکه زنجیره تأمین در مقابل اختلالات نیز تاکنون کمتر مورد توجه بوده است. همچنین توسعه ظرفیت ارسال جانبی[1] کالاها در یک سطح زنجیره به‌عنوان راه‌کاری واکنشی در هنگام مواجه با اختلالات و پیکربندی مجدد شبکه یکی دیگر از مسیرهای توسعه این پژوهش می‌باشد. اضافه کردن تصمیمات در حوزه برنامه‌ریزی تولید پالایشگاه‌ها به این پژوهش و توسعه یک مدل ریاضی به‌منظور برنامه‌ریزی تولید و توزیع یکپارچه در زنجیره تأمین بنزین یکی از راه‌کارهای توسعه این مقاله می‌باشد. همچنین، در این پژوهش یک مدل ریاضی احتمالی دو

1. Lateral transshipment

مرحله‌ای توسعه یافته است که این مدل به‌منظور در نظر گرفتن دوره‌های زمانی بیشتر پس از اختلال و ایجاد انعطاف‌پذیری بالاتر در برنامه‌ریزی واکنشی در مقابله با اختلالات، قابلیت توسعه به‌صورت یک مدل ریاضی احتمالی چند مرحله‌ای[1] دارد. افزودن مسئله قیمت‌گذاری محصول در زنجیره تأمین بنزین به مدل توسعه یافته در این پژوهش همراه با درنظر گرفتن اختلالات ممکن با تغییرات قیمت بنزین یکی دیگر از مسیرهای مناسب جهت توسعه این پژوهش می‌باشد. در سال‌های اخیر شرکت‌های توزیع بنزین سیار در برخی شهرهای کشور و سایر نقاط جهان به‌وجود آمده‌اند و استفاده از این ظرفیت به‌منظور پاسخ‌گویی به تقاضا، خصوصاً در شرایط بروز اختلالاتی همچون زلزله و سیل یکی از راه‌کارهای افزایش تاب‌آوری شبکه توزیع بنزین می‌باشد. در نظر گرفتن این ظرفیت، مکان‌یابی پمپ بنزین‌های سیار، برنامه‌ریزی حرکت و نحوه تخصیص تقاضا به آن‌ها و ترکیب این مسئله با مسئله این پژوهش یکی از مسیرهای تقویت این تحقیق می‌باشد. روش حل پیشنهادی این پژوهش نیز از دیدگاه‌های مختلف قابلیت توسعه دارد، توسعه روش‌های حل فراابتکاری برای حل مدل در ابعاد بزرگ‌تر، ترکیب روش‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی به‌منظور در نظر گرفتن مجموعه سناریوهای اختلال به‌صورت گسترده‌تر، توسعه روش‌های جدید و منطقی به‌منظور کاهش تعداد سناریوهای اختلال در زنجیره تأمین، استفاده از سایر روش‌های حل چند هدفه و روش‌های بهینه‌سازی استوار به‌منظور حل مدل پیشنهادی و یافتن جواب‌های استوار از مهم‌ترین موارد توسعه روش حل این پژوهش می‌باشد. همچنین در نظر گرفتن ریسک‌های عملیاتی در مدل طراحی شبکه زنجیره تأمین در قالب پارامترهای غیر دقیق به‌صورت اعداد فازی و توسعه یک مدل ریاضی فازی ـ احتمالی سناریو محور یکی دیگر از رویکردهای پیشنهادی به‌منظور تقویت این پژوهش است.

پیوست

در این ضمیمه (جدول ۱۲) به معرفی علائم استفاده شده در مدل‌سازی ریاضی پرداخته می‌شود.

جدول ۱۲. معرفی علائم استفاده شده در مدل ریاضی

مجموعه‌ها	
$r \in R$	پالایشگاه‌ها
$i \in I$	مبادی واردات
$p, p' \in P$	مراکز ذخیره‌سازی اصلی
$l \in L$	سطوح ظرفیت ذخیره‌سازی
τ_{rp}	مسیرهای بین پالایشگاه r و مرکز ذخیره‌سازی p
$n \in N$	سایزهای خطوط لوله
$c \in C$	مراکز ذخیره‌سازی فرعی
$b \in B$	انبارهای تدارکاتی پیشتیبان
$d \in D$	نقاط تقاضا

