



## Developing a Two-stage Robust Stochastic Model for Designing a Resilient Blood Supply Chain Considering Earthquake Disturbances and Infectious Diseases

**Ali Sibevei**

PhD Candidate, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: [alisibevei@modares.ac.ir](mailto:alisibevei@modares.ac.ir)

**Adel Azar**

\*Corresponding Author, Prof., Department of Industrial Management, Faculty of Management and Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: [azara@modares.ac.ir](mailto:azara@modares.ac.ir)

**Mostafa Zandieh**

Prof., Department of Industrial Management and Information Technology, Faculty of Management and Accounting, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: [m\\_zandieh@sbu.ac.ir](mailto:m_zandieh@sbu.ac.ir)

### Abstract

**Objective:** In today's turbulent world, supply chains face a variety of disruptions that cause disruption or reduction of flow in them. One way to deal with supply chain disruptions is through resilience strategies. In this paper, a two-stage scenario-based model was developed considering two disruptions in the multilevel blood supply chain as well as their effects.

**Methods:** First, by examining different articles, the research gap was investigated and then the mathematical modeling was done. Also, to deal with uncertainty, two-stage stochastic programming was used. Finally, in order to face the multi-objective nature of the model, the model was solved by Torabi and Hosseini method.

**Results:** The proposed model was solved using the Torabi and Hosseini method in the real case, i.e. the blood supply chain of Tehran, in a suitable period of time by GAMS software.

**Conclusion:** The achieved results of the present study proved that adopting strategies such as redundancy, flexibility, and expanding social responsibility makes it possible to make the blood supply chain resilient and reduce the shortage when faced with disruptions.

**Keywords:** Resilient supply chain, Blood supply chain, Disruption, Robust mathematical modeling

**Citation:** Sibevei, Ali, Azar, Adel and Zandieh, Mostafa (2021). Developing a Two-stage Robust Stochastic Model for Designing a Resilient Blood Supply Chain Considering Earthquake Disturbances and Infectious Diseases. *Industrial Management Journal*, 13(4), 664-703. (in Persian)





## ارائه مدل دومرحله‌ای احتمالی استوار برای طراحی زنجیره تأمین خون تاب آور با در نظر گرفتن اختلال زلزله و بیماری واگیردار

علی سبویه

دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: alisibevei@modares.ac.ir

عادل آذر

\* نویسنده مسئول، استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: azara@modares.ac.ir

مصطفی زندیه

استاد، گروه مدیریت صنعتی و فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: m\_zandieh@sbu.ac.ir

### چکیده

**هدف:** در دنیای آشفته امروزی، زنجیره‌های تأمین با اختلال‌های متعددی مواجه‌اند که سبب قطع یا کاهش جریان می‌شوند یکی از راه‌های مقابله با اختلال‌ها، استراتژی‌های تاب‌آوری است. در این مقاله، با در نظر گرفتن دو اختلال در زنجیره تأمین چندسطحی خون و مدنظر قراردادن تأثیر آن‌ها، مدل احتمالی مبتنی بر سناریو دومرحله‌ای استوار ارائه شده است.

**روش:** پس از مرور مقاله‌های مختلف، شکاف تحقیقاتی بررسی و مدل‌سازی ریاضی صورت پذیرفت. برای مقابله با عدم قطعیت، برنامه‌ریزی احتمالی دومرحله‌ای استوار استفاده شد. در پایان نیز با استفاده از روش ترابی و هسینی، به حل مدل پرداخته شد.

**یافته‌ها:** مدل ارائه‌شده در موردی واقعی، یعنی زنجیره تأمین خون شهر تهران، در مدت زمان مناسبی با نرم‌افزار گمز حل شد و اثر راهبردهای تاب‌آوری گوناگون در سناریوهای مختلف مشخص شد و با بررسی جواب‌های مدل، صحت مدل به تأیید رسید.

**نتیجه‌گیری:** در این مقاله نشان داده شد که می‌توان با استفاده از راهبردهای تاب‌آوری افزونگی، بهبود انعطاف‌پذیری و گسترش مسئولیت اجتماعی، زنجیره تأمین خون را تاب‌آور ساخت و کمبود را در هنگام مواجهه با اختلال‌ها کاهش داد.

**کلیدواژه‌ها:** زنجیره تأمین تاب‌آور، زنجیره تأمین خون، اختلال، مدل‌سازی ریاضی استوار

**استناد:** سبویه، علی، آذر، عادل، زندیه، مصطفی (۱۴۰۰). ارائه مدل دومرحله‌ای احتمالی استوار برای طراحی زنجیره تأمین خون تاب‌آور با در نظر گرفتن اختلال زلزله و بیماری واگیردار. مدیریت صنعتی، ۱۳(۴)، ۶۶۴-۷۰۳.

## مقدمه

زنجیره‌های تأمین بسیاری در اثر حوادث طبیعی یا ساخت بشر مختل گردیده‌اند (سودهی و تنگ، ۲۰۱۲). امروزه زنجیره‌های تأمین با ریسک‌ها و اختلال‌های بسیاری مواجه بوده و آسیب‌پذیرتر از همیشه هستند (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۶). در تحقیقی ایناگاکاکی و کودرا<sup>۱</sup> (۲۰۰۷)، بیان می‌کنند که ۷۳ درصد سازمان‌ها اختلال شدیدی را در پنج سال گذشته تجربه کرده‌اند که نزدیک به ۳۲ درصد آن‌ها نیاز به بیش از یک ماه و ۳۶ درصد دیگر بین یک هفته تا یک ماه جهت بهبود، زمان نیاز داشتند (ایناگاکاکی و کودرا، ۲۰۰۷). در برخی از تحقیقات از اختلال‌ها به‌عنوان مهم‌ترین ریسک‌های زنجیره تأمین نام برده شده است (واترز، ۲۰۰۷). علی‌رغم اینکه احتمال وقوع کمی دارند، اما در صورت وقوع، اثر زیادی بر زنجیره می‌گذارند، در واقع آن‌ها ریسک‌هایی با احتمال پایین - اثر<sup>۲</sup> بالا هستند (کپرا و سودهی، ۲۰۰۴؛ واگنر و بد، ۲۰۰۸؛ اک و گپالاکریشنان<sup>۳</sup>، ۲۰۰۹؛ الیس و همکاران، ۲۰۱۰؛ سیمچی‌لوی و همکاران، ۲۰۱۵؛ دونالدونی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۹).

تمام زنجیره‌های تأمین در معرض خطر اختلال‌ها هستند، بنابراین مهم است که مدیران زنجیره تأمین، این اختلال‌های بالقوه را شناسایی کرده و برنامه‌های اقتضایی را جهت افزایش یا بهبود تاب‌آوری انجام دهند (موریس<sup>۵</sup>، ۲۰۱۹). همچنین به‌گفته بسیاری از محققان یکی از راهکارهای مقابله با اختلال‌های با احتمال کم و اثر بالا، استفاده از راهبردهای تاب‌آوری می‌باشد (شفی، ۲۰۰۵؛ کریستوفر و پک، ۲۰۰۴؛ شفی و رایس<sup>۶</sup>، ۲۰۰۵؛ تنگ، ۲۰۰۶؛ ژیانو<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۲؛ فهیم‌نیا و جبارزاده، ۲۰۱۶). تعریف جامعی که درک واضحی از زنجیره تأمین تاب‌آور را ایجاد کند، وجود ندارد. برخی، تاب‌آوری را قابلیت‌های واکنشی<sup>۸</sup> می‌دانند که بعد از اختلال استفاده می‌شود، برخی دیگر آن‌را یک تلاش بیشتر فعالانه<sup>۹</sup> (پیشگیرانه‌ای) در جهت آماده‌سازی برای اختلال‌ها (ملنیک و همکاران، ۲۰۱۴) قلمداد می‌کنند. اما در یک تعریف جامع می‌توان تاب‌آوری را قابلیت سیستم جهت بازگشت به حالت اصلی خود یا حرکت به یک حالت جدید و مطلوب‌تری پس از اختلال نامید (کریستوفر و پک، ۲۰۰۴) که البته سرعت بازگشت به شرایط عادی نیز مورد توجه محققان بوده است (ایزدیار و همکاران، ۱۳۹۹). در مقالات مختلف، راهبردهای تاب‌آوری گوناگونی جهت تاب‌آور ساختن زنجیره تأمین پیشنهاد شده است (کمال‌احمدی و پرست، ۲۰۱۶؛ شکاریان و پرست، ۲۰۱۸؛ سنگری و دشت‌پیما<sup>۱۰</sup>، ۲۰۱۹). به‌ویژه دو راهبرد افزونگی و انعطاف‌پذیری که همواره در مقالات گوناگون به‌عنوان دو راهبرد اساسی مطرح شده است (کمال‌احمدی و پرست، ۲۰۱۶؛ گنگالی<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). اما آن‌طور که باید و شاید تاب‌آوری به‌صورت کمی

1. Inagaki and Kuroda
2. Low Probability – High Impact
3. Oke and Gopalakrishnan
4. Donadoni
5. Morris
6. Sheffi and Rice
7. Xiao
8. Reactive Capabilities
9. Proactive
10. Sangari and Dashtpeyma
11. Ganguly

وارد مدل‌های ریاضی نگردیده‌اند (مانند امیری و همکاران، ۱۳۹۷، حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹) و نیاز به تحقیقات بیشتری است (کمال‌احمدی و پرست، ۲۰۱۶؛ اشنایدر<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۶).

در این میان زنجیره‌های تأمین سلامت به‌ویژه زنجیره‌های تأمین خون نیز در معرض اختلال‌های مختلفی هستند (سامانی و همکاران، ۲۰۱۹). خون یک فرآورده معمولی نیست، یعنی برخلاف تولیدات دیگر، تأمین خون توسط اهداکنندگان صورت می‌گیرد و تقاضا برای فرآورده‌های خونی نیز احتمالی است. فرآورده‌های خونی فسادپذیر هستند که این مسئله، اوضاع را پیچیده‌تر می‌کند. هزینه‌های کمبود بسیار بالاست و ممکن است به قیمت جان انسان‌ها باشد (بلین و فورس<sup>۲</sup>، ۲۰۱۲)، زیرا خون انسان یک منبع کمیاب است که فقط به‌وسیله خود انسان تولید می‌شود و در حال حاضر هیچ محصول یا فرایند شیمیایی دیگری نیست که به‌عنوان جایگزین آن مورد استفاده قرار گیرد (زنده‌دل و همکاران، ۱۳۹۳). ضمن این که وجود فرآورده‌های گوناگون نیز بر پیچیدگی مدیریت این زنجیره افزوده است (بلین و فورس، ۲۰۱۲). این نکات، بررسی اختلال‌ها در زنجیره تأمین خون را نسبت به سایر موارد مشابه که تاکنون مورد بررسی قرار گرفته‌اند (سیدی و همکاران، ۱۳۹۸؛ بیگی و همکاران، ۱۳۹۹) متمایز می‌سازد. بنابراین تاب‌آوری زنجیره تأمین خون یکی از راهبردهای مهمی است که جدیداً در این زنجیره مورد توجه قرار گرفته است (توماس و همکاران، ۲۰۱۹). علی‌رغم اینکه تاکنون مدل‌های ریاضی زیادی در زنجیره تأمین سلامت و خون مطرح شده ولی بررسی راهبردهای تاب‌آوری زنجیره تأمین خون به‌ویژه در حالت ایجاد دو نوع اختلال نیازمند توجه و بررسی بیشتری است (سامانی و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین غالباً تنها قسمت کوچکی از زنجیره بررسی شده است، یا تنها یکی از فرآورده‌ها را تحت نظر قرار داده‌اند که این موارد سبب ساده‌سازی‌های غیر واقعی می‌شود.

دو اختلال مدنظر قرار گرفته در این تحقیق، زلزله و بیماری واگیردار می‌باشد. تاکنون زنجیره‌های تأمین خون در کشورهای مختلفی در اثر زلزله دچار اختلال شده‌اند (عقیانی و همکاران، ۱۳۹۴) و در کشور ایران که جزو کشورهای حادثه‌خیز است و از نظر زلزله در شرایط خاصی قرار گرفته است نیز مشکلات فراوانی ایجاد گشته است (ابوالقاسمی و همکاران، ۲۰۰۸)؛ همچنین شهر تهران به‌عنوان بزرگترین شهر ایران دارای گسل‌های فراوانی است که بسیاری از مناطق شهری بر روی آن‌ها قرار گرفته است (سیدی و همکاران، ۱۳۹۸). زلزله می‌تواند ضمن بالا بردن تقاضا و اختلال در این قسمت، با از دسترس خارج کردن مراکز مختلف (مانند مراکز جمع‌آوری ثابت و تولید)، مشکلاتی را در زنجیره تأمین خون ایجاد کند (زنده‌دل و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین اختلال بیماری واگیردار که به‌عنوان یکی از اختلال‌های زنجیره تأمین خون مطرح می‌باشد، بر روی عرضه اثر می‌گذارد و سبب می‌شود که افراد کمتری تمایل به اهدای خون داشته باشند. اثراتی که این اختلال دارد دو جنبه افزایش زمان اهدا در اثر گرفتن آزمایش‌ها و همچنین کاهش عرضه است که مهم‌ترین آن اختلال در عرضه می‌باشد (توماس و همکاران، ۲۰۱۹). طراحی زنجیره تأمینی که نسبت به هر دو اختلال تاب‌آوری داشته باشد، می‌تواند طراحی را به دنیای واقعی نزدیک‌تر کند و راهبردهای مدنظر قرار گرفته را عملیاتی‌تر سازد. با توجه به ضرورت توجه بیشتر به مدل‌های کمی در تاب‌آوری و همچنین اهمیت تاب‌آوری زنجیره تأمین خون، در این مقاله اهداف زیر دنبال می‌گردد:

1. Snyder

2. Beliën and Forcé

• مدل‌سازی زنجیره تأمین خون تاب‌آور به‌ویژه با بررسی راهبردهای تاب‌آوری انعطاف‌پذیری، افزونگی و گسترش مسئولیت اجتماعی

• در نظر گرفتن دو اختلال در زنجیره تأمین خون و بررسی اثرات آن‌ها

ادامه مقاله بدین‌صورت سازمان‌دهی شده است: ابتدا مروری بر پیشینه تحقیق انجام می‌شود، پس از آن، روش‌شناسی تحقیق و رویکرد مدل‌سازی و حل آن بیان می‌گردد. سپس با بیان شرح مسئله، مدل ریاضی پیشنهادی و استوارسازی آن ارائه می‌شود. در ادامه با استفاده از داده‌های واقعی زنجیره تأمین خون تهران، کاربرد مدل بررسی می‌شود و تحلیل حساسیت آن ارائه می‌گردد. در نهایت، با بیان بینش‌های مدیریتی و نتیجه‌گیری، به جمع‌بندی مقاله و ارائه پیشنهاد برای تحقیقات آتی پرداخته می‌شود.

### پیشینه پژوهش

با توجه به تعداد بالای مقالاتی که بر روی قسمت‌های مختلف زنجیره تأمین خون کار کرده‌اند، در این تحقیق، بیشتر مقالاتی که اختلال‌ها و بحران‌ها را در زنجیره تأمین خون مدنظر قرار داده‌اند، مورد بررسی قرار می‌گیرند، تا بررسی شود که این تحقیقات چه رویکردهایی را برای مواجهه با اختلال‌ها و بحران بیشتر مدنظر قرار می‌دهند.

زنجیره تأمین خون توجه محققان را از سال ۱۹۶۰ برانگیخته است (اسریو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). یکی از نخستین تحقیقات در زمینه موجودی‌های خون در سال ۱۹۷۹ انجام شد (ار و پیرسکالا<sup>۲</sup>، ۱۹۷۹). همچنین اساس بسیاری از تحقیقات مدیریت موجودی برای محصولات نابودشدنی که خون نیز شامل آن می‌شود، در سال ۱۹۸۲ توسط ناهمیاس<sup>۳</sup> انجام شد (ناهمیاس<sup>۳</sup>، ۱۹۸۲). البته بعدها در سال ۲۰۱۱ کتابی را در همین زمینه با فصلی اختصاصی برای بانک‌های خونی ترتیب داد و در واقع مطالب قبلی را به‌روزرسانی نمود (ناهمیاس، ۲۰۱۱).

شا و هانگ<sup>۴</sup> (۲۰۱۲) در مقاله‌ای به بررسی زنجیره تأمین خون در شرایط زلزله پرداخته‌اند. آن‌ها به ارائه مدلی چند دوره‌ای برای مسئله مکان‌یابی تخصیص پرداخته و مطالعه‌ای را در پکن بررسی نمودند. برای حل مدل نیز از روش آزادسازی لاگرانژ استفاده نمودند. در این مقاله توجهی به مسائل عدم قطعیت موجود در زنجیره تأمین خون وجود دارد نشده است.

خلیل‌پور آذری و خامش<sup>۵</sup> (۲۰۱۷) در مقاله‌ای به بررسی زنجیره تأمین خون تحت شرایط زلزله و بحران پرداخته‌اند. مدل‌سازی ریاضی آن‌ها برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط چند هدفه می‌باشد که از پنج روش مختلف برای حل آن استفاده کرده‌اند. دو موضوعی که بر روی آن کار کرده‌اند، شعاع اثر زلزله در سناریوهای مختلف و همچنین حالت‌های مختلف حمل‌ونقل بوده است.

1. Osorio
2. Or and Pierskalla
3. Nahmias
4. Sha and Huang
5. Khalilpourazari and Khamesh

ما و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۸) بر روی مسئله سازگاری گروه‌های خونی به‌ویژه در هنگام شرایط اورژانسی تمرکز می‌کنند. به همین جهت به مدل‌سازی ریاضی عدد صحیح مختلط پرداخته و با استفاده از یک الگوریتم ابتکاری حریصانه به حل آن اقدام می‌کنند. جهت بررسی و تأیید مدل، از یک سناریو تأمین خون در شرایط اورژانس در زلزله ونچوان استفاده کرده‌اند.

