

ارایه یک مدل چندهدفه جهت مکانیابی مراکز توزیع و مسیریابی خودروهای

توزیع خون در شرایط بحران

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: ۹۸/۰۴/۲۵ - پذیرش: ۹۸/۱۰/۰۵

صفحه ۱۶۴-۱۴۷

چکیده

مدیریت فرآورده‌های خونی، یکی از نگرانی‌های مهم بشر است. اگرچه برای یافتن جایگزین‌های مناسبی برای خون تلاش‌هایی شده؛ اما هنوز اهداکنندگان خون، مهم‌ترین منبع تأمین نیاز بیماران هستند. خون یک محصول حساس و فاسدشدنی است؛ علاوه بر این، اندکی تصادفی بودن عرضه و تقاضای آن، می‌تواند بر پیچیدگی این زنجیره و دشوار کردن مدیریت آن بویژه در شرایط زلزله بیافزاید زیرا کمبود آن موجب مرگ انسان می‌گردد و مازاد آن پذیرفته نیست. بنابراین در این مقاله یک مدل ریاضی جهت مکانیابی پایگاه‌های توزیع خون به‌همراه مسیریابی خودروهای حمل در شرایط زلزله ارائه شده است. اهداف در نظر گرفته شده شامل کمینه کردن کمبود خون، بیشینه کردن رضایت‌مندی افراد آسیب‌دیده و کمینه کردن هزینه‌های حمل و نقل و مکانیابی می‌باشد. در نظر گرفتن حالت عدم قطعیت سناریویی به‌همراه، ریسک اختلال و رضایت افراد آسیب‌دیده از جمله نوآوری‌های این پژوهش بشمار می‌آید. مدل پیشنهادی در ابعاد کوچک و متوسط با الگوریتم محدودیت افسیلون و برای مطالعه موردی (منطقه ۷ شهر تهران) با الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب حل شده است. نتایج تحلیل بیانگر کمینه شدن خطای تخمین در رویکرد ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب هست و همچنین با افزایش تقاضا تعداد مراکز توزیع تاسیس شده افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: مسیریابی، مکانیابی، زنجیره تامین خون، رضایت مجروحین، پنجره زمانی

۱- مقدمه

صورت گیرد (Davoodi and Goli, 2019). مدیریت خون بعنوان یک مسئله ویژه همواره با نگرانی‌هایی مواجه هست. مهم‌ترین دلایل برای نیاز به این منبع ضروری، نقش حیاتی آن در زندگی انسان، عدم وجود جایگزین مناسب برای آن و محدودیت زمانی در نگهداری فرآورده‌های خونی می‌باشد (Pirabán, Guerrero and Labadie, 2019). افزایش سریع و پویا در تقاضای فرآورده‌های خونی و محدودیت‌های ذخیره‌سازی و حمل و نقل، امر توزیع خون

یکی از فازهای مهم مدیریت بحران، فاز پاسخ‌گویی بوده و از جمله اقدامات مهم در این فاز، توزیع امداد و تخلیه قربانیان و مجروحین می‌باشد (Noham and Tzur, 2018). مجروحین باید از مناطق 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

اختلال در پایگاه‌ها سرویس رسانی از طریق یک پایگاه اضطراری صورت می‌گیرد که سرویس‌گیری از این پایگاه جریمه‌ای را به مدل تحمیل خواهد کرد و هدف دیگر مساله کمینه کردن میزان جریمه است. بنابراین به طور کلی هدف مساله کمینه کردن هزینه‌ها شامل هزینه‌های ثابت، هزینه مورد انتظار مسیریابی و جریمه‌ها هستند. همچنین تقاضای مرکز خون در هر دوره زمانی مشخص است. و تعداد خودروهای آماده به سرویس در مرکز خون مشخص و خودروها دارای ظرفیت معلوم هستند. خودروهای مذکور از مرکز خون شروع به حرکت می‌کنند و در پایان به مرکز باز می‌گردند. علاوه بر این ویزیت‌های متوالی از یک مکان مجاز نیست. اگر یک خودرو یک مکان را در یک دوره ملاقات نمود، تا دوره بعد اجازه ورود به آن مکان را ندارد. در نهایت در نظر گرفتن فسادپذیری خون، طول هر دوره کوتاه تر از طول عمر خون است. بنابراین، در این پژوهش یک مدل سه هدفه جهت طراحی این زنجیره ارایه می‌گردد. به همین منظور در این پژوهش، به دنبال آن هستیم که یک مدل ریاضی جهت تصمیم‌گیری در انتخاب نقاط ایجاد تسهیلات و همچنین بهترین مسیر برای حداقل‌سازی مسیر طی شده توسط خودروهای خون ارایه نماییم.

۲- پیشنهاد تحقیق

معمدی و همکاران (Motamedi et al., 2018) یک مدل عدد صحیح مختلط غیر خطی جهت کاهش هزینه‌ها و افزایش قابلیت اطمینان در زنجیره تامین خون ارائه نمودند. مدل پیشنهادی خون ارسال شده به بیمارستان، میزان تولید محصول در مرکز خون، تعداد مراکز جمع‌آوری شده از اهداکنندگان، تعداد مراکز جمع‌آوری، میزان موجودی محصول در هر مرکز و بیمارستان را با هدف کاهش هزینه و افزایش قابلیت اطمینان تعیین می‌نماید. با توجه به غیر خطی بودن مدل پیشنهادی با استفاده از حل کننده Baron حل شده است. شیبانی و زرین‌پور (Sheibani and Zarrinpoor, 2019) یک مدل چند سطحی و چند دوره‌ای در زنجیره تامین خون ارایه نمودند. مدل ریاضی پیشنهادی شامل سطح تامین، فرآوری و توزیع خون می‌باشد. همچنین در این مدل تقاضای خون و ظرفیت تسهیلات ارایه‌دهنده خدمات غیرقطعی در نظر گرفته شده است. جهت

را دشوارتر می‌سازد (Hosseini-Motlagh, Ghatreh-Samani and Cheraghi, 2019). همچنین از آنجایی که تأمین خون توسط اهداکنندگان به صورت نامنظم بوده و تقاضا برای محصولات خونی به صورت تصادفی می‌باشد و با عنایت به اینکه خون یک محصول فسادپذیر بشمار می‌آید، موضوع مدیریت تأمین خون را پیچیده‌تر می‌سازد (Dehghani, Abbasi, and Oliveira, 2019). اگر محصولات مناسب خون در زمان مناسب در بیمارستان‌ها در دسترس نباشد، منجر به افزایش زمان بستری شدن بیماران، افزایش هزینه‌ها و نیز افزایش میزان مرگ و میر در جامعه می‌گردد (Alfredo and Georges, 2018). همچنین یکی از عواملی که سبب تأخیر در تحویل بموقع خون به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی می‌گردد، مسافت زیاد بین ایستگاه‌های خون و مراکز درمانی و تخصیص نامناسب مسیرها هست (Ghatreh-Samani, Hosseini-Motlagh and Ghannadpour, 2019) یک زنجیره تامین همواره ممکن است در معرض خطر یا ریسک قرار بگیرد. بطور مثال بلایای طبیعی مانند زلزله، جنگ‌ها و حملات تروریستی و... می‌تواند از جمله این ریسک‌ها باشند (Rajendran and Ravindran, 2019). بنابراین تصمیم‌گیرندگان همواره باید برای پاسخگویی به این ریسک جهت حذف اثرات نامطلوب آمادگی لازم را داشته باشند (Heidari-Fathian and Pasandideh, 2018). در اکثر پژوهش‌هایی که به مسیریابی و مکانیابی در زنجیره تامین پرداخته شده فرض بر آن است که تسهیلات سالم و در دسترس هستند اما در زمانی که ریسک اختلال صورت گیرد، ساختار زنجیره تغییر خواهد کرد و زنجیره‌های کنونی در این حالت کارا نمی‌باشند. در نتیجه زنجیره‌ها باید بگونه‌ای طراحی شوند که در هنگام وقوع اختلال کارا باشند. از جمله مصادیق اختلال می‌تواند در دسترس نبودن تسهیلات توزیع، انبار، تولید و یا اختلال موجود در حمل و نقل ناشی از وقایع غیره منظره طبیعی یا بشری باشد. از جمله پیامدهای اختلال، هزینه‌های ازدست‌رفته، کاهش سهم بازار و جریمه قراردادهای بسته‌شده در زنجیره تامین هستند. هدف این مقاله تعیین مکان بهینه پایگاه‌های خون در طول دوره زمانی مشخص شده، مکان مراکز توزیع و مسیریابی وسایل نقلیه بهینه و همچنین تخصیص اهداکنندگان به این پایگاه‌ها و خودروها در شرایط زلزله می‌باشد. همچنین در صورت بروز

مراکز خون منطقه‌ای و تخصیص نقاط تقاضا به مراکز خون انجام می‌پذیرد. در مرحله دوم حداقل تعداد مراکز خون که تمام نقاط تقاضا را پوشش می‌دهد در نظر گرفته می‌شود و در آخرین مرحله اندازه واحدهای سیار با استفاده از مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح محاسبه می‌شود. شیشه‌بری و ساریخانی (Shishebori and Sarikhani, 2019) یک مدل یکپارچه مکانیابی - مقاوم‌سازی معرفی کرده‌اند که با در نظر گرفتن شرایط بحران و از کار افتادگی تسهیلات، مکان‌های مناسب جهت استقرار بیمارستان‌های جدید را تعیین و به طور همزمان تعدادی از بیمارستان‌های موجود را جهت مقاوم‌سازی انتخاب می‌نماید. برای حل مدل از روش اسپیلون محدودیت و الگوریتم فراباکاری NSGA-III استفاده نموده‌اند. 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. اکان و ایکی جی (Okan and Ekici, 2018) تصمیم‌گیری برای مکانیابی تسهیلات را در بحران‌های ناگهانی در نظر گرفتند و مدلی که در آن مکان و تعداد مراکز توزیع در یک شبکه امداد مشخص می‌شود را توسعه دادند. آنها یک مدل مکانیابی ماکزیم پوشش که مکانیابی تسهیلات و تصمیمات موجودی را ادغام می‌کند به کار بردند. مدل آنها چند کالایی با در نظر گرفتن محدودیت بودجه و ظرفیت بود و هدف آن ماکزیم کردن حداکثر پوشش تقاضا به وسیله مراکز توزیع تعیین شده بود. آنها با یک سری آزمایشات محاسباتی در نهایت نشان دادند که مدلشان در مسائل واقعی به ویژه در زمینه‌های زمان پاسخ‌گویی و رضایت نقاط تقاضا کاربرد قابل قبولی دارد. آندرس و همکاران (Andres et al., 2017) مکانیابی برای کالاهای اورژانسی در حالت عدم قطعیت را در نظر گرفته و یک مدل برنامه‌ریزی غیرقطعی عدد صحیح مختلط دو مرحله‌ای که گسترش یافته مدل مقاله قبلیشان در سال ۲۰۰۹ بود را ارائه نمودند. در مرحله اول تصمیم‌گیری،

