

## مسیریابی و زمانبندی وسایل نقلیه و توزیع همزمان کالاهای ضروری

### در عملیات امداد بشردوستانه پس از بحران

#### مقاله علمی - پژوهشی

مهشاد سلیمانی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل، ایران

جواد رضائیان\*، دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل، ایران

ایرج مهدوی، استاد، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: [j.rezaeian@ustmb.ac.ir](mailto:j.rezaeian@ustmb.ac.ir)

دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۹ - پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۰

صفحه ۳۶۶-۳۴۱

#### چکیده

همه ساله وقوع حوادث طبیعی نظیر زلزله، سیل، طوفان و یا حوادث ساخته دست بشر نظیر جنگ و حمله تروریستی، باعث تلفات جانی و آسیب‌های مالی و اقتصادی به جوامع انسانی در سرتاسر جهان می‌شوند. پس از وقوع این حوادث، پاسخ اورژانسی به سوانح و خدمت‌رسانی به قربانیان امری ضروری است. تجربه نشان داده‌است که اقدام مسئولانه در بروز بلاها تنها داشتن اطلاعات کافی نیست بلکه علاوه بر آن باید درک درستی از آنچه برای عمل مناسب است وجود داشته‌باشد. بنابراین امداد رسانی باید در سریع‌ترین زمان و با بهترین عملکرد صورت گیرد. در این پژوهش، مدل ریاضی برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی برای مسیریابی و زمانبندی وسایل نقلیه در عملیات امدادی پس از حادثه ارائه شده است که توزیع اقلام ضروری به مناطق آسیب‌دیده به طور همزمان در نظر گرفته شده است. با توجه به اهمیت زمان در زمینه امداد رسانی پس از بحران، هدف این مدل پیشنهادی، کمینه سازی مجموع وزنی زمان پایان امداد رسانی به نقاط آسیب‌دیده با توجه به اولویت این نقاط است. به منظور بررسی کارایی مدل پیشنهادی، مثال‌هایی با نرم‌افزار لیتگو ۹ کدنویسی، حل و اعتبارسنجی گردید. برنامه مسیر امداد رسانی و ترتیب بازدید نقاط آسیب‌دیده توسط هر وسیله نقلیه مشخص شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند با وجود محدودیت وسایل نقلیه ناهمگن و با در نظر گرفتن تامین تقاضای هر نقطه آسیب‌دیده، مقادیر و برنامه مسیر بدست آمده سعی در کمینه کردن هرچه بیشتر زمان پایان عملیات امداد رسانی دارند.

واژه‌های کلیدی: بلاها، توزیع اقلام امدادی، زمانبندی، لجستیک امداد، مسیریابی وسایل نقلیه

#### ۱- مقدمه

جمعیت جهان را تشکیل می‌دهد در حالی که جزء ۱۰ کشور بلاخیز جهان است و ۹۰ درصد جمعیت کشور در معرض خطرات ناشی از سیل و زلزله قرار دارند. معمولاً در این حوادث در صورت نبود برنامه‌ریزی مناسب، هرج و مرج، اتلاف وقت و هزینه و همچنین اتلاف امکانات به وجود می‌آید و ممکن است جان بسیاری از افراد به خطر بیفتد. بلا، به وقوع ناگهانی یک فاجعه که ساختار بنیادی و عملکرد عادی جامعه یا مردم را مختل می‌کند گفته می‌شود. به طور کلی بلاها به دو دسته بلاهای

حوادث طبیعی و انسانی در جای جای کره خاکی در فصل‌های مختلف سال رخ می‌دهند. این حوادث با توجه به شدت و مکان وقوعشان، عواقب متعدد و زیان‌باری خواهند داشت و هر ساله زندگی بسیاری از انسان‌ها در سرا سر جهان را تحت تاثیر قرار می‌دهند. در سال ۲۰۱۰ بلاهای طبیعی باعث مرگ بیش از ۲۹۷۰۰۰ نفر در جهان شدند، زندگی ۲۱۷ میلیون نفر را تحت تاثیر قرار دادند و باعث ۱۲۳٫۹ بیلیون دلار خسارات اقتصادی شدند (Sapir et al., 2010). ایران تنها یک درصد

طبیعی و بلایای انسانی طبقه‌بندی می‌شوند. بلایای طبیعی از رخدادهای طبیعی نشات می‌گیرند. این نوع بلایا مانند طوفان، زلزله، سیل و... جزء سه دسته هواشناسی، زمین‌شناسی و زیست‌شناسی هستند. علاوه بر بلایای طبیعی، وقوع بلایای انسانی از قبیل جنگ، سوانح و... به طور عمد یا غیر عمد تاثیر زیادی در زندگی افراد می‌گذارند. پس از وقوع هر نوع از این بلایا، مناطق تحت تاثیر نیاز ضروری و حیاتی به کمک و امداد رسانی در اسرع وقت دارند. عملیات‌های بحرانی به ۴ دسته اصلی کاهش (قبل فاجعه)، آمادگی (حین فاجعه)، واکنش (دوره کوتاه مدت بعد فاجعه) و بهبود (دوره بلند مدت بعد فاجعه) تقسیم می‌شوند (Altay and Green, 2006).

دو دسته اول، عملیات‌های پیش از بحران هستند و برنامه‌ریزی پیش از بحران (Chang, Tseng and Chen, 2007; Rawls and Turnquis, 2010; Campbell and Widener and Horner, 2011) و ساخت انبارها (Jones, 2011) را شامل می‌شوند. دو دسته بعدی شامل لجستیک امداد بشردو ستانه پس از بحران هستند. عملیات‌های پس از بحران، تحویل سریع کالاهای ضروری نظیر آب، غذا، دارو و... به مناطق آسیب‌دیده، انتقال مجروحان با کارآمدترین روش ممکن با توجه به منابع محدود و مسیرهای غیرقابل عبور بالقوه (Yi and Kumar, 2007; Yi and Ozdamar, 2007) و ساخت و خرابی‌ها (Fetter and Rakes, 2011) و ساخت انبارهای موقت (Widener and Horner, 2011) را شامل می‌شوند.

