چشم‌انداز مدیریت صنعتی
سال هشتم، شماره ۳۲، زمستان ۱۳۹۷
شاپای چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپای الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵
ص‌ص ۱۴۷ – ۱۲۱

ارائه یک مدل لجستیک چندهدفه استوار برای مسئله مکان‌یابی ـ مسیریابی، چندسطحی ـ چندمحصولی در زمان بحران در شرایط عدم‌قطعیت

نوید نیکجو*، نیکبخش جوادیان**

چکیده

هرساله بحران‌های موجود در جوامع بشری از لحاظ نوع، تعداد و شدت در حال افزایش هستند؛ ازاین‌رو مدیریت بحران، امروزه مبحثی مهم برای انجام پژوهش‌ها در تمامی کشورها تلقی می‌شود. در این مطالعه، یک مدل ریاضی چندهدفه تحت شرایط عدم‌قطعیت پیشنهاد شده که به‌دنبال پیداکردن مکانی بهینه برای استقرار تسهیلات و سپس میزان تخصیص بهینه کالا میان این تسهیلات و تخصیص مصدوم به بیمارستان‌ها و همچنین یافتن مسیری بهینه برای رساندن نیروهای انسانی به مناطق آسیب‌دیده برای رسیدن به اهدافی چون کاهش هزینه، توزیع کالا و امداد پزشکی عادلانه میان مناطق و کاهش زمان رسیدن نیروهای امدادی به مناطق آسیب‌دیده است. مدل موجود به عدم‌قطعیت شدت حادثه توجه دارد و این عدم‌قطعیت در شدت حادثه که موجب عدم‌قطعیت در میزان تقاضای کالا و نیروی انسانی و میزان خسارت و مصدومان خواهد شد، با استفاده از روش استوارسازی در مدل لحاظ شده است. به‌علت چندهدفه‌بودن مدل به کمک یکی از روش‌های تک‌هدفه‌سازی، مدل تک‌هدفه شده و در نهایت مدل این پژوهش در یک مطالعه موردی برای اثبات صحت و کارایی موردبررسی قرار گرفت.

کلیدواژه‌ها: لجستیک بحران؛ مسئله مکان‌یابی و مسیریابی؛ عدم‌قطعیت؛ چندسطحی ـ چندمحصولی؛ بهینه‌سازی استوار.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۵/۱۴، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۱۰.

* کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و فنون مازندران.
** دانشیار، دانشگاه علوم و فنون مازندران (نویسنده مسئول).
E-mail: nijavadian@ustmb.ac.ir

۱. مقدمه

امروزه علی‌رغم پیشرفت‌های فناوری، مصائب ناشی از سوانح طبیعی و غیرطبیعی یکی از موانع اصلی توسعه پایدار کشورها به شمار می‌روند که با نگاهی به حوادث طبیعی چند دهه اخیر می‌توان به‌روشنی دریافت که بروز بلایای طبیعی و عدم آمادگی و مقابله مناسب با آن‌ها تلفات و خسارات سنگینی را به ملت‌ها و دارایی‌های آن‌ها وارد می‌کند که بعضاً جبران‌ناپذیر است و روزبه‌روز نگرانی‌ها را در این زمینه افزایش می‌دهد؛ البته وجود یک سیستم مدیریت بحران منسجم و علمی که بتواند با پیش‌بینی و شناسایی از بروز و وقوع بحران‌ها جلوگیری کند 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. ازآنجاکه عمده‌ترین عامل اثرگذار در موفقیت فرآیند مدیریت بحران، «لجستیک[1] بحران» است و در کل زنجیره تأمین بحران، نقش اساسی و تعیین‌کننده‌ای را ایفا می‌کند (تقریباً ۸۰ درصد حجم کل فعالیت‌ها را شامل می‌شود)، داشتن یک برنامه‌ریزی صحیح در خصوص لجستیک بحران می‌تواند کمک‌های چشمگیری در کاهش خسارت‌های جانی و مالی به جوامع بشری بکند.

لجستیک بحران شامل کلیه فرآیندهای برآورد، تأمین، حمل‌ونقل، نگهداری و توزیع کالاها، تجهیزات، خدمات و تمامی نیازمندی‌های آسیب‌دیدگان و گروه‌های امدادی است که به‌دنبال این است تا با استفاده از مدل‌های رایج در لجستیک تجاری و درنظرگرفتن شرایط خاص و ویژه‌ای همچون تقاضای نامشخص و دسترسی‌نداشتن به اطلاعات دقیق در شرایط پس از بحران، در کمترین زمان ممکن (زمان مناسب) و در مکان‌های تعیین‌شده (مکان مناسب) به میزان موردنیاز (مقدار مناسب) به افراد و گروه‌های موردنظر (افراد مشخص) و با روش علمی و دقیق و دارای کمترین مشکلات برای نیازمندان (روش مناسب) کمک‌ها را به‌دست آن‌ها برساند. با توجه به اینکه کشور ایران نیز جزو ۱۰ کشور بلاخیز جهان به‌شمار می‌رود، ضرورت وجود یک سیستم منسجم علمی برای لجستیک مدیریت بحران که دارای یک مدیریت مشخص بوده و کلیه فرآیندهای آن از قبل تعریف و وظایف هر زیرمجموعه مشخص شده باشد، برای کاهش آسیب‌های بحران‌های موجود در کشور، همچون زلزله، امری اجتناب‌ناپذیر است؛ به همین دلیل این مطالعه درصدد است تا با مدل‌سازی ریاضی امدادرسانی در مواقع بحران (زلزله)، موجب کاهش هزینه‌ها و زمان رسیدن نیروهای امدادی و کاهش ناعدالتی توزیع کالا و کاهش ناعدالتی خدمات امدادی، بین مناطق آسیب‌دیده در مواقع بحران شود.

---

1. logistic

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

ازآنجاکه در بحران، پاسخ‌های امدادی از دو بُعد مقیاس و میزان در حال توسعه است، مدیریت زنجیره امداد نیز به‌سرعت در حال توسعه است؛ به‌طوری‌که رشد و افزایش نیازهای لجستیکی از توانایی‌ها و قابلیت‌های فعلی رویکردهای مدیریتی درحال‌توسعه پیشی گرفته است. این امر تا حدی به‌دلیل توجه بخش‌های امدادی به لجستیک به‌عنوان هزینه‌های ضروری، فقدان دانش‌های عملیاتی عمیق و فقدان سرمایه‌گذاری‌های کلی در فناوری و ارتباطات است [۵]. علی‌رغم اهمیت لجستیک بشردوستانه در نجات جان قربانیان حوادث، توجه چندانی به آن نشده است [۸]. به‌طورکلی پژوهش‌هایی که در زمینه مدیریت بحران انجام شده است را می‌توان به دو گروه اصلی تقسیم کرد: گروه نخست شامل پژوهش‌های مدیریتی است که با بررسی مباحث کیفی سعی در ایجاد بهبود افزایش کارایی در مدیریت بحران داشته است و گروه دوم شامل پژوهش‌های تکنیکی است که از دیدگاه کمّی و ریاضی مدیریت بحران زنجیره امداد را بررسی کرده و سعی در ارائه مفاهیم و مدل‌های کمّی برای بهینه‌کردن یا ایجاد حداکثر بهبود ممکن در زنجیره امداد داشته است.

ابزارهای کمّی که برای مدل‌سازی عملیات امداد ارائه می‌شوند، اغلب به شکل مدل‌های ریاضی و شبکه مطرح می‌شوند؛ البته این حوزه از پژوهش قدمت چندانی ندارد و شروع آن از اواخر دهه ۸۰ میلادی بوده است؛ با این حال تاکنون، مفاهیم و مدل‌های کمّی به‌ندرت در بخش عملیات امدادی به‌کار گرفته شده است [۵].

مدل‌های بهینه‌سازی، به‌عنوان ابزار قدرتمندی در مقابله با مسائل لجستیک بحران مطرح شده‌اند. عملیات بحران می‌تواند در سه فاز قبل، هنگام و بعد از وقوع حادثه انجام گیرد. جمع‌آوری اطلاعات مربوط به تخلیه، استقرار تسهیلات، پیش‌وضعیت انبارها از اقدامات مهم فاز اول هستند؛ درحالی‌که توزیع نیروی نجات و حمل‌ونقل حادثه‌دیدگان مربوط به فازهای دوم و سوم است.

باکولی و اسمیت[1] (۱۹۹۶)، مدلی برای تخصیص منابع در شبکه‌های تخلیه اضطراری وابسته به زمان ارائه دادند [۴] .فیدریچ[2] و همکاران (۲۰۰۰)، یک مدل بهینه‌سازی ترکیبی پویا و ابتکاری برای تعیین برنامه بهینه منابع به‌منظور تخصیص منابع در زمان و مکان مناسب به مناطق تحت حادثه پس از زلزله که تابع هدف آن کمینه‌سازی تعداد کل تسهیلات طی دوره گشت و نجات بود را پیشنهاد کردند [۱۱]. یی و ازدمار[3] (۲۰۰۷)، مدلی که تحویل عرضه و تخلیه مجروحان را در فعالیت‌های پاسخ به حادثه ادغام می‌کند، ارائه کردند. آن‌ها برپایی تسهیلات اورژانسی را در منطقه حادثه‌دیده برای خدمت‌رسانی به قربانیان پس از حادثه در نظر گرفتند و از

1. Bakuli and Smith
2. Fiedrich
3. Yi and Özdamar

ظرفیت وسایل نقلیه برای انتقال مجروحان و کالاهای امدادی استفاده کردند. مدل آن‌ها فرمول‌بندی فشرده‌تری ارائه کرد؛ اما پردازش بعدی برای مسیریابی و زمان‌بندی برداشت و تحویل وسایل نقلیه موردنیاز بود [۲۰].

چانگ[1] و همکاران (۲۰۰۷)، به‌منظور کمک به آژانس‌های دولتی دو مدل برنامه‌ریزی تصادفی برای تعیین مراکز انبارهای منابع نجات، تعداد تسهیلات نجات موردنیاز در آن‌ها و توزیع تسهیلات نجات ارائه داده‌اند؛ به‌طوری‌که هدف آن کمینه‌کردن هزینه‌های استقرار و متوسط هزینه تجهیزات نجات بود [۸].