مقابله با عدم قطعیت مدل نیز از رویکرد برنامه‌ریزی فازی شانس استفاده شده است. نتایج نیز بیانگر عملکرد قابل قبول مدل پیشنهادی هست. فلفلیان، ابویی و محمدیان (Felfelani, Abouei-ardekan and Mohammadi, 2018) به طراحی زنجیره تامین خون در سطح استراتژیک پرداختند. برای این امر یک مدل دو هدفه با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان زنجیره تامین ارائه شده است. هدف اول کمینه‌سازی هزینه‌ها، تابع هدف دوم بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان زنجیره تامین است که به صورت یک سیستم سری موازی بررسی شده است. مدل پیشنهادی با رویکرد اجتماع ذرات حل شده است و نتایج بیانگر اثر مطلوب مدل پیشنهادی می‌باشد. 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. حسینینزاد 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 مرتب‌سازی نامغلوب نسخه دوم (NSGA-II) برای حل مدل استفاده نموده‌اند. گیلانی‌لارمی و یعقوبی (Gilani-Larimi and Yaghoobi, 2019) به مطالعه مسئله کنترل مسیریابی و تخصیص مراکز خون ناحیه‌ای پرداختند و آنها از رویکرد سلسله‌مراتبی دو سطحی برای سیستم زنجیره تامین خون استفاده کردند که در آن مراکز خون منطقه‌ای در سطح یک و مراکز خون، پایگاه‌های خون و واحدهای سیار خون در سطح دو قرار می‌گیرند. آنها از یک روش سه مرحله‌ای با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی بهره بردند که تخصیص مراکز خون به

سیاست‌های موجودی ده مرکز توزیع خون منطقه ی در کانادا استفاده کرده‌اند. روش‌های بهینه‌سازی خطی برای شناسایی سیاست بهینه موجودی عرضه کننده / مصرف کننده کالا با استفاده از سطوح پاسخ تولید شده توسط شبیه‌سازی، به کار گرفته شده است. در نهایت آنها نتیجه‌گیری کردند که یک چارچوب مدل‌سازی کلی می‌تواند برای زنجیره تامین خون منطقه‌ای مفید باشد.

کورینا، ناونیل و سامر (Korina, Navonil and Sameer, 2014) یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط احتمالی (SMIP)^۲ دو مرحله‌ای را برای مکانیابی کالاهای ضروری در پاسخ‌گویی بلایا ارائه نمودند. هدف مدل حداقل‌سازی کل هزینه‌های انتظاری سناریوها می‌باشد. برای غلبه بر پیچیدگی محاسبات، یک الگوریتم هیوریستیک تحت عنوان روش L شکل لاگرانژ (LLSM)^۳ ارائه شد. خطر وقوع طوفان در مناطق ساحلی خلیج ایالات متحده، به عنوان مطالعه موردی کاربرد روش را نشان می‌دهد. باتوجه به مطالعه مرور ادبیات نوآوری‌های مقاله به شرح زیر می‌باشد:

طراحی یک مدل ریاضی برای مسیریابی خودروهای خون (در دو سطح: از خودروهای موقت به پایگاه‌های اصلی و از پایگاه‌ها به بیمارستان‌ها)

-در نظر گرفتن پنجره زمانی برای فساد خون جهت امدادسانی

-در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت خودروهای خون

-در نظر گرفتن ریسک اختلال در زنجیره تامین

-ظرفیت هر یال بر حسب تعداد وسیله‌های عبوری از آن تعیین می‌شوند و ایجاد اختلال در مسیر به معنی کم شدن ظرفیت هر یال برای تعداد وسایل عبوری از آن می‌باشد.

-در نظر گرفتن حالت عدم قطعیت بصورت سناریوهای مختلف

-در نظر گرفتن افزایش رضایت مشتری (افراد آسیب دیده)

-ارائه یک مطالعه موردی واقعی جهت بررسی دقت و

صحت مدل پیشنهادی

۳- مدل‌سازی ریاضی

مفروضات اصلی مساله به شرح ذیل می‌باشد:

-تقاضای مرکز خون در هر دوره زمانی مشخص است.

-تعداد خودروهای آماده به سرویس در مرکز خون مشخص

مکانیابی و ظرفیت مراکز انبارش موجودی و در مرحله دوم جریان کالاها در شبکه تعیین می‌شود. مدل شامل محدودیت کیفیت به صورتی است که متوسط فاصله حمل و نقل از مقدار خاصی فراتر نمی‌رود. برای ارزیابی کارایی مدل طوفان جنوب شرقی ایالات متحده به عنوان مطالعه موردی انتخاب شد. رمضانیان و بهبودی (Ramezani and Behboodi, 2017) یک مدل مکانیابی مرکز استوار را جهت مکانیابی مراکز توزیع امداد اضطراری در مجموعه‌ای از مکان‌های کاندید ارائه نمودند. در این مدل، زمان سفر بین مناطق آسیب‌دیده و مراکز توزیع به صورت غیر قطعی در نظر گرفته شده و با استفاده از بازه‌های ثابت به جای توزیع‌های احتمال بیان شد. در مدل ارائه شده، هدف حداقل نمودن حداکثر زمان سفر میان مراکز توزیع و مناطق حادثه- دیده است. برای حل مدل، یک الگوریتم ابتکاری ارائه و برای یک مطالعه موردی در دنیای واقعی بکار گرفته شد. فضلی‌خلف، خلیل‌پورآذری و محمدی (Fazli-Khalaf, Khalilpourazari and Mohammadi, 2017) به بررسی مدلی پرداختند که در آن مکانیابی مراکز توزیع اقماری مطرح شده بود. از آنجایی که پس از وقوع بلایا امکان حضور تیم‌های امدادی در تمام خانه‌ها فراهم نیست. بنابراین وجود چنین مراکزی که خود از یک انبار مرکزی تغذیه می‌شوند بررسی شد. این مراکز اقماری به گونه ای بود که به صورت پیاده قابل دسترسی هستند. آنها مدل را به صورت مسئله پوشش در آوردند و یک ایده تحویل قسمت به قسمت معرفی کردند و از یک رویکرد ابتکاری مؤثر برای حل آن استفاده کردند. برای مسائل کوچک با استفاده از روش‌های دقیق ریاضی و برای مسائل بزرگتر با استفاده از الگوریتم هیوریستیک حل شد.

سیولک، کاریزمن و اسکالر-ولف (Civelek, Karaesmen and Scheller-Wolf, 2015) یک سیستم موجودی گسسته- زمان را برای پلاکت خون در نظر گرفتند که در آن تقاضا در سنین مختلف برای محصول وجود دارد. مدل آنها علاوه بر هزینه‌های کلاسیک برای نگهداری موجودی، اتلاف و کمبود، شامل هزینه تعویض (عدم تطابق) نیز هست این نوع هزینه زمانی وارد می‌شود که تقاضا برای یک کالای با سن خاص توسط کالایی با سن متفاوت برقرار شود. بلک و هاردی (Blake and Hardy, 2015) از یک روش مبتنی بر شبیه‌سازی برای ارزیابی

و خودروها دارای ظرفیت معلوم هستند.

-خودروها از مرکز خون شروع به حرکت می کنند و در پایان به مرکز باز می گردند.

-ویزیت های متوالی از یک مکان مجاز نیست. اگر یک خودرو یک مکان را در یک دوره ملاقات نمود، تا دوره بعد اجازه ورود به آن مکان را ندارد.

-برای خون، دوره زمانی مشخصی در نظر گرفته شده است و پس از آن زمان قابل استفاده نیست.

با توجه به مفروضات مطرح شده، اندیس های مدل عبارتند از:

اندیس ها:

$i \in I$ نقاط تامین (بیمارستان ها)

$j \in J$ مراکز توزیع خون

$k \in K$ نقاط تقاضا

$p \in P$ مسیرها

$b \in B$ خودرو ها

$t \in T$ دوره زمانی

S سناریو

پارامترها:

S_{js} هزینه برپاسازی مرکز توزیع خون J در سناریوی S

d_{kts} مقدار خون مورد نیاز در نقطه تقاضای k در دوره t در سناریوی S

I_{its} مقدار خون ذخیره شده در نقطه تامین i در دوره t در سناریوی S

r_{js} احتمال خرابی مرکز توزیع J در سناریوی S

$f_{c_{ijs}}$ هزینه انتقال هر واحد خون از نقطه تامین i به مرکز توزیع J در سناریوی S

$t_{c_{jks}}$ هزینه انتقال هر واحد کالا از مرکز توزیع خون J به نقطه تقاضای k در سناریوی S

SC_{kbs} هزینه تاسیس مکان بالقوه خودرو سیار b ام در نقطه k در سناریوی S

π_{ks} جریمه کمبود هر واحد خون در نقطه تقاضای k در سناریوی S

M_{ijs} کل ظرفیت استفاده شده وسیله نقلیه از نقطه تامین i به مرکز توزیع خون J در سناریوی S

G_{jks} کل ظرفیت استفاده شده وسیله نقلیه از مرکز توزیع خون J به نقطه آسیب دیده k در سناریوی S

t_{ij} فاصله زمانی بین نقاط i و j

t'_{jk} فاصله زمانی بین نقاط j و k

$t''_{kk'}$ فاصله زمانی بین نقاط k و k'

T حداکثر زمان مصرف (فساد) خون

n تعداد کل مشتریان

M یک عدد بزرگ

متغیرها:

x_{jts} اگر مرکز توزیع خون J جهت باز شدن در دوره

t و سناریوی S انتخاب شود برابر ۱ و در غیر

این صورت صفر.

P_{kbs} اگر مکان بالقوه خودروی سیار b ام در نقطه k

در سناریوی S انتخاب شود ۱ در غیر این

صورت صفر.

y_{ijts}^b اگر با خودروی b از نقطه i به نقطه j در دوره t و

Z_{ijts} مقدار خون منتقل شده از نقطه تامین i به مرکز

توزیع خون J در دوره t در سناریوی S .