با وجود پیشرفت علم و تکنولوژی، ماهیت این‌گونه حوادث، تکراری و غیر قابل پیش‌بینی بودن آنها است بنابراین در اختیار داشتن برنامه‌ریزی لجستیک اضطراری مناسب برای رویارویی با این حوادث و امداد رسانی در اسرع وقت پس از حادثه، اهمیت بررسی و مطالعه در خصوص لجستیک امداد و مدیریت بحران و مسائل مرتبط با آنها را کاملا واضح و روشن می‌سازد. هم‌چنین افزایش تعداد حوادث غیر مترقبه در سال‌های اخیر و آسیب‌های ناشی از آن باعث شده‌است که مجامع علمی در حوزه امداد رسانی به تحقیق و پژوهش بیشتری بپردازند. به دلیل پیچیدگی مسائل امداد پس از بحران، مطالعات بسیاری فقط به یکی از عملیات‌های لجستیکی در مدل خود پرداخته‌اند. چپو و ژنگ (۲۰۰۷) و جاتشی و همکاران (۲۰۰۹) مدلی را برای عملیات تخلیه مجروحان با هدف حداقل‌سازی زمان توزیع پیشنهاد کردند (Chiu and Zheng, 2007; Jotshi, 2009). در پژوهشی دیگر بهارنچی و همکاران (۲۰۱۱) یک مدل با در نظر گرفتن تخلیه مجروحان ارائه دادند و با الگوریتم فراابتکاری شیب‌سازی تبرید (SA) به حل آن در مقیاس بزرگ پرداختند (Baharanchi, Khah and Jandaghi, 2011). مدل ارائه شده توسط افشار و حقانی (۲۰۱۲) به امداد بشردوستانه با در نظر داشتن توزیع تقاضا تمرکز داشت (Afshar and Haghani, 2012). حسینی‌نژاد و همکاران مدلی برای مکانیابی هاب‌های امدادی ارائه کردند و با روش حل دقیق و الگوریتم NSGAI به حل آن پرداختند (Hosseininezhad, Makui and Tavakkoli-Moghaddam, 1397) در تحقیقی دیگر مدل لجستیک امدادی در مقابل زلزله توسط حیدری‌اناری و همکارانش مبتنی بر سیاست‌های اقتصاد مقاومتی ارائه شده‌است (Heidari Anary, Shahabi Haghghi and Raissi, 1397). هم‌چنین حسینی و مختاری یک مدل چندهدفه و چنددوره‌ای برای طراحی شبکه امداد یکپارچه تحت عدم اطمینان پیشنهاد کردند (Hasani and Mokhtari, 2019). امداد رسانی درست و به موقع در شرایط بحرانی، نیازمند هماهنگی و سایل نقلیه متعدد و مسیریابی این وسایل نقلیه است. از این رو تحقیقات بسیاری جهت بهبود مسیرها و حذف مسیرهای اضافی و یافتن کوتاهترین مسیرها انجام گرفته‌است. حامدی و همکارانش با ارائه یک مدل ریاضی به مطالعه تامین منابع در شرایط بحرانی و نقش حمل‌ونقل زمینی در عملیات‌های امدادی پرداختند و حداقل کردن هزینه‌ها و شرایط عدم قطعیت در مسیر و جریمه برای قابلیت اطمینان را در نظر گرفته‌اند (Hamedi, Haghani and Yang, 2012). در سال ۲۰۱۲ مساله مسیریابی وسایل نقلیه برای توزیع مواد ضروری و تخلیه مجروحان با تکنیک خوشه‌بندی سلسله مراتبی در ابعاد بزرگ مورد بررسی قرار گرفت (Özdamar and Demir, 2012). مسعود ربانی و همکارانش به مطالعه یک مدل چندهدفه مسیریابی در شرایط بحران با در نظر گرفتن احتمال وقوع بحران‌های جدید پرداختند (Rabani, Dolatkah and Zamaniyan, 1392). به منظور مسیریابی پویای وسایل نقلیه امداد هوایی و مکان‌یابی مراکز امداد، آقای و همکارانش یک مدل ریاضی با هدف کمینه‌کردن حداکثر زمان انتقال کالاهای امدادی به مراکز تاسیس شده پیشنهاد دادند (Aghaei, alinaghian and sabagh, 1396). مساله مسیریابی چند وسیله‌ای برای توزیع اقلام ضروری پس از بحران با هدف حداکثرسازی تابع مطلوبیت توزیع امدادی ذینفعان، توسط برانی و همکارانش ارائه گردید و از یک روش ابتکاری ابداعی برای حل استفاده شد (Bruni, Beraldi and Khodaparasti, 2018). امروزه مبحث زمان در زمینه‌های مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است به طوری که در شرایط بحرانی اهمیت این فاکتور به منظور امداد رسانی و پاسخ به حادثه به وضوح

طبیعی و بلایای انسانی طبقه‌بندی می‌شوند. بلایای طبیعی از رخدادهای طبیعی نشات می‌گیرند. این نوع بلایا مانند طوفان، زلزله، سیل و... جزء سه دسته هواشناسی، زمین‌شناسی و زیست‌شناسی هستند. علاوه بر بلایای طبیعی، وقوع بلایای انسانی از قبیل جنگ، سوانح و... به طور عمد یا غیر عمد تاثیر زیادی در زندگی افراد می‌گذارند. پس از وقوع هر نوع از این بلایا، مناطق تحت تاثیر نیاز ضروری و حیاتی به کمک و امداد رسانی در اسرع وقت دارند. عملیات‌های بحرانی به ۴ دسته اصلی کاهش (قبل فاجعه)، آمادگی (حین فاجعه)، واکنش (دوره کوتاه مدت بعد فاجعه) و بهبود (دوره بلند مدت بعد فاجعه) تقسیم می‌شوند (Altay and Green, 2006).

دو دسته اول، عملیات‌های پیش از بحران هستند و برنامه‌ریزی پیش از بحران (Chang, Tseng and Chen, 2007; Rawls and Turnquis, 2010; Campbell and Widener and Horner, 2011) و ساخت انبارها (Jones, 2011) را شامل می‌شوند. دو دسته بعدی شامل لجستیک امداد بشردو ستانه پس از بحران هستند. عملیات‌های پس از بحران، تحویل سریع کالاهای ضروری نظیر آب، غذا، دارو و... به مناطق آسیب‌دیده، انتقال مجروحان با کارآمدترین روش ممکن با توجه به منابع محدود و مسیرهای غیرقابل عبور بالقوه (Yi and Kumar, 2007; Yi and Ozdamar, 2007) و ساخت و خرابی‌ها (Fetter and Rakes, 2011) و ساخت انبارهای موقت (Widener and Horner, 2011) را شامل می‌شوند.

