

ارایه یک مدل چندهدفه یکپارچه برای مکان‌یابی - مسیریابی و موجودی تسهیلات امدادی با در نظر گرفتن چند مد حمل و نقل و تور پوششی

مقاله پژوهشی

اسفندیار عطائی*، دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

رامین صادقیان، دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

مریم حامدی، استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: ataei56@gmail.com

دریافت: ۹۸/۱۱/۰۵ - پذیرش: ۹۹/۰۳/۱۰

صفحه ۶۶-۴۹

چکیده

یکی از مهمترین بخش‌ها در هنگام وقوع هر حادثه، مسأله کنترل و مدیریت برای قبل و بعد از بحران است و چنانچه این مسئله مورد توجه قرار نگیرد فاجعه ثانویه دیگری در دل فاجعه اصلی رخ می‌دهد. بنابراین در این پژوهش، یک مدل یکپارچه تصادفی پیشنهاد شده است. که در آن دو دسته تصمیمات در نظر گرفته شده است: تصمیمات مرحله اول تعیین و کنترل میزان موجودی مراکز توزیع و مکان‌یابی مراکز توزیع برای قبل از بحران و تصمیمات مرحله دوم، برای بعد از بحران، شامل بررسی جریان مجروحین، اجساد، بی‌خانمان‌ها و اقلام امدادی در شبکه و تخصیص وسائل نقلیه برای این جریان می‌باشد. اهداف این مقاله شامل (۱) پیشینه کردن احتمال عبور موفق از مسیرها با افزایش قابلیت اطمینان مسیرها، (۲) کمینه کردن هزینه‌های امدادی قبل و بعد از وقوع بحران با در نظر گرفتن پنجره‌زمانی، (۳) کمینه کردن بیشینه تقاضای پوشش داده نشده برای کالاهای امدادی برای تمامی مراکز در سناریوها و حالات ممکن می‌باشد. در نظر گرفتن حالت عدم قطعیت سناریویی به‌همراه، عدم قطعیت مسیر و تقاضا، چند کلایی، چند مد حمل و نقل و تور پوششی از جمله نوآوری‌های این پژوهش بشمار می‌آید. برای اعتبار سنجی مدل پیشنهادی در ابعاد کوچک و متوسط از روش محدودیت افسیلون در محیط نرم افزاری گمز و برای مطالعه موردی (منطقه ۱ شهر تهران) در ابعاد بزرگ با استفاده از الگوریتم علف هرز حل شده است. نتایج تحلیل بیانگر آن است که الگوریتم علف هرز با کمترین خطا نسبت به حل دقیق و زمان کمتر، قادر به حل مدل خواهد بود و همچنین با افزایش ظرفیت‌های مراکز توزیع، هزینه کاهش می‌یابد، با افزایش تقاضا تعداد مراکز توزیع تأسیس شده افزایش می‌یابد و با افزایش شعاع پوششی، طول تور کاهش می‌یابد ولی تعداد نقاط حادثه دیده پوشش نیافته بیشتر شده و هزینه امدادسانی افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی، مسیریابی، تورپوششی، مد حمل و نقل، پنجره زمانی

۱- مقدمه

حادثه به مراکز درمانی که به صورت موقت در منطقه احداث شده‌اند تخصیص یابند. بنابراین، مکان بهینه جهت احداث این مراکز درمانی موقت باید تعیین شود. همچنین با توجه به اهمیت زمان امدادسانی باید مسیریابی مناسب جهت رساندن خدمات به افراد آسیب دیده صورت گیرد (Davoodi and Goli, 2019). زیرا یکی از راهکارهای موثر جهت کاهش هزینه‌های مالی و صدمات جانی ناشی از

مدیریت بحران یکی از پر اهمیت‌ترین مباحث علمی- کاربردی امروز دنیاست که در چهار فاز اصلی پیشگیری، آمادگی، پاسخ دهی و بازیابی به مواجه موثر با پیامدهای احتمالی حوادث دارد. یکی از فازهای مهم مدیریت بحران، فاز پاسخ‌گویی بوده و از جمله اقدامات مهم در این فاز، توزیع امداد و تخلیه قربانیان و مجروحان می‌باشد (Noham and Tzur, 2018). مجروحان باید از مناطق

داده‌های پایگاه‌های امداد رسان در این منطقه را برای اعتبار سنجی این زنجیره امداد پیشنهادی به کار می‌گیریم.

۲- پیشینه تحقیق

ذکایی، بزرگی امیری و سدجادی (Zokaee, Bozorgi- Amiri, and Sadjadi, 2016) در پژوهش خود یک زنجیره تامین سه سطحی شامل تامین کنندگان، مراکز توزیع امداد و محل های آسیب‌دیده را در نظر گرفتند. اهداف این پژوهش افزایش سطح رضایت آسیب‌دیدگان و کاهش هزینه‌ها بوده و برای این منظور جریمه‌هایی در صورت کمبود کالا در نظر گرفته شده است. مدل ارائه شده که دارای عدم قطعیت در پارامترهایی همچون تقاضا و هزینه بوده توسط بهینه‌سازی استوار حل شده است. مطالعه موردی انجام شده در این پژوهش منطقه البرز می‌باشد که مستعد وقوع زلزله و حوادث طبیعی دیگر است. دیابت، جبارزاده و خسروجردی (Diabat, Jabbarzadeh and Khosrojerdi, 2019) یک مدل یکپارچه مکان‌یابی توزیع برای هماهنگ‌سازی پشتیبانی لجستیک و عملیات تخلیه در فعالیت‌های پاسخ‌گویی به بحران را ارائه نمودند. همچنین مدل، تخصیص بهینه نیروهای پزشکی را نیز در نظر گرفته است. مدل ارائه شده، یک مدل جریان شبکه چند کالایی عدد صحیح مختلط می‌باشد. هدف، حداقل کردن تأخیر در ارائه خدمات پزشکی به افراد مصدوم بوده و وسایل حمل و نقل به کارگرفته شده از انواع مختلف می‌باشند. نوآوری عمده این پژوهش در نظر گرفتن قابلیت اطمینان برای زنجیره می‌باشد. حسینی‌نژاد و توکلی‌مقدم (Hosseininezhad and Tavakkoli-moghaddam, 2018) نسبت به مدل‌سازی تعیین مکان‌های امدادی با اولویت مطالبات مصدومین حوادث جاده‌ای پرداخته‌اند و زمان را بصورت فازی در نظر گرفته و از روش‌های حل دقیق و الگوریتم فراابتکاری ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب نسخه دوم (NSGA-II)^۱ برای حل مدل استفاده نموده‌اند. توکلی مقدم و رضیعی (Tavakkoli-Moghaddam, and Raziei, 2016) یک مسئله مسیریابی، مکان‌یابی و موجودی را در حالت چند دوره‌ای و چند محصولی به همراه ناوگان حمل و نقل ناهمگن در نظر گرفت. عدم قطعیت در

بحران‌ها این است که مکان‌های مناسب برای احداث مراکز درمانی موقت و مراکز اسکان موقت در زمان وقوع بحران تعیین شده و همچنین برنامه‌ریزی‌های مناسب برای تخصیص بخش‌های مختلف شبکه امداد در نظر گرفته شود (Burak et al., 2019). بنابراین، مکان‌یابی مناسب مراکز درمانی موقت و مراکز اسکان موقت و تخصیص بهینه آن‌ها می‌تواند خسارت‌های جانی و مالی را کاهش داده و هر گونه اقدام نادرست در این شرایط باعث افزایش چشمگیر این خسارات می‌شود. پس از وقوع بحران، با مشکلات عمده‌ای از قبیل کمبود موجودی برای عرضه و حمل و نقل بسیاری از کالاهای ضروری شامل خوراک، پوشاک، دارو، تجهیزات و پرسنل به نقاط آسیب دیده مواجه می‌شویم. همچنین تلاش امدادگران در طول شرایط اضطراری باید بر جستجو و نجات بازماندگان متمرکز شود. بنابراین حمل و نقل تدارکات و پرسنل امداد و همچنین کنترل موجودی باید قبل از وقوع بحران مهیا باشد تا پس از وقوع بحران اقدامات سریع و موثر انجام پذیرد تا نرخ نجات افراد آسیب‌دیده بیشینه گردیده و هزینه عملیات کمینه شود. با توجه به اینکه عدم توجه به اثر متقابل فازهای مختلف مدیریت بحران بر روی یکدیگر می‌تواند مانع بسیار بزرگی برای واکنش موثر به بحران باشد. در واقع، بهینه‌سازی فعالیت‌های یکایک این فازها، لزوماً منجر به بهینه نمودن کل عملیات امداد نخواهد شد بدین ترتیب، یکپارچه‌سازی فازهای مدیریت بحران از عواملی است که تاکنون کمتر مورد توجه پژوهشگران بوده است و ضروری است که در مسائل بهینه‌سازی زنجیره امداد بحران در نظر گرفته شود. از این رو بنا بر اهمیت روز افزون مساله مدیریت بحران در دنیای کنونی، این جا ما به مدل‌سازی تصمیمات مربوط به فازهای مختلف چرخه مدیریت بحران در قالب مدل های ریاضی یکپارچه سه هدفه با فرض شرایط واقعی بحران می‌پردازیم. بنابراین هدف این مطالعه، توسعه یک مدل جامع برای عملیات‌های یکپارچه در فازهای پاسخ و آماده‌سازی برای بلایه در سطوح استراتژیک و عملیاتی می‌باشد. و مدل ریاضی پیشنهاد شده سه جزء مهم مکان‌یابی، جریان موجودی و شبکه توزیع را به‌همراه مسیریابی در فاز آماده‌سازی و پاسخ برای اقلام امدادی به صورت یکپارچه در نظر می‌گیرد. با توجه به سطح بالای خطرپذیری منطقه یک شهر تهران در برابر زلزله،

حل مدل ارائه شده از رویکرد ترکیبی لکسیکوگرافی و وزن-دهی استفاده شده است. نتایج تحقیق بیانگر اهمیت کاهش زمان امداد رسانی در ساعات اولیه بحران بدلیل سرازیر شدن کمک‌های داوطلبانه به محل حادثه می‌باشد.

