

مکان یابی مراکز امداد موقت و مسیریابی پویای وسایل نقلیه امداد هوایی در شرایط بحران

محمد آقایی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

مهدی علینقیان (مسئول مکاتبات)، دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

محمد سعید صباغ، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

E-mail: alinaghian@cc.iut.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۰۵ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۲۵

چکیده:

در این مقاله یک مدل ریاضی جدید برای مکان یابی مراکز امداد موقت و مسیریابی پویای وسایل نقلیه امداد هوایی به منظور ارسال کالاهای امدادی به مناطق آسیب دیده در شرایط بحران ارائه شده است. تابع هدف مدل پیشنهادی شامل کمینه سازی حداکثر زمان انتقال کالاهای امدادی به مراکز تاسیس شده است. در مدل پیشنهادی مکانیابی مراکز امداد به گونه ای انجام می شود که تمامی نقاط آسیب دیده در شعاع پوشش مراکز تاسیس شده قرار گیرند. با توجه به شرایط حاکم به مناطق آسیب دیده همچون نیاز ضروری به کالاهای امدادی و اهمیت زمان خدمت رسانی، وجود پس لرزه ها، برآوردهای غیر دقیق از میزان خسارتها و مناطق حادثه دیده، و خرابی شبکه راه ها در مدل ارائه شده مناطق و میزان تقاضای هر منطقه پویا در نظر گرفته شده و از وسائط نقلیه هوایی به منظور ارسال کالاهای امدادی بهره گرفته شده است. با توجه به NP -Hard مدل پیشنهادی، الگوریتم های ژنتیک و جست و جوی پراکنده برای این مسئله ارائه شده است، به منظور بررسی عملکرد الگوریتم های پیشنهادی نتایج حاصل از حل دقیق و الگوریتم های فرابتنکاری ارائه شده مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفته است. در حل مسائل نمونه در ابعاد کوچک، میانگین زمان حل برای روش دقیق، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جستجوی پراکنده به ترتیب ۶۶۹،۸، ۵۴،۷ و ۵۶،۲ ثانیه بدست آمد. از نظر کیفیت جواب ها، متوسط خطا برای الگوریتم ژنتیک ۳،۸ درصد و برای الگوریتم جست و جوی پراکنده ۱،۱ درصد بدست آمد. در ابعاد بالا از منظر کیفیت جواب الگوریتم ژنتیک از ۲۷ مسئله حل شده، در ۱۷ مورد جواب های بهتری نسبت به الگوریتم جست و جوی پراکنده پیدا کرده است. نتایج نشان دهنده عملکرد مناسب الگوریتم های حل پیشنهادی است.

واژه های کلیدی: مسیریابی پویا، تور پوششی، الگوریتم جست و جوی پراکنده، الگوریتم ژنتیک، لجستیک بحران.

۱. مقدمه

امروزه با وجود پیشرفت های فناوری موجود، مصائب ناشی از سوانح طبیعی (مانند زلزله ، سیل ، طوفان، بهمن و غیره) و غیر طبیعی (مانند جنگ، حوادث تروریستی، ناآرامیهای سیاسی و غیره) یکی از موانع اصلی توسعه پایدار کشورها به شمار می‌روند و عدم آمادگی و مقابله مناسب با آنها تلفات و خسارات سنگینی را به ملت ها و دارایی های آنها وارد می‌کند که بعضاً جبران ناپذیر است. با توجه به اهمیت موضوع، ضرورت وجود یک سیستم منسجم علمی برای لجستیک بحران که دارای یک مدیریت مشخص بوده و کلیه فرآیند های آن از قبل تعریف و وظایف هر زیر مجموعه مشخص شده باشد، امری اجتناب ناپذیر است.

مدیریت بحران به چهار مرحله پیشگیری، آمادگی، پاسخ و بازسازی تقسیم بندی می‌شود. از میان این چهار مرحله، مرحله پاسخ به دلیل امکان کاهش بیشتر تلفات و خسارات جانی و مالی از اهمیت ویژه ای برخوردار است [Caunhye, 2012]. مکان یابی مراکز امداد رسانی و مسیریابی وسایل نقلیه امدادی جهت ارسال کالا و خدمات به آسیب دیدگان یکی از فعالیت های مرحله پاسخ است که از لحظات اولیه وقوع بحران شروع می شود و عملکرد مطلوب در بخش نقش تعیین کننده ای در کاهش تلفات و خسارات ایفا می کنند. توجه همزمان به دو مقوله مکانیابی مراکز امداد و مسیریابی می تواند تاثیر مناسبی بر عملکرد سیستم ایفا نماید. عدم توجه به مسیریابی در هنگام مکانیابی مراکز امدادی می تواند باعث افزایش زمان رسیدن اقلام امدادی به مراکز امداد گردد و این امر باعث کاهش اثر بخشی امداد رسانی گردد. [te al. 2009]

[Jgna]

در مواردی که مناطق بحران زده فاصله کمی با هم دارند استفاده از رویکرد تور پوششی می‌تواند منجر به کاهش زمان امداد رسانی شود. در رویکرد تور پوششی، لزومی بر تاسیس مراکز امداد موقت در تمامی مناطق حادثه دیده وجود ندارد، و تنها در تعداد محدودی از مناطق حادثه مرکز امداد موقت تاسیس می‌شود، اما تمامی مناطق حادثه دیده بایستی در یک

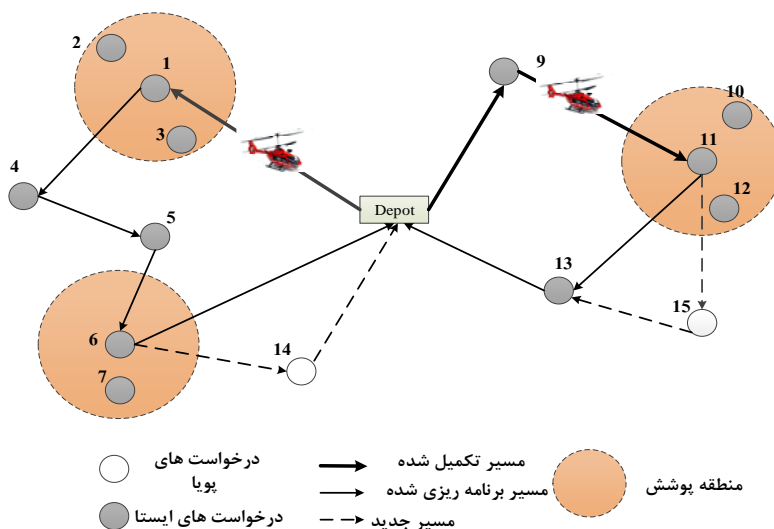
فاصله مشخص از قبل تعریف شده نسبت به مراکز امداد قرار گیرند با چنین رویکردی الزام عبور وسایل نقلیه از تمامی مناطق از بین می‌رود و در نتیجه تامین کالاهای امدادی در کمترین زمان ممکن اتفاق می‌افتد.

در لحظات اولیه وقوع بحران از یک سو زمان یک عامل کلیدی در کاهش خسارتها و تلفات به شمار می‌رود و از سوی دیگر شبکه راه‌ها آسیب دیده است و امکان دسترسی زمینی به بسیاری از مناطق از دست رفته است. همچنین اطلاعاتی همچون تعداد مناطق حادثه دیده، میزان تقاضا و غیره نادقیق است و به مرور و در حین اجرای عملیات امداد رسانی تکمیل می‌گردد.

در این مقاله یک مدل ریاضی جدید برای مکان یابی مراکز امداد موقت و مسیریابی پویای وسایل نقلیه امداد هوایی به منظور ارسال کالاهای امدادی در شرایط بحران ارائه شده است. تابع هدف مدل پیشنهادی شامل کمینه سازی حداکثر زمان انتقال کالاهای امدادی به مراکز تاسیس شده است. در مدل پیشنهادی مکانیابی مراکز امداد به گونه ای انجام می‌شود که تمامی نقاط آسیب دیده در شعاع پوشش مراکز تاسیس شده قرار گیرند. در مدل ارائه شده مناطق و میزان تقاضای هر منطقه پویا در نظر گرفته شده و از وسایل نقلیه هوایی به منظور ارسال کالاهای امدادی بهره گرفته شده است. با توجه به NP-Hard مدل پیشنهادی الگوریتم فراابتکاری جست و جوی پراکنده و همچنین الگوریتم ژنتیک برای این مسئله ارائه شده است، به منظور بررسی عملکرد الگوریتم های پیشنهادی نتایج حاصل از حل دقیق و الگوریتمهای فراابتکاری ارائه شده مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفته است.

از جمله کاربردهای مدل پیشنهادی، توزیع اقلام امدادی و کمک رسانی به آسیب دیدگان در هنگام وقوع بحران در مناطقی است که دسترسی زمینی به آنها دشوار است و مناطقی به گونه ای به هم نزدیک هستند که استقرار یک مرکز امدادی می تواند برای چند منطقه مورد استفاده قرار گیرد. . به منظور بیان بهتر موضوع مورد نظر این تحقیق شکل ۱ ارائه شده است.

مکان یابی مراکز امداد موقت و مسیریابی پویای وسایل نقلیه امداد هوایی



شکل ۱. نمونه ای از مسیریابی پوششی پویا

مسیر برنامه ریزی شده اولیه با خطوط کم رنگ تر نشان داده شده است. نقاط خط چین نیز نشان دهنده مسیر جدید بعد از اضافه شدن نقاط پویا است.

در ادامه و در بخش دوم ادبیات موضوع ارائه می‌گردد در بخش سوم تعریف مسئله و مدل ریاضی پیشنهادی ارائه می‌شود در فصل چهارم روشهای حل پیشنهادی توضیح داده می‌شود. بخش پنجم به نتایج عددی تخصیص یافته است و در نهایت در بخش ششم نتیجه‌گیری ارائه شده است.

۲. ادبیات موضوع

مسیریابی وسایل نقلیه بر حسب اینکه ورودی‌ها از قبل مشخص باشند یا در حین مسیریابی تغییر کنند و بر حسب قطعی یا احتمالی بودن اطلاعات ورودی به چهار دسته تقسیم می‌شوند در جدول ۱ ویژگی‌های چهار دسته نشان داده شده است.

در این شکل ۱۵ نقطه آسیب دیده وجود دارد و از بین آنها، نقاط ۱، ۴، ۵، ۶، ۹، ۱۱، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ به عنوان مراکز امداد موقت انتخاب شده‌اند. سایر نقاط تحت پوشش یکی از این مراکز هستند و از آنها سرویس می‌گیرند. به دلیل آنکه در شرایط بحران تأسیس این مراکز در کوتاه‌ترین زمان مدنظر است، لذا احداث این مراکز به صورت سرپایی فرض شده و از هزینه تأسیس آنها صرف‌نظر می‌شود. از طرف دیگر تأمین کالای موردنیاز این مراکز امداد از طریق یک دپوی مرکزی صورت می‌گیرد. این کالاها توسط وسایل نقلیه با ظرفیت مشخص به نقاطی که مراکز امداد در آنها برپا شده حرکت کرده و تقاضای نقاط بازدید شده و نقاط تحت پوشش آنها را برآورده می‌کند. در شکل فوق نقاط ۱۴ و ۱۵ پویا هستند و درحین مسیریابی اطلاعات آنها می‌رسد و باید با رویکردی مناسب در مسیر برنامه ریزی جای داده شوند. مسیریابی که توسط وسیله طی شده یا وسیله در حال طی کردن آن است با خطوط پررنگ تر مشخص شده‌اند و ما بقی

جدول ۱. انواع مسیریابی وسایل نقلیه

ورودی احتمالی	ورودی قطعی	ورودی از قبل مشخص است
احتمالی و ایستا	قطعی و ایستا	
احتمالی و پویا	قطعی و پویا	ورودی حین زمان تغییر می کند

مسیرها، بارگذاری و تخلیه ی بار، نجات و سوخت گیری هر هلیکوپتر می پردازد [Barbaroso glu et al. 2002]. ساکاکیبارا^۶ و همکاران نیز در سال ۲۰۰۴ به بررسی جریان کالا در شبکه راه ها در زمان پاسخگویی در بحران پرداخته اند که در آن راه های ارتباطی به اجزای جدا از هم تقسیم شده اند که در آن نویسنده با استفاده از شاخص های توپولوژیکی جهت کمی کردن قابلیت دسترسی به شبکه راه ها استفاده کرده است. سپس مناطق بحران زده را به ناحیه های مجزا تقسیم کرده و به ارائه یک متدولوژی جهت تعیین راههای ارتباطی موثر جهت عدم جدایی عملیاتی مناطق پرداخته است [Sakakibara, Kajitani and Okada, 2004]. آنها به صورت ایستا به مسیریابی نقاط حادثه دیده پرداختند و از رویکرد تور پوششی در مدل خود استفاده نکردند. در مواردی که مناطق بحران زده فاصله کمی با هم دارند استفاده از رویکرد تور پوششی می تواند منجر به کاهش زمان امداد رسانی شود. از سوی دیگر در لحظات اولیه وقوع بحران، اطلاعاتی همچون تعداد مناطق حادثه دیده، میزان تقاضا و غیره نادقیق است و به مرور و در حین اجرای عملیات امداد رسانی تکمیل می گردد و رویکرد مسیریابی پویا می تواند نتایج بهتری را برای مسئله ایجاد نماید. ما در این مقاله فرض وجود تور پوششی و مسیریابی پویا در امداد رسانی هوایی به حادثه دیدگان را در نظر گرفته ایم. از دامار^۸ و همکاران در سال ۲۰۰۴ به بررسی برنامه ریزی لجستیکی در مواقع اضطراری جهت ارسال کالا به مراکز توزیع در نواحی آسیب دیده پرداخته است. شبکه توسعه داده شده در این تحقیق به بررسی یک مساله حمل و نقل پویای وابسته به زمان پرداخته شده است و به صورت تکرار شونده به ارائه جواب در بازه های زمانی داده شده برای تحویل کمک ها می پردازد [Ozdamar, 2004]. ضمناً همین محقق در تحقیق دیگری در سال ۲۰۱۱ به ارائه یک مدل ریاضی جهت برنامه ریزی لجستیک هلیکوپترها برای حمل و نقل مصدومان و کالاهای درمانی پرداخته است.

