فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۲، ش. ۲، زمستان ۱۳۹۹، ص. ٤١٩-٤٤٠
مقاله پژوهشی

مساله مسیریابی کمک های امدادی بشردوستانه مبتنی برقابلیت اطمینان مسیر واختلال وسیله نقلیه درشرایط عدم قطعیت

زهراغریب زانوس، دانش آموخته دکتری، گروه‌مهندسی‌صنایع، دانشکده فنی–مهندسی، دانشگاه آزاداسلامی، واحد علوم وتحقیقات،تهران،ایران

رضا توکلی مقدم، استاد، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

علی بزرگی امیری (مسئول مکاتبات)، دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

سید اسماعیل نجفی، استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی – مهندسی، دانشگاه آزاداسلامی، واحد علوم وتحقیقات، تهران، ایران
E-mail: alibozorgi@ut.ac.ir

دریافت: ۱۳۹٦/۰۵/۲۳ پذیرش: ۱۳۹٦/۱۲/۱۳

چکیده:

بلایای طبیعی همچون سیل زلزله و غیره شبکه های حمل و نقل را در معرض آسیب های جدی قرار می دهند و ارائه یک رویکرد علمی مناسب برای مدیریت لجستیک بحران، امری ضروری در جهت کاهش صدمات جانی و خسارات مالی است. در زمان بروز حوادث و بلایای طبیعی اساسی ترین نیاز حادثه دیده گان امدادرسانی به موقع است لجستیک باعث هماهنگی بیشتر برای تحویل کالاهای امدادی و افزایش سرعت تحویل و کاهش زمان پاسخ‌گویی می شود. لذا در این مقاله مدل ریاضی چندهدفه، برای مساله مسیریابی وسیله نقلیه چند انباره در عملیات توزیع کالای امدادی طراحی شده است. به منظور بالا بردن انعطاف پذیری سیستم توزیع کالای امداد وسایل نقلیه متفاوت در ظرفیت، سرعت، مصرف سوخت و غیره (وسایل نقلیه ناهمگن) در نظر گرفته شده‌اند. وقتی شدت بحران بسیار زیاد باشد مدیران بحران برای انجام صحیح و سریع عملیات امداد (حتی در صورت خرابی جاده یا شرایط بد جوی) از چندین حالت امدادرسانی مثل زمینی و هوایی بطور همزمان استفاده می کنند(چند حالته). از سویی دیگر به جهت سرعت بخشیدن به عملیات امداد، نقاط حادثه دیده با استفاده از ساختار انفیس خوشه‌بندی شده و سپس نقاط خوشه ها بر اساس عوامل موثر بر قابلیت اطمینان مسیر و با استفاده از روش ماتریس پرمننت اولویت بندی شدند. بروز اختلال درشبکه حمل و نقل که منجر به کاهش سرعت تحویل کالاهای امدادی می شود، اجتناب ناپذیراست، از این رو امکان بروز خرابی وسیله نقلیه تحت سناریوهای مختلف در نظر گرفته شده است. به دلیل ماهیت غیر قطعی بحران در مدل پیشنهادی تقاضا فازی در نظر گرفته شده است سپس این مدل فازی با استفاده از روش خیمنز به مدل قطعی تبدیل شده است. در نهایت مدل ریاضی پیشنهادی با استفاده از روش محدودیت اپسیلون توسعه یافته حل و نتایج ارائه گردید.

واژه های کلیدی: مسیریابی امداد، قابلیت اطمینان، اختلال، روش محدودیت اپسیلون توسعه یافته

۱. مقدمه

بلایای طبیعی به دلیل ماهیت غیرمنتظره بودن و وسعت وقایع، تنوع و مقدار تدارکات و خدمات مورد نیاز قربانیان، نیازمند بسیج فوری و اقدام ذینفعان متعدد است. تمرکز عملیات‌های امداد بحران بر طراحی حمل و نقل مواد کمک‌های اولیه، غذا، تجهیزات و پرسنل نجات از نقاط عرضه به تعداد زیادی از گره‌های مقصد که در سراسر ناحیه بحران از نظرجغرافیایی پراکنده شده‌اند و تخلیه و انتقال سریع افراد آسیب دیده از بحران به مراکز پزشکی و پناهگاه‌های امن می-باشد [Campose et al. 2012]. لذا از مسائل مهم و کارآمد درحمل و نقل بشردوستانه، مساله مسیریابی وسیله نقلیه امدادی است.

هدف یک مسأله مسیریابی وسایل نقلیه پیدا کردن مجموعه‌ای از مسیرها برای چندین وسیله نقلیه از یک (تک انباره) یا چندانبار(چند انباره) به تعدادی مشتری و برگشتن به انبار، بدون این که محدودیت ظرفیت هر وسیله نقلیه نقض شود، با حداقل هزینه است.[Adelzadeh et al. 2014] ازسویی دیگر بکارگیری وسایل نقلیه یکسان واز یک نوع بخصوص (وسیله نقلیه همگن) می‌تواند قابلیت اجرایی عملیات توزیع و سرعت پاسخگویی به حادثه دیدگان را کاهش دهد از این رو، درنظرگرفتن وسایل نقلیه‌ای که متفاوت درظرفیت، سرعت، مصرف سوخت وغیره (وسایل نقلیه ناهمگن) تا حد زیادی این مشکل را برطرف خواهد کرد. بدیهی است وقتی بحران در سطح بالایی رخ دهد، تصمیم گیرنده برای مدیریت صحیح وسریعتر بحران و بالابردن قابلیت انجام عملیات توزیع کالا (حتی درصورت خرابی جاده یا شرایط بدجوی)، ترجیح می‌دهد از وسیله نقلیه زمینی وهوایی و دریایی وریلی (چند حالته) بطور همزمان استفاده کند.

به منظور بالا بردن سرعت عملیات توزیع کالاو همچنین رعایت عدالت درتوزیع، مدیران به خوشه‌بندی نقاط حادثه دیده می‌پردازند تا از این طریق نقاط بحران دیده‌ای که دارای نیازها و خصوصیات مشترک هستند دریک خوشه قرارگیرند و سرعت عملیات بالا رود. در این راستا رویکردهای متفاوتی وجود دارد که یکی ازآن‌ها روش تلفیقی شبکه عصبی و فازی (انفیس) می‌باشد که این تلفیق موجب قدرتمند شدن این روش شده است [Cannon et al. 1986].

از آنجایی که اطمینان از شبکه حمل و نقل در زمان بحران بسیار حیاتی است و در نظر گرفتن مسیرهای مطمئن جهت جلوگیری از تاخیرهای غیرمنتظره و امنیت رانندگان و پرسنل امداد و ضمانت رسیدن به موقع کالای امدادی کار بسیار منطقی به نظر می‌رسد، در نتیجه می‌توان با اولویت بندی نقاط حادثه دیده براساس برخی معیارهای اثرگذار بر قابلیت اطمینان جاده به این مهم دست یابد.

سیستم توزیع به دلیل ماهیت شرایط بحران و نبود اطلاعات موثق، عدم قطعیت در تقاضا، عرضه، زمان حمل و نقل و غیره دچار کمبود خواهد شد. به منظور نزدیک‌سازی مدل به شرایط واقعی و همچنین احتمال بروز بحرآن‌های ثانویه (پس لرزه، سیل همزمان با زلزله و...) در زمان بحران، پارامترهای حیاتی همچون تقاضا به صورت فازی در نظر گرفته می شوند [Torabi et al. 2013; Alinaghian et al. 2014]. در مرحله پاسخ پس از بحران و اجرای عملیات توزیع حمل و نقل، معمولا اختلال توسط برخی وقایع رخ می‌دهد [Wang et al. 2010]. این اختلالات، گاهی اوقات به دلیل وقایع غیرمنتظره مثل: خرابی‌های وسیله نقلیه، ترافیک، تاخیر خروج از انبار یا هر نقطه خدمت رسانی، سفارشات جدید یا لغو سفارشات قبلی رخ می‌دهد [Mu and Eglese, 2013]. بطور خاص، خرابی وسایل نقلیه به

دلایل مختلف ازجمله بکارگیری بی رویه از آن وسیله، مستهلک بودن آن و غیره صورت می‌گیرد. از این رو برخی مشتریان نمی‌توانند خدمت را از آن وسیله نقلیه خراب شده دریافت کنند و حتی وسایل نقلیه فعال هم به دلیل تغییر شیفت رانندگان یا اتمام زمان تعریف شده نمی‌توانند کالاهای مانده در وسیله خراب را به مناطق تقاضا برسانند و آن‌ها بدون خدمت می‌مانند. [Minis et al. 2012] در نتیجه تقاضای برخی نقاط برآورده نخواهد شد.

راجر نات پیشقدم در طراحی عملیات امداد بحران در فاز پاسخ بود. او در دو سال متوالی (۱۹۸۷و ۱۹۸۸) مدل‌هایی را ارائه نمود که در آن ها به ترتیب کالاهای امدادی در قالب یک و چند بسته امدادی، از یک مرکز توزیع به چندین کمپ ارسال می‌شوند. این کار با در نظرگرفتن عدالت در توزیع کالا و با هدف حداقل کردن تقاضای برآورده نشده انجام شد [Knott,1987,1988].

ترابی و همکاران درسال ۲۰۱۳، مدل مسیریابی- مکان‌یابی ارائه دادند که درآن خرابی زیرساختهایی همچون جاده در نظر گرفته شد و کالاهای امدادی از چند انبار توسط وسایل نقلیه ناهمگن با هدف حداکثر کردن قابلیت اطمینان جاده و مسیر، به نواحی حادثه دیده ارسال می‌شوند. [Torabi et al. 2013]. حامدی و همکاران مدلی چندهدفه، چند انباره، چند حالته ارائه دادند که به طراحی شبکه توزیع کالا با در نظرگرفتن خرابی جاده پرداختند. [Hamedi et al. 2012] نصیری وهمکاران برای پاسخ سریع وایمن درپس ازبحران مدلی ارائه کرد که درآن مناطق حادثه دیده براساس معیارهای موثر بر قابلیت اطمینان مسیر اولویت بندی می‌شوند. وسایل نقلیه ناهمگن ازچند انبار کار توزیع یک بسته امدادی به مناطق حادثه دیده را برعهده خواهند داشت [Nasiri and ShisheGar, 2014]. مسعودی وهمکاران درسال ۱۳۹۳ مدل ریاضی مسیریابی چند هدفه‌ای را ارائه نمودند که به دنبال یافتن مسیر بهینه به منظور توزیع چندین کالا توسط وسایل نقلیه ناهمگن از چند انبار را تحت پنجره زمانی می‌باشد [Masoudi and Tavakkoli-Moghadam 2015]. کهفی وتوکلی مقدم درسال ۱۳۹٤ بادرنظرگرفتن ریسک مسیر مدل ریاضی مسیریابی وسیله نقلیه چند هدفه را پیشنهاد نمودند که دران وسایل نقلیه مشابه با ظرفیت‌های یکسان کارتوزیع کالا را انجام می‌دهند [Kahfi and Tavakkoli-Moghadam 2015]. از آنجایی که اختلال می‌تواند به حالتهای مختلفی بروز کند مثلا خرابی جاده، خرابی تسهیلات و تجهیزات، خرابی وسیله نقلیه و شرایط بدآب وهوایی وغیره، که هرکدام از این اختلالات، مشکلاتی را در سیستم توزیع کالا در زنجیره امداد بشر دوستانه، ایجاد می‌کنند می‌شود این اختلال-ها را با روشهای مختلف و برنامه ریزی مجدد، برطرف ساخت. وانگ و همکاران در حوزه غیربحران، خرابی وسیله نقلیه را به عنوان اختلال در خدمت رسانی به نقاط تقاضا معرفی کردند و فرض آن‌ها در این تحقیق این بود که اگر وسیله نقلیه حین توزیع کالا، قبل از اینکه کارخدمت رسانی خودش را به پایان برساند، دچارخرابی شود، سایر وسایل نقلیه فعال، می‌توانند وظیفه خدمت رسانی نقاط تقاضای مربوط به وسیله نقلیه خراب را انجام دهند تا از این طریق، هیچ نقطه تقاضایی بدون خدمت نماند [Wang et al. 2010].