تزنگ و همکاران[2] (۲۰۰۷)، یک مدل دومرحله‌ای چندمحصولی برای زنجیره‌ی بحران و مرکز امداد بشری برای قبل و بعد آن ارائه کردند. مهم‌ترین مسائل مطرح‌شده در تابع هدف آن‌ها هزینه‌هایی همچون هزینه کمبود اقلام امدادی، هزینه‌های انتقال، هزینه‌های نگهداری موجودی و هزینه‌های راه‌اندازی تسهیلات بود. نوآوری پژوهش آن‌ها درنظرگرفتن هم‌زمان قبل از وقوع بحران و بعد از وقوع آن و مدل یک‌پارچه‌ای آن در قالب یک مدل بود. برای بیان عدم‌قطعیت در این مدل از سناریوبندی برای مرحله بعد از وقوع بحران استفاده شد [۱۹].

مت و زابینسکی[3] (۲۰۱۰)، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای برای فاز آمادگی توسعه دادند و موقعیت انبارها و سطوح موجودی آن‌ها را تعیین کردند و در آن عدم‌قطعیت با استفاده از سناریوسازی، مدل شد [۲۱]. مورالی و ارد[4] (۲۰۰۹)، موضوع مکان‌یابی را در کنار موضوع برنامه‌ریزی مسیر برای بعد از بحران در نظر گرفتند. آن‌ها یک مدل سه‌هدفه غیرخطی عدد صحیح ارائه دادند که به دنبال کمینه‌کردن اهدافی از قبیل زمان مسافرت، هزینه کل است. همان‌طور که مشخص است مدل به‌دنبال اهداف انسانی و هزینه‌ای بود. جریان موجود در مدل از نوع جریان اقلام امدادی است. مواردی از جمله تقاضا در فضای عدم قطعیت در نظر گرفته شده است. محدودیت تعداد وسایل نقلیه در نظر گرفته شده است و برای دستیابی به جواب از یک مدل ترکیبی به کمک الگوریتم ژنتیک استفاده شد [۹].

راول و ترانکویست (۲۰۱۰)، یک مدل تصادفی دومرحله‌ای عدد صحیح مختلط که مکان و مقدار انواع مختلف کالاهای اضطراری را تعیین می‌کند، ارائه کرده‌اند. مدل آن‌ها دردسترس بودن شبکه حمل‌ونقل را تحت عدم‌قطعیت تقاضا و منابع در نظر می‌گیرد [۱۵].

افشار و حقانی (۲۰۱۲)، مدلی جامع که عملیات نجات را مقیاس بزرگ توصیف می‌کند، پیشنهاد کردند. این مدل نه‌تنها جزئیاتی مانند مسیریابی وسیله نقلیه، برنامه برداشت و تحویل

1. Chang
2. Tzeng
3. zabinski
4. Ordonez and Murali

کالاهای امدادی را در نظر می‌گیرد، بلکه مکان بهینه تهیه تسهیلات موقت و نیز محدودیت ظرفیت تسهیلات و سیستم حمل‌ونقل را نیز دربردارد [۱].

تالاریکو[1] و همکاران (۲۰۱۵)، یک مدل تک‌دوره‌ای و غیرقطعی مسیریابی و زمان‌بندی برای انتقال مصدومان از مناطق حادثه‌دیده به بیمارستان‌ها ارائه کردند که امکان خدمت‌دهی به هر منطقه آسیب‌دیده فقط توسط یک وسیله در نظر گرفته شده است [۱۶]. توفیقی و همکاران (۲۰۱۶)، یک مدل تصادفی فازی دومرحله‌ای برای آمادگی و توزیع منابع اضطراری در زنجیره تأمین بشردوستانه ارائه کردند [۱۷]. بونمه و همکاران (۲۰۱۷)، یک مدل بهینه‌سازی مکان تسهیلات برای تدارکات بشردوستانه اورژانسی را با درنظرگرفتن انواع مشکلات و آزمودن شرایط قبل و بعد از بحران با توجه به مکان تسهیلاتی همچون مراکز توزیع، انبارها، پناهگاه‌ها، محل‌های دفن و مراکز پزشکی موردبررسی قرار دادند [۶].

بزرگی و همکاران (۲۰۱۷)، یک مدل ریاضی چندهدفه برای مسئله طراحی زنجیره امداد تحت شرایط عدم قطعیت برای پاسخ به نیاز زلزله ارائه کردند که در آن اهداف، حداقل کردن مجموع تعداد افراد مجروحی که به بیمارستان ها منتقل نشده اند و مجموع تعداد افراد بی خانمانی که از ناحیه حادثه دیده تخلیه نشده اند و به حداقل رساندن مجموع تقاضاهای برآوردنشده کالاهای امدادی است. در این مدل، پارامترهای تقاضا و زمان سفر غیرقطعی در نظر گرفته شده اند و برای مدل سازی عدم قطعیت از بهینه سازی استوار مبتنی بر مجموعه عدم قطعیت جعبه ای و چندوجهی استفاده شده است [۷].

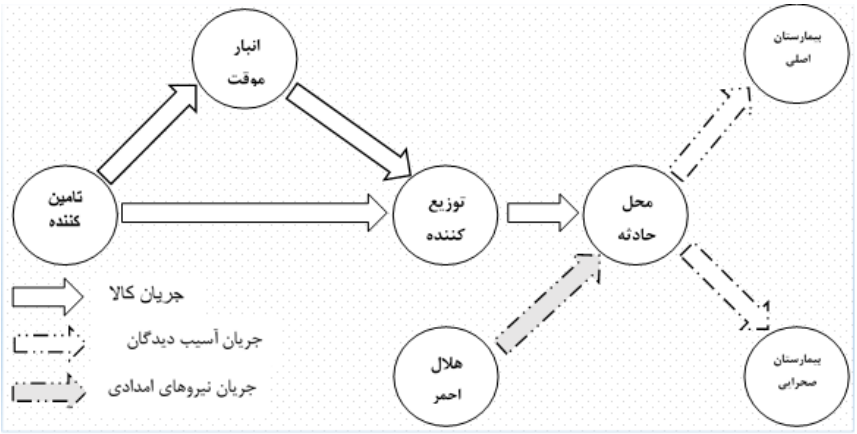
رحمانی و همکاران (۲۰۱۸)، یک مدل قوی و قابل‌اطمینان برای طراحی یک شبکه نجات ارائه کردند که در مدل پیشنهادی، دو نوع مراکز نجات مرکزی/ اصلی و محلی در نظر گرفته شده است؛ به‌طوری‌که دسترسی به مراکز تقاضا در زمان فاجعه به این مراکز آسان‌تر و سریع‌تر می‌شود [۱۴].

ولید کلیبی و همکاران (۲۰۱۸)، یک رویکرد مبتنی بر سناریو را برای طراحی شبکه‌های امدادرسانی ارائه دادند که در آن بلایای طبیعی (فاجعه‌ها) به‌عنوان فرآندهای تصادفی مدل‌سازی و یک روش مونت‌کارلو برای تولید سناریوهای فاجعه‌بار قابل‌قبول در نظر گرفته شده است [۱۲]. با توجه به پژوهش‌هایی موردبررسی مشخص شد که در پژوهش‌های قبلی به مباحثی همچون تقاضای نیروی انسانی به همراه تقاضای کالا، درنظرگرفتن شعاع پوششی، بیش از سه هدفه بودن مدل، درنظرگرفتن کالاهای فاسدشدنی بین کالاهای امدادی و غیره پرداخته نشده است.

1. Talarico

۳. روش‌شناسی پژوهش

همان‌طور که در شکل ۱، مشخص است، مدل لجستیک امداد ارائه‌شده هم‌زمان با درنظرگرفتن عدم‌قطعیت موجود در فضای واقعی برای برخی از پارامترها، به‌منظور جواب‌گویی به تقاضای کالاهای امدادی در مناطق آسیب‌دیده، چهار سطح که شامل ۱. تأمین‌کنندگان (شرکت‌ها یا ستادهای بحران، که موظف به خرید و ارسال کالا به مناطق آسیب‌دیده،هستند)، ۲. انبارهای موقت (انبارهایی که در مناطق آسیب‌دیده دایر می‌شوند تا در زمان بحران جوابگوی نیازها باشند)، ۳. مراکز توزیع (مراکزی که در مناطق بحران‌زده دایر می‌شوند تا کالاهایی که از انبارهای موقت و تأمین‌کنندگان دریافت می‌کنند رادر میان افراد توزیع کنند) و ۴. مناطق آسیب‌دیده درنظرگرفته‌شده (مناطقی که تحت تأثیر حادثه قرار گرفته است)؛ از طرفی برای خدمت‌رسانی از نوع پزشکی و درمانی برای افراد در مناطق آسیب‌دیده ۲ نوع بیمارستان اصلی که از قبل تأسیس شده و بیمارستان صحرایی که بعد از وقوع بحران در همان مناطق آسیب‌دیده تأسیس می‌شود در نظر گرفته شده است. در هر بحران و حادثه‌ای علاوه بر نیاز به کالاهای امدادی و امداد پزشکی به نیروهای انسانی برای ساماندهی مناطق آسیب‌دیده نیز نیاز است که در این پژوهش با درنظرگرفتن ارسال نیروهای انسانی هلال‌احمر از مراکز هلال‌احمر به مناطق آسیب‌دیده نیز توجه شده است.



شکل ۱. شبکه لجستیک امداد در مواقع بحران

فرضیات مدل

۱. چند نوع وسیله حمل‌ونقل برای انتقال کالاها در نظر گرفته شده است که هر کدام از این وسائل ظرفیت حجمی و وزنی مشخصی دارند.

۲. ظرفیت آمبولانس‌ها و اتوبوس‌ها مشخص شده‌اند.