در مسائل ایستا و قطعی که ساده ترین نوع هستند، تمام داده ها از قبل مشخص شده اند و مسیرها در طی اجرا تغییر نمی کنند. در مسائل ایستا و احتمالی مقادیر پارامترهای مسئله از یک توزیع احتمال مشخص پیروی می کنند. عدم قطعیت ممکن است در هر یک از اطلاعات ورودی (مشتری، زمان سفر و تقاضای مشتری) تأثیرگذار باشد. در مسائل قطعی و پویا، همه یا قسمتی از داده های ورودی مجهول هستند و بصورت پویا در حین طراحی یا اجرای مسیرها نمایان می شوند. در مسائل پویا و احتمالی تمام یا قسمتی از اطلاعات ورودی مجهول است و به صورت پویا در حین اجرای مسیرها پدیدار می شود. این اطلاعات می تواند پارامترهای توزیع احتمال تقاضا یا موارد دیگر باشد [Pillac, 2013]. در ادامه، تحقیقات انجام گرفته در سه حوزه مسیریابی ایستا، مسیریابی امدادی پویا^۲ و تور پوششی^۳ در لجستیک امداد^۴ مورد بررسی قرار می گیرند.

۱-۲ مسیریابی ایستای امدادی

تحقیقات در زمینه حمل و نقل اقلام امدادی برای اولین بار به تحقیقات نات^۵ در سال ۱۹۸۷ بر می گردد. نات با در اختیار داشتن منابع محدود، به مدل سازی شرایطی می پردازد که در آن تعدادی از وسایل نقلیه ی متفاوت در یک انبار قرار دارند و هدف کمینه سازی تقاضاهای از دست رفته است [Knott, 1987]. بدیهی است در هنگام وقوع بحران، زیرساخت های حمل و نقل برای تجهیزات امدادی غیر قابل اعتماد است. به همین دلیل بارباروسوگولو^۶ و همکاران در سال ۲۰۰۲ به مدل سازی برنامه ریزی پرواز و عملیات امداد رسانی بالگردها می پردازند. مسئله به دو سطح تجزیه شده است که در سطح اول، تصمیمات تاکتیکی شامل مدیریت ناوگان و خلبان ها و تعیین تعداد تورهایی که توسط هر هلیکوپتر طی می شوند مورد توجه است. در سطح دوم به اتخاذ تصمیمات عملیاتی پرداخته می شود که به طراحی

مکان یابی مراکز امداد موقت و مسیریابی پویای وسایل نقلیه امداد هوایی ...

کالاها را به نقاط آسیب‌دیده برساند. در این مدل تعداد افراد آسیب‌دیده، میزان تقاضای هر یک از کالاهای موردنیاز در مناطق زلزله‌زده، ظرفیت تأمین‌کنندگان برای کالاهای موردنیاز و ظرفیت بیمارستان‌ها غیرقطعی در نظر گرفته شده بود. اولویت اول حداقل کردن تعداد مجروحان منتقل نشده به بیمارستان و هدف دوم کمینه کردن تقاضای برآورده نشده و هدف سوم حداقل کردن تعداد وسایل نقلیه موردنیاز بود. ویکتوریا و همکاران به بررسی مسئله مسیریابی با تقاضای وابسته به زمان پرداختند. در مسئله آنها به این موضوع پرداخته شده بود که در هنگام بحران افراد به صورت معمول به نزدیکترین پناهگاه می‌روند، ولی در صورتی که کالای امدادی به موقع به آن پناهگاه نرسد آسیب دیدگان به تدریج از پناه گاه خارج شده و به دیگر مناطق می‌روند. حرکت آسیب دیدگان باعث ایجاد هرج و مرج در منطقه می‌گردد و همچنین ممکن است باعث ایجاد تلفات انسانی گردد لذا بایستی هر چه سریعتر ارقام امدادی را به آسیب دیدگان رساند تا از حرکت آنها به دیگر مناطق جلوگیری گردد. آنها برای حل مسئله خود از یک روش ابتکاری مبتنی بر تولید ستون استفاده نمودند. [Victoria, Afsfar and Prins, 2016]

فوتن و همکاران به بررسی مسئله ای پرداختند که در آن تیمهای امدادی می‌بایستی کالاهای امدادی را قبل از زمان مقرر به مجروحان می‌رسانند. در این مسئله زمان عبور از یالهای شبکه و زمان تحویل کالاها تصادفی بودند و تیمهای امدادی می‌بایستی به منظور بالا بردن احتمال تحویل کالا در زمان مقرر تلاش کرده و بیشترین کالای ممکن را تحویل می‌دادند. آنها یک روش ابتکاری در مقاله خود ارائه کردند که یک حد بالا برای احتمال تحویل با تاخیر کالاها را بر اساس یک مسیر مشخص تعیین می‌نمود [Fontem et al. 2016].

رویرا و همکاران به بررسی مسئله مسیریابی تک وسیله نقلیه تجمعی چند توره پرداختند. آنها شرایطی را در نظر گرفتند که در منطقه بحران زده تنها یک وسیله نقلیه وجود دارد، ولی امکان تشکیل چندین تور برای وسیله نقلیه در دست وجود دارد. هدف آنها کمینه سازی جمع زمان های بازدید از مناطق حادثه دیده بود. آنها برای این

در مدل مذکور وسائط نقلیه صرفا هلیکوپترها بوده و هدف آن کمینه کردن مجموع زمان های ماموریت این وسائط نقلیه جهت برآورده سازی نیازها و مصدومان است. همچنین این مدل سعی نموده است که علاوه بر زمان سفر، زمان مربوط به بارگیری را نیز لحاظ نماید [Ozdamar, 2007]. هانگ و همکاران در سال ۲۰۱۲ به بررسی مدل‌های مسیریابی و تخصیص منابع تأمین در کمک‌رسانی به افراد آسیب‌دیده در فجایع پرداخته‌اند. آنها سه عامل مهم در مسیریابی و تخصیص منابع در فجایع را، کارآمدی، سودمندی و بهره‌مندی یکسان معرفی کردند. به‌منظور بررسی این سه معیار، آنها مدل ریاضی یکسانی با تابع هدف متفاوت در نظر گرفتند. آنها کارآمدی را، حداقل سازی هزینه‌های مسیریابی و تأمین منابع، سودمندی را حداقل کردن زمان رسیدن کالای موردنیاز به افراد آسیب‌دیده و بهره‌مندی یکسان را حداقل کردن اختلاف تقاضای برآورده شده معرفی کردند. در ادامه این سه هدف روی مسائل یکسان پیاده‌سازی شده و خروجی هر معیار نمایش داده‌شد. [Jang, Lien and Tsai, 2009] هانگ و همکارانش [۳۴] در سال ۲۰۱۳ بر روی تشخیص مسیرها برای رساندن کالاها در شرایط بحران به نیازمندان تحقیق کرده‌اند. در مدل ارائه‌شده تعدادی وسیله نقلیه باید تمامی مناطق آسیب‌دیده در یک فاجعه را بازدید کنند و باید مسیر حرکت هر وسیله مشخص گردد. آنها از رویکرد تقریب پیوسته استفاده کردند و برای نشان دادن حساسیت زمان در فجایع، تابع هدف موردبررسی خود را حداقل کردن مجموع زمان‌های رسیدن کالا به نیازمندان معرفی کردند. نجفی و همکاران در سال ۲۰۱۳ یک مدل چند دوره‌ای، چند کالایی، چندحالتی و چندهدفه تصادفی به‌منظور برآورده سازی تقاضای کالاهای اساسی و حمل مجروحان ارائه داده‌اند. در این مقاله مسئله به این صورت تعریف شده بود که در ابتدا وسایل نقلیه مجروحان را به بیمارستان‌ها منتقل کرده و سپس کالاهای مدنظر را از انبارها و تأمین‌کنندگان به نقاط آسیب‌دیده منتقل می‌کردند. مجروحین حادثه زلزله بر اساس میزان وخامت حال آنها وزن دهی می‌شدند و در هنگام حمل مجروحان به دلیل محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه، مجروحان با ضریب اهمیت بیشتر در اولویت قرار داده می‌شدند. هر وسیله نقلیه هم می‌توانست مجروحان را منتقل کند و هم می‌توانست

مجموع مسافت پیموده شده توسط وسایل نقلیه و اولویت دومشان کاهش بیشینه زمان انتظار در هر گره است. در مقاله آنها امداد رسانی زمینی مدنظر قرار گرفته است و بنابراین محدودیت سوخت را در مدل خود در نظر نگرفته اند. همچنین آنها از رویکرد تور پوششی در مدل خود استفاده نکردند [Chou, Hsueh and Chen, 2008]

ولگموث^{۱۷} و همکاران در سال ۲۰۱۲ مدلی برای مسیریابی پویا در شرایط پیش از بحران معرفی کردند. در مدل آنها فرض شده است امکان دریافت و ارسال کالا برای تمامی نقاط امکان پذیر است. ولگموث و همکاران نشان دادند در چنین حالتی زمان بارگیری و تخلیه کالاها کاهش می یابد. همچنین به دلیل وجود شرایط بحران زمان سفر بین دونقطه را متغیر در نظر گرفته و دسترسی کامل به همه نقاط وجود ندارد (برخی مسیرها غیرقابل عبور فرض شده است). در این مدل حالت تک کالایی و وسیله نقلیه متعدد مدنظر است و کمینه کردن کل زمان سفر تمامی وسایل نقلیه می باشد [Mete and Zabinsky, 2007]. در هنگام بحران ممکن است در ابتدا اطلاعات دقیقی از برخی از مناطق حادثه دیده در دسترس نباشد و در طول زمان تعداد نقاط حادثه دیده افزایش یابد، با وجود اهمیت این موضوع، آنها نقاط حادثه دیده را در طول دوره برنامه ریزی از قبل مشخص شده فرض کردند. فروسی^{۱۸} و همکاران در سال ۲۰۱۳ مدلی به منظور مسیریابی پویای وسایل نقلیه وابسته به زمان با در نظر گرفتن تحویل کالاهای ضروری ارائه دادند. در مدل آنها از پنجره زمانی نرم برای تحویل کالا در مقاصد استفاده شده است. این مدل سعی نموده است که علاوه بر زمان سفر، زمان مربوط به بارگیری را نیز در نظر بگیرد. بیشینه کردن سطح رضایت مشتریان به عنوان هدف در نظر گرفته شده است [Ferrucci Bock and Gendreau, 2013]

۲-۳ تور پوششی در لجستیک امداد

استفاده از تور پوششی، رویکردی است که برخی محققین در زمینه امداد رسانی در زمان بحران بکار گرفته اند. در کنار مسیریابی به روش تور پوششی، مکان یابی مراکز امداد رسانی و توزیع کالاهای مورد نیاز انجام می شود. در برخی تحقیقات ایجاد این مراکز به صورت سرپایی مطرح است تا در کمترین

مسئله دو مدل ریاضی ارائه نمودند [Rivera, Afshar and Prins, 2016]

نجفی و همکاران در سال ۲۰۱۳ جهت افزایش اثر بخشی مدیریت بحران یک مدل لجستیک یکپارچه چند هدفه به منظور مکان یابی مراکز امداد در شرایط بحران ارائه دادند که هزینه های شبکه و زمان پاسخ را کمینه می کند. آنها در این تحقیق یک الگوریتم ژنتیک نیز برای حل مدل پیشنهادی خود ارائه کرده اند [Najafi et al. 2013]. در زمینه شناخت اقدامات مقتضی در مراحل مختلف حادثه تحقیقات زیادی انجام شده است، مراحلی که با عناوین پیش، حین و پس از حادثه یاد می شوند. کاونهی^{۱۹} و همکاران مدل های پیشنهادی برای عملیات پیش و پس از حادثه را مرور کرده اند [Caunhye, Nie and Pokharel, 2012] بالسیک و بیمن^{۱۱} مدلی از نوع حداکثر پوشش را ارائه داده اند که تعداد و مکان مراکز توزیع و مقدار اقلام ذخیره شده در هر مرکز توزیع را مشخص می کند. آنها مکان بلایا و مقدار تقاضا را به وسیله یک رویکرد سناریو-محور تحت شرایط عدم قطعیت در نظر گرفتند و فرض کردند که چندین سناریو به طور همزمان اتفاق نخواهد افتاد [Balcik and Bamon, 2008]. چانگ^{۲۰} و همکارانش جهت مساعدت آژانس های دولتی، دو مدل برنامه ریزی تصادفی جهت تعیین مراکز انبارهای منابع نجات و مقدار تجهیزات نجات مورد نیاز در آنها و توزیع تجهیزات نجات ارائه داده اند، بطوری که در مدل اول هدف کمینه کردن فاصله از تجهیزات نجات و در مدل دوم هدف کمینه کردن هزینه های استقرار و متوسط هزینه تجهیزات نجات است [Chang, Tseng and Chen, 2007].