1. Multi-stage stochastic

مجموعه‌ها	
$m \in M$	مُدهای حمل‌ونقل
$t, t' \in T$	دوره‌های زمانی
$f \in F$	سطوح تقویت استحکام‌بخشی
$v \in V$	سطوح بازیابی
$s \in S$	سناریوهای اختلال
متغیرهای تصمیم صفر و یک	
y_r	۱ در صورتی که پالایشگاه r ام انتخاب شود؛ صفر در غیر این صورت.
yi_i	۱ در صورتی که مبدأ واردات i ام انتخاب شود؛ صفر در غیر این صورت.
$y'_{rp\tau_{rp}n}$	۱ در صورتی که بین پالایشگاه r ام و مرکز ذخیره‌سازی اصلی p ام خط لوله در مسیر τ احداث شود؛ صفر در غیر این صورت.
y''_{rpm}	۱ در صورتی که بین پالایشگاه r ام و مرکز ذخیره‌سازی اصلی p ام مُد حمل‌ونقل m انتخاب شود؛ صفر در غیر این صورت.
yi'_{ipm}	۱ در صورتی که بین مبدأ واردات i ام و مرکز ذخیره‌سازی اصلی p ام مُد حمل‌ونقل m انتخاب شود؛ صفر در غیر این صورت.
y'''_{pcm}	۱ در صورتی که بین مرکز ذخیره‌سازی اصلی p ام و مرکز ذخیره‌سازی فرعی c ام مُد حمل‌ونقل m انتخاب شود؛ صفر در غیر این صورت.
x_{pl}	۱ در صورتی که در محل p ام مرکز ذخیره‌سازی اصلی احداث شود؛ صفر در غیر این صورت.
x'_{cl}	۱ در صورتی که در محل c ام مرکز ذخیره‌سازی فرعی احداث شود؛ صفر در غیر این صورت.
fl_{rpf}	۱ در صورتی که خط لوله بین پالایشگاه r ام و مرکز ذخیره‌سازی اصلی p ام در سطح f مستحکم شود؛ صفر در غیر این صورت.
fp_{pf}	۱ در صورتی که مرکز ذخیره‌سازی اصلی p ام در سطح f مستحکم شود؛ صفر در غیر این صورت.
fc_{cf}	۱ در صورتی که مرکز ذخیره‌سازی فرعی c ام در سطح f مستحکم شود؛ صفر در غیر این صورت.
rl_{rpvts}	۱ در صورتی که خط لوله بین پالایشگاه r ام و مرکز ذخیره‌سازی اصلی p ام در سطح v در دوره t تحت سناریو s بازیابی شود؛ صفر در غیر این صورت.
rp_{pvts}	۱ در صورتی که مرکز ذخیره‌سازی اصلی p ام در سطح v در دوره t تحت سناریو s بازیابی شود؛ صفر در غیر این صورت.
rc_{cvts}	۱ در صورتی که مرکز ذخیره‌سازی فرعی c ام در سطح v در دوره t تحت سناریو s بازیابی شود؛ صفر در غیر این صورت.
bl_{bcm}	۱ در صورتی که بین انبار تدارکاتی پشتیبان b و مرکز ذخیره‌سازی فرعی c ام با مُد حمل‌ونقل m جریان پشتیبان برقرار شود؛ صفر در غیر این صورت.
br_{cl}	۱ در صورتی که در محل c ام مرکز ذخیره‌سازی پشتیبان احداث شود؛ صفر در غیر این صورت.
z_p	۱ در صورتی که مرکز ذخیره‌سازی p بحرانی باشد؛ صفر در غیر این صورت.
z'_c	۱ در صورتی که مرکز ذخیره‌سازی فرعی c ام بحرانی باشد؛ صفر در غیر این صورت.