$u_{bk'kts}$ اگر خودروی b بلافاصله بعد از گره k' به گره

k در سناریوی S و دوره t برود ۱ در غیر این

صورت صفر.

w_{jkts} مقدار خون منتقل شده از مرکز توزیع خون J به

ناحیه آسیب دیده k در دوره t و در سناریوی S .

سناریوی S رفته شود ۱ در غیر این صورت صفر. سناریوی S رفته شود ۱ در غیر این صورت صفر.
 متغیر کمکی حذف زیر تور μ_{kt}^b اگر با خودروی b از نقطه j به نقطه k در دوره t و y'_{jkts}^b
 سناریوی S رفته شود ۱ در غیر این صورت صفر.

تابع اهداف:

$$\min f_1 = \sum_{kts} \pi_{ks} (d_{kts} - \sum_j w_{jkts}) \quad (1)$$

$$\equiv \min f_1 = \sum_{k,t,s} \pi_{ks} (d_{kts}) - \sum_{k,s} \pi_{ks} (\sum_{j,k,t,s} w_{jkts})$$

$$\max f_2 = \sum \min_{kts} \left\{ \frac{\sum_j w_{jkts}}{d_{kts}} \right\} \quad (2)$$

$$\min f_3 = \sum_{jts} s_{js} x_{jts} (1-r_{js}) + \sum_{i,j,t,s} f c_{ijs} z_{ijts} + \sum_{j,k,t,s} t c_{jks} w_{jkts} + \sum_{b,k,s} s c_{kbs} P_{kbs} \quad (3)$$

محدودیت‌ها:

$$\sum_{j,k,t,s} w_{jkts} \leq \min \{ \sum_{k,t,s} d_{kts}, \sum_{i,t,s} I_{its} \} \cong \lambda \quad (4)$$

$$\sum_{j,k} w_{jkts} \leq \lambda \quad \forall t,s \quad (5)$$

$$\lambda \leq \sum_k d_{kts} \quad \forall t,s \quad (6)$$

$$\lambda \leq \sum_i I_{its} \quad \forall t,s \quad (7)$$

$$\sum_i z_{ijts} = \sum_k w_{jkts} \quad \forall j,t,s \quad (8)$$

$$\sum_j z_{ijts} \leq I_{its} \quad \forall i,t,s \quad (9)$$

$$\sum_j w_{jkts} \leq d_{kts} \quad \forall k,t \quad (10)$$

$$z_{ijts} \leq M_{ijs} x_{jts} (1-r_{js}) \quad \forall i,j,t,s \quad (11)$$

$$w_{jkts} \leq G_{jks} x_{jts} (1-r_{js}) \quad \forall j,k,t,s \quad (12)$$

$$z_{pkts} + z_{p+1,k',ts} \leq u_{bk'kts} + 1, \quad \forall k',b,p,k,k' \text{ and } k \in I,J,t \text{ and } s \quad (13)$$

$$\sum_{i,j} t_{ij} y'_{ijts} + \sum_{k,j} t'_{jk} y'_{jkts} + \sum_{k,k} t''_{k,k} u_{bk'kts} \leq T \quad \forall b,t,s \quad (14)$$

$$z_{ijts} \leq M \cdot y'_{ijts} \quad \forall i,j,b,t,s \quad (15)$$

$$w_{jkts} \leq M \cdot y'_{jkts} \quad \forall j,k,b,t,s \quad (16)$$

$$\mu_{kt}^b - \mu_{k't}^b + (n-1) u_{bk'kts} \leq n-2 \quad \forall k,b,t,s \quad (17)$$

$$w_{jkts}, z_{ijts} \geq 0 \quad \forall j,k,t,s \quad (18)$$

$$x_{jts}, y'_{jkts}, y'_{ijts}, u_{bk'kts} \in \{0,1\} \quad \forall j,t,s \quad (19)$$

هدف ۳ در تلاش است تا مجموع هزینه‌های راه‌اندازی، هزینه‌های حمل و نقل از نقاط تامین به مراکز توزیع خون و هزینه حمل و نقل از مراکز توزیع خون به نقاط تقاضا را کمینه سازد. محدودیت‌های (۴) تا (۷) به این معنا هستند که

در واقع این تحقیق شامل ۳ هدف می‌باشد، که هدف ۱ کمبود کالاهای مورد نیاز را کمینه می‌کند. هدف ۲ در تلاش است تا رضایت‌مندی در نقاط تقاضا از طریق بیشینه‌سازی مجموع کمترین درصد پوشش در نقاط تقاضا، بیشینه شود.

$$\begin{aligned} \min_{x \in \Omega} F_p(x) \\ \text{subject to } F_i(x) \leq \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, m \quad i \\ \neq p \end{aligned} \quad (20)$$

این روش قادر به شناسایی تعدادی از راه حل‌های غیر تحتانی در یک مرز غیر محدب بوده که با استفاده از روش مجموع وزنی قابل حصول نیست.

۴-۲ رویکرد ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب

هالند برای اولین بار در سال ۱۹۷۵ الگوریتم ژنتیک را که گونه‌ای از الگوریتم‌های تکاملی است را ارائه کردند. این الگوریتم روش جستجو بر مبنای ساختار ژن‌ها و کروموزوم‌ها است که در زمره روش‌های جستجوی تصادفی قرار دارد و در عین تصادفی بودن دارای ساختار هدف‌گرا است. الگوریتم‌های بهینه‌سازی هوشمند، تقریباً روند مشابهی را برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه دنبال می‌کنند. این الگوریتم مسئله را همان طوری که تعریف شده است حل می‌نماید و هدف آن تبدیل مسئله به یک مسئله تک هدفه نیست. نحوه حل مسئله توسط این الگوریتم نیاز به یکسری عناصر دارد، که یکی از آن‌ها بایگانی یا آرشیو جواب‌های موجه می‌باشد (Deb et al., 2002). از سوی دیگر چون حافظه رایانه محدود می‌باشد نمی‌توان اجازه داد تا تعداد بایگانی به هر اندازه که می‌خواهد بزرگ شود. در نتیجه یک مکانیزم کنترل اندازه آرشیو لازم است تا تعداد جواب‌های بایگانی شده را کنترل نماید. چنانچه این دو قابلیت ذکر شده در کنار قابلیت جستجو قرار بگیرد یک الگوریتم بهینه‌سازی هوشمند خواهیم داشت. برخی از کروموزوم‌های طراحی شده برای حل مدل بصورت زیر هستند. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌گردد تمامی کروموزوم‌ها چند بعدی می‌باشند. بعنوان مثال کروموزوم ۱ مربوط به متغیر Z_{ijts} هست و دارای چهار بعد است. اعداد درون آله‌ها نشان دهنده مقدار کالای منتقل شده از نقطه تامین i به مرکز توزیع خون j در دوره t در سناریوی S هست. کروموزوم ۲ مربوط به متغیر W_{jks} بوده و اعداد درون آله‌ها بیانگر مقدار کالای منتقل شده از مرکز توزیع خون j به ناحیه آسیب دیده k در دوره t و در سناریوی S هست. کروموزوم‌های ۳ و ۴ نیز به ترتیب برای متغیرهای X_{js} و P_{kbs} بوده و بترتیب بیانگر تاسیس مرکز توزیع و تاسیس مرکز سیار خون می‌باشد.

به کالاهای اجازه داده نمی‌شوند، بیکار باشند و می‌بایست ارسال شوند و همچنین نمی‌توان کالایی که وجود ندارد را فرستاد. محدودیت (۸) معادله تعادل جریان برای هر کالا در هر مرکز توزیع خون را نشان می‌دهد و تضمین می‌کند که کل کالاهایی که به یک مرکز توزیع خون وارد می‌شوند، از آن خارج خواهند شد. محدودیت (۹) بدین معنا است که کل کالاهای در دسترس در نقاط تامین، قابل ارسال به مراکز توزیع خون هستند. محدودیت (۱۰) از ارسال کالای اضافی به نقاط تقاضا جلوگیری می‌کند. محدودیت‌های (۱۱) و (۱۲) از ورود و خروج کالا به مرکز توزیع خون که راه‌اندازی نشده‌اند، جلوگیری می‌کند و اگر مرکز توزیع خون راه‌اندازی شده باشد نباید از کل ظرفیت استفاده شده وسیله نقلیه به آن مرکز توزیع خون بیشتر باشد.

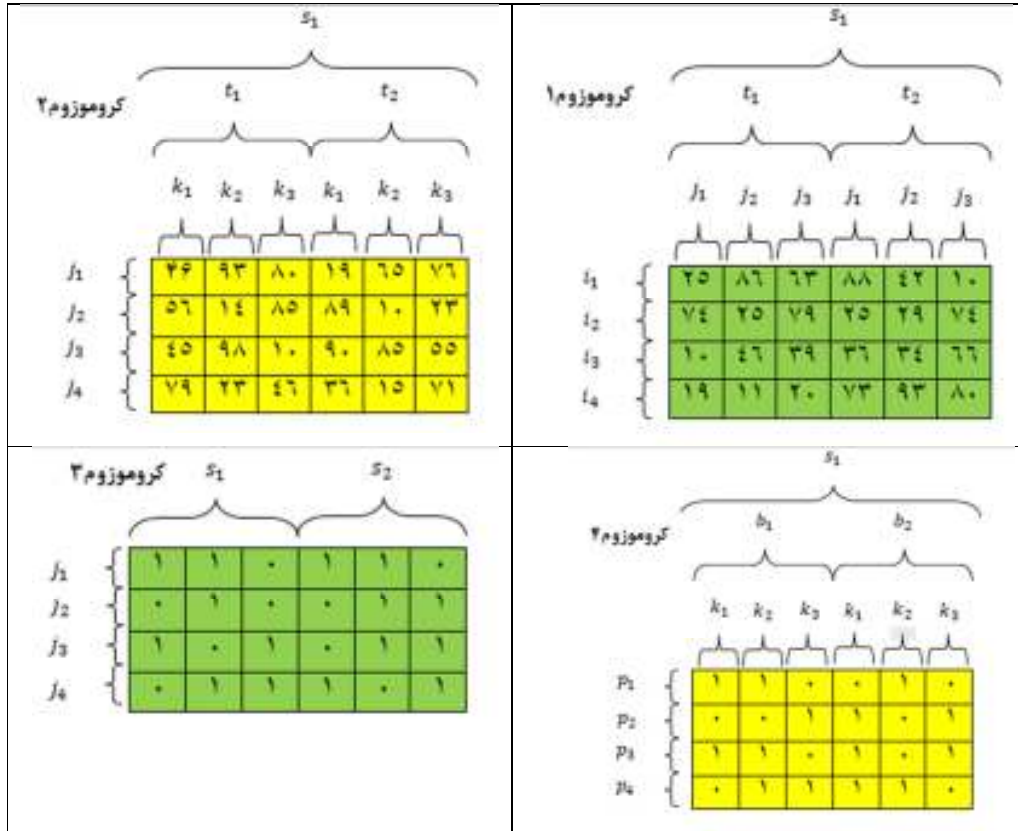
محدودیت (۱۳) تضمین می‌کند اگر خودروی b در p امین مسیر خود به گره k برود و در $p+1$ مسیر خود به گره k' برود آن گاه متغیر $u_{bk'kts}$ مقدار یک خواهد گرفت. محدودیت (۱۴) مربوط به پنجره زمانی فساد خون می‌باشد. محدودیت‌های (۱۵) و (۱۶) مربوط به مقدار خون حمل شده و تخصیص آن به خودروها می‌باشد. محدودیت (۱۷) محدودیت حذف زیرتور می‌باشد. محدودیت‌های (۱۸) تا (۱۹) محدودیت‌های غیر منفی بودن و صفر و یک بودن متغیرها است.

