

# ارائه‌ی یک مدل لجستیک چندهدفه‌ی فازی برای توزیع اقلام امدادی و تخلیه‌ی مصدومین در زمان بحران

علی بزرگی امیری\* (استادیار)

دانشکده‌ی مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

سید آرمن فتاحی (کارشناسی ارشد)

دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه سراسری تفرش

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، زمستان ۱۳۹۴  
دوری ۱ - ۳۱، شماره ۱/۲، ص. ۲۳-۱۵

عملیات توزیع کالاها و اقلام امدادی به مناطق آسیب‌دیده و تخلیه‌ی مصدومین به مراکز درمانی موقت از فعالیت‌های اساسی لجستیک امداد بلافاصله است. لزوم ملاحظه‌ی عدم قطعیت، سبب ایجاد انگیزه برای توسعه‌ی ابزارهای تصمیم‌گیری مناسب برای غلبه بر پارامترهای غیرقطعی و نادقیق در طراحی لجستیک امداد شده است. در این نوشتار یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی فازی چندهدفه، و چند مدل حمل تحت عدم قطعیت پارامترهای ورودی ارائه شده است. مدل شامل دو هدف است: ۱. کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های لجستیکی (شامل هزینه‌های راه‌اندازی، حمل و نقل، هزینه‌ی تخصیص و وسایل نقلیه و هزینه‌های کمبود اقلام امدادی)؛ ۲. بیشینه‌سازی تعداد مجروحین منتقل شده. برای حل مدل پیشنهادی، یک رویکرد حل فازی تعاملی پیشنهاد شده است. به منظور اثبات کاربندی بودن مدل برنامه‌ریزی فازی ارائه شده و سودمندی رویکرد حل پیشنهادی، مطالعه‌ی موردی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: لجستیک امداد بلافاصله، توزیع اقلام امدادی، تخلیه مصدومین، بهینه‌سازی چندهدفه‌ی فازی، عدم قطعیت.

alibozorgi@ut.ac.ir  
armin.fattahi@yahoo.com

## ۱. مقدمه

بلافاصله و فجایع را می‌توان رویداد نادر و شدیدی تعریف کرد که بر زندگی انسان‌ها و محیط اطراف آن اثرات منفی می‌گذارد.<sup>[۱]</sup> بلافاصله طبیعی یا وقایع دست‌ساز بشر اعم از زلزله و سیل یا جنگ و حملات تروریستی، همواره بر زندگی و جان و مال انسان‌ها تأثیرات مخرب به‌سزایی داشته است. غالباً عواملی نظیر افزایش شهرسازی غیراصولی، تغییرات جوی و تروریسم که به‌طور هم‌زمان با فعالیت بیشتر انسان‌ها در کره زمین همراه است، زمینه را برای وقوع بلافاصله گوناگون آماده می‌سازد. ماهیت غیرقابل پیش‌بینی این بلافاصله و به‌علاوه خسارات زیادی که این بلافاصله وارد می‌سازند، لجستیک بشردوستانه را یک زمینه‌ی بحرانی و مهم در بحث عملیات امداد بلافاصله معرفی کرده است. لذا برنامه‌ریزی لجستیکی مناسب، اهمی مهم و اساسی برای بهبود در هزینه، کیفیت و زمان پاسخ‌گویی است.

پاسخ سریع به نیازهای امدادی در مناطق آسیب‌دیده بلافاصله پس از وقوع بحران و نیز تخلیه‌ی مصدومین، از مهم‌ترین اقدامات لجستیک امداد بلافاصله است. در نتیجه با ارائه‌ی مدلی جامع و مکان‌یابی صحیح مراکز توزیع و مراکز درمانی، هم

\* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۵/۲۷، اصلاحیه ۱۳۹۲/۱۱/۲۵، پذیرش ۱۳۹۳/۲/۲۹.

می‌توان جان انسان‌های زیادی را نجات داد و هم می‌توان هزینه‌ها را کاهش داد. بنابراین، ارائه‌ی مدل ریاضی جامع و کاربردی و نزدیک به شرایط دنیای واقعی که در صورت تغییر برخی پارامترها نیز بتواند عملکرد مناسبی داشته باشد، ضروری به نظر می‌رسد. در مقطع کنونی، بحث استفاده و کاربرد تحقیق در عملیات در مسائل مدیریت بحران بسیار مورد توجه قرار گرفته است.<sup>[۲]</sup> بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها در زمان بحران فی‌البداهه و غیراصولی است.<sup>[۳]</sup> پژوهش‌گران و دست‌اندرکاران مدیریت بحران به‌شدت مایلند در تصمیم‌گیری‌ها چنان علمی عمل کنند که بتوانند عملکرد کل سیستم را تا حد ممکن بهبود بخشند.

یکی از اولین تحقیقات انجام‌شده در این حوزه در سال ۱۹۷۱ انجام گرفت که مسئله را به‌عنوان «مسئله‌ی پوشش مجموعه» مدل کردند و از برنامه‌ریزی خطی برای حل آن بهره بردند.<sup>[۴]</sup> در سال ۱۹۹۶ مدل تخصیص منابع در شبکه‌های تخلیه‌ی اضطراری در یک ایالت ارائه شد.<sup>[۵]</sup> سپس در سال ۲۰۰۳ مدل مکان‌یابی آمبولانس و دیگر وسایل نقلیه‌ی اضطراری به ۳ بخش مدل قطعی، مدل احتمالی صف، و مدل پویا تقسیم‌بندی شد.<sup>[۶]</sup> در سال ۲۰۰۶ مدلی برای مکان‌یابی مراکز مدیریت بحران به‌منظور مدیریت کالاهای امدادی ارائه شد.<sup>[۷]</sup> در سال ۲۰۰۷ نیز مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات برای موقعیت‌های اضطراری با مقیاس بزرگ به سه بخش تقسیم شد:

مدل‌های پوشش، مدل‌های مکان‌یابی میانه، و مدل‌های مکان‌یابی مرکزی. همچنین روش‌های هیوریستیک به‌منظور حل این مدل‌ها ارائه شد.<sup>[۸]</sup> محققین در سال ۲۰۰۷ یک مدل قطعی چندمعیاره برای توزیع کالاهاى اضطراری به مناطق آسیب‌دیده با در نظر گرفتن هزینه، زمان پاسخ و رضایت‌مندی مشتریان ارائه داده و آن را به کمک روش برنامه‌ریزی چندهدفه‌ی فازی حل کردند.<sup>[۹]</sup> آنان در سال ۲۰۰۷ الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان را برای حل مسئله‌ی لجستیک در اقدامات امدادی به هنگام بحران بررسی کردند.<sup>[۱۰]</sup> سپس در سال ۲۰۰۷ رویکرد خوشه‌بندی فازی به‌منظور دسته‌بندی مناطق آسیب‌دیده و عملیات لجستیک اضطراری هنگام پاسخ به نیازهای امدادی اضطراری در دوره‌های نجات مربوط به بحران بررسی شده است.<sup>[۱۱]</sup> در مطالعه‌ی دیگر در سال ۲۰۰۸، تصمیمات مکان‌یابی تسهیلات در زنجیره‌ی امداد برای پاسخ‌دهی به بلایای ناگهانی مد نظر قرار گرفت.<sup>[۱۲]</sup> پژوهش‌گران در سال ۲۰۱۰ ابزار برنامه‌ریزی برای پاسخ به بلایا و مکان‌یابی انواع مختلف مراکز تأمین در شرایط بحران و قبل از وقوع حادثه را بررسی کردند و مدل خود را با یک برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط دومرحله‌ی حل کردند.<sup>[۱۳]</sup> در سال ۲۰۱۱ کمیل و جونزه مکان‌یابی تسهیلات قبل از وقوع بلایا پرداختند. آنها با در نظر گرفتن فاصله‌ی تسهیلات تا نقاط آسیب و احتمال خرابی آن‌ها، مکان‌های بهینه را انتخاب کردند.<sup>[۱۴]</sup>

یکی از مشخصه‌های اصلی زنجیره‌ی امداد حضور ذی‌نفعان با اهداف و اولویت‌های متفاوت و گاه متضاد -- نظیر کاهش هزینه‌های لجستیک، کاهش زمان حمل، افزایش رضایت‌مندی، افزایش قابلیت اطمینان و کاهش ریسک -- است که منجر به تضادهای بالقوه و عدم کارایی در عمل می‌شود؛ در تحقیقات گذشته کم‌تر به این امر پرداخته شده است.