۳. چند نوع کالا برای ارسال به مناطق آسیب‌دیده در نظر گرفته شده است که هر یک وزن، حجم و هزینه (قیمت) مشخصی دارند.
۴. ازآنجاکه شدت وقوع حادثه مثل زلزله می‌تواند متفاوت باشد و باعث میزان خسارت‌های متفاوتی شود، میزان تقاضای کالا و نیروی انسانی در مناطق آسیب‌دیده و میزان افراد آسیب‌دیده غیرقطعی در نظر گرفته شد.
۵. کالاهای امدادی از مراکز تأمین به انبارهای موقت و مراکز توزیع ارسال شده و سپس از انبارهای موقت و مراکز توزیع به نقاط آسیب‌دیده و در صورت نیاز از انبارهای موقت به مراکز توزیع به‌وسیله وسایل نقلیه موجود در هر مرکز ارسال خواهد شد.
۶. تمامی مناطق آسیب‌دیده، کاندید برای استقرار بیمارستان صحرایی، انبار موقت، مرکز توزیع هستند؛ یعنی به تعداد مناطق آسیب‌دیده، کاندید برای استقرار بیمارستان صحرایی، مرکز توزیع و انبار موقت وجود خواهد داشت.
۷. تعداد وسایل حمل‌ونقل موجود و دردسترس برای هر تسهیلات در هر منطقه مشخص شده است.
۸. مسافت فاصله‌ای و زمانی بین مراکز مشخص است.
۹. کالاها به‌وسیله وسایل نقلیه موجود در مراکز، مجروحان به‌وسیله آمبولانس‌های موجود در بیمارستان‌ها و نیروی انسانی به‌وسیله اتوبوس حمل‌ونقل می‌شوند.
۱۰. زمان توقف اتوبوس‌ها برای تخلیه نیروی انسانی در مناطق آسیب‌دیده مشخص شده است.
۱۱. میزان ریشتر و شدت زلزله به‌عنوان سناریوی این مدل در نظر گرفته شده است.
۱۲. انبارهای موقت، مراکز توزیع و بیمارستان‌های صحرایی داری ظرفیتی مشخص هستند.
۱۳. هر مرکز تأمین به میزان محدودی که مشخص شده است می‌تواند کالا به انبارها و مراکز توزیع ارائه دهد.
۱۴. مراکز تأمین، انبارهای موقت و بیمارستان‌های صحرایی تا شعاع مشخصی می‌توانند خدمت ارائه کنند.
۱۵. بین مجروحان درجه آسیب‌دیدگی متفاوت در نظر گرفته شده است.
۱۶. بیمارستان صحرایی قادر به خدمات‌دهی و درمان افرادآسیب‌دیده شدید نیست.

مجموعه‌ها و اندیس‌های مدل

S: مجموعه تأمین‌کنندگان	$S = 1 , \dots , s$
D: مجموعه توزیع‌کنندگان	$D = 1 , \dots , d$
W: مجموعه انبارهای موقت	$W = 1 , \dots , w$

C:	مجموعه انواع کالاهای امدادی	$C = 1 , \dots , c$
A:	مجموعه نقاط حادثه‌دیده	$A = 1 , \dots , a$
M:	مجموعه بیمارستان‌های اصلی	$M = 1 , \dots , m$
F:	مجموعه بیمارستان‌های صحرایی	$F = 1 , \dots , f$
V:	مجموعه انواع وسایل حمل‌ونقل	$V = 1 , \dots , v$
R:	مجموعه انواع رتبه آسیب‌دیدگی	$R = 1 , \dots , r$
T:	مجموعه انواع سناریو	$T = 1 , \dots , t$
E:	مجموعه انواع نیروهای امدادی	$E = 1, \dots , e$
B:	مجموعه اتوبوس‌ها	$B = 1, \dots , b$
H:	مراکز هلال‌احمر	$H = 1, \dots , h$
N:	مجموعه کل نقاط در فرآیند توزیع نیرو امدادی (اجتماع دو مجموعه H و A) که مشخص می‌شود با N	$\forall i, j \in N$

پارامترها

De_{ca}:	مقدار تقاضای کالای نوع c در منطقه آسیب‌دیده a
IP_{ra}:	تعداد افراد آسیب‌دیده با درجه آسیب‌دیدگی r در منطقه آسیب‌دیده a
AV_{cs}:	تعداد کالای نوع c دردسترس تأمین‌کننده نوع s
Wca_v:	ظرفیت وزنی وسیله نقلیه نوع v
Vca_v:	ظرفیت حجمی وسیله نقلیه نوع v
WC_c:	وزن هر واحد از کالای نوع c
VC_c:	حجم هر واحد از کالای نوع c
$MHca_{mr}$:	ظرفیت بیمارستان اصلی m برای فرد آسیب‌دیده با درجه آسیب‌دیدگی r
$FHca_{fr}$:	ظرفیت بیمارستان صحرایی f برای آسیب‌دیده با درجه آسیب‌دیدگی r
$Dvca_d$:	ظرفیت حجمی مرکز توزیع d
$Wvca_w$:	ظرفیت حجمی انبار موقت w
$DisSD_{sd}$:	مسافت بین تأمین‌کننده s تا توزیع‌کننده d
$DisSW_{sw}$:	مسافت بین تأمین‌کننده s تا انبار موقت w
$DisWD_{wd}$:	مسافت بین انبار موقت w تا توزیع‌کننده d
$DisDA_{da}$:	مسافت بین توزیع‌کننده d تا منطقه آسیب‌دیده a
$DisAM_{am}$:	مسافت بین منطقه آسیب‌دیده a تا بیمارستان اصلی m

$DisAF_{af}$: مسافت بین منطقه آسیب‌دیده a تا بیمارستان صحرایی (موقت) f

TC_{cv}: هزینه حمل‌ونقل هر واحد کالای c با وسیله نقلیه v در هر کیلومتر

TCAM: هزینه حمل‌ونقل فرد مجروح به‌وسیله آمبولانس در هر کیلومتر

CCS_{cs}: هزینه خرید (تأمین) کالای نوع c توسط تأمین‌کننده s

ESF_f: هزینه راه‌اندازی بیمارستان صحرایی (موقت) f

ESW_w: هزینه راه‌اندازی انبار موقت w

ESD_d: هزینه راه‌اندازی مرکز توزیع d

NVS_{vs}: تعداد وسایل نقلیه نوع v در مرکز تأمین s

NVD_{vd}: تعداد وسیله نقلیه نوع v در مرکز توزیع d

NVW_{vw}: تعداد وسایل نقلیه نوع v در انبار موقت w

$NAmM_m$: تعداد آمبولانس‌های موجود در بیمارستان اصلی m

$NAmF_f$: تعداد آمبولانس‌های موجود در بیمارستان صحرایی (موقت) f

AmCa: ظرفیت هر آمبولانس

RF_f: شعاع خدمت‌دهی بیمارستان صحرایی f

RW_w: شعاع خدمت‌دهی انبار موقت w

RD_d: شعاع خدمت‌دهی مرکز توزیع d

C_{ij}: زمان حمل‌ونقل بین گره i تا گره $\forall i,j \in N$ ،j

d_{ie}: میزان تقاضای نیروی امدادی e در نقطه i

Dt_i: زمان ارائه خدمت در گره i، $\forall i \in A$

Capb: ظرفیت اتوبوس‌ها

$Tmax_i$: حداکثر زمان مجاز رسیدن به گره i، $\forall i \in A$

CB: هزینه ارسال (به خدمت گیری) هر اتوبوس

M_{big}: عدد بزرگ

متغیرها

XF_{raf}: تعداد افراد آسیب‌دیده نوع r که از ناحیه a به بیمارستان صحرایی f منتقل شدند.

XM_{ram}: تعداد افراد آسیب‌دیده نوع r که از ناحیه a به بیمارستان اصلی m منتقل شدند.

XSD_{sdcv}: تعداد کالای انتقالی نوع c از تأمین‌کننده s به توزیع‌کننده d توسط وسیله نقلیه v

XSW_{swcv}: تعداد کالای انتقالی نوع c از تأمین‌کننده s به انبار موقت w توسط وسیله نقلیه v

XWD_{wdcv}: تعداد کالای انتقالی نوع c از انبار موقت w به توزیع‌کننده d توسط وسیله نقلیه v

XDA_{dacv}: تعداد کالای انتقالی نوع c از توزیع‌کننده d به منطقه a توسط وسیله نقلیه v

YWD_{wd}: اگر انبار w به مرکز توزیع d خدمات دهد یک و در غیر این صورت صفر

YDA_{da}: اگر مرکز توزیع d به منطقه a خدمات دهد یک و در غیر این صورت صفر

YFA_{fa}: اگر بیمارستان صحرایی f به منطقه a خدمات دهد یک و در غیر این صورت صفر

YD_{d}: اگر مرکز توزیع d راه‌اندازی شود یک و در غیر این صورت صفر

YW_{w}: اگر انبار موقت w راه‌اندازی شود یک و در غیر این صورت صفر

YF_{f}: اگر بیمارستان صحرایی f راه‌اندازی شود یک و در غیر این صورت صفر

Y_{bij}: برابر یک است اگر اتوبوس $b \in B$ از گره ی $i \in N$ به گره $j \in N$ حرکت کند، در غیر این صورت برابر صفر است.

YB_{b}: برابر یک است اگر اتوبوس $b \in B$ اعزام شود، در غیر این صورت برابر صفر است.

TB_{bi}: زمان رسیدن اتوبوس $b \in B$ به گره $i \in N$

توابع هدف. برای این مدل ۴ تابع هدف در نظر گرفته شده که به شرح زیر است:
همان‌طور که در بیشتر مسائل مدل‌سازی به حداقل‌سازی هزینه‌ها توجه می‌شود، در این مدل نیز یک هدف به‌منظور حداقل‌سازی هزینه‌ها وجود دارد که به‌صوت زیر است:

$$\begin{aligned}
MinZ_1 = {} & \sum_{d} ESD_{d} \times YD_{d} + \sum_{w} ESW_{w} \times YW_{w} + \sum_{f} ESF_{f} \times YF_{f} + \sum_{b} CB_{b} \times YB_{b} + \\
& \sum_{s}\sum_{d}\sum_{c}\sum_{v} CCS_{cs} \times XSD_{SDCV} + \sum_{s}\sum_{W}\sum_{c}\sum_{v} CCS_{cs} \times XSW_{SWCV} + \sum_{r}\sum_{a}\sum_{f} TCAM \times DisAF \times XF_{raf} \\
& + \sum_{r}\sum_{a}\sum_{m} TCAM \times DisAM \times XM_{ram} + \sum_{s}\sum_{w}\sum_{c}\sum_{v} TC_{cv} \times DisSW_{sw} \times XSW_{swcv} \\
& + \sum_{s}\sum_{d}\sum_{c}\sum_{v} TC_{cv} \times DisSD_{sd} \times XSD_{sdcv} + \sum_{d}\sum_{a}\sum_{c}\sum_{v} TC_{cv} \times DisDA_{da} \times XDA_{dacv} + \\
& \sum_{s}\sum_{d}\sum_{c}\sum_{v} TC_{cv} \times DisWD_{wd} \times XWD_{wdcv}
\end{aligned} \qquad (۱)$$

تابع هدف ۱، به‌دنبال کمینه‌کردن هزینه‌های مدل است که شامل هزینه‌های خرید کالا، هزینه‌های جابه‌جایی کالا بین مراکز، هزینه جابه‌جایی مصدومان تا بیمارستان‌ها و هزینه تأسیس تسهیلات (انبار موقت، مرکز توزیع، بیمارستان صحرایی) و هزینه ارسال هر اتوبوس است.

$$MinZ_2 = Max_{r,a}\left(\frac{IP_{ra} - \left(\sum_{m} XM_{ram} + \sum_{f} XF_{raf}\right)}{IP_{ra}}\right) \qquad (۲)$$

تابع هدف ۲، به‌دنبال کمینه‌کردن حداکثر میزان نارضایتی از ناعدالتی بین مناطق آسیب‌دیده از لحاظ امداد درمانی به مصدومان است.

$$\mathrm{MinZ_3} = \mathrm{Max_{c,a}}\left(\frac{\mathrm{De_{ca}} - \sum_{d}\sum_{v}\mathrm{XDA_{dacv}}}{\mathrm{De_{ca}}}\right) \qquad (۳)$$

تابع هدف ۳، به‌دنبال کمینه‌کردن حداکثر میزان نارضایتی از ناعدالتی بین مناطق آسیب‌دیده از لحاظ توزیع کالا به مصدومان است.

$$\mathrm{MinZ_4} = \sum_{b}\sum_{i}\mathrm{TB_{bi}} \qquad (۴)$$

تابع هدف ۴، به‌دنبال کمینه‌کردن مجموع زمان رسیدن اتویوس‌ها به مناطق آسیب‌دیده است.

