

Paper Type: Original Article



A Two-Stage Stochastic Programming Approach to Design a Resilient Pharmaceutical Supply Chain Network (a Case Study of COVID-19)

Alireza Roshani¹, Mohammad Reza Gholamian^{1,*} , Mahsa Arabi¹

¹ Department of Logistics and Supply Chain, School of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology (IUST), Tehran, Iran; alireza.roshani.73@gmail.com; gholamian@iust.ac.ir; mahsa_arabi@ind.iust.ac.ir.

Citation:



Roshani, A., Gholamian, M. R., & Arabi, M. (2023). A two-stage stochastic programming approach to design a resilient pharmaceutical supply chain network: a case study of COVID-19. *Journal of decisions and operations research*, 8(1), 176-195.

Received: 15/11/2021

Reviewed: 20/12/2021

Revised: 17/01/2022

Accepted: 22/02/2022

Abstract

Purpose: Due to the increasing complexity of uncertainty and its impact on the supply chain network, many researchers have resorted to coping approaches with data uncertainty. In addition, the occurrence of any disruption in the supply chain networks can cause irreparable damage. Therefore, adopting appropriate strategies to increase the level of the supply chain network resilience toward any disruptive events seem to be necessary.

Methodology: In this paper, a multi-objective, multi-period, and scenario-based mathematical model is presented in which objective functions of delivery time and total network cost are minimized, and to increase network resilience, non-resilience measures are also minimized. Furthermore, a Two-Stage Stochastic Programming (TSSP) approach has been utilized to overcome the uncertain nature of the input parameters. Goal programming has also been used to transform the model into a single-objective one.

Findings: In order to prove the model's applicability, the real-world data of a case study of Mashhad has been implemented. Eventually, according to the validation and sensitivity analysis results, the proposed uncertain model has clear superiority over the deterministic model.

Originality/Value: This paper presents a multi-objective linear mathematical model for designing the Pharmaceutical Supply Chain (PSC) network under the COVID-19 situation. Two indicators of time and resilience as optimization tools have been considered simultaneously.

Keywords: Supply chain network design, Two-stage stochastic programming, Supply chain resilience, Pharmaceutical supply chain, COVID-19.

Corresponding Author: gholamian@iust.ac.ir

 <http://dorl.net/dor/20.1001.1.25385097.1402.8.1.10.2>



Licensee. **Journal of Decisions and Operations Research**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



ارایه یک رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای برای طراحی شبکه زنجیره تامین تاب‌آور دارو (مطالعه موردی کووید-۱۹)

علیرضا روشنی^۱، محمدرضا غلامیان^{۱*}، مهسا عربی^۱

^۱گروه مهندسی لجستیک و زنجیره تامین، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران.

چکیده

هدف: با توجه به افزایش پیچیدگی‌های ناشی از عدم قطعیت و تاثیرات آن در شبکه‌های زنجیره تامین، بسیاری از محققین به استفاده از رویکردهای تقابلی با عدم قطعیت داده‌ها روی آورده‌اند. به علاوه، وقوع هرگونه اختلال در شبکه‌های توزیع، می‌تواند خسارت‌های جبران‌ناپذیری به بار بیاورد؛ بنابراین اتخاذ استراتژی‌های مناسب برای بالا بردن سطح تاب‌آوری شبکه زنجیره تامین به دنبال کاهش آثار مخرب ناشی از هرگونه اختلال امری مهم و ضروری به نظر می‌رسد.

روش‌شناسی پژوهش: در این مقاله، یک مدل ریاضی چندهدفه، چند دوره‌ای و سناریو محور ارایه شده است که در آن علاوه بر کمیته‌سازی دو هدف زمان تحویل و هزینه، به منظور افزایش تاب‌آوری شبکه، معیارهای منفی تاب‌آوری نیز کمیته می‌گردند. برای غلبه بر ماهیت غیرقطعی داده‌ها نیز از رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای استفاده شده است. همچنین برای تبدیل مدل، به یک مدل تک‌هدفه، از برنامه‌ریزی آرمانی بهره گرفته شده است.

یافته‌ها: به منظور اثبات کاربردی بودن مدل، داده‌های واقعی یک مطالعه موردی در مشهد پیاده‌سازی شده است. در نهایت، بر اساس اعتبارسنجی و تحلیل حساسیت صورت گرفته، مدل غیرقطعی پیشنهادی از برتری مشهودی نسبت به مدل قطعی برخوردار است.

اصالت/ارزش افزوده علمی: این مقاله یک مدل ریاضی خطی چندهدفه را برای طراحی شبکه زنجیره تامین دارو تحت شرایط کووید-۱۹ ارایه می‌کند که در آن دو شاخص زمان و تاب‌آوری به عنوان ابزارهای بهینه‌سازی به طور همزمان در نظر گرفته شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای، تاب‌آوری، زنجیره تامین دارو، طراحی شبکه زنجیره تامین، کووید-۱۹.

۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین اقسام بحران یا اختلال، انواع بلایای طبیعی می‌باشد. هر ساله، حدود ۵۰۰ بلای طبیعی در سراسر جهان رخ می‌دهد که حدوداً جان ۷۰ هزار نفر را می‌گیرد و بیش از ۲۰۰ میلیون نفر را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد [1]. کشور ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی، وضعیت زمین‌شناختی و شرایط اقلیمی خود، در لیست کشورهای با احتمال وقوع بلایای طبیعی جهان قرار دارد. از طرفی دیگر کیفیت نامناسب ساخت ساختمان‌ها، ساخت‌وساز در مناطق پر ریسک و وجود ساختارهای فرسوده شهری، منجر به افزایش آثار زیان‌بار هنگام وقوع حوادث طبیعی می‌شود. از طرفی، حدود ۹۳٪ ایران نیز در معرض زلزله قرار دارد و با وجود اینکه ایران کشوری خشک است، ۵۰٪ خاک آن ریسک وقوع سیل را داراست. اگرچه آثار مخرب حوادث و بلایای طبیعی را نمی‌توان انکار کرد، اما تجربه کشورهای پیشرو در

* نویسنده مسئول

gholamian@iust.ac.ir

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.25385097.1402.8.1.10.2>



مدیریت مواجهه با بلایای طبیعی نشان می‌دهد که می‌توان با اتخاذ یک رویکرد پیشگیرانه و به‌کارگیری طرح‌های از قبل پیش‌بینی شده‌ی مناسب می‌توان به‌صورت قابل‌ملاحظه‌ای، از خسارت‌های ناشی از آن کاست [2].

در اواخر سال ۲۰۱۹، کرونا ویروس جدیدی، با نام کرونا ویروس نوین-۲۰۱۹ (SARS-CoV-2)، به‌آغاز یک همه‌گیری از ووهان به سراسر کشور چین دامن زد که در حال حاضر تهدیدات بهداشتی بزرگی را برای سلامتی عمومی جهان ایجاد کرده است. این بیماری در سراسر جهان، گسترش یافته و تا اول نوامبر ۲۰۲۰ تعداد ۲۲۷ کشور و ایالت، از جمله ایران را مبتلا و درگیر کرده است. اگرچه تاکنون ابعادی پنهان از این ویروس ناشناخته وجود دارد و تا این لحظه جهش‌های مختلفی از آن مشاهده شده، اما براساس نظر محققان و بیانیه‌های سازمان بهداشت جهانی، رویکردهای پیشگیرانه از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است [3]. اخیراً واکسیناسیون کووید-۱۹ نیز در سراسر دنیا در حال انجام است، اما این واکسیناسیون هیچ‌گاه مصونیت کامل در برابر انتقال و شیوع همه‌گیری ندارد و درنهایت کووید به یک بیماری بومی تبدیل خواهد شد [4]؛ بنابراین پیشگیری، کنترل عفونت و رعایت اصول بهداشتی توسط عموم مردم در اولویت بوده و همواره دسترسی به داروهای موثر یک نیاز همیشگی است. در این میان، به‌کارگیری یک رویکرد منسجم و وجود یک شبکه زنجیره تامین کارا به‌منظور توزیع محصولات دارویی موردنیاز در دوران همه‌گیری کووید-۱۹، از اهمیت بسیاری برخوردار است. با توجه به وجود احتمال رخداد هرگونه حادثه طبیعی و یا ماهیت غیرقابل‌پیش‌بینی کرونا ویروس نوین-۲۰۱۹، یکی از رویکردهای مهم جهت بهبود عملکرد، کنترل شرایط، دفع و یا کاهش آثار زیان‌بار وقوع رخدادها عنوان شده، افزایش تاب‌آوری شبکه زنجیره تامین، از طریق اتخاذ استراتژی‌هایی در این راستا می‌باشد؛ بنابراین با توجه به آن چه گفته شد، ضرورت انجام تحقیق در حوزه طراحی شبکه زنجیره تامین دارو با فرض تاب‌آوری^۱ و مطالعه موردی محصولات دارویی در دوره همه‌گیری کووید-۱۹ بیش از پیش روشن می‌شود. از طرفی دیگر یکی از پارامترهای حیاتی در انتقال و زنجیره تامین محصولات دارویی، زمان می‌باشد. فسادپذیر بودن دارو و نیاز فوری بیماران به برخی از محصولات دارویی اهمیت این موضوع را دوچندان می‌کند.

در این تحقیق یک مدل ریاضی عدد صحیح مختلط خطی چندهدفه، چند دوره‌ای و سناریو محور برای طراحی یک شبکه زنجیره تامین دارو ارائه شده است که سه تابع هزینه، زمان و تاب‌آوری کمینه می‌گردند. چهار استراتژی به کار گرفته شده در این مقاله عبارت‌اند از ۱- تجهیز یا تقویت‌سازی تسهیلات، ۲- عقد قرارداد با تامین‌کنندگان پشتیبان، ۳- مدیریت پیچیدگی گره و جریان و ۴- سرویس‌رسانی به مشتریان. همچنین با توجه به ماهیت غیرقطعی داده‌ها و احتمال وقوع هرگونه اختلال در شبکه زنجیره تامین، از برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای^۲ استفاده شده است. به‌علاوه، از برنامه‌ریزی آرمانی^۳ نیز برای تبدیل مدل به یک مدل تک‌هدفه بهره گرفته شده است. درنهایت، به‌منظور حل و برای اثبات کارایی مدل و پیاده‌سازی آن در دنیای واقعی از داده‌های یک مطالعه موردی در مشهد استفاده شده است. سهم^۴ و نوآوری اصلی این مقاله که آن را از سایر مقاله‌ها متمایز می‌کند، ادغام دو مولفه‌ی زمان و تاب‌آوری به‌منظور طراحی شبکه زنجیره تامین محصولات دارویی تحت شرایط کووید-۱۹ می‌باشد.

در ادامه این مقاله، بخش ۲، به مروری برخی از مطالعاتی که در حوزه زنجیره‌های تامین تاب‌آور و دارویی انجام شده است، می‌پردازد. در بخش ۳، تعریف مساله، مدل ریاضی پیشنهادی، برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای و برنامه‌ریزی آرمانی ارائه می‌شود. در بخش ۴، اطلاعاتی در خصوص مطالعه موردی در مشهد آورده شده است. نتایج عددی، اعتبارسنجی و صحت‌سنجی مدل در بخش ۵، تبیین شده است؛ و درنهایت، در بخش ۶، جمع‌بندی و پیشنهادهایی برای مطالعات آتی ارائه شده است.

۲- مرور ادبیات

در این بخش به‌صورت خاص به بررسی مطالعاتی که در حوزه تاب‌آوری زنجیره تامین و زنجیره تامین دارو انجام شده است، می‌پردازد. قبل از آن، حایز اهمیت است که بدانیم در سال‌های اخیر، در این حوزه مقالات مروری ارزشمندی ارائه شده است. از جمله، ری‌بیرو و باربوسا-پووا [5] و همچنین سوریاوانشی و دوتا [6] بررسی‌های جامعی در خصوص استراتژی‌ها، روش‌های ارزیابی تاب‌آوری و مرور

¹ Resilience

² Two Stage Stochastic Programming (TSSP)

³ Goal Programming (GP)

⁴ Contribution





مطالعات در حوزه تاب‌آوری زنجیره تامین پرداخته‌اند. ستانی و همکاران [7] نیز با مرور مقالات زنجیره تامین دارو، به دنبال بررسی، بازنگری فرصت‌ها و آرایه آنان برای مطالعات آتی در حوزه مدیریت زنجیره‌های تامین محصولات دارویی هستند.