متغیرهای تصمیم پیوسته	
tp_{rpts}	میزان جریان بنزین در خط لوله بین پالایشگاه r ام و مرکز ذخیره‌سازی اصلی p ام در دوره t تحت سناریو s.
tr_{rpmts}	میزان جریان بنزین بین پالایشگاه r ام و مرکز ذخیره‌سازی اصلی pام با مُد حمل‌ونقل m در دوره t تحت سناریو s.
tib_{ipmts}	میزان جریان بنزین بین مبدأ واردات i ام و مرکز ذخیره‌سازی اصلی pام با مُد حمل‌ونقل m در دوره t تحت سناریو s.
tc_{pcmts}	میزان جریان بنزین بین مرکز ذخیره‌سازی اصلی pام و مرکز ذخیره‌سازی فرعی c ام با مُد حمل‌ونقل m در دوره t تحت سناریو s.
tps_{bcmts}	میزان جریان بنزین بین انبار تدارکاتی پشتیبان b ام و مرکز ذخیره‌سازی پشتیبان c ام با مُد حمل‌ونقل m در دوره t تحت سناریو s.
ad_{dcts}	میزان تقاضا نقطه d ام که توسط مرکز ذخیره‌سازی فرعی c ام در دوره t تحت سناریو s تأمین می‌شود.
ac_{rpts}	میزان ظرفیت خط لوله در دسترس برای انتقال بنزین بین پالایشگاه r و مرکز ذخیره‌سازی اصلی p در دوره t تحت سناریو s.
ac'_{pts}	میزان ظرفیت ذخیره‌سازی در دسترس در مرکز ذخیره‌سازی اصلی p ام در دوره t تحت سناریو s.
ac''_{cts}	میزان ظرفیت ذخیره‌سازی در دسترس در مرکز ذخیره‌سازی فرعی c ام در دوره t تحت سناریو s.
b_{cts}	میزان کمبود در مرکز ذخیره‌سازی فرعی c ام در دوره t تحت سناریو s.
پارامترها/مقادیر ثابت	
cr_r	هزینه ثابت احداث پالایشگاه r
ci_i	هزینه ثابت واردات بنزین از مبدأ واردات i
cd_{pl}	هزینه ثابت احداث مرکز ذخیره‌سازی اصلی در محل p ام با اندازه l
$cp_{rp\tau_{rp}n}$	هزینه ثابت احداث خط لوله بین پالایشگاه r ام و مرکز ذخیره‌سازی اصلی p ام در مسیر τ با سایز n
cc_{cl}	هزینه ثابت احداث مرکز ذخیره‌سازی فرعی در محل c ام با اندازه l
ctp_{rpm}	هزینه ثابت عقد قرارداد با یک $3PL$ برای انتقال بنزین بین پالایشگاه r و مرکز ذخیره‌سازی اصلی p با مُد حمل‌ونقل m
cti_{ipm}	هزینه ثابت عقد قرارداد با یک $3PL$ برای انتقال بنزین بین مبدأ واردات i و مرکز ذخیره‌سازی اصلی p با مُد حمل‌ونقل m
ctc_{pcm}	هزینه ثابت عقد قرارداد با یک $3PL$ برای انتقال بنزین بین مرکز ذخیره‌سازی اصلی p و مرکز ذخیره‌سازی فرعی c با مُد حمل‌ونقل m
cbl_{bcm}	هزینه ثابت عقد قرارداد با یک $3PL$ برای انتقال بنزین بین انبار تدارکاتی پشتیبان b و مرکز ذخیره‌سازی فرعی c ام با مُد حمل‌ونقل m
cbr_{cl}	هزینه ثابت احداث مرکز ذخیره‌سازی پشتیبان در محل c ام با اندازه l
sco	میزان گرم کربن‌دی‌اکسید تولیده شده به ازای ساخت یک کیلومتر خط لوله
co_m	میزان گرم کربن‌دی‌اکسید تولیده شده به ازای حرکت یک کیلومتر مُد حمل‌ونقل m
d_{rp}	فاصله بین پالایشگاه r ام و مرکز ذخیره‌سازی اصلی p ام
d'_{pc}	فاصله بین مرکز ذخیره‌سازی اصلی p ام و مرکز ذخیره‌سازی فرعی c ام

پارامترها/مقادیر ثابت	
$d'''_{pp'}$	فاصله بین مرکز ذخیره‌سازی اصلی p ام و مرکز ذخیره‌سازی اصلی p' ام
d''''_{ip}	فاصله بین مبدأ واردات i ام و مرکز ذخیره‌سازی اصلی p ام
g_r	نمره سبز بودن پالایشگاه r ام
ue_p	نرخ بیکاری در محل مرکز ذخیره‌سازی اصلی p ام
ue'_c	نرخ بیکاری در محل مرکز ذخیره‌سازی فرعی c ام
$rd_{\tau_{rp}}$	شاخص توسعه اقتصادی محلی در مسیر τ بین پالایشگاه r و مرکز ذخیره‌سازی اصلیp
sp_n	هزینه انتقال هزار لیتر بنزین به اندازه یک کیلومتر توسط خط لوله با سایز n
sr_m	هزینه انتقال هزار لیتر بنزین به اندازه یک کیلومتر توسط مُد حمل‌ونقل m
nds	پارامتر چگالی شبکه به‌منظور رعایت حداقل فاصله بین هر دو مرکز ذخیره‌سازی اصلی
ncr	پارامتر بحرانی بودن شبکه (اگر مجموعه جریان عبوری از یک گره بیش از ncr باشد، آن گره بحرانی می‌باشد).
ncx	شاخص پیچیدگی شبکه (حداکثر تعداد گره‌های بحرانی شبکه را کنترل می‌نماید).
$capr_{rts}$	ظرفیت تولید در الایشگاه r در دوره t تحت سناریو s
cap_n	ظرفیت انتقال بنزین خط لوله با سایز n در هر دوره زمانی
cap'_l	ظرفیت ذخیره‌سازی یک مرکز ذخیره‌سازی اصلی با سایز l
cap''_l	ظرفیت ذخیره‌سازی یک مرکز ذخیره‌سازی فرعی با سایز l
$capb_b$	ظرفیت ارسال بنزین انبار تدارکاتی پشتیبان b
de_{dts}	میزان تقاضا در نقطه تقاضا d در دوره t تحت سناریو s
θ_{rps}	درصد تخریب ظرفیت انتقال خط لوله بین پالایشگاه r ام و مرکز ذخیره‌سازی اصلی p ام بالافاصله پس از وقوع سناریو اختلال s
θ'_{ps}	درصد تخریب ظرفیت مرکز ذخیره‌سازی اصلیp ام بالافاصله پس از وقوع سناریو اختلال s
θ''_{cs}	درصد تخریب ظرفیت مرکز ذخیره‌سازی اصلی c ام بالافاصله پس از وقوع سناریو اختلال s
α_{fs}	درصد تعدیل کننده بسته تقویت استحکام‌بخشی fبر روی اختلال s در خطوط لوله
β_{fs}	درصد تعدیل کننده بسته تقویت استحکام‌بخشی fبر روی اختلال s مراکز ذخیره‌سازی اصلی
γ_{fs}	درصد تعدیل کننده بسته تقویت استحکام‌بخشی fبر روی اختلال s مراکز ذخیره‌سازی فرعی
fcp_f	هزینه استفاده از بسته تقویت استحکام‌بخشی fدر خطوط لوله
$fcdp_f$	هزینه استفاده از بسته تقویت استحکام‌بخشی fدر خطوط مراکز ذخیره‌سازی اصلی
$fcdc_f$	هزینه استفاده از بسته تقویت استحکام‌بخشی fدر خطوط مراکز ذخیره‌سازی فرعی
α'_{vs}	درصد بازیابی ظرفیت انتقال خط لوله در سطح v سناریو اختلال s
β'_{vs}	درصد بازیابی ظرفیت ذخیره‌سازی مرکز ذخیره‌سازی اصلی در سطح v سناریو اختلال s
γ'_{vs}	درصد بازیابی ظرفیت ذخیره‌سازی مرکز ذخیره‌سازی فرعی در سطح v سناریو اختلال s

