



برنامه‌ریزی بهینه استوار لجستیک امداد بحران با استفاده از یک مدل سناریومحور استوار دوهدفه و بکارگیری روش اپسیلون محدودیت تکامل یافته

علی پاپی^۱، میرسامان پیشوایی^۲ و آرمین جبارزاده^۳

۱. کارشناسی ارشد مهندسی صنایع؛ دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. papimath@hotmail.com

۲. استادیار دانشکده مهندسی صنایع؛ دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. (نویسنده مسئول) pishvae@iust.ac.ir

۳. استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. arminj@iust.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: تصمیم‌های مرتبط با برنامه‌ریزی لجستیک امداد فاجعه را می‌توان در دو دسته (تصمیم‌های استراتژیک پیش از وقوع بحران و تصمیم‌های عملیاتی هنگام و پس از وقوع بحران) تقسیم کرد. در این تحقیق، مسائل استراتژیک و برخی از مسائل عملیاتی مرتبط با لجستیک امداد فاجعه، از جمله مکان‌یابی انبارهای امداد و تعیین ظرفیت/اندازه آن‌ها، میزان ذخیره‌سازی کالاهای امدادی در انبارها، مکان‌یابی مراکز توزیع امداد پس از وقوع بحران و تخصیص انبارها به آنها و نهایتاً نحوه پوشش نواحی آسیب‌دیده متقاضی کالاهای امدادی به صورت همزمان مدل‌سازی و حل می‌شوند. **روش:** مدل‌سازی و حل مسئله با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی سناریومحور استوار دوهدفه انجام می‌شود که در آن هم هدف بشردوستانه کمینه‌سازی بیشینه کمبود و هدف اقتصادی کمینه‌سازی متوسط هزینه امدادسانی، تحت سناریوهای محتمل مورد توجه قرار می‌گیرند. همچنین، با بکارگیری روش اپسیلون محدودیت تکامل یافته، بهترین موازنه بین اهداف اقتصادی و بشردوستانه مذکور صورت می‌گیرد. نرم‌افزار GAMS برای اجرای مدل پیشنهادی بکار گرفته شده است.

یافته‌ها: نتایج عددی حاصل‌شده از مدل پیشنهادی این تحقیق بیانگر آن است که این رویکرد قابلیت بکارگیری برای حل مسئله برنامه‌ریزی لجستیک امداد بحران را داشته زیرا به لحاظ معیارهایی همچون متوسط هزینه و کمبود و نیز بیشینه کمبود تحت سناریوهای مختلف، عملکرد قابل‌قبولی را نشان می‌دهد. رویکرد استوار پیشنهادی نسبت به رویکردهای دیگر همچون مقدار اسمی، به طرز کارآمدتری عدم قطعیت پارامترهایی همچون تقاضای کالاهای امدادی را کنترل می‌کند.

نتیجه‌گیری: با استفاده از این چنین مدل‌های تصمیم‌گیری، مدیران بحران در کشور و یا استان‌ها می‌توانند پیش از وقوع بحران به اتخاذ تصمیمات راهبردی در مورد مکان و موجودی انبارهای امداد، نحوه توزیع کالاهای امدادی و ... پرداخته و در نتیجه آن، نه تنها در هزینه‌های امداد رسانی صرفه‌جویی می‌شود، بلکه موجب تسریع در امدادسانی شده و کمبود تلفات را به حداقل می‌رساند.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی لجستیک امداد؛ مدل سناریومحور استوار؛ مکان‌یابی انبار امداد؛ بهینه‌سازی دوهدفه؛

◀ **استناد فارسی (شبهه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** پاپی، علی؛ پیشوایی، میرسلیمان؛ جبارزاده، آرمین (زمستان، ۱۳۹۷). برنامه‌ریزی بهینه استوار لجستیک امداد بحران با استفاده از یک مدل سناریومحور استوار دوهدفه و بکارگیری روش اپسیلون محدودیت تکامل یافته. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*، ۸ (۴)، ۳۴۹-۳۶۴.

Robust optimal disaster relief logistics planning using a bi-objective robust scenario-based stochastic programming model and augmented epsilon constraint method

Ali Papi¹, Mirsaman Pishvae² & Armin Jabbarzadeh³

1. M.Sc., Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, papimath@hotmail.com

2. Associate Professor, Faculty of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, pishvae@iust.ac.ir (corresponding author)

3. Associate Professor, Faculty of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, arminj@iust.ac.ir

Abstract

Background and objective: Disaster relief logistics planning decisions can be divided into two categories: strategic decisions before the crisis and operational decisions during and after the crisis. This paper studies the strategic issues and some operational issues related to disaster relief logistics, including locating relief depots and determining the capacity/size, storage rates for relief supplies in warehouses, locating relief distribution centers after occurrence of crises, the allocation of warehouses to them, and finally, how to cover the damaged areas which demand the relief goods and simultaneously modeling and solve problems.

Method: Modeling and problem solving is done using the bi-objective robust scenario-based stochastic programming approach in which both the humanitarian objective of minimizing the maximum shortage and the economic goal of minimizing the average cost of relief is considered under possible scenarios. Thus, the best balance between economic and humanitarian objectives is achieved using the perfect epsilon-constraint method. The GAMS software has been used to implement the proposed model.

Findings: The numerical results of the proposed model of this study indicates that the approach can be used to solve the problem of disaster Relief logistic planning, since, it shows acceptable performance in terms of criteria such as average costs and deficiencies, and also the maximum deficit under various scenarios. The proposed bi-objective robust model controls the uncertainty of parameters such as relief goods' demand more efficiently than other approaches.

Results: Using proposed decision models, crisis managers in a country or provinces can make optimal strategic decisions regarding location and inventory of relief warehouses, distribution of relief goods and etc... before the disaster. As a result, it will save not only the cost of relief, but also accelerates the relief efforts and minimizes the lack of casualties.

Keywords: Disaster Relief logistic planning (DRLP); Robust scenario-based model; Warehouse location; Bi-objective optimization

► **Citation (APA 6th ed.):** Papi A, Pishvae M, Jabbarzadeh A. (2019, Winter). Robust optimal disaster relief logistics planning using a bi-objective robust scenario-based stochastic programming model and augmented epsilon constraint method. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK)*, 8(4), 349-364.

مقدمه

با افزایش چشمگیر بلایای طبیعی نیاز به تصمیم‌گیری راهبردی بهینه در زمینه برنامه‌ریزی لجستیک امداد و مدیریت بحران، غیرقابل چشم‌پوشی شده است. تصمیم‌های مدیریتی مرتبط با «لجستیک امداد بحران/فاجعه (DRL)» با حل مسائل مختلفی اتخاذ می‌گردند که اهداف و قیود مشخصی را در بر می‌گیرند. عمدتاً، هدف «کمینه‌کردن تلفات» در صورت وقوع فاجعه است؛ که البته در کنار آن و با توجه به محدودیت‌های بودجه، هدف اقتصادی «کمینه‌سازی هزینه‌های امدادسانی» نیز قابل ملاحظه بوده و می‌بایست مورد توجه قرار گیرد. (ریچاردسن و همکاران^۲، ۲۰۱۶)

تصمیم‌های مدیریت DRL در ارتباط با کالاهای امدادی را می‌توان به دو فاز: پیش از فاجعه (برنامه‌ریزی استراتژیک یا راهبردهای مرتبط با پیش‌بینی و آماده‌سازی کالاهای امدادی) و پس از وقوع فاجعه (برنامه‌ریزی عملیاتی مرتبط با توزیع کالاهای امدادی به مناطق آسیب‌دیده) تقسیم کرد.

به هنگام وقوع بحران، معمولاً پروسه امدادسانی به این صورت است که کالاهای امدادی از طریق «انبارهای امداد فاجعه (DRWS)»^۳ (که این انبارها قبل از وقوع فاجعه استقرار یافته و سطح موجودی محدودی در آن‌ها نگهداری می‌شود) به «مراکز توزیع امداد (RDCs)»^۴ (که این مراکز پس از وقوع فاجعه، در نزدیکی نواحی آسیب دیده استقرار می‌یابند) ارسال و از آنجا به نواحی آسیب دیده (نواحی متقاضی امداد) توزیع می‌شوند. تصمیم‌گیری در مورد مکان‌های DRWS و سطح موجودی آن‌ها برای هر نوع کالای امدادی، از جمله مسائل استراتژیک در «برنامه‌ریزی لجستیک امداد فاجعه» (DRLP)^۵ است. از دیگر تصمیمات استراتژیک می‌توان به نحوه تأمین کالاهای امدادی قبل از فاجعه، تعیین ظرفیت DRWS و غیره اشاره نمود که همگی قبل از وقوع فاجعه، باید مشخص شوند. همچنین تصمیم‌گیری در مورد مکان‌های RDCs، تخصیص DRWS به آن‌ها و نحوه پوشش نواحی آسیب‌دیده (نحوه تخصیص کالاهای امداد ورودی RDCs به نقاط متقاضی امداد) از جمله مسائل عملیاتی و

وابسته به تصمیم‌های استراتژیک در مسئله DRLP می‌باشند. لازم به ذکر است برنامه‌ریزی عملیاتی توزیع کالاهای امدادی، علاوه بر تصمیمات استراتژیک مرتبط با مکان‌یابی و سطح موجودی DRWS، به این نیز بستگی دارد که فاجعه تحت چه سناریوهایی رخ داده است. به منظور تصمیم‌گیری و حل بهینه مسائل مرتبط با دو فاز مذکور، تحقیقات مختلفی انجام شده است که برای مرور آنها مقالات (کوئنه‌ی و همکاران^۶، ۲۰۱۲) و (هوئوس و همکاران^۷، ۲۰۱۵) معرفی می‌شود.

بر اساس توضیحات فوق‌الذکر، در حالت کلی، مسئله DRLP را می‌توان به سه زیرمسئله اصلی افزایش کرد: زیرمسئله اول، مکان‌یابی DRWS است، در زیرمسئله دوم به مدیریت موجودی آن‌ها پرداخته می‌شود، و نهایتاً در زیرمسئله سوم (که پس از وقوع بحران مطرح می‌شود) به نحوه توزیع کالاهای امدادی به نواحی متقاضی پرداخته می‌شود (بزرگی امیری و همکاران^۸، ۲۰۱۳). در ارتباط با هر یک از زیرمسائل برگرفته از مسئله DRLP، مطالعات متعددی صورت گرفته است که در ادامه به مرور برخی از آنها پرداخته می‌شود و سپس نوآوری پژوهش فعلی نسبت به آن‌ها تشریح و تبیین می‌گردد.

گرچه مدیریت و مکان‌یابی تسهیلات اورژانسی/امدادی، پیشینه بلندی دارد (می‌توان به مقاله تورگاس و همکاران^۹، ۱۹۷۱) در اوایل دهه ۸۰ میلادی اشاره نمود)، اما مسئله DRLP به طور ویژه‌ای در دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است.

