Archive of SID

مدل مکان‌یابی و مسیریابی در زنجیره‌ی امداد بشردوستانه با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان مسیرهای ارتباطی

امیرحسین آصفی: دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران
علی بزرگی امیری*: دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، alibozorgi@ut.ac.ir
وحیدرضا قضاوتی: دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۱/۲
تاریخ پذیرش: ۹۸/۹/۲۶

چکیده

بحران‌ها از واقعیت‌های اجتناب‌ناپذیر زندگی بشر هستند. پیشرفت علوم و فناوری اگرچه می‌تواند به کاهش خسارات و تلفات تا حد زیادی کمک کند، با این وجود نمی‌تواند به طور کامل از وقوع آن جلوگیری کند یا خسارات مالی و جانی را به صفر برساند. مدیریت بحران یکی از مهم‌ترین مباحث علمی-کاربردی است که امروزه تمامی کشورها بدان متمایل گشته‌اند. در این مطالعه فاز پاسخ‌گویی که با وقوع بحران شروع می‌شود و مهم‌ترین فاز مدیریت بحران محسوب می‌شود، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. عملیات کلیدی مانند عملیات امداد و نجات، تخلیه‌ی مجروحان و حادثه‌دیدگان و توزیع اقلام امدادی در این فاز انجام می‌شود. در این مقاله مکان‌یابی و مسیریابی مراکز توزیع کالا با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان مسیرهای امدادی انجام شده و نیز تخصیص مراکز توزیع به مراکز اسکان موقت انجام می‌شود. مسئله به صورت یک برنامه‌ریزی چند هدفه مدل‌سازی شده است و اهداف زیر را دنبال می‌کند: ۱. کمینه‌سازی بیشینه میزان کمبود در هر نقطه‌ی آسیب‌دیده؛ ۲. کمینه‌سازی بیشینه زمان خدمت‌رسانی توسط وسایل نقلیه‌ی در دسترس. مدل دو هدفه‌ی پیشنهادی با روش محدودیت اپسیلون تعمیم یافته برای مطالعه‌ی موردی در استان سیچوآن کشور چین حل شده است. نتایج نشان‌دهنده‌ی کارایی و کاربردپذیری مدل پیشنهادی برای تصمیم‌گیری در مورد مکان‌های توزیع کالا است و تخصیص مراکز اسکان موقت و نیز تخصیص بخش‌های مختلف شبکه‌ی لجستیک امداد تحت شرایط بحران را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: *لجستیک امداد بشردوستانه، مکان‌یابی-مسیریابی، بهینه‌سازی چندهدفه، قابلیت اطمینان*

Location-Routing Problem in Humanitarian Relief Chain Considering the Reliability of Road Network

Amirhossein Asefi[1], Ali Bozorg-Amiri*[2], Vahidreza Ghezavati[3]

Abstract

Crisis is an inevitable fact of the human's life. Fortunately, science and technology development has highly contributed to the reduction of losses and casualties, but it has not reduced the happenings or damages to zero. Crisis management is mentioned as one of the most important scientific-practical issues nowadays that every country stray toward it. This paper targeted the response phase of crisis management that is considered as the most important crisis management phase. The basic operations such as relief and rescue, evacuation of the injured and victims, and relief commodities distribution are carried out in this phase. In this study, the locating of temporary depots and routing of vehicles were taken into account by considering the reliability of the roads and allocating the distribution centers. The model is multi-objective and aimed at achieving the following goals: 1) Minimizing the maximum shortage of the disaster points. 2) Minimizing the maximum time of the vehicles by considering the velocity and normal speed of vehicles. The proposed method augmented Epsilon Constraint generalized model for Case study in Sichuan, China. The results showed the effectiveness and applicability of the proposed model was reliable for product distribution centers and making decisions about allocation and assignment of temporary accommodation centers in different parts of logistics network in conditions of crisis .

Keywords: *Humanitarian relief distribution, Location-routing problem, Multi-objective optimization, reliability*

1. Master of student, School of Industrial Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran
2. Associate Professor , School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran, alibozorgi@ut.ac.ir
3. Associate Professor , School of Industrial Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

امروزه علی‌رغم پیشرفت‌های تکنولوژیکی موجود، مصائب ناشی از سوانح طبیعی (زلزله، سیل، طوفان، صاعقه، بهمن، گردباد، آتش‌سوزی، آتش‌فشان) و غیر طبیعی (جنگ، حوادث تروریستی، تصادفات جاده‌ای، حوادث صنعتی، ناآرامی‌های سیاسی، مهاجرت آوارگان) یکی از موانع اصلی توسعه‌ی پایدار کشورها به شمار می‌روند و آمادگی نداشتن و مقابله‌ی نامناسب با آن‌ها تلفات و خسارات سنگینی را به ملت‌ها و دارایی‌های آن‌ها وارد می‌کند که گاه جبران‌ناپذیر است. با وجود یک سیستم مدیریت بحران منسجم و علمی در کشور که بتواند با پیش‌بینی و شناسایی، از بروز و وقوع بحران‌ها جلوگیری نماید و در صورت بروز بحران بتواند با اولویت‌بندی، برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی، هدایت، رهبری و کنترل فعالیت‌های لازم برای مداخله، هدایت و مهار بحران و سالم‌سازی بعد از وقوع بحران را با موفقیت به انجام رساند، می‌توان امیدوار بود که بسیاری از بحران‌ها قبل از وقوع، پیش‌بینی و مهار شود و یا در صورت وقوع بحران، عواقب ناشی از آن‌ها به حداقل ممکن کاهش یابد.

به جرأت می‌توان گفت، عمده‌ترین عامل اثرگذار در موفقیت فرایند مدیریت بحران لجستیک بحران است، چرا که لجستیک بحران شامل کلیه‌ی فرایندهای برآورد، تأمین، حمل و نقل، نگهداری و توزیع کالاها، تجهیزات، خدمات و تمامی نیازمندی‌های آسیب‌دیدگان و گروه‌های امدادی است که باید در کمترین زمان ممکن (زمان مناسب) و در مکان‌های تعیین شده (مکان مناسب) به میزان مورد نیاز (مقدار مناسب) و با روش علمی و دقیق و دارای کمترین مشکلات برای نیازمندان (روش مناسب) به دست آن‌ها برسد. از این رو یکی از این اقدامات اساسی که تا حد زیادی کیفیت پاسخ‌گویی در برابر حوادث را بالا می‌برد، مکان‌یابی مراکز توزیع و مسیریابی بهینه برای وسایل نقلیه با هدف توزیع کالاهای ضروری امدادی است که در زمان بحران تا حد زیادی عملیات امداد را بهبود می‌بخشد و منجر به کاهش خسارات مالی و جانی می‌شود. از طرفی در زمان وقوع بحران‌هایی مثل سیل یا زلزله مسیرهای ارتباطی دستخوش تغییر می‌شوند و ممکن است پس‌لرزه‌ها، سقوط آوار، خرابی پل‌ها و یا عملیات امداد و نجات باعث خرابی یا از کار افتادگی بخشی از راه‌های سیستم شود. از آنجا که حفظ جان امدادگران، رساندن تمام کالاهای امدادی به نیازمندان، حفظ سلامت کالاها و همچنین حفظ جان بازماندگان ازجمله مواردی است که باید در زمان عملیات امدادی در نظر گرفته شود، در این مقاله یک مدل دو هدفه‌ی عدد صحیح مختلط غیر خطی برای مسئله‌ی مکان‌یابی و مسیریابی در زنجیره‌ی تأمین بلایا با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان مسیرهای ارتباطی در زمان بحران ارائه خواهد شد. اهداف مدل پیشنهادی ضمن در نظر گرفتن چند نوع وسیله‌ی نقلیه و چندین مرکز توزیع کالای امدادی کمینه کردن بیشترین میزان کمبود در نقاط آسیب‌دیده با توجه به اهمیت کالاهای امدادی مختلف و همچنین کمینه کردن بیشترین زمان توزیع کالای امدادی به نیازمندان است. همچنین برای حل مدل پیشنهادی ریاضی از روش محدودیت اپسیلون تعمیم یافته استفاده شده است. به طورکلی نوآوری‌های این مقاله نسبت به پژوهش‌های پیشین را می‌توان به‌صورت زیر بیان نمود:

۱. مدل‌سازی جدید مسئله به صورت مکان‌یابی و مسیریابی و تخصیص به صورت توأم؛
۲. در نظر گرفتن تابع هدفی جدید برای بررسی تأثیر بحران بر محاسبات زمان خدمت‌رسانی؛
۳. به کارگیری مفهوم قابلیت اطمینان سیستم‌های چند وضعیتی در مسیریابی بحران؛
۴. تخصیص مقادیر احتمالی برای قابلیت اطمینان مسیرهای ارتباطی؛
۵. استفاده از مجموعه دستورهای ویژه‌ی نوع دو برای خطی‌سازی محدودیت مربوط به قابلیت اطمینان به روش تقریبی.