از طرفی پیچیدگی و پویایی ارتباطات در میان عوامل مختلف در زنجیره‌ی امداد، بر اهمیت میزان عدم قطعیت در برنامه‌ریزی در این حوزه دلالت می‌کند. در چنین محیطی دو ویژگی اصلی مسائل برنامه‌ریزی بلایا، که پیش روی تصمیم‌گیرنده است عبارت است از: ۱. تناقض بین اهداف که ممکن است از ماهیت عملیات امداد و ذی‌نفعان مختلف ناشی شود؛ ۲. وجود اطلاعات غیردقیق و مبهم در رابطه با پارامترهای مهم نظیر تقاضا، تأمین و هزینه‌ها.

در عملیات بشردوستانه‌ی واقعی، اغلب دیده می‌شود عواملی از قبیل تأمین، هزینه‌ها و تقاضا در مراحل اولیه‌ی فاز پاسخ، نامعلوم‌اند. عدم قطعیت در تأمین اغلب ناشی از نقص و تأخیر در ارسال اطلاعات است. غالباً در این مراحل مشخص نیست که کدام منبع در دسترس است و حتی سهم و میزان درگیر شدن تأمین‌کنندگان نیز غیرقابل پیش‌بینی است. نامعلوم بودن هزینه‌ها در عملیات عموماً به دلیل ابهام در مسیر و زمان سفر است. عدم قطعیت در تقاضا با توجه به تحقیق انجام‌شده در سال ۱۹۹۳، مهم‌ترین عامل در میان سه عامل اصلی عدم قطعیت -- تقاضا، تأمین و هزینه‌ها -- است.<sup>[۱۵]</sup> تقاضا ممکن است تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی منتظر برای انتقال به مراکز درمانی، یا میزان کالای اضطراری مورد نیاز برای ارسال به مناطق آسیب‌دیده باشد.<sup>[۱۶]</sup> در تحقیق حاضر هر دو نوع تقاضا در نظر گرفته شده است.

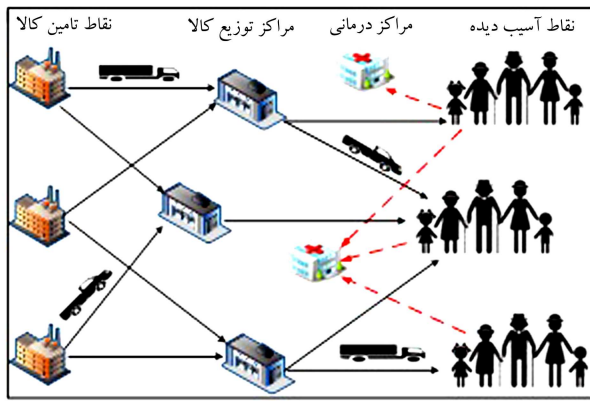
محققین در سال ۲۰۰۷ برای مساعدت آژانس‌های دولتی، مدل برنامه‌ریزی تصادفی برای تعیین مراکز انبارهای منابع نجات، مقدار تجهیزات نجات مورد نیاز و نحوه‌ی توزیع آنها ارائه دادند.<sup>[۱۷]</sup> در سال ۲۰۱۰ نیز از بهینه‌سازی تصادفی تحت سناریوهای مختلف برای مکان‌یابی مراکز توزیع، پناهگاه‌ها و زمین‌های اختصاصی برای فرود هلی‌کوپتر استفاده شد.<sup>[۱۸]</sup> در سال ۲۰۱۱ محققین تقاضا، تأمین، راه‌های ارتباطی در دسترس را احتمالی در نظر گرفتند و از برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو و برنامه‌ریزی آرمانی برای غلبه بر عدم قطعیت استفاده کردند.<sup>[۱۹]</sup> در سال ۲۰۱۲،

سیستم توزیع کالاهاى امداد و موجودی مورد بررسی قرار گرفت که در آن تقاضاها دارای عدم قطعیت با تابع احتمال مشخص و مدل مطرح شده‌ی چندهدفه بود.<sup>[۲۰]</sup> در سال ۲۰۱۲ نیز مدل برنامه‌ریزی تصادفی مبتنی بر سناریو<sup>[۲۱]</sup> برای مسئله‌ی مکان‌یابی مراکز توزیع امداد و تخصیص نقاط آسیب‌دیده به این مراکز ارائه شد. همچنین نویسندگان رویکرد حل فراابتکاری را برای مسائل با اندازه‌ی بزرگ ارائه داده‌اند. در سال ۲۰۱۳ نیز یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی برای مکان‌یابی انبارها و تأمین‌کنندگان ارائه شد.<sup>[۲۲]</sup> در همین سال یک مدل بهینه‌سازی تصادفی دوهدفه برای لجستیک امداد بلایا ارائه دادند. آن‌ها برای اولین بار هر سه منبع اصلی عدم قطعیت شامل تقاضا، تأمین و هزینه را در زنجیره‌ی تأمین امداد در نظر گرفتند.<sup>[۲۳]</sup> در سال ۲۰۱۴ روشی برای زمان‌بندی انتقال سریع کالاهاى امدادی به مناطق آسیب‌دیده ارائه شد که هدف از این مدل چندهدفه، کمینه‌سازی زمان و کاهش هزینه‌ی حمل و نقل و نارضایتی افراد آسیب‌دیده است.<sup>[۲۴]</sup> در همین سال یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی سه‌مرحله‌ی ارائه شد که در آن با در نظر گرفتن مکان‌یابی مراکز توزیع و تخصیص از منابع تأمین به این مراکز، تعداد وسایل نقلیه‌ی در دسترس و تقاضا در آن به‌عنوان پارامتر تصادفی در نظر گرفته شد و با یک مثال واقعی نشان داده شد که برنامه‌ریزی تصادفی در این مسائل بهتر از برنامه‌ریزی قطعی به حل مسئله کمک می‌کند.<sup>[۲۵]</sup> محققین یک مدل سه‌هدفه برای مکان‌یابی و حمل و نقل در فاز بعد از حادثه ارائه دادند که در آن مسئله‌ی مکان‌یابی بستگی دارد به تعداد و موقعیت مراکز توزیع، و مسئله‌ی حمل و نقل نیز به انتقال کالاهاى امداد از این مراکز به نقاط تقاضا مرتبط است. تابع هدف مدل مذکور کمینه‌کردن زمان حمل و نقل و تعداد مراکز توزیع و نارضایتی است که با روش محدودیت افسیلون آن را حل کرده و در زمان کوتاه‌تری به جواب رسیدند.<sup>[۲۶]</sup>

به‌رحال دو ایراد اساسی که در استفاده از رویکرد بهینه‌سازی تصادفی با آن مواجهیم عبارت است از: ۱. در بسیاری از مسائل واقعی داده‌های تاریخی کافی برای پارامترهای دارای عدم قطعیت وجود ندارد، بنابراین به‌ندرت می‌توان توزیع درست و واقعی پارامترهای نامعین را به دست آورد؛ ۲. در بیشتر کارهای گذشته در زمینه‌ی طراحی لجستیک امداد تحت شرایط عدم قطعیت، عدم قطعیت پارامترها از طریق برنامه‌ریزی تصادفی مبتنی بر سناریو مدل‌سازی شده است. در این حالت، تعداد سناریوها برای بیان عدم قطعیت می‌تواند منجر به مشکلات و چالش‌های محاسباتی شود.<sup>[۲۷]</sup>

به‌عنوان یک گزینه، نظریه‌ی مجموعه‌های فازی قادر است چارچوبی برای مهار انواع مختلف عدم قطعیت شامل ضرایب فازی به جهت کمبود دانش به‌همراه انعطاف‌پذیری در محدودیت‌ها و اهداف (به‌طور همزمان) ارائه دهد.<sup>[۲۸]</sup> تعداد بسیار معدودی کار در این حوزه انجام گرفته است. به‌عنوان مثال در سال ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ یک مدل برنامه‌ریزی امکانی تک و چندهدفه برای مسئله‌ی لجستیک امداد ارائه شد.<sup>[۲۹،۲۷]</sup> پژوهش‌گران در تحقیق‌شان تخلیه‌ی مجروحین، مراکز درمانی موقت و وسایل نقلیه را در نظر نگرفتند.