میووهمکاران [Mu and Eglese, 2013]ومینیس و همکاران [Minis et al. 2012] و همچنین ممسیس وهمکاران [Mamasis et.al 2013]. مدلهای مسیریابی مختل شده‌ای را ارائه دادند که درآن، وسیله نقلیه حین توزیع کالاخراب شده و با مسیریابی مجدد سایر وسایل نقلیه، مشکل از رده خارج شدن وسیله نقلیه خراب شده را جبران می‌کنند و تقاضای نقاطی را که وسیله نقلیه باید خدمت رسانی می‌کرد را برآورده میکنند و از این طریق هزینه تاخیر در تحویل سفارش کاهش می‌یابد.

در جدیدترین تحقیقات صورت گرفته درحوزه مسیریابی امداد، گلی وهمکاران درسال ۲۰۱۵ مدل مسیریابی طراحی نمودند که درآن وسایل نقلیه همگن ازیک انبارکالا را به نقاط تقاضا توزیع می‌کنند و تقاضا فازی درنظر گرفته شده است. هدف این مدل حداقل کردن بیشینه زمان تحویل کالا به آخرین نقطه تقاضا است [Goli and Alinaghian, 2015] . آل سیب و همکاران در سال ۲۰۱۶ مدل مسیریابی را پیشنهاد نمودند که در فاز پاسخ وسایل نقلیه ناهمگن بسته امدادی را ازچندین انبار به صورت تحویل جزئی به مناطق حادثه دیده توزیع می‌کنند دراین تحقیق به منظور سرعت بخشیدن به عملیات امداد خوشه‌بندی افرادآسیب دیده و اولویت بندی کالاهای امدادی صورت گرفته است [Al Theeb and Murray, 2017] . با بررسی های صورت گرفته قبلی می‌توان دریافت که حتی با وجود اهمیت بالای قابلیت اطمینان و اختلال در توزیع کالای امدادی در زمان وقوع بحران باز هم محققین کمی به این امر توجه داشته‌اند و کمتر به دنبال رویکردهایی جهت سرعت بخشیدن به عملیات امداد ازجمله خوشه‌بندی و اولویت‌بندی مناطق حادثه دیده بوده‌اند؛ لذا در این مقاله، تلاش داریم مدلی ریاضی سه هدفه در فاز پاسخ، ارائه دهیم که درآن سیستم توزیع کالای حیاتی، دو نوع ناوگان حمل و نقل هوایی و زمینی بکارگرفته شده است و وسایل نقلیه ناهمگن هستند؛ یعنی متفاوت در سرعت، ظرفیت و مصرف سوخت. چندین انبار به عنوان مراکز توزیع در نظر گرفته شده و جهت تسریع در امر توزیع کالا، نواحی بحران زده با بکارگیری شبکه انفیس، خوشه‌بندی شدند و برای اطمینان از ارسال بی نقص و به موقع کالا به این نواحی، نقاط حادثه دیده در هر خوشه براساس معیارهای موثر بر قابلیت اطمینان مسیر، با بهره گیری از روش تلفیقی نظریه گراف- تصمیم گیری چند شاخصه–ماتریس پرمننت اولویت بندی شدند. در خوشه‌ای که مربوط به امداد زمینی است احتمال وقوع خرابی در وسیله نقلیه مطرح شده، به دنبال حداقل کردن کمبود کالای حیاتی پیش آمده بر اثر این اختلال تحت سناریوهای مختلف هستیم، تا از طریق حداقل کردن تقاضای برآورده نشده (کالای نرسیده به نقاط حادثه)، بر مبنای سناریوهای تولید شده، اختلال موجود کاهش یابد.

در ادامه، ابتدا خوشه‌بندی و اولویت بندی نقاط حادثه دیده با روشهای پیشنهاد شده تشریح خواهد شد و سپس بیان مساله و مدل ریاضی پیشنهادی ارائه می‌گردد. به منظور حل مدل، روش محدودیت اپسیلون توسعه یافته توضیح داده شده و نتایج حاصل از حل مدل با این روش پیشنهادی ارائه می‌گردد و در نهایت به جهت بررسی کارایی مدل نتایج حاصل از تحلیل حساسیت گزارش می‌شود و نتیجه گیری کلی از تحقیق صورت می‌گیرد.

۲. خوشه‌بندی واولویت بندی نقاط حادثه دیده

۲-۱ خوشه‌بندی نقاط حادثه دیده باروش انفیس

با خوشه‌بندی نقاط حادثه دیده می‌توان وظیفه رسیدگی و پاسخگویی به افراد آسیب دیده را سرعت بخشید. دراین میان راهکارهای زیادی برای نیل به این هدف وجود دارد که ازجمله آن‌ها، استفاده از شبکه‌ای متشکل ازعصبی و فازی به نام انفیس است. یک سیستم استنتاج فازی مدلی ریاضی بر اساس سیستم فازی است که این سیستم متشکل شده از مجموعه‌ای ازمتغیرهای ورودی و یا توابع عضویت و یک مجموعه پیامدها دریک مجموعه فازی و با استفاده از متغیرهای زبانی، قوانین فازی، منطق فازی، ابزاری برای متحد کردن تجربه خبره انسانی، فراهم می‌آورد. [Chu, 2009] در واقع انفیس، سیستم استنتاج فازی را با الگوریتم پس انتشار که برای آموزش شبکه عصبی بکار می رود، ترکیب می‌کند. این ساختار مبتنی بر استنتاج سه جزء دارد. ۱- جزء وابسته به قانون (انتخاب قوانین فازی)، ۲-پایگاه داده (تعیین عضویت). ۳- جزء استدلال یا استنتاج روی قوانین و بدست آوردن خروجی مناسب [Kisi and

[Zounemat-Kermani, 2016]. این ساختار، یک شبکه پیشخورد چند لایه است که، الگوریتم‌های یادگیری شبکه عصبی ومنطق‌های فازی رابرای ترسیم یک فضای ورودی به یک فضای خروجی استفاده می‌کند [Sedighi et al. 2014] و با قراردادن این شبکه انطباقی در مدل فازی سوگنو، موجب تسهیل در یادگیری مدل می‌شود [Katibi et al. 2011].

۲-۲ اولویت بندی نقاط حادثه دیده با روش تئوری گراف-ماتریس پرمننت-تصمیم گیری

شبکه‌های جاده‌ای اکنون نیازمند داشتن درجه اطمینان بالایی برای تضمین سفر رانندگان و دوری از تاخیر به دلیل اختلال در شبکه هستند[Iida, 1999]. در مقاله حاضر، با بکارگیری ماتریس پرمننت درنظریه گراف وتصمیم گیری چند شاخصه به تعیین قابل اطمینان-ترین مسیر پرداختیم.

تئوری گراف و روش ماتریس شامل سه بخش است: نمایش گراف، نمایش ماتریس، نمایش تابع پرمننت. یعنی ابتدا، تصویر متغیرها و وابستگی آن‌ها به هم، درنمایش گراف ارائه شده و سپس به صورت ریاضی درآمده و در نهایت با تابع پرمننت یک شاخص عددی تعیین می‌شود[Mohaghar et al. 2013] . در مطالعه حاضر، با بکارگیری این تئوری، براساس معیارهای موثر بر قابلیت اطمینان مسیر، برای خوشه هایی که قبلا توسط روش انفیس خوشه‌بندی شده بودند، اولویت بندی انجام می‌گیرد، تا از این طریق مطمئن ترین مسیر برای توزیع کالاهای حیاتی به این مناطق، بدست آید. فاکتورهای موثر بر قابلیت اطمینان خوشه ۱ عبارتند از: نوع جاده (اتوبان، شریان، بزرگراه وغیره) و نرخ کوهستانی بودن جاده ومشخصه‌های جغرافیایی. عواملی که موثر بر قابلیت اطمینان در خوشه ۲ می‌باشند؛ ازجمله درجه شدت بحران، نوع بافت منطقه ای(شهری، روستایی)، شرایط جوی، جمعیت منطقه، فاصله انبار وسایل نقلیه امداد هوایی از نقاط حادثه دیده. لازم به ذکر است که با بررسی درمیان ادبیات مرتبط و پایگاه داده بین المللی بحران وهمچنین مروری بر مقالات مسیریابی بحران، این معیارهای موثربرقابلیت اطمینان ارائه گردیده است. گامهای این روش بدین صورت است: *گام ۱: شناسایی معیار،زیرمعیار،گزینه‌های مساله:* شناسایی عوامل موثربرفرآیند بااستفاده ازداده قابل دسترس درادبیات ویا بوسیله انجام نظرسنجی ازخبرگان صورت می‌گیرد. [Geetha and Sekar, 2016] در نمایش گراف یه مجموعه از گره ها و مجموعه‌ای ازیال‌های جهتدار، هرگره n_i نشان دهنده i امین معیار انتخاب گزینه است و یال‌ها اهمیت نسبی بین معیارها را نشان می‌دهند. (تعداد گره ها و تعداد گزینه ها یکی است). اگرگره i نسبت به گره j درانتخاب گزینه مهمتر باشد، یک یال جهت دار از i به j ترسیم می‌شود(e_{ij}) و برعکس[Rao Padmanabhan, 2007]

[al. 2013]. پس از تعیین همه مقادیر معیار برای هر گزینه، ماتریس نرخ معیار برای آن ها تعریف می‌کنیم.