پارامترها/مقادیر ثابت	
rcp_v	هزینه بازیابی ظرفیت خط لوله در سطح v
$rcdp_v$	هزینه بازیابی ظرفیت مرکز ذخیره‌سازی اصلی در سطح v
$rcdc_v$	هزینه بازیابی ظرفیت مرکز ذخیره‌سازی فرعی در سطح v
B	حداکثر بودجه در دسترس برای برنامه‌های پیشگیرانه و واکنشی
mpl	حداقل جریان لازم جهت منطقی بودن ساخت خط لوله
P_s	احتمال وقوع سناریو اختلال s

منابع

اختیاری، مصطفی؛ زندیه، مصطفی؛ عالم تبریز، اکبر؛ ربیعه، مسعود. (۱۳۹۸). ارائه یک مدل برنامه‌ریزی دوسطحی برای زنجیره تأمین چند مرحله‌ای با تأکید بر قابلیت اطمینان در شرایط عدم قطعیت. *مدیریت صنعتی*، ۱۱(۲)، ۱۷۷-۲۰۶.

جوانبخت، محمد؛ حسینی، سید حسین؛ (۱۳۹۷). تحلیلی بر میزان آسیب پذیری شبکه ی خطوط انتقال نیروی استان خراسان رضوی در برابر زلزله. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۶(۳)، ۱۵-۲۶.

فتحی، محمدرضا؛ نصراللهی، مهدی؛ زمانیان، علی. (۱۳۹۸). مدل‌سازی ریاضی شبکه زنجیره تأمین پایدار در وضعیت عدم قطعیت و حل آن با استفاده از الگوریتم‌های فرابتکاری. *مدیریت صنعتی*، ۱۱(۴)، ۶۲۱-۶۵۲.

سنگبر، محمدعلی؛ صافی، محمدرضا؛ آذر، عادل؛ ربیعه، مسعود. (۱۴۰۰). ارائه چارچوبی کمّی برای نگاشت شناختی فازی لایه‌ای، با استفاده از رویکرد ترکیبی «نقشه خودسازمان دهنده» و «تئوری گراف و رویکرد ماتریس»(SOM-GTMA). *مدیریت صنعتی*، ۱۳(۱)، ۸۰-۱۰۴.

گلستانی، شهرام، صدرزاده مقدم، سعید؛ عظیم‌زاده، صفیه. (۱۳۹۱). بهینه یابی حمل‌ونقل بنزین از پالایشگاه ها و مبادی ورودی به انبارهای اصلی شرکت نفت: مدل جریان شبکه. *مطالعات اقتصاد انرژی*، ۹(۳۲)، ۹۵-۱۲۴.

موسوی، مهسا؛ جمالی، غلامرضا؛ قربانپور، احمد. (۱۴۰۰). ارائه مدل بهینه‌سازی شبکه زنجیره تأمین سبز ـ تاب آور در صنایع سیمان. *مدیریت صنعتی*، ۱۳(۲)، ۲۲۲-۲۴۵.

References

Adenso-Diaz, B., Mena, C., García-Carbajal, S. & Liechty, M. (2012). The impact of supply network characteristics on reliability. *Supply Chain Management: An International Journal*, 17(3), 263-276.

Adhitya, A., Srinivasan, R. & Karimi, I. A. (2007). A model-based rescheduling framework for managing abnormal supply chain events. *Computers & Chemical Engineering,* 31(5), 496-518.

