International Conference ON MANAGEMENT ECONOMICS AND INDUSTRIAL ENGINEERING 2015 june 16
کنفرانس بین المللی مدیریت، اقتصاد و مهندسی صنایع ۲۶ خرداد ۱۳۹۴

توسعه مدل برنامه‌ریزی استوار مدل مکان‌یابی انبارهای لجستیک امداد بر مبنای شبیه‌سازی مونت‌کارلو

فرزانه مهدیان[۱،*]، میثم فریدونی[۲]، کامران شهانقی[۳]

۱ و *-فرزانه مهدیان: دانشجوی کارشناسی، مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران
farzaneh_mahdian۷۳@yahoo.com

۲-میثم فریدونی: دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی سیستم‌های اقتصادی و اجتماعی، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران
meysamfereiduni@gmail.com

۳-کامران شهانقی: استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران
shahanaghi@iust.ac.ir

چکیده

هرساله هزاران نفر در اثر حوادث طبیعی ازجمله سیل و زلزله جان خود را از دست می‌دهند و هزینه‌های مادی و معنوی بسیاری را بر منطقه آسیب‌دیده وارد می‌کنند؛ بنابراین وجود برنامه‌ریزی برای پاسخ‌گویی در حین چنین حوادثی بسیار حیاتی و مهم به نظر می‌رسد. در این مقاله چگونگی استفاده از مدل‌سازی ریاضی و رویکرد استوار سازی در مدیریت بحران بیان می‌شود همچنین مشکلات ناشی از بحران که ممکن است در دنیای واقعی، خدمت‌رسانی را با مشکل مواجه کند در قالب سناریوهایی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. تولید سناریوها با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو انجام می‌شود و بر مبنای آن سناریویی انتخاب می‌گردد. با توجه به ذات غیرقطعی سناریوها از منطق استوار سازی برای برخورد با عدم قطعیت مسئله استفاده‌شده است. مسئله به دنبال تعیین مکان انبارها با توجه به شعاع پوشش هر انبار که بر مبنای وسایل نقلیه‌ی آن انبار تعیین می‌شود، است. با توجه به هزینه ناشی از مکان‌یابی انبارها و حمل‌ونقل دارو در شبکه امداد، مسئله به دنبال حداقل کردن هزینه‌های تأسیس انبارها و هزینه‌های حمل‌ونقل در منطقه است. نتایج به‌دست‌آمده از حل این مدل که بیانگر اهمیت مسئله مکان‌یابی است، در قالب یک مثال عددی مورد تجزیه‌وتحلیل قرارگرفته است.

واژگان کلیدی: مدیریت بحران، مکان‌یابی، برنامه‌ریزی استوار، بهینه‌سازی ریاضی، شبیه‌سازی مونت‌کارلو.

Archive of SID

www.SID.ir

Developing a P-robust Model for locating relief logistic warehaouses based on Monte-Carlo simulation

Abstract

Each year thousands of people lose their life cause of natural disaster such as eartquake, flood and storm and these disasters create spiritual and material costs for affected area. So replication in this situation base of organized programing is vital and important. In this paper how to use mathematical modeling and robust approach in disaster management will be presented. Furthermore, the problems which are caused by crisis and might interrupt the services in the real world will be assessed in the form of scenarios. The scenarios were designed using Monte Carlo simulation and were selected based on it. Whit respect to non-determinestic nature of the scenarios, p-robust model has been used. The purpose is to determine the locations of warehouses with regard to coverage of each warehouse which is based on vehicles on that warehouse. Indeed, the average speed is kept at mind for each vehicle and the coverage radius of reaching to the demand point is investigated. Model seeks minimal costs with consideration of fix cost of warehouse location and transportation and shortage cost. By solving this model conclusions express the location problem importance and those will be presented in numerial example.

Keyword: disaster management, location, Robust programming, mathematical optimization, Mont-carlo simulation

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

سوانح و بلایای طبیعی و غیرطبیعی در جهان باعث ایجاد خسارت‌های جانی و مالی می‌شوند و کشور ما هم از این قاعده مستثنا نیست؛ اما خسارات جانی غیرقابل‌جبران بوده و از دست دادن افراد که سرمایه‌های اصلی هر کشوری محسوب می‌شوند به‌عنوان ناگوارترین بخش این تراژدی مطرح است. ضرورت توجه به مدیریت بحران به‌منظور کاهش اثر این حوادث و مدیریت شرایط بحرانی، روزبه‌روز افزایش می‌یابد. درواقع بحران وضعیتی ناپایدار و وخیم است که در آن تصمیمی قاطع برای جلوگیری از تبعات نامطلوب و شدید احتمالی لازم است از طرفی مدیریت بحران شامل کلیه فعالیت‌هایی است که برای جلوگیری و کاهش اثرات بحران و بازگشت سریع به شرایط عادی صورت می‌پذیرد. امدادرسانی سریع و به‌موقع پس از یک حادثه طبیعی نظیر زلزله، سیل یا طوفان برای نجات جان حادثه دیدگان یکی از مهم‌ترین اصولی است که در سایه انتخاب راهبرد صحیح، اتخاذ تصمیمات به‌موقع و توانایی اجرای این تصمیمات قبل، حین و بعد از حوادث فوق‌الذکر، به‌عنوان یک ضرورت مطرح است و می‌تواند اثرات زیان‌بار و مخرب ناشی از این اتفاقات را تا حد مطلوبی کاهش دهد.

طبق بررسی‌های به‌عمل‌آمده کشور ایران در ردیف ۱۰ کشور اول حادثه‌خیز جهان است. از بین ۴۰ نوع حادثه شناخته‌شده در سطح جهان متأسفانه ۳۱ نوع آن در ایران احتمال وقوع دارد و مشخصاً سه سانحه زلزله، سیل و خشک‌سالی بیشتر از سایر بلایا برای کشور ما خسارت‌بار بوده است. بر اساس اظهارنظر پژوهشکده مهندسی زلزله نزدیک به ٪۸۳ جمعیت کشور ایران در مناطق با خطر نسبی زمین‌لرزه زیاد و خیلی زیاد قرار دارند و ٪۵۰ در معرض خطر سیل قرار دارد[۲] .

لذا لزوم انجام پژوهش‌های کاربردی درزمینهٔ مدیریت لجستیک امداد، به هنگام مقابله با بحران و به حداقل رساندن خسارات ناشی از آن، کاملاً واضح و مبرهن است. 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 کاراترین و باصرفه‌ترین روش‌ها و فناوری‌ها، با در نظر گرفتن شرایط کشور خواهد شد.