۴-۳ رویکردهای حل

در این مقاله از روش‌های محدودیت اسپیلون در ابعاد کوچک و متوسط و روش ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب برای حل مطالعه موردی در ابعاد بزرگ استفاده می‌گردد. الگوریتم‌های حل در لپ تاپی با ۱۶ گیگ حافظه جانبی و در ویندوز ۸ و ۶۴ بیتی اجرا شده است.

۴-۱ رویکرد محدودیت اسپیلون

روش محدودیت اسپیلون یکی از روش‌های دقیق حل برنامه‌ریزی چندهدفه بوده که بر برخی از مشکلات تحذب روش مجموع وزنی که پایه‌ای‌ترین روش حل این‌گونه مسائل است، غلبه می‌کند. این روش شامل بهینه نمودن یک تابع هدف اصلی (F_p) و بیان اهداف دیگر در فرم محدودیت‌های نامساوی هست (Mavrotas, 2009).



شکل ۱. نمایش کروموزوم ها

الگوریتم نتیجه ۱۰۰ آزمایش طراحی شده برای این مسئله را نشان می‌دهد که در هر آزمایش پارامترهای الگوریتم تغییر کرده و متقابلاً نتایج حاصل از آن نیز تغییر می‌کند. شکل ۴ نتایج رویکرد تاگوچی را برای تخمین پارامترها نشان می‌دهد.

| | | | | | | |
|--------|----|-----|-----|----|-----|----|
| والد۱ | ۷۸ | ۳۳۱ | ۱۱ | ۲۵ | ۱۰۶ | ۸۵ |
| والد۲ | ۲۵ | ۱۷۵ | ۳۳۱ | ۷۶ | ۲۰۰ | ۶۶ |
| فرزند۱ | ۷۸ | ۳۳۱ | ۱۱ | ۲۵ | ۱۰۶ | ۸۵ |
| فرزند۲ | ۲۵ | ۱۷۵ | ۳۳۱ | ۷۶ | ۲۰۰ | ۶۶ |

شکل ۲. نمایش عملگر تقاطع

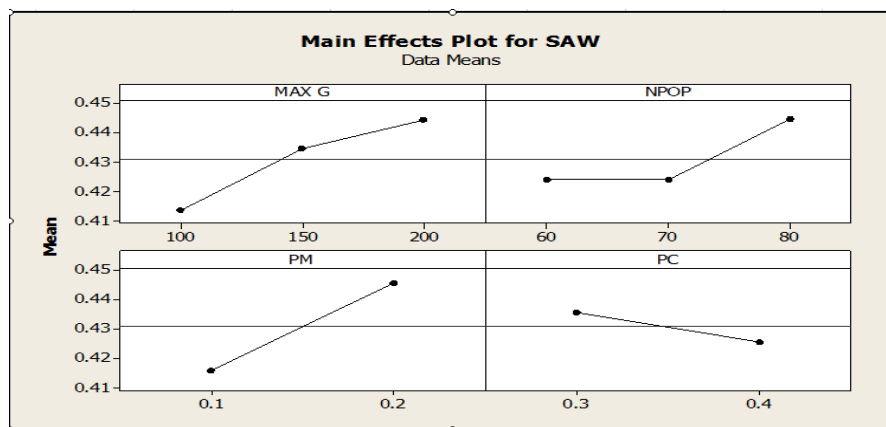
برای انجام عمل تقاطع ابتدا از بین جمعیت مرتب شده به اندازه نرخ تقاطع والد انتخاب گردد که برای این منظور از مکانیزم چرخ رولت طبق معادله ۲۱ بهره گرفته شده است. به طوری که در بین دسته جواب ها احتمال انتخاب رتبه‌های بالاتر بیشتر بوده و در داخل یک دسته جواب نیز احتمال انتخاب جواب‌هایی که مقدار فاصله ازدحامشان بیشتر است بالاتر می‌باشد (Lipowski and Lipowska, 2012)

$$Pf = \frac{\max(Index) - Index(f) + 1}{Sum(Index)} \quad (21)$$

شکل ۲ عملگر تقاطع را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود از تقاطع تک نقطه‌ای استفاده شده است. در این نوع تقاطع دو سمت کروموزوم بایکدیگر جابجا خواهند شد. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است عملگر جهش در نظر گرفته شده در این پژوهش جهش معکوس می‌باشد. در این نوع جهش یک سطر از کروموزوم انتخاب می‌گردد و معکوس خواهد شد. جهت برآورد پارامترهای

| | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| والد | ۴۵۲ | ۱۵۷ | ۷۵۰ | ۶۲۰ | ۴۵۱ | ۷۱۰ |
| | ۵۱۰ | ۷۱۵ | ۷۲۰ | ۴۲۰ | ۱۲۰ | ۱۵۰ |
| فرزند | ۴۵۲ | ۱۵۷ | ۷۵۰ | ۶۲۰ | ۴۵۱ | ۷۱۰ |
| | ۱۵۰ | ۱۲۰ | ۴۲۰ | ۷۲۰ | ۷۱۵ | ۵۱۰ |

شکل ۳. نمایش عملگر جهش



شکل ۴. خروجی نرم افزار Minitab جهت تعیین پارامتر الگوریتم NSGA II

با بررسی شکل ۴ می توان بهترین ترکیب برای پارامترهای الگوریتم های NSGA-II را تعیین نمود. این مقادیر در جدول ۱ آورده شده اند.

جدول ۱. مقادیر پیشنهادی برای پارامترهای الگوریتم NSGA-II

| جمعیت | تعداد | تقاطع | جهش |
|-------|-------|-------|-----|
| ۲۰۰ | ۸۰ | ۰,۴ | ۰,۲ |

مطالعه موردی

بسیار پرتلفات خواهد بود. این گسل از جاده خاوران شروع شده و با گذر از دولت آباد و حرکت بر مسیر جاده کمربندی تهران در حد نصاب کوره های آجرپزی چهاردانگه به پایان می رسد. شکل ۵ نقشه گسل های تهران را نشان می دهد: عدم قطعیت در نظر گرفته شده نیز سناریویی می باشد و سناریوهای در نظر گرفته شده به شرح جدول ۲ می باشد.

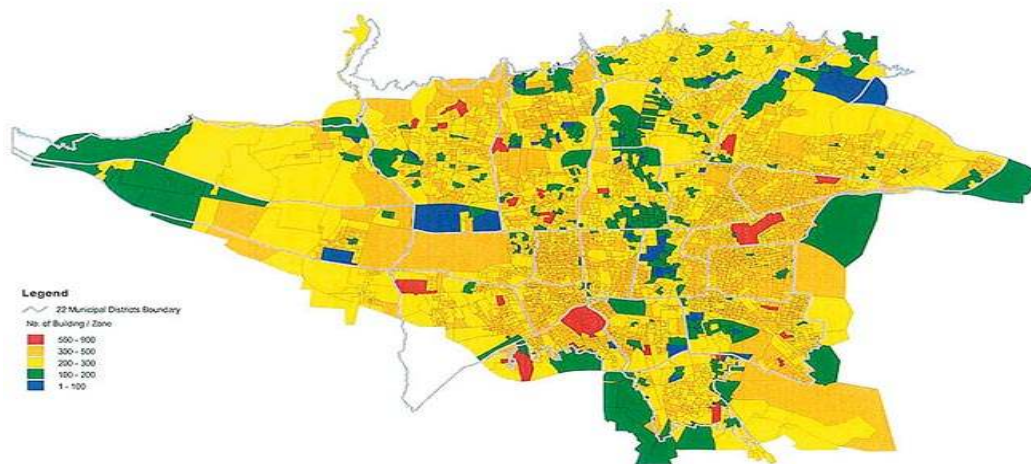
شهر تهران از نظر زمین لرزه جزء مناطق پر زیان (۸ تا ۱۰ درجه مرکالی) به شمار می آید. در این پژوهش مدل پیشنهادی برای شهر تهران منطقه ۷ امتحان می گردد. علت انتخاب این منطقه، حساس بودن آن از لحاظ تراکم جمعیت، وجود بسیاری از مدارس و سازمان های دولتی و... می باشد. از جمله گسل های تهران گسل مشا و ری می باشد که با توجه به مقاوم نبودن ساختمان های تهران در صورت فعال شدن

جدول ۲. سناریوهای در نظر گرفته شده

| سناریوها | گسل ری | گسل مشا | زمان وقوع | احتمال وقوع | درصد تخریب |
|---------------|--------------|---------------|--------------|-------------|------------|
| روز(سناریو ۱) | شب(سناریو ۲) | روز(سناریو ۳) | شب(سناریو ۴) | ۰/۳۴۶۵ | ۲۵/۵۳ |
| ۰/۳۴۶۷ | ۰/۲۳۴۱ | ۰/۳۶۴۷ | ۵۰/۳۲ | | |

جدول ۶ کل ظرفیت مورد نیاز وسیله نقلیه از نقطه تامین به مرکز توزیع خون را بر حسب لیتر نشان می‌دهد.
جدول ۷ هزینه کمبود هر واحد خون در نقطه تقاضا در هر سناریو را بر حسب ۱۰۰۰ تومان نشان می‌دهد.

جدول ۳ هزینه انتقال هر واحد خون از مرکز توزیع خون به نقطه تقاضا را بر حسب ۱۰۰۰ تومان نشان می‌دهد.
جدول ۴ هزینه انتقال هر واحد خون از نقطه تامین به مرکز توزیع را بر حسب ۱۰۰۰ تومان نشان می‌دهد.
جدول ۵ هزینه برپاسازی مرکز توزیع خون را بر حسب میلیون تومان نشان می‌دهد.