Aghezzaf, E.-H., Sitompul, C. & Najid, N. M. (2010). Models for robust tactical planning in multi-stage production systems with uncertain demands. *Computers & Operations Research,* 37(5), 880-889.

Akbari, M., Ghafoori, M., Moghaddas, N. H. & Lashkaripour, G. R. (2011). Seismic microzonation of Mashhad city, northeast Iran. *Annals of geophysics,* 54(4), 424-434.

Al-Othman, W. B., Lababidi, H., Alatiqi, I. M. & Al-Shayji, K. (2008). Supply chain optimization of petroleum organization under uncertainty in market demands and prices. *European Journal of Operational Research,* 189(3), 822-840.

Al-Qahtani, K. & Elkamel, A. (2008). Multisite facility network integration design and coordination: An application to the refining industry. *Computers & Chemical Engineering,* 32(10), 2189-2202.

Azaron, A., Brown, K., Tarim, S. A. & Modarres, M. (2008). A multi-objective stochastic programming approach for supply chain design considering risk. *International Journal of Production Economics,* 116(1), 129-138.

Beheshtian, A., Donaghy, K. P., Geddes, R. R. & Rouhani, O. M. (2017). Planning resilient motor-fuel supply chain. *International journal of disaster risk reduction,* 24(6), 312-325.

Beiranvand, H., Ghazanfari, M., Sahebi, H. & Pishvaee, M. S. (2018). A robust crude oil supply chain design under uncertain demand and market price: A case study. *Oil & Gas Science and Technology–Revue d'IFP Energies nouvelles,* 73(66), 1-14.

Bidhandi, H. M., Yusuff, R. M., Ahmad, M. M. H. M. & Bakar, M. R. A. (2009). Development of a new approach for deterministic supply chain network design. *European Journal of Operational Research,* 198(1), 121-128.

Blackhurst, J., Craighead, C. W., Elkins, D. & Handfield, R. B. (2005). An empirically derived agenda of critical research issues for managing supply-chain disruptions. *International Journal of Production Research,* 43(19), 4067-4081.

British Petroleum Center. (2020). *Annual energy outlook 2020*. Washington, DC: Energy Information Administration.

Cardoso, S. R., Barbosa-Póvoa, A. P., Relvas, S. & Novais, A. Q. (2015). Resilience metrics in the assessment of complex supply-chains performance operating under demand uncertainty. *Omega*, 56(1), 53-73.

Carvalho, H., Azevedo, S. G. & Cruz-Machado, V. (2014). Supply chain management resilience: a theory building approach. *International Journal of Supply Chain and Operations Resilience*, 1(1), 3-27.

Chen, J. (2014). Logistics network optimization of import crude oil in china based on genetic algorithm. *Advanced Materials Research*, 945-949(1), 3126-3129.

Chen, L. & Miller-Hooks, E. (2012). Resilience: an indicator of recovery capability in intermodal freight transport. *Transportation Science,* 46(1), 109-123.

Chowdhury, M. M. H. & Quaddus, M. (2017). Supply chain resilience: Conceptualization and scale development using dynamic capability theory. *International Journal of Production Economics,* 188(15), 185-204.

Cohen, M. A. & Moon, S. (1991). An integrated plant loading model with economies of scale and scope. *European Journal of Operational Research,* 50(3), 266-279.

Cordeau, J.-F., Pasin, F. & Solomon, M. M. (2006). An integrated model for logistics network design. *Annals of operations Research,* 144(1), 59-82.

Craighead, C. W., Blackhurst, J., Rungtusanatham, M. J. & Handfield, R. B. (2007). The severity of supply chain disruptions: design characteristics and mitigation capabilities. *Decision Sciences,* 38(1), 131-156.

Cui, L., Jin, Z., Li, Y. & Wang, Y. (2022). Effects of control mechanisms on supply chain resilience and sustainability performance. *Australian Journal of Management*, doi.org/10.1177/03128962211066532 (In press).

Dempster, M. A. H., Pedron, N. H ,.Medova, E., Scott, J. & Sembos, A. (2000). Planning logistics operations in the oil industry. *Journal of the Operational Research Society*, 51(11), 1271-1288.

Ekhtiari, M., Zandieh, M., Alem Tabriz, A. & Rabieh, M. (2019). Proposing a Bi-level Programming Model for Multi-echelon Supply Chain with an Emphasis on Reliability in Uncertainty. *Industrial Management Journal*, 11(2), 177-206. (*in Persian*)

Elhedhli, S. & Merrick, R. (2012). Green supply chain network design to reduce carbon emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment,* 17(5), 370-379.

Escudero, L. F., Quintana, F. J. & Salmerón, J. (1999). CORO, a modeling and an algorithmic framework for oil supply, transformation and distribution optimization under uncertainty . *European Journal of Operational Research,* 114(3), 638-656.

Fahimnia, B., Jabbarzadeh, A. & Sarkis, J. (2018). Greening versus resilience: A supply chain design perspective. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 119(1), 129-148.

