

## طراحی مدل یکپارچه استوار زنجیره تأمین فرآورده‌های خونی در شرایط بحران و عدم قطعیت با استفاده از الگوریتم MOPSO و NSGA II

میثم کرمی پور<sup>۱</sup>، محمدعلی افشار کاظمی<sup>۲\*</sup>، عزت‌اله اصغری زاده<sup>۳</sup>، عادل آذر<sup>۴</sup>

<sup>(۱)</sup> گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

<sup>(۲)</sup> گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

<sup>(۳)</sup> گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، تهران، ایران

<sup>(۴)</sup> گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۱۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۰۱

### چکیده

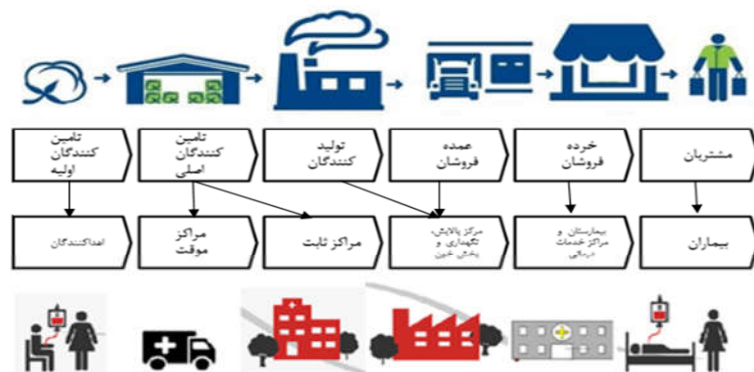
حوزه‌ی زنجیره‌ی تأمین خون به دلیل اهمیت چشمگیر در نجات جان انسان‌ها، به یکی از مهم‌ترین حوزه‌های تحقیقاتی تبدیل شده است. بعد از وقوع زمین‌لرزه، تعداد زیادی از مجروحان و آسیب‌دیدگان، دارای خونریزی‌های شدید و سوختگی می‌شوند که به تزریق خون در کوتاه‌ترین زمان ممکن، نیازمند هستند؛ بنابراین، مدیریت مناسب برای تأمین خون مجروحان، حائز اهمیت است و کوچک‌ترین سهل‌انگاری، سبب به خطر افتادن جان انسان‌ها خواهد شد. در چنین شرایطی، امداد رسانی به مصدومان و نیازمندان به خون، بسیار حیاتی است و باید با پاسخ‌گویی به موقع به تقاضای به‌وجودآمده، تا حد زیادی خسارات جانی و تلفات ناشی از کمبود خون را کاهش داد. در مقاله‌ی حاضر، یک مدل ریاضی دوهدفه تحت شرایط بحران و عدم قطعیت ارائه شده است. به دلیل حد بالای عدم قطعیت موجود در زنجیره‌ی تأمین خون در شرایط بحرانی و با توجه به ماهیت پارامترهای غیرقطعی، از رویکرد برنامه‌ریزی استوار استفاده شده است. همچنین با توجه به NP-hard بودن مسئله، از الگوریتم NSGA II و MOPSO استفاده شده است. برای ارزیابی نتایج مدل، از یک مطالعه‌ی موردی واقعی در شهر تهران استفاده شده و تحلیل حساسیت نیز روی پارامترهای مهم مدل انجام شده است. در نهایت، نتایج محاسباتی، بیانگر آن است که کیفیت جواب‌های خروجی الگوریتم NSGA II بهتر از الگوریتم MOPSO می‌باشد و مسائل را در مدت‌زمان کمتری نیز حل می‌نماید؛ لذا نتایج، نشان‌دهنده‌ی پایداری و ثبات جواب‌های الگوریتم مورد بررسی است.

**واژه‌های کلیدی:** مدل استوار، عدم قطعیت، الگوریتم NSGA II، الگوریتم رقابتی استعماری.

### ۱- مقدمه

حوزه سلامت و مسائل گوناگون مرتبط با آن، بدلیل دارا بودن ویژگی‌های منحصر به فرد، دارای اهمیت خاصی بوده و جایگاه ویژه‌ای در صدر شاخص‌های توسعه دارند که در این میان، همواره زنجیره تأمین خون یکی از بخش‌های استراتژیک نظام سلامت می‌باشد [۱]. در سال‌های اخیر شاهد افزایش نیاز به تزریق فرآورده‌های خونی می‌باشیم که عواملی نظیر: افزایش جمعیت، زیاد شدن طول عمر بشر و افزایش نرخ امید به زندگی افزایش تصادفات رانندگی، سوانح و حوادث، پیشرفت علم و انجام عمل‌های جراحی پیشرفته و افزایش نرخ بیماری‌های مختلف دلیل این امر می‌باشند. از طرفی باوجود نیاز روز افزون به فرآورده‌های خونی، نبود مدیریت مناسب فرآورده‌ها و عدم آموزش مناسب نیروهای مربوطه، سبب شده که در بعضی مراکز، میزان اتلاف خون به شدت زیاد باشد. این در حالی است که سالانه جان بسیاری از افراد نیازمند به تزریق خون، به دلیل کمبود فرآورده‌های خونی، به خطر می‌افتد [۲]. بنابراین این نوسانات شدید، باعث ایجاد چالش‌های زیادی در مدیریت شبکه خون می‌شود، و بدلیل اینکه عدم برآورد تقاضای این مایع نجات‌بخش، سبب مشکلات جدی برای بیماران می‌شود، تحقیق در این حوزه در راستای ایجاد یک

شبکه کارا با کمترین اتلاف و کمبود اهمیت چشمگیری دارد. زنجیره تأمین خون در حالت کلی به دو دسته زنجیره تأمین خون در شرایط عادی و شبکه خون در شرایط بحرانی تقسیم می‌شود. زنجیره تأمین خون در شرایط عادی: ساختار زنجیره تأمین خون متشکل از اهداکنندگان بعنوان تأمین کنندگان اولیه، تسهیلات جمع‌آوری خون در جایگاه تأمین کنندگان اصلی، مرکز پالایش، نگهداری و پخش خون در نقش تولیدکنندگان و عمده فروشان، بیمارستان‌ها و مراکز درمانی در حکم خرده فروشان و بیماران به عنوان مشتریان زنجیره تأمین خون ایفای نقش می‌کنند که ارتباط این زنجیره با زنجیره تأمین کالای عادی در شکل (۱) نمایش داده شده است. انسان‌ها به‌عنوان تنها منبع تأمین خون می‌باشند و اهداکنندگان خون اصولاً الگوی تعیین شده‌ای برای اهدا ندارند و همین امر سبب در نظر گرفتن عدم قطعیت در عرضه خون می‌شود. نرخ اهدای خون در هر کشوری متفاوت است، ولی طبق گزارش سازمان سلامت جهانی<sup>۱</sup> این مقدار در کشورهای توسعه یافته بسیار بیشتر از کشورهای در حال توسعه است. همچنین روز به روز شاهد افزایش تقاضای فرآورده‌های خونی و کمبود میزان خون اهدایی می‌باشیم که علاوه بر این، طبق استانداردهای پزشکی، هر اهداکننده در سال حداکثر قادر به اهدا در چهار نوبت است و باید بین هر دو بار اهدا، هشت هفته فاصله بیفتد [۳].



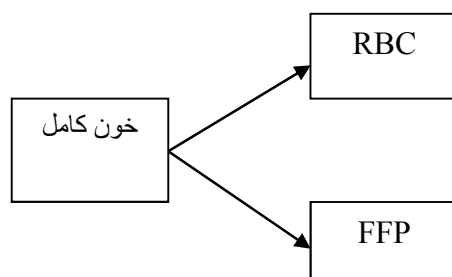
شکل ۱- ارتباط زنجیره تأمین خون و زنجیره تأمین کالای عادی

<sup>۱</sup>. World Health Organization (WHO)

بادی بر علیه یک آنتی ژن شایع است یا دارای ترکیبی از آنتی بادی هاست که باعث می‌شود به سختی بتوان برای وی خون سازگار پیدا کرد، فرد خاصی که فاقد آنتی ژن شایع است برای اهدا انتخاب می‌شود. اهداکنندگان مستقیم: دوستان یا بستگان فردی، خونسشان را اختصاصاً برای آنها فرد اهدا می‌کنند و این تفکر در آنها وجود دارد که خون آنها برای آن فرد سالم‌تر از خونی است که به طور معمول در اختیار مصرف کنندگان قرار می‌گیرد. تسهیلات سیار اهدای خون: اصولاً بصورت اتوبوس‌های خونگیری به مناطقی اعزام می‌شوند و یا چادرهایی می‌باشند که برای ساعاتی از شبانه‌روز در مکانی از قبل تعیین شده، مستقر می‌شوند. این مراکز دارای تیم سیار خونگیری و تمام تجهیزات لازم می‌باشند و طبق استانداردهای موجود، فرایند اهدای خون در آنها انجام می‌پذیرد.

تسهیلات ثابت اهدای خون: مراکز خاصی هستند که صرفاً برای عملیات اهدای خون تاسیس شده و بصورت همیشگی دایر می‌باشند. مرکز خون از سه بخش اصلی: لابراتورها، مراکز نگهداری فرآورده‌های خونی و تسهیلات توزیع در مرکز خون تشکیل شده است. مراحل کار در شکل (۲) نشان داده شده است.

به طور کلی می‌توان اهداکنندگان خون را در سه دسته زیر قرار داد [۴]. اهداکنندگان مزدبگیر: این افراد بصورت مکرر و با دریافت مبلغی توافقی از سازمان انتقال خون، اقدام به خوندگی می‌نمایند. اهداکنندگان داوطلب بدون دریافت پاداش مالی: برعکس اهداکنندگان مزدبگیر، این نوع اهدا کنندگان با انگیزه معنوی و انسان‌دوستانه و بدون چشم‌داشت مالی اقدام به اهدای خون می‌نمایند. اهداکنندگان جایگزین: در بیشتر مواقع هنگامی که فرآورده خونی مورد نیاز بیمار در مراکز درمانی موجود نیست، یکی از اقوام و نزدیکان بیمار و یا فرد تایید شده توسط بیمار اقدام به اهدای خون به وی می‌نماید که به این نوع اهداکنندگان، اهداکننده جایگزین گویند. در دسته‌بندی دیگری علاوه بر اهدای خون بصورت عادی، انواع اهدا خون را می‌توان بصورت زیر در نظر گرفت [۴]: اهدای خون اتولوگ: در این نوع اهدا خون فرد برای مصرف خودش استفاده می‌شود. همافریز<sup>۱</sup>: قسمتی از خون فرد مانند پلاسما یا پلاکت وی در گرفته می‌شود و سایر قسمت‌های آن به وی برگردانده می‌شود. اهدا برای فرد معین: در موارد به خصوصی لازم است فرآورده اهداکننده خاصی برای یک بیمار خاص به کار رود، برای مثال بیماری دارای آنتی



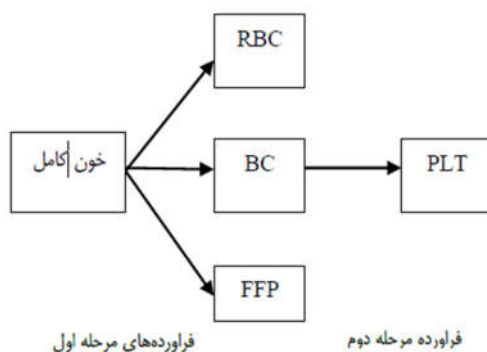
شکل ۲- روش تولید RBC و FFP

<sup>۱</sup>. Hemapheresis

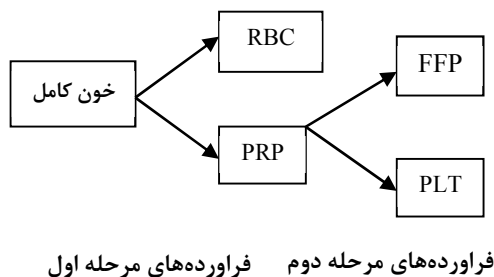
آن استخراج می‌شود. در شکل (۳) مراحل انجام کار نمایش داده شده است.

تهیه RBC، FFP و PLT با استفاده از پلاسمای غنی از پلاکت (PRP)<sup>۳</sup>: در این روش، دو جزء پلاسمای غنی از پلاکت و گلبول قرمز خروجی‌های مرحله اول را تشکیل می‌دهند. سپس پلاسمای غنی از پلاکت، تجزیه شده و پلاکت‌های آن استخراج می‌شود. مراحل کار در شکل (۴) نشان داده شده است.

