

## چشم‌انداز مدیریت صنعتی

سال دهم، شماره ۳۹، پاییز ۱۳۹۹

شاپا چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپا الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵

ص ص ۱۲۳ - ۹۹

# مدل‌سازی ریاضی چندهدفه زنجیره تأمین دارو در حوادث غیرمترقبه (مورد مطالعه: بحران زلزله در تهران)

فاطمه علی‌دوست\*، فرزاد بهرامی\*\*، حسین صفری\*\*\*

## چکیده

یکی از مهم‌ترین چالش‌های صنعت دارو، ناهماهنگی بین اعضای زنجیره تأمین است. در بیشتر موارد، اعضای زنجیره تأمین دارو اهداف متضادی را دنبال می‌کنند که بعضاً با یکدیگر و یا با کل زنجیره تأمین در تعارض است. در این مطالعه، یک مدل ریاضی چندهدفه برای زنجیره تأمین دارو در حوادث غیرمترقبه پیشنهاد شده است تا به تصمیم‌گیری‌های استراتژیک در زمان وقوع حوادث غیرمترقبه همچون سیل و زلزله کمک کند. سه هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها، کمینه‌سازی درصد کمبود دارو و بیشینه‌سازی پراکنش مراکز توزیع با رویکرد امداد رسانی بهتر در زمان وقوع حادثه در نظر گرفته شده است. مسئله با استفاده از روش ترابی - حصینی حل و رابطه توابع هدف با یکدیگر، با توجه به اولویت و اهمیت آن‌ها، مقایسه شده است. به‌منظور بررسی عملکرد مدل و نحوه ارتباط سطوح مختلف زنجیره تأمین و فعالیت‌ها با یکدیگر از داده‌های مرتبط با بحران وقوع زلزله در شهر تهران در سناریوهای مختلف استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین تقاضا در حالت فعال شدن گسل ری و کمترین تقاضا مربوط به فعال شدن گسل مشا است. در نهایت مشخص خواهد شد که افزایش مطلوبیت توابع هدف کمینه‌سازی درصد کمبود دارو و بیشینه‌سازی پراکنش مراکز توزیع به ترتیب هزینه بیشتری را به سیستم تحمیل خواهند کرد.

**کلیدواژه‌ها:** زنجیره تأمین دارو؛ حوادث غیرمترقبه؛ امداد رسانی؛ مدل‌سازی ریاضی  
**چندهدفه؛ روش ترابی - حصینی.**

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۰۸، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۲۲.

\* کارشناسی ارشد، پردیس البرز، دانشگاه تهران.

\*\* استادیار، دانشگاه اراک (نویسنده مسئول).

Email: f-bahrami@araku.ac.ir

\*\*\* استاد، دانشگاه تهران.

## ۱. مقدمه

طبق تعریف «دبیرخانه راهبرد بین‌الملل»<sup>۱</sup> که به اختصار ISDR نامیده می‌شود، سوانح و بلایا از هم‌گسیختگی جدی در عملکرد یک جامعه است که ناشی از تعامل مخاطرات با شرایط و ویژگی‌های آن جامعه، اعم از میزان مواجهه، میزان آسیب‌پذیری و ظرفیت‌های موجود آن بوده و حاصل آن ایجاد خسارات و پیامدهای زیان‌بار انسانی، سرمایه‌ای و یا زیست‌محیطی است. بر اساس آمار گزارش‌شده توسط «بانک داده‌های پایه بلایا و فوریت‌ها»<sup>۲</sup> (EM-DAT) در دهه اخیر (۲۰۰۸-۲۰۱۷) بیش از ۳۷۵۱ بلای طبیعی در جهان رخ داده است که ۸۴ درصد آن‌ها ناشی از مخاطرات آب‌وهوایی بوده‌اند (۴۰ درصد در اثر سیل، ۲۷ درصد در اثر توفان و ۱۷ درصد ناشی از سایر بلایای مرتبط با تغییرات آب‌وهوایی) [۱۱].

در بخش حوادث طبیعی از آنجا که تقریباً ۷۰ درصد خاک ایران در مناطق زلزله‌خیز قرار دارد، بیشترین تلفات و خسارت‌ها نیز مربوط به زلزله است؛ به طوری که طی هزار سال گذشته به طور میانگین هر ۱۰ سال یک زلزله بزرگ رخ داده که دارای تلفات انسانی بوده است و به طور تقریبی بیش از ۴۵۰ هزار نفر تلفات انسانی داشته است [۷]. حدود ۲۰ درصد خسارات و تلفات رخ داده در کشور نیز مربوط به سیل است و آمارهای موجود نشان می‌دهند که تنها بین سال‌های ۱۳۳۱ تا ۱۳۸۱ بیش از ۳۷۰۰ مورد سیل ویرانگر در کشور رخ داده است [۱۹].

زنجیره تأمین عموماً به عنوان فرآیندی یکپارچه که در آن گروهی از سازمان‌ها همچون تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان برای تبدیل مواد خام به محصول نهایی و توزیع آن به مشتریان نهایی با هم همکاری می‌کنند، در نظر گرفته می‌شود. طراحی شبکه زنجیره تأمین به عنوان یکی از مسائل کلیدی در مدیریت زنجیره تأمین، نقش مهمی در عملکرد زنجیره‌های تأمین ایفا می‌کند [۴، ۲۰]. عملیات بحران می‌تواند در سه فاز پیش از وقوع، هنگام و پس از وقوع حادثه صورت گیرد. جمع‌آوری اطلاعات مربوط به استقرار تسهیلات، تخلیه، تخصیص و تخلیه از اقدامات مهم فاز قبل از وقوع حادثه است؛ درحالی‌که ارسال گروه‌های نجات و انتقال مصدومان و حادثه‌دیدگان مربوط به فازهای دوم و سوم هستند [۲]. یکی از اصلی‌ترین مراحل برنامه مدیریت بحران مربوط به اقدامات زنجیره تأمین امدادسانی است که بخش مهمی از آن را زنجیره تأمین بهداشت و درمان تشکیل می‌دهد. با توجه به اهمیت داروها و نقش آن‌ها در بهبود و کاهش آلام حادثه‌دیدگان، نیاز به یک مدل برای تخمین نیازهای نواحی بحران‌زده به دارو و نحوه تخصیص آن به مناطق آسیب‌دیده محسوس است. در این پژوهش، نجات جان انسان‌ها با به‌کارگیری تکنیک‌های ذخیره‌سازی و توزیع داروها به عنوان هدف استراتژیک مسئله مطرح می‌شود. در دنیای واقعی هنگام بروز حوادث غیرمترقبه، احساسات

1. International Strategy for disaster risk reduction

2. Emergency Disasters Database

جامعه تحریک شده و همه اجزای سیستم مدیریت بحران فعال می‌شوند [۲۷]. زنجیره تأمین دارو به معنای مسیری است که از آن طریق محصولات دارویی با کیفیت مناسب و در مکان و زمان مناسب در میان مصرف‌کنندگان نهایی توزیع می‌شوند [۱۶]. نقش داروها در سیستم‌های سلامت روزبه‌روز در حال افزایش است. زنجیره تأمین دارو بخشی از سیستم سلامت است که اگر به درستی به آن توجه نشود، بعید است مفهوم سلامت در آن جامعه رشد زیادی را تجربه کند. با وجود تمامی پیشرفت‌ها و بهبودها در تولید، ذخیره‌سازی و روش‌های توزیع، تعدادی از شرکت‌های دارویی همچنان از تأمین بهینه تقاضاهای بازار با روشی سازگار فاصله دارند؛ در نتیجه این زنجیره‌های تأمین دارویی آمادگی کاملی برای دریافت کمک از طریق تکنیک‌های بهینه‌سازی کارا را دارا هستند [۲۰].

با توجه به اهمیت موضوع حوادث غیرمترقبه و اهمیت امداد رسانی در هنگام وقوع این‌گونه حوادث و پژوهش‌هایی که بر روی زلزله به عنوان یک بحران طبیعی انجام گرفته است، در پژوهش حاضر از داده‌های مرتبط با وقوع زلزله در شهر تهران به عنوان مورد مطالعه استفاده شده است. شهر تهران با توجه به ضوابط شهرسازی و تعاریف جغرافیایی به عنوان یک کلان‌شهر شناخته می‌شود و مسئله‌ای که همواره در این شهر مطرح می‌باشد، مدیریت بحران زلزله است. با وقوع این‌گونه حوادث، حجم عظیمی از تقاضا برای عملیات امداد و نجات به وجود می‌آید [۲]. در این پژوهش یک مدل ریاضی چندهدفه زنجیره تأمین دارو پس از وقوع یک حادثه غیرمترقبه مانند زلزله، طی چند دوره انجام خواهد گرفت. به منظور شناخت بهتر مسئله در شرایط دنیای واقعی، برآورده‌سازی نیاز افراد متقاضی دارو به نحو شایسته پس از وقوع زلزله در شهر تهران در نظر گرفته شده است.

## ۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

زنجیره تأمین مراقبت‌های بهداشتی در عملیات مدیریت حادثه نه تنها در رسیدن به کیفیت خدمات، بلکه برای ایمنی بیمار نیز حائز اهمیت است [۱۳]. در زمان حادثه هدف اصلی، عملیات نجات است. تلاش‌ها برای نجات می‌تواند به وسیله تأمین خدمات بهداشتی برای قربانیانی که با توجه به تأثیر حادثه دچار مشکلات سلامتی شده‌اند، ایجاد شود. خدمات بهداشتی معمولاً در مکان‌هایی که در مرکز حادثه هستند و یا در مکان‌های خدمات درمانی مانند بیمارستان‌ها، کلینیک‌ها، مراکز بهداشتی و غیره اجرا می‌شود. عملکرد خدمات بیمارستان برای قربانیان حادثه، نرخ موفقیت عملیات امداد رسانی را تعیین می‌کند. سطح بالا و عملکرد مؤثر خدمات بهداشتی و درمان در بیمارستان‌ها می‌تواند جان انسان‌های زیادی را که تحت تأثیر حادثه قرار دارند، نجات دهد. موضوع مدیریت زنجیره تأمین در سیستم بهداشت و درمان در بیمارستان‌ها در جهان چالش‌های بسیاری را برای پژوهشگران ایجاد کرده است [۸]؛ از سوی دیگر زنجیره تأمین دارو

دارای ویژگی‌هایی است که آن را از سایر زنجیره‌های تأمین متمایز می‌کند؛ زیرا دارو کالایی استراتژیک محسوب می‌شود و کوچک‌ترین اختلال در زنجیره تأمین آن ممکن است باعث بروز بحران‌های شدید شود [۱۷]. طبق پژوهش دوبرزیکوسکی و همکاران (۲۰۱۵)، جذابیت موضوع صنایع خدمات بهداشت و درمان در زمینه مدیریت عملیات و مدیریت زنجیره تأمین، افزایش زیادی یافته است [۵].

