

مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق) // دوره ۴، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶ / ص ۱۵۶-۱۴۳

بهینه‌سازی زمان سیستم امداد رسانی در شرایط مخاطره با تقسیم وظایف بین مراکز و در نظر گیری ظرفیت حداکثری ناوگان (مطالعه موردی: شهر قزوین)

محمد عبدالشاه*

استادیار گروه مهندسی صنایع، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

سید امیر محمد خطیبی (Khatibi@ase.ui.ac.ir)

دانشجوی دکتری، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

سیامک حسینی (Siamak.hosseini@modares.ac.ir)

کارشناس ارشد مهندسی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت

مدرس، تهران، ایران

محمدعلی بهشتی‌نیا (Beheshtinia@semnan.ac.ir)

استادیار، دانشکده مهندسی مواد و صنایع، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۵/۸ تاریخ پذیرش ۱۳۹۶/۸/۲۴)

چکیده

جولوگیری از تبدیل مخاطرات طبیعی به فجایع انسانی مستلزم ارتقای توان مدیریتی و برنامه‌ریزی‌های مدیریت مخاطره است. بنابراین در روند خدمت‌رسانی در چنین حوادثی، ثابته‌ها و دقایق اهمیت بسزایی در نجات انسان دارند. به همین منظور، برنامه‌ریزی برای استفاده بهینه از زمان در دسترس سیستم امداد رسانی در این موارد، به افزایش توان عملیاتی سیستم پشتیبان، امداد رسانی در کمترین زمان ممکن و نیز تخصیص صحیح منابع به افراد نیازمند منجر خواهد شد. در این زمینه، پژوهش حاضر سعی دارد با ارائه مدلی به منظور تقسیم وظایف امداد رسانی مناطق مختلف یک شهر، بین بیمارستان‌ها و مراکز امداد رسانی، و با در نظر گیری ناوگان‌های امدادی تخصیص یافته به آنها برای امداد رسانی، و نیز به کارگیری فواصل واقعی مناطق مختلف شهر قزوین از این مراکز، به بهینه‌سازی زمان لازم برای انتقال مجروحان در شرایط مخاطره به بیمارستان‌ها، در یک زنجیره تأمین سه‌مرحله‌ای پردازد و برای تحقق اهداف مورد نظر، ظرفیت ناوگان امداد رسانی را نیز در مسئله لحاظ کند. از آنجا که یافتن جواب بهینه در زمان معقول، برای مسئله با استفاده از روش‌های دقیق ناممکن است، در این مقاله برای حل، از یک الگوریتم ژنتیک پویا دارای کروموزوم‌هایی با ساختار متغیر استفاده می‌شود. همچنین به منظور بررسی صحت نتایج به دست آمده از این مدل، نتایج با جواب‌های روش جست‌وجوی تصادفی مقایسه شد. نتایج، نشان از برتری مدل ارائه شده دارد و بیانگر کاهش میانگین جواب‌ها در مواردی نظیر افزایش تعداد وسایل امدادی و ظرفیت آنها و کاهش زمان امداد رسانی اولیه و نیز افزایش میانگین جواب‌ها با افزایش تعداد مجروحان است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک پویا، زنجیره تأمین، زمان‌بندی بهینه، ظرفیت ناوگان، مدیریت مخاطرات.

مقدمه

بلایای طبیعی، جنگ و حمله‌های تروریستی، از جمله مخاطراتی هستند که به شدت حیات انسان‌ها را تهدید می‌کنند. از این‌رو، در روند خدمت‌رسانی در چنین حوادثی، ثانیه‌ها و دقایق نقش بسزایی در نجات انسان دارند. ایران نیز به دلیل قرارگیری بر روی گسل، سیل خیز بودن مناطق مختلف و نیز وضعیت نابسامان کشورهای همسایه، در معرض حوادث طبیعی و غیرطبیعی است که می‌تواند آسیب‌ها و هزینه‌های جبران‌ناپذیر فراوانی را بر کشور تحمیل کند. بنابراین هنگام وقوع بلایا، تلاش‌ها برای نجات و امداد رسانی می‌تواند خسارات جانی را کاهش دهد و با ارائه خدمات امدادی به بازماندگان، رفاه را برایشان فراهم آورد [۲]. از جمله این تلاش‌ها می‌توان به جمع‌آوری اطلاعات از مناطق آسیب‌دیده، تخلیه افراد مستعد و مصدوم به نقاط انتقال و ارسال آنها به تسهیلات بهداشتی و درمانی نظیر بیمارستان، به منظور دریافت خدمات پزشکی و اورژانسی اشاره کرد.

جلوگیری از تبدیل بلایای طبیعی به فجایع انسانی، مستلزم افزایش توان مدیریتی و برنامه‌ریزی‌های مدیریت بحران (Crisis Management) است. از این‌رو، سیستم حمل‌ونقل مصدومان به هنگام تخریب زیرساخت‌های شهری، اهمیت انکارناپذیری دارد. بنابراین وجود حمل‌ونقل اضطراری و نیز ایجاد خطوط اضطراری، مبتنی بر علوم مهندسی و کاربردی، در چنین شرایطی الزامی به نظر می‌رسد [۱]. به منظور دستیابی به این مهم، باید دستگاه‌های ذی‌ربط، با مدنظر قرار دادن شرایط مخاطره، نسبت به تنظیم یک برنامه زمان‌بندی مناسب برای تخصیص ناوگان امداد رسانی به محل حضور مصدومان و افراد نیازمند کمک‌های اولیه اقدام کنند تا در حداقل زمان ممکن، بیشترین توان عملیاتی خود را به ظهور برسانند. بر این اساس، مطالعه حاضر سعی دارد با ارائه یک مدل زمان‌بندی یکپارچه سیستم مدیریتی، برای انتقال افراد بالقوه نیازمند، از محل حادثه به بیمارستان، با حداکثر منفعت ممکن (حداقل زمان اجرای طرح امداد رسانی)، با استفاده از مفهوم زنجیره تأمین (Supply Chain) و نیز به کارگیری یک الگوریتم حل فراابتکاری، قدم مثبتی در حرکت بهینه ناوگان امداد و نجات بردارد. در این زمینه، این پژوهش با تقسیم وظایف امداد رسانی مناطق مختلف یک شهر بین بیمارستان‌ها و مراکز امداد رسانی، به عنوان ارگان‌های اصلی ارائه خدمات درمانی در شهر قزوین، و با در نظرگیری ناوگان‌های تخصیص داده شده به آنها برای امداد رسانی، و نیز به کارگیری فواصل واقعی مناطق مختلف شهر قزوین از این مراکز، درصد بهینه‌سازی زمان لازم برای انتقال مجروحان در شرایط مخاطره به بیمارستان‌های مزبور است که برای تحقق اهداف مورد نظر، ظرفیت ناوگان امداد رسانی نیز در مسئله لحاظ شده است.