در یکی از نخستین پژوهش‌های مرتبط با مسئله DRLP، در سال ۲۰۰۶، آکیهال^{۱۰} به ارائه یک مدل مکان‌یابی در مدیریت بحران و در ارتباط با کالاهای امدادی پرداخته است. در همین راستا، در سال ۲۰۰۷، جیا و همکاران^{۱۱}، مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات را برای موقعیت اضطراری در مقیاس بزرگ، مرور و آن را به سه بخش (مدل‌های پوشش، مدل‌های مکان‌یابی میانه و مدل‌های مکان‌یابی مرکز) تقسیم کرده‌اند. در پژوهشی دیگر (یی و همکاران^{۱۲}، ۲۰۰۷)، به ارائه مدل مکان‌یابی و توزیع به منظور تخلیه مناطق

6. Caunhye, Nie, et al

7. Hoyos et al

8. Torgas et al

9. Akkihal

10. Jia et al,

11. Yi et al,

1. Disaster Relief Logistics

2. Richardson et al,

3. Disaster Relief Warehouses

4. Relief Distribution Centers

5. Disaster Relief Logistics Planning

امدادی، تعیین مقدار تجهیزات نجات موردنیاز در آن‌ها و توزیع تجهیزات نجات ارائه داده‌اند، به طوری که در مدل اول ارائه شده هدف "کمینه کردن فاصله نواحی متقاضی امداد از انبارها" و در مدل دوم، هدف "کمینه کردن هزینه‌های استقرار تسهیلات" و "متوسط هزینه تجهیزات نجات" است. همچنین، در سال ۲۰۱۳، یک مدل برای استقرار مراکز امدادرسانی جهت مواجهه با توفان توسعه داده شده است که در آن امکان آسیب دیدن مراکز امداد نیز در نظر گرفته می‌شود (گالیندو و همکاران^۴، ۲۰۱۳).

در مرحله پس از وقوع بحران، در ارتباط با حمل و نقل و توزیع کالاهای امدادی و یا انتقال مجروحان به مراکز درمانی (زیرمسئله سوم از DRLP که پیش‌تر اشاره شد)، پژوهش‌های زیادی ارائه شده که عمدتاً به مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با اهداف امدادرسانی سریع‌تر و کمینه‌سازی در مسافت/هزینه حمل و نقل پرداخته‌اند (از جمله دیگر پژوهش‌های جدید در این ارتباط می‌توان به مقالات: (شکاکیبارا و همکاران^۵، ۲۰۰۴)، (دوئرر و همکاران^۶، ۲۰۰۷)، (احمدی و همکاران، ۲۰۱۵)، (افشار و همکاران، ۲۰۱۲)، (راس و همکاران^۷، ۲۰۱۴)، (نجفی و همکاران، ۲۰۱۳)، (هوانگ و همکاران^۸، ۲۰۱۲) و (هوانگ و همکاران، ۲۰۱۳) اشاره کرد؛ اما از آنجا که در تحقیق پیشرو، عمدتاً به مسائل استراتژیک مکان‌یابی انبارهای امدادی و مراکز توزیع امداد خواهیم پرداخت و مسیریابی وسایل نقلیه مورد بحث نخواهد بود، از توضیح این پژوهش‌ها صرف نظر می‌کنیم).

از جمله پژوهش‌های اخیر در ارتباط با مسئله DRLP که از سال ۲۰۱۶ به بعد صورت گرفته است، می‌توان به مقالات (توفیقی و همکاران، ۲۰۱۶)، (کائونهی و همکاران^۹، ۲۰۱۶)، (بزرگی امیری، ۲۰۱۶)، (محمدی و همکاران، ۲۰۱۶)، (رضایی مالک، ۲۰۱۶)، (فونتم و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۶)، (بونمه و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۷)، (رحمانی و همکاران، ۲۰۱۸)، (ولید کلیبی و همکاران^{۱۲}، ۲۰۱۸)،

آسیب‌دیده و ارائه کالاهای اساسی در شرایط بحران پرداخته شده است و بسته‌بندی مناسب کالاهای ضروری (نظیر دارو، غذا و آب آشامیدنی و...) به منظور سرعت و سهولت در توزیع را مدنظر قرار دادند به طوری که مدل آن‌ها رویکرد پوششی داشته و هدف آن به صورت کمینه کردن درصد تقاضای برآورده نشده تعریف شده است. در سال ۲۰۰۸، بالکیک و همکاران^۱، مدلی برای مشخص کردن تعداد و مکان‌های مراکز توزیع در عملیات نجات، پیشنهاد کردند. آن‌ها مسئله مکان‌یابی را به عنوان نوعی دیگر از مسئله پوشش حداکثری، برای مجموعه‌ای از سناریوهای محتمل، فرمول‌بندی کردند. تابع هدف آن‌ها تقاضای مورد انتظار کل را، که به‌وسیله انبارهای استقرار یافته پوشش داده می‌شود، پوشش حداکثر می‌نماید. آن‌ها همچنین در مدل خود، مقدار کالاهای امدادی را که باید در هر مرکز توزیع به منظور پاسخگویی به تقاضا ذخیره شود، بدست آوردند.

در ادامه، در سال ۲۰۱۱، دو مقاله دیگر در ارتباط با مسئله DRLP، به انتشار رسیده است؛ در یکی از آن‌ها یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه شده است که ابتدا، مبتنی بر داده‌های تاریخی، مقدار کالاهای امدادی موردنیاز هنگام بحران تخمین زده می‌شود و سپس به مناطق بالقوه، انبارهای امداد با سطح موجودی مشخص اختصاص داده می‌شود با این هدف که زمان واکنش و امدادرسانی کمینه گردد (دوران و همکاران^۲، ۲۰۱۱). در پژوهش دیگر، بزرگی امیری و همکاران در سال ۲۰۱۳ به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی استوار دوهدفه به منظور مکان‌یابی مراکز توزیع امداد و تعیین سطح موجودی انبارها پرداخته‌اند؛ به طوری که اولاً متوسط هزینه‌ها کمینه شود و در ثانی کمبود کالاهای امدادی در نواحی آسیب‌دیده حداقل شود. به منظور ادغام دو هدف مذکور، روش مجموع وزنی به کار گرفته شده است و به عبارت دیگر، در مدل پیشنهادی آن‌ها ترکیب وزنی متوسط هزینه و متوسط کمبود حداقل می‌گردد.

در سال ۲۰۰۷، چانگ و همکاران^۳، جهت مساعدت آژانس‌های دولتی، دو مدل برنامه‌ریزی تصادفی را به منظور مکان‌یابی انبارهای

4. Galindo et al
5. Sakakibara et al,
6. Doerner et al
7. Rath et al
8. Huang et al
9. Caunhye
10. Fontem et al
11. Boonmee at el
12. Walid Klibi at el.

1. Balcik et al,
2. Duran et al
3. Chang et al,

(۲۰۱۸) یک رویکرد مبتنی بر سناریو را برای طراحی شبکه‌های امداد رسانی ارائه داده‌اند که در آن بلاای طبیعی (فاجعه‌ها) به عنوان فرایندهای تصادفی مدل سازی و یک روش مونت کارلو برای تولید سناریوهای فاجعه بار قابل قبول در نظر گرفته شده است.

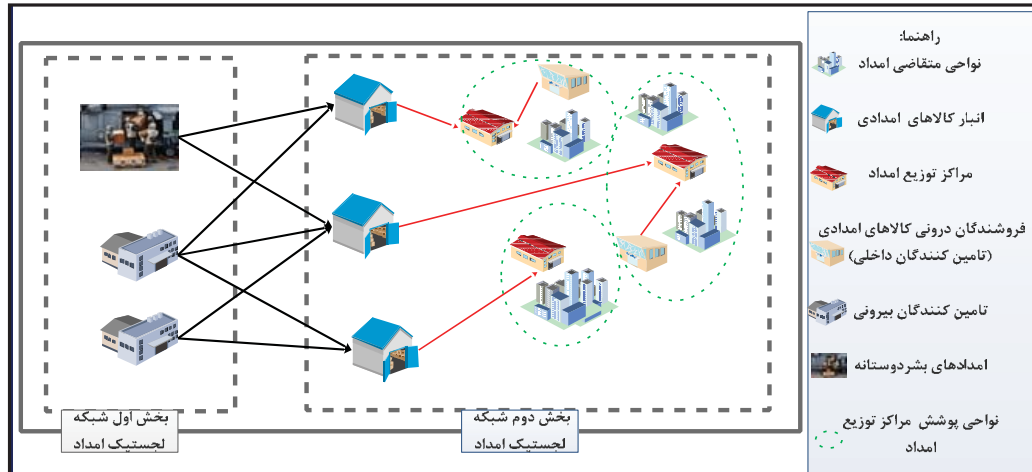
به طور خلاصه، با توجه به شبکه لجستیک امداد شکل (۱)، در مسئله DRLP تعریف شده در این تحقیق به تصمیمات استراتژیک همچون مکان‌یابی بهینه انبارها کالاهای امدادی و تعیین ذخیره احتیاطی هریک از آن‌ها پیش از وقوع بحران و چگونگی توزیع کالاهای امدادی به نواحی آسیب دیده پس از وقوع بحران می‌پردازد. تصمیمات استراتژیک و عملیاتی باید به گونه‌ای اخذ شوند که اهداف اقتصادی و بشردوستانه ذکر شده تحقق یابند. همان‌طور که ملاحظه شد، ادبیات مرتبط مسئله DRLP بسیار غنی بوده و در پژوهش‌های متعددی به آن پرداخته شده است. از جمله نوآوری این تحقیق می‌توان می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تصمیمات استراتژیک برنامه‌ریزی لجستیک امداد (مکان‌یابی انبار امداد، تعیین اندازه/ظرفیت انبار امداد، نحوه تامین کالاهای امدادی، نحوه و میزان ذخیره‌سازی هر کالای امدادی در هر انبار) به طور همزمان با برخی از تصمیمات عملیاتی (نحوه انتقال کالاها به مراکز توزیع و توزیع آن به نواحی آسیب زده) نظر گرفته شده است.
- تنوع کالاهای امدادی در نظر گرفته شده است و برای هر یک از آنها ارزش وزنی لحاظ شده است تا مدل مسئله به دنیای واقعی نزدیک‌تر شود. همچنین برای عرضه هر نوع کالای امدادی به هر منطقه یک حداقل تعریف می‌شود.
- یک مدل بهینه‌سازی دوهدفه جدید بر اساس رویکرد برنامه‌ریزی استوار برای حل مسئله DRLP توسعه داده شده است. دلیل استفاده از این رویکرد استوار آن است معمولاً برخی پارامترهای مسئله DRLP از جمله تقاضای امداد غیرقطعی است.
- رویکرد حل دوهدفه اپسیلون محدودیت تکامل یافته بکار گرفته شده است تا موازنه مناسب بین هدف اقتصادی (کمینه‌سازی متوسط هزینه امداد رسانی) و هدف بشردوستانه (کمینه‌سازی بیشینه کمبود امداد) صورت پذیرد.