$$[\psi]=\begin{bmatrix} C_{11}0 & ...0 \\ 0\ C_{22}....0 \\ . \quad ... \ .. \quad . \\ 0 \quad ....0 \ C_{nn} \end{bmatrix} \qquad (۱)$$

گام ۲: تعریف اهمیت نسبی بین معیارها و امتیازات گزینه ها در این گام، در صورتی که معیار کیفی باشد، با استفاده از یک مقیاس رتبه بندی از صفر تا یک، می‌توان مقادیر امتیازات گزینه ها محاسبه کرد. [Nasiri and ShisheGar, 2014] اگر معیار کمی بود، باید نرمالایز شود. یعنی اگر v_i، مقدار معیار برای iامین گزینه و v_j اندازه معیار j امین گزینه باشند باید $\frac{v_i}{v_j}$ نرمالایز شوند [Mohaghar et

از سوی دیگر، اهمیت نسبی بین معیارها میتواند مقادیر بین صفر و یک بگیرد. روابط بین و لزوما متمم نیست. می تواند به صورت باشد در پایان این گام ماتریس اهمیت نسبی را مطابق با فرمول۲ تعریف می‌کنیم [Baykasoglu, 2012].

$$[\beta]=\begin{bmatrix}0 & r_{12} & \dots r_{in}\\ r_{21} & 0 & \dots r_{2n}\\ . & \dots & . . \\ r_{n1} & \dots & \dots 0\end{bmatrix} \quad (۲)$$

گام سوم:محاسبه ماتریس ارزیابی گزینه ها

پس از تعیین βوψ، در این مرحله ماتریس ارزیابی گزینه ها (ξ) محاسبه می‌شود مطابق با فرمول زیرتنظیم می‌شود.

$$\text{که } \zeta=\psi+\beta=\begin{bmatrix}C_1 & r_{12} & r_{13} & \dots r_{1n}\\ r_{21} & C_2 & r_{23} & \dots r_{i2n}\\ r_{31} & r_{32} & C_3 & \dots r_{3n}\\ \dots & \dots & \dots & \dots\\ r_{n1} & r_{n2} & r_{n3} & \dots C_{in}\end{bmatrix} \quad (۳)$$

مقدارپرمننت این ماتریس، همان تابع معیارانتخاب گزینه است.. [Nasiri and ShisheGar, 2014] این مقدار نرخی را برای گزینه ها می‌دهد باید به صورت نزولی مرتب شوند و گزینه‌ای که بالاترین مقدار پرمننت را داشته باشد بهترین گزینه (قابل اطمینان ترین مسیر) خواهد بود.[Baykasoglu, 2012] تساوی زیر فرمول محاسبه مقدار پرمننت را نمایش می‌دهد.

$$\begin{aligned}&per(\xi=\prod_{i=1}^{N}C_i+\sum_{i,j,\dots N}(r_{ij}.r_{ji})c_k.c_i\dots c_N+\\&\sum_{i.j,\dots N}(r_{ij}r_{jk}+r_{ik}+r_{kj}r_{ji}).c_ic_n\dots c_N)+\\&\{\sum_{i,j,\dots N}(r_{ij}r_{ji})(k_{ki}k_{lk})c_nc_m\dots c_N+\\&\sum_{i,j,\dots N}(r_{ij}r_{jk}r_{kl}k_{li}+r_{il}r_{lk}r_{kj}r_{ji})c_nc_mc_N\}+\\&[\sum_{i,j,\dots N}(r_{ij}r_{ji})(r_{kl}r_{ln}r_{nk})c_mc_o\dots c_N+\\&\sum_{i,j,\dots N}(r_{ij}r_{jk}r_{kl}r_{ln}r_{ni}+r_{in}r_{nl}r_{lk}r_{kj}r_{ji})c_mc_o\dots c_N]\end{aligned} \quad (٤)$$

۳. تعریف مساله

منطقه‌ای بحران زده را در نظر بگیرید، که بر اثر زلزله دچار آسیب شده و نیاز فوری به امداد دارد. سازمآن‌های بشردوستانه، با طراحی مدل مسیریابی وسیله نقلیه، توزیع کالای حیاتی به افراد حادثه دیده را انجام می‌دهند. درعملیات توزیع کالا، چندین انبار اختصاص یافته که شامل انبارکامیون‌های ناهمگن و آشیانه هلی‌کوپترهای ناهمگن می‌شود. لازم به ذکر است که انبار وسایل نقلیه وذخیره سازی کالا یکی است. یک بسته امدادی شامل کیت کمکهای اولیه، کنسروغذا، آب معدنی، پتوو چادر تهیه شده تا توسط این وسایل نقلیه ناهمگن به مناطق تقاضا شده ارسال گردد. به دلیل ماهیت غیرقطعی بحران ونداشتن اطلاعات دقیقی درباره مقدار تقاضای کالاهای امدادی وهمچنین احتمال بروز بحرآن‌های ثانویه (پس لرزه –سیل همزمان بازلزله و...) در زمان بحران، تقاضا به صورت فازی در نظر گرفته شده است. از سویی دیگر به دلیل شدت بحران، برخی زیر ساختهای منطقه ازجمله جاده‌های منتهی به برخی نقاط، دچار اختلال شده در نتیجه امکان ارسال زمینی کالا به این نقاط وجود ندارد. از این رو جهت کاهش تاخیر در ارسال کالا و تسریع در امر توزیع، مدیریت بحران ابتدا کل مناطق حادثه دیده را به دو خوشه تقسیم کرد. یک خوشه که درآن مناطق حادثه دیده قابلیت دریافت امداد هم ازطریق هوایی و هم ازطریق زمینی را دارند وخوشه‌ای دیگر که به دلیل خرابی جاده‌های منتهی به نقاط حادثه دیده تنها قادر به امداد هوایی

هستند. درادامه، نقاط هرخوشه، جداگانه براساس فاکتورهای موثر بر قابلیت اطمینان مسیر، اولویت بندی می‌شوند، یعنی در هر خوشه وسیله نقلیه مسیرهای مطمئن تر را برای خدمت رسانی درنظر می‌گیرد. ازسویی دیگر، درحین توزیع کالا (البته درنقاط متعلق به خوشه ا) وسیله نقلیه زمینی (کامیون) دچارنقص شده وخراب می‌شود درنتیجه اختلال در وسیله نقلیه موجب نرسیدن به موقع کالا به مناطق تحت خدمتش می‌شود و آن نقاط دچار کمبود در برآورده کردن تقاضا شده و اختلال درسیستم توزیع رخ می‌دهد. در تحقیق حاضر، با مدل ریاضی مسیریابی وسیله نقلیه مختل شده وخوشه‌بندی شده چند هدفه‌ای روبرو هستیم که درآن ناوگان حمل و نقل چند حالته و ناهمگن بکار رفته و از چندین انبار برای توزیع کالا استفاده شده است.

۳-۱ مفروضات

۱. تعداد وسایل نقلیه امدادی محدود بوده و انواع متفاوت ازآن‌ها (زمینی وهوایی) برای خدمت رسانی به نواحی حادثه دیده بکارگرفته شده است درنتیجه ناوگان حمل و نقل وسایل نقلیه ناهمگن بوده و ظرفیت وسرعت آن‌ها متفاوت است.

۲. مبدا حرکت همه وسایل نقلیه از قبل مشخص است (اینکه کدام وسیله نقلیه به کدام انبارتعلق دارد ازپیش تعریف شده است).

۳. در صورت وسیع بودن ابعاد حادثه لزوم استفاده از همه وسایل نقلیه درطول عملیات امداد وجود دارد.

٤. هر نقطه حادثه دیده فقط و فقط از یک وسیله نقلیه خدمت می گیرد.

۵. ظرفیت وسیله نقلیه بیشتر از میزان تقاضاست تا توقفی در امرخدمت رسانی وجود نداشته باشد.

٦. مکان توزیع کالاهای امدادی و انبار وسایل نقلیه یکی است و مکان و تعدادانبارها از پیش تعیین شده است.

۷. عملیات توزیع برای یک بسته از کالاهای امدادی (تک کالایی) صورت می گیرد که محتویات آن شامل: (آب وموادغذایی) می‌باشد.

۸. مکان هر ناحیه حادثه دیده معلوم وفاصله شان از انبار کالا مشخص است.

۹. هر وسیله نقلیه امدادی پس ازپایان عملیات به نقطه شروع حرکت (انبار) برمی گردند. (مسیربسته)

۱۰. عملیات توزیع کالاهای امدادی از چندین انبار صورت می گیرد که دراینجا انبار وسایل نقلیه و انبار ذخیره سازی کالاها یکی هستند که تعدادی از کالاها در انبار وسایل نقلیه زمینی (کامیون‌ها) قرار دارند و تعدادی دیگر در آشیانه هلی‌کوپترها (انباروسایل هوایی) واقع در فرودگاه موجودند.

۱۱. وسیله نقلیه قبل از اتمام خدمت رسانی، دچارخرابی می‌شود و بی حرکت می‌ماند.

۱۲. اگر محصول، قبل ازخرابی ماشین، به محل حادثه دیده رسیده باشد، خدمت رسانی کامل شده است و کمبود رخ نمی‌دهد.

۱۳. تقاضای نقاط حادثه دیده فازی مثلثی در نظر گرفته شده است .

۱٤. درصورت خرابی وسیله نقلیه امکان جایگزینی هیچ وسیله نقلیه یدکی وجود ندارد.