لازم به توضیح است که منظور از سیستم‌های چندوضعیتی، سیستم‌هایی است که طبق منطق جبر بولین رفتار نمی‌کنند و به‌طور مثال با توجه به آرایش اجزای سیستم در صورت خرابی یکی از اجزا، سیستم با ۹۰ درصد توان بالقوه به ایفای نقش می‌پردازد. همچنین قابلیت اطمینان در این پژوهش به معنی احتمال جا به جا شدن از یک نقطه به نقطه‌ی دیگر با موفقیت کامل، در نظر گرفته شده است.

در ادامه، سایر بخش‌های این مقاله به صورت زیر دسته‌بندی شده‌اند: در قسمت دوم به مرور پیشینه‌ی مرتبط و مسائل مربوط به بررسی قابلیت اطمینان و مقایسه‌ی این مقاله با کارهای مشابه پرداخته می‌شود. در بخش سوم مسئله‌ی مورد بررسی بیان می‌شود و مدل پیشنهادی ارائه می‌شود. سپس در بخش چهارم به معرفی روش محدودیت اپسیلون پرداخته می‌شود. در بخش پنجم عملکرد مدل از طریق حل مدل توسط داده‌های زلزله‌ی سال ۲۰۰۸ در استان سیچوان کشور چین بررسی می‌شود و در انتها به جمع‌بندی و بیان پیشنهادهای آتی پرداخته می‌شود.

پیشینه‌ی پژوهش

از آنجا که تحقیق حاضر در زمینه‌ی مکان‌یابی و مسیریابی در زنجیره‌ی تأمین بلایا و امداد با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان مسیرهای ارتباطی است، از این رو از بین تعداد زیادی از مقالات و پژوهش‌های انجام شده در این راستا تنها به پژوهش‌هایی که در تشریح مدل‌های ترکیبی پرداخته‌اند و یا مفهوم قابلیت اطمینان را به خدمت گرفته‌اند پرداخته می‌شود.

باکولی و اسمیت در سال ۱۹۹۶ مدلی برای تخصیص منابع در شبکه‌های تخلیه‌ی اضطراری وابسته به زمان ارائه دادند [۱]. حقانی و اوه در سال ۱۹۹۶ به تجزیه و تحلیل حمل و نقل کالاهای متفاوت نظیر غذا، لباس، لوازم و تجهیزات پزشکی، داروها، ماشین‌آلات و نیروهای انسانی در یک رویکرد کارا برای حداقل کردن مرگ با چند نوع وسیله‌ی حمل و نقل برای عملیات امداد پرداخته‌اند. علاوه بر این، اوه و حقانی در سال ۱۹۹۷ در تحقیق دیگری نیز به توسعه‌ی کار قبلی خود پرداخته و تجزیه و تحلیل عمیق‌تر و جزئی‌تری را ارائه کرده‌اند [۲].

www.SID.ir

Archive of SID

باربارووسوگلو و ازدامار در سال ۲۰۰۴ مقاله‌ای با تمرکز بر استفاده از بالگردها سعی در حذف وابستگی امدادرسانی به مسیرهای زمینی داشتند. در این مقاله به توسعه‌ی مدل‌های ریاضی برای حل مسائل تصمیم‌گیری در زمان‌بندی عملیاتی و تاکتیکی فعالیت‌های بالگرد پرداخته شده است [۳]. آکیهال در سال ۲۰۰۶ به ارائه‌ی مدلی برای مکان‌یابی مراکز مدیریت بحران با هدف مدیریت کالاهای غیر مصرفی پرداخته است. در این تحقیق فرض شده که مکان‌های انتخابی برای استقرار فرودگاه‌ها هستند و فاصله‌ی بین نقاط بر اساس اختلاف در طول و عرض جغرافیایی محاسبه می‌شود. هدف مدل ارائه شده در این تحقیق، کمینه کردن متوسط زمان پاسخ‌گویی برای هر فرد است [۴].

تزنگ و همکاران در سال ۲۰۰۷ یک مدل سه هدفه را به‌منظور طراحی سیستم توزیع کالاهای امدادی به مناطق آسیب‌دیده ارائه نمودند. اهداف این مدل شامل حداقل کردن هزینه‌ی کل، حداقل کردن کل زمان سفر و حداکثر کردن حداقل بر آورده‌سازی تقاضا در طول دوره‌ی برنامه‌ریزی بود. نتایج حاصل از مدل بر روی یک مطالعه‌ی عملی بررسی شد [۵]. نجفی و همکاران در سال ۲۰۰۷ در مقاله‌ی خود به ارائه‌ی مدل چند هدفه‌ی یکپارچه برای مکان‌یابی مراکز بحران با در نظر گرفتن حمل و نقل و تعیین میزان موجودی کالاهای مورد نیاز پرداختند. به طوری‌که این اهداف عبارتند از: الف. کمینه کردن هزینه‌های مربوطه و ب. کمینه کردن ریسک در پاسخ‌گویی به بحران‌های به وجود آمده. از آنجایی که وقوع بحران و میزان تقاضای کالاها به صورت غیر قطعی است در این مقاله سعی شده است تا جنبه‌ی احتمالی مربوط به بحران و تقاضاهای ایجاد شده نیز لحاظ گردد [۶].

بالکیک و بیمون در سال ۲۰۰۸ تصمیمات مکان‌یابی تسهیلات در زنجیره‌ی امداد را برای پاسخ‌دهی به خسارات حوادث در نظر گرفته‌اند. در این مقاله مدلی توسعه داده شد که تعداد و مکان مراکز توزیع در شبکه‌ی امداد را تعیین می‌کند [۷]. سالمرون و آپته در سال ۲۰۱۰ یک برنامه‌ریزی احتمالی چند مرحله‌ای را در وقوع بحران ارائه دادند که هدف آن‌ها بیشینه‌سازی رضایت‌مندی نقاط آسیب‌دیده بوده است [۸].

بزرگی و همکارانش در سال ۲۰۱۳ یک مدل لجستیک امدادرسانی تحت عدم قطعیت ارائه داده‌اند. در این مقاله، نه تنها تقاضا بلکه عرضه و هزینه‌ی خرید و حمل و نقل به‌منزله‌ی پارامترهای غیر قطعی در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، در این مدل، به سبب بروز حادثه، مکان‌هایی که ممکن است در آن‌ها تقاضا ایجاد شود به‌صورت غیرقطعی فرض می‌شوند؛ از طرف دیگر، احتمال ویرانی مراکزی که برای توزیع کالاهای امدادی در نظر گرفته شده است نیز وجود دارد و این مکان‌ها را نیز غیرقطعی در نظر گرفته‌اند [۹]. کانبولات و وان ماسو در سال ۲۰۱۱ روی مسئله‌ی مکان هر نقطه‌ی تقاضا (حادثه‌ی اضطراری) که به صورت تصادفی است مطالعه کرده‌اند. اهداف آن‌ها کمینه‌سازی ماکزیمم فاصله‌ی مورد انتظار مستقیم‌الخط تسهیل تا نقاط تقاضا است [۱۰].

حامدی و همکاران در سال ۲۰۱۲ با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان به‌صورت سناریو و دو تابع هدف با استفاده از راه‌های قابل اطمینان از جمله اینکه میزان کمبود باید کاهش بیابد و همچنین به وسیله‌ی زمان‌بندی و تأخیر در زمان رسیدن سعی در کنترل خرابی داشتند [۱۱]. توکلی مقدم و همکاران در سال ۲۰۱۳ یک مدل مکان‌یابی مسیریابی موجودی طراحی نمودند که دارای قابلیت اطمینان به صورت سناریو در نظر گرفته شده است. به این صورت که بعضی از تسهیلات گاهی در اختیار است و گاهی از اختیار و خدمت‌رسانی خارج هستند [۱۲]. ارکات در سال ۲۰۱۴ یک مدل مسیریابی تسهیلات با در نظر گرفتن خرابی مسیرهای ارتباطی ارائه کردند و برای حل مدل پیشنهادی از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند [۱۳]. ونگ و همکاران در سال ۲۰۱۴ یک مدل سه هدفه در حالت مکان‌یابی و مسیریابی باز برای توزیع کالاها در نظر گرفتند و در این مقاله یکی از توابع هدف بیشینه کردن کمینه قابلیت اطمینان هر تور است. داده‌های این مسئله از نوع قطعی است و با الگوریتم مرتب‌سازی نامغلوب به حل مدل پیشنهادی پرداخته شده است [۱۴].

بزرگی و خورسی در سال ۲۰۱۵ یک مدل پویای مکان‌یابی مسیریابی چند هدفه، چند کالایی و تحت شرایط عدم قطعیت طراحی و با استفاده از روش محدودیت اپسیلون آن را حل نمودند [۱۵]. قضاوتی و همکاران در سال ۲۰۱۵ یک مدل مکان‌یابی سلسله‌مراتبی با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان در نظر گرفتند. در این مقاله رویکرد خطی‌سازی و در نظر گرفتن قابلیت اطمینان مسیرهای ارتباطی بین دو نقطه در نظر گرفته شده است. تابع هدف این مقاله از نوع کمینه‌سازی قیمت است و داده‌ها به‌صورت قطعی است [۱۶].