۱-۲- تاب‌آوری زنجیره تامین

تاب‌آوری در زنجیره تامین به این معناست که یک شبکه زنجیره تامین باید در وهله اول از رویارویی با اختلال و بحران دوری کند (اجتناب^۱). سپس در صورت وقوع بحران از تاثیر آن بکاهد (مهار^۲)، تا جایی که روند صعودی آثار منفی متوقف شود (تحکیم^۳). سپس در کوتاه‌ترین زمان به حالت قبل برگردد (بازگشت^۴) و از این اختلال به‌عنوان یک فرصت برای بهتر شدن نسبت به حالت قبل استفاده کند [8]. با اینکه تاب‌آوری مفهومی جدید در ادبیات این حوزه است، با این حال راهبردهای مختلفی نیز برای افزایش تاب‌آوری در شبکه زنجیره تامین آرایه شده است [9]، [10].

در این میان مقالات شاخصی، مفهوم تاب‌آوری را در طراحی شبکه زنجیره تامین به کار بردند. ترابی و همکاران [11] که جزو اولین آن‌هاست، یک مدل ریاضی خطی دوهدفه و سناریومحور برای تصمیم‌گیری در خصوص احداث یک پایگاه تاب‌آور عرضه، تحت ریسک اختلال توسعه داده‌اند. در این زنجیره، تابع هدف، سطح تاب‌آوری پایگاه عرضه انتخاب‌شده را با چند استراتژی محاسبه می‌کند که عبارتند از: طرح تداوم کسب‌وکار تامین‌کنندگان، تقویت‌سازی تامین‌کنندگان و تامین‌کنندگان پشتیبان. درنهایت، نتایج حاکی از تاثیر عمیق وقوع اختلالات در انتخاب پایگاه‌های عرضه می‌باشد. کلاتری و پیشوایی [12] نیز، یک مدل ریاضی برای طراحی شبکه زنجیره تامین محصولات دارویی آرایه کرده‌اند که در آن به دنبال بهینه‌سازی دو هدف هزینه و سطح رضایت‌مندی در انتخاب تامین‌کننده هستند. همچنین کریستیانو و همکاران [13] یک مدل طراحی شبکه زنجیره تامین تاب‌آور با در نظر گرفتن احتمال وقوع اختلال آرایه کرده‌اند که با استفاده از مساله کوتاه‌ترین مسیر با پنجره زمانی، فرض محدودیت ظرفیت و به‌کارگیری الگوریتم بندرز^۵ حل می‌شود. در پژوهشی مشابه، صالحی صادقیانی و همکاران [14] یک شبکه زنجیره تامین خرده‌فروشی تحت ریسک‌های عملیاتی و اختلال طراحی کرده‌اند که با یک مدل استوار سناریو محور امکانی، هدف بهینه‌سازی تاب‌آوری محقق می‌شود.

حسینی و خسروجردی [15] یک مدل عددصحيح مختلط غیر خطی برای طراحی یک شبکه زنجیره تامین جهانی تحت عدم قطعیت توسعه داده‌اند که در آن ۶ استراتژی تاب‌آوری لحاظ شده است. هدف از مدل آرایه‌شده آنان بهینه‌سازی سود خالص بوده و دو پارامتر عدم قطعیت هزینه‌های عملیاتی و تقاضای محصولات با برنامه‌ریزی استوار را در نظر گرفته‌اند. نتایج تحلیل‌های آنان حاکی از آن است که استراتژی پراکندگی تسهیلات، تقویت‌سازی آنان و منابع چندگانه، بیشترین تاثیر را بر عملکرد این زنجیره نسبت به سایر استراتژی‌ها دارد. درنهایت آنان برای حل مدل خود از چند الگوریتم ابتکاری و فراابتکاری استفاده کرده و نتایج هر یک را تحلیل کرده‌اند. بهزادی و همکاران [16] نیز با به‌کارگیری استراتژی‌های استواری و تاب‌آوری و با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای در زنجیره تامین محصولات کشاورزی به دنبال مدیریت اختلالات در تامین هستند. همچنین فتحی و همکاران [17] یک شبکه زنجیره تامین با استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای طراحی کرده‌اند که با فرض حساسیت مشتری نسبت به زمان تحویل، درصدد بهبود تاب‌آوری شبکه می‌باشد. لاکر و سیفرت [18] هم با آرایه دو استراتژی ظرفیت افزایش‌یافته و منابع چندگانه در مدل‌سازی ریاضی شبکه زنجیره تامین دارو به دنبال افزایش تاب‌آوری هستند.

صبحی و همکاران [9] در مقاله‌ی خود، یک مساله زنجیره تامین دوسطحی دارو، شامل، تامین‌کنندگان و تولیدکنندگان آرایه کرده‌اند که در آن تولیدکنندگان به‌منظور تولید محصولات نهایی از تامین‌کنندگان مختلف مواد اولیه خریداری می‌کنند. ابتدا کارایی تامین‌کنندگان بالقوه با روش تحلیل پوششی داده‌های فازی^۶ محاسبه می‌شود. سپس بر اساس کارایی محاسبه‌شده، مجموعه‌ای از تامین‌کنندگان برای تهیه مواد اولیه، با استفاده از مدل‌سازی ریاضی انتخاب می‌شوند. تامین‌کنندگان انتخاب‌شده به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول تامین‌کنندگانی هستند که هیچ استراتژی برای مقابله با ریسک‌های اختلال ندارند و دسته دوم شامل تامین‌کنندگانی است که یک برنامه مشخص برای مواجهه با اختلال دارد. همچنین برای بررسی کاربردی بودن مدل آرایه شده و تحلیل نتایج، مطالعه موردی بر روی شرکت داروسازی ایرانی

¹ Avoidance

² Containment

³ Stabilization

⁴ Return

⁵ Benders

⁶ Fuzzy Data Envelopment Analysis (DEA)



آترا صورت گرفته است. صادقی و بویرحسینی [19] نیز یک مدل ریاضی ۴ هدفه به منظور طراحی یک شبکه زنجیره تامین پایدار و تاب‌آور ارایه کرده‌اند که فرض ریسک اختلال در آن لحاظ شده است. آنان سه هدف اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی را به عنوان اهداف پایداری در سه تابع هدف به صورت جداگانه در نظر گرفته و به دنبال بهینه‌سازی آن بوده‌اند و در هدف چهارم نیز از طریق کمینه‌سازی زمان تحویل به مشتریان به دنبال بهبود در تاب‌آوری مدل هستند.

حائری و همکاران [20] یک مدل کارا، تاب‌آور و چندهدفه برای طراحی شبکه زنجیره تامین خون تحت عدم قطعیت ارایه کرده‌اند که برای ارزیابی کارایی آن یک فرم توسعه‌یافته از تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شده است. از طرف دیگر آنان برای بهبود تاب‌آوری زنجیره تامین، معیارهای مختلفی از تاب‌آوری را به عنوان ابزارهای بهینه‌سازی مدل در تابع هدف در نظر گرفته‌اند. در نهایت به منظور صحت‌گذاری بر کاربردی بودن مدل خود یک مطالعه موردی با داده‌های واقعی ارایه کردند که نتایجش حاکی از آن است که سه معیار کارایی، تاب‌آوری و هزینه می‌تواند به بهبود در طراحی زنجیره تامین خون کمک کند و تحلیل مقایسه‌ای بین این سه معیار قدرت تصمیم‌گیری مدیران را بهبود بخشد. حسینی مطلق و همکاران [21] یک مدل چند هدفه برای طراحی و بازطراحی شبکه زنجیره تامین گندم تحت شرایط عدم قطعیت توسعه دادند که دو بعد منافع اجتماعی و تاب‌آوری را به صورت هم‌زمان در نظر گرفته‌اند. در واقع مدل آنان ادغامی از چند شاخص تاب‌آوری و ابعاد مسئولیت‌پذیری اجتماعی می‌باشد. همچنین آنان با توجه به در نظرگیری عدم قطعیت یک برنامه‌ریزی ترکیبی استوار، فازی و تصادفی ارایه کرده‌اند. در نهایت به منظور تبیین برتری مدل خود، داده‌های یک مطالعه موردی را پیاده‌سازی کرده که نتایج آن نشان‌دهنده بهبود مشهود عملکرد زنجیره تامین با در نظر گرفتن هم‌زمان سه تابع هدف هزینه، اجتماعی و تاب‌آوری می‌باشد.

موسوی اهرنجانی و همکاران [22] یک رویکرد ترکیبی برنامه‌ریزی تصادفی امکانی استوار به منظور طراحی شبکه زنجیره تامین ادغام‌شده برای بایواتانول ارایه کرده‌اند که در برابر عدم قطعیت و ریسک‌های اختلال تاب‌آور بوده و پایداری نیز در آن لحاظ شده است. علیخانی و همکاران [10] نیز در مقاله خود، به مساله طراحی و بازطراحی یک شبکه زنجیره تامین خردفروشی تاب‌آور تحت عدم قطعیت پرداخته‌اند که یک چارچوب بهینه‌سازی تصادفی دو مرحله‌ای را با استراتژی‌های تاب‌آوری برای طراحی زنجیره تامین خردفروشی تاب‌آور ارایه می‌کند. استراتژی‌های تاب‌آوری به کاررفته در مقاله آنان عبارتند از: تقویت‌سازی (تجهیز) تسهیلات، موجودی از قبل تعبیه‌شده^۱، تحویل به صورت از تولید به مصرف^۲، ظرفیت رزرو شده، اشتراک موجودی و پوشش چند مجموعه‌ای. همچنین آنان یک مطالعه موردی از فروشگاه‌های زنجیره‌ای شهروند ارایه کردند و نقش اختلالات در دوره شیوع همه‌گیری کووید-۱۹ را بررسی کرده‌اند. در نهایت بر اساس نتایج به دست آمده، بینش‌های مدیریتی در خصوص تعادل مناسب بین هزینه و تاب‌آوری ارایه کرده‌اند.

با توجه به مقالاتی که در این حوزه بررسی شد، می‌توان دریافت که تاب‌آوری به عنوان یک مفهوم نوظهور مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. همچنین استراتژی‌های مختلفی برای افزایش سطح تاب‌آوری شبکه زنجیره تامین پیشنهاد شده است؛ اما در این میان، تعداد کمی از مقالات بیش از ۲ استراتژی تاب‌آوری را به طور هم‌زمان در مطالعه خود بررسی کرده‌اند. علاوه بر این، مولفه زمان در مطالعات حوزه طراحی شبکه زنجیره تامین تاب‌آور به ندرت مورد بررسی قرار گرفته است. این در حالی است که زمان به عنوان یک مولفه‌ی کلیدی در مطالعاتی همچون، شبکه امدادسانی، زنجیره تامین خون، شبکه توزیع محصولات فسادپذیر (میوه و تره‌بار، گوشت گرم و...) می‌تواند ایفای نقش کند.

۲-۲- زنجیره تامین دارو

در سال‌های اخیر پژوهشگران توجه ویژه‌ای به مسایل بشردوستانه^۳ داشته‌اند. از این رو، محققان حوزه طراحی شبکه زنجیره تامین، بخشی مهم از نگاه خود را به زنجیره‌های تامین خون، شبکه امدادسانی^۴ و محصولات دارویی معطوف کرده‌اند. در این میان، سوادکوهی و همکاران [23] یک مدل مکان‌یابی-موجودی چند محصولی و چند دوره‌ای برای طراحی یک زنجیره تامین سه سطحی دارو ارایه کردند که فرض فسادپذیری^۵ داروها در آن لحاظ شده است. در مدل ارایه شده آن‌ها برخی از تصمیمات استراتژیک طراحی شبکه و تصمیمات فنی و عملیاتی مربوط به کنترل موجودی در نظر گرفته شده و مدل درصد کمینه‌سازی هزینه کل می‌باشد. در نهایت براساس داده‌های

¹ Inventory prepositioning

² Direct-to-Store Delivery (DSD)

³ Humanitarian

⁴ Relief network

⁵ Perishability



واقعی شرکت سرمایه‌گذاری دارویی تامین (TPICO) و سازمان هلال‌احمر ایران، تطبیق‌پذیری بر دنیای واقعی و کاربردی بودن مدل پیشنهادی نشان داده شده است. ظهیری و همکاران [24] در مقاله خود یک مدل دوهدفه برای طراحی شبکه زنجیره تامین محصولات دارویی ارائه کرده‌اند که در آن دو فرض فسادپذیری محصولات و تعویض‌پذیری محصولات با نمونه جایگزین آن در نظر گرفته شده است. دیابت و همکاران [25] در مقاله‌ای ارزشمند که یک مقاله‌ی پایه‌ای برای تحقیق پیش رو نیز می‌باشد، یک مدل بهینه‌سازی برای طراحی شبکه زنجیره تامین محصولات فسادپذیر (خون) ارائه کرده‌اند که علاوه بر کمیته‌سازی دو هدف هزینه و زمان، در آن فرض وجود تامین‌کننده پشتیبان (استان هم‌جوار) منجر به افزایش تاب‌آوری می‌شود.

