

ارائه مدل استوار دوهدفه برای یکپارچه شبکه زنجیره تامین خون تحت شرایط عدم قطعیت تقاضا و امکان ارسال جانبی بین تسهیلات

سارا چراغی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

سید مهدی حسینی مطلق (مسئول مکاتبات)، دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

محمدرضا قطره سامانی، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

E-mail: motlagh@iust.ac.ir

پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۰۹

دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۶

چکیده

نیاز میرم و بی‌پایان به خون انسان‌ها به صورت کافی و ایمن از یک طرف و هزینه‌های گزاف سیستم‌های سلامت از طرفی دیگر، دولت‌ها را بر آن داشته تا در جهت بهبود عملکرد سیستم‌های سلامت گام بردارند. یکی از کلیدی‌ترین بخش‌های یک سیستم سلامت زنجیره تامین خون است که سهم قابل توجهی از هزینه‌های این سیستم را به خود اختصاص داده است. بنابراین هرگونه پیشرفتی در عملکرد زنجیره تامین خون می‌تواند بطور چشمگیری به بهبود کارآیی و صرفه‌جویی در هزینه‌های سیستم‌های سلامت بیانجامد. به منظور دستیابی به کارآیی این زنجیره تامین، داشتن برنامه‌ریزی مناسب و درخور چالشی است که توجهی بیش از پیش می‌طلبد. در این مقاله به ارائه یک مدل دوهدفه برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای طراحی شبکه جمع‌آوری، تولید و توزیع خون تحت شرایط عدم قطعیت و طی یک افق برنامه‌ریزی چند دوره‌ای با لزوم اتخاذ تصمیمات استراتژیک و تاکتیکی پرداخته می‌شود. در مسأله مورد بررسی، امکان ارسال خون مابین مراکز منطقه‌ای خون نیز در نظر گرفته شده است. به منظور حل مدل دوهدفه از روش محدودیت افسیلون^۱ و برای مقابله با عدم قطعیت تقاضا، از رویکرد بهینه‌سازی استوار سبک^۲ استفاده شده است. سودمندی مدل ارائه شده و همچنین روش حل مورد استفاده، با انجام تعدادی مثال عددی و در ادامه تحلیل حساسیت‌های مربوطه نمایش داده شده است. در خاتمه، مجموع هزینه‌های شبکه که ترکیبی از هزینه‌های نقض محدودیت (در نظر گرفتن استواری شدنی بودن) و هزینه‌های تابع هدف است، بر اساس دو رویکرد استوار و رویکرد قطعی، به عنوان مبنای مقایسه جوابهای حاصل از حل مدل ارائه شده تحت مجموعه‌ای از واقع-نمایی‌ها^۳ اتخاذ شده است و نتایج حاصل بیانگر برتری و غلبه رویکرد استوار بر رویکرد قطعی است.

واژه‌های کلیدی: انتقال عرضی، بهینه‌سازی استوار، زنجیره تامین خون، سلامت، محدودیت افسیلون

۱. مقدمه

[Teimourpour, 2013]. بنابراین این مقاله به دنبال بهینه-سازی شبکه زنجیره تامین خون بعنوان بخشی کلیدی در زنجیره تامین سلامت است. زنجیره تامین خون عموماً از چهار سطح تشکیل شده است: سطح جمع‌آوری خون، سطح تولید، سطح نگهداری و موجودی و در نهایت سطح توزیع. فرایند تامین و تدارکات مقدار خون مورد نیاز برای ارضای تقاضا در سطح جمع‌آوری مورد بررسی قرار می‌گیرد. تصمیمات عمده در این سطح شامل تصمیمات مربوط به مکان و ظرفیت تسهیلات جمع‌آوری خون، روش‌های جمع‌آوری و مدیریت اهداکنندگان است. در سطح تولید، واحدهای خونی جمع‌آوری شده به مراکز تولید خون منتقل شده و پس از انجام آزمایشات جهت اطمینان از عدم وجود بیماری، به فرآورده‌های خونی تجزیه می‌شوند. عمده‌ترین فرآورده‌های خونی شامل گلبول قرمز، پلاکت و پلاسما هستند که هر یک از آن‌ها برای موارد خاصی کاربرد دارد. بعنوان مثال، گلبول قرمز که پرکاربردترین محصول خون است در اعمال جراحی به وفور مورد استفاده قرار می‌گیرد. پلاکت‌های خون که شمار طبیعی آنها بطور میانگین در حدود ۲۷۰۰۰۰ در میکرولیتر است. وظیفه خطیر انعقاد خون به هنگام جراحی را عهده‌دار هستند و در نهایت پلاسما که حدود ۵۵ درصد از حجم خون یک انسان بالغ را تشکیل می‌دهد در موارد اورژانسی نقش بسزایی ایفا می‌کند [Schreiber et al. 2006]. پس از آن، فرآورده‌های خونی در بانک خون این مراکز و با توجه به ماهیت فسادپذیر آنها نگهداری خواهند شد. جالب توجه است که هر یک از فرآورده‌های خونی، دارای طول عمرهای متفاوتی هستند و می‌توانند با استفاده از مکانیزم‌های مختلفی (روشهای آفریزس^۴ و خون کامل^۵) تولید شوند. پلاکت که بعنوان فسادپذیرترین فرآورده خون یاد می‌شود، عمری ۷ روزه خواهد داشت، ولی این مدت می‌تواند با در نظر گرفتن برخی شرایط آزمایشگاهی تا ۱۵ روز به طول بیانجامد [Vassallo and Murphy, 2006]. علاوه بر این،