تاکنون مدل‌های گوناگونی به‌عنوان ابزارهای کمکی در فرایند تصمیم‌گیری مدیریت بحران ساخته‌شده‌اند که مسئله جایابی یکی از آن‌هاست درواقع در این نوع تحقیقات سعی بر این است مدل جامعی به‌منظور مکان‌یابی نقاط بهینه امدادرسانی قبل و بعد از بحران ارائه شود که هم ازلحاظ ایمنی و عملکرد کارا باشد و هم ازلحاظ هزینه مطلوبیت داشته باشد. مسئله‌های جایابی تسهیلات مجموعه‌ای از تسهیلات (منابع) را به‌منظور مینیمم کردن هزینه ارضای بعضی از نقاط تقاضا (مربوط به مشتریان) با توجه به مجموعه‌ی محدودیت‌ها مکان‌یابی می‌کند. نظریه جایابی برای اولین بار در سال ۱۹۰۹ به‌طور رسمی مطرح گردید زمانی که آلفرد وبر با مسئله‌ی مکان‌یابی یک انبار به‌منظور حداقل سازی کل فاصله بین انبار و چند مشتری مواجه شد [۱].

ما در این مقاله با استفاده از مسائل مکان‌یابی سعی بر کنترل شرایط و تصمیم‌گیری مناسب در شرایط بحرانی مانند وقوع زلزله داریم در این مقاله تعدادی انبار احداث می‌شوند که در هر یک از این انبارها چهار نوع تجهیز مختلف می‌توان قرارداد که باید تمام نقاط تقاضا را به‌صورت کامل پوشش دهد و هرکدام از تقاضاهای دارویی هر نقطه تقاضا فقط و فقط توسط یک انبار و یک تجهیز ارضا می‌شود؛ که این ارائه خدمات ممکن است زمینی و یا هوایی صورت گیرد. در این مقاله با استفاده از چارچوب شبیه‌سازی مونت‌کارلو و تعریف سناریو این فرض که ممکن است که برخی از مسیرهای زمینی در حین حادثه دچار مشکل شوند و رفت آمد را دچار مشکل کنند در نظر گرفته می‌شود که تعریف این سناریو مدل را به نزدیک شدن به دنیای واقعی کمک می‌کند.

۲- مرور ادبیات

شواهد گویای این است که سالانه حوادث و بلایای طبیعی متعددی در نقاط مختلف جهان اتفاق می‌افتند که لزوم برنامه‌ریزی و مدیریت بسیار کارایی جهت کاهش خسارات ناشی از آن‌ها را نشان می‌دهند. بنا بر مطالعات صورت گرفته توسط انجمن IFRC، بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ شاهد ۷۱۸۴ حادثه در جهان بوده‌ایم. ازجمله این حوادث می‌توان به حمله به مراکز تجاری جهان در سال ۲۰۰۱، سونامی در اندونزی در سال ۲۰۰۴، طوفان کاترینا در ۲۰۰۵، زلزله هائیتی سال ۲۰۱۰ اشاره کرد. همچنین IFRC خسارات اقتصادی ناشی از این حوادث را ۹۸۶۶۹۱ میلیون دلار و تلفات آن را ۱۱۰۵۳۵۲ نفر و آسیب‌دیدگان را ۲۵۵۰۲۷۲۲۶۷ نفر تخمین زده است. همچنین بنا بر گزارش مونیچری[۱] حوادث اتفاق افتاده در سال ۲۰۱۰ بیش از ۲۹۵۰۰۰ مرگ و بیش از ۱۳۰ میلیارد خسارت اقتصادی برجای گذاشته است. این آمارها بیانگر احتمال زیاد وقوع بحران‌ها و نیاز به توسعه هرچه بهتر استراتژی‌ها جهت کاهش چنین خساراتی می‌باشند [۲].

مطالعات تورگاس[۲] در سال ۱۹۷۱ جزء اولین فعالیت‌های انجام‌شده در مکان‌یابی تجهیزات اضطراری است که در آن‌ها پوشش مدل‌سازی شد و یک روش برای حل آن با استفاده از برنامه‌ریزی خطی ارائه شد [۳]. بسیاری از مطالعات انجام‌شده در لجستیک امداد در بحران بر اجرایی بودن فعالیت‌های لجستیکی (در زنجیره امداد) باهدف بهینه‌سازی موجودی از طریق شبکه‌های توزیع موجود متمرکزشده‌اند. به‌عنوان‌مثال نات[۳] در سال ۱۹۸۷ یک مدل خطی پیشنهاد کرد که مشکلات حمل‌ونقل مواد غذایی در آن در نظر گرفته‌شده بود و هدف آن به حداقل رساندن هزینه حمل‌ونقل و تحویل حداکثر میزان مواد غذایی به مناطق آسیب‌دیده بود [۴]. او در طول تحقیقات بعدی خود در سال ۱۹۸۸ یک مدل خطی برنامه‌ریزی برای وسایل نقلیه باهدف به حداکثر نمودن تحویل مواد غذایی برای یک مسئله مدیریت بحران پیشنهاد کرد [۵]. بااین‌حال تلفات حمل‌ونقل و درمان آن‌ها در مقایسه باعرضه کالاهای امدادی کمتر موردتوجه و تمرکز قرار می‌گرفت. بروتکورن[۴] و همکارانش در سال ۲۰۰۳ مدل‌های مکان‌یابی طبقه‌بندی‌شده‌ای از

---

۱ Mon cheri
۲ Torgas
۳ Knott
٤ Brotcorne

www.SID.ir
Archive of SID

وسایل نقلیه اضطراری در قالب مدل‌های پویا و مدل‌های صف ارائه کردند. آکیهال[۱] در سال ۲۰۰۶ محل بهینه انبارهای غیرمصرفی برای قرار دادن کمک‌های اولیه را در قبل از وقوع بحران موردبررسی قرارداد [۶]. استپانف[۲] در سال ۲۰۰۷ یک مدل چندهدفه قطعی برای توزیع در میان نقاط تقاضا با توجه به هزینه، زمان پاسخ و پوشش ارائه داد. این مقاله در مورد تصمیم‌گیری در مورد محل تخلیه قربانیان و امدادرسانی بحث شده است [۷].