روشن و همکاران [26] یک مدل ریاضی چندهدفه‌ی غیرخطی، تحت عدم قطعیت برای طراحی یک شبکه زنجیره تامین چهارسطحی در نظر گرفته‌اند که اهداف اقتصادی را در کنار اهداف زیست‌محیطی دنبال می‌کند. یکی از مفروضات اصلی مدل ارائه‌شده آنان در نظر گرفتن فسادپذیری دارو و تعویض‌پذیری با داروهای مشابه در شرایط وقوع بحران می‌باشد. همچنین با یک مطالعه موردی در منطقه سیاتل آمریکا، مدل ارزیابی شده و بر اساس نتایج آن و تحلیل حساسیت صورت گرفته است که بر اساس آن فرض کردن فسادپذیری و تعویض‌پذیری داروها، منجر به توزیع محصولات با کارایی بیشتر، زمان و هزینه‌ای کمتر می‌شود.

اکبرپور و همکاران [27] نیز، برای اولین بار یک شبکه امدادسانی دارو، با فرض فسادپذیری را ارائه کرده‌اند که در آن تقاضای بیمارستان‌ها و مناطق حادثه‌دیده دارای عدم قطعیت است. ساختار پیشنهادی آن‌ها برای این شبکه امدادسانی، شامل دو فاز قبل و بعد از وقوع حادثه است. فاز قبل از حادثه شامل، برخی از شرکت‌های تولید و توزیع خصوصی یا دولتی می‌باشد. فاز بعد از حادثه نیز شامل، برخی از تامین‌کنندگان دارو، بیمارستان‌ها، داروخانه‌ها و مراکز پخش دارویی سیار در منطقه حادثه‌دیده می‌باشد. در نهایت آنان مدل پیشنهادی خود را برای یک مطالعه موردی در تهران پیاده‌سازی کردند که نتایج محاسباتی بر عملکرد رویکرد ارائه شده‌ی آنان تاکید دارد و تحلیل‌ها قابلیت کاربردی بودن مدلشان را در عمل نشان می‌دهد.

آقابابایی و همکاران [28] یک مدل برنامه‌ریزی دوسطحی^۱ و دو هدفه فازی برای زنجیره تامین دارو تحت شرایط کووید-۱۹ ارائه کرده‌اند که در آن دولت به‌عنوان رهبر در سطح بالا ایفای نقش می‌کند و درصدد است تا قیمت اقلام دارویی را کاهش داده و حداقل سطح موجودی تمام مناطق تقاضا را بیشینه کند. سطح پایین یا پیرو، نیز به تولیدکنندگان و تامین‌کنندگان (واردکنندگان) دارو تقسیم می‌شوند که هر یک به دنبال افزایش سود خود هستند. در نهایت، مدل برنامه‌ریزی غیرخطی با اعمال شرایط کارش-کان-تاکر^۲ و با استفاده از داده‌های استخراج شده از یک مطالعه موردی واقعی برای اعتبار سنجی روش راه‌حل پیشنهادی حل می‌شود. در نهایت، گودرزیان و همکاران [29] نیز یک مدل برنامه‌ریزی عددصحیح مختلط خطی فازی و دو هدفه برای یک شبکه زنجیره تامین دارویی سبز طراحی کرده‌اند. هدف مدل آنان کاهش آثار زیست‌محیطی ناشی از احداث داروخانه‌ها و بیمارستان‌ها از طریق کاهش گازهای گلخانه‌ای متصاعد شده و آلاینده‌های زیست‌محیطی است. علاوه بر این، مجموعه‌ای از الگوریتم‌های ترکیبی فراابتکاری برای حل مدل به کار گرفته شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقالات حوزه طراحی شبکه زنجیره تامین دارو کم‌تر مولفه‌ی تاب‌آوری را در مدل ریاضی خود در نظر گرفته‌اند. همچنین با توجه به وقوع اختلال یا هر اتفاق غیرمنتظره‌ای که منجر به افزایش ناگهانی تقاضا می‌شود، باید برای جلوگیری از کمبود و ارضای تقاضای مشتریان در اسرع وقت به‌خصوص در شرایط همه‌گیری کووید-۱۹، مولفه‌ی زمان را در نظر گرفت. باین حال این موضوع حایز اهمیت در مطالعات این حوزه کمی به‌طورجدی در نظر گرفته نشده است.

¹ Bi-level programming

² Karush-Kuhn-Tucker (KKT)

جدول ۱ - خلاصه‌ای از مرور ادبیات.

Table 1- A summary of literature review.

مطالعه موردی / کاربرد	امکانی	رویکرد عدم قطعیت			دوره‌ی زمانی		روش حل		تابع هدف		نوع مدل / رویکرد ^۲	معیارهای عملکردی			نویسندگان (سال)		
		استوار	فازی	تصادفی	چند دوره‌ای	تک دوره‌ای	(فرا) ابتکاری	دقیق	چندهدفه	تک هدفه		کمبود	تقاضا	زمان		اختلال	تاب‌آوری ^۱
شرکت پرینتر HP				✓		✓		✓	✓		TSSP			✓	✓*	1 کریستیانو و همکاران [13]	
خرده فروشی	✓	✓				✓		✓		✓	MIP			✓	✓	2 صالحی صادقیانی و همکاران [14][14]	
-				✓	✓		✓		✓		TSSP			✓	✓*	✓	3 ترابی و همکاران [11]
تجهیزات پزشکی		✓				✓	✓			✓	MINLP			✓	✓	✓	4 حسنی و خسروجردی [15]
صنایع کشاورزی		✓				✓			✓	✓	TSSP			✓	✓	✓	5 بهزادی و همکاران [16]
صنایع شیشه				✓	✓			✓		✓	MSSP			✓	✓		6 فتاحی و همکاران [17]
محصولات دارویی	✓		✓	✓		✓		✓		✓	TSPSP			✓	✓	✓	7 صبوچی و همکاران [9]
محصولات دارویی	✓		✓			✓		✓		✓	MINLP					✓	8 سوادکوهی و همکاران [23]
محصولات دارویی			✓			✓		✓	✓		MILP	✓				✓	9 ظهیری و همکاران [24]
توزیع خون		✓		✓	✓			✓	✓		MILP- TSSP		✓	✓	✓	✓	10 دیابت و همکاران [25]
محصولات دارویی			✓			✓		✓	✓		MINLP		✓			✓	11 روشن و همکاران [26]
محصولات دارویی		✓		✓	✓			✓	✓		TSSP		✓			✓	12 اکبرپور و همکاران [27]
توزیع خون		✓				✓		✓	✓		MILP	✓		✓	✓*	✓	13 حائری و همکاران [20]
صنایع کشاورزی		✓	✓	✓	✓			✓	✓		MINLP				✓*	✓	14 حسینی مطلق و همکاران [21]
بایواتانول	✓	✓		✓	✓			✓		✓	MINLP			✓	✓	✓	15 موسوی اهرنجانی و همکاران [22]
محصولات دارویی، کووید-۱۹ (ایران)	✓				✓			✓	✓		NLP-KKT	✓				✓	16 آقابابایی و همکاران [28]
محصولات دارویی			✓				✓		✓		MILP					✓	17 گودرزبان و همکاران [29]
خرده فروشی (شهروند)			✓			✓		✓		✓	MILP			✓	✓*	✓	18 علیخانی و همکاران [10]
محصولات دارویی، کووید-۱۹ (مشهد)				✓	✓			✓	✓		MILP- TSSP		✓	✓	✓*	✓	19 پژوهش حاضر

^۱ مقالاتی که علامت ستاره (*) دارند، علاوه بر مفهوم تاب‌آوری، از آن به عنوان یک ابزار بهینه‌سازی نیز استفاده کرده‌اند و یا به عبارتی تابع هدف تاب‌آوری دارند.

^۲ توضیح هر یک از مخفف‌ها عبارت‌اند از: TSSP: Two-Stage Stochastic Programing, MSSP: Multi-Stage Stochastic Programing, MILP: Mixed Integer Linear Programing, MINLP: Mixed Integer Non-Linear programming, MIP: Mixed Integer Programing, TSPSP: Two-Stage Possibilistic-Stochastic Programing, NLP: Non-linear Programing, KKT: Karush-Kuhn-Tucker



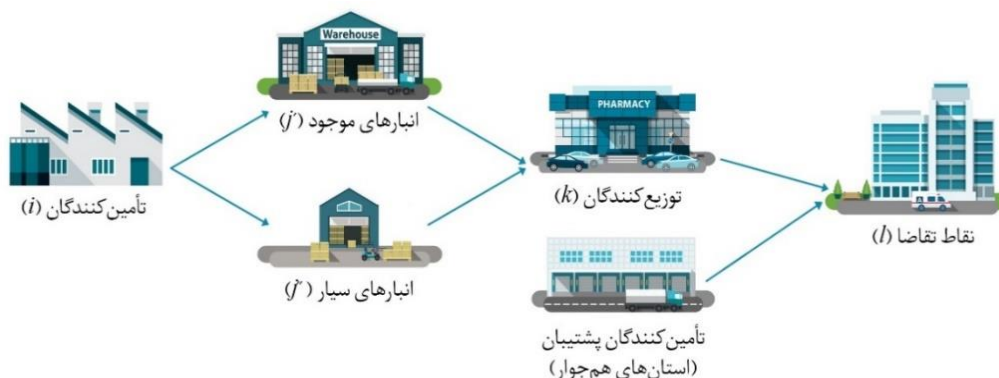
جدول ۱ بر اساس چند معیار اصلی، مقالات با بیشترین ارتباط موضوعی با این پژوهش را به صورت خلاصه نمایش می‌دهد. بر این اساس، با بررسی مقالات منتشر شده در حوزه طراحی شبکه زنجیره تامین می‌توان دریافت که مطالعات در خصوص تاب‌آوری در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. همچنین با توجه به اهمیت روزافزون مطالعات در حوزه سیستم‌های سلامت^۱، به مسایل طراحی شبکه زنجیره تامین دارو، در کنار سایر انواع زنجیره‌های تامین نگاه ویژه‌ای شده است. همان‌طور که اشاره شد، برخی از مقالات طراحی شبکه زنجیره تامین دارویی، مساله زمان را به‌عنوان یکی از مولفه‌های اصلی مدل خود معرفی کرده بودند؛ اما هیچ‌یک از مطالعات در دو حوزه زنجیره تامین دارو و تاب‌آوری زنجیره تامین، به بررسی توانان مولفه‌های زمان و تاب‌آوری نپرداخته‌اند. همچنین با توجه به نوظهور بودن پدیده همه‌گیری کووید-۱۹، مقالات بسیار کمی با این موضوع در مدل‌های طراحی شبکه زنجیره تامین منتشر شده است؛ بنابراین، با توجه به شکاف تحقیقی که در این دو حوزه وجود دارد، ادغام دو مولفه‌ی زمان و تاب‌آوری به‌عنوان توابع هدف مدل، نوآوری اصلی تحقیق پیش‌رو است و با اضافه نمودن مطالعه موردی کووید-۱۹ به دنبال غنای علمی در ادبیات این حوزه هستیم.