محدودیت‌ها

$$\sum_{d}\sum_{v}\mathrm{XSD_{sdcv}} + \sum_{w}\sum_{v}\mathrm{XSW_{swcv}} \le \mathrm{AV_{cs}} \qquad \forall s \in S\ ,\ \forall c \in C \qquad (۵)$$

$$\sum_{s}\sum_{v}\mathrm{XSD_{sdcv}} + \sum_{w}\sum_{v}\mathrm{XWD_{wdcv}} = \sum_{a}\sum_{v}\mathrm{XDA_{dacv}} \qquad \forall d \in D \quad \forall c \in C \qquad (۶)$$

$$\sum_{s}\sum_{v}\sum_{c}\mathrm{VC_c} \times \mathrm{XSD_{sdcv}} \le \mathrm{Dvca_d} \qquad \forall d \in D \qquad (۷)$$

$$\sum_{s}\sum_{v}\mathrm{XSW_{swcv}} \ge \sum_{d}\sum_{v}\mathrm{XWD_{wdcv}} \qquad \forall w \in W \ \ \forall c \in C \qquad (۸)$$

$$\sum_{s}\sum_{v}\sum_{c}\mathrm{VC_c} \times \mathrm{XSW_{swcv}} \le \mathrm{Wvca_w} \qquad \forall w \in W \qquad (۹)$$

$$\sum_{d}\sum_{c}\mathrm{XSD_{sdcv}} \times \mathrm{WC_c} + \sum_{w}\sum_{c}\mathrm{XSW_{swcv}} \times \mathrm{WC_c} \le \mathrm{Wca_v} \times \mathrm{NVS_{vs}} \qquad \forall s \in S \quad \forall v \in V \qquad (۱۰)$$

$$\sum_{d}\sum_{c}\mathrm{XWD_{wdcv}} \times \mathrm{WC_c} \le \mathrm{Wca_v} \times \mathrm{NVW_{vw}} \qquad \forall w \in W \ \ \forall v \in V \qquad (۱۱)$$

$$\sum_{a}\sum_{c}\mathrm{XDA_{dacv}} \times \mathrm{WC_c} \le \mathrm{Wca_v} \times \mathrm{NVD_{vd}} \qquad \forall d \in D \quad \forall v \in V \qquad (۱۲)$$

$$\sum_{d}\sum_{c}\mathrm{XSD_{sdcv}} \times \mathrm{VC_c} + \sum_{w}\sum_{c}\mathrm{XSW_{swcv}} \times \mathrm{VC_c} \le \mathrm{Vca_v} \times \mathrm{NVS_{vs}} \qquad \forall s \in S \quad \forall v \in V \qquad (۱۳)$$

$$\sum_{d}\sum_{c} XWD_{wdcv} \times VC_{c} \le Vca_{v} \times NVW_{vw} \quad \forall w \in W \quad \forall v \in V \qquad (۱۴)$$

$$\sum_{a}\sum_{c} XDA_{dacv} \times VC_{c} \le Vca_{v} \times NVD_{vd} \quad \forall d \in D \quad \forall v \in V \qquad (۱۵)$$

$$\sum_{r}\sum_{a} XM_{ram} \le NAmM_{m} \times AmCa \quad \forall m \in M \qquad (۱۶)$$

$$\sum_{r}\sum_{a} XF_{raf} \le NAmF_{f} \times AmCa \quad \forall f \in F \qquad (۱۷)$$

$$YDA_{da} \times DisDA_{da} \le RD_{d} \times YD_{d} \quad \forall d \in D, \forall a \in A \qquad (۱۸)$$

$$XDA_{dacv} \le M_{big} \times YDA_{da} \quad \forall d \in D, \forall a \in A \quad \forall c \in C, \forall v \in V \qquad (۱۹)$$

$$YDA_{da} \le \sum_{c}\sum_{v} XDA_{dacv} \quad \forall d \in D, \forall a \in A \qquad (۲۰)$$

$$YD_{d} \le \sum_{a} YDA_{da} \quad \forall d \in D \qquad (۲۱)$$

$$XSD_{sdcv} \le M_{big} \times YD_{d} \quad \forall s \in S, \forall d \in D \quad \forall c \in C, \forall v \in V \qquad (۲۲)$$

$$XSW_{swcv} \le M_{big} \times YW_{w} \quad \forall s \in S, \forall w \in W \quad \forall c \in C, \forall v \in V \qquad (۲۳)$$

$$YWD_{wd} \times DisWD_{wd} \le RW_{w} \times YW_{w} \quad \forall w \in W \quad \forall d \in D \qquad (۲۴)$$

$$YWD_{wd} \times DisWD_{wd} \le RW_{w} \times YD_{d} \quad \forall w \in W \quad \forall d \in D \qquad (۲۵)$$

$$XWD_{wdcv} \le Mbig \times YWD_{wd} \quad \forall d \in D, \forall w \in W \quad \forall c \in C, \forall v \in V \qquad (۲۶)$$

$$YWD_{wd} \le \sum_{c}\sum_{v} XWD_{wdcv} \quad \forall w \in W \quad \forall d \in D \qquad (۲۷)$$

$$YW_{w} \le \sum_{d} YWD_{wd} \quad \forall w \in W \qquad (۲۸)$$

$$YFA_{fa} \times DisAF_{af} \le RF_{f} \times YF_{f} \quad \forall a \in A, \forall f \in F \qquad (۲۹)$$

$$XF_{raf} \le M_{big} \times YFA_{fa} \quad \forall r \in R, \forall a \in A, \forall f \in F \qquad (۳۰)$$

$$YFA_{fa} \le \sum_{r} XF_{raf} \qquad \forall a \in A\ ,\ \forall f \in F \qquad (۳۱)$$

$$YF_{f} \le \sum_{a} YFA_{fa} \qquad \forall f \in F \qquad (۳۲)$$

$$\sum_{a} XM_{ram} \le MHca_{mr} \qquad \forall r \in R \quad \forall m \in M \qquad (۳۳)$$

$$\sum_{a} XF_{raf} \le FHca_{fr} \qquad \forall r \in R \quad \forall f \in F \qquad (۳۴)$$

$$\sum_{f} XF_{raf} + \sum_{m} XM_{ram} \le IP_{ra} \qquad \forall r \in R \quad \forall a \in A \qquad (۳۵)$$

$$\sum_{d} \sum_{v} XDA_{dacv} \le De_{ca} \qquad \forall a \in A \quad \forall c \in C \qquad (۳۶)$$

$$\sum_{i \in H} \sum_{j \in A} Y_{bij} = YB_{b} \qquad \forall b \in B \qquad (۳۷)$$

$$\sum_{i \in A} \sum_{j \in H} Y_{bij} = YB_{b} \qquad \forall b \in B \qquad (۳۸)$$

$$\sum_{i \in N} Y_{bij} = \sum_{i \in N} Y_{bji} \qquad \forall j \in A \quad \forall b \in B \qquad (۳۹)$$

$$\sum_{b} \sum_{j \in N} Y_{bji} = 1 \qquad \forall i \in A \qquad (۴۰)$$

$$Y_{bii} = 0 \qquad \forall i \in N \quad \forall b \in B \qquad (۴۱)$$

$$\sum_{k} \sum_{j \in N} \sum_{i \in A} d_{ie} \times Y_{bji} \le capb \times YB_{b} \qquad \forall b \in B \qquad (۴۲)$$

$$\sum_{b} YB_{b} \le |B| \qquad (۴۳)$$

$$T_{bi} = 0 \qquad \forall i \in H \quad \forall b \in B \qquad (۴۴)$$

$$(T_{bi} + Dt_{i} + C_{ij}) - Mbig(1 - Y_{bij}) \le T_{bj} \qquad \forall j \in A \ \forall i \in N \quad \forall b \in B \qquad (۴۵)$$

$$T_{bi} \le Tmax_{i} \qquad \forall i \in A \ \forall b \in B \qquad (۴۶)$$

$$XSD_{sdcv}\ ,\ XSW_{swcv}\ ,\ XWD_{WDCV}\ ,\ XDA_{dacv}\ ,\ XM_{ram}$$
$$XF_{raf}\ ,\ XM_{ram} \ge 0\ ,\ \text{integer} \qquad \begin{matrix}\forall s \in S, \forall d \in D, \forall w \in W \\ \forall a \in A, \forall f \in F, \forall m \in M \\ \forall c \in C, \forall v \in V, \forall r \in R\end{matrix} \qquad (۴۷)$$

$$TB_{b,i} \ge 0 \qquad \forall i \in A \ \forall b \in B \qquad (۴۸)$$

$$YDA_{da}\ ,\ YDW_{dw}\ ,\ YFA_{fa}\ ,\ YDA_{da}\ ,YD_{d}$$
$$YW_{w}\ ,\ YF_{f}\ ,\ Y_{bij}\ ,\ YB_{b} \ge 0\ ,\ \text{integer} \in \{0,1\} \qquad \begin{matrix}\forall i,j \in N, \forall b \in B, \forall \\ \forall w \in W, \forall a \in A, \forall f \in F\end{matrix} \qquad (۴۹)$$