موسی‌زاده و همکاران (۲۰۱۵)، یک مدل برنامه‌ریزی خطی دوهدفه مختلط عدد صحیح برای مسئله زنجیره تأمین دارو در شرایط عادی ارائه دادند. مدل آن‌ها تصمیم‌گیری در ارتباط با موضوعات استراتژیک مانند احداث مراکز تولید دارو و مراکز توزیع اصلی / محلی با جریان بهینه مواد طی یک برنامه‌ریزی میان‌مدت، را تسهیل می‌کند [۲۰].

کلانتری و پیشوایی (۲۰۱۶)، شناسایی بهترین برنامه میان‌مدت چند دوره‌ای زنجیره تأمین دارو (با در نظر گرفتن اهداف محیط زیستی و سلامت اجتماعی)، را مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی اصلی زنجیره تأمین دارو شامل چند تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و چند مرکز توزیع ارائه شده است [۱۵].

در مطالعه‌ای که توسط احمدی و همکاران (۲۰۱۷) انجام شد، چالش‌های متداول زنجیره تأمین دارو در سطوح تصمیم‌گیری مختلف، یعنی تصمیم‌های بلندمدت (استراتژیک)، میان‌مدت (تاکتیکی) و تصمیمات کوتاه‌مدت (عملیاتی) شناسایی شدند؛ همچنین راه‌های مختلف مقابله با چنین مشکلاتی مطرح شد [۱]. بزرگی امیری و همکاران (۲۰۱۷)، شبکه زنجیره تأمین امداد چندهدفه برای پاسخگویی به زلزله تحت عدم اطمینان را مورد بررسی قرار دادند [۴].

زندیه و همکاران (۲۰۱۸)، یک مدل چندهدفه برای طراحی شبکه توزیع دارویی با توجه به مفاهیم اصلی پایداری، یعنی اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی ارائه کردند. این مدل به مدیران در تصمیم‌گیری‌های استراتژیک و فنی در شبکه توزیع دارویی (ظرفیت مراکز توزیع اصلی و محلی و جریان دارویی در شبکه) کمک می‌کند [۲۶].

در پژوهش روشن و همکاران (۲۰۱۹)، رویکردی دومرحله‌ای از مدیریت زنجیره تأمین دارو با قابلیت جایگزینی دارو در شرایط بحران بررسی شد. در این مطالعه یک روش یکپارچه برای پیش‌بینی تقاضای محصول در بازار و ایجاد سفارش خرید در زنجیره تأمین دارو ارائه شده است [۲۴]. پژوهش نصراللهی و همکاران (۲۰۱۹)، شبکه زنجیره تأمین دارویی یکپارچه با حداکثر پوشش موردانتظار را ارائه می‌دهد. در این پژوهش یک زنجیره تأمین چنددوره‌ای چهارلایه شامل تولیدکنندگان، مراکز توزیع، بیمارستان‌ها و بیماران در نظر گرفته شده است [۲۱].

نیکجو و همکاران (۲۰۱۹)، یک مدل ریاضی چندهدفه تحت شرایط عدم قطعیت ارائه کردند که هدف آن یافتن مکانی بهینه برای استقرار تسهیلات و سپس میزان بهینه تخصیص کالا بین این تسهیلات، تخصیص میزان مجروحان و مصدومان به صورت بهینه به بیمارستان‌ها و همچنین یافتن مسیری بهینه برای رساندن نیروهای امدادی به مناطق حادثه‌دیده است [۲۳]. در پژوهش گودرزبان و همکاران (۲۰۲۰)، یک شبکه زنجیره تأمین دارویی چنددوره‌ای و چندمرحله‌ای و چند محصول شبکه زنجیره تأمین دارویی به همراه تولید، توزیع، خرید، سفارش، موجودی، تخصیص و مسیریابی مسئله با در نظر گرفتن عدم اطمینان ارائه شده است. این پژوهش با در نظر گرفتن شرایط غیربحرانی صورت گرفته است [۹].

دودمان و همکاران (۲۰۲۰)، یک مدل دوهدفه برای طراحی شبکه زنجیره تأمین خون با هدف کمینه‌سازی هزینه راه‌اندازی تسهیلات ثابت و موقت، هزینه‌های انتقال فرآورده‌های خونی و کاهش حداکثر میزان کمبود ارائه کردند. در مدل آن‌ها عدم قطعیت‌های موجود در عرضه و تقاضا در نظر گرفته شده و از روش تریابی و حصینی برای حل مدل استفاده شده است [۶].

با توجه به اهمیت داروها در زنجیره تأمین بهداشت و درمان و همچنین اهمیت آن‌ها در زمان بحران و حوادث غیرمترقبه، بسیاری از مواقع اعضای زنجیره تأمین دارو اهداف متضادی با یکدیگر دارند و ممکن است تصمیم‌های آن‌ها برای کل زنجیره تأمین بهینه نباشد. در چنین شرایطی لازم است تا با استفاده از ابزارها و راه‌حل‌ها به ایجاد هماهنگی میان واحدهای زنجیره تأمین به منظور دستیابی بهینه هر واحد به هدف خود پرداخته شود؛ بنابراین مدلی که در مواقع اضطرار درصد کمبود دارو را کاهش و در عین حال با کاهش هزینه‌ها همراه باشد و همچنین شبکه‌ای کشسان از مراکز توزیع را ایجاد کند، می‌تواند به مدیران بخش‌های مختلف درمانی و دارویی در اتخاذ تصمیم‌های مهم و حیاتی در حوزه سلامت عمومی کمک کند. مهمترین پژوهش‌های مرتبط به همراه جایگاه پژوهش حاضر در مبانی نظری موضوع به صورت خلاصه در جدول ۱، ارائه شده است.

با توجه به جدول ۱، در پژوهش‌های پیشین، شبکه زنجیره تأمین دارو بیشتر در شرایط عادی بررسی شده و تنها در پژوهش گودرزبان و همکاران (۲۰۲۰)، موضوع بحران مورد بررسی قرار گرفته است [۹]؛ حال آنکه پژوهش حاضر برخی از شکاف‌های موجود در پژوهش‌های پیشین را به صورت زیر پوشش می‌دهد:

- استفاده هم‌زمان از سه تابع هدف هزینه، پراکنش مراکز توزیع و کمبود در زنجیره تأمین دارو در شرایط بحران؛
- استفاده از مدل چنددوره‌ای برای زنجیره تأمین دارو تحت سناریوهای مختلف در مواقع وقوع بحران؛

جدول ۱. مروری بر مبانی نظری موضوع و جایگاه پژوهش حاضر

مؤلف	سال	هدف / اهداف	شرایط		محصول		دوره	روش حل	نتایج محاسباتی
			۱	۲	۳	۴			
کلانتری و پیشوایی [۱۵]	۲۰۱۶	کمیته‌سازی هزینه و بیشینه‌سازی سطح رضایت‌مندی	*		*		*	برنامه‌ریزی استوار	مثال عددی
احمدی و همکاران [۱]	۲۰۱۷	چالش‌های متداول زنجیره تأمین	*		*		*		*
بزرگی و همکاران [۴]	۲۰۱۷	کمیته‌سازی تعداد افراد مجروحی، کمیته‌سازی افراد بی‌خانمان، کمیته‌سازی تقاضاهای برآورده نشده کالاها/امدادی	*		*	*	*	بهبودسازی استوار و روش فازی	*
روشن و همکاران [۲۴]	۲۰۱۹	پیش‌بینی تقاضای محصول در بازار و ایجاد سفارش خرید در زنجیره تأمین دارو	*		*		*	الگوریتم ژنتیک	*
نصرالهی و همکاران [۲۱]	۲۰۱۹	کمیته‌سازی هزینه و کاهش تقاضای تأمین‌نشده	*		*		*	الگوریتم ژنتیک	*
نیکجو و همکاران [۲۳]	۲۰۱۹	حداقل‌سازی هزینه‌ها، حداقل‌سازی میزان نارضایتی از ناعدالتی بین مناطق آسیب‌دیده از لحاظ امداد درمانی به مصدومان، حداقل‌سازی میزان ناعدالتی از لحاظ توزیع کالا به مصدومان	*		*	*	*	استوارسازی و TH approach	*
گودرزیان و همکاران [۹]	۲۰۲۰	کمیته‌سازی هزینه‌ها، کمیته‌سازی زمان تحویل دارو و حداکثرسازی قابلیت اطمینان سیستم انتقال دارو	*		*		*	الگوریتم‌های فراابتکاری	*
دودمان و همکاران [۶]	۲۰۲۰	حداقل‌کردن هزینه‌ها و میزان کمیود	*		*		*	فازی و TH approach	*
تحقیق حاضر	۲۰۲۰	کمیته‌سازی هزینه‌ها، کمیته‌سازی درصد کمیود دارو، حداکثرسازی پراکنش مراکز توزیع	*		*	*	*	GAMS TH approach	*

- در نظر گرفتن هم‌زمان فاز آماده‌سازی و پاسخگویی در زنجیره تأمین دارو در حوادث غیرمترقبه؛
- در نظر گرفتن درصد تخریب در انبارهای مرکزی و همچنین مراکز توزیع برای نزدیک‌تر شدن هر چه بیشتر مدل به واقعیت؛
- اجرای مدل پیشنهادی بر روی داده‌های حاصله از بحران زلزله در شهر تهران به‌عنوان مورد مطالعه.

### ۳. روش‌شناسی پژوهش

مسائل زنجیره تأمین در حوادث غیرمترقبه یک موضوع جدید پژوهشی است. در کنار کاهش هزینه، کمبود دارو یکی از اساسی‌ترین عوامل در مسائل تخصیص منابع در شرایط اضطراری در نظر گرفته می‌شود. هدف این پژوهش، تأمین اهداف متعارض در حوادث غیرمترقبه و یکپارچه‌سازی تصمیم‌های سطح تاکتیکی مرتبط با زنجیره تأمین در شرایط بحران است. مشکلاتی که تصمیم‌گیرنده‌ها در این‌گونه مسائل با آن روبه‌رو می‌شوند، عبارت‌اند از:

۱. اطلاعات در مورد تقاضا و تخصیص هزینه‌های منابع اضطراری معین و دقیق نیست؛
۲. به‌علت نبود اطلاعات دقیق و عرضه محدود، ممکن است تقاضای منابع اضطراری ارضا نشود؛
۳. اهداف نجات متفاوت ممکن است با هم در تضاد باشند (کاهش هزینه و کاهش میزان کمبود دارو).

