




فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۱۱۱، دوره ۲۸، تابستان ۱۴۰۳، ۲۵۴-۲۱۱

مقاله پژوهشی: انتخاب تأمین‌کننده تاب‌آور و تخصیص سفارش با تحلیل اثر متقابل ریسک‌های اختلال در شبکه بیزی

محمد خسروآبادی*  جعفر قیدر خلجانی** 

محمد حسین کریمی گوارشکی*** 

پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۲

بازنگری: ۱۴۰۳/۴/۱۴

دریافت: ۱۴۰۳/۲/۱۲

انتخاب تأمین‌کننده تاب‌آور / اندازه سفارش اقتصادی / کاهش سناریو / شبکه بیزی /
سطح تاب‌آوری / مدیریت ریسک زنجیره تأمین

چکیده

اختلالات علاوه بر تأثیر روی تأمین‌کنندگان و تولیدکننده؛ می‌توانند بر روی یکدیگر در ابتدای زنجیره یا بر تقاضای مشتری در انتهای زنجیره تأثیرگذار باشند. در این مقاله، میزان این اثرگذاری با استفاده از شبکه بیزی مدل‌سازی و حل می‌شود. از نرخ تورم برای پیش‌بینی و کاهش عدم قطعیت‌های تقاضا در یک مدل برنامه‌ریزی خطی با دو تابع هدف افزایش پراکندگی جغرافیایی و کاهش هزینه کل (حمل و نقل، خرید و سفارش‌دهی و...) استفاده شده است. در این مدل تأمین‌کنندگان و تولیدکننده برای افزایش تاب‌آوری زنجیره تأمین مشارکت می‌کنند. برای اولین


*. دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، مجتمع دانشگاهی مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران
Khosroabadi.mohammad20@gmail.com

** . دانشیار، مجتمع دانشگاهی مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران،
kheljani@mut.ac.ir


***. دانشیار، مجتمع دانشگاهی مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.
Mh_karimi@mut.ac.ir


بار مفهوم سطح تاب‌آوری تأمین‌کننده پیشنهاد می‌شود. مدل ارائه شده برای تخصیص سفارش علاوه بر قیمت و سایر هزینه‌های سفارش دهی، هزینه بهبود سطح تاب‌آوری تأمین‌کنندگان را نیز در نظر می‌گیرد. همچنین سطح رضایت مشتری به صورت ضمنی با افزایش هزینه عدم ارضای تقاضا افزایش می‌باید. به همین منظور یک مطالعه موردی در یکی از شرکت‌های خودروسازی ایران انجام گرفت. برای اعتبار سنجی مدل پیشنهادی یک مثال عددی حل و تحلیل حساسیت گردید. برای کاهش سناریو از روش خوشه‌بندی C- میانگین فازی و تحلیل متوازن اثر متقابل استفاده شد. مدل ارائه شده می‌تواند تولیدکنندگان را برای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی بهتر در مواجهه با ریسک‌ها و عدم قطعیت‌های آینده آماده کند.


طبقه‌بندی JEL: C11, C44, C46, C61

 <https://doi.org/10.22034/ijts.2024.2027866.3981>

Resilient Supplier Selection and Order Allocation with Analysis of Interacting Risks in Bayesian Networks

Mohammad Khosroabadi, Department of Management & Industrial Engineering, Malek-Ashtar University of Technology, Tehran, Iran. 

Jafar Gheidar-Kheljanib¹, Department of Management & Industrial Engineering, Malek-Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.  (Corresponding Author).

Mohammad Hosein Karimi Gavareshkic, Department of Management & Industrial Engineering, Malek-Ashtar University of Technology, Tehran, Iran. 

Received: 1 May 2024

Revised: 4 July 2024

Accepted: 23 July 2024

Resilient Supplier Selection / Lot Sizing / Scenario Reduction / Bayesian Network / Resilience Level / Supply Chain Risk Management

Disruptions can impact not only suppliers and manufacturers but also influence each other at the beginning of the chain or customer demand at the end of the chain. In this paper, the extent of this impact is modeled and solved using a Bayesian network. Inflation rate is used to predict and reduce demand uncertainties in a linear programming model with two objective functions of increasing geographic dispersion and reducing total cost (transportation, purchasing, ordering, etc.). In this model, suppliers and manufacturers collaborate to increase supply chain resilience. For the first time, the concept of supplier resilience level is proposed. The proposed model for order allocation, in addition to price and other ordering costs, also considers the cost of improving the resilience level of suppliers. Also, customer satisfaction level is implicitly increased by increasing the cost of unmet demand. To this end, a case study was conducted in one of Iran's automotive companies. To validate the proposed model, a numerical example was solved and sensitivity analysis was performed. To reduce the number of scenarios, fuzzy c-means clustering and balanced interaction analysis were used. The proposed model can prepare manufacturers for better decision-making and planning in the face of future risks and uncertainties.

1. Kheljani@aut.ac.ir

JEL Classification: C11, C44, C46, C61

Data Availability: The data used or generated in this research are presented in the text of the article.

Conflicts of Interest: The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

۱. مقدمه

زنجیره تأمین به علت جهانی شدن بیشتر در معرض تهدیدهای طبیعی، انسانی یا تکنولوژیکی همچون سیل، زلزله، آتش سوزی، حوادث حمل و نقل، اعتصاب کارگری، حملات تروریستی، جنگ، تحریم، بیماری‌ها، رکود اقتصادی و غیره قرار دارد. تعیین تعداد کالایی که با توجه به ظرفیت، قیمت، توانایی‌ها و ویژگی‌های تأمین‌کننده از جمله کیفیت، تاب‌آوری و هزینه‌های حمل و نقل، سفارش داده می‌شود، بسیار با اهمیت است. این میزان سفارش در گذشته بسته به ظرفیت انبارداری و هزینه‌های نگهداری کالا در انبار خریدار، قیمت کالا، فاصله تأمین‌کننده و هزینه‌های حمل و نقل مشخص می‌شد. در سال‌های اخیر در نظر گرفتن احتمال مختل شدن تأمین‌کننده‌ها و توانایی آن‌ها برای مقابله با این ریسک‌ها در انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش مورد توجه قرار گرفته است. لذا عدم قطعیت‌ها و ریسک‌ها عنصر پیچیده دیگری را به تصمیم‌گیری اضافه کرده‌اند. بر این اساس انتخاب تأمین‌کننده‌ای که بتواند پایداری تولید را حتی در شرایط وقوع اختلالات تضمین کند بسیار مهم است. وقوع ریسک اختلال حتی می‌تواند اثرات اقتصادی، اجتماعی و سیاسی را به وجود بیاورد. مثلاً تحریم می‌تواند باعث ایجاد مشکلات اقتصادی و تنش‌های سیاسی و نارضایتی‌های اجتماعی شود. برای نمونه طبق آمار بانک مرکزی ایران در ابتدای سال ۹۷ و همزمان با خروج آمریکا از برجام و تشدید تحریم‌ها، ایران با یک جهش تورمی روبرو شد به طوری که بسیاری از کالاهای اساسی به ویژه خودرو و مسکن با رشد قیمت بیش از دو برابری تا پایان سال ۹۷ و ۱۵ برابری تا آبان ماه سال ۱۴۰۲، روبرو شدند. شرکت‌های خودروسازی که تا قبل از آن برای فروش محصولات خود طرح‌های تشویقی و اقساطی ارائه می‌کردند و مازاد تولید داشتند، با هجوم تقاضای مشتریان روبرو شدند به طوری که محصولات خود را تا دو سال بعد پیش فروش نمودند. از طرفی با اعمال تحریم‌ها، با کمبود مواد اولیه روبرو شده بودند و قادر به پاسخگویی به تقاضای ایجاد شده و تعهدات زیاد انباشته شده به علت پیش فروش محصولات نبودند. این کمبود مواد اولیه و اختلالات به وجود آمده در تولید به دلیل شدت تحریم‌ها باعث تاخیر در زمان تحویل دهی تا یک سال و حتی پیشنهاد جابجایی یک مدل خودرو با مدل دیگر از طرف شرکت خودروسازی بخاطر عدم توانایی در تولید آن مدل خودروی خاص شد. این اختلال ایجاد شده در تأمین مواد اولیه به شدت کیفیت خودروهای ساخته شده را کاهش داد. این اتفاق موجب ایجاد یک موج بزرگ نارضایتی در بین مردم شد

که حتی باعث تغییر مدیرعامل شرکت‌های خودروسازی شد. بنابراین تحریم علاوه بر تأثیر در ابتدای زنجیره با مختل کردن تأمین‌کنندگان اولیه، به علت کمبود مواد اولیه مورد نیاز، موجب افزایش تقاضا در انتهای زنجیره تأمین نیز می‌شود. مثال دیگری که در این زمینه می‌توان به آن اشاره کرد وقوع پاندمی کرونا است. بعد از شیوع کرونا به‌طور عجیبی تقاضا برای ماسک افزایش یافت به طوری که مردم به شدت با کمبود ماسک مواجه شدند. با شیوع بیماری کرونا به دلیل تعطیلی عمومی شرکت‌های ماسک‌سازی با مشکل تأمین مواد اولیه و کارگر مواجه شدند. بنابراین از یک طرف تقاضا به شدت افزایش پیدا کرد از طرفی تأمین‌کنندگان دچار اختلال شدند. یکی از شکاف‌های تحقیقاتی موجود این است که اختلالات علاوه بر اینکه ابتدای زنجیره تأمین را دچار اختلال می‌کنند و موجب اختلال تولیدکننده می‌شوند، در انتهای زنجیره نیز با افزایش تقاضا اختلال دیگری را به تولیدکننده وارد می‌کنند. ریسک زنجیره تأمین را می‌توان به اختلالات طبیعی مانند سیل، زلزله، آتشفشان و ... یا ریسک‌های داخلی مانند اختلالات عرضه، تقاضا، تأمین‌کنندگان و ... یا اختلالات بیرونی مانند تورم، جنگ، تحریم، بیماری‌های فراگیر مانند کرونا تقسیم کرد. استفاده از ابزارهای ارزیابی ریسک پویا مانند شبکه‌های بیزی می‌تواند بینش‌های جدید و کاربردی را در مورد سناریوهای ریسک در حال تحول فراهم کند و شیوه‌های مدیریت ریسک سازگارتر و پاسخگوتر را امکان‌پذیر سازد. شبکه‌های بیزی مدل‌های گرافیکی احتمالی هستند که به‌عنوان روش‌شناسی دقیقی برای کمیت‌سازی ریسک‌ها، مدل‌سازی عدم قطعیت و تصمیم‌گیری در شرایط دینامیک ساختاری به خوبی شناخته شده‌اند^۱. اختلال زنجیره تأمین اتفاقی است که ممکن است بر کل یا بخشی از زنجیره تأمین تأثیر منفی گذاشته و عملکرد زنجیره را با مشکل روبرو کند و آن را از اهداف خود دور کند. ریسک‌های طبیعی و اختلالات بیرونی می‌توانند باعث بروز ریسک‌های داخلی شوند یا آن‌ها را تشدید کنند. در یک زنجیره نمی‌توان جلوی وقوع اختلالات محیطی و بیرونی را گرفت ولی می‌توان با پیش‌بینی راه‌کارهایی شدت اثر آن‌ها بر روی ریسک‌های داخلی را کاهش داد یا حتی بی‌اثر کرد. یکی از این راه‌کارها افزایش تاب‌آوری در زنجیره تأمین است. به‌طور کلی تاب‌آوری زنجیره تأمین عبارت است از توانایی زنجیره به بازگشت به وضعیت اصلی یا رسیدن به یک وضعیت مطلوب‌تر پس از مختل

شدن زنجیره. سهرابی و همکاران (۲۰۲۱) تاب آوری زنجیره تأمین به عنوان توانایی زنجیره برای جذب، انطباق و بازیابی از اختلالات تعریف می‌کنند. بنابراین رسیدن به یک سیستم امن برای تأمین که بتواند در شرایط وقوع اختلال تاب‌آور باشد و از مشتریان در برابر ریسک‌های وارده محافظت کند، تنها با انتخاب تأمین‌کننده‌ای که بتواند خود را در برابر اختلالات پیش آمده واکنش کند و تمهیداتی را در راستای کاهش و از بین بردن اثر این اختلالات در زنجیره تأمین در نظر بگیرد، میسر خواهد شد. به منظور مقابله با ریسک‌های اختلال و افزایش تاب‌آوری از استراتژی‌هایی استفاده می‌شود. برخی از مهم‌ترین استراتژی‌های تاب‌آوری عبارتند از: منبع‌یابی چندگانه، تقویت تسهیلات، توسعه ظرفیت تسهیلات، تغییر مسیرهای حمل و نقل، برون‌سپاری، نگهداری موجودی اورژانسی و غیره.^۱ یکی دیگر از این راه‌ها تمرکز زدایی جغرافیایی است. اگر همه تأمین‌کنندگان و تولیدکننده در یک منطقه جغرافیایی باشند، در صورت وقوع بلایای طبیعی در آن منطقه، می‌تواند کل زنجیره را دچار فروپاشی کند. لذا امروزه برای جلوگیری از وقوع چنین حوادثی سعی بر تمرکز زدایی و پراکنده کردن تأمین‌کنندگان دارند. به عنوان مثال در اثر بارندگی که در وسعت زیادی از چین در ژانویه ۲۰۰۸ اتفاق افتاد باعث آشفتگی سیستم حمل و نقل و اختلال تأمین‌کنندگان انرژی و غذا شد.^۲ پس از زلزله ژاپن و سونامی به دلیل این که بسیاری از تأمین‌کنندگان قطعات خودروی تویوتا و نیسان همگی در منطقه اختلال قرار داشتند، نتوانستند تقاضا را تأمین کنند. تویوتا از آن زمان به جای قرار گرفتن در یک منطقه با فاصله کم سعی کرد با تأمین‌کنندگانی که از نظر جغرافیایی پراکنده هستند همکاری کند.^۳ برای این منظور یک پارامتر به نام حداقل فاصله تعیین می‌شود که مشخص می‌کند فاصله تأمین‌کنندگان با یکدیگر و فاصله هر یک از تأمین‌کنندگان با تولیدکننده نباید کمتر از حداقل فاصله باشد.^۴ به طور خلاصه در این مقاله مسئله این است که اختلالات ابتدای زنجیره مانند جنگ، تحریم، تورم و پاندمی و برهمکنش آنها که موجب تشدید یکدیگر می‌شود و تأمین‌کنندگان و تولیدکننده را مختل می‌کنند، در انتهای زنجیره نیز بر روی تقاضا اثر گذار بوده و موجب افزایش تقاضا می‌شوند. این موضوع هم به گونه دیگر تولیدکننده را با ریسک اختلال و کمبود مواد اولیه و عدم

۱. صبحی و همکاران، (۲۰۱۸)

۲. لی و همکاران، (۲۰۱۰)

۳. حسینی و همکاران، b (۲۰۱۹)

۴. حسینی و همکاران، b (۲۰۱۹)

توانایی در ارضای تقاضا و بروز نارضایتی مشتری روبرو می‌کند و این اثر به صورت موجی در کل زنجیره انتشار می‌یابد. مدل‌سازی و تحلیل این شبکه به وسیله تحلیل شبکه بیزی انجام می‌شود. بعد از آن تعیین اینکه به هر تأمین‌کننده چه تعداد کالا و در چه دوره‌ای سفارش دهیم که علاوه بر اینکه کمترین هزینه ایجاد شود و بیشترین تاب‌آوری را داشته باشیم، اهمیت پیدا خواهد کرد. براین اساس مدل‌سازی انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش اقتصادی به منظور افزایش تاب‌آوری با استراتژی‌های مازاد موجودی، افزایش فاصله جغرافیایی تأمین‌کنندگان، افزایش سطح تاب‌آوری با مشارکت تولیدکننده در توانمندسازی تأمین‌کنندگان و بهبود سطح رضایت مشتری انجام می‌شود. با توجه به مطالبی که بیان شد نوآوری این مقاله هم در ساختار مفهومی و هم در مدل برنامه‌ریزی خطی پیشنهادی است، که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود: ۱. مدل‌سازی مفهومی اثر برهم‌کنش اختلالات ابتدای زنجیره بر روی هم و همچنین اثر آن در انتهای زنجیره بر روی تقاضا (عدم استقلال ریسک‌ها) و مدل‌سازی آن با شبکه بیزی برای محاسبه تقاضای برآورده نشده در صورت وقوع اختلالات. ۲. در نظرگرفتن رابطه تقاضا و نرخ تورم برای پیش‌بینی تقاضا. ۳. در نظرگرفتن سطح تاب‌آوری برای تأمین‌کنندگان و سفارش‌دهی بر مبنای قیمت سطح تاب‌آوری. ۴. حداکثر کردن رضایت مشتری به صورت ضمنی. در ادامه در بخش ۲ کارهای صورت گرفته در ادبیات موضوع بررسی می‌شود. در بخش ۳ به بیان مسئله و موضوعات مورد نیاز برای دستیابی به راه حل می‌پردازیم و مدل ریاضی مسئله ارائه می‌شود. در بخش ۴ مطالعه موردی و تحلیل حساسیت ارائه می‌شود. در بخش ۵ به نتیجه‌گیری و کارآیندگان پرداخته خواهد شد.