۳-۲ اندیس ها /مجموعه ها

v´: مجموعه وسایل نقلیه زمینی (کامیون‌ها)

vv: مجموعه وسایل نقلیه هوایی (هلیکوپترها)

e: مجموعه نقاط حادثه دیده با جاده سالم

ee: مجموعه نقاط حادثه دیده با جاده خراب

d: مجموعه انبار وسایل نقلیه زمینی

dd: مجموعه انبار وسایل نقلیه هلی¬کوپتر (آشیانه)

N: مجموعه کل گره¬ها

V: مجموعه کل وسایل نقلیه

S: مجموعه سناریوها

$\mathbf{n_v}$: تعداد کامیون‌ها

$\mathbf{n_{vv}}$: تعداد هلیکوپترها

$\mathbf{n_e}$: تعداد نقاط با جاده سالم

$\mathbf{n_{ee}}$: تعداد نقاط با جاده خراب

$\mathbf{n_d}$: تعداد انبار کامیون

$\mathbf{n_{dd}}$: تعداد انبار هلیکوپتر (آشیانه)

J: نقاط حادثه دیده $(j \in I)$

J: نقاط حادثه دیده $(j \in J)$

I: کل نقاط حادثه دیده $(I \in N)$

J: کل نقاط حادثه دیده $(J \in N)$

۳-۳ پارامترها

cap_v: ظرفیت وسیله نقلیه نوع v

$D\tilde{e}m_i$: تقاضای نقطه حادثه دیده i

T_{vij}: زمان سفر (حمل و نقل) وسیله نقلیه v از گره i به گره j $(i \in N \qquad j \in N)$

r_{ij}: مقدار پرمنتت گره i به گره j براساس شاخص قابلیت اطمینان

u_{vi}: متغیر کمکی بکار گرفته شده در محدودیت حذف زیرتور (متغیر متوالی است که تعداد گره‌ای که وسیله نقلیه v ملاقات می‌کند را نشان می‌دهد)

T_{iv}: زمان سفر وسیله نقلیه v به گره i

$Time_{ij}$: زمان سفر وسیله نقلیه از گره I به گره j

۳-٤ متغیرهای تصمیم

$$X_{vij} = \begin{cases} 1 & \text{در غیر این صورت} \\ 0 & \text{اگر کالا تحت سناریو } \boldsymbol{s} \text{ به .حادثه دیده } \boldsymbol{j} \text{ نرسد} \end{cases}$$

$$y_i^s = \begin{cases} 1 & \text{در غیر این صورت} \\ 0 & \text{اگر کالا تحت سناریو } \boldsymbol{s} \text{ به .حادثه دیده } \boldsymbol{j} \text{ نرسد} \end{cases}$$

٤. مدل ریاضی فازی پیشنهادی

توابع هدف مساله پیشنهادی در حالت فازی می تواند به صورت زیر فرموله شود:

$$Min(Max\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{v\in v} t_{vij}x_{vij}) \qquad (۵)$$

$$Max(\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{v\in v} r_{ij}x_{vij}) \qquad (٦)$$

$$Min(\sum_{S}\sum_{i\in n_e\cup n_{ee}} y_i^s \cdot d\tilde{e}m_i) \qquad (۷)$$

توابع هدف در این مدل با ۵،٦،۷ نشان داده شده‌اند که تابع هدف اول حداکثر زمان حمل و نقل بین گره‌های **i** و **j** را که توسط وسیله نقلیه **v** صرف می‌شود را حداقل می‌کند. تابع هدف دوم قابلیت اطمینان مسیرها را از طریق حدکثر کردن مجموع پرمنتت برای هر مسیر حداکثر می کند. تابع هدف سوم، به دنبال حداقل کردن مقدار تقاضای برآورده نشده (کمبود ایجاد شده) در نقطه تقاضای **i**، تحت سناریوی **s** است.

محدودیت‌ها:

(۸)

$$\sum_{i\in n_e\cup f(v,i)} X_{vij} = \sum_{i\in n_e\cup f(v,i)} X_{vij} \qquad \forall_j \in n_e, v \in n_v$$

(۹)

$$\sum_{i\in n_e \cup n_{ee} \cup f(v,i)} X_{vij} = \sum_{i\in n_e \cup n_{ee} \cup f(v,i)} X_{vij} \quad \forall_j \in n_{ee}, v \in n_{dd}$$

(۱۰)

$$\sum_{i\in f(v,i) j\in n_e} X_{vij} \sum_{i\in n_e} X_{vij} = 1 \quad \forall_v \in n_{\acute{v}}, \forall f(v,i)$$

(۱۱)

$$\sum_{i\in n_e} \sum_{i\in n_e \cup n_{ee}} X_{vij} = 1 \quad \forall_v \in n_{dd}$$

(۱۲)

$$\sum_{i\in n_e} \sum_{i\in n_e \cup n_{ee}} X_{vij} = 1 \quad \forall_v \in n_{\acute{v}}$$

(۱۳)

$$\sum_{i\in n_{e\cup} n_{ee}} \sum_{j\in f(v,i)} X_{vij} = 1 \quad \forall_v \in n_{dd}$$

(۱٤)

$$\sum_{v\in n_{\acute{v}}} \sum_{j\in n_e} X_{vij} + \sum_{v\in n_{vv}} \sum_{j\in n_e \cup n_{ee} \cup f(v,i)} X_{vij} = 1 \quad \forall_i \in n_e$$

(۱۵)

$$\sum_{v\in n_{vv}} \sum_{j\in n_e \cup n_{ee} \cup f(v,i)} X_{vij} = 1 \quad \forall_i \in n_{ee}$$

(۱٦)

$$\sum_{i\in n_e \cup f(v,i)} \sum_{j\in n_e} X_{vij} * \widetilde{dem}_\iota \le cap_v \quad \forall_v \in n_d \cup n_{dd}$$

(۱۷)

$$\sum_{i\in n_e \cup n_{ee}} \sum_{j\in n_{e\cup} n_{ee}} X_{vij} * \widetilde{dem}_\iota \le cap_v \quad \forall_v \in n_{vv}$$

(۱۸)

$$u_{vi} - u_{vj} + n_e . x_{vij} \le n_e - 1 \quad \forall_v \in n_{\acute{v}}, \forall_i \in n_e , \forall_j \in n_e$$

(۱۹)

$$u_{vi} - u_{vj} + n_{ee} . x_{vij} \le n_{ee} - 1 \quad \forall_v \in n_{vv}, \quad \forall_i \in n_e \cup n_{ee} , \quad \forall_j \in n_e \cup n_{ee}$$

(۲۰)

$$u_{vi} \le n_e \quad \forall_v \in n_{\acute{v}}, \forall_i \in n_e$$

(۲۱)

$$u_{vivf(v,i)} = 0 \quad \forall_v \in n_{\acute{v}}, \forall_i \in n_e$$

(۲۲)

$$u_{vi} \le n_e \cup n_{ee} \quad \forall_v \in n_{vv}, \forall_i \in n_e \cup n_{ee}$$

(۲۳)

$$u_{vf(v,i)} = 0 \quad \forall_v \in n_{vv}, \forall_i \in n_e \cup n_{ee}$$

(۲٤)

$$\sum_v T_{iv} = 0 \quad \forall f(v,i)$$

(۲۵)

$$T_{iv} = \sum_{j\in n_e \cup n_{ee}} X_{vij} . (T_{iv} + Time_{ij}) \quad \forall_i \in n_e \cup n_{ee},$$

(۲٦)

$$bigM\ (1 - y_i^s) \ge (T_{iv} - Senario_v^s) \quad \forall_i \in n_e \cup n_{ee}, \quad s \in Sv \in n_v$$

(۲۷)

$$u_{vi} = \{0, 1, 2, \dots\}$$

(۲۸)

$$x_{vij} \in \{0,1\} \quad \forall v, i, j$$

(۲۹)

$$T_{iv} \ge 0 \quad \forall i, v$$

(۳۰)

$$senario_v^s \ge 0 \quad \forall_v, s$$

(۳۱)

$$Time_{ij} \ge 0 \quad \forall i, j$$

(۳۲)

$$y_i^s \in \{0,1\} \quad \forall_i, s$$

محدودیت شماره ۸ تعادل جریان را برای نقاط حادثه دیده با جاده سالم و برای وسایل نقلیه زمینی تضمین می‌کند. یعنی هر کامیون پس از خدمت رسانی و ورود به گره از آن خارج می‌شود. محدودیت ۹ تعادل جریان را برای نقاط سالم و خراب و برای هلی‌کوپترها تضمین می‌کند؛ به عبارت دیگر هلی‌کوپترها پس از خدمت رسانی به هر گره از آن خارج می‌شوند. محدودیت ۱۰

نشـــان می‌دهد که نقطه شـــروع هر کامیون معلوم اســـت از کدام انباربوده اســـت، درعین حال درمحدودیت **۱۱** محدودیت شـــروع حرکت هلی‌کوپترهاســت. محدودیت **۱۲** و **۱۳** تضمین می‌کنند که هر وســیله نقلیه (کامیون وهلی‌کوپتر) پس از خدمت رســانی به هر گره باید به نقطه شــروع حرکت برگردند ومسیر بسته است. و اما محـدودیـت **١٤** تضـــمین این نکتـه اســـت کـه هروســـیله نقلیه (هلی‌کوپتریاکامیون) فقط به یک گره خدمت رســانی می‌کند (برای نقاط حادثه دیده‌ای که جاده منتهی به آن‌ها سالم است) و به تبع آن محدودیت **۱۵** بیان می‌کند که هر وســیله نقلیه (هلی‌کوپتر) فقط به یک گره نا سالم (نقطه حادثه‌ای که جاده منتهی به آن خراب باشد) خـدمت می‌دهد. محدودیت **١٦** و **۱۷**محدودیت ظرفیت کامیون‌ها و هلی‌کوپترهاســت و بخشی که بعنوان محدودیت درایجاد زیرتور در نظر گرفته شده در محدودیت‌های **۱۸**تا **۲۳** نشان داده شده است کـه درآن محـدودیت‌های **۱۸** و **۱۹** محدودیت حذف زیرتور برای کامیون‌ها و هلی‌کوپترهاست و به دنبال آن محدودیت‌های **۲۰**و **۲۱** محـدودیـت‌هـای حـذف زیر تور برای متغیرهـای کمکی U_{vi} و $U_{vf(v,i)}$ برای کامیون‌هاســت، همینطور محدودیت‌های **۲۲** و**۲۳** نیز محـدودیـت‌هـای حـذف زیرتور برای متغیرهـای کمکی U_{vi} و $\mathbf{U_{vf\,(v,i\,)}}$ برای هلی‌کوپترها می باشـد. محدودیت **٢٤**، تضـــمین می کنـد کـه تمام وســـایل نقلیه، در زمان صـــفر از انبارحرکت کنند. محدودیت **۲۵**، زمان رسیدن وسیله نقلیه را به مراکز تقاضا یا همان نقاط حادثه دیده، محاسـبه می‌کند. محدودیت **٢٦**، نشان می‌دهد که تحت سناریوهای مطرح شده، کمبود رخ داده یا خیر بعبارت دیگر، آیا تحت ســناریوهای مختلف، کالاهای امدادی به نقاط حادثه دیده رســیده‌اند یا خیر (اگرکالا به نقاط حادثه دیده رســیده باشــد یعنی وسیله نقلیه قبل ازخدمت رسانی به نقاط خراب نشده و کمبود رخ نداده است).