مطالعه‌های بسیاری مانند فیدریش و همکاران[۳] در سال ۲۰۰۰ و ساکیکابارا و همکاران[۴] در سال ۲۰۰۴ در خصوص توزیع‌های مربوط به کمک‌های امدادی ارائه‌شده است که از برنامه‌ریزی‌هایی باهدف‌هایی مانند به حداقل رساندن زمان پاسخ و به حداکثر رساندن پوشش استفاده کرده‌اند[۸،۹]. در اکثر مطالعات فوق از برنامه‌ریزی آرمانی مثل حداقل کردن زمان پاسخگویی و حداکثر کردن پوشش استفاده‌شده است.

برنامه‌ریزی برای مدیریت امداد در شرایط بحران غالباً با عدم قطعیت‌های زیادی روبه‌رو هست. در یک دسته‌بندی کلی، این عدم قطعیت‌ها به دودسته: ۱) عدم قطعیت‌ها در برنامه‌ریزی برای شرایط آینده و ۲) عدم قطعیت‌های مربوط به مقادیر پارامترهای ورودی مسئله قابل‌تقسیم می‌باشند. جزئیات این دسته‌بندی در ادامه آورده شده است.

جدول ۱ دسته‌بندی عدم قطعیت‌ها در برنامه‌ریزی بحران[۱].

جزئیات	عدم قطعیت در برنامه‌ریزی برای مدیریت امداد
عدم قطعیت در ارتباط با پارامترهای ورودی	عدم قطعیت در برنامه‌ریزی برای نیازهای آینده
عدم قطعیت وقوع رویدادها	
اثرات مختلف در مناطق مختلف	
ویژگی‌های مختلف بحران‌ها (نوع، مکان، زمان، اندازه)	عدم قطعیت در ارتباط با پارامترهای ورودی
عدم قطعیت در تأمین‌کننده‌ها	
عدم وجود مسیر قطعی	

روش‌های ورود عدم قطعیت پارامترها در مدل‌های ریاضی به شرح زیر است:

۱. ترسیم ریسک و مقادیر احتمالی
۲. توزیع امکانات و برنامه‌ریزی عدم قطعیت
۳. بهینه‌سازی استوار
۴. مدل‌های شبیه‌سازی‌شده
۵. مجموعه‌های فازی

روش‌های برنامه‌ریزی احتمالی مسلماً از روش‌های قطعی مناسب‌ترند اما به دلیل داده‌های ناکامل و غیرقطعی معمولاً رویکرد متفاوتی دارند. محققان بسیاری تحقیقاتی در مورد بحران با استفاده از بهینه‌سازی استوار انجام داده‌اند. بیشتر مقالات در مسائل بحران بر روی جریان کالاها و یا جریان آسیب دیدگان متمرکزشده‌اند و علاوه بر این مطالعاتی بر اساس این‌که هر دو فرض را در نظر گرفته‌اند، موجود است.

باربارا‌سوگلو و آردا[۵](۲۰۰۴) به توسعه یک چهارچوب برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای جهت برنامه‌ریزی حمل‌ونقل در فاز پاسخ‌گویی به هنگام بحران تحت شرایط عدم قطعیت پرداخته‌اند. در این تحقیق، محققان به توسعه مدل ارائه‌شده در مقاله (اوه و حقانی[۶]، ۱۹۹۶) که به‌صورت قطعی، چند کالایی و چند نوع ناوگان حمل‌ونقل بوده، پرداخته‌اند. در این تحقیق عدم اطمینان موجود در تخمین منابع موردنیاز جهت کالاهای امدادی، آسیب‌پذیری منابع تأمین و قابلیت مقاومت راه‌های ارتباطی موردبررسی قرارگرفته است [۱۰].

جیا و همکاران[۷](۲۰۰۷ ای) یک مدل مکان‌یابی تسهیلات تک هدف بدون محدودیت ظرفیت جهت مکان‌یابی تسهیلات سرویس-دهی در شرایط اضطراری با اندازه بزرگ نظیر آمبولانس یا ایستگاه‌های آتش‌نشانی ارائه دادند. آن‌ها احتمال خرابی تسهیلات را به‌صورت صفر و یک در نظر گرفتند. مدلشان تصمیمات سطح موجودی در فاز آمادگی و محدودیت ظرفیت تسهیلات را در نظر نمی-گیرد [۱۱].

۱ Akkihal
۲ Stepanov
۳ Fiedrich et al.
۴ Sakakibara et al.
۵ Barbarosoglu & Arda
۶ Oh and Haghani
۷ Jia et al.

Archive of SID
www.SID.ir

چانگ[۱] و همکاران (۲۰۰۷) جهت برنامه‌ریزی برای آمادگی بیشتر لجستیک اضطراری سیل پرداخته‌اند. در این تحقیق، مسئله لجستیک اضطراری سیل به‌صورت برنامه‌ریزی تصادفی تحت عدم قطعیت تقاضا مدل‌سازی شده است. به‌طوری‌که چهار نوع فعالیت-های پشتیبانی در نظر گرفته‌شده و کلیه نقاط موجود در شبکه به پنج گروه تقسیم‌شده است. این پنج گروه عبارت‌اند از: مرکز نجات اصلی که مسئول عملیات نجات در کلیه نقاط تقاضا در منطقه آسیب‌دیده بوده و در زیر آن مراکز نجات منطقه‌ای قرار دارد که جهت کنترل عملیات نجات در منطقه اجرایی خود و پشتیبانی نقاط تقاضا در سایر مناطق به وجود آمده‌اند. گروه سوم پایگاه‌های نجات محلی می‌باشند که مسئولیت عملیات نجات اولیه در منطقه اجرایی خودشان را دارا می‌باشند. جهت مساعدت آژانس‌های دولتی دو مدل برنامه‌ریزی تصادفی جهت تعیین مراکز انبارهای منابع نجات و مقدار تجهیزات نجات موردنیاز در آن‌ها و توزیع تجهیزات نجات ارائه‌شده است به‌طوری‌که در مدل اول هدف کمینه کردن فاصله از تجهیزات نجات و در مدل دوم نیز هدف کمینه کردن هزینه‌های استقرار و متوسط هزینه تجهیزات نجات است [۱۲].

مته و ژبینسکی[۲] (۲۰۰۹) یک مدل بهینه‌سازی تصادفی جهت برنامه‌ریزی برای انبارش و توزیع اقلام پزشکی در شرایط اضطراری تحت عدم قطعیت تقاضا و هزینه ارائه دادند. هدف اصلی مدلشان تعیین مکان بهینه ذخیره‌سازی و میزان سطح موجودی موردنیاز این اقلام برای انبارها قبل از وقوع بحران و کاهش ریسک انبارهایی بود که خودشان در معرض خرابی در برابر زلزله قرار داشتند .بعد از شروع یک بحران شبیه‌سازی‌شده، الگوریتمشان سپس مسیرهای ارسال کالا به بیمارستان‌ها را شناسایی می‌کرد تا زمان سفر را کاهش دهد [۱۳].