مورنو و همکاران (Moreno et al., 2018) به مسیریابی آمبولانس‌ها جهت امداد رسانی در شرایط بحران پرداختند. در نظر گرفتن محدودیت ترافیک از جمله نوآوری‌های این پژوهش بشمار می‌رود. مجروحان در نظر گرفته شده در این پژوهش به دو دسته مجروحان سرپایی و مجروحان حاد تقسیم می‌شوند. هدف این پژوهش کمینه‌کردن زمان امداد رسانی به هر دو دسته مجروحان می‌باشد. مطالعه موردی در نظر گرفته شده شامل ۳۰ مجروح، ۷ عدد آمبولانس و ۴ مرکز درمان در شهر Jendouba در تونس می‌باشد. مدل پیشنهادی نیز با الگوریتم ژنتیک حل شده است. حبیبی، پایدار و اسدی (Habibi, Paydar and Asadi-Gangraj, 2018) یک مدل سه هدفه را به منظور طراحی سیستم توزیع کالاهای امدادی به مناطق آسیب‌دیده ارائه نمودند. اهداف این مدل شامل حداقل کردن هزینه کل، حداقل کردن کل زمان سفر و حداکثر کردن حداقل برآورده‌سازی تقاضا در طول دوره برنامه‌ریزی بود. دو هدف اول مربوط به کارایی بوده و سومین هدف عدالت را در نظر می‌گیرد. نتایج حاصل از مدل بر روی یک مطالعه عملی بررسی شد. ناتالی و ویکتور (Nathalie and Victor, 2019) به بررسی فاز آمادگی در امداد بحران پرداختند. در نظر گرفتن هزینه‌های اجتماعی و کمینه کردن آن‌ها از جمله نوآوری‌های این پژوهش بشمار می‌رود.

جعفرخان و یعقوبی (Jafarkhan and Yaghoubi, 2019) یک مدل ریاضی جهت کنترل موجودی و مسیریابی در شبکه زنجیره تامین امداد بحران با در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضا ارائه نمودند. در نظر گرفتن کمبود در زنجیره تامین و پنجره زمانی برای فساد خون از جمله نوآوری‌های این پژوهش می‌باشد. باتوجه به مطالعه مرور ادبیات، نوآوری‌های مقاله اینچنین است. -در نظر گرفتن مدل به صورت یکپارچه که تصمیمات استراتژیک و تصمیمات عملیاتی بصورت همزمان انجام خواهد شد.

- در نظر گرفتن افق برنامه‌ریزی به صورت چند دوره‌ای.

- فرموله کردن مسئله با فرض چند کالایی (غذا، چادر، آب و خون) و چند مد حمل و نقل (آمبولانس و هلیکوپتر)

تقاضای مشتریان در این پژوهش بصورت فازی در نظر گرفته شده است. تابع هدف این پژوهش شامل مینیمم کردن هزینه استفاده از وسایل نقلیه شامل هزینه سوخت، هزینه نگهداری موجودی و هزینه مکان‌یابی مراکز توزیع به عنوان تابع هدف اول و مینیمم کردن هزینه کمبود موجودی به عنوان تابع هدف دوم می‌باشد. گلابی، شورانی و ایزبیراک (Golabi, Shavarani, and Izbirak, 2017) به مکان‌یابی مراکز توزیع امداد در هنگام وقوع زلزله پرداخته‌اند. مکان‌یابی در این پژوهش بصورت گسسته می‌باشد بدین صورت که از بین نقاط بالقوه، نقاط بهینه انتخاب می‌شوند. در نظر گرفتن خرابی بعضی از نقاط و عدم دسترسی به برخی از نقاط از جمله نوآوری‌های این پژوهش بشمار می‌رود. برای حل مدل پیشنهادی از روش‌های فرایتنکاری ژنتیک، شبیه‌سازی تبرید و الگوریتم ممتیک استفاده شده است. نی، شو و سونگ (Ni, Shu, and Song, 2018) یک مدل ریاضی جدید جهت برنامه‌ریزی تخلیه مجروحان و مکان‌یابی پناهگاه‌های موقت ارائه نمودند. در نظر گرفتن هزینه‌های جریمه برای اثرات روحی وارده به مجروحان از جمله نوآوری‌های این پژوهش بشمار می‌رود. هدف این پژوهش کاهش هزینه‌های امداد رسانی تحت سناریوهای مختلف می‌باشد. کارا اوغلان، اردغان و کوچ (Karaoglan, Erdoğan and Koç, 2018) به بررسی مسئله تور پوششی در حالت چند وسیله‌ای پرداختند. برای مقاله با عدم قطعیت مسئله یک مدل مسیر غیرخطی ارائه شده است و برای حل آن از حل جستجوی همسایگی استفاده شده است. حسنی و مختاری (Mokhtari, 2018) یک مدل استوار سناریویی را جهت طراحی زنجیره تامین امداد بحران در شرایط زلزله توسعه دادند. مدل ارائه شده دو مرحله‌ای بوده و در مرحله اول تصمیمات استراتژیک شامل مکان‌یابی تسهیلات و در مرحله دوم تصمیمات عملیاتی شامل تخصیص و جریان کالاهای امدادی در نظر گرفته است. برای حل مدل ارائه شده از یک الگوریتم ابتکاری استفاده شده است. در نهایت نتایج بیانگر صحت عملکرد مدل ارائه شده می‌باشد. نیکو و بابایی (Nikoo and Babaei, 2018) یک مدل چند هدفه را جهت طراحی شبکه حمل و نقل در فاز پاسخگویی در شرایط زلزله ارائه دادند. اهداف در نظر گرفته در این پژوهش شامل مشخص نمودن مسیرهای بهینه و طول هر مسیر و همچنین کمینه کردن زمان پاسخگویی می‌باشد. برای

- در نظر گرفتن تور پوششی.
- احتمال وقوع سناریو از پیش مشخص شده است.
- در نظر گرفتن بحث پویایی موجودی در حالت امداد بحران
- بررسی جریان کالاهای امدادی و مجروحان بصورت همزمان
- مجروحان، بی‌خانمان‌ها و اجساد متفاوت است.

با توجه به مفروضات مطرح شده، اندیس‌های مدل عبارتند:

I	مجموعه کالاهای امدادی
V	مجموعه مدهای حمل و نقل
E	مجموعه مسیرها
Z	مجموعه بیمارستان‌ها
B	مجموعه قبرستان‌ها
D	مجموعه مکان‌های آسیب‌دیده
F	مجموعه دکترها
N	مجموعه پرستارها
A	مجموعه اجساد
Q	مجموعه ماشین‌های نعلش کش
H	مجموعه مجروحان
G	مجموعه افراد بی‌خانمان
L	مجموعه مراکز توزیع
J	مجموعه ظرفیت‌های مراکز توزیع
K	مجموعه پناهگاه‌ها
R	مجموعه پرسنل امداد
T	دوره زمانی
S	مجموعه سناریوها

- حل مساله در ابعاد بزرگ با استفاده از الگوریتم غلف هرز
- در نظر گرفتن پنجره زمانی انتقال برای مجروحان
- در نظر گرفتن حالت عدم قطعیت بصورت سناریوهای مختلف
- ارایه یک مطالعه موردی واقعی جهت بررسی دقت و صحت مدل پیشنهادی

۳- مدل‌سازی ریاضی

مفروضات اصلی مساله به شرح زیر می‌باشد:

- هر مجروحی می‌تواند به هر یک از کلینیک‌های درمانی منتقل شود.
- دو نوع وسیله متفاوت برای انتقال مجروحان وجود دارد. نوع اول آمبولانس‌ها می‌باشد و نوع دوم هلیکوپتر.
- مکان‌های بالقوه مراکز بحران و ظرفیت مجروحان موجود در آن‌ها (از هر نوع)، مشخص و ثابت است.
- مکان کلینیک‌ها، و ظرفیت آن‌ها مشخص و ثابت است.
- هر وسیله امدادی امکان انتقال مجروحان مربوط به کلینیک‌های متفاوت را به طور هم زمان داراست.
- فاصله بین مکان‌های آسیب‌دیده، بیمارستان‌ها، قبرستان‌ها و ... از پیش مشخص شده است.