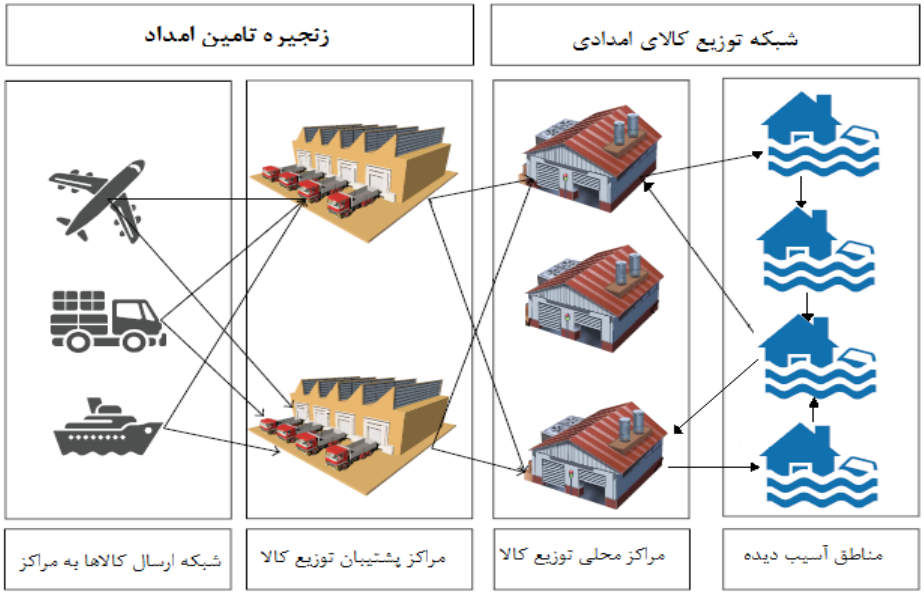
وحدانی و همکاران در سال ۲۰۱۶ در ادامه‌ی کار ونگ و همکاران مدل پیشنهادی خود را با الهام از مدل ارائه شده توسط ونگ و با در نظر گرفتن تعمیرات و بازسازی موقت جاده‌های مناطق بحران زده ارائه دادند و با دو الگوریتم فرا ابتکاری به حل مدل خود پرداختند [۱۷].

خو و همکاران در سال ۲۰۱۶ یک مدل چند هدفه‌ی توزیع کالا برای مقابله با بحران در ۷۲ ساعت در نظر گرفتند. آن‌ها تمام داده‌ها را قطعی در نظر گرفته‌اند و همچنین در مدل‌سازی به مسیریابی و تخصیص پرداخته‌اند. میزان بار انتقال داده شده به‌صورت پارامتر وارد می‌شود و همچنین مدل به صورت غیرخطی ارائه شده است [۱۸]. توکلی مقدم و همکاران در سال ۲۰۱۶ به استفاده از قابلیت اطمینان در ظرفیت مسیرهای انتقالی پرداخته و توابع هدف هزینه و تعداد مصدومان نجات یافته را در نظر گرفتند و برای بررسی مدل پیشنهادی خود از زلزله‌ی تبریز به‌منزله‌ی مطالعه‌ی موردی استفاده نمودند [۱۹].

در پژوهش‌های صورت گرفته در بالا غالباً مفهوم قابلیت اطمینان به صورت باینری در نظر گرفته شده است؛ به بیان دیگر به این صورت که مسیرها یا در اختیار تصمیم‌گیرنده هستند و یا به طور کامل مسدود بوده و از اختیار خارج هستند. در زمان وقوع بحران معمولاً وسایل حمل و نقل متفاوتی در دسترس

www.SID.ir

Archive of SID



تصویر۱: شبکه‌ی شماتیک مورد بررسی

تصمیم‌گیرنده‌ها با ظرفیت‌ها و امکانات متفاوت وجود دارد که در اکثر تحقیقات به صورت یکسان در نظر گرفته شده است. از این رو با در نظر گرفتن شکاف‌های تحقیقاتی بالا با ارائه‌ی مدل ریاضی پیشنهادی سعی شده است شکاف‌های تحقیقاتی توضیح داده شده تا حد ممکن پوشش داده شود.

تشریح مسئله و مدل‌سازی ریاضی

برقراری توازن میان تقاضاها و عرضه‌ی کالاها و خدمات لجستیکی، اصلی‌ترین دغدغه‌ی سیستم لجستیک بحران است و تلاش برای خدمات‌رسانی از طرق گوناگون که در نهایت امر به رضایت‌مندی کاربر نهایی یعنی آسیب‌دیدگان و گروه‌های امدادپذیر می‌انجامد از اهداف لجستیک است. با بروز بحران، سازمان‌های دولتی، خصوصی، دفاعی، بین‌المللی و مردمی به‌منظور کمک به آسیب‌دیدگان وارد صحنه می‌شوند، این به مفهوم این است که هر یک از آن‌ها، دارای سیستم و روشی خاص در ارائه‌ی خدمات لجستیکی هستند و با توجه به توانایی‌ها و امکانات در اختیار، بخشی از نیازمندی‌ها را تأمین می‌نمایند. سیستم لجستیک امداد، متشکل از عناصر و اجزای ناهمگونی به لحاظ روش و ارائه‌ی خدمات و کالاها به آسیب‌دیدگان و گروه‌های امدادی خواهد بود، از طرفی با توجه به گستردگی و عمق فاجعه امکان اینکه یک سازمان خاص وارد عمل شود وجود ندارد، در اینجاست که لزوم سیستم لجستیک یکپارچه‌ی امداد مشخص می‌شود.

پس از وقوع هر بحران ممکن است حوادث زیادی اتفاق بیفتد که عملیات امداد و نجات را با مشکل روبه‌رو کند که برای مثال می‌توان به آسیب به راه‌ها و پل‌های ارتباطی، خرابی ساختمان‌ها و اختلال در امر خدمت‌رسانی اشاره کرد. پس‌لرزه‌هایی که ممکن است پس از وقوع زلزله اتفاق بیفتد تأثیر زیادی روی عملیات امداد و نجات می‌گذارد، به‌طوری‌که ممکن است مسیری که برای انتقال کالا یا مصدومان در یک دوره‌ی زمانی باز و کارا تلقی می‌شده در دوره‌ی زمانی بعدی به دلایلی مثل سقوط آوار یا ریزش و رانش مجدد زمین مسدود گردیده و غیر قابل استفاده باشد، به همین خاطر در نظر گرفتن مفاهیم مرتبط با قابلیت اطمینان در زنجیره‌ی امدادرسانی ضروری و غیر قابل چشم‌پوشی به نظر می‌رسد چرا که همان‌طور که گفته شد هر تصمیم اشتباه در زمینه‌ی زنجیره‌ی امداد منجر به کمبود، افزایش زمان خدمت‌رسانی و در نهایت به معنی از دست رفتن جان و زندگی انسان‌هاست.

بدین منظور و طبق مطالب عنوان شده، تحقیق حاضر سعی دارد به یکی از شکاف‌های تحقیقاتی شناسایی شده در مرور پیشینه‌ی پژوهش بپردازد و ضمن توجه به مکان‌یابی و در نظر گرفتن مکان مناسب مراکز توزیع کالا و میزان کالای امدادی ارسالی به هر یک از نقاط آسیب‌دیده سعی دارد علاوه بر کم کردن میزان کمبود هر نقطه‌ی آسیب‌دیده به کم کردن زمان خدمت‌رسانی به آن‌ها بپردازد و تأثیر قابلیت اطمینان راه‌ها و مسیرهای ارتباطی و همچنین دیگر فاکتورهای تأثیرگذار بر عملیات امداد را بررسی کند.

لازم به توضیح است که قابلیت اطمینان در این پژوهش به معنی احتمال جا به جا شدن از یک نقطه به نقطه‌ی دیگر با موفقیت کامل در نظر گرفته شده است. تقاضاها در مطالعه‌ی موردی برای یک روز در نظر گرفته شده‌اند.

تصویر ۱ نمایی از مسئله‌ی مورد بررسی در این پژوهش است که هر وسیله‌ی نقلیه باید از مراکز توزیع کالا حرکت کرده و ضمن در نظر گرفتن قابلیت اطمینان مسیرهای پیش رو کالاهای امدادی که به همراه دارد را به گونه‌ای بین نقاط آسیب‌دیده توزیع کند که کمترین میزان ممکن برای بیشترین کمبود در نقاط آسیب‌دیده حاصل شود.