مبانی نظری و پیشینه تحقیق

مدیریت زنجیره تأمین از موضوعات مهمی است که تاکنون در حوزه تولید، تحقیقات زیادی درباره آن صورت پذیرفته است. مدیریت زنجیره تأمین را می‌توان وظیفه یکپارچه‌سازی واحدهای سازمانی در طول زنجیره تأمین و هماهنگ‌سازی جریان‌های مواد، اطلاعات و وضعیت مالی، به منظور برآوردن تقاضای مشتری با هدف بهبود رقابت‌پذیری یک زنجیره تأمین تعریف کرد [۳]. ظهور پدیده جهانی‌سازی (Globalization) و هماهنگی (Coordination) در میان مراحل مختلف زنجیره تأمین، به منظور دستیابی به یک سیستم با اثربخشی مطلوب، از موضوع‌هایی است که همزمان مورد توجه بخش صنعت و پژوهشگران دانشگاهی قرار گرفته است.

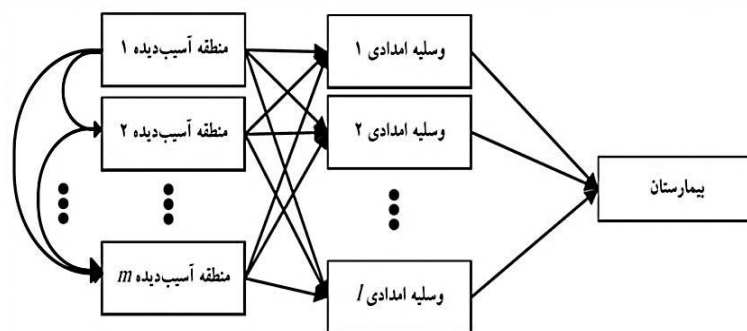
در زمینه مبحث زمان‌بندی در زنجیره تأمین، تاکنون تحقیقات مختلفی صورت پذیرفته است. گو و همکاران یک روش بهبودسازی تکاملی دوسطحی برای برنامه‌ریزی یکپارچه تولید و حمل‌ونقل معرفی کردند [۱۵]. لاشویت و تاینس به بررسی تصمیمات برنامه‌ریزی و زمان‌بندی در زنجیره تأمین صنعت نفت و صنایع شیمیایی پرداختند [۱۶]. ژئو و همکاران، به بررسی مسئله زمان‌بندی در زنجیره تأمین صنایع الکترونیکی با در نظر گرفتن حمل‌ونقل هوایی پرداختند. آنها حالت تأخیر در فرایند مونتاژ را به دلایلی چون خرابی ماشین‌آلات، کمبود مواد و ... در نظر گرفتند و یک الگوریتم اصلاح زمان‌بندی را ارائه کردند [۱۵]. لی و وومر، به بررسی مسئله ترکیب‌بندی زنجیره تأمین با در نظر گرفتن محدودیت منابع پرداختند [۱۷]. ماراویلیس و سانگ به بررسی روش‌های مختلف یکپارچگی برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی پرداختند [۱۸]. زندیه و ملاعلی‌زاده زواردهی، یکپارچگی مسئله زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل هوایی را بررسی کردند. بدین منظور مدل‌های متنوعی به منظور کمینه کردن هزینه کل زنجیره تأمین شامل هزینه‌های حمل‌ونقل، بازه ساخت، هزینه‌های تعجیل و هزینه‌های دیرکرد ارائه شده است [۲۵]. وانگ و چنگ به بررسی زمان‌بندی لجستیک در یک زنجیره تأمین متشکل از یک تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و یک مشتری با هدف کمینه کردن مجموع هزینه‌های موجودی و حمل‌ونقل پرداختند [۲۲]. آنها در مطالعه‌ای دیگر، به بررسی مسئله زمان‌بندی عرضه و تحویل سفارش‌ها با هدف کمینه‌سازی بازه ساخت پرداختند [۲۳]. در مسئله آنها، یک وسیله نقلیه با ظرفیت بارگذاری محدود و زمان حمل ثابت، سفارش‌ها را از انبار تأمین‌کنندگان به کارخانه انتقال می‌دهد. یائو و لیو به تجزیه و تحلیل زمان‌بندی در زنجیره تأمین در حالت تولید انبوه سفارشی پرداختند و یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه برای حل مسئله ارائه کردند [۲۴]. ذگردی و بهشتی‌نیا، یکپارچگی حمل‌ونقل در زنجیره تأمین دومرحله‌ای تک‌کارخانه‌ای را با در نظر گرفتن تخصیص کارها به تأمین‌کنندگان و نیز نواحی جغرافیایی بررسی کردند [۲۷]. ذگردی و همکاران الگوریتم ژنتیک جدیدی را برای یک زنجیره

