



# **A BI-OBJECTIVE STOCHASTIC PROGRAMMING MODEL FOR DESIGNING RELIEF CHAIN WITH STOCHASTIC DEMAND, SUPPLY AND COST PARAMETERS**

**Ali Bozorgi-Amiri\*, Mohammad Saeed Jabalameli & Hashem Omrani**

*Ali. Bozorgi-Amiri, Department of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran*

*Mohammad. Saeed Jabalameli, Department of Industrial Engineering, Iran University of Science & Technology*

*Hashem Omrani, Department of Industrial Engineering, Urmia University of Technology*

## **Keywords**

Disaster relief logistics,  
Stochastic programming,  
Multi-objective  
optimization  
Uncertainty

## **ABSTRACT**

*Disaster relief logistics is one of the major activities in disaster management. Considering the importance of uncertainty in this context, cause motivation to develop appropriate tools for decision making to overcome uncertain and imprecise parameters are in the relief logistic system design problem. In this paper, a new approach for modeling the bi-objective planning presents for relief distribution system problem with demand and supply inaccurate, commissioning costs and transportation costs inaccurate. This model includes three objectives. The first objective is minimization of total costs (including setup costs, transportation costs, inventory costs, shortage costs and development costs. The second objective is maximizing satisfaction injured parts. To solving this problem has been proposed epsilon constraint. Computational results present importance and efficiency of performance proposed model plus usefulness solving approach for multi objective problem.*

**©2015 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 26, No. 3, All Rights Reserved**



## یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو هدفه برای طراحی زنجیره امداد با تقاضا، تامین و پارامترهای هزینه‌ای تصادفی

علی بزرگی امیری<sup>\*</sup>، محمدسعید جبل عاملی و هاشم عمرانی

### چکیده:

ماهیت تصادفی بودن و غیر قابل پیش‌بینی بودن بحران‌های طبیعی ایجاب می‌نماید که طرح‌های بحرانی جامعی جهت کاهش و تسکین خطرات و نتایج ناشی از بحران ارائه شود. لجستیک امدادسانی، نقش مهمی در نجات زندگی مجروحین بازی می‌کند و یکی از فعالیت‌های اصلی عملیات امداد در زمان وقوع بلایا می‌باشد. همچنین، اهمیت در نظر گرفتن عدم قطعیت در این میحث، سبب ایجاد انگیزه جهت توسعه ابزارهای تصمیم‌گیری مناسب برای غلبه بر پارامترهای غیرقطعی و نادقیق در مساله طراحی سیستم لجستیک امداد شده است. در این مقاله یک رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی دوهدفه برای مدل‌سازی مساله طراحی زنجیره امداد با تقاضاها و عرضه‌ها و هزینه‌های غیرقطعی ارائه می‌دهد. مدل دوهدفه شامل اهداف زیر می‌باشند: ۱- بیشینه‌سازی میزان رضایت‌مندی نقاط آسیب‌دیده. ۲- کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های لجستیکی (شامل هزینه‌های راه‌اندازی، حمل و نقل، نگهداری و کمبود). برای حل مدل برنامه‌ریزی دوهدفه ارائه شده، روش محدودیت پس‌یلون برای بدست آوردن جواب‌های بهینه پارتویی بکار گرفته شده است. نتایج محاسباتی، اهمیت و کارایی مدل و روش حل پیشنهادی را برای مسائل تصمیم‌گیری واقعی نشان می‌دهد.

### کلمات کلیدی

لجستیک امداد بلایا،  
برنامه‌ریزی تصادفی،  
بهینه‌سازی چندهدفه،  
عدم قطعیت

### ۱. مقدمه

طی سال‌های اخیر کاهش اثرات بلایای طبیعی در شهرهای کشور در برابر حوادث و سوانح غیرمترقبه مورد توجه جدی قرار گرفته است. ابعاد وسیع خسارات و تلفات ناشی از بلایای طبیعی در شهرهای گوناگون جهان سبب شده است پژوهش‌های کاربردی گسترده‌ای در زمینه مدیریت لجستیک، به‌هنگام مقابله با بحران و به حداقل رساندن خسارات ناشی از آن، انجام گیرد. از سوی دیگر، لجستیک امداد در شرایط وقوع بلایا یکی از فعالیت‌های اصلی در بحث مدیریت بلایا می‌باشد که سبب افزایش کارایی و اثربخشی امر می‌شود [۱].

لجستیک موجب هماهنگی بیشتر در تحویل کالاها و ارتباطات شده و موجب افزایش سرعت تحویل و پاسخگویی می‌گردد [۲]. بنابراین آشکار است که پژوهش‌های کاربردی در امور مربوط به لجستیک امداد در شرایط وقوع بلایای طبیعی سبب افزایش ابتکارات در طراحی‌ها و یافتن بهترین سیاست‌ها و کارآترین و با صرفه‌ترین روش‌ها و فناوری‌ها با در نظر گرفتن شرایط کشور خواهد شد. یکی از راهبردهای مهم لجستیکی جهت کاهش زمان تاخیر و پاسخ‌گویی سریع‌تر و بهتر، مکان‌یابی از پیش و ذخیره‌سازی موجودی در نزدیکی مکان‌های آسیب‌دیده است [۳]. مکان‌یابی انبارها در فاز قبل از بحران (فاز آمادگی)، مکان‌یابی را از بعد جغرافیایی با توجه به فاکتورهای نظیر زمان پاسخ، هزینه و عدالت در توزیع در لجستیک امداد بلایا مورد بررسی قرار می‌دهد تا بتوان در صورت وقوع بحران (فاز پاسخ)، بهترین سرویس‌دهی را به نقاط آسیب‌دیده داشت [۴].

در مقطع کنونی بحث استفاده و کاربرد تحقیق در عملیات در مسائل مدیریت بحران و بلایا بسیار مورد توجه قرار گرفته است

تاریخ وصول: ۸۹/۱۲/۱۰

تاریخ تصویب: ۹۲/۰۸/۰۴

محمد سعید جبل عاملی، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. [jabal@iust.ac.ir](mailto:jabal@iust.ac.ir)

هاشم عمرانی، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران. [h.omrani@uut.ac.ir](mailto:h.omrani@uut.ac.ir)

<sup>\*</sup> نویسنده مسئول مقاله: دکتر علی بزرگی امیری، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. [alibozorgi@ut.ac.ir](mailto:alibozorgi@ut.ac.ir)

[۱۵]. بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها در زمان بحران، فی البداهه و غیراصولی است [۱۶]. پژوهشگران و دست‌اندرکاران امر مدیریت بحران به شدت بدنبال این هستند تا در تصمیم‌گیری‌ها به صورت علمی عمل نمایند تا بتوانند عملکرد کل فرایند امداد رسانی را تا حد ممکن بهبود بخشند.