توضیح محدودیت‌ها. محدودیت ۵، نشان دهنده این است که تأمین‌کننده S نمی‌تواند بیشتر از کالاهای دردسترس خود برای انبارهای W و مراکز توزیع D کالا ارسال کند. محدودیت ۶، نشان می‌دهد که مرکز توزیع D تمام کالاهایی را که از تأمین‌کننده S و و انبار موقت W دریافت می‌کند را باید بین مناطق آسیب‌دیده توزیع کند. محدودیت ۷، نمایانگر این است که مرکز توزیع D بیشتر از ظرفیت حجمی خود نمی‌تواند کالا دریافت کند. محدودیت ۸، نشان می‌دهد که انبار موقت W می‌تواند تمامی کالاهای دریافتی از مراکز توزیع S را به مرکز توزیع D نفرستد و مقداری را ذخیره کند. محدودیت ۹، حاکی از این است که انبار موقت W نمی‌تواند بیشتر از ظرفیت حجمی خود کالا دریافت کند. محدودیت ۱۰، نشان می‌دهد که تأمین‌کننده S نمی‌تواند بیشتر از ظرفیت وزنی کل ماشین‌های دردسترس خود کالا ارسال کند. محدودیت ۱۱، نشان‌دهنده این است که انبار موقت W بیشتر از ظرفیت وزنی ماشین‌های دردسترس خود نمی‌تواند کالا ارسال کند. محدودیت ۱۲، نشان می‌دهد که مرکز توزیع D بیشتر از ظرفیت وزنی ماشین‌های دردسترس خود نمی‌تواند کالا ارسال کند.

محدودیت ۱۳، نمایانگر این است که تأمین‌کننده S نمی‌تواند بیشتر از ظرفیت حجمی کل ماشین‌های دردسترس خود کالا ارسال کند. محدودیت ۱۴، نشان می‌دهد که انبار موقت W نمی‌تواند بیشتر از ظرفیت حجمی ماشین‌های دردسترس خود کالا ارسال کند. محدودیت ۱۵، حاکی از این است که مرکز توزیع D نمی‌تواند بیشتر از ظرفیت حجمی ماشین‌های دردسترس خود کالا ارسال کند. محدودیت ۱۶ نشان می‌دهد که هر بیمارستان اصلی بیشتر از ظرفیت کل آمبولانس‌های موجود در خود نمی‌توانند مجروح دریافت کند. محدودیت ۱۷، نشان‌دهنده این است که هر بیمارستان‌های صحرایی نمی‌تواند بیشتر از ظرفیت کل آمبولانس‌های موجود در خود مجروح دریافت کنند.

محدودیت‌های ۱۸-۲۱، نشان می‌دهند تا زمانی که D تأسیس نشود و منطقه A تحت شعاع آن نباشد، منطقه A به مرکز توزیع D وصل نمی‌شود و هیچ کالایی به‌وسیله هیچ ماشینی از طرف D دریافت نمی‌کند. محدودیت ۲۲، نشان‌دهنده این است که اگر مرکز توزیع D تأسیس نشود، هیچ کالایی از طرف تأمین‌کننده S به آن ارسال نمی‌شود. محدودیت ۲۳، نشان می‌دهد تا انبار موقت W تأسیس نشود هیچ کالایی از طرف تأمین‌کننده S به آن ارسال نمی‌شود. محدویت‌های ۲۴-۲۸ نشان می‌دهند تا زمانی که D و W تأسیس نشوند و D تحت شعاع پوششی W نباشد، مرکز توزیع D و انبار موقت W به هم وصل نمی‌شوند و هیچ کالایی از W به D ارسال نمی‌شود.

محدودیت‌های ۲۹-۳۲ نشان می‌دهند تا زمانی که F تأسیس نشود و منطقه A تحت شعاع پوششی آن نباشد، منطقه A به بیمارستان صحرایی F وصل نمی‌شود و هیچ امدادی به‌وسیله

هیچ آمبولانسی از طرف F دریافت نمی‌کند. محدودیت ۳۳، نمایانگر این است که بیمارستان‌های اصلی M بیشتر از ظرفیت خود نمی‌توانند مصدوم نوع R را پذیرش کنند.

محدودیت ۳۴، نشان می‌دهد که بیمارستان‌های صحرایی F بیشتر از ظرفیت خود نمی‌توانند مصدوم نوع R پذیرش کنند. محدودیت ۳۵، نشان‌دهنده این است که مجموع مصدومان نوع R انتقال‌داده‌شده از هر منطقه A به بیمارستان‌های صحرایی F و اصلی M باید از کل مصدومان آن منطقه کمتر باشد. محدودیت ۳۶، نشان می‌دهد که مقدار کالای ارسال‌شده نوع C به منطقه A باید از مقدار تقاضای آن کمتر باشد. محدودیت ۳۷، حاکی از این است که در صورت اعزام اتوبوس B، آن وسیله از مرکز هلال‌احمری که در آن مستقر شده است به سمت یکی از مناطق حادثه‌دیده شروع به حرکت می‌کند.

محدودیت ۳۸، نشان می‌دهد که در صورت اعزام اتوبوس B، آن وسیله بعد از عملیات توزیع اقلام مجدداً به مرکز هلال‌احمری که در آن قبلا مستقر شده بود، برمی‌گردد. محدودیت ۳۹، تعادل جریان برای مناطق آسیب‌دیده را نشان می‌دهد؛ بدین صورت که هر اتوبوسی که به یک منطقه حادثه دیده وارد می‌شود باید از آن منطقه خارج شود. محدودیت ۴۰، نشان‌دهنده این است که هر منطقه حادثه‌دیده برای تأمین انواع اقلام امدادی موردنیاز خود فقط‌وفقط از یک وسیله خدمت می‌گیرد. محدودیت ۴۱، از ایجاد حلقه در هر گره از شبکه جلوگیری می‌کند. محدودیت ۴۲، ظرفیت هر اتوبوس برای برآورد کل تقاضای مناطق حادثه‌دیده را برای انواع نیروهای امدادی، نشان می‌دهد.

محدودیت ۴۳، نمایانگر حداکثر تعداد وسایل دردسترس است. محدودیت ۴۴، نشان می‌دهد که زمان شروع حرکت هر اتوبوس امدادی، از مرکز هلال‌احمری که در آن واقع شده است برابر صفر است. محدودیت ۴۵، زمان رسیدن هر اتوبوس امدادی را به هر منطقه آسیب‌دیده نشان می‌دهد. محدودیت ۴۶، نمایانگر پنجره زمانی برای زمان رسیدن اتوبوس امدادی به مناطق حادثه‌دیده است. محدودیت‌های ۴۷-۴۹، نشان‌دهنده نوع متغیرها هستند.

خطی‌سازی مدل. تابع هدف‌های ۲ و ۳، به‌صورت زیر خطی‌سازی می‌شوند.

$$N \geq \frac{IP_{ra} - \left(\sum_{f} XF_{raf} + \sum_{m} XM_{ram}\right)}{IP_{ra}} \qquad \forall a \in A\ ,\ \forall r \in R \tag{۵۰}$$

$$MinZ_{2new} = N \tag{۵۱}$$

$$Q \geq \frac{De_{ca} - \sum_{d}\sum_{c} XDA_{dacv}}{De_{ca}} \qquad \forall a \in A \ , \ \forall c \in C \tag{۵۲}$$

$$MinZ_{3new} = q \tag{۵۳}$$

استوارسازی مدل. پس از وقوع بحران و تحقق پارامترهای غیرقطعی مسئله، مقادیر توابع هدف و متغیرهای بهینه مسئله می‌توانند بسیار متفاوت از توابع هدف و متغیرهای به‌دست‌آمده از این مدل باشند؛ بنابراین برای کاهش مقدار این تفاوت به‌ازای همه سناریوهای موجود، در این بخش سعی می‌شود که مدل در برابر پارامترهای غیرقطعی استوار شود [۲]. تکنیک های استوارسازی در بسیاری از پژوهش ها بکار رفته است [۱۰،۷،۳]. در این مدل برای استوارسازی از روش مولوی و همکاران(۱۹۹۵)، استفاده شده [۱۳] و تغییراتی در مدل به‌صورت زیر انجام شده است.

ـ پارامترهای تغییریافته

De^{t}_{ca}: مقدار تقاضای کالای نوع c در منطقه آسیب‌دیده a در سناریو t

IP^{t}_{ra}: تعداد آسیب‌دیده با درجه آسیب‌دیدگی r در منطقه آسیب‌دیده a در سناریو t

d^{t}_{ie}: میزان تقاضای نیروی امدادی e در نقطه i در سناریو t

Dt^{t}_{i}: زمان ارائه خدمات در نقطه i در سناریو t

ـ متغیرهای تغییریافته و جدید

XF^{t}_{raf}: تعداد افراد آسیب‌دیده نوع r که از ناحیه a به بیمارستان صحرایی f انتقال یافته‌اند در سناریو t

XM^{t}_{ram}: تعداد افراد آسیب‌دیده نوع r که از ناحیه ی a به بیمارستان اصلی m انتقال یافته اند در سناریو t

XSD^{t}_{sdcv}: تعداد کالای انتقالی نوع c از تأمین‌کننده s به توزیع‌کننده d در سناریو t

XSW^{t}_{swcv}: تعداد کالای انتقالی نوع c از تأمین‌کننده s به انبار موقت w در سناریو t

XWD^{t}_{wdcv}: تعداد کالای انتقالی نوع c از انبار موقت w به توزیع‌کننده d در سناریو t

XDA^{t}_{dacv}: تعداد کالای انتقالی نوع c از توزیع‌کننده d به منطقه آسیب‌دیده a در سناریو t