تهیه RBC، FFP و PLT<sup>۱</sup> با استفاده از روش بافی کوت (BC)<sup>۲</sup>: در روش بافی کوت، ابتدا خون کامل در دستگاه سانترفیوژ به سه جزء گلبول قرمز، پلاسما و بافی کوت تجزیه می‌شود. سپس گلبول قرمز در دمای مناسب ذخیره سازی می‌شود و پلاسما نیز ابتدا فریز شده و ذخیره سازی روی آن انجام می‌گیرد. همچنین مجدد بافی کوت‌ها با دور سبک سانترفیوژ شده و در نهایت فراورده پلاکت از



شکل ۳- روش تولید BC



شکل ۴- روش تولید PRP

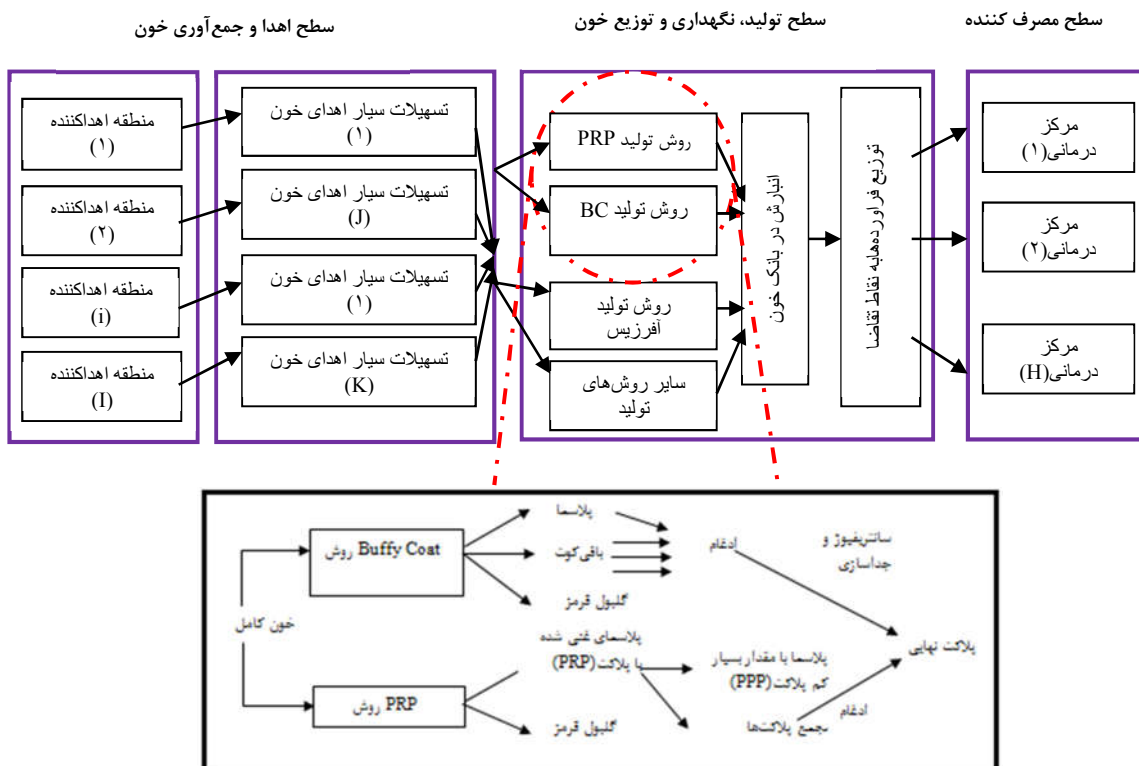
<sup>۱</sup>. Platelet

<sup>۲</sup>. Buffy Coat

<sup>۳</sup>. Platelet Rich Plasma

این تسهیلات، فرآورده‌های مختلف تحت دمای نگهداری گوناگون، باید به مراکز درمانی ارسال شود. مراکز درمانی شامل کلینیک‌ها و بیمارستان‌های مختلف می‌باشد که هر یک با توجه به نوع خدمت ارائه دهنده به بیماران، تقاضای مختلفی از فرآورده‌های گوناگون دارند. به‌عنوان مثال بیمارستان‌های درمان سوختگی بیشتر به پلاسما نیاز دارند، درحالی‌که بیمارستان‌هایی که به بیماران شیمی درمانی خدمت رسانی می‌کنند، بیشتر تقاضایشان مربوط به پلاکت است و همچنین بیمارستان‌های عمومی در اغلب موارد به تمام فرآورده‌های خونی نیاز دارند. باتوجه به موارد مذکور درباره اجزا زنجیره و نوع فرایندهای موجود در شبکه خون، ساختار کلی زنجیره خون بصورت شکل (۵) می‌باشد.

فرآورده آفرزیس: در این روش که توسط دستگاه آفرزیس انجام می‌پذیرد، فقط فرآورده مورد نیاز، مثلاً پلاکت، از اهداکننده گرفته می‌شود و بقیه اجزای خون وی، به رگ خونی بازگشت داده می‌شود. فرآورده‌هایی که از این روش تولید می‌شوند در مقایسه با روش کامل دارای کیفیت مطلوب‌تری می‌باشند. ولی بدلیل هزینه بسیار بالای روش آفرزیس، بجز در موارد خاص، از روش خون کامل استفاده می‌شود. مراکز نگهداری فرآورده‌های خونی: مکان‌هایی هستند که در آن‌ها هر یک از فرآورده‌های تولید شده در دمای خاصی نگهداری می‌شوند. تسهیلات توزیع در مرکز خون: این تسهیلات ماشین‌های مخصوصی برای ارسال فرآورده‌های خونی به مراکز درمانی می‌باشند که به تجهیزات ویژه‌ای چون یخچال‌های پرتابل تعبیه شده‌اند. با توجه به میزان تقاضای موجود و ظرفیت



شکل ۵- ساختار کلی زنجیره تأمین خون در شرایط عادی

این مرکز برای تست سلامت خون‌ها محدود است، ممکن است که از همه اهداکنندگان خون دریافت نشود. سپس در لابراتوارها فرآورده‌های خونی مختلف اعم از گلبول قرمز، پلاسما و پلاکت تولید می‌شود و در بانک خون مرکز خون قرار می‌گیرد تا با توجه به تقاضای موجود به مراکز تقاضا ارسال شود. باتوجه به اینکه بسیاری از مسیرها برای ارسال فرآورده‌ها به نقاط درمانی خراب شده و غیرقابل استفاده‌اند، مسیریابی مناسبی باید برای ناوگان حمل و نقل در فاز توزیع انجام شود، بنابراین در این رساله طراحی بهینه مجموعه‌ای از مسیرها ارائه می‌شود. لازم به ذکر است که بدلیل وقوع بحران تعداد زیادی از بیمارستان‌ها خارج از دسترس شده‌اند و نمی‌توانند بیماران را پذیرش کنند. از طرفی بدلیل رخداد زلزله تعداد زیادی از افراد دچار آسیب‌ها و جراحات جدی چون خونریزی شدید، زخم باز در سر، سینه یا شکم و سوختگی‌های شدید شده‌اند و نیاز فوری به تزریق فرآورده‌های مختلف خونی دارند. بنابراین با توجه به حجم بالای تقاضای بوجود آمده و اختلال در بعضی از مراکز درمانی، نیاز مبرم به تاسیس مراکز درمانی موقت است. این مراکز باید در مناطق مناسبی تاسیس شوند تا حداکثر آسیب‌دیدگان پوشش‌دهی شود. همانطور که ذکر شد، بدلیل وجود اختلال و خرابی در مسیرها، بعضی بیمارستان‌ها قادر به دریافت فرآورده از مرکز خون نمی‌باشند. همچنین در بعضی از مراکز درمانی ممکن است که مازاد فرآورده وجود داشته باشد و با توجه به فسادپذیری این محصولات، می‌توان آن‌ها را به بیمارستان‌هایی که نیازمند به این فرآورده‌ها می‌باشند ارسال نمود تا تقاضایشان تأمین شود. بنابراین باتوجه به چالش تأمین فرآورده‌های خونی از مرکز خون، در این مقاله وجود ارتباط عرضی بین بیمارستان‌ها و تأمین فرآورده‌های خونی هم از مرکز خون و هم از سایر بیمارستان ممکن می‌باشد.

علاوه بر مدیریت شبکه خون در شرایط عادی، مدیریت خون در مواقع بحرانی نیز دارای اهمیت ویژه‌ای است. امروزه بحران‌هایی همچون جنگ، حملات تروریستی و حوادث طبیعی مانند سیل و زلزله سبب می‌شود که تعداد زیادی از افراد در یک دوره زمانی دچار جراحات شدیدی شده و نیاز مبرم به دریافت خون داشته باشند. بنابراین مدیریت درست و کارآمد خون در شرایط رخداد بحران بسیار حیاتی می‌باشد، که در این مقاله، به این موضوع پرداخته می‌شود.

## ۲- بیان مسأله

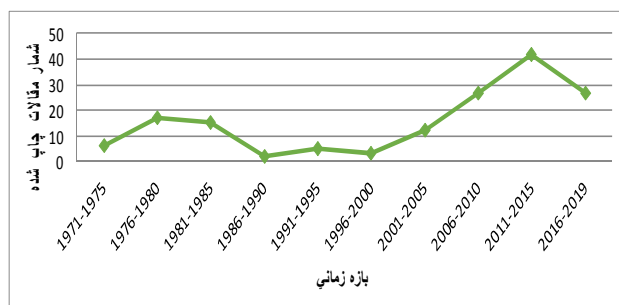
در این مقاله مدیریت زنجیره تأمین خون در شرایط وقوع بحران مورد مطالعه قرار می‌گیرد و تمامی اجزا زنجیره از اهداکنندگان تا انتها زنجیره یعنی بیماران در مدل در نظر گرفته می‌شود تا بررسی همه جانبه‌ای در این موضوع صورت بگیرد. پس از وقوع بحرانی چون زلزله موج هیجانی از اهداکنندگان خون بوجود می‌آید که در این میان افرادی وجود دارند که تا بحال تجربه اهدای خون را نداشته‌اند. بنابراین میزان عرضه خون در دوره‌های اول پس از وقوع زلزله افزایش چشمگیری نسبت به حالت عادی دارد، از طرفی چون زلزله سبب آسیب رساندن به بسیاری از تسهیلات ثابت اهدای خون شده است، نیاز به تسهیلات سیار جمع‌آوری خون می‌باشد تا مقدار مورد نیاز خون از جمعیت اهداکنندگان دریافت شود. در این رساله تعیین تعداد بهینه و مکان مناسب تسهیلات سیار خونگیری با هدف پوشش‌دهی ماکزیمم اهداکنندگان صورت می‌گیرد. خون‌های جمع‌آوری شده باید در اسرع وقت به مراکز خون ارسال شود تا بتوان از آن‌ها فرآورده‌های مختلف خونی را تولید نمود. از طرفی بسیاری از اهداکنندگان برای اولین بار خون اهدا نموده‌اند، بنابراین نیاز است که روی آن‌ها تمامی آزمایش‌های سلامت صورت گیرد ولی چون تعداد لابراتوارهای

## ۳- پیشینه تحقیق

حوزه زنجیره تأمین خون به دلیل اهمیت چشمگیر در نجات جان انسان‌ها، تبدیل به یکی از مهم‌ترین حوزه‌های تحقیقاتی شده است. در شکل (۶) روند انتشار مقالات زنجیره تأمین خون به تفکیک سال انتشار آن‌ها با جستجو در پایگاه‌های اطلاعاتی مختلف که شامل اسکوپوس، ساینس دایرکت، گوگل اسکولار می‌شود، نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود، به دلیل اهمیت خون در حوزه سلامت، در سال‌های اخیر نیز شاهد تعداد زیادی از پژوهش‌ها در این حوزه می‌باشیم. در خون تاکنون چندین مقاله مروری انجام شده است که در ادامه مهم‌ترین این مقالات مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مقاله مروری مورد بررسی توسط اوسوریو و همکاران (۲۰۱۵) [۵] در زمینه زنجیره تأمین خون ارائه شده است که در آن بخش‌بندی مقالات از منظر بخش‌های مختلف زنجیره می‌باشد. مقالات در بخش‌های جمع‌آوری، تولید، موجودی و توزیع مورد بررسی قرار داده شده‌اند. نتایج حاصل از یافته‌های آنان نشان می‌دهد که بیشتر مطالعات انجام شده بصورت تک سطحی یا دوسطحی بوده و مطالعات اندکی مدل‌های یکپارچه را ارائه دادند. علاوه بر این، فاز تولید نسبت به سطوح دیگر، سهم بسیار کمیت را به خود اختصاص داده و همچنین

تقریباً هیچ مقاله‌ای بصورت مدل‌های تحقیق در عملیات به سطح تولید فرآورده‌های خونی نپرداخته است. تحقیق دیگری در این حوزه توسط سیلوک و همکاران (۲۰۱۵) [۶] انجام گرفت که در آن تقاضای پلاکت برای سنین مختلفی در نظر گرفته شده است. نوآوری تحقیق به این گونه است که علاوه بر هزینه‌های چون هزینه اتلاف، کمبود، موجودی و حمل و نقل، هزینه دیگری نیز در نظر گرفته می‌شود. این هزینه وقتی محاسبه می‌شود که ارضای تقاضا برای پلاکت با سن خاص، توسط پلاکتی با سن دیگر صورت گیرد. سپس بدلیل پیچیدگی موجود، مسئله چند دوره‌ای با هدف کمینه‌سازی هزینه کل سیستم، شبیه‌سازی شده و نتایج حاکی از آن است که رویکرد موجود، منجر به عملکرد برتر در مقایسه با ابتکارات موجود در ادبیات شده است. مقاله دیگری توسط مانسار و همکاران (۲۰۱۸) [۷] ارائه شد که در آن چالش‌ها و فرصت‌ها در مدیریت زنجیره تأمین خون مورد بررسی قرار گرفت و تمرکز اصلی آن در مورد مدل‌های مدیریت زنجیره تأمین خون بود. این مقاله به بررسی پژوهش‌های انجام شده در این حوزه از سال ۱۹۶۰ تا سال ۲۰۱۷ پرداخته است و مقالات را در چهار دسته نوع محصول، سطوح سلسله مراتبی، ارزیابی عملکرد و مسایل موجودی طبقه‌بندی کرده است. ازوگ و همکاران (۲۰۱۹) [۸] تحقیقی در حوزه خون ارائه دادند که در آن گروه‌های خونی و ویژگی سازگاری بین گروه‌ها را در یک مدل دینامیک، در نظر گرفتند.