زنجیره تأمین موردنظر یک زنجیره تأمین داروی سه‌سطحی است. در سطح نخست این زنجیره تأمین، انبارهای مرکزی ذخیره دارو وجود دارند که در مرحله آماده‌سازی و پیش از وقوع بحران در قالب برنامه‌ریزی بلندمدت برای مقابله با حوادث غیرمترقبه، مکان‌یابی و احداث خواهند شد. مکان انبارهای مرکزی برای حفظ اقلام دارویی از آسیب و خرابی، جایی خارج از محدوده مستعد حادثه ولی نه‌چندان دورازدسترس شهر حادثه‌دیده (برای مثال در مورد مطالعه؛ اطراف شهر تهران و به دور از گسل‌ها) در نظر گرفته می‌شود. انبارها حساس‌ترین نقش را در شبکه زنجیره تأمین بازی می‌کنند؛ زیرا این مراکز کالاهای دارویی موردنیاز بیمارستان‌ها را توزیع می‌کنند. برای انتخاب مکان انبارها از میان مکان‌های نامزد، موضوع‌های معینی باید در نظر گرفته شوند:

- ظرفیت انبارها و هزینه تأسیس انبارها؛
  - فاصله تا بیمارستان‌ها و زمان موردنیاز انتقال در جاده‌ها که زمان پاسخگویی را در پایین‌ترین سطح نگه دارد؛
  - امنیت انبارها برای مکان‌های از پیش تعیین شده کالاهای دارویی.
- این انبارها به‌طور معمول ظرفیت نسبتاً بالایی دارند. اقلام دارویی از این انبارها و از طریق مراکز توزیع به نقاط تقاضا حمل می‌شوند. در سطح دوم مراکز توزیع قرار دارند. با توجه به وسعت هر منطقه و احتمال نبود دسترسی سریع به انبارهای مرکزی واقع در اطراف شهر، به‌دلیل قطع احتمالی راه‌های ارتباطی و وقوع آتش‌سوزی‌های وسیع، وجود مراکز توزیع در هر منطقه با قابلیت نگهداری اقلام دارویی می‌تواند به‌طور مستقل نقش حساسی را در عملیات امداد و نجات ایفا کند.

### هزینه‌ها در مدل

**هزینه موجودی‌ها:** عوامل هزینه در کنترل موجودی به دو طبقه اصلی طبقه‌بندی می‌شوند:

۱. هزینه‌های سفارش خرید و یا سفارش ساخت در داخل کارخانه که این هزینه‌ها همان قیمت کالا را شامل می‌شود. در این پژوهش منظور از کالا دارو است؛
۲. هزینه‌های انبار و نگهداری موجودی‌ها که این هزینه به حجم موجودی‌ها بستگی دارد و بدیهی است هر قدر مقدار موجودی‌ها بیشتر باشد، هزینه‌های انبارداری بیشتری در برخواهد داشت.

هزینه نگهداری هر کالا با توجه به حجم هر محصول در انبار محاسبه گردیده و میانگین آن‌ها در مسئله مورد استفاده قرار گرفته است [۱۰].

**هزینه‌های مواجهه با کمبود کالا:** این هزینه‌ها به دو صورت به سازمان تحمیل می‌شود [۱۰]:

- هزینه فرصت ازدست‌رفته؛
  - هزینه کسر اعتبار.
- با توجه به نگاه ویژه این پژوهش به حساسیت سیستم‌های سلامت در تأمین دارو و اولویت نجات جان انسان‌ها، هزینه مواجهه با کمبود هزینه زیادی را به سیستم تحمیل می‌کند.

**هزینه‌های حمل و نقل:** یکی از اصلی‌ترین هزینه‌ها در سازمان‌های پخش و توزیع، هزینه‌های حمل‌ونقل است. این هزینه شامل ریزه‌هزینه‌های اسقاط، تعمیرات، بیمه وسیله نقلیه، دستمزد نیروی انسانی و هزینه سوخت مصرفی وسیله نقلیه است [۱۰]. هزینه حمل‌ونقل در این پژوهش به دلیل کوتاه‌بودن زمان مورد مطالعه مدل، برای دوره‌های مختلف یکسان در نظر گرفته می‌شود.

**هزینه‌های راه‌اندازی:** با توجه به اینکه روش نگهداری، حمل‌ونقل و بارگیری محموله‌های دارویی باید به‌گونه‌ای باشد که در اثربخشی، سلامت و کیفیت محصولات خدشه‌ای ایجاد نشود و همچنین از لحاظ ظاهری (آسیب‌دیدگی بسته‌بندی‌ها و مخدوش‌شدن برچسب‌های الصاقی نیز ایرادی به‌وجود نیاید)، شرایط نگهداری داروها باید مطابق توصیه‌های درج‌شده بر روی برچسب الصاقی محصولات یا طبق دستورالعمل شرکت واردکننده یا کارخانه سازنده باشد. داروهایی که نسبت به حرارت، رطوبت یا نور حساس هستند باید در محوطه‌هایی نگهداری شوند که عوامل یادشده در آن محیط به‌راحتی تحت کنترل بوده و قابل تنظیم باشد [۱۶]؛ بنابراین هزینه‌های راه‌اندازی در این پژوهش شامل هزینه زمین (از قبل مکان آن به کمک کارشناسان تعیین شده است) و هزینه‌های تجهیزاتی است که برای نگهداری داروها مورد نیاز است.



### مفروضات مدل

- نقاط تقاضا مشخص و ثابت هستند.
- بازپرسازی در سطح انبارهای مرکزی در نظر گرفته نشده است؛ چراکه به برنامه‌ریزی بلندمدت نیاز داشته و مدل ارائه‌شده جهت پاسخگویی در دوره زمانی کوتاه است.
- حمل‌ونقل درون‌لایه‌ای بین انبارها و مراکز توزیع صورت نمی‌گیرد (یعنی بین انبارها - با یکدیگر - و مراکز توزیع - با یکدیگر - انتقال دارو صورت نمی‌گیرد).
- چندین مکان بالقوه برای استقرار انبارهای مرکزی و مراکز توزیع وجود دارد؛ اما تعداد انبارها و مراکز توزیعی توسط مدل انتخاب می‌شود.
- فساد اقلام دارویی در طول دوره موردنظر مدل صورت نمی‌پذیرد.

### مدل ریاضی

#### اندیس‌ها:

- $l$ : مکان بالقوه انبارهای مرکزی
- $i, i' \in I$ : مکان بالقوه مراکز توزیع
- $j$ : نقاط تقاضا
- $t$ : دوره زمانی
- $S$ : سناریو

#### پارامترها:

- $FIW$ : هزینه نگهداری در انبارهای مرکزی ( $l$ )
- $FID$ : هزینه نگهداری در مراکز توزیع ( $i$ )
- $FS$ : هزینه کمبود دارو
- $p_s$ : احتمال وقوع هر سناریو
- $FOW_l$ : هزینه راه‌اندازی انبار مرکزی در مکان بالقوه  $l$
- $FOD_i$ : هزینه راه‌اندازی مرکز توزیع در مکان بالقوه  $i$
- $pw_i^s$ : درصد تخریب انبارهای مرکزی تحت هر سناریو
- $FSW_{li}$ : هزینه حمل‌ونقل از انبار مرکزی  $l$  به مرکز توزیع  $i$
- $FSD_{ij}$ : هزینه حمل‌ونقل از مرکز توزیع  $i$  به نقطه تقاضا  $j$
- $DD_{jt}^s$ : تقاضا در نقطه  $j$  در دوره  $t$  و تحت سناریوی  $S$
- $DIS_{li}$ : فاصله مرکز توزیع  $l$  تا  $i'$
- $B$ : بودجه عمرانی

**متغیرهای تصمیم:**

$OW_i^s$ : اگر انبار مرکزی در مکان  $l$  راه‌اندازی شود، برابر ۱ است؛ در غیر این صورت صفر.  
 $OD_i^s$ : اگر مرکز توزیع در مکان  $i$  راه‌اندازی شود، برابر ۱ است؛ در غیر این صورت صفر.  
 $\sigma_{it}$ : اگر مرکز توزیع هم در  $i$  و هم در  $i'$  راه‌اندازی شود، برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر است.

$QW_{it}^s$ : مقدار دارویی که از انبار مرکزی  $l$  به مرکز توزیع  $i$  در دوره  $t$  تحت سناریو  $s$  منتقل می‌شود.

$QD_{ijt}^s$ : مقدار دارویی که از مرکز توزیع  $i$  به نقطه تقاضا  $j$  در دوره  $t$  تحت سناریو  $s$  منتقل می‌شود.

$IW_{i0}^s$ : مقدار دارویی که در انبار مرکزی  $l$  در انتهای دوره صفر تحت هر سناریو نگهداری می‌شود.

$ID_{it}^s$ : مقدار دارویی که در مرکز توزیع  $i$  در انتهای دوره  $t$  تحت هر سناریو نگهداری می‌شود.

$TS_{jt}^s$ : مقدار کمبود دارو در نقطه تقاضا  $j$  در دوره  $t$  و تحت سناریو  $s$ .

سه تابع هدف برای این مسئله در نظر گرفته شده است که عبارت‌اند از:

$$\text{Min } Z_1 = \sum_s p_s \left( \sum_t FOW_l \cdot OW_l^s + \sum_t FOD_i \cdot OD_i^s + \sum_{i,t} FSW_{it} \cdot QW_{it}^s + \sum_{i,j,t} FSD_{ij} \cdot QD_{ijt}^s + \sum_t FIW \cdot IW_{i,0}^s + \sum_{i,t} FID \cdot ID_{it}^s + \sum_{j,t} FS \cdot TS_{jt}^s \right) \quad (1)$$

$$\text{Max } Z_2 = \sum_{i,t} DIS_{it} \cdot \sigma_{it} \quad (2)$$

$$\text{Min } Z_3 = \sum_s \sum_{j,t} \frac{TS_{jt}^s}{DD_{jt}^s} \cdot p_s \quad (3)$$

تابع هدف ۱، هزینه‌های عملیاتی، راه‌اندازی مراکز، هزینه‌های نگهداری و هزینه کمبود را کمینه می‌سازد. تابع هدف ۲، مربوط به حداکثرسازی پراکنش مراکز توزیع ایجادشده از یکدیگر است تا با ایجاد شبکه امن و کشسان برنامه توزیع را به‌نحوی انجام دهد که برای مقابله با اختلالات آماده باشد. تابع هدف ۳ با برآورده کردن میزان تقاضای موردنیاز می‌کوشد درصد کمبود دارو را کمینه سازد. از آنجاکه افزایش پراکنش مراکز توزیع به راه‌اندازی مراکز توزیع بیشتر منجر می‌شود و همچنین برای کاهش کمبود دارو لازم است تا با راه‌اندازی مراکز و انبارهای بیشتر و یا انتقال بیشتر دارو به نقاط تقاضا از کمبود دارو جلوگیری شود. این فرآیندها هر دو باعث افزایش هزینه‌ها خواهد شد؛ بنابراین انتخاب این سه تابع هدف به دلیل وجود تعارض یادشده است. برای حصول اطمینان از عملکرد مدل لازم است محدودیت‌های مختلفی در نظر گرفته شود. این محدودیت‌ها عبارت‌اند از:

$$QW_{lit}^s \leq M * OW_l^s \quad \forall l, i, t, s \quad (۴)$$

$$QW_{lit}^s \leq M * OD_i^s \quad \forall l, i, t, s \quad (۵)$$

$$QD_{ijt}^s \leq M * OD_i^s \quad \forall i, j, t, s \quad (۶)$$

$$\sigma_{it} = OD_i \cdot OD_i \quad \forall i, i \quad (۷)$$

$$\sum_l FOW_l \cdot OW_l^s + \sum_i FOD_i \cdot OD_i^s \leq B \quad \forall s \quad (۸)$$

$$ID_{it}^s = ID_{it-1}^s + \sum_l QW_{lit}^s - \sum_j QD_{ijt}^s \quad \forall i, t, s \quad (۹)$$

$$\sum_i QD_{ijt}^s + TS_{jt}^s = DD_{jt}^s + TS_{jt-1}^s \quad \forall j, t, s \quad (۱۰)$$

$$IW_{l,0}^s = (1 + pw_l^s) \times \sum_{i,t} QW_{lit}^s \quad \forall l, t, s \quad (۱۱)$$

$$OW_l^s, OD_i^s \in \{0,1\} \quad \forall l, i, s \quad (۱۲)$$

$$QW_{lit}^s, QD_{ijt}^s, ID_{it}^s, IW_{l,0}^s, TS_{jt}^s \geq 0 \quad \forall l, i, t, s \quad (۱۳)$$