اگر چه مکان‌یابی و تعیین ظرفیت تسهیلات در مدیریت بلایا جزء مباحث کلیدی هستند ولی تحقیقات نسبتاً کمی در این زمینه به عنوان برنامه‌ریزی از پیش، صورت گرفته است [۱۷]. باکلی و اسمیت در سال ۱۹۹۶ مدل تخصیص منابع در شبکه‌های تخلیه اضطراری دریک ایالت را ارائه نمودند [۱۸]. آکپهال در سال ۲۰۰۶ به ارائه یک مدل جهت مکان‌یابی مراکز مدیریت بحران جهت مدیریت کالاهای امدادی پرداخته است [۱۳]. جیا و همکاران در سال ۲۰۰۷ مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات را برای موقعیت‌های اضطراری با مقیاس بزرگ مرور نمودند و آن را به سه بخش تقسیم نمودند: مدل‌های پوشش، مدل‌های مکان‌یابی میانه و مدل‌های مکان‌یابی مرکز. همچنین آنها روش‌های هیوریستیک ارائه دادند [۹]. پی و کومار در سال ۲۰۰۷ به ارائه یک الگوریتم متاهوریستیک الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان جهت حل مساله لجستیک در اقدامات امدادی به هنگام بحران پرداخته اند [۱۰]. تزنگ و همکارانش در سال ۲۰۰۷ یک مدل قطعی چند معیاره برای توزیع کالاهای اضطراری به مناطق آسیب‌دیده با در نظر گرفتن هزینه، زمان پاسخ و رضایت مندی مشتریان ارائه داده و آن را به کمک روش برنامه‌ریزی چندهدفه فازی حل نمودند [۱۱]. شو در سال ۲۰۰۷ به ارائه یک رویکرد خوشه‌بندی فازی جهت دسته‌بندی مناطق آسیب‌دیده و عملیات لجستیک اضطراری به هنگام پاسخ به نیازهای امدادی اضطراری در دوره‌های نجات مربوط به بحران پرداخته است [۱۲]. بالکیک و بیمون در سال ۲۰۰۸ تصمیمات مکان‌یابی تسهیلات در زنجیره امداد را برای پاسخ‌دهی به بلایای ناگهانی در نظر گرفته‌اند [۲].

از سوی دیگر، یکی از مشخصه‌های اصلی زنجیره امداد حضور ذینفعان با اهداف و ارجحیت‌های متفاوت و گاهاً متضاد است که منجر به تضادهای بالقوه و ناکارایی در عمل می‌شوند که در تحقیقات گذشته کم‌تر بدان پرداخته شده است [۱۳]. اهدافی نظیر کاهش هزینه‌های لجستیکی، کاهش زمان انتقال کالا، افزایش سطح رضایت‌مندی مناطق آسیب‌دیده، افزایش قابلیت اطمینان سفر، کاهش ریسک و ...

طبیعت پویا و پیچیده زنجیره‌های امداد بلایا، درجه بالایی از عدم قطعیت را در تصمیم‌گیری‌های برنامه‌ریزی لجستیک امداد تحمیل می‌کند و بطور موثری بر روی عملکرد زنجیره تاثیر می‌گذارد. پارامترهای کلیدی نظیر میزان و مکان تقاضای مناطق آسیب‌دیده و همین‌طور هزینه و زمان انتقال کالا در زمان بحران، بخاطر ناقص بودن و یا عدم دسترسی داده‌های مورد نیاز، نادقیق هستند و هیچ تابع توزیع احتمالی برایشان قابل تصور نیست. بطور کلی تحقیقاتی

که عدم قطعیت را در نظر می‌گیرند را می‌توان بر اساس چهار رویکرد زیر دسته‌بندی نمود: (۱) رویکردهای برنامه‌ریزی تصادفی (نظیر [۱۴ و ۱۵]) (۲) رویکرد برنامه‌ریزی فازی (نظیر [۱۶ و ۱۷]) (۳) رویکرد برنامه‌ریزی پویای تصادفی [۱۸] (۴) رویکرد بهینه‌سازی پایدار (نظیر [۱۹]).

برنامه‌ریزی تصادفی مبتنی بر سناریو روشی است که در آن تصمیم‌گیرنده عدم قطعیت را بر اساس تعیین موقعیت‌های امکان‌پذیر در آینده در نظر می‌گیرد. در این حالت هدف یافتن جوابی است که تحت وقوع تمام سناریوها شرایط خوبی داشته باشد. در بعضی موارد، برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو این امکان را فراهم می‌کند که سازمان‌ها بتوانند پاسخ‌گویی استراتژیک را نسبت به محدوده گسترده‌ای از تغییرات محیطی داشته باشند و خودشان را نسبت به تغییرات آینده آماده و مهیا نگه دارند. تحت چنین شرایطی، سناریوها توضیحات کیفی از موقعیت‌های امکان‌پذیر آینده هستند که از شرایط فعلی با در نظر گرفتن وقایع مهم بالقوه در آینده تعیین می‌شوند. در موارد دیگر برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو، به عنوان ابزاری برای فرموله کردن و حل مسائل عملیاتی مشخصی بکار می‌رود [۲۰]. درحالی که سناریوها محدوده گسترده‌ای از موقعیت‌های آینده را شرح می‌دهند، برای کمی کردن پارامترهای ورودی که مقادیر مختلفی را می‌گیرند نیز بکار می‌روند. استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی مبتنی بر سناریو در مکان‌یابی تسهیلات بیشتر در رویکردهای کمی بکار رفته است. در تحقیقی که توسط کولیس و یو در سال ۱۹۹۷ [۲۱] انجام شد، از رویکرد پایداری در تصمیم‌گیری در محیطی که دارای اطلاعات غیرقطعی می‌باشد استفاده شده است. در رویکرد آنها، تصمیمات در حالتی که بدترین سناریو به وقوع بپیوندد، اتخاذ می‌گردد که در نتیجه، در این حالت دیگر نیازی به تخصیص احتمالات به پارامترهای سناریوها نمی‌باشد. باربارا سوگولو و آردا در سال ۲۰۰۴ به انجام تحقیق جهت مدل‌سازی عدم اطمینان در پاسخگویی‌های امدادی پرداخته‌اند. آنها به توسعه یک چهارچوب برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای جهت برنامه‌ریزی حمل و نقل در پاسخگویی‌ها به هنگام بحران پرداخته‌اند [۱۴]. چانک و همکارانش در سال ۲۰۰۷ جهت مساعدت آژانس‌های دولتی دو مدل برنامه‌ریزی تصادفی جهت تعیین مراکز انبارهای منابع نجات و مقدار تجهیزات نجات مورد نیاز در آنها و توزیع تجهیزات نجات ارائه داده‌اند، بطوری که در مدل اول هدف کمینه کردن فاصله از تجهیزات نجات و در مدل دوم هدف کمینه کردن هزینه‌های استقرار و متوسط هزینه تجهیزات نجات می‌باشد [۱۵]. مته و زینسکی در سال ۲۰۱۰ یک مدل بهینه سازی تصادفی جهت برنامه ریزی برای انبارش و توزیع اقلام پزشکی در شرایط اضطراری ارائه دادند [۲۲]. عشقی و نجفی در سال ۲۰۱۳ یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند کالایی و چند دوره‌ای را برای مسیریابی پاسخگویی به نیازها بعد از زلزله ارائه کردند. مدل چند هدفه ارائه شده توسط آنها دارای اهداف کمینه کردن مجموع نیازهای برآورده نشده و مصدومان رسیدگی نشده بود [۱۹].