پارامترها:

ct'''	ظرفیت وسیله حمل و نقل v برای انتقال بی‌خانمان‌ها
ct''	ظرفیت وسیله حمل و نقل v برای انتقال پرسنل امداد
ct''	ظرفیت وسیله حمل و نقل v برای انتقال مجروحان
ct'	ظرفیت وسیله حمل و نقل v برای انتقال اجساد
vol''	ظرفیت حجم وسیله حمل و نقل v برای انتقال کالای امدادی
fdc_j	ظرفیت مراکز توزیع سایز j
wei''	ظرفیت وزن وسیله حمل و نقل v برای انتقال کالای امدادی
hbe_{hs}	ظرفیت بیمارستان Z برای مجروحان h در سناریوی s
wo_i	وزن یک واحد کالای نوع i
pw_h	وزن اولویت فرد مجروح نوع h
vol_i	حجم یک واحد از کالای امدادی i

بیشینه ظرفیت مرکز توزیع با حجم J	cd_j
هزینه عدم سرویس دهی به مجروحان در یک ساعت	cs''
هزینه عدم سرویس دهی به بی خانمانها در یک ساعت	cs'
هزینه عدم سرویس دهی به یک جسد در یک ساعت	cs
هزینه متغیر پناهگاهها بر حسب ظرفیت	vrc'
هزینه متغیر وسیله نقلیه V به ازای واحد مسافت	vrc_v
هزینه ثابت تاسیس پناهگاه در مکان K	fix''_k
هزینه ثابت تاسیس مرکز توزیع با اندازه J در مکان I	fix'_Ij
هزینه ثابت وسیله نقلیه نوع V	fix_v
تعداد افراد بی خانمان g که پرستار n می تواند در یک ساعت سرویس دهی کند	sn'''_{gn}
تعداد مجروح نوع h که دکتر f می تواند در یک ساعت ویزیت کند	sn'''_{hf}
تعداد اجساد a که ماشین نعلش کش q در یک ساعت می تواند سرویس دهی نماید	sn'_{aq}
تعداد پرسنل امداد r که منطقه آسیب دیده d در سناریوی S نیاز دارد	sn_{rds}
یک عدد بزرگ	M
تعداد پرسنل امداد r در بیمارستان Z در سناریوی S	hnr_{rs}
تعداد مجروحان نوع h در منطقه d و در سناریوی S نیاز به کمک دارند	rn'''_{hds}
تعداد بی خانمانهایی که در منطقه d و در سناریوی S که نیاز به کمک دارند	rn''_{ds}
تعداد کالای امدادی نوع i در زمان t	rn'_{it}
تعداد اجساد در منطقه آسیب دیده d در سناریوی S	rn_{ds}
طول مسیر e بین نقطه آسیب دیده d و پناهگاه k	ler^e_{dk}
فاصله بین بیمارستان Z و منطقه آسیب دیده d	d'''_{zd}
فاصله بین دو نقطه O و P	d''_{op}
فاصله بین منطقه آسیب دیده d و بیمارستان Z	d'_{dz}
فاصله بین منطقه آسیب دیده d و قبرستان b	d_{db}
فاصله زمانی بین دو نقطه d و b	tb''_{db}
فاصله زمانی بین دو نقطه d و Z	tb_{dz}
فاصله زمانی بین دو نقطه d و k	tb'_{dk}
احتمال گذر موفق از مسیر e'' از منطقه آسیب دیده d به قبرستان b در سناریوی S	pse'''_{dbs}
احتمال گذر موفق از مسیر e' از منطقه آسیب دیده d به بیمارستان Z در سناریوی S	pse'_{ds}
احتمال گذر موفق از مسیر e از منطقه آسیب دیده d به پناهگاه k در سناریوی S	pse^e_{dks}
احتمال وقوع سناریوی S	ps_s
فاصله تور پوششی پناهگاه k	r'_k
فاصله منطقه d تا پناهگاه k	dis_{dk}

متغیرها:

تعداد وسایل نقلیه نوع V انتقال یافته از بیمارستان Z به منطقه d برای حمل پرسنل امداد در سناریوی S	x'''_{zds}
تعداد وسایل نقلیه نوع V انتقال یافته از گره O به گره p برای حمل کالاها در زمان t و سناریوی S	x'''_{ops}

تعداد وسیله نقلیه نوع v که از منطقه آسیب دیده d به بیمارستان Z در سناریوی S می رود	x_{dzs}^{iv}
تعداد وسیله نقلیه نوع v که از منطقه آسیب دیده d به قبرستان b در سناریوی S می رود	x_{dbs}^v
تعداد وسایل نقلیه نوع v انتقال یافته از منطقه d به پناهگاه k برای حمل بی خانمان ها در سناریوی S	xl_{dks}^v
تعداد پرسنل امدادی نوع r که از بیمارستان Z به سمت منطقه آسیب دیده d در سناریوی S حرکت می کند	y_{rds}
تعداد اجساد حمل شده از منطقه آسیب دیده d به قبرستان b در سناریوی S	z'_{dbs}
تعداد افراد مجروح نوع h انتقال یافته از منطقه آسیب دیده d به بیمارستان Z با وسیله نقلیه v در سناریوی S	y'_{hds}
تعداد افراد بی خانمان انتقال یافته از منطقه d به پناهگاه k در سناریوی S	y'_{dks}
ظرفیت پناهگاه k	z_k
مقدار کمبود پرسنل امدادی نوع r در منطقه آسیب دیده d در زمان t و سناریوی S	naf_{rdst}
مقدار مازاد کالای امدادی نوع i در پناهگاه k در زمان t و سناریوی S	asc_{ikts}
تعداد مازاد پرسنل امدادی نوع r در منطقه آسیب دیده d در سناریوی S	nsr_{rds}
تقاضای پناهگاه k برای کالای امدادی i در زمان t و سناریوی S	dem_{ikts}
تعداد مجروحان نوع h که در منطقه آسیب دیده d و سناریوی S سرویس دهی نشده اند	nas_{hds}
مقدار کمبود کالای امدادی نوع i در پناهگاه k در زمان t و سناریوی S	ass_{ikts}
مقدار کالاهای امدادی نوع i انتقال یافته از گره O به p در زمان t و سناریوی S	art'_{iopst}
برابر ۱ اگر پناهگاه در مکان کاندید k تاسیس شده باشد در غیر این صورت برابر صفر	shl_k
برابر ۱ اگر مرکز توزیع با ظرفیت j در نقطه I قرار گرفته باشد در غیر این صورت برابر صفر	dsl_{ij}
برابر ۱ اگر مسیر e'' از منطقه آسیب دیده d به قبرستان b در سناریوی S انتخاب شود، در غیر این صورت صفر	$ro_{dbs}^{e''}$
برابر ۱ اگر مسیر e' از منطقه آسیب دیده d به بیمارستان Z در سناریوی S انتخاب شود، در غیر این صورت صفر	$ro_{dbs}^{e'}$
برابر ۱ اگر مسیر e از منطقه آسیب دیده d به پناهگاه k در سناریوی S انتخاب شود، در غیر این صورت صفر	ro_{dks}^e
اگر $dis_{dk} \leq r'_k$ باشد برابر ۱ در غیر این صورت برابر صفر	gh_{ik}

تابع اهداف:

$$Min f_1 = \sum_{s=1}^S \sum_{e=1}^E \sum_{d=1}^D \sum_{k=1}^K \sum_{z=1}^Z \sum_{b=1}^B Ps_s \cdot [(1 - pse_{dks}^e) \cdot ro_{dks}^e + (1 - pse_{dzs}^{e'}) \cdot ro_{dzs}^{e'} + (1 - pse_{dbs}^{e''}) \cdot ro_{dbs}^{e''}] \quad (1)$$

$$Min f_2 = \sum_{k=1}^K fix_k \cdot shl_k + \sum_{k=1}^K vrc'_k \cdot z_k + \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^J fix'_{lj} \cdot dsl_{lj} \quad (2)$$

$$+ \sum_{s=1}^S \sum_{v=1}^V vrc_v \cdot ps_s \left[\sum_{d=1}^D \sum_{z=1}^Z d'_{dz} \cdot x_{dzs}^{iv} + \sum_{d=1}^D \sum_{k=1}^K \sum_{e=1}^E len_{dk}^e \cdot xl_{dks}^v + \sum_{d=1}^D \sum_{b=1}^B d_{dz} \cdot x_{dbs}^v + \sum_{z=1}^Z \sum_{d=1}^D d''_{zd} \cdot x_{zds}^{iv} + \sum_{o=1}^O \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T d''_{opt} \cdot x_{opt}^{vt} \right] + \sum_{s=1}^S \sum_{v=1}^V fix_v \cdot ps_s \left[\sum_{d=1}^D \sum_{z=1}^Z x_{dzs}^{iv} + \sum_{d=1}^D \sum_{k=1}^K xl_{dks}^v + \sum_{d=1}^D \sum_{b=1}^B x_{dbs}^v + \sum_{z=1}^Z \sum_{d=1}^D x_{zds}^{iv} + \sum_{o=1}^O \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T x_{opt}^{vt} \right] +$$