دریکوند و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۹) در مقاله‌ای به موضوع مدیریت توزیع زنجیره تأمین خون در شرایط بحران می‌پردازند. دو تابع هدف در این مقاله مورد توجه بوده است، نخست کمینه‌سازی هزینه‌های زنجیره تأمین و دوم، کمینه‌سازی بیشینه تقاضای خون برآورد نشده. جهت مقابله با عدم اطمینان از رویکرد ترکیبی احتمالی و پارامترهای فازی استفاده شده است. سناریوهای مختلف بیانگر حالت‌های مختلف خوش‌بینانه، بدبینانه و واقعی زلزله می‌باشد که در تهران روی دهد. ارمان و همکاران (۲۰۱۹) در مقاله‌ای به طراحی زنجیره تأمین، در زمانی که زلزله اتفاق می‌افتد، پرداخته‌اند. به همین جهت، یک مدل ریاضی چند هدفه و چند سطحی در طی چندین دوره طراحی شده است تا هزینه زنجیره تأمین خون و بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان راه‌های ارتباطی برای حمل‌ونقل خون انجام پذیرد. مدل موردنظر نیز در شهر تهران مورد مطالعه قرار گرفته است.

قطره سامانی و حسینی مطلق (۲۰۱۹) در تحقیقی با در نظر گرفتن زنجیره تأمین خون به ارائه رویکردی مبتنی بر دو فاز پرداختند. جهت جلوگیری از خرابی و کمبود خون در شرایط اختلال، این تحقیق از تسهیلات پیش‌تیبان استفاده می‌کند. در واقع در زمانی که مرکز خون به دلیل اختلال از دسترس خارج می‌شود، نیاز به تسهیلات پیش‌تیبان می‌باشد که می‌تواند از مراکز ثابت جمع‌آوری خون که قابلیت دارند استفاده نمود.

رحیمی<sup>۳</sup> (۲۰۱۹) در مقاله‌ای، به بررسی زنجیره تأمین خون در شرایط عدم قطعیت و اختلال پرداخته است، جهت مقابله با عدم قطعیت‌های موجود در واقعیت مانند تقاضا، از روش استوارسازی برتسیماس و سیم استفاده کرده‌اند و جهت مقابله با اختلال‌های موجود در زنجیره تأمین که البته در قسمت جمع‌آوری خون و مراکز خون می‌توانند باشند، از روش p-استوار استفاده گردیده است.

ونگ و چن<sup>۴</sup> (۲۰۲۰) در مقاله‌ای زنجیره تأمین خون در کشور چین را بررسی کردند. نکته مهمی که در نظر گرفته شده است، استفاده از بهینه‌سازی استوار مبتنی بر توزیع برای اولین بار در زنجیره تأمین خون می‌باشد. حائری و همکاران (۲۰۲۰) با تمرکز بر مراکز خون در کل ایران یک مدل چندهدفه ایجاد کرده تا این زنجیره را در شرایط عدم قطعیت مورد بررسی قرار دهند. سه هدف مورد بررسی آن‌ها هزینه زنجیره تأمین، کارایی و تاب‌آوری بوده است.

در جدول ۱ کارهای انجام‌شده در زنجیره تأمین خون، در شرایط بحران و اختلال بررسی شده است (در قسمت فوق مهم‌ترین کارها توضیح داده شده‌اند) و کارهایی که برای مقابله با بحران مدنظر قرار گرفت است نیز بیان گردیده است.

1. Ma and et al.
2. Derikvand
3. Rahimi
4. Wang and Chen



جدول ۱. پیشینه تحقیق مقالات زنجیره تامین خون در بحران

روش حل	رویکرد مدل سازی	جانشینی گروه ها	چند هدفه	چند دوره	مطالعه موردی	شاخص تاب آوری	جمع آوری سیار	زمان	مسائل اجتماعی	موجودی احتیاطی	ظرفیت اضافی تولید	مد حمل و نقل	چند تأمیمی	تسهیم منابع	کمبود	انقباض	تازگی	قابلیت اطمینان	کیفیت مکان ها	حداکثر پوشش	هزینه	آفریزس (چند روش اهدا)	اختلال در مراکز	چند فرآورده خونی	سال	نویسندگان
H	RTST						*											*				*			۱۳۹۳	زندهل و همکاران
EC	TST		*	*	*		*					*						*	*	*	*	*	*	*	۱۳۹۴	عقباتی و همکاران
GP	MILP		*	*	*		*													*	*	*	*	*	۱۳۹۴	بابدار و حبیبی
-	RTST			*	*		*													*	*	*	*	*	۲۰۱۴	جبارزاده و همکاران
-	RTST			*	*		*													*	*	*	*	*	۲۰۱۶	فریدونی و شاهنگی
TH	RTST		*	*	*		*					*								*	*	*	*	*	۲۰۱۶	نهیفته کهنه و همکاران
TH	TST			*	*		*													*	*	*	*	*	۲۰۱۷	چراغی و حسینی مطلق
EC	TST		*	*	*		*													*	*	*	*	*	۲۰۱۷	فهمی نیا و همکاران
-	MILP			*	*		*		*			*								*	*	*	*	*	۲۰۱۷	کامیابی نیا و همکاران
GP	MILP		*	*	*		*		*			*								*	*	*	*	*	۲۰۱۷	خلیل پور آری و خامش
TH	RPP		*	*	*		*													*	*	*	*	*	۲۰۱۷	ظهیری و پیشوائی
B&C	RTST			*	*		*					*								*	*	*	*	*	۲۰۱۷	صالحی و همکاران
TH	RTST		*	*	*		*					*								*	*	*	*	*	۲۰۱۸	چراغی و حسینی مطلق
-	MILP		*	*	*		*					*								*	*	*	*	*	۲۰۱۸	ما و همکاران
-	MILP			*	*		*				*									*	*	*	*	*	۲۰۱۸	قناره سامانی و حسینی مطلق
LR	RTST			*	*		*													*	*	*	*	*	۲۰۱۸	رحمانی
EC	MILP		*	*	*		*													*	*	*	*	*	۲۰۱۹	دریکوند و همکاران
TH	RTST		*	*	*		*													*	*	*	*	*	۲۰۱۹	یعقوبی و همکاران
-	TST		*	*	*		*													*	*	*	*	*	۲۰۱۹	چن و ویگ
LP	MILP		*	*	*		*					*								*	*	*	*	*	۲۰۱۹	ارمغان و یقینی
-	RTST						*													*	*	*	*	*	۲۰۲۰	ونگ و چن
TH	RTST		*	*	*		*					*								*	*	*	*	*	۲۰۲۰	حاجاری و همکاران
TH	RTST		*	*	*		*					*								*	*	*	*	*	۱۳۹۹	پرومش حاضر

RTSSP: Robust Two Stage Stochastic, MILP: Mixed Integer Linear Programming, GP: Goal Programming, B&C: Branch and Cut, EC: Epsilon Constraint, LR: Lagrangian relaxation, LP: LP-numeric, H: Heuristic

با توجه به پیشینه تحقیق، این مقاله اولاً اختلال در زنجیره تأمین خون که کمتر مورد توجه قرار گرفته است را مورد بررسی قرار می‌دهد و امکان ازدسترس خارج شدن مراکز جمع‌آوری و مراکز تولید را مهیا می‌سازد. ثانیاً دو اختلال زلزله و بیماری واگیردار و اثراتی که هریک دارند را مدنظر قرار می‌دهد و آخرین مورد که مهم‌ترین مورد نیز می‌باشد، با بررسی استراتژی‌های تاب‌آوری به‌ویژه انعطاف‌پذیری و افزونگی، افزایش تاب‌آوری زنجیره تأمین را بررسی می‌کند. همچنین از بررسی پیشینه مشخص است که تاکنون رویکردهای مختلفی برای مدل‌سازی مدنظر قرار گرفته است، اما یکی از رویکردهای مهم و مناسب برای این مسائل، رویکرد دومرحله‌ای تصادفی استوار می‌باشد، که همان‌طور که مشخص است، مورد توجه تحقیقات مرتبط نیز می‌باشد. رویکرد دومرحله‌ای کمک می‌کند تا بتوان متغیرهایی مانند مکان مراکز تولید و ثابت که وابسته به سناریو نیستند را در مرحله اول و متغیرهایی مانند میزان ارسال‌ها که بر اساس سناریوهای مختلف متفاوت می‌باشند را در سناریو دوم مشخص کرد (هانگ و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۷).

محاسبه مقدار مورد انتظار برای سناریوهای مختلف، با توجه به شرایط بدبینانه‌ای که ممکن است وجود داشته باشد، برای شرایط بحران مناسب نیست (نیز<sup>۲</sup>، ۲۰۰۸)، بنابراین در این تحقیق از رویکرد استوار آغزاف جهت مقابله با این مشکل، استفاده شده است. رویکرد آغزاف ضمن اینکه مناسب مواجهه با انواع عدم قطعیت‌ها می‌باشد (جبارزاده و همکاران، ۲۰۱۸)، دارای پیچیدگی محاسباتی کمتری است (حبیبی و همکاران، ۲۰۱۷)، برای مدیران و تصمیم‌گیرندگان قابل درک بوده (پورمهدی و همکاران، ۲۰۲۰) و برای مسائل مبتنی بر سناریو مناسب می‌باشد (غلامی زنجانی و همکاران، ۲۰۲۱).

در نهایت، از روش TH که از رویکردهای حل مناسب فازی می‌باشد و این مزیت بزرگ را دارد که درجه ارضای اهداف را برای تصمیم‌گیرندگان مشخص می‌کند، همچنین ضمن سادگی جواب‌های پارتوی کارا را ایجاد می‌کند (ترابی و هسینی، ۲۰۰۸) جهت حل مدل در مورد مطالعه واقعی شهر تهران استفاده شده است. در قسمت روش‌شناسی پژوهش در مورد رویکردهای استفاده‌شده توضیحات بیشتری بیان خواهد شد.

## روش‌شناسی پژوهش

در این تحقیق پس از بررسی راهبردهای مختلفی که مقالات گوناگون برای مواجهه با بحران و اختلال داشته‌اند، با استفاده از دو راهبرد افزونگی و انعطاف‌پذیری که مورد تأکید بسیاری در مقالات بوده است و همچنین راهبرد گسترش مسئولیت اجتماعی که مدنظر خبرگان بوده است، به مدل‌سازی دو مرحله‌ای احتمالی مبتنی بر سناریو در زنجیره تأمین خون پرداخته شده است. در مرحله بعد، با استوارسازی مدل به کمک روش آغزاف، مدل قطعی ایجاد و نهایتاً به کمک روش TH به حل مدل پرداخته شده است. برای درک بهتر موضوع، روش تحقیق در شکل ۱ ارائه گردیده است. در ادامه رویکرد احتمالی دومرحله‌ای استوار و روش حل بیشتر توضیح داده می‌شود.





شکل ۱. مراحل تحقیق

### رویکرد استوار آغزاف

این روش در ادامه رویکرد ارائه‌شده توسط مالوی و همکاران، برای مسائل مبتنی بر سناریو در سال ۲۰۱۰ توسط آغزاف ارائه شده است، تابع هدف به صورت زیر می‌باشد (آغزاف، ۲۰۱۰):

$$\min z = \eta \cdot \max(\xi_s - \xi_s^*) + \lambda \cdot \sum_{s \in S} P_s \cdot \xi_s \quad (\text{رابطه ۱})$$

در رابطه فوق،  $\xi_s$  بیانگر هزینه بهینه در سناریو S می‌باشد، و  $\xi_s^*$  مقدار بهینه حل قطعی مدل تحت سناریو s است.

$\eta$  و  $\lambda$  پارامترهایی هستند که توسط تصمیم‌گیرنده تعیین می‌گردند.

عبارت  $\max(\xi_s - \xi_s^*)$  بیانگر بیشینه مقدار تغییرپذیری و عبارت  $\sum_{s \in S} P_s \cdot \xi_s$  بیانگر هزینه مورد انتظار می‌باشد.

می‌توان با در نظر گرفتن مقادیر مختلف  $\eta$  و  $\lambda$  توسط تصمیم‌گیرنده، تبدالی بین این دو عبارت انجام داد. افزایش وزن  $\eta$  سبب تغییرپذیری کمتر و هزینه مورد انتظار بیشتر می‌شود و بالعکس.

### روش حل پیشنهادی

روش‌های حل چندهدفه به چهار دسته تقسیم می‌شوند. روش‌های دسته اول، مسئله را بدون هیچ‌گونه اطلاعاتی از تصمیم‌گیرنده حل می‌کنند. به عبارت دیگر در این روش‌ها، تصمیم‌گیرنده تنها راه حل به دست آمده را پذیرفته یا رد می‌کند. روش‌های دسته دوم سعی می‌کنند تا به اثربخش‌ترین نقطه بهینه که هر دو تابع هدف را کمینه می‌کند دست یابند. روش‌های دسته سوم، که روش‌های تعاملی نام دارند، از تصمیم‌گیرنده می‌خواهد جهت تعیین راه حل بعدی در هر مرحله ترجیح خود را از راه حل‌ها بیان کند. در روش‌های دسته چهارم، تصمیم‌گیرنده بر اساس ترجیحات خود در مرحله آخر، راه حل را انتخاب می‌کند (خلیل‌پور آذری و ارشدی خامش، ۲۰۱۹).

در بین روش‌های حل چند هدفه، روش‌های فازی به‌طور گسترده‌ای مورد استقبال قرار گرفته است (سامانی و همکاران، ۲۰۱۹). یکی از مهم‌ترین دلایلی که این رویکردها مورد استقبال قرار گرفته‌اند، توانایی در نظر گرفتن درجه ارضای هر یک از توابع هدف توسط این روش‌ها می‌باشد (شیخی، ۲۰۱۲). اولین رویکرد فازی برای حل مسائل چند هدفه توسط زیمرمن با عنوان رویکرد حداکثر - حداقل در سال ۱۹۷۸ ارائه گردید (کالیک<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). در این رویکرد و رویکردهای مشابه، ابتدا به‌ازای تک‌تک اهداف، جواب ایده‌آل مثبت و منفی با تشکیل جدول موازنه مشخص می‌گردد (سلیم و ازکاراهان<sup>۲</sup>، ۲۰۰۸) و برای هر یک از توابع، تابع عضویتی تعیین می‌شود. سپس و در مرحله بعدی با کمک تابع ادغامی، این توابع ادغام می‌شوند. در این راستا روش‌های مختلفی ارائه شده است. زیمرمن به‌عنوان اولین تحقیق در این زمینه، از تابع حداکثر - حداقل استفاده نمود. اما رویکرد وی برخی اوقات جواب‌های غیر کارا ایجاد می‌کرد، بنابراین جهت بهبود آن، روش‌های مختلفی جهت ادغام توابع عضویت ارائه گردید (لی و همکاران، ۲۰۰۶). برای مثال می‌توان به رویکرد لی و هوانگ<sup>۳</sup> (۱۹۹۳)، لی و همکاران (۲۰۰۶)، سلیم و ازکاراهان (۲۰۰۸)، لی و همکاران و ترابی و هسینی (۲۰۰۸) اشاره نمود.

### روش ترابی و هسینی (TH)

روش TH یکی از روش‌های کارا در حل مسائل چند هدفه می‌باشد (سامانی و همکاران، ۲۰۱۹) که ابتدا توسط ترابی و هسینی در سال ۲۰۰۸ معرفی گردید (ترابی و هسینی، ۲۰۰۸). این روش قابلیت آن را دارد که با فراهم کردن درجه ارضای هر تابع هدف، به تصمیم‌گیرنده این امکان را دهد با توجه به ارجحیت خود بین توابع هدف مبادله انجام دهد (هسینی مطلق و همکاران، ۲۰۲۰). گام‌های مدل را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد (ترابی و هسینی، ۲۰۰۸):

**گام اول:** تعیین جواب ایده‌آل مثبت (PIS) و جواب ایده‌آل منفی (NIS) برای هر یک از توابع هدف

به‌منظور به‌دست‌آوردن پاسخ ایده‌آل مثبت  $(Z_h^{PIS}, x_h^{PIS})$  هر کدام از توابع هدف به‌صورت مجزا حل می‌گردد و

جواب ایده‌آل مثبت به‌دست می‌آید و سپس جواب ایده‌آل منفی به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

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

$v_k^*$  بیانگر متغیر تصمیم مرتبط با PIS از  $h$  امین تابع هدف می‌باشد.

**گام دوم:** تعیین تابع عضویت برای هر یک از توابع هدف به‌صورت زیر:

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

1. Calik
2. Selim and Ozkarahan
3. Lai and Hwang

گام سوم: تبدیل مدل خطی عدد صحیح قطعی چند هدفه به مدل تک هدفه براساس فرموله بندی TH به صورت زیر:

$$\max \lambda(v) = \gamma \lambda_0 + (1 - \gamma) \sum_h \theta_h \mu_h(v) \quad (\text{رابطه ۴})$$

S.t

$$\lambda_0 \leq \mu_h(v) \quad h = 1, 2 \dots H \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$v \in F(v), \lambda_0, \gamma \in [0, 1]$$

در این مدل،  $\lambda_0$  بیانگر حداقل درجه رضایت،  $F(v)$  بیانگر ناحیه شدنی به دست آمده از محدودیت های مدل قطعی،

$\gamma$  پارامتری است که جهت مبادله بین کمینه - بیشینه سطح رضایت

گام چهارم: تعیین مقادیر پارامترها و حل مدل های تک هدفه ایجاد شده در گام قبلی

در صورتی که جواب های به دست آمده برای تصمیم گیرندگان رضایت بخش باشد، متوقف شده و در غیر این صورت

به منظور دستیابی به جواب های جدید، مقادیر پارامترهای  $\gamma$  و  $\theta_h$  را تغییر دهید.

## مدل سازی ریاضی

زنجیره تأمین خون مورد بررسی شامل چهار سطح می باشد که از اهداکنندگان شروع شده، به جمع آوری خون و مرکز تولید رفته و سپس تا بیمارستان ادامه می یابد. زنجیره تأمین خون و اجزای آن در شکل ۲ شده است. اهداکنندگان از کل شهر تهران جهت اهدای خون به مراکز جمع آوری ثابت و سیار مراجعه کرده و خون اهدا می کنند. مراکز جمع آوری ثابت ظرفیت بالاتری داشته و در مکان ثابتی قرار گرفته اند و در صورت اختلال از دسترس خارج می شوند. اما مراکز سیار می توانند از نقطه ای به نقطه دیگری حرکت کنند. پس از جمع آوری خون به روش های آفرزیس (در روش آفرزیس یکی از فراورده های خونی از فرد گرفته شده و مابقی اجزای خون به بدن فرد برگردانده می شود و خروجی بیشتری برای زنجیره دارد، این روش دارای بازده بیشتر و البته هزینه بیشتری است) یا معمولی توسط وسایل حمل و نقل که در این تحقیق ماشین حمل خون و هلیکوپتر در نظر گرفته شده اند، خون ها به قسمت مراکز تولید انتقال می یابند. در مراکز تولید، آزمایش های مختلف روی خون ها انجام شده و فراورده های خونی به وسیله دستگاه های مختلف به ویژه سانترفیوژها به دست می آیند. فراورده های خونی به دست آمده که به طور اساسی شامل گلبول قرمز، پلاکت و پلاسما هستند، در انبارهایی ذخیره سازی می شوند و بر اساس تقاضای بیمارستان های مختلف شهر، روزانه برای آن ها ارسال می گردند. این مراکز تولید در صورت قرارگیری در منطقه آسیب پذیر، دچار اختلال می شوند و از دسترس خارج می شوند. بیمارستان های مختلف شهر با توجه به ظرفیت خون و بیمارانی که دارند از مراکز تولید خون مورد نیاز خود را دریافت می کنند.