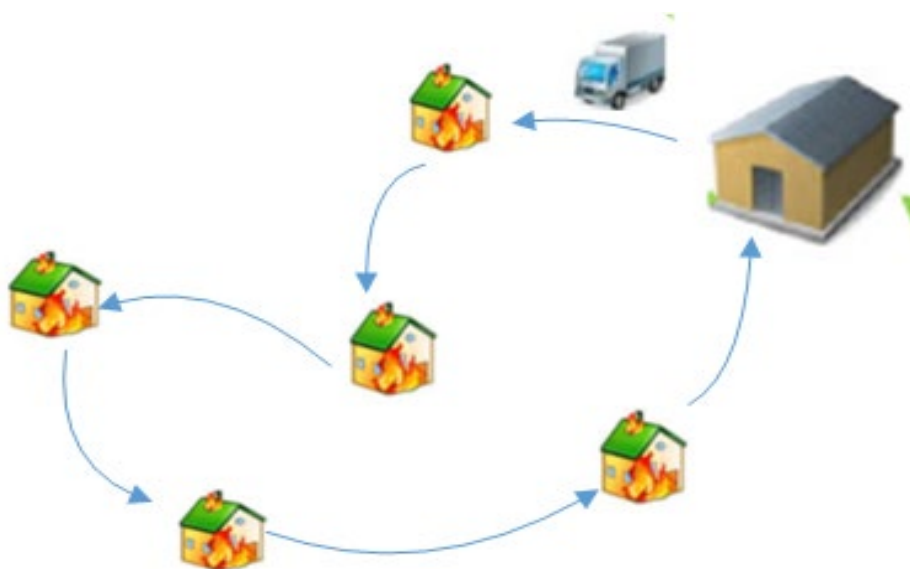
با وجود پیشرفت علم و تکنولوژی، ماهیت این‌گونه حوادث، تکراری و غیر قابل پیش‌بینی بودن آنها است بنابراین در اختیار داشتن برنامه‌ریزی لجستیک اضطراری مناسب برای رویارویی با این حوادث و امداد رسانی در اسرع وقت پس از حادثه، اهمیت بررسی و مطالعه در خصوص لجستیک امداد و مدیریت بحران و مسائل مرتبط با آنها را کاملا واضح و روشن می‌سازد. هم‌چنین افزایش تعداد حوادث غیر مترقبه در سال‌های اخیر و آسیب‌های ناشی از آن باعث شده‌است که مجامع علمی در حوزه امداد رسانی به تحقیق و پژوهش بیشتری بپردازند. به دلیل پیچیدگی مسائل امداد پس از بحران، مطالعات بسیاری فقط به یکی از عملیات‌های لجستیکی در مدل خود پرداخته‌اند. چپو و ژنگ (۲۰۰۷) و جاتشی و همکاران (۲۰۰۹) مدلی را برای عملیات تخلیه مجروحان با هدف حداقل‌سازی زمان توزیع پیشنهاد کردند (Chiu and Zheng, 2007; Jotshi, 2009). در پژوهشی دیگر بهارنچی و همکاران (۲۰۱۱) یک مدل با در نظر گرفتن تخلیه مجروحان ارائه دادند و با الگوریتم فراابتکاری شیب‌سازی تبرید (SA)

محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه ارائه گردید (Sabouhi et al., 2018). با بررسی مطالعات گذشته در زمینه مسیریابی و زمانبندی وسایل نقلیه امدادی در عملیات پس از بحران، بسیاری از مقالات در فاز واکنش، مسیریابی و زمانبندی وسایل نقلیه امدادی را به طور همزمان در نظر نگرفتند و همچنین ظرفیت وسایل نقلیه امدادی را به صورت نامحدود فرض کرده‌اند. در این مطالعه، یک مدل ریاضی جدید در زمینه مسیریابی و زمانبندی وسایل نقلیه امدادی ارائه شده است که به توزیع اقلام امدادی به مناطق آسیب دیده پس از بحران با هدف کمینه کردن زمان سرویس‌دهی و امدادسانی می‌پردازد.

## ۲- تعریف مساله

پس از هر حادثه مهمترین اقدام، امدادسانی به مناطق آسیب دیده است. توزیع کالاهای ضروری نظیر آب، غذا، دارو، لباس و... جزء یکی از حیاتی‌ترین عملیات امداد پس از بحران محسوب می‌شود. این مطالعه ادغام ۳ حوزه زنجیره تامین، مسیریابی و زمانبندی در یک شبکه توزیع کالاهای ضروری به مناطق آسیب‌دیده توسط بلایا می‌باشد. هر نقطه آسیب دیده با یک گره نشان داده می‌شود. هر گره دارای تقاضای مشخص است که نیاز آن توسط انبار مرکزی تامین می‌شود. هر وسیله نقلیه عملیات امداد را از انبار مرکزی آغاز می‌کند و پس از امدادسانی به نقاط آسیب‌دیده و توزیع کالاهای ضروری به این نقاط بازدید شده، به انبار مرکزی بر می‌گردد.

احساس می‌شود. در سال‌های اخیر تحقیقات بسیاری با ترکیب دو زمینه مسیریابی و زمانبندی در لجستیک امداد صورت گرفت. وکس و همکارانش برای مسیریابی و زمانبندی واحدهای امدادی مدلی فازی، تک‌هدفه، تک دوره‌ای پیشنهاد کردند (Wex, Schryen and Neumann, 2012). یک مدل مسیریابی و زمانبندی تک‌هدفه و تک دوره‌ای و فازی به منظور توزیع اقلام امدادی به مناطق فاجعه‌دیده توسط گان و همکارانش ارائه شد (Gan et al., 2013). در پژوهشی دیگر وکس و همکارانش مدلی برای مسیریابی و زمانبندی واحدهای امداد و نجات ارائه دادند و مساله را تک دوره‌ای، قطعی و تک‌هدفه در نظر گرفتند (Wex et al., 2014). تالاریکو و همکاران یک مدل مسیریابی و زمانبندی برای انتقال مصدومان از مناطق حادثه دیده به مراکز درمانی با فرض امدادسانی توسط یک وسیله نقلیه به هر منطقه پیشنهاد دادند (Talarico, Merisel and Sorensen, 2015). برای توزیع اقلام امدادی با فرض پنجره زمانی، صبحی و بزرگی امیری مدل ریاضی با در نظر گرفتن همزمان مسیریابی و زمانبندی وسایل نقلیه پیشنهاد دادند (Sabouhi and Bozorgi-Amiri, 1395). فرح‌بخش و همکاران مدلی را برای امدادسانی به هدف کمینه کردن زمان و هزینه و با فرض غیر قطعی بودن پارامترهای تقاضا و زمان سفر ارائه دادند (Farah-Bakhsh, Tavakoli-Moghaddam and Ghezavati, 1395). مدل زمانبندی و مسیریابی برای تخلیه مجروحان و توزیع اقلام امدادی با هدف حداقل سازی زمان رسیدن وسایل نقلیه، توسط صبحی و همکارانش با در نظر گرفتن تحویل گسسته و



شکل ۱. شماتیک مساله پیشنهادی

نقاط، ارائه شده است. مجموعه نقاط آسیب دیده بر اثر حادثه با  $D$  نشان داده شده است و تعداد کل این نقاط برابر با  $A$  است. به منظور امداد رسانی به این نقاط، تعداد  $m$  وسایل نقلیه در نظر گرفته شده است که از انبار مرکزی شروع به حرکت می کنند. انبار مرکزی به صورت گره های مجازی با شماره های  $0$  و  $A+1$  نمایش داده می شوند.

