



An Integrated Mathematical Model for Relief Logistics with Considering Reliability (Case Study: Earthquake Disaster in Tehran City)

Mona Asadi, Mohammad Ali Shafia* & Saeed Yaghoubi

Mona Asadi, Industrial Engineering dept., Iran University of Science and Technology,

Mohammad Ali Shafia, Industrial Engineering dept., Iran University of Science and Technology

Saeed Yaghoubi, Industrial Engineering dept., Iran University of Science and Technology

Keywords

**Reliability,
Dynamic demand,
Multi-objective
optimization,
Earthquake of Tehran,
Emergency management.**

ABSTRACT

Natural disasters cause deaths of thousands and affect millions of people every year. Thus, we should think about disaster preparedness planning to reduce the impact of them. Location of distribution centers and allocation of affected people to these centers are very important in emergency management, because they cause to reduce the relief time and damages caused by the disasters. This paper aims to locations of distribution centers and allocation of affected area to these centers by considering dynamic and uncertain demands, to reduce cost and increase reliability. At this article the reliability is considered as the backup depots, probability of failures for the routes and depots, and as a separate objective. Also uncertainty is displayed as a scenario and allocation of established depots are done according to different scenarios. A case study about earthquake in Tehran city is selected and implemented in the model to evaluate and validate the proposed model. Result shows that we can increase the satisfied demands and reliably by using the proposed model which has a significant important in emergency management.

© 2017 IUST Publication, IJIEPM Vol. 28, No. 1, All Rights Reserved



ارائه یک مدل یکپارچه لجستیک امداد با در نظر گرفتن تسهیلات پشتیبان (مطالعه موردی: زلزله در شهر تهران)

مونا اسدی، محمد علی شفیعا* و سعید یعقوبی

چکیده:

هر ساله بلایای طبیعی جان هزاران نفر را گرفته و میلیون‌ها انسان را آواره می‌کند. بنابراین برای کاهش خسارات ناشی از آن‌ها، باید قبل از وقوع بلایا به فکر برنامه‌ریزی صحیح جهت مقابله با بحران باشیم. مکان‌یابی مراکز توزیع و تخصیص افراد حادثه‌دیده به این مراکز، از مسائل مهم در مدیریت بحران است، زیرا باعث کاهش زمان امدادسانی شده و آسیب‌های ناشی از بحران را کاهش می‌دهد. هدف این مقاله مکان‌یابی انبارهای توزیع و تخصیص نقاط آسیب‌دیده به این تسهیلات با در نظر گرفتن تقاضا به شکل پویا و غیرقطعی است، به گونه‌ای که علاوه بر کاهش هزینه‌ها، قابلیت اطمینان نیز افزایش یابد. در این مقاله، قابلیت اطمینان به صورت انبارهای پشتیبان، احتمال خرابی مسیرها و انبارها و همچنین در قالب یک هدف جداگانه در نظر گرفته شده است. همچنین عدم قطعیت به شکل سناریو دیده شده و تخصیص انبارهای احداث شده، بر پایه‌ی سناریوهای مختلف صورت می‌گیرد. جهت ارزیابی و اعتبارسنجی مدل ارائه شده، زلزله در شهر تهران به عنوان مطالعه موردی انتخاب و بر روی مدل پیاده‌سازی شده است. نتایج نشان می‌دهد با اجرای مدل پیشنهادی، می‌توان علاوه بر افزایش تقاضای پاسخ داده شده، به قابلیت اطمینان بالایی دست یافت که این مسئله در مدیریت بحران بسیار حائز اهمیت است.

کلمات کلیدی

قابلیت اطمینان،
 تقاضای پویا،
 بهینه‌سازی چندهدفه،
 زلزله تهران،
 مدیریت بحران

۱. مقدمه

امروزه بلایای طبیعی بخشی از زندگی روی سیاره زمین شده و انسان‌ها با وجود پیشرفت‌های علمی، قادر به جلوگیری یا پیش‌بینی دقیق آن‌ها نیستند. در سال‌های اخیر، فجایع طبیعی بارها در مقیاس بزرگ رخ داده و منجر به تلفات سنگین و از بین رفتن زیرساخت‌هایی مانند برق، شبکه حمل و نقل و ارتباطات شده است. چگونگی پاسخ فوری و موثر و برنامه‌ریزی جهت به حداقل رساندن عواقب چنین رویدادهای شدیدی، تبدیل به مهمترین مسئله در سراسر جهان شده است [۱]. فاصله‌ی زمانی میان وقوع یک فاجعه

تاریخ وصول: ۹۵/۲/۲۵

تاریخ تصویب: ۹۵/۹/۲۹

مونا اسدی، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران،
monaasadi86@gmail.com

*نویسنده مسئول مقاله: محمد علی شفیعا، دانشکده مهندسی صنایع،
 دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران،
omidshafia@iust.ac.ir

سعید یعقوبی، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران،
yaghoubi@iust.ac.ir

و پاسخ به آن، باید بسیار کوتاه بوده تا باعث حفظ جان انسان‌ها شود و با توجه به این مسئله و وجود عدم قطعیت در بحران، برنامه‌ریزی قبل از فاجعه کاری بسیار دشوار است. جایابی اقلام امدادی و توزیع آن‌ها به شکل موثر در نواحی آسیب‌دیده پس از بحران، ابزاری مفید برای مقابله با مسئله در نظر گرفته شده است [۲]. نزدیک بودن کالاهای امداد جهت توزیع به مناطق مصرف، یکی از مهمترین استراتژی‌های لجستیک برای کاهش زمان تحویل و هزینه‌های عملیاتی است. با وجود نیاز به سرمایه‌گذاری اضافی قبل از رویداد؛ مکان‌یابی تسهیلات امداد پیش از وقوع بحران، نه تنها باعث پاسخ سریعتر به فاجعه می‌شود، بلکه برنامه‌ریزی بهتر تدارکات و بهبود هزینه‌های توزیع را به دنبال خواهد داشت [۳]. در این راستا در نظر گرفتن قابلیت اطمینان بسیار حائز اهمیت بوده و تقاضای برآورده نشده را به شدت کاهش می‌دهد. در نظر گرفتن تسهیلات پشتیبان از جمله راهکارهای بالا بردن قابلیت اطمینان است که در صورت عدم توانایی انبار اولیه جهت سرویس‌دهی، کالای امداد را به نقاط تقاضا ارسال می‌کند.

همچنین با توجه به ماهیت بلایای طبیعی که می‌تواند باعث خراب شدن سازه‌ها و مسدود شدن مسیرها شود، در نظر گرفتن احتمال خرابی انبارها و بسته شدن مسیرها در مدل، قابلیت اطمینان را افزایش می‌دهد.

موقعیت جغرافیایی کشور ایران علی‌رغم بهره‌مندی از منابع و ثروت طبیعی و زیرزمینی، سبب قرارگرفتن آن در معرض یکی از مخرب‌ترین و در عین حال غیرقابل پیش‌بینی‌ترین پدیده‌های طبیعی یعنی زلزله شده است. مخاطرات بالقوه‌ی این امر برای کلان‌شهر تهران با توجه به تراکم سکونت حدود ۱۵ درصد از جمعیت کشور و سرمایه و تولید با سهمی در حدود ۴۰ درصد از تولید ناخالص ملی، دارای ابعادی بسیار گسترده‌تر بوده و لزوم لحاظ نمودن این رویکردها در فرآیند توسعه برای کاهش خطرپذیری آن را نشان می‌دهد. بنابراین در این تحقیق، کلان‌شهر تهران به عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده است.

ساختار مقاله به این صورت است: در بخش ۲، ادبیات موضوع با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان و مکان‌یابی تسهیلات امداد مرور شده است. در بخش ۳، پس از بیان مفروضات، پارامترها و متغیرها، یک مدل دودسته‌ی مکان‌یابی-تخصیص انبارهای امداد ارائه شده است. در ادامه مقاله در بخش ۴، مدل بر اساس مطالعه موردی اجرا و نتایج محاسباتی بیان شده و اعتبارسنجی صورت گرفته است. در بخش آخر، نتیجه‌گیری و بحث و پیشنهادات جهت تحقیقات آینده بیان شده است.

۲. مرور ادبیات

مجموعه قابلیت اطمینان برای اولین بار در یک مدل مکان‌یابی تسهیلات استراتژیک، توسط داسکین و همکاران وی به شکل زیرمجموعه‌ی قابل اطمینان از سناریوها معرفی شد تا حساسیت مدل نسبت به سناریوهایی با احتمال وقوع کم را کاهش دهد [۴]. در تحقیق چن و همکاران، جهت مکان‌یابی تسهیلات استراتژیک، یک مدل α -قابل اطمینان برای حداقل کردن تاسف مورد انتظار تحت عدم قطعیت ارائه شده است. آن‌ها یک زیرمجموعه درونزا از بدترین سناریوها با احتمال وقوع تجمعی بیش از $1-\alpha$ را تعریف کرده‌اند [۵]. دسولکی و همکاران، مسیریابی وسیله نقلیه احتمالی جهت توزیع امداد را در مدل مکان‌یابی خود در نظر گرفته‌اند [۶]. یوکسوری و یوشیمیتو در مدل مکان‌یابی خود، مسیریابی وسایل نقلیه و اختلالات ممکن در شبکه حمل و نقل را محاسبه و مطمئن‌ترین مسیر را جهت انتقال کالا انتخاب کرده‌اند [۷]. رویی و همکاران، جهت برنامه‌ریزی تخلیه در صورت وقوع بلایای طبیعی، یک مدل بهینه‌سازی وابسته به حمل و نقل پیشنهاد داده‌اند. هدف مطالعه آن‌ها حداقل ساختن مجموع مدت زمان تخلیه بوده و برای ملاقات محدودیت‌های ظرفیت وسایل نقلیه، سطوح اطمینانی را