هدف اصلی این مطالعه، ارائه‌ی مدل بهینه‌سازی چندهدفه‌ی فازی برای مسئله‌ی طراحی لجستیک امداد است که مکان‌یابی مراکز توزیع امداد، مکان‌یابی مراکز درمانی، و تخصیص این مراکز به نواحی آسیب‌دیده در زمان بحران را شامل می‌شود. به‌علاوه مدل پیشنهادی قادر است تعداد وسایل مورد نیاز برای انتقال کالا از نقاط تأمین به مراکز توزیع و از مراکز توزیع به نقاط آسیب‌دیده را به‌همراه نوع آن مشخص کند. اهداف مدل پیشنهادی شامل کمینه‌سازی هزینه‌های لجستیک و بیشینه‌سازی سطح سرویس مناطق آسیب‌دیده از طریق انتقال افراد مجروح به مراکز درمانی است.



شکل ۱. طرح کلی زنجیره‌ی تأمین امداد.

نقاط آسیب و تخصیص و انتقال مناسب مجروحین به مراکز درمانی، به‌گونه‌ی که کارایی و اثربخشی تا حد ممکن افزایش یابد. عمده فرضیات مسئله عبارت است از:

۱. در این مسئله چند نقطه‌ی تأمین، چند مرکز توزیع، چند منطقه‌ی آسیب و چندین مراکز درمانی موقت وجود دارد.
۲. انواع مختلف کالاها و تجهیزات امدادی -- نظیر آب، بسته‌های غذایی، چادر -- به افراد آسیب‌دیده در این سیستم منتقل می‌شود.
۳. هر مرکز توزیع می‌تواند از چند نقطه‌ی تأمین کالا دریافت، و به چند منطقه‌ی آسیب‌دیده کالا ارسال کند.
۴. چند نوع وسیله‌ی نقلیه با ظرفیت‌های مختلف وجود دارد.
۵. میزان تأمین و تقاضای کالا، تعداد مصدومین، مجموعه پارامترهای هزینه‌ی موجود در مدل توأم با عدم قطعیت از نوع فازی در نظر گرفته شده است.

## ۲.۲. مجموعه‌ها و شناساگرها

با توجه به فرضیات مطرح شده، شناساگرهای مدل عبارت‌اند از:

- $I$ : مجموعه نقاط تأمین؛
- $J$ : مجموعه مراکز توزیع امداد؛
- $K$ : مجموعه نقاط آسیب‌پذیر؛
- $O$ : مجموعه مراکز درمانی موقت؛
- $R$ : مجموعه انواع وسایل نقلیه؛
- $i$ : شناساگر مربوط به نقاط تأمین؛
- $j$ : شناساگر مربوط به مراکز توزیع امداد؛
- $k$ : شناساگر مربوط به نقاط آسیب‌دیده؛
- $o$ : شناساگر مربوط به مراکز درمانی موقت؛
- $r$ : شناساگر مربوط به انواع وسایل نقلیه.

## ۳.۲. پارامترها

پارامترهای مدل (تمامی پارامترهایی که به صورت  $\sim$  نشان داده شده است، اعداد فازی‌اند) عبارت‌اند از:

- $\tilde{z}$ : هزینه‌ی برپاسازی مرکز توزیع امداد؛
- $\tilde{h}_o$ : هزینه‌ی برپاسازی مراکز درمانی  $o$ ؛
- $\tilde{a}_r$ : هزینه‌ی ثابت تخصیص وسیله‌ی نقلیه  $r$ ؛

ابداعات مدل ارائه شده که آن را با دیگر مقالات موجود در ادبیات این حوزه متمایز می‌سازد عبارت است از:

۱. ارائه‌ی مدل یک‌پارچه که تصمیمات استراتژیک نظیر مکان‌یابی را با تصمیمات عملیاتی نظیر تخصیص منابع امدادی و وسایل نقلیه به مراکز آسیب‌دیده، و نیز تخلیه‌ی مجروحین از صحنه‌ی حادثه ترکیب می‌کند.
  ۲. در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترها به‌صورت فازی و استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی فازی به‌جای برنامه‌ریزی تصادفی (به‌دلیل معایبی که پیش‌تر بدان اشاره شد).
  ۳. در نظر گرفتن تخلیه‌ی مجروحین به مراکز درمانی موقت و اهداف متناظر با آن در توابع هدف و محدودیت ظرفیت مراکز درمانی.
  ۴. در نظر گرفتن تابع هدف بشردوستانه تحت عنوان بیشینه‌سازی رضایت‌مندی نقاط آسیب‌دیده از طریق بیشینه‌سازی کم‌ترین درصد تخلیه‌ی افراد آسیب‌دیده از منطقه‌ی خطر (تابع هدف دوم).
  ۵. در نظر گرفتن وسیله‌ی نقلیه و نیز ملاحظات مربوط به آن در تابع هدف و محدودیت تعداد و ظرفیت این وسایل.
- در ادامه، مقاله چنین سازماندهی شده است: در بخش دوم، مسئله‌ی لجستیک امداد و مدل برنامه‌ریزی ریاضی فازی پیشنهادی تشریح شده است. در بخش سوم، رویکرد حل دومرحله‌ی فازی آورده شده و در بخش چهارم، مطالعه‌ی موردی برای بحران‌های بالقوه در چندین شهر ایران ارائه شده است. نهایتاً در بخش پنجم، نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای مطالعات آتی ارائه شده است.

## ۲. مدل‌سازی برنامه‌ریزی لجستیک امداد تحت عدم قطعیت

در این بخش مسئله‌ی مورد بررسی به همراه فرضیات، شناساگرها، پارامترها، متغیرهای و مدل برنامه‌ریزی ریاضی مسئله معرفی می‌شود.

### ۱.۲. بیان مسئله و فرضیات مدل

عملیات توزیع امداد امدادی و عملیات تخلیه‌ی مصدومین از مهم‌ترین اقدامات در فاز پاسخ به بحران محسوب می‌شود. برنامه‌ریزی درست و مناسب این اقدامات، با توجه به محدودیت منابع و امکانات، تأثیر به‌سزایی در کاهش خسارات جانی و مالی و افزایش کارایی و اثربخشی پاسخ‌گویی دارد. در فاز پاسخ، باید اقلام ضروری مورد نیاز مصدومین و مجروحین شناسایی، و از مراکز توزیع امداد به مناطق آسیب‌دیده ارسال شود و همچنین افراد آسیب‌دیده به مراکز درمانی منتقل و در آنجا مورد رسیدگی و مداوا قرار گیرند.

شبکه‌ی لجستیک امداد مورد مطالعه در این تحقیق مطابق شکل ۱ شامل چهار بخش اصلی است: ۱. نقاط تأمین؛ ۲. مراکز توزیع کالاهای امدادی؛ ۳. نقاط آسیب‌دیده و مراکز درمانی موقت. تأمین‌کنندگان کالاهای امدادی در زنجیره‌ی امداد، نقشی اساسی بازی می‌کنند و کالاهای امدادی مورد نیاز را برای افرادی که در نقاط آسیب‌دیده قرار دارند، تأمین می‌کنند.

هدف مدل پیشنهادی عبارت است از: بررسی نقاط کاندید و انتخاب مراکز توزیع امداد و مراکز درمانی موقت مناسب، تخصیص و توزیع مناسب کالاهای امدادی به

$$\sum_i X_{irj} = \sum_k Y_{jrk}, \quad \forall j, r \quad (5)$$

$$\sum_j X_{irj} \leq \tilde{S}_i, \quad \forall i, r \quad (6)$$

$$\sum_o Q_{ko} \leq \tilde{d}\lambda_k, \quad \forall k \quad (7)$$

$$\sum_i X_{irj} \leq Z_j C a z_j, \quad \forall j, r \quad (8)$$

$$\sum_k Y_{jrk} \leq Z_j C a z_j, \quad \forall j, r \quad (9)$$

$$\sum_k Q_{ko} \leq W_o C a w_o, \quad \forall o \quad (10)$$

$$X_{irj} \leq C a p_r T_{irj}, \quad \forall i, r, j \quad (11)$$

$$Y_{jrk} \leq C a p_r V_{jrk}, \quad \forall j, r, k \quad (12)$$

$$\sum_{i,j} T_{irj} \leq N_m, \quad \forall r \quad (13)$$

$$\sum_{j,k} V_{jrk} \leq N_m, \quad \forall r \quad (14)$$

$$X_{irj}, Y_{jrk} \geq 0, \quad (15)$$

$$T_{irj}, V_{jrk}, Q_{ko} \in \mathbb{Z}, \quad (16)$$

$$W_o, Z_j \in \{0, 1\}, \quad (17)$$

تابع هدف اول کمینه کردن مجموع هزینه‌های راه‌اندازی، هزینه‌های حمل و نقل از نقاط تأمین به مراکز توزیع امداد، هزینه‌های حمل و نقل از مراکز توزیع امداد به نقاط آسیب‌دیده، هزینه‌های حمل و نقل از نقاط آسیب‌دیده به مراکز درمانی، هزینه‌های اختصاص وسایل نقلیه بین نقاط تأمین، مراکز توزیع و نقاط آسیب‌دیده و هزینه‌های جریمه‌ی عدم برآورده شدن تقاضا است.