محدودیت‌های ۴، ۵ و ۶ به ترتیب نشان می‌دهند در صورتی دارو به انبارها و مراکز توزیع ارسال می‌شود که انبار  $l$  و مرکز توزیع  $i$  احداث شده باشند. محدودیت ۷، تضمین می‌کند در صورتی مرکز توزیع هم در  $i$  و هم در  $i'$  راه‌اندازی می‌شود که هم مرکز توزیع  $i$  و هم مرکز توزیع  $i'$  احداث شده باشند. یادآوری این نکته لازم است که این محدودیت یک محدودیت غیرخطی از نوع ضرب دو متغیر صفر و یک در یکدیگر است و برای حل باید خطی‌سازی شود. محدودیت ۸، مربوط به بودجه عمرانی در دسترس است؛ بدین معنا که هزینه راه‌اندازی انبارهای مرکزی و مراکز توزیع نباید از سطح مشخصی مانند  $B$  بیشتر شود. محدودیت ۹، نشان‌دهنده موجودی مراکز توزیع است؛ بدین معنا که موجودی دوره  $t$  مرکز توزیع  $i$  برابر است با موجودی دوره قبلی این مرکز توزیع به علاوه مقدار دارویی که از انبارهای مرکزی دریافت می‌کند و منهای مقدار دارویی که به نقاط تقاضا در دوره  $t$  ارسال می‌کند. محدودیت ۱۰، نشان‌دهنده محدودیت تقاضا در دوره‌ها و سناریوهای مختلف است؛ یعنی میزان دارویی که به نقاط تقاضا ارسال می‌شود باید با میزان تقاضا برابری داشته باشد. رابطه ۱۱، نشان می‌دهد مقدار موجودی انبارهای مرکزی در دوره قبل از وقوع بحران باید برابر با مقدار داروی ارسالی موردنیاز در دوره  $t$ ، پس از وقوع بحران باشد. ذکر این نکته ضروری است که درصد تخریب احتمالی انبارهای مرکزی در این رابطه ضرب شده است تا از میزان موجودی موردنیاز انبارهای مرکزی در صورت تخریب یا فاسدشدن مقداری از موجودی اطمینان حاصل شود.

### روش حل

**گام اول:** خطی‌سازی ضرب دو متغیر صفر و یک. مفروض است  $Z = x_1 \times x_2$  حاصل ضرب دو متغیر صفر و یک است. به بیان دیگر  $Z$  تنها وقتی یک می‌شود که هر دو متغیر باینری مقداری برابر یک بگیرند و در غیر این صورت برابر صفر خواهد شد. با بهره‌گیری از قیود کمکی زیر می‌توان قید غیرخطی را در مدل به یک سری قیود خطی تبدیل کرد [۳].

$$Z \leq x_1 \quad (14)$$

$$Z \leq x_2 \quad (15)$$

$$Z \geq x_1 + x_2 - 1 \quad (16)$$

در نتیجه محدودیت ۷، به سه محدودیت زیر شکسته می‌شود:

$$\sigma_{it} \leq OD_i^s \quad \forall i, s \quad (17)$$

$$\sigma_{it} \leq OD_{i'}^s \quad \forall i', s \quad (18)$$

$$\sigma_{it} \geq OD_i^s + OD_{i'}^s - 1 \quad \forall i, i', s \quad (19)$$

**گام دوم:** تبدیل مدل چندهدفه به سه مدل تک‌هدفه با استفاده از روش TH<sup>۱</sup> و حل آن‌ها به‌طور جداگانه. این روش در سال ۲۰۰۸ توسط ترابی و حصینی ارائه شد و روشی برای حل مسائل چندهدفه است. در این روش ابتدا مسئله به‌ازای تک‌تک اهداف و بدون توجه به سایر اهداف حل می‌شود؛ سپس مقدار هر یک از توابع هدف به‌ازای هر بردار جواب به‌دست‌آمده محاسبه شده و در جدولی مانند جدول ۲، وارد می‌شود. در نهایت بهترین و بدترین مقدار هر یک از توابع هدف به‌منظور تعیین گوشه‌های پارتو مشخص می‌شوند [۲۵].

جدول ۲. جدول جبرانی<sup>۲</sup>

	$G_1(x)$	...	$G_R(x)$
$Z_1$	$G_1(x_1^*)$	...	$G_R(x_1^*)$
$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$
$Z_R$	$G_1(x_R^*)$	...	$G_R(x_R^*)$
$Z_r^{PIS}$	$Z_1^{PIS}$	...	$Z_R^{PIS}$
$Z_r^{NIS}$	$Z_r^{NIS}$	...	$Z_R^{NIS}$

1. Torabi-Hassini (TH)  
2. Pay-off

اگر  $\mu_r$ ، درجه ارضای هدف  $r$ ام تعریف شود، این مقدار برای توابع کمینه‌سازی از رابطه ۲۰ و برای توابع بیشینه‌سازی از رابطه ۲۱، پیروی می‌کند.

$$\mu_r = \frac{Z_r^{NIS} - Z_r}{Z_r^{NIS} - Z_r^{PIS}} \quad (20)$$

$$\mu_r = \frac{Z_r - Z_r^{NIS}}{Z_r^{PIS} - Z_r^{NIS}} \quad (21)$$

با توجه به تعاریف مطرح‌شده شکل کلی تابع هدف محدودیت‌های روش TH عبارت است از:

$$Max U = \gamma \mu_0 + (1 - \gamma) \sum_r^R ww_r \mu_r \quad (22)$$

به شرطی که:

$$\mu_0 \leq \mu_r \quad \forall r = 1, \dots, R \quad (23)$$

$$\mu_0, \mu_r \geq 0 \quad \forall r = 1, \dots, R \quad (24)$$

سایر محدودیت‌های اصلی مسئله که  $\mu_0$  برابر مقدار کمینه درجه ارضای تمام اهداف بوده،  $\gamma$  عددی بین صفر و یک است که وزن دو بخش از تابع هدف را مشخص می‌کند و  $ww_r$  وزن هریک از اهداف را نشان می‌دهد؛ به طوری که  $\sum_r^R ww_r = 1$ . یادآوری این نکته لازم است که وزن‌های ذکر شده به عنوان پارامتر توسط تصمیم‌گیرنده تعیین و وارد مدل می‌شوند [۲۵].

### گام سوم: حل مدل با استفاده از نرم‌افزار GAMS

**مورد مطالعه (وقوع زلزله در تهران).** هر یک از مراکز مناطق ۲۲گانه شهر تهران به عنوان نقاط نامزد برای ایجاد مراکز توزیع (پایگاه‌های درون‌شهری) انتخاب شدند. چهار مکان بالقوه در اطراف شهر تهران برای انبارهای مرکزی (پایگاه‌های برون‌شهری) در نظر گرفته شدند. یکی از مهم‌ترین پایگاه‌ها در جنوب تهران در نزدیکی فرودگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) است که امکان دریافت کمک‌های امدادی بین‌المللی را نیز فراهم می‌کند. در شرق محور خراسان، در شمال شرق محور تهران-دماوند و در غرب تهران، کرج به عنوان دیگر نقاط نامزد انبار مرکزی در نظر گرفته شدند. به منظور تخمین تقاضای مناطق مختلف از به‌روزرسانی اطلاعات موجود در گزارش ریزپهنه‌بندی جایکا<sup>۱</sup> (۲۰۰۰) با کمک نرخ رشد جمعیت استفاده شده است [۱۴]. با توجه به اینکه جمعیت هر منطقه و نزدیکی آن به مناطق دیگر و محل انبارهای مرکزی از عوامل

تأثیرگذار در انتخاب مراکز توزیع در هر منطقه هستند، هزینه حمل‌ونقل به‌صورت ضربی از فاصله بین انبارها، مراکز توزیع و نقاط تقاضا در نظر گرفته شده است. به‌علت کمبود اطلاعات، درصد تخریب هر انبار مرکزی با توجه به هر سناریو (محل فعال‌شدن گسل) به‌صورت تصادفی (با رعایت موارد منطقی) تولید شده‌اند. فواصل انبارها از یکدیگر بر اساس فاصله بین مناطق مختلف به وسیله نقشه‌های جغرافیایی و مختصات جغرافیایی اندازه‌گیری شده است.

به‌دلیل پیچیدگی مسئله، برای محاسبه هزینه‌های خرید و نگهداری موجودی دارو، پژوهش میمندی و همکاران (۲۰۰۸) در ارتباط با الگوی مصرف داروها در شهرستان بم (پس از زلزله بم در سال ۱۳۸۲) مدنظر قرار گرفت و قیمت ۲۵ مورد از اقلام پرمصرف دارویی محاسبه شد؛ سپس هزینه اقلام دارویی از سایت سازمان غذا و دارو<sup>۱</sup> اتخاذ و در نهایت میانگین هزینه نگهداری به‌صورت تقریبی محاسبه شد. این داروها از پرمصرف‌ترین دسته‌های دارویی هستند که میمندی و همکاران (۲۰۰۸)، طبق الگوی مصرف زلزله‌زدگان شهر بم در شش‌ماهه نخست در پنج دسته دارویی دسته‌بندی کرده‌اند [۱۸].

بر اساس پژوهش ناطقی (۲۰۰۱)، تعداد مصدومان سه برابر تعداد تلفات در نظر گرفته شد [۲۲]. ذکر این نکته ضروری است که داده‌های مطالعه جایکا مربوط به سال ۱۳۷۹ هستند [۱۴]. استان تهران بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ دارای جمعیت ۱۳،۲۶۷،۶۳۷ نفر است که با توجه به نرخ رشد جمعیت از سال ۷۹ تا ۹۵، اعداد مربوط به تلفات برای نزدیکی بیشتر به واقعیت و به‌روزرسانی اطلاعات در نرخ رشد جمعیت ضرب می‌شوند؛ همچنین با بررسی الگوی نیاز دارویی پس از بروز بلایای طبیعی که توسط میمندی و همکاران (۲۰۰۸) در ساکنان شهرستان زلزله‌زده بم انجام گرفت، متوسط اقلام تجویزی در هر نسخه برای مصدومان ۳/۵ بوده است [۱۸].