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{d,s,h} \{0, [(rn'''_{hds} / (\sum_{f=1} y_{1ds} \cdot sn''_{hf})) + \sum_{Z=1} \sum_{e'=1} ro^{te'}_{dcs} \cdot tb_{dz}] - u1\} \cdot pw_1 \cdot cs'' \\ & + \text{Max}_{d,s,g} \{0, [(rn''_{ds} / (\sum_{n=1} y_{2ds} \cdot sn''_{gn})) + \sum_{k=1} \sum_{e=1} tb'_{dk} \cdot ro^e_{dks}] - u2\} \cdot pw_2 \cdot cs' \\ & + \text{Max}_{d,s,a} \{0, [(rn_{ds} / (\sum_{q=1} y_{3ds} \cdot sn'_{aq})) + \sum_{b=1} \sum_{e''=1} tb''_{db} \cdot ro^{e''}_{dbs}] - u3\} \cdot pw_3 \cdot cs \end{aligned}$$

$$\text{Min } f_3 = \sum_{s=1}^S P_s \sum_{r=1}^R \max_d \{ncf_{rds}\} \quad (۳)$$

محدودیت‌ها:

$$\sum_{d=1} y'_{dks} \leq z_k \quad \forall k, s \quad (۴)$$

$$nsr_{rds} - ncj_{rds} = y_{rds} - sn_{rds} \quad \forall d, r, s \quad (۵)$$

$$\sum_{e=1} ro^e_{dks} \leq 1 \quad \forall d, k, s \quad (۶)$$

$$\sum_{e''=1} ro^{e''}_{dbs} \leq 1 \quad \forall d, b, s \quad (۷)$$

$$\sum_{e'=1} ro^{e'}_{dcs} \leq 1 \quad \forall d, z, s \quad (۸)$$

$$\sum_{h=1} \sum_{v=1} y''_{hdvzs} \leq \sum_{v=1} x^{1v}_{dcs} \cdot ct'' \quad \forall d, z, s \quad (۹)$$

$$\sum_{r=1}^R y_{rds} \leq \sum_{v=1}^V x^{mv}_{zds} \cdot ct'' \quad \forall d, z, s \quad (۱۰)$$

$$y'_{dks} \leq \sum_{v=1} x^{1v}_{dks} \cdot ct'' \quad \forall d, k, s \quad (۱۱)$$

$$dem_{dts} = (\sum_{d=1} y'_{dks}) \cdot rn'_{it} \quad \forall k, t, i, s \quad (۱۲)$$

$$\sum_{d=1} y''_{hdvzs} \leq hbe_{hzs} \quad \forall h, v, z, s \quad (۱۳)$$

$$\sum_{i=1}^I art'_{iops} \cdot wo_i \leq \sum_{v=1}^V x^{vt}_{ops} \cdot wei^v \quad \forall o, p, t, s \quad (۱۴)$$

$$rn''_{ds} = \sum_{k=1}^K y'_{dks} \quad \forall d, s \quad (15)$$

$$y'_{dks} \leq M \cdot gh_{dk} \quad \forall d, k, s \quad (16)$$

$$rn_{ds} = \sum_{b=1}^B z'_{dbs} \quad \forall d, s \quad (17)$$

$$\sum_{e=1}^E ro^c_{dks} \leq shl_k \quad \forall d, k, s \quad (18)$$

$$\sum_{j=1}^J dsl_{lj} \leq 1 \quad \forall l \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^I art'_{iops} \cdot vol_i \leq \sum_{v=1}^V x^{mt}_{ops} \cdot vol^v \quad \forall o, p, t, s \quad (20)$$

$$z_k \leq M \cdot shl_k \quad \forall k \quad (21)$$

$$\sum_{z=1}^Z y''_{hdvzs} \leq rn'''_{hds} \quad \forall d, v, h, s \quad (22)$$

$$\sum_{o=1}^O art'_{iops} \leq \sum_{j=1}^J cd_j \cdot dsl_{lj} \cdot fdc_j \quad \forall i, l, t, s \quad (23)$$

$$\left(\sum_{z=1}^Z y''_{hdvzs} \right) + nas_{hds} = rn'''_{hds} \quad \forall d, v, h, s \quad (24)$$

$$z'_{dbs} \leq \sum_{v=1}^V x^v_{dbs} \cdot ct^v \quad \forall d, b, s \quad (25)$$

$$y_{dks} \leq M \cdot pse^c_{dks} \cdot \sum_{e=1}^E ro^c_{dks} \quad \forall d, k, s \quad (26)$$

$$rn_{ds} \leq M \cdot pse^{e^*}_{dbs} \cdot \sum_{e^*=1}^{e^*} ro^{e^*}_{dbs} \quad \forall d, b, s \quad (27)$$

$$y''_{hdvzs} \leq M \cdot pse^{e^*}_{dzs} \cdot \sum_{e^*=1}^{e^*} ro^{e^*}_{dzs} \quad \forall d, h, v, z, s \quad (28)$$

$$\sum_{d=1}^D y_{rds} \leq hnr_{rzs} \quad \forall r, z, s \quad (29)$$

$$asc_{ikts} - ass_{ikts} = \sum_{i'=1}^i \sum_{o=1}^i art_{ioks}^{i'} - \sum_{i'=1}^i \sum_{p=1}^i art_{ikps}^{i'} - \sum_{i'=1}^i dem_{ik i' s} \quad \forall k, i, t, s \quad (30)$$

$$shl_k, lds_{ij}^e, ro_{dks}^e, ro_{dzs}^{e'}, ro_{dbs}^{e''} \in \{0, 1\} \quad (31)$$

$$dem_{ikts}, ass_{ikts}, naf_{rdst}, nas_{hds}, asc_{ikts}, nsr_{rds}, xl_{dks}^v, x_{dbs}^v, x_{dzs}^v, x_{zds}^{mv}, x_{ops}^{nv}, art_{iops}^i, y_{rds} \quad (32)$$

$$y_{hdvzs}^n, y_{dks}^i, z_{dbs}^i, z_k \in R^+$$

آسیب‌دیده نشان می‌دهد. محدودیت ۱۳ بیشینه ظرفیت یک بیمارستان را مشخص می‌کند. محدودیت ۱۴ ظرفیت وزنی وسایل نقلیه را مشخص می‌کند. محدودیت ۱۵ بیانگر آن است که تمامی افراد بی‌خانمان باید حتماً از مناطق آسیب‌دیده تخلیه شوند. محدودیت ۱۶ بیانگر آن است که بی‌خانمان‌ها در منطقه آسیب‌دیده باید در فاصله پوششی پناهگاه‌های مشخص شده وجود داشته باشند که بتوانند به آنها انتقال یابند. محدودیت ۱۷ بیانگر آن است که تمامی اجساد باید از مناطق آسیب‌دیده تخلیه شوند و به قبرستان‌ها ارسال شوند. محدودیت ۱۸ آن است که قبل از اینکه بی‌خانمان‌ها به پناهگاه‌ها ارسال شوند، باید آن پناهگاه تاسیس شده باشد. محدودیت ۱۹ بیانگر آن است که در یک نقطه مشخص امکان تاسیس دو مرکز توزیع وجود نخواهد داشت. محدودیت ۲۰ ظرفیت حجمی وسایل نقلیه را مشخص می‌کند. محدودیت ۲۱ بیانگر آن است که حتماً یک پناهگاه قبل از استفاده شدن باید تاسیس شده باشد. محدودیت ۲۲ بیانگر آن است که تعداد افراد آسیب‌دیده در یک منطقه آسیب‌دیده منتقل شده به مراکز امدادی بیشتر از کل تعداد افراد آسیب‌دیده در آن منطقه آسیب‌دیده نباشند. محدودیت ۲۳ بیانگر آن است که کالاهای امدادی ارسال شده نمی‌تواند بیشتر از تعداد کالاهای امدادی موجود در مرکز توزیع باشد. محدودیت ۲۴ تعداد افراد سرویس‌دهی نشده را در مناطق آسیب‌دیده نشان می‌دهد. محدودیت ۲۵ ظرفیت وسایل نقلیه حمل اجساد را مشخص می‌کند. محدودیت‌های ۲۶ تا ۲۸ از تشکیل مسیرهای بین دو نقطه که وجود ندارند جلوگیری خواهد کرد. محدودیت ۲۹ بیانگر آن است که پرسنل امدادی اعزام شده نمی‌تواند بیشتر از تعداد پرسنل امدادی حاضر در بیمارستان باشد. محدودیت ۳۰ میزان کمبود کالاهای امدادی را در پناهگاه‌ها و محدودیت‌های ۳۱ و ۳۲ نیز متغیرهای تصمیم مسئله را تشریح می‌کنند.

در واقع این تحقیق شامل ۳ هدف می‌باشد، تابع هدف اول بیانگر بیشینه کردن احتمال عبور موفق از مسیرها می‌باشد و قابلیت اطمینان مسیرها را افزایش می‌دهد.

تابع هدف دوم بیانگر کمینه کردن هزینه‌های امدادی قبل و بعد از وقوع بحران می‌باشد. هزینه‌های بعد از بحران شامل هزینه‌های حمل و نقل (ثابت یا متغیر) اجساد، بی‌خانمان‌ها، مجروحان و کالاهای امدادی می‌باشد. هزینه‌های حمل و نقل قبل از وقوع بحران، شامل هزینه‌های تاسیس مراکز امداد بحران از جمله مراکز توزیع و پناهگاه‌ها می‌باشد.