سالمرون و آپته[۳] (۲۰۱۰) یک مدل بهینه‌سازی تصادفی دومرحله‌ای برای برنامه‌ریزی تخصیص بودجه برای اکتساب و موقعیت‌یابی دارایی‌های امدادی ارائه دادند. در این مدل، تصمیمات مرحله اول شامل موقعیت‌یابی منابع امدادی نظیر انبارها، تسهیلات پزشکی، فضاهای استراحت و پناهگاه‌ها است. درحالی‌که تصمیمات مرحله دوم به بحث لجستیک تحت عدم قطعیت تقاضا و هزینه مربوط می‌شود. آنچه در مدلشان دیده نشده، ارتباط بین مکان‌های مراکز امدادی (پوشش پشتیبان) و همچنین احتمال خرابی موجودی کالاهای اضطراری است [۱۴].

رائول و ترانکوئیست[۴] (۲۰۱۰) یک برنامه‌ریزی تصادفی عدد صحیح مختلط برای تعیین مکان و مقدار سفارش کالاهای اضطراری مختلف ارائه دادند. مدل آن‌ها، دسترسی شبکه حمل‌ونقل را تحت عدم قطعیت تقاضا و هزینه موردبررسی قرار است [۱۵].

جبارزاده و همکاران[۵] به ارائه مدل پویایی در راستای تعین مکان تسهیلات دریافت خون و نحوه توزیع آن در شرایط بحرانی به بیمارستان‌های نیازمند پرداختند که به دلیل عدم قطعیت‌های ناشی از تقاضای خود در مدل‌سازی از برنامه‌ریزی استوار استفاده کرده‌اند [۱۶].

کاماچو[۶] در سال ۲۰۱۴ در یک مطالعه به ارائه مدل برنامه‌ریزی دوسطحی برای لجستیک انسان دوستانه مربوط به توزیع کمک‌های بین‌المللی پرداخت؛ که این کمک‌ها از طرف سازمان‌های بین‌المللی و کشورهای خارجی انجام می‌شود که هدف آن‌ها کاهش هزینه است از طرف دیگر کشوری که تحت تأثیر بحران قرارگرفته در پی توزیع کمک‌ها به‌صورت مؤثر و با سرعت هرچه بیشتر است. وی در این مقاله از بازی استکلبرگ برای مدل‌سازی برنامه‌ریزی دوسطحی استفاده کرده است [۱۷].

جیونگا و همکاران[۷] در سال ۲۰۱۴ در مقاله خود یک مدل یکپارچه برای لجستیک امداد ارائه کردند که همراه با معیارهای استوار و کارایی و ریسک است. این مدل به‌صورت جزئی به دو زیر مدل استراتژیک و عملیاتی تقسیم‌بندی شده است و به بررسی چگونگی تأمین کالاهای اساسی و نحوه توزیع آن‌ها می‌پردازد [۱۸].

۳-تعریف مسئله

با توجه به موقعیت استراتژیک و جغرافیایی کشور ایران و قرار گرفتن ۹۰ درصد از خاک کشور روی گسل، در میان حوادث طبیعی در کشور ما زلزله همواره بیشترین خرابی‌ها را به بار آورده است. شهر تهران نیز به‌عنوان شهر استراتژیک ایران همواره در معرض چنین سوانحی بوده است، تهران ازنظر زمین‌لرزه جزء مناطق پرزیان (۸ تا ۱۰ درجه مرکالی) به شمار می‌آید.

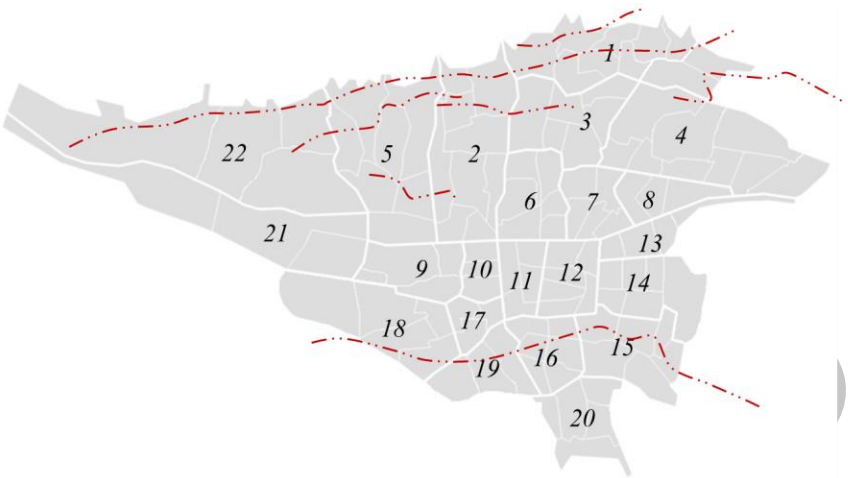
همان‌طور که در شکل ۱. مشاهده می‌شود گسل شمال تهران بزرگ‌ترین گسل شهر است که در جنوب دامنه رشته‌کوه البرز و در شمال شهر تهران قرار دارد. این گسل از لشکرک و سوهانک آغازشده تا فرحزاد و حصارک و ازآنجا به سمت غرب