تابع هدف دوم بیشینه‌سازی رضایت‌مندی نقاط آسیب‌دیده از طریق بیشینه‌سازی مجموع کم‌ترین درصد پوشش در نقاط آسیب‌دیده است. هدف دوم به‌وضوح غیرخطی است. مدل خطی معادل را می‌توان چنین نوشت:

$$\text{Max } F_T = \beta, \quad (18)$$

$$\beta \leq \left\{ \frac{\sum_o Q_{ko}}{\tilde{d}\lambda_k} \right\}, \quad (19)$$

محدودیت ۳ به این معناست که اجازه نمی‌دهند کالا را نگه دارند بلکه می‌بایست آن را ارسال کنند؛ همچنین نمی‌توان کالای ناموجود را ارسال کرد. محدودیت ۴ تضمین می‌کند که از ارسال کالاهای امدادی اضافی به نقاط آسیب‌دیده جلوگیری شود. محدودیت ۵ نشان‌گر معادله‌ی تعادل جریان برای هر کالا در هر مرکز توزیع امداد است و تضمین می‌کند که کل کالاهای وارد شده به یک مرکز توزیع امداد، از آن مرکز خارج شود. محدودیت ۶ بدین معناست که کل کالاهای در دسترس در نقاط تأمین، قابل ارسال به مراکز توزیع امدادند. محدودیت ۷ از ارسال بیشتر افراد به مراکز درمانی جلوگیری می‌کند. محدودیت‌های ۸ تا ۱۰ مربوط به ظرفیت‌اند و از ورود و خروج کالا به مراکز توزیع امدادی و ورود افراد به مراکز درمانی موقت که راه‌اندازی نشده‌اند جلوگیری می‌کنند. محدودیت‌های ۱۱ تا ۱۴ مربوط به ظرفیت وسایل نقلیه و تعداد آنهاست. محدودیت‌های ۱۵ تا ۱۷ مربوط به غیرمنفی بودن، عدد صحیح و صفر و ۱ بودن است.

$\tilde{c}_{irj}$ : هزینه‌ی انتقال هر واحد کالا از نقطه‌ی تأمین  $i$  توسط وسیله‌ی نقلیه‌ی  $r$  به مرکز توزیع امداد  $j$ ؛

$\tilde{c}_{jrk}$ : هزینه‌ی انتقال هر واحد کالا از مرکز توزیع امداد  $j$  توسط وسیله‌ی نقلیه‌ی  $r$  به نقطه‌ی آسیب  $k$ ؛

$\tilde{c}_{ko}$ : هزینه‌ی انتقال هر فرد از نقطه‌ی آسیب  $k$  به مرکز درمانی  $o$ ؛

$b\lambda_k$ : هزینه‌ی کمبود هر واحد کالا در نقطه‌ی آسیب  $k$ ؛

$b\lambda_k$ : هزینه‌ی عدم انتقال مصدومین در نقطه‌ی آسیب‌دیده  $k$ ؛

$\tilde{d}\lambda_k$ : میزان تقاضای کالای امدادی در نقطه‌ی آسیب‌دیده  $k$ ؛

$\tilde{d}\lambda_k$ : میزان تقاضای درمانی (تعداد مصدومین) نقطه‌ی آسیب  $k$ ؛

$\tilde{S}_i$ : میزان تأمین نقطه‌ی تأمین  $i$ ؛

$C a z_j$ : ظرفیت مرکز توزیع  $j$ ؛

$C a w_o$ : ظرفیت مرکز درمانی  $o$ ؛

$N_r$ : تعداد وسایل نقلیه در دسترس نوع  $r$ ؛

$C a p_r$ : ظرفیت وسیله‌ی نقلیه‌ی نوع  $r$ .

#### ۴.۲. متغیرهای تصمیم

$X_{irj}$ : میزان کالای منتقل شده از نقطه‌ی تأمین  $i$  توسط وسیله‌ی نقلیه‌ی  $r$  به مرکز توزیع  $j$ ؛

$Y_{jrk}$ : مقدار کالای منتقل شده از مرکز توزیع  $j$  توسط وسیله‌ی نقلیه‌ی  $r$  به نقطه‌ی آسیب‌دیده‌ی  $k$ ؛

$Q_{ko}$ : تعداد افراد منتقل شده از نقطه‌ی آسیب‌دیده‌ی  $k$  به مرکز درمانی  $o$ ؛

$Z_j$ : اگر مرکز توزیع امداد  $j$  جهت فعال شدن انتخاب شود برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر؛

$W_o$ : اگر مرکز درمانی  $o$  جهت فعال شدن انتخاب شود ۱ و در غیر این صورت صفر؛

$T_{irj}$ : تعداد وسایل نقلیه‌ی  $r$  بین نقطه‌ی تأمین  $i$  و مرکز توزیع  $j$ ؛

$V_{jrk}$ : تعداد وسایل نقلیه‌ی  $r$  بین مرکز توزیع  $j$  و نقطه‌ی آسیب‌دیده‌ی  $k$ .

#### ۵.۲. توابع هدف و محدودیت‌ها

$$\begin{aligned} \text{Min } \tilde{F} = & \sum_j \tilde{f}_j Z_j + \sum_o \tilde{h}_o W_o + \sum_{i,r,j} \tilde{a}_r T_{irj} + \sum_{j,r,k} \tilde{a}_r V_{jrk} \\ & + \sum_{i,r,j} \tilde{c}_{irj} X_{irj} + \sum_{j,r,k} \tilde{c}_{jrk} Y_{jrk} + \sum_{k,o} \tilde{c}_{ko} Q_{ko} \\ & + \sum_k b\lambda_k \left( \tilde{d}\lambda_k - \sum_j Y_{jrk} \right) \\ & + \sum_k b\lambda_k \left( \tilde{d}\lambda_k - \sum_o Q_{ko} \right), \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{Max } F_T = \min_k \left\{ \frac{\sum_o Q_{ko}}{\tilde{d}\lambda_k} \right\}, \quad (2)$$

S.t :

$$\sum_{j,k} Y_{jrk} \leq \min \left\{ \sum_i \tilde{S}_i, \sum_k \tilde{d}\lambda_k \right\}, \quad (3)$$

$$\sum_j Y_{jrk} \leq \tilde{d}\lambda_k, \quad \forall r, k \quad (4)$$

گام دوم. تعیین محدوده‌ی هر تابع هدف روی مجموعه‌ی کارا با محاسبه‌ی  $optimal$  و  $nadir$  برای هر تابع هدف. برای محاسبه‌ی  $a - optimal$  و  $X^{optimal}$  و  $W_1^{optimal}$  و  $X_1^{optimal}$  و  $W_1^{optimal}$  مدل دقیق برای هر تابع هدف باید جداگانه حل شود و سپس  $nadir$  برای هر تابع هدف از طریق روابط ۲۵ و ۲۶ قابل تخمین است:

$$W_1^{nadir} = \max \{W_1 | W_1 \leq W_1^{optimal} \& X \in f(x)\}, \quad (25)$$

$$W_1^{nadir} = \min \{W_1 | W_1 \leq W_1^{optimal} \& X \in f(x)\}, \quad (26)$$

گام سوم. تعیین تابع عضویت خطی برای هر تابع هدف از طریق:

$$\mu_1(X) = \begin{cases} 1, & \text{if } W_1 \leq W_1^{optimal} \\ \frac{W_1^{nadir} - W_1}{W_1^{nadir} - W_1^{optimal}}, & \text{if } W_1^{optimal} \leq W_1 \leq W_1^{nadir} \\ 0, & \text{if } W_1 \geq W_1^{optimal} \end{cases} \quad (27)$$

$$\mu_2(X) = \begin{cases} 1, & \text{if } W_1 \geq W_1^{optimal} \\ \frac{W_1 - W_1^{nadir}}{W_1^{optimal} - W_1^{nadir}}, & \text{if } W_1^{nadir} \leq W_1 \leq W_1^{optimal} \\ 0, & \text{if } W_1 \leq W_1^{nadir} \end{cases} \quad (28)$$

گام چهارم. تبدیل مدل قطعی چند هدفه به مدل تک هدفه براساس روش محدودیت  $\epsilon$ .

$$\text{Max } \mu_1(X)$$

s.t :

$$\mu_2(X) \geq \epsilon, \quad X \in f(x), \quad \epsilon \in [0, 1], \quad (29)$$

گام پنجم. تغییر مقدار  $\epsilon$  برای تولید جواب‌های بهینه‌ی مختلف.