خون یک کالای حیاتی بوده که علی‌رغم پیشرفت‌های تکنولوژیکی در صنعت پزشکی، نیاز به آن همواره وجود خواهد داشت. اهدای خون، نسبتاً نامنظم و از طرفی تقاضا برای این محصول هم بصورت احتمالی بوده و دارای نرخ ثابت و مشخصی نیست. بنابراین، تطبیق عرضه و تقاضا بصورت کارآمد در این زنجیره امری به مراتب دشوار است. علاوه بر این، هرگونه کمبود و اختلال در عرضه این کالای حیاتی بسیار هزینه‌بر بوده و ممکن است منجر به مرگ انسان‌ها شود [Duan and Liao, 2014]. از طرفی، در نظر گرفتن ویژگی فسادپذیری پلاکت خونی و توجه به این نکته که منقضی شدن خون هزینه‌های اتلاف گزافی به سیستم تحمیل خواهد کرد بر پیچیدگی این موضوع می‌افزاید. بنابراین با توجه به این دشواری‌های پیش‌رو، مدیریت زنجیره تامین خون همواره بعنوان چالشی برای سیستم‌های سلامت دولت‌ها مطرح بوده است. بطور کلی، برنامه ریزی، مدیریت و کنترل عملیات یک زنجیره تامین در مدیریت زنجیره تامین پرداخته می‌شود [Melo, Nickel, and Saldanha-da-Gama, 2009]. یک زنجیره تامین به شدت به طراحی شبکه آن زنجیره تامین وابسته است و طراحی شبکه زنجیره تامین عمدتاً در خصوص مواردی چون تعداد و مکان بهینه تسهیلات، نحوه تخصیص آن‌ها و نیز ظرفیت بهینه آن‌ها با هدف بهبود هزینه و کارایی زنجیره تصمیم‌گیری می‌کند [Zahiri et al. 2015]. از آنجاییکه سیستم‌های سلامت بویژه در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران با مشکل افزایش هزینه مواجه هستند و بخش قابل توجهی از هزینه‌های سیستم سلامت متوجه زنجیره تامین خون است، بنابراین هرگونه بهبود در کارایی و عملکرد این زنجیره موجبات صرفه‌جویی در هزینه‌ها و رضایت مصرف‌کنندگان را فراهم می‌آورد [Riahi, Hosseini-Motlagh and

ارائه مدل استوار دوهدفه برای طراحی یکپارچه شبکه زنجیره تامین خون

است در رخداد یک واقعه خاص، تکراری وجود نداشته باشد. در این گونه موارد تخمین توزیع امکان برای پارامتر غیرقطعی بسیار دشوار و یا حتی غیرممکن است. بنابراین در چنین مواقعی با پارامترهای نامعلوم که غیردقیق و نامعلوم بودن آنها برخاسته از فقدان اطلاعات در مورد این پارامترها است، مواجه هستیم که دارای عدم قطعیت شناختی می‌باشند. بنابراین این پارامترها دارای ماهیت مختلط عینی - ذهنی بوده و می‌تواند با استفاده از تئوری فازی بعنوان مکملی برای توزیع احتمال فرموله شود [Torabi, and Hassini, 2008]. در این مقاله، به منظور مواجهه با عدم قطعیت در مقدار تقاضای خون از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده شده است. در واقع، ماهیت تقاضا که ترکیبی از تقاضای انتخابی (مشخص) و تقاضای اورژانسی (تصادفی) است تصادفی است. از طرفی از آنجاکه تقاضای اورژانسی معمولاً دارای الگوی مشخصی نیست و بازه‌ای برای تغییرات آن متصور هستند، بدست آوردن تابع توزیع برای آن دشوار است. بنابراین با توجه به موارد اشاره شده در فوق، در این حالت گزینه مناسب، در نظر گرفتن پارامتر تقاضا بصورت بازه‌ای و انتخاب روش برنامه‌ریزی استوار برای مواجهه با این پارامتر غیرقطعی است.

از پیامدهای عدم قطعیت در تقاضا می‌توان به مواجه شدن با کمبود و یا اتلاف خون اشاره کرد. این موارد برای زنجیره تامین خون بسیار هزینه‌بر هستند چراکه خون یک محصول کمیاب و ارزشمند است و علی‌رغم پیشرفتهای گوناگون در صنعت پزشکی نیاز به خون انسان همچنان وجود دارد. بنابراین، نه تنها کمبود خون ممکن است جبران ناپذیر باشد و به قیمت جان انسان‌ها تمام شود، بلکه اتلاف آن نیز می‌تواند هزینه‌های گزافی را بر سیستم تحمیل کند. در این شرایط، یافتن سیاستی که بتواند در این امر راهگشا باشد، اهمیت بسیاری دارد. انتقال عرضی موجودی بین تسهیلات بعنوان یک استراتژی کارآ برای مقابله با نوسانات و پویایی تقاضا محسوب می‌شود. این استراتژی می‌تواند در تخصیص مجدد و متوازن کردن موجودی در کل شبکه موثر واقع شود [Torabi and Moghaddam, 2012].

گلوبول‌های قرمز تحت دمای ۶-۱ درجه سانتی‌گراد تا ۴۲ روز و پلاسما بعنوان فرآورده تقریباً فسادناپذیر خون تا یک سال قابل نگهداری می‌باشند. در نهایت، این فرآورده‌ها می‌توانند بین مراکز خون در صورت کمبود در مراکز و همچنین از مراکز خون به بیمارستان‌ها در صورت بروز تقاضا از جانب آن‌ها توزیع گردند [Osorio, Brailsford and Smith, 2015].

از طرفی، از آنجا که مقدار تقاضا بعنوان یکی از اصلی‌ترین پارامترهای زنجیره تامین خون، دارای عدم قطعیت می‌باشند، بنابراین در نظر گرفتن این مورد در طراحی شبکه و برنامه ریزی برای زنجیره تامین خون با استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی بسیار حائز اهمیت است [Tofighi, Torabi and Mansouri, 2016]. بطور کلی، عدم قطعیت یکی از موضوعات عمده و مورد توجه در مدل‌های بهینه‌سازی و تحقیق در عملیات است. این موضوع به ویژه در مسائل با ابعاد بزرگ، که داده‌ها به آسانی قابل دسترسی نیستند، به چشم می‌خورد. بطور کلی عدم قطعیت در دو دسته عمده جای می‌گیرد: عدم قطعیت از نوع تصادفی و عدم قطعیت از نوع فازی. ماهیت تصادفی داده‌هایی که می‌توان برای آنها توزیع احتمال پیوسته و یا گسسته بر اساس داده‌های تاریخی و یا عینی کافی، متصور بود، منشا ایجاد عدم قطعیت تصادفی هستند. برای مواجهه با عدم قطعیت تصادفی می‌توان از رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی و یا برنامه‌ریزی استوار بهره جست. رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی در مواردی که اطلاعات در مورد توزیع تصادفی این داده‌های ورودی در دسترس باشد قابل استفاده است ولی چنانچه اطلاعاتی در مورد توزیع تصادفی این داده‌ها در دسترس نبود، چیزیکه در اغلب مسائل دنیای واقعی وجود دارد، می‌توان از رویکرد برنامه‌ریزی استوار استفاده نمود [Mousazadeh, Torabi and Zahiri, 2015].