اشاره کرد. نویسندگان در مقاله (توفیقی و همکاران، ۲۰۱۶) به طراحی شبکه لجستیک امداد در شرایط بحران با در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت پرداخته‌اند و در این مقاله مسائل مکان‌یابی انبارهای چندمنظوره و مراکز توزیع کالاهای امدادی و نیز طراحی مسیرهای حرکت وسایل نقلیه امدادی مورد توجه قرار گرفته است. در پژوهش (کائونهی و همکاران، ۲۰۱۶) یک مدل دومرحله‌ای به منظور مکان‌یابی و مسیریابی در شرایط عدم قطعیت، به هنگام بروز بحران‌ها ارائه شده است. در این مدل به کاهش ریسک امداد رسانی پرداخته شده که این ریسک در قالب "تقاضای برآورده نشده" عنوان شده است. در دیگر پژوهش صورت گرفته توسط بزرگی امیری و همکاران در سال ۲۰۱۶، یک مدل پویای چندهدفه برای مسئله مکان‌یابی-مسیریابی در برنامه‌ریزی امداد فاجعه توسعه داده شده است؛ جایی که تقاضا، زمان جابجایی و هزینه "غیرقطعی" در نظر گرفته شده‌اند. محمدی و همکاران در سال ۲۰۱۶ با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی دسته پرندگان، به حل مسئله "نحوه آماده‌سازی تدارکات اورژانسی واکنش به زلزله" پرداخته‌اند. همچنین در تحقیق رضایی مالک و همکاران در سال ۲۰۱۶، مسئله DRLP برای کالاهای فاسدشدنی مورد توجه قرار گرفته است و با رویکرد بهینه‌سازی استوار، به طراحی شبکه لجستیک امداد پرداخته شده است. فونتم و همکاران در سال ۲۰۱۶، یک روش ابتکاری مبتنی بر تجزیه متغیرها را برای حل مسئله "طراحی شبکه امداد رسانی" پیشنهاد کردند که در آن به مکان‌یابی انبارهای اضطراری در شرایط بحران و نیز مسیریابی تأمین کالاهای اساسی پرداخته می‌شود.

بونمه و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل بهینه‌سازی مکان تسهیلات برای تدارکات بشردوستانه اورژانسی را با در نظر گرفتن انواع مشکلات و آزمودن شرایط قبل و بعد از بحران با توجه به مکان تسهیلاتی همچون مراکز توزیع، انبارها، پناهگاه‌ها، محل‌های دفن و مراکز پزشکی مورد بررسی قرار دادند.

اخیراً نیز رحمانی و همکاران (۲۰۱۸) یک مدل قوی و قابل اطمینان برای طراحی یک شبکه نجات ارائه کرده‌اند که در مدل پیشنهادی، دو نوع مراکز نجات مرکزی/اصلی و محلی در نظر گرفته شده است به طوری که دسترسی به مراکز تقاضا در زمان فاجعه به این مراکز آسان‌تر و سریع‌تر می‌شود. همچنین ولید کلیبی و همکاران



شکل ۱: شبکه لجستیک امداد

روش

- تعیین مکان مراکز توزیع کالاهای امداد
 - چگونگی پوشش تمام نواحی آسیب‌دیده توسط مراکز توزیع (برای مراکز توزیع امداد یک شعاع پوشش^۵ تعریف می‌شود) همچنین مفروضاتی که در مدل‌سازی و حل مسئله DRLP در نظر گرفته شده است به صورت زیر است:
 - **مفروضات مدل‌سازی**
 - چندین مکان بالقوه از پیش تعیین شده برای احداث DRWS پیش از وقوع فاجعه در نظر گرفته می‌شود.
 - چندین مکان بالقوه از پیش تعیین شده برای استقرار RDCs پس از وقوع فاجعه در نظر گرفته می‌شود.
 - مکان تأمین‌کنندگان داخلی و بیرونی کالاهای امدادی مشخص است.
 - مکان نواحی متقاضی امداد به هنگام بحران مشخص است و تقاضای آن‌ها غیرقطعی در نظر گرفته می‌شود.
 - کمک‌های امدادی و یا کالاهای دریافتی از تأمین‌کنندگان ابتدا توسط DRWS تحویل گرفته می‌شوند و از این طریق به RDCs فرستاده می‌شود و از آنجا به نواحی متقاضی کالاهای امداد توزیع می‌شوند.
 - ظرفیت تأمین‌کنندگان پیش از بحران، قطعی در نظر گرفته می‌شود ولی پس از بحران ممکن است بخشی از ظرفیت آن‌ها از بین برود بنابراین یک پارامتر اختلال در ظرفیت برای آن‌ها لحاظ می‌شود که وابسته به سناریو بحران است.
- در این مقاله، یک تحقیق توسعه‌ای-کاربردی با مطالعات کتابخانه‌ای برای حل مسئله DRLP ارائه می‌شود. برای این منظور، ابتدا با مطالعه پژوهش‌های موجود مرتبط با مسئله DRLP و ضرورت حل آن به تشریح مسئله پرداخته شده است و سپس اهداف و محدودیت‌ها مشخص می‌گردد. در این تحقیق، رویکرد پیشنهادی حل مسئله DRLP استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی ریاضی در شرایط عدم قطعیت است و برای این منظور یک مدل برنامه‌ریزی استوار دوهدفه پیشنهاد می‌شود.
- تصمیمات استراتژیک و عملیاتی مدیریت لجستیک امداد بحران را با توجه به شبکه لجستیکی (شکل (۱)) می‌توان به صورت زیر بیان نمود:
- تعیین مکان بهینه انبارهای امداد^۱
 - تعیین ظرفیت ساخت هر انبار امدادی^۲
 - تعیین سطح ذخیره اطمینانی انبارهای امدادی^۳ از هر نوع کالای امدادی
 - تعیین تأمین‌کنندگان^۴ کالای امدادی و مشخص کردن مقدار خرید از هر یک از آن‌ها
 - میزان و چگونگی تأمین کالاهای امدادی در هنگام وقوع فاجعه (البته در صورت کمبود ذخیره احتیاطی انبار کالاهای امدادی)

1. Location of DRWs
2. Capacity of DRWs
3. Safety Storage of DRWs
4. Supplier Selection

5. Coverage radius

مورد نظر این تحقیق پرداخته می‌شود که مدلسازی و حل مسئله DRLP مبتنی بر آن صورت می‌گیرد.

رویکردهای برنامه‌ریزی سناریو محور استوار

در این تحقیق، از رویکرد برنامه‌ریزی سناریومحور استوار مالی^۱ (به اختصار M_RSSP)^۲ برای مدل کردن مسئله با هدف اقتصادی کمینه‌سازی متوسط هزینه امداد رسانی و از رویکرد برنامه‌ریزی سناریومحور استوار سخت‌گیرانه منعطف آغاز^۳ (به اختصار A_RSSP) برای مدل کردن هدف بشردوستانه کمینه‌سازی بیشینه کمبود استفاده می‌شود.

در یک مسئله بهینه‌سازی سناریومحور، فرض کنید z_s مقدار هدف تحت سناریو $s, s \in S$ متغیرهای وابسته به سناریو و y متغیرهای مستقل از سناریو، $(c_s, d_s, A_s, K_s, b_s)$ مقدار پارامترهای مسئله تحت سناریو $s, s \in S$ ، (R, q) مقدار پارامترهای قطعی و نهایتاً pr_s احتمال وقوع سناریو $s \in S$ است. بر اساس رویکرد M_RSSP، یک مسئله بهینه‌سازی سناریومحور با هدف کمینه‌سازی مقدار متوسط یک تابع هدف، به صورت زیر بیان می‌شود:

(۱)

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min } E(Z) + \text{Var}(Z) + \text{Penalty} = \sum_{s \in S} pr_s \cdot z_s + \lambda \sum_{s \in S} pr_s \cdot \left(z_s - \sum_{s' \in S} pr_{s'} \cdot z_{s'} \right)^2 + \omega \sum_{s \in S} pr_s \cdot \xi_s^2 \\ z_s = c_s^T \cdot x_s + d_s^T \cdot y \quad \forall s \in S \\ A_s x_s + K_s y = b_s + \xi_s \quad \forall s \in S \\ Ry = q \\ y \in Y, x_s \geq 0 \end{array} \right.$$

جایی که، ξ_s متغیر کمبود/مازاد (جزء اختلال^۴) در سناریو $s, s \in S$ ضریب استواری مدل و λ ضریب اهمیت به واریانس جواب‌ها در سناریوهای مختلف است. در این مدل، متوسط عملکرد سیستم، به عنوان استواری حل (استواری بهینگی) در نظر گرفته می‌شود که البته بعضاً انحراف مقادیر هدف در حالات مختلف نیز به مدل افزوده می‌شود. مهمترین تفاوت رویکرد M_RSSP با برنامه‌ریزی تصادفی کلاسیک در این است که در قیود وابسته به

- تأخیر/لیدتایم در دریافت کالاها و کمک‌های امدادی پس از وقوع بحران ناچیز در نظر گرفته می‌شود.
- قیمت تأمین‌کنندگان پیش از بحران قطعی و پس از بحران غیرقطعی در نظر گرفته می‌شود که وابسته به سناریو بحران است.
- ضرورت همه کالاها یکسان نیست و برای آن‌ها ارزش وزنی در نظر گرفته می‌شود.
- پس از وقوع بحران، مقدار زوال در ذخیره احتیاطی DRWs ناچیز در نظر گرفته می‌شود.
- RDCs تنها می‌توانند به نواحی کالای امدادی توزیع کنند که در شعاع پوشش آنها قرار گرفته باشند.
- پیش و پس از فاجعه در RDCs کالاها نگهداری نمی‌شوند.
- مقدار کمبود در هر ناحیه به یک کران بالا محدود می‌شود.
- از جمله پارامترهای غیرقطعی مسئله، تقاضای کالای امداد در نواحی آسیب دیده است، فضای عدم قطعیت مسئله به یک مجموعه متناهی از سناریوهای محتمل‌الوقوع محدود می‌شود که شانس رخ دادن هر سناریو و تقاضای تحت هر سناریو از قبل برآورد شده است.