۲. مرور ادبیات

برای بررسی کارهای انجام شده در این زمینه از کلیدواژه‌هایی استفاده شده است که شکل (۱) ابر کلمات جستجو شده در این حوزه را نمایش می‌دهد. تاب‌آوری یک مفهوم چند رشته‌ای است که در رشته‌های مختلف مانند جامعه‌شناسی، بوم‌شناسی، مهندسی، و اقتصاد با کاربردهایی که شامل مدیریت بلایا، توسعه پایدار، بازسازی زیرساخت‌ها، واکنش اضطراری و مدیریت ریسک زنجیره تأمین می‌شود، مورد مطالعه قرار گرفته است^۱. بسیاری از کارهای موجود در زمینه تاب‌آوری

سفارش را در یک زنجیره تأمین متمرکز با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی غیرخطی اعداد صحیح مختلط بهینه کردند. این استراتژی‌های محافظتی عبارتند از: تأمین‌کنندگان پشتیبان، ذخیره ظرفیت اضافی، انبارهای اضطراری و پراکندگی جغرافیایی. همچنین با در نظر گرفتن روش تجزیه و تحلیل حالت شکست و اثرات و محدودیت عددی اولویت ریسک، قابلیت اطمینان تأمین‌کنندگان را بررسی کردند. محمد و همکاران (۲۰۱۹) مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش را با در نظر گرفتن معیارهای پایداری و رویکرد بهینه‌سازی مورد مطالعه قرار دادند. کلنر و اوتز (۲۰۱۹)، با در نظر گرفتن توابع هدف هزینه، پایداری و ریسک، مساله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش را مورد بررسی قرار دادند. ماری و همکاران (۲۰۱۹) معیارهای کیفی را برای انتخاب تأمین‌کنندگان تاب‌آور در یک محیط فازی توسعه دادند و با ارائه یک مدل ریاضی چندهدفه به سفارشات پاسخ دادند. رضایی و همکاران^۱ با ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری و مدل‌سازی ریاضی، مسئله انتخاب تأمین‌کننده ناب و تخصیص سفارش را توسعه دادند. خوش‌فطرت و همکاران (۲۰۲۰) انتخاب پایدار و تخصیص سفارشات را با تورم و ویژگی‌های ریسک در یک محیط فازی یکپارچه کردند. موضوع انتخاب تأمین‌کنندگان سبز و تعیین سفارش بهینه توسط فنگ و گونگ (۲۰۲۰) با ترکیب روش وزن آنتروپی زبانی و برنامه‌ریزی چند هدفه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین به طور مشابه، رویکردهای ذکر شده نیز در مقاله بیکی و همکاران (۲۰۲۱) برای انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار و تخصیص تقاضا به آن‌ها با هدف حداقل کردن هزینه کل و انتشار کربن و حداکثر کردن ارزش خرید مطالعه شده است. محمد و همکاران (۲۰۲۰) چارچوبی ترکیبی از تصمیم‌گیری و روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی را برای انتخاب تأمین‌کنندگان تاب‌آور سبز و تعیین تقاضا به آن‌ها ارائه کردند. بختیاری توانا و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه خود به انتخاب مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان تاب‌آور و تخصیص بهینه تقاضا در یک زنجیره تأمین خودرو تحت ریسک پرداختند. برای این منظور، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای دو هدفه ارائه می‌دهند. مدل پیشنهادی شامل یک تابع هدف برای در نظر گرفتن عملکرد تحویل تأمین‌کننده به عنوان یکی از معیارهای انتخاب تأمین‌کننده تاب‌آور است. همچنین از روش خوشه‌بندی k-means برای خوشه‌بندی و کاهش تعداد سناریوهای اختلال استفاده می‌کنند. به دلیل عدم قطعیت تقاضا، از رویکرد برنامه نویسی با محدودیت شانس

استفاده شده است. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی اضطراری می‌تواند اثر مخاطرات اختلال را کاهش دهد و استراتژی پراکندگی جغرافیایی (افزایش فاصله) زنجیره تأمین در کاهش اثرات اختلالات زیست محیطی مهم است. کائور و سینگ (۲۰۲۱) یک مدل ترکیبی چند مرحله‌ای را برای تقسیم‌بندی تأمین‌کننده یکپارچه، انتخاب و تخصیص سفارش با در نظرگرفتن ریسک‌ها و اختلالات پیشنهاد می‌کنند. همچنین یک برنامه عدد صحیح مختلط را برای بهینه‌سازی تخصیص سفارش‌های چند دوره‌ای و چند موردی به تأمین‌کنندگان پیشنهاد می‌کند که هزینه کلی و خطر اختلال به‌طور همزمان به حداقل برسد. لیو و همکاران (۲۰۲۱) در مقاله خود اشاره می‌کنند انتخاب تأمین‌کننده و ارزیابی خطر اختلال، توجه روزافزونی را به خود جلب کرده است. با این حال، بیشتر کارهای موجود به‌طور جداگانه بر انتخاب تأمین‌کننده و ارزیابی ریسک اختلال تمرکز دارند. آن‌ها به بررسی یک مسئله انتخاب تأمین‌کننده و ارزیابی ریسک اختلال تحت اثر امواج به‌صورت یکپارچه می‌پردازند. هدف به حداقل رساندن مجموع وزنی احتمال مختل شده و هزینه کل برای سازنده است. برای این مسئله، یک مدل برنامه‌ریزی غیر خطی تصادفی جدید ترکیب شده با شبکه بیزی فرموله شده است. محمد و همکاران (۲۰۱۹) یک رویکرد جدید برای ارزیابی تأمین‌کننده ارائه کردند که مقدار سفارش بهینه را از هر تأمین‌کننده با توجه به ویژگی‌های سبز بودن و تاب‌آوری تخصیص می‌دهد. یک چارچوب یکپارچه که معیارها و زیرمعیارهای کسب و کار سنتی، سبز بودن و تاب‌آوری را در نظر می‌گیرد. آن‌ها از وزن‌دهی و رتبه‌بندی معیارها و تأمین‌کنندگان با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و شباهت به راه حل ایده آل^۱ برای به‌کارگیری در یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه توسعه یافته برای تخصیص سفارش استفاده کردند. شائو و همکاران (۲۰۲۲) در مقاله خود مدلی را پیشنهاد می‌کنند که هدف آن حل مسئله انتخاب تأمین‌کننده پایدار و تخصیص سفارش با در نظر گرفتن اختلال عرضه در دوران COVID-19 است. این کار را با استفاده از یک مدل بهینه‌سازی چند مرحله‌ای چند هدفه غیر خطی در مراحل مختلف توسعه و گسترش همه‌گیری انجام می‌دهند. ژائو و همکاران (۲۰۲۲) به ارائه یک رویکرد دو مرحله‌ای برای طراحی یک مدل جدید انتخاب تأمین‌کننده پایدار- تاب‌آور و تخصیص سفارش پرداختند. در مرحله اول، یک سیستم ارزیابی تأمین‌کننده با ترکیب نظریه تصمیم‌گیری راف و روش توسعه یافته VIKOR ایجاد می‌شود. سپس،

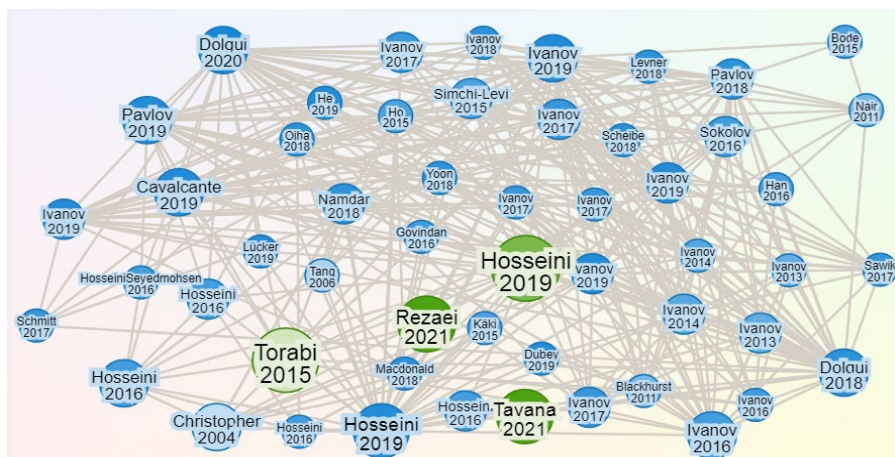
یک مدل ریاضی چندهدفه غیر خطی برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش در مرحله دوم با استفاده از نتایج ارزیابی تأمین‌کننده به‌دست‌آمده در مرحله قبل توسعه می‌یابد. تقوی و همکاران (۲۰۲۲) به انتخاب تأمین‌کننده تاب‌آور سبز و مسیریابی وسایل نقلیه در شرایط وقوع اختلال در شبکه حمل و نقل برای سرویس‌دهی به تقاضای مشتریان و استفاده از ارزش شرطی در معرض خطر به‌عنوان یک معیار ریسک پرداختند. نظری-شیرکوهی و همکاران (۲۰۲۳) یک رویکرد جدید مبتنی بر معیارهای تحویل، کیفیت، قیمت، سطح فناوری و معیارهای تاب‌آوری برای انتخاب تأمین‌کننده با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌های عددی^۱ و شبکه عصبی مصنوعی پیشنهاد کردند. چن و همکاران (۲۰۲۴) یک مدل زنجیره‌تأمین ساخت و ساز چند محصولی و چند دوره‌ای که ظرفیت تأمین‌کننده و عدم قطعیت‌های تقاضای مواد را محاسبه می‌کند و تاب‌آوری زنجیره را افزایش می‌دهد ارائه کردند. آن‌ها نتیجه گرفته‌اند اگرچه نگهداری موجودی پرهزینه است، ولی عدم قطعیت‌های مالی ناشی از تقاضای متفاوت پروژه را کاهش می‌دهد. عمر و ویلسون (۲۰۲۴) در زنجیره‌های تأمین مواد غذایی در جنوب آسیا به بررسی عملکرد عملیات لجستیکی منابع تاب‌آور در هنگام بلایای طبیعی و سایر اختلالات پرداختند و بیان می‌کنند عملیات لجستیک نقش کلیدی در دستیابی به تاب‌آوری زنجیره‌تأمین دارد. لو و همکاران (۲۰۲۴) تأثیر حاکمیت زنجیره‌تأمین^۲، بر تاب‌آوری زنجیره‌تأمین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد SCG بر SCR تأثیر گذار است و قابلیت پردازش اطلاعات نقش میانجی را در این بین بازی می‌کند. مدرس و همکاران (۲۰۲۴) تأمین‌کنندگان را بر اساس کیفیت، قابلیت اطمینان تحویل و کاهش درصد بازگشت مواد اولیه، از دیدگاه فروشنده انتخاب می‌کنند. از بهترین بدترین رویکرد بیزی^۳ برای رتبه‌بندی معیارها و تکنیک فازی برای ترتیب اولویت بر اساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل استفاده می‌کنند. صالحی و سیاح (۱۳۹۵) یک مدل برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان کارا در شرایط عدم قطعیت ارائه کردند که در آن، قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان درباره ارجحیت ورودی‌ها و خروجی‌ها به‌طور مستقل به مدل تحلیل پوششی داده‌های خاکستری افزوده می‌شود. کبگانی و شاهبندرزاده (۱۳۹۸) به بررسی معیارهای انتخاب تأمین‌کننده در زنجیره‌تأمین تاب‌آور پرداخته و نتیجه‌گیری کردند که معیارهای قیمت، کیفیت

1. Z-DEA

2. Supply Chain Governance

3. Bayesian Best Worst Approach

و ایمنی برترین معیارها هستند. خریدار و پویا (۱۳۹۵) به شناسایی خوشه‌ها، ابعاد و مؤلفه‌های انتخاب تأمین‌کننده برای شرکت‌های کاشی و سرامیک در ایران پرداختند. نتایج نشان داد استراتژی‌های غالب مورد استفاده شرکت‌های کاشی و سرامیک ایرانی برای انتخاب تأمین‌کننده مناسب، روی دو بُعد «تکنولوژی - کیفیت» و «هزینه» قابل ارائه است.



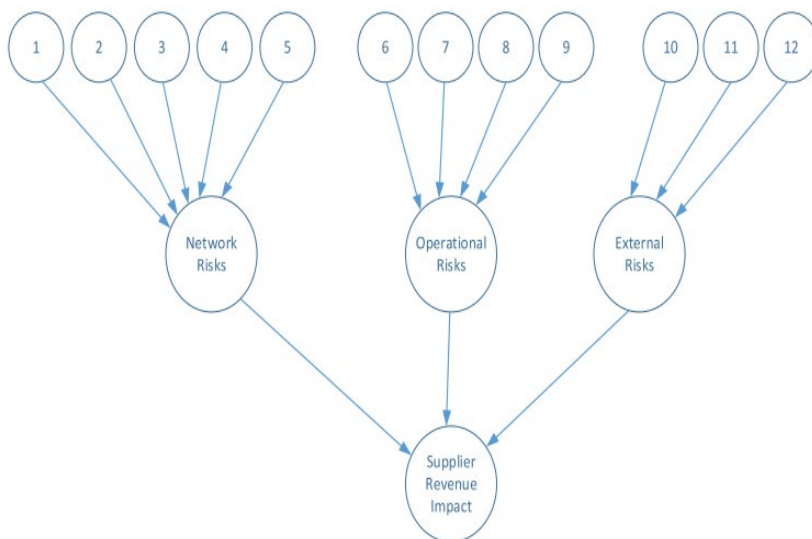
شکل ۲- نویسندگان مطرح در حوزه تأمین‌کننده تاب آور.