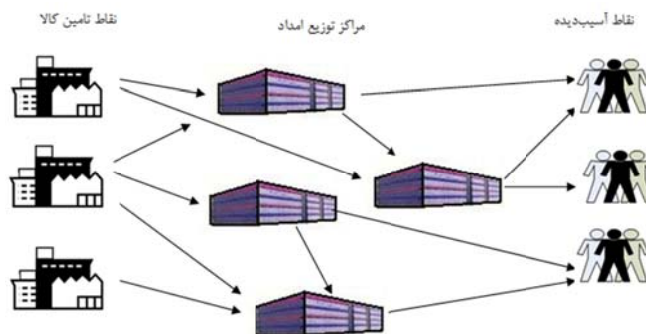
در ادامه، مقاله بصورت زیر سازماندهی شده است: در بخش دوم، مساله لجستیک امداد مورد نظر تشریح و فرمولاسیون آن در حالت قطعی آورده شده است. در بخش سوم، مدل‌سازی لجستیک امداد بلافاصله تحت شرایط عدم قطعیت آورده شده است. در بخش چهارم، الگوریتم بکار گرفته شده برای حل مدل پیشنهادی ذکر شده است. در بخش پنجم، برای اثبات کارایی و سودمندی مدل و روش حل پیشنهادی، مثال عددی تشریح و حل شده است. در نهایت، نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات در بخش ششم آمده است.

## ۲. تشریح مساله

در این بخش، مدل برنامه‌ریزی ریاضی قطعی برای مساله طراحی لجستیک امداد تشریح خواهد شد. با توجه به شکل (۱)، شبکه توزیع،  $G(N, A)$ ، که در آن  $N$  مجموعه‌ای از نقاط و  $A$  مجموعه‌ای از مسیرها است. مجموعه  $N$  شامل مجموعه تامین‌کننده‌ها ( $I$ )، مجموعه مراکز توزیع امداد ( $J$ ) و مجموعه نقاط آسیب پذیر ( $K$ ) است؛ به عبارت دیگر  $N = I \cup J \cup K$ . مجموعه کالاهای امدادی در حال جریان در شبکه لجستیک امداد می‌باشد. تامین‌کنندگان کالاهای امدادی نقش اساسی را در زنجیره امداد بازی می‌کنند و اجناس امدادی مورد نیاز را برای افرادی که در نقاط آسیب‌دیده قرار دارند، تامین می‌کنند. هدف بررسی  $J$  نقطه کاندید به عنوان مراکز توزیع امداد است تا اینکه کارایی و اثربخشی مدل مورد بررسی قرار گیرد و سیستم توزیع بهینه شناسایی شود. برای انتخاب محل انبارش از یک مجموعه مرکز توزیع امداد کاندید، موارد زیر باید مورد توجه قرار گیرند: الف) میزان گنجایش انبار؛ ب) نزدیکی به افراد آسیب‌دیده جهت کاهش هزینه‌های حمل و نقل؛ ج) تراکم جمعیتی مناطق؛

در این مقاله یک رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی دوهدفه برای مدل‌سازی مساله مکان‌یابی - تخصیص تحت عدم قطعیت در زنجیره امداد بلافاصله توسعه داده شده است. در رویکرد پیشنهادی، نه تنها تقاضا، بلکه توانایی تامین‌کنندگان و پارمترهای هزینه‌ای در زمان بحران نیز به عنوان پارمترهای غیرقطعی در نظر گرفته شده‌اند. بحث عدالت در توزیع به عنوان یکی از معیارهای ارزیابی عملکرد زنجیره امداد می‌باشد [۱۳]. لذا تابع هدف اول، بیشینه‌سازی میزان رضایت‌مندی مناطق آسیب‌دیده در نظر گرفته شده است. هرچند ایده رضایت‌مندی مشتریان در حوزه‌های تحقیقاتی دیگر مورد توجه قرار گرفته است، اما این نکته در مسائل طراحی لجستیک امداد تحت عدم قطعیت خصوص در شرایط وجود اهداف متفاوت بندرت دیده شده است. عموماً این نوع تابع به صورت تابع هدف کمینه-مجموع در نظر گرفته است در صورتی که در مطالعه حاضر این تابع هدف به جهت ملاحظه عدالت در توزیع کالاهای امدادی بصورت کمینه-بیشینه در نظر گرفته شده است. تابع هدف دوم نیز کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های مورد انتظار (شامل هزینه‌های راه‌اندازی مرکز توزیع امداد در مرحله اول و هزینه‌های عملیاتی مورد انتظار مرحله دوم شامل هزینه‌های حمل‌ونقل، کمبود و توسعه ظرفیت) می‌باشد.

از آنجایی که توابع هدف هزینه مورد انتظار و رضایت‌مندی در تضاد با همدیگر هستند، تنظیم یک مساله دوهدفه پیشنهاد شده است که بتوان راه‌حل‌های بهینه را از بین گزینه‌های موجود روش پارتو بدست آورد. برای بدست آوردن جواب‌های پاراتویی، روش محدودیت افسیلون بکار گرفته شده است. نتایج مدل مجموعه جواب‌های پاراتویی بهینه را پیشنهاد خواهد کرد و این امکان به تصمیم‌گیران داده می‌شود که بهترین پیکره‌بندی لجستیک امداد را از نقطه نظر خود بیابند.



شکل ۱. طرح کلی زنجیره امداد بلافاصله

۲. امکان تامین کالا از چندین نقطه تامین و نیز چندین مرکز توزیع امداد وجود دارد.
۳. میزان تقاضا و میزان عرضه دارای عدم قطعیت از نوع سناریویی می‌باشد.

فرضیات اصلی مساله به شرح ذیل عنوان می‌گردند:

۱. چندین نقطه تامین، چندین مرکز توزیع امداد، چندین نقطه تقاضا در شبکه وجود دارد.

۴. سه نوع کالای امدادی در نظر گرفته شده است که دارای حجم، قیمت خرید، هزینه نگهداری و هزینه حمل متفاوت هستند.
۵. احتمال وقوع هر سناریو و میزان آسیب هر نقطه تقاضا با توجه به وقوع هر سناریو از قبل معلوم است.
۶. ظرفیت انبارش مراکز توزیع امداد متفاوت در نظر گرفته شده است (کوچک، متوسط و بزرگ) و خود مدل تصمیم می‌گیرد که با توجه به هزینه راه اندازی متفاوت، چه انباری مناسب‌تر است.
۷. ناوگان حمل و نقل جهت ارسال کالا محدودیت خاصی ندارد.