تعیین کرده‌اند تا تخلیه کامل درون زمان مجاز از پیش تعیین شده صورت پذیرد [۸]. راولز و ترانکوایست برای پاسخ به تقاضای کوتاه مدت تحت عدم قطعیت، یک مدل مکان‌یابی پویا ارائه کرده و جهت افزایش تقاضای ارضاء شده، مجموعه قابلیت اطمینان را تعریف کرده‌اند [۹]. کلیبی و همکاران، یک شبکه زنجیره تامین بحران با در نظر گرفتن تسهیلات پشتیبان طراحی کرده‌اند. رویکرد پیشنهاد شده توسط آن‌ها شامل سه مرحله‌ی تولید سناریو بر اساس فرآیند مونت کارلو، طراحی شبکه با بهره‌گیری از برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای^۱ و ارزیابی شبکه‌ی طراحی شده، می‌شود [۱۰]. رانگ و همکاران، یک مدل بهینه‌سازی استوار برای زمان‌بندی وسایل نقلیه ارائه کرده و زمان سفر را حداقل کرده‌اند [۱۱]. عشقی و نجفی یک مدل ریاضیاتی جهت حمل مصدومان و کالاها پس از وقوع زلزله با هدف حداقل‌سازی مجموع نیازهای برآورده نشده و مصدومان رسیدگی نشده ارائه کرده‌اند [۱۲]. وانگ و همکاران برای بحران زلزله، یک مدل مکان‌یابی-مسیریابی با تحویل جداگانه جهت توزیع امداد پیشنهاد داده‌اند. اهداف مدل آن‌ها، زمان سفر، هزینه‌ی کل و قابلیت اطمینان را در برمی‌گیرد. در مدل پیشنهادی، قابلیت اطمینان به شکل حداکثر کردن حداقل قابلیت اطمینان مسیر انتقال کالا، در نظر گرفته شده است [۱۳]. شو و پن مدلی یکپارچه جهت مکان‌یابی، تخلیه افراد و انتقال به پناهگاه‌ها و مراکز درمانی و توزیع امداد ارائه کرده‌اند [۱۴]. ابانسر و همکاران در مدل مکان‌یابی خود، حداقل‌سازی زمان حمل و نقل، تعداد عوامل مورد نیاز برای احداث مراکز توزیع و تقاضای ارضاء نشده را در نظر گرفته‌اند [۱۵]. لو و همکاران، یک مدل مکان‌یابی تسهیلات قابل اطمینان، تحت عدم قطعیت ارائه کرده‌اند که در آن اختلال تسهیلات تصادفی با توزیع مشترک وابسته فرض شده است [۱۶]. ماکوئی و همکاران، یک شبکه زنجیره تامین رو به جلو با توجه به احتمال خرابی مراکز توزیع و مراکز جمع‌آوری و با هدف کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل و هزینه‌های ناشی از احداث مراکز خراب‌نشده ارائه کرده‌اند [۱۷]. آن و همکاران، یک مدل مکان‌یابی تخصیص تسهیلات امداد با هدف کاهش هزینه‌ها، پیشنهاد داده‌اند. آن‌ها در مدل تک هدفه خود، اختلال در تسهیلات و تسهیل پشتیبان و زمان دریافت سرویس را به شکل توابع آماری برنولی و پواسون بیان کرده و ازدحام مسیر را در نظر گرفته‌اند [۱۸]. ژانگ و همکاران، یک مدل مکان‌یابی-مسیریابی انبارهای امداد توسعه داده‌اند که انبارها به صورت تصادفی ممکن است دچار آسیب شوند. جریمه تقاضای برآورده نشده و درنظرگرفتن عدم قطعیت بر پایه سناریو از خصوصیات مدل ارائه شده توسط آن‌هاست [۱۹]. بزرگی و همکاران در راستای بهینه‌سازی عملیات امداد، یک زنجیره تامین با پارامترهای غیرقطعی طراحی کرده‌اند که میزان رضایت‌مندی

نقاط آسیب‌دیده را حداکثر کرده و مجموع هزینه‌های لجستیکی را حداقل می‌کند [۲۰]. ژانگ و همکاران، یک مدل مکان‌یابی قابل اطمینان با در نظر گرفتن ریسک، تحت اختلال در زنجیره پیشنهاد داده‌اند. در پژوهش آن‌ها، احتمال خرابی تسهیلات در نظر گرفته شده و در صورت خرابی تسهیل اختصاص یافته به یک نقطه در یک سطح، تسهیل دیگری در سطح بعدی به آن اختصاص می‌یابد و اگر تمام تسهیلات تخصیص یافته به یک نقطه دچار آسیب شوند، هزینه جریمه برای آن در نظر گرفته می‌شود [۲۱].

با توجه به زلزله‌خیز بودن کلان‌شهر تهران و احتمال وقوع بحران در آینده‌ای نه چندان دور، برخی از محققان به مطالعه این شهر پرداخته‌اند. محمدی و همکاران در مطالعه‌ی خود، بحران زلزله در منطقه یک تهران را بررسی کرده و یک مدل چند هدفه مکان‌یابی بیمارستان‌ها، نقاط انتقال و انبارهای توزیع پیشنهاد داده‌اند. مدل آن‌ها، زمان پاسخ‌گویی، هزینه حمل و احتمال عدم انتقال مصدوم به بیمارستان را حداقل می‌کند [۲۲]. اشتری‌جعفری، از شش روش آماری جهت مطالعه تغییرات فعالیت‌های لرزه‌ای استفاده و زلزله در اطراف تهران را بررسی کرده است. تحقیق وی احتمال شرطی وقوع یک زلزله در مدت زمان مشخص را تعیین می‌کند و نشان می‌دهد که تقریباً هر ده سال یکبار ممکن است یک زلزله بزرگ در اطراف تهران رخ دهد [۲۳]. ناطقی، تحقیقی در راستای اجرای سیاست‌های کاهش خطر زلزله در تهران انجام داده و ۱۴ شاخص آسیب‌پذیری در شهر تهران و آسیب‌پذیری نسبی در ۲۲ منطقه‌ی آن‌را مشخص کرده است. همچنین بر اساس میزان خسارت به هر منطقه، مناطق تهران رده‌بندی شده‌اند [۲۴].

با مطالعه ادبیات موضوع می‌توان به این نتیجه رسید که تحقیقات اندکی در حوزه لجستیک بحران، به بحث قابلیت اطمینان پرداخته‌اند. در بین مقالاتی که مرور شد، تنها [۱۰، ۱۷ و ۱۸] تسهیلات پشتیبان را وارد مدل کرده‌اند، اما هیچکدام از آن‌ها سایر پارامترهای تأثیرگذار در قابلیت اطمینان را در نظر نگرفته‌اند. همچنین با توجه به ماهیت بحران، در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهای مدل و فرض کردن تقاضا به شکل پویا و متغیر با زمان، می‌تواند فضای مسئله را به دنیای واقعی نزدیک‌تر کند. از بین مقالات مرور شده تنها راولز و ترانکواست [۹] فرض پویایی و عدم قطعیت را به‌طور هم‌زمان در نظر گرفته‌اند، اما قابلیت اطمینان به شکل تسهیلات پشتیبان و خرابی مسیرها و انبارها در تحقیق آن‌ها دیده نشده است.

در این تحقیق برای اولین بار یک مدل چندهدفه‌ی مکان‌یابی-تخصیص لجستیک امداد با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان ارائه شده که شامل مکان‌یابی انبارهای اولیه و پشتیبان و تخصیص نقاط تقاضا به این انبارهاست. مدل ارائه شده دوهدفه با اهداف کاهش هزینه‌ها و افزایش قابلیت اطمینان بوده و تقاضا بصورت پویا

و عدم قطعیت بصورت سناریو در آن وارد شده است. در مدل ارائه شده، سعی بر این بوده تا قابلیت اطمینان از ابعاد مختلف دیده شده و احتمال دریافت امداد در شرایط بحران بیشینه شود. برای افزایش قابلیت اطمینان در مسئله، مفروضات زیر به مدل اضافه شده‌اند:

۱. در نظر گرفتن احتمال خرابی متفاوت برای انبارهای اولیه
۲. تخصیص نقاط تقاضا به انبارهای پشتیبان در صورت خرابی انبار اولیه تخصیص یافته
۳. در نظر گرفتن قابلیت اطمینان متفاوت برای مسیرهای انتقال کالا از انبارهای اولیه و پشتیبان
۴. در نظر گرفتن یک هدف جداگانه برای بیشینه‌سازی امید ریاضی دریافت کالای امداد، با فرض احتمال خرابی انبارها و مسدود شدن مسیرها.

۳. تعریف مسئله

هدف این مقاله ارائه مدلی برای افزایش قابلیت اطمینان جهت مدیریت بحران بوده و شامل مکان‌یابی انبارهای اولیه و پشتیبان و تخصیص نقاط تقاضا به این انبارها پس از وقوع بحران است. در این بخش مفروضات، پارامترها، مجموعه‌ها، متغیرهای تصمیم و مدل پیشنهاد شده ارائه می‌شود.