با توجه به مرور ادبیات انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که اختلالاتی مانند جنگ، تحریم، تورم و پاندمی و تأثیر آنها در تشدید اختلالات زنجیره با اثر متقابل در ابتدای زنجیره بر تأمین‌کنندگان و تولیدکننده و همچنین بر تقاضا در انتهای زنجیره یا به‌طور کلی اثر موجی آنها مورد بررسی قرار نگرفته است. از طرفی مدل‌های ریاضی کمی برای انتخاب تأمین‌کننده تاب‌آور و تخصیص سفارش بهینه، بسیار محدود است و غالباً از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شده است. همچنین در مدل‌های ریاضی نرخ تورم در مدل وجود ندارد. بر اساس دانش ما در ادبیات موضوع، مفهوم تعریف سطح تاب‌آوری تأمین‌کنندگان و مشارکت و اتحاد تأمین‌کننده و تولیدکننده بر اساس قیمت سطح تاب‌آوری برای افزایش آن وجود ندارد و برای اولین بار در این مقاله مطابق بخش ۳-۱ تعریف شده است. شکل (۲) شبکه ارتباطی کارهای انجام شده توسط نویسندگان مطرح در زمینه انتخاب تأمین‌کننده تاب‌آور را نشان می‌دهد.

۳. بیان مسئله و مدل سازی

حسینی و همکاران (۲۰۲۰) در مقاله مروری بیان می‌کنند یک شکاف تحقیقاتی عمده در زمینه مدیریت ریسک SC، تأثیر وابستگی متقابل ریسک‌های مختلف بر عملکرد SC است. بنابراین به منظور بررسی انتشار ریسک و اختلال علاوه بر بررسی نوع و ماهیت ریسک‌ها و اختلالات، نحوه اثر آن‌ها بر روی اجزای زنجیره نیز با مدل‌های مفهومی و ساختاری مورد مطالعه قرار می‌گیرد. بنابراین هم ماهیت و نوع ریسک از درجه اهمیت برخوردار است هم شبکه ارتباطی مسئله و تأثیر وابستگی‌ها برای ایجاد مدل مفهومی و ساختاری بسیار اهمیت دارد. حسینی و همکاران (۲۰۲۰)، در یک مقاله مروری به بررسی کارهای صورت گرفته در حوزه تاب‌آوری و اثر امواج با شبکه‌های بیزی پرداخته‌اند. آن‌ها در مقاله خود به این نکته اشاره می‌کنند که «آسیب پذیری و قابلیت بازبایی SC‌ها به عوامل زیادی مانند پیچیدگی و ساختار آن‌ها بستگی دارد». این اختلالات می‌تواند از ابتدای زنجیره تأمین شروع شود و از تأمین به تولید و از تولید به توزیع و در نهایت به مشتری منتقل گردد و باعث ایجاد نارضایتی در مشتری گردد. از طرفی همین اختلالات مطرح شده در ابتدای شبکه می‌توانند به طور مستقیم و فارغ از تأثیر آن در طول شبکه در انتهای شبکه نیز تأثیر گذاشته و در نیاز و علاقه مشتری نیز تغییر ایجاد کنند و میزان تقاضا را افزایش یا کاهش دهند که همین تغییر تقاضا می‌تواند ریسک دیگری را به شبکه وارد نمایند و در نهایت منجر به نارضایتی بیشتر مشتری گردد. بنابراین درک و تعریف مناسب همین مفهوم و ساختار شبکه بسیار با اهمیت است و نوع مدل‌سازی برای مقابله با ریسک‌ها را بسیار سخت و پیچیده می‌کند که در این مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل (۳) یک مدل متداول در بین کارهای صورت گرفته تا کنون است. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید هر یک از عوامل اختلال به طور مستقل بر تولیدکننده اثر می‌گذارند. اما همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است فرض می‌شود که اختلالات علاوه بر اینکه به طور مستقیم بر روی تأمین‌کننده‌ها تأثیر می‌گذارند، می‌توانند بر سایر عوامل هم تأثیر گذار باشند یا حتی اختلالات ابتدای زنجیره می‌توانند بر تقاضا یا مشتری که در انتهای زنجیره است تأثیر گذار باشند. همان‌طور که در شکل (۴) مشخص است تحریم می‌تواند باعث ایجاد تورم شود. از طرفی جنگ هم می‌تواند باعث ایجاد تورم شود. اگر جنگ شروع شود تحریم‌های یک کشور بیشتر هم می‌شود. شیوع بیماری‌ها موجب کمبود مواد اولیه و ایجاد تورم می‌شود و تقاضا برای یک محصول پزشکی یا درمانی را می‌تواند به شدت افزایش دهد. بنابراین

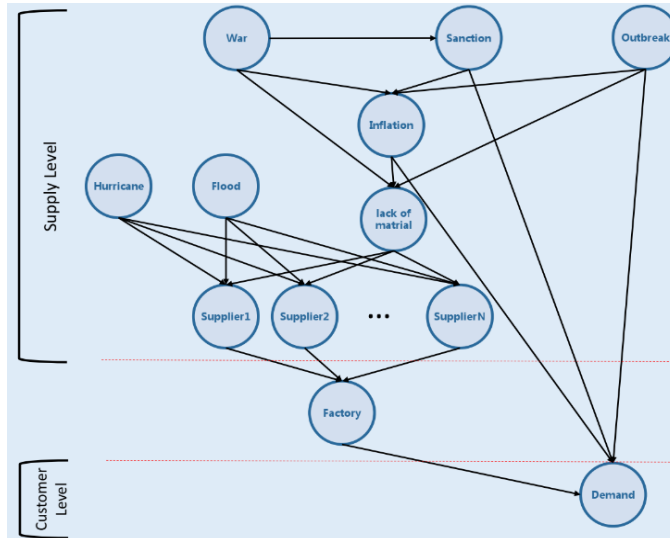
در این مقاله علاوه بر اینکه اختلالات مستقل در نظر گرفته می‌شود، وابستگی بین آن‌ها نیز مورد مطالعه قرار می‌گیرد. علاوه بر اینها هر تأمین‌کننده با توجه به منطقه جغرافیایی که در آن حضور دارد می‌تواند شرایط خاصی داشته باشد.



شکل ۳- مدل ساختاری ریسک‌های مقالات گذشته^۱

برای این منظور حداقل فاصله برای تأمین‌کنندگان در نظر می‌گیرند و در صورتی که تأمین‌کننده‌ای کمتر از حداقل فاصله باشد از لیست تأمین‌کنندگان مورد بررسی حذف می‌شود. بر همین اساس در صورت وقوع هر یک از اختلالات طبیعی برای یک تأمین‌کننده احتمال اینکه همه تأمین‌کنندگان از دسترس خارج شوند بسیار کاهش می‌یابد. با توجه به مطالب گفته شده، همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌کنید تأمین‌کننده ۴ به دلیل اینکه در داخل شعاع حداقل فاصله قرار دارد از لیست تأمین‌کنندگان حذف می‌شود. از طرفی این پراکندگی تأمین‌کنندگان می‌تواند هزینه‌های حمل و نقل را به شدت افزایش دهد. بنابراین برقراری تعادل بین افزایش فاصله تأمین‌کنندگان و در عین حال کاهش هزینه‌های حمل و نقل و انتخاب تأمین‌کننده ارزان‌تر بسیار مهم است. بر

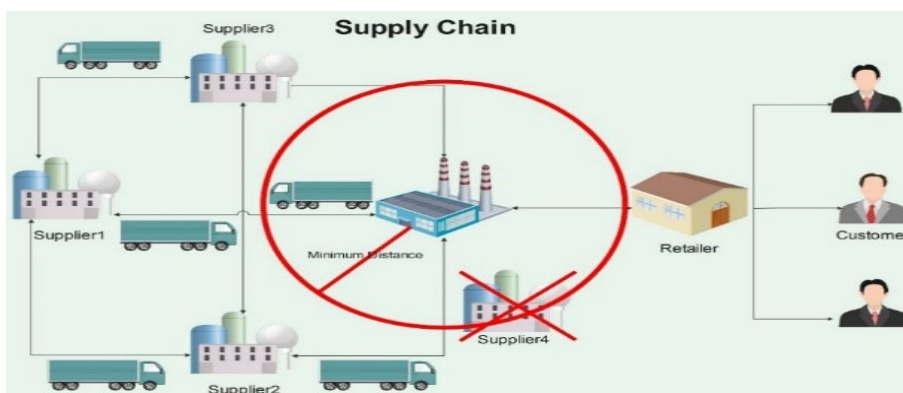
این اساس مسئله این است که ما یک زنجیره تأمین سه سطحی داریم. زنجیره تأمین در معرض اختلالات داخلی مانند تورم، کمبود مواد اولیه و پاندمی، اختلالات خارجی مانند جنگ و تحریم، اختلالات طبیعی مانند زلزله و سیل قرار دارد. اختلالات خارجی می‌توانند بر یکدیگر و روی اختلالات داخلی شکل (۴) اثر گذار باشند.



شکل ۴- مدل ساختاری مورد بررسی در این مقاله.

میزان تأثیر آن‌ها با استفاده از شبکه بیزی مدل‌سازی و حل می‌شود. خریدار به دنبال سفارش کالا از تأمین‌کننده با تاب‌آوری بالاتر در ازای هزینه کمتر است. برای این منظور تأمین‌کننده یک مقدار ثابت برای افزایش تاب‌آوری پیشنهاد نمی‌دهد بلکه سطوح تاب‌آوری که بر اساس میزان سفارش خریدار افزایش پیدا می‌کند ارائه می‌دهد. به این معنی که اگر خریدار سفارش بیشتری بدهد برای تأمین این میزان در شرایط وقوع اختلال باید اقدامات بیشتری و پر هزینه‌تری انجام شود، پس این هزینه روی قیمت کالا خود را نشان می‌دهد. قیمت کالا در این شرایط با افزایش مقدار سفارش بیشتر می‌شود. بر این اساس با زیاد شدن سطح تاب‌آوری تأمین‌کننده هزینه کالای سفارش داده شده در سطح بالاتر هم افزایش می‌یابد. تقاضا به دو صورت در نظر گرفته می‌شود. نوع اول تقاضایی است که در ابتدای دوره برنامه‌ریزی با توجه به نرخ تورم پیش‌بینی می‌شود. نوع

دوم به وسیله مدل‌سازی در شبکه بیزی پس از وقوع اختلالات در سناریوهای مختلف به دست می‌آید. تقاضای نوع اول به وسیله قیمت پیشنهادی کالا در حالت عادی سفارش‌دهی می‌شود. تقاضای نوع دوم چون با وقوع اختلال ایجاد می‌شود بر اساس قیمت کالا در سطوح تاب‌آوری که توضیح داده شد سفارش‌دهی می‌گردد. برای کاهش هزینه‌های حمل و نقل و افزایش تاب‌آوری می‌توان بیش از تقاضای هر دوره سفارش داد و کالای اضافی را در انبار نگهداری کرد. برای افزایش رضایت مشتری سطح سرویس‌دهی تعریف می‌کنیم.



شکل ۵- نمایش حداقل فاصله بین تأمین‌کنندگان.

این سطح سرویس‌دهی برای تقاضای نوع دوم که بر اثر وقوع اختلالات ایجاد می‌شود لحاظ می‌گردد و در صورت عدم ارضاء تقاضا جریمه در نظر می‌گیریم. چون این جریمه از جنس هزینه است، مدل سعی در کاهش تقاضای ارضا نشده دارد و در نتیجه به صورت ضمنی رضایت مشتری افزایش می‌یابد. بنابراین با افزایش جریمه، رضایت مشتری بیشینه می‌شود. برای افزایش تاب‌آوری به دنبال افزایش پراکندگی تأمین‌کنندگان هستیم. از طرفی این افزایش پراکندگی باعث افزایش هزینه‌های حمل و نقل می‌شود. باید با حفظ پراکندگی، تأمین‌کنندگانی را انتخاب کنیم که علاوه بر اینکه در مناطق جغرافیایی مختلفی قرار دارند با توجه به قیمت و هزینه حمل و نقل مناسب کمترین هزینه کل را ایجاد نمایند. بنابراین به دنبال پاسخ به این سوالات هستیم: ۱- اختلالات ابتدای زنجیره تا چه میزان می‌توانند بر روی تأمین‌کنندگان، تولیدکننده و تقاضا

تأثیرگذار باشد؟ ۲- در هر دوره با توجه به هزینه‌های سطح تاب‌آوری، قیمت پیشنهادی کالا، هزینه حمل و نقل، هزینه‌های نگهداری و اختلال و... به کدام تأمین‌کننده سفارش دهیم؟ ۳- چگونه از بین افزایش فاصله تأمین‌کنندگان برای افزایش تاب‌آوری و انتخاب تأمین‌کننده نزدیکتر برای کاهش هزینه حمل و نقل تعادل برقرار کنیم؟ ۴- با توجه به هزینه عدم ارضای کالا، سطح رضایت مشتری یا سطح سرویس دهی چقدر است؟ ۵- در چه صورت به سطح سرویس دهی ۱۰۰٪ خواهیم رسید؟

۳-۱- سطح تاب‌آوری

ترابی و همکاران (۲۰۱۵) برای تقویت تأمین‌کنندگان در برابر اختلالات قطعی برق، سیل، زلزله و آتش‌سوزی، سطح استحکامات در نظر گرفتند. آن‌ها چهار سطح را معرفی می‌کنند: سطح یک نشان‌دهنده خرید مولد برق یدکی کافی است. سطح دو بازسازی ساختمان تأمین‌کننده با بودجه A، سطح سه خرید ژنراتور برق و بازسازی ساختمان تأمین‌کننده با بودجه A است. سطح چهار بازسازی ساختمان تأمین‌کننده با بودجه $A < B$ است. هر کدام از این سطوح می‌تواند بخشی از ظرفیت تأمین‌کننده را در صورت وقوع اختلال حفظ کند بجز سطح یک و سه که در صورت قطعی برق ظرفیت تأمین‌کننده به دلیل خرید ژنراتور برق به طور ۱۰۰ درصد حفظ می‌شود. به نظر می‌رسد این روش در دنیای واقعی کاربردی نداشته باشد یا حداقل کاربرد کمی داشته باشد چرا که ممکن است با تأمین‌کننده برای مدت محدودی بخواهیم کار کنیم یا با توجه به قیمت و هزینه حمل و نقل، قصد خرید تعداد کمی کالا را داشته باشیم. لذا برای واقعی‌تر کردن مسئله سطح تاب‌آوری برای تأمین‌کنندگان در نظرمی‌گیریم. به این معنی که تأمین‌کنندگان برای تاب‌آور کردن خودشان باید هزینه کنند. این هزینه بر روی تعداد کالایی که خریداری می‌شود سر شکن می‌شود. هرچه تعداد کالای سفارش داده شده بیشتر باشد تأمین‌کننده برای تاب‌آور کردن خود باید زیر ساخت بیشتری را آماده‌سازی کند. این امر مستلزم هزینه بیشتر برای مقاوم‌سازی ساختمان، خرید ماشین‌آلات بیشتر، گسترش فضای کارخانه، خرید دستگاه ژنراتور برق و... می‌باشد. در این شرایط خریدار یا تولیدکننده با توجه به تقاضای خود و اهمیت تاب‌آوری تأمین‌کنندگان، در افزایش سطح تاب‌آوری تأمین‌کنندگان مشارکت و همکاری می‌نماید. نتیجه این بازی برد-برد تاب‌آور شدن تأمین‌کنندگان و به‌طور کلی زنجیره تأمین و افزایش سطح رضایت