تأمین دومرحله‌ای تک کارخانه‌ای ارائه دادند. آنها از تأمین‌کنندگانی با سرعت‌های متفاوت و با ناوگان حمل‌ونقل با ظرفیت‌های متفاوت استفاده کردند [۲۶]. آوریخ به بررسی زمان‌بندی بر خط در زنجیره تأمین متشکل از یک کارخانه و چند مشتری با هدف کمینه‌سازی مجموع وزنی جریان کاری سفارش‌ها پرداخت [۱۲]. بهشتی‌نیا و خطیبی تحلیل سه سناریوی مختلف در بهینه‌سازی مصرف انرژی و زمان‌بندی در زنجیره تأمین را بررسی و برای حل مسئله دوهدفه خود از الگوریتم ژنتیک پویا استفاده کردند [۴]. رستمیان دلاور و همکاران یک الگوریتم ژنتیک به‌منظور یکپارچگی زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل هوایی معرفی کردند [۲۰]. ساویک به بررسی ارتباط زمان‌بندی با انتخاب تأمین‌کنندگان در حالت وجود ریسک‌های قطع (Disruption risk) پرداخت و یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط و احتمالی برای مسئله ارائه کرد [۲۱].

با توجه به ماهیت زنجیره تأمین، در سال‌های اخیر استفاده از این مفهوم در مسائل مدیریت بحران، کاربرد فراوان یافته است. فوروتا و تاناکا با مکان‌یابی نقاط انتقال و ایستگاه‌های هلیکوپتر برای امداد رسانی بهتر و سریع‌تر در شرایط مخاطره، دو مدل را با هدف به حداقل رساندن زمان ارائه خدمات و همچنین کمینه‌سازی حداکثر زمان خدمت‌رسانی بررسی کردند [۱۳]. بهشتی‌نیا و مقیمی، مدلی را برای انتقال مصدومان به مراکز درمانی با رویکرد انتقال دومرحله‌ای و حمل‌ونقل اشتراکی معرفی کردند [۵]. امیری و صبوحی، مسئله مسیریابی و زمان‌بندی وسایل حمل‌ونقل برای توزیع کمک‌های امدادی را بررسی کردند [۳]. راس و همکاران یک مدل بهینه‌سازی سه‌هدفه را برای یک مسئله مسیریابی - مکان‌یابی انبار برای امداد رسانی بعد از وقوع حادثه پیشنهاد دادند. در این مسئله، چند ایستگاه وجود دارد که باید در ابتدا مکان‌یابی شوند، سپس متقاضیان به این ایستگاه‌ها تخصیص یابند و در ادامه، مسیریابی به این متقاضیان با ناوگانی از وسایل حمل‌ونقل با ظرفیت یکسان انجام گیرد [۱۹]. جمالی و همکاران به بررسی و حل مسئله امداد رسانی دوسطحی نقاط آسیب‌دیده از بحران با ارائه مدلی پیشنهادی پرداختند. نتیجه آنکه مدل پیشنهادی در مقایسه با دیگر مدل‌های مرتبط نظیر مسئله مسیریابی - مکان‌یابی یک‌سطحی و مسئله تور پوششی در موقعیت امداد رسانی حاکی از عملکرد مناسب‌تر مدل پیشنهادی است [۶]. صفارزاده و همکاران به بررسی تعیین محل بهینه مراکز خدمات درمانی در زمان امداد رسانی با به‌کارگیری مسئله تخصیص مکانی HUB و حل توسط الگوریتم ژنتیک پرداختند. نتایج این تحقیق شامل تعیین محل بهینه مراکز خدمات درمانی با ماهیت کمترین فاصله مصدومان تا آنهاست تا با در نظرگیری تعداد معینی از این مراکز بتوان کمترین فاصله و هزینه را برای این افراد در نظر گرفت [۹].

تعریف مسئله

همان‌طور که پیشتر اشاره شد، این مقاله به بررسی زمان‌بندی ناوگان امداد رسانی برای انتقال مجروحان به بیمارستان در شرایط مخاطره در یک زنجیره تأمین سه‌مرحله‌ای، در شهر قزوین می‌پردازد. مرحله اول شامل مناطق مختلف آسیب‌دیده، مرحله دوم شامل ناوگان امداد و نجات و مرحله سوم شامل یک بیمارستان با توجه به محل قرارگیری منطقه آسیب‌دیده است. در این مسئله، فرض بر این است که سه مرکز امداد رسانی به‌عنوان ارگان‌های اصلی خدمات درمانی در زمان مخاطره فعالیت دارند. همچنین فرض می‌شود عملیات انتقال m مجروح در شرایط مخاطره، در نواحی ترافیکی مختلف شهر قزوین [۸]، توسط l وسیله امداد رسانی ناوگان هر مرکز، صورت می‌پذیرد (شکل ۱). شایان ذکر است که نواحی مختلف، با توجه به محل قرارگیری به یکی از مراکز تخصیص داده شده‌اند و در فرایند امداد رسانی، وسایل امدادی این مراکز با یکدیگر همپوشانی ندارند.