۲-۲ مسیریابی پویای امدادی

در زمینه مسیریابی پویا در شرایط بحران تحقیقات انگشت شماری انجام شده است. چو^{۲۱} و همکارانشان در سال ۲۰۰۸ یک مدل مسیر یابی پویای وسیله نقلیه زمان-واقعی^{۱۴} وابسته به زمان^{۱۵} با پنجره های زمانی در شرایط بحران پیشنهاد دادند. آنها در این مدل با استفاده مفهوم نقاط بحرانی و افق زمانی غلتان^{۱۶} هر مسئله مسیریابی پویا را به یک مسئله مسیریابی ایستا تبدیل و حل می کنند. اولویت اول آنها کاهش

برسانند. [Afshar and Haghani, 2012] ابوناصر و همکاران در سال ۲۰۱۴ تحقیقاتی و ازدامار را ادامه دادند. در بحث مکان یابی تعیین تعداد مراکز امداد و توزیع بشر دوستانه، موقعیت آنها و وظیفه هر کدام از آنها مدنظر محققان بوده است و در مورد مسیریابی، وسایل نقلیه وظیفه انتقال کالا از مراکز توزیع کالا به نقاط تقاضا را برعهده دارد. سه هدف متضاد برای این مسئله در نظر گرفته شده است. هدف اول کمینه کردن کل زمان حمل و نقل کالاها و هدف دوم کمینه کردن تعداد مراکز مورد نیاز و هدف سوم حداقل کردن تقاضای برآورده نشده استعظیمی و همکاران در سال ۲۰۱۲ مدلی را برای مکان‌یابی نقاط امداد میانی و مسیریابی تجهیزات تأمین نقاط امدادی ارائه دادند. آن‌ها بیان کردند که در بسیاری از موارد تجهیزات امدادی نمی‌توانند از تمام نقاط بازدید کنند. به همین دلیل نقاط امدادی را در فاصله کمی از آن‌ها قرار داده تا افراد نیازمند خود به این مراکز مراجعه کرده و کالای موردنیاز خود را دریافت کنند. تمامی تقاضا باید برآورده شود و همه نقاط امدادی به‌گونه‌ای باید مکان‌یابی شوند که تمامی نقاط تقاضا در فاصله کمتر از حداکثر فاصله مجاز از یک مرکز امدادی قرار گیرند. در مدل ارائه‌شده تأمین کالای این مراکز از طریق یک دپو مرکزی و توسط وسایل حمل‌ونقل یکسان انجام می‌شود. هدف این مدل مسیریابی وسایل نقلیه به‌گونه‌ای است که کل مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه حداقل شود. پس‌از آن یک الگوریتم ابتکاری برای این مدل ارائه‌شده و زمان و کیفیت الگوریتم با جواب دقیق مدل مقایسه شده است. خلاصه تحقیقات انجام شده در جدول ۲ آورده شده است.

زمان ممکن احداث و راه‌اندازی آن صورت گیرد. یی و ازدامار^{۱۹} در سال ۲۰۰۷ به ارائه مدل مکان یابی و توزیع به منظور تخلیه مناطق آسیب دیده و ارائه کالاهای اساسی در شرایط بحران پرداخته‌اند. آنها بسته بندی مناسب کالاهای ضروری (دارو و غذا و آب آشامیدنی و غیره) به منظور سرعت و سهولت در توزیع را مد نظر قرار دادند و برای بسته های کالایی وزن های مشخص شده است در بین آنها بسته های دارویی از اهمیت بیشتری برخوردار است. در مدل ارائه‌شده برای مکان یابی مراکز امداد آنها را به صورت موقت و سرپایی در نظر گرفته شده و هزینه برپایی آن ناچیز فرض شده است. این مدل، رویکرد پوششی دارد و هدف آن کمینه کردن درصد تقاضای برآورده نشده است. به منظور بررسی مدل ارائه‌شده، محققان زلزله ای فرضی در شهر استانبول ترکیه را در نظر گرفتند و تعداد افراد آسیب دیده آن را تخمین زده و به ارائه جواب بهینه مدل برای این زلزله فرضی پرداخته‌اند [Yi and Ozdamar, 2007]. نولز^{۲۰} و همکاران در سال ۲۰۱۰ یک مدل دوهدفه برای رساندن دارو و غذا و تأمین پناهگاه به مناطق آسیب دیده ارائه کرده است. مدل ارائه‌شده بر اساس مسئله پوشش به تعیین نحوه توزیع کالا به مناطق آسیب دیده می‌پردازد. [Nolze et al. 2010] افشار و حقانی در سال ۲۰۱۲ در زمینه یکپارچگی زنجیره تأمین فاز پاسخ در امداد رسانی به همگام بحران های شدید تحقیق کرده‌اند. آنها برآورده سازی بیشترین تقاضا را مهمترین هدف در این زمینه معرفی کرده‌اند. در این تحقیق نیز احداث مراکز امداد رسانی موقت در نظر گرفته شده و وسایل نقلیه باید کالاهای مورد نیاز را از دپوهای مرکزی خارج از منطقه به نقاط آسیب دیده

جدول ۲. خلاصه تحقیقات در زمینه مسیریابی در شرایط بحران

محققین	سال	هزینه	تقاضای برآورده نشده	زمان آخرین رسیدن	کل زمان پاسخ	چند کالایی	چند دیویتی	تک دیویتی	بدون دیو	تقلیه ناممکن	داده‌های واقعی	زمان سفر پویا	تقاضای پویا	تور پوششی
نات و همکاران	۱۹۸۷		X				X			X				
ازدامار و همکاران	۲۰۰۴		X			X			X	X				
بارباروسوگولو و آدا	۲۰۰۴	X				X		X		X				
یی و ازدامار	۲۰۰۷		X			X	X			X			X	
چو و همکاران	۲۰۰۸	X					X	X		X	X	X		
چانگ و همکاران	۲۰۰۹		X		X		X			X				
نولز و همکاران	۲۰۱۰			X	X			X						X
هانگ و همکاران	۲۰۱۲	X			X		X							
ولگموث و همکاران	۲۰۱۲			X	X		X					X		
عظیمی و همکاران	۲۰۱۲			X	X	X		X		X				X
افشار و حقانی	۲۰۱۲		X				X			X				X
کاونهی و همکاران	۲۰۱۲													
نجفی و همکاران	۲۰۱۳	X				X	X							
فروسی و همکاران	۲۰۱۳	X					X				X			
ابوناصر و همکاران	۲۰۱۴		X		X		X							X
رویرا و همکاران	۲۰۱۶				X		X							
فوتمن و همکاران	۲۰۱۶				X		X							
ویکتوریا و همکاران	۲۰۱۶				X		X						X	

تخصیص و مسیریابی پویای وسایل نقلیه هوایی در شرایط بحران باهدف کمینه‌سازی زمان پاسخ به آخرین نقطه آسیب‌دیده که تاکنون موردتوجه محققین قرار نگرفته است، به‌عنوان محوریت این تحقیق انتخاب می‌شود.

۳. معرفی مسئله

در مدل پیشنهادی مکان‌یابی مراکز امداد موقت در مناطق آسیب‌دیده، تخصیص نقاط آسیب‌دیده به این مراکز و مسیریابی کالاهای امدادی به مراکز مذکور تحت شرایط پویا به‌گونه‌ای در نظر گرفته شده است که حداکثر زمان رسیدن به مراکز امداد کمینه گردد. برآورده ساختن نیاز نواحی آسیب‌دیده به دو شکل

با بررسی تحقیقات گذشته و با توجه به شرایط حاکم به مناطق آسیب‌دیده همچون نیاز ضروری به کالاهای امدادی و اهمیت زمان خدمت‌رسانی، وجود پس‌لرزه‌ها، برآوردهای دقیق از میزان خسارت‌ها و مناطق حادثه‌دیده امری دشوار و در برخی موارد غیرممکن است. بنابراین پویا در نظر گرفتن مناطق آسیب‌دیده و میزان تقاضای کالاهای اساسی هر منطقه فرضی معقول و منطقی به نظر می‌رسد. همچنین از آنجایی که کاهش زمان پاسخ اهمیت ویژه‌ای در امداد رسانی در شرایط بحران دارد، رویکرد تور پوششی در امر امداد رسانی مورد استفاده قرار گرفته است. به همین منظور با بررسی تحقیقات صورت گرفته در این زمینه، استفاده از رویکرد تور پوششی به‌منظور مکان‌یابی،

مکان یابی مراکز امداد موقت و مسیریابی پویای وسایل نقلیه امداد هوایی ...

K : مجموعه وسایل نقلیه امدادی (بالگردها)

U : مجموعه دوره های به روز رسانی

N_p : مجموعه نقاط سوختگیری

N_u : مجموعه نقاط بازدید نشده در ابتدای دوره به روز

رسانی u

N_{up} : مجموعه نقاط بازدید نشده و نقاط سوختگیری در

ابتدای دوره به روز رسانی u

۳-۳ پارامترها:

F_{ij} : فاصله زمانی دو گره i و j

d_i : تقاضای گره i ام

Q_k : ظرفیت وسیله نقلیه k ام

f_{max} : حداکثر زمانی که بالگرد پس از هر بار سوختگیری می

تواند پرواز کند.

Pf_{C_k} : مدت زمانی که وسیله k ام با سوخت باقیمانده در گره

بحرانی C می تواند پرواز کند.

a_{ij} : پارامتر باینری که برابر ۱ خواهد بود اگر فاصله گره i ام

و گره j ام کمتر از حداکثر شعاع پوشش باشد.

C_k : نقطه بحرانی وسیله k در ابتدای دوره به روز رسانی

(نقاط بحرانی نقاطی هستند که در ابتدای دوره به روز

رسانی وسیله در آن نقطه قرار دارد و یا وسیله در راه

رسیدن به آنهاست)

RT_{C_k} : زمان رسیدن وسیله k به گره بحرانی C مربوطه در

ابتدای دوره به روز رسانی u

M : عددی بسیار بزرگ

۳-۴ متغیرهای تصمیم:

X_{ijk} : برابر یک است اگر مسیر بین دو گره i و j توسط

وسیله k ام طی شود.

CD_i : تقاضای تجمیع شده در گره i

DD_{ij} : برابر ۱ است اگر برآورده سازی تقاضای گره i به گره

بازدید شده j واگذار شود در غیر این صورت برابر صفر

خواهد بود

ملاقات مستقیم و یا به صورت تحت پوشش قرار گرفتن امکان پذیر است. به عبارتی تقاضای نقاط می تواند در همان مکانی که واقع شده اند تحویل داده شود و یا به مکان دیگری که در فاصله ای معقول نسبت به آن مکان قرار گرفته است برده شود تا افراد با پیمودن یک مسیر کوتاه، کالای امدادی را دریافت کنند. این مراکز وظیفه تأمین کالای امدادی مورد نیاز نقاط بازدید نشده را بر عهده خواهند داشت. از طرفی در هنگام بحران به دلیل شرایط ویژه همچون تقاضای نامشخص، دسترسی نداشتن به اطلاعات دقیق آسیب دیدگان، وجود پس لرزه ها، خراب شدن شبکه راه ها و غیره اطلاعات پویا هستند این نوع از اطلاعات در حین برنامه ریزی تغییر می کنند. از سوی دیگر اهمیت عامل زمان و خراب شدن شبکه راه ها سبب می گردد که استفاده از وسایل حمل و نقل هوایی نظیر بالگرد جهت ارسال کالاهای امدادی از اهمیت زیادی برخوردار گردد.

۳-۱ فرضیات

فرضیات مدل ارائه شده به شرح زیر است:

- تابع هدف مدل ارائه شده کمینه کردن حداکثر زمان رسیدن کالا به مراکز امدادی است.
- اطلاعات مربوط به مناطق آسیب دیده پویا هستند در طول اجرای عملیات امداد رسانی تکمیل می گردد.
- وسایل نقلیه بالگرد هستند و امکان سوختگیری آنها از طریق نقاط سوختگیری در حین عملیات وجود دارد.
- امکان بازگشت وسایل به دپو در افق برنامه ریزی وجود دارد.
- مدل تک کالایی است. در واقع امکان یکپارچه سازی کالاهای وجود دارد.
- هر مرکز امداد تنها از ۱ وسیله نقلیه کالا دریافت می کند.
- مناطق آسیب دیده کالای مورد نیاز خود را تنها از یک مرکز امداد دریافت می کنند.
- تمامی نقاط آسیب دیده باید بازدید و امداد رسانی می شوند.

۳-۲ مجموعه ها:

N : مجموعه کل نقاط $N = \{1, 2, 3, \dots, n, n+1\}$ ، گره ۱

دپو و نقطه $n+1$ نقطه مجازی است.

برابر صفر خواهد بود.

$$DD_{ii} = y_i \quad \forall i \in N_u \quad (12)$$

$$DD_{ij} \leq a_{ij} \quad \forall i, j \quad (13)$$

$$\sum_{i \in N_u} d_i \cdot DD_{ij} = CD_j \quad j \in N_u \cup C_k \quad (14)$$

$$\sum_{i \in N_{up} \cup C_k} \sum_{j \in N_{up} \cup (n+1)} CD_i \cdot X_{ijk} \leq Q_k \quad \forall k \quad (15)$$

$$f_{jk} = \sum_{i \in N_{up} \cup C_k} (f_{ik} - F_{ij}) x_{ijk} \quad \forall i, j \in N_u, \forall k \quad (16)$$

$$f_{jk} = f_{max} \quad j \in N_p, \forall k \quad (17)$$

$$f_{C_k k} = Pf_{C_k} \quad \forall k \quad (18)$$

$$t_{(n+1)k} \leq z_1 \quad \forall j, k \quad (19)$$

$$t_k + F_{ij} \leq t_{jk} + M(1 - X_{ijk}) \quad \forall i \in N_{up} \cup C_k, j \in N_{up} \cup (n+1), k \quad (20)$$

$$t_{C_k k} = RT_{C_k} \quad (21)$$

$$x_{ijk}, DD_{ij}, y_i \in \{0, 1\} \quad (22)$$

$$CD_i, t_{jk}, f_{c(jk)}, z_1 > 0$$

y_i : برابر ۱ خواهد بود اگر گره i توسط یکی از وسایل نقلیه بازدید شود (گره i عبوری باشد) و در غیر این صورت f_{jk} : مدت زمانی که وسیله k ام با سوخت باقیمانده در گره j می تواند پرواز کند.

t_{ik} : زمان رسیدن وسیله k ام به گره i ام
 Z_1 : بیشینه زمان رسیدن وسایل به آخرین گره بازدید شده توسط آنها

۵-۳ مدل ریاضی

$$\text{Min } z = z_1 \quad (1)$$

subject to:

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in N_{up} \cup C_k} x_{ijk} = y_j \quad \forall j \in N_{up} \quad (2)$$

$$y_{C_k} = 1 \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N_{up} \cup (n+1)} x_{C_k jk} = 1 \quad \forall k \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N_{up} \cup C_k} x_{i(n+1)k} = 1 \quad \forall k \quad (5)$$

$$\sum_{j \in N} x_{(n+1)jk} = 0 \quad \forall k \quad (6)$$

$$\sum_{i \in N_{up} \cup C_k} x_{ihk} - \sum_{j \in N_{up} \cup (n+1)} x_{hjk} = 0 \quad \forall k, h \in N_{up} \quad (7)$$

$$\sum_{j \in N_u \cup C_k} a_{ij} \cdot DD_{ij} = 1 \quad \forall i \in N_u \quad (8)$$

$$\sum_{j \in N_u \cup C_k} DD_{ij} = 1 \quad \forall i \in N_u \quad (9)$$

$$\sum_{i \in N_u} DD_{ij} \leq M \cdot y_j \quad j \in N_u \cup C_k \quad (10)$$

$$\sum_{i \in N_p} \sum_{j \in N} DD_{ij} = 0 \quad (11)$$

متغیری نامنفی است. ابتدا متغیر پیوسته C تعریف می شود و جایگزین $X.Z$ در مدل می شود. همچنین محدودیت‌های زیر به مدل اضافه می شود.

$$C \leq M.x \quad (23)$$

$$C \leq z \quad (24)$$

$$C \geq z - M(1-x) \quad (25)$$

هنگامی که $x = 1$ باشد محدودیت (23) آزاد می گردد و دو محدودیت (24) و (25) ایجاب می کند که $C = z$ باشد. اگر $x = 0$ با توجه به محدودیت (23) مقدار C برابر صفر خواهد شد. هر دو محدودیت غیر خطی مدل ارائه شده با روش فوق تبدیل به محدودیت خطی می شود.