اگر $T_{iv} - Senario_v^s > 0$ یعنی وســیلـه نقلیه بعد اززمان خراب شدن وسیله نقلیه دیرتر از زمان خرابی در سناریوی **s** است در نتیجـه کمبود رخ می‌دهـد و وســـیله نقلیه به نقطه حادثه دیده نرسـیده اسـت، درغیراینصورت وسیله نقلیه پس از خدمت رسانی خراب شده و تمامی کالا ها به نقاط حادثه دیده منتقل شده‌اند و با کمبود مواجه نیسـتند. (برای محاسبه کمبود زمان خدمت رسانی به هر نقطه را محاسـبه می‌کنیم). محدودیت **۲۷** اشاره به متغیر متوالی $\mathbf{U_{vi}}$ دارد و محدودیت **۲۸** اشاره به باینری بودن متغیر تصمیم $\mathbf{x_{vi\,j}}$ دارد. محدودیت **۲۹** اشـاره دارد به زمان رسـیدن وسیله نقلیه **v** به گره **i** که مقداری نامنفی اســـت. محدودیت **۳۰** اشـــاره به زمان خرابی وسـیله نقلیه **v** تحت سـناریوی **s** است که آن هم مقداری نامنفی اســـت. محدودیت **۳۱** نشـان دهنده زمان طی کردن وسـیله نقلیه و انتقال ازگره **i** به گره **j** اســـت و مقداری نامنفی اســـت. محدودیت **۳۲** متغیری باینری است که تعیین کننده وجود کمبود یا عدم وجود آن می‌باشد.

٤-١ مدل ریاضی قطعی پیشنهادی با روش خیمنز

به دلیل کاربردی بودن و سادگی در انجام محاسبات، برای مشخص کردن پارامتر فازی، توزیع امکانی مثلثی متقارن، درنظر گرفته شـده اســـت. برای تبدیل مدل ریاضـــی به مدل قطعی معادل آن، روش خیمنز، بـه علـت کارایی بالای آن بکار رفته اســـت (خیمنز و همکاران،۲۰۰۷). تابع عضویت پارامترفازی به این صورت است:

(۳۳)

$$\mu_c(x)=\begin{cases} f_c(x)=\dfrac{x-c^p}{c^m-c^p} & if \quad c^p \le x \le c^m \\ 1 & if \quad x=c^m \\ g_c(x)=\dfrac{c^0-x}{c^0-c^m} & if \quad c^m \le x \le c^o \\ 0 & if \quad x \le c^P or \quad x \ge c^0 \end{cases}$$

این روش بر مبنای فاصله مورد انتظار و امید ریاضی بنا شده است که در رابطه زیر نشان داده شده‌اند.

(۳٤)

$$EI(\bar{c})=\left[E_1^c.E_c^2\right]=\left[\int_0^1 f_c^{-1}(x)dx,\int_0^1 gc^{-1}(x)dx\right]=\left[\frac{1}{2}(c^p+c^m),\frac{1}{2}(c^m+c^0)\right]$$

$$Ev(\bar{c})=\frac{E_1^0+E_2^0}{2}=\frac{c^p+2c^m+c^0}{4}$$

همچنین برای هر جفت اعداد فازی $\tilde{a}$ و $\tilde{b}$، درجه بزرگتربودن $\tilde{a}$ از $\tilde{b}$، با رابطه زیر تعریف می‌شود

(۳۵)

$$\mu_M(a,b)=\begin{cases} 0 & if \quad E_2^0-E_1^b\ 0 \\ \dfrac{E_2^a-E_1^b}{E_2^a-E_1^b-(E_1^a-E_2^b)} & if \quad E_1^a-E_2^b \prec 0 \prec E_2^a-E_1^b \\ 1 & if \quad E_1^0-E_2^b \succ 0 \end{cases}$$

$\mu_M(\tilde{a},\tilde{b})$ نشان دهنده درجه بزرگتر بودن $\tilde{a}$ از $\tilde{b}$ است

و هنگامی که $\mu_M(\tilde{a},\tilde{b}) \ge a$ گفته می‌شود " α حداقل با درجه بزرگتر مساوی $\tilde{b}$ "است (خیمنز و همکاران،۲۰۰۷) در نتیجه مدل قطعی کمکی به صورت زیر خواهد بود.

$$\min(\max \sum_{i\in\backslash} \sum_{j\in J} \sum_{v\in V} t_{vij}.x_{vij})$$

$$\max(\sum_{i\in\backslash} \sum_{j\in J} \sum_{v\in V} t_{vij}.x_{vij})$$

(۳٦)

$$\min \sum_{i\in I} \sum_{s\in S} y_i^s.\left(\frac{dem_i^{\backslash}+dem_i^{\backslash\backslash}+dem_i^{\backslash\backslash\backslash}}{\backslash\backslash\backslash\backslash}\right)$$

محدودیت ۸ تا ۱۵

(۳۷)

$$\sum_{j\in ne\cup f(v,i)} \sum_{i\in n_e} X_{vij}.\left[a.\left(\frac{dem_i^1+dem_i^2}{2}\right)+ (1-a)\left(a.\frac{dem_i^1+dem_i^2}{2}\right)\right] \le cap_v$$

(۳۸)

$$\sum_{j\in ne\cup n_{ee}(v,i)} \sum_{i\in n_e} X_{vij}.\left[a.\left(\frac{dem_i^1+dem_i^2}{2}\right)+ (1-a)\left(a.\frac{dem_i^1+dem_i^2}{2}\right)\right] \le cap_v$$

۵. روش حل پیشنهادی

روش محدودیت اپسیلون توسعه یافته یکی از روشهای کارآمد در جستجوی جواب های بهینه پارتو ست که درآن تابع هدف اول بهینه سازی شده و بقیه اهداف به محدودیت‌ها اضافه می‌شوند [Tofighi et al.2016].

گامهای روش محدودیت اپسیلون معمولی به شرح زیر می‌باشد:

- یکی از توابع هدف مسأله را به عنوان تابع هدف اصلی مسأله انتخاب کنید.
- هر بار با توجه به یکی از توابع هدف مسأله را حل کنید و مقدار بهینه هر تابع هدف را بدست آورید.
- بهترین و بدترین مقدار هر تابع هدف را که در حل مسأله به ازای توابع هدف مختلف ایجاد شده را تعیین کنید
- بازه بین مقدار بهترین و بدترین مقدار مشاهده شده هر یک از اهداف فرعی مسأله را به فواصلی از قبل مشخص تقسیم نمایید و هر یک از این مقادیر را به ترتیب برای n تابع هدف مساله 1, بنامید

- هر بار مسأله را با تابع هدف اصلی در شرایطی که توابع هدف فرعی در محدودیت ها به مقادیر $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots \varepsilon_n$ محدود شده‌اند حل کنید. طبیعتاً اگر بازه بین بهترین و بدترین مقدار توابع فرعی مثلا به nفاصله مساوی تقسیم بندی شود برای هر یک از اپسیلون ها n+1 مقدار مختلف وجود خواهد داشت که در مراحل مختلف حل به ازای ترکیبات مختلف اپسیلون های تعیین شده حل می‌گردد)
- جواب های پارتویی یافت شده را گزارش کنید.

یکی از اشکالات این روش این است که، ممکن است جوابهای ناکارآمد تولیدکند [Esmaili et al.2011]. نسخه‌های متفاوت از روش محدودیت اپسیلون برای کاراکترشدن جوابها ارائه شده که می‌توان یکی از آن‌ها را در مقاله ماوروتاس. [Mavrotas, 2009] مشاهده کرد. دراین مقاله برای فائق آمدن بر این مشکل روش محدودیت اپسیلون توسعه یافته پیشنهاد شده است که دراین روش پیشنهاد تغییر محدودیت‌های تابع هدف به صورت محدودیت های مساوی با بکارگیری از مقادیرمناسب متغیرهای کمبود و مازاد ارائه شد و تابع هدف اصلی بوسیله مجموع مقادیر کمبود یا مازاد تکمیل شدند. مطابق مدل زیر :[Mavrotas, 2009]

$$Max f_1(x) \qquad Max\{f_1(x) + \delta^*(S_2 + S_3 + \cdots + S_p)\} \quad (۳۹)$$

St.

$$f_2(x) \le \varepsilon_2 \qquad f_2(x) = \varepsilon_2 - \varepsilon_3$$

$$f_3(x) \le \varepsilon_3 \quad \longrightarrow \quad f_2(x) = \varepsilon_3 - \varepsilon_3$$

..

$$f_p(x) = \varepsilon_p - s_p$$

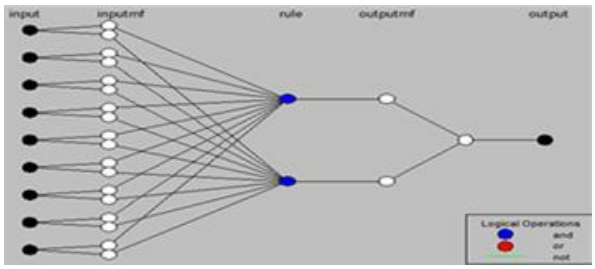
$$f_p(x) \le \varepsilon_p \qquad X \in X, \in R^+$$

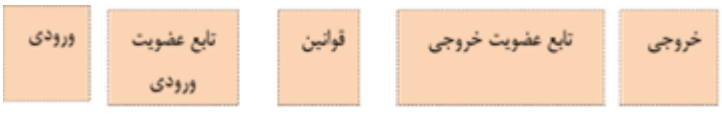
٦. نتایج تحقیق

در این بخش ابتدا نتایج حاصل ازخوشه‌بندی و اولویت بندی نقاط حادثه دیده گزارش خواهد شد سپس نتایج حاصل ازحل مدل با استفاده از روش محدودیت اپسیلون بیان می‌گردد.