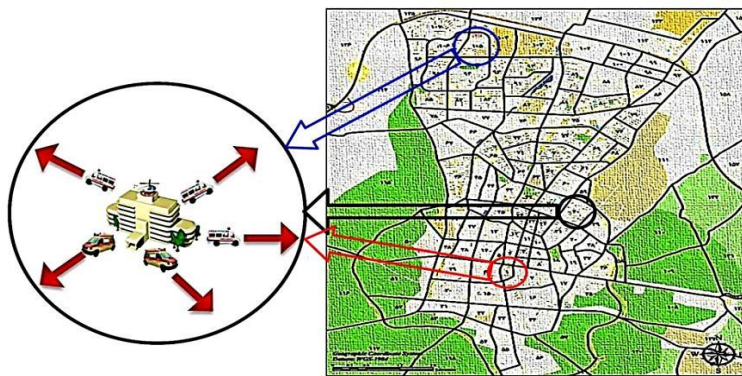


شکل ۱. ساختار زنجیره تأمین در مسئله مورد بررسی برای مرکز امدادی i

وسایل امدادی دارای ظرفیت‌های مختلف محدودی هستند و فرض می‌شود که در شرایط مخاطره کمان‌ها شبکه عملکرد پیشین خود را حفظ کرده و از شبکه خارج نمی‌شوند. از این‌رو فواصل زمانی طی مسیر وسایل امدادی، با توجه به موقعیت مکانی مجروح و با در نظرگیری سرعت متوسط در شرایط اوج ترافیک شهر [۱۰]، به‌صورت نسبی در نظر گرفته شده است. منظور از نسبی در بحث یادشده، فرض در نظرگیری فواصل جغرافیایی امداد رسانی به‌صورت متوسط فاصله موقعیت مجروح در بازه‌های مسافتی ۰ تا ۱، ۱ تا ۲، ۲ تا ۳، ۳ تا ۴، ۴ تا ۵ و بیشتر از ۵ کیلومتر، نسبت به مرکز امداد رسانی مطابق شکل ۲ است. در اینجا فرض بر این است که امداد رسانی اولیه (اقداماتی از قبیل آزادسازی فرد مجروح، کمک‌های اولیه، انتقال مجروح به محلی امن و ...) دارای زمانی تصادفی در بازه ۰ تا ۳۰ دقیقه است و امداد رسانی در مناطق مختلف به‌ترتیب صورت

می‌پذیرد و گروه امدادی حاضر در هر منطقه تا تمام نشدن امدادسانی به یک فرد به‌سراغ فرد بعدی نخواهند رفت. شایان ذکر است که در تمام مراحل انتقال مجروح به بیمارستان، هیچ فردی به دلیل شدت جراحات از مسئله حذف نمی‌شود و مراکز ظرفیت پذیرش تمامی مجروحان را دارا هستند. همچنین فرض شده است که مدت انتقال مجروح به وسیله نقلیه، دارای زمانی ثابت ۵ دقیقه‌ای است که در فرمولاسیون ریاضی، این مقدار به زمان طی مسیر ناوگان اضافه می‌شود. به علاوه، وسایل نقلیه امدادی، پس از انتقال مجروحان به بیمارستان، از مسئله حذف نمی‌شوند و می‌توانند دوباره استفاده شوند. همچنین، زمان رفت و برگشت هر یک از وسایل در مسئله لحاظ می‌شود. با توجه به ظرفیت هر یک از وسایل امدادی، این وسایل می‌توانند یک تا چند مجروح نواحی مختلف را در یک طی مسیر، حمل کنند.

با در نظرگیری فرض‌های ذکر شده، هدف مسئله چگونگی تخصیص و ترتیب امدادسانی به مجروحان توسط وسایل امدادی است، به طوری که حداکثر زمان امدادسانی، کمینه شود.



شکل ۲. نواحی ترافیکی شهر قزوین و موقعیت مراکز امدادسانی در شرایط مخاطره

گری و همکاران [۱۴] نشان دادند که حالت خاصی از مسئله، وقتی که تعداد مکان‌های تولید، وسایل نقلیه و تعداد تأمین‌کنندگان برابر ۱ و حجم سفارش‌ها و ظرفیت وسایل نقلیه هم برابر ۱ باشد، دارای پیچیدگی از نوع NP-hard است. بنابراین پیچیدگی این مسئله نیز حداقل از نوع NP-hard خواهد بود. بنابراین یافتن جواب بهینه در زمان معقول، برای مسئله غیرممکن است. همچنین از آنجا که مسئله مورد بررسی در این تحقیق به نوعی تعمیم مسئله زمان‌بندی ماشین‌های موازی است، همین نتیجه را می‌توان از NP-hard بودن مسئله نیز به دست آورد. در این مقاله برای حل مسئله از یک الگوریتم ژنتیک با کروموزوم‌هایی با ساختار متغیر استفاده می‌شود.

الگوریتم ژنتیک پویا

همان‌گونه که ذکر شد، به‌علت NP-hard بودن مسئله، استفاده از روش‌های دقیق برای حل مسئله در زمان معقول ممکن نیست و باید از روش‌های ابتکاری یا فراابتکاری استفاده کرد. با توجه به ادبیات پژوهش در زمینه زنجیره تأمین مشاهده می‌شود که الگوریتم ژنتیک که الگوریتمی تکاملی است، اقبال بیشتری از دیگر الگوریتم‌ها برای دستیابی به جواب بهینه داشته است. همچنین بنا به ساختار مسئله و نیز سابقه الگوریتم ژنتیک پویا، نویسندگان از این الگوریتم بهره گرفته‌اند [۲۶].

شایان ذکر است که در جزئیات الگوریتم تفاوت‌های زیادی با الگوریتم ژنتیک پویا دیده می‌شود. الگوریتم ژنتیک پویا دارای کروموزوم‌هایی با ساختار متغیر است. ساختار کروموزوم در الگوریتم ژنتیک ارائه‌شده دویعدی است. بعد عمودی نشان‌دهنده مناطق مختلف و وسایل نقلیه امدادی و بعد افقی نشان‌دهنده مجروحان تخصیص‌یافته و ترتیب آنها به هر یک از مناطق و وسایل امدادی است. برای هر یک از مناطق و وسایل امدادی یک رشته آرایه وجود دارد که طول و ترتیب عناصر آن نشان‌دهنده تعداد و ترتیب مجروحان تخصیص‌یافته به آن مناطق یا وسیله است. اگر تعداد مجروحان تخصیص‌یافته به مناطق یا وسیله امدادی کم یا زیاد شود، طول رشته متناظر نیز کم یا زیاد خواهد شد. وجه تمایز الگوریتم ژنتیک پویا نسبت به الگوریتم‌های ژنتیک کلاسیک به این صورت است که در الگوریتم‌های ژنتیک کلاسیک طول کروموزوم‌ها ثابت است، در صورتی که در الگوریتم ژنتیک ارائه‌شده کروموزوم از چند رشته تشکیل شده است که طول آنها متغیر است.