برای مواجه با عدم قطعیت در این تحقیق از برنامه ریزی احتمالی دومارحله ای استوار استفاده شده است. متغیرهایی

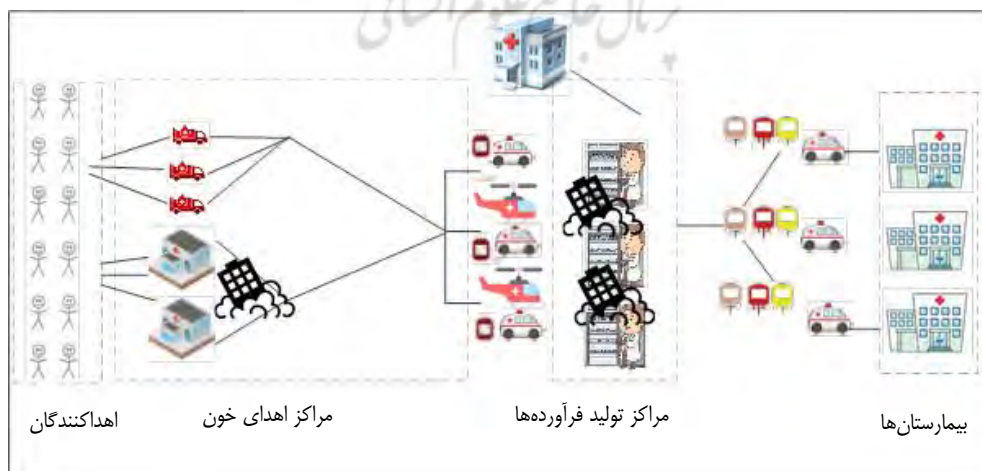
که وابسته به سناریو نمی باشند در مرحله اول و متغیرهای وابسته به سناریو در مرحله دوم مشخص می شوند. روش های

مختلفی جهت مدل سازی استوار ارائه شده است که در این تحقیق از روشی که توسط آغزاف<sup>۱</sup> (آغزاف و همکاران،

- ۲۰۱۰) معرفی گردیده است بهره برده شده است. در ادامه مفروضات و تصمیمات خروجی مدل آورده شده است.
- عمر خون‌های هر فراورده ثابت در نظر گرفته شده است.
  - ذخیره احتیاطی مدنظر با استفاده از استراتژی‌های عملیاتی مورد استفاده قرار گرفته و با توجه به اهمیت خون‌رسانی در زمان اختلال، تازگی آن‌ها مدنظر قرار نمی‌گیرد.
  - این‌طور فرض شده است که در صورت تبلیغات و آگاه‌سازی مردم در همان دوره، اثرگذاری صورت می‌پذیرد و بیشینه مقدار اهدا (ظرفیت اهدا) افزایش می‌یابد.
  - با توجه به شرایط مسئله این‌طور فرض شده است که حمل‌ونقل از مرکز جمع‌آوری به تولید در پایان دوره صورت می‌پذیرد.
  - ظرفیت تسهیلات مختلفی که در زنجیره وجود دارند، محدود و به‌صورت ثابت مدنظر قرار گرفته است.
  - اگر در زلزله، منطقه‌ای آسیب ببیند، مراکز جمع‌آوری ثابت یا تولید آن به‌صورت کامل از دسترس خارج می‌شود.
  - در سناریو بدون اختلال، کمبود مجاز نمی‌باشد.

همچنین مواردی که به‌عنوان تصمیمات در مدل اخذ می‌گردند عبارت‌اند از:

- مکان و تعداد مراکز تولید و جمع‌آوری ثابت و سیار
- تخصیص اهداکنندگان به مراکز جمع‌آوری ثابت و سیار در هر دوره
- مقدار خون جمع‌آوری‌شده توسط روش‌های مختلف و تسهیلات مختلف در هر دوره
- مقدار خون ارسال‌شده از مراکز جمع‌آوری ثابت و سیار به مراکز تولید و از مراکز تولید به بیمارستان‌ها
- مقدار فراورده خونی تولیدشده در هر دوره توسط هر مرکز تولید
- مقدار خون ذخیره‌شده در مراکز تولید و بیمارستان‌ها
- تعداد وسایل نقلیه از انواع مختلف در هر دوره
- مقدار ذخیره احتیاطی



شکل ۲. اجزای زنجیره تأمین خون

شایان ذکر است که برای راهبرد افزونگی، از ظرفیت تولید اضافی، ذخیره احتیاطی، برای انعطاف‌پذیری، استفاده از مراکز جمع‌آوری سیار، چند منبع تأمین و انواع حمل‌ونقل و برای گسترش مسئولیت اجتماعی از تبلیغات و آگاهی‌بخشی استفاده شده است. در تبلیغات دو قسمت در نظر گرفته شده است، آگاه‌سازی از طریق بیلبوردها و تبلیغات فردی (اهدای هدایا) انجام شده است. همچنین از بحرانی‌بودن گره‌ها برای محدود کردن گره‌های بحرانی استفاده شده است.

### نمادها

در این قسمت، اندیس‌ها، پارامترها و انواع متغیرهای مدل معرفی می‌گردند (جدول ۲ تا ۵).

جدول ۲. اندیس‌های مدل

مجموعه	تعریف	مشخصه اندیس
$(i \in I)$	تامین گروه اهداکننده	I
$(j1 \in J1)$	مکان کاندیدای ۱ زامین محل ثابت جمع‌آوری خون	j1
$(j2', j2'', j2 \in J2)$	مکان کاندیدای ۲ زامین محل سیار جمع‌آوری خون	j2
$(j \in J, j = j1 \cup j2)$	مکان کاندیدای زامین محل جمع‌آوری خون	J
$(k \in K)$	مکان کاندیدای k امین مرکز تولید	K
$(o \in O)$	o امین استان	O
$(p \in P)$	p امین فراورده خونی	P
$(m \in M)$	m امین روش اهدای خون	M
$(h \in H)$	h امین بیمارستان	H
$(t, t' \in T)$	t امین دوره زمانی	T
$(s \in S)$	s امین سناریو	S
$(\lambda \in \Lambda)$	λ امین حالت حمل‌ونقل	Λ
$(l \in L)$	l امین سطح ذخیره احتیاطی	L

پارامترهایی که اندیس s دارند، پارامترهایی هستند غیرقطعی و مبتنی بر سناریو مدنظر قرار گرفته‌اند.

جدول ۳. پارامترهای مدل

عنوان پارامتر	مشخصه پارامتر	تعریف
$\frac{c_j}{z}$	$Con_{j1}$	هزینه ایجاد $j_1$ زامین تسهیلات ثابت جمع‌آوری خون
	$Con'_k$	هزینه ایجاد k امین مرکز تولید
	$CNu_s$	هزینه راه‌اندازی تسهیلات سیار
$\frac{c_j}{z}$	$JC_m$	هزینه عملیاتی اهدا با m امین روش
	$OC_{pm}$	هزینه واحد تولید فراورده p امین اهداشده توسط m امین روش
	$IC_{pk}$	هزینه نگهداری فراورده p ام در k امین مرکز تولید
	$IC'_{ph}$	هزینه نگهداری فراورده p ام در h امین بیمارستان
	$TC_{jkl}$	هزینه حمل واحدهای خونی از زامین محل جمع‌آوری به k امین مرکز تولید با وسیله λ ام

ادامهٔ جدول ۳

عنوان پارامتر	مشخصه پارامتر	تعریف
۱.۳.۱	$L_p$	ماکسیمم عمر $p$ امین فرآورده خونی
	$D_{pht}^s$	تقاضای $p$ امین فرآورده خون در $h$ امین بیمارستان در $t$ امین دوره تحت سناریو $s$
	$AT_k$	زمان در دسترس تولید $k$ امین مرکز تولید
	$PT_{pm}$	زمان تولید $p$ امین فرآورده خونی اهداشده توسط $m$ امین روش
	$RA_{pm}$	نرخ تولید $p$ امین فرآورده خونی اهداشده توسط $m$ امین روش
	$Cad$	متوسط هزینه تبلیغات و آگاه‌سازی
	$CAdp$	هزینه تبلیغات و وفاداری برای یک نفر
	$EfAd$	اثر تبلیغات بر افزایش بیشینه مقدار خون تأمین شده
	$CW_p$	هزینه ضایعات فرآورده خونی $p$ ام
	$C_{j1}$	ظرفیت 1 امین مرکز جمع‌آوری ثابت
۱.۳.۲	$C_{j2}^s$	ظرفیت 2 امین مرکز جمع‌آوری سیار
	$C'_{pk}$	ظرفیت $k$ امین مرکز تولید جهت تولید $p$ امین فرآورده خون
	$C''_{ph}$	ظرفیت $h$ امین بیمارستان جهت ذخیره $p$ امین فرآورده خون
	$C'''_{pso}$	ظرفیت ارسال $p$ امین فرآورده خونی از $o$ امین استان تحت سناریو $s$
	$Ca_\lambda$	ظرفیت وسیله نقلیه $\lambda$ ام
	$CEot$	هزینه راه‌اندازی ظرفیت اضافی از فرآورده $p$ ام در مرکز تولید $k$ ام
	$Eot$	ظرفیت اضافی از زمان در دسترس تولید فرآورده $p$ ام در مرکز تولید $k$ ام
	$Don_{it}^s$	بیشینه مقدار خون تأمین شده توسط $t$ امین گروه از اهداکنندگان تحت سناریو $s$
	$TF_\lambda$	هزینه ثابت ایجاد وسیله $\lambda$ ام
	$TC''_{j2ij2t}$	هزینه جابه‌جایی تسهیلات سیار از مکان $j_2$ به $j_2'$
۱.۳.۳	$TC'_{kh}$	هزینه حمل فرآورده‌های خونی از $k$ امین مرکز تولید به $h$ امین بیمارستان
	$TC'''_{ok}$	هزینه ارسال از استان $o$ ام به مرکز تولید $k$ ام
	$\tau_{ij}$	فاصله بین $t$ امین گروه از اهداکنندگان و $t$ امین تسهیل جمع‌آوری
	$Cov$	بیشینه فاصله استاندارد بین هر گروه از اهداکنندگان و تسهیلات ثابت جمع‌آوری
	$Cov'$	بیشینه فاصله استاندارد بین هر گروه از اهداکنندگان و تسهیلات سیار جمع‌آوری
	$SP_{\lambda t}^s$	میانگین سرعت حمل خون وسیله $\lambda$ ام از هر مکان جمع‌آوری به هر مرکز تولید تحت سناریو $s$
	$TT$	بیشینه زمان مجاز برای رسیدن وسایل نقلیه از هر مکان جمع‌آوری به هر مرکز تولید
	$TS_{jkt\lambda}^s$	زمان رسیدن از تسهیل جمع‌آوری $j$ به مرکز تولید $k$ با وسیله $\lambda$ ام در دوره $t$ تحت سناریو $s$ $TS_{jkt\lambda}^s = \tau_{ij} / SP_{\lambda t}^s$
	$MN_s$	حداکثر تعداد مورد استفاده از سیارها در سناریو $s$

ادامه جدول ۳

عنوان پارامتر	مشخصه پارامتر	تعریف
اختلال و تاب‌آوری	$B$	یک عدد خیلی بزرگ
	$P_s$	احتمال وقوع سناریو $s$
	$\alpha_j^s$	اگر ۱ باشد، در مرکز جمع‌آوری ثابت $z_j$ تحت سناریو $s$ اختلال زلزله اثرگذار است.
	$Q_k^s$	اگر ۱ باشد، در مرکز تولید $k$ ، تحت سناریو $s$ اختلال زلزله اثرگذار است.
	$ncr$	آستانه بحرانی بودن گره‌ها
	$NAA$	تعداد مراکز بحرانی
	$CLev_{pl}$	هزینه راه‌اندازی سطح $am$ از $p$ امین فرآورده خونی
	$SS'_{pl}$	مقدار ذخیره احتیاطی از فرآورده $p$ ام در سطح $am$

تعریف متغیرها

در این قسمت متغیرهای اصلی مورد استفاده در تحقیق در بخش‌های مجزا به صورت زیر بیان می‌گردند (جدول ۴ و ۵). قابل توجه است متغیرهایی که دارای اندیس  $s$  می‌باشند، مبتنی بر سناریو بوده و در مرحله دوم مقدار می‌گیرند و سایر موارد در مرحله اول مشخص می‌شوند.

جدول ۴. متغیرهای باینری مدل

نام متغیر	تعریف
$Y_{j1}$	۱ اگر $z_1$ امین تسهیل جمع‌آوری ثابت ایجاد گردد، در غیر این صورت ۰
$y_{j2z2mt}^s$	۱ اگر تسهیل جمع‌آوری سیار از $z_2'$ امین مکان به $z_2''$ امین مکان در یک دوره متوالی تحت سناریو $s$ جابه‌جا شود، در غیر این صورت ۰
$z1_{ijt}^s$	۱ اگر $z_1$ امین گروه به $z_1$ امین مکان جمع‌آوری ثابت در دوره $t$ ام تحت سناریو $s$ تخصیص یابد، در غیر این صورت ۰
$z1_{ij2t}^s$	۱ اگر $z_1$ امین گروه به $z_2$ امین مکان جمع‌آوری ثابت در دوره $t$ ام تحت سناریو $s$ تخصیص یابد، در غیر این صورت ۰
$Z2_{jkt}^s$	۱ اگر $z_2$ امین تسهیل جمع‌آوری به $k$ امین مرکز تولید در دوره $t$ ام تحت سناریو $s$ تخصیص یابد، در غیر این صورت ۰
$Z2'_{okt}$	۱ اگر $z_2$ امین استان در دوره $t$ ام برای انتقال به $k$ امین مرکز تولید استفاده شود، در غیر این صورت ۰
$Y'_k$	۱ اگر $k$ امین مرکز تولید ایجاد گردد، در غیر این صورت ۰
$Z3_{kh}^s$	۱ اگر $k$ امین مرکز تولید به $h$ امین بیمارستان تخصیص یابد، در غیر این صورت ۰
$Lev_{lpk}$	۱ اگر $l$ امین سطح از ذخیره احتیاطی استفاده شود در غیر این صورت ۰
$A_{pk}$	۱ اگر $k$ امین ظرفیت اضطراری برای تولید $p$ امین فرآورده ایجاد شود، در غیر این صورت ۰
$AA_{j1}$	۱ اگر $z_1$ امین مرکز جمع‌آوری بحرانی به حساب بیاید.
$Ad_s$	۱ اگر در $t$ امین دوره و تحت سناریو $s$ آگاه‌سازی انجام شود، در غیر این صورت ۰



جدول ۵. متغیرهای مثبت مدل

نام متغیر	توضیحات
$E_{mijt}^s$	مقدار خون اهداشده توسط تأمین گروه با $m$ تأمین روش در مکان جمع‌آوری زام در دوره زمانی $t$ ام تحت سناریو $s$
$E_{mjkt\lambda}^s$	مقدار خون اهداشده توسط $m$ تأمین روش و حمل‌شده از زامین مکان جمع‌آوری به $k$ تأمین مرکز تولید در $t$ امین زمان تحت سناریو $s$ توسط $\lambda$ تأمین حالت حمل‌ونقل
$PR_{pmkt}^s$	مقدار $p$ تأمین فرآورده اهداشده توسط $m$ تأمین روش و تولیدشده توسط $k$ تأمین مرکز تولید در $t$ امین دوره زمانی تحت سناریو $s$
$TPR_{pkt}^s$	مقدار $p$ تأمین فرآورده تولیدشده در $k$ تأمین مرکز تولید خون در $t$ امین دوره زمانی تحت سناریو $s$
$E''_{khptt'}^s$	مقدار $p$ تأمین فرآورده خونی آماده‌شده در $t$ امین دوره زمانی و انتقال یافته از $k$ تأمین مرکز تولید به $h$ تأمین بیمارستان در $t'$ امین دوره زمانی تحت سناریو $s$
$al_{khptt'}^s$	مقدار $p$ تأمین فرآورده خونی آماده‌شده در $t$ امین دوره زمانی و انتقال یافته از $k$ تأمین مرکز تولید و مصرف‌شده در $h$ تأمین بیمارستان در $t'$ امین دوره زمانی تحت سناریو $s$
$EX_{okpt}^s$	مقدار $p$ تأمین فرآورده خونی آماده‌شده در $t$ امین دوره زمانی و انتقال یافته از $o$ تأمین استان به $k$ تأمین مرکز تولید و مصرف‌شده در $t'$ امین دوره زمانی تحت سناریو $s$
$W'_{pkt'}^s$	مقدار $p$ تأمین فرآورده خونی منقذی در $k$ تأمین مرکز تولید در $t'$ امین دوره زمانی تحت سناریو $s$
$W''_{pht'}^s$	مقدار $p$ تأمین فرآورده خونی منقذی در $h$ تأمین بیمارستان در $t'$ امین دوره زمانی تحت سناریو $s$
$In_{pkt'}^s$	مقدار موجودی $p$ تأمین فرآورده خونی در $k$ تأمین مرکز تولید خون بین زمان $t$ تا $t'$ تحت سناریو $s$
$In'_{pht'}^s$	مقدار موجودی $p$ تأمین فرآورده خونی در $h$ تأمین نقطه تقاضا بین زمان $t$ تا $t'$ تحت سناریو $s$
$SS_{pkt'}^s$	مقدار استفاده‌شده از فرآورده $p$ ام از مرکز تولید $k$ ام در سناریو $s$ ام در زمان $t'$ ام
$SH_{pht'}^s$	مقدار کمبود فرآورده $p$ ام در بیمارستان $h$ ام در زمان $t'$ تحت سناریو $s$
$TR_{ts\lambda}$	تعداد وسیله حمل‌ونقل مورد نیاز $\lambda$ جهت ارسال در $t$ امین دوره زمانی
$Nu_s$	تعداد جمع‌آوری سیار موجود در سناریو $s$