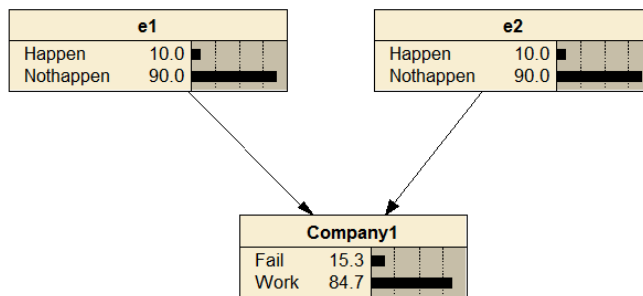
مشتری است. برای نمونه تأمین‌کننده‌ای برای خرید [۱,۱۰۰۰] کالا قیمت محصول خود را ۱۰۰ واحد پولی در نظر می‌گیرد. در صورتی که خریدار تعداد کالای بیشتری بخواهد و سفارش او در بازه [۲۰۰۰,۱۰۰۰] قرار داشته باشد قیمت هر واحد کالا به ۱۲۰ واحد پولی افزایش می‌یابد و همینطور برای تعداد کالای بیشتر قیمت افزایش پیدا می‌کند. ما در این مقاله برای اولین بار این مفهوم را تحت عنوان سطوح تاب‌آوری در نظر می‌گیریم. بنابراین انتخاب سطح بالاتری از تاب‌آوری تأمین‌کننده به معنی افزایش تاب‌آوری تأمین‌کننده و در نهایت افزایش تاب‌آوری زنجیره تأمین است.

۳-۲. شبکه‌های بیزی در مدل‌سازی ساختاری:

شبکه‌های بیزی روشی بسیار قوی برای به تصویر کشیدن ارتباطات و تصمیم‌گیری بر اساس اطلاعات موجود هستند. BNها برای مدل‌سازی عدم قطعیت با تعیین توزیع احتمال مفید هستند. BN می‌تواند اطلاعات متخصصین از گذشته را ترکیب کند و اجازه استنتاج حتی با اطلاعات محدود را می‌دهد. یک شبکه بیز از تعدادی متغیر تصادفی به همراه روابطی که بین این متغیرها وجود دارد تشکیل شده است؛ که البته به ازای هر متغیر تصادفی جدولی از احتمالات شرطی نیز نگهداری می‌شود. فهم مجموعه داده‌هایی که حاوی تعداد زیادی متغیر وابسته به هم می‌باشند کاری دشوار و یا حتی غیر ممکن به نظر می‌رسد. بنابراین به منظور ساده‌سازی فهم سیستم، مدل‌های گرافیکی مختلفی توسعه یافته است تا بتوانند ارتباطات بین متغیرها را به گونه‌ای خلاصه و در قالب یک گراف نمایش دهند. در بین اینگونه مدل‌ها، شبکه‌های بیزی در دهه‌های اخیر به صورت گسترده و در زمینه‌های مختلفی به کار گرفته شده است. لذا با توجه به مدل مفهومی ارائه شده در بخش‌های قبل مدل شبکه بیزی را ایجاد می‌کنیم. برای حل مدل شبکه بیزی از نرم افزار Netica استفاده می‌کنیم. یکی از مشکلات شبکه‌های بیزی زمانی ایجاد می‌شود که یک گره فرزند چندین والد داشته باشد. برای حل این مشکل از عمگر Noisy-OR استفاده می‌کنیم که در ادامه توضیح می‌دهیم.

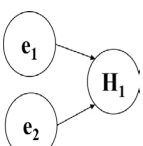
۳-۳. مدل Noisy-OR:

اگر یک تأمین‌کننده با دو رویداد اختلال داشته باشیم باید ۲۳ احتمال در جدول احتمال شرطی^۱ (CPT) وارد کنیم. یا برای یک تأمین‌کننده با هفت رویداد اختلال باید ۲۸ احتمال وارد کنیم که کاری بسیار سخت و پیچیده است. برای حل این مشکل از Noisy-OR استفاده می‌شود. Noisy-OR، یکی از عملگرهای قدرتمند در مدل‌سازی و استنتاج احتمالی است که در وضعیت‌های پیچیده و پرحجم محاسباتی کاربرد دارد. در برخی موارد که تکمیل CPTها زمانبر و سنگین باشد، این عملگر به ما اجازه می‌دهد تا به سرعت وضعیت مطلوب را مدل کنیم. این روش تعداد پارامترهای لازم برای محاسبه n گره را از 2^n به $n+1$ کاهش می‌دهد. بنابراین به راحتی می‌توان اختلالات تأمین‌کنندگان را با این روش محاسبه کرد. برای مثال تأمین‌کننده‌ای را در نظر بگیرید که با دو رویداد اختلال (مانند آتش سوزی و زلزله) می‌تواند تحت تأثیر قرار بگیرد. سه حالت در نظر می‌گیریم: ۱- احتمال اینکه رویداد اختلال e_j (گره j) باعث اختلال در تأمین‌کننده i (گره H_i) شود برابر $\beta_{H_i|e_j}$ است. ۲- احتمال مختل شدن تأمین‌کننده i بدون رخ دادن اختلالات آتش سوزی و زلزله برابر α_{H_i} است. ۳- احتمال حاشیه‌ای مختل شدن گره H_i را با F_{H_i} نشان می‌دهیم. حال فرض کنید تأمین‌کننده ۱ تحت تأثیر دو اختلال e_1 و e_2 است. احتمال اختلال تأمین‌کننده ۱ بر اثر وقوع هر یک از اختلالات ۳۰ درصد است یعنی $\beta_{H_1|e_1} = \beta_{H_1|e_2} = 30\%$. احتمالات مستقل ۱۰ درصد در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۶- مدل‌سازی احتمالی اختلال یک تأمین‌کننده با تأثیر از دو رویداد مختل‌کننده.

جدول ۱- محاسبه احتمال اختلال تأمین‌کننده تحت تأثیر دو رویداد اختلال.

Network	States	$P(H_1 u_i)$	$P(u_i)$
	$U1=\{\sim e1, \sim e2\}$	$\alpha_{H_1} = 10\%$	$(1 - \alpha_1)(1 - \alpha_2) = 0.81$
	$U2=\{\sim e1, e2\}$	$1 - (1 - \alpha_{H_1})(1 - \beta_{H_1 e_2}) = 0.37$	$(1 - \alpha_1)\alpha_2 = 0.09$
	$U3=\{e1, \sim e2\}$	$1 - (1 - \alpha_{H_1})(1 - \beta_{H_1 e_1}) = 0.37$	$\alpha_1(1 - \alpha_2) = 0.09$
	$U4=\{e1, e2\}$	$1 - (1 - \alpha_{H_1})(1 - \beta_{H_1 e_2})(1 - \beta_{H_1 e_1}) = 0.559$	$\alpha_1\alpha_2 = .01$

$$F_{H_1} = \sum_{\forall u_i} P(H_1|u_i)P(u_i) \approx .15319$$

یعنی $\alpha_{e_1} = \alpha_{e_2} = 10\%$. همچنین احتمال اختلال تأمین‌کننده ۱ بدون وقوع اختلالات e_1 و e_2 برابر $\alpha_{H_1} = 10\%$ است. محاسبات در جدول ۱ نشان داده شده است. حالت U_2 نشان دهنده این است که اختلال e_1 اتفاق نیوفتد ($\sim e_1$) و اختلال e_2 اتفاق بیوفتد. مقدار F_{H_1} نشان می‌دهد احتمال اینکه تأمین‌کننده ۱ دچار اختلال شود تقریباً ۰٫۱۵۳۱ می‌باشد. این مقدار در شکل ۶ توسط نرم افزار Netica با کد نویسی معادله Noisy-OR نیز به دست آمده است.

۳-۴. ارائه مدل ریاضی مسئله

در این بخش ابتدا به بیان پارامترهای مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مسئله پرداخته می‌شود.

اندیس‌ها:

K : عدد بزرگ.

i : اندیس تأمین‌کنندگان.

متغیرهای مسئله:

E : اندیس سناریوی اختلال خارجی.

u_i : اگر تأمین‌کننده i انتخاب شود ۱، در

t : اندیس دوره برنامه‌ریزی.

غیر این صورت صفر.

m : اندیس سطوح تاب‌آوری.

W_i : تعداد اختلالات تأمین‌کننده i .

S : اندیس سناریوی اختلال داخلی.

ξ_t^S : تقاضای اضافی ایجاد شده در دوره t

بعد از وقوع اختلال تحت سناریوی S .

پارامترها:

d_{ij} : فاصله تأمین‌کننده i و j از یکدیگر.

d_T : تقاضای تعدیل شده در دوره t .

- tr_{0j} : هزینه حمل و نقل از تامین‌کننده j .
 Γ : جریمه هر واحد تقاضای برآورده نشده بعد از وقوع اختلال.
 ω : حداقل فاصله مجاز بین تامین‌کنندگان.
 h_t : هزینه نگهداری کالا در دوره t .
 ∂_t : تقاضای اولیه.
 α_0 : نرخ تورم اولیه.
 θ_j : هزینه سفارش دهی به تامین‌کننده j .
 z_{it}^s : درصد ظرفیت باقی مانده تامین‌کننده i در دوره t بعد از وقوع سناریوی اختلال s .
 Y_i : حداقل اختلال تامین‌کننده i .
 ϑ_i : تعداد اختلالاتی که برای تامین‌کننده i در دوره t اتفاق می‌افتد.
 q_{imt} : قیمت پیشنهادی تامین‌کننده i در سطح m در دوره t .
 b_{imt} : حداقل تعداد کالایی که باید از تامین‌کننده i در سطح تاب‌آوری m در دوره t باید خریداری شود.
 G_t : ظرفیت انبار در دوره t .
 φ^s : درصد تقاضای برآورده نشده در صورت وقوع اختلال تحت سناریوی s .
 ϕ_i : هزینه وقوع اختلال برای تامین‌کننده i .
 cap_{it} : ظرفیت تامین‌کننده i در دوره t .
 u_{ijt} : اگر تامین‌کننده i و j همزمان در دوره t انتخاب شوند.
متغیرهای تصمیم:
 r_{ij} : اگر تامین‌کننده i و j انتخاب شوند، i در غیر این صورت صفر.
 Ω_{it}^s : تعداد کالایی که برای تقاضای عادی از تامین‌کننده i در دوره t تحت سناریوی s خریداری شده است.
 z_{imt}^s : تعداد کالای پشتیبان که از سطح m از تامین‌کننده i در دوره t تحت سناریوی s خریداری می‌شود.
 y_{imt}^s : اگر از تامین‌کننده i در سطح m تاب‌آوری در دوره t تحت سناریوی s خرید انجام گیرد y_{imt}^s در غیر این صورت صفر.
 F_t^s : تعداد کالایی که در دوره t تحت سناریوی s از تقاضای اضافی ایجاد شده ارضا نمی‌شود.
 $Serv_t^s$: سطح سرویس‌دهی در دوره t تحت سناریوی s .
 I_t^s : تعداد کالای نگهداری شده در دوره t تحت سناریوی s .

۱-۴-۳. مدل بهینه‌سازی دو هدفه

همان‌طور که بیان شد یکی از اهداف مسئله حداکثر کردن فاصله بین تامین‌کنندگان برای در امان ماندن از ریسک‌های اختلالات طبیعی است. برای این منظور تابع هدف زیر تعریف می‌شود:

$$GS = Z_1 = \max \sum_{i=1} \sum_{j=i+1} u_i u_j d_{ij} \quad (1)$$

با توجه به اینکه تابع هدف (۱) غیر خطی است ابتدا با تغییر متغیر زیر و تعریف محدودیت های جدید، تابع هدف را خطی می کنیم:

$$r_{ij} = u_i u_j \quad (2)$$

$$Z_1 = \max \sum_{i=1} \sum_{j=i+1} r_{ij} d_{ij} \quad (3)$$

$$r_{ij} \leq u_j \quad \forall i, j \in n | i < j \quad (4)$$

$$r_{ij} \leq u_i \quad \forall i, j \in n | i < j \quad (5)$$

$$r_{ij} \geq u_i + u_j - 1 \quad \forall i, j \in n | i < j \quad (6)$$

پس از خطی سازی تابع هدف اول، مدل بهینه سازی دو هدفه برای انتخاب تأمین کننده تاب آور و تخصیص سفارش و استفاده از مسئله خریدار دوره گرد برای مسیریابی بهینه وسایل ظرفیت دار به صورت زیر ارائه می شود:

$$GS = Z_{1E} = \max \sum_{i=1} \sum_{j=i+1} r_{ij} d_{ij} \quad (7)$$

$$TC = Z_{2E} = \min \sum_s P_s \left(\sum_j \sum_t tr_{0j} u_{0jt} + \sum_s \sum_t \Gamma F_t^s + \sum_s \sum_i \sum_t p_{it} \Omega_{it}^s + \right. \quad (8)$$

$$\left. \sum_s \sum_i \sum_m \sum_t q_{imt} z_{imt}^s + \sum_s \sum_t h_t I_t^s \right) + \sum_i \sum_j \sum_t \theta_j u_{0jt} + \sum_i w_i \phi_i$$

توابع هدف: مسئله شامل دو تابع هدف است. معادله (۷) تابع هدف اول که فاصله بین تأمین کنندگان و پراکندگی جغرافیایی تأمین کنندگان است را حداکثر می کند. معادله (۸) تابع هدف دوم است که هزینه های حمل و نقل، خرید، اختلالات و نگهداری را حداقل می کند. بخش اول در جهت کاهش هزینه های حمل و نقل است. بخش دوم تعداد کالایی که از تقاضای اضافی ارضا نمی شود را حداقل می کند به عبارتی این بخش به صورت ضمنی سطح رضایت مشتری را حداکثر می کند. بخش سوم هزینه خرید تقاضای عادی را لحاظ می کند. بخش چهارم هزینه خرید برای تقاضای مختل شده را محاسبه می کند. بخش پنجم و ششم هزینه های سفارش دهی و نگهداری را حداقل می کنند. بخش هفتم هزینه های اختلال است.