۳-۱. مفروضات

فرضیات مسئله در این بخش شرح داده می‌شود:

۱. در این مسئله، چندین منطقه تقاضا و چندین مکان بالقوه برای تاسیس انبارهای اولیه و پشتیبان در نظر گرفته شده است.
۲. احتمال خرابی برای انبارهای اولیه فرض شده است.
۳. انبارهای پشتیبان بدلیل احداث در خارج از منطقه آسیب‌دیده، دارای احتمال خرابی نیستند.
۴. برای مسیرهای انتقال کالا از انبارهای اولیه و پشتیبان به نقاط آسیب‌دیده، قابلیت اطمینان تعریف شده است که به صورت احتمال باز بودن مسیرها می‌باشد.
۵. تقاضا به شکل متغیر با زمان و پویا در نظر گرفته شده و عدم قطعیت در مدل بصورت سناریو فرض شده است.
۶. هر نقطه‌ی تقاضا باید دقیقاً به یک انبار اولیه و یک انبار پشتیبان تخصیص یابد.

۳-۲. مجموعه‌ها

Z: مجموعه نقاط آسیب دیده

I: مجموعه نقاط بالقوه تاسیس انبار اولیه

J: مجموعه نقاط بالقوه تاسیس انبار پشتیبان

S: مجموعه سناریوها

T: دوره‌های زمانی

Z: شناساگر نقاط آسیب دیده

i: شناساگر انبار اولیه

$$\min \omega \left(\sum_i f_i x_i + \sum_j f_j y_j \right) + (1-\omega) \left(\sum_s \sum_t \sum_z \sum_i d_{zi}^s p_i^s (1-p_i^s) r_{iz} T_{iz}^s C_{iz} + \sum_s \sum_t \sum_z \sum_j d_{zj}^s p_j^s p_i^s r_{iz} r_{jz} T_{iz}^s T_{jz}^s C_{jz} + \sum_s \sum_t \sum_z \sum_j d_{zj}^s p_j^s (1-r_{jz}) r_{jz} T_{iz}^s T_{jz}^s C_{jz} + \sum_s \sum_t \sum_z \sum_j p c^s d_{zi}^s p_i^s p_j^s r_{iz} (1-r_{jz}) T_{iz}^s T_{jz}^s + \sum_s \sum_t \sum_z \sum_j p c^s d_{zj}^s p_j^s (1-r_{jz}) (1-r_{iz}) T_{iz}^s T_{jz}^s \right) \quad (1)$$

$$\max \sum_s \sum_t \sum_z \sum_i d_{zi}^s p_i^s (1-p_i^s) r_{iz} T_{iz}^s + \sum_s \sum_t \sum_z \sum_j d_{zj}^s p_j^s p_i^s r_{iz} r_{jz} T_{iz}^s T_{jz}^s + \sum_s \sum_t \sum_z \sum_j d_{zj}^s p_j^s (1-r_{jz}) r_{jz} T_{iz}^s T_{jz}^s \quad (2)$$

$$\text{Subject to:} \quad (3) \quad \sum_i T_{iz}^s = 1 \quad \forall z, s$$

$$\sum_j T_{jz}^s = 1 \quad \forall z, s \quad (4)$$

$$T_{iz}^s \leq x_i \quad \forall i, z, s \quad (5)$$

$$T_{jz}^s \leq y_j \quad \forall j, z, s \quad (6)$$

$$\sum_z d_{zi}^s T_{iz}^s \leq Ca_i x_i \quad \forall i, t, s \quad (7)$$

$$\sum_z d_{zj}^s T_{jz}^s \leq Ca_j y_j \quad \forall j, t, s \quad (8)$$

$$\sum_i x_i = \eta \quad (9)$$

$$\sum_j y_j = \nu \quad (10)$$

$$x_i, y_j, T_{iz}^s, T_{jz}^s \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, z, s \quad (11)$$

تابع هدف (۱) هزینه‌های ساخت تسهیلات و حمل کالای امداد را در تمام سناریوها و دوره‌های زمانی حداقل می‌کند که شامل ۷ جمله است. جمله‌های اول و دوم مربوط به هزینه‌های ساخت انبارهای اولیه و پشتیبان می‌شود. جمله سوم با در نظر گرفتن احتمال خرابی انبار اولیه و باز بودن مسیر، هزینه‌ی حمل کالا از انبار اولیه به نقاط آسیب‌دیده را محاسبه می‌کند. جمله چهارم مربوط به هزینه‌ی حمل کالا از انبار پشتیبان به نقاط آسیب‌دیده، در صورت خراب شدن انبار اولیه‌ی تخصیص داده شده و باز بودن مسیرهای دسترسی به نقاط تقاضا از انبار اولیه و پشتیبان است. جمله پنجم مربوط به هزینه‌ی حمل کالا از انبار پشتیبان به نقاط

z: شناساگر انبار پشتیبان

s: شناساگر سناریو

t: شناساگر دوره‌ی زمانی

۳-۳. پارامترها

f_i : هزینه تاسیس انبار اولیه i

f_j : هزینه تاسیس انبار پشتیبان j

P^s : احتمال وقوع سناریو s

P_i^s : احتمال خرابی انبار اولیه i تحت سناریو s

r_{iz} : قابلیت اطمینان مسیر از انبار اولیه i به نقطه آسیب Z

r_{jz} : قابلیت اطمینان مسیر از انبار پشتیبان j به نقطه آسیب Z

d_{zt}^s : تقاضای نقطه آسیب Z در دوره‌ی زمانی t تحت سناریوی s

pc^s : هزینه جریمه برای هر واحد تقاضای برآورده نشده تحت سناریوی s

Ca_i : ظرفیت انبار اولیه i

Ca_j : ظرفیت انبار پشتیبان j

C_{iz} : هزینه انتقال هر واحد کالا از انبار اولیه i به نقطه آسیب Z

C_{jz} : هزینه انتقال هر واحد کالا از انبار پشتیبان j به نقطه آسیب Z

η : تعداد انبارهای اولیه‌ای که باید احداث شود.

ν : تعداد انبارهای پشتیبانی که باید احداث شود.

ω : ضریب وزن دهی تابع هدف

۳-۴. متغیرهای تصمیم

x_i : برابر "۱" اگر انبار اولیه i احداث شود و در غیر این صورت "۰"

y_j : برابر "۱" اگر انبار پشتیبان j احداث شود و در غیر این صورت "۰"

T_{iz}^s : برابر "۱" اگر نقطه آسیب Z به انبار اولیه i تخصیص یابد و در غیر این صورت "۰"

T_{jz}^s : برابر "۱" اگر نقطه آسیب Z به انبار پشتیبان j تخصیص یابد و در غیر این صورت "۰"

۳-۵. مدل دوهدفه مکان‌یابی - تخصیص انبارهای امداد

مدل دو هدفه ارائه شده به صورت زیر است:

استفاده و نتایج به دست آمده با هم مقایسه شده‌اند.

رویکرد تعاملی فازی TH

ترایی و حسینی رویکرد تعاملی فازی TH را پیشنهاد داده و به صورت تحلیلی اثبات کرده‌اند که روش پیشنهادی آن‌ها، راه‌حل-های کارآمدی را تولید می‌کند. در این روش، تصمیم‌گیرنده براساس درجه ارضاء و اولویت هر تابع هدف، قادر است تا تصمیم نهایی را اتخاذ کند [۲۶]. رویکرد TH، قادر به تولید جواب‌های کارآمد متعادل و نامتعادل با در نظر گرفتن ترجیح تصمیم‌گیرنده می‌باشد. گام‌های این روش با توجه به اینکه تابع هدف اول از نوع مینیمم‌سازی هزینه (Z_1) و تابع هدف دوم ماکزیمم‌سازی قابلیت اطمینان (Z_2) است به شرح زیر می‌باشد:

۱. بهترین جواب ممکن (PIS^{III}) و بدترین جواب ممکن (NIS^{IV}) برای هر یک از توابع هدف تعیین می‌شود. برای تعیین بهترین جواب، هر یک از توابع هدف به طور جداگانه حل و جواب بهینه هر تابع در تابع دیگری قرار داده شده و بدترین جواب آن تعیین می‌گردد.
۲. تابع عضویت هر یک از توابع هدف به صورت زیر محاسبه می‌شود:

(۱۵)

$$u_1(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_1 < Z_1^{PIS} \\ \frac{Z_1^{NIS} - Z_1}{Z_1^{NIS} - Z_1^{PIS}} & \text{if } Z_1^{PIS} \leq Z_1 \leq Z_1^{NIS} \\ 0 & \text{if } Z_1 > Z_1^{NIS} \end{cases} \quad (16)$$

$$u_2(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_2 > Z_2^{PIS} \\ \frac{Z_2 - Z_2^{NIS}}{Z_2^{PIS} - Z_2^{NIS}} & \text{if } Z_2^{NIS} \leq Z_2 \leq Z_2^{PIS} \\ 0 & \text{if } Z_2 < Z_2^{NIS} \end{cases}$$

۳. با استفاده از تابع TH، مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه یکپارچه می‌شود.

$$\max \lambda(x) = \gamma \lambda_0 + (1 - \gamma) \sum_h \theta_h \mu_h(x) \quad (17)$$

subject to: (18)

$$\lambda_0 \leq \mu_h(x) \quad h=1,2$$

$$x \in F(x), \lambda_0 \text{ and } \gamma \in [0,1]$$

پارامتر γ حداقل درجه تامین تابع هدف را کنترل کرده و ضریب جبران نامیده می‌شود. فضای شدنی مدل ارائه شده را بیان