توابع هدف

هدف اول: کمینه‌سازی هزینه‌ها

اجزای تابع هدف:

رابطه ۶) هزینه راه‌اندازی (CC): هزینه ایجاد مکان‌های جمع‌آوری خون ثابت، تسهیلات سیار، مرکز تولید و تجهیزات حمل‌ونقل، ذخیره احتیاطی و ظرفیت اضافی

$$CC = \sum_{j1} Con_{j1} \times Y_{j1} + \sum_k Con'_k \times Y'_k + \sum_{\lambda} \sum_t (TR_{t\lambda s} \times TF_{\lambda}) + \sum_l \sum_p \sum_k CLev_{pl} \times Lev_{lpk} + \sum_k CEot \times A_k \tag{رابطه ۶}$$

رابطه ۷) هزینه جمع‌آوری (JC): هزینه‌های عملیات جمع‌آوری

$$JC_s = \sum_m \sum_i \sum_j \sum_t JC_m \times E_{mijt}^s$$

رابطه ۸) هزینه جابه‌جایی (DC):

$$DC_s = \sum_m \sum_j \sum_k \sum_t \sum_\lambda TC_{jk\lambda} \times E_{mjkt\lambda}^s + \sum_k \sum_h \sum_p \sum_t \sum_{t'} TC''_{kh} \times (E''_{khptt'}^s + SS_{pkt'}^s) + \sum_o \sum_k \sum_p \sum_t TC''''_{ok} \times EX_{okpt}^s + \sum_{j2''} \sum_{j2'''} \sum_t TC'''_{j2'j2''} \times y_{j2'j2''}^s + Nu_s \times CNu$$

رابطه ۹) هزینه موجودی خون (IC): هزینه‌های موجودی در مرکز تولید و بیمارستان

$$IC_s = \sum_p \sum_k \sum_t \sum_{t'} (IC_{pk} \times In_{pktt'}^s) + \sum_p \sum_h \sum_t \sum_{t'} (IC'_{ph} \times In'_{phtt'}^s)$$

رابطه ۱۰) هزینه تولید (PC):

$$PC_s = \sum_p \sum_m \sum_k \sum_t (OC_{pm} \times PR_{pmkt}^s)$$

رابطه ۱۱) هزینه خون‌های منقضی (EC): هزینه‌های خون‌های منقضی در مراکز تولید و بیمارستان‌ها

$$EC_s = \sum_p \sum_k \sum_{t'} (CW_p \times W'_{pdt'}^s) + \sum_p \sum_h \sum_{t'} (CW_p \times W''_{pht'}^s)$$

رابطه ۱۲) هزینه جذب (AC): تبلیغات و آگاه‌سازی برای جذب اهداکنندگان (گسترش مسئولیت اجتماعی):

$$AC_s = \sum_i \sum_t Ad_s * (CA_d + Don_{it}^s * CA_{dp})$$

$$COST_s = CC + JC + DC + IC + PC + EC + AC$$

رابطه ۱۳) تابع هزینه دوم: کمینه‌سازی فاصله تولید و مصرف (بیشینه‌سازی تازگی خون)

$$FRESH_s = \sum_k \sum_h \sum_p \sum_t \sum_{t'} \left(\frac{t' - t}{L_p}\right) \times aI_{khptt'}^s$$

ورما<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۵) و کرمدیلدر و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۶) بیان می‌کنند خون‌های تازه‌تر اثربخشی بیشتری دارند و

برای استفاده مناسب‌تر می‌باشند.

1. Verma  
2. Caram-Deelder

رابطه ۱۴) تابع هدف سوم: کمینه‌سازی عدم تاب‌آوری (کمبود)

$$DRES_s = \sum_p \sum_h \sum_{t'} SH_{pht}^s \quad \text{رابطه ۱۴}$$

**محدودیت‌ها**

محدودیت‌های مدل در جدول ۶ آورده شده است.

**جدول ۶. محدودیت‌های مدل**

منبع	محدودیت	به ازای	
<b>جریان‌ها</b>			
خلیل‌پور آذری و خامش (۲۰۱۷)	$\sum_m E_{mij1t}^s \leq \beta \times z1_{ij1t}^s$	$\forall t, i, j, 1, s$	رابطه ۱۵
خلیل‌پور آذری و خامش (۲۰۱۷)	$\sum_m E_{mij2t}^s \leq \beta \times Z1_{ij2t}^s$	$\forall t, i, j, 2, s$	رابطه ۱۶
توسعه‌یافته توسط این مقاله	$E_{mjkt\lambda}^s \leq \beta \times Z2_{jkt\lambda}^s$	$\forall \lambda, j, k, t, s, m$	رابطه ۱۷
حائری و همکاران (۲۰۲۰)	$\sum_{\lambda} \sum_j E_{mjkt\lambda}^s = \sum_i E_{mijt}^s$	$\forall m, j, t, s$	رابطه ۱۸
توسعه‌یافته توسط این مقاله	$EX_{okpt}^s \leq \beta \times Z2'_{okts}$	$\forall o, k, p, t, s$	رابطه ۱۹
حائری و همکاران (۲۰۲۰)	$\sum_{m'} PR_{pmkt}^s = TPR_{pmt}^s$	$\forall p, k, t, s$	رابطه ۲۰
سامانی و همکاران (۲۰۱۹)	$al_{khptt'}^s \leq \beta \times Z3_{khs}$	$\forall k, h, p, t = t', s$	رابطه ۲۱
تغییر یافته مقاله سامانی و همکاران (۲۰۱۹)	$\sum_o EX_{okpt}^s + G_{pkt}^s = In_{pktt'}^s + \sum_h E''_{khptt'}^s$	$\forall k, p, t = t', s$	رابطه ۲۲
سامانی و همکاران (۲۰۱۹)	$In_{pktt'}^s = In_{pktt'-1}^s - \sum_h E''_{khptt'}^s$	$\forall p, k, t' > t, s$	رابطه ۲۳
سامانی و همکاران (۲۰۱۹)	$\sum_{h'} E''_{khptt'}^s = In_{phtt'}^s + \sum_{h'} al_{khptt'}^s$	$\forall p, h, t, t', s$	رابطه ۲۴
سامانی و همکاران (۲۰۱۹)	$In'_{phtt'} = In'_{phtt'-1} + \sum_k E''_{khptt'}^s - \sum_k al_{khptt'}^s$	$\forall p, h, t' > t, s$	رابطه ۲۵
تغییر یافته مقاله سامانی و همکاران (۲۰۱۹)	$\sum_{t' < t + L_n} \sum_k al_{khptt'}^s + SS_{khptt'}^s + SH_{pht'}^s = D_{pht'}^s$	$\forall p, h, t', s$	رابطه ۲۶

محدودیت‌های فوق بیانگر جریان میان قسمت‌های مختلف از اهداکننده گرفته تا بیمارستان می‌باشد. همچنین محدودیت‌های تعادلی بین قسمت‌های مختلف زنجیره تأمین نیز بیان شده است. بدین صورت که محدودیت ۱۵ و ۱۶ بیانگر مقدار اهدا به مراکز ثابت و سیار، محدودیت ۱۷، جریان میان مراکز اهدا و تولید، محدودیت ۱۸ تعادل بین اهدا و تولید، محدودیت ۱۹، مقدار ارسال از سایر استان‌ها، محدودیت ۲۰ مقدار کل تولید شده، محدودیت ۲۱ مقدار ارسال از مراکز تولید به بیمارستان، محدودیت ۲۲ تعادل بین تولید و بیمارستان، محدودیت ۲۳ تا ۲۵ موجودی مراکز تولید و بیمارستان و محدودیت ۲۶ برآورده‌کننده تقاضا می‌باشد.

ادامه جدول ۶

منبع	محدودیت	به ازای	
<b>منطقی</b>			
ظهیری و پیشوایی (۲۰۱۷)	$z_{1ij1t}^s \leq Y_{j1} \times (1 - \alpha_{j1}^s)$	$\forall i, j1, t, s$	رابطه ۲۷
ظهیری و پیشوایی (۲۰۱۷)	$\sum_{i1} z_{1ij1t}^s + \sum_{i2} z_{1ij2t}^s \leq 1$	$\forall i, t, s$	رابطه ۲۸
ظهیری و پیشوایی (۲۰۱۷)	$z_{2j2k\lambda t} \leq \sum_{i,t} y_{j2'j2t}^s$	$\forall j2, t, k, \lambda, s$	رابطه ۲۹
توسعه یافته توسط این مقاله	$z_{2j1\lambda kt} \leq Y_{j1} \times (1 - \alpha_{j1}^s)$	$\forall j1, t, k, \lambda, s$	رابطه ۳۰
توسعه یافته توسط این مقاله	$z_{2j1\lambda kt} \leq Y'_k \times (1 - \alpha_k^s)$	$\forall j1, t, k, \lambda, s$	رابطه ۳۱
توسعه یافته توسط این مقاله	$z_{2j2\lambda kt} \leq Y'_k \times (1 - \alpha_k^s)$	$\forall j2, t, k, \lambda, s$	رابطه ۳۲
توسعه یافته توسط این مقاله	$z_{2'okts} \leq Y'_k \times (1 - \alpha_k^s)$	$\forall o, k, t, s$	رابطه ۳۳
توسعه یافته توسط این مقاله	$z_{3khs} \leq Y'_k \times (1 - \alpha_k^s)$	$\forall k, h, s$	رابطه ۳۴
توسعه یافته توسط این مقاله	$\sum_p lev_{pik} = Y'_k$	$\forall p, k$	رابطه ۳۵
توسعه یافته توسط این مقاله	$A_k \leq Y_k$	$\forall k$	رابطه ۳۶

محدودیت‌های فوق بیانگر تخصیص‌های مختلف در قسمت‌های مختلف می‌باشد. محدودیت ۲۷ تخصیص مراکز ثابت به منطقه اهدای مورد نظر، در صورتی که مرکز ثابت ایجاد شده و دچار اختلال نشده باشد، محدودیت ۲۸، تخصیص مرکز ثابت و سیار به یک منطقه امکان‌پذیر نباشد. محدودیت ۲۹ تخصیص سیار به یک منطقه در صورتی که مرکز سیار به آن منطقه رفته باشد. محدودیت‌های ۳۰ تا ۳۴ تخصیص‌های مراکز ثابت، تولید در صورتی که دچار اختلال نشده باشند. محدودیت ۳۵ و ۳۶ ظرفیت تولید اضافی و ذخیره احتیاطی در صورتی راه بیفتد، که مرکز تولید مربوطه ایجاد شده باشد.

ظرفیت

سامانی و همکاران (۲۰۱۹)	$\sum_m \sum_i E_{mijt}^s \leq C_{j1}$	$\forall j1, t, s$	رابطه ۳۷
تغییر یافته مقاله سامانی و همکاران (۲۰۱۹)	$\sum_m \sum_i E_{mijt}^s \leq C_{j2}^s$	$\forall j2, t, s$	رابطه ۳۸
توسعه یافته توسط این مقاله	$\sum_m \sum_i E_{mijt}^s \leq Don_{it}^s + Ad_s * EfAd * Don_{it}^s$	$\forall i, t, s$	رابطه ۳۹
چراغی و همکاران (۲۰۱۷)	$\sum_{i,t \neq i,t} y_{j2'j2't}^s \leq Nu_s$	$\forall t, s$	رابطه ۴۰
توسعه یافته توسط این مقاله	$\sum_{i,t \neq i,t} y_{j2'j2't}^s \leq MN_s$	$\forall t, s$	رابطه ۴۱
توسعه یافته توسط این مقاله	$\sum_k EX_{okpt}^s \leq C''''_{pso}$	$\forall o, p, t, s$	رابطه ۴۲
سامانی و همکاران (۲۰۱۹)	$\sum_{t < t' \leq t + L_p} In_{p'ktt'}^s \leq C''''_{pk}$	$\forall p, k, t', s$	رابطه ۴۳
سامانی و همکاران (۲۰۱۹)	$\sum_{t < t' \leq t + L_p} In_{ph'htt'}^s \leq C''_{ph}$	$\forall p, k, t', h, s$	رابطه ۴۴

محدودیت‌های فوق به ترتیب ظرفیت‌های مراکز اهدا، مناطق اهدا، تعداد سیار، استان‌ها، مراکز تولید و بیمارستان‌ها می‌باشند. ظرفیت مراکز اهدا بر اساس بیشینه مقداری که در یک منطقه اهدا صورت می‌گیرد مشخص می‌شود. که البته بر اساس انجام اطلاع‌رسانی و اثری که بر افراد می‌گذارد، می‌تواند با توجه به تابع هزینه تابع هدف، این ظرفیت اضافه شود (رابطه ۳۹).

ادامه جدول ۶

منبع	محدودیت	به ازای	
<b>حمل و نقل</b>			
چراغی و همکاران (۲۰۱۷)	$\sum_{i,t} y_{j_2'j_2't}^s \leq 1$	$\forall j_2', t, s$	رابطه ۴۵
ظهیری و پیشوایی (۲۰۱۷)	$\sum_{i_2't} y_{j_2'j_2't}^s \leq 1$	$\forall j_2', t, s$	رابطه ۴۶
چراغی و همکاران (۲۰۱۷)	$\sum_{i,t} y_{j_2'j_2't}^s \leq \sum_{i,t} y_{j_2'j_2't-1}^s$	$\forall j_2', t, s$	رابطه ۴۷
چراغی و همکاران (۲۰۱۷)	$\tau_{ij_1} \times x_{ij_1t}^s \leq Cov$	$\forall i, j_1, t, s$	رابطه ۴۸
ظهیری و پیشوایی (۲۰۱۷)	$\tau'_{ij_2} \times x'_{ij_2t} \leq Cov' \times \sum_{j_2,t} y_{j_2'j_2t}^s$	$\forall i, j_2, t, s$	رابطه ۴۹
سامانی و همکاران (۲۰۱۹)	$TS_{jkt\lambda}^s \times Z2_{jkt\lambda}^s \leq TT$	$\forall \lambda, j, k, t, s$	رابطه ۵۰
توسعه یافته توسط این مقاله	$TR_{ts\lambda} \geq \left( \frac{\sum_m \sum_j \sum_k V^{ms}_{mjkt\lambda}}{Ca_\lambda} \right)$	$\forall \lambda, t, s$	رابطه ۵۱
محدودیت‌های فوق به ترتیب بیانگر ارسال یک مرکز سیار از مبدا یا به مقصد (۴۵ و ۴۶)، جابه‌جایی سیار از یک نقطه اول به نقطه دوم، در صورتی که در دوره قبلی به نقطه اول آمده باشد (۴۷). محدودیت ۴۸ و ۴۹ بیانگر، شعاع پوشش مراکز اهدا می‌باشد. محدودیت ۵۰ حداکثر زمان ارسال از مراکز اهدا به مراکز تولید می‌باشد. محدودیت ۵۱ تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز در هر دوره با توجه به ظرفیت هر وسیله را مشخص می‌سازد.			
<b>تولید</b>			
حائری و همکاران (۲۰۲۰)	$RA_{pm} * \sum_j \sum_k E^{ms}_{mjkt\lambda} = PR_{pmkt}^s$	$\forall p, m, k, t, s$	رابطه ۵۲
توسعه یافته توسط این مقاله	$\sum_m \sum_n (PT_{pm} \times PR_{pmkt}^s) \leq AT_k + Eot_k \times A_k$	$\forall k, t, s$	رابطه ۵۳
سامانی و همکاران (۲۰۱۹)	$\sum_{t' > t + L_m} In_{pkttr}^s = W'_{pkt}{}^s$	$\forall p, k, t, k, s$	رابطه ۵۴
سامانی و همکاران (۲۰۱۹)	$\sum_{t' > t + L_n} In_{phttt'}^s = W''_{pht}{}^s$	$\forall p, h, t, s$	رابطه ۵۵
محدودیت ۵۲ مقدار تولید از هر فراورده را مشخص می‌کند، محدودیت ۵۳ زمان در دسترس و ظرفیت اضافی تولید را مشخص می‌کند. محدودیت ۵۴ و ۵۵ بیانگر مقدار ضایعات هر فراورده در قسمت‌های است.			
<b>تاب‌آوری</b>			
توسعه یافته توسط این مقاله	$\sum_m \sum_i E^{ms}_{mij_1t} \leq ncr + \beta \times AA_{j_1}$	$\forall j_1, s, \lambda, t$	رابطه ۵۶
توسعه یافته توسط این مقاله	$\sum_{j_1} AA_{j_1} \leq NAA$	-	رابطه ۵۷
توسعه یافته توسط این مقاله	$\sum_h \sum_{t'} SS_{pkt'}^s \leq \sum_l SS_{pl}^s \times Lev_{tpk}$	$\forall k, p, s, l$	رابطه ۵۸
توسعه یافته توسط این مقاله	$\sum_k \sum_l Lev_{tpk} \leq 1$	$\forall p$	رابطه ۵۹
محدودیت ۵۶ و ۵۷ بحرانی بودن گره مراکز اهدای ثابت را مشخص می‌کند، محدودیت ۵۸ و ۵۹ ظرفیت ذخیره احتیاطی را مشخص می‌نماید.			
$Y_{j_1}, y_{j_2'j_2't}, Z1_{ij_1t}^s, Z1_{ij_2t}^s, Z2_{j_1k}, Z2_{j_2k\lambda}^s, Y'_k, Z3_{khs}, Z2'_{okt}, A_k, AA_{j_1}, Lev_{tpk}, \in \{0,1\}$		$\forall i, j_1, j_2, k, h, t, \lambda, s$	
$E^{ms}_{mijt}, E^{ms}_{mjkt\lambda}, PR_{pmkt}^s, TPR_{pkt}^s, al_{khp}^s, E''_{khp}{}^s, EX_{okpt}^s, E^s_{pkt}, E^{ms}_{pkt}, E''_{pht}{}^s, In_{pkttr}^s, In_{phttt'}^s, TR_{ts\lambda}, SH_{pht}^s, SS_{pkt}^s \geq 0$		$\forall i, j_1, j_2, m, p, k, h, t, t', o, \lambda, s$	