---

۱ Chang
۲ Mete and Zabinsky
۳ Salmeron and Apte
٤ Rawls and Turnquist
٥ Jabbarzadeh
٦ Camacho
۷ Jeonga et al.

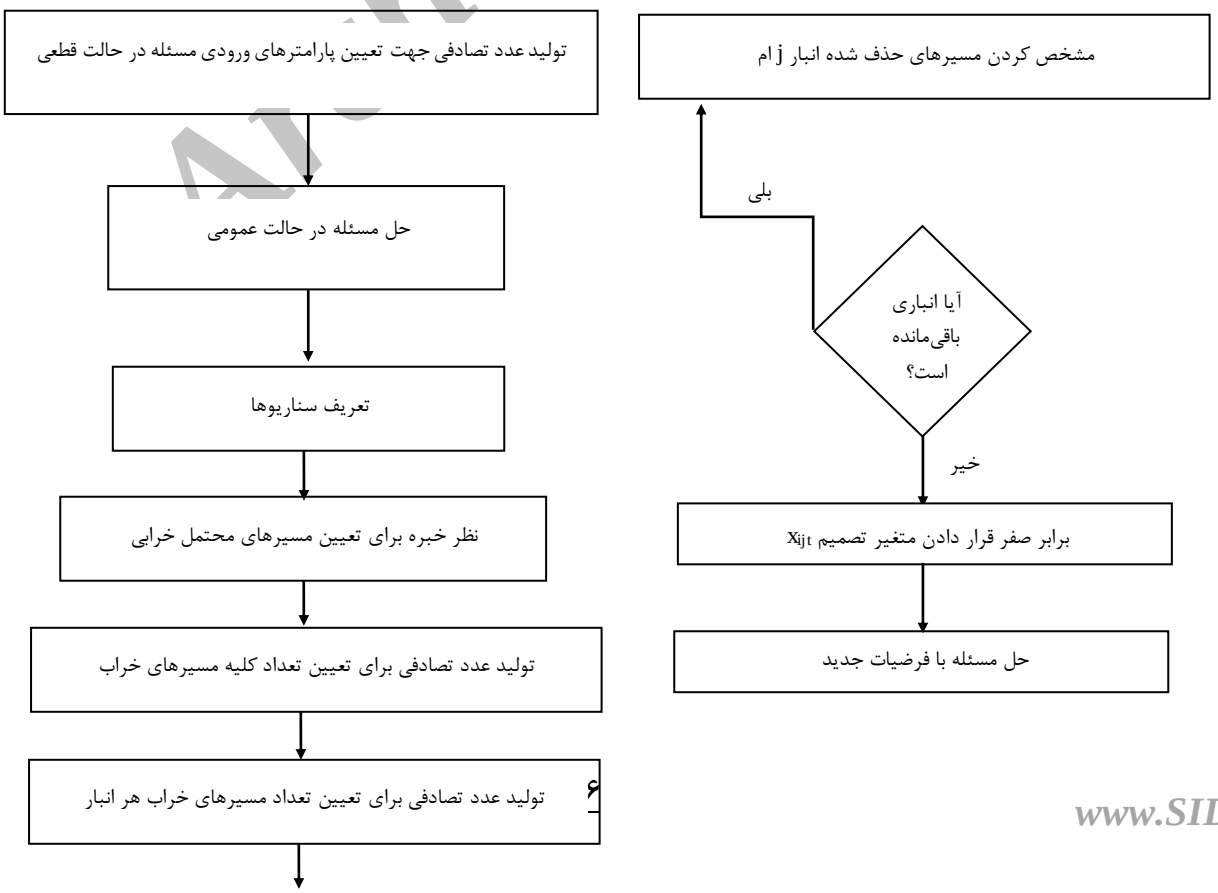
Archive of SID
www.SID.ir

امتدادیافته است. این گسل در مسیر خود، نیاوران، تجریش، زعفرانیه، الهیه و فرمانیه را در برمی‌گیرد. با توجه به شرایط پرخطر تهران در منطقه یک ضرورت توجه به مدیریت بحران امری بدیهی است.



شکل ۱. گسل‌های مناطق ۲۲ گانه تهران در شمال و جنوب شهر

همان‌طور هم که قبلاً اشاره شد موضوع این مقاله توسعه مدل مکان‌یابی ناحیه‌ای در مدیریت بحران به‌منظور مکان‌یابی نقاط ایمن باهدف امدادرسانی سریع و کارا و با حداقل هزینه بعد از وقوع بحران می‌باشد که درواقع این نقاط ایمن شامل چندین تجهیز برای ارسال دارو به نقاط تقاضا می‌باشند. این مدل به دنبال پیدا کردن مکان مناسب برای احداث انبارهای لجستیک امدادی از بین نقاط تقاضای در نظر گرفته‌شده است. در هر پایگاه حداکثر چهار نوع تجهیز و به تعداد مختلف قرار می‌گیرند که عمل پوشش دهی نقاط تقاضا را انجام می‌دهند. هر نوع تجهیز یک سرعت متوسط مشخص را دارد و هر نقطه تقاضا در یک‌زمان مشخصی باید ارضا شود چراکه در دنیای واقعی در بسیاری از مواقع ما فرصت کافی برای ارائه خدمت در حین بحران را نداریم و باید در یک مدت‌زمان مشخص به نقطه موردنظر برسیم. پس از تعیین اینکه چه تجهیزی از چه پایگاهی چه نقطه تقاضایی را پوشش می‌دهد مدل قطعی صحت عملکرد خود را نشان می‌دهد؛ اما با توجه به ماهیت بحران و ذات غیرقطعی آن ممکن است برخی از مسیرهای ارائه خدمت بین انبارهای لجستیکی و نقاط تقاضا دچار خرابی شوند که بر اساس شبیه‌سازی مونت‌کارلو به انجام این شبیه‌سازی پرداخته می‌شود که در شکل ۲. فلوچارت نحوه شبیه‌سازی مشاهده می‌شود. پس از حذف مسیرها و احتمال وقوع هرکدام از این خرابی‌ها از مدل برنامه‌ریزی استوار برای مدل‌سازی شرایط غیرقطعی استفاده‌شده است که نتایج حاصل از حل مدل برنامه‌ریزی استوار در قالب مثال عددی مورد تجزیه‌وتحلیل قرارگرفته است.



www.SID.ir

شکل ۲. فلوچارت نحوه حذف مسیرها با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو

۴- مدل ریاضی

مدل زیر یک مدل خطی ریاضی است که تابع هدف آن حداقل سازی هزینه می‌باشد. هزینه‌ها از سه قسمت تشکیل‌شده است قسمت اول مربوط هزینه تأسیس پایگاه است و قسمت دوم آن مربوط به هزینه حمل‌ونقل تجهیزات و قسمت آخر مربوط به هزینه مواجه با کسری می‌باشد. از بین نقاط تقاضا تعدادی انبار انتخاب می‌شوند و هر تقاضای داروی خاص یک نقطه تقاضا فقط توسط یک تجهیز و از یک انبار ارضا می‌شود و نکته مهم‌تر این است که این ارضا کردن باید در یک مدت‌زمان مشخصی صورت گیرد. در هر پایگاه به تعداد مشخصی می‌توان از هر نوع تجهیز قرارداد. از بین این چهار نوع تجهیز سه نوع از آن‌ها از طریق زمینی می‌توانند تقاضا را ارضا کنند و یک نوع تجهیز از طریق هوایی این کار را انجام می‌دهد. علاوه بر این مکان‌یابی انبارها بر اساس ظرفیت کلی داروها و تقاضای موجود در منطقه نیز تعیین می‌شود. در ادامه پارامترها متغیرها تصمیم و مدل ریاضی قطعی ارائه خواهد شد.