شکل ۶- روند انتشار مقالات زنجیره تأمین خون

بهره برده‌اند که سطح اول تصمیمات، مرتبط با تعیین مکان مراکز خونگیری و سطح دوم تصمیمات تولید و نگهداری فراورده‌های خونی می‌باشد. این پژوهش دارای ویژگی‌های زیر می‌باشد: بکارگیری تسهیلات سیار خونگیری برای اهدای خون در نواحی دورافتاده، ارائه سه هدف در مدل که عبارتند از مینیمم کردن هزینه‌های کل، کمینه کردن زمان توزیع فراورده خونی به نقاط تقاضا و به حداقل رساندن اتلاف و بکارگیری رویکرد تصادفی دوسطحی برای برخورد با عدم قطعیت. براساس نتایج حاصل از مدل یکپارچه مذکور، مقدار اتلاف بالغ بر ۷۷ درصد کمتر شده و هزینه‌ها نیز کاهش چشمگیری داشته است. سامانی و همکاران (۲۰۱۹) [۱۳] به ارائه یک مدل یکپارچه برای زنجیره تأمین خون در شرایط معمولی پرداختند که در آن، پارامترهای عرضه، تقاضا و هزینه بصورت غیر قطعی است و از تمام مدل‌های برنامه‌ریزی امکانی استوار به عنوان یک رویکرد ریاست-فازی، برای قطعی سازی مدل استفاده شده است. در پژوهشی دیگر اسدی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۹) [۱۴] به ارائه یک مدل ریاضی جهت طراحی شبکه زنجیره تأمین خون هنگام بحران در شرایط عدم قطعیت پرداختند. در این پژوهش یک مدل ریاضی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین خون با هدف کمینه سازی تقاضای برآورده نشده ارائه شده است. در این تحقیق یک زنجیره شش سطحی شامل اهدا کنندگان خون، مراکز جمع‌آوری خون، آزمایشگاه-ها، مراکز خون، بیمارستان‌ها و مراکز حادثه در نظر گرفته شده است. به منظور بررسی عدم قطعیت موجود در پارامترهای مدل، از روش برنامه‌ریزی امکانی استفاده شده است. نتایج حاصل تجزیه و تحلیل عددی حاکی از عملکرد مناسب روش امکانی در مقایسه با روش قطعی می‌باشد و امکانی ۰/۹ دارای بهترین عملکرد در مقایسه با دیگر مقادیر بوده است. همچنین حق جو و همکاران (۲۰۲۰)

آنها از الگوریتم‌های جستجوی همزیست، ترکیب شبیه‌سازی تبرید با جستجوی همزیست و در نهایت ترکیب ژنتیک با جستجوی همزیست برای حل مدل استفاده کردند. نتایج حاصل مشخص کرد که ترکیب الگوریتم ژنتیک با جستجوی همزیست نسبت به دو الگوریتم دیگر مناسب‌تر است. رضانیان و بهبودی (۲۰۱۷) [۹] برای سطح جمع‌آوری خون، مدل ریاضی ارائه دادند که هدف آن کمینه‌کردن هزینه‌های کل شبکه است. در این مدل، تاثیر جنبه‌های اجتماعی بصورت مطلوبیت اهداکنندگان، تحت تابعی در نظر گرفته شد. همچنین در این پژوهش تعداد و مکان بهینه مراکز خونگیری و تخصیص اهداکنندگان به آن مراکز مورد بررسی قرار گرفته شد. قریشی و همکاران (۲۰۱۹) [۱۰] مقاله‌ای در حوزه زنجیره تأمین خون در شرایط بحرانی ارائه دادند که مدل بصورت چندهدفه می‌باشد. مهمترین ویژگی‌های این تحقیق عبارتند از: تعیین مقدار جریان خون از اهداکنندگان به تسهیلات خونگیری، سپس از این تسهیلات به مرکز تولید خون و در نهایت به مراکز درمانی، بکارگیری الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه گرگ خاکستری (MOGWO) برای حل مدل و ارائه چندین روش لجستیکی در مدل راجندران و راویندرا (۲۰۱۹) [۱۱] پژوهشی بر روی زنجیره تأمین فراورده پلاکت انجام دادند، بطوریکه پارامتر تقاضا در آن بصورت غیرقطعی بوده و برای قطعی-سازی مدل از برنامه‌ریزی تصادفی بهره جستند. آن‌ها علت انتخاب فراورده پلاکت را به دلیل شرایط خاص آن اعلام کردند که این شرایط عبارتند از: کمبود چشمگیر پلاکت در نقاط تقاضا و اتلاف زیاد پلاکت در مقایسه با سایر فراورده‌های خونی. پژوهش صورت گرفته توسط حمدان و دیابط (۲۰۱۹) [۱۲] در حوزه خون‌رسانی، مرتبط با فراورده گلبول قرمز بوده و برای مقابله با عدم قطعیت موجود از برنامه‌ریزی تصادفی دوسطحی



یک شبکه‌ی مستطیلی و صلب تبدیل می‌گردد. معادلات ناویر-استوکس حاکم بر جریان خون برای میدان سرعت با استفاده از روش تفاضلات متناهی حل می‌شود. به منظور اثبات درستی نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر، نتایج حاصل با نتایج تحقیقات پیشین مورد مقایسه قرار گرفته و درستی مدل ارایه شده به اثبات رسیده است. مشخصه‌های اصلی جریان خون از قبیل دبی حجمی، مقاومت در برابر جریان، تنش برشی دیواره از روی پروفیل سرعت بدست آمده است. نمودارهای دوبعدی برای پارامترهای مختلفی از توزیع سرعت در شکل‌های مختلف ارایه شده است.

یوسفی نژاد و همکاران (۱۴۰۰) [۱۷] در مقاله‌ای تحت عنوان: کنترل موجودی فرآورده‌های خونی در شبکه بیمارستانی تحت شرایط عدم قطعیت به تحقیق پرداختند. در این مقاله کنترل موجودی پلاکت در شبکه بیمارستانی با استفاده از برنامه ریزی عدد صحیح مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به وجود عدم قطعیت از رویکرد بهینه‌سازی استوار سناریو محور استفاده شده است. مدل پیشنهادی با استفاده از نرم افزار GAMS کد نویسی و حل شده است. نتایج نشان داد که استفاده از رویکرد بهینه‌سازی استوار به طور متوسط ۷/۶٪ هزینه‌های بیمارستان را کاهش می‌دهد. کوچکی تاجانی و همکاران (۱۴۰۰) [۱۸] در مقاله‌ای با عنوان ارائه مدل بهینه‌سازی استوار به منظور طراحی زنجیره تأمین خون تحت شرایط عدم قطعیت عرضه و تقاضا به تحقیق و بررسی پرداختند. در این مقاله از روش بهینه‌سازی استوار به منظور مقابله با عدم قطعیت استفاده شده است. مدل طراحی شده با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری وال و رقابت استعماری حل شده و نتایج مشخص گردید. موسوی و همکاران (۲۰۲۱) [۱۹] در مقاله‌ای به بررسی طراحی شبکه زنجیره تأمین برای تجزیه خون با استفاده از عوامل اجتماعی و محیطی

[۱۵] در مقاله‌ای به طراحی شبکه زنجیره تأمین خون قابل‌اطمینان با اختلال در تسهیلات: یک کاربرد در دنیای واقعی پرداختند. در این مقاله، یک مدل مکانیابی - تخصیص استوار پویا برای طراحی شبکه زنجیره تأمین خون تحت ریسک‌های ناشی از اختلال و عدم قطعیت ارائه شده است. یک رویکرد استوار مبتنی بر سناریو برای حل و فصل عدم قطعیت مسئله (مانند تغییرات دوره‌ای تقاضاها و اختلالات تسهیلات) با مدل سازگار شده است. در نظر گرفته می‌شود که تأثیر اختلال بر تسهیلات به میزان سرمایه‌گذاری اولیه برای افتتاح آن‌ها بستگی دارد (که تحت تأثیر بودجه تخصیص یافته قرار می‌گیرند). این مدل با استفاده از یک نمونه واقعی اعتبار سنجی شده. تقاضا و اختلال به‌عنوان پارامترهای عدم قطعیت در نظر گرفته است. برای مسائل در مقیاس بزرگ، دو الگوریتم فراابتکاری، یعنی الگوریتم رقابتی استعماری خود سازگار (SAICA) و الگوریتم علف‌های هرز (IWO) برای حل مدل ارائه شده‌اند. علاوه بر این، چندین نمونه عددی از بینش‌های مدیریتی ارزیابی می‌شود. همچنین در پژوهشی حقیقی و همکاران (۱۳۹۸) [۱۶] در مقاله‌ای تحت عنوان "یک مدل ریاضی برای بررسی جریان خون به‌عنوان جریان سیال کراس در طول رگ گرفته شده" به تحقیق و بررسی پرداختند. در این تحقیق یک مدل دو بعدی برای جریان خون پالسی در طول رگ مخروطی با گرفتگی غیرممتقارن شبیه‌سازی شده است. جریان خون به‌عنوان سیال کراس در یک لوله استوانه الاستیک با گرفتگی غیرممتقارن نسبت به جهت محوری و هندسه‌ی وابسته به زمان مدل‌سازی می‌شود. دیواره عروق گرفته شده در طول رگ انعطاف‌پذیر و غیرانعطاف‌پذیر باهم مقایسه شده است. از فرض گرفتگی خفیف برای ساده کردن معادلات حاکم بر جریان استفاده می‌شود. با اعمال نگاهت مناسب شبکه‌ی کسینوسی گرفته شده به

موقت  $g$  به نقطه زلزله زده  $f$ .  
 $CP$  : هزینه تولید محصولات خونی.  
 $CH$  : هزینه موجودی و نگهداری محصولات خونی.  
 $CE$  : هزینه کمبود هر واحد تقاضای برآورده نشده.  
 $C_{jl}$  : هزینه جابجایی تسهیلات سیار جمع‌آوری خون از نقطه  $l$  به نقطه  $j$ .  
 $C'$  : هزینه ثابت برای احداث بیمارستان‌های موقت.  
 $\sigma$  : ظرفیت نگهداری موجودی محصولات خونی در مرکز خون.  
 $\Phi_h$  : ظرفیت نگهداری موجودی محصولات خونی در بیمارستان ثابت  $h$ .  
 $\Phi'_g$  : ظرفیت نگهداری موجودی محصولات خونی در بیمارستان موقت  $g$ .  
 $\gamma_j$  : ظرفیت برای جمع‌آوری خون‌های اهدا شده در تسهیلات سیار جمع‌آوری خون  $j$ .  
 $\gamma'_k$  : ظرفیت برای جمع‌آوری خون‌های اهدا شده در تسهیلات ثابت جمع‌آوری خون  $k$ .  
 $\theta$  : درصد خون سالم برای تولید فرآورده‌های خونی.  
 $\theta_p$  : درصد محصول خونی تولید شده  $p$ .  
 $\delta_i$  : ماکزیمم مقدار خون اهدا شده توسط گروه اهداکننده  $i$ .  
 $q_j$  : ماکزیمم شعاع پوشش‌دهی تسهیلات سیار جمع‌آوری خون  $j$ .  
 $q'_k$  : ماکزیمم شعاع پوشش‌دهی تسهیلات ثابت جمع‌آوری خون  $k$ .  
 $\lambda_h$  : ماکزیمم شعاع پوشش‌دهی بیمارستان ثابت  $h$ .  
 $\lambda'_g$  : ماکزیمم شعاع پوشش‌دهی بیمارستان موقت  $g$ .  
 $d_{ij}$  : مسافت بین گروه اهداکننده  $i$  و تسهیلات سیار جمع‌آوری خون  $j$ .

پرداختند. در این مقاله با استفاده از برنامه نویسی دو هدفه به تجزیه و تحلیل عوامل خون پرداخته شد. یافته‌های تحقیق نشان داد که عوامل اجتماعی هزینه‌های بیشتری را منتقل می‌کند. شکوهی فر و همکاران (۲۰۲۱) [۲۰] در مقاله‌ای به بررسی مدیریت موجودی در زنجیره تامین خون با توجه به عدم قطعیت در شرایط فازی به تحقیق پرداختند. در این مقاله یک مدل زنجیره تامین خون در شرایط عدم قطعیت و فازی ارائه شد. مدل پیشنهادی با استفاده از الگوریتم نهنگ حل شده و نتایج شبیه‌سازی نشان از کاهش هزینه و زمان می‌باشد.

### مدل‌سازی

مجموعه‌ها:

$i$  : مجموعه اهداکنندگان  $i = 1, \dots, I$   
 $j$  : مجموعه تسهیلات سیار جمع‌آوری خون  
 $j = 1, \dots, J$  و  $l \in J$   
 $k$  : مجموعه تسهیلات ثابت جمع‌آوری خون  
 $k = 1, \dots, K$   
 $l$  : مرکز خون  $l = 1, \dots, L$   
 $h$  : مجموعه بیمارستان‌ها  $h = 1, \dots, H$   
 $g$  : مجموعه بیمارستان‌های موقت  
 $g = 1, \dots, G$   
 $f$  : مجموعه نقاط زلزله زده  $f = 1, \dots, F$   
 $p$  : مجموعه محصولات خونی  $p = 1, \dots, P$

### پارامترهای مسئله:

$CT_j$  : هزینه انتقال هر واحد خون از تسهیلات سیار جمع‌آوری خون  $j$  به مرکز خون.  
 $CT'_k$  : هزینه انتقال هر واحد خون از تسهیلات ثابت جمع‌آوری خون  $k$  به مرکز خون.  
 $CS_{hf}$  : هزینه انتقال هر واحد خون از بیمارستان  $h$  به نقطه زلزله زده  $f$ .  
 $CS'_{gj}$  : هزینه انتقال هر واحد خون از بیمارستان

|  |              |  |                |
|--|--------------|--|----------------|
| متغیر صفر و یک است ، اگر تسهیلات سیار جمع‌آوری خون که در دوره قبل در مکان $J$ بوده، در دوره فعلی به مکان $I$ انتقال یابد برابر $1$ است، در غیر این صورت برابر $0$ است. | $: y_{jlt}$  | مسافت بین گروه اهداکننده $I$ و تسهیلات ثابت جمع‌آوری خون $k$ .   | $: d'_{ik}$    |
| متغیر صفر و یک است، اگر نقطه زلزله‌زده $f$ به بیمارستان ثابت $h$ تخصیص یابد برابر $1$ است ، در غیر این صورت برابر $0$ است.   | $: z_{fh}$   | مسافت بین نقطه زلزله زده $f$ و بیمارستان ثابت $h$ .  | $: b_{fn}$     |
| متغیر صفر و یک است ، اگر نقطه زلزله‌زده $f$ به بیمارستان موقت $g$ تخصیص یابد برابر $1$ است ، در غیر این صورت برابر $0$ است.  | $: z'_{fg}$  | مسافت بین تسهیلات سیار جمع‌آوری خون $J$ و مرکز زمین لرزه.  | $: a_j$        |
| متغیر صفر و یک است ، اگر نقطه زلزله‌زده $f$ به بیمارستان موقت $g$ تخصیص یابد برابر $1$ است ، در غیر این صورت برابر $0$ است.  | $: e_g$      | تقاضای نقطه زلزله زده $f$ برای محصول خونی $p$ در دوره $t$ .  | $: \tau_{fpt}$ |
| متغیر صفر و یک است ، اگر بزرگی زلزله بین $5$ تا $6$ ریشتر.   | $: \Theta_1$ | میزان ریشتر زلزله.   | $: \psi$       |
| متغیر صفر و یک است ، اگر بزرگی زلزله بین $6$ ریشتر باشد برابر $1$ است ، در غیر این صورت برابر $0$ است.   | $: \Theta_2$ | شعاع ویرانی زلزله با بزرگی بین $5$ تا $6$ ریشتر.   | $: S_1$        |
| متغیر صفر و یک است ، اگر بزرگی زلزله بین $6$ تا $7$ ریشتر باشد برابر $1$ است ، در غیر این صورت برابر $0$ است.  | $: \Theta_3$ | شعاع ویرانی زلزله با بزرگی بین $6$ تا $7$ ریشتر.   | $: S_2$        |
| متغیر صفر و یک است، اگر بزرگی زلزله بین $7$ تا $8$ ریشتر باشد برابر $1$ است ، در غیر این صورت برابر $0$ است.   | $: y_{i_vt}$ | شعاع ویرانی زلزله با بزرگی بین $7$ تا $8$ ریشتر.   | $: S_3$        |
| متغیر صفر و یک است، اگر بزرگی زلزله بین $7$ تا $8$ ریشتر باشد برابر $1$ است ، در غیر این صورت برابر $0$ است.   |              | زمان لازم برای انتقال خون از محل جمع‌آوری خون $J$ به مراکز خون در دوره $t$ با استفاده از وسیله حمل و نقل $v$ .                                       | $: t'_{ijvt}$  |
| متغیر صفر و یک است، اگر بزرگی زلزله بین $7$ تا $8$ ریشتر باشد برابر $1$ است ، در غیر این صورت برابر $0$ است.   |              | ظرفیت وسیله حمل و نقل $v$ در دوره $t$ .  | $: c'_{i_vt}$  |
| متغیرهای تصمیم:  |              | متغیرهای صفر و یک:   |                |
| متغیر صفر و یک است، اگر گروه اهداکنندگان $I$ بوسیله تسهیلات سیار جمع‌آوری خون $J$ در دوره $t$ تخصیص پیدا کند برابر $1$ است، در غیر این صورت $0$ است.                   | $: x_{ijt}$  | متغیر صفر و یک است، اگر گروه اهداکنندگان $I$ بوسیله تسهیلات ثابت جمع‌آوری خون $k$ در دوره $t$ تخصیص پیدا کند برابر $1$ است، در غیر این صورت $0$ است. | $: x'_{ikt}$   |
| متغیرهای نامنفی:   |              |  |                |
| مقدار خون اهدا شده توسط گروه اهداکننده $I$ بوسیله تسهیلات سیار جمع‌آوری خون $J$ در دوره $t$ .  | $: s_{ijt}$  |  |                |

مقدار خون ارسالی توسط تسهیلات  
سیار جمع‌آوری خون  $J$  در دوره  $t$  به  
وسیله وسیله حمل و نقل  $V$  به مرکز  
خون.  
تعداد دفعاتی که یال  $(a,b)$  توسط  
وسیله حمل و نقل  $V$  در دوره  $t$  طی  
می‌شود.