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، جهت مقابله با عدم قطعیت از روش مدل‌سازی استوار آغزاف که شامل دو قسمت اصلی در نظر گرفتن بیشترین پراکندگی و هزینه مورد انتظار است، استفاده می‌شود:

$$\text{Min}Z_1 = \eta \cdot \max_{s \in S} (\xi_s - \xi_s^*) + \omega \cdot \sum_s P_s \cdot \xi_s \quad \text{رابطه ۶۰}$$

$$\xi_s = CC + JC^s + DC^s + IC^s + PC^s + EC^s + AC^s \quad \text{رابطه ۶۱}$$

$$\text{Min}Z_1 = \eta \cdot L + \omega \cdot \sum_s P_s \cdot \xi'_s \quad \text{رابطه ۶۲}$$

$$L = \max_{s \in S} (\xi_s - \xi_s^*) \rightarrow \xi_s - \xi_s^* \leq L \quad \text{رابطه ۶۳}$$

$$\text{Min}Z_2 = \eta' \cdot \max_{s \in S} (\xi'_s - \xi'^*_s) + \omega' \cdot \sum_s P_s \cdot \xi_s \quad \text{رابطه ۶۴}$$

$$\xi'_s = \sum_d \sum_h \sum_p \sum_t \sum_{t'} \left( \frac{t' - t}{L_p} \right) \times al_{dhptt'}^s \quad \text{رابطه ۶۵}$$

$$\text{Min}Z_2 = \eta' \cdot L' + \omega' \cdot \sum_s P_s \cdot \xi'_s \quad \text{رابطه ۶۶}$$

$$L' = \max_{s \in S} (\xi'_s - \xi'^*_s) \rightarrow \xi'_s - \xi'^*_s \leq L' \quad \text{رابطه ۶۷}$$

$$\text{Min}Z_3 = \eta'' \cdot \max_{s \in S} (\xi''_s - \xi''^*_s) + \omega'' \cdot \sum_s P_s \cdot \xi''_s \quad \text{رابطه ۶۸}$$

$$\xi''_s = \sum_p \sum_h \sum_{t'} SH_{pht'}^s \quad \text{رابطه ۶۹}$$

$$\text{Min}Z_3 = \eta'' \cdot L'' + \omega'' \cdot \sum_s P_s \cdot \xi''_s \quad \text{رابطه ۷۰}$$

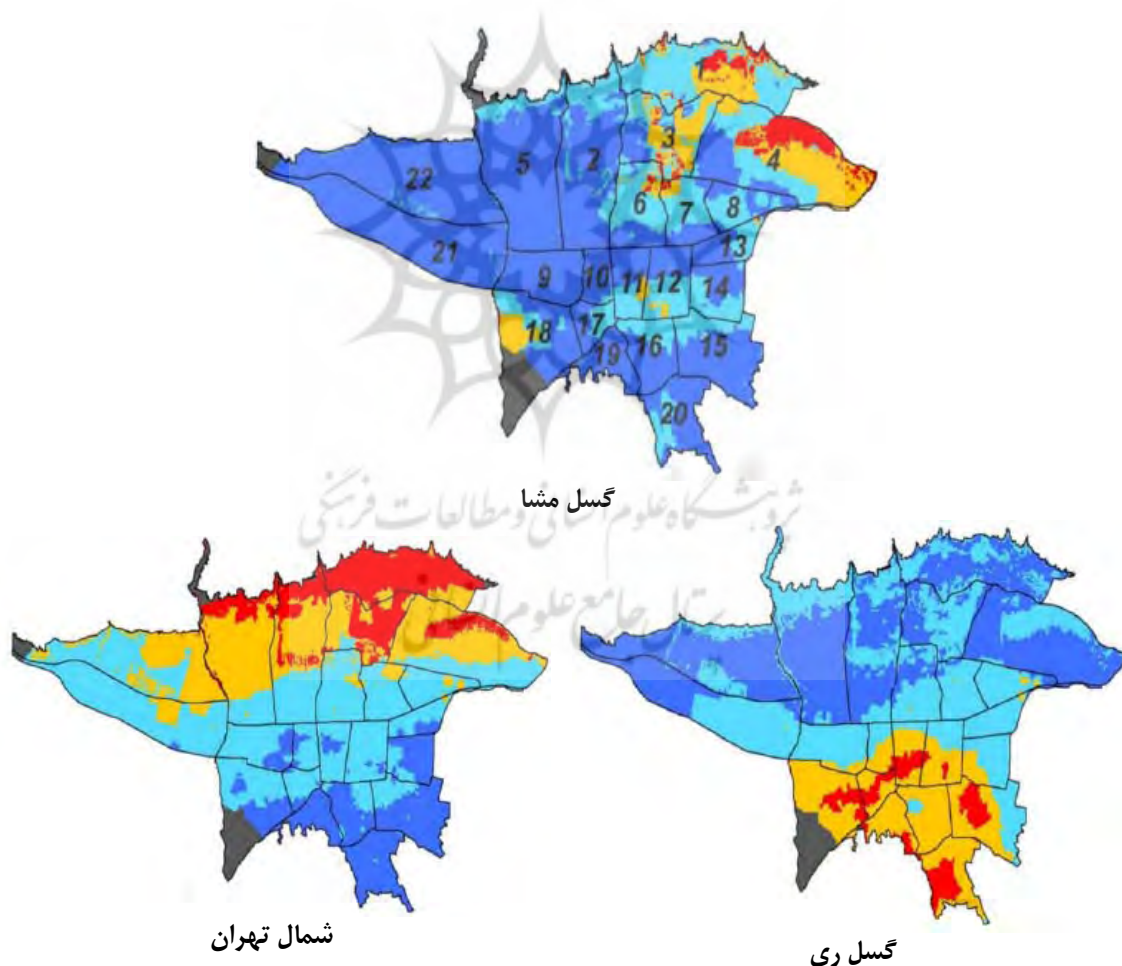
$$L'' = \max_{s \in S} (\xi''_s - \xi''^*_s) \rightarrow \xi''_s - \xi''^*_s \leq L'' \quad \text{رابطه ۷۱}$$

### مطالعه موردی

دو اختلال مورد بررسی زلزله و کاهش عرضه در اثر رویدادهایی مانند بیماری واگیردار بوده است که در ادامه به‌ویژه در مورد زلزله توضیحاتی ارائه می‌شود.

برطبق گزارش‌های سازمان ملل، ایران در میان کشورهایی است که از نظر زمین‌لرزه در رتبه‌های بالا از نظر زلزله‌های با شدت بزرگتر از ۵/۵ قرار می‌گیرد. همچنین یکی از کشورهای محسوب می‌شود که از نظر آسیب‌پذیری زلزله و تعداد افراد کشته در اثر حادثه در رتبه بالایی قرار می‌گیرد (نهفته کهنه و تیموری، ۱۳۹۵). تهران، پرجمعیت‌ترین شهر

ایران، بالغ بر ۹۴۲۳۷۰۳ میلیون نفر جمعیت دارد (آمارنامه شهر تهران، ۱۳۹۸) و بر اساس تعداد گسل‌های فعال و داده‌های گذشته، می‌توان گفت در آینده‌ای نزدیک با زلزله‌هایی بزرگ مواجه خواهد شد. در میان گسل‌های تهران، سه گسل از قبیل گسل مشا، گسل شمال تهران و گسل ری از اهمیت بالایی برخوردار هستند (جیکا، ۲۰۰۰). گسل مشا بیش از ۲۰۰ کیلومتر و یکی از بزرگترین گسل‌های فعال شهر تهران می‌باشد که بزرگترین زلزله تاریخی در اثر این گسل بوده است. گسل شمال تهران، گسلی ۹۰ کیلومتری می‌باشد که در حاشیه شمالی تهران قرار گرفته است. و گسل ری، حدود ۲۰ کیلومتر است که در جنوب تهران واقع شده است (چراغی و حسینی مطلق، ۲۰۱۷). بر طبق مطالعات جیکا (۲۰۰۰) شدت زلزله مبتنی از گسل مشا و شمال تهران حدوداً  $7/2$  و گسل ری حدود  $6/7$  می‌باشد (جیکا، ۲۰۰۰). در صورت فعال شدن گسل مشا مناطق ۴، ۱، ۳، ۶ و ۷، شمال تهران مناطق ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ و ری ۱۱، ۱۲، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰ آسیب جدی خواهند دید. تصاویری از تهران و گسل‌های مذکور و همچنین مناطق آسیب‌پذیر آورده شده است (شکل ۳).



شکل ۳. مناطق تهران و گسل‌های مورد نظر

منبع: رضایی و پناهی، ۲۰۱۵



برای اختلال بیماری واگیردار، آنچه مدنظر قرار گرفته است، کاهش اهدای خون (اختلال عرضه) است که هم خبرگان و هم مقالات به آن اشاره کرده‌اند (توماس و همکاران، ۲۰۱۹). برای این اختلال، بر اساس نظر خبرگان، دو حالت در نظر گرفته شده است، حالت اول ۷۵ درصد کاهش نسبت به بیشینه اهدا (S2)، حالت دوم ۵۰ درصد کاهش نسبت به بیشینه اهدا (S3).

### سناریوها

در این تحقیق با توجه به اختلال‌های مشخص شده در مراحل قبلی، شش سناریو تعریف شده است، که در جدول ۷ مشاهده می‌شود. احتمال سناریوهایی که در عدم قطعیت رخ می‌دهند، برای سه حالت اصلی یعنی بدون اختلال، اختلال زلزله و اختلال پاندمی مانند مقالات (یعقوبی و همکاران، ۲۰۱۹) به صورت برابر در نظر گرفته شد. سپس برای حالت پاندمی بر اساس نظر خبرگان و برای حالت زلزله بر اساس مقاله (صالحی و همکاران، ۲۰۱۷) که طول گسل را مبنای محاسبه احتمال می‌دانند، درصد احتمال‌ها محاسبه گردید.

جدول ۷. سناریوها و احتمال وقوع آن‌ها

شماره سناریو	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴	سناریو ۵	سناریو ۶
شرایط	بدون اختلال	پاندمی اول	پاندمی دوم	گسل مشا	گسل شمال تهران	ری
احتمال وقوع	۳۳/۳ درصد	۱۶/۶ درصد	۱۶/۶ درصد	۲۱/۵ درصد	۹/۷ درصد	۲/۱ درصد

### مقادیر پارامترها

نقاط اهدا بر اساس تقسیم‌بندی مناطق تهران مدنظر قرار گرفته است (جبارزاده و همکاران، ۲۰۱۴) که به دلیل زیاد شدن مطالب از آوردن آن‌ها خودداری شده است. همچنین با توجه به نظرات خبرگان و مقالات مرتبط نقاط بالقوه مراکز ثابت، سیار و تولید به صورت جدول ۸ تا ۱۰ مشخص گردید.

جدول ۸. نقاط بالقوه برای مراکز جمع‌آوری خون ثابت

ردیف	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ردیف	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
وصال	۵۱/۳۹۸۶۱۱۷۶	۳۵/۷۰۵۹۷۲۴۴	صدر	۵۱/۴۳۱۳۷	۳۵/۷۸۰۹
صادقیه	۵۱/۳۴۰۵۸۱۲۳	۳۵/۷۲۱۷۵۲۵۹	تهران پارس	۵۱/۵۳۸۶	۳۵/۷۵۸۲۷
نارمک	۵۱/۴۹۲۰۴	۳۵/۷۳۷۴۲	میدان خراسان	۵۱/۴۴۴۷	۳۵/۶۶۵۵۲
میدان امام خمینی	۵۱/۴۲۰۳۰۱	۳۵/۶۸۴۱۶۷	تجریش	۵۱/۴۳۱۹۶	۳۵/۸۰۶۴۵
پیروزی	۵۱/۴۸۰۹۲۷	۳۵/۶۹۲۶۰۹	سعادت‌آباد	۵۱/۳۷۳۶۹	۳۵/۷۸۲۶۱
ستاری	۵۱/۳۱۵۲۳	۳۵/۷۴۷۰۷	ری	۵۱/۴۴۷۴۷	۳۵/۵۸۵۳۲

جدول ۹. نقاط بالقوه برای مراکز جمع‌آوری خون سیار

موقعیت کلی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	موقعیت کلی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
مصلی	۵۱/۴۳۳۵۴	۳۵/۷۳۶۴۳	مرکز منطقه ۷	۵۱/۴۴۱۴۵	۳۵/۷۱۸۵۷
مسجد ارگ	۵۱/۴۱۸۴	۳۵/۶۷۹۵۸	مرکز منطقه ۱۸	۵۱/۲۹۲۷۸	۳۵/۶۵۱۶۷
دانشگاه امام صادق (ع)	۵۱/۳۸۲۸	۳۵/۷۶۸۹۶	مرکز منطقه ۲۱	۵۱/۲۵۷۷۸	۳۵/۶۹۰۵۶
حرم حضرت عبدالعظیم (ع)	۵۱/۴۳۵۴۸	۳۵/۵۸۵۷۱	مرکز منطقه ۲۲	۵۱/۲۰۴۱۷	۳۵/۷۴۷۲۲

جدول ۱۰. نقاط بالقوه برای مراکز تولید

موقعیت کلی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	موقعیت کلی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
شمال	۵۱/۴۴۷۴۲۶۹۶	۳۵/۵۸۵۵۱۹۶۱	مرکز	۵۱/۵۳۷۲۲۶۳۷	۳۵/۷۶۳۹۰۵۴
غرب	۵۱/۳۱۵۱۶۰۱۹	۳۵/۷۴۷۲۶۳۰۴	غرب	۵۱/۳۹۸۶۱۱۷۶	۳۵/۷۰۵۹۷۲۴۴
شرق	۵۱/۴۳۱۲۷۴۴	۳۵/۷۸۱۱۰۵۵۸			

جهت مشخص کردن بیمارستان‌ها، بیمارستان‌هایی اصلی و مهمی که بیشترین تقاضای واحدهای خونی را به‌طور معمول دارند و در نقاط مختلف شهر پراکنده بودند، با نظر خبرگان انتخاب گردیدند (جدول ۱۱).

جدول ۱۱. موقعیت مکانی بیمارستان‌های منتخب

طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	امام خمینی	دکتر شریعتی	میلاذ	بقیة...	امام حسین	طالقانی	قلب رجائی	رسول اکرم	فیروزگر	محک	آبادی فیروز	نژاد لبافی	فیاض بخشی
۵۱/۳۸	۳۵/۷۰	۵۱/۳۸	۵۱/۵۸	۵۱/۳۸	۵۱/۳۹	۵۱/۴۵	۵۱/۴۰	۵۱/۴۱	۵۱/۳۶	۵۱/۴۱	۵۱/۵۰	۵۱/۴۳	۵۱/۴۶	۵۱/۳۳
عرض جغرافیایی	۳۵/۷۰	۳۵/۷۲	۳۵/۷۲	۳۵/۷۴	۳۵/۷۵	۳۵/۷۰	۳۵/۷۹	۳۵/۷۷	۳۵/۷۱	۳۵/۷۰	۳۵/۸۱	۳۵/۵۹	۳۵/۷۶	۳۵/۷۰

برای مشخص کردن مقدار تقاضا در شرایط معمولی سال ۹۸-۹۹ از داده‌های پایگاه انتقال خون تهران و برای شرایط بحران از مقاله صالحی و همکاران (۲۰۱۷) و طباطبایی و همکاران (۲۰۱۰)، استفاده شد، همچنین برای زمان غیر اختلال نیز از داده‌های موجود در پایگاه خون تهران استفاده گردید. تعداد داده‌های مربوط به تقاضا زیاد می‌باشد که با توجه به حجم داده‌ها در این قسمت آورده نشده است. برای مشخص کردن مقدار بیشینه اهدا از داده‌های موجود در پایگاه انتقال خون و همچنین مقاله جبارزاده و همکاران (۲۰۱۴) استفاده گردید. همچنین قابل ذکر است که در سناریو مربوط به اختلال، مقدار کاهش عرضه نیز با توجه به نظر و داده‌های پایگاه انتقال خون تهران بهره گرفته شد. هزینه‌های مورد استفاده در تحقیق با استفاده از داده‌های موجود در مقالات و همچنین نظرات خبرگان مشخص گردید. بدین صورت که هزینه راه‌اندازی یک واحد جمع‌آوری ثابت برابر با ۱۵۰ هزار دلار، یک واحد جمع‌آوری سیار ۲۵ هزار دلار، یک واحد

مرکز تولید ۵۰۰ هزار دلار برآورد گردید. هزینه اهدا با روش معمولی ۱۰ دلار و هزینه اهدا با روش آفرزیس ۲۰ دلار، هزینه نگهداری در بیمارستان و مراکز تولید به‌ازای هر دوره ۱ دلار، در نظر گرفته شد. هزینه حمل و جابه‌جایی نیز وابسته به مسافت و به‌ازای هر کیلومتر ۰/۵ دلار محاسبه گردید. هزینه خرید ماشین حمل خون ۳۰۰۰ دلار و هلیکوپتر ۳۵۰۰۰ دلار (خلیل‌پور آذری و خامش، ۲۰۱۷) مدنظر قرار گرفته است. هزینه‌های مورد استفاده در تحقیق با استفاده از داده‌های موجود در مقالات و همچنین نظرات خبرگان مشخص گردید. بدین‌صورت که ظرفیت مراکز اهدای ثابت ۲۰۰ واحد در روز، مراکز سیار ۲۵ واحد در روز، مقدار ncr برابر با ۱۵۰ واحد، ظرفیت یک ماشین ۱۰۰ و هلیکوپتر ۳۰۰ در نظر گرفته شده است. برای محاسبه فاصله بین مراکز مختلف از مختصات جغرافیایی موجود در نقشه گوگل، می‌آید استفاده گردید. جهت محاسبه فاصله‌های موجود در مدل از فرمول زیر استفاده شده است (جبارزاده و همکاران، ۲۰۱۴). به‌دلیل زیاد بودن فواصل بین بخش‌های مختلف از آوردن جداول مربوطه خودداری شده است.

$$r_{ij} = 6371.1 \times \arccos [\sin(LAT_i) \times \sin(LAT_j) + \cos(LAT_i) \times \cos(LAT_j) \times \cos(LONG_j - LONG_i)] \quad \text{رابطه (۷۲)}$$

وضعیت مختصات سطوح مختلف زنجیره تأمین که در نقشه گوگل (شکل ۴) مشخص شده است، آورده شده است.