TB^{t}_{bi}: زمان رسیدن اتوبوس $B \ni b$ به گره $N \ni i$ در سناریو t

$Slak1^{t}_{b}$: میزان نشدنی‌بودن محدودیت کنترل ۴۲، تحت سناریوی t

$Slak2_{ib}^{t}$: میزان نشدنی بودن محدودیت کنترل ۴۶، تحت سناریوی t

ـ تابع هدف‌های تغییریافته استوارشده بر اساس سناریو

ـ تابع هدف اول:

$$\begin{aligned} Z_{1t} = & \sum_{d} ESD_{d} \times YD_{d} + \sum_{w} ESW_{w} \times YW_{w} + \sum_{f} ESF_{f} \times YF_{f} + \sum_{b} CB \times YB_{b} + \\ & \sum_{s}\sum_{d}\sum_{c}\sum_{v} CCS_{cs} \times XSD_{sdcv}^{t} + \sum_{t}\sum_{s}\sum_{W}\sum_{c}\sum_{v} CCS_{cs} \times XSW_{swcv}^{t} + \\ & \sum_{r}\sum_{a}\sum_{f} TCFH_{af} \times XF_{raf}^{t} + \sum_{r}\sum_{a}\sum_{m} TCMH_{am} \times XM_{ram}^{t} + \\ & \sum_{s}\sum_{w}\sum_{c}\sum_{v} TC_{cv} \times DisSW_{sw} \times XSW_{swcv}^{t} + \sum_{s}\sum_{d}\sum_{c}\sum_{v} TC_{cv} \times DisSD_{sd} \times XSD_{sdcv}^{t} + \\ & \sum_{d}\sum_{a}\sum_{c}\sum_{v} TC_{cv} \times DisDA_{da} \times XDA_{dacv}^{t} + \sum_{s}\sum_{d}\sum_{c}\sum_{v} TC_{cv} \times DisWD_{wd} \times XWD_{wdcv}^{t} \end{aligned} \quad (۵۴)$$

$$Min Z'_{1t} = \sum_{t} P_{t} \times Z_{1t} + \lambda_{1} \times \sum_{t} P_{t} \left[\left(Z_{1t} - \sum_{t'} P_{t'} \times Z_{1t'} \right) + 2\theta_{1t} \right] + \omega_{1} \sum_{b}\sum_{t} P_{t} \times Slak1_{b}^{t} \quad (۵۵)$$

$$Z_{1t} - \sum_{t'} P_{t'} \times Z_{1t'} + \theta_{1t} \geq 0 \quad , \quad \theta_{1t} \geq 0 \qquad \forall t \in T \quad (۵۶)$$

ـ تابع هدف دوم:

$$Z_{2t} = \sum_{r} N^{t} \quad (۵۷)$$

$$Min Z'_{2t} = \sum_{t} P_{t} \times Z_{2t} + \lambda 2 \times \sum_{t} P_{t} \left[\left(Z_{2t} - \sum_{t'} P_{t'} \times Z_{2t'} \right) + 2\theta_{2t} \right] \quad (۵۸)$$

$$Z_{2t} - \sum_{t'} P_{t'} \times Z_{2t'} + \theta_{2t} \geq 0 \quad , \quad \theta_{2t} \geq 0 \qquad \forall t \in T \quad (۵۹)$$

ـ تابع هدف سوم:

$$Z_{3t} = \sum_{t} q^{t} \quad (۶۰)$$

$$\mathrm{MinZ}'_{3t} = \sum_{t} P_t \times Z_{3t} + \lambda 3 \times \sum_{t} P_t \left[\left(Z_{3t} - \sum_{t'} P_{t'} \times Z_{3t'} \right) + 2\theta_{3t} \right] \quad (۶۱)$$

$$Z_{3t} - \sum_{t'} P_{t'} \times Z_{3t'} + \theta_{3t} \geq 0 \quad , \quad \theta_{3t} \geq 0 \qquad \forall t \in T \quad (۶۲)$$

ـ تابع هدف چهارم :

$$Z_{4t} = \sum_{t} \sum_{b} \sum_{i} TB_{bi}^{t} \quad (۶۳)$$

$$\mathrm{MinZ}'_{4t} = \sum_{t} P_t \times Z_{4t} + \lambda 4 \times \sum_{t} P_t \left[\left(Z_{4t} - \sum_{t'} P_{t'} \times Z_{4t'} \right) + 2\theta_{4t} \right] + \quad (۶۴)$$

$$\omega_2 \sum_{i} \sum_{b} \sum_{t} P_t \times Slak2_{ib}^{t}$$

$$Z_{4t} - \sum_{t'} P_{t'} \times Z_{4t'} + \theta_{4t} \geq 0 \quad , \quad \theta_{4t} \geq 0 \qquad \forall t \in T \quad (۶۵)$$

ـ محدودیت‌های تغییریافته: برای تغییر محدودیت‌ها، پارامترها و متغیرهای جدید جایگزین پارامترها و متغیرهای قبلی شده و slakهای موردنیاز هر محدودیت به آن اضافه می‌شود تا بر اساس سناریو استوار شوند.

تک‌هدفه‌سازی مدل. پس از استوارسازی مدل مسئله، به‌علت چندهدفه‌بودن مسئله می‌توان از روش‌های مختلف بهینه‌سازی چندهدفه برای حل مسئله و یافتن جواب بهینه استفاده کرد. در این پژوهش از روش ترابی و هسینی[1] (۲۰۰۸)، استفاده شده است [۱۸].

مطالعه موردی. نقشه گسل‌های زلزله موجود در جهان نشان می‌دهد که کشور ایران جزو زلزله‌خیزترین کشورهای جهان (به نقل بعضی از منابع ششمین کشور زلزله خیز در جهان) است؛ ازاین‌رو داشتن برنامه‌ریزی صحیح برای لجستیک امدادرسانی به مناطق زلزله‌زده امری ضروری است؛ از طرفی شهرهای پرجمعیت با وقوع کوچک‌ترین حادثه احتمال ایجاد خسارات جانی فراوانی را دارند.

در استان مازندران ۲ گسل وجود دارد و تقریباً ۷۵ درصد این استان روی این ۲ گسل قرار گرفته است؛ از طرفی شهرستان بابل پرجمعیت ترین شهرستان در استان مازندران است و وقوع

1. Hassini

زلزله در این شهرستان به نسبت دیگر شهرستان‌های استان مازندران، به‌مراتب خسارات مالی و جانی بیشتری در بر خواهد داشت؛ به همین دلیل شهرستان بابل به‌عنوان مورد مطالعه مدل ارائه‌شده در نظر گرفته شده است.

با توجه به تقسیمات کشوری شهرستان بابل دارای ۷ بخش است که در پژوهش حاضر این ۷ بخش به‌عنوان مناطق آسیب‌دیده در نظر گرفته شده و دارای نیازهای کالایی و نیروی انسانی و امداد پزشکی است. این نیازها از شهرهای همجوار(تأمین‌کنندگان) تأمین و به‌وسیله مراکز توزیعی که در بعضی از ۷ منطقه آسیب‌دیده دایر می‌شود، توزیع خواهند شد. مقداری از کالاها نیز از شهرهای همجوار (تأمین‌کنندگان) به انبارهای دایرشده در مناطق آسیب‌دیده فرستاده خواهد شد تا در صورت نیاز برای توزیع‌کنندگان فرستاده شده یا در غیر این صورت برای روزهای آینده ذخیره شود (هر بسته امدادی برای یک خانواده ۳ تا ۴ نفره در نظر گرفته شده است). با توجه به اینکه شدت وقوع زلزله یا همان ریشتر آن می‌تواند متفاوت باشد، برای قطعی‌سازی این عدم‌قطعیت ۳ سناریو در نظر گرفته شده است که عبارت‌اند از: برای شدت وقوع ضعیف با احتمال ۵۵ درصد، برای احتمال متوسط ۲۵ درصد و برای احتمال قوی ۲۰ درصد.

٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

مدل ارائه‌شده با استفاده از داده‌های آماری جمع‌آوری‌شده در نرم‌افزار GAMS 24.1 کدنویسی و اجرا شد و نتایج مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. برای حل مدل ابتدا مدل مبتنی بر سناریو استوار و به علت چندهدفه‌بودن به روش ترابی- هسینی تک‌هدفه شده و سپس مدل نهایی در نرم افزار GAMS 24.1 کدنویسی شد.

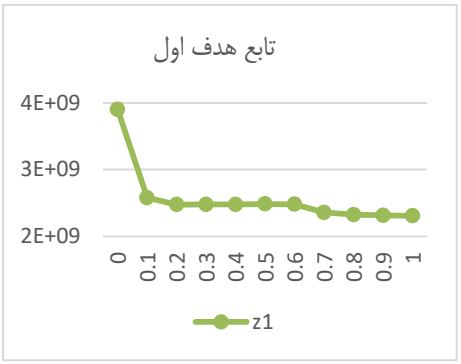
برای تک‌هدفه‌کردن به روش ترابی ـ هسینی به‌دست‌آوردن ایده‌آل مثبت (PIS) و ایده‌آل منفی (NIS) ضروری است که برای به‌دست‌آوردن این ایده‌آل‌های مثبت و منفی ابتدا مدل کدنویسی‌شده به‌ازای هر تابع هدف به‌صورت جداگانه اجرا خواهد شد؛ سپس میزان بدترین حالت و بهترین حالت برای هر تابع هدف به‌دست آورده می‌شود که این مقادیر در جدول ۱، نشان داده شده است. با جایگذاری اعداد آن در کُد نوشته‌شده، مدل اجرا شد. نتایج حاصل از تغییر گاما و تأثیر آن بر توابع هدف در شکل‌های ۲ تا ۹ ارائه شده است.

جدول ۱. ایده آل‌های مثبت و منفی هر تابع هدف

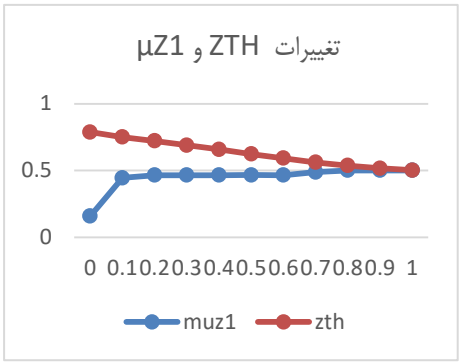
	ایده‌آل مثبت (PIS)	ایده‌آل منفی (NIS)
تابع هدف اول (هزینه)	۲۰۰۰۰۰۰	۴۶۳۹۲۴۰۰۰۰
تابع هدف دوم (امداد عادلانه مصدومان)	۰/۸۵۱	۱
تابع هدف سوم (توزیع عادلانه کالا)	۰/۶۵۲	۱
تابع هدف چهارم (زمان رسیدن نیروی انسانی به هر منطقه)	۴۵۵/۴۶۰	۷۶۰/۱۳۰

برای تحلیل تأثیر تغییرات γ بر مقادیر توابع اهداف، میزان θ_h به‌ازای توابع هدف اول تا چهارم به‌ترتیب برابر ۰/۲ ، ۰/۳، ۰/۲ و ۰/۳ در نظر گرفته شده است. با افزایش مقدار γ، مقدار Z_{TH} به‌طور پیوسته در حال کاهش است و این بدین معنا است که با توجه اهمیت اهداف، رضایت کلی تصمیم‌گیرنده با افزایش γ کاهش می‌یابد. با افزایش مقدار γ، مقدار تابع هدف اول که میزان هزینه است به همراه مقداری نوسان در حال کاهش است و باعث می‌شود مقدار $\mu(z_1)$ آن در حال افزایش و به‌ازای بعضی از مقادیر γ ثابت باشد و روند کاهشی نداشته باشد. برای تابع هدف دوم با افزایش مقدار γ، مقدار آن در بعضی مواقع ثابت بوده ولی در حالت کلی روند افزایشی داشته است؛ یعنی میزان نارضایتی از عدالت امدادرسانی در حال افزایش است و به همین علت مقدار $\mu(z_2)$ آن در حال کاهش است. برای تابع هدف سوم برای تغیر γ از صفر تا ۰/۲، مقدار تابع هدف در حال افزایش و از ۰/۲ تا ۰/۷ مقدار ثابت و بعد از ۰/۷ تا ۰/۱، مقداری کاهش داشته است؛ یعنی در حالت کلی میزان نارضایتی از عدالت توزیع کالا به‌ازای افزایش γ در حال افزایش است و به همین علت مقدار $\mu(z_3)$ آن در حال کاهش است.