قسمت دوم تابع هدف مقدار بیشینه هزینه‌های امدادی را کمینه می‌کند. میزان زمان (پنجره زمانی) تعیین شده برای خدمت‌رسانی به مجروحین برابر ۷۰ ساعت (زمان طلایی)، بی‌خانمان برابر ۹۰ ساعت و برای اجساد برابر ۱۱۰ ساعت در نظر گرفته شده است. همچنین درجه اهمیت براساس نظر خبرگان برای اجساد برابر ۰/۱، برای بی‌خانمان‌ها ۰/۵ و برای مجروحان برابر ۰/۸ در نظر گرفته شده است. بنابراین مدل پیشنهادی سعی بر آن دارد که ابتدا مجروحان را سرویس‌دهی کند.

تابع هدف سوم بیانگر کمینه کردن بیشینه تقاضای پوشش داده نشده برای کالاهای امدادی برای تمامی مراکز برای تمامی سناریوها و حالات ممکن می‌باشد.

محدودیت ۴ بیانگر محدودیت ظرفیت در پناهگاه‌های ایجاد شده می‌باشد. محدودیت ۵ میزان کمبود پرسنل امدادی در مناطق آسیب‌دیده را در هر سناریو مشخص می‌کند.

محدودیت‌های ۶ تا ۸ بیانگر آن است که بین دو نقطه تنها و تنها یک مسیر می‌تواند وجود داشته باشد.

محدودیت ۹ ظرفیت وسایل نقلیه حمل مجروحان را مشخص می‌کند. محدودیت ۱۰ ظرفیت وسایل نقلیه حمل پرسنل امدادی را مشخص می‌کند. محدودیت ۱۱ ظرفیت وسایل نقلیه حمل بی‌خانمان‌ها را مشخص می‌کند. محدودیت ۱۲ مقدار تقاضای برآورده نشده را در مناطق

۴- رویکردهای حل

در این مقاله از روش‌های محدودیت اسیلون در ابعاد کوچک و متوسط و روش الگوریتم فراابتکاری علف هرز چند هدفه برای حل مطالعه موردی در ابعاد بزرگ استفاده می‌گردد.

۴-۱- رویکرد محدودیت اسیلون

روش محدودیت اسیلون یکی از روش‌های دقیق حل برنامه‌ریزی چندهدفه بوده و شامل بهینه‌نمودن یک تابع هدف اصلی (F_p) و بیان اهداف دیگر در فرم محدودیت‌های نامساوی هست (Mavrotas, 2009).

(۳۳)

$$\min_{x \in \Omega} F_p(x)$$

$$\text{subject to } F_i(x) \leq \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, m \quad i \neq p$$

۴-۲- رویکرد الگوریتم علف هرز مهاجم

الگوریتم بهینه‌سازی علف هرز مهاجم^۲ یک الگوریتم بهینه‌سازی هوشمند و تکاملی است، که با الهام از روند تکثیر، بقا و تطبیق پذیری علف‌های هرز، ایجاد و ابداع شده است. به طور کلی هدف علف‌های هرز «یافتن بهترین محیط برای زندگی» می‌باشد. مطالعات نشان می‌دهد الگوریتم بهینه‌سازی علف‌های هرز به علت مکانیزم جستجوی سراسری قوی، نسبت به الگوریتم‌هایی نظیر ژنتیک، بهینه‌سازی ذرات، تفاضل دیفرانسیل، پرش قورباغه برخوردار است (محرابیان و لوکاس، ۲۰۰۶).

۴-۲-۱- گام‌های الگوریتم علف هرز چند هدفه

(MOAWO)^۳

گام‌های این الگوریتم به شرح زیر می‌باشد (Karimkashi, and Kishk, 2010).

- براساس تابع تولید جواب اولیه، تعدادی علف تولید می‌کنیم. حداکثر تعداد تکرار Max_{iter} را تعیین می‌کنیم. همچنین مقادیر حداقل و حداکثر تعداد دانه‌ها S_{min} و

S_{max} را تعیین می‌کنیم. مقادیر انحراف معیار ابتدایی و

انتهای σ_{final} و $\sigma_{initial}$ را نیز تعیین می‌کنیم.

- الگوریتم مرتب‌سازی نامغلوب را انجام داده و مقدار فاصله ازدحامی d_i دانه‌ها را محاسبه می‌کنیم.

- هر علف اجازه دارد که براساس فاصله ازدحامی و رتبه‌ای که دارد، می‌تواند دانه تولید کند. تعداد دانه‌های هر علف براساس رابطه ۳۴ محاسبه می‌شود. در این رابطه $r_i(k)$ رتبه علف می‌باشد و r_{max} حداکثر رتبه می‌باشد.

(۳۴)

$$S_i = S_{max} - (1 - d_i) \frac{r_i(k)}{r_{max}} (S_{max} - S_{min})$$

- دانه‌های هر علف به صورت تصادفی در اطراف علف والد خود با میانگین صفر و انحراف معیاری که براساس رابطه ۳۵ محاسبه می‌شود، تولید می‌گردد. در این رابطه n عامل کاهش انحراف معیار می‌باشد که جزو ورودی‌های الگوریتم می‌باشد و مقدار آن ثابت است.

(۳۵)

$$\sigma_{iter} = \frac{(Max_{iter} - iter)^n}{(Max_{iter})^n} (\sigma_{initial} - \sigma_{final}) + \sigma_{initial}$$

- زمانی که جمعیت علف‌ها از پارامتر P_{max} بیشتر شود، علف‌ها با رتبه بیشتر از جمعیت حذف می‌شوند.

- تا رسیدن به معیار توقف، گام‌های قبلی تکرار می‌شود.

در نمایش ساختار جواب در الگوریتم ارائه شده، ماتریس نمایش جواب دارای ۲ بخش مکان‌یابی و تخصیص جریان می‌باشد. بخش اول شامل مکان‌یابی پناهگاه و مراکز توزیع می‌باشد. درایه‌های این ماتریس‌ها با اعداد بین ۰ و ۱ پر می‌شود. به عنوان مثال در صورتی که $K=6$ باشد و ۶ نقطه کاندید برای مکان‌یابی پناهگاه‌ها وجود داشته باشد نمونه‌ای از این ماتریس به شکل ۱ به صورت تصادفی تولید می‌شود. مشاهده می‌شود که پناهگاه‌ها در مکان‌های بالقوه ۲، ۴ و ۵ احداث می‌شوند.

تنظیم پارامتر

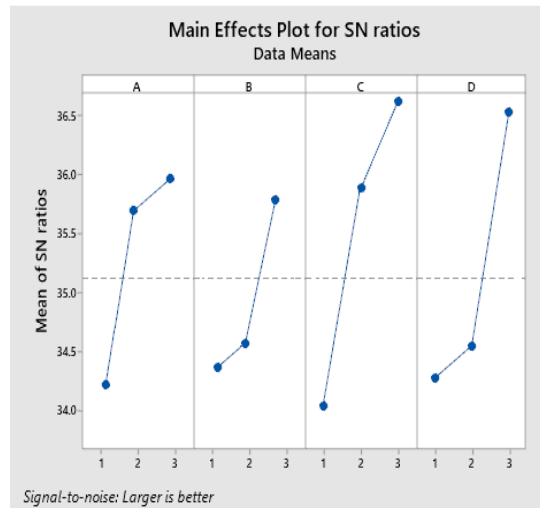
که در اینجا n تعداد تکرار آزمایش و y_i پاسخ مساله است. تاثیرگذارترین پارامترها در الگوریتم ارایه شده که عبارتند از تعداد جمعیت اولیه (nPop)، تعداد تکرار (MaxIt)، حداقل تعداد دانه (Smin) و حداکثر تعداد دانه (Smax). با بررسی شکل ۲ و رابطه ۳۶ می توان بهترین ترکیب برای پارامترهای الگوریتم علف هرز را تعیین نمود. جدول ۱ این مقادیر را نمایش می دهد.

به منظور تنظیم پارامتر الگوریتم، از روش تاگوچی استفاده شده است. با توجه به اینکه همه توابع هدف مربوط به مسیریابی وسایل نقلیه از نوع کمینه سازی است بنابراین، نرخ S/N مربوط به آن به صورت رابطه ۳۶ محاسبه می شود (Taguchi etal. 2005).

$$S/N = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (36)$$

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆
X ₁	0	1	0	1	1	0

شکل ۱. ساختار جواب



شکل ۲. میانگین نرخ S/N برای هر سطح از عوامل الگوریتم MOAWO

جدول ۱. پارامترهای انتخاب شده برای الگوریتم پیشنهادی

بیشترین تکرار	تعداد جمعیت اولیه	حداقل تعداد دانه ها	حداکثر تعداد دانه ها
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰

۵- مطالعه موردی

کرده‌ایم که این بافت‌ها، مناطق آسیب‌دیده و نقاط تقاضا را تشکیل می‌دهند. این مناطق در جدول ۲ آمده‌اند. شرکت جایکا (JAICA⁴, 2000) براساس گسل‌های فعال موجود در تهران چند مدل زلزله ارایه کرده است که بر اساس این مدل‌ها می‌توان سناریوهای زلزله را محاسبه کرد. که در جدول ۳ نشان داده شده است. جدول ۴ نیز مجموعه نقاط بالقوه برای احداث مراکز توزیع کالاهای امدادی را نشان می‌دهد. همچنین طبق جدول ۵ فرض شده است که تعداد ۷۰ کامیون باری در شبکه موجود است و بیمارستان تعداد ۵۵ آمبولانس برای اعزام به مناطق آسیب‌دیده در دست دارد.