تقاضا، مدت زمان سرویس دهی و وزن مربوط به این گره های مجازی صفر است و تنها مدت زمان حمل و نقل در نظر گرفته شده است. انواع کالاهای مورد نیاز برای هر گره آسیب دیده  $n$  نوع و نظیر آب، غذا، دارو و ... است و با نماد  $NC$  نمایش داده می شوند.

### ۳-۱- مجموعه ها و اندیس ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم

مجموعه ها و اندیس ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم به ترتیب در جدول ۱ و جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱. مجموعه ها و اندیس ها

$D$	مجموعه نقاط آسیب دیده $i, j = \{1, \dots, A\}$
$NC$	مجموعه کالاهای ضروری $c = \{1, \dots, n\}$
$H$	مجموعه وسایل نقلیه امدادی $v = \{1, \dots, m\}$

جدول ۲. پارامترها و متغیرهای تصمیم

$r_{ci}$	مقدار تقاضای کالای $c$ ام در گره $i$ ام.
$cap_v$	ظرفیت حمل و نقل وسیله نقلیه $v$ ام.
$TT_{ij}$	مدت زمان حمل و نقل از گره $i$ به گره $j$ .
$PT_{iv}$	مدت زمان سرویس دهی وسیله نقلیه $v$ به گره $i$ .
$w_i$	وزن گره $i$ ام
$P_{civ}$	مقدار کالای $c$ حمل شده به گره $i$ توسط وسیله نقلیه $v$
$D_{civ}$	مقدار باراندازی کالای $c$ در گره $i$ توسط وسیله نقلیه $v$ .
$ST_{iv}$	زمان شروع سرویس دهی به گره $i$ توسط وسیله نقلیه $v$ .
$FT_{iv}$	زمان پایان سرویس دهی به گره $i$ توسط وسیله نقلیه $v$ .
$X_{vij}$	اگر وسیله نقلیه $v$ از گره $i$ به گره $j$ سفر کند ۱ در غیر این صورت $0$ ( $i \neq j$ )
$Y_{vij}$	اگر وسیله نقلیه $v$ گره $i$ را در هر زمانی قبل از گره $j$ بازدید کند ۱ در غیر این صورت $0$ ( $i \neq j$ )

با توجه به اینکه درصد آسیب و خرابی در هر منطقه یکسان نیست برای هر گره آسیب دیده، اولویت و وزن ویژه ای تخصیص داده شده است به طوری که گره با آسیب بیشتر، وزن بیشتری نسبت به سایر مناطق دارد و در اولویت امداد رسانی قرار می گیرد و باید امداد رسانی و توزیع کالا به این گره در زمان کمتری صورت گیرد. شماتیک ساده ای از مساله پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است.

### ۲-۱- مفروضات

- مفروضات مدل پیشنهادی به صورت زیر است:
- وسایل نقلیه امدادی به صورت ناهمگن فرض شده اند.
- ظرفیت هر وسیله نقلیه مشخص است.
- هر وسیله نقلیه از انبار اولیه شروع به حرکت می کند.
- هر وسیله نقلیه پس از اتمام مسیرش به انبار اولیه بر می گردد.
- هر وسیله نقلیه هر گره آسیب دیده را حداکثر یکبار ویزیت می کند.
- مساله به صورت چندکالایی فرض شده است.
- مقدار تقاضای هر نوع کالا در هر گره مشخص است.

### ۳- مدل سازی ریاضی

مدل پیشنهادی با هدف حداقل سازی مجموع زمان پایان امداد رسانی به نقاط آسیب دیده با در نظر گرفتن اولویت این

$$\min Z = \sum_i \sum_v W_i \cdot FT_{iv} \quad (1)$$

:s. t

$$\sum_{i=0}^A \sum_{v=1}^m X_{vij} = 1 \quad j = 1, \dots, A \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{A+1} \sum_{v=1}^m X_{vij} = 1 \quad i = 1, \dots, A \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{A+1} X_{v0j} = 1 \quad v = 1, \dots, m \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^n X_{vi,A+1} = 1 \quad v = 1, \dots, m \quad (5)$$

$$\sum_{i=0}^A X_{vik} = \sum_{j=1}^{A+1} X_{vjk} \quad v = 1, \dots, m; k = 1, \dots, A \quad (6)$$

$$P_{civ} \geq D_{civ} \quad c = 1, \dots, n; v = 1, \dots, m; i = 1, \dots, A \quad (7)$$

$$\sum_{c=1}^n P_{civ} \leq \sum_{j=1}^A \text{bigM} \cdot X_{vij} \quad i = 1, \dots, A; v = 1, \dots, m \quad (8)$$

$$\sum_{c=1}^n P_{civ} \leq \text{cap}_v \quad v = 1, \dots, m \quad (9)$$

$$\sum_{v=1}^m D_{civ} = r_{ci} \quad i = 1, \dots, A; c = 1, \dots, n \quad (10)$$

$$ST_{jv} \geq (ST_{iv} + PT_{iv} + TT_{ij}) \cdot X_{vij} \quad i = 1, \dots, A; j = 1, \dots, A; v = 1, \dots, m \quad (11)$$

$$FT_{iv} \geq (ST_{iv} + PT_{iv}) \cdot \sum_{j=1}^A X_{vij} \quad i = 1, \dots, A; v = 1, \dots, m \quad (12)$$

$$ST_{iv} \leq \text{bigM} \cdot \sum_{j=1}^A X_{vij} \quad i = 1, \dots, A; v = 1, \dots, m \quad (13)$$

$$Y_{vik} + Y_{vjk} - 1 \leq Y_{vij} \quad i = 0, \dots, A; j = 1, \dots, A + 1; k = 1, \dots, A; v = 1, \dots, m \quad (14)$$

$$X_{vij} \leq Y_{vij} \quad i = 1, \dots, A; j = 1, \dots, A + 1; v = 1, \dots, m \quad (15)$$