۳- تعریف مساله

در این بخش، جزئیات مدل پیشنهادی طراحی شبکه زنجیره تامین دارو مورد بررسی قرار می‌گیرد. ساختار شبکه زنجیره تامین داروی فرض شده از چهار سطح، تامین‌کنندگان، انبارها، توزیع‌کنندگان و نقاط تقاضا تشکیل می‌شود که در آن سه تابع هدف زمان تحویل و هزینه کمینه می‌شوند و تاب‌آوری شبکه از طریق یک تابع کمینه‌سازی شامل معیارهای منفی تاب‌آوری، افزایش می‌یابد. شکل ۱ شماتیک شبکه زنجیره تامین را نشان می‌دهد. همچنین در این مدل ریسک اختلال با نوع عمومی نیز در نظر گرفته شده است که بر اساس آن وقوع هرگونه اختلالی (اعم از حوادث و بلایای طبیعی، موج جدید کووید، سویه جدید کرونا، اختلال در شبکه برق‌رسانی، اعتصاب رانندگان و...) در هریک از انبارها، مراکز توزیع و یا مسیر بین این دو مرکز محتمل است. مفروضات این مدل عبارت‌اند از:

۱. ظرفیت نگهداری محصولات در مراکز توزیع دارای محدودیت می‌باشد.
۲. محل کاندید استقرار انبار سیار، نباید انباری موجود باشد.
۳. انبارها دارای محدودیت ظرفیت هستند.

اگر اختلالی در یکی از مراکز و یا مسیرهای ارتباطی واقع شود، به معنای خروج آن از سرویس‌دهی است.



شکل ۱- شماتیک شبکه زنجیره تامین دارویی پیشنهادی.

Figure 1- Schematic of the proposed pharmaceutical supply chain network.

۳-۱- برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای

یقیناً به دلیل زندگی در دنیایی غیرقطعی هیچ‌چیز قابل پیش‌بینی وجود ندارد. از آن‌جا که عدم اطمینان بر عملکرد زنجیره تامین تاثیر خواهد گذاشت، باید عواقب تصمیم‌های مختلف در دنیای غیرقطعی بررسی شود [30]. اما برخی از تصمیم‌ها از اهمیت بیشتری در مدیریت

¹ Healthcare systems



زنجیره تامین برخوردار هستند. در این جا یک برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای به منظور کاهش آثار زیان بار اختلال هنگام وقوع یک حادثه ارایه می‌شود. مرحله اول، شامل تصمیماتی در خصوص تجهیز (یا تقویت) انبارهای موجود در برابر هرگونه اختلال و تعداد انبارهای سیار که باید خریداری شود، می‌باشد؛ اما مرحله دوم شامل جانمایی یا استقرار انبارهای سیار، تخصیص این انبارها و انبارهای موجود به مراکز توزیع و تامین کنندگان و میزان موجودی مورد نیاز محصولات هنگام وقوع اختلال در مراکز توزیع می‌باشد. بدین منظور مدل ارایه شده، یک مدل سناریو محور می‌باشد که در آن تقاضای محصولات در دوره‌های مختلف و همچنین وقوع یا عدم وقوع اختلال در مراکز در چند سناریو احتمالی در نظر گرفته می‌شود.

۳-۲- معیارهای تاب‌آوری

صبحی و همکاران [9] در مقاله خود استراتژی‌های تاب‌آوری در ادبیات این حوزه را به ۷ دسته تقسیم کرده‌اند. در این مدل چهار استراتژی به منظور افزایش تاب‌آوری شبکه در برابر اختلال‌ها فرض شده است. این استراتژی‌ها عبارتند از: تجهیز (تقویت‌سازی) تسهیلات^۱، عقد قرارداد با تامین‌کنندگان پشتیبان^۲، مدیریت پیچیدگی گره و جریان^۳ و سرویس‌رسانی به مشتریان [31]. در راستای استراتژی تجهیز (تقویت‌سازی) تسهیلات، مدل به دنبال کاهش آثار زیان بار ناشی از وقوع اختلال می‌باشد. استان‌های هم‌جوار نیز برای تامین مستقیم دارو به عنوان منبعی با قابلیت اطمینان^۴ بالا (تامین‌کننده پشتیبان) در نظر گرفته می‌شوند تا در صورت وقوع اختلال، کمبود احتمالی دارو را جبران کنند. همچنین شبکه‌ای دارای پیچیدگی گره و جریان است که تعداد گره‌ها و یا اتصالات (بال‌ها) بین گره‌ها زیاد باشد؛ بنابراین برای افزایش تاب‌آوری شبکه، مدل درصدد کمینه کردن تعداد گره‌ها و اتصالات بین آن‌ها می‌باشد [31]. در نهایت، با استراتژی سرویس‌رسانی به مشتریان، مدل به دنبال کمینه کردن سطح تقاضای برآورده نشده (سطح عدم سرویس‌رسانی به مشتریان^۵) یا کمبود می‌باشد. رابطه (۱) این مقدار را محاسبه می‌کند و توسط رابطه (۱) تا رابطه (۴) خطی‌سازی آن انجام می‌شود. توضیحات نمادها در ابتدای بخش ۳-۳ آورده شده است.

$$\min_{mlts} \max \psi_{mlt}^s \left(d_{mlt}^s - \sum_{k \in K} U_{mkl}^s \right). \quad (1)$$

$$\min \Phi. \quad (2)$$

$$\Phi \geq \psi_{mlt}^s \left(d_{mlt}^s - \sum_{k \in K} U_{mkl}^s \right). \quad (3)$$

$$\Phi \geq \psi_{mlt}^s \left(d_{mlt}^s - \sum_{k \in K} U_{mkl}^s \right). \quad (4)$$

۳-۳- مدل‌سازی ریاضی

اندیس نوع محصولات.	m
اندیس مکان‌های کاندید برای عرضه‌کنندگان.	i
اندیس مکان‌های انبار.	j
مجموعه انبارهای مرکزی موجود، زیرمجموعه J .	J'
مجموعه مکان‌های کاندید برای استقرار انبار سیار، زیرمجموعه J .	J''
اندیس مکان‌های کاندید مراکز توزیع.	k
اندیس نقاط تقاضا.	l
اندیس دوره زمانی.	t
اندیس سناریوها.	s

¹ Fortification/Protection of facilities

² Contracting with backup facilities

³ Node and flow complexity

⁴ Reliability

⁵ Customer de-service level

پارامترها



اگر در انبار j در دوره t تحت سناریو s اختلال ایجاد شود، یک؛ در غیر این صورت صفر.	α_{jt}^s
اگر در مسیر r بین انبار j و مرکز توزیع k در دوره t تحت سناریو s اختلال ایجاد شود، یک؛ در غیر این صورت صفر.	δ_{jkrt}^s
احتمال وقوع سناریو s .	π^s
هزینه خرید ملزومات برای یک انبار سیار.	o
هزینه تجهیز انبار موجود.	q
ظرفیت مرکز توزیع k .	e_k
ظرفیت پذیرش محصول توسط انبار سیار در مکان j .	f_j
ظرفیت پذیرش محصول توسط انبار موجود در مکان j .	c_j
عرضه محصول توسط عرضه‌کننده i در دوره t .	p_{it}
نرخ تبدیل محصول m در عرضه‌کننده i .	φ_{im}
تقاضای محصول نوع m در نقطه تقاضای l در دوره t تحت سناریو s .	d_{mlt}^s
زمان انتقال از استان هم‌جوار به نقطه تقاضای l در دوره t .	t_{lt}
اگر در مرکز توزیع k در دوره t تحت سناریو s اختلال ایجاد شود، یک؛ در غیر این صورت صفر.	β_{kt}^s
ضریب نرمال‌سازی سطح عدم سرویس‌رسانی برای محصول نوع m در نقطه تقاضای l در دوره t تحت سناریو s .	ψ_{mlt}^s
ضریب (جریمه) برای پیچیدگی جریان بین گره i و j .	ξ
ضریب (جریمه) برای پیچیدگی جریان بین سایر استان‌ها و گره l .	ξ'
ضریب (جریمه) برای پیچیدگی در گره محل استقرار انبار سیار.	μ
ضریب (جریمه) برای عدم سرویس‌رسانی به مشتریان.	γ
ضریب (جریمه) برای انبار تجهیز نشده.	τ
زمان انتقال از انبار j به مرکز توزیع k از طریق مسیر r .	t'_{jkr}
زمان انتقال از مرکز توزیع k به نقطه تقاضای l .	t''_{kl}
عدد منطقی بزرگ.	M

متغیرهای تصمیم

سطح موجودی محصول m در مرکز توزیع k و در پایان دوره t تحت سناریو s .	V_{mkt}^s
میزان محصول منتقل شده نوع m از انبار j به مرکز توزیع k در دوره t و از طریق مسیر r تحت سناریو s .	F_{mijktr}^s
میزان محصول منتقل شده نوع m از مرکز توزیع k به نقطه تقاضای l در دوره t تحت سناریو s .	U_{mklt}^s
میزان محصول عرضه‌شده از عرضه‌کننده i به انبار j در دوره t تحت سناریو s .	G_{ijt}^s
میزان محصول منتقل شده نوع m از استان هم‌جوار به نقطه تقاضای l در دوره t تحت سناریو s .	H_{mlt}^s
اگر انبار سیار در مکان k کاندید j در دوره t تحت سناریو s مستقر شود، یک؛ در غیر این صورت صفر.	Y_{jt}^s
اگر انبار j به مرکز توزیع k در دوره t و در مسیر r تحت سناریو s تخصیص داده شود، یک؛ در غیر این صورت صفر.	X_{jktr}^s
اگر عرضه‌کننده i به انبار j در دوره t تحت سناریو s تخصیص داده شود، یک؛ در غیر این صورت صفر.	W_{ijt}^s
اگر گره i به j در دوره t تحت سناریو s تخصیص داده شود، یک؛ در غیر این صورت صفر.	v_{ijt}^s
اگر استان پشتیبانی به نقطه تقاضای l در دوره t تحت سناریو s تخصیص داده شود، یک؛ در غیر این صورت صفر.	v_{lt}^s
اگر انبار j تجهیز شود، یک؛ در غیر این صورت صفر.	Z_j
متغیر عدد صحیح تعداد انبارهای سیار که باید خریداری شوند.	N
متغیر مثبت سطح عدم سرویس‌رسانی به مشتریان (نقاط تقاضا).	Φ

رابطه (۵) نشان‌دهنده تابع هدف اول است که درصد کمیته‌سازی زمان تحویل محصول می‌باشد. جزو اول آن مربوط به زمان بین انبارها و مراکز توزیع، جزو دوم مربوط به زمان انتقال بین مراکز توزیع و نقاط تقاضا و جزو سوم مربوط به زمان انتقال بین استان‌های هم‌جوار و نقاط تقاضا می‌باشند. رابطه (۶) تابع هدف دوم است که مجموع هزینه‌های خرید سازه، ملزومات انبار سیار و تجهیز انبارهای موجود را کمیته می‌کند. رابطه (۷) نیز تابع هدف سوم بوده که به منظور افزایش تاب‌آوری شبکه، به ترتیب معیارهای پیچیدگی جریان، پیچیدگی گره، سطح عدم سرویس‌رسانی به مشتریان و تعداد انبارهای تجهیز نشده در آن کمیته می‌گردند.

$$Min Z_1 = \sum_s \pi^s \left(\sum_m \sum_j \sum_k \sum_t \sum_r F_{mjkr}^s t'_{jkr} + \sum_m \sum_k \sum_l \sum_t U_{mkl}^s t''_{kl} + \sum_m \sum_l \sum_t H_{mlt}^s t_{lt} \right) \quad (5)$$

$$Min Z_2 = oN + \sum_{j \in J'} qZ_j \quad (6)$$

$$Min Z_3 = \sum_s \pi^s \left(\sum_t \sum_j \sum_i \xi v_{ijt}^s + \sum_t \sum_l \xi' v_{lt}^s + \sum_t \sum_{j \in J''} \mu Y_{jt}^s + \gamma \Phi + \sum_{j \in J'} \tau(1 - Z_j) \right) \quad (7)$$