در دوران پس از حادثه، سیستم سلامت با افزایش شدید تقاضا برای دارو از طرف مصدومان مواجه می‌شود؛ بنابراین به‌منظور بررسی دقیق‌تر موضوع، این دوران را به ۳ دوره زمانی کوتاه‌تر ۴۸ ساعته پس از بحران تقسیم کرده و تقاضای هر دوره به‌صورت جداگانه بررسی می‌شود. با توجه به اینکه تقاضای افراد مصدوم در روزهای نخست پس از زلزله زیاد بوده و با گذر زمان رفته‌رفته از آن کاسته می‌شود، فرض شده است که در زمان زلزله در دوره‌های اول، دوم و سوم به ترتیب ۴۵، ۳۵ و ۳۰ درصد تقاضا رخ خواهد داد. احتمال وقوع هر سناریو (فعال‌شدن هر یک از گسل‌های ری، تهران - شمال و مشا) نیز به‌ترتیب برابر با ۰/۳۵، ۰/۳۵ و ۰/۳۰ در نظر گرفته شده است.

2. <http://irc.fda.gov.ir>

#### ۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

مشخصات کلی مدل ارائه شده برای مسئله حاضر در جدول ۳، مشاهده می‌شود. در این بخش از نرم‌افزار GAMS 24.1.2 و حل‌کننده CPLEX (solver) برای حل مدل استفاده شده است.

جدول ۳. مشخصات تکمیلی حل مدل در GAMS

تعداد معادلات تکی	۱۰۷۱۴	تعداد بلوک معادلات	۱۷
تعداد متغیرهای تکی	۶۱۲۳	تعداد بلوک متغیرها	۱۳
تعداد متغیرهای گسسته	۵۶۲	عناصر غیر صفر	۳۸۹۳۶

به منظور حل مسئله در گام دوم، سطح اطمینان توابع هدف برابر با ۰/۹۵ و همچنین وزن‌های تابع هدف اول، دوم و سوم به ترتیب برابر با ۰/۴، ۰/۱ و ۰/۵ در نظر گرفته شد؛ علاوه بر این وزن حداقل ارضای تمام اهداف برابر با ۰/۰۵ مدنظر قرار گرفت که نتایج در جدول ۴، ارائه شده است.

جدول ۴. جدول جبرانی

$G_3$	$G_2$	$G_1$	
٪ ۱۱/۱	۰	۳۷۶۸۱	$Z_1$ (میلیارد تومان)
٪ ۹۶/۷	۷۶۵۰	۸۵،۵۳۲	$Z_2$
٪ ۰	۲۰۶۳	۵،۲۴۱،۴۹۰	$Z_3$
٪ ۰	۷۶۵۰	۳۷۶۸۱	PIS
٪ ۹۶/۷	۰	۵،۲۴۱،۴۹۰	NIS
٪ ۱۲/۱	۳۰۹۰	۴۱،۰۹۰	$Z^*$

با توجه به جدول ۴، بر اساس پارامترها و وزن‌های در نظر گرفته شده، با هزینه ۴۱،۰۹۰ و پراکنش ۳۰۹۰، میزان درصد کمبود دارو ۱۲/۱ درصد خواهد بود. راه‌اندازی یا عدم راه‌اندازی انبارهای مرکزی با توجه به حل مدل در نرم‌افزار GAMS در جدول ۵، آورده شده است؛ همچنین با حل مدل، مراکز توزیع راه‌اندازی شده تحت هر سه سناریو مراکز توزیع ۵ و ۶ و مراکز توزیع ۹ تا ۲۱ هستند. نتایج میزان انتقال دارو از هر یک از انبارهای مرکزی به مراکز توزیع سپس از هر یک از مراکز توزیع به نقاط تقاضا در جدول‌های ۶ تا ۹، ارائه شده است.

جدول ۵. راه‌اندازی یا عدم راه‌اندازی انبارهای مرکزی در سناریوهای مختلف

انبار / سناریو	سناریو اول	سناریو دوم	سناریو سوم
انبار ۱	۰	۱	۰
انبار ۲	۰	۱	۰
انبار ۳	۰	۱	۰
انبار ۴	۱	۰	۱

یافته‌ها در جدول‌های ۶ تا ۹، نشان می‌دهد که با توجه به سناریوهای مورد مطالعه، میزان انتقال دارو به مراکز توزیع برای همه مراکز با فعال شدن گسل ری در سناریو اول در مجموع ۲۷۸۴۰۷۹، با فعال شدن گسل تهران - شمال در سناریو دوم در مجموع ۱۱۷۹۵۲۳ و با فعال شدن گسل مشا در سناریو سوم ۲۳۵۸۴۳ است. نتایج نشان‌دهنده شدت تأثیر فعال شدن هر گسل در سیستم سلامت و میزان نیاز به دارو در هر سناریو است که در سناریوی نخست، بیشترین میزان انتقال و در سناریوی سوم، کمترین میزان انتقال وجود دارد؛ همچنین مجموع انتقال‌ها در دوره اول در هر یک از مراکز و تحت هر سناریو، صحتی بر دیدگاه اولیه مدل مبنی بر بیشتر بودن نیاز دارو در ۴۸ ساعت اول است. برای مثال با فعال شدن گسل ری در سناریو اول در دوره اول میزان دارو ۱۶۰۱۵۰۴، در دوره دوم ۹۶۰۹۰۰ و در دوره سوم ۲۲۱۶۷۵ است.

**تحلیل حساسیت.** با توجه به اینکه تعیین و تغییر بیشتر پارامترهای مسئله ذکر شده در حدود اختیارات تصمیم‌گیرنده نیست [۱۲]؛ بنابراین در این بخش تأثیر تغییرات پارامترهای قابل تعیین توسط تصمیم‌گیرنده بر روی تحقق اهداف مختلف برای تحلیل حساسیت و به منظور اعتبارسنجی مدل بررسی شده است.

**حساسیت مدل نسبت به پارامترهای روش TH:** تغییرات درجه ارضای اهداف مدل مطرح شده نسبت به تغییرات در وزن حداقل درجه ارضای تمامی اهداف در جدول ۱۰ و شکل ۱، آورده شده است. این نتایج کارایی رویکرد مورد استفاده برای در نظر گرفتن اهداف مختلف را نشان می‌دهد. علی‌رغم دامنه گسترده تغییرات در حداقل درجه ارضای تمام محدودیت‌ها، نوسان در درجات ارضای اهداف، کم بوده که نشان‌دهنده دستیابی به جواب‌های متوازن است.

جدول ۶ میزان انتقال دارو از انبار به مراکز توزیع در سناریوهای مختلف

سناریو سوم			میزان انتقال دارو از انبار به مراکز توزیع	سناریو دوم			میزان انتقال دارو از انبار به مراکز توزیع	سناریو اول			میزان انتقال دارو از انبار به مراکز توزیع
دوره سوم	دوره دوم	دوره اول	$QW_{4,5,t}^s$	دوره سوم	دوره دوم	دوره اول	$QW_{1,5,t}^s$	دوره سوم	دوره دوم	دوره اول	$QW_{4,5,t}^s$
۷۹۷	۱۱۹۶	۲۹۹۳	$QW_{4,5,t}^s$	-	۳۱۷۰۴	۵۲۸۴۱	$QW_{1,5,t}^s$	۲۵۹۳۳	۵۴۹۴۵	۹۱۵۷۶	$QW_{4,5,t}^s$
۱۴۰۱	۲۴۰۲	۳۵۰۴	$QW_{4,6,t}^s$	-	۹۱۷۹	۱۵۲۹۹	$QW_{1,6,t}^s$	۱۱۵۴۳	۱۷۳۱۴	۲۸۸۵۷	$QW_{4,6,t}^s$
۴۴۲	۶۶۴	۱۱۰۶	$QW_{4,9,t}^s$	-	۶۳۰۱	۱۰۵۰۲	$QW_{1,9,t}^s$	۶۰۶۷	۲۵۷۵۱	۴۲۹۱۸	$QW_{4,9,t}^s$
۱۰۹۹	۱۶۴۹	۲۷۴۸	$QW_{4,10,t}^s$	-	۱۲۷۳۵	۲۱۲۳۴	$QW_{1,10,t}^s$	-	۵۶۳۸۴	۹۳۹۷۴	$QW_{4,10,t}^s$
-	۶۹۱۴	۱۱۰۹۳	$QW_{4,11,t}^s$	-	۳۱۷۴۴	۳۷۲۳۷	$QW_{1,11,t}^s$	۵۳۱۰۲	۱۰۰۷۱۲	۱۹۰۳۳۹	$QW_{4,11,t}^s$
-	۱۳۷۸۵	۲۲۹۷۶	$QW_{4,12,t}^s$	-	۸۷۳۲	۱۴۵۵۵	$QW_{1,13,t}^s$	۸۳۴۳۷	۱۸۲۸۲۸	۳۳۲۰۶۲	$QW_{4,12,t}^s$
۱۶۰۷	۲۴۱۱	۴۰۱۹	$QW_{4,13,t}^s$	-	۱۴۶۷۹	۲۴۴۶۵	$QW_{1,14,t}^s$	۱۹۱۰۴	۲۸۶۵۶	۴۷۷۵۹	$QW_{4,13,t}^s$
-	۵۸۵۶	۸۷۶۱	$QW_{4,14,t}^s$	-	۲۴۸۵۱	۴۱۴۱۹	$QW_{1,15,t}^s$	-	۶۰۲۵۵	۱۰۰۰۴۲۵	$QW_{4,14,t}^s$
-	۷۶۱۶	۱۲۶۹۳	$QW_{4,15,t}^s$	-	۱۵۱۹۲	۲۵۳۱۹	$QW_{1,16,t}^s$	-	۱۲۲۲۸۴	۲۰۳۸۰۷	$QW_{4,15,t}^s$
-	۴۹۶۱	۸۲۶۸	$QW_{4,16,t}^s$	-	۱۵۶۳۹	۱۹۴۶۰	$QW_{1,17,t}^s$	-	۷۳۷۹۱	۱۲۳۹۸۵	$QW_{4,16,t}^s$
-	۳۸۱۸	۶۳۶۲	$QW_{4,17,t}^s$	۳۳۸۶	۵۰۷۹	۳۰۷۳۰	$QW_{1,19,t}^s$	-	۷۳۷۹۱	۱۰۹۳۶۲	$QW_{4,17,t}^s$