$$Y_{vii} = 0 \quad i = 0, \dots, A + 1; v = 1, \dots, m \quad (16)$$

$$\sum_{k=1}^{A+1} X_{vik} \geq Y_{vij} \quad i = 0, \dots, A; j = 1, \dots, A + 1; v = 1, \dots, m \quad (17)$$

$$\sum_{k=0}^A X_{vkj} \geq Y_{vij} \quad i = 0, \dots, A; j = 1, \dots, A + 1; v = 1, \dots, m \quad (18)$$

$$X_{vij}, Y_{vij} \in \{0,1\} \quad (19)$$

$$P_{civ}, D_{civ}, ST_{iv}, FT_{iv} \geq 0 \quad (20)$$

#### ۴-۱-۱- مثال ۱

در مثال اول مدل پیدشهادی با در نظر گرفتن مفروضات زیر و پارامترهای ورودی موردنیاز در جداول ۳-۷ حل می‌گردد. فرض کنید طی حادثه‌ای ۲ گره آسیب دیده باشند. برای امداد رسانی و توزیع کالاهای ضروری به این نقاط آسیب دیده ۲ وسیله نقلیه موجود هست و ۲ نوع کالای ضروری در نظر گرفته شده است.  $M$  بزرگ برابر با ۱۰۰۰۰۰ فرض شده است. گره‌های ۱ و ۴ گره‌های مجازی هستند.

پس از حل مدل در لینگو ۹ در مدت ۳ ثانیه نتایج جدول ۸ بدست آمده است. سپس مقادیر غیر صفر متغیر  $X$  در جدول ۹ نشان داده شده‌اند.

#### ۴-۱-۱- برنامه مسیر امداد رسانی مثال ۱

با توجه به مقادیر بدست آمده در جدول ۹ برنامه مسیر امداد رسانی به صورت شکل ۲ است.

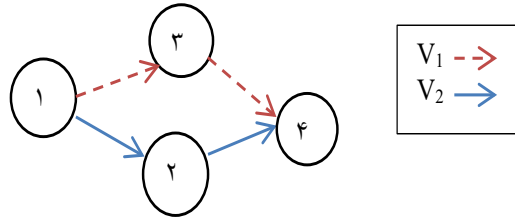
#### ۴-۱-۲- تجزیه و تحلیل مثال ۱

برای تجزیه و تحلیل دقیق‌تر، مقادیر پارامترها به طور یکنواخت تغییر داده شده است. مقدار تابع هدف مساله با حل مدل در لینگو، ۱/۸ بدست آمده است. با تغییر صعودی در پارامترهای مدل، مقدار تغییر در تابع هدف به صورت جداول ۱۰-۱۳ است.

عبارت (۱) بیانگر تابع هدف مساله است که مجموع وزنی زمان پایان سرویس دهی و وسایل نقلیه به گره‌های آسیب دیده را کمینه می‌کند. معادلات (۲) و (۳) محدودیت‌های تخصیص گره‌ها به وسایل نقلیه است. محدودیت‌های (۴) و (۵) به ترتیب بیان می‌کنند که هر وسیله نقلیه امدادی باید از انبار مرکزی شروع به حرکت کند و در پایان مسیرش به انبار مرکزی برگردد. معادله (۶) تعادل جریان وسایل نقلیه را تضمین می‌کند. محدودیت‌های (۷) و (۸) مقدار بارگیری هر وسیله نقلیه را بیان می‌کنند. معادله (۹) محدودیت ظرفیت هر وسیله نقلیه است. محدودیت (۱۰) تامین تقاضای هر گره را تضمین می‌کند. معادلات (۱۱) - (۱۳) معادلات زمانبندی هستند. محدودیت‌های (۱۴) - (۱۸) به ترتیب محدودیت‌های پیش‌نیازی را نشان می‌دهند. معادلات (۱۹) و (۲۰) بازه تغییرات متغیرها را مشخص می‌کنند.

#### ۴- تحلیل مدل و نتایج محاسباتی

به منظور تجزیه و تحلیل مدل پیشنهادی، دو مثال در ابعاد مختلف با مقدار پارامترهای متفاوت در نظر گرفته شده است. در این مثال‌ها، به مقدار پارامترهای ورودی واحدهایی یکسان افزوده می‌شود و میزان تغییر تابع هدف بدست آمده نمایانگر میزان ثبات مدل نسبت به تغییر آن پارامتر است. همچنین تغییر برنامه مسیر امداد رسانی به نقاط آسیب دیده نیز بررسی می‌گردد. هدف از این کار، تشخیص شدت حساسیت تابع هدف نسبت به تغییرات پارامترها در ابعاد مختلف مدل و نیز شناسایی استراتژی‌های کنترلی در عملیات امدادی است. نتایج بدست آمده از حل مدل با استفاده از نرم‌افزار لینگو ۹ محاسبه شده است. هر مثال شامل بخش‌هایی نظیر تولید داده، نتایج محاسباتی در لینگو، تجزیه و تحلیل نتایج است. جداول مربوط به محاسبات این بخش در پیوست آمده است.



شکل ۲. شماتیک برنامه مسیرامدادرسانی مثال ۱

#### ۲-۴-۲-مثال ۲

بدست آمده پس از حل مدل در لینگو ۹ در مدت ۱۸ ثانیه در جدول ۱۹ نمایش داده شده است.

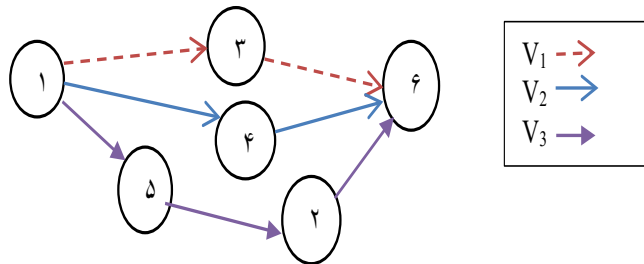
در مثال ۲ مدل ریاضی پیشنهادی با فرضیات و ابعاد جدید به صورت زیر فرض می شود.

۴ گره طی حادثه آسیب دیده اند و گره های ۱ و ۶ گره های مجازی در نظر گرفته می شوند. فرض کنید ۳ و سیله نقلیه برای توزیع کالاهای ضروری به این نقاط موجود هستند. تعداد ۴ نوع کالای ضروری در نظر گرفته شده است.

#### ۲-۴-۱- برنامه مسیر امدادرسانی مثال ۲

مقادیر غیر صفر متغیر  $X$  که مشخص کننده مسیر امدادرسانی هستند، در جدول ۲۰ نشان داده شده اند. برنامه مسیر امدادرسانی با توجه به این مقادیر به صورت شکل ۳ است.