گام ششم. اگر تصمیم‌گیرنده با یکی از جواب‌های تولیدشده موافق باشد، آن را قبول می‌کند و حل فرض شده را به عنوان تصمیم آخر انتخاب خواهد کرد. در غیراین صورت محدوده‌ی مورد قبول خود را تغییر می‌دهد و به گام ۵ بازمی‌گردد.

### ۳.۳. تبدیل تابع هدف هزینه‌ی کل نادقیق و محدودیت‌های نادقیق

در این مرحله تابع هدف اول مسئله، با استفاده از رابطه‌ی ۲۱ به یک مسئله‌ی قطعی تبدیل می‌شود.

$$\text{Min } F_1 = \sum_j \left( \frac{f_j^u + 2f_j^m + f_j^p}{4} \right) Z_j + \sum_o \left( \frac{h_o^u + 2h_o^m + h_o^p}{4} \right) W_o + \sum_{i,r,j} \left( \frac{a_r^u + 2a_r^m + a_r^p}{4} \right) T_{irj}$$

### ۳. رویکرد حل دو مرحله‌ی

برای حل مدل دوهدفه‌ی فازی پیشنهادی، یک رویکرد دومرحله‌ی ارائه شده است. در مرحله‌ی اول از روش جیمینز<sup>[۳۰]</sup> برای تبدیل مدل غیرقطعی به مدل قطعی استفاده شده است. در مرحله‌ی دوم از روش محدودیت اِپسیلون اصلاح شده برای یافتن جواب نهایی استفاده شده است.

#### ۱.۳. مرحله‌ی ۱

در مرحله‌ی اول یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی غیرقطعی فازی به مدل قطعی و معین تبدیل می‌شود. روش جیمینز مبتنی بر مفهوم ریاضی قوی از قبیل فاصله‌ی مورد انتظار و امید ریاضی اعداد فازی است. همچنین این روش از نظر الگوریتمی برای حل مسائل خطی فازی کاراست که می‌تواند خطی‌پذیری آنها را حفظ کند و در عین حال بر تعداد تابع هدف و محدودیت‌های نامساوی نیفزاید. فرض می‌شود که  $\tilde{c}$  یک عدد فازی مثلثی است و  $c^u$ ،  $c^m$  و  $c^p$  نیز سه نقطه‌ی به ترتیب احتمال، بدینانه و خوش‌بینانه هستند. دو معادله‌ی ۲۰ و ۲۱ نشان‌دهنده‌ی فاصله‌ی مورد انتظار و امید ریاضی عدد مثلثی  $\tilde{c}$  است.

$$EI(\tilde{c}) = [E_1^c, E_1^c] = \left[ \frac{1}{3}(c^u + c^m), \frac{1}{3}(c^m + c^p) \right], \quad (20)$$

$$EV(\tilde{c}) = \frac{E_1^c + E_1^c}{2} = \frac{c^u + 2c^m + c^p}{4}, \quad (21)$$

حال مدل برنامه‌ریزی ریاضی فازی در نظر گرفته می‌شود که پارامترهای آن عدد فازی مثلثی باشد.

$$\text{Min } Z = \tilde{c}^t x$$

$$\text{s.t } \tilde{a}_i x \geq \tilde{b}_i, \quad i = 1, \dots, k \quad (22)$$

طبق روش جیمینز محدودیت مدل بالا را می‌توان چنین نوشت:

$$[(1 - \alpha)E_1^{a_i} + \alpha E_1^{a_i}] x \geq \alpha E_1^{b_i} + (1 - \alpha)E_1^{b_i}, \quad (23)$$

که در آن  $\alpha$  کم‌ترین درجه‌ی قابل قبول پذیرش است که توسط فرد تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود. در نتیجه به کمک تعاریف فاصله‌ی مورد نیاز و امید ریاضی اعداد مثلثی فازی، مدل قطعی ۲۲ با پارامتر  $\alpha$  را چنین می‌نویسند:

$$\text{Min } EV(\tilde{c})x$$

s.t :

$$[(1 - \alpha)E_1^{a_i} + \alpha E_1^{a_i}] x \geq \alpha E_1^{b_i} + (1 - \alpha)E_1^{b_i}, \quad i = 1, \dots, k, \quad x \geq 0 \quad (24)$$

#### ۲.۳. مرحله‌ی ۲: رویکرد حل فازی تعاملی

در ادامه‌ی روش حل فازی، براساس روش محدودیت اِپسیلون عمل خواهد شد که قادر است تصویر مناسبی از جواب‌های پارتویی برای تصمیم‌گیرنده ایجاد کند و سپس تصمیم‌گیرنده قادر به انتخاب بهترین جواب خواهد بود. گام‌های روش پیشنهادی خلاصه‌وار عبارت است از:

گام اول. تبدیل مدل چندهدفه‌ی فازی به مدل قطعی و معین، توسط روش جیمینز.

به‌کارگیری رویکرد حل پیشنهادی و تغییر پارامترهای حساس مدل، خروجی مسئله مورد بررسی قرار گرفته است.

#### ۱.۴. تشریح مطالعه‌ی موردی

طبق بررسی‌های انجام شده، شش نقطه‌ی تأمین (گرگان، ساری، قزوین، سمنان، اراک و اصفهان)، شش نقطه‌ی کاندید برای راه‌اندازی مراکز توزیع امداد، هفت نقطه‌ی آسیب‌پذیر و شش نقطه‌ی کاندید برای راه‌اندازی مراکز درمانی موقت در نظر گرفته شده است.

ظرفیت شش نقطه‌ی کاندید مراکز توزیع امداد شهرهای گرگان، ساری، قزوین، سمنان، تهران غرب و کاشان یکسان و برابر ۵۵۰۰۰۰ فرض شده است. برای مراکز درمانی موقت در شهرهای ساری، بابل، رشت، تهران غرب، قم و کرج، این ظرفیت برابر ۲۰۰۰ فرض شده است. جدول ۱ نشان‌دهنده‌ی مقدار کالای موجود در هر یک از نقاط تأمین است. در جدول ۲ و ۳، به ترتیب میزان تقاضای کالاها و میزان تقاضای درمانی برای هر نقطه‌ی آسیب‌دیده ارائه شده است.

هزینه‌ی راه‌اندازی مراکز توزیع و مراکز درمانی به ترتیب برابر عدد فازی مثلی (۹، ۱۰، ۱۲) و (۱۸، ۲۰، ۲۴) برحسب صد هزار واحد فرض شده است. دو نوع وسیله‌ی نقلیه (خاور و تک) در نظر گرفته شده که به ترتیب هزینه‌های ثابت اختصاص وسیله‌ی ۱ و ۲ برابر عدد فازی مثلی (۹، ۱۰، ۱۲) و (۱۵، ۲۰، ۲۵) برحسب صد هزار واحد است. همچنین تعداد وسیله‌ی نقلیه‌ی نوع ۱ برابر ۱۰۰۰ عدد و نوع ۲ برابر ۴۰۰ عدد است؛ ظرفیت هر کدام به ترتیب ۳۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ فرض شده است. برآورد هزینه‌های حمل و نقل بین دو نقطه میثنی است بر فاصله‌ی بین دو نقطه و هزینه‌ی جریمی‌ی نرسیدن کالاها را از مناطقی آسیب‌پذیر به مراکز درمانی به دلیل اهمیت موضوع حفظ جان افراد، عددی بزرگ (معادل ۵۰۰۰) در نظر گرفته شده است.