مدلسازی و حل مسئله DRLP تعریف شده با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی سناریومحور استوار دوهدفه انجام می‌شود که در آن هم هدف بشردوستانه کمینه‌سازی بیشینه کمبود و هدف اقتصادی کمینه‌سازی متوسط هزینه امداد رسانی، تحت سناریوهای محتمل مورد توجه قرار می‌گیرند. همچنین، با بکارگیری روش اپسیلون محدودیت تکامل یافته، بهترین موازنه بین اهداف اقتصادی و بشردوستانه مذکور صورت می‌گیرد. برای اجرای مدل و رویکرد حل پیشنهادی، نرم‌افزار GAMS بکار گرفته می‌شود که حل بهینه سراسری را تضمین می‌کند.

در ادامه به توضیح کلی رویکرد برنامه‌ریزی استوار دوهدفه

1. Mulvey et al,
2. Mulvey Scenario-based Stochastic programming (M_RSS)
3. Aghezzaf et al,
4. Aghezzaf Scenario-based Stochastic programming (A_RSS)
5. Perturbation part

یافته‌ها

در این بخش به ارائه مدل استوار پیشنهادی، روش حل مسئله و تحلیل نتایج پرداخته می‌شود

مدل بهینه‌سازی دوهدفه مسئله RDLP با رویکردهای M_ RSSP و A_ RSSP

نمادها و علائم ریاضی

مجموعه و اندیس	
مجموعه انواع کالاها امدادی	$C = \{1, 2, \dots, c, \dots, C \}$
مجموعه نواحی متقاضی کالاها امدادی	$A = \{1, 2, \dots, a, \dots, A \}$
مجموعه مکان‌های بالقوه برای احداث DRWs	$W = \{1, 2, \dots, w, \dots, W \}$
مجموعه ظرفیت/اندازه‌های تعریف‌شده برای احداث DRWs	$L = \{1, 2, \dots, l, \dots, L \}$
مجموعه تأمین‌کنندگان کالاها امدادی	$K = \{1, 2, \dots, k, \dots, K \}$
مجموعه مکان‌های بالقوه برای RDCs	$D = \{1, 2, \dots, d, \dots, D \}$
مجموعه فروشندگان/تأمین‌کنندگان درونی کالاها امدادی به هنگام وقوع بحران	$R = \{1, 2, \dots, r, \dots, R \}$
مجموعه سناریوهای محتمل الوقوع	$S = \{1, 2, \dots, s/s', \dots, S \}$
پارامترها/داده‌های مسئله	
هزینه احداث DRW در مکان w با اندازه l	f_{wl}
هزینه ذخیره‌سازی هر واحد کالای نوع c در DRW مکان w	cs_{cw}
هزینه انبارش مجدد مازاد کالای نوع c در DRW مکان w امدادسانی	ci_{cw}
ظرفیت/گنجایش حداکثری DRWs با احداث در اندازه l	cap_l^{wv}
هزینه تأمین هر واحد کالای نوع c برای DRW مکان w با استفاده از تأمین‌کننده k پیش از وقوع بحران/فاجعه	$cp_{cw,k}$
هزینه تأمین هر واحد کالای نوع c برای DRW مکان w با استفاده از تأمین‌کننده k تحت سناریو s	$cp'_{cw,k,s}$
مقداری از کالای نوع c که می‌توان پس از وقوع بحران از تأمین‌کننده k تأمین شود	$ms_{c,k}$
ظرفیت (موجودی باقی‌مانده) فروشنده داخلی r برای تأمین کالای نوع c تحت سناریو s	$cap_{r,c,s}$
هزینه تأمین هر واحد کالای نوع c برای RDC مکان d با استفاده از تأمین‌کننده/فروشنده داخلی r تحت سناریو s	$cp'_{c,d,r,s}$
حداکثر دریافتی کالای نوع c که از طریق امدادها یا بشردوستانه در DRW مکان w تحت سناریو s	$hr_{c,w,s}$
هزینه حمل‌ونقل کالای نوع c از DRW مکان w به RDC مکان d	ct_{wd}^{wv}
هزینه حمل‌ونقل کالای نوع c از RDC مکان d به ناحیه a	ct_{da}^{da}
مقدار فضای اشغال‌شده توسط هر واحد کالای نوع c	sp_c
ارزش وزنی کالای نوع c هنگام پس از فاجعه	τ_c
مقدار تقاضای کالای نوع c در ناحیه a تحت سناریو s	$dem_{c,a,s}$
کسری از مقدار تقاضای کالای نوع c که در هر سناریو باید تأمین شود	π_c
هزینه ثابت استقرار RDC در مکان d تحت سناریو s	f_{ds}
ظرفیت RDC مکان d برای توزیع کالای نوع c تحت سناریو s	cap_{ds}^c
فاصله RDC مکان d به ناحیه زلزله شده a	dis_{da}

سناریو، انعطاف لحاظ می‌شود که بر اساس آن می‌توان قیود با شانس کمتر را تا حدی نقض کرد تا هم متوسط عملکرد سیستم بهبود یابد و هم انحراف جواب‌ها کاهش یابد.

برای این منظور یک جزء جریمه تحت عنوان استواری مدل (استوار شدنی بودن) به تابع هدف اضافه می‌شود تا از نقض بیش از حد قیود، جلوگیری شود. در مدل M_ RSSP، اگر بجای توان دوم انحراف یا توان جزء اختلال، قدرمطلق آن‌ها جایگزین شود، آنگاه مدل قابل خطی‌سازی است و راحت‌تر می‌توان آن را حل کرد (یو و همکاران، ۲۰۰۰). در این تحقیق نیز از حالت خطی آن استفاده می‌شود.

در رویکرد A_ RSSP، یک مسئله بهینه‌سازی سناریومحور با هدف کمینه‌سازی مقدار بیشینه یک تابع هدف تحت همه سناریوها، به صورت زیر بیان می‌شود:

(۲)

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min } Z^{Agh} = \gamma \text{Max}\{z_s - z_s^* \mid s \in S\} + \mu \sum_{s \in S} pr_s \cdot z_s \\ z_s = c_s^T \cdot x_s + d_s^T \cdot y \quad \forall s \in S \\ A_s x_s + K_s y = b_s \quad \forall s \in S \\ Ry = q \\ y \in Y, x_s \geq 0 \end{array} \right.$$

و به صورت زیر خطی می‌گردد:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min } Z^{Agh} = \gamma Z^{AER} + \mu \sum_{s \in S} pr_s \cdot z_s \\ Z^{AER} \geq z_s - z_s^* \quad \forall s \in S \\ z_s = c_s^T \cdot x_s + d_s^T \cdot y \quad \forall s \in S \\ A_s x_s + K_s y = b_s \quad \forall s \in S \\ Ry = q \\ y \in Y, x_s \geq 0 \end{array} \right. \quad (۳)$$

جایی که، z_s^* مقدار بهینه تابع هدف تحت سناریو $s \in S$ می‌باشد و Z^{AER} بیشترین خطا مطلق سناریوهای مختلف از مقدار بهینه آن‌ها است. ضرایب γ و μ نیز به ترتیب اهمیت بدترین/سخت‌ترین سناریو محتمل و متوسط عملکرد را نشان می‌دهند. پر واضح است که $\mu = 0$ شود، آنگاه سخت‌گیرانه‌ترین شرایط حاکم می‌شود ولی معمولاً در رویکرد A_ RSSP، متوسط انحراف از بهینگی در کنار بیشترین انحراف از بهینگی آورده می‌شود و $\gamma, \mu > 0$ هستند.

اگر ناحیه a در شعاع پوشش RDC مکان d تحت سناریو s قرار بگیرد برابر با ۱؛ در غیر این صورت برابر با ۰ است.	ξ_{das}
مقدار تأمین کالا نوع c از تأمین کننده k برای DRW مکان w پس از وقوع بحران تحت سناریو s	q'_{ckws}
مقدار خرید کالای نوع c از فروشنده داخلی r برای RDC مکان d پس از وقوع بحران تحت سناریو s	q''_{crds}
مقداری از کالای نوع c که از DRW مکان w به RDC مکان d برای توزیع به ناحیه a تحت سناریو s ارسال می‌شود.	n_{cwndas}
باقی مانده کالای نوع c در DRW مکان w تحت سناریو s	Re_{cws}
مقدار کمبود کالای نوع c در ناحیه a تحت سناریو s	ξ_{cas}

شعاع پوشش مراکز توزیع امداد (RDCs)	RC
احتمال سناریو s	pr_s
عددی بسیار بزرگ	bigM
متغیرها/خروجی‌های مسئله	
اگر در مکان w یک DRW با اندازه l احداث شود برابر با ۱؛ در غیر این صورت برابر با ۰ است.	x_{wl}
مقدار خرید کالای نوع c از تأمین کننده k برای ذخیره‌سازی در DRW مکان w پیش از وقوع بحران	q_{ckw}
اگر در مکان d یک RDC تحت سناریو s مستقر شود برابر با ۱؛ در غیر این صورت برابر با ۰ است.	y_{ds}

• هدف اقتصادی (Economic Objective) (EO)

$$Min EO = \sum_s pr_s Cost_s + \lambda \sum_s pr_s \left(Cost_s - \sum_{s'} pr_{s'} Cost_{s'} + 2\theta_s \right) + \omega \sum_c \sum_a \sum_s pr_s \tau_c \xi_{cas} \quad (4)$$

$$Cost_s = FC + VC_s \quad \forall s \in S \quad (5)$$

$$FC = \sum_w \sum_l f_{wl} x_{wl} + \sum_c \sum_w \sum_k cp_{cwk} q_{ckw} + \sum_c \sum_w cs_{cw} \left(\sum_k q_{ckw} \right) \quad (6)$$

$$VC_s = \sum_d f'_{ds} y_{ds} + \sum_c \sum_w \sum_k cp'_{cws} q'_{ckws} + \sum_c \sum_r \sum_d cp''_{cdrs} q''_{crds} + \sum_c \sum_w \sum_d ct_{cwnd}^{WD} \left(\sum_a n_{cwndas} \right) + \sum_c \sum_d \sum_a ct_{cda}^{DA} \left(\sum_w n_{cwndas} \right) + \sum_c \sum_w ci_{cw} Re_{cws} \quad \forall s \in S \quad (7)$$

• هدف بشردوستانه (Humanitarian Objective) (HO)

$$Min HO = \gamma Max \left\{ \sum_a \sum_c \tau_c \xi_{cas} \mid s \in S \right\} + \mu \sum_c \sum_a \sum_s pr_s \tau_c \xi_{cas} \quad (8)$$

رابطه (۴) هدف اقتصادی مسئله را بیان می‌کند که در آن متوسط هزینه در سناریوهای مختلف کمینه می‌شود (اجزای این تابع هدف در روابط (۵-۷) تشریح شده‌اند). توجه کنید که این هدف برگرفته از حالت خطی رویکرد M_RSSP است و در آن θ_s یک متغیر کمکی برای محاسبه انحراف معیار هزینه در سناریوهای مختلف است که در رابطه زیر صدق می‌کند:

• قیود و محدودیت‌های مسئله

$$(10) \quad \sum_w \sum_d n_{cwndas} \geq dem_{cas} - \xi_{cas}; \forall c \in C, a \in A, s \in S$$

$$(11) \quad \sum_c sp_c \left(\sum_k q_{ckw} \right) \leq cap_l^w x_{wl}; \forall w \in W, l \in L$$

$$Cost_s - \sum_{s'} pr_{s'} Cost_{s'} + \theta_s \geq 0 \quad \forall s \in S \quad (9)$$

رابطه (۸) هدف بشردوستانه مسئله را بیان می‌کند که در آن

بیشترین مقدار کمبود در تمام سناریوها به همراه متوسط کمبود

$$\sum_k q_{ckw} + \sum_k q'_{ckws} + hr_{cws} = \sum_d \sum_a n_{cwndas} + Re_{cws}; \forall c \in C, w \in W, s \in S$$

وقوع بحران، کالاهای امدادی به سرعت باید در نواحی آسیب‌دیده توزیع شود؛ بنابراین، منطقی است که در کوتاه‌مدت نمی‌توان بیشتر از حدی مشخص کالای جدیدی به انبارها اضافه شود. در رابطه (۱۸)، ظرفیت تأمین کالاهای امدادی توسط فروشندگان داخلی (فروشندگان کالاهای امدادی که در خود نواحی آسیب دیده قرار دارند) کنترل می‌شود. لازم به ذکر است از آنجا که احتمال دارد این تأمین‌کنندگان داخلی، برخلاف تأمین‌کنندگان بیرونی، بخشی از ظرفیت خود را از دست دهند. از این رو موجودی باقی‌مانده آن‌ها غیرقطعی و وابسته به سناریو بحران در نظر گرفته می‌شود. رابطه (۱۹) یک قید امدادی را بر مسئله DRLP لحاظ می‌کند که بر اساس آن کمبود در هر ناحیه متقاضی برای هر نوع کالا، نباید از حد مجاز از پیش تعیین‌شده‌ای بیشتر شود. در واقع، گرچه در تابع هدف بشردوستانه بیشترین کمبود در تمام سناریوها کنترل می‌شود، اما با استفاده از رابطه (۱۹)، کمبود در هر ناحیه هم مورد توجه قرار می‌گیرد تا از حدی مشخص بیشتر نشود و رابطه (۲۰) معادل خطی رابطه اخیر است.

بکارگیری روش اپسیلون محدودیت تکامل یافته برای موازنه بین اهداف اقتصادی و بشردوستانه

صورت کلی یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه به صورت زیر است:

$$\begin{cases} \text{Min} (f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)) \\ x \in X \end{cases} \quad (21)$$

فرض کنید هدف اول به عنوان هدف اصلی در نظر گرفته می‌شود و سایر اهداف به حد بالای اپسیلون محدود می‌شوند و در قیود مسئله اعمال می‌شوند. در این صورت بر اساس روش اپسیلون محدودیت، مدل تک‌هدفه زیر حاصل می‌شود:

$$\begin{cases} \text{Min} f_1(x) \\ f_i(x) \leq e_i \quad i = 2, 3, \dots, n \\ x \in X \end{cases} \quad (22)$$

که در آن هدف اول، به عنوان هدف اصلی در نظر گرفته شده است و اهداف دوم تا n ام به مقدار حداکثر e_i محدود می‌شوند. در روش اپسیلون محدودیت (رابطه (۲۲))، با تغییر مقادیر e_i جواب‌های مختلفی به دست می‌آید که ممکن است کارا نباشند

$$\sum_w \sum_a n_{cwndas} \leq cap_{dcs}^D y_{ds}; \forall c \in C, w \in W, l \in L, s \in S \quad (13)$$

$$\sum_r q''_{crds} + \sum_w n_{cwndas} = \sum_a n_{cwndas}; \forall c \in C, d \in D, s \in S \quad (14)$$

$$n_{cwndas} \leq bigM \cdot z_{ads}; \forall c \in C, w \in W, d \in D, a \in A, s \in S \quad (15)$$

$$z_{ads} \leq \frac{RC}{dis_{da}} y_{ds}; \forall c \in C, w \in W, d \in D, a \in A, s \in S \quad (16)$$

$$\sum_w q'_{ckws} \leq ms_{ck}; \forall c \in C, k \in K, s \in S \quad (17)$$

$$\sum_a q''_{crds} \leq cap_{rcs}^R; \forall c \in C, r \in R, s \in S \quad (18)$$

$$Max\{\xi_{ca's} | a' \in A\} \leq (1 - \pi_c) dem_{cas}; \forall c \in C, a \in A, s \in S \quad (19)$$

$$\xi_{ca's} \leq (1 - \pi_c) dem_{cas}; \forall c \in C, a, a' \in A, s \in S \quad (20)$$

رابطه (۱۰) قید تأمین تقاضای کالاهای امدادی در هر ناحیه آسیب دیده را با در نظر گرفتن مقدار کمبود بیان می‌کند. در رابطه (۱۱)، ظرفیت/گنجایش هر DRW در صورت احداث آن با هر اندازه‌ای، کنترل می‌شود. در رابطه (۱۲)، تعادل جریان ورودی و خروجی هر DRW برای هر نوع کالا در هر سناریو بررسی می‌شود. در رابطه (۱۳)، ظرفیت توزیع کالاهای امدادی در هر RDC مستقرشده در هر سناریو کنترل می‌شود. در رابطه (۱۴)، تعادل جریان ورودی و خروجی هر RDC برای هر نوع کالا در هر سناریو کنترل می‌شود. رابطه (۱۵) بیان می‌کند که در هر سناریو، توزیع کالا از هر RDC به هر ناحیه آسیب‌دیده مستلزم آن است که ناحیه آسیب دیده در شعاع پوشش RDC قرار گرفته باشد. همچنین رابطه (۱۶) نحوه قرارگیری یک ناحیه در شعاع پوشش یک RDC را نشان می‌دهد. در رابطه (۱۷)، قید حداکثر تأمین کالاهای امدادی از هر تأمین‌کننده بیرونی لحاظ می‌گردد. توجه شود که پس از

و رویکرد برنامه‌ریزی بهینه استوار پیشنهادی برای مدیریت شبکه لجستیک امداد در این منطقه بکار گرفته می‌شود.

منطقه ۱ کلان‌شهر تهران، هر ۱۰ ناحیه منطقه ۱، بعلاوه مراکز مناطق ۲، ۳ و ۴ (که در همسایگی منطقه ۱ قرار دارند و فاصله آن‌ها با نواحی این منطقه کمتر است) به عنوان مکان‌های کاندید/ بالقوه برای احداث DRWs در نظر گرفته می‌شوند. سوله‌های امداد هر ناحیه را نیز به عنوان RDCs هنگام وقوع فاجعه در نظر می‌گیریم. فرض می‌کنیم کالاهای امدادی پیش از فاجعه از طریق ۴ تأمین‌کننده خریداری و در انبارها ذخیره‌سازی می‌شوند؛ همچنین پس از وقوع فاجعه، علاوه بر تأمین‌کنندگان مذکور، ۳ فروشنده/ تأمین‌کننده داخلی منطقه ۱ که در نواحی مرکزی ۱، ۴ و ۸ قرار دارند نیز می‌توانند به همراه کمک‌های بشردوستانه، بخشی دیگر از تقاضای نواحی آسیب دیده را از طریق RDCs پوشش دهند. ما در این تحقیق، ۵ کالای امدادی (چادر (C۱)، پتو/ پوشاک گرم (C۲)، کنسرو/ غذاها با تاریخ مصرف بالا و قابلیت نگهداری (C۳)، آب آشامیدنی (C۴)، لوازم بهداشتی (C۵)) را در نظر می‌گیریم و همان‌طور که در تعریف مسئله و مدل‌سازی آن اشاره شد برای هر یک از این کالاها، ارزش وزنی تعریف می‌شود که وابسته به اهمیت آن کالا است. برای احداث انبارها ۳ سطح ظرفیت (کم، متوسط و زیاد) در نظر گرفته می‌شود و فرض می‌کنیم که در هر یک از مکان‌های بالقوه از پیش تعیین شده، امکان احداث یک انبار با یکی از سطوح تعریف‌شده وجود دارد. ابعاد مسئله DRLP در این مطالعه عددی در جدول ۱ آورده شده است و شبکه لجستیک امداد در شکل ۲ و ۳ مشاهده می‌شود.

از آنجا که وقوع زلزله در شب و یا روز، سناریوهای مختلفی از آسیب و نیاز به امداد را ایجاد می‌کند (پر واضح است که اگر زلزله در زمان شب (استراحت و عدم هوشیاری کامل مردم) رخ دهد، نسبت به ساعات روز (هوشیاری کامل مردم) خسارات و جراحات بیشتری را ایجاد و به تبع آن تقاضای بیشتری را نیز طلب می‌کند)، با توجه به ۴ گسل معرفی‌شده، ۸ سناریو برای فاجعه در نظر گرفته شده است که احتمال وقوع هر یک از آن‌ها در جدول (۲) مشاهده می‌شود.

(کارای ضعیف^۱ هستند). با اصلاح/ تکمیل مدل (۲۲)، می‌توان مشکل مذکور را رفع کرد که به روش اپسیلون محدودیت تکامل‌یافته (AEC^۲) معروف است (مورتاس^۳، ۲۰۰۹). در روش AEC، مدل (۲۲) به صورت زیر بازنویسی می‌گردد:

$$\begin{cases} \text{Min } f_1(x) - \sum_{i=2}^n \phi_i s_i \\ f_i(x) + s_i = e_i \quad i = 2, 3, \dots, n \\ x \in X \\ s_i \geq 0 \end{cases} \quad (23)$$

که در آن s_i ها متغیرهای نامنفی کمکی ϕ_i یک پارامتر برای نرمال‌سازی اهداف هستند. با بدست آوردن ماتریس پی‌آمد اهداف مسئله با روش لکسیکوگرافیک^۴ (آقایی و همکاران، ۲۰۱۱)، چندین مقدار مختلف $e_i \in [\text{Min}(f_i), \text{Max}(f_i)]$ انتخاب می‌شود و جبهه پارتو بدین طریق بدست می‌آید.

روش AEC روی مدل بهینه‌سازی دوهدفه پیشنهادی و برای حل مسئله DRLP به این صورت بکار گرفته می‌شود که هدف اقتصادی (EO) به مقادیر eps محدود می‌شود و هدف بشردوستانه (HO) به عنوان هدف اصلی مسئله در تابع هدف آورده می‌شود؛ لازم به ذکر است که هرچه ϕ مقدار بزرگتری باشد، آنگاه EO در وضعیت بهتری قرار می‌گیرد و هرچه $\phi \rightarrow 0$ ، آنگاه HO در حالت بهینه قرار می‌گیرد.