شهر تهران یکی از زلزله خیزترین شهرهای جهان بحساب می‌آید و در صورت وقوع زلزله آسیب‌ها و خسارات جبران ناپذیری رخ خواهد داد. منطقه یک تهران در شمالی‌ترین نقطه تهران در قسمت جنوبی رشته کوه‌های البرز قرار دارد. علت انتخاب این منطقه، حساس بودن آن از لحاظ تراکم جمعیت، وجود بسیاری از مدارس و سازمان‌های دولتی و... می‌باشد. از جمله گسل‌های تهران گسل مشا، گسل ری و گسل شمال تهران می‌باشد که با توجه به مقاوم نبودن ساختمان‌های تهران در صورت فعال شدن بسیار پرتلفات خواهد بود. از آنجا که ساختار بافت‌های فرسوده شهری ناپایدار می‌باشد و این بافت‌ها آسیب‌پذیری بیشتری در برابر حوادث طبیعی دارند، فرض

جدول ۲. مجموعه مکان‌های آسیب‌دیده

ردیف	ناحیه	مناطق آسیب‌دیده	ردیف	ناحیه	مناطق آسیب‌دیده
d ₁	۱	پاسداران	d ₁₂	۵	کاشانک
d ₂		کامرانیه	d ₁₃		اقدسیه
d ₃	۲	سعدآباد	d ₁₄	۷	باغ فردوس
d ₄		ولنجک	d ₁₅		تجریش
d ₅		درکه	d ₁₆		قیطریه
d ₆	۳	گلابدره	d ₁₇	۸	اندرزگو
d ₇		دریند	d ₁₈	۹	اراج
d ₈	۴	جماران	d ₁₉		ازگل
d ₉		جمشیدیه			
d ₁₀		حصارک			
d ₁₁		دزاشیب			

جدول ۳. احتمال وقوع سناریوهای مختلف به همراه تعداد کشته‌شدگان و تعداد ساختمان‌های آسیب‌دیده برای منطقه ۱ تهران

سناریو		گسل ری		گسل شمال تهران		گسل مشا	
شدت وقوع		۸		۹		۷	
زمان وقوع		روز	شب	روز	شب	روز	شب
احتمال وقوع (درصد)		۵/۷۰	۲/۱۸	۲۳/۷۴	۱۱/۴۱	۱۰/۷۵	۵/۰۱
احتمال کشته‌شدگان (درصد)		۰/۷	۰/۹	۲/۷	۵/۲	۰/۳	۰/۴

جدول ۴. مجموعه مکان‌های بالقوه برای احداث مراکز توزیع امداد

ردیف	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۱۱۰
نام ناحیه	۱	۲	۳	۳	۴	۵	۷	۸	۹	۹
مراکز توزیع	فرمانیه	ولنجک	باغشاطر	گلابدره	جماران	آجودانیه	تجریش	اقدسیه	اراج	ازگل

جدول ۵. ناوگان حمل و نقل

وسيله نقلیه	نوع وسيله نقلیه	ظرفیت وزنی (kg)	ظرفیت حجمی (m ³)	ظرفیت (نفر)	تعداد در دسترس
V ₁	آمبولانس	۳۰۰	۴	۲	۵۵
V ₂	هلیکوپتر	۵۰۰	۶	۶	۱۰
V ₃	کامیون	۲۲۰۰۰	۱۲	۰	۷۰
V ₄	ماشین حمل اجساد	۳۰۰	۱۲	۲	۲۰۰

۶- نتایج محاسباتی

$$SM = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} |d_i - \bar{d}|}{(n-1)\bar{d}} \quad (37)$$

جدول ۶ نتایج مقایسه رویکرد حل دقیق را با الگوریتم علف هرز در ابعاد کوچک و متوسط نشان می‌دهد. باتوجه به سه هدفه بودن مدل پیشنهادی، مقادیر نقاط پارتوی سه هدف نشان داده شده است. میانگین زمان‌های حل بیانگر آن است که با افزایش ابعاد مسئله، زمان حل در روش دقیق به شدت و بصورت نمایی افزایش می‌یابد، این در حالی است که سرعت زمان حل در حل فراابتکاری بسیار کمتر می‌باشد. همچنین درصد خطای محاسبه در الگوریتم علف هرز بسیار کم می‌باشد. بنابراین می‌توان به رویکرد حل پیشنهادی جهت حل مسئله برای مطالعه موردی اعتماد کرد.

فاصله از نقطه ایده‌آل (MID):

این معیار سنجشی از نزدیکی جواب‌های پارتو به نقطه ایده‌آل $(f_1^{best}, f_2^{best}, f_3^{best})$ ارایه می‌کند. هرچه مقدار این فاصله کمتر باشد کیفیت جواب‌ها بهتر خواهد بود. با توجه به مطالب گفته شده نحوه محاسبه عملکرد مجموعه جواب‌های پارتو بصورت رابطه ۳۸ خواهد بود (Tavana et al., 2018). که در آن، n تعداد جواب‌های غیر مغلوب بدست آمده‌است و منظور از f_{ki} مقدار k امین تابع هدف در بردار جواب پارتو i ام است.

۶-۱- فاصله گذاری (SM)

جدول ۷ نتایج ۲۷ نقطه پارتو را برای مطالعه موردی نشان می‌دهد. همانطور که در جدول نشان داده شده است میانگین فاصله از نقطه ایده‌آل برابر ۰/۴۹ می‌باشد. همچنین میانگین مقدار فاصله گذاری برابر ۰/۷۶ می‌باشد. مقادیر حاصله نشان دهنده عملکرد مناسب مدل پیشنهادی هست. در شکل ۳ نیز مقادیر پارتوی حاصل از حل را نشان می‌دهد. باتوجه به سه هدفه بودن مدل پیشنهادی این شکل بصورت سه بعدی نمایش داده شده است.

این شاخص یکنواختی توزیع جواب‌های موجود در جبهه پارتویی را ارزیابی می‌کند. که در آن n تعداد جواب‌های پارتو و d_i فاصله اقلیدسی بین دو جواب پارتوی کناری در فضای حل می‌باشد. همچنین \bar{d} نیز برابر میانگین فواصل d_i ها می‌باشد. مقدار کم این معیار، بیانگر توزیع یکنواخت تر جواب در پارتوی شناسایی شده می‌باشد. و رابطه ۳۷ نشان دهنده این رابطه می‌باشد (Tavana et al., 2018).

$$MID = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{\left(\frac{f_{1i} - f_1^{best}}{f_{1,total}^{max} - f_{1,total}^{min}}\right)^2 + \left(\frac{f_{2i} - f_2^{best}}{f_{2,total}^{max} - f_{2,total}^{min}}\right)^2 + \left(\frac{f_{3i} - f_3^{best}}{f_{3,total}^{max} - f_{3,total}^{min}}\right)^2}}{n} \quad (38)$$

مراکز توزیع بیشتر شود تقاضای پوشش داده نشده (مقدار تابع هدف سوم) کمتر می‌شود. شکل ۵ تحلیل مسئله تور پوششی را از نظر شعاع پوشش نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش شعاع پوششی، طول تور کاهش می‌یابد.

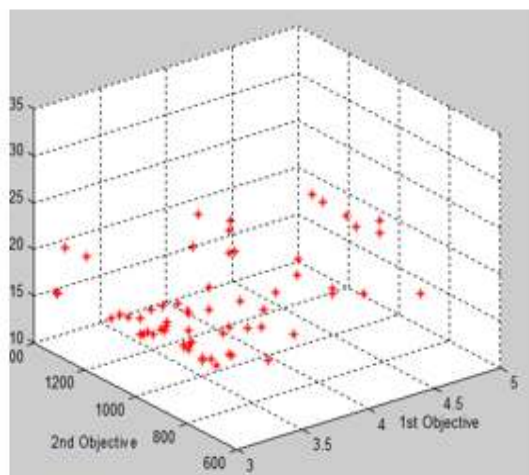
برخی از نتایج برای یک نقطه پارتو دلخواه، شامل: مکان‌یابی مراکز توزیع طبق جدول ۸ و کنترل موجودی مراکز توزیع مطابق جدول ۹، در قبل از فاز وقوع بحران و جدول ۱۰ الگوی مسیریابی وسیله نقلیه در فاز بعد از بحران را برای مطالعه موردی نشان می‌دهد. مطابق شکل ۴ مشاهده می‌شود، هرچه قدر ظرفیت