#### ۲.۴. نتایج و یافته‌ها

در این بخش، نتایج محاسباتی و یافته‌ها ارائه شده است. مسئله مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار GAMS ۲۳٫۷ روی رایانه‌ی با مشخصات ۴GB RAM و Core i۷ CPU اجرا شده است. کم‌ترین درجه‌ی پذیرش در بین سه گزینه ۰٫۷، ۰٫۹ و بررسی شده است.

در جدول ۴، جواب‌های پارتویی برای مسئله‌ی مورد بررسی ارائه شده است. چنان‌که مشاهده می‌شود، با افزایش  $\alpha$  مقدار تابع هدف اول و دوم بیشتر شده است؛

جدول ۱. میزان کالای موجود در نقاط تأمین (۱۰۰۰\*).

نقاط تأمین	$S(S_p, S_m, S_u)$
گرگان	(۳۴۰, ۴۰۰, ۵۰۰)
ساری	(۳۸۲, ۴۵۰, ۵۶۲)
قزوین	(۵۱۰, ۶۰۰, ۷۵۰)
سمنان	(۴۲۵, ۵۰۰, ۶۲۵)
اراک	(۵۹۵, ۷۰۰, ۸۷۵)
اصفهان	(۵۹۵, ۷۰۰, ۸۷۵)

$$\begin{aligned}
 & + \sum_{j,r,k} \left( \frac{a_r^u + 2a_r^m + a_r^p}{4} \right) V_{jrk} \\
 & + \sum_{i,r,j} \left( \frac{c_{irj}^u + 2c_{irj}^m + c_{irj}^p}{4} \right) X_{irj} \\
 & + \sum_k b \lambda_k \left( \left( \frac{d \lambda_k^u + 2d \lambda_k^m + d \lambda_k^p}{4} \right) - \sum_j Y_{jrk} \right) \quad (30)
 \end{aligned}$$

معادلات فازی مدل (محدودیت‌های ۲، ۳، ۴، ۶، ۷، ۱۴) نیز با کمک روابط ۲۳ به حالت قطعی تبدیل می‌شود.

$$\begin{aligned}
 \sum_{j,k} Y_{jrk} \leq \min \left( \sum_i \alpha \left( \frac{S_i^p + S_i^m}{4} \right) + (1 - \alpha) \left( \frac{S_i^m + S_i^u}{4} \right), \right. \\
 \left. \sum_i \alpha \left( \frac{d \lambda_k^p + d \lambda_k^m}{4} \right) + (1 - \alpha) \left( \frac{d \lambda_k^m + d \lambda_k^u}{4} \right) \right), \quad (31)
 \end{aligned}$$

$$\sum_{j,k} Y_{jrk} \leq \alpha \left( \frac{d \lambda_k^p + d \lambda_k^m}{4} \right) + (1 - \alpha) \left( \frac{d \lambda_k^m + d \lambda_k^u}{4} \right), \quad (32)$$

$$\sum_j X_{irj} \leq \alpha \left( \frac{S_i^p + S_i^m}{4} \right) + (1 - \alpha) \left( \frac{S_i^m + S_i^u}{4} \right), \quad (33)$$

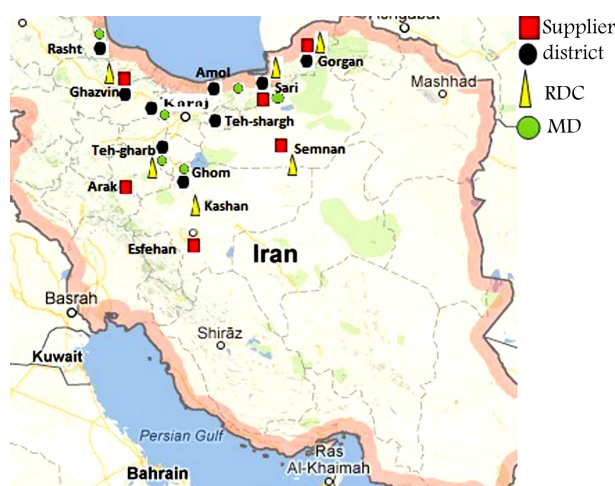
$$\sum_o Q_{ko} \leq \alpha \left( \frac{d \lambda_k^p + d \lambda_k^m}{4} \right) + (1 - \alpha) \left( \frac{d \lambda_k^m + d \lambda_k^u}{4} \right), \quad (34)$$

$$\beta \leq \frac{\sum_o Q_{ko}}{(1 - \alpha) \left( \frac{d \lambda_k^m + d \lambda_k^u}{4} \right) + \alpha \left( \frac{d \lambda_k^p + d \lambda_k^m}{4} \right)}, \quad (35)$$

محدودیت‌های غیرفازی مدل پایه به همان صورت باقی می‌مانند.

#### ۴. مطالعه‌ی موردی

در این بخش مطالعه‌ی موردی برای نشان‌دادن کارایی و اثربخشی مدل و راه حل پیشنهادی ارائه شده است. منطقه‌ی مورد مطالعه در شکل ۲ شامل نقاط تأمین، مراکز توزیع، مراکز درمانی موقت و نقاط آسیب‌دیده در نظر گرفته شده است. با



شکل ۲. مطالعه‌ی موردی: نقاط تأمین، مراکز توزیع، مراکز درمانی، و نقاط آسیب‌دیده.

جدول ۲. میزان تقاضای کالا در نقاط آسیب دیده (۱۰۰۰\*).

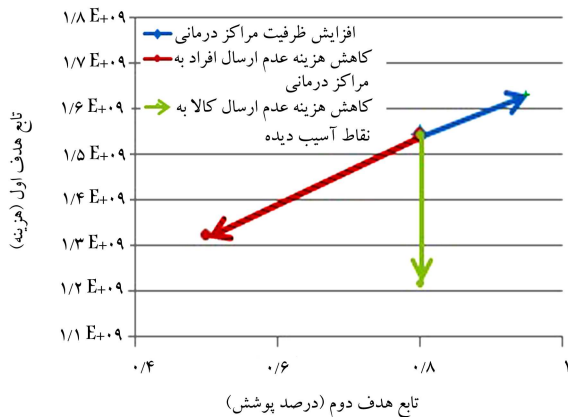
قم	کرج	تهران شرق	تهران غرب	رشت	آمل	ساری	تقاضا
(۳۳۰, ۴۰۵, ۴۸۰)	(۳۵۰, ۴۳۷, ۵۲۵)	(۸۸۰, ۱۰۸۰, ۱۲۸۰)	(۱۲۱۵, ۱۴۸۵, ۱۷۱۰)	(۲۵۰, ۳۰۰, ۳۲۰)	(۱۷۰, ۲۱۲, ۲۵۵)	(۲۲۵, ۲۷۰, ۳۱۵)	$d1(d1_p, d1_m, d1_u)$

جدول ۳. تعداد افراد آسیب دیده در نقاط تقاضا (۱۰۰۰\*).

قم	کرج	تهران شرق	تهران غرب	رشت	آمل	ساری	تقاضا
(۱۰, ۱۵, ۲۰)	(۱۷, ۳۰, ۳۲)	(۱۵, ۲۰, ۲۲)	(۱۹, ۲۲, ۲۵)	(۲۰, ۲۲, ۲۵)	(۱۲, ۵, ۱۵, ۱۷, ۵)	(۱۸, ۲۰, ۲۲)	$d2(d2_p, d2_m, d2_u)$

جدول ۴. جواب‌های پارتویی حاصل از حل مسئله.

$F_1$	$F_2$	$\mu_1(x)$	$\varepsilon = \mu_2(x)$	$\alpha$
$1,06e+9$	$0,7504$	$0,9998$	$0,2$	$0,5$
$1,08e+9$	$0,7592$	$0,9885$	$0,4$	
$1,10e+9$	$0,7681$	$0,9442$	$0,6$	
$1,12e+9$	$0,7769$	$0,8112$	$0,8$	$0,7$
$1,28e+9$	$0,7630$	$0,9998$	$0,2$	
$1,30e+9$	$0,7695$	$0,9889$	$0,4$	
$1,32e+9$	$0,7759$	$0,9442$	$0,6$	$0,9$
$1,34e+9$	$0,7824$	$0,8111$	$0,8$	
$1,48e+9$	$0,7767$	$0,9998$	$0,2$	
$1,50e+9$	$0,7805$	$0,9886$	$0,4$	$0,9$
$1,52e+9$	$0,7844$	$0,9442$	$0,6$	
$1,54e+9$	$0,7882$	$0,8113$	$0,8$	



شکل ۳. روند تغییر دو تابع هدف با تغییر پارامترهای ظرفیت و هزینه.