Falasca, M., Zobel, C. W. & Cook, D. (2008). *A decision support framework to assess supply chain resilience.* Paper presented at the Proceedings of the 5th International ISCRAM Conference, May 4th-7th, Washington DC, USA, 596-605.

Fathi, M. R., Nasrollahi, M. & Zamanian, A. (2020). Mathematical Modeling of Sustainable Supply Chain Networks under Uncertainty and Solving It Using Metaheuristic Algorithms. *Industrial Management Journal*, 11(4), 621-652. (*in Persian*)

Fernandes, L. J., Relvas, S. & Barbosa-Póvoa, A. P. (2017, June). Downstream Petroleum Supply Chains' Design and Planning-Contributions and Roadmap. In *Congress of APDIO, the Portuguese Operational Research Society* (87-99). Springer, Cham.

Finch, P. (2004). Supply chain risk management. *Supply Chain Management: An International Journal, 9*(2), 183-196.

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.

Frota Neto, J. Q., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Van Nunen, J. & Van Heck, E. (2008). Designing and evaluating sustainable logistics networks. *International Journal of Production Economics,* 111(2), 195-208.

Geoffrion, A. M. & Graves, G. W. (1974). Multicommodity distribution system design by Benders decomposition. *Management science,* 20(5), 822-844.

Gianesello, P., Ivanov, D. & Battini, D. (2017). Closed-loop supply chain simulation with disruption considerations: A case-study on Tesla. *International Journal of Inventory Research*, *4*(4), 257-280.

Glickman, T. S. & White, S. C. (2006). Security, visibility and resilience: the keys to mitigating supply chain vulnerabilities. *International Journal of Logistics Systems and Management*, *2*(2), 107-119.

Golestani, Sh., Sadrzadeh-Moghaddam, S., Azim-Zadeh, S. (2012). Optimization of gasoline transportation from refineries and entry points to the main warehouses of the oil company: network flow model. *Energy Economics Studies*, 9(32), 95-124. (*in Persian*)

Guillén-Gosálbez, G. & Grossmann, I. E. (2009). Optimal design and planning of sustainable chemical supply chains under uncertainty. *AIChE Journal*, 55(1), 99-121.

Guo, Y., Hu, F., Allaoui, H. & Boulaksil, Y. (2019). A distributed approximation approach for solving the sustainable supply chain network design problem. *International Journal of Production Research*, 57(11), 3695-3718.

Haghighi, S. M. & Torabi, S. A. (2018). A novel mixed sustainability-resilience framework for evaluating hospital information systems. *International journal of medical informatics*, 118(1), 16-28.

Haimes, Y. Y. (2006). On the definition of vulnerabilities in measuring risks to infrastructures. *Risk Analysis,* 26(2), 293-296.

Haldar, A., Ray, A., Banerjee, D. & Ghosh, S. (2012). A hybrid MCDM model for resilient supplier selection. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 7(4), 284-292.

Hallikas ,J., Karvonen, I., Pulkkinen, U., Virolainen, V.-M. & Tuominen, M. (2004). Risk management processes in supplier networks. *International Journal of Production Economics,* 90(1), 47-58.

Hamidieh, A., Arshadi Khamseh, A. & Naderi, B. (2018). A resilient supply chain network design model with a novel fuzzy programming method under uncertainty and disruptions: a real industrial approach. *Journal of Quality Engineering and Production Optimization*, 3(2), 27-50.

Hezareh, V. & Bakharzi Qaz-Alhesar, S. (2018). Flood Risk Analysis of Mashhad Urban Railway (line 1). *Geography and Human Relationships,* 1(3), 522-538.

Hosseini-Motlagh, S.-M., Samani, M. R. G. & Homaei, S. (2020). Blood supply chain management: robust optimization, disruption risk, and blood group compatibility (a real-life case). *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing,* 11(3), 1085-1104.

Ivanov, D. (2018). Revealing interfaces of supply chain resilience and sustainability: a simulation study. *International Journal of Production Research*, 56(10), 3507-3523.

Jabbarzadeh, A., Haughton, M. & Khosrojerdi, A. (2018). Closed-loop supply chain network design under disruption risks: A robust approach with real world application. *Computers & industrial engineering*, 116(1), 178-191.

Javanbakht, M., Hosseini, S. H. (2019). An analysis of the vulnerability of the transmission line network of Khorasan Razavi province in the earthquake. *Spatial analysis of environmental hazards*, 6(3), 15-26. (*in Persian*)

Kaur, H. & Singh, S. P. (2017). Sustainable procurement and logistics for disaster resilient supply chain. *Annals of Operations Research*, 283(1), 309-354.

Kaur, H., Singh, S. P., Garza-Reyes, J. A. & Mishra, N. (2020). Sustainable stochastic production and procurement problem for resilient supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, *139*, 105560.