۲-۴-۳. محدودیت‌ها

$$r_{ij} \leq u_j \quad \forall i, j \in n | i < j \quad (9)$$

$$r_{ij} \leq u_i \quad \forall i, j \in n | i < j \quad (10)$$

$$r_{ij} \geq u_i + u_j - 1 \quad \forall i, j \in n | i < j \quad (11)$$

$$\varpi \leq d_{ij}(1 + M(1 - u_i) + M(1 - u_j)) \quad \forall i, j \in n | i < j \quad (12)$$

$$w_i \geq Y_i \quad \forall i \quad (13)$$

$$d_T = e^{2\alpha_0} \partial_t \quad \forall t \quad (14)$$

$$\sum_i \Omega_{it}^s \geq d_T \quad \forall t, s \quad (15)$$

$$\xi_t^s = d_t * (1 + \varphi^s) \quad \forall t, s \quad (16)$$

$$\xi_t^s - \sum_i \sum_m Z_{imt}^s = F_t^s \quad \forall t, s \quad (17)$$

$$I_t^s = I_{t-1}^s + \sum_i \sum_m z_{imt}^s + \sum_i \Omega_{it}^s - \xi_t^s - d_t \quad \forall t, s \quad (18)$$

$$b_{imt} y_{imt}^s \leq z_{imt}^s \leq b_{i,m+1,t} y_{imt}^s \quad \forall i, m, t, s \quad (19)$$

$$I_t^s \leq G_t \quad \forall t, s \quad (20)$$

$$z_{imt}^s \geq y_{imt}^s \quad \forall i, m, t, s \quad (21)$$

$$\Omega_{it}^s \leq \tau_{it}^s cap_{it} \quad \forall i, t, s \quad (22)$$

$$\sum_m y_{imt}^s \leq 1 \quad \forall i, t, s \quad (23)$$

$$\sum_i \sum_m \sum_t y_{imt}^s \geq 1 \quad \forall s \quad (24)$$

$$\Omega_{it}^s \leq M u_{0jt} \quad \forall i, j, t, s \quad (25)$$

$$r_{ji} \leq u_{0jt} \quad \forall i, j, t \quad (26)$$

$$\sum_i u_{ijt} \leq r_{0jt} \quad \forall j, t \quad (27)$$

$$\sum_i u_{jit} \leq r_{0j} \quad \forall j, t \quad (28)$$

$$u_{0jt} \leq r_{0j} \quad \forall i, j, t \quad (29)$$

$$\sum_m y_{imt}^s \leq u_{0it} \quad \forall i, t, s \quad (30)$$

$$I_t \geq 0 \quad (31)$$

$$z_{imt}^s, \Omega_{it}^s, \xi_t^s, F_t^s, d_T, I_t^s \in Integer \quad (32)$$

$$y_{imt}^s, r_{ij}, u_i \in \{0, 1\} \quad (33)$$

محدودیت (۹) تا (۱۱) برای خطی سازی تابع هدف اول است. محدودیت (۱۲) حداقل فاصله مجاز برای تأمین کنندگان را رعایت می کند. محدودیت (۱۳) حداقل اختلالات تأمین کنندگان را مشخص می کند. محدودیت (۱۴) تقاضای جدید را بر اساس نرخ تورم در هر دوره محاسبه می کند. محدودیت (۱۵) مشخص می کند تعداد کالای خریداری شده در هر دوره باید از تقاضای دوره بیشتر باشد. محدودیت (۱۶) تقاضای اضافی ایجاد شده را محاسبه می کند. محدودیت (۱۷) تقاضای اضافی برآورده نشده را در هر دوره مشخص می کند. محدودیت (۱۸) موجودی انبار در هر دوره را تعیین می کند. محدودیت (۱۹) مدل را به انتخاب یکی از سطوح تاب آوری در هر دوره برای تأمین کننده محدود می کند. محدودیت (۲۰) حداکثر ظرفیت انبار را در نظر می گیرد. محدودیت (۲۱) مشخص می کند فقط در صورتی یک سطح تاب آوری فعال شود که از آن سطح خرید انجام شود. محدودیت (۲۲) بیان می کند به اندازه حداکثر ظرفیت تأمین کننده بعد از وقوع اختلال در هر دوره می توان خرید کرد. محدودیت (۲۳) بیان می کند در هر دوره فقط از یک سطح تاب آوری تأمین کننده می توان خرید کرد. محدودیت (۲۴) بیان می کند در هر دوره های مختلف حداقل یکبار باید از یکی از سطوح تاب آوری تأمین کنندگان خرید انجام شود. محدودیت های (۲۵) تا (۲۹) مشخص می کنند در صورتی از تأمین کننده i می توان خرید کرد که یا به طور مستقیم از دپوی کارخانه به آن مراجعه کنیم یا بعد از عبور از تأمین کننده j به آن مراجعه کرده باشیم به عبارتی مسیری برای خرید در نظر گرفته باشیم. محدودیت (۳۰) خرید از سطوح مختلف تأمین کننده را به انتخاب آن تأمین کننده محدود می کند. محدودیت های (۳۱)

تا (۳۳) نوع متغیرهای مسئله را مشخص می‌کند. همچنین سطح سرویس دهی به صورت ضمنی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$Serv_t^s = \frac{F_t^s}{\xi_t^s} \quad \forall t, s \quad (34)$$

با توجه به اینکه رابطه (۳۴) غیرخطی است نمی‌توان در مدل از آن استفاده کرد، اما با در نظرگرفتن اینکه مخارج کسر یکی از متغیرهای مشخص مسئله است که براساس ورودی اولیه در مدل محاسبه می‌شود و همیشه ثابت است و صورت کسر هم متناسب با تابع هدف تغییر می‌کند، بنابراین سطح سرویس دهی را می‌توان به صورت ضمنی محاسبه کرد.

در مواجهه با مدل دو هدفه ارائه شده در این مقاله باید مراحل زیر طی شود. (۱) با استفاده از روش اسپیلون محدودیت توسعه یافته^۱، تابع هدف دو هدفه را تک هدفه و حل کنیم. (۲) کاهش سناریوها: در مسئله مورد بررسی در این مقاله دو نوع سناریو وجود دارد. سناریوی اول مربوط به اختلالات بیرونی است و دیگری مربوط به اختلالات محیطی و ریسک‌های طبیعی پیرامون تأمین‌کنندگان است که می‌تواند حالت‌های بسیار زیاد و بی‌شماری را ایجاد کند و در نتیجه محاسبات پیچیده و زمانبری را نیاز دارد. ما برای حل این مشکل از دو روش کاهش سناریو استفاده کرده‌ایم که شامل روش سناریوسازی و استفاده از روش c-میانگین فازی است.

۳-۵. حل مدل دو هدفه

مدل طراحی شده در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط عدد صحیح دو هدفه است. با توجه به دو هدفه بودن مدل راه حل مناسبی که همه اهداف را به‌طور همزمان در سطح بهینه نگه دارد وجود ندارد. بنابراین در اینگونه مسائل به دنبال جوابی کارا هستیم. بر این اساس، در مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه، مفهوم کارایی یا بهینگی پارتو جایگزین مفهوم بهینگی می‌شود. پاسخ بهینه پارتو پاسخی است که برای بهبود یک تابع هدف باید سایر توابع هدف از بهینگی خارج شده یا به عبارتی بهینگی سایر توابع هدف کاهش یابد. برای حل اینگونه مسائل توابع هدف را به یک تابع هدف تبدیل می‌کنند. روش‌های زیادی برای تک هدفه کردن مسئله وجود دارد مانند: مجموع وزنی، برنامه‌ریزی آرمانی، لکسیکوگرافی و اسپیلون محدودیت توسعه

یافته. در میان روش‌های مطرح شده روش اپسیلون محدودیت توسعه یافته یکی از بهترین روش‌ها برای حل اینگونه مسائل است. در این روش ابتدا هر یک از توابع هدف به صورت جداگانه به عنوان تابع هدف مسئله در نظر گرفته می‌شوند و سایر توابع به حد بالای اپسیلون محدود شده و جواب بهینه برای آن تابع هدف به دست می‌آید:

$$\min f_1(x)$$

$$\begin{cases} f_i(x) \leq \varepsilon_i & i = 2, 3, \dots, n \\ AX \leq B \\ x \in X \end{cases}$$

همین کار برای همه توابع هدف تکرار می‌شود و بهترین و بدترین مقدار محاسبه می‌شود و بازه تغییرات همه توابع هدف محاسبه می‌گردد. سپس تابع هدف اصلی مسئله را به عنوان تابع هدف مدل در نظر گرفته و دامنه تغییرات سایر توابع هدف را به تعداد دلخواه k نقطه جواب پارتو تقسیم می‌کنیم. با توجه به فرمول زیر یک جدول برای مقادیر اپسیلون به دست می‌آید:

$$r_i = f_i^{\max} - f_i^{\min}$$

$$\varepsilon_i = f_i^{\max} - \frac{r_i}{k} * l, l = 1, \dots, k$$

سپس محدودیت‌های مربوط به توابع هدف فرعی با استفاده از متغیرهای کمبود یا مازاد به صورت مساوی تبدیل می‌شوند و یک ضریب δ بین ۳-۱۰ و ۶-۱۰ برای این متغیرها در نظر گرفته می‌شود:

$$\begin{cases} \min (f_1(x) + \delta(s_2 + s_3 + \dots + s_n)) \\ f_i(x) = \varepsilon_i - s_i & i = 2, 3, \dots, n \\ AX \leq B \\ x \in X, s_i \in R^+ \end{cases}$$

هر بار با در نظر گرفتن مقادیر ε_i مدل با تابع هدف اصلی مسئله حل می‌شود و جواب‌های پارتو گزارش می‌شود.

۳-۶. گام اول کاهش سناریوی خارجی با استفاده از سناریو سازی:

۳-۶-۱. روش تحلیلی متوازن اثرات متقابل^۱ CIB

در برنامه‌ریزی سناریویی روش‌های کمی و کیفی مختلفی از جمله تحلیل اثرات متقابل، تحلیل اثرات روندها^۲ و نقشه شناختی فازی^۳ مورد استفاده قرار می‌گیرند. در پژوهش حاضر برای سناریونویسی از روش تحلیل متوازن اثرات متقابل استفاده می‌شود. روش اثرات متقابل در سال ۱۹۶۶ به وسیله گوردون و هلمر معرفی شد و پس از آن به‌طور گسترده به‌عنوان یکی از روش‌های آینده‌پژوهی مورد استفاده قرار گرفت. تکنیک‌های روش اثرات متقابل برای شناسایی زنجیرهای مهم از احتمال وقوع رخدادهای محتمل و میزان اثر هر یک از رخدادهای احتمالی بر احتمال وقوع سایر رخدادهای مورد استفاده قرار می‌گیرد. این تکنیک به تدریج مدلی نیاز دارد که در آن ارتباطات علت و معلولی بین تعداد مهمی از روندها یا رخدادهای توصیف شود. در این روش یک ماتریس برای اثرات متقابل رسم شده و در آن اثرات هر عامل یا روند بر سایر عوامل و روندها شناسایی خواهد شد^۴. روش تحلیل متوازن اثرات متقابل در سال ۲۰۰۱ برای غلبه بر برخی مشکلات عملی روش اثرات متقابل به وجود آمد. این روش در پروژه‌های سناریوسازی مرتبط با زمینه‌های مختلف مانند سیاست، تکنولوژی، محیط‌زیست و ... مورد استفاده قرار گرفته است. روش CIB ابزاری ساده را برای انجام یک ارزیابی در سیستم‌های چند رشته‌ای ارائه می‌دهد تا از این طریق سناریوهای سازگار با وضعیت سیستم را تشکیل دهد. کارشناسان و صاحب‌نظران در یک زمینه خاص باید در این مورد نظر بدهند که وقوع وضعیتی خاص برای متغیرهای یک سیستم تا چه حد موجب ترقی یا محدودیت برای متغیرهای سیستم دیگر خواهد شد. در واقع این کارشناسان تمامی اثرات متقابل موجود در یک سیستم را که در ماتریس اثرات متقابل گردآوری شده به‌صورت دوجه دو مورد قضاوت قرار می‌دهند. ارزیابی روابط بین عوامل معمولاً در یک مقیاس از اعداد صحیح بوده که در آن ارزش‌های مثبت برای اثرات مستقیم ارتقادهنده و ارزش‌های منفی برای اثرات مستقیم محدودکننده در نظر گرفته می‌شوند. ضمن اینکه پردازش این ارزش‌های عددی به وسیله یک نرم‌افزار به نام سناریو ویزارد انجام خواهد گرفت.

1. Cross Impact Balance Analysis

2. Trend Impact Analysis (TIA)

3. Fuzzy Cognitive Maps (FCM)

۳-۶-۲. تعریف سناریوهای خارجی

در سال‌های ۹۷ به بعد اختلالاتی مانند جنگ و تحریم و تورم به شدت در کشور ما نمود پیدا کرد و همزمان با خروج امریکا از برجام تحریم‌ها بیشتر و تورم افزایش پیدا کرد و احتمال وقوع جنگ زیاد شد و از طرفی از اواخر سال ۹۸ با شیوع کرونا معضل دیگری در کشور و جهان اتفاق افتاد به همین دلیل چهار اختلال جنگ، تحریم، تورم و شیوع بیماری در این مقاله در نظر گرفته شده است. برای هر یک از اختلالات سه سطح زیاد، متوسط و کم در نظر گرفته ایم. با توجه به اینکه چهار اختلال و سه سطح داریم، بنابراین ۳۴ یعنی ۸۱ سناریو می‌توان تعریف کرد، ولی تعداد سناریوها را با استفاده از نرم افزار سناریو ویزارد و براساس امتیازات خبرگان که شامل یک دکتری علوم سیاسی، دو دکتری مهندسی صنایع، یک دکتری مدیریت بودند، به سه سناریو کاهش دادیم. سناریوهای نهایی به دست آمده در شکل (۷) نشان داده شده است و به صورت زیر تعریف می‌شود:

- سناریوی اول: احتمال وقوع تحریم، تورم و شیوع بیماری بالا ولی جنگ پایین است.
- سناریوی دوم: احتمال وقوع تحریم، تورم بالا و شیوع بیماری متوسط و جنگ پایین است.
- سناریوی سوم: احتمال وقوع تحریم، تورم بالا و شیوع بیماری پایین و جنگ پایین است.

این سه سناریو را به عنوان سناریوهای کلی نام گذاری می‌کنیم که به صورت مجزا در ترکیب با سناریوی اختلالات داخلی در نظر گرفته می‌شود. ما معتقدیم نرخ تورم می‌تواند بر مقدار تقاضا اثر گذار باشد لذا برای تعیین تقاضا از تأثیر نرخ تورم در مدل ریاضی ارائه شده استفاده می‌کنیم که یکی از جنبه‌های مدل پیشنهادی است. برای این منظور داده‌های ۳۸ سال گذشته نرخ تورم ایران مورد استفاده قرار گرفته است. این داده‌ها از بانک مرکزی ایران دریافت شده است. همان‌طور که در شکل (۸) مشاهده می‌کنید تست نرمال بودن داده‌ها نشان می‌دهد داده‌های نرخ تورم ۳۸ سال گذشته از توزیع نرمال پیروی می‌کنند.