$M$  بزرگ برابر با ۱۰۰۰۰۰ است. داده های مورد نیاز برای محاسبات این مساله در جداول ۱۴-۱۸ آورده شده است. نتایج



شکل ۳. شماتیک برنامه مسیرامدادرسانی مثال ۲

#### ۴-۲-۲- تجزیه و تحلیل مثال ۲

می شوند در حالی که با وجود تغییر در وزن و اولویت گره‌های آسیب‌دیده، این حساسیت شدید کاملاً محسوس بوده اما منجر به تغییر مسیر امداد رسانی نشده و مسیر امداد رسانی همچنان از ثبات پیشین برخوردار است. بنابراین جهت بهینه سازی هرچه بیشتر مدل و کارایی آن، می‌بایست استراتژی‌های کنترلی را در زمان‌های سرویس‌دهی هر وسیله نقلیه و زمان‌های حمل‌ونقل بین گره‌های آسیب‌دیده اعمال کرد و در این پارامترها کنترل شدیدتر و دقیق‌تری را اجرا نمود.

مقادیر پارامترهای مساله به طور صعودی تغییر داده شده است. مقدار تابع هدف با تغییر در پارامترهای تقاضای کالاها، زمان سرویس‌دهی وسایل نقلیه، وزن گره‌ها، زمان‌های حمل‌ونقل بین گره‌ها در جداول ۲۱-۲۴ آورده شده است.

#### ۵- نتیجه‌گیری

از جمله موضوعاتی که در تحقیقات آتی جهت تکمیل و توسعه مدل پیشنهادی در این پژوهش به محققین توصیه می‌شود می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

در این پژوهش یک مدل ریاضی برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی به منظور مسیریابی وسایل نقلیه و زمانبندی آن‌ها برای امداد رسانی و توزیع کالاها ضروری به مناطق آسیب‌دیده پس از بحران ارائه شده است. هدف این مدل پیشنهادی با توجه به ضرورت و اهمیت زمان در شرایط بحرانی، کمینه‌سازی مجموع وزنی زمان پایان امداد رسانی به نقاط حادثه‌دیده است. با تجزیه و تحلیل مساله در ابعاد مختلف می‌توان دریافت با گسترش ابعاد مدل، مقدار تابع هدف و همچنین زمان حل مساله افزایش می‌یابد. با تغییر در تقاضای کالاها ضروری در هر گره نشان داده‌شد که تغییر این پارامتر از درصد ثبات نسبتاً بالایی برخوردار است در حالی که تغییر در تقاضای کالاها ضروری با در نظر گرفتن نوع آن‌ها، دارای حساسیت یکسانی در هر نوع از این کالاها است. زمان‌های سرویس‌دهی و زمان‌های حمل‌ونقل وسایل نقلیه در اثر تغییر جزئی، حساسیت زیادی نشان داده و حتی گاهی باعث تغییر در مسیر امداد رسانی

- برای هرچه کاربردی‌تر شدن این مساله، می‌توان مساله را در ابعاد بزرگتر با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری مورد سنجش و اعتبارسنجی قرار داد.

- می‌توان با افزودن سایر عملیات امدادی نظیر خروج مجروحان از منطقه آسیب‌دیده یا انتقال امدادگران به این نقاط به نزدیک‌تر شدن این مساله به دنیای واقعی تلاش نمود.

- در نظر گرفتن هزینه‌های امداد رسانی و حمل‌ونقل وسایل نقلیه.  
- در نظر گرفتن چندین عملیات امداد رسانی پس از بحران به طور همزمان.

- افزودن پنجره زمانی به مدل پیشنهادی جهت نزدیک‌تر شدن به دنیای واقعی.

#### ۶- مراجع

- حیدری‌اناری، علی، شهابی‌حقیقی، سیدحمیدرضا و رئیس‌سی، صدیق (۱۳۹۷). ارائه مدل لجستیک امدادی در مقابل زلزله مبتنی بر سیاست‌های اقتصاد مقاومتی - مطالعه موردی در شهر اردبیل. *پژوهشنامه حمل و نقل*، شماره دوم، ۱۷۲-۱۵۳.

- آقایی، محمد، علینقیان، مهدی و صباغ، محمد سعید (۱۳۹۷). مکان‌یابی مراکز امداد موقت و مسیریابی پویای وسایل نقلیه امداد هوایی در شرایط بحران. *فصلنامه مهندسی حمل و نقل*، شماره چهارم، ۵۴۸-۵۱۹.

- ربانی، مسعود، دولتخواه، مهدی و زمانیان، محمد (۱۳۹۲). ارائه رویکردی نوین جهت برنامه ریزی مدیریت بحران تحت شرایط بحران‌های چندگانه وابسته به هم. *دهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع*، تهران، انجمن مهندسی صنایع ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۷-۸ بهمن.

- حسینی‌نژاد، فاطمه، ماکویی، احمد و توکلی‌مقدم، رضا (۱۳۹۷). مدل‌سازی مکان‌یابی هاب زنجیره امداد رسانی در مدیریت بحران بر مبنای نیاز مصدومین تصادفات جاده‌ای. *پژوهشنامه حمل و نقل*، شماره سوم، ۳۳۵-۳۲۱.