می‌کند. $\mu_h(x)$ و $\lambda_0 = \min_h \mu_h(x)$ درجه تامین تابع

هدف را نشان داده و بر اساس ترجیحات تصمیم‌گیرنده به نحوی

آسیب‌دیده در صورت خرابی مسیر انتقال کالا از انبار اولیه‌ی تخصیص داده شده و باز بودن مسیر دسترسی از انبار پشتیبان است. جمله ششم و هفتم هزینه جریمه تقاضای برآورده نشده را محاسبه می‌کند. در جمله‌ی ششم در صورت خرابی انبار اولیه، باز بودن مسیر انبار اولیه تا نقاط آسیب‌دیده و مسدود شدن مسیر انبار پشتیبان تا این نقاط و در جمله هفتم در صورت مسدود بودن مسیر انبار اولیه و پشتیبان تا نقاط آسیب‌دیده این جریمه محاسبه خواهد شد. تابع هدف (۲) امیدریاضی دریافت امداد توسط افراد حادثه‌دیده را با توجه به میزان تقاضای هر ناحیه طبق همه‌ی سناریوها و دوره‌های زمانی حداکثر کرده و شامل سه جمله است. جمله اول در صورت سالم بودن انبار اولیه و مسیر دسترسی به نقاط تقاضا، جمله دوم در صورت خرابی انبار اولیه‌ی تخصیص داده شده و باز بودن مسیرهای دسترسی به نقاط تقاضا از انبار اولیه و پشتیبان و جمله سوم در صورت خرابی مسیر انتقال کالا از انبار اولیه‌ی تخصیص داده شده و باز بودن مسیر دسترسی از انبار پشتیبان، قابلیت اطمینان را محاسبه می‌کنند. محدودیت (۳) تضمین می‌کند که هر نقطه‌ی تقاضای Z به ازای هر سناریو S دقیقاً به یک انبار اولیه‌ی i تخصیص یابد. محدودیت (۴) تضمین می‌کند که هر نقطه‌ی تقاضای Z به ازای هر سناریوی S دقیقاً به یک انبار پشتیبان j اختصاص یابد. محدودیت (۵) و (۶) به ترتیب مربوط به تخصیص نقاط تقاضا به انبارهای اولیه و پشتیبان طبق هر سناریو در صورت تاسیس این انبارهاست. محدودیت (۷) و (۸) مربوط به ظرفیت انبارهای اولیه و پشتیبان تحت هر سناریو و در هر دوره زمانی می‌باشد. محدودیت (۹) و (۱۰) به ترتیب تعداد انبارهای اولیه و پشتیبانی که باید احداث شود را بیان کرده و محدودیت (۱۱) متغیرهای تصمیم را تعریف می‌کند.

۳-۶. خطی سازی

عبارت $T_{iz}^s T_{jz}^s$ در توابع هدف غیر خطی بوده که در نتیجه‌ی ضرب دو متغیر صفر و یک ایجاد شده است. معادل خطی این عبارت را می‌توان با جایگزینی متغیر T_{ijz}^s به جای $T_{iz}^s T_{jz}^s$ و تعریف محدودیت‌های زیر نوشت [۲۵]:

(۱۲)

$$T_{ijz}^s \leq T_{iz}^s \quad \forall i, j, z, s \quad (13)$$

$$T_{ijz}^s \leq T_{jz}^s \quad \forall i, j, z, s \quad (14)$$

$$T_{ijz}^s \geq T_{iz}^s + T_{jz}^s - 1 \quad \forall i, j, z, s$$

۳-۷. بهینه‌سازی چند هدفه

برای تبدیل مدل چندهدفه به یک مدل برنامه‌ریزی خطی تک هدفه، از دو رویکرد تعاملی فازی TH و رویکرد اکتساب آرمانیⁱ

زلزله مصیبت‌باری را تجربه نکرده است. توسعه شهری تهران به سرعت و بدون ایجاد سامانه‌های مناسب پیشگیری از فجایع ناشی از زلزله‌های محتمل، صورت گرفته است. تهیه برنامه پیشگیری از بلایای ناشی از زلزله در سطح منطقه‌ای و شهری به طریقی که بتواند آسیب‌های احتمالی ناشی از رویداد زلزله را کاهش دهد، به فوریت لازم و ضروری است [۲۸]. در این راستا مناطق ۲۲ گانه کلان‌شهر تهران به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. این شهر دارای وسعتی معادل ۷۳۰ کیلومتر مربع بوده و طبق سرشماری مرکز آمار در سال ۱۳۹۰، جمعیت آن برابر ۵۳۵،۲۴۴،۸ نفر است. فرضیات زیر در مطالعه موردی در نظر گرفته شده است:

در این مطالعه ۲۲ منطقه تهران بر اساس جمعیت به ۱۵ بخش تقسیم شده و هر بخش به عنوان یک نقطه تقاضا در نظر گرفته شده است (جدول ۱). ۲-۱۵ مکان بالقوه برای تاسیس انبار اولیه فرض شده است، این مکان‌ها در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. ۳- شهرهای قم، قزوین، فیروزکوه و ملارد به عنوان مکان‌های بالقوه جهت احداث انبارهای پشتیبان در نظر گرفته شده‌اند (شکل ۱). ۴- نقاط ۱ تا ۵، نواحی بالقوه جهت تاسیس انبارهایی با هزینه‌ی ساخت بیشتر و احتمال خرابی کمتر فرض شده‌اند. ۵- کالای امدادی برای پاسخ به هر نقطه‌ی تقاضا، به صورت یک بسته شامل پتو، آب و تن ماهی در نظر گرفته شده است. ۶- تلفات هر ناحیه بر اساس اطلاعات جایکا [۲۸] محاسبه و تقاضای آن منطقه با توجه به نظر خبرگان دو برابر میزان تلفات فرض شده است. ۷- عدم قطعیت به شکل چهار سناریو بر اساس امکان فعال شدن هر کدام از گسل‌های اصلی شهر تهران وارد مدل شده است [۲۸]. جداول ۱ و ۲، میزان تقاضا بر اساس سناریوها و مشخصات هر سناریو را بیان می‌کنند. ۸- تقاضای پویا در چهار دوره زمانی شامل ۰-۱۲، ۱۲-۲۴، ۲۴-۴۸، ۴۸-۷۲ و ۷۲-۹۸ ساعت پس از وقوع زلزله محاسبه شده است. میزان تقاضای هر دوره به ترتیب ۵۷، ۲۳، ۱۰ و ۱۰ درصد تقاضای کل، طبق هر سناریو می‌باشد [۹]. ۹- جریمه هر واحد تقاضای برآورد نشده برای هر سناریو به ترتیب ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰ برابر بیشترین هزینه حمل هر بسته‌ی امدادی فرض شده است [۹]. ۱۰- با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناختی (شکل-های ۲ و ۳)، احتمال خرابی انبارها و مسیرهای انتقال محاسبه شده است. با بهره‌گیری از نظر کارشناسان؛ شکل ۲ با توجه به شدت امواج زلزله از ۱ تا ۶ شماره‌گذاری و درصد خرابی مسیرها بین مناطق مختلف بر اساس گذر از این نواحی، محاسبه شده است. ۱۱- انبارهای اولیه هر کدام در ۴ طبقه با مترهای ۱۰۰ تا ۲۰۰ مترمربع و با ارتفاع سقف ۳ متر در نظر گرفته شدند، تسهیلات پشتیبان به شکل سوله‌هایی با ارتفاع ۹ متر و مترای ۶۰۰ تا ۱۱۰۰ مترمربع فرض شده‌اند. ظرفیت هر انبار با در نظر گرفتن

تعیین می‌شوند که $\theta_h > 0$ و $\sum_h \theta_h = 1$. در این روش، تصمیم‌گیرنده با تغییر پارامترهای γ و θ_h به جواب‌های متعادل و نامتعادل دست می‌یابد. با توجه به وجود دو تابع هدف، می‌توان $\theta_1 = w$ و $\theta_2 = 1 - w$ فرض کرد.

۴. مدل‌های تک هدفی حاصل بر اساس مقادیر γ و θ_h حل شده و اگر تصمیم‌گیرنده از جواب راضی باشد، حل تمام است؛ در غیر این صورت با تغییر این مقادیر گام ۳ تکرار می‌شود.

رویکرد اکتساب آرمانی

رویکرد دوم استفاده شده برای تک هدفه کردن توابع هدف، روش اکتساب آرمانی که یک رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی متغیر است، می‌باشد [۲۷]. در این روش، مشابه رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی؛ جواب ترجیحی به بردار هدف و بردار وزن‌دهی داده شده توسط تصمیم‌گیرنده حساس بوده و جواب‌های بهینه‌ی پارتنویی مناسبی تولید می‌کند. همچنین این روش تک مرحله‌ای است و با متغیرهای کمی کار می‌کند، بنابراین از نظر محاسباتی سریع و یکی از بهترین روش‌ها، جهت حل چنین مسائلی است. مدل رویکرد اکتساب آرمانی به صورت زیر می‌باشد:

$$\text{Min } w \quad (19)$$

subject to:

$$Z_1 - g_1 w \leq b_1 \quad (20)$$

$$Z_2 + g_2 w \geq -b_2 \quad (21)$$

$$x \in X \quad (22)$$

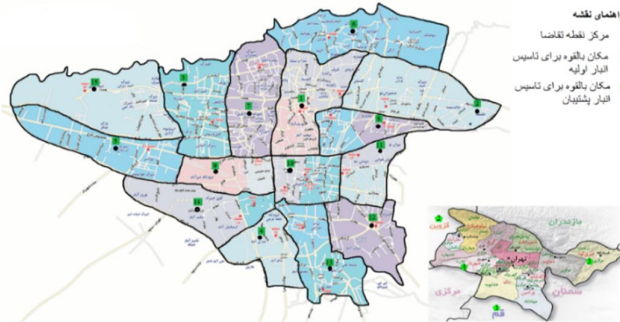
b_i بهترین مقدار تابع هدف نام است، g_i وزن هر تابع هدف بوده و به اکتساب نسبی به b_i مربوط می‌شود، g_i کمتر، اهمیت بیشتر تابع هدف نام را نشان می‌دهد و $\sum g_i = 1$. محدودیت (۲۲)، فضای شدنی مسئله را نشان می‌دهد.