محدودیت‌ها

$$G_{ijt}^s \leq p_{it} W_{ijt}^s \text{ for all } i, j, t, s, \quad (8)$$

$$\sum_j G_{ijt}^s \leq p_{it} \text{ for all } i, t, s, \quad (9)$$

$$\sum_i G_{ijt}^s \leq c_j Z_j + f_j Y_{jt}^s \text{ for all } j, t, s, \quad (10)$$

$$Z_j + Y_{jt}^s \leq 1 \text{ for all } j, t, s, \quad (11)$$

$$W_{ijt}^s \leq (1 - \alpha_{jt}^s) Z_j + f_j Y_{jt}^s \text{ for all } i, j, t, s, \quad (12)$$

$$\sum_k \sum_r F_{mjkr}^s \leq \sum_i \varphi_{im} G_{ijt}^s \text{ for all } m, j, t, s, \quad (13)$$

$$G_{ijt}^s \leq M v_{ijt}^s \text{ for all } i, j, t, s, \quad (14)$$

$$\sum H_{mlt}^s \leq M v_{lt}^s \text{ for all } l, t, s, \quad (15)$$

$$\sum_j \sum_r \sum_m F_{mjkr}^s \leq e_k (1 - \beta_{kt}^s) \text{ for all } k, t, s, \quad (16)$$

$$X_{jkr}^s \leq (1 - \alpha_{jt}^s) (1 - \beta_{kt}^s) (1 - \delta_{jkr}^s) Z_j \text{ for all } j \in J', k, t, r, s, \quad (17)$$

$$X_{jkr}^s \leq Y_{jt}^s (1 - \beta_{kt}^s) (1 - \delta_{jkr}^s) Z_j \text{ for all } j \in J'', k, t, r, s, \quad (18)$$

$$\sum X_{jkr}^s \leq 1 \text{ for all } j, k, t, s, \quad (19)$$

$$\sum_k \sum_r X_{jkr}^s \leq 1 \text{ for all } j, t, s, \quad (20)$$

$$\sum F_{mjkr}^s \leq f_j X_{jkr}^s \text{ for all } k, j, t, r, s, \quad (21)$$

$$\sum_m \sum_l U_{mkl}^s \leq e_k (1 - \beta_{kt}^s) \text{ for all } k, t, s, \quad (22)$$

$$d_{mlt}^s - \sum U_{mkl}^s = H_{mlt}^s \text{ for all } m, l, t, s, \quad (23)$$

$$V_{mkt-1}^s + \sum_j \sum_r F_{mjkr}^s = V_{mkt}^s + \sum_l U_{mkl}^s \text{ for all } m, k, t, s, \quad (24)$$

$$\sum_{j \in J''} Y_{jt}^s \leq N \text{ for all } t, s, \quad (25)$$

$$\sum_m V_{mkt}^s \leq e_k \text{ for all } k, t, s, \quad (26)$$

$$V_{mkt}^s, F_{mjkr}^s, U_{mkl}^s, G_{ijt}^s, H_{mlt}^s, \Phi \geq 0 \text{ for all } m, i, j, k, l, t, r, s, \quad (27)$$

$$Z_j, Y_{jt}^s, X_{jkr}^s, W_{ijt}^s, v_{ijt}^s, v_{lt}^s \in \{0,1\} \text{ for all } i, j, k, l, t, r, s, \quad (28)$$

$$N \in \mathbb{Z}. \quad (29)$$





محدودیت‌های (۸) و (۹) تضمین می‌کنند که میزان محصولات عرضه‌شده از ظرفیت عرضه تامین‌کنندگان فراتر نرود. محدودیت (۱۰)، مربوط به ظرفیت انبارها بوده و محدودیت (۱۱) تضمین می‌کند که در محلی که انبار وجود دارد، انبار سیاری مستقر نشود. همچنین محدودیت (۱۲) تضمین می‌کند که تامین‌کنندگان باید به انبارهای موجودی که با اختلال مواجه نشده و امکان تجهیز در آن فراهم است و انبارهای سیاری که مستقر شده‌اند، تخصیص داده شوند. محدودیت (۱۳) مربوط به بالانس جریان در انبارها است و محدودیت (۱۴) و (۱۵) که مربوط به استراتژی پیچیدگی جریان می‌شود، تضمین می‌کند که ارتباط بین هر گره تنها زمانی برقرار می‌شود که بین آن‌ها جریان محصولی وجود داشته باشد. محدودیت (۱۶) حد ظرفیت نگهداری محصولات در مراکز توزیع را نشان می‌دهد. به‌علاوه، این محدودیت تضمین می‌کند که تنها مراکز توزیع که با اختلال مواجه نشده‌اند، قابل تخصیص هستند. به‌طور مشابه، محدودیت (۱۷) و (۱۸) تضمین می‌کنند که اگر انباری به مرکز توزیعی تخصیص داده‌شده، هر یک از آن دو و یا مسیر بین آن‌ها نباید با اختلال روبه‌رو شده باشند. محدودیت (۱۹)، الزام تخصیص تنها یک مسیر بین انبارها و مراکز توزیع را بیان می‌کند. همچنین محدودیت (۲۰) تضمین می‌کند که هر انبار تنها به یک مرکز توزیع تخصیص داد شود. محدودیت (۲۱) نیز از انتقال جریان محصولات بین انبارها و مراکز توزیعی که به یکدیگر تخصیص داده نشده‌اند، جلوگیری می‌کند. محدودیت (۲۲) دربردارنده این مفهوم است که تنها مراکز توزیعی قابلیت تخصیص به نقاط تقاضا را دارند که در آن‌ها اختلال به وجود نیامده باشد. محدودیت (۲۳) نیز میزان جریان محصولات انتقال یافته از مراکز توزیع استان‌های هم‌جوار به نقاط تقاضا را تعریف می‌کند. محدودیت (۲۴) مربوط به بالانس موجودی در مراکز توزیع است و محدودیت (۲۵) تضمین می‌کند که تعداد انبارهای سیار مستقرشده از تعداد مکان‌های کاندید آن برای استقرار فراتر نرود. محدودیت (۲۶) نیز، مربوط به ظرفیت نگهداری مراکز توزیع می‌باشد. در نهایت، رابطه (۲۷) تا رابطه (۲۹) نوع و دامنه تغییرات متغیرها را بیان می‌کند.

۳-۴- برنامه‌ریزی آرمانی

چارلز و کوپر [32] برای اولین بار برنامه‌ریزی آرمانی را به‌منظور حل مسایل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه ارایه کردند. ایده اصلی برنامه‌ریزی آرمانی نزدیک کردن مقادیر بهینه توابع به مقادیر ایده‌آل (سطح آرمانی^۱) تصمیم‌گیرنده است. بنابراین ابتدا تصمیم‌گیرنده مقادیر آرمانی خود را تعیین می‌کند و سپس فاصله بین مقادیر حل‌شده با آرمان کمینه می‌گردد. ساختار کلی برنامه‌ریزی آرمانی بر اساس رابطه (۳۰) تا رابطه (۳۳) پیاده‌سازی می‌شود [33].

$$\min \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{w_i^- d_i^- + w_i^+ d_i^+}{k_i} \right)^\rho \right]^{1/\rho}, \quad \rho \geq 1, \quad (30)$$

s. t.

$$g(x) \leq 0, \quad (31)$$

$$f_i(x) + d_i^- - d_i^+ = t_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad (32)$$

$$d_i^-, d_i^+ \geq 0, \quad i = 1, \dots, n. \quad (33)$$

مقادیر w_i^- و w_i^+ وزن‌های هر یک از انحراف‌های منفی و مثبت تابع هدف i th هستند. رابطه (۳۱) محدودیت‌ها و روابط مدل و $f_i(x)$ توابع هدف هستند. t_i نیز مقادیر آرمانی به ازای هر تابع هدف بوده و ρ درجه نرمال‌سازی می‌باشد.

۴- مطالعه موردی

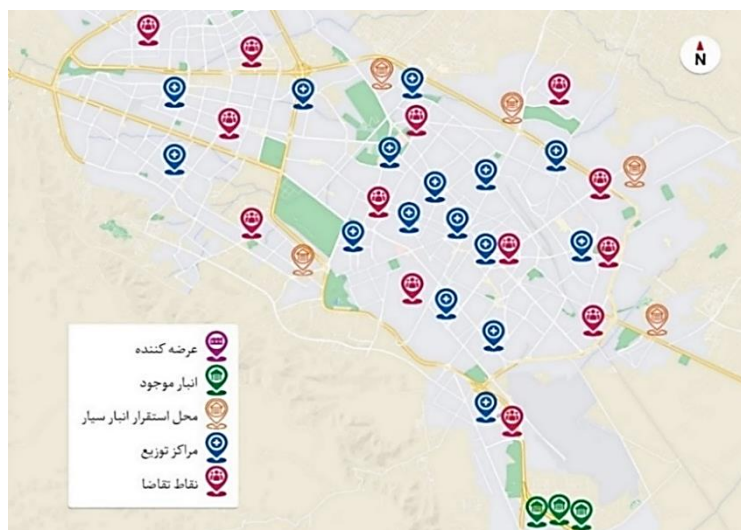
ایران دومین کشوری بود که در فاصله ۵۰ روز پس از چین دو مورد مرگ ناشی از کروناویروس را اعلام کرد [34]. پس از دو سال، ایران هم چنان یکی از کشورهایی است که بیش‌ترین آمار ابتلا و مرگ‌ومیر ناشی از کووید-۱۹ را دارد. بر اساس آمار پایگاه داده کمیته اپیدمیولوژی کووید-۱۹ وزارت بهداشت ایران، شهر مشهد همواره یکی از شهرهای با آمار بالای ابتلای روزانه کووید-۱۹ بوده است (کمیته اپیدمیولوژی کووید-۱۹ وزارت بهداشت^۲). در این بخش برای اثبات کارایی مساله طراحی شبکه زنجیره تامین داروی پیشنهادی، از داده‌های واقعی یک

^۱ Aspiration level

^۲ گزارش روند احتمالی اپیدمی کووید-۱۹ در آبان ماه در استان‌های کشور، گزارش ماهانه پنجم، (آبان ۱۳۹۹) کمیته اپیدمیولوژی کووید-۱۹ با همکاری مرکز مدیریت بیماری‌های واگیر مرکز عملیات اضطراری (EOC). (<http://corona.behdasht.gov.ir>)

مطالعه موردی در شهر مشهد استفاده شده است. شهر مشهد، کلان‌شهر شمال شرقی ایران، با ۳۵۱ کیلومتر مربع مساحت و بیش از ۳ میلیون تن جمعیت دومین شهر پهناور و پرجمعیت ایران بعد از تهران می‌باشد.

شکل ۲ نشان‌دهنده نقشه شهر مشهد است که هر یک از مراکز در آن واقع شده‌اند. در این مطالعه سه شرکت عرضه‌کننده دارو وجود دارند و عبارتند از: شرکت دارو پخش، شرکت پخش رازی و شرکت پخش هجرت. انبار مرکزی این عرضه‌کنندگان همگی در استان تهران واقع شده‌اند و داروهای موردنیاز به انبارهای موجود متعلق به این سه شرکت در مشهد ارسال می‌شوند. مکان این سه انبار موجود که در مجاورت یکدیگر قرار دارند و در آستانه ورودی شهر مشهد واقع شده‌اند، در شکل ۲ مشخص شده‌اند. ۵ محل مناسب برای استقرار انبارهای سیار نیز مشخص شده است. همچنین مراکز توزیع، داروخانه‌های شاخص یا شبانه‌روزی مشهد می‌باشند. در نهایت منطقه ثامن و سایر مناطق دوازده‌گانه مشهد به‌عنوان نقاط تقاضا در نظر گرفته شده‌اند. سه داروی اصلی تجویز شده برای بیماران، عبارتند از ۱- رمدسیویر^۱، ۲- هیدروکسی کلروکین سولفات^۲ و ۳- ریتوناویر/لوپیناویر^۳. جدول ۲، شرکت‌های ایرانی تولیدکننده این داروها و ظرفیت تولید آنان را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نقشه شبکه توزیع دارو در مشهد.

Figure 2- Map of medicine distribution network in Mashhad.

جدول ۲- شرکت‌های تولیدکننده داروهای موثر و ظرفیت تولید آن‌ها.

Table 2- Manufacturer of effective medicines and their production capacity.