بعلاوه رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی تنها زمانی معنادار است که یک اتفاق معین در یک دوره زمانی چندین بار تکرار شود. اما در برخی از موارد، داده‌های عینی و تاریخی به حد کفایت برای مدلسازی پارامترهای غیرقطعی وجود ندارد. علاوه بر این ممکن

در نهایت، نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای تحقیقات آتی در بخش ۶ ارائه خواهند شد.

۲. مرور ادبیات

مطالعه بر روی کاربردهای تحقیق در عملیات در زمینه مدیریت خون و فرآورده‌های خونی بعنوان محصولات کمیاب و فسادپذیر، در دهه ۱۹۸۰ رشد چشمگیری داشت. مطالعات انجام شده توسط ناهمیاس [Nahmias, 1982] و پراستاکوس [Prastacos, 1984] و بعدها توسط پیرسکالا [Pierskalla, 2005]، بلین و فورس [Beliën and Forcé, 2012] و اوسوریو، بریلسفورد و اسمیت [Osorio, Brailsford and Smith, 2015] از جمله مقالات مروری قابل ذکر در این حوزه می‌باشند. بر اساس مقاله مروری انجام شده توسط بلین و فورس [Beliën and Forcé, 2012] مقالات ارائه شده در زمینه مدیریت زنجیره تامین خون را می‌توان بر اساس نوع محصولات، نوع رویکرد مدل‌سازی، معیارهای عملکرد و روش حل تقسیم‌بندی نمود. علاوه بر این، بر اساس مطالعات پیرسکالا [Pierskalla, 2005] و اوسوریو، بریلسفورد و اسمیت [Osorio, Brailsford and Smith, 2015]، مقالات این حوزه را می‌توان در سطوح جمع‌آوری، تست و تولید، کنترل موجودی و توزیع بصورت جداگانه و یا همزمان در قالب یک مساله یکپارچه بررسی نمود. در این بخش به بررسی نزدیک‌ترین مقالات این حوزه به مقاله جاری بر اساس سطوح تصمیم‌گیری، رویکرد مدل‌سازی و رویکرد مواجهه با عدم قطعیت پرداخته می‌شود.

جاکوبس، سیلان و کلمسون [Jacobs, Silan, and Clemson, 1996] به معرفی مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح برای بررسی مساله مکان‌یابی-تخصیص در یک شبکه زنجیره تامین دوسطحی خون برای صلیب سرخ آمریکا در ویرجینیا پرداختند. در مدل مذکور، فعالیت‌های زمانبندی برای جمع‌آوری و توزیع خون به همراه تصمیماتی از جمله تخصیص اهداکنندگان به نقاط جمع‌آوری و نیز نقاط جمع‌آوری به مراکز خون و نیز

[Torabi et al. 2015]. استفاده از سیاست انتقال عرضی بویژه برای اقلام فسادپذیر بسیار کاربردی است. زیرا موجودی ای که در یک مکان، فاسد و منقضی می‌شود، می‌تواند به مکان دیگری برای ارضای تقاضا منتقل شود [Dehghani and Abbasi, 2018]. انتقال عرضی محصولات می‌تواند به دو صورت اتفاق بیفتد: انتقال عرضی کامل و انتقال عرضی جزئی. در انتقال عرضی کامل بین تمام تسهیلات در یک سطح می‌توان محصولات را انتقال داد، ولی در انتقال عرضی جزئی بین برخی از تسهیلات این انتقال وجود دارد. بعنوان مثال در این نوع انتقال، محصولات از تسهیلات کوچکتر به تسهیلات بزرگتر منتقل می‌شوند.

این مقاله در راستای چالش‌های مطرح شده در فوق، به دنبال ارائه مدلی جدید برای طراحی شبکه زنجیره تامین خون تحت شرایط عدم قطعیت است. در مدل ارائه شده علاوه بر اینکه دو هدف اساسی که کاهش هزینه کل و میزان کمبود است دنبال می‌شود، روش‌های مختلف تولید محصولات خون (در اینجا پلاکت) نیز برای تعیین سطح بهینه تولید لحاظ شده‌اند. در این مدل، فسادپذیری خون نیز در نظر گرفته شده و همچنین به منظور کاهش اثرات منفی ناشی از عدم قطعیت در تقاضا (نظیر کمبود) از سیاست انتقال عرضی محصولات بین مراکز تولید-توزیع خون بهره گرفته شده‌است. همچنین یک رویکرد پیشنهادی که تلفیقی از رویکردهای محدودیت اسیلون و استوار سبک است برای اولین بار در این مقاله برای حل مدل دوهدفه ارائه شده بکارگرفته شده‌است. هدف از بکارگیری این رویکرد ارائه جوابهای پارتویی استوار به تصمیم‌گیرندگان برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری در شرایط غیرقطعی و با اهداف متضاد است.

سایر بخش‌های مقاله بدین ترتیب ارائه خواهند شد: در بخش ۲، مروری بر ادبیات مرتبط با زنجیره تامین خون صورت خواهد گرفت. بخش ۳ به معرفی مسئله مورد نظر و مدل ریاضی مربوطه اختصاص دارد. در بخش ۴، به ارائه روش حل مورد استفاده پرداخته می‌شود. در بخش ۵، مدل پیشنهادی و روش حل آن از طریق انجام مثال‌های عددی مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