**توابع هدف و محدودیت‌ها:**

$$\begin{aligned} \text{Min}Z_1 = & \sum_i \sum_j \sum_t CT_j \times S_{ijt} \\ & + \sum_i \sum_k \sum_t CT'_k \\ & \times S'_{ikt} \quad (1) \\ & + \sum_f \sum_h \sum_p \sum_t CS_{hf} \times n_{fhpt} \\ & + \sum_f \sum_g \sum_p \sum_t CS'_{gf} \times n'_{fgpt} \\ & + \sum_p \sum_t CP \times u_{pt} \\ & + \sum_p \sum_h \sum_g \sum_t CH \times (w_{pt} + m_{pht} \\ & + m'_{pgt}) \\ & + \sum_j \sum_i \sum_t C_{ji} \times y_{jlt} + \sum_g C' \times e_g \\ & + \sum_f \sum_p \sum_t CE \\ & \times sh_{fpt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Min}Z_2 = & \sum_t \sum_j \sum_v ri_{jvt} \quad ti_{jvt}^+ \\ & \sum_t \sum_k \sum_v ri_{kvt} \quad ti_{jvt} \quad (2) \end{aligned}$$

**محدودیت‌های تحقیق:**

$$\sum_i y_{jlt} \leq \sum_j y_{jlt-1} \quad \forall j', t \geq 2 \quad (3)$$

$$\sum_j y_{jlt} \leq 1 \quad \forall l, t \quad (4)$$

$$\begin{aligned} d_{ij} \times x_{ijt} \\ \leq q_j \times \sum_i y_{jlt} \quad \forall i, j, t \quad (5) \end{aligned}$$

مقدار خون اهدا شده توسط گروه  
اهداننده  $i$  بوسیله تسهیلات ثابت  
جمع‌آوری خون  $k$  در دوره  $t$ .  
مقدار فرآورده خونی تولید شده در  
مرکز خون در دوره  $t$ .  
مقدار موجودی محصول خونی در  
مرکز خون در دوره  $t$ .  
مقدار موجودی محصول خونی در  
بیمارستان ثابت  $h$  در دوره  $t$ .  
مقدار موجودی محصول خونی در  
بیمارستان موقت  $g$  در دوره  $t$ .  
میزان محصول خونی ارسال شده از  
مرکز خون به بیمارستان ثابت  $h$  در  
دوره  $t$ .  
میزان محصول خونی ارسال شده از  
مرکز خون به بیمارستان موقت  $g$  در  
دوره  $t$ .  
میزان محصول خونی  $p$  ارسال شده از  
بیمارستان ثابت  $h$  به بیمارستان موقت  
 $g$  در دوره  $t$ .  
میزان تقاضای برآورده شده نقطه زلزله  
زده  $f$  که به بیمارستان ثابت  
تخصیص یافته از محصول خونی در  
دوره  $t$ .  
میزان تقاضای برآورده شده نقطه زلزله  
زده  $f$  که به بیمارستان موقت  
 $g$  تخصیص یافته از محصول خونی در  
دوره  $t$ .  
میزان کمبود نقطه زلزله زده  $f$  از  
محصول خونی  $p$  در دوره  $t$ .  
متغیر صفر و یک است، اگر وسیله  
حمل و نقل  $V$  برای انتقال خون جمع  
آوری شده از مرکز جمع‌آوری خون  $J$  به  
مرکز خون در دوره  $t$  استفاده شود برابر  
۱ است، در غیر این صورت برابر ۰ است.

$: r_{jvt}$

$$\begin{aligned}
 & v''_{phgt} \leq \sum_p m_{pht} + \sum_p v_{pht} + \sum_p m'_{pgt} + \sum_p v'_{pgt} \leq e_g \times \Phi'_g \quad \forall f, h \quad (24) \\
 & m_{pht} = m_{pht-1} + v_{pht} + \sum_f n_{fhpt} \quad \forall h, p, t \quad (26) \\
 & m'_{pgt} = m'_{pgt-1} + v'_{pgt} + \sum_f n'_{fgpt} \quad \forall g, p, t \quad (27) \\
 & \sum_p \sum_t n_{fhpt} \leq M \times z_{fh} \quad \forall h, f \quad (28) \\
 & \sum_p \sum_t n'_{fgpt} \leq M \times z'_{fg} \quad \forall g, f \quad (29) \\
 & \sum_h n_{fhpt} + \sum_g n'_{fgpt} + sh_{fpt} = \tau_{fpt} \quad \forall f, p, t \quad (30) \\
 & \sum_j qi_{jvt} \leq ci_{vt} \quad \forall t \quad (31) \\
 & \sum_{b \in v, a < b} xi_{ab}^{vt} + \sum_{b \in v, b < a} xi_{ab}^{vt} = 2 \times yi_{vt} \quad \forall a, b, t \quad (32) \\
 & \sum_v \sum_{b \in v, a < b} xi_{ab}^{vt} \leq yi_{at} \quad \forall a, b, t \quad (33) \\
 & \sum_v ri_{jvt} = 1 \quad \forall t, j \quad (34) \\
 & d'_{ik} \times x'_{ikt} \leq q'_k \quad \forall i, k, t \quad (6) \\
 & s_{ijt} \leq M \times x_{ijt} \quad \forall i, j, t \quad (7) \\
 & s'_{ikt} \leq M \times x'_{ikt} \quad \forall i, k, t \quad (8) \\
 & \sum_i s_{ijt} \leq \gamma_j \quad \forall j, t \quad (9) \\
 & \sum_i s'_{ikt} \leq \gamma'_k \quad \forall k, t \quad (10) \\
 & \sum_j \sum_t s_{ijt} + \sum_k s'_{ikt} \leq \delta_i \quad \forall i \quad (11) \\
 & u_{pt} = \theta \times \vartheta_p \times \left( \sum_i \sum_j s_{ijt} + \sum_i \sum_k s'_{ikt} \right) \quad \forall p, t \quad (12) \\
 & \sum_p u_{pt} + \sum_p w_{pt-1} \leq \sigma \quad \forall t \quad (13) \\
 & w_{pt} = w_{pt-1} + u_{pt} + \left( \sum_h v_{pht} + \sum_g v'_{pgt} \right) \quad \forall p, t \quad (14) \\
 & \psi \leq 6 \theta_1 + 7 \theta_2 + 8 \theta_3 \quad (15) \\
 & \psi \geq 5 \theta_1 + 6 \theta_2 + 7 \theta_3 \quad (16) \\
 & \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 = 1 \quad (17) \\
 & a_j \geq (\zeta_1 \theta_1 + \zeta_2 \theta_2 + \zeta_3 \theta_3) y_{jlt} \quad \forall j, l, t \quad (18) \\
 & b_{fh} \times z_{fh} \leq \lambda_h \quad \forall f, h \quad (19) \\
 & b'_{fg} \times z'_{fg} \leq \lambda'_g \times e_g \quad \forall f, g \quad (20) \\
 & \sum_h z_{fh} + \sum_g z'_{fg} = 1 \quad \forall f \quad (21) \\
 & z'_{fg} \leq e_g \quad \forall f, g \quad (22) \\
 & \sum_p m_{pht} + \sum_p v_{pht} \leq \Phi_h \quad \forall h, t \quad (23)
 \end{aligned}$$

نقطه  $j$  بوده، می‌تواند به نقطه کاندید اهدای خون  $I$  انتقال یابد. محدودیت (۵) بیان می‌کند که فقط هنگامی گروه اهداکننده  $i$  می‌تواند به تسهیلات سیار جمع‌آوری خون  $j$  تخصیص یابد که در شعاع پوششی آن تسهیلات قرار گرفته باشد. محدودیت (۶) نیز محدودیت شعاع پوشش‌دهی برای تسهیلات ثابت جمع‌آوری خون می‌باشد که بر طبق آن، اگر گروه اهدا کننده‌ای به یک تسهیلات ثابت تخصیص یافته، حتما در شعاع پوششی آن مرکز بوده است. در محدودیت (۷) تضمین می‌شود فقط هنگامی واحدهای خونی از اهداکنندگان به تسهیلات سیار جمع‌آوری خون انتقال می‌یابد که آن گروه از اهداکنندگان به آن تسهیلات سیار تخصیص داده شده باشند. محدودیت (۸) بیان می‌کند که در صورتی اهداکنندگان می‌توانند به تسهیلات ثابت جمع‌آوری خون، خون اهدا کنند که از قبل به آن مرکز تخصیص داده شده باشند. محدودیت (۹) بیان می‌کند که مقدار خون اهدا شده توسط اهداکنندگانی که به تسهیلات سیار جمع‌آوری خون  $j$  تخصیص یافته‌اند نباید از ظرفیت جمع‌آوری خون آن تسهیلات بیشتر شود. محدودیت (۱۰) بیان می‌کند که مقدار خون اهدا شده توسط اهداکنندگانی که به تسهیلات ثابت جمع‌آوری خون  $k$  تخصیص یافته‌اند نباید از ظرفیت جمع‌آوری خون آن تسهیلات بیشتر شود. در محدودیت (۱۱) تضمین می‌شود که کل خون اهدا شده توسط گروه اهدا کننده  $i$  به همه تسهیلات سیار و ثابت جمع‌آوری خون، نباید از ظرفیت آن گروه اهدا کننده تجاوز کند. رابطه (۱۲) میزان تولید هر محصول خونی را نشان می‌دهد. همانطور که قبلاً ذکر شد، در این پایان‌نامه سه محصول خونی پلاکت، گلبول قرمز و پلاسما در نظر گرفته شده است. در این رابطه پس از پایش خون‌های اهداشده که به مرکز خون ارسال می‌شود، فقط مقدار  $\theta$  درصد خون‌ها سالم بوده و قابل تبدیل به

$$r_{ijvt} \leq \sum_i s_{ijvt} \quad \forall t, j, v \quad (35)$$

$$\sum_v r_{kvt} = 1 \quad \forall t, j \quad (36)$$

$$r_{kvt} \leq \sum_i s'_{ikt} \quad \forall t, j, v \quad (37)$$

### ۳-۱- تشریح مدل (تابع هدف)

تابع هدف اول این پایان نامه شامل پنج بخش است که به ترتیب بخش اول بیانگر هزینه‌های حمل‌ونقل در کل شبکه است، که این هزینه‌ها به ترتیب شامل هزینه ارسال خون‌های اهدا شده از تسهیلات سیار و ثابت جمع‌آوری خون به مرکز خون است، و همچنین هزینه انتقال فرآورده‌های خونی از بیمارستان‌های ثابت و موقت به نقاط زلزله زده می‌باشد. بخش دوم نشانگر هزینه‌های تولید فرآورده‌های مختلف خونی که شامل محصولات پلاکت، گلبول قرمز و پلاسما می‌باشد. بخش سوم هزینه نگهداری محصولات خونی را در مرکز خون و همچنین در بیمارستان‌های ثابت و موقت نشان می‌دهد. بخش چهارم بترتیب، هزینه استقرار مجدد تسهیلات سیار جمع‌آوری خون در دوره‌های زمانی متوالی و هزینه احداث بیمارستان‌های موقت را نشان می‌دهد. بخش پنجم معادل هزینه تقاضای برآورد نشده می‌باشد، بدین معنی که معادل هر مقدار کمبود فرآورده‌های خونی در نقاط زلزله زده، چه میزان هزینه باید پرداخت شود. تابع هدف دوم زمان حمل و نقل خون جمع‌آوری شده از مراکز جمع‌آوری خون به مرکز خون را مینیمم می‌کند.