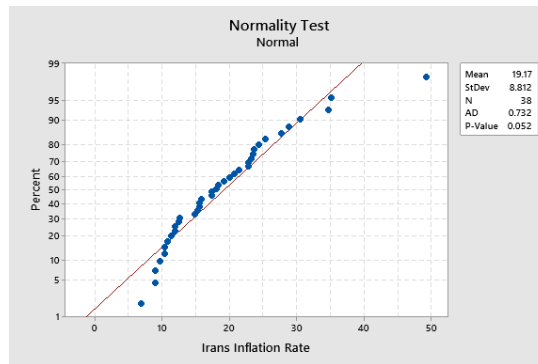
۳-۷. گام دوم کاهش سناریوی داخلی

سناریوهای اختلال در مدل ارائه شده با افزایش تعداد تأمین‌کنندگان به صورت نمایی افزایش پیدا می‌کنند. برای نمونه اگر ۱۰ تأمین‌کننده داشته باشیم و هر یک دو حالت کارکرد و شکست

داشته باشند، در این صورت ۲۱۰ سناریوی اختلال خواهیم داشت. اگر ۴۰ تأمین‌کننده داشته باشیم ۲۴۰ سناریوی اختلال داریم. بنابراین این حجم از محاسبات بسیار دست و پاگیر و دشوار است. برای این منظور از روش‌های کاهش سناریو مانند خوشه‌بندی استفاده می‌شود. در این مقاله از روش خوشه‌بندی c- میانگین فازی^۲ استفاده می‌کنیم.

Scenario No. 1	Scenario No. 2	Scenario No. 3
S.Sanction: High		
W: war: Low		
I: Inflation: High		
O: OutBreak: High	O: OutBreak: Medium	O: OutBreak: Low

شکل ۷- سه سناریوی نهایی در نرم افزار سناریو ویزارد.



شکل ۸- تست نرمال بودن داده‌های نرخ تورم ایران.

1. Cumbersome
2. Fuzzy C Means Clustering

۳-۷-۱. کاهش سناریو با الگوریتم Fuzzy C Means Clustering

این الگوریتم برای اولین بار توسط بزدک (۱۹۸۱) معرفی شد. این روش به دلیل سادگی کاربرد و سراسر بودن^۱ و کارایی بالا بسیار محبوب است. FCM مجموعه‌ای از E شی^۲ را در فضای RP به C خوشه تقسیم می‌کند ($1 < C < E$). در مدل ما E تعداد سناریوهای اختلال داخلی ممکن است و C تعداد سناریوهای کاهش یافته می‌باشد. درصد ظرفیت در دسترس تأمین‌کننده پس از وقوع سناریوی اختلال E را τ_i^E در نظر می‌گیریم. در این الگوریتم هر یک از نقاط داده‌ای با یک درجه عضویت به یک خوشه تعلق می‌گیرد. بنابراین هر نقطه می‌تواند با درجه عضویت به همه خوشه‌ها تعلق داشته باشد به طوری که مجموع این درجات عضویت برای یک نقطه یک می‌شود. هرچه این درجه عضویت بیشتر باشد یعنی این نقطه به خوشه مد نظر تعلق بیشتری دارد و میتوان آن نقطه را در خوشه قرارداد. در ادامه مراحل این الگوریتم ارائه می‌شود.

قدم اول: یک ماتریس عضویت تصادفی طبق معادله زیر تولید کنید:

$$U = \begin{bmatrix} U_{11} & \dots & U_{1E} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ U_{C1} & \dots & U_{CE} \end{bmatrix} \quad 0 \leq U_{CE} \leq 1$$

که U_{CE} درجه تابع عضویت سناریوی اختلال E در مرکز خوشه C است. E تعداد کلی سناریوهای اختلال و C تعداد مراکز خوشه‌ها است.

قدم دوم: هر خوشه می‌تواند به‌عنوان سناریوی اختلال مجازی با ویژگی اصلی درصد ظرفیت باقی مانده تأمین‌کننده بعد از اختلال (τ_i^E) در نظر گرفته شود که به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$C_e = \begin{bmatrix} \frac{\sum_{\epsilon=1}^E u_{1\epsilon}^m \tau_i^{\epsilon}}{\sum_{\epsilon=1}^E u_{1\epsilon}^m} & \frac{\sum_{\epsilon=1}^E u_{1\epsilon}^m \tau_i^{\epsilon}}{\sum_{\epsilon=1}^E u_{1\epsilon}^m} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{\sum_{\epsilon=1}^E u_{C\epsilon}^m \tau_i^{\epsilon}}{\sum_{\epsilon=1}^E u_{C\epsilon}^m} & \frac{\sum_{\epsilon=1}^E u_{C\epsilon}^m \tau_i^{\epsilon}}{\sum_{\epsilon=1}^E u_{C\epsilon}^m} \end{bmatrix} \quad 1 \leq m < \infty$$

قدم سوم: تابع هدف الگوریتم FCM را مطابق معادله زیر حساب کنید که m یک توان وزنی

1. Straightforward
2. Object

ثابت است و معمولاً ۲ در نظر گرفته می‌شود. $D(X_{iE}, Ce_c)$ فاصله اقلیدسی بین سناریوی اختلال e و c آمین مرکز خوشه است.

$$J_{FCM} = (U, C) = \sum_{e=1}^E \sum_{c=1}^C u_{cs}^m D(X_{iE}, Ce_c) \quad 1 < m$$

قدم چهارم: ماتریس تابع عضویت را بر اساس معادله زیر به روز کنید.

$$U_{new} = \begin{bmatrix} \frac{D^{m-1}(X_{i1}, Ce_1)}{\sum_{c=1}^C D^{m-1}(X_{i1}, Ce_c)} & \dots & \frac{D^{m-1}(X_{iE}, Ce_1)}{\sum_{c=1}^C D^{m-1}(X_{iE}, Ce_c)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{D^{m-1}(X_{i1}, Ce_C)}{\sum_{c=1}^C D^{m-1}(X_{i1}, Ce_c)} & \dots & \frac{D^{m-1}(X_{iE}, Ce_C)}{\sum_{c=1}^C D^{m-1}(X_{iE}, Ce_c)} \end{bmatrix}$$

قدم پنجم: تا زمان برقراری شرط زیر قدم‌های ۲ تا ۴ را تکرار کنید.

$$|(J_{FCM})_I - (J_{FCM})_{I-1}| < \varepsilon$$

ε سطح خطا می‌باشد.

لازم به ذکر است مراکز خوشه به دست آمده اختلالات مجازی جدید هستند. این پنج قدم می‌تواند برای کاهش تعداد سناریوهای اختلال به کار گرفته شود. گام‌های بالا در نرم افزار MATLAB کد نویسی و اجرا شده است.

۴. مطالعه موردی

در این مقاله بعد از شناسایی اختلالات خارجی و کاهش سناریو در نرم افزار سناریویزارد به کمک نظرات خبرگان که در بخش ۳-۶-۲ توضیح داده شد و تعیین سناریوی اختلال داخلی برای هر تأمین‌کننده با نرم افزار متلب، مدل ساختاری مسئله در نرم افزار نیتیکا شبکه‌سازی و احتمالات مستقل و شرطی هر گره مشخص گردید. خروجی این تحلیل به همراه اطلاعات دریافت شده از مطالعه موردی در مدل ریاضی ارائه شده استفاده گردید. مدل ارائه شده در این مقاله در صنعت خودروسازی کاربرد فراوانی دارد، لذا ما برای مطالعه موردی یکی از شرکت‌های تولیدکننده خودرو در ایران را در نظر گرفته‌ایم. شرکت خودروسازی سایپا بیش از ۴۰٪ تولیدات

خودرویی در ایران را به خود اختصاص داده است. شرکت سازه گستر سایپا یکی از زیر مجموعه‌های شرکت سایپا است که وظیفه تأمین قطعات مورد نیاز را بر عهده دارد. این شرکت پس از شناسایی و ارزیابی بیش از ۱۰۰۰ قطعه ساز، در حال حاضر با بیش از ۵۰۰ قطعه ساز در شبکه تأمین خود همکاری می‌کند. برای بررسی عملکرد مدل ارائه شده در این مقاله، یکی از قطعات پرکاربرد و مهم مورد استفاده در خودروهای تولیدی این شرکت انتخاب شد که به دلیل حفظ محرمانگی اطلاعات به نام آن اشاره نمی‌شود. این قطعه از ۵ تأمین‌کننده در شهرهای تهران، قزوین، اصفهان، کاشان و رشت خریداری می‌شود. دیوی شرکت سازه گستر سایپا در تهران قرار دارد. فاصله تأمین‌کنندگان در شهرهای مختلف در جدول (۲) آورده شده است که تأمین‌کنندگان به ترتیب از ۱ تا ۵ شماره گذاری می‌شوند. هزینه حمل و نقل در جدول (۳) آورده شده است. شکل (۹) موقعیت مکانی تقریبی تأمین‌کنندگان در نقشه را نشان می‌دهد. جدول ۴ سایر پارامترهای انتخاب شده برای مدل را نشان می‌دهد. مدل ریاضی مسئله در نرم افزار گمز کد نویسی و حل شده است. جواب پارتوی سه سناریوی کلی مسئله که در بخش ۳-۶ به آن‌ها اشاره شد در جدول (۵) آورده شده است. شکل (۱۰)-(۱۲) جواب‌های پارتوی سه سناریو را نشان می‌دهد.

جدول ۲- فاصله بین تأمین‌کنندگان (متر)

کارخانه	رشت	قزوین	اصفهان	کاشان	تهران
۰	۲۹۸۰۰۰	۱۳۰۰۰۰	۴۳۵۰۰۰	۲۴۰۰۰۰	۵۰۰۰۰
۲۹۸۰۰۰	۰	۱۶۸۰۰۰	۷۳۳۰۰۰	۵۳۸۰۰۰	۲۷۸۰۰۰
۱۳۰۰۰۰	۱۶۸۰۰۰	۰	۵۶۵۰۰۰	۳۷۰۰۰۰	۱۱۰۰۰۰
۴۳۵۰۰۰	۷۳۳۰۰۰	۵۶۵۰۰۰	۰	۱۹۵۰۰۰	۴۴۵۰۰۰
۲۴۰۰۰۰	۵۳۸۰۰۰	۳۷۰۰۰۰	۱۹۵۰۰۰	۰	۲۵۰۰۰۰
۵۰۰۰۰	۲۷۸۰۰۰	۱۱۰۰۰۰	۴۴۵۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۰

جدول ۳- هزینه حمل و نقل (تومان)

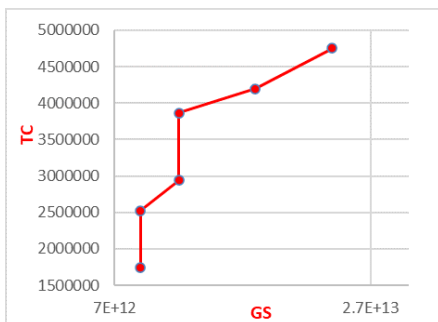
کارخانه	رشت	قزوین	اصفهان	کاشان	تهران
۱۴۹۰۰۰۰	۶۵۰۰۰۰	۲۱۷۵۰۰۰	۱۲۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰۰	

جدول ۴- مقادیر پارامترها

10^7	ϕ_i	۳۰۰۰۰۰	∇_v	۱۰۰۰۰۰	ω
۱۰۰	W_t	۹۰۰۰۰۰	θ_j	۷۰۰۰۰۰	Γ
Uniform[.۷, .۹]	τ_{it}^E	Uniform[.۱, .۹]	δ	۳۵۰۰۰	h_t
		۶۲۰	cap_{it}	N(۲۱۴۴, ۱,۷۷۲۶)	v_0

جدول ۵- مقادیر جواب‌های بهینه پارتو برای سناریوهای مختلف

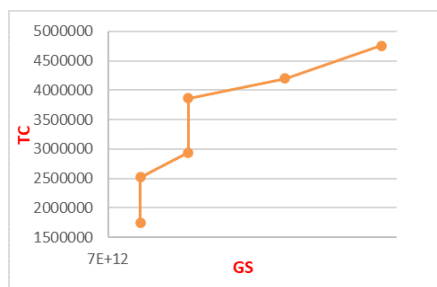
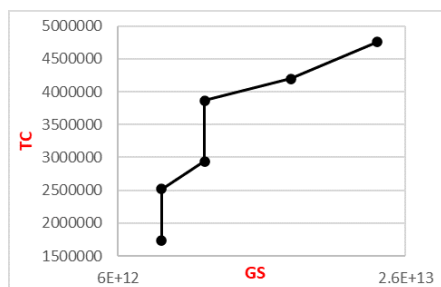
high		Medium		low		S
GS	TC	GS	TC	GS	TC	
۴۷۵۵۰۰۰	$۲,۴۰۰,۹ * 10^{13}$	۴۷۵۵۰۰۰	$۲,۴۰۰,۸۸ * 10^{13}$	۴۷۵۵۰۰۰	$۲,۴۰۰,۸۴ * 10^{13}$	۱
۴۲۰۰۰۰۰	$۱,۸۰۱,۰۲ * 10^{13}$	۴۲۰۰۰۰۰	$۱,۸۰۱ * 10^{13}$	۴۲۰۰۰۰۰	$۱,۸۰۰,۹۶ * 10^{13}$	۲
۳۸۶۵۰۰۰	$۱,۲۰۱,۱۸ * 10^{13}$	۳۸۶۵۰۰۰	$۱,۲۰۱,۱۶ * 10^{13}$	۳۸۶۵۰۰۰	$۱,۲۰۱,۱۲ * 10^{13}$	۳
۲۹۴۲۰۰۰	$۱,۲۰۱,۱۵ * 10^{13}$	۲۹۴۲۰۰۰	$۱,۲۰۱,۱۳ * 10^{13}$	۲۹۴۲۰۰۰	$۱,۲۰۱,۰۹ * 10^{13}$	۴
۲۵۲۲۰۰۰	$۹,۰۱۲,۳ * 10^{12}$	۲۵۲۲۰۰۰	$۹,۰۱۲,۰۹ * 10^{12}$	۲۵۲۲۰۰۰	$۹,۰۱۱,۷ * 10^{12}$	۵
۱۷۴۳۰۰۰	$۹,۰۱۲,۱۵ * 10^{12}$	۱۷۴۳۰۰۰	$۹,۰۱۱,۹۴ * 10^{12}$	۱۷۴۳۰۰۰	$۹,۰۱۱,۵۶ * 10^{12}$	۶



شکل ۱۰- جدول جواب بهینه کارا برای سناریوی low



شکل ۹- موقعیت تقریبی تأمین‌کنندگان روی نقشه



شکل ۱۲- جدول جواب بهینه کارا برای سناریوی high

شکل ۱۱- جدول جواب بهینه کارا برای سناریوی medium

جدول ۶- سطح سرویس دهی در سناریوهای مختلف.