مفروضات:

- تعداد مراکز توزیع کالای اضطراری که باید انتخاب شوند مشخص نیست و تعداد دقیق آن‌ها را مدل مشخص می‌کند.

www.SID.ir

Archive of SID

- هر تور از یک مرکز توزیع کالای ضروری شروع و به همان مرکز ختم می‌شود.
- به‌منظور کمینه کردن میزان کمبود نقاط مختلف در صورت برآورده نشدن ممکن است آن نقطه توسط چندین بار مراجعه و یا چندین وسیله‌ی نقلیه‌ی مختلف پاسخ‌گویی شود.
- اطلاعات مربوط به قابلیت اطمینان مسیرها، ماکزیمم سرعت مجاز در جاده و شبکه‌ی راه‌های سالم و آسیب‌ندیده به وسیله‌ی تکنولوژی‌های روز، بازدید هوایی توسط بالگرد و همچنین نظر افراد کارشناس در مناطق امدادی قابل دسترسی است.
- نقاطی که به طور کلی خارج از دسترس هستند از نقاط مورد مطالعه خارج می‌شوند.
- وسایل نقلیه‌ی ناهمگن و دارای ظرفیت مشخص هستند. از نظر تعداد وسایل نقلیه با محدودیت روبه‌رو هستیم، بنابراین ممکن است هر وسیله چندین بار مورد استفاده قرار گیرد و همچنین اجازه‌ی حمل چندین نوع کالا را دارا است.
- بین دو نقطه‌ی آسیب دیده جریان دو سویه به صورت رفت و برگشتی وجود ندارد.
- فاصله، قابلیت اطمینان و حداکثر سرعت ممکن بین دو نقطه از هر دو مسیر رفت و برگشت برابر فرض شده است.

مجموعه‌ها و اندیس‌ها

S	مجموعه مراکز پشتیبان
M	مجموعه مراکز کاندید برای توزیع کالای امدادی
N	مجموعه مراکز اسکان
R	مجموعه تمام نقاط
K	مجموعه همه‌ی وسایل نقلیه
L	مجموعه کالاهای امدادی
S	شناساگر مربوط به مرکز پشتیبان
k	شناساگر وسایل نقلیه
l	شناساگر مربوط به کالای امدادی
i و j	شناساگر مربوط به نقاط

پارامترهای مدل

d_{ij}	فاصله‌ی بین دو نقطه (i, j)
v_{ij}	حداکثر سرعت مجاز حرکت وسیله‌ی نقلیه در مسیر بین (i, j)
r_{ij}	قابلیت اطمینان مسیر بین (i, j)
h_{jl}	تقاضای مرکز آسیب‌دیده j از کالای نوع l
$capw_k$	ظرفیت حمل وسیله‌ی نقلیه‌ی نوع k
cw_j	ضریب (وزن) اهمیت کالای امدادی نوع l
P_0	حداقل قابلیت اطمینان قابل قبول
g_s	میزان ظرفیت مرکز پشتیبان s
w_l	وزن کالای امدادی نوع l
v_k	سرعت وسیله‌ی نقلیه‌ی نوع k در شرایط عادی
M	عدد بسیار بزرگ

متغیرهای مدل

$f(x_{ijk})$	تابع هدف کمکی برای مقادیر قابلیت اطمینان مسیرها
q'_{ijkl} و q''_{ijkl}	مقدار کالای نوع l حمل شده توسط وسیله‌ی نقلیه‌ی k از نقطه‌ی i به نقطه‌ی
q_{sil}	مقدار کالای نوع l حمل شده از مرکز تأمین کالای s به مرکز توزیع i
sh_{jl}	میزان کمبود کالای l در مرکز آسیب‌دیده‌ی j
z_i	در صورت دایر بودن مرکز توزیع i مساوی یک و در غیر این صورت صفر
x_{ijk}	اگر وسیله‌ی نقلیه‌ی k بین j، i حرکت کند مساوی یک در غیر این صورت صفر
u_{ik}	متغیر کمکی برای حذف زیر تور وسیله‌ی نقلیه‌ی k در صورت حرکت از گره‌ی i

مدل ریاضی

در این قسمت مدل ریاضی پیشنهادی تشریح می‌گردد.

رابطه‌ی ۱:

$$f_{shortage} = \text{minimax}\left\{\sum_{l=1}^{L} cw_l \cdot Sh_{jl} \;, \forall j \in N\right\}$$

رابطه‌ی ۲:

$$f_{time} = \text{minimax}\left\{\sum_{i=1}^{R}\sum_{j=1}^{R}\frac{(d_{ij}x_{ijk})}{\min(v_{ij}, v_k)}, \quad \forall k \in K\right\}$$

رابطه‌ی ۳:

$$\sum_{i=1}^{R}\sum_{k=1}^{K} x_{ijk} \geq 1, \quad \forall j \in N$$

رابطه‌ی ۴:

$$\sum_{i=1}^{M} x_{ijk} \leq 1, \quad \forall j \in N, \forall k \in K$$

رابطه‌ی ۵:

$$\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N} x_{ijk} \leq 1, \quad \forall k \in K$$

رابطه‌ی ۶:

$$\sum_{i=1}^{R} x_{ijk} - \sum_{i=1}^{R} x_{jik} = 0, \quad \forall j \in R, \forall k \in K$$

www.SID.ir

Archive of SID

رابطه‌ی ۷: $\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{N} x_{ijk} - z_i \geq 0, \quad \forall i \in M$

رابطه‌ی ۸: $\sum_{j=1}^{N} x_{ijk} - Mz_i \leq 0, \quad \forall i \in M, \forall k \in K$

رابطه‌ی ۹: $f(x_{ijk}) = 1-(1-r_{ij}).x_{ijk}, \quad \forall i, j \in R, \forall k \in K$

رابطه‌ی ۱۰: $\prod_{i=1}^{R}\prod_{j=1}^{R} f(x_{ijk}) \geq P_0$

رابطه‌ی ۱۱: $\sum_{i=1}^{M} q_{sil} \leq g_s, \quad \forall s \in S, \forall l \in L$

رابطه‌ی ۱۲: $\sum_{l=1}^{L} q'_{ijkl} w_l \leq capw_k, \quad \forall i, j \in R, \forall k \in K$

رابطه‌ی ۱۳:

$$\sum_{i=1}^{R}\sum_{k=1}^{K} q'_{ijkl} x_{ijk} - \sum_{i=1}^{R}\sum_{k=1}^{K} q'_{jikl} x_{jik} + sh_{jl} = h_{jl} \quad \forall j \in N, \forall l \in L$$

رابطه‌ی ۱۴:

$$\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} q'_{jikl} \leq \sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} q'_{ijkl}, \quad \forall j \in N, \forall l \in L$$

رابطه‌ی ۱۵:

$$\sum_{s=1}^{S} q_{sil} = \sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} q'_{ijkl}, \quad \forall i \in M, \forall l \in L$$

رابطه‌ی ۱۶:

$$u_{ik} - u_{i'k} + (N)x_{ii'k} \leq (N-1), \quad \forall i \neq i' \in N$$

رابطه‌ی ۱۷: $0 \leq u_{ik} \leq N, \quad \forall i \in N$

رابطه‌ی ۱۸: $x_{ijk}, z_i \in \{0,1\}$

رابطه‌ی ۱۹: $q_{sil}, q'_{ijkl}, sh_{jl} \geq 0$

رابطه‌ی ۱ تابع هدف است که مربوط به کمینه کردن بیشینه میزان کمبود در هر مرکز اسکان جمعیت است. از آنجایی که در هنگام بحران با حجم زیادی از تقاضا روبه‌رو می‌شویم، حتی در صورت داشتن میزان کافی از هر کالا، مدیریت و انتقال آن باید به صورتی باشد که کالای با اهمیت‌تر به مرکز توزیع ضروری‌تر اختصاص داده شود. از این رو دلیل انتخاب تابع هدفی که بیشینه کمبود را کمینه کند به دلیل رعایت عدالت است، چرا که با در نظر گرفتن این تابع هدف در واقع به جای کمینه کردن مجموع کمبود سعی در کمینه کردن متوسط میزان کمبود در تمام نقاط مختلف داریم. محدودیت ۲ تابع هدف دوم است که در پی کم کردن بیشینه مدت زمان خدمت‌رسانی به مراکز آسیب‌دیده است. در این تابع هدف هم به دنبال همان رویکرد کمینه کردن بیشینه زمان توزیع کالا هستیم که این از نظر عدالت بهتر و مؤثرتر است. محدودیت ۳ بیان می‌کند که هر نقطه‌ی آسیب‌دیده باید حداقل یک بار بازدید شود. محدودیت ۴ بیان می‌کند هر نقطه‌ی آسیب‌دیده نباید بیشتر از یک بار توسط یک وسیله‌ی نقلیه ملاقات شود. محدودیت ۵ در مورد این موضوع است که هر وسیله‌ی نقلیه نمی‌تواند از بیشتر از یک مرکز توزیع کالا اقدام به شروع فعالیت نماید. محدودیت ۶ از نظر تعداد ورودی و خروجی هر نقطه اعم از مرکز آسیب‌دیده یا مرکز توزیع کالا تعادل برقرار می‌کند. محدودیت ۷ و محدودیت ۸ این نکته را بیان می‌کنند که اگر یک مرکز توزیع فعال باشد باید از آن جریان برقرار شود و اگر جریانی وجود داشته باشد، آن مرکز حتماً باید دایر و آماده به خدمت‌رسانی باشد. رساندن کالاهای ضروری امدادی در ساعات اولیه به مناطق آسیب‌دیده از اهمیت بسزایی برخوردار است اما باید کالاها در مسیری انتقال داده شوند که ضمن اینکه جان امدادرسان‌ها تهدید نشود حداقل میزان ریسک و خطر در رابطه با رسیدن کالا به دست جامعه‌ی هدف را متحمل شویم. می‌دانیم که قابلیت اطمینان مسیرهای مختلف با روش‌های مختلف قابل بررسی و تخمین زدن است اما از آنجا که یک تور کامل یک سیستم متوالی محسوب می‌شود برای به دست آوردن قابلیت اطمینان تور کامل باید از منطق حاکم بر سیستم‌های متوالی استفاده کنیم و از آنجایی که حاصل‌ضرب مسیرهای انتخاب نشده در باقی لینک‌ها صفر خواهد شد پس برای رفع این مشکل باید از تابع کمکی که در محدودیت ۹ توضیح داده شده است برای محاسبه‌ی قابلیت اطمینان تور استفاده کنیم. موضوع محدودیت ۱۰ مربوط به قابلیت اطمینان یک تور کامل است. این مقدار به دست آمده باید از حداقل قابلیت اطمینان قابل قبول برای تور کامل، بیشتر باشد. محدودیت ۱۱ بیان می‌کند که بیشتر از توانایی و ظرفیت تأمین کالا توسط تأمین‌کننده‌ها نمی‌توان استفاده کرد. محدودیت ۱۲ مربوط به ظرفیت حمل کالا توسط وسایل نقلیه است. محدودیت ۱۳ محاسبه‌ی میزان کمبود در هر مرکز اسکان جمعیت آسیب‌دیده است. محدودیت ۱۴ مربوط به این موضوع است که میزان کالای ارسالی از یک گره به گره‌ی مجاور نمی‌تواند بیشتر از میزان کالایی که برای آن گره آورده شده باشد. محدودیت ۱۵ تعادل ازلحاظ میزان کالای برداشتی از یک مرکز را با میزان کالای ورودی آن مرکز برقرار می‌کند. محدودیت‌های ۱۶ و ۱۷ مربوط به حذف زیر تور است. محدودیت ۱۸ و ۱۹ مربوط به حدود مجاز برای مقادیر و متغیرهاست.

می‌دانیم که مقادیر تابع f بین صفر و یک است و ذکر این نکته لازم است که بیشترین مقدار تابع مشخصاً ۱ است اما کمترین مقدار ممکن برابر است با r_{ij} همچنین اگر یک مسیر مسدود باشد مقدار قابلیت اطمینان آن برابر صفر است و در واقع قابل استفاده نیست. همچنین زمانی که مقداری غیر از صفر بگیرد قابلیت اطمینان به مسیر برابر همان r_{ij} خواهد بود. با توجه به $\min\{r_{ij}\} \leq f_{ij} \leq 1$ عملیات خطی‌سازی به کمک تقریب را به ترتیب زیر انجام می‌دهیم.

www.SID.ir

Archive of SID

رابطه‌ی ۲۰:

$$\prod_{i=1}^{R}\prod_{j=1}^{R} f(x_{ijk}) \geq P_0 \Rightarrow \ln(\prod_{i=1}^{R}\prod_{j=1}^{R} f(x_{ijk})) \geq \ln(P_0)$$

$$\sum_{i}^{R}\sum_{j}^{R} \ln(f(x_{ijk})) \geq \ln(P_0)$$

در محدودیت ۲۰ همچنان تابع $\ln(f(x_{ijk}))$ غیر خطی است اما می‌توانیم از تکنیک خطی‌سازی مناسبی برای خطی کردن این عبارت استفاده کنیم. به این منظور فرض می‌کنیم که مقدار $\min\{r_{ij}\}$ برابر ۰،۰۵ باشد؛ بنابراین بازه $(0.05,1)$ را به چهار زیر بازه $(0.05,0.25),(0.25,0.5),(0.5,0.75)$ $(0.75,1)$ تقسیم می‌کنیم. سپس مقدار ln را برای نقاط ابتدا و انتهای بازه محاسبه می‌کنیم؛ بنابر این داریم:

$\ln(0.05)$= -2.996, $\ln(0.25)$=-1.386, $\ln(0.50)$=-0.693, $\ln(0.75)$=-0.288, $\ln(1)$=0

حال با داشتن اطلاعات بالا می‌توانیم مقدار $\ln(f(x_{ijk}))$ هر نقطه‌ی دیگر در بازه $(0.05,1)$ را به دست بیاوریم. برای این منظور باید ابتدا مشخص کنیم نقطه‌ی موردنظر در کدام زیر بازه قرار می‌گیرد. با احتساب ضرایبی که نقطه‌ی مورد نظر را به وسیله‌ی نقاط ابتدایی و انتهایی زیر بازه‌ها می‌سازد می‌توانیم مقدار ln آن نقطه را محاسبه کنیم. برای به دست آوردن ضرایبی که نقطه‌ای مانند x را می‌سازد از محدودیت‌های زیر کمک می‌گیریم.

رابطه‌ی ۲۱:

$$x=0.05\times\lambda_1+0.25\times\lambda_2+0.50\times\lambda_3+0.75\times\lambda_4+1\times\lambda_5$$

رابطه‌ی ۲۲: $\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3+\lambda_4+\lambda_5=1$

رابطه‌ی ۲۳: $\lambda_1 \leq \delta_1$

رابطه‌ی ۲۴: $\lambda_2 \leq \delta_1+\delta_2$

رابطه‌ی ۲۵: $\lambda_3 \leq \delta_2+\delta_3$

رابطه‌ی ۲۶: $\lambda_4 \leq \delta_3+\delta_4$

رابطه‌ی ۲۷: $\lambda_5 \leq \delta_5$

رابطه‌ی ۲۸: $\delta_1+\delta_2+\delta_3+\delta_4+\delta_5=1$

رابطه‌ی ۲۹: $0 \leq \lambda_i \leq 1,\ \delta_i \in \{0,1\}$

محدودیت ۲۲ و ۲۳ بیان می‌کند که نقطه‌ای مانند x چگونه توسط ترکیبی محدب خطی از رئوس بازه‌ها ساخته می‌شود. همچنان λ_iها ضرایب ترکیب محدب خطی هستند که باید بین صفر و یک باشند. محدودیت ۲۸ بیان می‌کند که از بین تمام مقادیر δ_i تنها باید یکی از آن‌ها مساوی یک باشد و بقیه مساوی صفر باشند؛ بنابراین هرکدام از δ_iها که مساوی ۱ باشد بنا بر محدودیت‌های (۲۸)- (۲۴) دو تا از λ_iهای متوالی مقداری بیشتر از ۱ می‌گیرند و باقی λ_iها مساوی صفر می‌شوند. بنابر توضیحات بالا پس از به دست آوردن مقادیر متغیرهای λ_i و δ_i می‌توان مقدار $\ln(x)$ را به وسیله‌ی همان ضرایب و به ترتیب زیر به دست آورد.

$$\ln(x)=\lambda_1\times\ln(0.05)+\lambda_2\times\ln(0.25)+\lambda_3\times\ln(0.50)+\lambda_4\times\ln(0.75)+\lambda_5\times\ln(1)$$

مثال: فرض کنید می‌خواهیم مقدار $\ln(0.70)$ را با استفاده از روابط بالا به دست بیاوریم. ابتدا باید با نوشتن محدودیت ۲۲ به دست بیاوریم که ۰،۷ چگونه توسط ترکیب محدب خطی بین دو نقطه‌ی رأسی به دست می‌آید.

$$0.7=\lambda_1\times0.05+\lambda_2\times0.25+\lambda_3\times0.50+\lambda_4\times0.75+\lambda_5\times1$$

Constraint (۲۳)-(۲۹)

نتیجه برابر $\lambda_3=0.2,\ \lambda_4=0.8,\ \delta_3=1$ و باقی متغیرها مساوی صفر می‌شوند. سرانجام:

$$\ln(0.7)=0\times-2.996+0\times-1.386+0.2\times-0.693+0.8+-0.288\times0.8+0\times0=-0.368$$

می‌دانیم که مقدار دقیق $\ln(0.7)=-0.36$ است و مقایسه‌ی مقادیر به دست آمده نشان می‌دهد که تابع تقریب خطی‌سازی عملکرد خوب و قابل قبولی برای به دست آوردن مقدار $\ln(X)$ دارد.