۵۹۱۴	۱۸۰۳۱	۳۱۴۳۱	$QW_{4,18,t}^s$	-	۱۰۰۲۱	۱۶۷۰۱	$QW_{1,20,t}^s$	-	۵۵۱۶۳	۹۱۹۳۸	$QW_{4,18,t}^s$
۴۱۸۴	۶۸۴۷	۱۵۸۳۶	$QW_{4,19,t}^s$	-	۵۴۶۰	۹۱۰۱	$QW_{1,21,t}^s$	۱۴۰۴۰	۳۷۱۵۸	۱۱۲۱۹۸	$QW_{4,19,t}^s$
۱۶۱۶	۵۷۴۹	۴۰۴۱	$QW_{4,20,t}^s$	۶۱۲۰	-	-	$QW_{2,6,t}^s$	-	۶۷۳۶۴	۱۱۲۲۷۵	$QW_{4,20,t}^s$
۲۸۹	۴۲۴	۷۲۲	$QW_{4,21,t}^s$	۴۲۰۱	-	-	$QW_{2,9,t}^s$	۸۴۵۰	۱۲۶۷۵	۲۱۱۲۵	$QW_{4,21,t}^s$
				۸۴۹۰	-	-	$QW_{2,10,t}^s$				
				۵۸۲۲	-	-	$QW_{2,13,t}^s$				
				۹۷۸۶	-	-	$QW_{2,14,t}^s$				
				۱۶۵۶۷	-	-	$QW_{2,15,t}^s$				
				۱۰۱۲۸	-	-	$QW_{2,16,t}^s$				
				۷۷۸۴	-	-	$QW_{2,17,t}^s$				
				۶۶۸۰	-	-	$QW_{2,20,t}^s$				
				۳۶۴۰	-	-	$QW_{2,21,t}^s$				
				۲۱۹۹۱	-	-	$QW_{3,11,t}^s$				
				۴۷۵۱۲	۱۰۴۰۵۰	۱۶۱۶۴۴	$QW_{3,12,t}^s$				
				۱۷۳۲۱	۸۳۴۱۷	۱۵۰۸۰۲	$QW_{3,18,t}^s$				

جدول ۷. میزان انتقال مراکز توزیع به نقاط تقاضا در سناریوی اول

دوره سوم	دوره دوم	دوره اول	دوره سوم	دوره دوم	دوره اول	دوره سوم	دوره دوم	دوره اول
۲۵۹۲۳	۳۸۹۰۰	۶۴۸۳۳	$QD_{5,8,t}^s$	-	۱۶۰۴۶	۲۶۷۴۴	$QD_{5,1,t}^s$	
۶۰۶۷	-	-	$QD_{9,1,t}^s$	۱۱۵۴۳	۱۷۳۱۴	۲۸۸۵۷	$QD_{6,6,t}^s$	
-	۵۶۳۸۴	۹۳۹۷۵	$QD_{10,10,t}^s$	-	۲۵۷۵۱	۴۲۹۱۹	$QD_{9,9,t}^s$	
-	-	۵۷۴۸۴	$QD_{11,7,t}^s$	-	۲۱۰۶۰	-	$QD_{11,4,t}^s$	
۱۲۷۰	۱۹۰۶	۳۱۷۶	$QD_{11,22,t}^s$	۵۱۸۳۱	۷۷۷۴۷	۱۲۹۵۷۸	$QD_{11,11,t}^s$	
۱۶۶۴۶	۲۳۹۶۹	۴۱۶۱۶	$QD_{12,2,t}^s$	-	۹۱۰۱	-	$QD_{12,1,t}^s$	
-	۳۴۴۹۱	-	$QD_{12,7,t}^s$	-	۱۴۰۸۱	۲۳۴۶۹	$QD_{12,3,t}^s$	
۱۹۱۰۴	۲۸۶۵۶	۴۷۷۶۰	$QD_{13,13,t}^s$	۶۶۷۹۱	۱۰۰۱۸۶	۱۶۶۹۷۸	$QD_{12,12,t}^s$	
-	۱۲۲۲۸۵	۲۰۳۸۰۷	$QD_{15,15,t}^s$	-	۶۰۲۵۵	۱۰۰۴۲۵	$QD_{14,14,t}^s$	
-	۶۵۶۱۷	۱۰۹۳۶۲	$QD_{17,17,t}^s$	-	۷۳۷۹۱	۱۲۲۹۸۶	$QD_{16,16,t}^s$	
-	-	۱۵۱۶۸	$QD_{19,1,t}^s$	-	۵۵۱۶۳	۹۱۹۳۷	$QD_{18,18,t}^s$	
-	۳۷۱۵۸	۶۱۹۳۱	$QD_{19,19,t}^s$	۱۴۰۴۰	-	۳۵۱۰۰	$QD_{19,4,t}^s$	
۸۴۵۰	۱۲۶۷۵	۲۱۱۲۵	$QD_{21,21,t}^s$	-	۶۷۳۶۴	۱۱۲۲۷۴	$QD_{20,20,t}^s$	

جدول ۸. میزان انتقال مراکز توزیع به نقاط تقاضا در سناریوی دوم

دوره سوم	دوره دوم	دوره اول	دوره سوم	دوره دوم	دوره اول	دوره سوم	دوره دوم	دوره اول
-	-	-	$QD_{5,8,t}^s$	-	۳۱۷۰۴	۵۲۸۴۱	$QD_{5,1,t}^s$	
-	-	-	$QD_{9,1,t}^s$	۶۱۲۰	۹۱۸۰	۱۵۲۹۹	$QD_{6,6,t}^s$	
۸۴۹۰	۱۲۷۳۴	۲۱۲۲۴	$QD_{10,10,t}^s$	۴۲۰۱	۶۳۰۲	۱۰۵۰۲	$QD_{9,9,t}^s$	
۹۷۳۴	-	-	$QD_{11,8,t}^s$	-	۱۳۳۵۹	-	$QD_{11,7,t}^s$	
-	-	۶۶۰۴	$QD_{11,22,t}^s$	۱۲۲۵۷	۱۸۳۸۵	۳۰۶۴۲	$QD_{11,11,t}^s$	

دوره سوم	دوره دوم	دوره اول	دوره سوم	دوره دوم	دوره اول	
-	-	۵۳۷۰۶	$QD_{12,2,t}^s$	-	۳۶۰۲۸	$QD_{12,1,t}^s$
۲۸۳۵۶	-	-	$QD_{12,4,t}^s$	-	۲۴۶۸۷	$QD_{12,3,t}^s$
۱۹۱۵۶	۲۸۷۳۵	۴۷۸۹۱	$QD_{12,12,t}^s$	-	۱۴۶۰۱	$QD_{12,8,t}^s$
۹۷۸۶	۱۴۶۷۹	۲۴۴۶۶	$QD_{14,14,t}^s$	۵۸۲۲	۸۷۳۳	$QD_{13,13,t}^s$
۱۰۱۲۸	۱۵۱۹۲	۲۵۳۲۰	$QD_{16,16,t}^s$	۱۶۵۶۷	۲۴۸۵۱	$QD_{15,15,t}^s$
-	۳۹۶۲	-	$QD_{17,22,t}^s$	۷۷۸۴	۱۱۶۷۶	$QD_{17,17,t}^s$
-	-	۴۱۱۴۵	$QD_{18,3,t}^s$	-	۳۲۲۲۴	$QD_{18,2,t}^s$
۸۹۰۶	-	-	$QD_{18,7,t}^s$	-	۴۲۵۳۳	$QD_{18,4,t}^s$
۵۷۷۴	۸۶۶۰	۱۴۴۳۴	$QD_{18,18,t}^s$	-	-	$QD_{18,8,t}^s$
-	-	۲۲۲۶۴	$QD_{19,7,t}^s$	-	۲۶۴۲	$QD_{18,22,t}^s$
۶۶۸۰	۱۰۰۲۱	۱۶۷۰۱	$QD_{20,20,t}^s$	۳۳۸۶	۵۰۷۹	$QD_{19,19,t}^s$
				۳۶۴۰	۵۴۶۰	$QD_{21,21,t}^s$

جدول ۹. میزان انتقال مراکز توزیع به نقاط تقاضا در سناریوی سوم

دوره سوم	دوره دوم	دوره اول	دوره سوم	دوره دوم	دوره اول	
۴۴۲	۶۶۴	۱۱۰۶	$QD_{9,9,t}^s$	۷۹۷	۱۱۹۶	$QD_{5,1,t}^s$
۱۱۰۰	۱۶۴۹	۲۷۴۹	$QD_{10,10,t}^s$	۱۴۰۲	۲۱۰۳	$QD_{6,6,t}^s$
-	۱۵۸	-	$QD_{11,22,t}^s$	-	۶۶۵۶	$QD_{11,11,t}^s$
۱۶۰۸	۲۴۱۲	۴۰۱۹	$QD_{13,13,t}^s$	-	۱۳۷۸۶	$QD_{12,12,t}^s$
-	۷۶۱۶	۱۳۶۹۳	$QD_{15,15,t}^s$	-	۵۲۵۷	$QD_{14,14,t}^s$
-	۳۸۱۸	۶۳۶۳	$QD_{17,17,t}^s$	-	۴۹۶۱	$QD_{16,16,t}^s$
-	۲۴۰۵	-	$QD_{18,2,t}^s$	-	۴۴۰۹	$QD_{18,1,t}^s$
۲۱۵۰	-	-	$QD_{18,7,t}^s$	-	۸۸۰۵	$QD_{18,4,t}^s$
۱۶۰۷	۲۴۱۱	۴۰۱۹	$QD_{18,18,t}^s$	۲۰۵۰	-	$QD_{18,8,t}^s$
۱۶۰۳	-	۴۰۰۸	$QD_{19,2,t}^s$	۱۰۵	-	$QD_{18,22,t}^s$
-	۳۲۲۶	۵۳۷۷	$QD_{19,7,t}^s$	۲۲۱۶	۵۵۴۱	$QD_{19,3,t}^s$
۳۶۴	۵۴۵	۹۰۹	$QD_{19,19,t}^s$	-	۳۰۷۵	$QD_{19,8,t}^s$
۱۶۱۶	۲۴۲۵	۴۰۴۱	$QD_{20,20,t}^s$	-	۳۳۲۵	$QD_{20,3,t}^s$
				۲۸۹	۴۳۴	$QD_{21,21,t}^s$

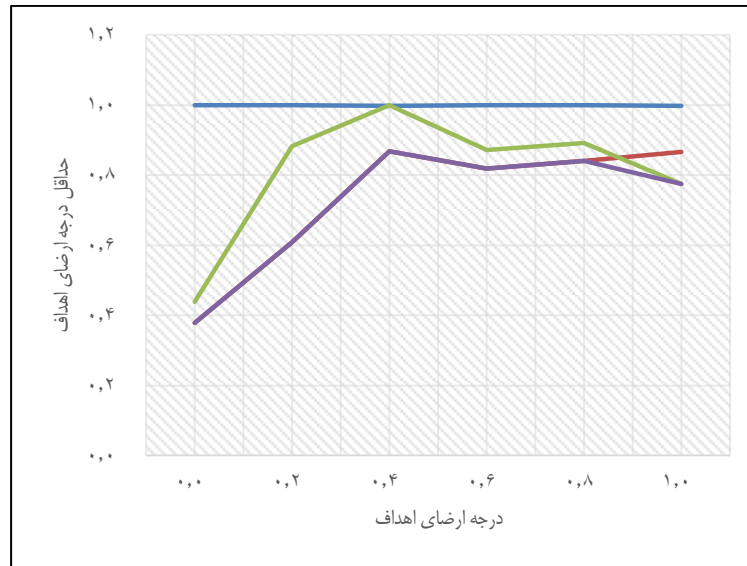
حساسیت مدل نسبت به تغییر وزن توابع هدف. با توجه به اهمیت منطقی توابع هدف، پنج حالت مختلف وزن‌دهی اهداف در نظر گرفته شده و مقادیر بهینه برای هر یک محاسبه شد. نتایج سناریوهای بررسی شده مطابق جدول ۱۱ است.  $W_1$ ،  $W_2$  و  $W_3$  به ترتیب وزن‌های توابع

هدف هزینه، پراکنش مراکز توزیع و درصد کمبود و  $Z_1^*$ ،  $Z_2^*$  و  $Z_3^*$  مقادیر بهینه توابع هدف هزینه، پراکنش مراکز توزیع و درصد کمبود هستند.