٦-١ جدول حاصل ازخوشه‌بندی با انفیس

در این تحقیق نوع شبکه انفیس بکارگرفته شده پیشخور با ۹ ورودی و۱ خروجی و یک لایه پنهان است که تابع انتقال لایه خروجی خطی است و نوع الگوریتم استفاده شده برای آموزش حداقل مربعات – پس انتشار خطاست از این رو ساختار انفیس طراحی شده برای تحقیق حاضر به صورت زیر می‌باشد:





شکل ۱. ساختار انفیس درتحقیق حاضر

نتایج خوشه‌بندی نقاط حادثه دیده درجدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. داده‌های مربوط به خوشه‌بندی نقاط حادثه دیده در بحران ونتایج خوشه‌بندی

شماره خوشه	عرض جاده منتهی به نقطه حادثه دیده	فاصله نقاط حادثه دیده ازآشیانه بالگرد	فاصله نقاط حادثه دیده ازانبار زمینی-۲	فاصله نقاط حادثه دیده ازانبارزمینی-۱	ریسک جاده منتهی به نقطه حادثه دیده	تراکم جمعیتی نقطه حادثه دیده	درجه شدت بحران	شرایط آب وهوایی درزمان بحران	نرخ کوهستانی بودن	شماره نقاط حادثه دیده
۱	۱۲ متر	۰	۵ ک	۸ ک	پایین	۲۷۳۹	خیلی زیاد	نرمال	کم	۱
۱	۸ متر	۱۱ک	۸ ک	۱۲ ک	پایین	۳۱۰۰	خیلی زیاد	نرمال	کم	۲
۱	۸ متر	۱۰ ک	۵ ک	۱۰ ک	پایین	۲۰۵۰	زیاد	نرمال	کم	۳
۱	۱۲ متر	۱ک	۵ ک	۸ ک	پایین	٤۵۰	زیاد	خوب	کم	٤
۱	۱۲ متر	۳ک	۵ ک	۹ ک	پایین	۸۵۰	خیلی زیاد	خوب	کم	۵
۱	۱۲ متر	۱۳ک	۱۰ ک	۳ ک	پایین	۱٤۱٦	زیاد	خوب	کم	٦
۱	۸ متر	۱٦ک	۱۳ ک	۵ ک	متوسط	۱۲۰۰	متوسط	خوب	متوسط	۷
۱	۸متر	۱۷ک	۱٤ ک	٦ ک	متوسط	۱۰۲۰	متوسط	نرمال	متوسط	۸
۲	۸ متر	۱۹ ک	۱٤ ک	۷ ک	متوسط	۱۲۰۱	متوسط	بد	زیاد	۹
۲	۸ متر	۲۰ ک	۱۵ ک	۸ ک	متوسط	۵۰۰	زیاد	بد	زیاد	۱۰
۲	۱۲ متر	۷۵ ک	۷۰ ک	٦۷ ک	متوسط	۹۰۰	خیلی زیاد	نرمال	زیاد	۱۱
۲	۱۲ متر	۷۷ ک	۷۲ ک	٦۵ ک	متوسط	۱۳۱٦	خیلی زیاد	بد	زیاد	۱۲
۲	۸ متر	۷۷ ک	۷۱ ک	٦۸ ک	متوسط	۸۰۰	خیلی زیاد	بد	زیاد	۱۳
۲	۸ متر	۱۸ ک	۱۳ ک	۸ ک	متوسط	۵۰۰	زیاد	نرمال	متوسط	۱٤
۱	۸ متر	۲۰ ک	۱۵ ک	۹ ک	متوسط	۳۵۱	زیاد	خوب	متوسط	۱۵
۱	۸ متر	۱٦ک	۱۱ ک	۹ ک	متوسط	٤۵۰	زیاد	خوب	متوسط	۱٦
۲	۱۲ متر	۱۳ ک	۱٦ ک	۱۸ ک	متوسط	۵۰۰	زیاد	نرمال	متوسط	۱۷
۱	۸ متر	۱۵ک	٤ ک	۲۵ ک	متوسط	۷۷۰۳	زیاد	نرمال	کم	۱۸
۲	۸ متر	٦۵ک	۷۰ ک	۷۵ ک	بالا	۲۵۸٤	خیلی زیاد	بد	زیاد	۱۹
۲	۸ متر	۷۸ ک	۸۲ ک	۸۷ ک	بالا	۲۰٤	خیلی زیاد	بد	زیاد	۲۰

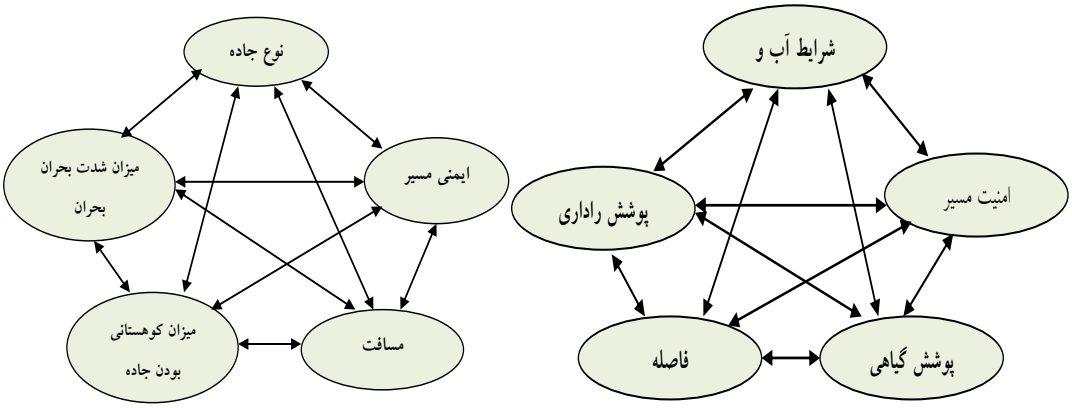
٦-۲ نتایج حاصل ازاولویت بندی با روش تئوری گراف- ماتریس پرمننت- تصمیم گیری

ستاد بحران منطقه‌ای به همراه گروه های امدادی جهت توزیع کالاهای حیاتی به ۲۰ نقطه حادثه دیده بر مبنای معیارهای موثر بر قابلیت اطمینان مسیرهای زمینی و هوایی (برگرفته از مقالات معتبر

و نظرخبرگان که با شاخص لوشه از میان چندین معیار این معیارها انتخاب شده اند) به دنبال انتخاب قابل اطمینان ترین مسیر ها برای انجام این امرهستند. از این ۲۰ نقطه حادثه دیده ۱۱ نقطه متعلق به خوشه اول و ۹ نقطه متعلق به خوشه دوم می‌باشند. معیارهای منتخب برای خوشه ۱ عبارتند از: نوع جاده، ایمنی مسیر، مسافت حمل و نقل (فاصله انبار تا نواحی حادثه دیده، میزان کوهستانی بودن جاده، میزان شدت بحران. معیارهای منتخب برای خوشه ۲ عبارتند از: شرایط آب وهوایی در زمان بحران، امنیت مسیرهوایی، پوشش گیاهی منطقه، فاصله تا نواحی حادثه دیده، پوشش راداری مسیر.

پس از یافتن معیارهای موثر بر قابلیت اطمینان مسیر گراف مربوط به این معیارها برای هرخوشه رسم می‌گردد که درشکل ۲ به نمایش گذاشته شده است

به دلیل پیچیدگی و حجم بالای محاسبات درگامهای بعدی، صرفا برای روشن شدن مراحل انجام این روش، فقط مثال محاسباتی را برای خوشه۲ (برای ٤ نقطه حادثه دیده منتخب از این خوشه شامل نقاط حادثه دیده ۹و۱۰و۱۱و۱۲) انجام می‌دهیم و مشابه همین محاسبات برای سایرنقاط خوشه۱ و نقاط مربوط به خوشه۲ می‌باشد. ماتریس تصمیم مربوط به این نقاط را کدگذاری کرده به صورت جدول **۲** در می‌آوریم.



شکل۲. نمایش گراف مربوط به معیارهای خوشه ۱ وخوشه ۲

جدول۲. ماتریس تصمیم خوشه ۱

معیارها / گزینه ها	$C_1(+)$	$C_2(+)$	$C_3(-)$	$C_4(-)$	$C_5(-)$
۹-۱۰	۱	۲	۲	۱۹	۳
۹-۱۱	۱	۲	۳	۲۰	۳
۹-۱۲	۲	۲	۲	۷۵	۳
۱۰-۱۱	۱	۳	۱	۷۷	۲
۱۰-۱۲	۱	۳	۳	۷۷	۲
۱۱-۱۲	۲	۳	۲	۱۸	۲

در مرحله بعدی نرمال سازی ماتریس تصمیم انجام می گیرید بدین صورت که اگر مشخصه‌ای مفید باشد هرعنصر آن ستون بر مقدار بیشینه آن ستون تقسیم می‌شود و درصورتی که مشخصه غیرمفید باشد حداقل مقدار هر ستون برتک تک عناصرآن ستون تقسیم می‌شود.

[Singh and Rao, 2011] نتیجه نرمالسازی ماتریس تصمیم درجدول ۳ گزارش شده است:

$$[\psi]_{10-11}=\begin{bmatrix}0/5&0&0&0&0\\0&1&0&0&0\\0&0&1&0&0\\0&0&0&0/234&0\\0&0&0&0&0/667\end{bmatrix}$$

$$[\psi]_{9-10}=\begin{bmatrix}C_1&C_2&C_3&C_4&C_5\\0/5&0&0&0&0\\0&0/667&0&0&0\\0&0&0/5&0&0\\0&0&0&0/947&0\\0&0&0&0&1\end{bmatrix}$$

$$[\psi]_{10-12}=\begin{bmatrix}0/5&0&0&0&0\\0&1&0&0&0\\0&0&0/333&0&0\\0&0&0&0/234&0\\0&0&0&0&0/667\end{bmatrix}$$

$$[\psi]_{9-11}=\begin{bmatrix}0/5&0&0&0&0\\0&0/667&0&0&0\\0&0&0/333&0&0\\0&0&0&0/9&0\\0&0&0&0&1\end{bmatrix}$$

$$[\psi]_{11-12}=\begin{bmatrix}1&0&0&0&0\\0&1&0&0&0\\0&0&0/5&0&0\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&0/667\end{bmatrix}$$

$$[\psi]_{9-12}=\begin{bmatrix}1&0&0&0&0\\0&0/667&0&0&0\\0&0&0/5&0&0\\0&0&0&0/24&0\\0&0&0&0&1\end{bmatrix}$$

پس از محاسبه ماتریس نرمال، ماتریس نرخ معیار محاسبه می‌گردد. در واقع ماتریس نرخ معیارماتریسی است که قطر اصلی آن سطرهای ماتریس نرمال مربوط به هرگزینه بوده و سایر عناصر آن صفرهستند. برای ٦ گزینه مورد نظر ٦ ماتریس نرخ معیار به صورت زیرآمده است:

جدول ۳. ماتریس نرمال شده ماتریس تصمیم

معیارها / گزینه ها	C_1(+)	C_2(+)	C_3(-)	C_4(-)	C_5(-)
۹-۱۰	۰/۵	۰/٦٦٧	۰/۵	۰/۹٤٧	۱
۹-۱۱	۰/۵	۰/٦٦٧	۰/۳۳۳	۰/۹	۱
۹-۱۲	۱	۰/٦٦٧	۰/۵	۰/۲٤	۱
۱۰-۱۱	۰/۵	۱	۱	۰/۲۳٤	۰/٦٦٧
۱۰-۱۲	۰/۵	۱	۰/۳۳۳	۰/۲۳٤	۰/٦٦٧
۱۱-۱۲	۱	۱	۰/۵	۱	۰/٦٦٧

پس از محاسبه ماتریس‌های نرخ معیار برای هرگزینه، یک ماتریس اهمیت معیارها نسبت به هم را برمبنای نظر خبرگان تنظیم می کنیم که نتیجه به صورت زیر گزارش شده است.

$$B=\begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 \\ 0 & 0/5 & 0/4 & 0/4 & 0/7 \\ 0/5 & 0 & 0/5 & 0/3 & 0/6 \\ 0/6 & 0/5 & 0 & 0/5 & 0/8 \\ 0/6 & 0/7 & 0/5 & 0 & 0/8 \\ 0/3 & 0/4 & 0/2 & 0/2 & 0 \end{bmatrix}$$

درنهایت مقدارپرمننت را با استفاده از فرمول ٤ محاسبه می‌کنیم.