متغیرهای تصمیم

x_{ijtk} اگر داروی نوع k با تجهیز نوع t از پایگاه i به نقطه تقاضای j برده شود یک و در غیر این صورت برابر صفر.

y_i هنگامی برابر یک می‌شود که پایگاه i تأسیس شود و در غیر این صورت صفر.

z_{ijtk} میزان داروی نوع k که با وسیله‌ی نوع t از پایگاه i به نقطه تقاضای j برده می‌شود.

s_{ik} شعاع پوشش پایگاه i برای کالای k

k_{it} تعداد وسیله نوع t در پایگاه i

Q_{jk} مقدار کسری داروی نوع k در نقطه تقاضا j ام

پارامترها

F_i هزینه تأسیس انبار i

Q'_{ik} مقدار ذخیره‌شده از داروی نوع k در پایگاه i

C_t هزینه هر واحد حمل‌ونقل با وسیله t

v_t سرعت متوسط وسیله نقلیه t

t_{jk} زمان سرویس‌دهی به نقطه‌ی تقاضای j برای داروی k

B_{tk} میزان افزایش شعاع پوشش برای داروی نوع k به ازای هر وسیله نوع t

d_{ij} فاصله پایگاه i تا نقطه تقاضای j

w_{jk} جریمه به ازای کمبود داروی k برای نقطه‌ی تقاضای j

U_{tk} ظرفیت وسیله‌ی نوع t برای داروی نوع k

m ماکزیمم بودجه‌ی در اختیار برای مواجه با کسری

d'_{jk} تقاضای نقطه‌ی j برای داروی نوع k

L_{ik} ماکزیمم مقدار ذخیره‌شده داروی نوع K در پایگاه i

e_k مقدار کل داروی نوع k

مدل قطعی

$$Min \quad z = \sum_i f_i y_i + \sum_i \sum_j \sum_k \sum_t x_{ijkt} . d_{ij} . c_t + \sum_j \sum_k w_{jk} . Q_{jk} \qquad (۱)$$

s.t:

$$\sum_i Q'_{ik} \le e_k \qquad \forall k \qquad (۲)$$

$$\sum_j \sum_t z_{ijkt} \le Q'_{ik} \qquad \forall i,k \qquad (۳)$$

$$\sum_j \sum_k w_{jk} . Q_{jk} \le m \qquad (۴)$$

Archive of SID
www.SID.ir

$$\sum_i \sum_t z_{ijkt} = d'_{jk} - Q_{jk} \qquad \forall j,k \qquad (۵)$$

$$s_{ik} \le \sum_t B_{tk} . k_{it} \qquad \forall i,k \qquad (۶)$$

$$Q'_{ik} \le L_{ik} . y_i \qquad \forall i,k \qquad (۷)$$

$$M . x_{ijkt} \ge z_{ijkt} \qquad \forall i,j,k,t \qquad (۸)$$

$$M . y_i \ge z_{ijkt} \qquad \forall i,j,k,t \qquad (۹)$$

$$x_{ijkt} . d_{ij} \le s_{ik} \qquad \forall i,j,k,t \qquad (۱۰)$$

$$\frac{d_{ij} . x_{ijkt}}{v_t} \le t_{jk} \qquad \forall i,j,k,t \qquad (۱۱)$$

$$z_{ijkt} \le u_{tk} \qquad \forall i,j,k,t \qquad (۱۲)$$

$$x_{ijkt}, y_i \in \{0,1\} \qquad \forall i,j,k,t \qquad (۱۳)$$

معادله (۱) نشانگر تابع هدف حداقل کردن هزینه احداث و حمل‌ونقل و همچنین هزینه‌های مواجه با کسری برای تأمین نیاز در نقاط تقاضا است، معادله (۲) محدودیت مربوط به موجودی کل برای هر نوع دارو در همه انبارهای امدادی است. معادله (۳) بیانگر ظرفیت هر انبار برای هر داروی خاص است. معادله (۴) محدودیت مربوط به‌کل بودجه در نظر گرفته‌شده برای کسری است. معادله (۵) بیانگر معادله تعادلی تقاضا می‌باشد. معادله (۶) محدودیت مربوط به افزایش شعاع پوشش به ازای افزایش هر واحد از وسیله نقلیه نوع t می‌باشد. معادله (۸) محدودیت مربوط به وابستگی x و z می‌باشد. معادله (۹) بیانگر الزام احداث انبار برای تخصیص وسیله نقلیه به آن انبار است. معادله (۱۰) بیان‌کننده شعاع پوشش انبار است و معادله (۱۱) محدودیت زمانی را با توجه به‌سرعت متوسط هر یک از وسایل نقلیه بیان می‌کند. معادله (۱۲) ظرفیت وسایل نقلیه را بیان می‌کند و معادله آخر مربوط به متغیرهای تصمیم باینری است.

مدل سناریوی

$$Min \quad z = \sum_i f_i y_i + \sum_i \sum_j \sum_k \sum_t x_{ijkts} . d_{ij} . c_t + \sum_j \sum_k w_{jk} . Q_{jks} \qquad (۱۴)$$

s.t:

$$\sum_i Q'_{iks} \le e_k \qquad \forall k,s \qquad (۱۵)$$

$$\sum_j \sum_t z_{ijkts} \le Q'_{iks} \qquad \forall i,k,s \qquad (۱۶)$$

$$\sum_j \sum_k w_{jk} . Q_{jks} \le m \qquad \forall s \qquad (۱۷)$$

$$\sum_i \sum_t z_{ijkts} = d'_{jks} - Q_{jks} \qquad \forall j,k,s \qquad (۱۸)$$

$$s_{iks} \le \sum_t B_{tk} . k_{it} \qquad \forall i,k,s \qquad (۱۹)$$

$$Q'_{iks} \le L_{ik} . y_i \qquad \forall i,k,s \qquad (۲۰)$$

$$M . x_{ijkts} \ge z_{ijkts} \qquad \forall i,j,k,t,s \qquad (۲۱)$$

$$M . y_i \ge z_{ijkts} \qquad \forall i,j,k,t,s \qquad (۲۲)$$

$$x_{ijkts} . d_{ij} \le s_{iks} \qquad \forall i,j,k,t,s \qquad (۲۳)$$

$$\frac{d_{ij} . x_{ijkts}}{v_t} \le t_{jk} \qquad \forall i,j,k,t,s \qquad (۲۴)$$

$$z_{ijkts} \le u_{tk} \qquad \forall i,j,k,t,s \qquad (۲۵)$$

Archive of SID

www.SID.ir

$$x_{ijkts}, y_i \in \{0,1\} \qquad \forall i, j, k, t, s \qquad (۲۶)$$

معادلات ۱۴ تا ۲۶ مشابه با معادلات ۱ تا ۱۳ عمل می‌کنند به این تفاوت که به ازای هر سناریو تکرار می‌شوند که با اندیس s مشخص‌شده‌اند. این مدل به ازای هر سناریو اجراشده و جواب‌های آن به ازای هر سناریو در c_s^* ذخیره می‌شود و در مدل استوار از آن استفاده می‌شود.