Kelle, P., Schneider, H. & Yi, H. (2014). Decision alternatives between expected cost minimization and worst case scenario in emergency supply–Second revision. *International Journal of Production Economics,* 157(25), 250-260.

Khalili, S. M., Jolai, F. & Torabi, S. A. (2017). Integrated production–distribution planning in two-echelon systems: a resilience view. *International Journal of Production Research*, *55*(4), 1040-1064.

Kharaka, Y. K. & Dorsey, N. S. (2005). Environmental issues of petroleum exploration and production: Introduction. *Environmental Geosciences,* 12(2), 61-63.

Khosravi, K., Panahi, M., Golkarian, A ,.Keesstra, S. D., Saco, P. M., Bui, D. T. & Lee, S. (2020). Convolutional neural network approach for spatial prediction of flood hazard at national scale of Iran. *Journal of Hydrology,* 591, 125552.

Kim, Y., Chen, Y. S. & Linderman, K. (2015). Supply network disruption and resilience: A network structural perspective. *Journal of operations Management*, 33(1), 43-59.

Kim, Y., Yun, C., Park, S. B., Park, S. & Fan, L. (2008). An integrated model of supply network and production planning for multiple fuel products of multi-site refineries. *Computers & Chemical Engineering,* 32(11), 2529-2535.

Kollias, C., Kyrtsou, C. & Papadamou, S. (2013). The effects of terrorism and war on the oil price–stock index relationship. *Energy Economics*, 40(1), 743-752.

Kouvelis, P., Dong, L., Boyabatli, O. & Li, R. (2011). *Handbook of Integrated Risk Management in Global Supply Chain*. Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons.

Larson, P. D. (2001). Designing and managing the supply chain: concepts, strategies, and case studies. *Journal of Business Logistics*, 22(1), 259-261.

Liang, T.-F. (2006). Distribution planning decisions using interactive fuzzy multi-objective linear programming. *Fuzzy Sets and Systems,* 157(10), 1303-1316.

Lim, M., Daskin, M. S., Bassamboo, A. & Chopra, S. (2010). A facility reliability problem: formulation, properties, and algorithm. *Naval Research Logistics (NRL),* 57(1), 58-70.

Mansouri, M., Nilchiani, R. & Mostashari, A. (2010). A policy making framework for resilient port infrastructure systems. *Marine Policy,* 34(6), 1125-1134.

Matheson, M. & Cooper, B. S. (2004). Security Planning and Preparedness in the Oil Pipeline Industry. *The Oil & Gas Review*, 1(5), 104-108 .

McCoy, S. T. & Rubin, E. S. (2008). An engineering-economic model of pipeline transport of CO2 with application to carbon capture and storage. *International journal of greenhouse gas control,* 2(2), 219-229.

Meixell, M. J. & Gargeya ,V. B. (2005). Global supply chain design: A literature review and critique. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,* 41(6), 531-550.

Metta, H. & Badurdeen, F. (2012). Integrating sustainable product and supply chain design: modeling issues and challenges. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 60(2), 438-446.

MirHassani, S. (2008). An operational planning model for petroleum products logistics under uncertainty. *Applied Mathematics and Computation,* 196(2), 744-751.

Mishra, V. & Sharma, M. G. (2020). Understanding Humanitarian Supply Chain Through Causal Modelling. *South Asian Journal of Business and Management Cases*, 9(3), 317-329.

Mousavi, M., Jamali, G. & Ghorbanpour, A. (2021). A Green-resilient Supply Chain Network Optimization Model in 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.

Nasiri, M. M., Shahmoradi-Moghadam, H. & Torabi, S. A. (2018). A hub covering flow network design resilient to major disruptions and supply/demand uncertainties. *International Journal of Business Continuity and Risk Management*, 8(4), 319-334.

Neiro, S. & Pinto, J. M. (2004). A general modeling framework for the operational planning of petroleum supply chains. *Computers & chemical engineering,* 28(6), 871-896.

Olson, D. L. & Wu, D. D. (2013). Extreme-event risk management: a review of "Lee, B., Preston, F. 2012. Preparing for High-impact ,Low-probability Events: Lessons from Eyjafjallajőkull. London: Chatham House.". *Journal of Cleaner Production,* 53(8), 67-68.

Palencia, J. C. G., Furubayashi, T. & Nakata, T. (2012). Energy use and CO2 emissions reduction potential in passenger car fleet using zero emission vehicles and lightweight materials. *Energy*, 48(1), 548-565.

Pasqualetti, M. J. & Sovacool, B. K. (2012) .The importance of scale to energy security. *Journal of Integrative Environmental Sciences,* 9(3), 167-180.

Ritchie, B. & Brindley, C. (2007). Supply chain risk management and performance: A guiding framework for future development. *International Journal of Operations & Production Management,* 27(3), 303-322.

Sabouhi, F., Jabalameli, M. S. & Jabbarzadeh, A. (2021). An optimization approach for sustainable and resilient supply chain design with regional considerations. *Computers & Industrial Engineering*, 159, 107510.