۴. مطالعه موردی

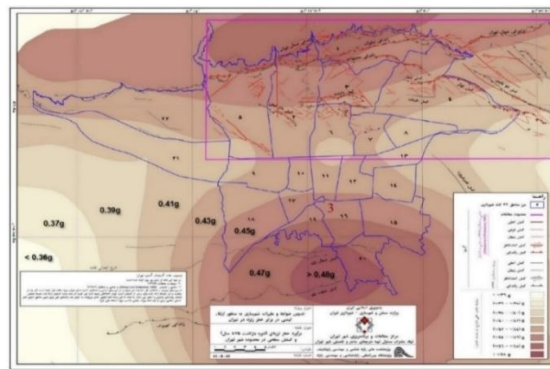
پهنه تهران بزرگ در کوهپایه کوه‌های البرز، که بخشی از پهنه کوه‌زایی آلپ - هیمالیا را تشکیل می‌دهد، قرار دارد. این پهنه دارای توان لرزه‌ای بالا و با گسل‌های فعال و متعدد است. منطقه شهری تهران بر روی لایه‌های آبرفتی که از طریق سازنده‌های زمین‌شناختی پیچیده‌ای بر روی سنگ سخت انباشته شده، توسعه یافته است. برپایه داده‌های زلزله‌های تاریخی، تهران متحمل چندین زلزله شدید با دوره‌های بازگشت ۱۵۰ سال شده است. زلزله شناسان احتمال وقوع زلزله‌های شدید را در آینده نزدیک در تهران می‌دهند، زیرا این شهر از سال ۱۲۰۹ خورشیدی تاکنون

انبارهای اولیه و پشتیبان تا نقاط تقاضا با استفاده از گوگل مپ^۷ و بر اساس مسیر با کوتاهترین زمان دسترسی بدست آمده و هزینه حمل متناسب با مسافت محاسبه شده است. هزینه حمل هر بسته داخل شهری ۱۲/۷ ریال و خارج شهری ۲۵ ریال به ازای هر کیلومتر، فرض شده است.

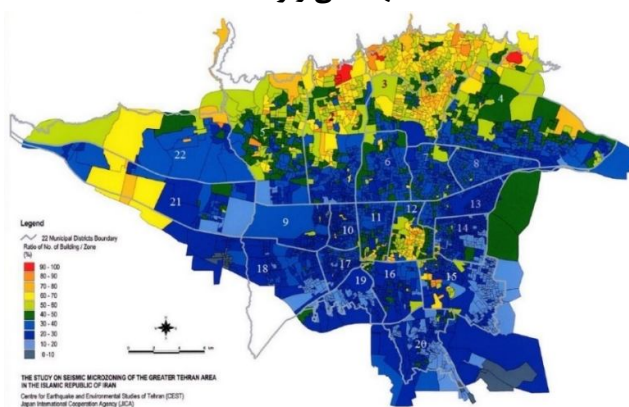
ابعاد هر بسته امدادی به میزان ۰.۲۱۱ مترمکعب محاسبه شده است. اطلاعات مربوط به هزینه ساخت، ظرفیت و احتمال خرابی انبارهای اولیه و پشتیبان در جداول ۳ و ۴ آورده شده است. از ذکر سایر اطلاعات بدلیل محدودیت فضا خودداری گردید. ۱۲- ϕ بر اساس نظر خبرگان، ۰.۰۱ در نظر گرفته شد. ۱۳- مسافت میان



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و مکان های بالقوه برای تاسیس انبارهای اولیه و پشتیبان



شکل ۲. نقشه برآورد خطر لرزه ای و گسلش سطحی در محدوده شهر تهران (پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله)



شکل ۳. نرخ خرابی ساختمان های مناطق مختلف تهران (مرکز مطالعات زلزله و زیست محیطی تهران بزرگ، جایکا، ۱۳۸۰)

جدول ۱. تقسیمات شهر تهران بر اساس مناطق و تقاضای هر بخش

بخش	شماره مناطق	نماینده بخش	جمعیت (نفر)	تقاضا			
				سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴
۱	۳-۶	م فرهنگ	۵۴۴۰۹۲	۲۹۳۳۶	۳۶۴۲۶	۳۸۹۳	۴۷۹۷۰
۲	۴	حکیمیه	۸۶۱۲۸۰	۱۸۹۴۸	۴۱۳۴۱	۶۸۹۰	۶۲۰۱۲
۳	۵	شهران	۷۹۳۷۵۰	۲۲۲۲۵	۴۶۰۳۸	۱۵۸۸	۶۵۰۸۸
۴	۱۹	عبدل آباد	۲۴۴۳۵۰	۳۸۶۰۷	۳۴۲۱	۴۸۹	۲۴۴۳۵
۵	۲۱	شهرک استقلال	۱۶۲۶۸۱	۱۲۳۶۴	۴۵۵۵	۳۲۵	۱۴۳۱۶
۶	۱	کامرانیه	۴۳۹۴۶۶	۱۰۵۴۷	۵۵۳۷۳	۴۳۹۵	۳۶۰۳۶
۷	۲	مرزداران	۶۳۲۹۱۶	۲۵۳۱۷	۳۴۱۷۷	۱۲۶۶	۳۲۹۱۲
۸	۷-۸	هفت حوض	۶۸۷۸۶۳	۶۱۷۷۱	۲۰۴۹۹	۳۳۷۱	۴۷۶۰۳
۹	۹-۱۰	مهرآباد	۴۶۱۳۶۸	۶۵۹۲۱	۱۱۳۶۲	۹۲۳	۴۱۶۰۸
۱۰	۱۱-۱۲	میدان حر	۵۲۹۶۰۴	۱۸۱۷۰۱	۳۴۰۸۷	۱۲۲۲۹	۱۲۱۹۰۴
۱۱	۱۳-۱۴	میدان امامت	۷۶۰۳۶۰	۸۶۴۲۰	۱۷۲۸۰	۴۵۶۲	۶۹۱۲۰
۱۲	۱۵	خیابان خاوران	۶۳۸۷۴۰	۱۰۹۸۶۳	۱۵۳۳۰	۳۸۳۲	۵۷۴۸۷
۱۳	۱۶-۲۰	ابن بابویه	۶۲۸۶۶۴	۱۲۹۲۹۳	۱۴۷۷۰	۳۶۶۶	۶۸۵۱۶
۱۴	۱۷-۱۸	یافت آباد	۶۳۹۹۵۷	۱۱۴۴۷۳	۱۳۰۱۱	۳۰۵۷	۵۷۴۴۸
۱۵	۲۲	شهرک شهید باقری	۱۲۸۹۵۸	۳۰۹۵	۷۲۲۲	۲۵۸	۱۱۸۶۴

جدول ۲. مشخصات سناریوهای مفروض [۲۸]

سناریو	گسل فعال			
	گسل ری	گسل شمال تهران	گسل مشا	مدل شناور
احتمال وقوع (درصد)	۱۵,۸	۳۵,۲	۴۱,۲	۷,۹
طول (کیلومتر)	۲۶	۵۸	۶۸	۱۳
عرض (کیلومتر)	۱۶	۲۷	۳۰	۱۰
بزرگای گشتاوری (MW)	۶,۷	۷,۲	۷,۲	۶,۴
منشاء درجه شمالی	۳۵,۸۲۵۵	۳۵,۶۸۱۵	۳۵,۵۸۷۶	-
منشاء درجه جنوبی	۵۱,۷۳۹۲	۵۲,۴۹۵۵	۵۱,۵۰۶۱	-
جهت، از شمال در جهت عقربه‌های ساعت (درجه)	۲۶۳	۲۶۳	۲۸۳	۲۶۳
زاویه شیب (درجه)	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵
ژرفای لبه بالایی (کیلومتر)	۵	۰	۰	۵

جدول ۳. اطلاعات انبارهای اولیه

شماره انبار مطمئن	هزینه ساخت (تومان)	ظرفیت بسته امدادی	احتمال خرابی			
			سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴
۱	۱۲۰۰۷۳۰۰۰۰	۵۶۸۷۲	۰,۱۶۰	۰,۱۶۰	۰,۱۶۰	۰,۱۶۰
۲	۱۰۳۳۳۸۰۰۰۰	۵۶۸۷۲	۰,۱۶۰	۰,۱۶۰	۰,۱۶۰	۰,۱۶۰
۳	۹۶۹۰۹۰۰۰۰	۵۶۸۷۲	۰,۴۰۰	۰,۴۰۰	۰,۴۰۰	۰,۴۰۰
۴	۹۹۴۰۳۵۰۰۰	۸۵۳۰۸	۰,۲۸۶	۰,۰۰۴	۰,۰۸۲	۰,۰۰۴
۵	۷۱۲۱۸۰۰۰۰	۵۶۸۷۲	۰,۱۰۰	۰,۱۰۰	۰,۱۰۰	۰,۱۰۰
۶	۱۲۱۵۸۸۰۰۰۰	۵۶۸۷۲	۰,۶۰۰	۰,۷۲۰	۰,۶۴۰	۰,۶۰۰
۷	۱۱۴۷۱۳۰۰۰۰	۵۶۸۷۲	۰,۷۰۰	۰,۷۰۰	۰,۷۰۰	۰,۷۰۰