مطالعه عددی و تحلیل نتایج

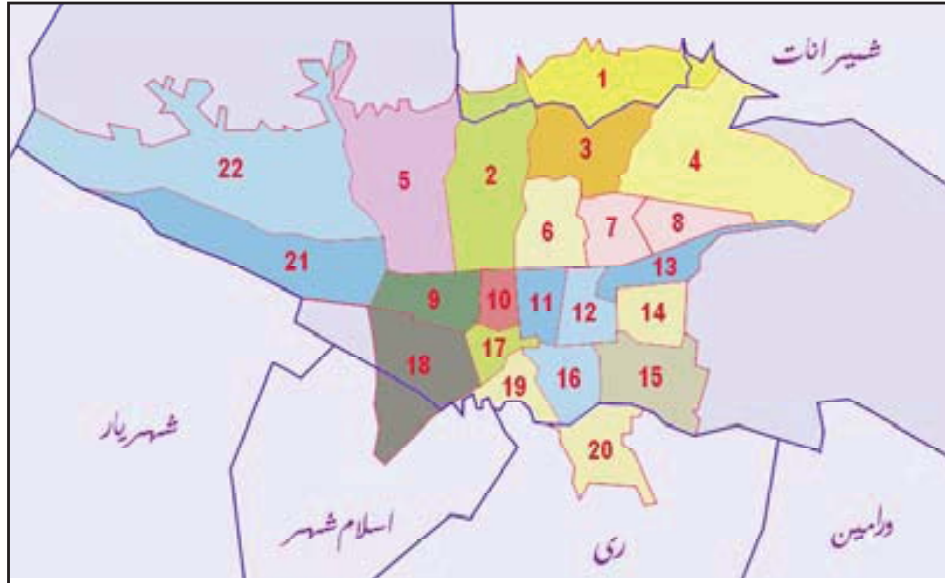
کلان‌شهر تهران به عنوان پایتخت کشور، به علت خطر احتمالی وقوع زلزله توسط گسل‌های شمال تهران، مشاء، جنوب ری و سایر گسل‌های شناور (طباطبایی و همکاران، ۲۰۱۰) نیازمند برنامه‌ریزی بهینه لجستیک امداد فاجعه/زلزله است تا در صورت بروز فاجعه، اهداف بشردوستانه و اقتصادی ذکرشده در این پژوهش تحقق یابند. در این بخش، با استفاده از داده‌های موجود در پژوهش‌های (بزرگی امیری و همکاران، ۲۰۱۳) و (جبارزاده، ۲۰۱۴)، منطقه ۱ کلان‌شهر تهران به عنوان یک نمونه واقعی از مکان‌های جغرافیایی زلزله‌خیز که مسئله DRLP در آن بسیار ضرورت دارد در نظر گرفته می‌شود

1. Weakly Efficient
2. Augmented Epsilon constraint
3. Mavrotas
4. Lexicographic

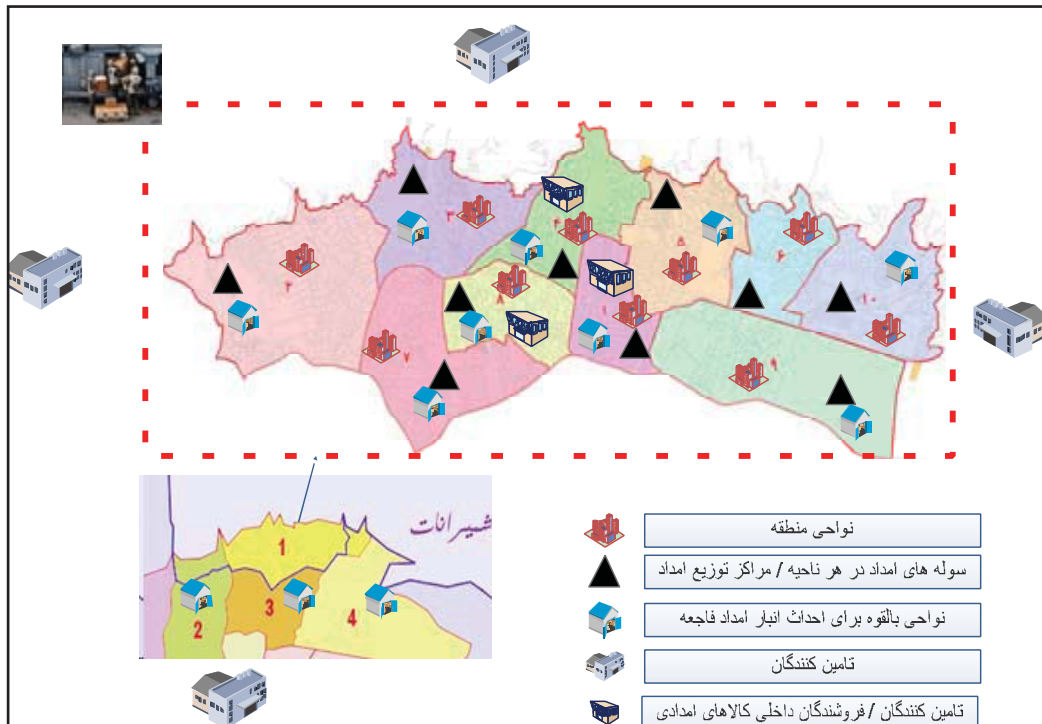
همچنین به دلیل این که در هدف اقتصادی تعریف‌شده، تمرکز

جدول ۱. ابعاد مسئله برنامه‌ریزی لجستیک امداد در مطالعه مورد منطقه ۱ تهران

A	C	W	Z	K	D	R
تعداد نواحی	تعداد کالا	تعداد انبار بالقوه	سطوح ظرفیت انبارها	تعداد تأمین‌کننده	تعداد مراکز توزیع امداد	تعداد فروشندگان
۱۰	۵	۱۳	۳	۴	۱۰	۳



شکل ۲. کلان‌شهر تهران



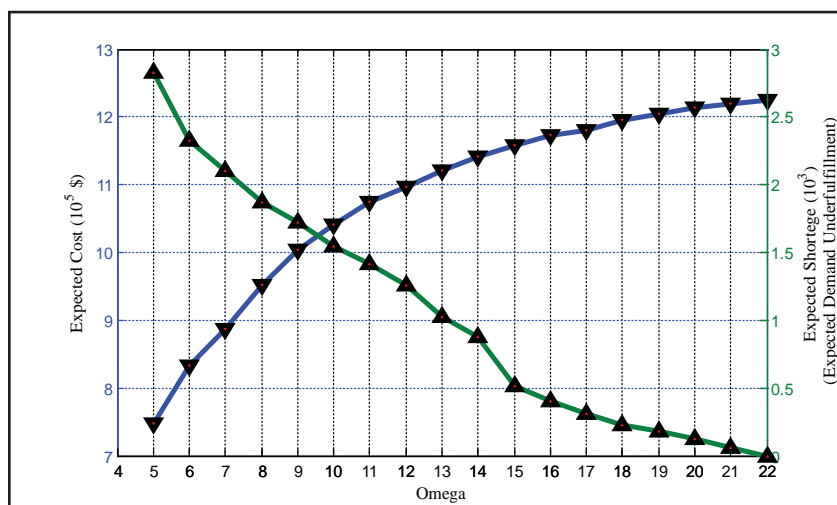
شکل ۳. شبکه لجستیک امداد برای منطقه ۱

اصلی روی کمینه‌سازی متوسط هزینه‌ها است و انحراف معیار هزینه در سناریوها مختلف مورد توجه نیست قرار می‌دهیم $\lambda = 0$ (در واقع توجه خاصی دیده نمی‌شود که انحراف معیار هزینه نیز لحاظ گردد). همچنین، با موازنه بین استواری مدل و استواری حل (بر اساس شکل ۳)، مشاهده می‌شود که اگر $\omega \geq 22$ باشد، آنگاه مجموع نقض قیود برابر با ۰ می‌شود و استواری مدل بسیار بالاست در حالی که متوسط هزینه در بیشترین مقدار خود قرار می‌گیرد (استواری مدل بالا ولی استواری حل پایین). برای مقادیر $15 \leq \omega < 22$ ، استواری مدل با شیب بسیار کمی کاهش می‌یابد اما متوسط هزینه یا همان استواری حل به مقدار قابل ملاحظه‌ای بهبود می‌یابد. در نهایت برای مقادیر $\omega < 15$ نیز گرچه متوسط هزینه / استواری حل بهبود می‌یابد، اما استواری مدل تنزیل زیادی می‌یابد و ریسک تصمیم‌گیری افزایش می‌یابد.

بنابراین، مقدار $\omega = 15$ تنظیم مناسبی برای ضریب استواری مدل یا ریسک‌گریزی است. با توجه به آن که متوسط کمبود امداد در هدف اقتصادی و بشردوستانه به صورت مشابه بیان می‌شوند، قرار می‌دهیم $\mu = \omega = 15$ برای تنظیم مقدار γ مشاهده می‌شود که برای مقدار $\gamma \geq 34.7$ ($\gamma \rightarrow 35$)، جواب منتخب از جبهه پارتو به گونه‌ای است که مقدار بیشینه کمبود امداد در سناریوها بحران، در کمترین مقدار خود قرار می‌گیرد (در حالی که متوسط هزینه امداد و متوسط کمبود از حالت پهنه انحراف دارند). اما برای مقدار $0 < \gamma \leq 0.8$ ($\gamma \rightarrow 0$)، برعکس حالت قبل، مقدار بیشینه کمبود امداد به طور غیرقابل اغماضی زیاد می‌شود (در حالی که متوسط هزینه امداد و متوسط کمبود امداد کاهش می‌یابد).