با توجه به اینکه مدل سه هدف متفاوت که با یکدیگر تعارض دارند را در نظر گرفته می‌گیرد، جواب بهینه بستگی زیادی به اولویت‌های تصمیم‌گیرنده دارد. هر یک از اهداف کاهش هزینه، افزایش پراکنش مراکز توزیع و کاهش درصد کمبود دارو می‌تواند دارای اهمیت بیشتری برای تصمیم‌گیرنده باشد که هر یک از این اولویت‌بندی‌ها یک مجموعه جواب متفاوت را در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهند که مستلزم اخذ سیاست‌های برنامه‌ریزی و بودجه‌ریزی متفاوت است. ضرایب اهمیت توابع هدف به‌عنوان نمونه در پژوهش عددگذاری شده‌اند و در جدول ۱۱، برای توابع هدف ضرایب متفاوتی لحاظ شده است که جواب‌های متفاوت با هم قابل مقایسه هستند. همان‌طور که مشاهده می‌شود در حالت اول با وزن‌های  $0/333$  برای تابع هدف هزینه،  $0/333$  برای تابع هدف پراکنش مراکز توزیع و  $0/334$  برای درصد کمبود دارو، درصد کمبود  $9/7$  درصد به‌دست آمده است که بهترین حالت در بین نتایج به‌دست آمده است. اگرچه مقدار وزن اهداف در بهترین جواب تقریباً مساوی یکدیگر به‌دست آمده است، اما با بررسی سایر حالت‌ها به‌نظر می‌رسد اهمیت تابع هدف سوم (کمینه‌سازی درصد کمبود) از بقیه اهداف بیشتر باشد.

جدول ۱۰. تغییرات درجه ارضای اهداف مدل ( $\gamma$ ) نسبت به تغییرات در وزن حداقل درجه ارضای تمام اهداف ( $\mu$ )

$\mu_0$	$\mu_{z3}$	$\mu_{z2}$	$\mu_{z1}$	$\gamma$
$0/378$	$0/439$	$0/378$	۱	۰
$0/608$	$0/883$	$0/608$	$0/999$	$0/2$
$0/869$	۱	$0/869$	$0/998$	$0/4$
$0/818$	$0/872$	$0/818$	$0/999$	$0/6$
$0/841$	$0/891$	$0/841$	$0/999$	$0/8$
$0/775$	$0/775$	$0/867$	$0/998$	۱

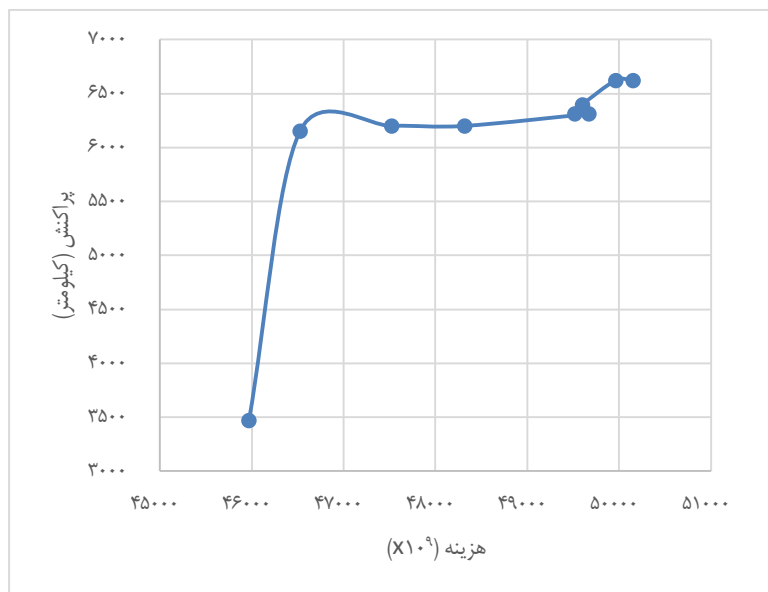


شکل ۱. تغییرات توابع هدف نسبت به حداقل درجه ارضای اهداف

جدول ۱۱. تأثیر تغییرات وزن‌های توابع هدف در نتایج

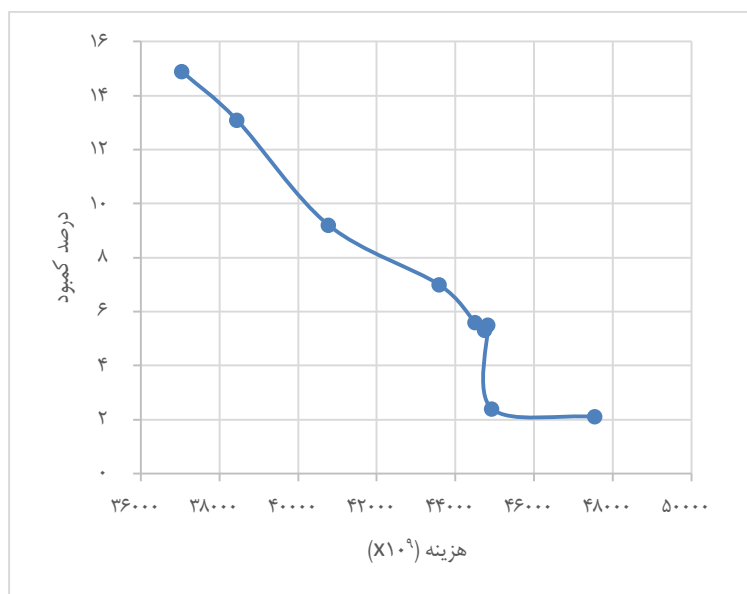
وزن توابع هدف	حالت اول	حالت دوم	حالت سوم	حالت چهارم	حالت پنجم
$w_1$	۰/۳۳	۰/۲	۰/۳	۰/۲	۰/۳
$w_2$	۰/۳۳	۰/۳	۰/۲	۰/۵	۰/۵
$w_3$	۰/۳۴	۰/۵	۰/۵	۰/۳	۰/۲
$Z_1^*$	۴۴۵۳۰	۴۳۳۹۸	۴۳۲۲۹	۴۳۹۰۲	۴۱۲۹۰
$Z_2^*$	۴۹۳۲	۴۷۵۹	۳۰۹۰	۳۵۹۸	۶۴۴۶
$Z_3^*$	%۹/۷	%۱۲/۷	%۱۰/۱	%۱۲/۴	%۱۴/۱

مقایسه مطلوبیت توابع هدف. شکل‌های ۲ و ۳، منحنی پارتویی برای مقایسه توابع هدف مختلف را نشان می‌دهند. برای رسم این منحنی‌ها مقدار یکی از توابع هدف ثابت در نظر گرفته شده و به مقایسه دو تابع هدف دیگر پرداخته شده است. شکل ۲، رابطه بین تابع هدف هزینه و تابع هدف پراکنش مراکز توزیع را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، با افزایش پراکنش مراکز توزیع، مطلوبیت تابع هدف هزینه کاهش می‌یابد؛ چراکه با افزایش میزان مطلوبیت تابع هدف پراکنش مراکز توزیع، میزان مراکز راه‌اندازی شده بیشتر می‌شود و این باعث افزایش هزینه و در نتیجه کاهش میزان مطلوبیت آن خواهد شد.



شکل ۲. رابطه مطلوبیت پراکنش مراکز توزیع و هزینه

با افزایش مقدار مطلوبیت تابع هدف درصد کمبود، مقدار هزینه افزایش یافته و بنابراین میزان مطلوبیت آن کاهش می‌یابد، این موضوع در شکل ۳، نشان داده شده است.



شکل ۳. رابطه مطلوبیت درصد کمبود و هزینه

در نهایت رابطه بین میزان توابع هدف پراکنش مراکز توزیع با درصد کمبود مدنظر قرار گرفت که با بررسی‌های انجام‌شده رابطه خاصی بین این دو تابع هدف یافت نشد.

##### ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پژوهش حاضر در حوزه مدل‌سازی زنجیره تأمین دارو و به‌منظور امداد رسانی کارا به مصدومان و حادثه‌دیدگان در شرایط بروز حوادث غیرمترقبه ارائه شد. پژوهش‌های گذشته اغلب زنجیره تأمین دارو در شرایط غیربحرانی را در نظر گرفته‌اند و بیشتر به برنامه‌ریزی اختصاصی در صنعت دارو پرداخته‌اند؛ به نحوی که چالش‌های مطرح در زمان بحران، مانند کسری دارو در مدت زمان بسیار کم، ارسال سخت دارو در زمان مسدود بودن یا خرابی راه‌ها و شریان‌های حیاتی و یا ویرانی انبارهای دارویی در برخی شرایط خطرناک تا به حال بررسی نشده است؛ بنابراین در پژوهش حاضر با در نظر گرفتن سه هدف کمینه‌سازی هزینه‌های عملیاتی، توزیع، حمل‌ونقل و نگهداری، بیشینه‌سازی پراکنش مراکز توزیع و کمینه‌سازی درصد کمبود دارو که اهداف پراکنش مراکز توزیع و درصد کمبود دارو با کاهش هزینه در تقابل هستند، یک مدل ریاضی چندهدفه و چنددوره‌ای در هنگام وقوع حوادث غیرمترقبه ارائه شد. هدف، تأمین و توزیع به‌اندازه و به‌موقع دارو در شرایط بحران است؛ یعنی زمانی که سیستم سلامت با محدودیت امکانات و افزایش شدید تقاضا روبه‌رو می‌شود. در واقع مسئله، تعیین تعداد و ظرفیت انبارها و مراکز توزیع و انتخاب استراتژی بهینه برای تأمین و توزیع دارو است.