منطقه ۱	۲			
منطقه ۲	۱	۵	۳	
منطقه ۳	۴			
آمیولانس ۱	۳	۵	۲	۴
آمیولانس ۲	۱			

(ب)

منطقه ۱	۲
منطقه ۲	۱→۵→۳
منطقه ۳	۴
آمیولانس ۱	۳→۵→۲→۴
آمیولانس ۲	۱

(الف)

شکل ۳. (الف) مجروحان تخصیص‌یافته و ترتیب آنها، (ب) ساختار کروموزوم در الگوریتم ژنتیک پویا

به‌منظور توضیح بیشتر، فرض کنید پنج مجروح، سه منطقه و دو وسیله امدادی وجود دارند. وسیله امدادی اول قادر به حمل دو محموله و وسیله امدادی دوم قادر به حمل سه محموله است. فرض کنید تخصیص مجروحان به مناطق و وسایل امدادی و همچنین اولویت امدادسانی اولیه و حمل آنها به‌صورت شکل ۳-الف باشد. آن‌گاه ساختار کروموزومی که

بیان‌کننده تخصیص شکل ۳-الف باشد، به صورت نشان داده شده در شکل ۳-ب خواهد بود. در ادامه، سایر پارامترها و عملگرهای این الگوریتم ژنتیک شرح داده می‌شوند.

جمعیت اولیه: اندازه جمعیت اولیه توسط پارامتر $popsiz$ مشخص می‌شود.

تابع شایستگی: تابع شایستگی برای هر کروموزوم برابر با $1/Max(T_{max})$ است که T_{max} از زمان بندی کروموزوم مربوط به دست می‌آید و $Max(T_{max})$ ، بیانگر حداکثر مقدار T_{max} در بین کروموزوم‌های هر نسل جمعیت فعلی است.

عمل تلفیق: در الگوریتم ژنتیک ارائه شده از عملگر تلفیق یکنواخت پارامتری شده (Parameterized Uniform Operator)، استفاده شده است. تعداد عملیات تلفیق در هر تکرار ثابت است و توسط ضریبی از $popsiz$ به نام $percross$ که از پارامترهای الگوریتم ژنتیک است، مشخص می‌شود.

عمل جهش: در الگوریتم ژنتیک ارائه شده ابتدا یک کروموزوم به صورت تصادفی انتخاب می‌شود و عملگرهای جهش معکوس (Reverse) و تعویض (Swap) روی آن اجرا می‌شوند. بعد از هر عمل جهش به زمان بندی کروموزوم حاصل پرداخته می‌شود و مقدار تابع شایستگی آن محاسبه می‌شود. تعداد تکرار عملگر جهش در هر تکرار ثابت است و توسط ضریبی از $popsiz$ به نام $permut$ مشخص می‌شود.

عملگر انتخاب: در هر تکرار جمعیت نهایی پس از اعمال عملگرهای تلفیق و جهش به اندازه $popsiz \times (1 + permut + percross)$ است. برای عملگر انتخاب در این پژوهش ۵۰ درصد از کروموزوم‌های انتخابی برای نسل بعد از عملگر چرخه رولت (Roulette Wheels)، ۲۵ درصد عملگر نخبه‌گرایی (Elitism) و ۲۵ درصد به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند.

معیار توقف: معیار توقف برای الگوریتم به این صورت است که اگر بهترین مقدار تابع شایستگی کروموزوم‌ها در چند نسل متوالی بهبود نیابد، الگوریتم به پایان می‌رسد. تعداد این تکرارهای متوالی توسط پارامتری به نام $termination$ مشخص می‌شود.

نتایج محاسباتی

در این بخش ابتدا مسائل مختلف، با اندازه‌های مختلف، بررسی و سپس به مقایسه و ارزیابی الگوریتم‌های ارائه شده پرداخته می‌شود.

داده‌های حل مسئله

مسئله مورد بررسی دارای پارامترهای مختلفی است که برای برخی از آنها سطوحی چون بالا،

پایین و متوسط در نظر گرفته شده و به پنج دسته تقسیم شده‌اند. این پنج دسته عبارت‌اند از: ۱. تعداد مجروحان، ۲. تعداد مناطق ۳. وسایل امدادی، ۴. ظرفیت وسایل امدادی، ۵. زمان امداد رسانی اولیه. برای پارامتر تعداد مجروحان سه مقدار ۱۰، ۱۰۰ و ۵۰۰، برای تعداد مناطق آسیب‌دیده یک حالت شش منطقه‌ای برای هر مرکز امداد رسانی، برای تعداد وسایل امدادی چهار حالت با توزیع یکنواخت در بازه‌های [۱،۵]، [۵،۱۰]، [۱۰،۲۰] و [۲۰،۴۰]، برای ظرفیت وسایل امدادی سه مقدار ۱، ۲ و ۸، و سه حالت با توزیع یکنواخت در بازه‌های [۱،۱۰]، [۱۰،۲۰] و [۲۰،۳۰] برای زمان امداد رسانی در نظر گرفته شد. از ترکیب سطوح مختلف برای پارامترهای مسئله، ۱۰۸ ($3 \times 3 \times 4 \times 1 \times 3$) نوع مسئله به وجود می‌آید که به صورت تصادفی ایجاد شده‌اند. این ۱۰۸ مسئله با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای هر مرکز امداد رسانی حل شده است. شایان ذکر است که کلیه نتایج به وسیله زبان برنامه‌نویسی *Matlab2015a* به دست آمده است.