ارائه مدل استوار دوهدفه برای طراحی یکپارچه شبکه زنجیره تامین خون

استفاده نمودند و همچنین از روش محدودیت اپسیلون برای حل مدل چندهدفه بهره جستند. به منظور حل مدل پیشنهادی، یک رویکرد فراابتکاری شبیه‌سازی تیریدی مورد استفاده قرار گرفت. تعدادی از مقالات نیز مسئله طراحی شبکه زنجیره تامین خون را در شرایط بحران مورد بررسی قرار داده اند. چراغی و حسینی مطلق [Cheraghi and Hosseini-Motlagh, 2016] به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط تصادفی-فازی برای طراحی شبکه زنجیره تامین خون در شرایط بحران پرداختند. برای مواجهه با پارامترهای غیرقطعی مدل، آن‌ها از رویکرد برنامه‌ریزی فازی و ترکیبی از روش ارزش انتظاری و محدودیت شانس استفاده کردند. آن‌ها همچنین برای نشان دادن سودمندی مسئله ارائه شده، به بررسی یک مطالعه موردی از تهران پرداختند. کهنه، تیموری و پیشوایی [Kohneh, Teymouri and Pishvae, 2016] به ارائه یک مدل دوهدفه برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای طراحی شبکه زنجیره تامین خون در شرایط بحران پرداختند. کمینه کردن هزینه کل و بیشینه کردن پوشش‌دهی مناطق اهداکنندگان توسط تسهیلات جمع‌آوری خون بعنوان توابع هدف در مدل آن‌ها در نظر گرفته شده است. همچنین برای مواجهه با عدم قطعیت موجود در پارامترهای مدل، یک رویکرد برنامه‌ریزی امکانی تعاملی^۷ مورد استفاده قرار گرفته است. صالحی، ماهوتچی و حسینی [Salehi, Mahootchi, and Husseini, 2017] به ارائه یک مدل تصادفی-رباست برای طراحی شبکه زنجیره تامین دو سطحی خون طی یک افق چنددوره‌ای در شرایط بحران پرداختند. در مدل ارائه شده توسط آن‌ها، تقاضای خون بصورت یک پارامتر تصادفی در نظر گرفته شد و با لحاظ کردن سناریوهای مختلف برای تقاضا از طریق شبیه‌سازی به اجرای مدل پیشنهادی پرداخته شد. قطره‌سامانی، ترابی و حسینی مطلق [Ghatreh-Samani, Torabi and Hosseini-Motlagh, 2017] یک مدل چندهدفه برای طراحی شبکه زنجیره تامین خون در شرایط بحران ارائه نمودند. مدل ارائه شده توسط آن‌ها به دنبال ایجاد توازن بین هزینه‌ها، کمبود و تازگی

مقدار خونی که باید جمع‌آوری شود تعیین خواهند شد. هدف اصلی در مدل ارائه شده توسط آن‌ها کمینه کردن مسافت با در نظر گرفتن ارضای محدودیتهای ظرفیت و تقاضا است. شاهین، سورال و مرال [Şahin, Süral and Meral, 2007] به ارائه یک مدل دوهدفه برنامه‌ریزی عدد صحیح برای مکان‌یابی-تخصیص بانک خون انجمن صلیب سرخ ترکیه پرداختند. تابع هدف اول در پی کمینه کردن مجموع هزینه‌های حمل‌ونقل و تابع هدف دوم به دنبال کمینه نمودن بیشینه زمان پاسخگویی است. آن‌ها با استفاده از رویکرد ابتکاری به حل مدل ارائه شده پرداختند. نگرانی، معصومی و یو [Nagurney Masoumi and Yu, 2012] به ارائه یک مدل دوهدفه برای طراحی شبکه زنجیره تامین خون شامل تسهیلات جمع‌آوری، آزمایشگاه، مراکز توزیع و بیمارستان پرداختند. مدل آن‌ها به دنبال تعیین تخصیص-های بهینه به همراه کمینه کردن ریسک و هزینه کل از قبیل هزینه‌های عملیاتی و جریمه ناشی از کمبود در زنجیره تامین می‌پردازد. آن‌ها با استفاده از رویکرد نابرابری متغیر^۸ به حل مدل ارائه شده پرداختند. در مقاله دیگر، یک مدل دوهدفه برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای طراحی شبکه زنجیره تامین خون شامل مناطق اهدای خون، آزمایشگاه، بانک خون و بیمارستان توسط اروان، توکلی مقدم و عبداللهی [Arvan, Tavakkoli-Moghaddam and Abdollahi, 2015] کمینه کردن هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های حمل‌ونقل و نیز اتلاف خون اهداف در نظر گرفته شده توسط آن‌ها هستند. آن‌ها برای حل مدل دوهدفه مذکور از روش محدودیت اپسیلون استفاده نمودند. در مدل آن‌ها تمامی پارامترها به صورت قطعی در نظر گرفته شده اند. اسکندری خانقاهی و همکاران- [Eskandari-Khanghahi et al. 2018] به ارائه یک مدل چندهدفه برای طراحی شبکه زنجیره تامین خون پایدار تحت شرایط عدم قطعیت پرداختند. کمینه کردن هزینه کل، اثرات محیطی و بیشینه-سازی اثرات اجتماعی بعنوان اهداف شبکه در نظر گرفته شده‌اند. آن‌ها از یک مدل برنامه‌ریزی امکانی برای مواجهه با عدم قطعیت

[Bozorgi-Amiri, 2014] به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای طراحی شبکه جمع‌آوری و توزیع خون با هدف کمینه کردن هزینه کل شبکه پرداختند. آنها به منظور مواجهه با عدم قطعیت در پارامترهای مدل از رویکرد برنامه‌ریزی استوار استفاده نمودند. موسی‌زاده، ترابی و زهیری [Mousazadeh, Torabi and Zahiri, 2015] به ارائه یک مدل دوهدفه برای طراحی شبکه زنجیره تامین دارو با هدف کمینه کردن هزینه‌های کل و کمبود پرداختند و برای حل مدل دوهدفه از یک رویکرد تعاملی فازی بکار گرفتند. آنها همچنین مدل ارائه شده را تحت شرایط عدم قطعیت در نظر گرفتند و به منظور مواجهه با آن از رویکرد امکانی-استوار استفاده نمودند. بطور کلی، سیاست انتقال عرضی (جانبی) یک سیاست کارا برای بهبود عملکرد زنجیره تامین است. پترسون، توتنر و گلزبرک [Paterson, Teunter and Glazebrook, 2012] مدلهای سیاستهای انتقال عرضی پرداختند. آنها مطالعات پیرامون این موضوع را به دو دسته واکنشی و پیشگیرانه تقسیم بندی نمودند. در رویکردهای واکنشی، انتقال می‌تواند در هر زمانی بعد از رخ دادن تقاضا اتفاق بیافتد. حال آنکه در سیاست پیشگیرانه، انتقال در یک زمان مشخص پیش از وقوع تقاضا انجام می‌شود. با وجود اهمیت انتقال محصولات فسادپذیر به ویژه خون و فرآورده‌های آن، مقالات اندکی این موضوع را مورد توجه قرار داده‌اند. وانگ و ما [Wang and Ma, 2015] به ارائه یک مدل موجودی برای مدیریت خون بانک خون در دوره کمبود پرداختند. آنها دو روش برای انتقال خون بین بانک‌های خون را مورد بررسی و مقایسه قرار دادند. روش انتقال مبتنی بر سن خون و روش انتقال مبتنی بر مقدار انتقال. آنها دریافتند که روش مبتنی بر سن خون که بر اساس سیاست انتقال فایفو^۱ بوده است، در کاهش نرخ اتلاف خون عملکرد بهتری داشته است. دهقانی و عباسی [Dehghani and Abbasi, 2018] به ارائه یک مدل موجودی برای محصولات فسادپذیر با قابلیت کاربرد برای خون پرداختند. آنها یک سیاست انتقال عرضی برای محصولات