۳-۸ به روز رسانی مدل:

به منظور حل مدل افق برنامه ریزی $[0, T]$ را به U بازه زمانی به صورت $\{[0, t], [t, t+1], [t+1, t+2], \dots, [t=1-U, T]\}$ تقسیم می شوند که زمان های $t, t+1, \dots, t+1, t-U+1, T$ زمان های به روز رسانی مدل می باشند. در زمان $t=0$ مدل با اطلاعات اولیه حل می شود و مسیر بهینه وسایل مشخص می شود. اطلاعات تمام نقاط تقاضاهای پویایی که در طول هر بازه زمانی می رسد جمع آوری شده و در پایان همان بازه با به روز رسانی مدل در مسیر جدید برنامه ریزی وسایل جا داده می شوند. به عبارت دیگر در هر بازه زمانی یک مسئله مسیریابی ایستا حل می شود.

فرض کنید در بازه اول اطلاعات یک یا چند گره آسیب دیده جدید می رسد و باید با رویکردی مناسب در مسیر برنامه ریزی شده وسایل جای داده شوند. به این منظور در زمان t با توجه به اطلاعات نقاط جدید، مکان فعلی وسایل، نقاط بازدید شده توسط آنها و با استفاده از رویکرد نقاط بحرانی، مجموعه های N_{up} ، N_{ii} ، C_k و f_{C_k} به روز رسانی می گردد. در رویکرد نقاط بحرانی گره هایی که وسایل نقلیه در آنها قرار گرفته اند یا در راه رسیدن به آنها هستند، به عنوان نقاط بحرانی در نظر گرفته می شوند. به عبارت دیگر اگر وسیله ای در زمان t در راه گرهی باشد، فرض می شود وسیله در این گره قرار دارد [Huey-Kuo et al. 2013]. ظرفیت وسایل نیز با

معادله (۱) تابع هدف مدل است که کمینه نمودن زمان رسیدن به آخرین نقطه امدادی در آن مد نظر است. محدودیت (۲) و (۳) بیان می کنند که وسایل نقلیه تنها از نقاطی که مراکز امدادی موقت در آنها تاسیس شده اند عبور می کنند. محدودیت (۴) بیان می کند که تمامی وسایل نقلیه بایستی از نقاط بحرانی (نقاط شروع حرکت وسایل در هر بازه) خارج شوند. محدودیت های (۵) و (۶) بیان می کند که تمامی وسایل نقلیه بایستی به گره مجازی $(n+1)$ وارد شوند و هیچ وسیله ای بایستی از این گره خارج گردد. در مورد گره مجازی در زیر بخش ۳-۶ توضیحاتی ارائه شده است. محدودیت (۷) بیان می کند که اگر وسیله نقلیه ای به یک گره وارد شود، بایستی از آن خارج گردد. محدودیت (۸) و (۹) بیان می کنند که هر گره دارای تقاضا باید به یک مرکز امداد موقت در فاصله پوشش آن تخصیص یابد. محدودیت (۱۰) بیان می کند که تنها نقاط دارای تقاضا بایستی به یک عبوری تخصیص یابد. محدودیت های (۱۱) تا (۱۳) تضمین می کند که مراکز امداد موقت در نقاط نامناسب تاسیس نمی گردد. محدودیت های (۱۴) و (۱۵) مربوط به ظرفیت وسایل نقلیه هستند. محدودیت های (۱۶) و (۱۹) و (۱۸) مربوط به محدودیت سوخت گیری وسایل نقلیه هستند. محدودیت (۲۰) زمان رسیدن به مراکز امداد موقت را مشخص می نماید. محدودیت (۲۱) زمان رسیدن به گره بحرانی در ابتدای هر بازه را نشان می دهد. رابطه (۲۲) نیز نوع متغیرهای تصمیم را مشخص می کند.

۳-۶ گره مجازی

به منظور مدل سازی مسئله مطرح شده به طور ابتکاری از یک گره مجازی $(n+1)$ که فاصله آن با بقیه نقاط صفر است استفاده شده است. تمام وسایل نقلیه پس از عبور از نقاط تعیین شده به مبدأ بر نمی گردند بلکه به این گره مجازی می روند. با استفاده از این گره مجازی امکان محاسبه زمان رسیدن به آخرین گره عبوری میسر می گردد.

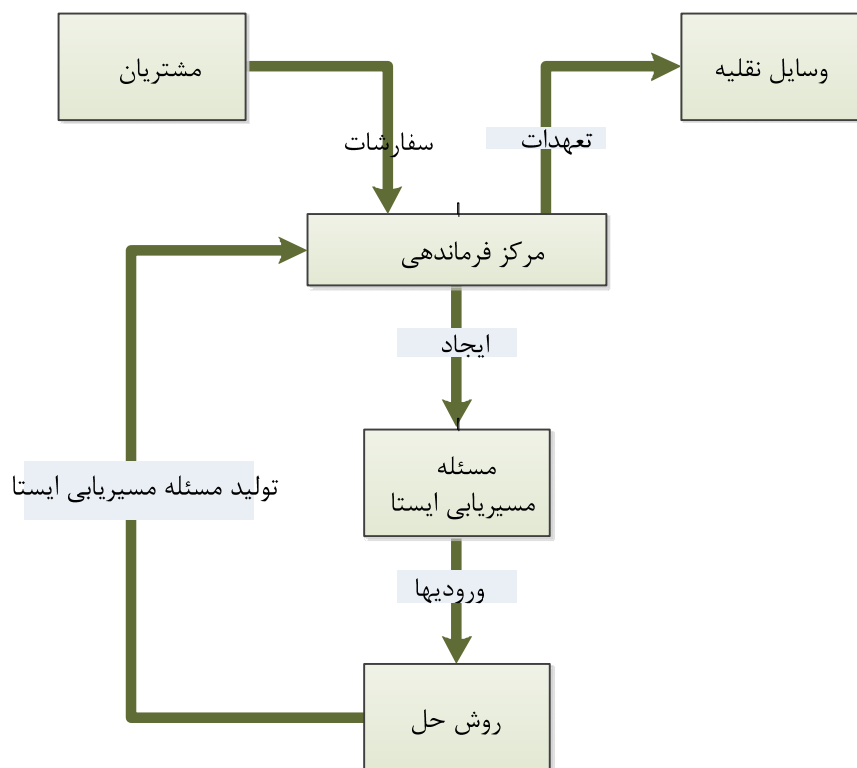
۳-۷ خطی سازی مدل:

محدودیت های (۱۵) و (۱۶) غیر خطی هستند. در این محدودیت ها یک متغیر باینری در یک متغیر پیوسته ضرب شده است. فرض کنید $X.Z$ که X متغیری صفر و یک و Z

۴. روش حل

در این بخش روشهای حل برای مسئله مطرح ارائه می گردد. با توجه به NP_Hard بودن مسئله مطرح شده و برای حل مسئله الگوریتم های جست و جوی پراکنده و ژنتیک ارائه شده است. به منظور بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی نتایج حاصل از آن با نتایج حاصل از حل دقیق توسط نرم افزار GAMS مقایسه شده است. در ادامه ابتدا نحوه نمایش جواب و تولید جواب اولیه توضیح داده می شود و سپس به معرفی الگوریتم های ذکر شده پرداخته می شود.

توجه به نقاط بازدید شده و نقاط تحت پوشش آنها به روز رسانی می شود. در نهایت مدل با اطلاعات به روز شده حل می شود و مسیر بهینه وسایل مشخص شده و توسط مرکز فرماندهی که با وسایل ارتباط بلادرنگ دارد به خلبانان اطلاع داده می شود. این رویکرد در پایان هر بازه زمانی تکرار می شود و تمامی نقاط سرویس داده می شوند. در شکل ۲ نحوه به روز رسانی مدل در هر بازه زمانی نشان داده شده است. لازم به ذکر است که در صورتی که وسیله نقلیه به گره مجازی وارد شود به این معنی است که به دپو بازگشته است. همچنین در صورتی که وسیله نقلیه در یک بازه نتواند به مشتریان جدید پاسخ دهد به دپو باز می گردد و به وسیله وسائط نقلیه موجود در دپو پاسخگویی به تقاضاهای جدید برنامه ریزی می شود.



شکل ۲. نحوه به روز رسانی مدل

مکان یابی مراکز امداد موقت و مسیریابی پویای وسایل نقلیه امداد هوایی ...

۴-۱ نحوه نمایش جواب

نحوه نمایش جواب تاثیر زیادی بر کیفیت الگوریتم فرا ابتکاری دارد. نمایش جواب در این مسأله، شامل یک رشته دو بخشی است که طول هر بخش از این رشته برابر با تعداد کل نقاط آسیب دیده است. در بخش اول اعداد ۰ یا ۱ قرار می‌گیرد. عدد ۱ به معنی استقرار مرکز امداد موقت و عبور یک وسیله نقلیه از آن نقطه و ۰ به منزله عدم عبور از آن نقطه است. اگر این نقطه دارای تقاضا باشد عبور نکردن از آن به منزله پوشش گرفتن از یک نقطه عبوری است (این نقطه پوششی است). در بخش دوم اعدادی بین ۱ تا k قرار می‌گیرد که نشان دهنده تخصیص نقاط به وسائط نقلیه است. نمونه‌ای از یک جواب برای مسئله‌ای با ۷ مکان کاندید برای تأسیس مرکز امداد موقت و ۲ وسیله نقلیه در شکل ۳ نمایش داده می‌شود. در بخش اول از این رشته، عدد صفر بیانگر پوششی بودن و عدد یک بیانگر عبوری بودن نقطه متناظر است. به عبارت دیگر نقاط ۳ و ۴ و ۵ و ۷ عبوری هستند و بقیه نقاط تحت پوشش این نقاط قرار دارند و توسط این نقاط سرویس داده می‌شوند. به منظور اصلاح رشته تولید شده دو موضوع مورد بررسی قرار می‌گیرد. در صورتی که رشته به صورتی باشد که دو گره‌ای که در شعاع همسایگی هم قرار دارند هر دو عبوری باشند، گره‌ای که در مسیر قرار گرفتن آن هزینه کمتری ایجاد می‌کند عبوری شده و گره دیگر پوششی می‌شود. همچنین در صورتی که در نمایش جواب گره‌هایی پوششی وجود داشته باشد که توسط هیچ یک از گره‌های عبوری پوشش داده نمی‌شوند، از بین آنها که کمترین هزینه قرار گرفتن در مسیر را دارد عبوری می‌شود.

۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۲	۲	۱	۱	۲	۱
بخش اول							بخش دوم						

شکل ۳. نمونه‌ای از رشته نمایش دهنده جواب مسئله

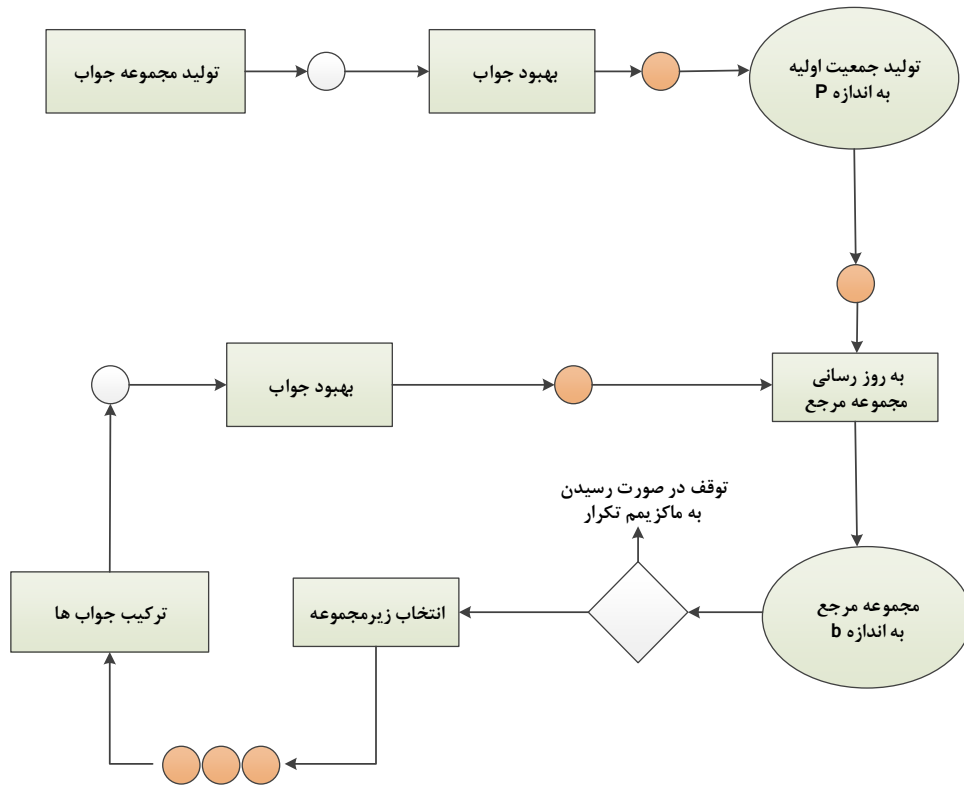
از آنجایی که در این تحقیق از وسایل نقلیه هوایی برای امداد رسانی استفاده می‌شود، باید محدودیت سوخت نیز در جواب‌های تولید شده مدنظر قرارگیرد. از این رو در مسیر طی شده توسط وسایل هرجا کمبود سوخت رخ دهد، باید وسیله به نزدیک‌ترین نقطه سوخت‌گیری برود. تعیین زمان رفتن به نقاط سوخت‌گیری توسط هر یک از بالگرد ها اهمیت ویژه‌ای در کاهش زمان امداد رسانی دارد. برای مشخص کردن توالی بازدید از نقاط سوخت‌گیری، ابتدا بدون توجه به محدودیت سوخت‌گیری مسیر بالگرد مشخص می‌شوند. سپس میزان کاهش سوخت در این مسیر مشخص می‌شود. بعد از آن آخرین نقطه‌ای از مسیر که میزان سوخت باقیمانده اجازه رسیدن به آن را می‌دهد را مشخص کرده و نام آن را LP می‌گذاریم. در مسیر بالگرد از ابتدا تا نقطه LP تمامی نقاط سوخت‌گیری مورد توجه قرار گرفته و نقطه سوخت‌گیری با کمترین هزینه اضافه شدن به مسیر انتخاب و به مسیر اضافه می‌شود. نحوه تخصیص نقاط پوششی به نقاط عبوری برحسب کمترین فاصله است. به این صورت که اگر یک نقطه پوششی بتواند از چند نقطه عبوری تقاضای خود را تأمین کند، نقطه‌ای را انتخاب می‌کند که کمترین فاصله را با آن داشته باشد. در هر جواب، تعیین مسیریابی وسایل نقلیه در بین نقاط عبوری از طریق الگوریتم ابتکاری مبتنی بر GENI انجام می‌شود.

۲-۴ الگوریتم جستجوی پراکنده

الگوریتم جستجوی پراکنده (SS) ^{۲۱} اولین بار توسط گلاور معرفی شد. این الگوریتم نیز همانند اکثر الگوریتم های فراابتکاری به جای کار با یک جواب، با جمعیتی از جواب ها کار می کند که به آن مجموعه مرجع می گویند. در تولید جوابهای اولیه از رویکردی استفاده می شود که باعث ایجاد جواب های با فاصله نسبت به هم گردد. سپس با استفاده از جوابهای اولیه مجموعه مرجع تشکیل می گردد. مجموعه مرجع شامل دو زیر مجموعه است. زیر مجموعه اول (b_1) جواب های با کیفیت بالا قرار دارند و در زیر مجموعه دوم (b_2) جواب های با بیشترین فاصله نسبت به جوابهای مجموعه اول قرار دارند در هر تکرار از این الگوریتم زیر مجموعه ای از جوابها انتخاب و با استفاده از روشهای ابتکاری با یکدیگر ترکیب می شوند و جواب های جدید ساخته می

شوند و با یکی از روشهای جست و جوی محلی بهبود داده می شوند (در این مقاله از الگوریتم 2opt بهره برده شد). در هر تکرار مجموعه مرجع با جواب های با کیفیت بالا و جواب های با فاصله نسبت به جوابهای با کیفیت بالا به روز رسانی می گردد. گامهای الگوریتم تا رسیدن به شرط توقف ادامه می-یابد. اندازه b_1 و b_2 با توجه به نوع مسئله می تواند متفاوت باشد. [Jose et al. 2007]

ساختار کلی الگوریتم جست و جوی پراکنده در شکل ۴ نشان داده شده است. در ادامه این بخش گامهای الگوریتم توضیح داده می شود.



شکل ۴. ساختار کلی الگوریتم جست و جوی پراکنده ترکیبی

مکان یابی مراکز امداد موقت و مسیریابی پویای وسایل نقلیه امداد هوایی ...

۴-۲-۱ تولید جواب اولیه :

تولید جوابهای اولیه برای الگوریتم به صورت تصادفی انجام می‌شود.

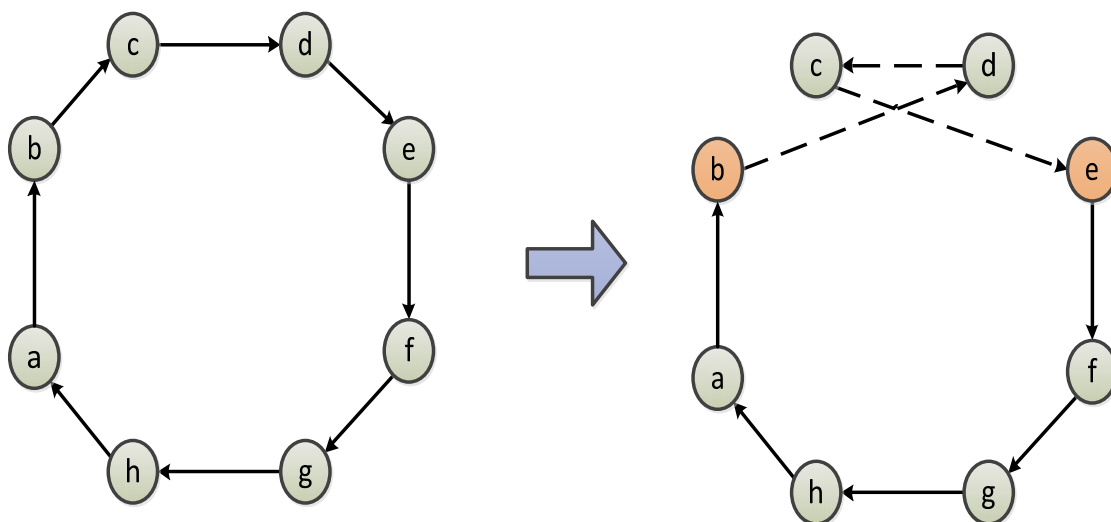
این روش به دو صورت بهینه و تصادفی پیاده‌سازی می‌شود. فرض کنید کنید توری به صورت $j \in \{1, \dots, i, i+1, \dots, j, j+1, \dots, n\}$ تعریف شده باشد در این الگوریتم با حذف دو یال $(i, i+1)$ و $(j, j+1)$ اضافه شدن دو یال (i, j) و $(i+1, j+1)$ یک همسایگی برای تور فعلی ایجاد می‌شود. در الگوریتم بهینه تمام مقادیر ممکن i و j ($i \in \{1, 2, \dots, n-2\}$) مورد بررسی قرار می‌گیرد و بهترین تغییر از نظر تابع هدف انتخاب می‌شود؛ اما در $2-opt$ تصادفی، i و j به صورت تصادفی انتخاب می‌شود و تغییر در مسیر حرکت اعمال می‌شود. در الگوریتم پیشنهادی از حالت بهینه الگوریتم بهره برده شده است. نمونه ای از $2-opt$ در شکل ۵ نشان داده شده است.

۴-۲-۲ بهبود جوابها

در گام های دوم و پنجم از الگوریتم ترکیبی به ترتیب جوابهای اولیه تولید شده و جوابهای ایجاد شده حاصل از ترکیب جوابها بهبود می‌یابند. برای این منظور در الگوریتم پیشنهادی از روش جست و جوی محلی $2-Opt$ استفاده شده است. این روش در بخش بعدی معرفی شده است.

۴-۲-۳ روش جستجوی محلی $2-Opt$

در این بخش به منظور بهبود جواب حاصل از گامهای دوم و پنجم الگوریتم از روش جستجو محلی $2-opt$ کامل استفاده می‌شود.



شکل ۵. نمونه ای از $2opt$

۴-۲-۴ نحوه تشکیل مجموعه مرجع

در گام سوم به منظور تشکیل مجموعه مرجع از بین جوابهای بهبود یافته b_1 جواب بر اساس معیار مقدار تابع هدف و b_2 جواب بر اساس میزان فاصله تا سایر جوابها انتخاب می گردد. معیار فاصله برای هر جواب به صورت رابطه شماره (26) محاسبه می شود.

$$d_{(i,j)} = \frac{2e_c}{e_i + e_j} \quad (26)$$

در فرمول بالا $d_{(i,j)}$ میزان فاصله بین دو جواب، e_j و e_i تعداد یالهای مسیر طی شده توسط تمامی وسایل در جواب i و j و e_c تعداد یال های مشترک در مسیر طی شده توسط وسایل در دو جواب i و j است. برای هر جواب فاصله تا سایر جوابها محاسبه می شود و به تعداد b_2 جواب از جوابهایی که مجموع فاصله آن تا سایر جوابها بیشتر از بقیه است جهت تشکیل مجموعه مرجع انتخاب می گردد.

۴-۲-۵ روش انتخاب زیر مجموعه ها و نحوه انجام ترکیبات

در گام چهارم از الگوریتم جست و جوی پراکنده ترکیبی پیشنهادی، به منظور تولید جواب های جدید زیر مجموعه هایی از مجموعه مرجع انتخاب شده و ترکیبات مورد نظر روی آنها اعمال می شود. در این تحقیق از زیر مجموعه

های دوتایی، سه تایی و چهارتایی استفاده می شود. با بررسی اولیه ترکیب مناسب از تعداد $b/2$ زیر مجموعه دو تایی، $b/3$ مجموعه سه تایی و $b/4$ زیر مجموعه چهارتایی که به طور تصادفی انتخاب می شوند تشکیل یافته است. در مواردی که تعداد زیر مجموعه ها عدد صحیح نباشد، تعداد زیر مجموعه ها برابر با بزرگترین عدد صحیح کوچکتر از آن در نظر گرفته می شود.

مکانیزم ترکیبات دوتایی، سه تایی و چهارتایی استفاده شده تقریباً شبیه به یکدیگر است. در ترکیب دو تایی، دو جواب از مجموعه مرجع به تصادف انتخاب می شود و از ترکیب آنها دو جواب جدید تولید می گردد. به این منظور به ازای هر یک از جوابها یک عدد صحیح تصادفی بین یک و N (طول بخش اول از رشته جواب) و یک عدد صحیح تصادفی دیگر بین $N+1$ و $2N$ انتخاب می گردد. حال برای تولید یک جواب جدید به تصادف هر یک از بخشها از یک از دو جواب فعلی انتخاب می شود تا جواب جدید کامل شود. ترکیب دوتایی در شکل ۶ نمایش داده شده است.

	نقطه تصادفی				نقطه تقاطع		نقطه تصادفی			
	قسمت ۱		قسمت ۲		قسمت ۳		قسمت ۴			
جواب اول انتخابی	۰	۱	۱	۱	۰	۲	۱	۱	۱	۲
جواب دوم انتخابی	۱	۰	۰	۱	۱	۲	۲	۱	۲	۱
جواب جدید	۰	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۲	۱

شکل ۶. مثالی از نحوه انجام ترکیبات دوتایی

مکان یابی مراکز امداد موقت و مسیریابی پویای وسایل نقلیه امداد هوایی

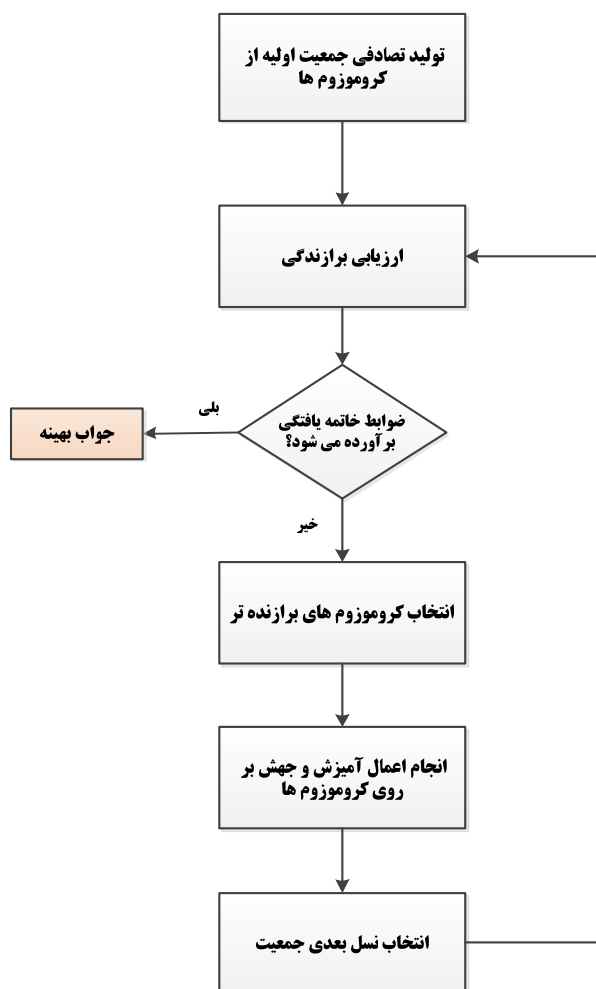
در گام ششم هر تکرار از الگوریتم ترکیبی به منظور به روز رسانی مجموعه مرجع از بین جواب های جدید حاصل از ترکیبات انجام شده و جوابهای مجموعه مرجع کنونی، b_1 جواب بر اساس کیفیت (مقدار تابع هدف) و b_2 جواب بر اساس معیار فاصله (رابطه شماره 26) به عنوان مجموعه مرجع جدید انتخاب می شوند.

۴-۳ الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک، الهامی از نظریه تکامل داروین است و بر اساس بقای برترین ها یا انتخاب طبیعی استوار است.