همچنین در محدودیت ۱۳ ضرب یک متغیر باینری در متغیر پیوسته انجام می‌شود که خطی‌سازی این عبارت به شرح زیر است:

فرض کنید متغیر $z=x\times y$ حاصل‌ضرب متغیر پیوسته‌ی y در باینری x باشد. به این ترتیب در صورتی که x مساوی یک باشد مقدار z برابر y و وقتی‌که x مساوی صفر باشد مقدار z برابر با صفر است. برای خطی‌سازی عبارت فوق از سه محدودیت زیر استفاده می‌گردد [۲۰].

رابطه‌ی ۳۰: $z \leq y$

رابطه‌ی ۳۱: $z \leq M\times x$

رابطه‌ی ۳۲: $z \geq y-M(1-x)$

در مدل ارائه شده محدودیت ۱۳ به روش فوق خطی‌سازی خواهد شد که در ادامه توضیح داده خواهد شد. در محدودیت ۱۳ با در نظر گرفتن $q'_{ijkl}\times x_{ijk}=q''_{ijkl}$ خواهیم داشت:

رابطه‌ی ۳۳: $q''_{ijkl} \leq q'_{ijkl}$

رابطه‌ی ۳۴: $q''_{ijkl} \leq M\times x_{ijk}$

رابطه‌ی ۳۵: $q''_{ijkl} \geq q'_{ijkl}-M(1-x_{ijk})$

لذا محدودیت ۱۳ به شکل زیر بازنویسی می‌شود:

رابطه‌ی ۳۶:

$$\sum_{i=1}^{R}\sum_{k=1}^{K} q''_{ijkl}-\sum_{i=1}^{R}\sum_{k=1}^{K} q''_{jikl}+sh_{jl}=h_{jl} \quad \forall j\in N, \forall l\in L$$

روش حل

برای حل مدل پیشنهادی و مسئله‌ی مکان‌یابی و مسیریابی در زنجیره‌ی تأمین امداد با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان مسیرهای ارتباطی از روش محدودیت اپسیلون تعمیم یافته استفاده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

روش محدودیت اپسیلون یکی از روش‌های دقیق حل برنامه‌ریزی چند هدفه است که بر برخی از مشکلات روش مجموع وزنی که پایه‌ای‌ترین روش حل این‌گونه مسائل است، غلبه می‌کند. رویکرد این روش، به مانند روش وزنی، این‌چنین است که مسئله‌ی چند هدفه را تبدیل به مسئله‌ی تک هدفه می‌کند. به این صورت که یکی از توابع هدف موجود انتخاب و حداقل‌سازی شده و سایر توابع هدف به محدودیت‌هایی با حد بالا تبدیل می‌شوند. مزیت‌هایی که روش محدودیت اپسیلون بر روش وزنی دارد، عبارتند از:

۱. در روش وزنی، مقیاس توابع هدف تأثیر بسیار زیادی بر نتایج به دست آمده دارد؛ در صورتی‌که در محدودیت اپسیلون، این کار ضرورتی ندارد.
۲. در روش محدودیت اپسیلون می‌توان تعداد جواب‌های ایجاد شده را کنترل کرد، اما در روش وزنی انجام دادن این کار خیلی آسان نیست.

در ادامه برخی از معایب این روش و چگونگی فائق آمدن بر آن‌ها بیان می‌شود:

۱. ضعف در محاسبه‌ی ناحیه‌ی تغییر توابع هدف: در برخی از مسائل پیدا کردن بدترین جواب تابع هدف کاری پیچیده و حتی نشدنی است.
۲. عدم تضمین کارایی جواب‌های به‌دست‌آمده با این روش که ممکن است غیر مسلط نباشند.
۳. افزایش زمان حل مسئله با زیاد شدن تعداد توابع هدف (بیشتر از ۲ تا).

اگر محاسبه‌ی بدترین مقدار توابع نشدنی باشد، می‌توان یک حد بالای تقریبی برای هر تابع تعریف و با استفاده از آن مقدار ε را محاسبه نمود. برای رفع مشکل دومی که قبلاً اشاره شد، روش محدودیت جزئی تعمیم‌یافته پیشنهاد شده است تا تضمین بیشتری برای کارایی جواب‌های ایجاد شده، وجود داشته باشد. تفاوت محدودیت جزئی تعمیم یافته با روش محدودیت اپسیلون اولیه در آن است که ضریب بسیار کوچکی (بین 10^{-6} و 10^{-3}) از توابعی که به محدودیت تبدیل شده‌اند، در تابع هدف مسئله آورده می‌شود که این کار باعث می‌شود اگر چند جواب برای تابع اول وجود داشت، جوابی را انتخاب کند که بقیه‌ی توابع را نیز حداقل کند. مدل کلی این روش به صورت زیر است:

$$Min \ f_q(x)+\rho\sum_{l=1,l\neq q}^{Q} f_l(x)$$

$$s.t$$

$$g(x)\le 0$$

$$f_l(x)\le \varepsilon_l \quad for\ all \quad l=\{1,2,...,Q\}, l\neq q$$

$$x\in X$$

گفتنی است که مقدار ρ به حدی کوچک است که تأثیری در مقدار تابع هدف اول نخواهد داشت.

مطالعه‌ی موردی

به‌منظور بررسی صحت مدل ارائه شده از اطلاعات قابل استفاده در مقاله‌ی ونگ و همکاران [۱۴] که بر اساس رویدادی واقعی در استان سیچوآن کشور چین به دست آمده، استفاده شده است.

دو مرکز پشتیبانی برای ارسال کالاهای ضروری به مراکز توزیع در نظر گرفته شده است. تعداد مراکز توزیع که به‌صورت کاندیدا در نظر گرفته شده است سه عدد است. تعداد نقاط اسکان که باید خدمات دریافت کنند، ۱۱ نقطه در نظر گرفته شده است. کالاهای امدادی به دو دسته‌ی مصرفی و غیرمصرفی با ضریب اهمیت متفاوت تقسیم شده است. مقدار تقاضای مراکز اسکان در جدول ۱ آورده شده است. میزان تقاضای نقاط مختلف به دو دسته کالاهای مصرف‌شدنی و مصرف‌نشدنی تقسیم می‌شود. اطلاعات مربوط به فاصله‌ی بین نقاط مختلف در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱: میزان تقاضای هر مرکز اسکان جمعیت

مرکز اسکان	مصرف‌شدنی	مصرف‌نشدنی
Wenchuan (۴)	۳۴۵۸	۱۱۵۳
Jinzhu (۵)	۳۶۴۷	۱۲۱۶
Beichuan (۶)	۹۶۹	۳۲۳
Qingchuan (۷)	۱۵۴۵	۵۱۵
Maoxian (۸)	۸۱۸	۲۷۳
Dujiangyan (۹)	۴۳۹	۱۴۶
Anxian (۱۰)	۱۳۴۸	۴۴۹
Pingwu (۱۱)	۳۲۱۵	۱۰۷۲
Pengzhou (۱۲)	۵۷۷	۱۹۲
Jiangyou (۱۳)	۱۰۰۲	۳۳۴
Deyang (۱۴)	۳۱۹۹	۱۰۶۶

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲: فاصله‌ی بین نقاط مختلف

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
۱									۵۹			۴۱		۷۴
۲					۸۸		۱۸۵			۱۷			۴۶	۵۳
۳							۱۲۷				۲۳۵		۱۴۵	
۴								۳۹	۷۸					
۵		۸۸				۶۶			۸۵	۴۸		۵۵		۳۶
۶					۶۶			۸۹		۳۷	۱۳۱		۴۸	۸۵
۷		۱۸۵	۱۲۷					۲۵۱			۱۱۶		۱۵۵	
۸				۳۹		۸۹	۲۵۱				۲۱۱	۴۱	۱۳۱	
۹	۵۹			۷۸	۸۵							۳۵		
۱۰		۱۷			۴۸	۳۷							۴۸	
۱۱			۲۳۵			۱۳۱	۱۱۶	۲۱۱					۱۲۰	
۱۲	۴۱				۵۵			۴۱	۳۵					
۱۳		۴۶	۱۴۵			۴۸	۱۵۵	۱۳۱	۰	۴۸	۱۲۰			
۱۴	۷۴	۵۳			۳۶	۸۵								

جدول ۳ : بیشترین سرعت مجاز با توجه به شرایط مسیر ارتباطی

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
۱									۴۷			۴۴		۵۳
۲					۴۶		۵۲			۴۳			۶۴	۶۰
۳							۵۲				۴۲		۶۴	
۴								۲۴	۲۹					
۵		۴۶							۳۲	۴۸		۲۷		۳۸
۶						۴۴		۲۲		۴۵	۲۶		۳۹	۳۵
۷		۵۲	۵۲					۲۷			۳۰		۴۷	
۸				۲۴		۲۲	۲۷				۲۴	۴۴	۲۲	
۹	۴۷			۲۹	۳۲							۳۷		
۱۰		۴۳			۴۸	۴۵							۴۸	
۱۱			۴۲			۲۶	۳۰	۲۴					۲۹	
۱۲	۴۴				۲۷			۴۴	۳۷					
۱۳	۵۳	۶۴	۶۴			۳۹	۴۷	۲۲		۴۸	۲۹			
۱۴					۳۸	۳۵								

در شرایط بحران آنچه روی کیفیت زمان خدمت‌رسانی و همچنین میزان کمبود هر نقطه تأثیرگذار است اطلاعات و شرایط راه‌های ارتباطی است. از این رو بیشترین سرعت مجاز برای هر مسیر در جدول ۳ آورده شده است. گفتنی است مقدار سرعت مجاز و مقادیر مربوط به قابلیت اطمینان راه‌های ارتباطی توسط تجهیزات و فناوری روز مثل بازدید ماهواره‌ای، بازدید توسط بالگردهای فرستاده شده، تشخیص گروه مدیریت بحران مستقر در محل و همچنین گزارش‌های ارسالی از تیم‌های امدادی مستقر در محل قابل برآورد و تخمین است. قابلیت اطمینان مسیرهای مختلف بر اساس جدول ۴ در نظر گرفته شده است.