جدول ۶. نتایج حل در ابعاد کوچک و متوسط

کل خطا (درصد)	رویکرد غلف هرز			روش حل دقیق				شماره مسئله	ابعاد	
	زمان (s)	تابع ۳	تابع ۲	تابع ۱	زمان (s)	تابع ۳	تابع ۲			تابع ۱
۰	۲	۲۱/۴۸۰	۷۵۰/۵۷۰	۲/۷۹۰	۲	۲۱/۴۸۰	۷۵۰/۵۷۰	۲/۷۹۰	۱	کوچک
۰/۲	۴	۱۵/۶۹۷	۷۴۵/۱۰۷	۲/۷۹۲	۲۶	۱۵/۶۸۰	۷۴۲/۳۳۰	۲/۷۹۰	۲	
۰/۵۰	۵	۱۰/۹۵۰	۷۳۸/۲۱۰	۲/۷۹۳	۶۸	۱۰/۵۲۰	۷۴۵/۷۰۰	۲/۷۹۰	۳	
۰/۴۲	۷	۲۲/۰۰۸	۷۶۰/۳۱۰	۲/۹۴۵	۱۱۰	۲۱/۴۸۰	۷۵۸/۷۵۰	۲/۹۰۰	۴	
۰/۶۲	۱۴	۱۵/۹۹۰	۷۴۵/۲۱	۲/۹۱۰	۲۲۵	۱۵/۶۸۰	۷۴۳/۲۴	۲/۹۰۰	۵	
۱	۲۰	۱۲۵/۵۰	۶۱۲۳/۵۴	۲۲/۹۳۵	۶۷۹	۱۲۳/۰۸۸	۶۱۱۹/۴۳۴	۲۲/۷۶۵	۶	متوسط
۱/۰۳	۲۹	۱۲۲/۵۱	۶۱۲۱/۵	۲۴/۸۱۵	۱۵۹۶	۱۲۰/۸۴	۶۱۱۶/۸۴۵	۲۳/۷۰۱	۷	
۰/۸۱	۳۵	۱۲۵/۹۸	۶۱۱۹/۲۰	۲۲/۰۸۵	۲۴۹۷	۱۲۲/۲۱۰	۶۱۱۵/۸۰۷	۲۱/۷۰۱	۸	
۱/۱	۴۱	۱۱۷/۱۶	۶۱۱۹/۹	۲۶/۸۵۰	۶۴۱۰	۱۱۵/۳۱۰	۶۱۱۷/۰۹	۲۵/۱۸۴	۹	
۰/۶۸	۵۲	۱۲۱/۳۵	۶۱۱۵/۹۷	۲۵/۲۰۰	۸۹۷۱	۱۱۹/۲۵	۶۱۰۹/۴۱	۲۴/۰۸۹	۱۰	
۰/۶۳	۲۰/۹				۲۰۵۸/۴				میانگین	

جدول ۷. شاخص‌های عملکردی در مطالعه موردی

MID	SM	NO	MID	SM	NO
۰/۳۸	۰/۹۸	۱۵	۰/۳۵	۰/۸۹	۱
۰/۶۱	۰/۹۳	۱۶	۰/۳۶	۰/۳۰	۲
۰/۷۱	۰/۹۷	۱۷	۰/۳۴	۰/۶۴	۳
۰/۳۷	۰/۹۹	۱۸	۰/۵۲	۰/۷۳	۴
۰/۴۹	۰/۹۲	۱۹	۰/۴۲	۰/۸۹	۵
۰/۴۱	۰/۷۳	۲۰	۰/۴۶	۰/۹۱	۶
۰/۶۸	۰/۰۰	۲۱	۰/۴۳	۰/۸۹	۷
۰/۶۳	۰/۵۶	۲۲	۰/۲۷	۰/۲۵	۸
۰/۷۲	۰/۷۹	۲۳	۰/۵۱	۰/۵۲	۹
۰/۳۶	۱/۰۰	۲۴	۰/۲۲	۰/۹۸	۱۰
۰/۵۱	۰/۹۰	۲۵	۱/۰۰	۰/۹۱	۱۱
۰/۸۸	۰/۹۰	۲۶	۰/۴۴	۰/۷۶	۱۲
۰/۵۳	۰/۶۵	۲۷	۰/۷۵	۰/۹۸	۱۳
-	-	-	۰/۰۰	۰/۷۰	۱۴
۰/۴۹	۰/۷۶	میانگین			



شکل ۳. نقاط پارتو

جدول ۸. مراکز توزیع تاسیس شده

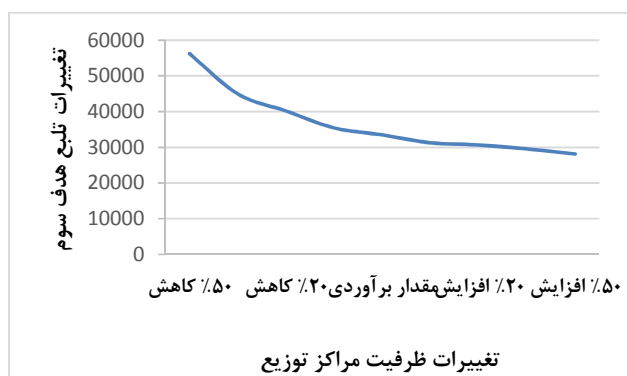
۱۱۰	۱۹	۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	ردیف
ازگل	اراج	اقدسیه	تجریش	آجودانیه	جماران	گلابدره	باغشاطر	ولنجک	فرمانیه	مراکز توزیع
۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	انتخاب

جدول ۹. مراکز توزیع احداث شده، اندازه‌ی آنها و مقدار ذخیره‌ی موجودی

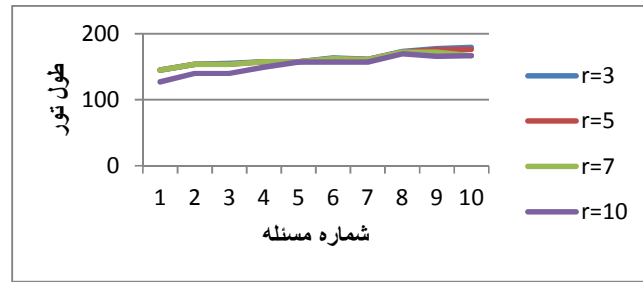
مراکز توزیع	نوع مرکز توزیع	اقلام امدادی ذخیره شده				نقطه تقاضا	نوع مرکز توزیع	اقلام امدادی ذخیره شده			
		چادر	آب	غذا	خون			چادر	آب	غذا	خون
فرمانیه	متوسط	۱۳۱۵۴	۴۱۶۹۳	۳۲۱۷۸۶	۳۵۶۳	تجریش	متوسط	۱۷۱۱۸	۴۰۰۸۰۰	۳۳۰۱۰۰	۳۰۰۰
ولنجک	بزرگ	۳۳۳۹۱	۷۹۷۴۲۳	۶۷۳۴۲۱	۵۶۷۰	اقدسیه	بزرگ	۴۲۷۹۰	۷۵۰۱۱۰	۵۰۰۲۱۹	۵۶۰۰
گلابدره	بزرگ	۲۹۰۱۷	۶۸۹۱۲۳	۵۴۱۲۳۴	۵۵۰۰	ازگل	بزرگ	۳۸۸۷۳	۶۹۸۷۱۰	۴۹۸۲۱۳	۶۱۵۰
آجودانیه	بزرگ	۳۵۴۳۰	۸۱۶۹۹۰	۵۱۷۶۰۰	۶۲۵۰	-	-	-	-	-	-

جدول ۱۰. نمونه الگوی مسیریابی بین مناطق آسیب‌دیده و مراکز توزیع

مسیر ۴	مسیر ۳	مسیر ۲	مسیر ۱
-	-	-	$d_1 - a_2 - a_1 - d_1$
-	-	$d_2 - a_5 - a_4 - a_3 - a_6 - d_2$	-
-	$d_3 - a_7 - a_8 - a_{10} - a_{11} - a_9 - d_3$	-	-
$d_4 - a_{14} - a_{12} - a_{13} - a_{15} - d_4$	-	-	-
-	-	-	$d_1 - a_2 - a_1 - a_4 - a_6 - d_1$
-	-	$d_2 - a_5 - a_3 - d_2$	-
-	$d_3 - a_1 - a_8 - a_9 - a_{11} - d_3$	-	$d_1 - a_2 - a_7 - a_{10} - d_1$
$d_4 - a_{14} - a_1 - a_{15} - d_4$	-	-	$d_1 - a_2 - a_{12} - a_{13} - d_1$
-	-	-	$d_1 - a_2 - a_{17} - a_{16} - d_1$
-	$d_3 - a_8 - a_4 - a_3 - a_{11} - a_9 - d_3$	$d_2 - a_5 - a_{10} - a_6 - a_7 - d_2$	-
$d_4 - a_6 - a_4 - a_{15} - a_{13} - a_{16} - d_4$	-	$d_2 - a_3 - a_5 - a_{14} - a_{12} - d_2$	-
-	-	$d_2 - a_{19} - a_4 - a_{16} - a_6 - d_2$	-
$d_4 - a_{10} - a_{12} - a_{13} - a_9 - d_4$	$d_3 - a_{15} - a_8 - a_7 - a_{11} - a_{14} - d_3$	-	-