شکل ۵. نقشه گسل‌های شهر تهران

جدول ۳. هزینه انتقال هر واحد خون از مرکز توزیع خون به نقطه تقاضا بر حسب ۱۰۰۰ تومان

| نقطه تقاضا / مرکز توزیع خون | اندیشه | ساعی | شفق | طلاقانی | آزادگان | بهشت مادران | بیتهقی |
|-----------------------------|--------|------|-----|---------|---------|-------------|--------|
| نظام آباد | ۵۲۳ | ۷۶۹ | ۱۴۹ | ۱۰۵ | ۵۱۷ | ۱۳۷ | ۳۴۴ |
| حشمیه | ۲۳۳ | ۳۶۰ | ۳۹۴ | ۵۹۹ | ۴۶۴ | ۳۰۰ | ۶۷۳ |
| مجیدیه | ۴۶۷ | ۷۷۵ | ۴۵۹ | ۶۷۵ | ۳۵۴ | ۵۱۶ | ۵۵۰ |
| خاقانی | ۷۷۳ | ۲۴۵ | ۷۱۸ | ۵۳۳ | ۴۶۵ | ۲۶۴ | ۷۹۰ |
| شاهد | ۶۸۶ | ۵۹۴ | ۶۹۸ | ۴۵۴ | ۵۶۰ | ۳۲۸ | ۱۹۲ |
| کاج | ۳۴۲ | ۷۴۲ | ۶۶۴ | ۳۷۸ | ۲۷۰ | ۳۶۰ | ۱۵۰ |
| بهار | ۳۳۷ | ۳۹۸ | ۱۶۴ | ۴۹۰ | ۱۶۰ | ۵۵۲ | ۳۰۳ |
| ارامنه | ۷۹۴ | ۷۹۱ | ۲۴۳ | ۷۲۴ | ۳۶۳ | ۷۴۲ | ۷۵۰ |

جدول ۴. هزینه انتقال هر واحد خون از نقطه تامین به مرکز توزیع بر حسب ۱۰۰۰ تومان

| تامین / توزیع | اندیشه | ساعی | شفق | طلاقانی | آزادگان | بهشت مادران | بیتهقی |
|---------------|--------|------|-----|---------|---------|-------------|--------|
| طوس | ۲۷۱ | ۳۰۱ | ۲۳۴ | ۷۱۸ | ۱۳۷ | ۶۴۳ | ۴۴۱ |
| پاسارگاد | ۱۰۵ | ۵۴۸ | ۲۶۵ | ۷۹۶ | ۳۶۴ | ۳۷۵ | ۲۷۴ |
| جم | ۱۶۲ | ۳۵۸ | ۶۵۵ | ۳۷۸ | ۷۲۵ | ۶۳۲ | ۳۶۶ |
| رسالت | ۳۳۵ | ۴۸۳ | ۲۱۵ | ۶۷۵ | ۶۴۷ | ۵۸۴ | ۱۸۹ |
| مادران | ۱۰۰ | ۴۱۲ | ۷۱۴ | ۴۸۱ | ۲۶۴ | ۷۹۳ | ۴۹۳ |
| امام حسین (ع) | ۱۸۱ | ۲۸۰ | ۳۰۷ | ۷۹۸ | ۲۵۸ | ۲۲۳ | ۲۵۷ |
| ۵۰۴ ارتش | ۶۵۲ | ۷۳۳ | ۴۸۹ | ۶۰۵ | ۱۷۵ | ۳۴۸ | ۲۳۳ |
| آراد | ۷۹۵ | ۵۹۶ | ۱۲۸ | ۱۹۸ | ۵۲۵ | ۷۶۵ | ۴۷۶ |
| آسیا | ۲۴۵ | ۶۷۴ | ۷۴۲ | ۱۲۵ | ۵۱۲ | ۳۵۴ | ۳۲۹ |

جدول 5. هزینه برپاسازی مرکز توزیع خون برحسب میلیون تومان

| سناریو/مرکز توزیع | اندیشه | ساعی | شفق | طالقانی | آزادگان | بهشت مادران | بیهقی |
|-------------------|--------|------|-----|---------|---------|-------------|-------|
| سناریو 1 | 280 | 250 | 260 | 350 | 300 | 350 | 390 |
| سناریو 2 | 650 | 500 | 550 | 600 | 600 | 600 | 650 |
| سناریو 3 | 400 | 400 | 450 | 350 | 500 | 550 | 500 |
| سناریو 4 | 700 | 600 | 700 | 800 | 850 | 750 | 750 |

جدول 6. کل ظرفیت مورد نیاز وسیله نقلیه از نقطه تامین به مرکز توزیع خون بر حسب لیتر

| تامین/توزیع | اندیشه | ساعی | شفق | طالقانی | آزادگان | بهشت مادران | بیهقی |
|--------------|--------|------|-----|---------|---------|-------------|-------|
| طوس | 157 | 257 | 110 | 317 | 229 | 144 | 284 |
| پاسارگاد | 294 | 572 | 244 | 292 | 122 | 179 | 208 |
| جم | 145 | 236 | 253 | 274 | 271 | 253 | 257 |
| رسالت | 266 | 262 | 254 | 154 | 105 | 293 | 107 |
| مادران | 298 | 197 | 244 | 184 | 215 | 170 | 290 |
| امام حسین(ع) | 144 | 274 | 123 | 150 | 267 | 187 | 215 |
| 504 ارتش | 190 | 262 | 235 | 150 | 249 | 271 | 148 |
| آراد | 246 | 238 | 299 | 250 | 150 | 259 | 238 |
| آسیا | 157 | 243 | 115 | 274 | 226 | 196 | 280 |

جدول 7. هزینه کمبود هر واحد خون در نقطه تقاضا در هر سناریو بر حسب 1000 تومان

| سناریو | نظام آباد | حشمتیه | مجیدیه | خاقانی | شاهد | کاج | بهار | ارامنه |
|----------|-----------|--------|--------|--------|------|-----|------|--------|
| سناریو 1 | 281 | 385 | 430 | 494 | 488 | 471 | 300 | 230 |
| سناریو 2 | 232 | 210 | 302 | 151 | 206 | 143 | 318 | 360 |
| سناریو 3 | 347 | 372 | 187 | 365 | 210 | 324 | 399 | 400 |
| سناریو 4 | 325 | 373 | 301 | 306 | 271 | 494 | 410 | 406 |

نتایج محاسباتی

رویکرد حل پیشنهادی جهت حل مسئله برای مطالعه موردی اعتماد کرد.

فاصله از نقطه ایده آل (MID):

این معیار سنجشی از نزدیکی جواب‌های پارتو به نقطه ایده آل (f_1 -Best و f_2 -Best) ارائه 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 22 خواهد بود (Tavana et al., 2018).

جدول 8 نتایج مقایسه رویکرد حل دقیق را با الگوریتم ژنتیک نامغلوب نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌گردد مسئله در ابعاد کوچک و متوسط با یکدیگر مقایسه شده است. هر چه مسئله از ابعاد کوچک به متوسط پیش می‌رود تعداد مراکز توزیع، بیمارستان‌ها و مراکز آسیب‌دیده بیشتر می‌گردد. باتوجه به سه هدفه بودن مدل پیشنهادی، مقادیر نقاط پارتوی سه هدف بترتیب نشان داده شده است. میانگین زمان‌های حل بیانگر آن است که با افزایش ابعاد مسئله زمان حل در 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 ژنتیک نامغلوب بسیار کم می‌باشد. بنابراین می‌توان به

جدول ۸. مقایسه حل دقیق و ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب

| کل خطا (درصد) | ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب | | | | روش حل دقیق | | | شماره مسئله | ابعاد |
|---------------|-------------------------|--------|--------|--------|-------------|--------|--------|-------------|---------|
| | زمان (s) | تابع ۳ | تابع ۲ | تابع ۱ | زمان (s) | تابع ۳ | تابع ۲ | | |
| ۰ | ۴ | ۲۳۰/۵ | ۵۳۰/۵ | ۱۲۳۰/۶ | ۳ | ۲۳۰/۵ | ۵۳۰/۵ | ۱۲۳۰/۶ | ۱ کوچک |
| ۰/۳ | ۵ | ۲۳۵/۷ | ۶۲۳/۰ | ۱۳۹۹/۳ | ۳۹ | ۲۳۵/۵ | ۶۲۴/۶ | ۱۳۹۷/۲ | ۲ |
| ۰/۶۰ | ۷ | ۲۳۹/۴ | ۷۳۰/۵ | ۱۶۸۲/۵ | ۷۵ | ۲۳۸/۸ | ۷۳۲/۹ | ۱۶۷۹/۰ | ۳ |
| ۰/۳۱ | ۱۰ | ۲۴۴/۵ | ۷۸۶/۳ | ۲۳۱۵/۶ | ۹۹ | ۲۴۲/۱ | ۷۸۹/۰ | ۲۳۱۰/۰ | ۴ |
| ۰/۴ | ۱۶ | ۲۴۴/۹ | ۹۲۶/۵ | ۵۶۵۸/۶ | ۲۱۵ | ۲۴۳/۸ | ۹۳۰/۲ | ۵۶۵۰/۲۰ | ۵ |
| ۱/۰۶ | ۲۵ | ۴۶۶/۶ | ۱۵۳۶/۶ | ۵۷۸۶/۵ | ۷۱۶ | ۴۶۵/۳ | ۱۵۴۰/۳ | ۵۷۸۰/۹ | ۶ متوسط |
| ۰/۸۳ | ۳۳ | ۴۷۳/۹ | ۱۶۰۰/۸ | ۶۳۲۶/۵ | ۱۶۳۵ | ۴۷۳/۵ | ۱۶۰۲/۵ | ۶۳۲۰/۵ | ۷ |
| ۰/۹۱ | ۴۱ | ۴۷۹/۵ | ۱۷۶۱/۵ | ۷۳۲۹/۶ | ۲۸۳۱ | ۴۷۷/۵ | ۱۷۶۵/۰ | ۷۳۲۱/۵ | ۸ |
| ۱ | ۵۰ | ۴۸۶/۱ | ۱۷۸۸/۰ | ۷۹۵۶/۶ | ۵۹۹۴ | ۴۸۳/۹ | ۱۷۹۳/۳ | ۷۹۵۰/۷ | ۹ |
| ۱/۲۶ | ۶۱ | ۴۸۹/۰ | ۱۹۳۹/۶ | ۸۶۴۸/۹ | ۹۹۳۱ | ۴۸۸/۸ | ۱۹۵۰/۶ | ۸۶۳۳/۲ | ۱۰ |

$$\frac{(f_{1i} - f_1^{best})^2}{(f_{1,total}^{max} - f_{1,total}^{min})} + \frac{(f_{2i} - f_2^{best})^2}{(f_{2,total}^{max} - f_{2,total}^{min})} + \frac{(f_{3i} - f_3^{best})^2}{(f_{3,total}^{max} - f_{3,total}^{min})} \quad (22)$$

می‌دهد و رابطه ۲۳ این رابطه را نشان می‌دهد (Tavana et al., 2018). جدول ۹ نتایج ۲۰ نقطه پارتو را برای مطالعه موردی نشان می‌دهد. همانطور که در جدول نشان داده شده است میانگین فاصله از نقطه ایده آل برابر ۴/۳۰ می‌باشد. همچنین میانگین مقدار فاصله گذاری برابر ۰/۰۳۸ می‌باشد. مقادیر حاصل بیانگر عملکرد مناسب مدل پیشنهادی هست. شکل ۶ 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.