ارزیابی نتایج

الگوریتم ژنتیک دارای چهار پارامتر *popsize*، *percross*، *termination* و *permut* است که در این پژوهش به ترتیب مقادیر ۵۰، ۱۰، ۰/۲ و ۰/۰۱ به آنها اختصاص یافته است. به ازای این مقادیر، هر یک از ۱۰۸ مثال تصادفی ایجاد شده، با الگوریتم ژنتیک پویا حل شد که نتایج در جدول ۱ ارائه شده است. به منظور ارزیابی نتایج به دست آمده از این الگوریتم، جواب‌ها با نتایج حاصل از روش جست‌وجوی تصادفی (Random Search) مقایسه شد.

جدول ۱ شامل دو معیار ۱. میانگین جواب‌های به دست آمده از الگوریتم ژنتیک پویا، ۲. میانگین جواب‌های به دست آمده از روش جست‌وجوی تصادفی است. شایان ذکر است که فواصل زمانی طی مسیر وسایل امدادی، با توجه به موقعیت مکانی مجروح در نواحی ترافیکی قزوين [۸] و با در نظر گیری سرعت متوسط در شرایط اوج ترافیک شهر [۱۰]، به صورت نسبی در نظر گرفته شده است. نتایج نشان‌دهنده برتری الگوریتم ژنتیک پویا بر روش جست‌وجوی تصادفی در تمام حالت‌هاست. با بررسی نتایج مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد مجروحان، میانگین جواب‌های به دست آمده از هر دو روش افزایش می‌یابد. افزایش تعداد وسایل نقلیه امدادی بر کاهش زمان امداد رسانی در شرایط مخاطره نیز اثر مثبت دارد. همچنین هنگامی که زمان امداد رسانی اولیه به مجروحان در مرحله اول مسئله کم باشد، میانگین جواب‌ها نیز کاهش می‌یابد. با افزایش ظرفیت حمل هر یک از وسایل نقلیه امدادی نیز میانگین جواب‌ها کاهش می‌یابد [۷].

جدول ۱. مقایسه نتایج از مدل پیشنهادی

مرکز درمانی ۱			مرکز درمانی ۲			مرکز درمانی ۲			تعداد مجروحان (نفر)
۱۰۰۰	۱۰۰	۱۰	۱۰۰۰	۱۰۰	۱۰	۱۰۰۰	۱۰۰	۱۰	
۳۳۲۷	۶۸۱	۶۵/۹۴	۴۳۹۲/۲	۹۹۱/۳	۱۰۲	۳۷۷۲	۷۶۹/۹۵	۸۳/۳۰	*
۴۱۳۷/۷	۸۷۳/۸	۸۰/۶	۵۲۶۴/۱	۱۳۱۹/۴	۱۴۱/۸	۴۶۰۲	۹۶۹/۵۳	۹۶/۱۰	**
تعداد وسایل امدادی			تعداد وسایل امدادی			تعداد وسایل امدادی			*
U[۱۸۱]	U[۲۰۱]	U[۵۱۰]	U[۱۸۱]	U[۲۰۱]	U[۵۱۰]	U[۱۸۱]	U[۲۰۱]	U[۵۱۰]	
۲۴۹۷	۱۶۱۴	۱۰۹۴	۲۸۱۹/۵	۱۹۴۵	۱۴۰۰	۹۶۱	۱۰۹۴	۱۶۱۴	*
۲۸۶۶	۲۱۰۸	۱۴۳۶	۳۳۴۸/۹	۲۷۲۲/۴	۱۵۰۵	۱۱۴۵	۱۴۳۶	۲۱۰۸	**
زمان امداد رسانی (دقیقه)			زمان امداد رسانی (دقیقه)			زمان امداد رسانی (دقیقه)			*
U[۱۰۱]	U[۱۰۳۰]	U[۱۰۳۰]	U[۱۰۱]	U[۱۰۳۰]	U[۱۰۳۰]	U[۱۰۳۰]	U[۱۰۳۰]	U[۱۰۳۰]	
۱۰۹۳	۱۶۳۰	۱۹۰۲	۱۵۰۴/۸	۱۸۶۶/۲	۲۱۱۴/۶	۱۹۰۲	۱۶۳۰	۱۰۹۳	*
۱۴۱۲	۲۰۰۷	۲۲۴۸	۱۸۵۷/۴	۲۲۸۶/۴	۲۵۸۱/۴	۲۲۴۸	۲۰۰۷	۱۴۱۲	**
ظرفیت وسایل امدادی			ظرفیت وسایل امدادی			ظرفیت وسایل امدادی			*
۱	۲	۸	۱	۲	۸	۱	۲	۸	
۲۱۱۵	۱۳۸۸	۱۱۲۱	۲۴۱۵	۱۷۸۶/۲	۱۲۸۴/۴	۱۱۲۱	۱۳۸۸	۲۱۱۵	*
۲۴۴۰	۱۸۶۶	۱۳۶۱	۲۸۸۱/۳	۲۱۵۰	۱۶۹۳/۷	۱۳۶۱	۱۸۶۶	۲۴۴۰	**
نتایج مربوط به کل مسائل تصادفی (دقیقه)			نتایج مربوط به کل مسائل تصادفی (دقیقه)			نتایج مربوط به کل مسائل تصادفی (دقیقه)			*
۱۵۴۱			۱۸۲۸/۵			۱۳۵۸			
۱۸۸۹			۲۳۴۱/۸			۱۶۹۷/۴			**

* میانگین جواب‌های الگوریتم ژنتیک پویا (دقیقه)

** میانگین جواب‌های روش جستجوی تصادفی (دقیقه)

جدول ۲ مقدار بهینه مسئله را برای هر بیمارستان نشان می‌دهد. این مقدار با توجه به تابع هدف مسئله، برابر با حداکثر کمینه زمان تکمیل عملیات امداد و نجات از بین سه بیمارستان است. بزرگ‌ترین عدد مقدار زمان انتقال مجروحان به بیمارستان ۱۸۲۸/۵ دقیقه است. شایان ذکر است که محققان همین مسئله را در حالت یک بیمارستان (مرکز امدادی واقع در ناحیه ترافیکی ۲۰) حل کردند که زمان اتمام امداد رسانی ۳۳۲۴ دقیقه محاسبه شد.