سه نوع وسیله‌ی نقلیه در نظر گرفته شده است که ظرفیت و سرعت آن‌ها برای ارائه‌ی خدمات در جدول ۵ آورده شده است. از نوع وسیله‌ی نقلیه‌ی الف دو عدد، از نوع وسیله‌ی نقلیه‌ی ب دو عدد و از نوع وسیله‌ی نقلیه‌ی ج سه عدد در نظر گرفته شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴: قابلیت اطمینان مسیرهای ارتباطی

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
۱									۱			۱		۱
۲					۱		۱			۱			۱	۱
۳							۱				۰,۹		۱	
۴				۱				۱	۰,۸					
۵		۱			۱	۱			۰,۹	۰,۹		۰,۹		۱
۶					۱	۱		۰,۹		۰,۸	۰,۸		۰,۸	۰,۸
۷		۱	۱				۱	۰,۵			۰,۵		۱	
۸				۱		۰,۹	۰,۵	۱			۰,۵	۰,۹	۰,۸	
۹	۱			۰,۸	۱				۱			۱		
۱۰					۰,۹	۰,۸				۱			۱	
۱۱		۱				۰,۸	۰,۵	۰,۵			۱		۰,۹	
۱۲	۱				۰,۹			۰,۹	۱			۱		
۱۳		۱	۱			۰,۸	۱	۰,۸		۱	۰,۹		۱	
۱۴	۱	۱			۱	۰,۸								۱

جدول ۵: اطلاعات مربوط به وسایل نقلیه

	ماشین ارتشی نوع الف	ماشین ارتشی نوع ب	کامیون
میزان سرعت معمولی	۵۰	۳۰	۲۰
ظرفیت وزنی	۱۴۰۰۰	۱۶۵۰۰	۲۱۲۰۰

جدول ۶: جدول موازنه‌ی اهداف

مقدار تابع هدف اول (کمبود)	۶۲۱,۰۶	۱۵۴۷,۵۵
مقدار تابع هدف دوم (زمان)	۱۵,۵۷	۱۲,۰۴

همچنین اطلاعات مربوط به کالاهای امدادی به این صورت است که ضریب اهمیت کالاها به‌صورت ۶۵٪ برای کالای نوع یک و ۳۵٪ برای کالای نوع دو در نظر گرفته شده است. وزن کالای نوع یک ۱۰ کیلوگرم و کالای نوع دو ۲/۸ در نظر گرفته شده است. میزان کالاهای امدادی موجود در مراکز پشتیبان چنین است: در مرکز ۱ مقدار ۵۰۰۰ واحد کالای نوع یک و ۱۹۸۰ واحد کالای نوع دو و در مرکز شماره‌ی ۲ تعداد ۱۲۰۰۰ واحد کالای نوع ۱ و ۴۸۰۰ واحد کالای نوع دو وجود دارد.

تحلیل حساسیت

به‌منظور بررسی صحت مدل، تحلیل حساسیت بر روی مدل پیشنهادی انجام می‌شود. برای این کار پارامترهایی مختلف تغییر داده شده و تأثیر آن‌ها بر توابع هدف بررسی می‌شوند. در جدول ۶ حداقل مقدار قابلیت اطمینان برای هر تور ۷۰٪ و باقی اطلاعات مطابق آنچه شرح داده شده است، در نظر گرفته شده است.

تصویر ۲: نمودار رابطه‌ی متقابل بهینه‌سازی تابع هدف اول و دوم

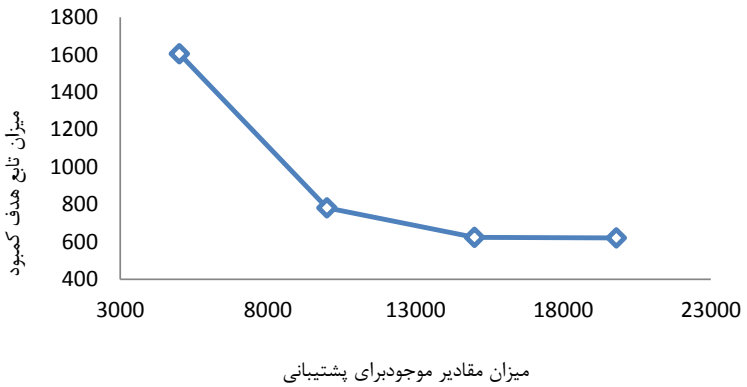
www.SID.ir

Archive of SID

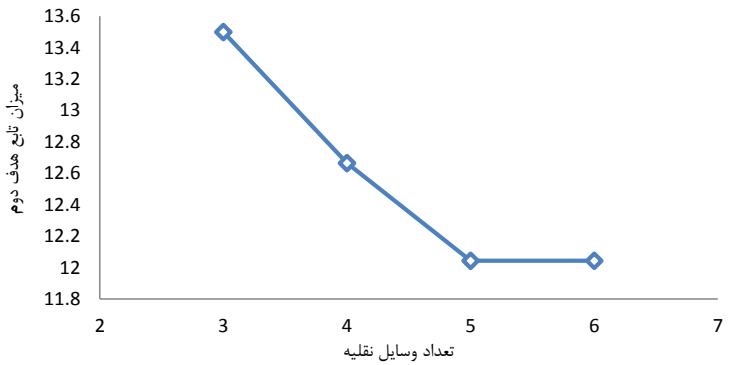
همان‌طور که در تصویر ۲ مشخص است به ازای افزوده شدن زمان خدمت‌رسانی میزان کمبود کاهش می‌یابد. در این تصویر بهترین مقدار برای تابع هدف اول که بیشینه کمبود در نقاط مختلف است و همچنین بهترین زمان ممکن برای زمان خدمت‌رسانی با در نظر گرفتن حداقل قابلیت اطمینان مسیرهای امدادی برابر ۷۰٪ در نظر گرفته شده است. در ادامه تحلیل حساسیت روی بعضی از پارامترهای مدل آورده می‌شود.

تحلیل تأثیر تعداد مراکز پشتیبان بر میزان کمبود و زمان خدمت‌رسانی در تصویر ۳ آورده شده است. براساس بررسی‌های صورت گرفته افزایش تعداد مراکز پشتیبان بر میزان کمبود تأثیرگذار است اما زمان انجام خدمت‌رسانی با افزایش تعداد مراکز پشتیبان تغییر قابل توجهی نمی‌کند.

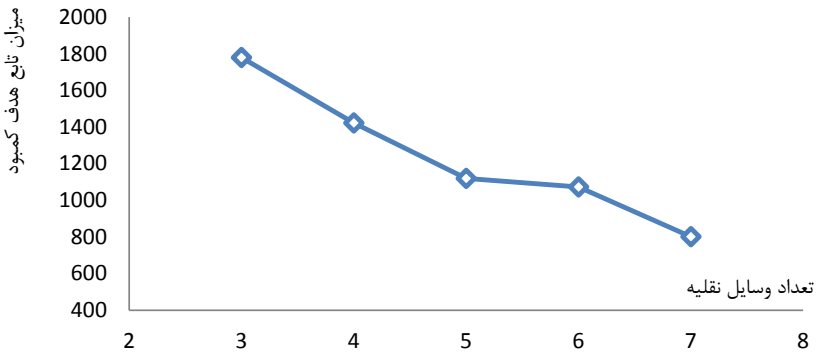
در تصویر ۴ و ۵ تأثیر افزایش تعداد وسایل نقلیه بر زمان خدمت‌رسانی و میزان کمبود بررسی می‌شود. مطابق انتظارات با افزایش تعداد وسایل نقلیه زمان خدمت‌رسانی کاهش می‌یابد و این صحت رفتار مدل پیشنهادی را نشان می‌دهد. افزایش تعداد وسایل نقلیه باعث کم شدن میزان کمبود می‌شود و این رفتار از لحاظ منطقی مطابق انتظارات بوده و صحت رفتار مدل را تأیید می‌نماید.