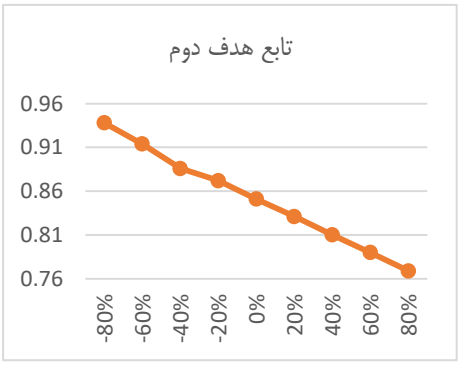
در تابع هدف چهارم به‌ازای تغییر در مقدار γ از صفر تا ۰/۷، تغییری حس نمی‌شود و تابع در حالت بهینه خود قرار دارد؛ ولی بعد از ۰/۷، مقدار تابع هدف افزایش می‌یابد و از مقدار بهینه خود دور می‌شود؛ درنتیجه باعث کاهش مقدار $\mu(z_4)$ خواهد شد. با توجه به ۴ تابع هدف می‌توان دریافت که علت کاهش تابع هدف کل یا همان Z_{TH} به‌ازای افزایش γ موجب افزایش ۳ تابع هدف (بدترشدن) و کاهش یک تابع تابع هدف (بهترشدن) می‌شود و ازآنجاکه وزن تابع هدف اول نسبت به محموع تابع هدف‌های دیگر کمتر گرفته شده است می‌توان فهمید برآیند این توابع به‌ازای افزایش γ همان‌طور که نمودارها مشخص شده است، موجب کاهش Z_{TH} خواهد شد و از طرفی هر چه مقدار γ افزایش یابد با توجه به ماهیت روش ترابی ـ هسینی، تابع هدف ترابی ـ هسینی (تابع تک هدفه شده) به‌دنبال بهینه کردن آن تابع هدفی است که مقدار بدتری دارد و ازآنجاکه در آن مقدار تابع هدف هزینه دارای مقدار بدتری نسبت به بقیه بود با افزایش γ در هر مرحله مقدار آن در تابع هدف کل اهمیت بیشتری پیدا می‌کرد و به همین دلیل مابقی توابع هدف اهمیت کمتری می‌یافتند و موجب بدترشدن ۳ تابع هدف دیگر و در نهایت بدترشدن تابع هدف کل می‌شد که جزئیات دقیق‌تر و بیشتر در شکل‌های ۲ تا ۹، مشخص شده است.



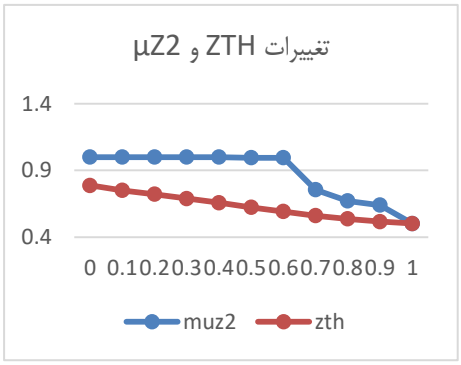
شکل ۲. نمودار تغییرات تابع هدف اول بر اساس تغییرات γ



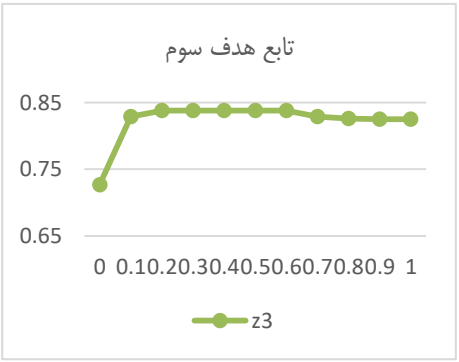
شکل ۳. نمودار تغییرات Z_{TH} و $\mu(z_1)$ بر اساس تغییرات γ



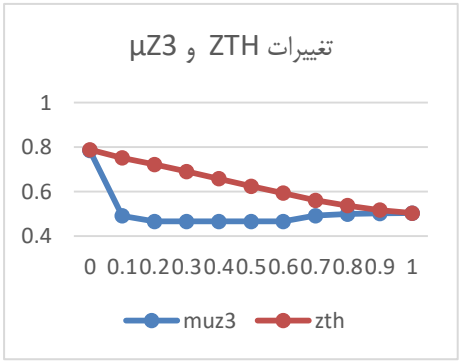
شکل ۴. نمودار تغییرات تابع هدف دوم بر اساس تغییرات γ



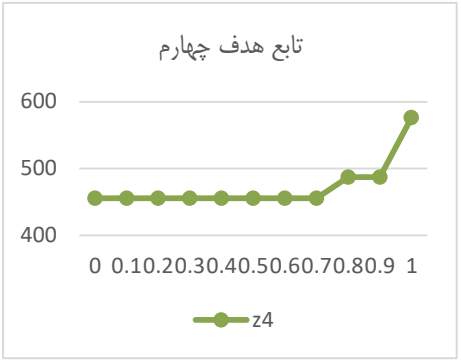
شکل ۵. نمودار تغییرات Z_{TH} و $\mu(z_2)$ بر اساس تغییرات γ



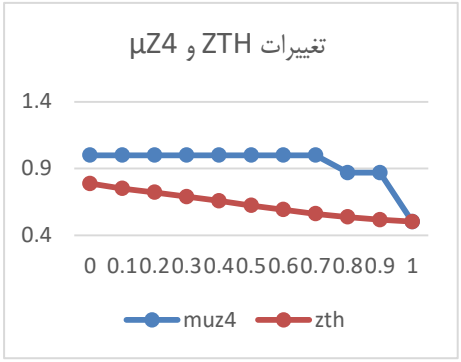
شکل ۶. نمودار تغییرات تابع هدف سوم بر اساس تغییرات γ



شکل ۷. نمودار تغییرات Z_{TH} و $\mu(z_3)$ بر اساس تغییرات γ

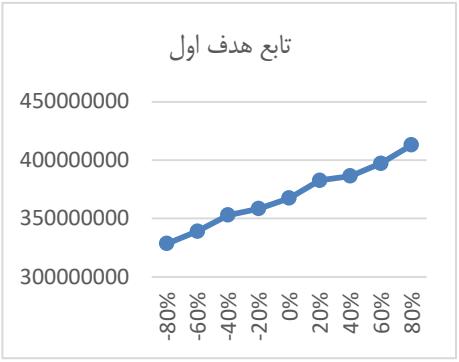


شکل ۸.نمودار تغییرات تابع هدف چهارم بر اساس تغییرات γ

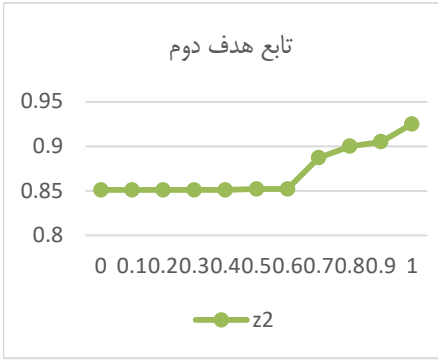


شکل ۹. نمودار تغییرات Z_{TH} و $\mu(z_4)$ بر اساس تغییرات γ

تحلیل حساسیت روی تعداد آمبولانس‌های بیمارستان اصلی. تعداد آمبولانس‌ها یا هر وسیله نقلیه‌ای که مصدومان با آن جابه‌جا می‌شوند می‌تواند در میزان رضایت مصدومان و هزینه‌های ایجادشده تأثیرگذار باشد؛ به همین خاطر تحلیل حساسیتی روی تعداد آمبولانس‌های موجود در بیمارستان‌های اصلی انجام شد که در شکل‌های ۱۰ و ۱۱، آمده است. با توجه به تحلیل حساسیت‌های انجام‌شده، مشاهده می‌شود که با افزایش و کاهش‌های ۲۵ درصدی در تعداد آمبولانس‌ها، میزان تابع هدف اول تقریباً به‌صورت خطی روندی صعودی و تابع هدف دوم به‌صورت خطی روندی نزولی خواهد داشت؛ یعنی با هر مرحله افزایش ۲۵ درصدی تعداد آمبولانس‌ها در بیمارستان‌های اصلی، به‌علت اینکه به مصدومان بیشتری می‌توان خدمات امدادی داد، تابع هدف دوم و تابع هدف اول به‌ترتیب به‌صورت خطی کاهش و افزایش خواهند داشت و برای هر مرحله کاهش ۲۵ درصدی تعداد آمبولانس‌ها در بیمارستان‌های اصلی، به‌علت اینکه به تعداد مصدومان کمتری می‌توان خدمات امدادی داد، تابع هدف دوم و تابع هدف اول به‌ترتیب به صورت خطی افزایش و کاهش خواهند داشت.