### ۳-۲- تشریح محدودیت‌های تحقیق

محدودیت (۳) تضمین می‌کند که هر تسهیلات سیار جمع‌آوری خون به شرطی به دوره بعدی انتقال می‌یابد که در دوره فعلی موجود باشد. محدودیت (۴) بیان می‌کند که در هر دوره ماکزیمم یک تسهیلات سیار جمع‌آوری خون که دوره قبل در

محدودیت نشان دهنده ارتباط عرضی بین بیمارستان‌های ثابت و بیمارستان‌های موقت است. رابطه (۲۵) محدودیت ظرفیت بیمارستان موقت  $g$  است که بر طبق آن برابر با مقدار محصولات موجود، بعلاوه مقدار فرآورده‌های ارسالی از طرف مرکز خون است. محدودیت‌های (۲۶) و (۲۷) محدودیت‌های موجودی برای بیمارستان‌های ثابت و موقت هستند که بر طبق آن‌ها، در هر دوره میزان موجودی هر بیمارستان برابر است با موجودی دوره قبل بعلاوه مقدار ارسالی از مرکز خون، منهای مقدار مصرف نقاط زلزله زده. محدودیت (۲۸) نشان می‌دهد که بیمارستان ثابت  $h$  اگر قادر به پاسخگویی تقاضای نقطه زلزله زده  $f$  باشد، می‌تواند به آن نقطه تخصیص یابد. محدودیت (۲۹) نشان می‌دهد که بیمارستان موقت  $g$  اگر قادر به پاسخگویی تقاضای نقطه زلزله زده  $f$  باشد، می‌تواند به آن نقطه تخصیص یابد. رابطه (۳۰) میزان تقاضای هر نقطه زلزله زده را در هر دوره زمانی نشان می‌دهد، که بر طبق آن میزان تقاضا، برابر با مقدار تقاضای ارضا شده هر نقطه بعلاوه کمبود آن می‌باشد. رابطه (۳۱) محدودیت ظرفیت هر وسیله نقلیه را نشان می‌دهد. محدودیت (۳۲) تضمین می‌کند که درجه هر نقطه یا ۰ است یا ۲، یعنی هر وسیله نقلیه وقتی به یک نقطه وارد می‌شود حتماً از آن نقطه خارج می‌شود. و درباره تسهیلات جمع‌آوری خون، اگر وسیله‌ای از آن‌ها خارج شود باید حتماً تا انتهای دوره به آن بازگردد. رابطه (۳۳) از ایجاد زیرتورها جلوگیری می‌کند. محدودیت (۳۴) محدودیت تخصیص وسایل حمل و نقل برای انتقال خون جمع‌آوری شده از مرکز جمع‌آوری خون  $J$  به مرکز خون می‌باشد. محدودیت (۳۵) بیان می‌کند که تنها زمانی از وسیله حمل و نقل  $V$  برای انتقال خون از مرکز جمع‌آوری خون  $J$  به مرکز خون استفاده می‌شود که در آن مرکز فرآیند جمع‌آوری خون انجام شده باشد. محدودیت (۳۶) محدودیت تخصیص

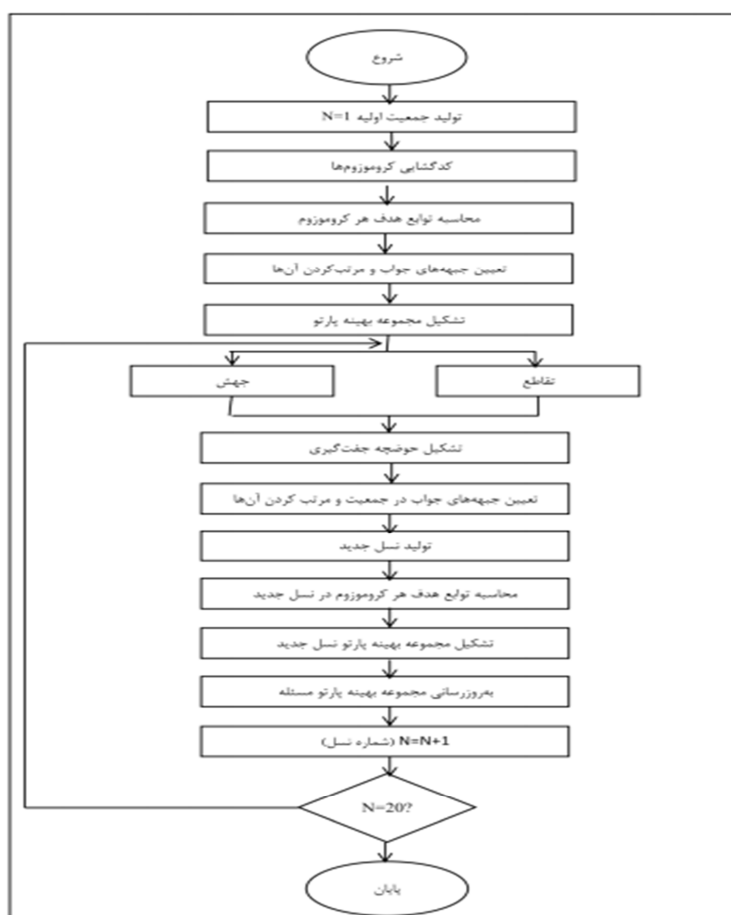
فرآورده‌های خونی می‌باشند و در این میان از هر فرآورده خونی به میزان  $\theta p$  تولید خواهد شد. رابطه (۱۳) بیان می‌کند که در هر دوره زمانی، میزان موجودی دوره قبل بعلاوه مقدار تولید همان دوره همواره کوچکتر مساوی ظرفیت نگهداری موجودی مرکز خون است. محدودیت (۱۴) بیان می‌کند که سطح موجودی در مرکز خون در هر دوره برابر با مقدار موجودی آن مرکز در دوره قبل، بعلاوه مقدار تولید در همان دوره، منهای مقدار کل ارسالی‌ها به بیمارستان‌های ثابت و سیار است. محدودیت‌های (۱۵) و (۱۶) نشان می‌دهد که بزرگی زلزله بین ۵ تا ۶ ریشتر یا بین ۶ تا ۷ ریشتر یا بین ۷ تا ۸ ریشتر می‌باشد. محدودیت (۱۷) بیان می‌کند که یا زلزله بین ۵ تا ۶ ریشتر یا بین ۶ تا ۷ ریشتر رخ می‌دهد. محدودیت‌ها (۱۸) خسارات ناشی از زلزله را به مراکز جمع‌آوری خون بر اساس بزرگی آن نشان می‌دهد. محدودیت (۱۹) شعاع پوشش دهی بیمارستان ثابت  $h$  را نشان می‌دهد که بنا بر آن، فقط نقاط زلزله زده ای که در این شعاع قرار دارند می‌توانند به آن بیمارستان تخصیص داده شوند. رابطه (۲۰) نیز مربوط به شعاع پوشش دهی بیمارستان‌های موقت است. در محدودیت (۲۱) تضمین می‌شود که هر نقطه زلزله زده، حتماً یا به یک بیمارستان ثابت تخصیص می‌یابد و یا به یک بیمارستان موقت، بنابراین هیچ نقطه زلزله زده‌ای بدون تخصیص به مراکز درمانی نخواهیم داشت. محدودیت (۲۲) بیان می‌کند که اگر بیمارستان موقتی تاسیس شود آنگاه می‌تواند نقطه زلزله زده‌ای به آن تخصیص یابد. محدودیت (۲۳) محدودیت ظرفیت بیمارستان ثابت  $h$  است که بر طبق آن برابر با مقدار محصولات موجود، بعلاوه مقدار فرآورده‌های ارسالی از طرف مرکز خون است. محدودیت‌ها (۲۴) تعداد واحد فرآورده خونی  $p$  که از بیمارستان ثابت  $h$  در دوره  $t$  به بیمارستان موقت  $g$  فرستاده می‌شود را نشان می‌دهد و همینطور این

برای حل مسائل عددی در ابعاد مختلف از رویکردهای فراابتکاری یا متاهیوریستیک استفاده شده است. به دلیل حد بالای عدم قطعیت موجود در زنجیره تامین خون در شرایط بحرانی و با توجه ماهیت پارامترهای غیرقطعی از رویکرد برنامه ریزی استوار استفاده شده است. و با رویکرد بنتال و نمیروسیکی (۲۰۰۰) نسبت به استوارسازی مدل اقدام شد. لذا با توجه به NP-hard بودن مساله از الگوریتم NSGA II و MOPSO استفاده شده است. برای ارزیابی نتایج مدل، از یک مطالعه موردی واقعی در شهر تهران استفاده شده است و تحلیل حساسیت نیز، روی پارامترهای مهم مدل انجام شده است.

تسهیلات ثابت جمع آوری خون برای انتقال خون جمع آوری شده از مرکز جمع آوری خون  $k$  به مرکز زمانی از وسیله حمل و نقل  $v$  برای انتقال خون از مرکز جمع آوری خون  $k$  به مرکز استفاده می‌شود که در آن مرکز فرآیند جمع‌آوری خون انجام شده باشد.

### ۳-۳- روش حل

در این مقاله به منظور نشان دادن قابلیت اجرای مدل ارائه شده، این مدل بر روی شهر تهران و شبکه خون آن در شرایط وقوع بحران (زلزله) اجرا شده و نتایج آن مورد ارزیابی قرار گرفت. نظر به ساختار NP-Hard مدل ارائه شده در این تحقیق،



شکل ۷- فلوچارت الگوریتم NSGA II



## نتایج محاسباتی

دسته‌بندی می‌شود. جدول (۱) آرایه‌های طراحی شده برای الگوریتم NSGA II است. هر آرایه پنج بار برای محاسبه‌ی نرخ S/N تکرار شده است. فاکتورهای جمعیت اولیه، تعداد تکرار، نرخ تقاطع، نرخ جهش و نرخ بازتولید به عنوان پارامترهای اصلی در الگوریتم مورد نظر بوده‌اند. در جدول (۱)، A نشانگر اندازه جمعیت، B نشان دهنده‌ی تعداد تکرار، C نماد نرخ تقاطع، D نرخ بازتولید و همچنین E نشان گر نرخ جهش است.

به منظور داشتن الگوریتمی قدرتمندتر و تخصصی‌تر، تنظیم پارامترها بر مبنای اندازه‌ی مسئله انجام پذیرفت. در این راستا، مسائل در سه گروه شامل مسائل کوچک، متوسط و بزرگ طبقه‌بندی شدند. مسائلی با داشتن حداکثر ۱۰ گره به‌عنوان اندیس‌های  $i$  و  $j$  و  $k$  به عنوان مسائلی در ابعاد کوچک، مسائلی با حدارای بودن حداکثر ۲۰ گره مزبور به عنوان مسائلی در ابعاد متوسط و مسائلی با بیشتر از ۲۰ گره به عنوان مسائلی در ابعاد بزرگ

جدول ۱- آرایه‌ی در نظر گرفته شده برای الگوریتم NSGA II

| آزمایش | A | B | C | D | E |
|--------|---|---|---|---|---|
| ۱      | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |
| ۲      | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۲ |
| ۳      | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۳ |
| ۴      | ۱ | ۲ | ۲ | ۲ | ۱ |
| ۵      | ۱ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ |
| ۶      | ۱ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ |
| ۷      | ۱ | ۳ | ۳ | ۲ | ۱ |
| ۸      | ۱ | ۳ | ۲ | ۳ | ۱ |
| ۹      | ۱ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ |
| ۱۰     | ۲ | ۱ | ۲ | ۳ | ۱ |
| ۱۱     | ۲ | ۱ | ۳ | ۳ | ۲ |
| ۱۲     | ۱ | ۲ | ۱ | ۳ | ۳ |
| ۱۳     | ۲ | ۲ | ۳ | ۱ | ۱ |
| ۱۴     | ۲ | ۲ | ۳ | ۱ | ۲ |
| ۱۵     | ۱ | ۲ | ۳ | ۱ | ۲ |
| ۱۶     | ۲ | ۳ | ۱ | ۲ | ۱ |
| ۱۷     | ۲ | ۳ | ۱ | ۲ | ۲ |
| ۱۸     | ۲ | ۳ | ۱ | ۱ | ۳ |
| ۱۹     | ۲ | ۱ | ۳ | ۲ | ۱ |
| ۲۰     | ۳ | ۱ | ۳ | ۲ | ۲ |
| ۲۱     | ۲ | ۱ | ۳ | ۱ | ۳ |
| ۲۲     | ۳ | ۲ | ۱ | ۳ | ۲ |
| ۲۳     | ۲ | ۱ | ۱ | ۳ | ۲ |
| ۲۴     | ۳ | ۲ | ۱ | ۲ | ۳ |
| ۲۵     | ۳ | ۳ | ۲ | ۲ | ۳ |
| ۲۶     | ۳ | ۲ | ۲ | ۱ | ۲ |
| ۲۷     | ۳ | ۲ | ۲ | ۲ | ۱ |

چنان که در جدول (۳) قابل مشاهده است، اندازه‌ی جمعیت بهینه برای مسائل عددی کوچک، متوسط و بزرگ به ترتیب برابر با ۱۱۰، ۱۳۰ و ۱۴۵ است. همچنین تعداد تکرار بهینه برای مسائل فوق به ترتیب ۱۴۰، ۱۴۰ و ۱۷۰ است.

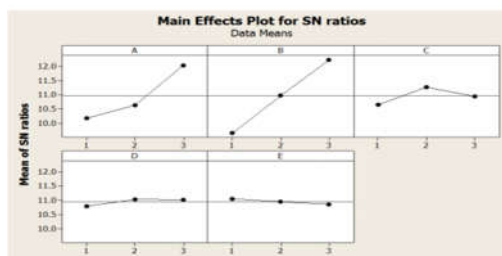
پارامترهای الگوریتم و سطوح بهینه‌ی آن در جدول (۲) به نمایش در آمده است. همچنین، شاخص سیگنال به نویز و مقادیر بهینه‌ی پارامترها در شکل (۸) به نمایش در آمده است.

جدول ۲- پارامترها و مقادیر بهینه‌ی آن‌ها در NSGA II

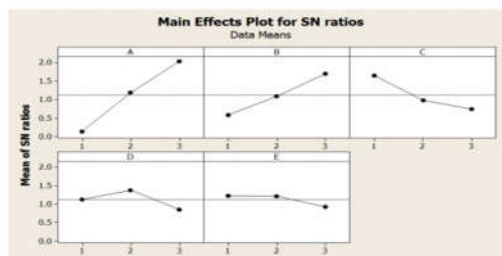
| مسائل بزرگ | مسائل متوسط | مسائل کوچک | نماد | فاکتور         |
|------------|-------------|------------|------|----------------|
| ۱۴۵        | ۱۳۰         | ۱۱۰        | A    | اندازه‌ی جمعیت |
| ۱۷۰        | ۱۴۰         | ۱۴۰        | B    | تعداد تکرار    |
| %۶۵        | %۶۵         | %۷۵        | C    | نرخ تقاطع      |
| %۸         | %۶          | %۴         | D    | نرخ بازتولید   |
| %۵۴        | %۴۹         | %۴۹        | E    | نرخ جهش        |

چرا که شاخص سیگنال به نویز بیشتری نسبت به سطوح شماره‌ی ۱ و ۲ است. همچنین برای پارامتر تعداد تکرار (B) هم سطح ۳ مقدار بهینه را از نظر شاخص سیگنال به نویز ایجاد می‌کند.