۰,۴۴۰	۰,۴۴۰	۰,۴۴۰	۰,۴۴۰	۶۸۲۴۶	۱۰۲۳۸۴۰۰۰۰	۸
۰,۴۸۰	۰,۵۴۵	۰,۴۸۰	۰,۶۷۵	۸۵۳۰۸	۹۸۷۱۳۵۰۰۰	۹
۰,۶۵۰	۰,۵۸۰	۰,۴۴۰	۰,۶۵۰	۸۵۳۰۸	۱۰۲۳۱۶۵۰۰۰	۱۰
۰,۴۰۰	۰,۴۰۰	۰,۴۰۰	۰,۴۰۰	۶۸۲۴۶	۹۸۳۰۰۴۰۰۰	۱۱
۰,۱۵۰	۰,۲۳۵	۰,۱۵۰	۰,۴۰۵	۹۰۹۹۵	۹۸۷۲۰۰۰۰۰	۱۲
۰,۲۰۰	۰,۲۸۰	۰,۲۰۰	۰,۴۴۰	۱۱۳۷۴۴	۱۰۷۹۰۸۰۰۰۰	۱۳
۰,۳۰۰	۰,۳۷۰	۰,۳۰۰	۰,۵۱۰	۹۶۶۸۲	۹۸۲۰۲۲۰۰۰	۱۴
۰,۳۵۰	۰,۳۵۰	۰,۳۵۰	۰,۳۵۰	۸۵۳۰۸	۱۱۰۳۰۵۵۰۰۰	۱۵

جدول ۴. اطلاعات انبارهای پشتیبان

شماره انبار پشتیبان	هزینه ساخت (ریال)	ظرفیت (تعداد بسته امدادی)
۱	۵۹۴۰۰۰۰۰۰	۴۶۹۱۹۴
۲	۴۹۵۰۰۰۰۰۰	۳۸۳۸۸۶
۳	۳۴۵۰۰۰۰۰۰	۲۵۵۹۲۴
۴	۳۴۲۰۰۰۰۰۰	۲۵۵۳۲۴

پایاده‌سازی بر روی یک مطالعه موردی، اعتبارسنجی شد. ابتدا مدل با تابع هدف اول، بدون محدودیت‌های (۹) و (۱۰) که مربوط به تعداد انبارهای اولیه و پشتیبان است حل شده و تعداد مناسب این انبارها با توجه به هزینه، به دست آمد. این تعداد برای انبارهای اولیه برابر ۶ و برای انبارهای پشتیبان ۲ می‌باشد. سپس با استفاده از رویکرد TH و بر اساس مفروضاتی که شرح داده شد و با $w=0,10,20,40,60,80$ و $\gamma=0,10,30,50,70,90$ و تعداد ۶ انبار اولیه و ۲ پشتیبان حل شد. نتایج محاسباتی در جدول ۵ نشان داده شده است.

۴-۱. نتایج محاسباتی

مسئله با استفاده از حل کننده CPLEX ۲۴/۱ در نرم‌افزار GAMS توسط یک کامپیوتر A10 با حافظه ۸GB حل و با

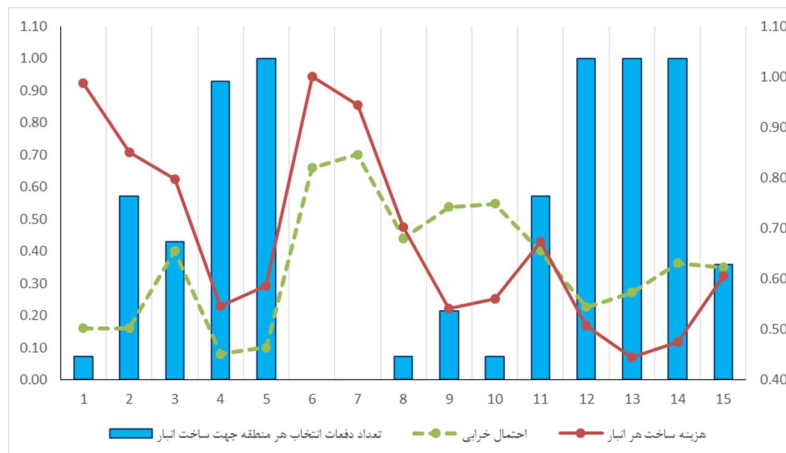
جدول ۵. نتایج مدل با استفاده از رویکرد TH

پشتیبان	اولیه	u_2	u_1	Z_2	Z_1	W	γ
۳,۲	۱۵,۱۴,۱۳,۱۲,۴,۲	۰,۹۸۴	۰,۰۰۰	۳۶۵۱۲۷۲	۷۱۴۰۳۹۹۰۰۰	۰,۱	۰,۱
۳,۲	۱۵,۱۴,۱۳,۱۲,۴,۲	۱,۰۰۰	۰,۰۰۰	۳۶۵۱۵۹۷	۷۱۴۰۴۲۵۰۰۰	۰,۱	۰,۳
۳,۲	۱۵,۱۴,۱۳,۱۲,۴,۲	۱,۰۰۰	۰,۰۰۰	۳۶۵۱۵۹۷	۷۱۴۰۴۰۳۰۰۰	۰,۱	۰,۵
۳,۲	۱۵,۱۴,۱۳,۱۲,۴,۲	۱,۰۰۰	۰,۰۰۰	۳۶۵۱۵۹۷	۷۱۴۰۳۶۶۰۰۰	۰,۱	۰,۷
۳,۲	۱۵,۱۴,۱۳,۱۲,۴,۲	۱,۰۰۰	۰,۰۰۰	۳۶۵۱۵۹۷	۷۱۴۰۳۹۷۰۰۰	۰,۱	۰,۹
۳,۲	۱۵,۱۴,۱۳,۱۲,۵,۴	۰,۸۰۴	۰,۷۳۵	۳۶۴۷۴۶۷	۶۸۱۹۵۸۶۰۰۰	۰,۲	۰,۱
۳,۲	۱۵,۱۴,۱۳,۱۲,۵,۴	۰,۸۳۹	۰,۷۳۶	۳۶۴۸۲۰۳	۶۸۱۹۰۵۴۰۰۰	۰,۲	۰,۳
۳,۲	۱۵,۱۴,۱۳,۱۲,۴,۲	۰,۹۸۶	۰,۰۰۰	۳۶۵۱۳۱۵	۷۱۴۰۳۶۷۰۰۰	۰,۲	۰,۵
۳,۲	۱۵,۱۴,۱۳,۱۲,۴,۲	۰,۹۶۸	۰,۰۰۰	۳۶۵۰۹۲۲	۷۱۴۰۴۳۰۰۰۰	۰,۲	۰,۷
۳,۲	۱۵,۱۴,۱۳,۱۲,۴,۲	۰,۹۹۸	۰,۰۰۰	۳۶۵۱۵۶۱	۷۱۴۰۴۱۲۰۰۰	۰,۲	۰,۹
۳,۲	۱۵,۱۴,۱۳,۱۲,۵,۴	۰,۶۵۳	۰,۷۳۴	۳۶۴۴۲۹۳	۶۸۲۰۱۳۴۰۰۰	۰,۴	۰,۱
۳,۲	۱۵,۱۴,۱۳,۱۲,۵,۴	۰,۶۱۴	۰,۷۳۳	۳۶۴۳۴۶۰	۶۸۲۰۶۳۱۰۰۰	۰,۴	۰,۳
۳,۲	۱۵,۱۴,۱۳,۱۲,۵,۴	۰,۸۴۰	۰,۷۳۶	۳۶۴۸۲۳۹	۶۸۱۹۲۳۶۰۰۰	۰,۴	۰,۵
۳,۲	۱۵,۱۴,۱۳,۱۲,۴,۲	۰,۹۹۹	۰,۰۰۰	۳۶۵۱۵۶۹	۷۱۴۰۲۴۰۰۰۰	۰,۴	۰,۷
۳,۲	۱۵,۱۴,۱۳,۱۲,۴,۲	۱,۰۰۰	۰,۰۰۰	۳۶۵۱۵۹۷	۷۱۴۰۳۶۶۰۰۰	۰,۴	۰,۹
۳,۲	۱۴,۱۳,۱۲,۱۰,۵,۴	۰,۱۷۳	۰,۹۱۳	۳۶۳۴۱۸۳	۶۷۴۲۱۰۱۰۰۰	۰,۶	۰,۱
۳,۲	۱۵,۱۴,۱۳,۱۲,۵,۴	۰,۴۵۴	۰,۷۳۵	۳۶۴۰۰۹۳	۶۸۱۹۶۳۲۰۰۰	۰,۶	۰,۳
۳,۲	۱۵,۱۴,۱۳,۱۲,۵,۴	۰,۵۹۸	۰,۷۳۱	۳۶۴۳۱۲۸	۶۸۲۱۴۰۵۰۰۰	۰,۶	۰,۵
۳,۲	۱۵,۱۴,۱۳,۱۲,۵,۴	۰,۸۴۰	۰,۷۳۶	۳۶۴۸۲۳۹	۶۸۱۹۲۳۵۰۰۰	۰,۶	۰,۷
۳,۲	۱۵,۱۴,۱۳,۱۲,۴,۲	۱,۰۰۰	۰,۰۰۰	۳۶۵۱۵۹۷	۷۱۴۰۳۶۶۰۰۰	۰,۶	۰,۹