نحوه انجام ترکیبات سه تایی و چهارتایی نیز شبیه ترکیبات دوتایی است. به این صورت که در ترکیبات سه تایی، هر بخش از رشته جواب به سه قسمت تقسیم می شود. در این حالت امکان تولید شش جواب جدید با مکانیزم گفته شده وجود دارد که سه جواب به طور تصادفی انتخاب می گردد. در ترکیبات چهارتایی نیز هر بخش از جواب به چهار قسمت تقسیم می شود و امکان تولید ۲۴ جواب جدید وجود دارد که چهار جواب به صورت تصادفی انتخاب می گردد.

۴-۲-۶ به روز رسانی مجموعه مرجع



شکل ۷. مکانیزم کلی الگوریتم ژنتیک

۴-۳-۲ نقاط

جهت انتخاب والدین، از روش چرخ رولت^{۲۰} استفاده می شود. انتخاب والد یکی از مهم ترین بخش های الگوریتم های برپایه جمعیت است و کارایی آن تأثیر بسزایی در جستجو کیفیت جواب مسئله خواهد داشت. روش های انتخاب مختلفی تاکنون با توجه به کاربردهای متنوع ارائه شده و معروف ترین آن ها چرخ رولت است در این مکانیزم هر یک از کروموزوم ها بسته به میزان مناسب بودنش (بر اساس تابع برازش) احتمال انتخاب شدن دارند. به عبارت دیگر هر چه یک کروموزوم بهتر باشد احتمال انتخاب شدنش برای تولید نسل بعدی بیشتر و برعکس هر چه کروموزوم بدتر باشد، احتمال انتخاب شدن آن برای تولید نسل بعدی کمتر است. در واقع در این روش جوابهایی که تابع هدف بهتری داشته باشند شانس بیشتری جهت انتخاب دارند. ابتدا دو جواب بر اساس روش چرخ رولت انتخاب و سپس عملیات تقاطع به روی آن انجام می شود. در این عملیات از هر بخش از هر رشته جواب دو نقطه به صورت تصادفی انتخاب می شود و تقاطع دو نقطه ای روی هر دو بخش از هر جواب صورت می گیرد. به این صورت که تمامی ژن های بین این دو نقطه در رشته های والد با هم جابجا می شوند. در شکل ۸ نمونه ای از تقاطع دونقطه ای بر روی مثالی با پنج نقطه آسیب دیده نشان داده شده است.

این الگوریتم که ایده استفاده از آن نخستین بار توسط آقای هلند^{۲۲} در دهه ۱۹۷۰ میلادی در دانشگاه میشیگان مطرح شد با مجموعه ای از کروموزوم ها که هر کدام نشان دهنده یک جواب برای مسئله مفروض می باشند، تحت عنوان جمعیت اولیه شروع به کار می کند و سپس با یک مکانیزم انتخاب خاصی که برای انتخاب والدین در نظر گرفته می شود، آنها را تحت اپراتورهای تقاطع^{۲۳} و جهش^{۲۴} قرار داده و از آنها فرزندان جدیدی تولید می کند [Goldberg and Holland, 1998]. تشکیل جمعیت اولیه می تواند به صورت رندوم یا با استفاده از روشهای ابتکاری صورت گیرد که در این صورت زمان همگرا شدن جمعیت اولیه کمتر است. این الگوریتم آنقدر تکرار می شود تا تعداد تولید نسلهای (تکرارها) به میزان تعریف شده رسیده باشد و یا دیگر بهبودی در جواب حاصل نگردد. مکانیزم کلی این الگوریتم در شکل ۷ نشان داده شده است.

۴-۳-۱ نحوه نمایش جواب (کروموزوم ها) و تولید

جمعیت اولیه :

نحوه نمایش جواب مشابه نمایش جواب در الگوریتم جست و جوی پراکندگی ترکیبی که در بخشهای قبلی توضیح داده شد، است. به منظور تولید جمعیت اولیه نیز به تعداد **G** جواب اولیه به صورت تصادفی تولید می - شود. در این پژوهش مقدار **G** به صورت تجربی برابر 100 تنظیم گردیده است.

	بخش اول					بخش دوم				
۱ parent	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۲	۲	۱	۱
۲ parent	۰	۱	۰	۰	۱	۲	۱	۱	۲	۲
۱ offspring	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۲	۱	۲	۱
۲ offspring	۰	۱	۱	۰	۱	۲	۱	۲	۲	۲

شکل ۸. نمونه ای از عملگر تقاطع

۴-۳-۳ جهش

که در آن N تعداد تکرار آزمایش و y_i پاسخ مسئله است [Taguchi et al. 2005]. در این آزمایش هدف یافتن مقدار پارامترهای الگوریتم ژنتیک به عنوان ورودی برای به دست آوردن پاسخ بهینه (Y) است.

در الگوریتم جست و جوی پراکنده ترکیبی تعداد تکرار الگوریتم (NI)، اندازه مجموعه مرجع (b) و تعداد جواب‌هایی از مجموعه مرجع که در هر بروز رسانی بر اساس معیار فاصله انتخاب می‌شود (b_2) پارامترهایی هستند که این آزمایش برای تنظیم آن‌ها استفاده شده است. (بدیهی است مقدار b_1 برابر $b - b_2$ است). برای هر یک از پارامترهای عنوان شده ۳ مقدار در نظر گرفته شده است. در جدول ۲ مقادیر در نظر گرفته شده برای هر یک از پارامترهای مورد بررسی نشان داده شده است. لازم به ذکر است این مقادیر برای الگوریتم جست و جوی پراکنده پایه نیز در نظر گرفته می‌شود. اندازه مجموعه مرجع (b) در الگوریتم جست و جوی پراکنده همان‌طور که در معرفی این الگوریتم نیز ذکر شد معمولاً ۲۰ عضو یا کمتر در نظر گرفته می‌شود. برای هر یک از آن‌ها ۳ مقدار در نظر گرفته شده است. در واقع آزمایش به کاررفته دارای ۳ فاکتور و ۳ سطح است. در جدول ۳ مقادیر در نظر گرفته شده برای هر یک از پارامترهای مورد بررسی نشان داده شده است.

جدول ۳. مقادیر در نظر گرفته شده برای پارامترهای الگوریتم

جست و جوی پراکنده			پارامتر
سطح			
۱	۲	۳	تر
۲۰	۱۶	۱۲	b
۴	۸	۱۰	b_2
۲۰	۳۰	۳۵	NI

بر اساس تعداد فاکتورها و سطوح هر فاکتور از طرح $L9(3^3)$ تاگوچی استفاده شده در این طرح تعداد ۹ آزمایش در نظر گرفته می‌شود. با پیاده‌سازی این طرح آزمایش پارامترهای الگوریتم جست و جوی پراکنده برای حل مسئله در جدول ۴ نشان داده می‌شود.

عملیات جهش با احتمال PM بر روی هر یک از جواب‌های تقاطع یافته انجام می‌شود. در این مرحله به منظور انجام جهش روی رشته جواب یک نقطه به تصادف انتخاب می‌گردد. اگر خانه انتخاب شده از بخش اول جواب باشد و خانه متناظر با نقطه انتخاب شده عبوری باشد به پوششی تبدیل می‌شود و بالعکس. اگر خانه انتخاب شده از بخش دوم جواب باشد عددی بین ۱ تا k برای خانه انتخاب شده به تصادف تولید شده و جایگزین مقدار قبلی می‌شود. سپس جواب بر اساس روند توضیحات ارائه شده در زیر بخش ۴-۱ اصلاح شده و تابع هدف آن محاسبه می‌گردد.

۴-۳-۴ انتخاب نسل بعد

در این مرحله استخری از جواب‌های جدید و موجود تهیه می‌شود و تعداد G جواب از بهترین جوابهای استخر به عنوان نسل جدید انتخاب می‌گردد. همچنین به منظور بهبود جواب الگوریتم در هر تکرار بهترین جواب را انتخاب کرده و توسط روش جست و جوی محلی $2opt$ بهبود داده می‌شود.

این روند ادامه پیدا می‌کند تا به تعداد تکرار مورد نظر برسیم و در پایان بهترین جواب به عنوان خروجی الگوریتم انتخاب می‌گردد.

۴-۴ تنظیم پارامترها

به منظور تنظیم پارامترهای الگوریتم ژنتیک و جست و جوی پراکنده، از روش طراحی آزمایش‌های تاگوچی استفاده شده است. تاگوچی یک خانواده از ماتریس‌های آزمایش‌های فاکتوریلی جزئی را بهبود داد، به طوری که توانست پس از آزمایش‌های زیاد، یک طراحی آزمایش‌ها را به گونه‌ای اجرا کند که تعداد آزمایش‌ها را برای یک مسئله کاهش دهد. با توجه به اینکه تابع هدف مسئله مورد بررسی (متغیر پاسخ) از نوع کوچک‌تر، بهتر می‌باشد بنابراین، نرخ S/N مربوط به آن به صورت رابطه (۲۷) محاسبه می‌شود.

$$S / N = -10 \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2 \right) \quad (27)$$

جدول ۴. مقادیر بهینه هر یک از پارامترهای الگوریتم جست

وجوی پراکنده	
پارامتر	مقدار بهینه
b	۱۶
b_2	۴
NI	۲۰

به منظور بررسی توانایی الگوریتم جستجوی پراکنده ترکیبی پیشنهادی و مقایسه آن با الگوریتم های جست و جوی پراکنده پایه و ژنتیک، تعداد ۱۰ مسئله نمونه کوچک و ۲۷ مسئله نمونه بزرگ تولید گردید. مسائل با ابعاد کوچک به صورت تصادفی تولید شده است و برای مسائل با ابعاد بزرگ نمونه مسائل Augerat که شامل ۲۷ مسئله است با شرایط مسئله مطرح تطبیق داده شده است. لازم به ذکر است که الگوریتم های پیشنهادی در نرم افزار MATLAB R2011b و توسط کامپیوتری با ویژگی CPU CORE I7 و RAM 4G پیاده سازی شده است.

۱-۵ تولید نمونه های تصادفی

در مسائل با ابعاد کوچک مختصات هر یک از نقاط به صورت تصادفی در فضای دوبعدی $[150 \times 150]$ در نظر گرفته شده است. به منظور تولید حدود تقاضای هر یک از مشتریان در مسائل با ابعاد کوچک، از توزیع یکنواخت گسسته با پارامترهای ۱۰۰ و ۵۰۰ استفاده شده است و مقدار ظرفیت وسائط نقلیه نیز به گونه ای در نظر گرفته شده است که ۱،۲ جمع ظرفیت وسائط نقلیه، برابر جمع تقاضای مشتریان باشد. در مسائل با ابعاد بزرگ مختصات نقاط، میزان تقاضا و ظرفیت وسائط نقلیه دقیقاً همانند مسائل Augerat در نظر گرفته شده است.

شعاع پوشش نیز در کلیه مسائل به گونه ای در نظر گرفته شده است که چگالی ماتریس پوشش برابر 0.2 ± 0.01 باشد. تعداد نقاط سوخت گیری نیز برابر ۱۰ درصد کل نقاط در نظر گرفته شده است. میزان مداومت پروازی هر بالگرد (حداکثر سوخت) $1/5$ برابر فاصله زمانی دپو تا دورترین نقطه آسیب دیده منظور شده است.

همچنین به منظور تعیین افق زمانی هر مسئله ابتدا مسئله به طور ایستا حل شده و فرض می شود اطلاعات همه نقاط در زمان صفر موجود است. سپس $1/5$ برابر مدت زمان طولانی ترین تور طی شده توسط وسایل در مسئله ایستا به عنوان افق برنامه ریزی در نظر گرفته می شود. این زمان به سه بازه مساوی تقسیم می شود و در پایان بازه های اول و دوم مدل به روز رسانی و اطلاعات نقاط جدید وارد مسئله می شود.

در الگوریتم ژنتیک نیز نرخ جهش (PM) و تعداد تکرار الگوریتم (NI) پارامترهایی هستند که این آزمایش برای تنظیم آن ها استفاده شده است. برای هر یک از آن ها ۳ مقدار در نظر گرفته شده است. در واقع آزمایش به کاررفته دارای ۲ فاکتور و ۳ سطح است. در جدول ۵ مقادیر در نظر گرفته شده برای هر یک از پارامترهای مورد بررسی نشان داده شده است.

جدول ۵. مقادیر در نظر گرفته شده برای پارامترهای الگوریتم

ژنتیک			
سطح			پارامتر
۱	۲	۳	
۰/۳	۰/۴	۰/۵	PM
۵۰	۱۰۰	۲۰۰	NI

بر اساس تعداد فاکتورها و سطوح هر فاکتور از طرح $L_6(2^3)$ تاگوچی استفاده شده در این طرح تعداد ۴ آزمایش در نظر گرفته می شود. با پیاده سازی این طرح آزمایش پارامترهای الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله در جدول ۶ نشان داده می شود.

جدول ۶. مقادیر بهینه هر یک از پارامترهای الگوریتم ژنتیک

پارامتر	مقدار بهینه
PM	۰/۳
NI	۱۰۰

۵. نتایج عددی

مکان یابی مراکز امداد موقت و مسیریابی پویای وسایل نقلیه امداد هوایی

در ابعاد کوچک نتایج حاصل از حل الگوریتمهای معرفی شده با نتایج حاصل از حل دقیق مسئله با حل کننده CLPEX مورد مقایسه قرار داده شده اند. نتایج در جدول ۷ نمایش داده شده است.