### ۱-۲. شناساگرهای مدل

- با توجه به فرضیات مطرح شده، شناساگرهای مدل عبارتند از:
- $N$  : مجموعه نقاط شبکه  $N = I \cup J \cup K$
- $i$  : مجموعه نقاط تامین  $(i \in I \subset N, i=1..I)$
- $j$  : مجموعه مراکز توزیع امداد  $(j \in J \subset N, j=1..J)$
- $k$  : مجموعه نقاط آسیب‌پذیر  $(k \in K \subset N, k=1..K)$
- $c$  : مجموعه کالاهای امدادی
- $l$  : مجموعه اندازه‌های مراکز توزیع امداد (کوچک، متوسط و بزرگ)
- $s$  : مجموعه سناریوهای محتمل  $(s \in S, s=1..S)$
- $M$  : یک عدد بسیار بزرگ
- $h_{kc}$  : دیده  $k$
- $v_c$  : نیازمندی فضا به ازای هر واحد کالای امدادی  $c$  در مرکز توزیع  $j$
- $cap_j$  : ظرفیت مرکز توزیع در اندازه  $l$  ( $m^3$ )
- $Z_{jl}$  : اگر مرکز توزیع امداد  $j$  در اندازه  $l$  ساخته شود برابر یک است و در غیر اینصورت برابر با صفر.
- $M$  : یک عدد بسیار بزرگ
- $p_s$  : احتمال وقوع هر سناریو
- $c_{jkcs}$  : هزینه حمل و نقل کالای امدادی  $c$  برای حمل از نقطه  $j$  به نقطه  $k$  تحت سناریوی  $s$
- $S_{ics}$  : ظرفیت تامین کالای امدادی  $c$  از نقطه تامین  $i$  تحت سناریوی  $s$
- $d_{kcs}$  : میزان تقاضای نقطه آسیب‌دیده  $k$  برای کالای امدادی  $c$  تحت سناریوی  $s$
- $X_{jkcs}$  : مقدار کالای امدادی  $c$  منتقل شده از نقطه  $j$  به نقطه  $k$  تحت سناریوی  $s$
- $B_{kcs}$  : میزان کمبود کالای امدادی  $c$  در نقطه آسیب‌دیده  $k$  تحت سناریوی  $s$
- $I_{kcs}$  : میزان موجودی کالای امدادی  $c$  در مرکز توزیع  $j$  تحت سناریوی  $s$

### ۲-۳. مدل قطعی لجستیک امداد

یک مدل ریاضی قطعی برای مساله طراحی لجستیک امداد به صورت زیر فرموله شده است:

### ۲-۲. پارامترها و متغیرهای مدل

پارمترها و متغیرهای مدل عبارتند از:

- $f_{jl}$  : هزینه راه‌اندازی مرکز توزیع امداد  $j$  در اندازه  $l$
- $\pi_{kc}$  : هزینه کمبود کالای امدادی  $c$  در نقطه آسیب‌دیده  $k$

$$\text{Min } Z = \sum_{j \in J} f_j . Z_j + \sum_{(j,k) \in A,c} c_{jkcs} . X_{jkcs} + \sum_{k \in K,c} h_{kc} . I_{kc} + \sum_{k \in K,c} \pi_{kc} . B_{kc} \quad (1)$$

در مدل بالا، تابع هدف (۱) کل هزینه‌های لجستیکی را کمینه می‌کند. این هزینه‌ها شامل هزینه راه‌اندازی مراکز توزیع امداد، هزینه‌های حمل‌ونقل، هزینه‌های کمبود و نگهداری می‌شود. محدودیت (۲) معادله جریان کالای  $c$  در میان مراکز توزیع امدادی  $j$  را بیان می‌کند؛ به عبارتی نوعی محدودیت تعادل است که بیان می‌کند جریان کالای  $c$  از تامین‌کننده  $i$  به مرکز توزیع  $j$  برابر است با جریان کالای  $c$  از مرکز توزیع  $j$  به نقطه آسیب‌دیده  $k$ . محدودیت (۳) الزام می‌کند که جریان کالای  $c$  به نقطه آسیب‌دیده  $k$  به اضافه کسری کالای امدادی منهای موجودی باقیمانده باید برابر با تقاضای آن نقطه آسیب‌دیده باشد. محدودیت (۴) تضمین می‌کند که کل جریان کالای  $c$  از نقطه تامین‌کننده  $i$  باید کمتر از موجودی

$$\sum_{i \neq j \in N} X_{ijc} = \sum_{k \neq i \in N} X_{jkc} \quad \forall j \in J, c \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} X_{jkc} - d_{kc} = I_{kc} - B_{kc} \quad \forall k \in K, c \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} X_{ijc} \leq s_{ic} \quad \forall i \in I, c \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N,c} v_c . X_{ijc} \leq Cap_j . Z_j \quad \forall j \in J \quad (5)$$

$$Z_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (6)$$

$$X_{jkcs} \geq 0 \quad \forall (j,k) \in A \quad (7)$$

$$I_{kc}, B_{kc} \geq 0 \quad \forall k \in K$$

غیرقطعی تعیین شوند. از سوی دیگر متغیرهای تصمیم مرتبط با جریان کالاهای حمل شده در بین گره‌های شبکه، اضافه و کسری در نقاط آسیب‌دیده به عنوان متغیرهای مرحله دوم در نظر گرفته شده‌اند. تابع هدف معمولاً از حاصل جمع عملکرد مرحله اول و عملکرد موردانتظار مرحله دوم بدست می‌آید.

برای توسعه مدل، تابع هدف بیشینه‌سازی رضایت‌مندی نقاط آسیب به مدل قطعی لجستیک امداد تک‌هدفه اضافه شده است. با در نظر گرفتن تابع هدف جدید که بصورت بیشینه-کمینه در نظر گرفته شده، مدل پیشنهادی به صورت یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی درمی‌آید. همچنین در مدل پیشنهادی فرض شده است که برخی از تامین‌کنندگان بخشی از توانایی خود را در تامین از دست می‌دهند. در این مقاله عدم قطعیت در تقاضاها، عرضه‌ها، هزینه‌ها با مجموعه‌ای از سناریوها با احتمال رخداد معین نشان داده شده است. دشواری توزیع‌های پیوسته با تعریف سناریوهای مشخص یا ترکیب نمونه‌های مشخص از همه پارامترها برطرف شده است. سناریوها با یکدیگر و با احتمال رخدادشان باید داده‌های ورودی به مدل را فراهم کنند. مقداری متفاوت برای جمع هزینه‌های مرحله اول و دوم به ازای واقعی‌سازی پارامترهای نامعین بدست خواهد داد. مدل پیشنهادی بیشینه‌سازی رضایت‌مندی مورد انتظار و کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های مرحله اول و هزینه‌های مورد انتظار مرحله دوم را مدنظر دارد.

آن نقطه باشد. محدودیت (۵) محدودیت ظرفیت مراکز توزیع امداد است. محدودیت ظرفیت الزام می‌کند که کل میزان کالای قابل نگهداری برای همه کالاهای امدادی در مرکز توزیع امداد از در صورت راه‌اندازی مرکز آن توزیع، باید از ظرفیت مرکز توزیع کمتر باشد و اگر مرکز توزیع ساخته نشود ( $Z_j=0$ ) این محدودیت مدل را مجبور می‌کند که مقدار همه متغیرهای جریان ( $X_{ijc}$ ) را برابر صفر قرار دهد. محدودیت‌های (۶) و (۷)، محدودیت‌های غیرمنفی بودن، صفر و یک و عددصحیح بودن متغیرهای مساله است. در بخش بعدی یک رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی پیشنهاد داده خواهد شد که یک مدل دو مرحله‌ای تحت شرایط عدم قطعیت تقاضا، عرضه، و هزینه‌ها است.