Low		Medium		High	
۶۰٪	۵۸٪	۵۷٪	۵۵٪	۵۵٪	۵۴٪
۹۰٪	۸۷٪	۸۵٪	۸۳٪	۸۲٪	۸۱٪
۶۵٪	۶۳٪	۶۲٪	۶۰٪	۶۰٪	۵۹٪
۶۰٪	۵۸٪	۵۷٪	۵۵٪	۵۵٪	۵۴٪
۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪
۹۰٪	۸۷٪	۸۵٪	۸۳٪	۸۲٪	۸۱٪

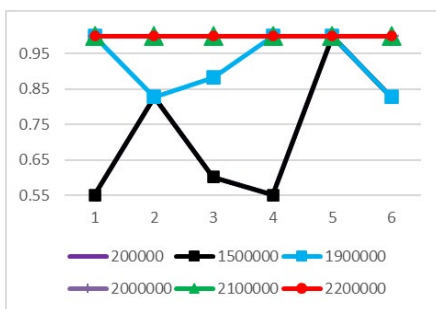
جدول (۶) سطح سرویس دهی در سناریوهای مختلف در دوره‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با بدتر شدن سناریو سطح سرویس دهی کمتر می‌شود. این مطلب بیانگر این مفهوم است که اگر تدبیری اندیشیده نشود با بدتر شدن شرایط علاوه بر اینکه هزینه‌ها افزایش می‌یابد، تاب‌آوری تأمین‌کنندگان نیز کاهش یافته است.

۴-۱. تحلیل حساسیت

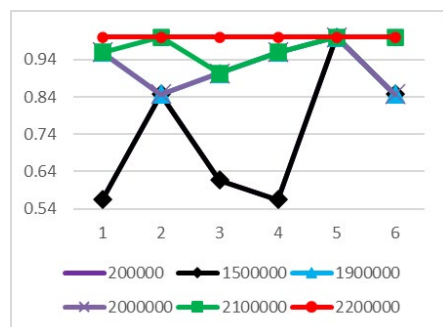
در این بخش به تحلیل حساسیت پارامترهای مدل در سناریوی Medium بخش قبل می‌پردازیم. برای این کار ابتدا Γ (جریمه عدم ارضای تقاضا) را با مقادیر مختلف بررسی کرده و تأثیر آن را بر سطح سرویس دهی در جدول (۶) نشان می‌دهیم. شکل (۱۳) تغییرات سطح سرویس دهی در ۶ دوره برای سناریوی یک و شکل (۱۴) برای سناریوی دو را نشان می‌دهد. همچنان که

مشاهده می‌شود مدل به تغییرات Γ حساس است و با افزایش Γ سطح سرویس‌دهی افزایش می‌یابد. بنابراین مدل می‌تواند بر اساس قیمت کالا، هزینه حمل و نقل و هزینه سفارش‌دهی به تصمیم‌گیری برای رسیدن به سطح سرویس‌دهی بالاتر بپردازد. زمانی که Γ تقریباً دو برابر قیمت کالا است سطح سرویس‌دهی در برخی دوره‌ها نزدیک به ۱۰۰٪ و در برخی دوره‌ها ۱۰۰٪ است. میزان جریمه از ۲۰۰۰۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰۰۰۰ تغییر می‌کند در سطح سرویس‌دهی ندارد و این به معنی است که عدم ارضای تقاضا به صرفه‌تر از سفارش کالا با توجه به هزینه‌های خرید کالا، حمل و نقل، سفارش‌دهی و ... است. ولی از جریمه ۲۰۰۰۰۰۰ به بعد، مدل با افزایش میزان جریمه حساس‌تر می‌شود. این واکنش در سناریوی دو بیشتر است. جدول (۷) مجموع متغیر γ_{imt} که نشان دهنده انتخاب سطح تاب‌آوری است را نشان می‌دهد. در مسائل ۳ تا ۶ افزایش جریمه عدم ارضای تقاضا باعث شده است تولیدکننده به تاب‌آوری بالاتر برای رسیدن به سطح سرویس‌دهی بالاتر فکر کند زیرا می‌داند عدم تأمین تقاضا می‌تواند هزینه بیشتری در مقایسه با هزینه کردن برای رسیدن به تاب‌آوری بیشتر به همراه داشته باشد. در ادامه به بررسی تأثیر تغییرات تقاضا بر نتایج مدل می‌پردازیم. برای این کار فقط تقاضای سناریوی medium را تغییر می‌دهیم و برای این منظور سه مسئله جدید تعریف می‌کنیم. در مسئله اول تقاضا را ۶۰۰ واحد کالا برای ۶ دوره به صورت ثابت در نظر می‌گیریم. در مسئله دوم نوسان تقاضا را بررسی می‌کنیم و تقاضا را

به صورت [۸۰۰,۶۰۰,۸۰۰,۶۰۰,۸۰۰,۶۰۰] در نظر می‌گیریم.



شکل ۱۴- نمودار تغییرات سطح سرویس‌دهی بر اساس Γ



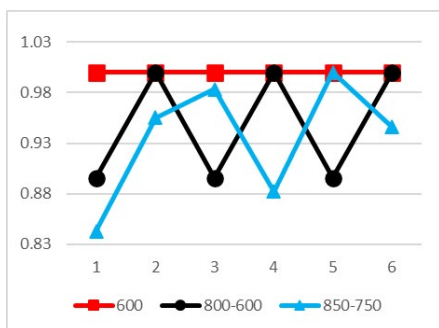
شکل ۱۳- نمودار تغییرات سطح سرویس‌دهی بر اساس Γ

جدول ۷- تغییر سطح سرویس دهی با توجه به تغییرات

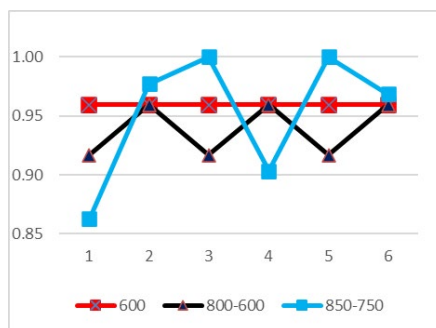
Prob.6		Prob.5		Prob.4		Prob.3		Prob.2		Prob.1		Γ
۲۲۰۰۰۰۰		۲۱۰۰۰۰۰		۲۰۰۰۰۰۰		۱۹۰۰۰۰۰		۱۵۰۰۰۰۰		۲۰۰۰۰۰۰		
s2	s1	s2	s1	s2	s1	s2	s1	s2	s1	s2	s1	
۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۹۶٪	۱۰۰٪	۹۶٪	۱۰۰٪	۹۶٪	۵۵٪	۵۷٪	۵۵٪	۵۷٪	t1
۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۸۵٪	۸۳٪	۸۵٪	۸۳٪	۸۵٪	۸۳٪	۸۵٪	t2
۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۹۰٪	۱۰۰٪	۹۰٪	۸۸٪	۹۰٪	۶۰٪	۶۲٪	۶۰٪	۶۲٪	t3
۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۹۶٪	۱۰۰٪	۹۶٪	۱۰۰٪	۹۶٪	۵۵٪	۵۷٪	۵۵٪	۵۷٪	t4
۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	t5
۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۸۵٪	۸۳٪	۸۵٪	۸۳٪	۸۵٪	۸۳٪	۸۵٪	t6

جدول ۸- تغییر سطح تاب آوری با تغییر Γ

	Prob. 1	Prob.2	Prob.3	Prob.4	Prob.5	Prob.6
سطح تاب آوری (m)	۳۶	۳۶	۶۶	۶۹	۷۱	۷۴

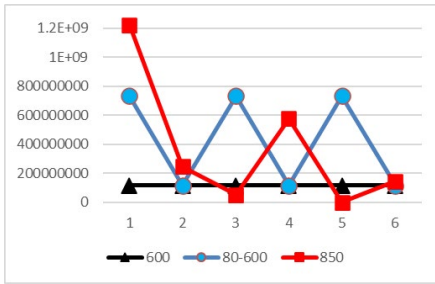


شکل ۱۶- نمودار سطح سرویس دهی با تغییرات تقاضا

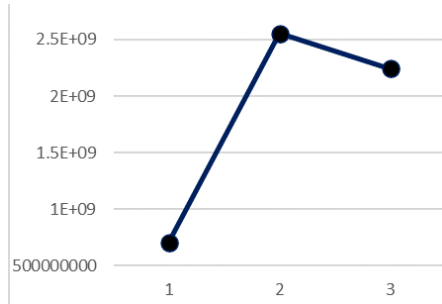


شکل ۱۵- نمودار سطح سرویس دهی با تغییرات تقاضا

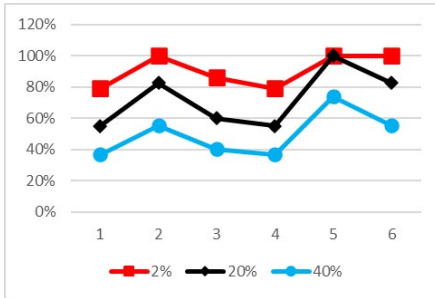
در مسئله سوم تقاضا را کاهشی با مقدار [۳۵۰, ۴۵۰, ۵۵۰, ۶۵۰, ۷۵۰, ۸۵۰] تعریف می‌کنیم. لازم به ذکر است در هر سه مسئله مجموع تقاضا برای ۶ دوره برنامه‌ریزی ۳۶۰۰ واحد است. نتایج در جدول (۸) سطح سرویس دهی برای سه مسئله آورده شده است. همان‌طور که شکل (۱۵) و (۱۶) نشان می‌دهند سطح سرویس دهی در حالت تقاضا ثابت هیچ تغییری نمی‌کند و در هر دو سناریو ثابت است. سطح سرویس دهی در حالت تقاضای نوسانی هیچگاه بهتر از تقاضای



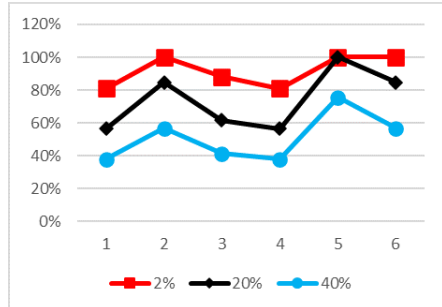
شکل ۱۸- نمودار تغییرات هزینه عدم ارضای تقاضا در هر دوره



شکل ۱۷- هزینه کل عدم ارضای تقاضا



شکل ۲۰- نمودار سطح سرویس دهی بر اساس نرخ تورم برای سناریوی دوم



شکل ۱۹- نمودار سطح سرویس دهی بر اساس نرخ تورم برای سناریوی اول

ثابت نیست. تقاضای ثابت در سناریوی دوم همیشه بهتر از تقاضای کاهشی و نوسانی است. همچنین برای بررسی تقاضای ارضا نشده هزینه ناشی از جریمه تقاضای ارضا نشده را محاسبه و در جدول (۹) نشان می دهیم. همان طور که در شکل ۱۷ مشخص است هزینه کل عدم ارضای تقاضا برای حالت تقاضا نوسانی از بقیه بیشتر است و در حالت تقاضا ثابت از همه کمتر است. همچنین مطابق شکل (۱۸) هزینه عدم ارضای تقاضا در هر دوره برای حالت تقاضای نوسانی همیشه بیشتر مساوی حالت تقاضا ثابت است. برای بررسی تأثیر نرخ تورم مسئله با سه نرخ تورم ۲٪، ۲۰٪ و ۴۰٪ حل می شود. نتایج به دست آمده در جدول (۱۰) قابل مشاهده است. شکل (۱۹) و (۲۰) تغییرات را برای دو سناریو نشان می دهد. همان طور که می توان انتظار داشت در نرخ تورم ۲٪ بیشترین سطح سرویس دهی و در نرخ تورم ۴۰٪ کمترین سطح سرویس دهی را داریم. همچنین

در دوره ۵ که تقاضا نصف دوره‌های دیگر است در نرخ تورم ۲٪ و ۲۰٪ سطح سرویس دهی ۱۰۰٪ است ولی در نرخ تورم ۴۰٪ در این شرایط هم نمی‌توان به سطح سرویس دهی ۱۰۰٪ رسید.

جدول ۹- تغییرات سطح سرویس دهی با تغییر تقاضا

	۶۰۰		۸۰۰-۶۰۰		۸۵۰-۷۵۰	
	s1	s2	s1	s2	s1	s2
t1	۹۶٪	۱۰۰٪	۹۲٪	۹۰٪	۸۶٪	۸۴٪
t2	۹۶٪	۱۰۰٪	۹۶٪	۱۰۰٪	۹۸٪	۹۶٪
t3	۹۶٪	۱۰۰٪	۹۲٪	۹۰٪	۱۰۰٪	۹۸٪
t4	۹۶٪	۱۰۰٪	۹۶٪	۱۰۰٪	۹۰٪	۸۸٪
t5	۹۶٪	۱۰۰٪	۹۲٪	۹۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪
t6	۹۶٪	۱۰۰٪	۹۶٪	۱۰۰٪	۹۷٪	۹۵٪

جدول ۱۰- هزینه جریمه عدم ارضای تقاضا

	۶۰۰		۸۰۰-۶۰۰		۸۵۰	
	t1	۱۱۷۸*۱۰.۵	۷۳۳۴*۱۰.۵	۱۲۲۱۷*۱۰.۵		
t2	۱۱۷۸*۱۰.۵	۱۱۷۸*۱۰.۵	۲۴۷*۱۰.۵			
t3	۱۱۷۸*۱۰.۵	۷۳۳۴*۱۰.۵	۵۳۲*۱۰.۵			
t4	۱۱۷۸*۱۰.۵	۱۱۷۸*۱۰.۵	۵۷۵۷*۱۰.۵			
t5	۱۱۷۸*۱۰.۵	۷۳۳۴*۱۰.۵	.			
t6	۱۱۷۸*۱۰.۵	۱۱۷۸*۱۰.۵	۱۴۶۳*۱۰.۵			
مجموع	۷۰۶۸*۱۰.۵	۲۵۵۳۶*۱۰.۵	۲۲۴۳۹*۱۰.۵			

جدول ۱۱- تغییر سطح سرویس با توجه به نرخ تورم

	۲٪		۲۰٪		۴۰٪	
	s1	s2	s1	s2	s1	s2
t1	۸۱٪	۷۹٪	۵۷٪	۵۵٪	۳۸٪	۳۷٪
t2	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۸۵٪	۸۳٪	۵۷٪	۵۶٪
t3	۸۸٪	۸۶٪	۶۲٪	۶۰٪	۴۱٪	۴۰٪
t4	۸۱٪	۷۹٪	۵۷٪	۵۵٪	۳۸٪	۳۷٪
t5	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۷۶٪	۷۴٪
t6	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۸۵٪	۸۳٪	۵۷٪	۵۶٪

۵. نتیجه‌گیری

این مطالعه یک راهکار کارآمد برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص بهینه سفارش با لحاظ کردن معیارهای تاب‌آوری تأمین‌کنندگان و قیمت کالا و هزینه‌های افزایش تاب‌آوری تأمین‌کنندگان ارائه می‌دهد. ابتدا مدلی را برای محاسبه احتمال سناریوهای اختلال با استفاده از یک مدل گرافیکی احتمالاتی تحت عنوان شبکه بیزی ارائه کردیم. با توجه به اتفاقات سال‌های اخیر در کشور، اختلالاتی مانند تورم، جنگ، تحریم و پاندمی به عنوان اختلالات اصلی خارجی که شبکه تأمین را دچار اختلال می‌کنند و اهمیت و لزوم این تحقیق را بیشتر نشان می‌دهد تعریف و تأثیر متقابل آن‌ها بر روی یکدیگر در ابتدای زنجیره و بر تقاضا در انتهای زنجیره بررسی شد. سپس خروجی آن در یک مدل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی مختلط عدد صحیح دوهدفه که با استفاده از روش محدودیت ϵ توسعه‌یافته برای برقراری تعادل بین اهداف افزایش فاصله جغرافیایی بین تأمین‌کنندگان و کاهش هزینه کل حل می‌شود مورد استفاده قرار گرفت. این مدل چند استراتژی تاب‌آوری از جمله مازاد موجودی، جداسازی جغرافیایی تأمین‌کنندگان و قابلیت تاب‌آوری‌سازی تأمین‌کننده با تعریف مفهوم جدید سطح تاب‌آوری که برای اولین بار در ادبیات موضوع این مفهوم برای تأمین‌کنندگان تعریف شده است را در نظر می‌گیرد. سطح تاب‌آوری بالاتر موجب هزینه بیشتر برای خریدار و افزایش تاب‌آوری تأمین‌کننده و زنجیره تأمین خواهد شد و تولیدکننده از بین هزینه بیشتر و تاب‌آوری بالاتر در مقابل هزینه کمتر و تاب‌آوری پایین‌تر بهترین گزینه و شیوه تخصیص سفارش را انتخاب خواهد کرد. این مدل به همکاری و اتحاد بین تأمین‌کنندگان و تولیدکننده منجر خواهد شد چرا که تولیدکننده برای دستیابی به تأمین‌کننده تاب‌آور هزینه خواهد کرد و تأمین‌کننده نیز اقدامات لازم برای افزایش تاب‌آوری خود اجرایی می‌کند که یک بازی برد-برد برای هر دو طرف است. با توجه به تجربه رویدادهای سال‌های اخیر و تأثیر تورم در افزایش شدید تقاضای مردم برای کالاها، نرخ تورم به صورت یک رابطه ریاضی در مدل مسئله در نظر گرفته شد.