#### سایر پارامترها

عمر هر فرآورده به‌ترتیب برای گلبول قرمز، پلاکت و پلاسما برابر با ۴۲ روز، ۷ روز و ۱۰۰ روز در نظر گرفته شده است. میانگین سرعت در شرایط و سناریوهای مختلف به‌ترتیب برای ماشین در سناریوهای غیر زلزله برابر با ۵۰ و در سناریوهای زلزله دوره اول برابر با ۵ و در سایر دوره‌ها ۳۵ و برای هلیکوپتر ۲۰۰ کیلومتر در ساعت در نظر گرفته شده است و ذخیره احتیاطی نیز در سه سطح ۵۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ در نظر گرفته شد. ظرفیت مراکز ثابت و سیار به‌ترتیب ۱۰۰ و ۳۰ واحد مدنظر قرار گرفتند. هزینه تبلیغات بنر و هدایای فردی نیز به ترتیب ۱۰۰۰ و ۲ دلار مدنظر قرار گرفته است. هزینه ضایعات نیز ۱۵۰ دلار در نظر گرفته شده است. همچنین در ادامه، جدول منبع پارامترهای اصلی تحقیق آورده شده است (جدول ۱۲).

جدول ۱۲. نقاط بالقوه برای مراکز تولید

عنوان کلی پارامتر	علامت	منبع
هزینه راه‌اندازی مرکز جمع‌آوری ثابت	$Con_{j1}$	آروان و همکاران (۲۰۱۵)؛ خبرگان
هزینه راه‌اندازی مرکز تولید	$Con'_k$	آروان و همکاران (۲۰۱۵)؛ خبرگان
هزینه راه‌اندازی مرکز سیار	$CNu_s$	قطره‌سامانی و همکاران (۲۰۱۹)؛ خبرگان
اثر تبلیغات بر افزایش اهداکننده	$EffAd$	خبرگان پایگاه انتقال خون
هزینه جمع‌آوری خون	$JC_m$	قطره‌سامانی و همکاران (۲۰۱۹)
مقدار ذخیره احتیاطی	$SS'_{pl}$	خبرگان پایگاه انتقال خون
هزینه وسایل نقلیه	TF	خلیل‌پور آذری و خامش، ۲۰۱۷

ادامهٔ جدول ۱۲

عنوان کلی پارامتر	علامت	منبع
تقاضا	$D_{pht}^s$	داده‌های پایگاه انتقال خون؛ طباطبایی و همکاران (۲۰۱۰)
هزینه جابه‌جایی		جبارزاده و همکاران (۲۰۱۴)
ظرفیت وسیله نقلیه		خلیل‌پور آذری و خامش، ۲۰۱۷
هزینه و اثر تبلیغات تبلیغات	$Cad$	حسینی مطلق و همکاران (۲۰۲۰)؛ خبرگان پایگاه انتقال خون
هزینه تبلیغات و وفاداری برای یک نفر	$CAdp$	خبرگان پایگاه انتقال خون
مدت زمان رسیدن به مرکز تولید		خبرگان پایگاه انتقال خون
عمر فرآورده‌های خونی		حسینی مطلق و همکاران (۲۰۱۹)؛ یعقوبی و همکاران
ظرفیت مراکز	$C_{j1}, C_{j2}^s, C'_{pk}, C''_{ph}, C'''_{pso}$	خبرگان
هزینه ضایعات		انصافیان و همکاران (۲۰۱۷)

حل مدل با استفاده از روش TH

گام‌های مختلف حل با استفاده از روش TH در ادامه آورده شده است:

گام اول: بر اساس رابطه ۷۳

$$Z_1^{NIS} = \max\{Z_1(x_2^{PIS}), Z_1(x_3^{PIS})\} \quad \text{رابطه ۷۳}$$

$$Z_2^{NIS} = \max\{Z_2(x_1^{PIS}), Z_2(x_3^{PIS})\}$$

$$Z_3^{NIS} = \max\{Z_3(x_1^{PIS}), Z_3(x_2^{PIS})\}$$

گام دوم: برای h از ۱ تا ۳ (بر اساس رابطه ۷۴)

$$\mu_h(x) = \begin{cases} 1 & Z_h < Z_h^{PIS} \\ \frac{Z_h^{NIS} - Z_h}{Z_h^{NIS} - Z_h^{PIS}} & Z_h^{PIS} \leq Z_h \leq Z_h^{NIS} \\ 0 & Z_h > Z_h^{NIS} \end{cases} \quad \text{رابطه ۷۴}$$

گام سوم: بر اساس رابطه ۷۵ و ۷۶

$$\max \omega(v) = \gamma \omega_0 + (1 - \gamma) \sum_h \theta_h \mu_h(v) \quad \text{رابطه ۷۵}$$

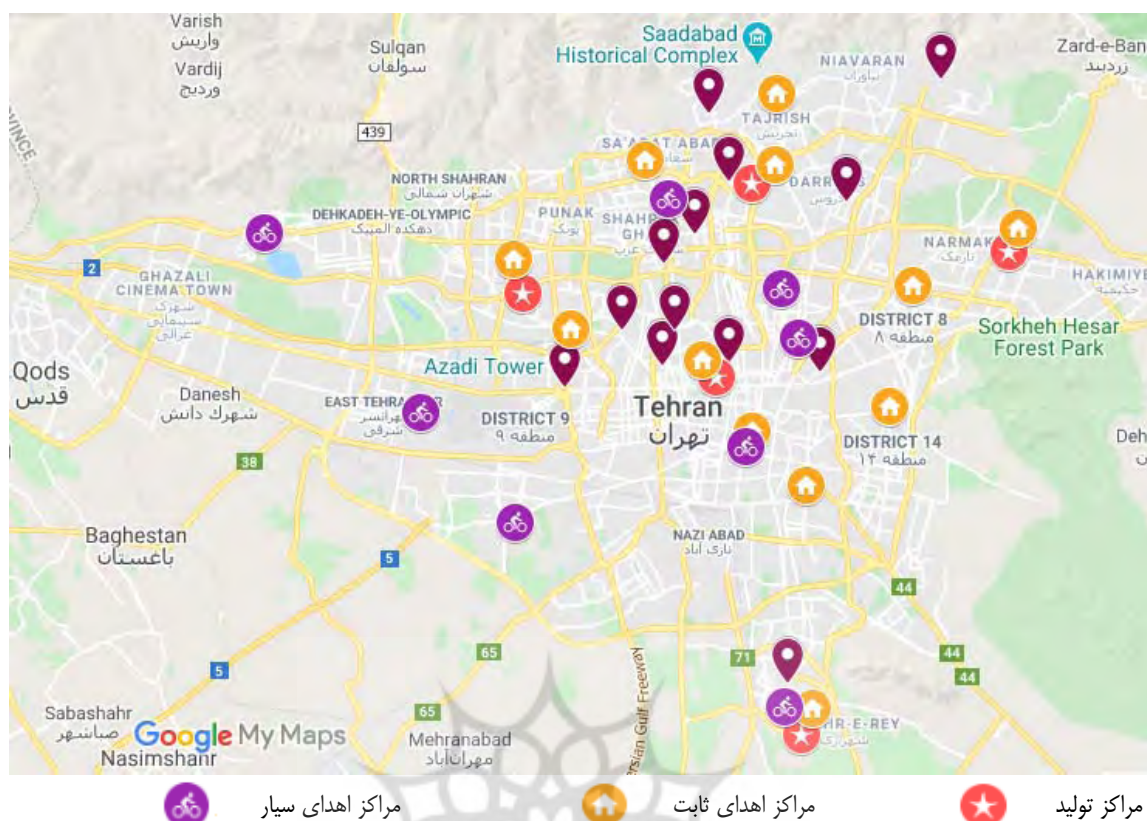
S.t

$$\omega_0 \leq \mu_h(v) \quad h = 1, 2 \dots H$$

$$v \in F(v), \omega_0 \text{ و } \gamma \in [0, 1]$$

مدل فوق با نرم‌افزار گمز و در کامپیوتری با مشخصات رم برابر با ۴ گیگ و CPU Core i5 1.9 GHz حل شد

که مدت زمان حل برابر با ۱۶/۲۵ دقیقه بود.



شکل ۴. وضعیت نقاط فعلی و بالقوه سطوح مختلف زنجیره تأمین بر روی نقشه

### نتایج حل مدل

بر اساس مدل‌سازی انجام‌شده و تشریح مسئله و با در نظر گرفتن پارامترهای مربوط به آغاز و TH برابر با ۰/۵ و اوزان توابع هدف به ترتیب برابر با ۰/۳، ۰/۱ و ۰/۶ محاسبات انجام شده ارائه می‌گردد. مرکز تولید وصال و جمع‌آوری ثابت نارمک، میدان خراسان، صادقیه، امام خمینی و وصال انتخاب گردیدند. مقدار خون اهداشده در دوره اول و سناریو دوم در جدول ۱۳ و مراکز سیار در سناریوهای مختلف و جابه‌جایی آن‌ها نیز در دوره اول در جدول ۱۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۱۴ مشاهده می‌شود، به‌ویژه در سناریوهای اختلال زلزله استفاده مراکز سیار رو به افزایش است.

جدول ۱۳. مقدار خون اهداشده به مراکز ثابت مختلف

منطقه	وصال	صادقیه	میدان امام خمینی	میدان خراسان	نارمک
منطقه ۱	-	-	-	-	۳۶
منطقه ۲	-	-	-	-	-
منطقه ۳	-	-	-	-	-
منطقه ۴	-	-	-	-	۱۱۱
منطقه ۵	-	-	-	-	-
منطقه ۶	-	-	-	-	-
منطقه ۷	۳۸	-	-	-	-
منطقه ۸	۵۱	-	-	-	-

ادامهٔ جدول ۱۳

منطقه	وصال	صادقیه	میدان امام خمینی	میدان خراسان	نارمک
منطقه ۹	۱۵	-	-	-	-
منطقه ۱۰	-	-	-	-	-
منطقه ۱۱	-	-	-	-	-
منطقه ۱۲	-	-	۲۹	-	-
منطقه ۱۳	-	-	-	۳۰	-
منطقه ۱۴	۵۹	-	-	-	-
منطقه ۱۵	-	-	-	-	-
منطقه ۱۶	-	-	-	-	-
منطقه ۱۷	-	۲۷	-	-	-
منطقه ۱۸	-	۵۱	-	-	-
منطقه ۱۹	-	-	-	۳۰	-
منطقه ۲۰	-	-	-	-	-
منطقه ۲۱	-	۲۲	-	-	-
منطقه ۲۲	-	-	-	-	-

جدول ۱۴. جمع‌آوری‌های سیار در دوره اول

نام سیار	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴	سناریو ۵	سناریو ۶
مصلی	-	-	-	-	۱	۱
مسجد ارگ	۱	-	-	-	۱	۱
دانشگاه امام صادق (ع)	۱	-	-	-	-	۱
حرم حضرت عبدالعظیم (ع)	-	-	-	-	۱	-
مرکز منطقه ۷	۱	-	-	-	۱	۱
مرکز منطقه ۱۸	-	-	-	-	-	-
مرکز منطقه ۲۱	-	-	-	-	-	-
مرکز منطقه ۲۲	-	-	-	-	-	-

قابل توجه است که خون‌های جمع‌آوری‌شده در سناریو اول به‌صورت معمولی بوده است، اما در برخی از سناریوها با توجه به تقاضا و هزینه به‌صورت آفرزیس جمع‌آوری خون صورت پذیرفته است. برای مثال در سناریو ۲ دوره دوم ۳۰ واحد به‌صورت آفرزیس اهدا شده است. در مرحله بعدی خون‌های جمع‌آوری‌شده با انواع مختلف حمل‌ونقل از مراکز جمع‌آوری به مراکز تولید انتقال می‌یابند که در جدول ۱۵ مشاهده می‌شود. این مقادیر مربوط به حرکت از مرکز جمع‌آوری نارمک به مرکز تولید وصال است.



جدول ۱۵. خون‌های جمع‌آوری شده از مرکز جمع‌آوری نارمک به مرکز تولید وصال

وسيله	زمان	سناريو ۱	سناريو ۲	سناريو ۳	سناريو ۵	سناريو ۶
ماشين هلیکوپتر	t1	۱۵۰	۱۴۴	۴۶	-	-
		-	-	-	۱۵۰	۱۵۰
ماشين هلیکوپتر	t2	۱۴۲	۸۹	۴۶	-	-
		-	-	-	۱۵۰	-
ماشين هلیکوپتر	t3	۱۵۰	۶۰	۴۶	-	-
		-	-	-	-	۱۴۵

همان‌طور که در قسمت مدل‌سازی نیز بیان شد، یکی از راهبردهای خون‌رسانی ارسال از استان‌های مختلف است که در این قسمت فرآورده‌های مختلفی که برای مثال از استان مرکزی ارسال شده است در جدول ۱۶ مشاهده می‌گردد.

جدول ۱۶. فرآورده‌های مختلف ارسالی از استان مرکزی در سناریوهای گوناگون

فرآورده	دوره	سناريو ۱	سناريو ۲	سناريو ۳	سناريو ۴	سناريو ۵	سناريو ۶
گلبول قرمز	t1	۲۱	۵۴	۵۹	-	-	-
	t2	۲۱	۵۴	۵۶	-	-	-
	t3	۲۱	۵۴	۵۹	-	-	-
پلازما	t1	-	-	-	-	-	۴۳۲
	t2	-	۲۷	-	-	-	-
	t3	۱۰	-	-	-	-	-
پلاکت	t1	۱۰	۲۷	۳۲	-	-	-
	t2	۱۰	۲۷	۲۵	-	-	-
	t3	۱۰	۲۷	۳۲	-	-	-

در دوره‌های مختلف با توجه به تقاضای موجود، از مرکز تولید به بیمارستان‌های گوناگون خون ارسال می‌شود که در جدول ۱۷ به صورت نمونه برخی از موارد آورده شده است.

جدول ۱۷. مقدار ارسالی به بیمارستان دکتر شریعتی

فرآورده	زمان	سناريو ۱	سناريو ۲	سناريو ۳	سناريو ۴	سناريو ۵	سناريو ۶
گلبول قرمز	t1.t1	۱۰۸	۱۰۸	۱۰۸	-	۱۵۹	-
	t2.t2	۱۰۸	۱۰۸	۱۰۸	-	-	۴۸
	t3.t3	۱۰۸	۱۰۸	۱۰۸	-	-	-
پلازما	t1.t1	۹۵	۹۵	۹۵	-	۴۹۸	۵۸۲
	t2.t2	۹۵	۹۵	۹۵	-	-	-
	t3.t3	۹۵	۹۵	۱۳۰	-	۲۵۶	-
پلاکت	t1.t1	۱۷۱	۱۷۱	۱۷۱	-	۲۷۱	-
	t2.t2	۱۷۱	۱۷۱	۱۷۱	-	۲۳۱	-
	t3.t3	۱۷۱	۱۷۱	۱۷۱	-	۲۱۱	۵۶

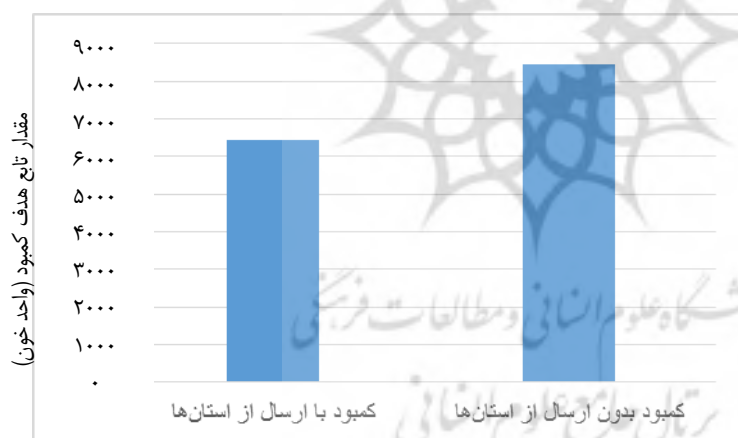


در ادامه تعداد وسایل حمل‌ونقل مختلفی که در هر سناریو و دوره مورد نیاز است در جدول ۱۸ آورده شده است.

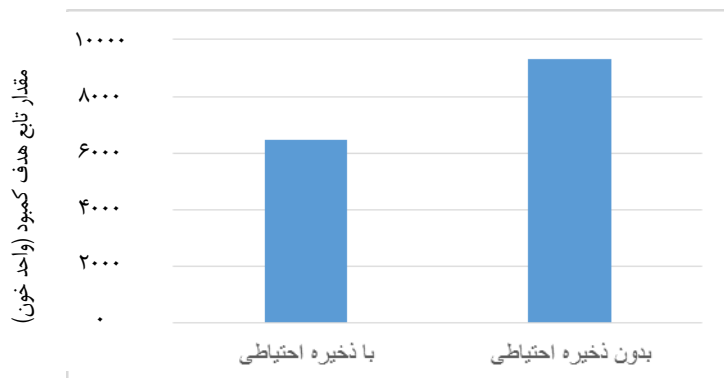
جدول ۱۸. تعداد وسایل حمل‌ونقل در سناریوهای مختلف

سناریو ۶	سناریو ۵	سناریو ۴	سناریو ۳	سناریو ۲	سناریو ۱	زمان	نوع وسیله
۴	۶	-	۷	۷	۹	t1	ماشین
۱	۱	-	-	-	-		هلیکوپتر
۳	۶	-	۷	۸	۹	t2	ماشین
-	۱	-	-	-	-		هلیکوپتر
۳	۹	-	۷	۷	۱۰	t3	ماشین
-	-	-	-	-	-		هلیکوپتر

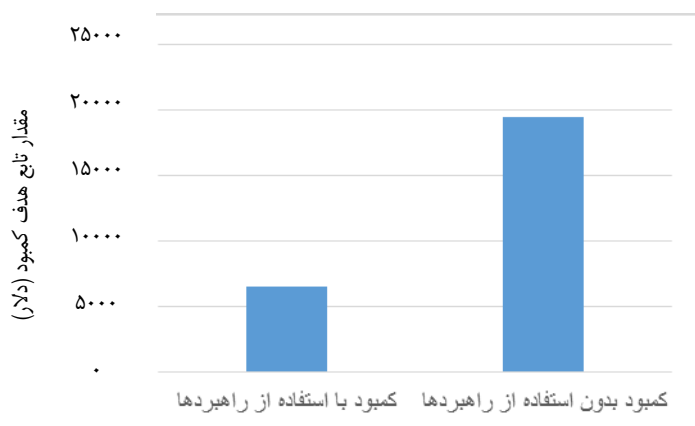
همچنین با توجه به یافته‌های مدل، در سناریوهای ۲ و ۳ از تبلیغات (یعنی آگاه‌سازی از طریق بیلبوردها و هدایای فردی) استفاده شده است، دو مرکز وصال و امام‌خمینی نیز مراکز بحرانی شده‌اند. مرکز تولید از قسمت پشتیبان و اضافی خود استفاده نکرده است و همچنین ذخیره احتیاطی در سطح سوم فعال شده است. همچنین در ادامه اثر برخی از راهبردهای تاب‌آوری مدنظر قرار گرفته که به تحلیل بهتر کمک می‌کند (شکل‌های ۵ تا ۸).