### ۳. مدل بهینه‌سازی دوهدفه لجستیک امداد در حالت

#### غیرقطعی

در یک رویکرد بهینه‌سازی تصادفی دو مرحله‌ای، متغیرهای تصمیم در دو مرحله طبقه‌بندی می‌شوند: متغیرهای مرحله اول، آن دسته از متغیرهایی هستند که قبل از در نظر گرفتن عدم قطعیت در مدل لحاظ می‌شوند (نظیر متغیرهای راه‌اندازی مرکز توزیع امداد) و متغیرهای مرحله دوم آن دسته از متغیرهایی هستند که بعد از در نظر گرفتن عدم قطعیت به مدل اضافه می‌شوند (نظیر متغیرهای میزان حمل در صورت وقوع حالات مختلف پارامترهای غیرقطعی). متغیرهای مرحله اول در مرحله طراحی، قبل از پارامترهای

$$\text{Max } Z_1 = \sum_s p_s \cdot \left( \sum_c \min_{k \in K} \left\{ \frac{\sum_{j \in J} X_{jkcs}}{d_{kcs}} \right\} \right) \quad (8)$$

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{j \in J, l} f_{jl} \cdot Z_{jl} + \sum_s p_s \cdot \left( \sum_{(j,k) \in A, c, s} c_{jkcs} \cdot X_{jkcs} + \sum_{k \in K, c, s} h_{kcs} \cdot I_{kcs} + \sum_{k \in K, c, s} \pi_{kcs} \cdot B_{kcs} \right) \quad (9)$$

$$\sum_{i \neq j \in N} X_{ijcs} = \sum_{k \neq i \in N} X_{jkcs} \quad \forall j \in J, c, s \quad (10)$$

$$\sum_{j \in N} X_{jkcs} - d_{kcs} = I_{kcs} - B_{kcs} \quad \forall k \in K, c, s \quad (11)$$

$$\sum_{j \in N} X_{ijcs} \leq s_{ics} \quad \forall i \in I, c, s \quad (12)$$

$$\sum_{i \in N, c} v_c \cdot X_{ijcs} \leq \sum_l \text{Cap}_{jl} \cdot Z_{jl} \quad \forall j \in J, s \quad (13)$$

$$\sum_l Z_{jl} \leq 1 \quad \forall j \in J \quad (14)$$

$$Z_{jl} \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (15)$$

$$X_{jkcs} \geq 0 \quad \forall (j, k) \in A \quad I_{kcs}, B_{kcs} \geq 0 \quad \forall k \in K \quad (16)$$

بازه بین دو مقدار بهینه توابع هدف فرعی، به تعداد از قبل مشخص تقسیم بندی می‌شود و یک جدول مقادیر برای  $E_1, \dots, E_n$  به دست می‌آید.

هر بار مساله با تابع هدف اصلی با هر یک از مقادیر  $E_1, \dots, E_n$  حل می‌شود. برای مسائل بیش از دو هدف بایستی برای هر کدام از توابع هدف فرعی مقادیر  $E$  مشخص شود و مساله با تمام حالات ممکن حل شود.

جواب‌های پارتویی یافته شده گزارش می‌شود.

#### ۵. نتایج محاسباتی

در این بخش، مثال عددی جهت تصدیق مدل برنامه‌ریزی تصادفی دوهدفه پیشنهادی و نشان دادن کارایی مدل در اجرای مطالعات موردی ارائه می‌گردد. مدل ارائه شده تلاش می‌کند تا هزینه‌های مورد انتظار را کمینه و همچنین میزان رضایت‌مندی در همه نواحی را بیشینه نماید. تصمیماتی که با حل این مساله بدانها پاسخ داده خواهد شد:

الف) کدامیک از مراکز توزیع امداد جهت نگهداری کالاهای امدادی راه‌اندازی شوند؟ (متغیرهای مرحله اول)

ب) مقدار انتقال در بین نهادهای شبکه، میزان کمبود و میزان موجودی هر منطقه آسیب‌دیده به چه میزان باشد؟ (متغیرهای مرحله دوم).

#### ۵-۱. داده های مثال

شهر تهران به دلایل جمعیت زیاد، موقعیت سیاسی، اقتصادی و اجتماعی خود و همچنین عدم رعایت نکات ایمنی در ساخت و فریب‌الوقوع بودن زلزله، به هنگام زلزله بسیار آسیب‌پذیر نشان می‌دهد. لذا برنامه‌ریزی برای امدادسانی در زمان بحران از جمله فعالیت‌های ضروری پیش از بحران است. این شهر دارای توان لرزه‌ای بالا و با گسل‌های فعال و متعدد است. مبنای تعیین سناریوهای در این مقاله گسل‌های تهران می‌باشند. بر اساس گزارش گروه جایکا [۲۵ - ۲۶]، محتمل‌ترین گسل‌های خطرناک کلان‌شهر تهران، گسل مشا، گسل شمال تهران و گسل جنوب ری می‌باشند. همچنین مطابق این گزارش، ممکن است گسل‌های پنهان در زیر لایه‌های رسوبی شهر تهران وجود داشته باشد و در چنین صورتی تعیین مکان دقیق آن‌ها دشوار و همچنین احتمال رویداد در هر جای شهر یکسان خواهد بود لذا گسلی تحت عنوان گسل شناور برای این امر در نظر گرفته شد. ۴ گسل فوق به عنوان ۴ سناریو زلزله محتمل، در این تحقیق مورد استفاده قرار خواهد گرفت. احتمالات وقوع هر یک از سناریوها، بر اساس کسب اطلاعات از خبرگان امر زلزله متناسب با طول هر گسل و به ترتیب برابر گسل مشا، ۰/۴۱، گسل شمال، ۰/۳۵، گسل ری، ۰/۱۶ و گسل شناور، ۰/۰۸ تعیین شدند.

تابع هدف (۸) مربوط به رضایت‌مندی نقاط آسیب‌دیده و تابع هدف (۹) مربوط به هزینه کل مورد انتظار شامل مجموع هزینه‌های مرحله اول و هزینه‌های مورد انتظار مرحله دوم است. محدودیت (۱۴) بر این موضوع تأکید دارد که اگر مرکز زام ساخته شود تنها می‌تواند در یکی از اندازه‌های ممکن ساخته شود ( $l=1,2,\dots,L$ ).

#### ۴. رویکرد حل پیشنهادی

مدل نهایی شامل دو تابع هدف می‌باشد که می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$(17) \quad \text{Maximizing } \{ \text{هزینه} \}, \text{ رضایت‌مندی}$$

حل مسائل چند هدفه دارای روش‌های مختلفی می‌باشد. برنامه‌ریزی آرمانی، برنامه‌ریزی تطابقی، روش نقطه مرجع و روش محدودیت اسیلون از جمله شناخته شده ترین این روش‌هاست [۲۳ - ۲۴]. روش محدودیت اسیلون، از جمله روش‌های حل مسائل چند هدفه می‌باشد که تعداد دلخواهی نقطه پارتویی حاصل از موازنه توابع هدف را ارائه می‌دهد. نقاط پارتویی، به مجموعه تمامی راه‌حل‌های موثر یک مساله چندهدفه اطلاق می‌شود. یک راه‌حل موثر، راه‌حلی است که در آن با بهتر شدن مقدار یکی از توابع هدف، برای حداقل یکی دیگر از توابع هدف، مقداری بدتر حاصل شود. در روش محدودیت اسیلون، یکی از تابع هدف‌ها که دارای اهمیت بیشتری است به عنوان تابع هدف اصلی در نظر گرفته می‌شود و سایر تابع هدف‌ها در محدودیت قرار می‌گیرند. برای تولید مجموعه جواب‌های پارتویی مقادیر توابع هدف موجود در محدودیت‌ها به ازای بازه حداکثر و حداقل‌شان تغییر می‌کند. این تغییر توسط تصمیم‌گیرنده صورت می‌گیرد تا بتواند به تعداد دلخواه جواب‌های پارتویی را تولید کند. گام‌های روش محدودیت اسیلون به صورت زیر است:

$$(18) \quad \begin{aligned} \text{Max } f_j(X) \quad & j=1,2,\dots,k \\ g_i(X) \leq 0 \quad & i=1,2,\dots,m \\ X \geq 0 \end{aligned}$$

یکی از توابع هدف  $f_j(X)$  به عنوان تابع هدف اصلی انتخاب می‌شود، که در این مساله هدف اول یعنی کمینه کردن کمبود به عنوان هدف اصلی انتخاب می‌شود.