جدول ۲. میانگین جواب بهینه مسئله امداد و نجات شهر قزوین

	بیمارستان سوم	بیمارستان دوم	بیمارستان اول
$MinZ(i)$	۱۳۵۸ دقیقه	۱۸۲۸/۵ دقیقه	۱۵۴۱ دقیقه
جواب بهینه	-	۱۸۲۸/۵ دقیقه	-

نتایج نشان می‌دهد که مدیران می‌توانند با بهره‌گیری از مدل یادشده، در شرایط مخاطره به‌خوبی از زمان محدود در راستای امداد و نجات استفاده کنند تا عملیات امداد و نجات را به بهترین نحو انجام دهند. خاطر نشان می‌شود که این نتایج همیشه درست نیست. به‌عنوان مثال بهشتی‌نیا و مقیمی نشان دادند که لزوماً با افزایش وسایل حمل‌ونقل، زمان امداد رسانی کم نمی‌شود [۱۱].

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر، مقاله‌ای آموزشی- پژوهشی است که همه داده‌های آن از جمله استقرار مراکز درمانی، استقرار وسایل حمل‌ونقل و نقشه شهری قزوین از داده‌های واقعی کدنویسی شده و حتی سرعت میانگین و جابه‌جایی مصدومان با وسایل حمل‌ونقل با داده‌های واقعی محاسبه شده است. آمار ظرفیت و تعداد وسایل نقلیه از مدیریت سازمان هلال احمر و مدیریت مخاطره شهر قزوین دریافت شد. تنها فرضی که در این مسئله مطرح است زمان امداد رسانی اولیه است که آن هم وابسته به شدت حادثه است که به راحتی نمی‌توان عددی دقیق به آن نسبت داد. در این پژوهش با در نظر گیری سه بیمارستان و ناوگان امداد رسانی آن، به‌عنوان ارگان‌های اصلی ارائه خدمات درمانی در شهر قزوین، و نیز به‌کارگیری فواصل واقعی مناطق مختلف این شهر، با استفاده از یک مدل پیشنهادی به بهینه‌سازی زمان لازم برای انتقال مجروحان در شرایط مخاطره به بیمارستان در یک زنجیره تأمین سه‌مرحله‌ای با در نظر گیری ظرفیت ناوگان امداد رسانی به صورت یکپارچگی بین زمان امداد رسانی و حمل مجروحان به مراکز درمانی پرداخته شد. همچنین برای حل مدل به دست آمده، از الگوریتم ژنتیک پویا استفاده شد. نتیجه اصلی تحقیق، بهینه‌سازی زمان بندی امداد و نجات مجروحان در شرایط مخاطره است. برای

بررسی صحت و سقم مدل نتایج با روش جست‌وجوی تصادفی مقایسه شد که نتیجه، نشان‌دهنده برتری قاطع جواب‌هاست. تا حد امکان سعی شد واقعی‌سازی صورت پذیرد. از این‌رو این پژوهش می‌تواند شروع خوبی برای تحقیقات آتی باشد، زیرا تحقیقات کمی در این زمینه انجام گرفته است. نتایج این پژوهش را می‌توان در قالب موارد زیر خلاصه کرد:

با افزایش تعداد مجروحان، میانگین جواب‌های به‌دست‌آمده از هر دو روش افزایش پیدا می‌کند. افزایش تعداد وسایل نقلیه امدادی اثری مثبت بر کاهش زمان امدادرسانی در شرایط مخاطره دارد. هنگامی که زمان امدادرسانی اولیه به مجروحان در مرحله اول مسئله کم باشد، میانگین جواب‌ها نیز کاهش می‌یابد. با افزایش ظرفیت حمل هر یک از وسایل نقلیه امدادی نیز میانگین جواب‌ها کاهش می‌یابد. به‌منظور ارتقای پژوهش حاضر، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، موضوعات زیر لحاظ شود و انجام گیرد.

۱. در نظرگیری اشتراکی بودن وسایل امدادی بیمارستان‌ها؛
۲. بهبود شرایط مدلسازی مسئله؛
۳. در نظر گرفتن حالت‌های متفاوت برای وضعیت مناطق آسیب‌دیده در فرایند حل مسئله؛
۴. بررسی زمان‌بندی امداد و نجات در شرایط مخاطره با در نظرگیری ترافیک ناشی از مسدود شدن کمان یا کمان‌های شبکه؛
۵. بررسی زمان‌بندی امداد و نجات در شرایط مخاطره با استفاده از مکان‌یابی مراکز امدادی سیار؛
۶. تفکیک مراکز درمانی به‌منظور اجرای عملیات درمانی تخصصی؛
۷. اعمال هزینه‌های جانبی در مسئله.

منابع

- [۱]. آراسته، کریم؛ بزرگی امیری، علی؛ جبل‌عاملی، محمدسعید (۱۳۹۴). «مکان‌یابی چندگانه تسهیلات و نقاط انتقال مجروحان در زمان بحران». *مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن*. دوره ۱۲. ش ۱: ۳۱-۲۱.
- [۲]. برزین‌پور، فرناز؛ صفاریان، محسن؛ تیموری، ابراهیم (۱۳۹۳). «الگوریتم فراابتکاری برای حل مدل برنامه‌ریزی چندهدفه مکان‌یابی و تخصیص سه‌سطحی در لجستیک امداد». *مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن*، سال ۱۱، ش ۲: ۵۰-۲۷.