خون است. آنها برای حل مدل چندهدفه پیشنهادی از رویکرد تعاملی فازی استفاده کردند و همچنین به منظور مواجهه با عدم قطعیت موجود در پارامترهای مدل از رویکرد فازی امکانی بهره جستند. همچنین پژوهشگران می‌توانند به منظور آشنایی بیشتر با مقالات موجود در حوزه زنجیره تامین خون در شرایط بحران به مقالات ارائه شده توسط شا و هوانگ [Sha and Huang, 2012]، جبارزاده، فهیم‌نیا و سورینگ [Jabbarzadeh, Fahimnia and Seuring, 2014]، کامیاب‌نیا و همکاران [Kamyabniya et al. 2017]، خلیل‌پورآذری و خسته [Khalilpourazari and Khamseh, 2017] و حبیبی کوچکسرای، پایدار و اسدی [Habibi-Kouchaksaraei, Paydar and Asadi-Gangraj, 2018] مراجعه نمایند. همانطور که اشاره شد، به دلیل ماهیت پویا و غیرقطعی در برخی از ورودی‌های زنجیره تامین خون نظیر میزان تقاضا، در نظر گرفتن عدم قطعیت به هنگام مدلسازی برای طراحی شبکه زنجیره تامین خون که یک مسئله استراتژیک و بلندمدت است اهمیت بسزایی دارد. از طرفی، چنانچه برای داده‌های تصادفی که در مسئله با آن مواجه هستیم اطلاعاتی در مورد تابع توزیع آنها وجود نداشته باشد که اکثراً هم در اغلب مسائل دنیای واقعی اتفاق می‌افتد، مدلهای برنامه‌ریزی استوار بطور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. در بین این مدلهای می‌توان به مدل‌های ارائه شده در مقالات زیر اشاره کرد. رمضانیان و بهبودی [Ramezani and Behboodi, 2017] با ارائه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط به بررسی مساله طراحی شبکه خون تحت شرایط عدم قطعیت در تقاضا و هزینه‌ها پرداختند. برای مواجهه با ماهیت تصادفی این پارامترها، آنها از یک روش بهینه‌سازی استوار استفاده نمودند. آنها همچنین به منظور لحاظ کرن ترجیحات و اولویتهای اهداکنندگان برای مراجعه به تسهیلات جمع‌آوری خون؛ یک تابع مطلوبیت بر اساس فاصله، تبلیغات و تجربیات گذشته اهداکنندگان ارائه کردند. زهیری، موسی‌زاده و بزرگی‌امیری [Zahiri, Mousazadeh and

پارامتر تقاضا به منظور دستیابی به جواب قابل اتکا و استوار در محیط غیرقطعی و با اهداف متضاد

۳. تعریف مسئله

در این مقاله، مسئله طراحی شبکه زنجیره تامین خون شامل تسهیلات سیار و محلی بعنوان پایگاه‌های جمع‌آوری خون، مراکز منطقه‌ای بعنوان مراکز آزمایش و تولید فرآورده‌های خونی و بیمارستان‌ها بعنوان نقاط تقاضا، مورد بررسی قرار گرفته است. مراکز خون منطقه‌ای وظیفه پاسخگویی به تقاضای بیمارستان‌ها را بر عهده دارند و باید موجودی خون را به نحوی مدیریت نمایند که حداقل هزینه را برای شبکه در پی داشته باشد. این مراکز در واقع مراکز تولید-توزیع خون هستند و وظیفه آزمایش واحدهای خون دریافتی از تسهیلات جمع‌آوری خون (تسهیلات محلی و تسهیلات سیار) و سپس پردازش و فرآورده‌گیری از واحدهای خون سالم (فاقد هرگونه بیماری ویروسی و عفونی) عهده‌دار هستند. در این مراکز روشهای مختلفی برای تولید محصولات خون وجود دارد. روش‌های فراهم‌آوری فرآورده مشتق از خون کامل^۹ یکی از پرکاربردترین روش‌هایی است که هم اکنون در این مراکز بکار گرفته می‌شود. در این مقاله، دو روش بافی‌کوت^{۱۰} و پی‌آرپی^{۱۱} که از این نوع روش هستند در نظر گرفته شده اند.

فسادپذیر بر مبنای سن قدیمی‌ترین محصول برای بهبود عملکرد سیستم پیشنهاد دادند. همچنین از یک رویکرد ابتکاری با استفاده از معادلات دیفرانسیل جزئی برای محاسبه معیارهای عملکردی و هزینه بهره جستند. هیچ‌یک از این مقالات بحث عدم قطعیت را در مدل‌های خود لحاظ نکرده‌اند و نیز سیاست انتقال عرضی را در مسئله طراحی شبکه که جزء مسائل استراتژیک محسوب می‌شود در نظر نگرفته‌اند.