مدل استوار

$$Min \quad z = \sum_i f_i y_i + \sum_i \sum_j \sum_k \sum_t x_{ijkt0} . d_{ij} . c_t + \sum_j \sum_k w_{jk} . Q_{jk0} \qquad (۲۷)$$

s.t:

$$\sum_i f_i y_i + \sum_i \sum_j \sum_k \sum_t x_{ijkts} . d_{ij} . c_t + \sum_j \sum_k w_{jk} . Q_{jks} \le (1+p) c_s^* \qquad (۲۸)$$

$$\sum_i Q'_{iks} \le e_k \qquad \forall k, s \qquad (۲۹)$$

$$\sum_j \sum_t z_{ijkts} \le Q'_{iks} \qquad \forall i, k, s \qquad (۳۰)$$

$$\sum_j \sum_k w_{jk} . Q_{jks} \le m \qquad \forall s \qquad (۳۱)$$

$$\sum_i \sum_t z_{ijkts} = d'_{jks} - Q_{jks} \qquad \forall j, k, s \qquad (۳۲)$$

$$s_{iks} \le \sum_t B_{tk} . k_{it} \qquad \forall i, k, s \qquad (۳۳)$$

$$Q'_{iks} \le L_{ik} . y_i \qquad \forall i, k, s \qquad (۳۴)$$

$$M . x_{ijkts} \ge z_{ijkts} \qquad \forall i, j, k, t, s \qquad (۳۵)$$

$$M . y_i \ge z_{ijkts} \qquad \forall i, j, k, t, s \qquad (۳۶)$$

$$x_{ijkts} . d_{ij} \le s_{iks} \qquad \forall i, j, k, t, s \qquad (۳۷)$$

$$\frac{d_{ij} . x_{ijkts}}{v_t} \le t_{jk} \qquad \forall i, j, k, t, s \qquad (۳۸)$$

$$z_{ijkts} \le u_{tk} \qquad \forall i, j, k, t, s \qquad (۳۹)$$

$$x_{ijkts}, y_i \in \{0,1\} \qquad \forall i, j, k, t, s \qquad (۴۰)$$

معادله ۲۸ بیانگر محدودیت برنامه‌ریزی استوار است که این اختیار را به تصمیم‌گیرنده می‌دهد که با پارامتر p در مورد مسئله دید بدبینانه یا خوش‌بینانه داشته باشد. سایر محدودیت‌ها مشابه محدودیت‌های مسئله سناریویی است.

۵- مثال عددی

به دلیل در دست نبودن نمونه واقعی در این زمینه برای پارامترهای مختلف موجود در مدل بازه‌هایی در نظر گرفته‌شده است که در جدول ۱ نشان داده‌شده است و برای هر بار حل این مدل مقدار این پارامترها به کمک تولید عدد تصادفی در این بازه‌ها تعیین می‌شود توجه به این نکته بسیار مهم است که این اعداد تصادفی در اغلب موارد باعث می‌شوند مسئله ما فضای جواب نداشته باشد بنابراین ما آن‌قدر عدد تصادفی تولید می‌کنیم تا مسئله شدنی شود.

در جدول۲ و جدول ۳ برخی از پارامترها ارائه‌شده است که مربوط به وسایل نقلیه و نقاط تقاضا است، ارائه‌شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲ بازه‌های تعیین‌شده برای برخی از پارامترها

	کران پایین	کران بالا
F_i	۴۰۰۰	۵۰۰۰
T_j	۷	۱۴
d_{ij}	۴۵	۶۰

جدول ۳ پارامترهای درنظرگرفته شده برای وسایل نقلیه

وسیله	سرعت (میانگین km/h)	هزینه هر واحد حمل‌ونقل	ظرفیت وسیله نقلیه	افزایش در شعاع پوشش کالاها : β_{tk}
تجهیز ۱	۷۰	۱۰	۳	۱
تجهیز ۲	۶۵	۱۰۰	۵	۱
تجهیز ۳	۶۰	۱۲۰	۱۰	۱
تجهیز ۴	۲۵۰	۵۰۰	۱۳	۱

جدول ۴ پارامترهای درنظرگرفته شده برای نقاط تقاضا

گره	هزینه تأسیس انبار	تقاضا
۱	۴۳۰۰	۱۰
۲	۳۵۰۰	۶
۳	۳۹۰۰	۱۳
۴	۵۷۰۰	۴
۵	۴۵۰۰	۲
۶	۴۰۰۰	۱۱
۷	۴۷۰۰	۹
۸	۵۰۰۰	۱
۹	۴۵۰۰	۷
۱۰	۴۲۰۰	۹

همان‌طور که ذکر شد برای تولید سناریوها از رویکرد شبیه‌سازی مونت‌کارلو استفاده‌شده است که مطابق با فلوچارت شکل ۲ می‌باشد برای نمونه یک گردش برای فلوچارت به این شکل جواب می‌دهد که پس از تولید اعداد تصادفی است بر اساس قدم‌های ذکرشده در این فلوچارت ۶ مسیر در طی حادثه تخریب می‌شوند که این مسیرها برای یک سناریو خاص موردنظر عبارت‌اند از d_{21}, $d_{7\,14}$, $d_{19\,15}$, $d_{17\,15}$, $d_{23\,24}$, $d_{12\,9}$, ۰۹. در جدول شماره ۳ مقادیر تابع هدف مسئله سناریویی به ازای چهار سناریو آورده شده است که از این مقادیر به‌عنوان پارامتر در اولین محدودیت مدل استوار استفاده می‌شود؛ که درنهایت مقدار تابع هدف مدل پی روباست برابر ۲۸۲۴۳ واحد پولی می‌شود و نقاط ۱، ۴ و ۸ به‌عنوان پایگاه‌های بحران انتخاب می‌شوند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵ جواب بهینه برای ۴ مسئله سناریویی