در این رابطه که n تعداد جواب‌های غیرمغلوب بدست آمده‌است و منظور از f_{ki} مقدار k امین تابع هدف در بردار جواب پارتو i ام است.

فاصله گذاری (SM):

این معیار یکنواختی پهنای مجموعه جواب‌های نامغلوب را تعیین می‌نماید. که در آن d_i فاصله اقلیدسی بین جواب‌های پشت سرهم در مجموعه جواب‌های نامغلوب بدست آمده می‌باشد و \bar{d} متوسط این فاصله‌ها می‌باشد. بدیهی است کمینه بودن این معیار عملکرد مناسب الگوریتم را نشان

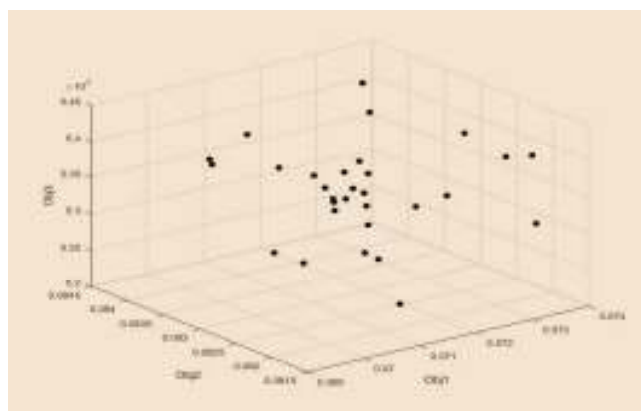
$$SM = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} |d_i - \bar{d}|}{(n-1)\bar{d}} \quad (23)$$

جدول ۹. شاخص‌های عملکردی در مطالعه موردی

| پارتو | MID | SM | پارتو | MID | SM |
|-------|------|-------|-------|------|-------|
| ۱ | ۴/۳۲ | ۰/۰۴ | ۱۱ | ۴/۳۶ | ۰/۰۲۲ |
| ۲ | ۴/۳۵ | ۰/۰۱۵ | ۱۲ | ۴/۲۴ | ۰/۰۵۴ |
| ۳ | ۴/۳۰ | ۰/۰۴۶ | ۱۳ | ۴/۳۱ | ۰/۰۵۰ |
| ۴ | ۴/۳۶ | ۰/۰۲۴ | ۱۴ | ۴/۳۹ | ۰/۰۰۹ |
| ۵ | ۴/۳۳ | ۰/۰۳۱ | ۱۵ | ۴/۱۶ | ۰/۰۱۱ |
| ۶ | ۴/۴۱ | ۰/۰۱۱ | ۱۶ | ۴/۲۸ | ۰/۰۱۵ |
| ۷ | ۴/۱۵ | ۰/۰۴۹ | ۱۷ | ۴/۳۹ | ۰/۰۲۹ |
| ۸ | ۴/۲۶ | ۰/۰۰۵ | ۱۸ | ۴/۳۳ | ۰/۰۹۹ |
| ۹ | ۴/۲۵ | ۰/۰۶۹ | ۱۹ | ۴/۴۰ | ۰/۰۵۶ |
| ۱۰ | ۴/۱۶ | ۰/۰۴۴ | ۲۰ | ۴/۲۶ | ۰/۰۸۵ |

جدول ۱۲ الگوی مسیریابی وسایل نقلیه در دوره‌های زمانی را برای مطالعه موردی نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود ابتدا خودروها از بیمارستان‌ها (i) خون را دریافت می‌کنند سپس به مراکز توزیع (j) می‌روند و در انتها خون را به مناطق آسیب‌دیده (k) می‌رسانند. شکل ۷ نتایج تغییرات تقاضا را در تعداد مراکز توزیع تاسیس شده نشان می‌دهد. همانطور که نشان داده شده است با افزایش تقاضا تعداد مراکز توزیع تاسیس شده افزایش می‌یابد. با کاهش ۳۰ درصدی تقاضا تعداد ۲ مرکز توزیع و با کاهش ۲۰ درصدی مقدار تقاضا تعداد ۳ مرکز توزیع و با کاهش ۱۰ درصدی تقاضا تعداد ۵ مرکز توزیع تاسیس می‌گردد. در نهایت با افزایش میزان تقاضا تا ۳۰ درصد، تعداد مراکز توزیع تاسیس شده برابر ۷ ثابت باقی می‌ماند.

باتوجه به نظر خبرگان از بین اهداف تعیین شده در مقاله رضایت افراد آسیب‌دیده مهم‌تر تشخیص داده شده است. بنابراین از بین نقاط پارتو، نقطه‌ای که بیشترین مقدار رضایت فرد آسیب‌دیده را داشته در نظر گرفته شده و نتایج آن برای سناریوی سوم گزارش شده است. جدول ۱۰ مقدار خون منتقل شده از بیمارستان‌ها به مراکز توزیع خون را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است مقادیر درج شده در سمت راست مربوط به دوره اول و مقادیر درج شده در سمت چپ مربوط به دوره دوم است. جدول ۱۱ مقدار خون منتقل شده از مراکز توزیع به مناطق آسیب‌دیده خون را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است مقادیر درج شده در سمت راست مربوط به دوره اول و مقادیر درج شده در سمت چپ مربوط به دوره دوم است.



شکل ۶. نمایش نقاط پارتو در مطالعه موردی

جدول ۱۰. مقدار خون منتقل شده از نقطه تامین به مرکز توزیع خون

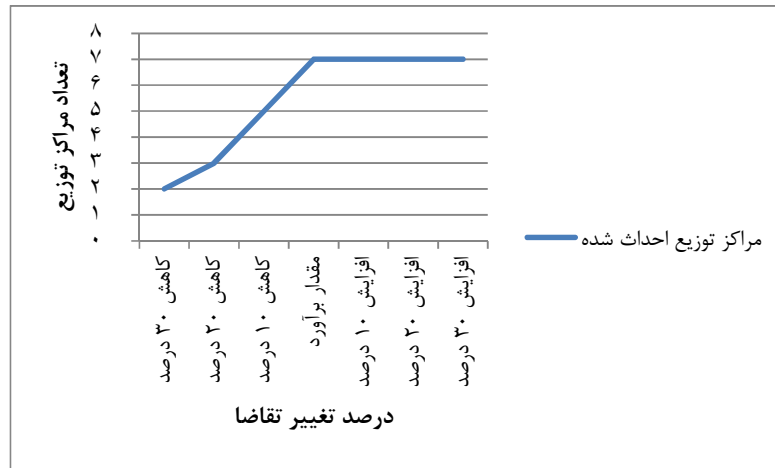
| تامین / توزیع | اندیشه | ساعی | شفق | طلالقانی | آزادگان | بهشت مادران | بیتهقی |
|---------------|---------|---------|---------|----------|---------|-------------|---------|
| طوس | ۱۸۰-۱۲۰ | ۱۲۵-۵۵ | ۲۰۰-۳۰۰ | ۱۸۰-۲۰۰ | ۳۰۰-۲۰۰ | ۲۰۰-۲۵۰ | - |
| پاسارگاد | - | ۱۵۰-۱۵۰ | ۲۵۰-۲۵۰ | ۱۵۰-۱۵۰ | - | ۲۸۰-۳۲۰ | ۳۰۰-۳۰۰ |
| جم | ۳۸۰-۲۵۰ | ۱۵۰-۱۲۰ | - | ۳۵۰-۲۵۰ | ۱۵۰-۱۵۰ | ۸۰-۶۰ | ۲۵۰-۲۵۰ |
| رسالت | ۲۶۰-۱۹۰ | - | ۲۰۰-۲۳۰ | ۱۰۰-۱۰۰ | ۲۵۰-۳۰۰ | ۲۵۰-۱۰۰ | - |
| مادران | ۳۵۰-۳۵۰ | - | - | ۲۰۰-۲۰۰ | ۱۵۰-۱۰۰ | ۲۰۰-۳۰۰ | ۳۵۰-۲۰۰ |
| امام حسین(ع) | - | ۳۵۰-۲۰۰ | ۲۰۰-۲۳۰ | - | ۱۰۰-۱۰۰ | ۳۰۰-۲۵۰ | - |
| ۵۰۴ ارتش | - | ۱۱۰-۹۰ | - | ۱۷۰-۱۴۰ | ۳۰۰-۳۴۰ | ۱۵۰-۱۳۰ | ۳۸۰-۳۰۰ |
| آراد | ۳۸۰-۲۵۰ | ۱۸۰-۱۹۰ | ۲۰۰-۳۰۰ | - | - | ۱۵۰-۳۳۰ | ۳۸۰-۳۳۰ |
| آسیا | ۲۲۰-۴۰۰ | - | ۲۵۰-۱۸۰ | ۷۰-۸۰ | ۱۰۰-۱۰۰ | - | ۱۰۰-۲۰۰ |