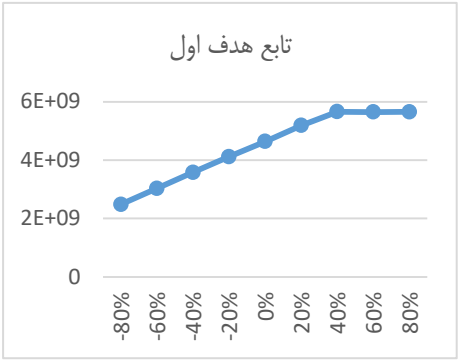


شکل ۱۰. نمودار تحلیل حساسیت روی تعداد آمبولانس‌های بیمارستان اصلی (تغییر تابع هدف اول)

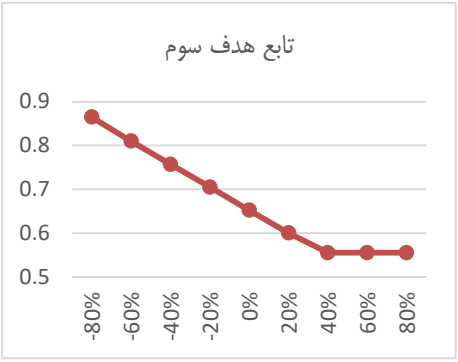


شکل ۱۱. نمودار تحلیل حساسیت روی تعداد آمبولانس‌های بیمارستان اصلی (تغییر تابع هدف دوم)

تحلیل حساسیت روی ظرفیت انبارهای موقت. انبارهای موقت، مکانی برای ذخیره کالاهای امدادی هستند و به‌علت کمبود ظرفیت مراکز توزیع در صورت لزوم تأمین‌کنندگان برای آن‌ها کالا ارسال خواهند کرد؛ به همین خاطر ظرفیت انبارهای موقت می‌تواند در میزان رضایت‌مندی از توزیع کالا و هزینه‌های ایجادشده تأثیرگذار باشد؛ بنابراین تحلیل حساسیتی روی ظرفیت انبارهای موقت انجام شد که در نمودارهای ۱۱ و ۱۲، آمده است. با توجه به تحلیل حساسیت‌های انجام‌شده، مشاهده می‌شود که با کاهش صفر تا ۸۰ درصدی ظرفیت انبارهای موقت، به‌علت اینکه انبارهای موقت به مقدار کمتری می‌توانند کالا دریافت کنند، تابع هدف اول و تابع هدف سوم به‌ترتیب، به‌صورت خطی روندی کاهشی و افزایشی خواهند داشت و با افزایش ظرفیت انبارهای موقت از صفر تا ۴۰ درصد، به‌علت اینکه انبارهای موقت به مقدار بیشتری می‌توانند کالا دریافت کنند، مقدار تابع هدف اول روندی افزایشی و تابع هدف سوم روندی کاهشی خواهد داشت؛ اما با افزایش بیش از ۴۰ درصد مشاهده می‌شود که روند کاهشی تابع هدف سوم از بین می‌رود و تابع روندی ثابت را طی می‌کند. تابع هدف اول نیز بعد از افزایش ۴۰ درصدی، همانند مقدار تابع هدف سوم، روندی تقریباً ثابت دارد که دلیل آن را می‌توان وجود تعداد مشخصی از وسایل نقلیه در مراکز تأمین دانست؛ چون باعث می‌شود با وجود داشتن ظرفیت خالی برای دریافت کالا از سوی انبارهای موقت، ارسال کالا به آن‌ها مقدور نباشد.



شکل ۱۲. نمودار تحلیل حساسیت روی ظرفیت انبارهای موقت (تغییر تابع هدف اول)



شکل ۱۳. نمودار تحلیل حساسیت روی ظرفیت انبارهای موقت (تغییر تابع هدف سوم)

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

یافته‌های مدیریتی. با توجه به اجرای مدل در نمونه موردی، نتایج و یافته‌های مدیریتی را می‌توان به‌صورت زیر ارائه کرد:

۱. افزایش تعداد یا ظرفیت مراکز توزیع؛

۲. عملکرد ضعیف در پاسخگویی مخصوصاً در زلزله با شدت بالا؛

۳. استقرار انبار موقت در ۵ منطقه؛

۴. وجودضعف شدید در خدمات پزشکی؛

۵. کمک‌گرفتن از شهرهای بیشتر برای پاسخگویی به نیازها.

پیشنهادها. در این پژوهش یک مدل لجستیک برای امداد در زمان بحران، ارائه و بررسی شد؛ سپس با بررسی مبانی نظی موجود، شکاف بین پژوهش‌های انجام‌شده، شناسایی و سعی شد برخی از این شکاف‌ها همانند درنظرگرفتن مبحث مسیریابی، شعاع خدمات‌دهی مراکز و درنظرگرفتن تقاضای نیروی انسانی موردنیاز علاوه بر تقاضای کالاهای امدادی در مناطق آسیب‌دیده، پوشش داده شود. با توجه به نتایج، اهمیت مسائلی همچون تعداد آمبولانس‌ها و ظرفیت مراکز در میزان رضایت‌مندی مشخص شد.

در بخش‌های قبلی شکاف‌هایی شناسایی شد؛ اما به‌دلیل تعداد بالای آن‌ها و وجود محدودیت‌ها برخی از آن‌ها پوشش داده شد. زمینه‌های پژوهشی که در راستای تکمیل پژوهش حاضر می‌تواند موردبررسی قرار گیرد، به‌صورت زیر پیشنهاد می‌شود:

ـ درنظرگرفتن محصولات فاسدشدنی در میان کالاهای امدادی مثل دارو؛

ـ در نظر گرفتن دوره زمانی؛

ـ درنظرگرفتن هزینه نگهداری برای موجودی‌های انبار برای دوره‌های بعدی؛

ـ درنظرگرفتن خرابی مسیرها برای مسیریابی خودروهای امدادرسان؛
ـ درنظرگرفتن زنجیره تأمین خون موردنیاز در مناطق آسیب‌دیده.

منابع

1. Afshar, A., & Haghani, A. (2012). Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations. *Socio-Economic Planning Sciences, 46(4),* 327-338.

2. Aghyani, M., & Jabarzadeh, A., & Sajadi, SJ. (2015). a Robust optimization model for designing a blood supply chain network in Crisis with considering reliability. *Journal of Engineering and quality management*, *5(2)*, 85-96 (In Persian).

3. Amiri, M., & Barzegar, M., & Niknamfar, A. (2016). Production-Distribution Planning Integrated with Optimization Approach Three-level supply chain. *Journal of Industrial Management Perspective*, *23*, 9-28 (In Persian).

4. Bakuli, D. L., & Smith, J. M. (1996). Resource allocation in state-dependent emergency evacuation networks. *European Journal of Operational Research, 89(3),* 543-555.

5. Beamon, B. M., & Kotleba, S. A. (2006). Inventory modelling for complex emergencies in humanitarian relief operations. *International Journal of Logistics: Research and Applications, 9(1),* 1-18.

6. Boonmee. C. Arimura. M. & Asada. T. (2017). Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics. *International Journal of Disaster Risk Reduction, 24*, 485-498.

7. Bozorgi-Amiri, A., & Mansoori, S., & Pishvaee, M.S. (2017). Multi-objective chain network design for responding to earthquake under uncertainty. *Journal of Industrial Management Perspective*, *25*, 9-36 (In Persian).

8. Chang, M.-S., Tseng, Y.-L., & Chen, J.-W. (2007). A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 36(4)* , 737-754.

9. Dessouky, M. M., Ordonez, F., & Murali, P. (2009). Capacitated facility location with distance-dependent coverage under demand uncertainty.

10. Farazmand, M., & Pishvaee, M.S. (2018). Design of the transport network model under uncertainty. *Journal of Industrial Management Perspective*, *31*, 115-139 (In Persian).

11. Fiedrich, F., Gehbauer, F., & Rickers, U. (2000). Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters. *Safety science, 35(1),* 41-57.

12. Klibi. W., Ichoua. S., & Martel. A. (2018). Prepositioning emergency supplies to support disaster relief: a case study using stochastic programming. *INFOR: Information Systems and Operational Research, 56(1),* 50-81.

13. Mulvey, J. M., Vanderbei, R. J., & Zenios, S. A. (1995). Robust optimization of large-scale systems. *Operations research, 43(2),* 264-281.

14. Rahmani. D., Zandi. A., Peyghaleh. E. & Siamakmanesh. N. (2018). A robust model for a humanitarian relief network with backup covering under disruptions: A real world application. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 28, 56-68.

15. Rawls, C. G., & Turnquist, M. A. (2010). Pre-positioning of emergency supplies for disaster response. *Transportation Research Part B: Methodological, 44(4),* 521-534.

16. Talarico, L., Meisel, F., & Sörensen, K. (2015). Ambulance routing for disaster response with patient groups. *Computers & operations research, 56*, 120-133.

17. Tofighi, S., Torabi, S. A., & Mansouri, S. A. (2016). Humanitarian logistics network design under mixed uncertainty. *European Journal of Operational Research, 250(1)*, 239-250.

18. Torabi, S. A., & Hassini, E. (2008). An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning. *Fuzzy Sets and Systems, 159(2)*, 193-214.

19. 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.

20. Yi, W., & Özdamar, L. (2007). A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities. *European Journal of Operational Research, 179(3)*, 1177-1193.

21. Zabinski, o. h. m. s. z. b. (2010). stochastic optimization of medicial supply location and distribution in disaster management *international journal of production economics, 126*, 76-84.

A Multi-Objective Robust Optimization Logistics Model in Times of Crisis under Uncertainty

Navid Nikjoo[*], Nikbakhsh Javadian[**]

Abstract

Every year, the crisis in human societies is growing up in type, number and severity, so today crisis management is considered an important topic for research and research in all countries. In this study, a proposed multi-objective mathematical model under uncertainty conditions. The model seeks to find the optimal facility location and allocation of goods between the facility and the allocation of injured to hospitals also Looking for an optimal route to bring human resources to damaged areas to achieve goals such as reducing costs, distributing goods and fair medical assistance between areas, and reducing the time that aid troops arrive in damaged areas. The existing model focuses on the severity of incident uncertainty and this uncertainty in the severity of the accident, which causes uncertainty about the amount of demand for goods and manpower, and the amount of damage and injuries is based on a scenario-based method based approach Robust optimization in the model and because of the multi-purpose of the model, with the help of one of the single-purpose methods, the model is made single-purpose and finally, the model in this study was solved in a case study to prove its accuracy and effectiveness was investigated.

Keywords: Crisis Logistics; Location and Routing Issues; Uncertainty; Multi-Level Multi-Dimensional; Robust Optimization.

Received: August 05, 2018, Accepted: March 01, 2019.

* M.Sc., Mazandaran University of Science and Technology.

** Associate Professor, Mazandaran University of Science and Technology (Corresponding Author).
E-mail: nijavadian@ustmb.ac.ir