نام دارو	تولیدکننده	ظرفیت تولید (عرضه)
رمدسیویر	اکتورکو	30,000
هیدروکسی کلروکین سولفات	ایران دارو	150,000
ریتوناویر/لوپیناویر	باختر بیوشیمی و اکتورکو	40,000

مقدار تقاضای هر یک از این داروها، بر اساس تعداد مبتلایان و مقادیر دوزهای موردنیاز برای هر یک، قابل محاسبه است. به‌عنوان مثال برای محاسبه میانگین تقاضای دوره‌ای داروی «رمدسیویر»، با توجه به (دستورالعمل توزیع و مصرف داروی رمدسیویر (Remdesivir) منتشرشده توسط سازمان غذا و داروی ایران (IFDA)، فرد مبتلا (بزرگسال و بچه با وزن بالای ۴۰ کیلوگرم)، ۲۰۰ میلی‌گرم روز اول و سپس روزانه ۱۰۰ میلی‌گرم برای ۴ روز (جمعا ۵ روز). در صورتی که بهبودی بالینی حاصل نشود درمان می‌تواند ۵ روز دیگر ادامه یابد. به‌عبارت‌دیگر برای هر فرد مبتلا ۶ تا ۱۱ دوز نیاز است؛ که با ضرب این عدد در میانگین تعداد دوره‌ای (هفته‌ای) مبتلایان، میانگین تقاضای داروی به دست خواهد آمد. همچنین گزارش آمار مبتلایان و جان‌باختگان ناشی از کووید-۱۹، توسط وزارت بهداشت و آموزش پزشکی (MOH & ME) منتشر می‌شود. طبق این آمار به‌صورت میانگین، در استان خراسان رضوی (فرض در این مطالعه، شهر مشهد است). ۸۰۰ نفر در هر هفته بستری می‌شوند و یا به داروی رمدسیویر نیاز پیدا می‌کنند؛ بنابراین، داروی «رمدسیویر» موردنیاز هفتگی شهر مشهد برای سناریو محتمل برابر است با: $d_{mit}^{2*} \sim UI[4800, 8800]$. لازم به ذکر است که پارامتر تقاضای هر محصول با استفاده از

¹ Remdesivir

² Hydroxychloroquine sulfate

³ Lopinavir/ Ritonavir





توزیع یکنواخت برای هر دوره زمانی بر اساس یک حد پایین و حد بالا تولید می‌شود. این مقدار برای سناریو محتمل در نظر گرفته می‌شود، درحالی‌که انتظار می‌رود برای سناریو بدبینانه این مقدار بیشتر و برای سناریو خوش‌بینانه این مقدار کمتر شود.

برای محاسبه ضریب افزایش یا کاهش تقاضا برای دو سناریو بدبینانه و خوش‌بینانه، چند بازه زمانی از شروع همه‌گیری کووید-۱۹ در نظر گرفته شده و روزهای هریک از بازه‌های زمانی بر اساس آمار ابتلا روزانه به صورت نزولی رتبه‌بندی می‌شوند. از تعداد مبتلایان $0/3$ ابتدای لیست (بر اساس پارامتر $7\pi^s$) به‌عنوان روزهای با بیشترین ابتلا، میانگین گرفته می‌شود و این رویه برای $0/5$ بعدی به‌عنوان روزهای با ابتلا معمولی و $0/2$ آخر لیست به‌عنوان روزهای با کمترین ابتلا تکرار می‌شود. با این کار، سه مقدار میانگین بیشترین، متوسط و کمترین تعداد مبتلایان، برای هر یک از بازه‌های زمانی به دست می‌آید. سپس از این سه مقدار به‌دست‌آمده برای هر بازه‌ی زمانی، به ازای همه‌ی بازه‌ها مجدد میانگین گرفته می‌شود تا درنهایت سه مقدار نهایی به دست آید. در انتها، مقادیر نهایی نرمال‌سازی شده تا ضرایب تغییر تقاضا برای سه سناریوی بدبینانه، محتمل و خوش‌بینانه به دست آید که به ترتیب هر یک برابر هستند با، $1.8 = w^3$ ، $1 = w^2$ و $0.7 = w^1$ بنابراین چنین رابطه‌ای برای محاسبه نهایی پارامتر تقاضا متصور است: $d_{mlt}^{3''} = w^3 \times d_{mlt}^{2''}$ ، $d_{mlt}^{2''} = w^2 \times d_{mlt}^{1''}$ و $d_{mlt}^{1''} = w^1 \times d_{mlt}^{1''}$ برای دو داروی دیگر نیز به‌صورت مشابه این رویه انجام می‌شود. براین اساس، جدول ۳ تقاضای هفتگی داروهای موردنیاز مبتلایان را نشان می‌دهد.

جدول ۳- تقاضای داروها بر اساس هر یک سناریوها.

Table 3- Demand for pharmaceutical items based on each scenario.

نام دارو	سناریو		
	بدبینانه (s = 3)	محتمل (s = 2)	خوش‌بینانه (s = 1)
رمدسیویر	U[8640,15840]	U[4800,8800]	U[3360,6160]
هیدروکسی کلروکین سولفات	U[39600,41760]	U[22000,23200]	U[15400,16240]
ریتوناویر / لویپناویر	U[16200,19440]	U[9000,10800]	U[6300,7560]

پارامترهای اختلال $(\delta_{jkt}^s, \beta_{kt}^s, \alpha_{jt}^s)$ نیز که پارامتر صفر-یک (باینری) هستند، بر اساس سه سناریو به‌صورت تصادفی تولید می‌شوند. بدین گونه که در سناریو خوش‌بینانه، فارغ از احتمال رخداد آن، کمتر اختلال به وقوع می‌پیوندد. اما در سناریو محتمل بیشتر و در سناریو بدبینانه بیشترین وقوع اختلال در نظر گرفته شده است. زمان جابه‌جایی بین مراکز نیز برحسب ساعت و بر اساس موقعیت مکانی هر یک در نقشه شکل ۲، از طریق نرم‌افزار مسیریابی در ساعات ۱۰ تا ۱۷ روز غیرتعطیل به دست آمده است. درنهایت، سایر پارامترها بر اساس اطلاعات مطالعه موردی در جدول ۴ آورده شده‌اند.

جدول ۴- مقادیر و بازه توزیع یکنواخت برای تولید پارامترهای مطالعه موردی.

Table 4- Values and range of uniform distributions for generating case study parameters.

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
m	$m \in \{1:3\} = M$	t	$t \in \{1:4\} = T$	c_j	$U[1.8, 2.2] \times 10^7$
i	$i \in \{1:3\} = I$	s	$s \in \{1:3\} = S$	φ_{im}	$U[0.75, 0.95]$
j	$j \in \{1:8\} = J$	π^s	[0.2 0.5 0.3]	ξ	$U[30, 50]$
J'	$J' = \{1:3\} \subset J$	o	80000	ξ'	$U[30, 50]$
J''	$J'' = \{4:8\} \subset J$	q	12000	μ	$U[30, 50]$
k	$k \in \{1:16\} = K$	e_k	$U[8, 10] \times 10^5$	γ	$U[3, 9]$
l	$l \in \{1:13\} = L$	f_j	$U[1.8, 2.2] \times 10^7$	τ	$U[0.2, 0.8]$

۵- نتایج عددی

مدل ارایه شده در این مقاله، در نرم‌افزار GAMS 25.1.s2 کد شده و توسط سالور CPLEX حل شده است. تمام پیاده‌سازی‌ها و محاسبات کامپیوتری توسط یک لپ‌تاب با پردازنده Intel Core i7-6650U 2.20GHz و با حافظه رم 8GB انجام شده است. بر اساس $\rho = 1$ و $k_i = \frac{f_i}{100}$ برای برنامه‌ریزی آرمانی، مساله پیشنهادی حل شده و نتایج آن در جدول ۵ گزارش شده است. بدین ترتیب، مقدار بهینه متغیرهای

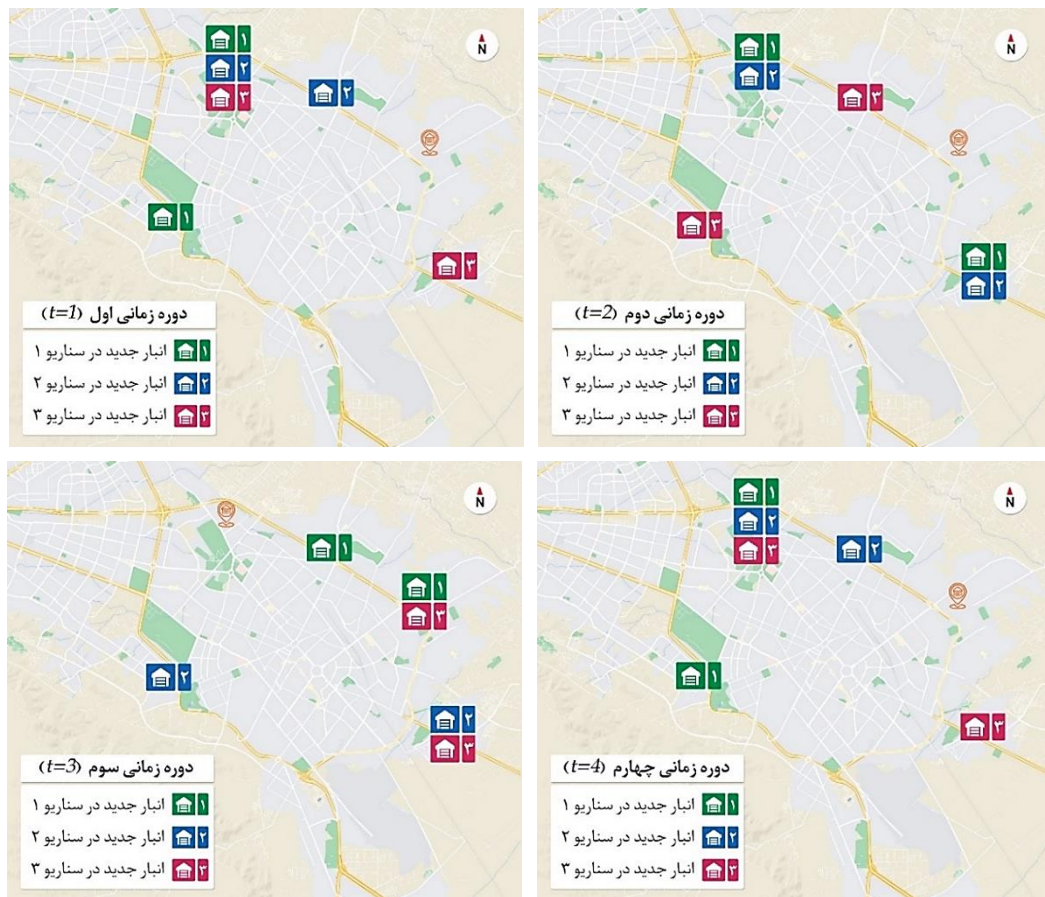
سطح اول، یعنی انبارهای تجهیز شده برابر است با $Z_j^* = [1, 1, 2, 1, 3, 1]$ و همچنین تعداد انبارهای سیاری که باید خریداری شوند، برابر است با $N^* = 2$.

جدول ۵- نتایج حل مساله پیشنهادی بر اساس داده‌های مطالعه موردی.

Table 5- Final solution of proposed problem based on a real case data.

معیارها	تابع هدف			زمان حل (ثانیه)	شکاف بهینگی ^۱
	زمان (i = 1)	هزینه (i = 2)	تاب آوری (i = 3)		
t_i	2,290,659	246,000	50,781	0.094	4.878×10^{-2}
d_i^-	0	50,000	0		
d_i^+	1,806,673	0	89,657		
Z_i^*	4,097,332	196,000	140,438		

شکل ۳ نیز بر اساس مقادیر بهینه متغیر تصمیم استقرار انبارهای سیار (Y_{ij}^*) ترسیم شده که موقعیت مکانی استقرار انبارهای سیار (بر اساس نقاط کاندید) در ۴ دوره زمانی و تحت ۳ سناریو را نشان می‌دهد. بنابراین، با توجه به نتایج حاصل شده، در مرحله اول تصمیم‌گیری، باید هر سه انبار موجود تجهیز شوند و سازه‌ها و ملزومات برای ساخت ۲ انبار سیار نیز خریداری شود. در مرحله دوم تصمیم‌گیری نیز، بر اساس هر سناریویی که در هر دوره اتفاق می‌افتد، انبارهای سیار به نقاطی که در شکل ۳ مشخص شده‌اند، منتقل شوند.



شکل ۳- محل استقرار بهینه انبارهای سیار در هر دوره تحت سناریوهای مختلف.

Figure 3- Optimal location of mobile warehouses in each period under different scenarios.