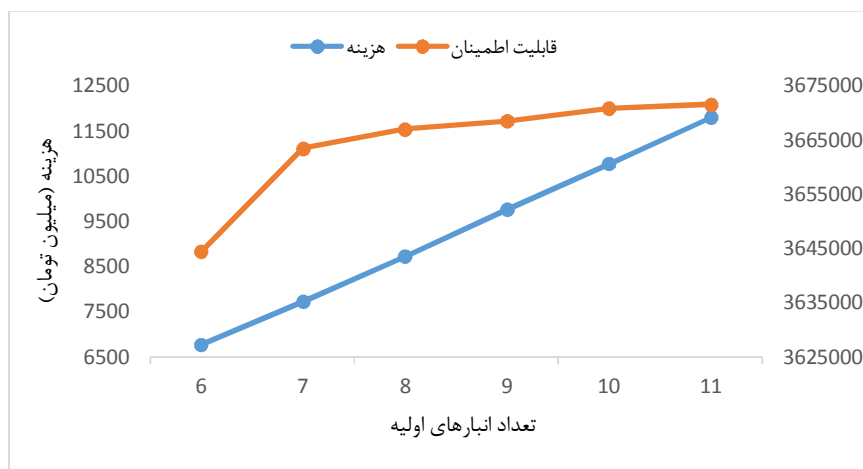
۳،۲	۱۴،۱۳،۱۲،۱۱،۱۰،۹،۸،۷،۶،۵،۴،۳،۲	۰،۶۶۸	۰،۷۴۴	۳۶۶۸۵۳۱	۹۷۶۰۸۳۳۲۶۵	۰،۵	۰،۵	
۳،۲	۱۴،۱۳،۱۲،۱۱،۱۰،۹،۸،۷،۶،۵،۴،۳،۲،۱	۰،۸۰۱	۰،۳۸۶	۳۶۷۲۰۸۶	۹۸۸۴۶۹۴۵۵۲	۰،۲	۰،۸	
۳،۲	۱۴،۱۳،۱۲،۱۱،۹،۸،۷،۶،۵،۴،۳،۲	۰،۶۲۰	۰،۹۰۸	۳۶۶۸۶۲۹	۱۰۷۲۱۲۷۶۹۴۴	۰،۸	۰،۲	
۳،۲	۱۵،۱۴،۱۳،۱۲،۱۱،۱۰،۹،۸،۷،۶،۵،۴،۳،۲	۰،۶۹۸	۰،۷۰۸	۳۶۷۰۸۳۴	۱۰۷۷۹۵۵۹۹۴۵	۰،۵	۰،۵	۱۰
۳،۲	۱۴،۱۳،۱۲،۱۱،۱۰،۹،۸،۷،۶،۵،۴،۳،۲،۱	۰،۸۴۲	۰،۳۹۱	۳۶۷۴۹۰۱	۱۰۸۷۲۰۴۸۶۶۴	۰،۲	۰،۸	
۳،۲	۱۴،۱۳،۱۲،۱۱،۱۰،۹،۸،۷،۶،۵،۴،۳،۲	۰،۹۲۹	۰،۹۱۰	۳۶۶۹۰۹۸	۱۱۷۴۹۶۲۹۷۶۲	۰،۸	۰،۲	
۳،۲	۱۵،۱۴،۱۳،۱۲،۱۱،۱۰،۹،۸،۷،۶،۵،۴،۳،۲	۰،۹۴۶	۰،۷۲۵	۳۶۷۱۵۶۶	۱۱۸۰۲۴۳۸۸۶۵	۰،۵	۰،۵	۱۱
۳،۲	۱۴،۱۳،۱۲،۱۱،۱۰،۹،۸،۷،۶،۵،۴،۳،۲،۱	۰،۹۷۱	۰،۴۰۲	۳۶۷۵۱۵۱	۱۱۸۹۴۹۶۸۵۶۸	۰،۲	۰،۸	

در هیچ حالتی برای احداث انبار اولیه انتخاب نشده‌اند. البته عوامل دیگری نیز در مکان‌یابی انبارها موثر هستند. به عنوان مثال علی‌رغم آنکه مناطق ۸، ۱۱ و ۱۵ شرایط مشابهی از نظر هزینه ساخت و احتمال خرابی انبارها دارند، ولی منطقه ۱۱ بیشتر مورد توجه بوده است. زیرا مسیر دسترسی منطقه ۱۱ به سایر مناطق کوتاهتر بوده و علاوه بر هزینه حمل کمتر، قابلیت اطمینان برای مسیرهای آن بیشتر است؛ همچنین منطقه ۱۱ تقاضای بیشتری نسبت به مناطق ۸ و ۱۵ داشته و در شرایط مشابه احداث انبار در آن مناسب‌تر است. برای تاسیس انبار پشتیبان نقاط ۲ و ۳ که قزوین و فیروزکوه هستند، در تمامی حالات به عنوان نقاط بهینه انتخاب شده و قم و ملارد در هیچ حالتی انتخاب نشده‌اند، این بدلیل مسیر دسترسی این نقاط به نواحی مختلف تهران است که با توجه به شکل ۲ فیروزکوه بالاترین قابلیت اطمینان مسیر را داراست. همچنین با در نظر گرفتن ظرفیت انبارهای پشتیبان، منطقه قزوین انتخاب شده است. اگر ظرفیت انبار پشتیبان در منطقه ملارد را افزایش دهیم، بدلیل هزینه حمل پایین‌تر و قابلیت اطمینان بیشتر این منطقه انتخاب خواهد شد.

با توجه به جدول ۷ و با در نظر گرفتن ترجیحات تصمیم‌گیرنده و اولویت تابع هدف هزینه، $g_1=0,5$ و $g_2=0,5$ مقادیر مناسب-تری را برای توابع هدف تولید می‌کنند. شکل (۴) بر اساس جداول (۳)، (۵)، (۶) و (۷) تعداد دفعات انتخاب هر منطقه جهت ساخت انبار اولیه در شرایطی که پاسخ‌های کارامدی برای توابع هدف به دست آمده را نشان می‌دهد. همچنین برای امکان مقایسه بهتر، میانگین وزنی احتمال خرابی بر اساس احتمال وقوع هر سناریو و هزینه ساخت به ازای هر واحد کالا نیز در این شکل نشان داده شده است. برای سهولت در مقایسه، تمامی مقادیر به بازه [۰،۱] منتقل شده‌اند. با توجه به شکل (۴) بخش‌های ۴، ۵، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ در اغلب موارد جهت تاسیس انبار اولیه انتخاب شده‌اند، این به دلیل هزینه‌ی ساخت پایین و احتمال کم خرابی در این نواحی طبق همه‌ی سناریوهاست، به خصوص آنکه در مناطق ۴ و ۵، انبارها با قابلیت اطمینان بیشتری ساخته می‌شوند و کمترین احتمال خرابی را در مقایسه با سایر مناطق دارند. همچنین بخش‌های ۶ و ۷ به دلیل احتمال خرابی بالا و نزدیک بودن به گسل شمال تهران و مشا (شکل ۳)،



شکل ۴. احتمال خرابی، هزینه ساخت و تعداد دفعات انتخاب هر منطقه برای ساخت انبار



شکل ۵. تغییرات توابع هدف با افزایش تعداد انبارهای اولیه

هزینه‌ها، قابلیت اطمینان به طرز چشمگیری افزایش می‌یابد. اما پس از آن علی‌رغم افزایش هزینه، قابلیت اطمینان با شیب کاهشی زیاد شده و اضافه کردن تعداد انبارهای اولیه بیش از ۷ تا منطقی به نظر نمی‌رسد و بر اساس این تحلیل بهتر است ۷ انبار اولیه تاسیس شود. جواب‌های بهینه طبق سناریوی اول که بیشترین تلفات را دارد، با در نظر گرفتن ۷ انبار اولیه و ۲ پشتیبان با استفاده از رویکرد اکتساب آرمانی و با $g_1=0.5$ و $g_2=0.5$ ، در جدول ۸ گزارش شده است. مکان‌های بهینه جهت ساخت انبارهای اولیه ۱۴، ۱۳، ۱۲، ۱۱، ۵، ۴، ۲ و انبارهای پشتیبان ۳ و ۲ می‌باشد.

شکل ۵، تغییرات توابع هدف را به ازای مقادیر مختلف انبارهای اولیه برای $g_1=0.5$ و $g_2=0.5$ در رویکرد اکتساب آرمانی نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تابع هدف هزینه، با افزایش تعداد انبارها؛ افزایش یافته و چون از نوع مینیمم‌سازی است؛ بدتر می‌شود. همچنین افزایش تعداد انبارها؛ به دلیل کاهش تقاضای ارضاء نشده تابع هدف دوم را افزایش داده و بهبود می‌بخشد. پس توابع هدف در تضاد با یکدیگر بوده و در نظر گرفتن آن‌ها در یک مدل بصورت دو هدف جداگانه توجیه‌پذیر است. همچنین با توجه به شکل ۵، با افزایش تعداد انبارهای اولیه از ۶ به ۷، مشاهده می‌شود با افزایش کمی در

جدول ۸. تخصیص نقاط تقاضا طبق سناریوی اول با رویکرد اکتساب آرمانی و با $g_1=0.4$ و $g_2=0.6$

انبارهای پشتیبان		انبارهای اولیه								
۳	۲	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۵	۴	۲		
$T_{3,1}^1$	$T_{3,2}^1$	$T_{2,3}^1$	$T_{2,4}^1$	$T_{14,4}^1$	$T_{13,10}^1$	$T_{12,3}^1$	$T_{11,1}^1$	$T_{5,5}^1$	$T_{4,13}^1$	$T_{2,2}^1$
$T_{3,8}^1$	$T_{3,9}^1$	$T_{2,5}^1$	$T_{2,6}^1$	$T_{14,14}^1$		$T_{12,7}^1$	$T_{11,11}^1$	$T_{5,6}^1$		$T_{2,8}^1$
$T_{3,10}^1$	$T_{3,11}^1$	$T_{2,7}^1$	$T_{2,12}^1$			$T_{12,12}^1$	$T_{3,11}^1$	$T_{5,9}^1$		
$T_{3,15}^1$		$T_{2,13}^1$	$T_{2,14}^1$					$T_{5,15}^1$		