جدول ۲. سناریوهای فاجعه/زلزله و شانس هر یک از آن‌ها

شناور		جنوب ری		شمال تهران		مشاء		
۰.۰۴		۰.۰۶		۰.۲۸		۰.۶۲		احتمال وقوع زلزله
شب (۰-۸)	روز (۸-۲۴)	شب (۰-۸)	روز (۸-۲۴)	شب (۰-۸)	روز (۸-۲۴)	شب (۰-۸)	روز (۸-۲۴)	تقسیم‌بندی روز و شب ساعات شبانه‌روز
۰.۰۱	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۴	۰.۰۹	۰.۱۹	۰.۲۱	۰.۴۱	احتمال وقوع



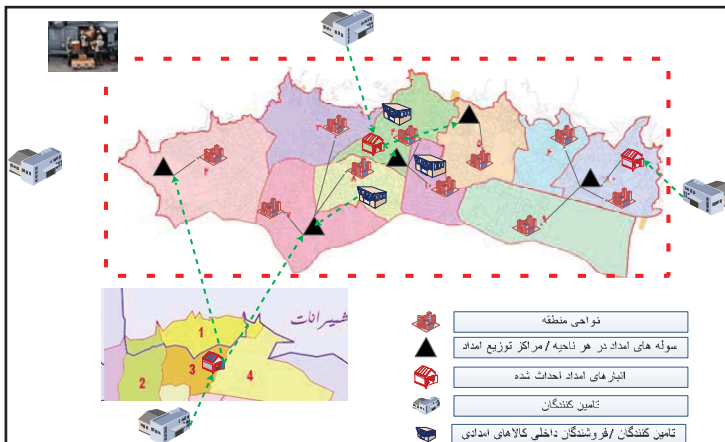
شکل ۳. موازنه بین متوسط هزینه و متوسط کمبود برای تعیین ضریب ریسک‌گریزی

بر اساس شکل (۴) و همچنین جدول (۳) ملاحظه می‌شود که با افزایش مقدار λ ، مقدار بیشینه کمبود کالاهای امدادی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر روند متغیر بیشینه کمبود کالا نسبت مقدار λ نزولی است. گرچه کاهش بیشینه کمبود بسیار مطلوب است، اما این مهم با افزایش مقادیر متوسط هزینه و همچنین متوسط کمبود همراه بوده است (البته متوسط کمبود هم کاهش داشته است و هم

به پاسخ بهینه بسیار ناچیز است. بنابراین، با تصمیم‌گیری مبتنی بر پاسخ این رویکرد، این تضمین وجود دارد که برنامه‌ریزی برای اکثریت سناریوهای محتمل‌الوقوع به بهترین نحو صورت گرفته است و شبکه امداد رسانی در حالت بهینه قرار دارد.

مقایسه عملکرد رویکرد استوار پیشنهادی نسبت به مقدار اسمی آن در جدول (۵) آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در حالی که هزینه هر دو رویکرد تقریباً برابر است، اما متوسط کمبود و همچنین بیشینه کمبود در رویکرد استوار پیشنهادی به طور معناداری از رویکرد اسمی یا مقدار متوسط (که معمولاً بکار گرفته می‌شود) بهتر است.

بنابر نتایج عددی حاصل شده و مقایسه رویکرد برنامه‌ریزی استوار پیشنهادی نسبت به رویکردهای پیشین، با استفاده از این چنین مدل‌های تصمیم‌گیری، مدیران بحران در کشور و یا استان‌ها می‌توانند پیش از وقوع بحران به اتخاذ تصمیمات بهینه راهبردی در مورد مکان و موجودی انبارهای امداد، نحوه توزیع کالاهای امدادی و ... پرداخته و در نتیجه آن، نه تنها شاهد صرفه‌جویی در هزینه‌های امداد خواهیم بود، بلکه این امر موجب تسریع در فرآیند امداد رسانی شده و می‌تواند کمبود امداد و تلفات را به حداقل رساند.



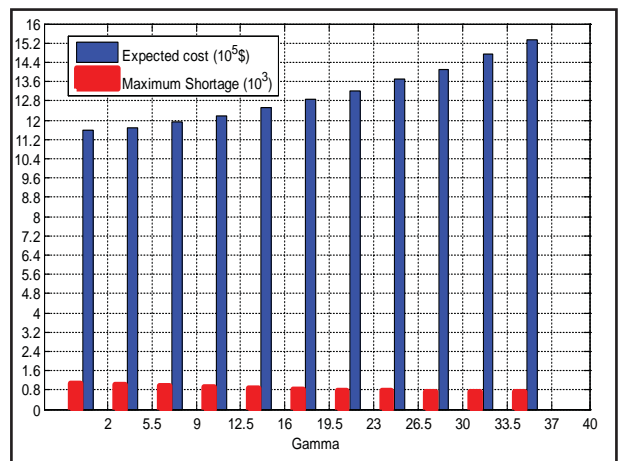
شکل ۵. طراحی بهینه شبکه لجستیک امداد در مطالعه عددی

نتیجه‌گیری

اهداف و کاربرد تحقیق

تصمیم‌های مرتبط با برنامه‌ریزی لجستیک امداد فاجعه را می‌توان در دو دسته (تصمیم‌های استراتژیک پیش از وقوع بحران و تصمیم‌های عملیاتی پس از وقوع بحران) افزایش کرد. در این تحقیق، مسائل

افزایش، اما متوسط هزینه فقط افزایش یافته است). در افزایش‌های اولیه مقدار λ ، بیشینه کمبود به طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد؛ از مقادیر بزرگ‌تر از $\lambda = 24.5$ ، کاهش در مقدار بیشینه کمبود قابل‌اغماض است و همچنین متوسط هزینه افزایش زیادی می‌یابد. با این توصیف قرار می‌دهیم $\lambda = 24.5$. شکل (۵) طراحی بهینه شبکه لجستیک امداد در این مطالعه عددی را نشان می‌دهد؛ در این شکل مکان بهینه انبارهای امدادی و نحوه پوشش نواحی توسط این انبارها، قابل مشاهده است.



شکل ۴. نمودار متوسط هزینه امداد رسانی و بیشینه کمبود نسبت به مقادیر مختلف λ

جدول ۳. نتایج تحلیل ضریب اهمیت به بیشینه کمبود (ضریب استواری سخت‌گیرانه‌ترین سناریو) روی نتایج

بیشینه کمبود [۱-۳]	متوسط کمبود [۱-۳]	متوسط هزینه [۱-۵]	ضریب اهمیت به بیشینه کمبود (%)
۱,۰۸	۰,۵۲	۱۱,۵۸	۰
۱,۰۳	۰,۶۳	۱۱,۶۹	۳,۵
۰,۹۷	۰,۶۷	۱۱,۹۴	۷
۰,۹۳	۰,۶۹	۱۲,۱۹	۱۰,۵
۰,۸۸	۰,۷۰	۱۲,۵	۱۴
۰,۸۳	۰,۷۲	۱۲,۸۴	۱۷,۵
۰,۷۹	۰,۷۱	۱۳,۲۳	۲۱
۰,۷۵	۰,۷۰	۱۳,۶۹	۲۴,۵
۰,۷۳	۰,۷۰	۱۴,۱۲	۲۸
۰,۷۱	۰,۶۸	۱۴,۷۵	۳۱,۵
۰,۷۰	۰,۶۷	۱۵,۳۴	۳۴

در جدول (۴)، ملاحظه می‌شود که رویکرد استوار پیشنهادی در هر سناریو، چه عملکردی داشته است. همان‌طور که مشخص است، در عمده سناریوها یا شانس بیشتر، خطای این رویکرد نسبت

جدول ۴. نتیجه بکارگیری رویکرد برنامه‌ریزی سناریومحور استوار دوهدفه

سناریو	احتمال وقوع	حالت بهینه		پاسخ رویکرد برنامه‌ریزی سناریومحور استوار دوهدفه		خطای مطلق (۱۰%)	خطای نسبی
		هزینه (۱۰%)	کمبود (۱۰%)	هزینه (۱۰%)	کمبود (۱۰%)		
۱	۰,۴۱	۱۱,۵	۰,۶	۱۱,۷	۰,۶	۰,۲	۰,۰۱۷
۲	۰,۲۱	۱۴,۱۳	۰,۸	۱۴,۳۴	۰,۸۷	۰,۲	۰,۰۱۴
۳	۰,۱۹	۱۲,۶۲	۰,۶	۱۲,۷۵	۰,۶۷	۰,۱۳	۰,۰۱۰
۴	۰,۰۹	۱۵	۱,۰۵	۱۶,۳	۱,۰۸	۱,۳	۰,۰۸۶
۵	۰,۰۴	۷,۷۱	۰,۳	۸,۹۵	۰,۳	۱,۲۴	۰,۱۶۰
۶	۰,۰۲	۸,۶	۰,۴	۱۰,۲	۰,۴	۱,۶	۰,۱۸۶
۷	۰,۰۳	۶,۶۲	۰,۴	۸,۸۶	۰,۴	۲,۲۴	۰,۳۳۸
۸	۰,۰۱	۷,۶۷	۰,۵	۹,۹۳	۰,۵	۲,۲۶	۰,۲۹۴

جدول ۵. مقایسه رویکرد برنامه‌ریزی استوار پیشنهادی این تحقیق با رویکرد مقدار اسمی/متوسط

روش حل	متوسط خطای نسبی هزینه	متوسط کمبود	بیشینه کمبود
رویکرد برنامه‌ریزی سناریومحور استوار دوهدفه	۰,۰۴۲۷	۶۹۰,۲۰	۱۰۸۰ (سناریو ۴)
رویکرد اسمی (داده‌های متوسط)	۰,۰۴۱۳	۹۸۴,۳۵	۲۱۵۵ (سناریو ۴)

به طور خلاصه، در این مقاله یک مدل بهینه‌سازی برای مدیریت لجستیک امداد بحران پیشنهاد می‌شود. بر اساس این مدل، ابتدا سناریوهای بحران باید مشخص شده باشند و احتمال وقوع هر سناریو به همراه میزان امداد مورد نیاز تحت هر سناریو برآورد شود. سپس مدل پیشنهادی با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی سناریو محور استوار و با در نظر گرفتن اهداف کمینه‌سازی کمبود کالاهای امدادی و کمینه‌سازی هزینه امداد، به طور بهینه مشخص می‌کند که انبارهای امداد در چه مکان‌هایی قرار گیرند و موجودی آنها به چه میزان باشد. بعلاوه محل استقرار مراکز توزیع برای پوشش مناطق آسیب‌دیده نیز از این مدل تعیین می‌گردد.

تحلیل نتایج

رویکرد برنامه‌ریزی استوار برای کنترل عدم قطعیت پارامترها، و روش اپسیلون محدودیت تکامل یافته (AEC) برای حل مدل استوار دوهدفه بکار گرفته شده است که در آن هدف اقتصادی به مقادیر اپسیلون محدود می‌شود و هدف بشردوستانه به عنوان هدف اصلی در ساختار مدل ریاضی آورده می‌شود. خطی بودن مدل پیشنهادی، بهینگی سراسری پاسخ بدست آمده در نرم‌افزار GAMS را تضمین می‌کند.

به منظور ارزیابی رویکرد برنامه‌ریزی استوار پیشنهادی در این تحقیق و سنجش قابلیت به کارگیری آن برای حل مسائل واقعی،

استراتژیک و برخی از مسائل عملیاتی مرتبط با لجستیک امداد فاجعه مورد توجه قرار گرفته است.