	Cs*
سناریو ۱	۲۷۴۰۵
سناریو ۲	۲۲۳۰۱
سناریو ۳	۲۴۱۲۴
سناریو ۴	۲۵۳۴۴

۶- نتیجه‌گیری و تحقیقات آتی

مدیریت بحران و به‌ویژه بلایای طبیعی نیاز به در نظر گرفتن عوامل متعددی دارند که بسیاری از آن‌ها با دامنه زیاد از عدم قطعیت همراه هستند. تصمیم‌گیری تحت عدم قطعیت وضعیتی است که هر مدیر در مواجهه با بحران با آن مواجه است. این تصمیمات اغلب باید در کوتاه‌ترین زمان ممکن انجام شوند و تلفات و خسارات مالی را به حداقل ممکن کاهش دهند. روش بهینه سازی استوار در تخصیص منابع می‌تواند یک برنامه‌ریزی مفید با توانایی مقابله در برابر عدم قطعیت به کار گرفته شود. در این مقاله یک مدل تک هدف برای شرایط بحرانی هنگام وقوع حوادث طبیعی مانند زلزله ارائه‌شده است که هدف آن حداقل کردن هزینه‌های احداث و حمل‌ونقل تجهیزات و مواجه با کسری در شبکه است. چهار تجهیز برای هر پایگاه در نظر گرفته‌شده است که هر یک دارای سرعت متوسط مخصوص به خود و هزینه حمل‌ونقل مشخصی هستند. ازآنجایی‌که نقاط تقاضا در دنیای واقعی باید در مدت‌زمان مشخص ارضا شوند برای نزدیک شدن مسئله به دنیای واقعی برای هر نقطه تقاضا مدت‌زمانی به‌عنوان زمان پاسخ‌دهی در نظر گرفته‌شده است. به‌منظور بهبود عملکرد مدل در برابر رویداد پیش‌بینی‌نشده از رویکرد استوار استفاده‌شده است. نتایج حل مدل استوار در مقابل جواب مدل سناریویی بیانگر عملکرد بهتر مدل استوار است که تابع هدف بهینه‌تری را ارائه می‌دهد.

در پایان سه پیشنهاد که برای تحقیقات آتی به اشاره می‌شود که به شرح زیر می‌باشند: از آنجایی که مسائل جهان واقعی بزرگ مقیاس هستند، استفاده از روش های سنتی دشواری های خود را دارد بنابراین یافتن روش و الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری می‌تواند مشکلات روش‌های سنتی را تا حد زیادی پوشش دهد. درنظرگرفتن چندین تابع هدف با اولویت‌های متفاوت مانند حداکثر کردن پوشش، قابلیت اطمینان و حداقل کردن ریسک، زمان ارائه خدمت و ... که مسئله را به واقعیت نزدیک می‌کند. به دلیل مشکلات موجود در دنیای واقعی ممکن است تقاضای برخی از نقاط به طور کامل پوشش داده نشود، استفاده از مدل‌های قطعی یا تئوری فازی برای در نظر گرفتن پوشش جزئی می‌تواند مدل ارائه شده را کامل‌تر کند.

منابع و مراجع

[۱] Yavari, A. and Fereiduni, M and Shahanaghi, K (۲۰۱٤) "developing model for designing reliable multimodal disaster network" indian journal of science research, ٤(۳), ۲٥٦-۲٦۳.

[۲] https://www.earthquake.ir

[۳] Toregas, C. Swain, R. ReVelle, C. & Bergman, L. (۱۹۷۱). The location of emergency service facilities. Operations Research, ۱۹(٦), ۱۳٦۳-۱۳۷۳.

[٤] Knott, R. (۱۹۸۷). The logistics of bulk relief supplies. Disasters, ۱۱(۲), ۱۱۳-۱۱٥.

[٥] Knott, R. (۱۹۸۸). Vehicle Scheduling for Emergency Relief Management: A Knowledge-Based Approach. Disasters, ۱۲(٤), ۲۸٥-۲۹۳.

[٦] AR. Akkihal (۲۰۰٦).Inventory pre-positioning for humanitarian operations.

[۷] Stepanov, A. & Smith, J. M. (۲۰۰۹). Multi-objective evacuation routing in transportation networks. European Journal of Operational Research, ۱۹۸(۲), ٤۳٥-٤٤٦.

[۸] Fiedrich, F. Gehbauer, F. & Rickers, U. (۲۰۰۰). Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters. Safety Science, ۳٥(۱), ٤۱-٥۷.

[۹] Sakakibara, H. Kajitani, Y. & Okada, N. (۲۰۰٤). Road network robustness for avoiding functional isolation in disasters. Journal of transportation Engineering, ۱۳۰(٥), ٥٦۰-٥٦۷.

[۱۰] Barbarosoglu G, Arda Y. A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response. The Journal of the Operational Research Society ۲۰۰٤;٥٥(۱):٤۳e٥۳.

[۱۱] H. Jia, F. Ordóñez, M. Dessouky, (۲۰۰۷) "Solution approaches for facility location of medical supplies for large-scale emergencies", Computers & Industrial Engineering, Vol. ٥۲, No. ۲, pp-۲٥۷-۲۷٦.

Archive of SID
www.SID.ir

[۱۲] M. S. Chang, Y. L. Tseng, J. W. Chen, (۲۰۰۷) "A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty", Transportation Research Part E, Vol. ٤٣, pp-٧٣٧-٧٥٤.

[۱۳] H. O. Mete, Z. B. Zabinsky, (۲۰۱۰) "Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management", International Journal of Production Economics, Vol. ١٢٦, No. ١, pp-٧٦-٨٤.

[۱٤] Salmero´n and Apte, (۲۰۱۰) "Stochastic Optimization for Natural Disaster Asset Prepositioning" Production and Operations Management Society.

[۱٥] C. G. Rawls, M. A. Turnquist, (۲۰۱۰) "Pre-positioning of emergency supplies for disaster response", Transportation Research Part B: Methodological, Vpl. ٤٤, No. ٤, pp-٥٢١-٣٤.

[۱٦] Jabbarzadeh, A, Fahimnia, B and Seuring, S, (۲۰۱٤) "Dynamic supply chain network design for the supply of blood in disasters: A robust model with real world application" Transportation Research Part E.

[۱۷] Camacho, V (۲۰۱٤) "A bi-level optimization model for aid distribution after the occurrence of a disaster" Journal of Cleaner Production ۳(۲), ٤٥٦-٥٦٨.

[۱۸] Jeonga, k and Hongb, J and Xiec, Y (۲۰۱٤) "Design of emergency logistics networks, taking efficiency, risk and robustness into consideration" International Journal of Logistics: Research and Applications ٥(٦) ١٣٢-١٤٥.

Archive of SID

www.SID.ir