مسیرها و انبارها و یک تابع هدف جداگانه برای حداکثر کردن تقاضای پاسخ داده شده، در مدل وارد شده که در تحقیقات قبلی این عوامل همزمان در نظر گرفته نشده‌اند. جهت حل مدل دو هدفه با اهداف کاهش هزینه و افزایش قابلیت اطمینان، از دو رویکرد TH و اکتساب آرمانی استفاده شده است. همچنین به عنوان مطالعه موردی، کلانشهر تهران به دلیل قرار داشتن بر روی چند گسل فعال و احتمال وقوع زلزله‌ای مخرب در آینده‌ای نزدیک، انتخاب و مدل بر روی آن پیاده‌سازی شده است. برای به دست آوردن تعداد بهینه‌ی انبارهای اولیه و پشتیبان با در نظر گرفتن تابع هدف هزینه، مدل حل شده و این مقادیر به

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

این مقاله یک مدل جدید برای مکان‌یابی انبارهای توزیع امداد و تسهیلات پشتیبان و تخصیص مناطق آسیب‌دیده به این انبارها در عملیات لجستیک بحران پیشنهاد می‌دهد. مدل پیشنهادی، چند هدفه و چند دوره‌ای بوده و برای پاسخگویی به تقاضای کوتاه مدت تا ۷۲ ساعت پس از وقوع بحران به صورت غیرقطعی همراه با سناریو، طراحی شده است. همچنین جهت افزایش قابلیت اطمینان علاوه بر تسهیلات پشتیبان، احتمال خرابی

- [4] Daskin M.S., Hesse S.M., & Reville C.S., “ α -reliable p -minimax regret: a new model for strategic facility location modeling”. *Location Science*, (1997), Vol. 5, pp. 227-246.
- [5] Chen G., Daskin M.S., Shen Z.J.M., & Uryasev S., “The α -reliable mean-excess regret model for stochastic facility location modeling”. *Naval Research Logistics*, (2006), Vol. 53, pp. 617-626.
- [6] Dessouky M., Ordonez F., Jia H., & Shen Z., “Rapid distribution of medical supplies Patient Flow: Reducing Delay in Healthcare Delivery” Springer, (2006), Vol. 91, pp. 309-338:
- [7] Ukkusuri S., & Yushimito W., “Location routing approach for the humanitarian prepositioning problem”. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2008), Vol. 2089, pp. 18-25.
- [8] Rui S., Shiwei H., & Zhang L., “Optimum transit operations during the emergency evacuations”. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, (2009), Vol. 9, pp. 154-160.
- [9] Rawls C.G., & Turnquist M.A., “Pre-positioning and dynamic delivery planning for short-term response following a natural disaster”. *Socio-Economic Planning Sciences*, (2012), Vol. 46, pp. 46-54.
- [10] Klibi W., Ichoua S., & Martel A., “Prepositioning emergency supplies to support disaster relief: a stochastic programming approach”. *CIRRELT*, (2013), Vol. 19, pp. 1-35.
- [11] Rong X.X., Lu Y., Yin R.R., & Zhang J.H., “A robust optimization approach to emergency vehicle scheduling”. *Mathematical Problems in Engineering*, (2013), Vol. 2013, pp. 1-8.
- [12] Eshghi K., Najafi M., “A Logistics Planning Model to Improve the Response Phase of Earthquake”, *International Journal of Industrial Engineering &*

ترتیب برابر ۶ و ۲، به دست آمد. سپس مدل با مقادیر به دست آمده و با پارامترهای $w=0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ و $\gamma=0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ در رویکرد TH و با مقادیر مختلف پارامترهای g_1 و g_2 در رویکرد اکتساب آرمانی، حل و جواب-های کارآمدی با پارامترهای مناسب دو رویکرد، بدست آمد. همچنین مدل بر اساس رویکرد اکتساب آرمانی و با $g_1=0, 5$ و $g_2=0, 5$ ، با در نظر گرفتن تعداد مختلف انبارهای اولیه مجدداً حل شد. نتایج نشان داد افزایش تعداد انبارها از ۶ به ۷، علی‌رغم افزایش کمی در هزینه، قابلیت اطمینان را بطور چشمگیری افزایش می‌دهد و تعداد ۷ انبار اولیه جهت ساخت، مناسب به نظر می‌رسد. در پایان، پیشنهادات زیر جهت مطالعه بیشتر ارائه می‌شود: (۱) استفاده از روش‌های ابتکاری یا فراابتکاری برای دستیابی به جواب نزدیک به بهینه برای مسائل با ابعاد بزرگ. (۲) ارائه دو تابع هدف کمینه‌کردن زمان امداد رسانی و افزایش قابلیت اطمینان بطور همزمان همراه با مسیریابی (۳) در نظر گرفتن احتمال وقوع حوادث ثانویه و افزایش تلفات ناشی از آن در مدل.

پی نوشت

1. 1 Two-stage
2. 1 Goal attainment
3. 1 Positive Ideal Solution
4. 1 Negative Ideal Solution
5. 1 <https://maps.google.com/>

مراجع

- [1] Huang K., Jiang Y., Yuan Y., & Zhao L., “Modeling multiple humanitarian objectives in emergency response to large-scale disasters”. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, (2015), Vol. 75, pp. 1-17.
- [2] Döyen A., Aras N., & Barbarosoglu G., “A two-echelon stochastic facility location model for humanitarian relief logistics”. *Optimization Letters* 6(6), (2012), Vol. 6, pp. 1123-1145.
- [3] Bozorgi-Amiri A., Jabalameli M.S., & Mirzapour Al-e-Hashem S.M.J., “A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty”. *OR spectrum*, (2013), Vol. 35, pp. 905-933.

- [20] Bozorgi-Amiri A., Jabalameli M.S., Omrani H., "A bi-objective stochastic programming model for designing relief chain with stochastic demand, supply and cost parameters". *International Journal of Industrial Engineering & Production Management, IJIEPM*, (2015), Vol.26, pp. 299-310.
- [21] Zhang Y., Snyder L.V., Qi M., & Miao L., "A heterogeneous reliable location model with risk pooling under supply disruptions". *Transportation Research Part B* 83, (2016), Vol. 83, pp. 151-178.
- [22] Mohamadi A., Yaghoubi S., & Derikvand H., "A credibility-based chance-constrained transfer point location model for the relief logistics design (Case Study: earthquake disaster on region 1 of Tehran city)". *International Journal of Supply and Operations Management*, (2015), Vol. 1, pp. 466-488.
- [23] Ashtari Jafari M., "Statistical prediction of the next great earthquake around Tehran, Iran", *Journal of Geodynamics*, (2010), Vol. 49, pp.14-18.
- [24] Nateghi F.A., "Earthquake scenario for the mega-city of Tehran", *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, (2001), Vol. 10, pp. 95-101.
- [25] Norouzi N., Tavakkoli-Moghaddam R., Ghazanfari M., Alinaghian M., & Salamatbakhsh A., "A new multi-objective competitive open vehicle routing problem solved by particle swarm optimization". *Networks and Spatial Economics*, (2012), Vol. 12, pp. 609-633.
- [26] Torabi S.A., & Hassini E., "Multi-site production planning integrating procurement and distribution plans in multi-echelon supply chains: an interactive fuzzy goal programming approach". *International Journal of Production Research*, (2009), Vol. 47, pp. 5475-5499.
- Production Management, *IJIEPM*, (2013), Vol. 23, No. 4, pp. 401-416.
- [13] Wang H., Du L., & Ma S., "Multi-objective open location-routing model with split delivery for optimized relief distribution in post-earthquake". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, (2014), Vol. 69, pp. 160-179.
- [14] Sheu J.B., & Pan C., "A method for designing centralized emergency supply network to respond to large-scale natural disasters". *Transportation research part B: methodological*, (2014), Vol. 67, pp. 284-305.
- [15] Abounacer R., Rekik M., & Renaud J., "An exact solution approach for multi-objective location-transportation problem for disaster response". *Computers & Operations Research*, (2014), Vol. 41, pp. 83-93.
- [16] Lu M., Ran L., & Shen Z.J.M., "Reliable Facility Location Design Under Uncertain Correlated Disruptions". *Manufacturing & Service Operations Management*, (2015), Vol. 17, pp.445-455.
- [17] Makui A., Tavakkoli-Moghaddam R., Ghomi-Avili M., "A forward/reverse supply chain network design considering the disruption probability of distribution and collection/inspection centers", *International Journal of Industrial Engineering & Production Management, IJIEPM*, (2015), Vol.26, No. 1, pp. 69-80.
- [18] An S., Cui N., Bai Y., Xie W., Chen M., & Ouyang Y., "Reliable emergency service facility location under facility disruption, en-route congestion and in-facility queuing". *Transportation Research Part E* 82, (2015), Vol. 82, pp. 199-216.
- [19] Zhang Y., Qi M., Lin W.H., & Miao L., "A metaheuristic approach to the reliable location routing problem under disruptions". *Transportation Research Part E* 83, (2015), Vol. 83, pp. 90-110.

[28] JICA, C. The study on seismic microzoning of the Greater Tehran Area in the Islamic Republic of Iran. Pacific Consultants International Report, OYO Cooperation, Japan, (2000), pp. 291-390.

[27] Hwang C. L., & Masud A.S.M., “Multiple objective decision making—methods and applications”. 1979.