هدف از این پژوهش ارائه یک مدل نوین بهینه‌سازی دو هدفه مبتنی بر رویکرد برنامه‌ریزی سناریو محور استوار به منظور مدیریت بهینه بحران‌هایی همچون زلزله است. در مدل پیشنهادی، عدم قطعیت پارامترهایی مثل تقاضای امداد نیز مورد توجه قرار گرفته و با یک روش حل دوهدفه مناسب، بین اهداف اقتصادی و بشردوستانه موازنه مناسب صورت می‌پذیرد. تعیین مکان بهینه انبارهای امداد، ظرفیت هر انبار امدادی، مقدار ذخیره/موجودی احتیاطی انبارهای امدادی، نحوه عرضه کالاهای امدادی بین اجزای شبکه لجستیک امداد و چگونگی پوشش نواحی متقاضی امداد و توزیع کالاهای امدادی به آن‌ها از جمله خروجی‌های اجرای مدل پیشنهادی است که در آن اهداف بشردوستانه "به حداقل رساندن حداکثر کمبود کالاهای امدادی" و اقتصادی "به حداقل رساندن متوسط هزینه کل" تحقق می‌یابد. بنابراین، اهداف کاربردی این تحقیق یعنی مدیریت بحران پیش از وقوع، به منظور کاهش تلفات و تسریع در امدادسانی نیز محقق می‌گردد و این مدل پیشنهادی، قابل استفاده برای مدیران بحران استان‌ها و مناطق مختلف در سراسر کشور می‌باشد.

338. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038012111000644>
2. Aghaei. J., Amjady. N., & Shayanfar. H. A. (2011). Multi-objective electricity market clearing considering dynamic security by lexicographic optimization and augmented epsilon constraint method. *Applied Soft Computing*, 11(4), 3846-3858. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568494611000822>
 3. 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. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054809000872>
 4. Ahmadi. M., Seifi. A., & Tootooni. B. (2015). A humanitarian logistics model for disaster relief operation considering network failure and standard relief time: A case study on San Francisco district. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 75, 145-163. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554515000095>
 5. Akkihal. A. R. (2006). Inventory pre-positioning for humanitarian operations. *Massachusetts Institute of Technology*. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/36318>
 6. Balcik. B., & Beamon. B. M. (2008). Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics*, 11(2), 101-121. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13675560701561789>
 7. Boonmee. C., Arimura. M., & Asada. T. (2017). Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24, 485-498. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212420916302576>
 8. Bozorgi-Amiri. A., Jabalameli. M., & Al-e-Hashem. S. M. (2013). A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty. *OR spectrum*, 35(4), 905-933. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00291-011-0268-x>
 9. Bozorgi-Amiri. A., & Khorsi. M. (2016). A dynamic multi-objective location-routing model for relief logistic planning under uncertainty on demand, travel time, and cost parameters. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 85(5-8), 1633-1648. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-015-7923-3>
 10. Caunhye. A. M., Nie. X., & Pokharel. S. (2012). Optimization models in emergency logistics: A literature review. *Socio-economic planning sciences*, 46(1), 4-13. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038012111000176>
 11. Caunhye. A. M., Zhang. Y., Li. M., & Nie. X. (2016). A location-routing model for prepositioning and distributing emergency supplies. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 90, 161-176. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554515002033>
 12. Chang. M.-S., Tseng. Y.-L., & Chen. J.-W. (2007). A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6), 737-754. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554507000178>
 13. Doerner. K., Focke. A., & Gutjahr. W. J. (2007). Multicriteria tour planning for mobile healthcare facilities in a developing country. *European Journal of Operational Research*, 179(3),

منطقه ۱ کلان‌شهر تهران در نظر گرفته شد؛ بر اساس نتایج حاصل از رویکرد استوار در حل این مطالعه عددی، ملاحظه می‌شود که در سناریوهای با احتمال وقوع بیشتر، انحراف مطلق و نسبی هزینه در هر سناریو زیاد نیست و این خود سبب می‌شود که متوسط انحراف از بهینگی کاهش یابد. مزیت دیگر رویکرد برنامه‌ریزی استوار پیشنهادی، اختلاف ناچیز کمبود از حالت بهینه آن است؛ در سناریوهایی که مقدار تقاضا بسیار زیاد است، مقدار کمبود امداد با اختلاف ناچیزی نزدیک به مقدار بهینه آن است و در سناریوهایی که تقاضای امداد کمتر است، اختلاف با مقدار بهینه کمبود بسیار ناچیز است. بنابراین، بر اساس رویکرد برنامه‌ریزی استوار پیشنهادی این تحقیق، اولاً هزینه در هر سناریو به مقدار بهینه آن بسیار نزدیک است (بخصوص در سناریوهای محتمل‌تر) و درثانی متوسط و بیشینه کمبود کالاهای امدادی به طور قابل قبولی کنترل شده است. نهایتاً، در مقایسه با رویکرد اسمی / (مقدار متوسط) ملاحظه می‌شود که گرچه اختلاف بین مقدار متوسط هزینه در هر رویکرد بسیار ناچیز و قابل اغماض است، اما رویکرد استوار پیشنهادی این تحقیق، چه در معیار متوسط کمبود و چه در معیار بیشینه کمبود، به طور قابل ملاحظه‌ای عملکرد بهتری داشته است و از آنجا که در برنامه‌ریزی لجستیک امداد، هدف بشردوستانه کمینه‌سازی کالاهای امدادی بسیار مهم است، لذا رویکرد مدل‌سازی و حل این تحقیق مثبت ارزیابی می‌شود و به لحاظ کاربرد از قابلیت اجرای بالایی برخوردار می‌باشد.

پیشنهاد تحقیقات آتی

به منظور توسعه مدل پیشنهادی در این تحقیق، پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آتی، تأخیر/لیدتایم دریافت کالاهای امدادی ناشی از کمک‌های بشردوستانه در نظر گرفته شود. ارائه رویکردهای مبتنی بر تجزیه (همچون رویکرد تجزیه بندرز) نیز باعث می‌شود که بتوان مسائل واقعی با ابعاد بسیار بزرگ را نیز با مدل پیشنهادی این تحقیق در زمان قابل قبولی حل کرد.

منابع

1. Afshar. A., & Haghani. A. (2012). Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations. *Socio-economic planning sciences*, 46(4), 327-



- 43(2). 264-281. <https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/opre.43.2.264>
26. Najafi. M., Eshghi. K. & Dullaert. W. (2013). A multi-objective robust optimization model for logistics planning in the earthquake response phase. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 49(1). 217-249. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554512000828>
27. Rahmani. D., Zandi. A., Peyghaleh. E., & Siamakmanesh. N. (2018). A robust model for a humanitarian relief network with backup covering under disruptions: A real world application. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 28. 56-68. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212420918302073>
28. Rath. S., & Gutjahr. W. J. (2014). A math-heuristic for the warehouse location–routing problem in disaster relief. *Computers & Operations Research*. 42. 25-39. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054811002097>
29. Rezaei-Malek. M., Tavakkoli-Moghaddam. R., Zahiri. B., & Bozorgi-Amiri. A. (2016). An interactive approach for designing a robust disaster relief logistics network with perishable commodities. *Computers & Industrial Engineering*. 94. 201-215. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835216300079>
30. Richardson. D. A., Leeuw. S., & Dullaert. W. (2016). Factors affecting global inventory prepositioning locations in humanitarian operations—a delphi study. *Journal of Business Logistics*. 37(1). 59-74. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jbl.12112>
31. Sakakibara. H., Kajitani. Y., & Okada. N. (2004). Road network robustness for avoiding functional isolation in disasters. *Journal of transportation Engineering*. 130(5). 560-567. [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2004\)130:5\(560\)](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-947X(2004)130:5(560))
32. Tabatabaie. M., Ardalan. A., Abolghasemi. H., Naieni. K. H., Pourmalek. F., Ahmadi. B., & Shokouhi. M. (2010). Estimating blood transfusion requirements in preparation for a major earthquake: the Tehran. Iran study. *Prehospital and disaster medicine*. 25(3). 246-252. <https://www.cambridge.org/core/journals/prehospital-and-disaster-medicine/article/estimating-blood-transfusion-requirements-in-preparation-for-a-major-earthquake-the-tehran-iran-study/3DA3A8684660D215D79198BB6B07334B>
33. Tofghi. S., Torabi. S. A., & Mansouri. S. A. (2016). Humanitarian logistics network design under mixed uncertainty. *European Journal of Operational Research*. 250(1). 239-250. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221715008152>
34. Toregas. C., Swain. R., ReVelle. C., & Bergman. L. (1971). The location of emergency service facilities. *Operations research*. 19(6). 1363-1373. <https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/opre.19.6.1363>
35. Yi. W., & Özdamar. L. (2007). A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities. *European Journal of Operational Research*. 179(3). 1177-1193. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221706000932>
36. Yu. C.-S., & Li. H.-L. (2000). A robust optimization model for stochastic logistic problems. *International journal of production economics*. 64(1-3). 385-397. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527399000742>
- 1078-1096. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221706000774>
14. Duran. S., Gutierrez. M. A., & Keskinocak. P. (2011). Prepositioning of emergency items for CARE international. *Interfaces*. 41(3). 223-237. <https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/inte.1100.0526>
15. Fontem. B., Melouk. S. H., Keskin. B. B., & Bajwa. N. (2016). A decomposition-based heuristic for stochastic emergency routing problems. *Expert Systems with Applications*. 59. 47-59. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417416301609>
16. Galindo. G., & Batta. R. (2013). Prepositioning of supplies in preparation for a hurricane under potential destruction of prepositioned supplies. *Socio-economic planning sciences*. 47(1). 20-37. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038012112000596>
17. Hoyos. M. C., Morales. R. S., & Akhavan-Tabatabaie. R. (2015). OR models with stochastic components in disaster operations management: A literature survey. *Computers & Industrial Engineering*. 82. 183-197. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835214004136>
18. Huang. M., Smilowitz. K., & Balcik. B. (2012). Models for relief routing: Equity, efficiency and efficacy. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 48(1). 2-18. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554511000639>
19. Huang. M., Smilowitz. K. R., & Balcik. B. (2013). A continuous approximation approach for assessment routing in disaster relief. *Transportation Research Part B: Methodological*. 50. 20-41. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0191261513000167>
20. 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. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554514000982>
21. Jia. H., Ordóñez. F., & Dessouky. M. (2007). A modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies. *IIE transactions*. 39(1). 41-55. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07408170500539113>
22. Klibi. W., Ichoua. S., & Martel. A. (2018). Prepositioning emergency supplies to support disaster relief: a case study using stochastic programming. *INFOR: Information Systems and Operational Research*. 56(1). 50-81. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03155986.2017.1335045>
23. Mavrotas. G. (2009). Effective implementation of the e-constraint method in multi-objective mathematical programming problems. *Applied mathematics and computation*. 213(2). 455-465. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0096300309002574>
24. Mohammadi. R., Ghomi. S. F., & Jolai. F. (2016). Prepositioning emergency earthquake response supplies: a new multi-objective particle swarm optimization algorithm. *Applied Mathematical Modelling*. 40(9-10). 5183-5199. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X15006800>
25. Mulvey. J. M., Vanderbei. R. J., & Zenios. S. A. (1995). Robust optimization of large-scale systems. *Operations research*.