هر بار با توجه به یکی از توابع هدف، مساله به صورت تک هدفه حل شده و مقادیر بهینه هر تابع هدف و بدترین مقدار برای آن تابع هدف به دست می‌آید. برای محاسبه بدترین مقدار توابع هدف کمینه کردن به بیشینه کردن و بالعکس تغییر خواهد یافت.

شده است. ۳۱ نقطه کاندید، از میان پایگاه پشتیبانی مدیریت بحران شهر تهران [۲۷]، و به کمک نظرات برنامه‌ریزان امر مدیریت بحران و با توجه به معیارهایی همچون نزدیکی به نقاط تقاضا، شدت بحران و استحکام مراکز انتخاب و در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

طبق شکل ۲، ۶ نقطه تامین، ۳۱ نقطه کاندید جهت راه‌اندازی مراکز توزیع امداد و ۲۲ نقطه بالقوه آسیب متناظر با ۲۲ منطقه شهر تهران به عنوان شبکه مفروض در نظر گرفته شده‌اند. ۶ نقطه تامین شامل ترمینال غرب، ترمینال شرق، ترمینال جنوب، ایستگاه راه‌آهن، فرودگاه مهرآباد و فرودگاه امام خمینی(ره) در نظر گرفته

جدول ۱. نقاط کاندید راه‌اندازی مرکز توزیع امداد

منطقه	نقاط کاندید	منطقه	نقاط کاندید
۱۲	میدان امام خمینی	۱	شهرک شهید محلاتی
۱۳	پارک سرخه حصار	۲	سعادت آباد
۱۴	شمال شرقی میدان محلاتی، خ نبرد جنوبی	۳	خ ولیعصر
۱۵	بزرگراه بعثت، بزرگراه امام رضا، خاورشهر	۴	خ مجید افشاری
۱۶	پارک ازادگان، خ رجایی	۵	خ آیت ... کاشانی
۱۷	خ ابوذر، خ زمزم	۶	پارک لاله
۱۸	یافت آباد	۷	خ مطهری
۱۹	عبدل آباد	۸	تهرانپارس، خ دماوند
۲۰	میدان صفائیه، جاده ورامین	۹	جاده کرج
۲۱	وردآورد	۱۰	خ قزوین، خ آزادی
۲۲	شهرک شهید باقری	۱۱	میدان حسن آباد، میدان رازی

خمینی(ره)، ۷۵۰. ظرفیت تامین غذا و چادر نیز برای هر یک از نقاط تامین به ترتیب برابر و یک چهارم ظرفیت تامین آب در نظر گرفته شده است.

سه نوع کالای امدادی آب، بسته‌های غذایی و چادر در نظر گرفته شده‌اند. ظرفیت تامین آب برای ۶ نقطه تامین بصورت زیر است: ترمینال غرب، ۵۰۰، ترمینال شرق، ۴۰۰، ترمینال جنوب، ۴۵۰، ایستگاه راه آهن، ۶۰۰، فرودگاه مهرآباد، ۶۸۰، فرودگاه امام



شکل ۲. نقشه مثال عددی: نقاط تامین (Supplier)، مراکز توزیع امداد (RDC) و نقاط آسیب (AA)



**جدول ۳. هزینه حمل و حجم مورد نیاز هر کالا**

حجم مورد نیاز (m <sup>3</sup> )	هزینه حمل (10 <sup>3</sup> \$/km)	کالای امدادی (10 <sup>3</sup> units)
4	2.7	آب
2	1	غذا
120	5.4	چادر

هزینه راه‌اندازی مرکز توزیع امداد شامل هزینه‌های احداث، تأسیسات و تهیه امکانات اولیه که وابسته به ظرفیتش می‌باشد، در جدول ۲ آورده شده است. در جدول ۳، حجم مورد نیاز برای هر ۱۰۰۰ واحد کالا و همچنین هزینه حمل هر ۱۰۰۰ واحد کالا به واحد فاصله حمل شده آمده و در همه سناریو با هم برابر فرض شده است.

هزینه نگهداری هر واحد کالای امدادی آب، غذا و چادر به ترتیب برابر ۲۰۰، ۴۰۰۰ و ۳۰۰۰۰ دلار و برای همه سناریو برابر فرض شده است. هزینه کمبود هر واحد کالا، ۱۰ برابر هزینه نگهداری فرض شده است. در جدول ۴، میزان تقاضای آب و غذا در نقاط آسیب‌دیده آمده است. میزان تقاضا با توجه به جمعیت هر منطقه و میزان آسیب‌پذیری آن به ازای زلزله ناشی از هر یک از سناریوها می‌باشد. تقاضا برای چادر یک چهارم تقاضای آب فرض شده است.

**جدول ۲. هزینه راه‌اندازی مراکز توزیع امداد**

اندازه	هزینه راه‌اندازی (10 <sup>3</sup> \$/)	ظرفیت (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )
کوچک	۱۵۰	۵
متوسط	۲۸۰	۱۲
بزرگ	۴۵۰	۲۰

**جدول ۴. میزان تقاضای کالا برای نقاط آسیب (103units)**

سناریو/منطقه	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
مشا	1761	941	1416	3666	470	855	1247	1179	237	560	2280
شمال	21048	17871	15435	22916	18326	4716	6506	7125	2820	5552	7692
ری	4079	13218	7781	10166	8652	9776	19226	21915	14633	32975	47453
شناور	14372	24207	17853	32706	19460	10242	16353	18260	12000	23667	27981
سناریو/منطقه	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
مشا	4643	899	1898	2762	1710	1403	947	197	876	156	362
شمال	11583	3921	6287	10766	6320	5150	3933	2199	4196	2642	2310
ری	55587	15468	34452	76460	44598	42821	36819	24708	45282	7164	977
شناور	40896	14327	27743	41648	26261	23933	19578	9768	21311	6786	2859

PC Pentium IV-2.33 GHz and 2 GB RAM DDR 3 under win XP SP3 اجرا شد. در مقاله حاضر تابع هدف اول به جهت اهمیت هدف بشردوستانه در لجستیک امداد به عنوان هدف اصلی در نظر گرفته شده است. در نتیجه مدلی تک‌هدفه برای تولید مجموعه جواب‌های پارتویی به صورت زیر بدست می‌آید:

**۵-۲. نتایج محاسباتی**

در این بخش، سعی شده است تا با استفاده از روش محدودیت آپسیلون جواب‌های پارتویی ارائه شود تا تصمیم‌گیرنده بتواند از بین جواب‌های موجود تصمیم‌گیری نماید. مثال عددی بیان شده با استفاده از نرم افزار LINGO 10 بر روی کامپیوتری با مشخصات

$$\text{Max } Z_1 = \sum_s p_s \cdot \left( \sum_c \min_{k \in K} \left\{ \frac{\sum_{j \in J} X_{jkcs}}{d_{kcs}} \right\} \right) \quad (19)$$

s.t.

$$\sum_{j \in J, l} f_{jl} \cdot Z_{jl} + \sum_s p_s \cdot \left( \sum_{(j,k) \in A, c, s} c_{jkcs} \cdot X_{jkcs} + \sum_{k \in K, c, s} h_{kcs} \cdot I_{kcs} + \sum_{k \in K, c, s} \pi_{kcs} \cdot B_{kcs} \right) \leq \varepsilon \quad (20)$$

می‌دهد که با توجه به هزینه‌زا بودن تامین و ارسال کالاهای امدادی بیشتر برای نقاط تقاضا، روند حاصل شده از اجرای مدل منطبق بر واقعیت بوده و نشان از صحت عملکرد مدل دارد.

واضح است که مساله فوق، از نوع مسائل غیرخطی می باشد. معادله (۱۹) را با معادلات زیر جایگزین می‌نماییم تا یک مدل کاملاً خطی داشته باشیم:

جدول ۵. جواب‌های پارتویی حاصل از اجرای مدل

No.	Z1	Z2
1	3	210
2	2.75	200
3	2.5	195
4	2.25	187
5	2	185
6	1.75	182
7	1.5	179
8	1.25	176
9	1	173
10	0.75	172
11	0.5	169
12	0.25	167
13	0	163

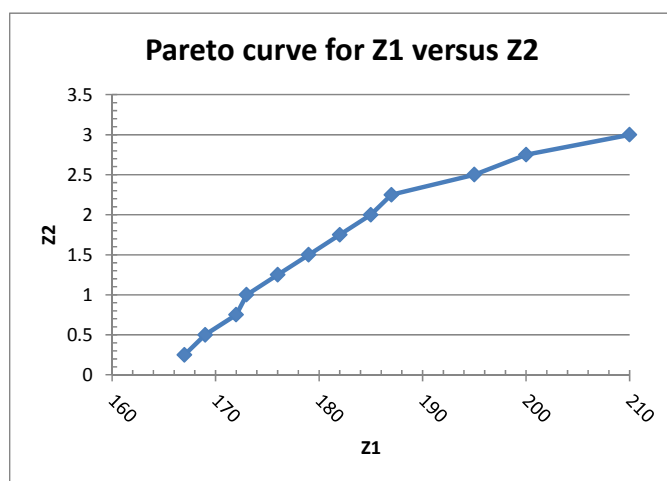
$$\text{Max } Z_1 = \sum_{s,c} p_s W_{cs} \quad (21)$$

s.t.

$$W_{cs} \leq \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j \in I} X_{jkcs} \\ d_{kcs} \end{array} \right\} \quad \forall k, c, s \quad (22)$$

$$W_{cs} \geq 0 \quad \forall c, s \quad (23)$$

جدول (۵) نتایج حاصل از اجرای مدل را برای ۱۳ نقطه پارتویی نشان می‌دهد. جواب شماره ۱ بهترین جواب تابع هدف اول (رضایت‌مندی) و بدترین جواب تابع هدف دوم (هزینه) را شامل شده و جواب شماره ۱۳ بهترین جواب تابع هدف دوم و بدترین جواب تابع هدف اول را نشان می‌دهد. همانطور که جدول (۵) نشان می‌دهد با بهبود وضعیت تابع هدف دوم، مقدار تابع هدف اول وضعیت بدتری را به خود می‌گیرد و بالعکس. روند نشان داده شده در شکل (۳) نیز تعارض بین دو تابع هدف ارائه شده را نشان



شکل ۳. مجموعه راه‌حل‌های موثر

قطعاً باید حل شود و سپس امید ریاضی تابع هدف با توجه به احتمال هر سناریو محاسبه شود. از طرف دیگر، مقدار تابع هدفی که از طریق حل رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی (SP) بدست آمد می‌تواند به عنوان حالت اطلاعات ناکامل در نظر گرفته شود. امید ریاضی اطلاعات کامل (EVPI) بصورت زیر قابل محاسبه است:

$$EVPI = SP - WS \quad (24)$$

### ۵-۳. تاثیر عدم قطعیت

به منظور نشان دادن صحت و دقت عملکرد رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی در این مقاله نسبت به حالت قطعی، امید ریاضی در حالت اطلاعات کامل محاسبه شد. اگر اطلاعات کاملی از وقوع درباره وقایع آتی از قبل در دسترس باشد آنگاه یک تصمیم بهینه برای هر سناریو قابل اتخاذ است [۲۸]. حل (WS) wait and see به عنوان امید ریاضی توابع هدف متناسب با جواب‌های بهینه سناریوها تعریف می‌شود. این بدان معناست که ابتدا هر سناریو به عنوان یک مدل

مسیریابی وسایل نقلیه). (۲) در نظر گرفتن وسیله حمل گوناگون و در قبال آن در نظر گرفتن هزینه حمل متفاوت به ازای هر یک از این وسایل. (۳) در نظر گرفتن فرض خرابی تسهیلات و راه‌های ارتباطی با وقوع بحران. (۴) از آنجایی که این مساله در ساده‌ترین حالتش، به مدل‌های مکان‌یابی - تخصیص بدون محدودیت ظرفیت مربوط می‌شود و این مسائل نیز جزو دسته مسائل از نوع NP-Hard می‌باشند [۲۹ و ۳۰]، لذا برای مسائل با اندازه بزرگ، خصوص مواردی که افزایش همزمان در تعداد مراکز توزیع امداد و تقاضا، تعداد کالاهای اضطراری و یا تعداد سناریو داشته باشیم، درجه پیچیدگی مساله افزایش می‌یابد لذا بکارگیری روش‌های ابتکاری یا فراابتکاری موثر توصیه می‌شود.

### مراجع

- [1] Douglas L. Logistics for disaster relief, IIE Solutions, (1997), pp. 26-29.
- [2] Balcik B, Beamon BM. Facility location in humanitarian relief, International Journal of Logistics, Research and Applications, (2008), Vol. 11, No. 2, pp. 101-121.
- [3] Akkihal A. Inventory pre-positioning for humanitarian operations, Thesis for Degree of Master of Engineering in Logistics, MIT CTL, (2006).
- [4] Brotcorne L, Laporte G, Semet F. Ambulance location and relocation models, European Journal Operational Research, (2003), Vol. 147, No. 3, pp. 451-463.
- [5] Van Wassenhove LN, Martinez AJP. Using OR to adapt supply chain management to humanitarian logistics, International Transactions in Operational Research - ITOR, DOI: 10.1111/j.1475-3995.2010.00792.x, (2011).
- [6] Altay N, Green WG. OR/MS research in disaster operations management, European Journal Operational Research, (2006), Vol. 175, No.1, pp. 475-493.
- [7] Rawls CG, Trunquist MA. Pre-positioning of emergency supplies for disaster response, Transportation research part B: Methodological, (2010), Vol. 44, No. 4, pp. 521-534.
- [8] Bakuli DL, Smith JM. Resource allocation in state-dependent emergency evacuation networks, European Journal of Operational Research, (1996), Vol. 89, No. 3, pp. 543-555.