معناست که کالا توسط تک ۲ از نقطه‌ی تأمین ساری به تهران غرب فرستاده شده است.

در این حالت به دلیل کم بودن ظرفیت‌های مراکز توزیع، هر شش مرکز توزیع انتخاب شده است تا بیشترین کالا را به نقاط آسیب دیده برسانند. همچنین کالاها به تمامی مناطق آسیب دیده رسیده و بیشتر تقاضای کالا برآورده شده است.

جدول ۵ نشان‌دهنده‌ی میزان کالا و تعداد وسایل نقلیه است، به طور مثال تعداد کالا از نقطه‌ی تأمین ساری توسط ۱۳ خاور به مرکز توزیع ساری و ۱۱۴۶۲۵ کالا توسط ۶ دستگاه خاور به گرگان و همچنین توسط ۶ دستگاه تک به تعداد ۷۸۵۰۰ کالا به تهران غرب فرستاده می‌شود؛ زیرا فاصله‌ی بین این نقاط نسبت به مراکز دیگر کم‌تر است. با توجه به جدول ۶ به تعداد ۱۱۴۶۲۵ کالا توسط ۶ دستگاه خاور از ساری به مراکز آسیب‌دیده‌ی آمل فرستاده می‌شود. همچنین در جداول ۵ و ۶ مشاهده می‌شود که از وسیله‌ی نقلیه‌ی ۲ (تک) یک بار استفاده شده است؛ زیرا هزینه‌ی اختصاص ثابت این وسیله بسیار بالاست و تعداد آن نیز کم‌تر است؛ در حالی که تعداد وسیله‌ی نقلیه‌ی ۱ (خاور) هم از نظر تعداد بیشتر است و هم هزینه‌ی کم‌تری دارد. اما با کاهش تعداد وسیله‌ی نقلیه‌ی ۱ که هزینه‌ی اختصاص ثابت کم‌تری دارد مدل مجبور می‌شود که از این وسیله نیز استفاده کند و چون ظرفیت این وسیله بیشتر از وسیله‌ی نقلیه‌ی ۱ است، تعداد کم‌تری نیاز دارد که در این حالت هزینه‌ی کم‌تری به تابع هدف اول اضافه می‌شود. همچنین افراد آسیب‌دیده به نزدیک‌ترین مرکز درمانی فرستاده می‌شوند. به عنوان مثال با توجه به جدول ۷، تعداد ۱۹۲۰ نفر از افراد آسیب‌دیده‌ی ساری به مراکز درمانی ساری و ۱۹۵۳ نفر در تهران غرب به مراکز درمانی تهران غرب فرستاده می‌شوند.

در ادامه تحلیل حساسیت در مورد ظرفیت مراکز درمانی، هزینه‌ی عدم ارسال کالا به مراکز توزیع و هزینه‌ی عدم ارسال افراد آسیب‌دیده به مراکز درمانی انجام شده است. با توجه به شکل ۳، با افزایش ۲۰ درصدی ظرفیت مراکز درمانی،

زیرا هرچه برنامه‌ریزان بخواهند با درجه اطمینان بالاتری با عدم قطعیت روبرو شوند می‌بایست مقدار بیشتری کالا فرستاده شود که این امر سبب افزایش هزینه‌ها خواهد شد. از سوی دیگر، تعداد افراد بیشتری به مراکز درمانی فرستاده می‌شوند و در نتیجه درصد پوشش مناطق از نظر انتقال افراد افزایش می‌یابد.

همچنین با توجه به این که هدف اول کمینه‌سازی و هدف دوم بیشینه‌سازی است، از روند جواب در جدول ۴ استنباط می‌شود که دو تابع هدف با هم در تعارض اند؛ زیرا با افزایش درصد پوشش، هزینه‌ها افزایش می‌یابد.

در جدول ۴ کاهش مقدار  $\mu_1(x)$  بدین معناست که هدف اول کم‌تر ارضا می‌شود و در این حالت تعداد بیشتری از مراکز توزیع و مراکز درمانی فعال می‌شوند و با افزایش آن به سمت ۱ از تعداد مراکز توزیع و درمانی کاسته می‌شود. زمانی که مقدار  $\mu_2(x)$  به سمت صفر می‌رود، یعنی هدف دوم کم‌تر ارضا شده است. در این حالت تعداد کم‌تری از افراد آسیب‌دیده به مراکز درمانی فرستاده می‌شوند.

با توجه به ماهیت مسئله و نظر برنامه‌ریزان و خبرگان  $\alpha = 0,9$  و مقدار  $\varepsilon = 0,8$  انتخاب می‌شود که در این حالت میزان پوشش برای رساندن افراد آسیب‌دیده به مراکز درمانی ۸۰ درصد شده و هر شش مرکز درمانی در شهرهای ساری، بابل، رشت، تهران غرب، قم و کرج فعال شده است. در این انتخاب تصمیم‌گیرنده سعی دارد تا با ریسک کم‌تری با عدم قطعیت مواجه شود. مقدار متغیرهای تصمیم مدل در جداول ۵ تا ۷ آورده شده است. در جدول ۵، به عنوان مثال، عدد ۱۴۴۰۰۰ بدین معنی است که کالا از نقطه‌ی تأمین ساری با خاور ۱ به مرکز توزیع گرگان فرستاده شده است. همچنین عدد ۷۸۵۰۰ بدین

جدول ۵. میزان کالای ارسالی و تعداد وسایل مورد نیاز از نقاط تأمین  $i$  با وسیله‌ی  $m$  به مراکز توزیع  $j$ .

$i$	$j$				
	کاشان	تهران غرب	سمنان	قزوین	ساری
ساری ۱					۱۳ - ۱۴۴۰۰۰
ساری ۲		۶ - ۷۸۵۰۰			۶ - ۱۱۴۶۲۵
قزوین ۱				۸ - ۱۵۳۲۵۰	
سمنان ۱			۴ - ۷۷۸۰۰		
اراک ۱					۱۲ - ۲۳۶۱۲۵

جدول ۶. میزان کالای ارسالی و تعداد وسایل نقلیه‌ی مورد نیاز از مراکز توزیع  $j$  با وسیله‌ی  $m$  به نقاط آسیب‌دیده‌ی  $k$ .

$j$	$k$				
	ساری	تهران غرب	امل	رشت	تهران شرق
گرگان ۱	۱۳ - ۱۴۴۰۰۰				
ساری ۱			۶ - ۱۱۴۶۲۵		۶ - ۷۸۵۰۰
قزوین ۱				۱۳ - ۱۵۳۲۵۰	۱۶ - ۲۱۷۵۰۰
سمنان ۱		۶ - ۷۷۸۰۰			
تهران غرب ۱					۱۶ - ۲۳۶۱۲۵
تهران غرب ۲		۶ - ۷۸۵۰۰			
کاشان ۱					۱۵ - ۲۱۷۵۰۰

مراکز درمانی مقدار تابع هدف دوم افزایش یافته است و لذا به مقدار تابع هدف اول نیز اضافه شده است؛ زیرا افراد بیشتری به مراکز درمانی فرستاده شده‌اند. همچنین با کاهش هزینه‌ی عدم ارسال افراد به مراکز درمانی افراد کم‌تری به این مراکز فرستاده شده‌اند، از این‌رو تابع هدف اول کاهش یافته که منجر به کاهش تابع هدف دوم شده است. به علاوه با کاهش هزینه‌ی عدم ارسال کالا به نقاط آسیب‌دیده تغییری در تابع هدف دوم ایجاد نشده و از مقدار تابع هدف اول کاسته شده است.

جدول ۷. تعداد افراد منتقل شده از نقاط آسیب‌دیده‌ی  $k$  به مراکز درمانی  $o$ .