همچنین به منظور شفاف‌سازی نوآوری‌های مقاله جاری، با ارائه جدول طبقه‌بندی شده (۱) به مقایسه مقالات حوزه زنجیره تامین خون با مقاله جاری از منظر نوع عدم قطعیت و رویکرد مواجهه با آن، نوع تصمیمات، سطوح تصمیم‌گیری، توابع هدف و غیره پرداخته شود. با بررسی ادبیات زنجیره تامین خون، نوع‌آوری‌های این مقاله را می‌توان به شرح زیر برشمرد:

- توسعه یک مدل دو هدفه برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای طراحی شبکه یکپارچه زنجیره تامین خون با در نظر گرفتن امکان ارسال عرضی واحدهای خونی مابین مراکز خون تحت شرایط عدم قطعیت
- در نظر گرفتن روش‌های تولید فرآورده مشتق از خون کامل برای تعیین سطح بهینه تولید
- بکارگیری رویکرد تلفیقی بهینه‌سازی استوار سبک و محدودیت اپسیلون برای مواجهه با ماهیت تصادفی

جدول ۱. جدول مقایسه‌ای مقالات حوزه طراحی شبکه زنجیره تامین خون

| نویسندگان | نوع تصمیمات | سطح تصمیم‌گیری | رویکرد مدلسازی | توابع هدف | انتقال عرضی | عدم قطعیت | | | روش حل |
|---------------------------------------|-------------|--------------------|---|------------------|-------------|-----------|--------|---------|------------|
| | | | | | | فازی | استوار | احتمالی | |
| شاهین، سورا و مرال (۲۰۰۷) | یکپارچه | استراتژیک | برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط | هزینه | ندارد | ❖ | | | دقیق |
| نگورانی، معصومی و یو (۲۰۱۲) | یکپارچه | استراتژیک | برنامه‌ریزی خطی | هزینه-ریسک-اتلاف | ندارد | ❖ | | | دقیق |
| شا و هوانگ (۲۰۱۲) | یکپارچه | تاکتیکال | برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط | هزینه | ندارد | - | - | - | فراابتکاری |
| جبارزاده، فهیم‌نیا و سورینگ (۲۰۱۴) | جمع‌آوری | استراتژیک-تاکتیکال | برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط | هزینه | ندارد | ❖ | | | دقیق |
| زهیری، موسی‌زاده و بزرگی‌امیری (۲۰۱۴) | یکپارچه | استراتژیک-تاکتیکال | برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط | هزینه | ندارد | ❖ | | | دقیق |
| وانگ و ما (۲۰۱۵) | موجودی | تاکتیکال | مدل موجودی | هزینه | دارد | ❖ | - | - | شبیه‌سازی |
| اروان، توکلی مقدم و عبداللهی (۲۰۱۵) | یکپارچه | استراتژیک-تاکتیکال | برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط | هزینه-کمبود | ندارد | - | - | - | دقیق |
| چراغی و حسینی مطلق (۲۰۱۶) | یکپارچه | استراتژیک-تاکتیکال | برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط | هزینه | ندارد | ❖ | | | دقیق |
| کهنه، تیموری و پیشوایی (۲۰۱۶) | یکپارچه | استراتژیک-تاکتیکال | برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط | هزینه-مسافت | ندارد | ❖ | | | دقیق |

ارائه مدل استوار دوهدفه برای طراحی یکپارچه شبکه زنجیره تامین خون

| | | | | | | | | |
|--|----------|---------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------|---|---|------------|
| صالحی، ماهوتچی و حسینی (۲۰۱۷) | جمع‌آوری | استراتژیک- تاکتیکال | برنامه‌ریزی دوسطحی تصادفی | هزینه | ندارد | ❖ | ❖ | دقیق |
| قطره‌سامانی، ترابی و حسینی مطلق (۲۰۱۷) | یکپارچه | استراتژیک- تاکتیکال | برنامه‌ریزی دوسطحی تصادفی | هزینه- کمبود- تازگی | ندارد | ❖ | | دقیق |
| کامیاب‌نیا و همکاران (۲۰۱۷) | توزیع | تاکتیکال- عملیاتی | برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط | هزینه- کمبود | ندارد | ❖ | ❖ | دقیق |
| خلیل‌پورآذری و خمسه (۲۰۱۷) | یکپارچه | استراتژیک- تاکتیکال | برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط | هزینه- زمان | ندارد | - | - | - |
| رضانیان و بهبودی (۲۰۱۷) | یکپارچه | استراتژیک- تاکتیکال | برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط | هزینه | ندارد | ❖ | | دقیق |
| اسکندری خانقاهی و همکاران (۲۰۱۸) | یکپارچه | استراتژیک- تاکتیکال | برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط | هزینه- اثرات محیطی- اثرات اجتماعی | ندارد | ❖ | | فراابتکاری |
| دهقانی و عباسی (۲۰۱۸) | موجودی | تاکتیکال | مدل موجودی | هزینه | دارد | - | - | ابتکاری |
| این مقاله | یکپارچه | استراتژیک- تاکتیکال | برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط | هزینه- کمبود | دارد | ❖ | | دقیق |

است. شکل (۱) شبکه مورد بررسی را به صورت شماتیک به تصویر می‌کشد.

مفروضات مسئله مورد بررسی بصورت زیر هستند:

- مکان‌های کاندید برای احداث تسهیلات محلی و قرارگیری تسهیلات سیار از پیش تعیین شده هستند. مکان تسهیلات محلی در طول افق برنامه‌ریزی مشخص بوده ولی تسهیلات سیار می‌توانند از دوره‌ای به دوره دیگر با پرداخت هزینه اضافی بر اساس حجم خون جمع‌آوری شده و موقعیت جغرافیایی نقاط تقاضا جابجا شوند.

- مکان مراکز منطقه‌ای خون بصورت ثابت در نظر گرفته شده اند.

- از آنجایی که برنامه‌ریزی برای تک تک اهداکنندگان ممکن نیست، بنابراین هر گروه از اهداکنندگان نماینده یک منطقه اهدا هستند.

- اهدای خون می‌تواند در هر یک از تسهیلات جمع‌آوری (سیار و محلی) و نه به طور همزمان در هر دو آن‌ها صورت پذیرد.

- مرکز هر نقطه اهدا برای محاسبه فاصله اهداکنندگان و تسهیلات جمع‌آوری خون در نظر گرفته شده اند.

- واحدهای خون در هر دوره از تسهیلات سیار به تسهیلات محلی و از آنجا به مراکز خون ارسال می‌گردند.

- تسهیلات سیار و ثابت دارای ظرفیت متفاوتی هستند. تسهیلات سیار ظرفیت کمتری نسبت به تسهیلات ثابت دارند.

- هزینه بازگشایی تسهیلات ثابت بسیار بیشتر از هزینه بازگشایی تسهیلات سیار است [Zahiri et al. 2015].