Sahebjamnia, N., Torabi, S .A. & Mansouri, S. A. (2015). Integrated business continuity and disaster recovery planning: Towards organizational resilience. *European Journal of Operational Research,* 242(1), 261-273 .

Samani, M. R. G., Hosseini-Motlagh, S.-M. & Ghannadpour, S. F. (2019). A multilateral perspective towards blood network design in an uncertain environment: Methodology and implementation. *Computers & Industrial Engineering,* 130(1), 450-471.

Sangbor, M. A., Safi, M. R., Azar, A. & Rabieh, M. (2021). Development a Quantitative Framework for Multilayer Fuzzy Cognitive Maps by combining. *Industrial Management Journal*, 13(1), 80-104. (*in Persian*)

Sawik, T. (2013). Selection of resilient supply portfolio under disruption risks .*Omega,* 41(2), 259-269.

Sazvar, Z., Tafakkori, K., Oladzad, N. & Nayeri, S. (2021). A capacity planning approach for sustainable-resilient supply chain network design under uncertainty: A case study of vaccine supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 159, 107406.

Sear, T. (1993). Logistics planning in the downstream oil industry. *Journal of the Operational Research Society*, 44(1), 9-17.

Selim, H., Araz, C. & Ozkarahan, I. (2008). Collaborative production–distribution planning in supply chain: a fuzzy goal programming approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,* 44(3), 396-419.

Seuring, S. (2013). A review of modeling approaches for sustainable supply chain management. *Decision Support Systems,* 54(4), 1513-1520.

Shah, N. K., Li, Z. & Ierapetritou, M. G. (2010). Petroleum refining operations: key issues, advances, and opportunities. *Industrial & Engineering Chemistry Research,* 50(3), 1161-1170.

Sheffi, Y. (2007). *The resilient enterprise: overcoming vulnerability for competitive advantage*. Cambridge, MA: MIT Press.

Sinha, A. K., Aditya, H., Tiwari, M. & Chan, F. T. (2011). Agent oriented petroleum supply chain coordination: Co-evolutionary Particle Swarm Optimization based approach. *Expert Systems with Applications,* 38(5), 6132-6145.

Sinha, P. R., Whitman, L. E. & Malzahn, D. (2004). Methodology to mitigate supplier risk in an aerospace supply chain. *Supply Chain Management: An International Journal,* 9(2), 154-168.

Tang, C. S. (2006). Perspectives in supply chain risk management. *International Journal of Production Economics,* 103(2), 451-488.

Thomas, D. J. & Griffin, P. M .(۱۹۹۶) .Coordinated supply chain management. *European Journal of Operational Research,* 94(1), 1-15.

Thun, J.-H. & Hoenig, D. (2011). An empirical analysis of supply chain risk management in the German automotive industry. *International Journal of Production Economics,* 131(1), 242-249.

Torabi, S. & Hassini, E. (2008). An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning. *Fuzzy Sets and Systems,* 159(2), 193-214.

Tosarkani, B. M. & Amin, S. H. (2018). A possibilistic solution to configure a battery closed-loop supply chain: multi-objective approach. *Expert systems with applications*, 92(1), 12-26.

Turnquist, M. & Vugrin, E. (2013). Design for resilience in infrastructure distribution networks. *Environment Systems & Decisions,* 33(1), 104-120 .

Wang, F., Lai, X. & Shi, N. (2011). A multi-objective optimization for green supply chain network design. *Decision Support Systems,* 51(2), 262-269.

Wu, H.-J. & Dunn, S. C. (1995). Environmentally responsible logistics systems. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management,* 25(2), 20-38.

Yergin, D. (2006). Ensuring energy security. *Foreign affairs*, 69-82.

Yildiz, H., Yoon, J., Talluri, S. & Ho, W. (2016). Reliable supply chain network design. *Decision Sciences*, 47(4), 661-698.

Yu, G. & Qi, X. (2004). *Disruption management: framework, models and applications*. New Jersey, USA, World Scientific.

Zahiri, B., Zhuang, J. & Mohammadi, M. (2017). Toward an integrated sustainable-resilient supply chain: A pharmaceutical case study. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 103(1), 109-142.

Zhalechian, M., Torabi, S. A. & Mohammadi, M. (2018). Hub-and-spoke network design under operational and disruption risks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,* 109(1), 20-43.

Zimmermann, H.-J. (1978). Fuzzy programming and linear programming with several objective functions. *Fuzzy Sets and Systems,* 1(1), 45-55.

Zobel, C. W. & Khansa, L. (2014). Characterizing multi-event disaster resilience. *Computers & Operations Research,*4(2), 83-94.

Zsidisin, G. A. & Wagner, S. M. (2010). Do perceptions become reality? The moderating role of supply chain resiliency on disruption occurrence. *Journal of Business logistics,* 31(2), 1-20.