جدول ۱۱. مقدار خون منتقل شده از مرکز توزیع خون به ناحیه آسیب دیده

| توزیع / ناحیه آسیب دیده | اندیشه | ساعی | شفق | طلقانی | آزادگان | بهشت مادران | بیهتی |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------|
| نظام آباد | ۱۵۰-۱۰۰ | ۵۰-۵۰ | ۱۰۰-۱۰۰ | - | - | ۲۰۰-۲۰۰ | ۳۰۰-۳۵۰ |
| حشمتیه | ۲۳۰-۲۰۰ | - | ۱۵۰-۱۵۰ | ۱۵۰-۱۰۰ | ۱۰۰-۱۰۰ | ۱۰۰-۳۰۰ | ۲۰۰-۱۰۰ |
| مجیدیه | - | ۱۶۰-۱۵۰ | ۱۰۰-۱۰۰ | ۱۶۰-۲۰۰ | ۳۵۰-۳۰۰ | ۳۰۰-۲۰۰ | ۲۰۰-۲۰۰ |
| خاقانی | ۹۰-۱۰۰ | ۱۵۰-۱۶۰ | - | - | ۲۵۰-۲۰۰ | - | - |
| شاهد | ۱۵۰-۱۵۰ | ۱۰۰-۱۰۰ | - | ۲۵۰-۲۰۰ | - | - | ۱۰۰-۱۰۰ |
| کاج | ۱۰۰-۱۲۰ | ۲۰۰-۱۵۰ | ۲۰۰-۲۰۰ | - | ۲۰۰-۱۵۰ | ۲۰۰-۳۰۰ | ۲۵۰-۱۵۰ |
| بهار | - | ۱۰۰-۱۰۰ | - | - | ۲۵۰-۱۵۰ | ۱۵۰-۱۵۰ | - |
| ارامنه | ۱۲۰-۸۰ | ۲۵۰-۲۰۰ | - | ۱۵۰-۱۱۰ | ۲۰۰-۳۰۰ | - | ۲۵۰-۲۰۰ |

جدول ۱۲. مسیریابی خودروها در دروه های زمانی

| مسیرها در دوره ۱ | | مسیرها در دوره ۲ | |
|---|--|--|---|
| $i_1 - j_2 - k_1 - k_3$ | $i_5 - j_5 - k_1 - k_6 - k_7 - k_3$ | $i_1 - j_1 - k_8 - k_7 - k_1 - k_4 - k_2$ | $i_5 - j_6 - k_1 - k_5$ |
| $i_1 - j_2 - k_4 - k_5 - k_8$ | $i_5 - j_6 - k_5 - k_4 - k_1 - k_2$ | $i_1 - j_2 - k_6 - k_7 - k_2 - k_1 - k_3$ | $i_5 - j_7 - k_2 - k_8$ |
| $i_1 - j_3 - k_4 - k_6 - k_7$ | $i_5 - j_7 - k_4 - k_1 - k_6 - k_2$ | $i_1 - j_3 - k_8 - k_6 - k_1 - k_4 - k_3$ | $i_6 - j_1 - k_2 - k_6 - k_2$ |
| $i_1 - j_4 - k_2 - k_1 - k_3$ | $i_6 - j_1 - k_1 - k_6 - k_7 - k_2$ | $i_1 - j_4 - k_4 - k_3 - k_1 - k_5 - k_5$ | $i_6 - j_2 - k_7 - k_4 - k_2 - k_8$ |
| $i_1 - j_6 - k_2 - k_1 - k_3$ - k_4 | $i_6 - j_2 - k_3 - k_2$ | $i_1 - j_5 - k_6 - k_8 - k_5 - k_1 - k_3$ | $i_6 - j_3 - k_2 - k_4 - k_1$ |
| $i_1 - j_5 - k_4 - k_6 - k_7$ - k_8 | $i_6 - j_3 - k_1 - k_7$ | $i_1 - j_6 - k_5 - k_8$ | $i_6 - j_4 - k_3 - k_7 - k_4 - k_6$ |
| $i_1 - j_6 - k_2 - k_5 - k_1$ - k_5 | $i_6 - j_4 - k_2 - k_3 - k_2$ | $i_1 - j_1 - k_1 - k_7 - k_2$ | $i_6 - j_5 - k_1 - k_8 - k_1 - k_6$ |
| $i_1 - j_7 - k_3 - k_5 - k_1$ - k_4 | $i_6 - j_5 - k_7 - k_1 - k_2 - k_8$ | $i_2 - j_1 - k_6 - k_4 - k_2$ | $i_6 - j_6 - k_3 - k_8$ |
| $i_2 - j_2 - k_3 - k_1 - k_5$ - k_4 | $i_6 - j_6 - k_8 - k_4 - k_1$ | $i_2 - j_2 - k_3 - k_4$ | $i_6 - j_7 - k_1 - k_7 - k_2$ |
| $i_2 - j_3 - k_2 - k_6 - k_5$ | $i_6 - j_7 - k_3 - k_4 - k_4 - k_6$ | $i_2 - j_3 - k_2 - k_8 - k_6$ | $i_7 - j_1 - k_3 - k_4 - k_2$ |
| $i_2 - j_4 - k_2 - k_5 - k_1$ | $i_7 - j_1 - k_1 - k_3 - k_2 - k_6$ | $i_2 - j_4 - k_1 - k_4 - k_8$ | $i_7 - j_2 - k_1 - k_4$ |
| $i_2 - j_5 - k_1 - k_4 - k_6$ | $i_7 - j_2 - k_5 - k_8$ | $i_2 - j_5 - k_7 - k_1 - k_3 - k_2$ | $i_7 - j_3 - k_5 - k_2$ |
| $i_2 - j_6 - k_1 - k_4 - k_3 - k_7$ | $i_7 - j_3 - k_4 - k_7 - k_2$ | $i_2 - j_6 - k_5 - k_6 - k_5$ | $i_7 - j_4 - k_3 - k_2$ |
| $i_2 - j_7 - k_7 - k_6 - k_3$ | $i_7 - j_4 - k_3 - k_4 - k_2$ | $i_2 - j_7 - k_5 - k_3 - k_1$ | $i_7 - j_5 - k_1 - k_7$ |
| $i_3 - j_1 - k_2 - k_1 - k_3$ - k_4 - k_7 | $i_7 - j_5 - k_1 - k_4$ | $i_3 - j_1 - k_6 - k_8 - k_6$ | $i_7 - j_6 - k_2 - k_3 - k_2$ |
| $i_3 - j_2 - k_2 - k_7 - k_5$ - k_6 | $i_7 - j_6 - k_5 - k_2$ | $i_3 - j_2 - k_1 - k_5 - k_3 - k_1$ | $i_7 - j_7 - k_1 - k_8 - k_1 - k_6$ |
| $i_3 - j_3 - k_4 - k_5 - k_2$ - k_1 | $i_7 - j_7 - k_7 - k_1 - k_3 - k_2$ | $i_3 - j_3 - k_5 - k_4 - k_1$ | $i_8 - j_1 - k_4 - k_3 - k_1 - k_5 - k_5$ |
| $i_3 - j_4 - k_2 - k_6 - k_5$ - k_7 | $i_8 - j_1 - k_1 - k_6 - k_2$ | $i_3 - j_4 - k_2 - k_3 - k_8$ | $i_8 - j_2 - k_6 - k_8 - k_5 - k_1 - k_3$ |
| $i_3 - j_5 - k_2 - k_7 - k_1$ - k_8 | $i_8 - j_2 - k_2 - k_3 - k_4 - k_7$ | $i_3 - j_5 - k_6 - k_4 - k_3 - k_2$ | $i_8 - j_3 - k_5 - k_8$ |
| $i_3 - j_6 - k_2 - k_5 - k_3 - k_4$ - k_6 | $i_8 - j_3 - k_4 - k_6 - k_2$ | $i_3 - j_6 - k_1 - k_4 - k_8 - k_7$ | $i_8 - j_4 - k_1 - k_7 - k_2$ |
| $i_3 - j_7 - k_1 - k_8$ | $i_8 - j_4 - k_1 - k_3 - k_8$ | $i_3 - j_7 - k_1 - k_3 - k_4 - k_5$ | $i_8 - j_5 - k_6 - k_4 - k_2$ |
| $i_4 - j_1 - k_4 - k_3 - k_2$ | $i_8 - j_5 - k_7 - k_4 - k_3 - k_2$ | $i_4 - j_1 - k_{10} - k_{11} - k_{17} - k_{19}$ - $k_9 - k_3$ | $i_8 - j_6 - k_3 - k_4$ |
| $i_4 - j_2 - k_7 - k_1 - k_3$ - k_2 | $i_8 - j_6 - k_2 - k_6 - k_5$ | $i_4 - j_2 - a_{15} - a_{12} - a_{11} - a_{10}$ - $a_9 - d_3$ | $i_8 - j_7 - k_2 - k_8 - k_6$ |
| $i_4 - j_3 - k_6 - k_5 - k_1$ | $i_8 - j_7 - k_2 - k_3 - k_1$ | $i_4 - j_3 - k_3 - k_1 - k_7 - k_4$ | $i_9 - j_1 - k_1 - k_4 - k_8$ |
| $i_4 - j_4 - k_7 - k_7 - k_4$ - k_6 | $i_9 - j_1 - k_1 - k_8 - k_6$ | $i_4 - j_4 - k_3 - k_6 - k_5$ | $i_9 - j_2 - k_4 - k_3 - k_1 - k_5 - k_5$ |
| $i_4 - j_5 - k_1 - k_6 - k_2 - k_6$ | $i_9 - j_2 - k_1 - k_2 - k_3 - k_1$ | $i_4 - j_5 - k_3 - k_5 - k_2$ | $i_9 - j_3 - a_6 - a_{15} - d_4$ |
| $i_4 - j_6 - k_2 - k_3 - k_5$ - k_6 | $i_9 - j_3 - k_7 - k_4 - k_1$ | $i_4 - j_6 - k_2 - k_4 - k_6$ | $i_9 - j_4 - k_1 - k_6 - k_2$ |
| $i_4 - j_7 - k_1 - k_6 - k_5$ - k_3 | $i_9 - j_4 - k_4 - k_3 - k_6 - k_2$ | $i_4 - j_7 - k_2 - k_5 - k_3 - k_7$ | $i_9 - j_5 - k_2 - k_3 - k_4 - k_7$ |
| $i_5 - j_1 - k_3 - k_5 - k_8$ | $i_9 - j_5 - k_7 - k_2 - k_3 - k_2$ | $i_5 - j_1 - k_7 - k_5 - k_3$ | $i_9 - j_6 - k_4 - k_6 - k_2$ |
| $i_5 - j_2 - k_1 - k_6 - k_7$ | $i_9 - j_6 - k_2 - k_5 - k_3 - k_4$ - k_1 | $i_5 - j_3 - k_2 - k_8 - k_3 - k_5 - k_7$ | $i_9 - j_7 - k_1 - k_3 - k_8$ |
| $i_5 - j_3 - k_4 - k_1 - k_3$ | $i_9 - j_7 - k_2 - k_8$ | $i_5 - j_4 - k_5 - k_1 - k_2 - k_4$ | - |
| $i_5 - j_4 - k_2 - k_5 - k_3$ - k_4 | - | $i_5 - j_5 - k_2 - k_3 - k_1$ | - |