¹ Optimality Gap





در این بخش، برای اعتبارسنجی مدل، یک مدل واقعی سازی شده^۱ بر مبنای مدل اولیه، کدنویسی شده که در آن مقادیر بهینه متغیرها در مدل اولیه (اصلی)، پارامتر ورودی برای مدل واقعی سازی شده، در نظر گرفته شده و تنها دو متغیر مربوط به سطح اول (N و Z_j) همچنان به صورت متغیر باقی می ماند. سپس برای چهار پارامتر غیرقطعی ($\delta_{jkt}^s, \alpha_{jt}^s, \beta_{kt}^s, d_{mll}^s$) مجموعه‌ای از داده‌ها به صورت تصادفی با روش مونت کارلو^۲ تولید شده و بر اساس آن مدل واقعی سازی شده برای ۲۵ بار حل می شود. این رویه نیز این بار برای مدلی بدون فرض عدم قطعیت انجام می شود. سپس از مقادیر بهینه توابع هدف زمان و تاب آوری این چهار مدل در این ۲۵ تکرار میانگین گرفته شده است. جدول ۶ نتایج شبیه سازی حاصل از این ۲۵ تکرار را گزارش می کند. بر این اساس برای هر دو تابع هدف زمان و تاب آوری، بهبود حاصل شده است. بنابراین، آنچه مشهود است، اگر عدم قطعیت در این مدل لحاظ نشود، جواب به طور قابل توجهی بدتر خواهد شد و این موضوع برتری مدل غیرقطعی^۳ را بر مدل قطعی^۴ اثبات می کند.

جدول ۶- نتایج شبیه سازی برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی.

Table 6- Simulation results to validate the proposed model.

#	مدل قطعی		مدل غیرقطعی	
	زمان	تاب آوری	زمان	تاب آوری
1	5,019,264.926	148,969.1964	4,237,561.915	142,002.4697
2	4,966,094.625	149,000.0433	4,269,879.694	142,929.6090
3	4,993,429.999	151,098.2007	4,174,051.827	142,726.4407
4	4,852,849.204	150,694.5760	4,270,987.039	148,645.3115
5	4,963,331.339	147,500.5993	4,064,878.616	142,068.2456
6	4,984,766.631	148,851.8486	4,251,804.482	141,601.9176
7	4,942,587.803	150,526.2123	4,277,901.739	137,890.9128
8	5,044,945.698	150,060.5305	4,212,433.831	144,430.7447
9	4,786,376.236	148,349.0003	4,198,740.912	137,114.6246
10	5,051,318.789	149,094.3210	4,146,129.481	133,509.8356
11	5,006,811.736	151,086.6072	4,242,275.004	143,044.5135
12	5,117,218.615	150,009.0483	4,238,404.277	142,704.6610
13	4,934,392.838	151,709.6645	4,157,977.163	142,819.3890
14	4,801,356.079	150,145.2808	4,129,666.327	142,250.1120
15	5,144,580.986	151,333.6823	4,162,885.054	145,999.4323
16	5,044,256.984	150,615.5654	4,111,679.697	147,311.9535
17	4,948,959.280	145,827.2820	4,305,355.841	140,729.1404
18	5,007,088.758	142,983.5565	4,060,534.084	145,544.3839
19	5,134,568.773	148,248.0513	4,269,374.634	144,030.1358
20	4,977,773.783	143,694.2015	4,196,124.034	148,975.5865
21	4,955,960.275	148,635.1007	3,995,533.133	142,338.4705
22	4,930,380.998	152,415.1825	4,170,823.356	140,721.7005
23	5,012,139.385	147,583.1162	4,359,400.794	142,624.4621
24	5,053,867.768	153,107.0957	4,033,967.657	140,621.8552
25	5,102,040.044	146,881.8766	4,186,186.334	141,754.9296
میانگین	4,991,054.462	149,136.7936	4,188,982.277	142,575.6335

¹ Realization model

² Monte Carlo

³ Uncertain model

⁴ Deterministic model

در این بخش ابتدا، به منظور بررسی تاثیر فرض تاب‌آوری بر مدل که در بخش ۳-۲ ارایه شد، ۶ مدل با انواع استراتژی‌های تاب‌آوری مختلف در نظر گرفته شده و به منظور مقایسه آنان توسط نرم‌افزار گمز حل شده است. این ۶ مدل عبارتند از:

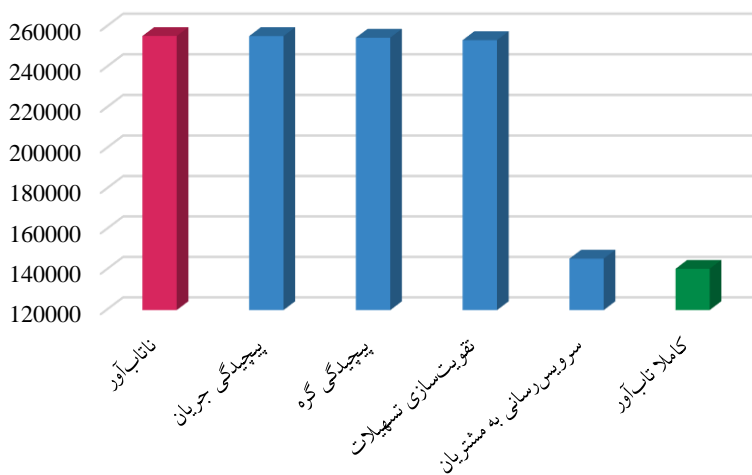
- مدل ۱: مدل بدون در نظر گرفتن هیچ استراتژی تاب‌آوری (مدل ناتاب‌آور).
- مدل ۲: مدل با فرض در نظرگیری استراتژی پیچیدگی جریان.
- مدل ۳: مدل با فرض در نظرگیری استراتژی پیچیدگی گره.
- مدل ۴: مدل با فرض در نظرگیری استراتژی سرویس‌رسانی به مشتریان.
- مدل ۵: مدل با فرض در نظرگیری استراتژی تجهیز (تقویت‌سازی) تسهیلات.
- مدل ۶: مدل با فرض در نظرگیری همه استراتژی‌های تاب‌آوری (مدل کاملاً تاب‌آور).

در نهایت پس از حل هر یک از این ۶ مدل، بر اساس فرمول ریاضی تابع هدف تاب‌آوری به‌عنوان یک شاخص واحد برای اندازه‌گیری میزان تاب‌آوری، مقایسه‌ای صورت گرفته که نتایج آن در جدول ۷ گزارش شده است. نمودار شکل ۴ نیز برای نمایش بهتر این مقایسه را ترسیم می‌کند. بر این اساس، مدل بدون استراتژی تاب‌آوری دارای بیشترین مقدار بوده است و با اضافه شدن استراتژی‌های تاب‌آوری بهبود در میزان تاب‌آوری شبکه حاصل شده است. این بهبود برای استراتژی‌های پیچیدگی گره و جریان و تقویت‌سازی تسهیلات به‌صورت جداگانه، بسیار جزئی بوده اما برای استراتژی سرویس‌رسانی به مشتریان، قابل توجه است؛ اما نکته‌ای که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، این است که رویکرد ادغام همه استراتژی‌های تاب‌آوری منجر به بهبود بیشتری شده است. در نهایت، بر اساس نتایج، پرواضح است که ادغام این استراتژی‌ها به‌جای به‌کارگیری تک‌تک آن‌ها، دارای برتری است.

جدول ۷- مقایسه نتایج حل انواع استراتژی‌های تاب‌آوری.

Table 7- Comparison of results of different resilience strategies.

مقدار	نوع تاب‌آوری مدل	شاخص تاب‌آوری	بهبود (%)
1	مدل بدون فرض تاب‌آوری	255,347	0
2	مدل تاب‌آور: استراتژی پیچیدگی جریان	255,294	0.02
3	مدل تاب‌آور: استراتژی پیچیدگی گره	254,505	0.32
4	مدل تاب‌آور: استراتژی سرویس‌رسانی به مشتریان	145,454	43.03
5	مدل تاب‌آور: استراتژی تقویت‌سازی (تجهیز) تسهیلات	253,302	0.80
6	مدل کاملاً تاب‌آور (ادغام همه استراتژی‌ها)	140,438	45.00



شکل ۴- نمایش گرافیکی مقایسه‌ی نتایج حل انواع استراتژی‌های تاب‌آوری.

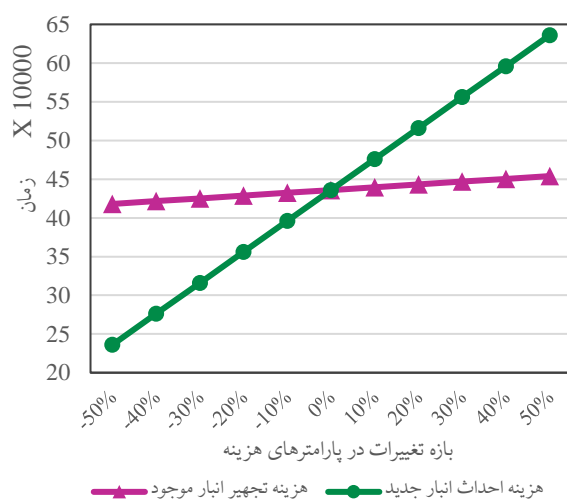
Figure 4- Illustration of results of different resilience strategies in the proposed model.



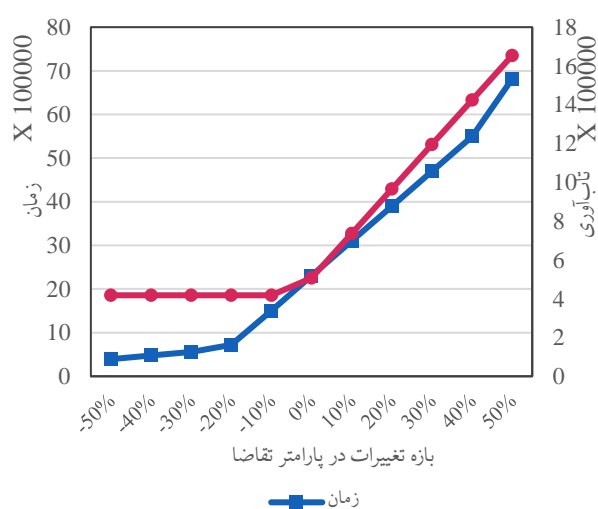


همچنین، برای صحت‌سنجی و ارزیابی تاثیر تغییرات پارامترهای کلیدی بر روی مقادیر بهینه توابع هدف نیز، تحلیل حساسیت انجام شده است. بدین منظور پارامترهای o ، q ، d_{mlt}^s ، φ_{im} ، t_{it} ، t'_{kr} و t'_{kl} از بازه $0\% - 50\%$ تغییر داده شده و تغییرات ناشی از آن‌ها بر روی توابع هدف، در شکل ۵ و شکل ۶ نمایش داده شده است. بر اساس شکل ۵ (الف)، با افزایش هزینه‌های خرید انبار سیار و یا تجهیز انبارهای موجود، هزینه کل نیز افزایش می‌یابد؛ اما با مقایسه شیب تغییرات این دو پارامتر، می‌توان دریافت که تاثیر تغییرات پارامتر هزینه خرید انبار سیار بیشتر از هزینه تجهیز انبار می‌باشد. با توجه به شکل ۵ (ب)، همان‌طور که انتظار می‌رود، هرچه میزان تقاضا افزایش یابد، مقادیر توابع زمان و تاب‌آوری نیز بیشتر می‌شود؛ اما نکته قابل‌تامل این‌جاست که با توجه به تحلیل شیب نمودار، تاثیر افزایش تقاضای محصولات بسیار بیشتر از کاهش آن است.

در خصوص تغییرات پارامترهای زمان نیز، روند صعودی تابع زمان منطقی به نظر می‌رسد. پارامتر نرخ تبدیل در شکل ۶ (ب) به این مفهوم است که چه سهمی از عرضه کشوری محصولات تولیدکنندگان دارو به شهر مشهد اختصاص دارد. بدیهی است هرچه میزان این سهم بیشتر باشد، میزان جریان عرضه محصول به انبارها بیشتر می‌شود و منجر به بهبود در توابع زمان و تاب‌آوری می‌شود. در نهایت، براساس شکل ۶ (الف)، بدیهی است که با افزایش مقادیر پارامترهای زمان، تابع زمان نیز افزایش می‌یابد، اما آن‌چه مشهود است، تاثیر بیشتر پارامتر زمان انتقال از سایر استان‌ها است.