- Gan, X., Wang, Y., Yu, Y. and Niu, B. (2013). An emergency vehicle scheduling problem with time utility based on particle swarm optimization. *International Conference on Intelligent Computing, ICIC (2013)*, Berlin, Heidelberg.
- Hamed, 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, 1205-1219.
- Hasani, A. and Mokhtari, H. (2019). An integrated relief network design model under uncertainty: A case of Iran. *Safety Science*, Vol.111, 22-36
- Jotshi, A., Gong, Q. and Batta, R. (2009). Dispatching and routing of emergency vehicles in disaster mitigation using data Fusion. *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol.43, No.1, 1-24.
- Özdamar, L. and Demir, O., (2012). A hierarchical clustering and routing procedure for large scale disaster relief logistics planning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol.48, No.3, 591-602.
- Rawls, C.G. and Turnquist, M.A. (2010). Pre-positioning of emergency supplies for disaster response. *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol.44, No.4, 521-534.
- Sapir, D.G., Vos, F., Below, R. and Ponserre, S. (2010). Annual disaster-statistical review 2010 – the numbers and trends. Technical report, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – CRED, *Brussels*.
- Sabouhi, F., Bozorgi-Amiri, A., Moshref-Javadi, M., Heydari, M., (2018). An integrated routing and scheduling model for evacuation and commodity distribution in large-scale disaster relief operations: a case study. *Annals of Operations Research*, [doi.org/10.1007/s10479-018-2807-1](https://doi.org/10.1007/s10479-018-2807-1)
- Talarico, L., Meisel, F. and Sorensen, K., (2015). Ambulance routing for disaster response with patient groups. *Computers and Operations Research*, Vol.56, 120-133.
- صیوحی، فاطمه و بزرگی امیری، علی (۱۳۹۵). مسیریابی و زمانبندی وسایل حمل و نقل برای توزیع کمک‌های امدادی با در نظر گرفتن تحویل جزئی و انبار چندگانه. *فصلنامه مهندسی حمل و نقل*، شماره یکم، ۱۳۸-۱۲۵.
- فرح بخش، فاطمه، توکلی مقدم، رضا و قضاوتی، وحید رضا، (۱۳۹۶). توسعه مدل ریاضی چندهدفه برای مساله مسیریابی وسایل نقلیه ناهمگن تحت شرایط بحران. *فصلنامه مهندسی حمل و نقل*، شماره دوم، ۱۸۷-۱۶۹.
- Altay, N. and Green, W. G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, Vol.175, No.1, 475-493.
- Afshar, A. and Haghani, A. (2012). Modelling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations. *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol.46, No.4, 327-338
- Baharanchi, S.R., Khah, M.M. and Jandaghi, G. (2011). Design a routing-allocation model for relief transportation of the Earthquake wounded using simulated annealing method. *European Journal of Economics, Finance and Administrative Sciences*, Vol.30, 1450-2275.
- Bruni, M.E., Beraldi, P. and Khodaparasti, S. (2018). A fast heuristic for routing in post-disaster humanitarian relief logistics. *Transportation Research Procedia*, Vol. 30, 304-313.
- Chang, M.S., Tseng, Y.L. and Chen, J.W. (2007). A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 43, No.6, 737-754
- Campbell, A.M. and Jones, P.C. (2011). Prepositioning supplies in preparation for disasters. *European Journal of Operational Research*, Vol. 209, No.2, 156-165.
- Fetter, G. and Rakes, T. (2011). A self-balancing CUSU Approach for the efficient allocation of resources during post-disaster debris disposal operations. *Operation Management Research*, Vol.4, No.1-2, 51-60.

-Wex, F., Schryen, G., Feuerriegel, S. and Neumann, D. (2014). Emergency response in natural disaster management: Allocation and scheduling of rescue units. *European Journal of Operational Research*, Vol.235, No.3, 697-708.

-Yi, W. and Kumar, A. (2007). Ant colony optimization for disaster relief operations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol.43, No.6, 660-672.

-Yi, W. and Ozdamar, L. (2007). A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response Activities. *European Journal of Operational Research*, Vol.179, No.3, 1177-1193.

-Widener, M.J. and Horner, M.W. (2011). A hierarchical approach to modelling hurricane disaster relief goods distribution. *Journal of Transport Geography*, Vol.19, No.4, 821-828.

-Wex, F., Schryen, G., and Neumann, D. (2012). Operational emergency response under informational uncertainty: a fuzzy optimization model for scheduling and allocating rescue units. *International ISCRAM Conference – Vancouver, Canada: April 2012.*

پیوست

جدول ۳. تقاضای هر گره در مثال ۱ (تعداد)

گره‌های آسیب‌دیده	۲	۳
کالای نوع ۱	۵	۱۰
کالای نوع ۲	۱۲	۵

جدول ۴. ظرفیت وسایل نقلیه در مثال ۱ (تعداد)

وسيله نقلیه ۱	وسيله نقلیه ۲
۳۰	۴۰

جدول ۵. مدت زمان حمل و نقل در مثال ۱ (واحد زمان)

گره‌های آسیب‌دیده	۱	۲	۳	۴
۱	۰	۵	۲	۰
۲	۵	۰	۶	۳
۳	۲	۶	۰	۳
۴	۰	۳	۳	۰

جدول ۶. زمان سرویس دهی در مثال ۱ (واحد زمان)

گره‌های آسیب‌دیده	۳	۲
وسيله نقلیه ۱	۲	۱
وسيله نقلیه ۲	۵	۲

جدول ۷. وزن هر گره در مثال ۱

گره‌های آسیب‌دیده	۳	۲
وزن	۰/۱	۰/۲

جدول ۸. مقدار تابع هدف و تعداد تکرار

مقدار تابع هدف	۱/۸
تعداد تکرار	۵۰۵۶

جدول ۹. مقادیر غیر صفر متغیر  $x$  در مثال ۱

متغیر	مقدار
$x(1,1,3)$	۱
$x(1,3,4)$	۱
$x(2,1,2)$	۱
$x(2,2,4)$	۱

به عنوان مثال متغیر  $x(1,1,3) = 1$  به معنی عبور وسیله نقلیه از گره ۱ به ۳ است.

جدول ۱۰. مقدار تغییر تابع هدف با افزایش صعودی تقاضاها نسبت به گره‌ها و نوع کالاها در مثال ۱

تغییر تقاضای نوع کالاها		تغییر تقاضای گره‌ها		واحد افزایش
نوع ۲	نوع ۱	گره ۳	گره ۲	
۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۳
۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۶
۱/۸	۱/۸	۱/۹	۱/۸	۹
۱/۸	۱/۸	-	۲/۶	۱۲
۱/۸	۱/۸	-	-	۱۵
۳	۳	-	-	۱۸
۲۴۰	۲۴۰	۱۵۰	۲۰۰	درصد ثبات
ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	تغییر مسیر

جدول ۱۱. مقدار تغییر تابع هدف با افزایش ۱ واحد در زمان سرویس‌دهی در مثال ۱

تغییر مسیر	درصد ثبات	دو وسیله نقلیه	دو گره موجود	
ندارد	۰	-	۱/۹	وسيله نقلیه ۱
ندارد	۰	-	۲	وسيله نقلیه ۲
ندارد	۰	۲	-	گره ۲
ندارد	۰	۱/۹	-	گره ۳

جدول ۱۲. مقدار تغییر تابع هدف با افزایش صعودی زمان حمل و نقل هر گره نسبت به همه گره‌ها در مثال ۱

گره ۴	گره ۳	گره ۲	گره ۱	واحد افزایش
۱/۸	۱/۹	۲	۲/۱	۱
۱/۸	-	-	-	۲
۱/۸	-	-	-	۳
۱/۸	-	-	-	۲۷
ثبات بالایی دارد	۰	۰	۰	درصد ثبات