نتایج مربوط به این روش در زیرگزارش شده است

$$per[\xi]_{9-10}=0.6771 \quad per[\xi]_{9-12}=0.5960 \quad per[\xi]_{10-12}=0.5816$$

$$per[\xi]_{9-11}=0.6140 \quad per[\xi]_{10-11}=0.6151 \quad per[\xi]_{11-12}=1$$

نتایج حاصل از روش تلفیقی تئوری گراف- ماتریس پرمننت- تصمیم گیری در جدول ٤ آمده است.

$$[\xi]_{9-11}=\begin{bmatrix} 0/5 & 0/5 & 0/4 & 0/5 & 0/4 & 0/4 & 0/7 \\ 0/5 & 0/667 & 0/5 & 0/3 & 1 & 0/5 & 0/3 & 0/6 \\ 0/6 & 0/5 & 0/333 & 0/5 & 0/8 & 0/5 & 1 & 0/8 \\ 0/6 & 0/7 & 0/5 & 0/8 & 0/8 & 0/5 & 0/234 & 0/8 \\ 0/3 & 0/4 & 0/2 & 0/2 & 0/2 & 0/2 & 0/2 & 0/667 \end{bmatrix} \quad [\xi]_{10-12}=\begin{bmatrix} 0/5 & 0/5 & 0/4 & 0/5 & 0/4 & 0/4 & 0/7 \\ 0/5 & 0/667 & 0/5 & 0/3 & 1 & 0/5 & 0/3 & 0/6 \\ 0/6 & 0/5 & 0/333 & 0/5 & 0/8 & 0/5 & 1 & 0/8 \\ 0/6 & 0/7 & 0/5 & 0/8 & 0/8 & 0/5 & 0/234 & 0/8 \\ 0/3 & 0/4 & 0/2 & 0/2 & 0/2 & 0/2 & 0/2 & 0/667 \end{bmatrix}$$

$$[\xi]_{9-12}=\begin{bmatrix} 1 & 0/5 & 0/4 & 0/4 & 1 & 0/5 & 0/4 & 0/4 & 0/7 \\ 0/5 & 0/667 & 0/5 & 0/3 & 1 & 0/5 & 0/5 & 0/3 & 0/6 \\ 0/6 & 0/5 & 0/333 & 0/5 & 0/8 & 0/5 & 1 & 1 & 0/8 \\ 0/6 & 0/7 & 0/5 & 0/8 & 0/8 & 0/5 & 0/234 & 1 & 0/8 \\ 0/3 & 0/4 & 0/2 & 0/2 & 1 & 0/2 & 0/2 & 0/2 & 0/667 \end{bmatrix} \quad [\xi]_{11-12}=\begin{bmatrix} 0/5 & 0/5 & 0/4 & 0/5 & 0/4 & 0/4 & 0/7 \\ 0/5 & 0/667 & 0/5 & 0/3 & 1 & 0/5 & 0/3 & 0/6 \\ 0/6 & 0/5 & 0/333 & 0/5 & 0/8 & 0/5 & 1 & 0/8 \\ 0/6 & 0/7 & 0/5 & 0/8 & 0/8 & 0/5 & 0/234 & 0/8 \\ 0/3 & 0/4 & 0/2 & 0/2 & 1 & 0/2 & 0/2 & 0/667 \end{bmatrix}$$

جدول ٤. نتایج نهایی رتبه بندی با روش پرمننت

رتبه	مقادیرپرمننت	گزینه ها
٢	٠/٦٧٧١	٩-١٠
٤	٠/٦١٤٠	٩-١١
٥	٠/٥٩٦٠	٩-١٢
٣	٠/٦١٥١	١٠-١١
٦	٠/٥٨١٦	١٠-١٢
١	١	١١-١٢

نتایج حاصل ازروش محدودیت اپسیلون توسعه یافته

پس از تعیین همه مقادیر معیار برای هر گزینه، ماتریس نرخ معیار و ماتریس اهمیت نسبی معیارها به سراغ تعیین ماتریس ارزیابی گزینه‌ها می‌رویم که نتایج در زیر اشاره شده است:

مقادیر پارامترهای در نظر گرفته شده در حل مدل پیشنهادی درجدول ٥ آمده است.

جدول۵. مقادیر پارامترهای پیشنهادی برای مسائل ابعاد کوچک ومتوسط

پارامترها	مقادیر
cap_v	Uniform(50,55)
$dem_i=(dem_1,dem_2,dem_3)$ ~	uniform (10,35) ~Dem_1 uniform (36,60) ~Dem_2 uniform 61,110) ~Dem_3
r_{ij}	Random(0,1)
t_{vij}	Uniform(0,60)
T_{iv}	Uniform(0,100)
$Time_{ij}$	Uniform(10,50)

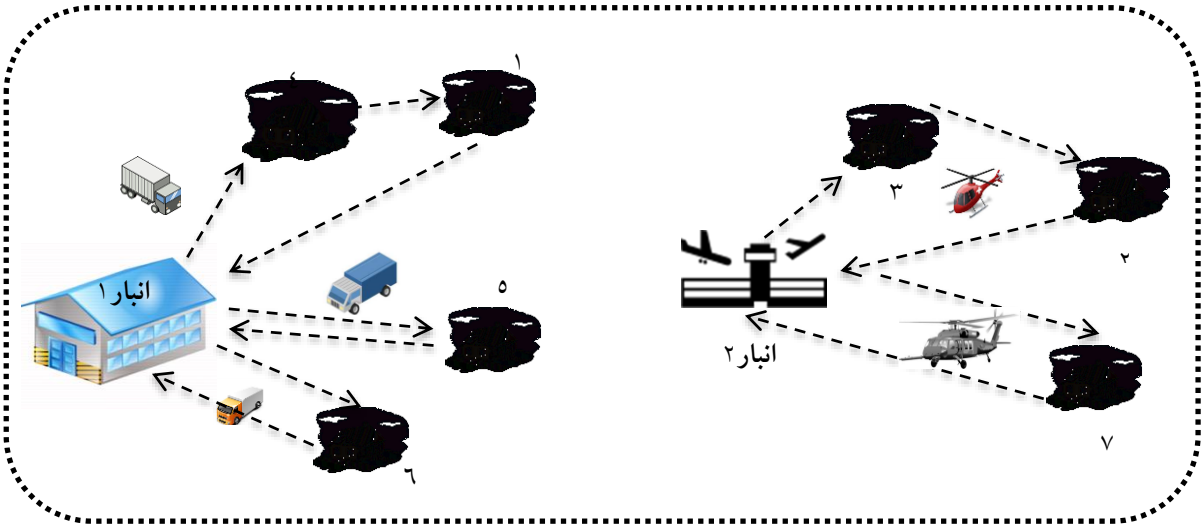
با حل مدل پیشنهادی با استفاده از روش محدودیت اپسیلون توسعه یافته توسط نرم افزار GAMS win64 24.1.2 نتایج بدست آمده در جدول **۷** گزارش شده است. برای این منظور ابتدا مساله بطور جداگانه با هر یک از دو تابع هدف مساله حل شده و در نهایت بهترین مقدار و بدترین مقدار هر یک از توابع هدف در جدول ٦ که همان جدول بازده می‌باشد گزارش شده است. (بر اساس این نتایج توابع هدف با هم در تعارض هستند). برای حل مساله با روش محدودیت اپسیلون توسعه یافته، تابع هدف اول به عنوان تابع هدف پایه و تابع هدف دوم به عنوان محدودیت درنظر گرفته می‌شود . جدول **۷** و شکل**۳** نتایج حاصل از حل مدل به ازای ۷ نقطه در روش محدودیت اپسیلون شکست را نشان می دهد.

جدول٦. نتایج حل جداگانه مدل با توابع هدف مختلف

	نتایج حل مدل با توابع هدف مختلف				
تابع هدف	حل با $f_1(x)$	حل با $f_2(x)$	حل با $f_3(x)$	بهترین مقدارهدف	بدترین مقدارهدف
$f_1(x)$	۱۷/۵۰۰	۳/۸۵۰	۵۰/۰۰۰	۳/۸۵۰	۵۰/۰۰۰
$f_2(x)$	٤۲/۵۰۰	۱/۵۹٦	٤۷/۰۰۰	٤۷/۰۰۰	۱/۵۹٦
$f_3(x)$	۱۷/۵۰۰	٤/۵۸٤	٤٦/۰۰۰	٤/۵۸٤	٤٦/۰۰۰

جدول ۷. جوابهای پارتو منتخب مساله

شماره شکست	هدف ۱(زمان)	هدف ۲(قابلیت اطمینان)	هدف ۳(تقاضای برآورده نشده)
۱	۱۷/۵۰۰	۳/۸۵۰	۵۰/۰۰۰
۲	۱۷/۵۰۰	٤/٤۳۰	٤۷/۰۰۰
۳	۱۷/۵۰۰	٤/۵۸۰	٤٦/۰۰۰
٤	۲۷/۵۰۰	۲/۷۱۰	٤۷/۰۰۰
۵	۲۷/۵۰۰	۲/۸٦۰	٤٦/۰۰۰
٦	٤۲/۵۰۰	۱/٦۰۰	٤۷/۰۰۰
۷	٤۲/۵۰۰	۱/۷۵۰	۵۰/۰۰۰



شکل ۳. نمونه جواب بهینه مدل بصورت شماتیک

از آنجایی که روش محدودیت اپسیلوت توسعه یافته جوابهای پارتو قوی و منحصربه فرد را می‌دهد (جوابهای پارتوی ضعیف را محاسبه نمی کند) لذا در این مدل به ازای تعداد کمتری نقاط شکست (۷ نقطه) جواب پارتو می دهد.