- [۳]. بزرگی امیری، علی؛ صبوحی، فاطمه (۱۳۹۶). «مسیریابی و زمان بندی وسایل حمل و نقل برای توزیع کمک‌های امدادی با در نظر گرفتن تحویل جزئی و انبار چندگانه». *فصلنامه مهندسی حمل و نقل*. دوره ۹. ش ۱. ۱۳۸-۱۲۵.
- [۴]. بهشتی‌نیا، محمدعلی؛ خطیبی، سید امیرمحمد (۱۳۹۶). «تحلیل سه سناریوی مختلف در بهینه‌سازی مصرف انرژی و زمان بندی در زنجیره تأمین». *نشریه مهندسی و مدیریت انرژی*. دوره ۷، ش ۱: ۳۶-۴۷.
- [۵]. بهشتی‌نیا، محمدعلی؛ مقیمی، مصطفی (۱۳۹۶). «بهبود کیفیت انتقال مصدومان هنگام وقوع بلاهای طبیعی از نقاط مختلف جغرافیایی». *فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای انسانی*. دوره ۴۹، ش ۳: ۵۵۱-۵۳۹.
- [۶]. جمالی، حسین؛ بشیری، مهدی؛ توکلی مقدم، رضا (۱۳۹۴). «بررسی و حل مسئله امداد رسانی دوسطحی نقاط آسیب‌دیده از بحران». *دوفصلنامه علمی- پژوهشی مدیریت بحران*. دوره ۴. ش ۲: ۵-۲۲.
- [۷]. خطیبی، سید امیرمحمد؛ مقیمی، مصطفی؛ بهشتی‌نیا، محمدعلی (۱۳۹۵). «برنامه‌ریزی یکپارچگی زمان بندی تولید و حمل و نقل زنجیره تأمین هرمی (با دو سطح تأمین کننده) با استفاده از الگوریتم ژنتیک». *اولین کنفرانس ملی مدل‌ها و تکنیک‌های کمی در مدیریت، تهران*.
- [۸]. شرکت مهندسی آتیه‌ساز و آرمان تردد پارس (۱۳۸۹). *ناحیه بندی مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک*. گزارش طرح جامع حمل و نقل و ترافیک شهر قزوین. شهرداری قزوین.
- [۹]. صفارزاده، محمود؛ الهیاری نیک، اشکان؛ جهانمرد، احسان (۱۳۹۲). «تعیین محل بهینه مراکز خدمات درمانی در زمان امداد رسانی با به کارگیری مسئله تخصیص مکانی HUB و حل توسط الگوریتم ژنتیک». *فصلنامه علمی- ترویجی مهندسی ترافیک*. ش ۵۴: ۵-۱۱.
- [۱۰]. عبدالرزاقی، علیرضا (۱۳۹۵). *مدل سازی پذیرش ریسک راننده قبل از آغاز فاز قرمز*. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برنامه‌ریزی حمل و نقل، دانشکده فنی و مهندسی. دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره).
- [۱۱]. مقیمی، مصطفی؛ بهشتی‌نیا، محمدعلی (۱۳۹۴). *یکپارچگی زمان بندی تولید و حمل و نقل در زنجیره تأمین با در نظر گرفتن چند تأمین کننده و چند سازنده*. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه سمنان.

- [13]. Furuta, T.; Tanaka, K. I. (2013). "Minisum And Minimax Location Models For Helicopter Emergency Medical Service Systems", *Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol. 56: 221-242.
- [14]. Garey, M. R.; Johnson, D. S.; Sethi, R. (1976). "The complexity of flow shop and job shop scheduling", *Mathematics of Operation Research*, Vol. 1: 117-129.
- [15]. Guo, Z.; Yang, J.; Leung, S. Y. S.; Shi, L. (2016). "A bi-level evolutionary optimization approach for integrated production and transportation scheduling", *Applied Soft Computing*, Vol. 42: 215-228.
- [16]. Lasschuit, W.; Thijssen, N. (2004). "Supporting supply chain planning and scheduling decisions in the oil and chemical industry", *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 28(6-7): 863-870.
- [17]. Li, H.; Womer, K. (2008). "Modeling the supply chain configuration problem with resource constraints", *International Journal of Project Management*, Vol. 26, No. 6: 646-654.
- [18]. Maravelias, C. T.; Sung, C. (2009). "Integration of production planning and scheduling: Overview", *challenges and opportunities. Computers & Chemical Engineering*, Vol. 33, No. 12: 1919-1930.
- [19]. Rath, S.; Gutjahr, W. J. (2011). "A Math-Heuristic for the Warehouse Location-Routing Problem in Disaster Relief", *Computers and Operations Research*,
- [20]. Rostamian Delavar, M.; Hajiaghahi-Keshteli, M.; Molla-Alizadeh-Zavardehi, S. (2010). "Genetic algorithms for coordinated scheduling of production and air transportation", *Expert Systems with Applications*, 37(12): 8255-8266.
- [21]. Sawik, T. (2014). "Joint supplier selection and scheduling of customer orders under disruption risks: Single vs. dual sourcing", *Omega*, 43: 83-95.
- [22]. Wang, X.; Cheng, T. C. E. (2009a). "Logistics scheduling to minimize inventory and transport costs", *International Journal of Production Economics*, 121(1): 266-273.
- [23]. Wang, X.; Cheng, T. C. E. (2009b). "Production scheduling with supply and delivery considerations to minimize the makespan", *European Journal of Operational Research*, 194(3): 743-752.
- [24]. Yao, J.; Liu, L. (2009). "Optimization analysis of supply chain scheduling in mass customization", *International Journal of Production Economics*, 117(1): 197-211.
- [25]. Zandieh, M.; Molla-Alizadeh-Zavardehi, S. (2009). "Synchronizing production and air transportation scheduling using mathematical programming models", *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Vol. 230, No. 2: 546-558.
- [26]. Zegordi, S. H.; Abadi, I. N. K.; Nia, M. A. B. (2010). "A novel genetic algorithm for solving production and transportation scheduling in a two-stage supply chain", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 58, No. 3: 373-381.
- [27]. Zegordi, S. H.; Beheshti Nia, M. A. (2009). "A multi-population genetic algorithm for transportation scheduling", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(6): 946-959.