تصویر ۳: تأثیر افزایش تعداد مراکز پشتیبان بر میزان کمبود



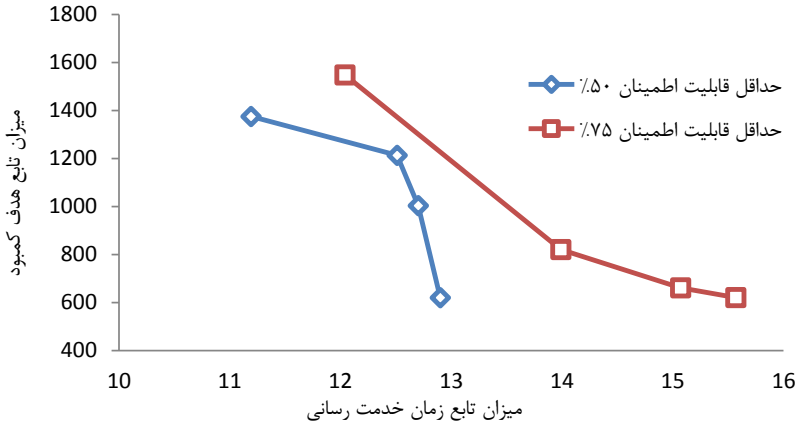
تصویر ۴: تأثیر افزایش تعداد وسایل نقلیه بر زمان خدمت‌رسانی



تصویر ۵: تأثیر افزایش تعداد وسایل نقلیه بر میزان کمبود

www.SID.ir

Archive of SID



تصویر ۶: تأثیر قابلیت اطمینان بر میزان کمبود و زمان خدمت‌رسانی

تصویر ۶ تأثیر قابلیت اطمینان بر میزان کمبود و زمان خدمت‌رسانی است. همان‌طور که در نمودار قابل مشاهده است، افزایش میزان قابلیت اطمینان اگرچه میزان تابع هدف را تغییر می‌دهد، اما ریسک کمتری برای توزیع کالاهای امدادی متحمل می‌شویم. همان‌طور که انتظار می‌رفت، رفتار مدل با تغییر پارامترها مطابق انتظار است و این موضوع صحت مدل ریاضی پیشنهادی را تأیید می‌کند.

نتیجه‌گیری

وقوع حوادث ناگهانی همانند بلایای طبیعی و یا بروز جنگ‌ها و حملات نظامی خسارات مالی و جانی بسیاری را به دنبال دارد. با وجود آنکه در مطالعات بسیاری به بررسی ابعاد گوناگون مسائل مرتبط با مدیریت بحران پرداخته شده است، به سبب اهمیت و تأثیر برنامه‌ریزی در پیش‌گیری از چنین وقایعی و یا مدیریت آن‌ها، مدیریت بحران همچنان به صورت یک حوزه‌ی جذاب مطالعاتی مطرح بوده است. در تحقیق حاضر، به مسئله‌ی مکان‌یابی مراکز توزیع کالاهای امدادی و مسیریابی وسایل نقلیه با ملاحظه‌ی قابلیت اطمینان مسیرهای ارتباطی پرداخته شد. هر مرکز پشتیبان، به میزان مشخصی کالای امدادی برای حمایت از مراکز توزیع کالا در اختیار دارد. هر یک از کمان‌های شبکه که مسیرهای ارتباطی را شکل می‌دهند، با احتمال مشخصی در زمان وقوع بحران خراب و یا مسدود می‌شوند. هر مشتری فقط در صورتی قادر به دریافت خدمت خواهد بود که قابلیت اطمینان مسیر ارتباطی از تسهیل تا مکان وی از حداقل قابلیت اطمینان مورد نظر برای تور تشکیل شده بیشتر باشد. برای بررسی این مسئله، نخست مدل‌سازی شبکه‌ی مورد نظر به صورت مدل عدد صحیح مختلط غیر خطی در نظر گرفته شد. مدل ریاضی ارائه شده، ضمن تعیین مکان استقرار تسهیلات و تعیین شیوه‌ی تخصیص مشتریان به آن‌ها، مسیرهای بهینه‌ی خدمت‌رسانی را به‌گونه‌ای تعیین می‌کند که میانگین میزان تقاضای پوشش داده نشده و میانگین زمان‌های سفر در واحد زمان، کمینه گردند. از آنجا که مدل ارائه شده دو هدفه است، برای حل آن از روش محدودیت اپسیلون تعمیم یافته که در واقع یکی از پرکاربردترین روش‌های حل دقیق مدل‌های چند هدفه است استفاده شد. همچنین، به علت غیرخطی بودن مدل ریاضی پیشنهادی به خطی‌سازی این مدل پرداخته شد. در نهایت، صحت مدل و کارایی الگوریتم حل ارائه شده، از طریق حل مطالعه‌ی موردی، مورد ارزیابی قرار گرفت. برای توسعه‌ی مدل ارائه شده در این مقاله در نظر گرفتن ملاحظات مدیریت موجودی کالاهای امدادی زمینه‌ی مناسبی برای ادامه‌ی مطالعه در این حوزه است. همچنین، الگوریتم‌های فرابتکاری چند هدفه برای حل مسئله در ابعاد بزرگ از دیگر زمینه‌هایی است که برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود.

منابع

1. Bakuli, D. L., & Smith, J. M. (1996). Resource allocation in statedependent emergency evacuation networks. *European Journal of Operational Research,* 89(3), 543-555.
2. Haghani, S. C. O. A. (1997). Testing and evaluation of a multi commodity multi modal network flow model for disaster relief management. *Journal of Advanced Transportation,* 31(3), 249-282.
3. Barbarosoğlu, G., & Arda, Y. (2004). A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response. *Journal of the operational research society*, 55(1), 43-53.
4. Akkihal, A. R. (2006). Inventory pre-positioning for humanitarian operations (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
5. Tzeng, G. H., Cheng, H. J., & Huang, T. D. (2007). Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,* 43(6), 673-686.
6. Eshghi, K, & Najafi, M. (2013). A Logistics Planning Model to Improve the Response Phase of Earthquake. *International Journal of Industrial Engineering & Production Management*, 23, 401-416.
7. Balcik, B., & Beamon, B. M. (2008). Facility location in

www.SID.ir

Archive of SID

a 0-1 linear program. *Operations researc*h, 22(1), 180-182.

humanitarian relief. International Journal of Logistics, 11(2), 101-121.

8. Salmeron J. and Apte A. (2009). Stochastic optimization for natural disaster asset prepositioning. *Production and Operations Management Society*, 19(5): 561–574

9. Bozorgi-Amiri, A., Jabalameli, M. S., & Al-e-Hashem, S. M. (2013). A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty. *OR spectrum*, 35(4), 905-933.

10. Canbolat, M. S., & Von Massow, M. (2011). Locating emergency facilities with random demand for risk minimization. *Expert Systems with Applications*, 38(8), 10099-10106.

11. Hamedi, M., Haghani, A., & Yang, S. (2012). Reliable transportation of humanitarian supplies in disaster response: model and heuristic. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 54, 1205-1219.

12. Vahdani, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Jolai, F. (2013). Reliable design of a logistics network under uncertainty: A fuzzy possibilistic-queuing model. *Applied Mathematical Modelling*, 37(5), 3254-3268.

13. Arkat, J., Zamani, S., & Qods, P. (2014). Location-Routing for emergenci facilities considering destruction probobilities for communication paths in crises.

14. Wang, H., Du, L., & Ma, S. (2014). Multi-objective open location-routing model with split delivery for optimized relief distribution in post-earthquake. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 69, 160-179.

15. Bozorgi-Amiri, A., & Khorsi, M. (2015). A dynamic multi-objective location–routing model for relief logistic planning under uncertainty on demand, travel time, and cost parameters. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-16.

16. Ghezavati, V., Soltanzadeh, F., & Hafezalkotob, A. (2015). Optimization of reliability for a hierarchical facility location problem under disaster relief situations by a chance-constrained programming and robust optimization. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability,* 229(6), 542-555.

17. Vahdani, B., Veysmoradi, D., Shekari, N., & Mousavi, S. M. Multi-objective, multi-period location-routing model to distribute relief after earthquake by considering emergency roadway repair. *Neural Computing and Applications,* 1-20.

18. Xu, J., Wang, Z., Zhang, M., & Tu, Y. (2016). A new model for a 72-h post-earthquake emergency logistics location-routing problem under a random fuzzy environment. *Transportation Letters,* 1-16.

19. Tavakkoli-Moghaddam, R., Shishegar, S., Siadat, A., & Mohammadi, M. (2016). Design of a Reliable Bi-objective Relief Routing Network in the Earthquake Response Phase. *Procedia Computer Science,* 102, 74-81.

20. Glover, F., & Woolsey, E. (1974). Technical note—converting the 0-1 polynomial programming problem to

www.SID.ir