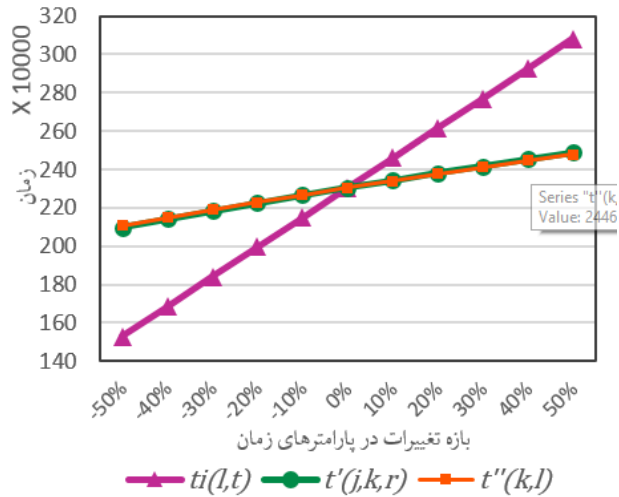
(الف)



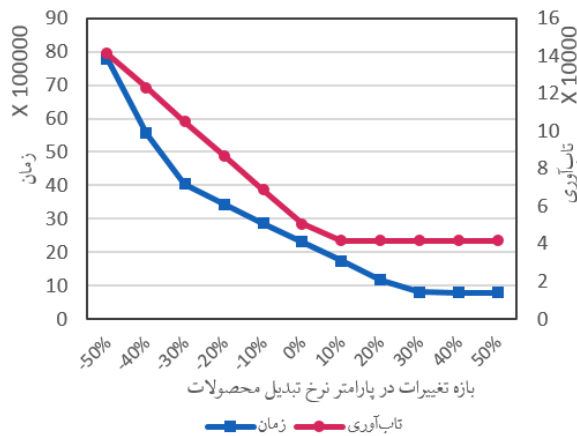
(ب)

شکل ۵- تاثیر تغییرات در پارامترهای تقاضا و هزینه بر روی توابع هدف.

Figure 5- Changes in demand and cost parameters vs changes in objective functions.



(الف)



(ب)

شکل ۶- تاثیر تغییرات در پارامترهای زمان و نرخ تبدیل محصولات.

Figure 6- Changes in exchange rate of products and time parameters vs changes in objective functions.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

در این مقاله، یک مدل بهینه‌سازی برای طراحی شبکه زنجیره تامین دارو ارائه می‌شود که در آن با اتخاذ چند استراتژی، تاب‌آوری شبکه افزایش می‌یابد. در ابتدا یک رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای برای غلبه بر ماهیت غیرقطعی داده‌ها با یک مدل ریاضی چندهدفه، چند محصولی و چند دوره‌ای ادغام شده است. تابع هدف اول و دوم این مدل به دنبال کمینه کردن زمان تحویل و هزینه بوده و تابع هدف سوم نیز به منظور افزایش تاب‌آوری شبکه، معیارهای منفی تاب‌آوری را کمینه می‌کند. همچنین برای تبدیل این مدل به یک مدل تک‌هدفه از رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی استفاده شده است. در نهایت، با پیاده‌سازی داده‌های واقعی یک مطالعه موردی در شبکه زنجیره تامین داروهای مصرفی بیماران کووید-۱۹ در مشهد، کاربردی بودن مدل نشان داده شده است که بر اساس آن اعتبارسنجی و صحت‌سنجی مدل نیز صورت گرفته است. نتایج عددی، حاکی از برتری مشهود مدل غیرقطعی نسبت به مدل قطعی می‌باشد. همچنین فرض تاب‌آوری در این مدل، بهبود چشمگیری در تاب‌آوری شبکه نسبت به عدم در نظرگیری آن دارد. از طرفی، افزایش در میزان پارامتر کلیدی تقاضا، برخلاف کاهش آن، تاثیر قابل ملاحظه‌ای در افزایش زمان انتقال دارو به دست مصرف‌کننده داشته و منجر به افزایش میزان تاب‌آوری نیز می‌شود.

در نهایت، پیشنهاد می‌شود برای مطالعات آتی علاوه بر به‌کارگیری سایر استراتژی‌های تاب‌آوری، فرض فسادپذیری داروها نیز در نظر گرفته شود. همچنین به دنبال افزایش نگرانی‌ها در حوزه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی، در نظر گرفتن معیار پایداری نیز ضروری به نظر

می‌رسد. در نهایت با توجه به پیچیدگی‌های روزافزون و احتمال وقوع هرگونه اتفاق غیرمنتظره، استفاده از رویکردهای ادغامی عدم قطعیت، همچون، برنامه‌ریزی تصادفی، فازی و استوار، از اهمیت بالایی در مطالعات حوزه طراحی شبکه زنجیره تامین برخوردار است. علاوه بر این، در تابع هدف مساله نیز، می‌توان موارد دیگری همچون، هزینه جابه‌جایی، تولید، نگهداری و... را در نظر گرفت.

تعارض با منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ تضادی در منافع در مورد انتشار این نسخه وجود ندارد، همه نویسندگان، نسخه نهایی ارسال شده را مشاهده و تایید کرده‌اند. نویسندگان تضمین می‌کنند که مقاله، اثر اصلی آن‌ها بوده، قبلاً چاپ نشده و در حال حاضر تحت انتشار نمی‌باشد.

منابع

- [1] Duran, S., Gutierrez, M. A., & Keskinocak, P. (2011). Pre-positioning of emergency items for CARE international. *Interfaces*, 41(3), 223-237.
- [2] Tofighi, S., Torabi, S. A., & Mansouri, S. A. (2016). Humanitarian logistics network design under mixed uncertainty. *European journal of operational research*, 250(1), 239-250.
- [3] Farnoosh, G., Alishiri, G., Hosseini Zijoud, S. R., Dorostkar, R., & Jalali Farahani A. (2020). Understanding the severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (sars-cov-2) and coronavirus disease (covid-19) based on available evidence - a narrative review. *Journal of military medicine*, 22(1), 1-11. (In Persian). DOI: 10.30491/JMM.22.1.1
- [4] Aschwanden, C. (2021). Five reasons why COVID herd immunity is probably impossible. *Nature*, 591, 520-522. DOI: 10.1038/d41586-021-00728-2
- [5] Ribeiro, J. P., & Barbosa-Povoa, A. (2018). Supply chain resilience: definitions and quantitative modelling approaches—a literature review. *Computers & industrial engineering*, 115, 109-122.
- [6] Suryawanshi, P., & Dutta, P. (2022). Optimization models for supply chains under risk, uncertainty, and resilience: A state-of-the-art review and future research directions. *Transportation research part e: logistics and transportation review*, 157, 102553. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102553>
- [7] Settanni, E., Harrington, T.S., & Srai, J.S. (2017). Pharmaceutical supply chain models: a synthesis from a systems view of operations research. *Operations research perspectives*, 4, 74-95.
- [8] Melnyk, S. A., Closs, D. J., Griffis, S. E., Zobel, C. W., & Macdonald, J. R. (2014). Understanding supply chain resilience. *Supply chain management review*, 18(1), 34-41. https://www.scmr.com/article/understanding_supply_chain_resilience
- [9] 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>
- [10] Alikhani, R., Torabi, S.A., & Altay, N., (2021). Retail supply chain network design with concurrent resilience capabilities. *International journal of production economics*, 234, 108042. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108042>
- [11] Torabi, S. A., Baghersad, M., & Mansouri, S. A. (2015). Resilient supplier selection and order allocation under operational and disruption risks. *Transportation research part e: logistics and transportation review*, 79, 22-48. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.03.005>
- [12] Kalantari, M., & Pishvae, M. (2016). A robust possibilistic programming approach to drug supply chain master planning. *Journal of industrial engineering research in production systems*, 4(7), 49-67. (In Persian). <https://www.sid.ir/paper/522089/fa>
- [13] Kristianto, Y., Gunasekaran, A., Helo, P., & Hao, Y. (2014). A model of resilient supply chain network design: a two-stage programming with fuzzy shortest path. *Expert systems with applications*, 41(1), 39-49.
- [14] Salehi Sadghiani, N., Torabi, S. A., & Sahebjamnia, N., (2015). Retail supply chain network design under operational and disruption risks. *Transportation research part e: logistics and transportation review*, 75, 95-114.
- [15] Hasani, A., & Khosrojerdi, A. (2016). Robust global supply chain network design under disruption and uncertainty considering resilience strategies: a parallel memetic algorithm for a real-life case study. *Transportation research part e: logistics and transportation review*, 87, 20-52.
- [16] Behzadi, G., O'Sullivan, M. J., Olsen, T. L., Scrimgeour, F., & Zhang, A. (2017). Robust and resilient strategies for managing supply disruptions in an agribusiness supply chain. *International journal of production economics*, 191, 207-220.
- [17] Fattahi, M., Govindan, K., & Keyvanshokoo, E. (2017). Responsive and resilient supply chain network design under operational and disruption risks with delivery lead-time sensitive customers. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 101, 176-200.
- [18] Lucker, F., & Seifert, R. W. (2017). Building up resilience in a pharmaceutical supply chain through inventory, dual sourcing and agility capacity. *Omega*, 73, 114-124.





- [19] Sadeghi, Z., & Boyer Hasani, O. (2019). A multi-objective optimization mathematical model for design and planning of sustainable resilience supply chain under the risk of supply disruption. *Journal of quality engineering and management*, 9(3), 212-225. (In Persian). http://www.pqprc.ir/article_102756.html
- [20] Haeri, A., Hosseini-Motlagh, S. M., Ghatreh Samani, M. R., & Rezaei, M. (2020). A mixed resilient-efficient approach toward blood supply chain network design. *International transactions in operational research*, 27(4), 1962-2001.
- [21] Hosseini-Motlagh, S. M., Samani, M. R. G., & Saadi, F. A. (2020). A novel hybrid approach for synchronized development of sustainability and resiliency in the wheat network. *Computers and electronics in agriculture*, 168, 105095. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105095>
- [22] Mousavi Ahranjani, P., Ghaderi, S. F., Azadeh, A., & Babazadeh, R. (2020). Robust design of a sustainable and resilient bioethanol supply chain under operational and disruption risks. *Clean technologies and environmental policy*, 22, 119-151.
- [23] Savadkoobi, E., Mousazadeh, M., & Torabi, S. A. (2018). A possibilistic location-inventory model for multi-period perishable pharmaceutical supply chain network design. *Chemical engineering research and design*, 138, 490-505.
- [24] Zahiri, B., Jula, P., & Tavakkoli-Moghaddam, R., (2018). Design of a pharmaceutical supply chain network under uncertainty considering perishability and substitutability of products. *Information sciences*, 423, 257-283.
- [25] Diabat, A., Jabbarzadeh, A., & Khosrojerdi, A. (2019). A perishable product supply chain network design problem with reliability and disruption considerations. *International journal of production economics*, 212, 125-138.
- [26] Roshan, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Rahimi, Y. (2019). A two-stage approach to agile pharmaceutical supply chain management with product substitutability in crises. *Computers and chemical engineering*, 127, 200-217.
- [27] Akbarpour, M., Torabi, S. A., & Ghavamifar, A. (2020). Designing an integrated pharmaceutical relief chain network under demand uncertainty. *Transportation research part e: logistics and transportation review*, 136, 101867. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101867>
- [28] Aghababaei, B., Pishvaei, M. S., & Barzinpour, F. (2022). A fuzzy bi-level programming approach to scarce drugs supply and ration planning problem under risk. *Fuzzy sets and systems*, 434, 48-72. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2021.02.021>
- [29] Goodarzian, F., Wamba, S. F., Mathiyazhagan, K., & Taghipour, A. (2021). A new bi-objective green medicine supply chain network design under fuzzy environment: hybrid metaheuristic algorithms. *Computers & industrial engineering*, 160, 107535. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107535>
- [30] Arabi, M., Yaghoubi, S., & Tajik, J. (2019). Algal biofuel supply chain network design with variable demand under alternative fuel price uncertainty: A case study. *Computers & chemical engineering*, 130, 106528. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.106528>
- [31] 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, 109-142.
- [32] Charnes, A., & Cooper, W. W. (1957). Management models and industrial applications of linear programming. *Management science*, 4(1), 38-91.
- [33] Tzeng, G. H., & Huang, J. J. (2019). *Fuzzy multiple objective decision making*. Chapman and Hall/CRC.
- [34] Ghafari, M., Kadivar, A., & Katzourakis, A. (2021). Excess deaths associated with the Iranian COVID-19 epidemic: a province-level analysis. *International journal of infectious diseases*, 107, 101-115.