جدول (۶) امید ریاضی اطلاعات کامل را برای ۵ جواب پارتویی نشان می‌دهد. در هر جواب مقدار تابع هدف دوم برای سناریوهای مختلف ثابت در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که EVPI منفی است بخاطر اینکه مقدار SP بزرگتر از WS می‌باشد. از آنجایی که تابع هدف اول از نوع بیشینه-کمینه می‌باشد لذا مقادیر بزرگتر بهتر است. لذا رویکرد برنامه ریزی تصادفی عملکرد بهتری از رویکرد حل با اطلاعات کامل را دارد. به عبارت دیگر، اگر تصمیم گیرنده منتظر باشد و مقادیر متغیرها را بعد از تحقق سناریوها تعیین نماید در این حالت مقدار تابع هدف اول (میزان رضایتمندی مناطق آسیب‌دیده) مقدار بهتری را گزارش خواهد کرد.

جدول ۶. ارزش انتظاری اطلاعات کامل

No	Expected value (WS)	Stochastic programming (SP)	EVPI
1	197.5	200	2.5
2	185.5	187	1.5
3	180	182	2
4	173	176	3
5	170	172	2

### ۶. نتیجه‌گیری و پیشنهاد تحقیقات آتی

در این تحقیق، یک مدل برنامه تصادفی دوهدفه برای سیستم لجستیک امداد بلایا با در نظر گرفتن همزمان دو فاز آمادگی و پاسخ ارائه شد. رویکرد پیشنهادی شامل دو گام بود: در گام اول، مکان مراکز توزیع امداد تعیین می‌شد و سپس در گام بعد در رابطه با میزان حمل از مراکز توزیع امداد به مناطق آسیب‌دیده تحت سناریوهای مختلف تصمیم‌گیری صورت می‌گرفت. مدل دوهدفه شامل بیشینه‌سازی رضایت‌مندی نقاط آسیب و کمینه‌سازی هزینه مورد انتظار بود. مدل فرضیات اساسی زیر را در نظر گرفته می‌گیرد: عدم قطعیت در تقاضا، تامین، هزینه‌ها و عدم قطعیت در مکان‌هایی که ممکن است تقاضا رخ دهد. در نهایت، برای حل مدل پیشنهادی، از روش محدودیت افسیلون استفاده شد که جواب‌های پارتویی را تولید می‌کند. برای نشان دادن کارایی و مفید بودن مدل و روش حل پیشنهادی، مثال عددی از شهر تهران مبتنی بر تعدادی سناریوی بحران ارائه شد. نتایج محاسباتی بدست‌آمده نشان می‌دهد که مدل در مواجهه با عدم قطعیت کارتر عمل می‌کند. اعتقاد بر این است که مدل ارائه شده می‌تواند متدولوژی کارا و معتبری برای برنامه ریزی و مدیریت توزیع امداد در یک محیط عدم قطعیت عرضه کند.

از جمله مواردی که می‌توان برای تحقیقات آتی مدنظر قرار داد: (۱) طراحی شبکه‌های زنجیره تامین امداد یکپارچه با ملاحظه اهداف تاکتیکی (نظیر مدیریت موجودی) و عملیاتی (نظیر

- [20] Mulvey JM, Vanderbei RJ, Zenios SA. Robust optimization of large-scale systems, *Operations Research*, (1995), Vol. 43, No. 2, pp. 264-281.
- [21] Kouvelis P, Yu G. Robust discrete optimization and its applications, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, (1997).
- [22] Mete OH, Zabinsky ZB. Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management, *International Journal of Production Economics*, (2010), Vol. 126, No. 1, pp. 76-84.
- [23] Romero C, Tamiz M, Jones DF. Goal programming, compromise programming and reference point method formulations: linkages and utility interpretations, *Journal of Operational Research Society*, (1998), Vol. 49, No. 9, pp. 986-991.
- [24] Haimes YY, Lasdon LS, Wismer DA. On a bicriterion formulation of the problems of integrated system identification and system optimization, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, (1971), Vol. 1, pp. 296-297.
- [25] JICA, CEST. The study on seismic microzoning of the greater Tehran area in the Islamic republic of Iran, Draft Final Report, September (2000).
- [26] TDMMC-JICA. The comprehensive master plan study on urban seismic disaster prevention and management for the Greater Tehran are in the Islamic Republic of Iran, August (2004).
- [27] [Http://tdmmo.tehran.ir](http://tdmmo.tehran.ir).
- [28] Döyen A, Aras N, Barbarosoğlu G. A two-echelon stochastic facility location model for humanitarian relief logistics, *Optimization Letters*, (2011), Vol. 6, No. 6, pp. 1123-1145.
- [29] Megiddo N, Supowit KJ. On the complexity of some common geometric location problems, *SIAM Journal on Computing*, (1984), Vol. 13, pp. 182-196.
- [30] Shahsavari A, Taghavifard M. Solving multi-objective location-allocation problems using simulated annealing, *IJIEPM*, (2008), Vol. 19, No. 4, pp. 93-105.
- [9] Jia H, Ordonez F, Dessouky M. A modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies, *IIE Transactions*, (2007)a, Vol. 39, No. 1, pp. 41-55.
- [10] Yi W, Kumar A. Ant colony optimization for disaster relief operations, *Transportation Research Part E*, (2007), Vol. 43, pp. 660-672.
- [11] Tzeng GH, Cheng HJ, Huang TD. Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems, *Transportation Research Part E*, (2007), Vol. 43, No. 6, pp. 673-686.
- [12] Sheu JB. An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters, *Transport Research part E*, (2007), Vol. 43, No. 6, pp. 687-709.
- [13] Vitoriano B, Ortuno MT, Tirado G, Montero J. A multi - criteria optimization model for humanitarian aid distribution, *Journal Global Optimum*, DOI 10.1007/s10898-010-9603-z, (2010).
- [14] Barbarosoglu G, Arda Y. A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response, *Journal of the Operational Research Society*, (2004), Vol. 55, pp. 43-53.
- [15] Chang MS, Tseng YL, Chen JW. A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty, *Transportation Research Part E*, (2007), Vol. 43, No. 6, pp. 737-754.
- [16] Jabalameli MS, Bozorgi-Amiri A, Heydari M. A multi-objective possibilistic programming model for relief logistics problem, *International Journal of Industrial Engineering & Production Research, IJIEPM*, (2011), Vol. 22, No. 1, pp. 66-76.
- [17] Leung SCH, Chan SSW. A goal programming model for aggregate production planning with resource utilization constraint, *Computers & Industrial Engineering*, (2009), Vol. 56, No. 3, pp. 1053-1064.
- [18] Cheng L, Subrahmanian E, Westerberg AW. Design and planning under uncertainty: Issues on problem formulation and solution, *Computers & Chemical Engineering*, (2003), Vol. 27, pp. 781-801.
- [19] Eshghi K, Najafi M. A logistics planning model to improve the response phase of earthquake, *IJIEPM*, (2013), Vol. 23, No. 4, pp. 401-416.