شکل ۴. تحلیل حساسیت تابع هدف سوم نسبت به ظرفیت مراکز توزیع



شکل ۵. طول تور به ازای شعاع‌های پوششی مختلف

۷- نتیجه‌گیری

هدف اصلی این تحقیق ارائه یک مدل ریاضی چندهدفه و چندکالایی جهت مکان‌یابی، مسیریابی، موجودی و توزیع کالاهای امدادی در شرایط زلزله عدم قطعیت سناریویی با استفاده از رویکرد الگوریتم علف‌هرز می‌باشد. بنابراین این مقاله پس از ارائه مدل پیشنهادی با دو الگوریتم محدودیت اسپیلون (در ابعاد کوچک و متوسط) و علف‌هرز (در ابعاد بزرگ) حل شده است. دلیل استفاده از الگوریتم علف‌هرز، عملکرد مناسب آن در حل مسائل کوچک و متوسط (با خطای زیر یک درصد) می‌باشد. سپس مدل پیشنهادی برای منطقه ۱ تهران مورد آزمایش قرار گرفته است. پس از حل مدل پیشنهادی برای یک نقطه پارتو، هفت مرکز توزیع از ده مرکز توزیع در نظر گرفته شده بعنوان مراکز توزیع بهینه انتخاب گردید. و همچنین میزان موجودی کالاهای ذخیره شده در قبل از بحران و میزان کالاهای مازاد و کمبود در هر مرکز توزیع، تعداد پناهگاه‌های تخصیص یافته به مناطق آسیب‌دیده، و مسیریابی بهینه وسایل نقلیه در بعد از بحران محاسبه شدند. میانگین فاصله از نقطه ایده‌آل برای مطالعه موردی برابر ۰/۴۹ و میانگین مقدار فاصله‌گذاری برابر ۰/۷۶ محاسبه شد. مقادیر حاصله بیانگر عملکرد مناسب مدل پیشنهادی می‌باشد. نتایج بیانگر آن است که؛ با افزایش تقاضا تعداد مراکز توزیع تأسیس شده افزایش می‌یابد و با کاهش شعاع پوششی، از تعداد مراکز تأسیس شده کاسته شده و در نتیجه تعداد نقاط حادثه دیده پوشش نیافته بیشتر شده و هزینه امدادسانی افزایش می‌یابد.

برای مطالعات آتی موارد زیر پیشنهاد می‌گردد:

-در نظر گرفتن پنجره زمانی برای خون

-می‌توان سطح تأمین‌کنندگان امدادی را به شبکه‌ای ارائه شده اضافه کرد.

-از تئوری بازی برای انتخاب تأمین‌کننده قبل از وقوع بحران استفاده شود.

۸- پی‌نوشت‌ها

1. Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm-II
2. Invasive Weed Optimization Algorithm
3. Multi-Objective Invasive Weed Optimization Algorithm
4. Japan International Cooperation Agency

۹- مراجع

- حسینی‌نژاد، س.ف.، ماکویی، ا. و توکلی‌مقدم، ر. (۱۳۹۷)، "مدل‌سازی مکانیابی هاب زنجیره امدادسانی در مدیریت بحران بر مبنای نیاز مصدومین تصادفات جاده‌ای" پژوهشنامه حمل و نقل، دوره پانزدهم، شمار سوم، ص. ۳۲۱-۳۳۵.

-Burak, Kõ., Yetis- Kara, B., Saldanha-da-Gama, F. and Correia, I., (2019), "Modeling the shelter site location problem using chance constraints: A case study for Istanbul", European Journal of Operational Research, Vol.270, No.1, pp. 132-145.

- Davoodi, S.M.R. and Goli, A., (2019), "An integrated disaster relief model based on covering tour using hybrid Benders decomposition and variable neighborhood search: Application in the Iranian context", Computers & Industrial Engineering, Vol. 130, pp.370-380.

-Diabat, A., Jabbarzadeh, A. and Khosrojerdi, A., (2019), "A perishable product supply chain network design problem with reliability and disruption considerations", International Journal of Production Economics, Vol. 212, pp. 125-138.

- Nathalie, C. and Victor, C., (2019), "Including deprivation costs in facility location models for humanitarian relief logistics", *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol.65, pp. 89–100.
- Noham R., and Tzur M., (2018), "Designing humanitarian supply chains by incorporating actual post-disaster decisions", *European Journal of Operational Research*, Vol. 265, No. 3, pp.1064-1077.
- Ni, W., Shu, J. and Song, M., (2018), "Location and Emergency Inventory Pre-Positioning for Disaster Response Operations: Min-Max Robust Model and a Case Study of Yushu Earthquake", *Production and Operation Management*; Vol.27, No.1, pp.160–183.
- Nikoo, N., Babaei, M. and Shariat-Mohaymany, A., (2018), "Emergency Transportation Network Design Problem: Identification and Evaluation of Disaster Response Routes", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol.27, pp.7-20.
- Tavana, M., Abtahi, A.R, Di Caprio, D., Hashemi, R. and Yousefi-Zenouz, R., (2018), "An integrated location-inventory-routing humanitarian supply chain network with pre-and post-disaster management considerations", *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 64, pp.21-37.
- Taguchi, G., Chowdhury, S. and Wu, Y. (2005), "Taguchi's quality engineering handbook", Wiley Publishing.
- Tavakkoli-Moghaddam, R. and Raziei, Z. (2016), "A New Bi-Objective Location-Routing-Inventory Problem with Fuzzy Demands", *IFAC*, Vol.49, No.12, pp.1116 – 1121.
- "The Study on Seismic Microzoning of the Greater Tehran Area in the Islamic Republic of Iran", (2000). Japan International Cooperation Agency (JICA).
- Zokaee, S., Bozorgi-Amiri, A. and Sadjadi, S.J. (2016), "A Robust Optimization Model for Humanitarian Relief Chain Design under Uncertainty", *Applied Mathematical Modelling*, Vol.40, No.17–18, pp.7996-8016.
- Golabi, M., Shavarani, S.M. & Izbirak, G., (2017), "An edge-based stochastic facility location problem in UAV-supported humanitarian relief logistics: a case study of Tehran earthquake", *Natural Hazards*, Vol.87, No.3, pp. 1545–1565.
- Habibi, M., Paydar, M.M. and AsadiGangraj, E., (2018), "Designing a bi-objective multi-echelon robust blood supply chain in a disaster", *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 55, pp. 583-599.
- Hasani, A. and Mokhtari, H., (2018), "Redesign strategies of a comprehensive robust relief network for disaster management", *Socio-Economic Planning sciences*, vol.64, pp. 92-102..
- Jafarkhan, F. and Yaghoubi, S., (2019), "An efficient solution method for the flexible and robust inventory-routing of red blood cells", *Computers & Industrial Engineering*, vol.117, pp.191-206.
- Karimkashi, S. & Kishk, A. A., (2010), "Invasive weed optimization and its features in electromagnetics", *IEEE transactions on antennas and propagation*, vol.58, No.4, pp.1269-1278.
- Karaođlan, I., Erdođan, G. and Koç, Ç., (2018), "The Multi-Vehicle Probabilistic Covering Tour Problem", *European Journal of Operational Research*, Vol.271, No.1, pp.278-287.
- 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.
- Mehrabian, A. R. and Lucas, C., (2006), "A novel numerical optimization algorithm inspired from weed colonization", *Ecological informatics* , Vol.1, No.4, pp. 355-366.
- Moreno, A., Alem, D., Ferreira, D. and Clark, a., (2018), "A mathematical model for efficient emergency transportation in a disaster situation", *American Journal of Emergency Medicine*, Vol.36, No.9, pp. 1585-1590.

Presenting an Integrated Multi-Objective Model for Location-Routing and Inventory of Relief Facilities, Considering Several Modes of Transport and Covering Tour

Esfandiyar Ataei, Department of Industrial Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.

Ramin Sadeghian, Department of Industrial Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.

Maryam Hamedi, Department of Industrial Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.

E-mail: ataei56@gmail.com

Received: January 2020-Accepted: July 2020

ABSTRACT

One of the most important parts when any accident occurs is the issue of control and management before and after the disaster, and if this issue is not taken into account, another secondary catastrophe will occur within the main catastrophe. Therefore, in this study, a random integrated model is proposed. In which two categories of decisions are considered; decisions of the first stage of determining and controlling the inventory of distribution centers and location of distribution centers for pre-disaster and decisions of the second stage for post-disaster, including reviewing the flow of injured, Corpses, homeless and relief items in the network and the allocation of vehicles for this flow. Objectives of this paper include (1) maximizing the probability of successful passage of routes by increasing the reliability of routes, (2) minimizing relief costs pre-disaster and post-disaster, by considering the time window, (3) Minimize maximum uncovered demand for relief goods, for all centers in possible scenarios and situations. Considering the scenario uncertainty situation along with the uncertainty of the route and demand, multi-commodity, several modes of transportation and covering tour are among the innovations of this research. To validate the proposed model in small and medium dimensions, Epsilon restriction method in Gams software environment and for case study (Region 1 of Tehran) in large dimensions has been solved using Invasive Weed Optimization algorithm. The results of the analysis indicate that the Invasive Weed Optimization algorithm will be able to solve the model with the least error compared to the exact solution and less time. Also, as the capacity of distribution centers increases, the cost decreases and as demand increases, the number of established distribution centers increases, and as the coverage radius increases, the length of the tour decreases but the number of unoccupied accident hotspots increases and relief costs, including transportation costs, increase.

Keywords: Location, Routing, Covering Tour, Mode of Transport, Time Window