در جدول ۶ مقدار تابع هدف برنامه ریزی شده بهینه نهایی (مرحله آخر) با B نشان داده شده است. در این جدول T زمان اجرا برحسب ثانیه را نشان می دهد. در جدول فوق اختلاف درصدی تابع هدف برنامه ریزی شده بهینه با بهترین تابع هدف برنامه ریزی شده، تقسیم بر مقدار بهینه تابع هدف GAP

شاخص پویایی نیز برای مسائل برابر با ۳۰٪ در نظر گرفته شده است. این شاخص نسبت تعداد نقاط پویا (n_d) به تعداد کل نقاط (n_{tot}) را نشان می دهد و از رابطه (۲۸) محاسبه می گردد

$$\delta = \frac{n_d}{n_{tot}} \quad (28)$$

۲-۵ بررسی کارایی

الگوریتم های ارائه شده برای مسائل با ابعاد کوچک

جدول ۷. مقایسه حل دقیق و الگوریتم های ژنتیک و جستجوی پراکنده پایه و ترکیبی در ابعاد کوچک

مسئله	EM		GA			SS		
	B	T	B	T	GAP (%)	B	T	GA P (%)
P1	۲۵۸,۵	۹	۲۵۹,۴	۳۳,۶	٪۰,۳	۲۶۵,۳	۳۴,۲	٪۲,۸
P2	۳۲۳,۴	۱۰	۳۳۳,۶	۳۵,۱	٪۳,۳	۳۳۰,۵	۳۵,۱	٪۲,۱
P3	۳۰۲,۳	۱۲	۳۱۹,۶	۴۰,۹	٪۵,۵	۳۱۲,۴	۴۱,۷	٪۳,۳
P4	۳۳۴,۶	۲۴۰	۳۴۹,۲	۳۶,۴	٪۴	۳۴۷,۲	۴۱,۶	٪۳,۸
P5	۲۲۵,۴	۹۸۷	۲۳۳,۹	۶۹,۸	٪۳,۹	۲۴۰,۸	۷۸,۷	٪۶,۱
P6	۲۸۰,۶	۹۵۴	۲۹۶,۷	۷۷,۲	٪۵,۷	۲۹۸,۷	۸۷,۴	٪۶,۰
P7	۲۱۰,۱	۹۹۶	۲۱۵,۹	۶۸,۷	٪۲,۲	۲۲۰,۲	۶۶,۵	٪۴,۷
P8	۳۸۴,۵	۱۰۸۰	۴۰۵,۱	۶۰,۹	٪۵,۱	۳۹۵,۶	۵۱,۴	٪۲,۶
P9	۲۰۶,۳	۱۱۲۰	۲۱۴,۴	۶۱,۲	٪۳,۸	۲۲۰,۱	۵۹,۸	٪۶,۶
P10	۲۳۵,۳	۱۲۹۰	۲۴۶,۵	۶۳,۸	٪۴,۵	۲۴۴,۴	۶۶,۰	٪۳,۸

مسئله	EM		GA			SS		
	B	T	B	T	GAP (%)	B	T	GA P (%)
میانگین		۶۶۹,۸		۵۴,۷	۳,۸٪		۵۶,۲	۴,۱٪

از نظر کیفیت جواب‌ها، الگوریتم ژنتیک کیفیت جواب بهتری ارائه داده است. به طوری که متوسط خطای درصدی برای الگوریتم ژنتیک ۳,۸ درصد و برای الگوریتم جست‌وجوی پراکنده ۴,۱ درصد است.

برنامه‌ریزی شده است. به عبارت دیگر مقدار GAP از رابطه (۲۹) به دست می‌آید. لازم به ذکر است که به ازای هر الگوریتم جمع مقادیر تابع هدف سه مرحله حل پویای هر مسئله با هم جمع شده و در جدول ذکر شده است.

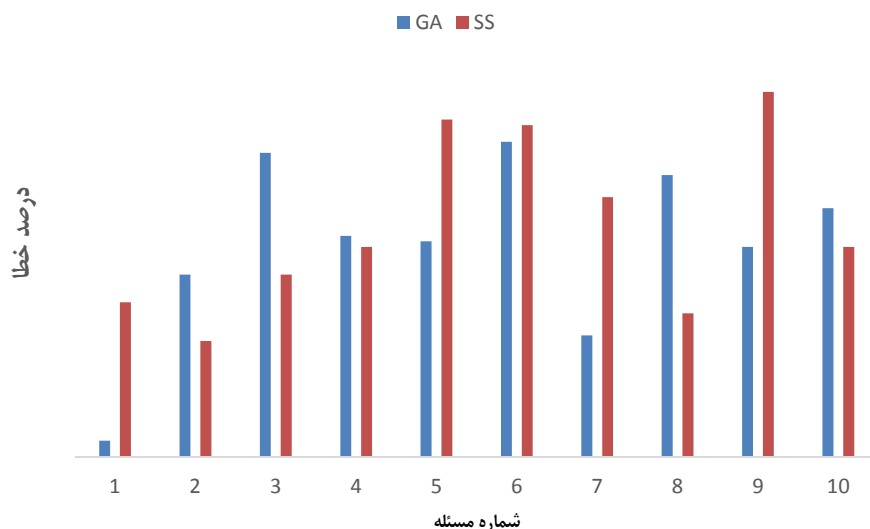
$$GAP = \frac{Z^* - Z_{best}}{Z^*} \times 100 \quad (29)$$

۳-۵ بررسی کارایی الگوریتم‌های ارائه شده برای مسائل

با ابعاد متوسط و بزرگ

به منظور بررسی توانایی الگوریتم‌های پیشنهادی در ابعاد بالا و مقایسه آن‌ها با یکدیگر، تعداد ۲۷ مسئله در ابعاد بزرگ با الگوی ارائه شده در زیر بخش ۵-۱ تولید گردیده است. اطلاعات این مسائل در پیوست ارائه شده است. نتایج در جدول ۸ ارائه شده است.

از نظر زمان حل، به طور میانگین میزان زمان مورد نیاز برای حل مسئله در ابعاد کوچک برای روش دقیق برابر ۶۶۹,۸ ثانیه است. همچنین میانگین زمان لازم برای حل مسئله برای الگوریتم ژنتیک ۵۴,۷، برای الگوریتم جست‌وجوی پراکنده برابر ۵۶,۲ است. در شکل ۹ درصد خطای سه الگوریتم نمایش داده شده است.



شکل ۹. نمودار مقایسه درصد خطای الگوریتم‌های ارائه شده در ابعاد کوچک

مکان یابی مراکز امداد موقت و مسیریابی پویای وسایل نقلیه امداد هوایی

جدول ۸. نتایج مسائل نمونه با ابعاد متوسط و بزرگ

مسئله	GA			SS		
	B	T	GAP (%)	B	T	GAP (%)
B-P1	۲۷۶,۲	۴۸,۵	۰	۲۸۰,۸	۵۲,۵	٪۱,۶۶
B-P2	۲۵۴,۲	۵۰,۶	٪۲,۲۱	۲۴۸,۷	۵۱,۵	۰
B-P3	۲۴۶,۱	۴۹,۱	۰	۲۶۱,۸	۵۱,۱	٪۶,۳
B-P4	۲۳۱,۴	۵۲,۱۲	٪۳	۲۲۴,۸	۴۹,۹	۰
B-P۵	۲۴۷,۷	۵۸,۹	۰	۲۵۴,۱	۶۵,۱	٪۲,۶
B-P۶	۲۴۷,۷	۵۹,۸	٪۴,۷	۲۵۹,۵	۶۰,۱	۰
B-P۷	۲۶۰,۵	۶۰,۱	۰	۲۶۵,۵	۵۶,۹	٪۱,۹
B-P۸	۲۵۹,۳	۵۹,۹	٪۴,۱	۲۳۹,۷	۵۸,۰	٪۷,۲
B-P۹	۲۶۸,۶	۶۰,۶	۰	۲۷۰,۲	۶۵,۳	٪۰,۶
B-P۱۰	۲۶۹,۳	۷۰,۶	۰	۲۷۴,۶	۷۶,۰	٪۲
B-P-۱۲	۲۶۴,۲	۶۹,۰	٪۰,۶	۲۶۲,۵	۸۰,۶	۰
B-P-۱۲	۳۹۲,۵	۷۵,۹	٪۴,۷	۳۷۵,۱	۸۰,۱	۰
B-P-۱۳	۲۹۳,۶	۱۰۲	٪۳,۶	۲۸۳,۵	۹۹,۶	۰
B-P-۱۴	۲۹۶,۳	۷۶,۴	۰	۲۹۸,۷	۷۵,۹	٪۱,۸
B-P-۱۵	۲۶۱,۶	۹۳,۴	۰	۲۵۹,۷	۸۸,۲	٪۱,۲
B-P-۱۶	۲۵۴,۱	۸۷,۰	٪۲,۸	۲۵۰,۹	۹۷,۱	۰
B-P-۱۷	۲۹۲,۹	۹۲	۰	۳۰۱,۲	۹۸,۱	٪۴,۵
B-P-۱۸	۲۶۴,۶	۹۸,۱	۰	۲۷۶,۵	۱۰۴	٪۴,۶
B-P-۱۹	۳۱۱,۲	۹۹,۵	۰	۳۲۱,۶	۱۰۷,۳	٪۳,۴
B-P-۲۰	۲۵۰,۹	۱۰۰,۰	۰	۲۷۱,۲	۱۱۸,۷	٪۵,۱
B-P-۲۱	۳۱۳,۱	۱۳۴,۸	٪۷,۸	۲۸۷,۹	۱۳۳,۳	۰
B-P-۲۲	۳۳۷,۹	۱۳۶,۲	٪۷,۵	۳۱۴,۱	۱۳۴,۳	۰
B-P-۲۳	۲۸۳,۴	۱۵۵,۱	۰	۳۰۲,۲	۱۶۴,۰	٪۶,۳
B-P-۲۴	۳۰۴,۲	۱۴۵	۰	۳۲۰,۲	۱۴۸,۰	٪۵,۳
B-P-۲۵	۳۱۹,۰	۱۴۰,۶	٪۲,۳	۳۱۲,۱	۱۳۰,۱	۰
B-P-۲۶	۳۰۲,۵	۱۵۸,۴	٪۳,۴	۲۹۲,۸	۱۴۲,۱	۰
B-P-۲۷	۳۱۴,۱	۱۸۶,۰	۰	۳۳۷,۷	۱۷۸,۱	٪۷,۴
میانگین		۹۳,۱	٪۱,۸۵		۹۵,۱	٪۲,۰۶

از نظر کیفیت جواب الگوریتم ژنتیک پیشنهادی توانسته است به طور میانگین خطای حدود ۱,۸۵ درصد را ارائه دهد که این معیار برای الگوریتم جستجوی پراکنده برابر ۲,۰۶ درصد است. از نظر کیفیت جواب الگوریتم ژنتیک از ۲۷

از منظر زمان حل هر دو الگوریتم عملکرد مشابهی دارند. به طور متوسط مدت زمان حل توسط الگوریتم ژنتیک ۹۳,۱ ثانیه است در حالی که این زمان برای الگوریتم جستجوی پراکنده ۹۵,۱ ثانیه می باشد.

مسئله حل شده، در ۱۷ مورد جواب‌های بهتری نسبت به الگوریتم جست‌وجوی پراکنده پیدا کرده است.

۶. تأثیر استفاده از رویکرد مسیریابی پویا بر

کیفیت جواب‌ها

به منظور بررسی تأثیر رویکرد مسیریابی پویا در حل مسئله در برابر رویکرد ایستا تعداد ۵ مسئله با ابعاد کوچک و ۵ مسئله با ابعاد بزرگ انتخاب شد. سپس مسائل با استفاده از رویکرد مسیریابی پویا و رویکرد ایستا حل گردید. لازم به ذکر است مسائل ابعاد بزرگ با روش SS حل شده است. در

رویکرد ایستا فرض بر این است که امکان ارتباط با ناوگان وسائط نقلیه وجود ندارد و تنها وقتی می‌توان اطلاعات مشتریان جدید و برنامه جدید را به وسائط نقلیه ارائه نمود که آن‌ها به مرکز اصلی بازگشته باشند. نتایج در جدول ۹ ارائه شده است. همان‌طور که از نتایج این مثال‌ها پیداست استفاده از مسیریابی پویا که رویکرد این تحقیق است، می‌تواند زمان امدادسانی به مناطق آسیب‌دیده را به طور قابل توجهی کاهش داده و در نتیجه از خسارات مالی و جانی بکاهد.

جدول ۹. مقایسه مسیریابی پویا و مسیریابی ایستا

ردیف	شماره مسئله	تعداد کل نقاط	تعداد نقاط پویا	مقدار تابع هدف با رویکرد پویا	مقدار تابع هدف با رویکرد ایستا	درصد افزایش تابع هدف در رویکرد ایستا
۱	P1	۱۱	۴	۲۵۸/۵	۴۹۰/۷	٪۹۸/۸
۲	P2	۱۱	۳	۳۲۳/۴	۶۱۷/۱	٪۹۰/۸
۳	P3	۱۴	۶	۳۰۲/۳	۴۵۷/۹	٪۵۱/۴
۴	P4	۱۴	۳	۳۳۵/۶	۳۷۷/۲	٪۱۲/۳
۵	P5	۱۶	۵	۲۲۵/۴	۳۴۸/۷	٪۵۴/۷
۶	B-P-۱	۳۲	۱۰	۲۶۶/۰	۴۸۶/۱	٪۸۲/۰
۷	B-P-۲	۳۳	۱۱	۲۳۸/۳	۴۳۱/۷	٪۸۱/۵
۸	B-P-۳	۳۳	۱۱	۲۵۳/۱	۴۷۰/۸	٪۸۸/۶
۹	B-P-۴	۳۴	۱۱	۲۳۹/۱	۴۱۲/۱	٪۷۲/۳
۱۰	B-P-۵	۳۶	۱۲	۲۵۷/۷	۵۰۲/۱	٪۹۴/۳
میانگین						٪۷۱/۷

۷. نتیجه گیری و پیشنهادها

در این مقاله یک مدل خطی عدد صحیح در راستای مکان یابی مراکز امداد موقت و مسیریابی پویای وسایل نقلیه امدادی هوایی و با استفاده از رویکرد تور پوششی و باهدف کمینه سازی زمان رسیدن وسایل نقلیه به آخرین نقطه آسیب دیده ارائه گردید. در مدل پیشنهادی مکان یابی مراکز امداد به گونه ای انجام می شود که تمامی نقاط آسیب دیده در شعاع پوشش مراکز تأسیس شده قرار گیرند. با توجه به شرایط حاکم به مناطق آسیب دیده همچون نیاز ضروری به کالاهای امدادی و اهمیت زمان خدمت رسانی، وجود پس لریزه ها، برآوردهای غیردقیق از میزان خسارت ها و مناطق حادثه دیده، و خرابی شبکه راه ها، در این مدل نقاط تقاضا و میزان تقاضای هر منطقه پویا در نظر گرفته شد و از وسایل نقلیه هوایی به منظور ارسال کالاهای امدادی بهره گرفته شد. با توجه به بودن مدل پیشنهادی و به منظور حل آن الگوریتم جستجوی پراکنده و همچنین الگوریتم ژنتیک برای این مسئله ارائه شد. در ادبیات موضوع استفاده از الگوریتم جستجوی پراکنده در مسائل مسیریابی پویای وسایل نقلیه کمتر به چشم می خورد اما در تحقیقات گذشته افراد زیادی از الگوریتم ژنتیک جستجوی همسایگی متغیر به منظور بهینه سازی مسائل مسیریابی پویا استفاده کرده اند. به همین دلیل با بهبود الگوریتم جستجوی پراکنده به مقایسه کیفیت جواب ها و زمان حل الگوریتم های ارائه شده در مسائل با ابعاد مختلف پرداخته شد. نتایج نشان دهنده عملکرد مناسب الگوریتم ژنتیک پیشنهادی است، به طوری که متوسط خطای درصدی برای الگوریتم ترکیبی ۱/۸۵ درصد و برای الگوریتم جستجوی پراکنده ۲۶۰ درصد است. همچنین مدل معرفی شده و روش های حل استفاده شده برای آن قابلیت توسعه برای مطالعات آتی را دارا است. به همین منظور برای تحقیقات آتی پیشنهادها زیر ارائه می گردد.