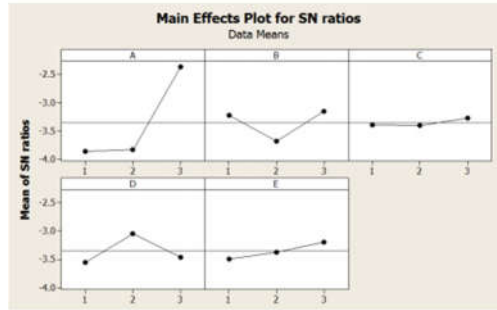
همچنین شکل (۸) نشانگر سطوح بهینه‌ی پارامترهای الگوریتم برای مسائل عددی در اندازه‌های متنوع است. به عنوان مثال، شکل (۸) الف) بیان می‌دارد که برای مسائل کوچک، شاخص اندازه جمعیت (A) در سطح ۳ مقدار بهینه دارد



الف) مسائل کوچک



ب) مسائل متوسط



(ج) مسائل بزرگ

شکل ۸- نمودار نرخ سیگنال به نویز برای الگوریتم NSGA II

۰.۴ با الگوریتم‌های MOPSO و NSGA II حل شده و بر اساس شاخص MID مورد مقایسه قرار گرفتند. جدول (۴) مقادیر مربوط به ابعاد مسائل عددی مختلف را نشان می‌دهد. جدول (۵) نحوه‌ی طراحی پارامترهای مسئله را نشان می‌دهد.

همچنین پارامترهای مربوط به الگوریتم MOPSO نیز به همین ترتیب مشخص شد که مقادیر بهینه‌ی آن در جدول (۳) آورده شده است.

۱-۴- یافته‌های عددی

۱-۱-۴- نحوه‌ی طراحی مسائل عددی

در این قسمت ۱۰ مثال با عدم قطعیت‌های ۰.۶ و

جدول ۳- سطوح بهینه‌ی پارامترهای الگوریتم MOPSO

| پارامتر                            | مقادیر |
|------------------------------------|--------|
| (maxit) تعداد تکرار                | ۱۲۰    |
| (npop) تعداد جمعیت                 | ۵۰     |
| (nRep) اندازه مخزن                 | ۴۰     |
| (w) ضریب اینرسی                    | ۰.۱    |
| (wdamp) نرخ کاهش وزن اینرسی        | ۰.۸    |
| (nGrnde) تعداد گرید به ازای هر بعد | ۱۰     |
| (beta) فشار انتخاب لیدر            | ۱      |
| (gama) فشار حذف لیدر               | ۲      |
| (c1) ضریب یادگیری فردی             | ۱      |
| (c2) ضریب یادگیری جمعی             | ۲      |

جدول ۴- ابعاد مسائل عددی طراحی شده

| مثال‌ها | مجموعه‌ها |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|
|         | I         | J | K | H | G | F | P | T | V |
| 1       | 3         | 4 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| 2       | 7         | 4 | 2 | 4 | 2 | 5 | 4 | 3 | 4 |
| 3       | 8         | 5 | 3 | 5 | 3 | 6 | 5 | 5 | 5 |

جدول ۴- ابعاد مسائل عددی طراحی شده

| مثال‌ها | مجموعه‌ها |    |    |    |   |    |   |    |    |
|---------|-----------|----|----|----|---|----|---|----|----|
|         | I         | J  | K  | H  | G | F  | P | T  | V  |
| 4       | 9         | 6  | 5  | 5  | 4 | 7  | 5 | 6  | 6  |
| 5       | 10        | 8  | 7  | 7  | 4 | 8  | 6 | 8  | 9  |
| 6       | 12        | 9  | 7  | 8  | 5 | 8  | 6 | 7  | 7  |
| 7       | 15        | 10 | 8  | 9  | 5 | 8  | 7 | 6  | 8  |
| 8       | 18        | 10 | 9  | 10 | 7 | 9  | 7 | 8  | 6  |
| 9       | 19        | 12 | 10 | 11 | 6 | 10 | 8 | 9  | 5  |
| 10      | 20        | 13 | 10 | 11 | 6 | 11 | 8 | 10 | 10 |

جدول ۵- توزیع تصادفی تولید مسائل عددی

|   |  |   |
|---|--|---|
| $CT_j = u \text{ niform}(۳۰, ۱۰۰)$        | $CE = u \text{ niform}(۱۰۰, ۱۲۰)$        | $\gamma_j = u \text{ niform}(۶۰, ۷۰)$       |
| $CT'_k = u \text{ niform}(۶۰, ۱۰۰)$       | $C_{jl} = u \text{ niform}(۴۰, ۱۰۰)$     | $\gamma'_k = u \text{ niform}(۲۴۰, ۲۷۰)$    |
| $CS_{hf} = u \text{ niform}(۱, ۱۰۰)$      | $C' = u \text{ niform}(۴۰۰, ۴۲۰)$        | $\theta = u \text{ niform}(۰.۹, ۰.۹۵)$      |
| $CS'_{gf} = u \text{ niform}(۱, ۱۰۰)$     | $\sigma = u \text{ niform}(۲۰۸, ۳۲۰)$    | $\vartheta_p = u \text{ niform}(۰.۹, ۰.۹۵)$ |
| $Cp = u \text{ niform}(۲۰, ۵۰)$           | $\varphi_h = u \text{ niform}(۱۲۰, ۱۴۰)$ | $\delta_i = u \text{ niform}(۳۰۰, ۳۵۰)$     |
| $CH = u \text{ niform}(۱۰, ۲۰)$           | $\varphi'_g = u \text{ niform}(۸۰, ۹۰)$  | $q_j = u \text{ niform}(۴۰, ۵۰)$            |
| $q'_k = u \text{ niform}(۵۰, ۶۰)$         | $d'_{ik} = u \text{ niform}(۱۵, ۹۰)$     | $\tau_{fpt} = u \text{ niform}(۱۰, ۴۰)$     |
| $\lambda'_g = u \text{ niform}(۲۱۰, ۲۴۰)$ | $ti_{kvt} = u \text{ niform}(۵, ۳۰)$     | $\psi = u \text{ niform}(۶, ۷)$             |
| $\lambda_h = u \text{ niform}(۲۴۰, ۲۷۰)$  | $b'_{fg} = u \text{ niform}(۱, ۱۰۰)$     | $b_{fh} = u \text{ niform}(۱, ۱۰۰)$         |
| $d_{ij} = u \text{ niform}(۵, ۱۰۰)$       | $a_j = u \text{ niform}(۵۰, ۱۰۰)$        | $ti_{jvt} = u \text{ niform}(۱۰, ۴۰)$       |
| $\varsigma = u \text{ niform}(۳۰, ۷۰)$    |  |   |

جدول (۷) پارتو برای مسئله‌ی شماره‌ی ۱ در حل مسئله با استفاده از الگوریتم MOPSO به ازای  $\varepsilon$  برابر با ۰.۴ را نشان می‌دهد.

جدول (۸) نقاط پارتو برای مسئله‌ی شماره‌ی ۱ در حل مسئله با استفاده از نرم افزار GAMS به ازای  $\varepsilon$  برابر با ۰.۴ را نشان می‌دهد.

شکل‌های (۹) تا (۱۲) نشان دهنده‌ی مرز پارتو برای مسائل شماره‌ی ۱ و ۲ برای الگوریتم‌های حل فراابتکاری مورد استفاده در دو سطح عدم قطعیت ۰.۴ و ۰.۶ را نشان می‌دهد.

مسائل عددی طراحی شده با استفاده از الگوریتم‌های طراحی شده حل شدند که نتایج آن در این بخش ارائه می‌شوند. لازم به ذکر است که کلیه‌ی محاسبات بر روی یک رایانه‌ی شخصی با سیستم عامل Windows 8 با یک پردازنده‌ی ۵ هسته‌ای (۲.۵ GHz) و ۵ GB حافظه انجام گرفت. نرم‌افزار مورد استفاده MATLAB نسخه‌ی R2016a بود.

جدول (۶) پارتو برای مسئله‌ی شماره‌ی ۱ در حل مسئله با استفاده از الگوریتم NSGA II به ازای  $\varepsilon$  برابر با ۰.۴ را نشان می‌دهد.

جدول ۶- نقاط کارآ برای مسئله‌ی شماره‌ی ۱ در حل با NSGA II به ازای  $\epsilon$  برابر ۰.۴

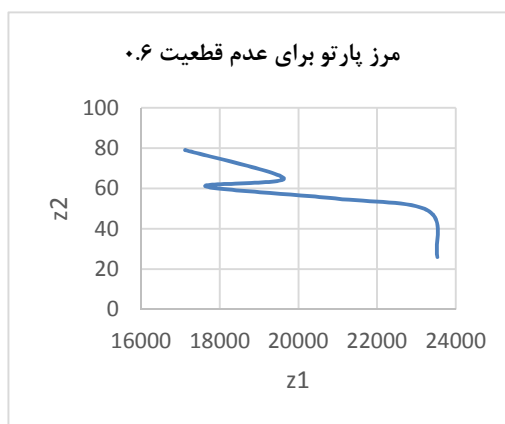
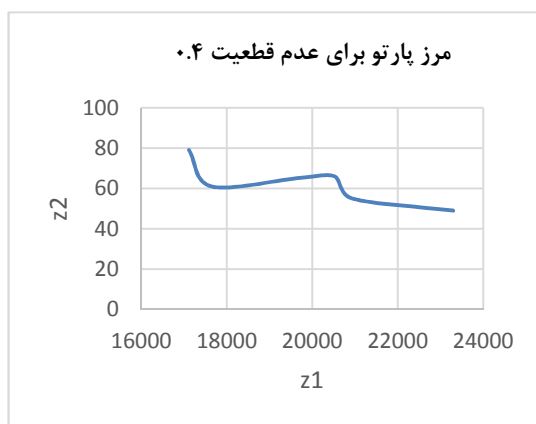
| شماره جواب | تابع هدف ۱ | تابع هدف ۲ |
|------------|------------|------------|
| ۱          | ۱۹۴۴۲      | ۳۸         |
| ۲          | ۲۳۸۸۴      | ۲۸         |
| ۳          | ۱۹۸۲۱      | ۶۱         |
| ۴          | ۲۰۲۶۲      | ۷۵         |
| ۵          | ۲۱۶۲۰      | ۳۸         |
| ۶          | ۲۱۴۹۴      | ۵۵         |

جدول ۷- نقاط کارآ برای مسئله‌ی شماره‌ی ۱ در حل با MOPSO به ازای  $\epsilon$  برابر ۰.۴

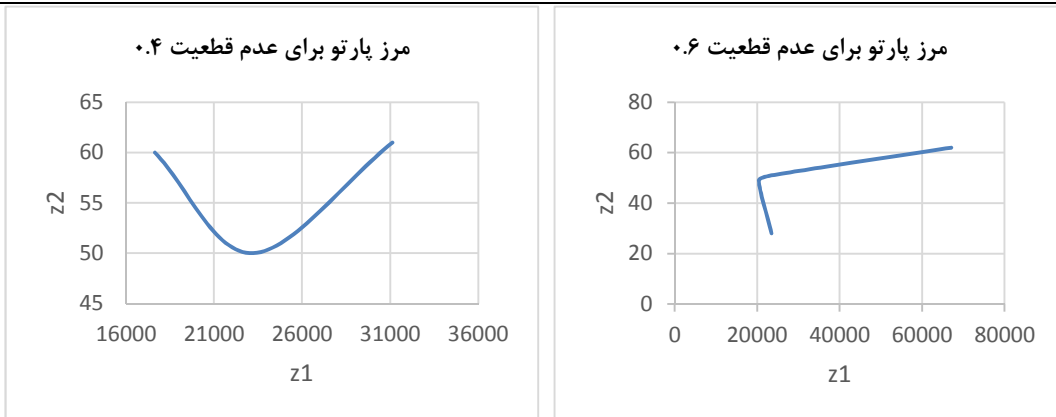
| شماره جواب | تابع هدف ۱ | تابع هدف ۲ |
|------------|------------|------------|
| ۱          | ۲۶۹۵۰      | ۵۱         |
| ۲          | ۲۳۳۱۱      | ۷۶         |
| ۳          | ۲۳۷۷۸      | ۶۱         |
| ۴          | ۲۳۵۱۹      | ۵۵         |

جدول ۸- نقاط کارآ برای مسئله‌ی شماره‌ی ۱ در حل با GAMS به ازای  $\epsilon$  برابر ۰.۴

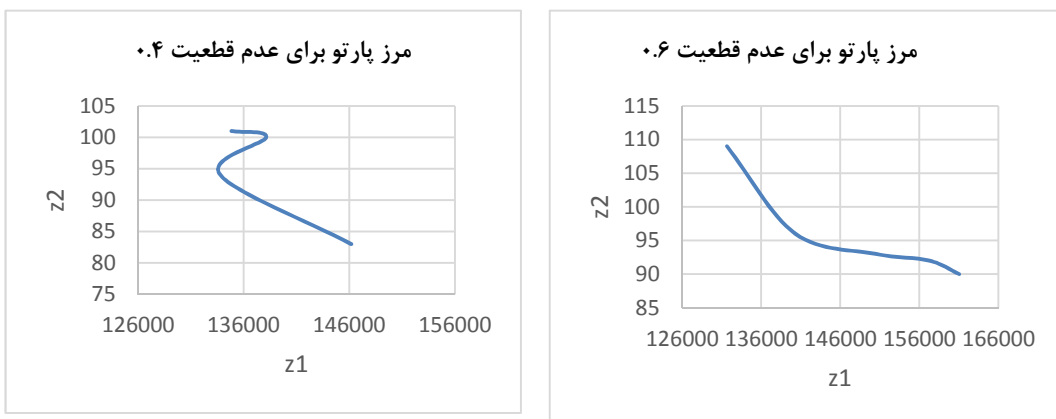
| شماره جواب | تابع هدف ۱ | تابع هدف ۲ |
|------------|------------|------------|
| ۱          | ۱۹۲۵۸      | ۳۶         |
| ۲          | ۲۱۱۲۴      | ۳۳         |
| ۳          | ۲۰۷۸۶      | ۶۸         |
| ۴          | ۱۹۷۵۸      | ۵۸         |