به‌منظور بررسی مدل ارائه‌شده و واقعی‌تر کردن نتایج آن، بحران زلزله در شهر تهران که با خطر بالقوه ناشی از آن مواجه است، به‌عنوان مورد مطالعه انتخاب شد. برای بررسی دقیق‌تر بحران زلزله در تهران، سناریوهای مختلفی بر اساس فعال شدن هر یک از گسل‌های شهر تهران در نظر گرفته شد. از طرف دیگر، مدل در چند دوره زمانی مورد بررسی قرار گرفت و راه‌اندازی، میزان انتقال دارو به هر یک از سطوح زنجیره تأمین، درصد تقاضا و دیگر پارامترهای مسئله در چندین دوره زمانی و طی سناریوهای مختلف بررسی شدند. در نهایت به‌منظور نزدیک شدن هرچه بیشتر مدل به واقعیت، درصد تخریب برای تسهیلات مختلف نیز در نظر گرفته شد.

نتایج اجرای مدل بر روی مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین تقاضا در حالت فعال شدن گسل ری در سناریوی اول و در دوره اول رخ می‌دهد؛ همچنین کمترین تقاضا مربوط به فعال شدن گسل مشا است. در صورت فعال شدن گسل ری و با توجه به وجود بافت فرسوده بیشتر در اطراف این گسل، تخریب بیشتر و در نتیجه تلفات بیشتری روی خواهد داد که به تحمیل هزینه بیشتری به زنجیره تأمین منجر می‌شود. این موضوع با توجه به تسهیلات راه‌اندازی‌شده و میزان داروهای ارسالی بین سطوح زنجیره تأمین تحت سناریوی اول (فعال شدن گسل ری) نشان داده شد. با بررسی توابع هدف مشخص شد که کمینه‌سازی درصد کمبود دارو تأثیر نسبتاً

بیشتری در افزایش / کاهش میزان درصد کمبود در زنجیره تأمین دارد. نتایج همچنین نشان داد که با بیشتر شدن مطلوبیت توابع هدف پراکنش مراکز توزیع و درصد کمبود دارو، هزینه بیشتری به سیستم (با توجه به افزایش راه‌اندازی تسهیلات و افزایش میزان انتقال دارو) تحمیل خواهد شد.

با توجه به محدودیت‌های موجود در داده‌ها و بازه تصمیم‌گیری کوتاه‌مدت در نظر گرفته شده، بازپرسازی انبارهای مرکزی (توسط کمک‌های سازمان‌های NGO و غیره)، مسیرهای حمل و نقل متفاوت و جایگزین در این پژوهش در نظر گرفته نشد. در نظر گرفتن موجودی احتیاطی در انبارهایی با ظرفیت متغیر و همچنین تهیه فهرستی از داروها و تجهیزات اساسی پزشکی مورد استفاده در مواقع بحران از جمله اقداماتی است که می‌توان در راستای مدیریت بهتر حوادث غیرمترقبه انجام داد؛ از این رو در مطالعات بعدی می‌توان به امکان بازپرسازی انبارهای مرکزی، در نظر گرفتن ظرفیت‌های محدود برای شبکه راه‌ها (با توجه به امکان خرابی راه‌ها در هنگام وقوع بحران) و مسیرهای حمل و نقل متفاوت و جایگزین پرداخت؛ همچنین در نظر گرفتن مسئله به صورت چندمحصولی و تفکیک داروها و توسعه مدل با هدف در نظر گرفتن مراحل تخلیه، سبب نزدیک‌تر شدن مدل به واقعیت خواهد شد. در نهایت استفاده از روش‌های شبیه‌سازی و یا سایر روش‌های حل، مانند  $\epsilon$ -constraint برای مقایسه و یافتن بهترین جواب، می‌تواند به توسعه و بهبود نتایج پژوهش منجر شوند.

## منابع

1. Ahmadi, A., Mousazadeh, M., Torabi, A., & Pishvae, M. (2017). Or applications in pharmaceutical supply chain management. *Operations Research Applications in Health Care Management*, 262, 461-491.
2. Bahadori, H., Khorshid, K., & Ebrahimnia, M. (2009). *A look at crisis management in the United States*. Tehran: Payame Pouya (In Persian).
3. Bahrami, F. (2016). *Hub Location and Routing Multi Objective Fuzzy Mathematical Modeling in Competitive Environment*. (Doctoral dissertation). University of Tehran, Tehran, Iran (In Persian).
4. Bozorgi Amir, A., Mansouri, S., & Pishvae, M. (2017). Multi-objective Supply Chain Network Design for Responding to Earthquake Under Uncertainty. *Journal of Industrial Management Perspective*, 25(1), 9-36 (In Persian).
5. Dobrzykowski, D., Deilami, V., Hong, P., & Kim, S. (2014). A Structured Analysis of Operations and Supply Chain Management Research in Healthcare. *International Journal of Production Economics*, 147, 514-530.
6. Doudeman, M., & Bozorgi-Amiri, A. (2017). Multi-objective chain network design for responding to earthquake under uncertainty. *Journal of Industrial Management Perspective*, 36(4), 9-36 (In Persian).
7. Eslami, A. (2009). Revision on earthquake catalog in 20th century in Iran. *Institute of Earthquake Engineering and Seismology*, 21-49 (In Persian).
8. Fahimnia, B., Jabbarzadeh, A., Ghavamifar, A., & Bell, M. (2017). Supply Chain Design for Efficient and Effective Blood Supply in Disasters. *International Journal of Production Economics*, 183, 700-709.
9. Goodarzi, F., Hosseini-Nasab, H., Manuzuri, J., & Fakhrzad, M. (2020). A multi-objective pharmaceutical supply chain network based on a robust fuzzy model: A comparison of metaheuristics. *Journal of Applied soft computing*, 92, 60-73.
10. Haj Shir Mohammadi, A. (2013). *Principles of manufacturing and inventory control planning*. 45-99: Arkane danesh (In Persian).
11. Hatami, H., Razavi, S., Eftekhari, H., Majlesi, F., Seyednozadi, M., & Parizadeh, M. (2020). *Comprehensive Public Health Book*. Tehran: Ketab Arjamnd. (In Persian).
12. Iraj Nasirabadi, N. (2014). *Fuzzy-Multi objective distribution programming in supply chain considering multiple transportation and risk criteria*. Tehran: University of Tehran (In Persian).
13. Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., & Seuring, S. (2014). Dynamic supply chain network design for the supply of blood in disasters: A robust model with real world application. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 70, 225-244.
14. JICA. (2000). *The study on seismic microzoning of the Greater Tehran Area in the Islamic*. Japan: OYO Cooperation.
15. Kalantari, M., & Pishvae, S. (2016). A robust possibilistic programming approach to drug supply chain master planning. *Journal of Industrial Engineering research in production system*, 7, 49-67.
16. Kanani M. (2009). GSP and GDP rules and regulations in drug distribution companies, *Razi Journal*, 231, 63-70 (In Persian).
17. Mahllati, V., M. (2012). Management of drug supply chain at 2025.
18. Meimandi, M., Sepehri, G., FarokhiNouri, M., Mohsen Beigi, M., &



- Motevallizadeh, H. (2008). Drug use pattern in Bam residents in the first month after 1382 earthquake. *Hakim Journal*, 10(4), 27-33 (In Persian).
19. Moeinian, A., Rahimi, M., Ahmadi, F., & Peivandi, R. (2020). Investigating Natural Disasters from the Perspective of International Law; A Case Study of Iran, Scientific and Research Quarterly New Attitudes in Human Geography. *Journal of New Perspectives In Humanitarian Geography*, 12, 257-475 (In Persian).
20. Mousazadeh, M., Torabi, S., & Zahiri, B. (2015). A robust possibilistic programming pharmaceutical supply chain with maximum expected coverage under uncertainty. *Computers & Chemical Engineering*, 82, 115-128.
21. Nasrollahi, M., & Razmi, J. (2019). A mathematical model for designing an integrated pharmaceutical supply chain with maximum expected coverage under uncertainty. *Operational Research*, 1-28.
22. Nateghi, F. (2001). Earthquake scenario for the mega- city of Tehran. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 10, 95-100.
23. Nikjoo, N., & Javadian, N. (2019). A Multi-Objective Robust Optimization Logistics Model in Crisis Under Uncertainty. *Journal of Industrial Management Perspective*, 32, 121-147 (In Persian).
24. Roshan, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Rahimi, Y. (2019). A two-stage approach to agile pharmaceutical supply chain management with product substitutability in crises. *Computers & Chemical Engineering*, 127, 200-217.
25. Torabi, S., & Hassini, E. (2008). An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning. *Fuzzy sets and systems*, 159, 193-214.
26. Zandieh, M., Janatyan, N., Alem Tabriz, A., & Rabieh, M. (2018). Designing Sustainable Distribution Network in Pharmaceutical Supply Chain: A Case Study. *International Journal of Supply and Operations Managemen*, 5, 122-133 (In Persian).
27. Zangiabadi, A., & Tabrizi, N. (2006). Tehran earthquake and spatial assessment of urban areas. *Journal of Geographical research*, 56, 116-130 (In Persian).

# **Multi-Objective Pharmaceutical Supply Chain Modeling in Disaster (Case Study: Earthquake Crisis in Tehran)**

**Fatemeh Alidoost<sup>\*</sup>, Farzad Bahrami<sup>\*\*</sup>, Hossein Safari<sup>\*\*\*</sup>**

## **Abstract**

Absence of coordination between different sections of pharmaceutical supply chain has been announced as the most important challenge in the medicine industry. These sections are often in conflict and it is possible that their related decisions become suboptimal for the whole supply chain. In this study, a multi-objective mathematical model is offered for pharmaceutical supply chain problem. The model helps make strategic decisions in unexpected disaster occurrences such as earthquake and flood. To improve the humanitarian relief in disaster, the model concurrently minimizes the total costs, maximizes the dispersion of distribution centers and minimizes the percentage of drug undersupply as three different objective functions. The model is solved by Torabi-Hassini approach and the performance and importance of objective functions have been compared. In order to verify the proposed model and the relations of different levels of supply chain, Tehran earthquake crisis is considered through different scenarios as the case study. The results illustrate that the highest and lowest demand is in the case of Ray and Mosha fault activation, respectively. Finally, it is shown that increasing the utility of minimizing the percentage of drug undersupply and maximizing dispersion of distribution centers inflicts higher costs on the system.

**Keywords: Pharmaceutical Supply Chain; Disaster; Humanitarian Relief; Multi-Objective Mathematical Modeling; Torabi-Hassini Approach.**

---

Received: April 27, 2020, Accepted: August 12, 2020.

\* M.A., Alborz Campus, University of Tehran.

\*\* Assistant Professor, Arak University (Corresponding Author).

Email: f-bahrami@araku.ac.ir

\*\*\* Professor, University of Tehran.