- توسعه مدل ارائه شده از حالت تک دپویی به حالت چند دپویی
- تأمین کالاهای متفاوت با تقاضاهای مختلف در شرایط بحران و لحاظ کردن وزن و حجم متفاوت برای کالاها به منظور قرار دادن در وسایل نقلیه

- لحاظ کردن فرض عدم قطعیت در میزان تقاضای نقاط آسیب دیده
- ارائه یک مدل برنامه ریزی لجستیکی به منظور تأمین کالاهای مورد نیاز و نیز حمل مجروحان و انتقال آن ها به بیمارستان ها و مراکز امداد رسانی
- لحاظ کردن فرض عدم قطعیت در میزان تأمین کالاها
- در نظر گرفتن وسایل نقلیه ناهمگن هوایی و زمینی به منظور تسریع در امداد رسانی
- بهینه سازی شعاع پوشش در کنار کمینه سازی مدت زمان پاسخ (با در نظر گرفتن زمان سرویس دهی هریک از مراکز امداد موقت به مناطق آسیب دیده تحت پوشش خود) و در نتیجه ارائه یک مدل دو هدفه به منظور امداد رسانی در شرایط بحران
- ارائه یک الگوریتم حل دقیق مبتنی بر شاخه و کران و یا برنامه ریزی پویا به منظور یافتن جواب بهینه مدل معرفی شده

۸. پی نوشتها

- 1- Static vehicle routing problem
- 2- Dynamic vehicle routing problem
- 3- Covering tour problem
- 4- relief logistics
- 5- Knott
- 6-Barbaroso
- 7- Sakakibara
- 8- Ozdamar
- 9- Huang
- 10- Caunhye
- 11- Balcik, and Beamon
- 12- Chang
- 13-Chu
- 14- Real-time
- 15- Time-dependent
- 16- time-rolling horizon
- 17-Wohlgemuth
- 18- Ferrucci
- 19- Yi and azdamar
- 20- Nolz
- 21- Scatter Search (SS)
- 22- Holland J.H
- 23-Crossover
- 24- Mit at i on
- 25- Roulette Wheel

- Chou, H. W., Hsueh, C. F. and Chen, H. K. (2008) "Dynamic vehicle routing for relief logistics in natural disasters", INTECH Open Access Publisher.
- Fontem, B., Melouk, S. H., Keskin, B. B. and Bajwa, N. (2016) "A decomposition-based heuristic for stochastic emergency routing problems. Expert Systems with Applications, Vol 59, No. 1, pp 47-59.
- Ferrucci, F., Bock, S. and Gendreau, M. (2013) "A pro-active real-time control approach for dynamic vehicle routing problems dealing with the delivery of urgent goods", European Journal of Operational Research, Vol. 225, No.1, pp.130-141.
- Goldberg, D. E. and Holland, J. H. (1988) "Genetic algorithms and machine learning", Machine learning, Vol. 3, No.2, pp. 95-99.
- Chen, Huey-Kuo, Hsueh, Che-Fu and Chang, Mei-Shiang (2006) "The real-time time-dependent vehicle routing problem", Transportation Research Part E, Vol.42, pp. 383-408.
- Ege, Jose A. (2007) "Improved scatter search for the global optimization of computationally expensive and support in disaster response activities ", European Journal of Operational Research, Vol.179, No.1, pp.1177-1193.
- Jang, H. C., Lien, Y. N. and Tsai, T. C. (2009) "Rescue information system for earthquake disasters based on MANET emergency communication platform", Proceedings of the 2009 International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing: Connecting the World Wirelessly, ACM, pp. 623-627.
- Abounacer, R. Rekik, M. and Renaud, J. (2014) "An exact solution approach for multi-objective location-transportation problem for disaster response ", Computers & Operations Research, Vol.41, No.1, pp.83-93.
- Afshar, Abbas and Haghani, Ali (2012) " Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations " , Socio-Economic Planning Sciences, Vol. 46, No.4, pp. 327-338.
- Balcik, B. and Beamon, B. M. (2008) "Facility location in humanitarian relief ", International Journal of Logistics Research and Applications", Vol. 11, No.2, PP. 101-121.
- Barbaroso glu, G., Ozdamar, L. and Evik, A. (2002) "An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations", European Journal of Operational Research, Vol. 140, No.1, pp. 118-133.
- Caunhye, A. M., Nie, X. and Pokharel, S. (2012) "Optimization models in emergency logistics: A literature review", Socio-Economic Planning Sciences, Vol.46, No.1, pp. 4-13.
- Caunhye, A. M., Nie, X. and Pokharel, S. (2012) "Optimization models in emergency logistics: A literature review", Socio-Economic Planning Sciences, Vol. 46, No.1, pp. 4-13.
- Chang, M. S., Tseng, Y. L. Chen, J. W. (2007) "A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty", Transportation Research Part E, Vol. 43, No.1, pp. 734-751.

- models”, *Journal of Global Optimization*, Vol.43, No.1, pp. 175-190
- Ozdamar, L. Ekinci, E. and Kucukyazici, B. (2004) “Emergency logistics planning in natural disasters”, *AnnOperations Res*, Vol.129, pp.217–245.
- Sakakibara, H., Kajitani, Y. and Okada, P. (2004) “Road network robustness for avoiding functional isolation in disasters”, *J. Transport. Engng –ASCE*, Vol.130, pp.560–567.
- Taguchi, G. Chowdhury, S. and Wu, Y. (2005) “Taguchi's quality engineering handbook”, Wiley.
- Pillac, Victor, Gendreau, Michel, Gueret, Christelle and Medaglia, Andres (2013). “A review of dynamic vehicle routing problem”, *European Journal of Operational Research*, Vol.225, pp. 1–11.
- Victoria, J. F., Afsar, H. M. and Prins, C. (2016) “Column generation based heuristic for the vehicle routing problem with time-dependent demand”, *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 49, No. 12, pp. 526-531.
- Yi, W. and Özdamar, L. (2007) “A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 179, pp. 1177-1193.
- Knott, R. (1987) “The logistic of bulk relief supplies”, *Disasters*, Vol.11, No.2, pp.113-115.
- Mete, O.H. Zabinsky, Z.B(2007) “Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management”, *International Journal of Production Economics*, Vol. 126, No.1, PP. 76-84.
- Najafi, M., Farahani, R. Z., De Brito, M. P. and Dullaert, W. (2015) “Location and distribution management of relief centers: a genetic algorithm approach”, *International Journal of Information Technology & Decision Making*, Vol.14, No.4, pp.769-803.
- Nolz, P. C. و Doerner, K. F., Gutjahr, W. J. and Hartl, R. F. (2010) “A bi-objective metaheuristic for disaster relief operation planning”, In: Coello, C.A. et al. (Eds.) *A dv. in Multi- Objective Nature Inspired Computing*, Vol. 272, No.1, pp.167–187.
- Rivera, J. C., Afsar, H. M. and Prins, C. (2016) “Mathematical formulations and exact algorithm for the multitrip cumulative capacitated single-vehicle routing problem”, *European Journal of Operational Research*, Vol.249. No.1, pp.93-104.
- Ozdamar, Linet (2007) “A dynamic logistics coordination model for evacuation namic

جدول پ ۱. اطلاعات مسئله‌های تصادفی تولیدشده در ابعاد کوچک

مسئله	N_{tot}	K	Q	dis_{max}	$f_{c(max)}$
۱P	۱۱	۲	۲۰۰۰	۴۰	۲۵۰
۲P	۱۱	۲	۳۰۰۰	۲۵	۲۰۰
۳P	۱۴	۲	۲۵۰۰	۴۵	۲۰۰
۴P	۱۴	۲	۳۰۰۰	۵۰	۱۵۰
۵P	۱۶	۲	۲۵۰۰	۵۰	۲۵۰
۶P	۱۶	۲	۳۰۰۰	۲۰	۱۵۰
۷P	۱۶	۲	۳۰۰۰	۳۵	۲۰۰
۸P	۱۷	۲	۳۰۰۰	۶۰	۱۵۰
۹P	۱۷	۲	۴۰۰۰	۵۰	۲۵۰
P۱۰	۱۷	۲	۳۵۰۰	۳۵	۲۵۰

جدول پ ۲. اطلاعات ۲۷ مسئله در ابعاد بزرگ

مسئله	n_{tot}	K	Q	dis_{max}	$f_{c(max)}$
B-P-۱	۳۲	۵	۱۰۰	۳۳	۲۵۶
B-P-۲	۳۳	۵	۱۰۰	۲۷	۲۲۶
B-P-۳	۳۳	۶	۱۰۰	۲۷	۲۲۶
B-P-۴	۳۴	۵	۱۰۰	۳۲	۲۲۱
B-P-۵	۳۶	۵	۱۰۰	۲۷	۲۴۸
B-P-۶	۳۷	۵	۱۰۰	۲۸	۲۴۰
B-P-۷	۳۷	۶	۱۰۰	۲۹	۲۴۲
B-P-۸	۳۸	۵	۱۰۰	۳۱	۲۴۳
B-P-۹	۳۹	۵	۱۰۰	۲۸	۲۳۶
B-P-۱۰	۳۹	۶	۱۰۰	۳۳	۲۵۰
B-P-۱۱	۴۴	۶	۱۰۰	۲۷	۱۹۰
B-P-۱۲	۴۵	۶	۱۰۰	۳۳	۳۶۷
B-P-۱۳	۴۵	۷	۱۰۰	۲۸	۱۶۲
B-P-۱۴	۴۶	۷	۱۰۰	۲۹	۱۷۳
B-P-۱۵	۴۸	۷	۱۰۰	۲۴	۱۷۲
B-P-۱۶	۵۳	۷	۱۰۰	۲۹	۱۸۲
B-P-۱۷	۵۴	۷	۱۰۰	۲۹	۱۷۶
B-P-۱۸	۵۵	۹	۱۰۰	۲۹	۱۸۴
B-P-۱۹	۶۰	۹	۱۰۰	۳۰	۱۸۵
B-P-۲۰	۶۱	۹	۱۰۰	۲۶	۱۶۵
B-P-۲۱	۶۲	۸	۱۰۰	۳۱	۱۵۳
B-P-۲۲	۶۳	۹	۱۰۰	۲۹	۱۸۲

مکان یابی مراکز امداد موقت و مسیریابی پویای وسایل نقلیه امداد هوایی

مسئله	n_{tot}	K	Q	dis_{max}	$f_{c(max)}$
B-P-۲۳	۶۳	۱۰	۱۰۰	۲۱	۱۵۹
B-P-۲۴	۶۴	۹	۱۰۰	۲۸	۱۷۶
B-P-۲۵	۶۵	۹	۱۰۰	۳۱	۱۳۶
B-P-۲۶	۶۹	۹	۱۰۰	۳۰	۱۸۴
B-P-۲۷	۸۰	۱۰	۱۰۰	۳۰	۱۸۹

محمد آقایی، مهدی علینقیان، محمد سعید صباغ

محمد آقایی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۹۲ از دانشکده فنی مهندسی گلپایگان و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۹۵ از دانشگاه صنعتی اصفهان اخذ نمود. زمینه‌های پژوهشی موردعلاقه ایشان طراحی شبکه در زنجیره تأمین، لجستیک بحران، و مسیریابی وسائط نقلیه در شرایط بحران است



مهدی علینقیان، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۸۳ از دانشکده فنی مهندسی گلپایگان و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۸۵ از دانشگاه تهران اخذ نمود. در سال ۱۳۹۰ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه علم و صنعت گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان لجستیک، مسیریابی وسائط نقلیه و بهینه سازی در شرایط عدم قطعیت بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه صنعتی اصفهان است.



محمد سعید صباغ، درجه کارشناسی در رشته آمار را در سال ۱۳۵۲ از مؤسسه آموزش عالی آمار و انفورماتیک و درجه کارشناسی ارشد در رشته آمار را در سال ۱۳۵۶ از مؤسسه آموزش عالی آمار و انفورماتیک اخذ نمود. در سال ۳۶۳ موفق به کسب درجه دکتری در رشته تحقیق در عملیات از دانشگاه جورج واشنگتن گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان مسائل مدیریت زنجیره تأمین چندسطحی، مسیریابی وسائط نقلیه، فروشنده دوره گرد و کاربرد روش حذف مستطیل همزاد منفی در حل مسائل تخصیص دو و سه بعدی و مساله حمل و نقل بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی بازنشسته با مرتبه استادیاری در دانشگاه صنعتی اصفهان است.