پس از حل مدل ارائه شده موارد زیر تعیین خواهند شد:

- مکان‌های بهینه مراکز محلی در طول افق برنامه ریزی
- مکان‌های بهینه تسهیلات سیار در هر دوره
- تعداد بهینه تسهیلات سیار که در دوره‌های متوالی می‌توانند جابجا شوند و هزینه جابجایی آنها

هر یک از این روشها دارای ویژگی هایی هستند که در زیر به آنها اشاره می‌شود:

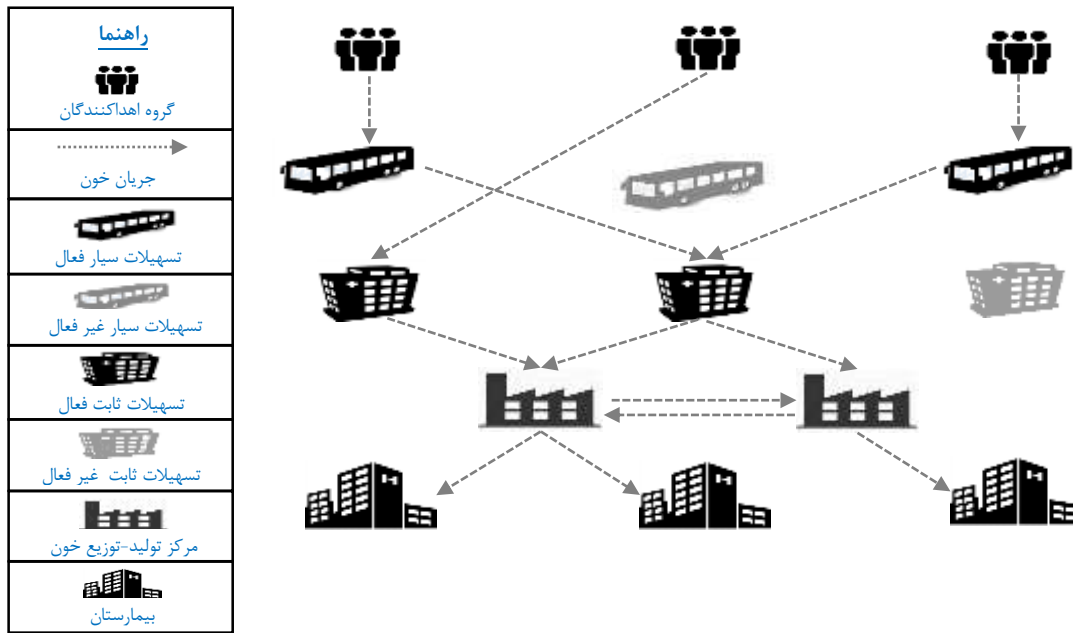
- روش بافی کوت ارزان‌ترین روش در بین سایر روش‌ها برای تولید پلاکت است [Vassallo and Murphy, 2006]

- پلاکت که بعنوان فسادپذیرترین فرآورده خون یاد می‌شود، عمری ۷ روزه دارد ولی پلاکت‌هایی که از روش بافی کوت تولید می‌شوند از نظر کیفیت نگهداری در مقایسه با پلاکت‌هایی که از طریق پی‌آرپی تولید می‌شوند عملکرد بهتری دارند. بعبارت دیگر کیفیت این پلاکتها با اضافه کردن یک محلول بعد از گذشت ۱۵ روز از نگهداری همچنان در سطح خوبی خواهد ماند. بعنوان مثال مطالعه ای که توسط برتولینی و همکاران [Bertolini et al. 1992] در این زمینه انجام پذیرفت، حاکی از این بود که با پلاکت‌های فراوری شده از طریق بافی کوت که در این محلول نگهداری شده اند بعد از گذشت ۱۵ روز در مقایسه با پلاکت‌های فراوری شده از طریق پی‌آرپی که در پلاسما نگهداری شده اند بعد از گذشت ۷ روز، کیفیت به مراتب بهتری داشته‌اند.

- ضریب تولید پلاکت در این روش‌ها نیز متفاوت است. شمار پلاکت‌های تولید شده از روش پی‌آرپی نسبت به روش بافی کوت بیشتر است [Levin et al, 2008].

مدل دوهدفه ارائه شده در پی کمینه کردن هزینه‌های کل شبکه شامل هزینه احداث تسهیلات محلی، هزینه مکان‌یابی مجدد تسهیلات سیار، هزینه انتقال واحدهای خونی از تسهیلات سیار به محلی و سپس از تسهیلات محلی به مراکز منطقه‌ای خون، هزینه تولید پلاکت در مراکز منطقه‌ای، هزینه‌های مربوط به موجودی و پلاکت‌های منقضی شده و هزینه انتقال پلاکت‌ها از مراکز خون به بیمارستان‌ها و از طرفی کمینه‌کردن حداکثر کمبود

ارائه مدل استوار دوهدفه برای یکپارچه شبکه زنجیره تامین خون



شکل ۱. تصویر شماتیک شبکه مورد بررسی

J مجموعه مکان کاندید j برای تسهیلات سیار؛ $j = 1, 2, \dots, J$

K مجموعه مکان کاندید k برای تسهیلات محلی؛ $k = 1, 2, \dots, K$

R مجموعه مرکز خون r ؛ $r = 1, 2, \dots, R$

P مجموعه روش تولید p برای تولید پلاکت؛ $p = 1, 2, \dots, P$

H مجموعه بیمارستان h ؛ $h = 1, 2, \dots, H$

T مجموعه دوره زمانی؛ $t, t' = 1, 2, \dots, T$

۲، ۱، ۳ پارامترها

C'_k هزینه احداث تسهیلات محلی در مکان کاندید k

C_{j_1, j_2} هزینه تغییر مکان تسهیلات سیار از مکان j_1 به مکان j_2 در دو دوره متوالی

Tc_{jk} هزینه انتقال واحدهای خونی از تسهیلات سیار j به تسهیلات محلی k

• حجم خون جمع‌آوری شده توسط تسهیلات سیار و محلی در هر دوره

• حجم خون منتقل شده از تسهیلات سیار به محلی و از تسهیلات محلی به مراکز خون در هر دوره

• حجم پلاکت تولید شده در مراکز خون در هر دوره

• حجم پلاکت ارسال شده مابین مراکز خون در هر دوره

• سطح موجودی و مقدار محصول منقضی شده در مراکز خون و نیز سطح کمبود در بیمارستان‌ها در هر دوره