جدول ۱۳. مقدار تغییر تابع هدف در وزن گره‌ها در مثال ۱

گره ۳	گره ۲	به ازای افزایش ۱ واحد
۲/۲	۲/۵	
۰	۰	درصد ثبات

جدول ۱۴. تقاضای هر گره در مثال ۲ (تعداد)

گره‌های آسیب‌دیده	۲	۳	۴	۵
کالای نوع ۱	۵	۳	۸	۵
کالای نوع ۲	۵	۵	۴	۵
کالای نوع ۳	۷	۸	۲	۳
کالای نوع ۴	۲	۷	۲	۳

جدول ۱۵. ظرفیت وسایل نقلیه در مثال ۲ (تعداد)

وسيله نقلیه ۱	وسيله نقلیه ۲	وسيله نقلیه ۳
۶۰	۷۰	۸۰

جدول ۱۶. مدت زمان حمل و نقل در مثال ۲ (واحد زمان)

گره‌های آسیب‌دیده	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	۰	۵	۲	۳	۱	۰
۲	۵	۰	۶	۳	۲	۵
۳	۲	۶	۰	۳	۱	۲
۴	۳	۳	۳	۰	۲	۳
۵	۱	۲	۱	۲	۰	۱
۶	۰	۵	۲	۳	۱	۰

جدول ۲۰. مقادیر متغیر  $x$  در مثال ۲

مقدار	متغیر
۱	$x(1,1,3)$
۱	$x(1,3,6)$
۱	$x(2,1,4)$
۱	$x(2,4,6)$
۱	$x(3,1,5)$
۱	$x(3,5,2)$
۱	$x(3,2,6)$

به عنوان مثال متغیر  $x(1,1,3) = 1$  به معنی عبور وسیله نقلیه از گره ۱ به ۳ است.

جدول ۲۱. مقدار تغییر تابع هدف با افزایش صعودی تقاضاها نسبت به گره‌ها و نوع کالاها در مثال ۲

واحد افزایش	تغییر تقاضای نوع کالاها				تغییر تقاضای گره‌ها			
	نوع ۴	نوع ۳	نوع ۲	نوع ۱	گره ۵	گره ۴	گره ۳	گره ۲
۳	۴/۷	۴/۷	۴/۷	۴/۷	۴/۷	۴/۷	۴/۷	۴/۷
۶	۴/۷	۴/۷	۴/۷	۴/۷	۴/۷	۴/۷	۴/۸	۴/۷
۹	۴/۷	۴/۷	۴/۷	۴/۷	۴/۷	۴/۷	-	۴/۷
۱۲	۴/۷	۴/۷	۴/۷	۴/۷	۴/۸	۴/۷	-	۴/۸
۱۵	۴/۷	۴/۷	۴/۷	۴/۷	-	۵	-	-
۱۸	۴/۷	۴/۷	۴/۷	۴/۷	-	-	-	-
۲۱	۴/۷	۴/۷	۴/۷	۴/۷	-	-	-	-
۲۴	۴/۸	۴/۸	۴/۸	۴/۸	-	-	-	-
درصد ثبات	۲۵۷	۲۵۷	۲۵۷	۲۵۷	۲۰۰	۲۲۵	۳۰۰	۲۰۰
تغییر مسیر	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد	ندارد	دارد

جدول ۱۹. مقدار تابع هدف و تعداد تکرار مثال ۲

مقدار تابع هدف	۴/۷
تعداد تکرار	۱۲۰۶۹۶

جدول ۲۲. مقدار تغییر تابع هدف با افزایش ۱ واحد در زمان سرویس‌دهی در مثال ۲

تغییر مسیر	درصد ثبات	سه وسیله نقلیه	چهار گره موجود	
ندارد	۰	-	۴/۸	وسيله نقلیه ۱
دارد	۰	-	۵	وسيله نقلیه ۲
دارد	۰	-	۵/۳	وسيله نقلیه ۳
ندارد	۰	۴/۹	-	گره ۲
ندارد	۰	۴/۸	-	گره ۳
ندارد	۰	۵	-	گره ۴
ندارد	۰	۵/۱	-	گره ۵

جدول ۲۳. مقدار تغییر تابع هدف با افزایش صعودی زمان حمل و نقل هر گره نسبت به همه گره‌ها در مثال ۲

گره ۶	گره ۵	گره ۴	گره ۳	گره ۲	گره ۱	
۵/۷	۵/۷	۵/۴	۵/۲	۵/۳	۵/۹	به ازای ۱ واحد افزایش
۰	۰	۰	۰	۰	۰	درصد ثبات
ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	تغییر مسیر

جدول ۲۴. مقدار تغییر تابع هدف در وزن گره‌ها در مثال ۲

گره ۵	گره ۴	گره ۳	گره ۲	
۵	۵/۴	۵/۱	۵/۵	به ازای ۱ واحد افزایش
۰	۰	۰	۰	درصد ثبات

# Vehicle Routing and scheduling problem for Necessary Commodities Distribution in Post-Disaster Humanitarian Relief Operations simultaneously

*Mahshad Soleymani, M.Sc., Grad., Industrial Engineering, Mazandaran University of Science and Technology, Mazandaran, Iran.*

*Javad Rezaian, Associate Professor, Industrial Engineering, Mazandaran University of Science and Technology, Mazandaran, Iran.*

*Iraj Mahdavi, Professor, Industrial Engineering, Mazandaran University of Science and Technology, Mazandaran, Iran.*

*E-mail: j.rezaeian@ustmb.ac.ir*

Received: April 2025- Accepted: November 2025

## **ABSTRACT**

Every year, natural disasters such as earthquakes, floods, storms or man-made events such as war and terrorist attacks cause casualties, financial and economic damage to human societies around the world. After these disasters, an emergency response and victim relief are vital. Experience has shown that responsive action in disasters is not just having enough information, but also there must be a correct understanding of what is suitable in practice. Therefore, relief efforts must be carried out at the earliest time with the best performance. In this study, the mathematical model of nonlinear integer programming for routing and scheduling of equipment in post-disaster relief operations has been presented that the distribution essential commodities to the affected areas are considered simultaneously. According to the importance of time in post-disaster relief, the aim of this proposed model is to minimize the total weight of the end time of the relief effort to the affected points with regard to priority of these points. To verify the effectiveness of the proposed model, examples was solved and validated with Lingo 9. The programs of the relief route and the order of visiting the affected points for each vehicle are determined. The results display despite the limitation of Heterogeneous vehicles and with considering the supply of demand for each affected point, the obtained values and program's path attempt to minimize the end time of the relief operation.

**Keywords:** Disasters, Distribution of Relief Items, Scheduling, Relief Logistics, Vehicle Routing Problem