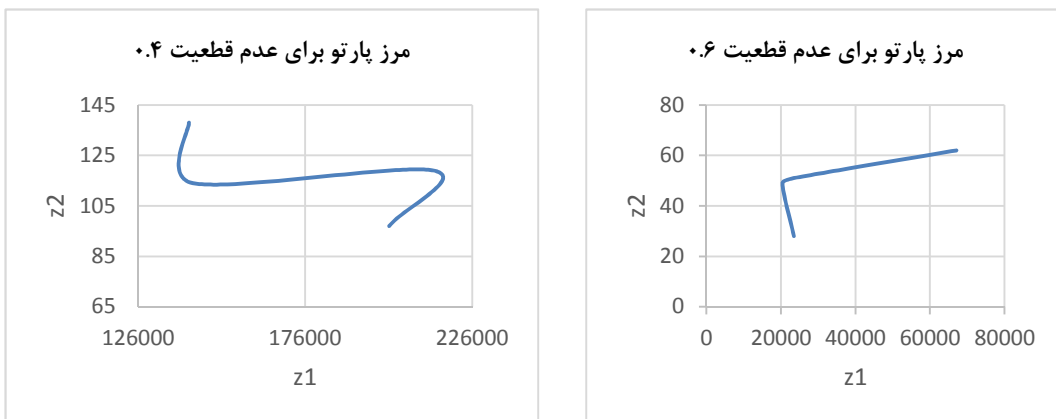
شکل ۹- مرز پارتو برای مسئله‌ی شماره‌ی ۱ حل شده با الگوریتم NSGA II



شکل ۱۰- مرز پارتو برای مسئله‌ی شماره‌ی ۱ حل شده با الگوریتم MOPSO



شکل ۱۱- مرز پارتو برای مسئله‌ی شماره‌ی ۲ حل شده با الگوریتم NSGA II



شکل ۱۲- مرز پارتو برای مسئله‌ی شماره‌ی ۲ حل شده با الگوریتم MOPSO

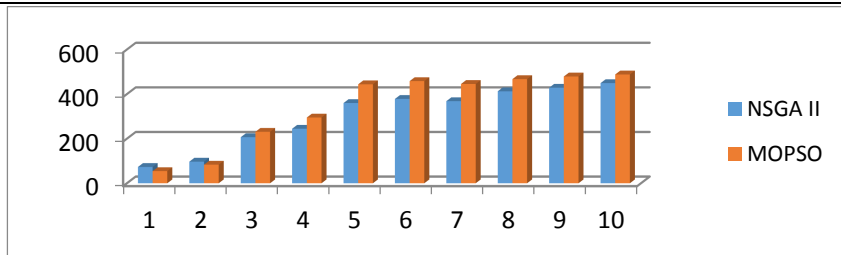
الگوریتم NSGA II در مسائل شماره‌ی ۱ و ۲ زمان حل بیشتری نسبت به الگوریتم MOPSO نیاز دارد. ولی با زیاد شدن ابعاد مسئله، این الگوریتم از منظر زمان حل عملکرد بسیار بهتری را نسبت به الگوریتم MOPSO از خود به نمایش گذارده است. از این روی، الگوریتم NSGA II از منظر زمان حل کارکرد مناسب تری را نسبت به الگوریتم MOPSO از خود به نمایش گذارده است

جدول (۹) مقایسه‌ای از الگوریتم‌های حل مسئله‌ی مورد استفاده از منظر شاخص MID را در دو حالت قطعیت و عدم قطعیت نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که نرم افزار GAMS تنها در حل مسائل عددی در ابعاد کوچک توانست مفید ظاهر شود و مسائل عددی در ابعاد بزرگ‌تر با استفاده از این نرم افزار قابل حل نبود.

شکل (۱۳) مقایسه‌ی رویکردهای حل از نظر زمان حل مورد نیاز را هنگامی که  $\epsilon$  برابر با ۰.۴ باشد نشان می‌دهد. همان گونه که ملاحظه می‌شود،

جدول ۹- مقایسه‌ی الگوریتم‌های حل مسئله از منظر شاخص MID

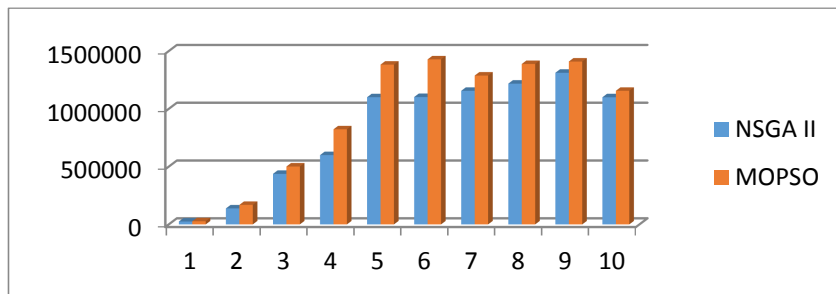
| شماره مسئله | شاخص MID الگوریتم‌ها در حالت قطعی |           | زمان الگوریتم‌ها در حالت قطعی |              | عدم قطعیت | شاخص MID الگوریتم‌ها در حالت عدم قطعیت |                 | زمان الگوریتم‌ها در حالت عدم قطعیت |              |
|-------------|-----------------------------------|-----------|-------------------------------|--------------|-----------|--|-----------------|------------------------------------|--------------|
|             | NsgaII                            | MOPSO     | NsgaII                        | MOPSO        |           | NsgaII                                 | MOPSO           | NsgaII                             | MOPSO        |
| 1           | 24075.99                          | 29755.054 | 115.17<br>12                  | 82.436<br>9  | 0.4       | 24721.6242<br>5                        | 27179.7365<br>6 | 73.051                             | 54.3973      |
|             |                                   |           |                               |              | 0.6       | 25313.2240<br>1                        | 33603.8581<br>3 | 73.8727                            | 53.7658      |
| 2           | 134098.9                          | 165280.73 | 156.05<br>93                  | 141.84<br>92 | 0.4       | 138232.936<br>9                        | 168953.518<br>2 | 96.9391                            | 83.2865      |
|             |                                   |           |                               |              | 0.6       | 148578.483<br>8                        | 192805.155<br>6 | 93.2434                            | 81.4585      |
| 3           | 490655.7                          | 527174.86 | 331.58<br>2                   | 367.62<br>66 | 0.4       | 437343.728<br>4                        | 500915.511<br>2 | 206.565<br>6                       | 230.885<br>2 |
|             |                                   |           |                               |              | 0.6       | 439957.761<br>7                        | 508290.879      | 202.986<br>9                       | 229.682<br>8 |
| 4           | 644519.2                          | 901843.24 | 297.38<br>91                  | 457.82<br>43 | 0.4       | 599659.479<br>8                        | 822876.607<br>9 | 244.567<br>4                       | 294.828<br>9 |
|             |                                   |           |                               |              | 0.6       | 668558.425<br>3                        | 874294.142<br>9 | 244.842<br>2                       | 290.910<br>4 |
| 5           | 1290776                           | 1470678.8 | 378.28<br>45                  | 514.44<br>78 | 0.4       | 1100557.04<br>6                        | 1382517.36<br>5 | 359.789<br>9                       | 443.939      |
|             |                                   |           |                               |              | 0.6       | 1187195.02<br>1                        | 1399588.70<br>9 | 355.942<br>6                       | 439.067<br>2 |
| 6           | 1308266                           | 1520388   | 407.23<br>1                   | 538.06       | 0.4       | 1102256.1                              | 1428017         | 378.215                            | 458.11       |
|             |                                   |           |                               |              | 0.6       | 1186013.54                             | 1324018.2       | 388.1                              | 466.9        |
| 7           | 1358118                           | 1488233.5 | 382.06                        | 520.14       | 0.4       | 1156015.4                              | 1288014.6       | 368.21                             | 445.3        |
|             |                                   |           |                               |              | 0.6       | 1238015.6                              | 14190166        | 371.11                             | 446.10       |
| 8           | 1314056                           | 1427131   | 448.31                        | 569.12       | 0.4       | 1218014.6                              | 1388127.9       | 412.5                              | 467.12       |
|             |                                   |           |                               |              | 0.6       | 1188016                                | 1259064         | 409.1                              | 463.7        |
| 9           | 13780214                          | 1477209   | 468.06                        | 598.05       | 0.4       | 1312018                                | 1409221         | 428.5                              | 478.9        |
|             |                                   |           |                               |              | 0.6       | 1302219                                | 1402211.8       | 423.5                              | 475.2        |
| 10          | 1302266.7                         | 1425088.6 | 479.14                        | 609.14       | 0.4       | 1100219                                | 1156015         | 449.09                             | 488.06       |
|             |                                   |           |                               |              | 0.6       | 1110218                                | 1178019         | 444.8                              | 482.6        |



شکل ۱۳- مقایسه‌ی الگوریتم‌های فراابتکاری از منظر زمان حل

باشد نشانی از عملکرد بهتر الگوریتم می‌باشد، بنابراین الگوریتم NSGA II نسبت به الگوریتم MOPSO عملکرد بهتر و نزدیک‌تر به مقدار بهینه را از خود نشان داده است.

شکل (۱۴) مقایسه‌ی الگوریتم‌ها از منظر شاخص MID را نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌شود، الگوریتم NSGA II نسبت به الگوریتم MOPSO مقدار شاخص MID کمتری دارد. با توجه به این که هر چقدر مقدار این شاخص کمتر



شکل ۱۴- مقایسه‌ی الگوریتم‌های فراابتکاری از منظر شاخص MID

مهم، تغییراتی بر روی برخی پارامترهای مسئله انجام شده و تاثیرات آن بر روی توابع هدف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### ۹-۱- تحلیل حساسیت روی هزینه انتقال

**خون از تسهیلات ثابت جمع‌آوری به مرکز خون** در این بخش تحلیل حساسیت بر روی هزینه انتقال خون از تسهیلات ثابت جمع‌آوری به مرکز خون انجام می‌شود. بدین منظور، پارامتر  $CT'_k$  یک بار افزایش و بار دیگر کاهش یافته و تاثیرات آن بر روی توابع هدف مورد بررسی قرار می‌گیرد. این کار برای تمامی مسائل عددی اعمال شده و جدول (۱۰) نتایج حاصله را نشان می‌دهد.

بنابراین، الگوریتم NSGA II جواب‌هایی بهتر و نزدیک‌تر به پاسخ بهینه را نسبت به الگوریتم MOPSO ایجاد می‌نماید و این مسائل را در مدت زمان کمتری نیز حل می‌کند. از این روی، برای این مدل الگوریتم NSGA II الگوریتم حل مناسب‌تری می‌باشد. البته این مسئله از قبل نیز قابل پیش‌بینی بود چرا که همان گونه که در ابتدای این فصل نیز ذکر شد، این الگوریتم در حل مسائل عددی با متغیرهای باینری نسبت به سایر الگوریتم‌ها عملکرد مناسب‌تری را از خود به نمایش گذاشته بود.

#### تحلیل حساسیت

در این قسمت به منظور بررسی تاثیرات پارامترهای



جدول ۱۰- نتایج حاصل از تغییرات روی پارامتر  $CT'_k$ 

| شماره مسئله | بدون تغییر در پارامتر |       | ±۵۰٪   |       | $Z_1$   | $Z_2$ |
|-------------|-----------------------|-------|--------|-------|---------|-------|
|             | $Z_1$                 | $Z_2$ | $Z_1$  | $Z_2$ |         |       |
| ۱           | ۱۹۸۲۱                 | ۶۱    | ۱۸۰۱۶  | ۶۱    | ۲۱۱۵۵   | ۶۱    |
| ۲           | ۱۲۴۵۷۳                | ۱۰۰   | ۱۱۸۱۲۳ | ۱۰۰   | ۱۳۳۲۱۶  | ۱۰۰   |
| ۳           | ۵۸۱۴۲۵                | ۴۲۰   | ۵۳۲۲۶۶ | ۴۲۰   | ۶۳۸۲۴۶  | ۴۲۰   |
| ۴           | ۵۹۸۹۵۸                | ۵۰۱   | ۵۳۸۲۱۶ | ۵۰۱   | ۶۶۲۱۱۸  | ۵۰۱   |
| ۵           | ۱۰۵۶۷۶۹               | ۸۲۸   | ۹۶۳۱۲۸ | ۸۲۸   | ۱۱۲۷۰۱۴ | ۸۲۸   |

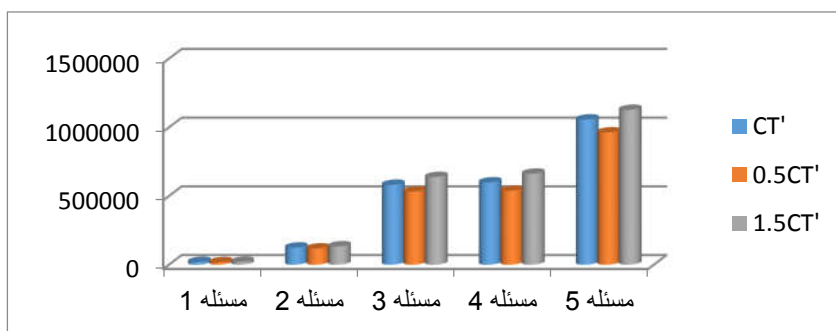
پیشنهادی از یک مطالعه موردی استفاده شده است. ابتدا، عملکرد الگوریتم پیشنهادی با مدل ریاضی برای مسائلی با ابعاد مختلف بررسی شد. مدل دارای دو تابع هدف اصلی شامل حداقل کردن هزینه‌های شبکه است. این هزینه‌ها شامل هزینه‌های حمل‌ونقل در کل شبکه شامل هزینه ارسال خون‌های اهدا شده از تسهیلات سیار و ثابت جمع‌آوری خون به مرکز خون و همچنین هزینه انتقال فرآورده‌های خونی از بیمارستان‌های ثابت و موقت به نقاط زلزله زده، هزینه‌های تولید فرآورده‌های مختلف خونی که شامل محصولات پلاکت، گلبول قرمز و پلاسما، هزینه نگهداری محصولات خونی در مرکز خون و همچنین در بیمارستان‌های ثابت و موقت، هزینه استقرار مجدد تسهیلات سیار جمع‌آوری خون در دوره‌های زمانی متوالی و هزینه احداث بیمارستان‌های موقت و هزینه تقاضای برآورد نشده می‌باشد.