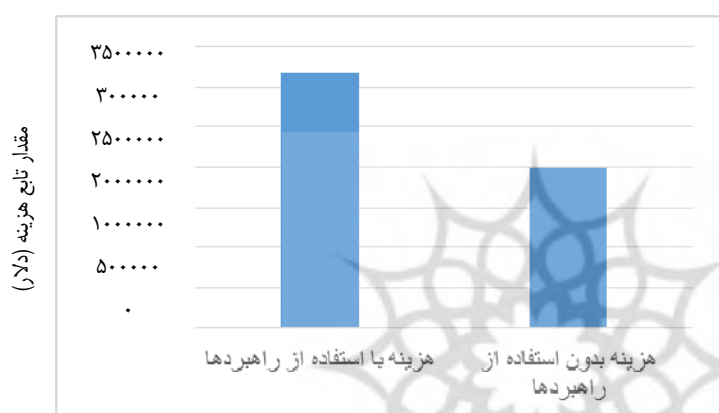
شکل ۵. اثر ارسال از سایر استان‌ها بر کمبود



شکل ۶. اثر ذخیره احتیاطی بر کمبود



شکل ۷. اثر استفاده از کلیه راهبردها بر کمبود



شکل ۸. هزینه استفاده از کلیه راهبردها در مقایسه با بدون استفاده از راهبردها

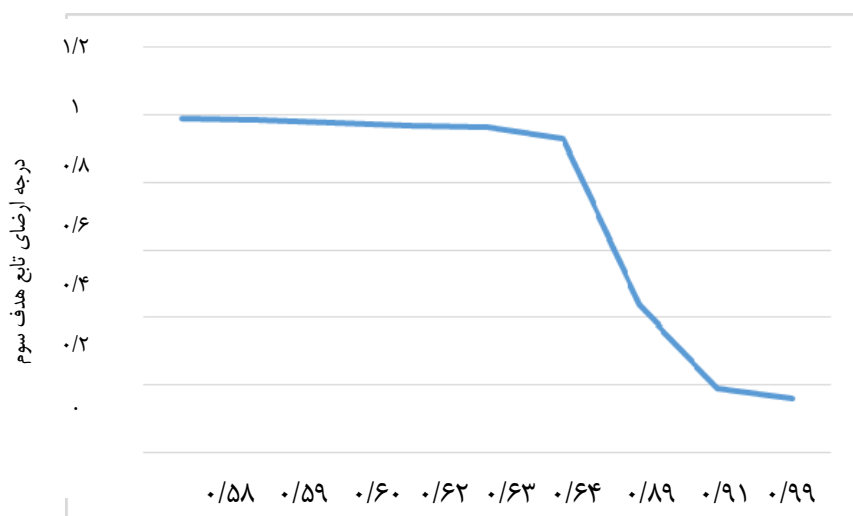
### تحلیل حساسیت

در این قسمت در پارامترهای مختلف تغییراتی اعمال گردیده و اثرات آن مشاهده و همچنین در صورت نیاز توضیحات تکمیلی بیان شده است. در ابتدا تضاد دو تابع هدف مهم کمبود و هزینه‌ها مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱۹).

جدول ۱۹. تغییرات تابع هدف اول و دوم

$\theta_1$	$\theta_3$	درجه‌ارضای هدف اول	درجه‌ارضای هدف سوم
۰/۹	۰/۱	۰/۹۱۴	۰/۱۵۸
۰/۷	۰/۳	۰/۸۹۳	۰/۴۳۸
۰/۵	۰/۵	۰/۶۳۶	۰/۹۶۳
۰/۳	۰/۷	۰/۶۰۵	۰/۹۷۷
۰/۱	۰/۹	۰/۵۸۸	۰/۹۹۰

همچنین جهت مشاهده‌پذیری بهتر نتایج، این مقایسه در شکل ۹ آورده شده است.



درجه رضای تابع هدف اول

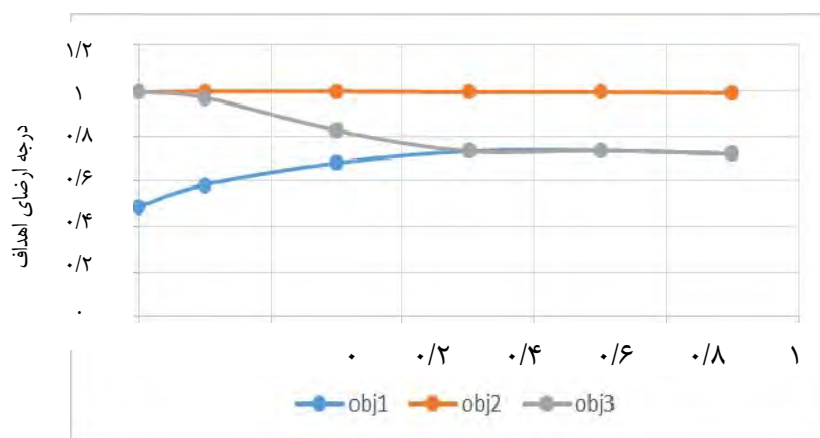
شکل ۹. تغییرات ضریب رضای توابع هدف اول و سوم نسبت به هم

روش TH به ازای  $\gamma$ های مختلف، جواب‌های کار ایجاد می‌کند. برای بررسی تغییرات این ضریب بر مقادیر تابع هدف، در جدولی (جدول ۲۰) محاسبات مربوطه انجام شده است.

جدول ۲۰. بررسی تغییرات در ضریب روش TH

$\gamma$	درجه رضای هدف اول	درجه رضای هدف دوم	درجه رضای هدف سوم	مقدار کل
۰	۰/۴۸۸	۰/۹۹۵	۰/۹۹۷	۰/۸۳۲
۰/۱	۰/۵۸۴	۰/۹۹۸	۰/۹۷۰	۰/۸۳۰
۰/۳	۰/۶۸۱	۰/۹۹۸	۰/۸۲۴	۰/۷۶۴
۰/۵	۰/۷۳۳	۰/۹۹۵	۰/۷۳۳	۰/۷۴۶
۰/۷	۰/۷۳۶	۰/۹۹۵	۰/۷۳۶	۰/۷۴۴
۰/۹	۰/۷۲۱	۰/۹۹۱	۰/۷۲۱	۰/۷۲۴

همان‌طور که مشاهده می‌شود همانند نتایجی که مقالات دیگر مانند (قطره‌سامانی و همکاران، ۲۰۱۹) ارائه کرده و گزارش داده‌اند، با بالا رفتن این ضریب، به سمت یکدیگر همگرا تر شده، البته همان‌طور که مشخص است، با توجه به اینکه این وضعیت درحالی بررسی شد که مقدار وزن تابع هدف سوم، بیشتر بوده است، با پایین آمدن این ضریب، درجه رضای تابع هدف سوم بیشتر می‌شود زیرا وزن قسمت امید ریاضی مربوط به تابع TH پررنگ‌تر شده و وزن قسمت مین‌ماکس کمتر می‌شود. پس همان‌طور که واضح و مشخص است، مقدار کل مربوط به TH نیز در این وضعیت بیشتر می‌شود (شکل ۱۰).



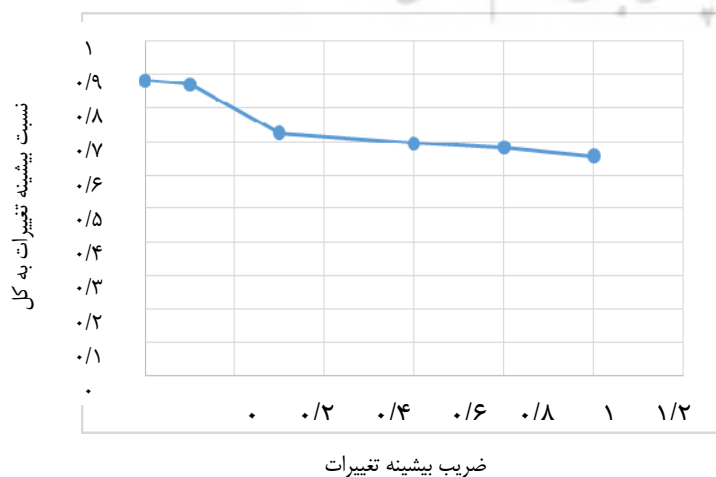
شکل ۱۰. تغییرات ضریب در روش TH

استوارسازی آغزاف شامل دو قسمت اصلی است، قسمت اول ماکسیمم تغییرپذیری را کاهش می‌دهد، یعنی انتظار داریم، با افزایش در ضریب قسمت اول، بیشینه تغییرپذیری پاسخ‌ها کاهش یابد. برای بررسی این موضوع تغییراتی در ضریب تابع هدف سوم که در واقع مرتبط با تاب‌آوری مسئله می‌باشد، اعمال شد که در جدول ۲۱ مشاهده می‌شود. در این جدول نسبت بیشینه تغییرپذیری به کل تابع هدف مذکور آورده شده است. همان‌طور که مشخص است، با بالا رفتن این ضریب، مقدار نسبت بیشینه تغییرات به کل کاهش می‌یابد. درواقع یعنی مقدار مورد انتظار در هنگامی که این ضریب بالا باشد، بیشتر خواهد بود و بیشترین تغییراتی که ممکن است، اتفاق بیفتد کمتر خواهد شد. با توجه به اینکه اگر تنها مقدار مورد انتظار مورد توجه قرار بگیرد، ریسک‌گریزی مدیران مورد توجه قرار نمی‌گیرد، در این رویکرد این امکان فراهم می‌شود تا مدیران بر اساس ذهنیت خود مبادله‌ای را بین مقدار مورد انتظار و بیشینه تغییرات انجام دهند.

جدول ۲۱. تغییرات ضریب استواری

تغییرات ضریب	0	0.1	0.3	0.6	0.8	1
ضریب بیشینه تغییرات	0.8817974	0.8715926	0.7250009	0.6952575	0.6818167	0.6562104
نسبت بیشینه تغییرات به کل	0.8817974	0.8715926	0.7250009	0.6952575	0.6818167	0.6562104

برای درک بهتر موضوع جدول فوق در شکل ۱۱ نیز آورده شده است.

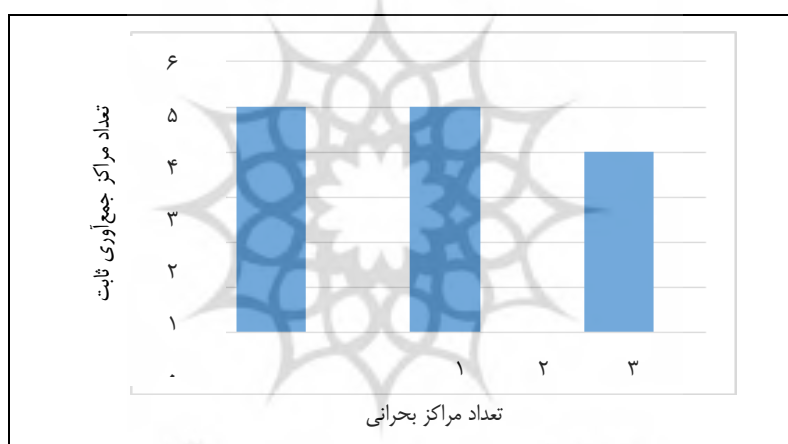


شکل ۱۱. تغییرات نسبت بیشینه تغییرپذیری با تغییر ضراب مربوطه

جدول ۲۲. تغییرات هزینه تبلیغات

تغییرات هزینه	سناریو انتخاب شده
-۰/۰۵	S3 ،S2
+۰/۱	S3 ،S2
.	S3 ،S2
+۰/۰۵	S3 ،S2
+۰/۱	S3 ،S2

همان طور که در جدول ۲۲ مشخص است، تغییرات در هزینه تبلیغات اثری در انتخاب سناریو استفاده از این راهبرد ندارد که با توجه به فرضیات مدل، منطقی می‌باشد. همچنین در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود که با بالا رفتن تعداد مراکز بحرانی، تعداد مراکز ثابت کاهش می‌یابد.



شکل ۱۲. تغییرات مراکز بحرانی

### بینش‌های مدیریتی

یکی از نکاتی که باید بیشتر مورد توجه قرار بگیرد این است که بر اساس تحقیق‌های انجام شده در این تحقیق، راهبردهای توسعه ظرفیت مازاد (افزونگی)، بهبود انعطاف‌پذیری و گسترش مسئولیت اجتماعی، می‌تواند برای زنجیره تأمین خون از اهمیت بالایی برخوردار گردد و برای مقابله با اختلال‌های گوناگون موثر واقع شود، بنابراین برنامه‌ریزی برای آن‌ها در شرایط بدون اختلال حائز اهمیت است.

یکی از راه‌های تأمین خون مورد نیاز، حتی در شرایط غیر بحرانی استفاده از شبکه خون‌رسانی استان‌های گوناگون می‌باشد که البته در شرایط بحرانی، اهمیت این موضوع بیشتر می‌شود. این راهبرد توسط نهفته کهنه و همکاران (۲۰۱۶) نیز مدل‌سازی شده است و البته مقاله طباطبایی و همکاران (۲۰۱۰) نیز برای روز اول یکی از نکات مهم را استفاده از ظرفیت استان‌های نزدیک بیان کرده‌اند که خروجی‌های این تحقیق نیز موید نتایج تحقیقات مقالات ذکر شده می‌باشند. یکی از نکات مهم که در این مقاله مدنظر قرار گرفت و کمتر به آن توجه شده بود، موضوع ذخیره احتیاطی به‌ویژه

برای فرآورده گلبول قرمز از فرآورده‌های حیاتی زنجیره تأمین خون است. همانند مقاله طباطبایی و همکاران (۲۰۱۰) که به صورت ویژه بر اساس مطالعات جیکا (۲۰۰۰) وضعیت تقاضا و کمبود زنجیره تأمین خون تهران را مورد بررسی و پیش‌بینی قرار داده بود، این مقاله نیز بر اهمیت ذخیره‌های احتیاطی تأکید دارد. بر اساس بررسی‌های صورت‌گرفته با پایگاه‌های داده‌ای پایگاه انتقال خون تهران، مقدار خون ذخیره‌شده معمولاً بین ۱۱ هزار تا ۱۳ هزار است که این وضعیت پاسخ خروجی مدل را مورد تأیید قرار می‌دهد. اما قابل توجه است که در صورت عدم وجود این راهبرد به‌ویژه در شرایط بحرانی مانند زلزله، کمبودهای جدی به زنجیره وارد می‌شود.

پس از بررسی‌های به‌عمل آمده در تغییرات و تحلیل حساسیت‌های مربوط به اوزان مختلف و همچنین تغییراتی که در وزن‌های مربوط به استواری انجام گرفت، مشخص شد که سه مرکز ثابت جمع‌آوری خون مشخص یعنی، میدان خراسان، میدان امام خمینی و وصال از جمله مراکزی هستند که در هر حالت انتخاب شده‌اند. این پاسخ بینش مهمی را نسبت به پاسخ‌ها ایجاد می‌کند و آن این است که با توجه به تغییرات مختلفی که مدیران نسبت به مراکز ثابت ایجاد می‌کنند می‌توانند نسبت به این سه مرکز حساس بوده و همواره در اولویت‌بندی‌های خود به این سه مرکز توجه داشته باشند.

یکی از مسائل مهم در موضوع تاب‌آوری، توجه به این نکته است که اجازه ندهیم گره‌های بحرانی زیادی در سیستم ایجاد شوند. افزایش تعداد مراکز بحرانی سبب می‌شود که تعداد مراکز ثابت کاهش یابند، اما ضمن فشار بر روی مراکز سبب می‌شود که دسترسی اهداکنندگان به مراکز نیز کاهش یابد، که نکته بسیار مهمی برای مدیران قلمداد می‌شود.

## نتیجه‌گیری

با توجه به رویدادهای اختلالی روزافزون در جهان امروز، زنجیره‌های تأمین بیش از پیش نیاز به راهبردهایی دارند که بتوانند آن‌ها را در مقابل اختلال‌های مختلف استوار و انعطاف‌پذیر یا به عبارت بهتر تاب‌آور سازد. در این میان زنجیره‌های تأمین مراقبت‌های بهداشتی به‌ویژه خون از اهمیت بالایی برخوردار می‌گردد. زیرا علاوه بر دارابودن ویژگی‌های خاص و عدم وجود جایگزین برای آن، با جان انسان‌ها سر و کار دارند.

در همین راستا در این مقاله با ایجاد یک زنجیره تأمین خون تاب‌آور، یک مدل ریاضی چند هدفه استوار مبتنی بر سناریو دو مرحله‌ای برای برنامه‌ریزی تأمین، تولید و توزیع در زنجیره تأمین خون ارائه شد. تابع هدف اول شامل هزینه‌های ایجاد جمع‌آوری ثابت، راه‌اندازی مراکز سیار، ایجاد مراکز تولید، جابه‌جایی مراکز سیار، جمع‌آوری خون، تولید، ضایعات، خرید وسایل حمل‌ونقل مختلف و ارسال فرآورده‌های خونی و تبلیغات می‌باشد. تابع هدف دوم به کمینه‌سازی زمان بین مصرف و تولید یا بیشینه‌سازی تازگی خون می‌پردازد و تابع هدف سوم، کمینه‌سازی کمبود یا درواقع عدم تاب‌آوری را مورد توجه قرار می‌دهد.

متغیرهای مرحله اول، پیش از وقوع حادثه و متغیرهای مرحله دوم شامل مواردی از قبیل مقادیر توزیع و جریان‌های مبتنی بر سناریو بودند. جهت تاب‌آورساختن زنجیره تأمین، راهبردهای مختلف تاب‌آوری مانند افزونگی (ذخیره احتیاطی)،

ظرفیت تولید اضافی)، انعطاف‌پذیری (انواع حمل‌ونقل، استفاده از تأمین‌کنندگان مختلف، استفاده از مراکز سیار) و گسترش مسئولیت اجتماعی از طریق تبلیغات مدنظر قرار گرفت. در ضمن، موضوع بحرانی بودن گره‌ها که یکی از موارد مهم در موضوع تاب‌آوری است در مراکز جمع‌آوری ثابت، مدنظر قرار گرفت. همچنین جهت حل مدل چندهدفه از روش جدید مبتنی بر فازی TH استفاده شده است. در پایان مدل پیشنهادی به‌صورت مطالعه موردی در زنجیره تأمین خون شهر تهران پیاده‌سازی شد و مشاهده گردید که می‌توان با استفاده از راهبردهای تاب‌آوری پیشنهادی، زنجیره تأمین خون را در برابر اختلال‌های عنوان‌شده استوار ساخت. همچنین بینش‌های مدیریتی مهمی در این راستا ارائه گردید.