شکل ۷. تغییرات تعداد مراکز توزیع با توجه به تغییرات تقاضا

۵- نتیجه گیری

در این مقاله یک مدل ریاضی به منظور مکانیابی و احداث پایگاه‌های اصلی خون و همچنین مسیریابی خودروهای سیار خون برای کالاهای شدیداً فسادپذیر ارائه شده است. موضوع دستیابی به موقع به فرآورده‌های خونی، موضوعی است که بخش عمده‌ای از اجتماع با آن به طور مستقیم یا غیرمستقیم در ارتباط هستند. همه ما روزانه از نوعی از این دست کالاها استفاده می‌کنیم. سلامت و سهولت در دسترسی به آن‌ها هم از نظر افراد آسیب‌دیده در بحران و هم از نظر تامین‌کننده (بیمارستان‌ها) بسیار مهم و در بعضی موارد نظیر فرآورده‌های خونی حیاتی است. ارائه این مدل قدمی جدید در بحث زنجیره تامین فرآورده‌های خونی است که در بهبود سلامت متقاضیان و در نهایت اجتماع می‌تواند مفید واقع شود. بنابراین این مقاله پس از ارائه مدل پیشنهادی با دو الگوریتم محدودیت اپسیلون (در ابعاد کوچک و متوسط) و ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (در ابعاد بزرگ) حل شده است. دلیل استفاده از الگوریتم ژنتیک نامغلوب عملکرد مناسب آن در حل مسائل کوچک و متوسط (با خطای زیر ۲ درصد) می‌باشد. سپس مدل پیشنهادی برای منطقه ۷ تهران مورد آزمایش قرار گرفته است. عدم قطعیت در نظر گرفته شده بصورت سناریویی و براساس گسل‌ها و شدت خرابی آن‌ها تعریف شده است. پس از حل مدل پیشنهادی برای یک نقطه پارتو هر هفت مرکز توزیع در نظر گرفته شده بعنوان ایستگاه‌های بهینه انتخاب گردیده و مرکزی بسته نشده است.

میانگین فاصله از نقطه ایده‌آل برای مطالعه موردی برابر ۴/۳۰ و میانگین مقدار فاصله‌گذاری برابر ۰/۳۸ محاسبه شد. مقادیر حاصله بیانگر عملکرد مناسب مدل پیشنهادی می‌باشد. نتایج بیانگر آن است که با افزایش تقاضا تعداد مراکز توزیع تاسیس شده افزایش می‌یابد.

برای مطالعات آتی موارد زیر پیشنهاد می‌گردد:

- در نظر گرفتن سایر فازهای امداد بحران از جمله نجات مجروحین و تخلیه مجروحین.

- سایر کالاهای امدادی از جمله آب، چادر و پتو و...

- در نظر گرفتن اثر متقابل بحران‌ها همانند وقوع سیل و زلزله بصورت توأم و تعریف سناریوهای مربوط به آن.

- در این مطالعه مدل پیشنهادی برای شهر تهران امتحان شده است، پیشنهاد می‌گردد این مدل برای مطالعات موردی دیگر در نظر گرفته شود.

۶-پانویس

- 1-Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm-II
- 2-Stochastic Mixed Integer Programming
- 3- Lagrangian L-shaped method

۷-مراجع

-حسینی‌نژاد، س.ف.، ماکویی، ا. و توکلی‌مقدم، ر.، (۱۳۹۷)، "مدل‌سازی مکانیابی هاب زنجیره امدادرسانی در مدیریت بحران بر مبنای نیاز مصدومین تصادفات جاده‌ای" پژوهشنامه حمل و نقل، دوره ۱۵، شماره ۳، ص. ۳۲۱-۳۳۵.

- 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.
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S. and Meyarivan, T., (2002), "A Fast and Elitist Multi-objective Genetic Algorithm: NSGA-II", *IEEE Transactions of Evolutionary Computation*, Vol. 6, No. 2, pp.182-197.
- Dehghani, M., Abbasi, M. and Oliveira, F., (2019), "Proactive transshipment in the blood supply chain: A stochastic programming approach", *Omega*, article number, 102112(in press).
- 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.
- Fazli-Khalaf, M., Khalilpourazari, S. and Mohammadi, M., (2017), "Mixed robust possibilistic flexible chance constraint optimization model for emergency blood supply chain network design", *Annals of Operations Research*, pp. 1-31.
- Gilani-Larimi, N. and Yaghoubi, S., (2019), "A robust mathematical model for platelet supply chain considering social announcements and blood extraction technologies", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 137, pp. 106-114.
- Ghatreh-Samani, M.R., Hosseini-Motlagh, S.M. and Ghannadpour, F., (2019), "A multilateral perspective towards blood network design in an uncertain environment: Methodology and implementation", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 130, pp.450-471.
- Habibi, M., Paydar, M.M. and AsadiGangraj, E., (2018), "Designing a bi-objective multi-echelon robust blood supply
- ساریخانی، س. و شیشه‌بری، د.، (۱۳۹۸)، "مسأله مکانیابی - مقاومت‌سازی بیمارستان‌ها با منابع محدود در شرایط بحران و از کار افتادگی تسهیلات" فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۱، شماره ۱، ص. ۱۹۹-۲۱۹.
- شیبانی، م. و زرین پور، ن.، (۱۳۹۸)، "برنامه‌ریزی شبکه زنجیره تامین خون با رویکرد فازی محدودیت شانس"، دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی انجمن ایرانی تحقیق در عملیات، بابلسر، دانشگاه علوم و فنون مازندران.
- فلغلانی، م.، ابویی اردکان، م. و محمدی، م.، (۱۳۹۷)، "طراحی شبکه زنجیره تامین خون با رویکرد قابلیت اطمینان"، پانزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، یزد، دانشگاه یزد.
- معمدی، م.، موحدی، م.، رضاییان، ج. و رشیدی کمیحانی، ع.، (۱۳۹۷)، "طراحی مدل ریاضی دوهدفه عدد صحیح مختلط غیرخطی با هدف افزایش قابلیت اطمینان زنجیره تامین خون"، مهندسی و مدیریت کیفیت، دوره ۸، شماره ۴، ص. ۲۵۹-۲۷۴.
- Alfredo, M. and Georges, C., (2018), "Preparing and Rebuilding After Natural Disasters: A New Public Health Normal", *American Journal of Public Health*, Vol. 108, No. 1, pp. 9-10.
- Andres, F.O., Sally, C., Honora, K., Sonia, P. and Bernardo, A.C., (2017), "Simulation-optimization model for production planning in the blood supply chain", *Health Care Management Science*, Vol.20, pp. 548-564.
- Blake, J.T. and Hardy, M., (2015), "A generic modelling framework to evaluate network blood management policies: The Canadian Blood Services experience", *Operations Research for Health Care*, Vol. 3, No. 3, pp. 116-128.
- Civelek, I., Karaesmen, I. and Scheller-Wolf, A., (2015), "Blood platelet inventory management with protection levels", *European Journal of Operational Research*, Vol. 243, No. 3, pp. 826-838.

actual post-disaster decisions”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 265, No. 3, pp.1064-1077.

-Okan, Ö. and Ekici, A., (2018), “Managing platelet supply through improved routing of blood collection vehicles”, *Computers & Operations Research*, Vol. 98, pp. 113-126.

-Pirabán, A., Guerrero, W.J. and Labadie, N., (2019), “Survey on blood supply chain management: Models and methods”, *Computers & Operations Research*, Vol. 112, <https://doi.org/10.1016/j.cor.2019.07.014>.

-Rajendran, S. and Ravindran, A.R., (2019), “Inventory management of platelets along blood supply chain to minimize wastage and shortage”, *Computers & Industrial Engineering*, Vol.130, pp.714-730.

-Ramezani, R. and Behboodi, Z., (2017), “Blood supply chain network design under uncertainties in supply and demand considering social aspects”, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 104, pp. 69-82.

-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.

chain in a disaster”, *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 55, pp. 583-599.

-Heidari-Fathian, H. and Pasandideh, S.H.R., (2018), “Green-blood supply chain network design: Robust optimization, bounded objective function & Lagrangian relaxation”, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 122, pp. 95-105.

-Hosseini-Motlagh, S.M., Ghatreh-Samani, M.R. and Cheraghi, S., (2019), “Robust and stable flexible blood supply chain network design under motivational initiatives”, *Socio-Economic Planning Sciences*, In Press, 100725.

-Korina. K., Navonil, M. and Sameer, K., (2014), “A game-based approach towards facilitating decision making for perishable products: An example of blood supply chain”, *Expert Systems with Applications*, Vol. 41, pp. 4043-4059.

-Lipowski, A. and Lipowska, D., (2012), “Roulette-wheel selection via stochastic acceptance”, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 391, No.6, PP. 2193-2196.

-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.

-Noham R., and Tzur M., (2018), “Designing humanitarian supply chains by incorporating

Presenting a Multi-Objective Model for Locating Distribution Centers and Routing of Blood Distribution Vehicles in Disaster Conditions

E. Ataei, Ph.D. Student, Department of Industrial Engineering, Payam Noor University, Tehran, Iran.

R. Sadeghian, Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Payam Noor University, Tehran, Iran.

M. Hamedi, Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Payam Noor University, Tehran, Iran.

E-mail: ataei56@gmail.com

Received: September 2019-Accepted: January 2020

ABSTRACT

Management of blood products is one of the major concerns of mankind. Although efforts have been made to find suitable alternatives to blood, but blood donors are still the most important source of care for patients. Blood is a sensitive and perishable product; in addition, a little it's randomness of supply and demand can add to the complexity of this chain and make it difficult to manage, especially in earthquake-prone situations, because its deficiency causes human death and excess is not accepted. Therefore, in this paper, a mathematical model for locating blood distribution sites along with transporting vehicles routing in earthquake conditions is presented. The goals are to minimize blood shortages, maximize satisfaction of affected people, and minimize transportation and location costs. One of the contributions of this paper is considering scenario-based uncertainty along with risk of disturbance and satisfaction of affected people. The proposed model is solved in small and medium dimensions with the Epsilon constraint algorithm and for the case study (District 7 of Tehran city) with the non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA). The results of the analysis show that the estimation error is minimized in the non-dominated sorting genetic algorithm and as the number of established distribution centers increases with demand increases.

Keywords: Routing, Location, Blood Supply Chain, Satisfaction of Injured, Time Window