برای درک بهتر استراتژی‌های بازیابی تاب‌آوری، ظرفیت بازسازی شبکه تأمین مختل شده تحت سناریوهای مختلف اختلال بررسی شده است. با توجه به پیچیدگی مدل مفهومی و همچنین حالات زیاد اختلال تأمین‌کنندگان نیاز به سناریوسازی و کاهش سناریو وجود داشت. لذا بر همین اساس با توجه به سناریوهای زیاد برای اختلالات خارجی از روش تحلیلی متوازن

اثرات متقابل برای کاهش سناریوهای خارجی با بهره‌گیری از نرم افزار سناریویزارد انجام شد. همچنین سناریوی اختلالات داخلی با افزایش تعداد تأمین‌کنندگان افزایش پیدا می‌کند که برای رفع این مشکل هم، الگوریتم خوشه‌بندی C- میانگین فازی برای کاهش سناریو در نرم افزار متلب کدنویسی شد. در این مدل با توجه به اینکه در نظر گرفتن صریح سطح رضایت مشتری یا سطح سرویس‌دهی موجب غیر خطی شدن مدل می‌شود با استفاده از تعریف جریمه عدم ارضای تقاضا و تقاضای ارضا نشده به صورت ضمنی سطح رضایت مشتری محاسبه شد.

برای بررسی موضوع یک مطالعه موردی در یکی از شرکت‌های خودروسازی ایران انجام گردید. همچنین برای بررسی عملکرد مدل یک مثال عددی ارائه و تحلیل حساسیت شد. نتایج نشان داد با افزایش جریمه عدم ارضای تقاضا، سطح رضایت مشتری افزایش می‌یابد. نتایج پژوهش ما می‌تواند به مدیران زنجیره‌تأمین کمک کند تا شبکه‌های تأمینی طراحی کنند که نه تنها هزینه‌های تأمین سنتی بلکه خسارات احتمالی ناشی از ریسک‌های مخرب را نیز به حداقل برسانند و در عین حال تاب‌آوری زنجیره‌تأمین را افزایش دهند. مدل پیشنهادی در این مقاله یک ابزار ارزشمند برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش در زنجیره‌های تأمین پیچیده است. همچنین نتایج تحقیقات ما می‌تواند به مدیریت زنجیره‌تأمین در طراحی شبکه‌های تأمینی که در معرض خطرات منطقه‌ای و جهانی قرار دارند کمک کند. علاوه بر این، مدیران تأمین می‌توانند تصمیمات بهینه در مورد استراتژی‌های کاهش و پیشگیری مانند سطح تاب‌آوری، فاصله جداسازی جغرافیایی بین تأمین‌کنندگان و موجودی مازاد انبار را برای ایجاد تعادل بین کارایی هزینه و تاب‌آوری بیابند.

کار ما محدودیت‌هایی دارد که باید در کارهای آینده مورد توجه قرار گیرد. استراتژی توازن بین هزینه سنتی و تاب‌آوری در این مقاله را می‌توان برای تجزیه و تحلیل محیط‌های ناب نیز گسترش داد، جایی که اغلب اصول ناب و تاب‌آوری در تضاد هستند، زیرا حفظ سطح پایین موجودی فلسفه‌ی تولید ناب است، در حالی که از دیدگاه تولید تاب‌آور برعکس است. اهمیت در نظر گرفتن وابستگی اختلالات را همچنین می‌توان در شبکه‌های تأمین چند سطحی مشاهده کرد، جایی که چندین تأمین‌کننده یک تأمین‌کننده مشترک دارند یا هر تأمین‌کننده چند لایه تأمین‌کننده دارد.

همچنین شایان ذکر است که تأثیر سایر ریسک‌های مرتبط با تأخیر در حمل و نقل یا از

بین رفتن مسیرهای دسترسی به تأمین‌کنندگان و تصمیم‌گیری برای جایگزین کردن مسیر جدید یا تأمین‌کننده جدید می‌تواند وجه جدیدی از این تحقیق باشد. در این مدل اهداف زیست محیطی و پایداری مد نظر قرار نگرفته است که می‌توان برای کارهای آتی این اهداف را به مسئله اضافه نمود. ما از این مدل برای یکی از بزرگترین و پیچیده‌ترین صنایع کشور یعنی صنعت خودروسازی استفاده کردیم که می‌توان برای صنایع دیگر مانند صنایع لوازم خانگی، صنایع الکترونیک مانند موبایل و کامپیوتر، صنایع هواپیماسازی، صنایع نظامی و ... نیز استفاده کرد.

منابع

- خریدار، فاطمه و پویا، علیرضا. (۱۳۹۵) تاکسنومی استراتژی‌های انتخاب تأمین‌کننده و عملکرد کسب و کار آنها (مورد مطالعه: شرکت‌های کاشی و سرامیک). پژوهشنامه بازرگانی، ۲۰(۸۰)، ۱۴۷-۱۱۹.
- کبگانی، محمد حسین و شاهبندرزاده، حمید. (۱۳۹۸). تحلیل کمی معیارهای انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین تاب‌آور با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره. پژوهشنامه بازرگانی، ۲۳(۹۰)، ۱۴۰-۱۱۵.
- صالحی سربیزن، مرتضی و سیاح مرکبی، محسن. (۱۳۹۵). ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان کارا در شرایط عدم قطعیت-رویکرد تحلیل پوششی داده‌های خاکستری. پژوهشنامه بازرگانی، ۲۱(۸۱)، ۱۸۱-۲۰۳.
- Amer, M., Daim, T. U., & Jetter, A. (2013). A review of scenario planning. *Futures*, 46, 23-40. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2012.10.003>
- Tavana, A. B., Rabieh, M., Pishvae, M. S., & Esmaeili, M. (2021). A Stochastic Mathematical Programming Approach to Resilient Supplier Selection and Order Allocation Problem: A Case Study in Iran Khodro Supply Chain. *Scientia Iranica*, 0(0), 0. <https://doi.org/10.24200/sci.2021.56020.4515>
- Beiki, H., Seyedhosseini, S. M., Ponkratov, V. V., Zekiy, A. O., & Ivanov, S. A. (2021). Addressing a sustainable supplier selection and order allocation problem by an integrated approach: a case of automobile manufacturing. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 38(4), 239-253. <https://doi.org/10.1080/21681015.2021.1877202>.
- Bezdek, J., (1981). *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*, Plenum Press.
- Chen, Z., Hammad, A. W., & Alyami, M. (2024). Building construction supply chain resilience under supply and demand uncertainties. *Automation in Construction*, 158, 105190. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105190>.
- Feng, J., & Gong, Z. (2020). Integrated linguistic entropy weight method and multi-objective programming model for supplier selection and order allocation in a circular

- economy: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 277, 122597. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122597>.
- Hosseini, S., & Ivanov, D. (2019). A new resilience measure for supply networks with the ripple effect considerations: a Bayesian network approach. *Annals of Operations Research*, 319(1), 581-607. <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03350-8>
- Hosseini, S., & Ivanov, D. (2020). Bayesian networks for supply chain risk, resilience and ripple effect analysis: A literature review. *Expert Systems with Applications*, 161, 113649. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113649>.
- Hosseini, S., Morshedlou, N., Ivanov, D., Sarder, M.D., Barker, K., and Khaledf, A. A. (2019b). Resilient supplier selection and optimal order allocation under disruption risks. *International Journal of Production Economics*, 213, 124-137. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.03.018>.
- Kabgani, M., Shahbandarzadeh, H. (2019). Quantitative Analysis Criteria for Selecting Suppliers in The Resilience Supply Chain Using Multi Criteria Decision Making Techniques. *Iranian Journal of Trade Studies*, 23(90), 115-140. [In Persian]
- Kaur, H., & Singh, S. P. (2021). Multi-stage hybrid model for supplier selection and order allocation considering disruption risks and disruptive technologies. *International Journal of Production Economics*, 231, 107830. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107830>
- Kellner, F., & Utz, S. (2019). Sustainability in supplier selection and order allocation: Combining integer variables with Markowitz portfolio theory. *Journal of Cleaner Production*, 214, 462-474. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.315>.
- Kharidar, F., Pouya, A. (2016). The Taxonomy of supplier selection strategies and their business performance (The case study of ceramic and tile companies). *Iranian Journal of Trade Studies*, 20(80), 119-147. [In Persian]
- Khoshfetrat, S., Galankashi, M. R., & Almasi, M. (2019). Sustainable supplier selection and order allocation: a fuzzy approach. *Engineering Optimization*, 52(9), 1494-1507. <https://doi.org/10.1080/0305215x.2019.1663185>.
- Li, J., Wang, S., and Cheng, T.E. (2010). Competition and cooperation in a single-retailer two supplier supply chain with supply disruption. *International Journal of Production Economics*, 124(1), 137-150. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.10.017>.
- Liu, D., Li, Z., He, C., & Wang, S. (2021b). Risk-Averse Co-Decision for Lower-Carbon Product Family Configuration and Resilient Supplier Selection. *Sustainability*, 14(1), 384. <https://doi.org/10.3390/su14010384>.
- Lu, Q., Jiang, Y., & Wang, Y. (2023). The effects of supply chain governance on supply chain resilience based on information processing theory. *Industrial Management & Data Systems*, 124(1), 291-318. <https://doi.org/10.1108/imds-01-2023-0007>
- Mari, S. I., Memon, M. S., Ramzan, M. B., Qureshi, S. M., & Iqbal, M. W. (2019). Interactive Fuzzy Multi Criteria Decision Making Approach for Supplier Selection and Order Allocation in a Resilient Supply Chain. *Mathematics*, 7(2), 137. <https://doi.org/10.3390/math7020137>

- org/10.3390/math7020137.
- Modares, A., Farimani, N. M., & Dehghanian, F. (2024). A new vendor-managed inventory four-tier model based on reducing environmental impacts and optimal suppliers selection under uncertainty. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 20(1), 188-220. <https://doi.org/10.3934/jimo.2023074>
- Mohammed, A., Harris, I., Soroka, A., Naim, M., Ramjaun, T., & Yazdani, M. (2020). Gresilient supplier assessment and order allocation planning. *Annals of Operations Research*, 296(1-2), 335-362. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03611-x>
- Mohammed, A., Harris, I., & Govindan, K. (2019). A hybrid MCDM-FMOO approach for sustainable supplier selection and order allocation. *International Journal of Production Economics*, 217, 171-184. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.02.003>
- Nazari-Shirkouhi, S., Tavakoli, M., Govindan, K., & Mousakhani, S. (2023). A hybrid approach using Z-number DEA model and Artificial Neural Network for Resilient supplier Selection. *Expert Systems With Applications*, 222, 119746. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119746>.
- Parkouhi, S. V., Ghadikolaie, A. S., & Lajimi, H. F. (2019). Resilient supplier selection and segmentation in grey environment. *Journal of Cleaner Production*, 207, 1123-1137. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.007>.
- Rezaei, A., Aghsami, A., & Rabbani, M. (2021). Supplier selection and order allocation model with disruption and environmental risks in centralized supply chain. *International Journal of Systems Assurance Engineering and Management*, 12(6), 1036-1072. <https://doi.org/10.1007/s13198-021-01164-1>.
- Rezaei, A., Rahiminezhad Galankashi, M., Mansoorzadeh, S., and Mokhtab Rafiei, F. (2020a) Supplier selection and order allocation with lean manufacturing criteria: an integrated MCDM and Bi-objective modelling approach. *Engineering Management Journal*, 32(4), 253-271. <https://doi.org/10.1080/10429247.2020.1753490>
- Rezaei, A., Galankashi, M. R., Mansoorzadeh, S., & Rafiei, F. M. (2020b). Supplier Selection and Order Allocation with Lean Manufacturing Criteria: An Integrated MCDM and Bi-objective Modelling Approach. *Engineering Management Journal*, 32(4), 253-271. <https://doi.org/10.1080/10429247.2020.1753490>.
- Torabi, S., Baghersad, M., & Mansouri, S. (2015). Resilient supplier selection and order allocation under operational and disruption risks. *Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review*, 79, 22-48. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.03.005>.
- Taghavi, S. M., Ghezavati, V., Bidhandi, H. M., & Al-E-Hashem, S. M. J. M. (2022). Green-Resilient Supplier Selection and Order Allocation Under Disruption by Utilizing Conditional Value at Risk: Mixed Response Strategies. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 7(1-2), 359-380. <https://doi.org/10.1007/s41660-022-00298-4>.

- Sabouhi, F., Pishvae, M. S., & Jabalameli, M. S. (2018). Resilient supply chain design under operational and disruption risks considering quantity discount: A case study of pharmaceutical supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 126, 657-672. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.10.001>.
- Salehi, M., & Sayyah, M. (2017). Evaluation and Selection of Efficient Suppliers in terms of Uncertainty -The Grey Data Envelopment Analysis Approach. *Iranian Journal of Trade Studies*, 21(81), 181-203. [In Persian]
- Shao, Y., Barnes, D., & Wu, C. (2022b). Sustainable supplier selection and order allocation for multinational enterprises considering supply disruption in COVID-19 era. *Australian Journal of Management*, 48(2), 284-322. <https://doi.org/10.1177/03128962211066953>.
- Sohrabi, B., Tavassoli, S. H., & Jolai, F. (2021). The role of supply chain resilience in managing disruptions: A case study in the steel industry. *International Journal of Production Research*, 59(17), 5033-5050. <https://doi.org/10.1007/s46551-044-00583-7>.
- Umar, M., Wilson, M. M. J., (2024). Inherent and adaptive resilience of logistics operations in food supply chains. *Journal of Business Logistics*, 45(1), e12362. <https://doi.org/10.1111/jbl.12362>.