۷. نتیجه گیری

پاسخ سریع به آسیب دیدگان و باقیماندگان پس ازبحران، چالش پیش روی مدیریت بحران است که باید با طراحی شبکه توزیع مناسب و برنامه ریزی برای آن، به این مهم دست یافت. خوشه‌بندی کردن نقاط حادثه دیده با استفاده ازشبکه عصبی– فازی یا انفیس و طراحی مطمئن ترین مسیر برای وسایل نقلیه امدادی با بکارگیری رویکرد تصمیم گیری و نظریه گراف ازجمله راهکارهای پیشنهادی برای رسیدن به این امر مهم بود. در نظرگرفتن اختلالات همزمان درهنگام توزیع کالا ضرورتی است که نادیده گرفته می‌شود وموجب نقص و تاخیر در روند توزیع کالاهای حیاتی خواهد شد. از این رو دراین تحقیق برای جلوگیری از بروز اختلال در مسیر، وسایل نقلیه با توجه به اولویت بندی صورت گرفته شده (با توجه به عوامل تاثیرگذار بر قابلیت اطمینان مسیر) وظیفه خدمت رسانی و توزیع را به مناطق حادثه دیده انجام می‌دهند و از سویی دیگر استراتژی جهت اختلال در وسایل نقلیه (درحالت زمینی) اتخاذ گردیده که درآن با هدف کاهش تقاضای برآورده نشده، وسایل نقلیه تحت سناریوهای مختلف، بگونه ای برنامه ریزی می‌شوند که در صورت خرابی وسیله نقلیه، کمترین آسیب را به سیستم توزیع وارد کرده و درعین حال خدمت رسانی بطور کامل انجام گیرد. دراین مقاله تلاش شده تا با ارائه یک مدل مسیریابی وسیله نقلیه خوشه‌بندی شده و مختل شده، زمان حمل و نقل درکل عملیات و تقاضای براورده نشده (کمبود) حداقل و درعین حال قابلیت اطمینان مسیرحداکثر گردد. در نتیجه سیستم توزیعی طراحی شد که درآن وسایل نقلیه ناهمگن درچند حالت زمینی و هوایی کار امداد رسانی را از چندین انبار شروع کرده و بسته امدادی را به مناطق حادثه دیده ارسال می‌کنند. به منظوریافتن جواب بهینه

از روش محدودیت اپسیلون توسعه یافته استفاده شده و نتایج به ازای هرنقطه شکست و هرتابع هدف گزارش شده است.

۸. پی نوشت ها

1- Adaptive Neural Fuzzy Inference System (ANFIS)
2- Graph Theorical-Permanent Matrix-Decision Making (GT-MP-DM)
3- Back Propagation
4- Feed forward
5- The International Disaster Database (EM-DAT)
6- Payoff

۹. مراجع

-علینقیان، مهدی ،وگلی، علیرضا و مخاطب رفیعی، فریماه (۱۳۹۳) "مسیریابی تجهیزات امدادی درشرایط بحران با رویکردپوششی وتقاضای فازی بااستفاده ازالگوریتم هیبریدی جستجوی هارمونی " نشریه تخصصی مهندسی صنایع، دوره٤٩، شماره اول، بهاروتابستان ١٣٩٤، ص ٧٩ – ٩٢.

-کهفی، عاطفه وتوکلی مقدم، رضا (١٣٩٤) " حل مدل مسیریابی وسایل نقلیه چند انباره مبتنی برکاهش ریسک با استفاده از یک الگوریتم خفاش چند هدفه " مجله مهندسی حمل و نقل، سال ششم، شماره سوم، بهار ١٣٩٤، ص ٥٠٧ – ٥٢٢

–مسعودی، شقایق، جوانشیر، حسن وتوکلی مقدم، رضا (١٣٩٣) "حل مدل مسیریابی وسایل نقلیه ناهمگن چند قرارگاهی با پنجره زمانی توسط الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی چند هدفه: مطالعه موردی"، مجله مهندسی حمل و نقل، سال ششم، شماره دوم، زمستان ١٣٩٣، ص. ٣٢٥– ٣٤٠.

-Adelzadeh M., Mahdavi Asl , V. and Koosha, M. (2014)"A mathematical model and a solving procedure for multi-depot vehicle routing problem with fuzzy time window and heterogeneous vehicle", International Journal of Advanced Manufacturing Technologic, Vol.75, pp.793–802.

-Al Theeb, N. and Murray, C. (2017) "Vehicle routing and resource distribution in post disaster humanitarian relief operations", International Transactions in Operational Research. Vol. 24, Issue. 6, pp. 1253–1284

-Baykasoglu, A. (2012) "A review and analysis of "graph theoretical-matrix permanent" approach to decision making with example applications", Artificial Intelligence Review, Vol. 42.No.4.pp. 573-605.

-Campos,V. , Bandeira, R. and Bandeira, A. (2012) "A method for evacuation route planning in disaster situations", Social and Behavioral Sciences, Vol.54, pp. 503 – 512.

-Cannon R. L., Dave J.V. and Bezdek J. C. (1986). Efficient implementation of the fuzzy c-means clustering algorithms. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.2. pp. 248-55.

-Chu, H. J. (2009) "The Muskingum flood routing model using a neuro-fuzzy approach", KSCE Journal of Civil Engineering, Vol. 13.No. 5. pp. 371-376.

-Esmaili, M., Amjady, N. and Shayanfar H. A.(2011) "Multi-objective congestion management by modified augmented ε-constraint

-Knott, R. (1988) "Vehicle scheduling for emergency relief management: A knowledge-based approach disasters", Wiley Online Library, Vol. 12, No.4, pp. 285–293.

-Mamasis, K., Minis, I. and Dikas, G.(2013) "Managing vehicle breakdown incidents during urban distribution of a common product". Journal of the Operational Research Society. Vol. 64, No.6, pp. 925-37.

-Mavrotas, G. (2009) "Effective implementation of the ε-constraint method in multi-objective mathematical programming problems", Applied Mathematics and Computation, Vol. 213, pp. 455–465.

-Minis, I., Mamasis, K. and Zeimpekis, V.(2012) " Real-time management of vehicle breakdowns in urban freight distribution", Journal of Heuristics, Vol.18,No.3, pp. 375-400

-Mohagar, A., Sadat Faghei, M. Moradi Moghadam, M. and Sada Ahangari, S. (20130) "Integration of fuzzy GTMA anf logatythmic fuzy preference programming for supplier selecto", Reprt and Opinion, Vol. 5, No. 5, pp.9-16

-Mu,Q. and Eglese, R.W. (2013) "Disrupted capacitated vehicle routing problem with order release delay", Annals of Operations Research. Vol.207, No.1, pp. 201-216.

-Nasiri, M. and ShisheGar, S. (2014) "Disaster relief routing by considering heterogeneous vehicles and reliability of routes using an MADM approach", Uncertain Supply Chain Management. Vol.2, No.3,pp. 137-50.

method", Applied Energy.Vol.88, No.3. pp. 755-66.

-Geetha, N. K., and Sekar, P. (2016) "Graph theory matrix approach–A review", Indian Journal of Science and Technology, Vol.9, No.16, pp. 34-42.

-Goli, A. and Alinaghian, M. (2015) "Location and multi-depot vehicle routing for emergency vehicles using tour coverage and random sampling", Decision Science Letters, Vol.4, pp. 579–592.

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

-Iida, Y. (1999) "Basic concepts and future directions of road network reliability analysis", Journal of Advanced Transportation, Vol. 33, No.2., pp. 125-134.

-Khatibi, R., Ghorbani, M. A., Hasanpour – Kashani, M. and Kisi, O. (2011) " Comparison of three artificial intelligence techniques for discharge routing", Journal of Hydrology, Vol. 403, Iss. 3–4, P.P 201-212

-Kisi, O. and Zounemat-Kermani, M. (2016) "Suspended sediment modeling using neuro-fuzzy embedded fuzzy c-means clustering technique", Water Resources Management. Vol.30., No.11. pp. 3979-94.

-Knott, R. (1987) "The logistics of bulk relief supplies disasters", Wiley Online Library, Disasters, Vol.11, No.2, pp.113-115.

-Rao, R.V. and Padmanabhan, K. K. (2007) "Rapid prototyping process selection using graph theory and matrix approach", J. Mater.Process.Technol, Vol.194,No.1-3, pp. 81–88.

-Sedighi, M., Ghasemi M., Mohammadi, M. and Hassan, S. H. (2014) "A novel application of a neuro–fuzzy computational technique in modeling of thermal cracking of heavy feedstock to light olefin" , RSC Advances.Vol. 4, No. 54. pp. 28390–28399.

-Tofighi, S., Torabi , S.A. and Mansouri, S.A. (2016) "Humanitarian logistics network design under mixed uncertainty", European Journal of Operational Research, Vol. 250, No.1, pp.239-50.

-Torabi, S. A., Baghersad M. and Meisami, A. (2013) "Emergency relief routing and temporary depots location problem considering roads restoration", Proc. of the 24th Annual Conf. Production and Operations Management Society, pp.1-10.

-Wang, X., Wu, X. and Hu, X. (2010) "A study of urgency vehicle routing disruption management problem", WASE International Conference on Information Engineering (ICIE), Vol. 3. pp. 452-455.

زهرا غریب زانوسی، درجه کارشناسی دررشته ریاضی کاربردی را ازدانشگاه پیام نورتنکابن درسال ۱۳۸۵ ودرجه کارشناسی ارشد را در سال۱۳۸۹ ازدانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم وتحقیقات تهران در رشته مهندسی سیستم های اقتصادی- اجتماعی اخذ نموده ودرسال ۱۳۹۵ موفق به اخذ درجه دکتری دررشته مهندسی صنایع گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان لجستیک امداد بشردوستانه، کاربرد تکنیکهای تصمیم گیری و مسائل مسیریابی وسایل نقلیه چندمعیاره است.

رضا توکلی مقدم، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳٦۷ از دانشگاه علم و صنعت ایران ودرجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع در سال ۱۳۷۲ را از دانشگاه ملبورن – استرالیا اخذ نمود. در سال۱۳۷٦ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه سوئینبرن – استرالیا گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان طراحی سیستمهای صنعتی(مکانیابی و استقرار تسهیلات)، مسیریابی وسایط حمل ونقل، لجستیک و طراحی شبکه زنجیره تامین، زمانبندی و توالی عملیات، الگوریتمهای فراابتکاری در بهینه سازی بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استاد تمام در دانشگاه تهران است.

علی بزرگی امیری، دوره کارشناسی و کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۷۸ و ۱۳۸۳ از دانشگاه علم وصنعت ایران اخذ نمود. ایشان در سال ۱۳۹۰ موفق به کسب در جه دکتری در رشته مهندسی صنایع –مهندسی سیستم های اقتصادی–اجتماعی از دانشگاه علم و صنعت ایران گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان لجستیک امداد بشردوستانه، مکانیابی و کاربرد تکنیکهای تصمیم گیری چند معیاره بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه دانشیار در دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه تهران است.

سیداسماعیل نجفی، درجه کارشناسی دررشته مهندسی سیستم های اقتصادی- اجتماعی را درسال ۱۳٦٦ ازدانشگاه شهید بهشتی و درجه کارشناسی ارشد را درسال ۱۳۸۳ ازدانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک اخذ نموده و درسال ۱۳۸۸ موفق به اخذ درجه دکتری دررشته مهندسی صنایع گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان تحلیل پوششی داده ها کاربرد تکنیکهای تصمیم گیری ومسائل مدلسازی ریاضی است.