$o$	$k$			
	ساری	تهران غرب	بابل	رشت
ساری	۱۹۲۰			
تهران غرب		۱۹۵۳		
رشت			۲۰۰۰	
تهران شرق			۶۰۰	۸۲۷
کرج		۴۷		۲۰۰۰
قم				۱۱۷۳
امل			۱۴۰۰	

تعداد بیشتری از افراد آسیب‌دیده به مراکز درمانی فرستاده شده‌اند. به‌عنوان مثال، در این حالت تعداد افرادی که از نقطه‌ی آسیب‌دیده‌ی تهران غرب به مرکز درمانی تهران غرب فرستاده می‌شود به اندازه ۳۳ نفر افزایش یافت. همچنین در حالت قبلی از تهران شرق به تهران غرب افرادی فرستاده نشده است، ولی با افزایش ظرفیت مراکز درمانی از تهران شرق به تهران غرب ۱۰۱۴ نفر فرستاده شده است.

چنان‌که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، با کاهش هزینه‌ی جریمه‌ی ناشی از عدم انتقال افراد آسیب‌دیده به مراکز درمانی، تعداد کم‌تری از این مراکز احداث می‌شود و افراد کم‌تری به آنجا فرستاده می‌شوند؛ زیرا هم هزینه‌ی احداث این مراکز درمانی و هم هزینه‌ی انتقال افراد بالاست.

با کاهش هزینه‌های کمبود کالا در نقاط آسیب‌دیده، تعداد مراکز توزیع کم‌تری احداث و مقدار کم‌تری کالا نیز به این مراکز فرستاده می‌شود، در نتیجه مقدار تابع هدف اول نیز کاهش می‌یابد. محتوای شکل ۳ نشان می‌دهد که با افزایش ظرفیت

## ۵. نتیجه‌گیری

در این نوشتار یک مدل جدید چندهدفه‌ی فازی برای طراحی شبکه‌ی لجستیک امداد بلایا تحت شرایط عدم قطعیت فازی ارائه شد. به ساختار شبکه‌ی لجستیک پیشنهادی - علاوه بر نقاط تأمین، مراکز توزیع امداد، نقاط آسیب - بحث تخلیه‌ی افراد آسیب‌دیده از منطقه‌ی خطر و ارسال به مراکز درمانی موقت و نوع وسایل حمل و نقل نیز اضافه شده است. مدل چندهدفه شامل کمینه‌کردن هزینه‌های لجستیکی و بیشینه‌کردن رضایت‌مندی مناطق آسیب‌دیده از طریق تخلیه‌ی مجروحین از محل حادثه است. اغلب در شرایط بروز بلایای طبیعی، پارامترهایی نظیر تقاضا، عرضه، هزینه‌های حمل و نقل و دیگر هزینه‌ها به‌طور دقیق معلوم نیست و دارای عدم قطعیت فازی فرض شده‌اند. در ادامه، مدل پیشنهادی با یک رویکرد دومرحله‌ی فازی برای مطالعه‌ی موردی در منطقه‌ی ایران حل شده و نتایج آن مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

از جمله مواردی که می‌توان در تحقیقات آتی مورد نظر قرار داد عبارت‌اند از:

۱. ملاحظه‌ی بعد زمان در فاز پاسخ و مدل‌سازی مسئله در حالت پویای تقاضای اقلام امدادی و نیز تعداد تلفات؛
۲. در نظر گرفتن مدیریت موجودی کالاهای امدادی و مسیر یابی وسایل نقلیه.



## (References) منابع

1. UNDRO, *An Overview of Disaster Management Disaster Management Training Program*, Second Edition, UNDP/UNDRO, New York (1992).
2. Van Wassenhove, L.N. and Martinez, A.J.P. "Using OR to adapt supply Chain management to humanitarian logistics", *International Transactions in Operational Research*, DOI:10.1111/j.1475-3995.2010.00792.x, 20.
3. Altay, N. and Green, W.G. "OR/MS research in disaster operations management", *European Journal Operational Research*, **175**, pp. 475-493 (2006).
4. Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C. and Bergman, L. "The location of emergency service facilities", *Operations Research*, **19**, pp. 1363-1373 (1971).
5. Bakuli, D.L. and Smith, J.M. "Resource allocation in state-dependent emergency evacuation networks", *European Journal of Operational Research*, **89**, pp. 543-555 (1996).
6. Brotcorne, L., Laporte, G. and Semet, F. "Ambulance location and relocation models", *European Journal of Operational Research*, **147**, pp. 451-463 (2003).
7. Akkihal, A. "Inventory pre-positioning for humanitarian operations", Thesis for Degree of Master of Engineering in Logistics, MIT CTL (2006).
8. Jia, H., Ordonez, F. and Dessouky, M. "A modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies", *IIE Transactions*, **39**, pp. 41-55 (2007).
9. Tzeng, G.H., Cheng, H.J. and Huang, T.D. "Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems", *Transportation Research*, **43**, pp. 673-686 (2007).
10. Yi, W. and Kumar, A. "Ant colony optimization for disaster relief operations", *Transportation Research*, **43**, pp. 660-672 (2007).
11. Sheu, J.B. "An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters", *Transport Research*, **43**, pp. 687-709 (2007).
12. Balcik, B. and Beamon, B.M. "Facility location in humanitarian relief", *International Journal of Logistics, Research and Applications*, **11**, pp. 101-121 (2008).
13. Carmen, G. and Mark, A. "Pre-positioning of emergency supplies for disaster response", *Transportation Research*, **44**, pp. 521-534 (2010).
14. Campbell, A.M. and Jones, P. "Prepositioning supplies in preparation for disasters", *European Journal of Operational Research*, **209**, pp. 156-165 (2011).
15. Davis, T. "Effective supply chain management", *Sloan Management Review*, **34**, pp. 35-46 (1993).
16. Najafi, M., Eshghi, K. and Dullaert, W. "A multi-objective robust optimization model for logistics planning in the earthquake response phase" *Transportation Research*, **49**, pp. 217-249 (2013).
17. Chang, M.S, Tseng, Y.L. and Chen, J.W. "A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty", *Transportation Research*, **43**, pp. 737-754 (2007).
18. Salmeron, J. and Apte, A. "Stochastic optimization for natural disaster asset prepositioning", *Production and Operation Management*, **19**, pp. 561-574 (2010).
19. Zhan, S. and Liu, N. "A multi-objective stochastic programming model for emergency logistics based on goal programming", In: *Proceedings of the 2011 Fourth International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, IEEE Computer Society, USA* (2011).
20. Rottkemper, B., Fischer, K. and Blecken, A. "A transshipment model for distribution and inventory relocation under uncertainty in humanitarian operations", *Socio-Economic Planning Sciences*, **46**, pp. 98-109 (2011).
21. Bozorgi-Amiri, A., Jabalameli, M.S., Alinaghian M. and Heydari, M. "A modified particle swarm optimization for disaster relief logistics under uncertain environment", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **60**, pp. 357-371 (2012).
22. Davis, L. and Samanlioglu, F. "Inventory planning and coordination in disaster relief efforts", *International Journal of Production Economics*, **141**, pp. 561-573 (2013).
23. Bozorgi, A., Jabalameli, M.S. and Mirzapour Al-Hashem, S.M.J "A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty", *OR Spectrum*, **35**, pp. 905-933 (2013).
24. Chung, F., Wu, J. and Lee, C. "Greedy-search-based multi-objective genetic algorithm for emergency logistics scheduling", *Expert Systems with Applications*, **41**, pp. 2974-2956 (2014).
25. Rennemo, S., Hvattom, L. and Ro, K. "A three-stage stochastic facility routing model for disaster response planning", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **62**, pp. 116-135 (2014).
26. Abounacer, R., Rekik, R. and Renaud, J. "An exact solution approach for multi-objective location-transportation problem for disaster response", *Computers & Operations Research*, **41**, pp. 83-93 (2014).
27. Bozorgi-Amiri, A., Jabalameli, M.S. and Heydari, M. "A multi-objective possibilistic programming model for relief logistics problem", *International Journal of Industrial Engineering and Production Management*, **22**, pp. 66-76 (2011).
28. Zimmermann, H.J. "Fuzzy programming and linear programming with several objective functions", *Fuzzy Sets and Systems*, **1**, pp. 45-55 (1978).
29. Bozorgi-Amiri, A., Jabalameli, M.S., Heydari, M. and Karimi-raad, Z. "A single-objective possibilistic programming approach for humanitarian logistics modeling", *Future Management*, **25**, pp. 83-96 (2010).
30. Jimenez, M., Arenas, M., Bilbao, A. and Rodriguez, M.V. "Linear programming with fuzzy parameters: An interactive method resolution", *European Journal Operational Research*, **177**, pp. 1599-1609 (2007).