شکل (۱۵) تغییرات تابع هدف اول را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

همان گونه که ملاحظه می‌شود، تغییرات در این پارامتر تغییری بر روی تابع هدف دوم نگذاشته است ولی تاثیر زیادی بر روی تابع هدف اول گذاشته است. یکی از دلایلی که با افزایش پارامتر  $CT'_k$  تابع هدف افزایش می‌یابد این است که مدل به دنبال کاهش هزینه‌ها می‌باشد در نتیجه به ازای افزایش هزینه  $CT'_k$  مقدار ارسال  $S'_{ikt}$  کاهش پیدا می‌کند که منجر به کاهش هزینه کل تابع هدف می‌شود. از طرفی با کاهش پارامتر  $CT'_k$  مقدار ارسال  $S'_{ikt}$  افزایش پیدا می‌کند چون هزینه مربوط به آن کاهش پیدا کرده است در نتیجه مقدار کل تابع هدف افزایش پیدا می‌کند.

### نتیجه‌گیری

در این مقاله، برای بررسی کارایی مدل و الگوریتم



شکل ۱۵- نتایج حاصل از تغییرات روی پارامتر  $CT'_k$  بر تابع هدف اول

هزینه کل تابع هدف می‌شود. از طرفی با کاهش پارامتر  $CT'_k$  مقدار ارسال  $S'_{ikt}$  افزایش پیدا می‌کند چون هزینه مربوط به آن کاهش پیدا کرده است در نتیجه مقدار کل تابع هدف افزایش پیدا کرد.

در پایان لازم است برخی نکات و توصیه‌ها در مورد این مقاله ذکر شود:

۱- اگر چه سعی شده است کلیه پارامترهای مهم مسئله در طراحی مدل شناسایی گردد، به دلیل فراوان بودن این عوامل ممکن است برخی عوامل ناشناخته‌ی دیگر نیز موثر باشند که شناسایی نشدند.

۲- نتایج ارائه شده حکایت از کارایی مدل و راحت حل شدن آن در ابعاد مختلف دارد.

۳- سعی شده است تا محدودیت‌ها و پارامترهایی وارد مدل گردند که آن را هر چه بیشتر با شرایط دنیای واقعی تطابق دهند.

۴- با در نظر گرفتن انتقال عرضی یک طرفه حداقل ۷۰ درصد در برآوردن تقاضای بیماران را بهبود بخشید.

۵- به منظور ساده‌تر کردن مدل سازی مسئله، برخی مفروضات ساده کننده در نظر گرفته شده اند که در مسائل عددی مختلف می‌توان به نسبت شرایط مسئله آن‌ها را کم و زیاد نمود.

۶- سعی شد در طراحی مدل، عمومیت مدل حفظ شود. از این روی، مدل ارائه شده را می‌توان فارغ از مکان یا کشور خاصی پیاده سازی نمود.

۷- مدل انعطاف پذیر بوده و می‌توان با توجه به شرایط خاص یک مسئله‌ی خاص، محدودیت‌هایی را به مسئله اضافه نمود و مدل را توسعه داد.

### پیشنهادات

هر پژوهشی می‌تواند زمینه‌ساز پژوهش‌های جامع‌تر و قدرتمندتر شود. تحقیق حاضر نیز از این مسئله مستثنی نیست و می‌توان از آن به منظور انجام تحقیقاتی غنی‌تر استفاده کرد. در راستای انجام این

بدین معنی که معادل هر مقدار کمبود فرآورده‌های خونی در نقاط زلزله زده، چه میزان هزینه باید پرداخت شود. تابع هدف دوم زمان حمل و نقل خون جمع آوری شده از مراکز جمع آوری خون به مرکز خون را مینیمم می‌کند. پس از اینکه مدل تحقیق ارائه شد، در گام بعد نوبت به استوارسازی مدل بود. بدین منظور، پارامتر تقاضا به صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده و با رویکرد بنتال و نمیروسکی (۲۰۰۰) نسبت به استوارسازی مدل اقدام شد. گام بعدی در راستای انجام تحقیق، انجام تست‌های عددی بود. در گام نخست، دو الگوریتم MOPSO و NSGA II برای حل مسائل عددی در ابعاد مختلف تشریح شد. سپس نحوه آماده سازی الگوریتم‌ها تشریح شد. در گام بعدی چند سری داده تعریف شد و همچنین نحوه‌ی تولید داده‌های تصادفی ارائه گشت. مسائل در ابعاد مختلف حل شد و نتایج حاکی از توانایی مدل و الگوریتم در حل مسائل مختلف دارد. همچنین مشخص شد که الگوریتم NSGA II نسبت به MOPSO دارای کارکرد بهتری از نظر نزدیکی به جواب بهینه می‌باشد. همچنین از منظر زمان حل هم الگوریتم NSGA II نسبت به MOPSO بهتر عمل نموده و زمان حل به مراتب کمتری را نسبت به الگوریتم مزبور داشته است. همچنین تحلیل حساسیت بر روی پارامتر هزینه‌ی انتقال خون از تسهیلات ثابت جمع آوری به مرکز خون انجام شد. بدین منظور، پارامتر  $CT'_k$  یک بار ۵۰٪ افزایش و بار دیگر ۵۰٪ کاهش یافته و تاثیرات آن بر روی توابع هدف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده حکایت از آن داشت که تغییرات در این پارامتر تغییری بر روی تابع هدف دوم نگذاشته است ولی تاثیر زیادی بر روی تابع هدف اول گذاشته است. یکی از دلایل آن این بود که مدل به دنبال کاهش هزینه‌ها می‌باشد در نتیجه به ازای افزایش هزینه  $CT'_k$  مقدار ارسال  $S'_{ikt}$  کاهش پیدا می‌کند که منجر به کاهش

تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی مناسب بسیار دشوار و در برخی موارد غیرممکن می‌شود.

همچنین در انتها پیشنهادهای جهت مطالعات آتی بیان شده است.

۱- از الگوریتم‌های دیگر برای حل مسئله استفاده و نتایج مقایسه گردد.

۲- نتایج روی نمونه‌ی موردی پیاده‌سازی گردد و قابلیت کاربرد مدل با آن مورد سنجش قرار گیرد.

۳- از سایر رویکردها برای در نظر گرفتن عدم قطعیت یا احتمال اختلال در تسهیلات استفاده نمود.

۴- سایر شیوه‌های حمل و نقل نظیر رویکرد ترکیبی زمینی و هوایی برای حمل و نقل مدنظر قرار گیرد.

۵- بحث کیفیت و همچنین گروه‌بندی و طبقه‌بندی انواع خون‌ها مورد توجه قرار گیرد.

۶- مدل برای زنجیره تأمین اقلام امدادی فاسدشدنی دیگر نظیر دارو مورد بررسی قرار گیرد.

۷- در نظر گرفتن احتمال خرابی مراکز خون و از کار افتادن مراکز درمانی و بیمارستان‌ها.

۸- استفاده از اتوبوس‌های متحرک اهدای خون به عنوان تسهیل در جمع‌آوری فرآورده‌های خونی.

۹- لحاظ کردن قابلیت اطمینان تسهیلات دائم در مدل.

۱۰- با توجه به اینکه شرایط بحران مدنظر است، می‌توان از دو نوع مدل حمل‌ونقل هوایی و زمینی استفاده نمود به عبارت دیگر می‌توان مدل را طوری تعریف کرد که اگر در اثر حادثه و خرابی راه، زمان سفر از حد مجاز تعریف شده تجاوز کند، روش زمینی به هوایی تبدیل شود.

۱۱- پیشنهاد حمل و نقل عرضه یک طرفه بین بیمارستان‌ها و مراکز درمانی در صورت کمبود.

اتخاذ تدابیری نظیر خوشه‌بندی بیمارستان‌ها و مراکز درمانی جهت پشتیبانی از یکدیگر در شبکه‌ای بزرگ و تحت عدم قطعیت.

تحقیق، برخی محدودیت‌ها وجود داشت که ضرورت دارد در تحقیقات آتی نسبت به رفع آن‌ها اقدام شود. با توجه به نتایج عددی به دست آمده، باید نگاه یکپارچه به مباحث زنجیره‌ی تأمین خون وجود داشته باشد. توجه صرف به یک بخش یا تصمیم در زنجیره و عدم توجه به سایر تصمیمات می‌تواند کاربردی بودن نتایج را به شدت کاهش دهد. به عنوان نمونه، مباحث مربوط به مکانیابی و مسیریابی به شدت با یکدیگر وابسته و دارای ارتباط تنگاتنگ هستند. از این روی، تصمیمات مجزا برای هر یک از این تصمیمات می‌تواند از دقت و کاربردی بودن نتایج حاصل از مدل بکاهد و در برخی موارد آن را غیرعملی سازد. در هنگام تصمیم‌گیری باید توجه لازم به شرایط و مسائل دنیای واقعی وجود داشته باشد. مباحثی نظیر ترافیک، عدم قطعیت، وابستگی زمان و سرعت حمل و نقل به ساعات روز، مدل شود. غفلت از این موارد می‌تواند منجر به غیرکاربردی شدن و حتی فریبنده بودن نتایج حاصل از مدل شود. با توجه به اهمیت بحث خون و فرآورده‌های خونی در سلامتی بیماران، به خصوص در شرایط وقوع بحران، لازم است تا مدیران و تصمیم‌گیرندگان در این قبیل زنجیره‌ها از نگاه صرف مالی به مسائل خودداری نموده و افزون بر شاخص‌های مالی، فاکتورهای دیگری را نیز در مدل خود در نظر بگیرند. مواردی نظیر زمان حمل و نقل، الزام به ارضای تقاضاها، کیفیت محصول و مواردی از این دست فاکتورهایی هستند که باید در کنار بحث‌های مربوط به هزینه در مدل لحاظ شوند. همچنین با توجه به احتمال وقوع حوادث طبیعی در کشور و خسارات فراوانی مالی و به خصوص جانی این حوادث در کشور، لازم است برنامه‌ریزی‌های دقیقی بر مبنای سناریوهای مختلف از قبل و در شرایط آرامش انجام شود و مراکز و نقاط پایلوت و استقرار و همچنین تخصیص‌های بالقوه از پیش برنامه‌ریزی شود، چرا که در شرایط وقوع بحران،

## فهرست منابع

Govender, "Mathematical model formulation and hybrid metaheuristic optimization approach for near-optimal blood assignment in a blood bank system," *Expert Systems with Applications*, vol. 137, pp. 74-99, 2019.

[9] R. Ramezani and Z. Behboodi, "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, 2017.

[10] S. B. Ghorashi, M. Hamed, and R. Sadeghian, "Modeling and optimization of a reliable blood supply chain network in crisis considering blood compatibility using MOGWO," *Neural Computing and Applications*, pp. 1-28, 2019.

[11] S. Rajendran and A. R. Ravindran, "Inventory management of platelets along blood supply chain to minimize wastage and shortage," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 130, pp. 714-730, 2019.

[12] B. Hamdan and A. Diabat, "A two-stage multi-echelon stochastic blood supply chain problem," *Computers & Operations Research*, vol. 101, pp. 130-143, 2019.

[13] M. R. G. Samani, S.-M. Hosseini-Motlagh, M. I. Sheshkol, and S.-N. Shetab-Boushehri, "A bi-objective integrated model for the uncertain blood network design with raising products quality," *European Journal of Industrial Engineering*, vol. 13, no. 5, pp. 553-588, 2019.

[14] ب. اسدی‌مقدم، ا. مردان، "ارائه یک مدل ریاضی جهت طراحی شبکه زنجیره تأمین خون هنگام بحران در شرایط عدم قطعیت"، ششمین کنفرانس بین‌المللی

[1] B. Zahiri, S. Torabi, M. Mousazadeh, and S. Mansouri, "Blood collection management: Methodology and application," *Applied Mathematical Modelling*, vol. 39, no. 23-24, pp. 7680-7696, 2015.

[2] J. Beliën and H. Forcé, "Supply chain management of blood products: A literature review," *European Journal of Operational Research*, vol. 217, no. 1, pp. 1-16, 2012.

[3] W.-C. Lee and B.-W. Cheng, "An intelligent system for improving performance of blood donation," vol. 18, no. 2, pp. 173-185, 2011.

[4] س. ذوالفقاری‌انارکی، اطلس جامع انتقال خون، سازمان انتقال خون، ۱۳۹۱.

[5] A. F. Osorio, S. C. Brailsford, and H. K. Smith, "A structured review of quantitative models in the blood supply chain: a taxonomic framework for decision-making," *International Journal of Production Research*, vol. 53, no. 24, pp. 7191-7212, 2015.

[6] I. Civelek, I. Karaesmen, and A. Scheller-Wolf, "Blood platelet inventory management with protection levels," *European Journal of Operational Research*, vol. 243, no. 3, pp. 826-838, 2015.

[7] A. Mansur, I. Vanany, and N. I. Arvitrida, "Challenge and opportunity research in blood supply chain management: a literature review," in *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 154: EDP Sciences, p. 01092.

[8] A. E. Ezugwu, M. O. Olusanya, and P.

مهندسی صنایع و سیستم‌ها, (ICISE 2020) مشهد, ۱۳۹۹.

[15] N. Haghjoo, R. Tavakkoli-Moghaddam, H. Shahmoradi-Moghaddam, and Y. Rahimi, "Reliable blood supply chain network design with facility disruption: A real-world application," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 90, p. 103493, 2020.

[16] حقیقی، احمدرضا، پیرهادی، نیکو، شهبازی اصل، محمد. (۱۳۹۸). یک مدل ریاضی برای بررسی جریان خون به‌عنوان جریان سیال کراس در طول رگ گرفته شده. پژوهش‌های نوین در ریاضی. ۵(۲۰). ۱۵-۳۰.

[17] یوسفی‌نژاد، ویدا، نیک بخش، احسان. (۱۴۰۰). کنترل موجودی فرآورده‌های خونی در شبکه بیمارستانی تحت شرایط عدم قطعیت. چشم‌انداز مدیریت صنعتی. doi: 10.52547/jimp.2021.184783.1108

[18] کوچکی تاجانی، طاهر، محتشمی، علی، امیری، مقصود، احتشام رائی، رضا. (۱۴۰۰). ارائه مدل بهینه‌سازی استوار به‌منظور طراحی زنجیره تأمین خون جامع تحت شرایط عدم قطعیت عرضه و تقاضا. چشم‌انداز مدیریت صنعتی. ۱۱(۱). ۸۱-۱۱۶.

[19] R., Mousavi, and., Salehi-Amiri, A., Zahedi, A., & Hajiaghahi-Keshteli, M. (2021). Designing a supply chain network for blood decomposition by utilizing social and environmental factor. *Computers & Industrial Engineering*, 160, 107501.

[20] M., Shokouhifar., Sabbaghi, M. M., & Pilevari, N. (2021). Inventory management in blood supply chain considering fuzzy supply/demand uncertainties and lateral transshipment. *Transfusion and Apheresis Science*, 103103.