در این قسمت پیشنهادهایی ارائه می‌شود که محققان می‌توانند با درنظر گرفتن آن‌ها در عمق‌بخشیدن و گسترش هرچه بیشتر دانش موجود کمک نمایند. با توجه به ابعاد مسئله، در شرایطی که گره‌ها افزایش یابند، با روش‌های دقیق نمی‌توان در زمان مناسبی به جواب رسید، بنابراین استفاده از انواع رویکردهای فراابتکاری پیشنهاد می‌گردد. با توجه به عدم قطعیت بالا در قسمت تولید، استفاده از روش‌های شبیه‌سازی و ترکیب آن‌ها با بهینه‌سازی می‌تواند کمک نماید. همچنین درنظر گرفتن سایر ابعاد تاب‌آوری برای بررسی اثر آن‌ها بر زنجیره تأمین و ترکیب تاب‌آوری و پایداری و درنظرگرفتن شاخص‌های مرتبط در مدل ریاضی مفید می‌باشد. وارد کردن معیارهای کیفی نیز می‌تواند در انتخاب مکان مناسب و طراحی زنجیره تأمینی که به دنیای واقعی نزدیک‌تر است مدنظر قرار بگیرد.

## منابع

- ابراهیمی، مهران؛ صفری، حسین؛ صادقی مقدم، محمدرضا (۱۳۹۶). ارائه مدل تداوم زنجیره تأمین بر اساس رویکرد طراحی آگزوماتیکی. مدیریت صنعتی، ۹ (۴)، ۵۶۳-۵۸۶.
- امیری، مقصود؛ حسینی دهشیری، سید جلال الدین؛ یوسفی هنومرور، احمد (۱۳۹۷). تعیین ترکیب بهینه استراتژی‌های لاج با بهره‌گیری از تحلیل SWOT، تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و تئوری بازی. مدیریت صنعتی، ۱۰ (۲)، ۲۴۶-۲۲۱.
- ایزدیار، مهدی؛ طلوعی اشلقی، عباس؛ سید حسینی، سید محمد (۱۳۹۹). مدل ارزیابی عملکرد پایداری شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین لاج در زنجیره تأمین خودروسازی با استفاده از پویایی سیستم. مدیریت صنعتی، ۱۲ (۱)، ۱۱۱-۱۴۲.
- بیگی، سکینه؛ یعقوبی، حسن؛ کریمی، حسین (۱۳۹۹). تخصیص بهینه نقاط اسکان اضطراری، بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها به ناحیه‌های شهری پس از وقوع زلزله (مطالعه موردی: شهر بجنورد). مدیریت صنعتی، ۱۲ (۱)، ۸۲-۱۱۰.
- پایدار، محمد مهدی؛ حبیبی، میترا (۱۳۹۴). طراحی مدل چندهدفه چندسطحی زنجیره تأمین خون در شرایط بحران. مدیریت زنجیره تأمین، ۵۰ (۱۷)، ۸۲-۹۵.
- حسن زاده، محمدرضا؛ ملکی، محمدحسن؛ جهانگیرنیا، حسین؛ غلامی جمکرانی، رضا (۱۳۹۹). شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر تاب‌آوری بازار سرمایه ایران. مدیریت صنعتی، ۱۲ (۱)، ۱۷۲-۲۰۵.
- زنده‌دل، محمد؛ بزرگی امیری، علی؛ عمرانی، هاشم (۱۳۹۳). ارائه مدل مکان‌یابی پایگاه‌های اهدای خون با درنظر گرفتن اختلال در محل استقرار. نشریه تخصصی مهندسی صنایع، ۴۸، ۳۳-۴۳.



سیدی، سید حسین؛ خاتمی فیروزآبادی، سید محمدی علی؛ امیری، مقصود؛ تقوی فرد، سید محمد تقی (۱۳۹۸). مکان‌یابی و تخصیص بهینه نقاط انتقال، بیمارستان و مراکز امدادی برای تشکیل زنجیره امدادسانی در بحران، با فرض غربالگری مجروحان. *مدیریت صنعتی*، ۱۱ (۱)، ۲۰-۱.

عقیانی، مونا؛ جبارزاده، آرمین؛ سجادی، سید جعفر (۱۳۹۴). ارائه یک مدل بهینه‌سازی استوار جهت طراحی شبکه زنجیره تأمین خون در شرایط بحران با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان. *تشریح مهندسی و مدیریت کیفیت*، ۵ (۳)، ۸۵-۹۶.

## References

- Abolghasemi, H., Radfar, M. H., Tabatabaee, M., Hosseini-Divkolayee, N. S., & Burkle Jr, F. M. (2008). Revisiting blood transfusion preparedness: Experience from the Bam Earthquake. *Prehosp Disaster Med*, 23(5), 391-4.
- Aghezzaf, E. H., Sitompul, C., & Najid, N. M. (2010). Models for robust tactical planning in multi-stage production systems with uncertain demands. *Computers & Operations Research*, 37(5), 880-889.
- Aghyani, M., Jabbarzadeh, A., Sadjadi, J. (2015). A robust optimization model for designing blood supply chain in crisis considering reliability. *Journal of Quality Management & Engineering*, 5 (2). 85-96.
- Amiri, M., Hosseini Dehshiri, S., Yousefi Hanoomarvar, A. (2018). Determining the Optimal Combination of LARG Supply Chain Strategies Using SWOT Analysis, Multi-criteria Decision-making Techniques and Game Theory. *Industrial Management Journal*, 10(2), 221-246. (in Persian)
- Armaghan, N., & Pazani, N. Y. (2019). A Model For Designing A Blood Supply Chain Network To Earthquake Disasters (Case Study: Tehran City). *International Journal for Quality Research*, 13(3), 605-624.
- Beigi, S., Yaghoubi, H., Karimi, H. (2020). Optimal Allocation of City Districts to Emergency Resettlement Sites, Hospitals, and Clinics after the Earthquake (Case Study: Bojnord City). *Industrial Management Journal*, 12(1), 82-110. (in Persian)
- Beliën, J., & Forcé, H. (2012). Supply chain management of blood products: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 217(1), 1-16.
- Bozorgi, A., Kazemi, N., Baderi, Z. (2015). A Reliable multi-objective location-allocation model for blood supply systems under disruptions. *Advances in Mathematical Modeling*, 4(2), 1-25. (in Persian)
- Caram-Deelder, C., Kreuger, A. L., Jacobse, J., van der Bom, J. G., & Middelburg, R. A. (2016). Effect of platelet storage time on platelet measurements: a systematic review and meta-analyses. *Vox sanguinis*, 111(4), 374-382.
- Chen, S., & Wang, C. (2019). Incorporating a Bayesian Network into Two-Stage Stochastic Programming for Blood Bank Location-Inventory Problem in Case of Disasters. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2019(1), 1-28.

- Cheraghi, S., & Hosseini-Motlagh, S. M. (2018). Responsive and reliable injured-oriented blood supply chain for disaster relief: a real case study. *Annals of Operations Research*, 1-39.
- Cheraghi, S., Hosseini-Motlagh, S. M., & Ghatreh Samani, M. (2017). Integrated planning for blood platelet production: a robust optimization approach. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 10(special issue on healthcare), 55-80.
- Chopra, S., & Sodhi, M. S. (2004). Supply-chain breakdown. *MIT Sloan management review*, 46(1), 53-61.
- Christopher, M., & Peck, H. (2004). Building the resilient supply chain. *International Journal of Logistics Management*, 15(2), 1-13.
- Derikvand, H., Hajimolana, S. M., & Jabarzadeh, A. (2019). A fuzzy stochastic bi-objective model for blood provision in disastrous time. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 12(2), 223-245.
- Donadoni, M., Roden, S., Scholten, K., Stevenson, M., Caniato, F., van Donk, D. P., & Wieland, A. (2019). The Future of Resilient Supply Chains. In *Revisiting Supply Chain Risk* (pp. 169-186). Springer, Cham.
- Ebrahimi, M., Safari, H., Sadeghi Moghaddam, M. (2017). A Mathematical Model for Power Generation Expansion Planning with Considering Distributed Generation Units and Decreasing Carbon Dioxide. *Industrial Management Journal*, 9(4), 563-586.
- Ellis, S. C., Henry, R. M., & Shockley, J. (2010). Buyer perceptions of supply disruption risk: A behavioral view and empirical assessment. *Journal of operations management*, 28(1), 34-46.
- Ensafian, H., Yaghoubi, S., & Yazdi, M. M. (2017). Raising quality and safety of platelet transfusion services in a patient-based integrated supply chain under uncertainty. *Computers & Chemical Engineering*, 106, 355-372.
- Fahimnia, B., & Jabbarzadeh, A. (2016). Marrying supply chain sustainability and resilience: A match made in heaven. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 91, 306-324.
- Fazli-Khalaf, M., Fathollahzadeh, K., Mollaei, A., Naderi, B., & Mohammadi, M. (2019). A robust possibilistic programming model for water allocation problem. *RAIRO-Operations Research*, 53(1), 323-338.
- Fazli-Khalaf, M., Khalilpourazari, S., & Mohammadi, M. (2017). Mixed robust possibilistic flexible chance constraint optimization model for emergency blood supply chain network design. *Annals of Operations Research*, 1-31.
- Ganguly, A., Chatterjee, D., & Rao, H. (2018). The role of resiliency in managing supply chains disruptions. In *Supply Chain Risk Management* (pp. 237-251). Springer, Singapore.
- Gholami-Zanjani, S. M., Jabalameli, M. S., Klibi, W., & Pishvae, M. S. (2021). A robust location-inventory model for food supply chains operating under disruptions with ripple effects. *International Journal of Production Research*, 59(1), 301-324.
- Gorissen, B. L. (2015). Robust fractional programming. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 166(2), 508-528.

- 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.
- Hasanzadeh, M., Maleki, M., Jahangirnia, H., Gholami Jamkarani, R. (2020). Identifying and Prioritizing the Factors Affecting the Resilience of the Iranian Capital Market. *Industrial Management Journal*, 12(1), 172-205. (in Persian)
- Hosseini-Motlagh, S. M., Cheraghi, S., & Ghatreh Samani, M. (2016). A robust optimization model for blood supply chain network design. *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, 27(4), 425-444.
- Hosseini-Motlagh, S. M., Samani, M. R. G., & Homaei, S. (2020). Blood supply chain management: robust optimization, disruption risk, and blood group compatibility (a real-life case). *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 11(3), 1085-1104.
- Huang, Y., Pardalos, P. M., & Zheng, Q. P. (2017). *Electrical power unit commitment: deterministic and two-stage stochastic programming models and algorithms*. Springer.
- Inagaki, M., & Kuroda, K. (2007). Supply chain management in Japan. *Supply and Demand Chain Executive*, 8(3), 68.
- Izadyar, M., Toloie-Eshlaghy, A., Seyed Hosseini, S. (2020). A Model of Sustainability Performance Assessment of LARG Supply Chain Management Practices in Automotive Supply Chain Using System Dynamics. *Industrial Management Journal*, 12(1), 111-142. (in Persian)
- Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., & Seuring, S. (2014). Dynamic supply chain network design for the supply of blood in disasters: A robust model with real world application. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 70, 225-244.
- Jabbarzadeh, A., Haughton, M., & Khosrojerdi, A. (2018). Closed-loop supply chain network design under disruption risks: A robust approach with real world application. *Computers & Industrial Engineering*, 116, 178-191.
- Jabbarzadeh, A., Oghyani, M., Sadjadi, J. (2015). Provide a robust optimization model for designing the blood supply chain network in crisis situations with regard to reliability. *Quality Engineering and Management Journal*, 5 (2), 85-96. (in Persian)
- Kamalahmadi, M., & Parast, M. M. (2016). A review of the literature on the principles of enterprise and supply chain resilience: Major findings and directions for future research. *International Journal of Production Economics*, 171, 116-133.
- Kamyabniya, A., Lotfi, M. M., Cai, H., Hosseininassab, H., Yaghoubi, S., & Yih, Y. (2019). A two-phase coordinated logistics planning approach to platelets provision in humanitarian relief operations. *IIE Transactions*, 51(1), 1-21.
- Khalilpourazari, S., & Khamseh, A. A. (2017). Bi-objective emergency blood supply chain network design in earthquake considering earthquake magnitude: a comprehensive study with real world application. *Annals of Operations Research*, 1-39.
- Ma, H. L., & Wong, W. H. C. (2018). A fuzzy-based House of Risk assessment method for manufacturers in global supply chains. *Industrial Management & Data Systems*, 118(7), 1463-1476.

- Melnyk, S.A., Closs, D.J., Griffis, S.E., Zobel, C.W., Macdonald, J.R., 2014. Understanding supply chain resilience. *Supply Chain Manag. Rev.* 18(1), 34–41.
- Morris, P. (2019). Responding to disruptions in the pharmaceutical supply chain. *Clinical Pharmacist*, 11(2).
- Nahmias, S. (1982). Perishable inventory theory: A review. *Operations research*, 30(4), 680-708.
- Neise, F. (2008). *Risk management in stochastic integer programming*. Vieweg+ Teubner.
- Oke, A., & Gopalakrishnan, M. (2009). Managing disruptions in supply chains: A case study of a retail supply chain. *International journal of production economics*, 118(1), 168-174.
- Or, I., & Pierskalla, W. P. (1979). A transportation location-allocation model for regional blood banking. *AIIE transactions*, 11(2), 86-95.
- Osorio, A. F., Brailsford, S. C., & Smith, H. K. (2015). A structured review of quantitative models in the blood supply chain: a taxonomic framework for decision-making. *International Journal of Production Research*, 53(24), 7191-7212.
- Paydar, M. M., Habibi, M. (2016). Designing a multi-objective multi-level model of blood supply chain in crisis. *Supply Chain Management*, 17(50), 82-95. (in Persian)
- Pourmehdi, M., Paydar, M. M., & Asadi-Gangraj, E. (2020). Scenario-based design of a steel sustainable closed-loop supply chain network considering production technology. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123298.
- Rahmani, D. (2019). Designing a robust and dynamic network for the emergency blood supply chain with the risk of disruptions. *Annals of Operations Research*, 283(1), 613-641.
- Samani, M. R. G., & Hosseini-Motlagh, S. M. (2019). An enhanced procedure for managing blood supply chain under disruptions and uncertainties. *Annals of Operations Research*, 283(1), 1413-1462.
- Samani, M. R. G., Hosseini-Motlagh, S. M., & Ghannadpour, S. F. (2019). A multilateral perspective towards blood network design in an uncertain environment: Methodology and implementation. *Computers & Industrial Engineering*, 130, 450-471.
- Sangari, M. S., & Dashtpeyma, M. (2019). An integrated framework of supply chain resilience enablers: a hybrid ISM-FANP approach. *International Journal of Business Excellence*, 18(2), 242-268.
- Seyyedi, S., Khatami, M., Amiri, M., Taghavi Fard, M. (2019). Positioning and Optimized Allocation of Transfer Points, Hospitals and Emergency Services Centers to Organize a Crisis Relief Chain, Assuming Screening of Injuries. *Industrial Management Journal*, 11(1), 1-20. (in Persian)
- Sha, Y., & Huang, J. (2012). The multi-period location-allocation problem of engineering emergency blood supply systems. *Systems Engineering Procedia*, 5, 21-28.
- Sheffi, Y., & Rice Jr, J. B. (2005). A supply chain view of the resilient enterprise. *MIT Sloan management review*, 47(1), 41.

- Shekarian, M. (2018). A Literature Review on the Impact of Antecedents of Supply Chain Resilience on Mitigating Supply Chain Disruptions. In Conference: Annual Meeting of the Decision Sciences Institute Proceedings At: Chicago, IL, USA. *International Journal of Production Research*, 1, 56-65.
- Simchi-Levi, D., Schmidt, W., Wei, Y., Zhang, P. Y., Combs, K., Ge, Y., ... & Zhang, D. (2015). Identifying risks and mitigating disruptions in the automotive supply chain. *Interfaces*, 45(5), 375-390.
- Snyder, L. V., Atan, Z., Peng, P., Rong, Y., Schmitt, A. J., & Sinoysal, B. (2016). OR/MS models for supply chain disruptions: A review. *IIE Transactions*, 48(2), 89-109.
- Sodhi, M. S., & Tang, C. S. (2012). Supply Chain Management. In *Managing supply chain risk* (pp. 3-12). Springer, Boston, MA.
- Thomas, B., Anania, K., DeCicco, A., & Hamm, J. A. (2019). Toward Resiliency in the Joint Blood Supply Chain. *Rand health quarterly*, 8(3).
- Torabi, S. A., & Hassini, E. (2008). An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning. *Fuzzy sets and systems*, 159(2), 193-214.
- Verma, M., Dahiya, K., Malik, D., Sehgal, P. K., Devi, R., Soni, A., & Ghalaut, V. G. (2015). Effect of blood storage on complete biochemistry. *J Blood Disord Transfus*, 6(6), 1-4.
- Wagner, S. M., & Bode, C. (2006). An empirical investigation into supply chain vulnerability. *Journal of purchasing and supply management*, 12(6), 301-312.
- Wang, C., & Chen, S. (2020). A distributionally robust optimization for blood supply network considering disasters. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 134, 101840.
- Waters, D. (2007). *Supply chain risk management: vulnerability and resilience in logistics*. Kogan Page Publishers.
- Xiao, R., Yu, T., & Gong, X. (2012). Modeling and simulation of ant colony's labor division with constraints for task allocation of resilient supply chains. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 21(03), 1240014.
- Yaghoubi, S., Hosseini-Motlagh, S. M., Cheraghi, S., & Larimi, N. G. (2019). Designing a robust demand-differentiated platelet supply chain network under disruption and uncertainty. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1-28.
- Zendehdel, M., Bozorgi-Amiri, A., & Omrani, H. (2014). A location Model for Blood Donation Camps with Consideration of Disruption. *Journal of Industrial Engineering*, 48(1), 33-43. (in Persian)