• حجم پلاکت ارسال شده از مراکز خون به بیمارستان‌ها در هر دوره

۱-۳ نمادها

نمادهای زیر به منظور فرموله کردن مدل پیشنهادی مورد استفاده قرار می‌گیرند:

۱، ۱، ۳ مجموعه‌ها

I مجموعه گروه اهداکننده i ؛ $i = 1, 2, \dots, I$

سارا چراغی، سید مهدی حسینی مطلق، محمدرضا قطره سامانی

| | | | |
|-------------------|--|--|-------------|
| w_0 | شعاع پوشش‌دهی تسهیلات محلی k که توسط آن اهداکننده i خدمت‌دهی می‌شود اگر $w'_{ik} \leq w_0$ | هزینه انتقال واحدهای خونی از تسهیلات محلی k به مرکز خون r | Tc'_{kr} |
| de_{hpt}' | تقاضای بیمارستان h از محصول تولید شده به روش p در دوره t' | هزینه انتقال واحدهای خونی از مرکز خون r به مرکز خون r' | Td_{rr}' |
| q'_p | ضریب تولید پلاکت به روش p | هزینه انتقال واحدهای خونی از مرکز خون r به بیمارستان h | Tc''_{rh} |
| l_p | طول عمر پلاکت تولید شده به روش p | هزینه تولید پلاکت به روش p | Pc_p |
| α | حداقل سطح ارضای تقاضا | هزینه نگهداری پلاکت تولید شده به روش p | h_p |
| β | درصد خون قابل استفاده | هزینه منقضى شدن پلاکت تولید شده به روش p | exp |
| M | یک عدد خیلی بزرگ | p | |
| ۳، ۱، ۳ | متغیرهای تصمیم | ظرفیت تسهیلات سیار | U |
| z_k | متغیر صفر و یک؛ برابر با ۱ است اگر تسهیل محلی k احداث شود و در غیر اینصورت ۰ | ظرفیت تسهیلات محلی k | U'_k |
| x_{ikt} | متغیر صفر و یک؛ برابر با ۱ است اگر اهدا کننده i به تسهیل محلی k در دوره t تخصیص یابد و در غیر اینصورت ۰ | ظرفیت مرکز خون r برای دریافت واحدهای خون | U''_r |
| x'_{ijt} | متغیر صفر و یک؛ برابر با ۱ است اگر اهدا کننده i به تسهیل سیار j در دوره t تخصیص یابد و در غیر اینصورت ۰ | سطح ذخیره اطمینان موجودی پلاکت در مرکز خون r در دوره t | $G_{r,t}$ |
| x''_{jkt} | متغیر صفر و یک؛ برابر با ۱ است اگر تسهیل سیار j به تسهیل محلی k در دوره t تخصیص یابد و در غیر اینصورت ۰ | مقدار خون اهدا شده توسط اهداکننده i در دوره t | d_{it} |
| $y_{j_1, j_2, t}$ | متغیر صفر و یک؛ برابر با ۱ است اگر تسهیل سیار در مکان j_1 در دوره $t-1$ به مکان j_2 در دوره t انتقال یابد و در غیر اینصورت ۰ | فاصله بین اهداکننده i و تسهیلات سیار j | r_{ij} |
| N | تعداد تسهیلات سیار مورد نیاز در هر دوره | شعاع پوشش‌دهی تسهیلات سیار j که توسط آن اهداکننده i خدمت‌دهی می‌شود اگر $r_{ij} \leq r_0$ | r_0 |
| | | فاصله بین تسهیلات سیار j و تسهیلات محلی k | q_{jk} |
| | | شعاع پوشش‌دهی تسهیلات محلی k که توسط آن تسهیلات سیار j خدمت‌دهی می‌شود اگر $q_{jk} \leq q_0$ | q_0 |
| | | فاصله بین اهداکننده i و تسهیلات محلی k | w'_{ik} |

ارائه مدل استوار دوهدفه برای طراحی یکپارچه شبکه زنجیره تامین خون

۱-۲-۳ توابع هدف

$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z_1 &= \sum_k c'_k z_k + \sum_{j_1} \sum_{j_2} \sum_t c_{j_1, j_2} y_{j_1, j_2, t} \\
 &+ \sum_j \sum_k \sum_t T c_{jk} u'_{jkt} \\
 &+ \sum_k \sum_r \sum_t T c'_{kr} s'_{krt} \\
 &+ \sum_r \sum_p \sum_t P c_p Q'_{prt} \\
 &+ \sum_p \sum_r \sum_{r'} \sum_t T d_{r'r} s''_{pr'rt} \\
 &+ \sum_r \sum_p \sum_t h_p I_{prt} \\
 &+ \sum_p \sum_r \sum_{t'} \exp E_{prt'} \\
 &+ \sum_r \sum_h \sum_p \sum_t \sum_{t'} T c''_{rh} Q^{tt'}_{prh}
 \end{aligned} \quad (1)$$

v_{ijt} مقدار خونی که توسط اهداکننده i در تسهیل j در دوره t اهدا می‌شود.

v'_{jkt} مقدار خونی که از تسهیل j به تسهیل k در دوره t ارسال می‌شود.

s_{ikt} مقدار خونی که توسط اهداکننده i در تسهیل k در دوره t اهدا می‌شود.

s'_{krt} مقدار خونی که از تسهیل محلی k به مرکز خون r در دوره t ارسال می‌شود.

$s''_{rr't}$ مقدار پلاکتی که از مرکز خون r به مرکز خون r' در دوره t ارسال می‌شود.

Q'_{prt} مقدار پلاکت تولید شده به روش p در مرکز خون r در دوره t

$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z_2 &= \max_{h, p, t'} \left\{ d e_{hpt'} \right. \\
 &\left. - \sum_{t \geq t' - l_p} \sum_r Q^{t, t'}_{p, r, h} \right\}
 \end{aligned} \quad (2)$$

I_{prt} میزان موجودی پلاکت تولید شده به روش p در مرکز خون r در دوره t

$Q^{tt'}_{prh}$ مقدار پلاکت تولید شده به روش p در مرکز خون r در دوره t و مصرف شده در بیمارستان h در دوره t'

۲،۲،۳. محدودیت‌ها

$$\sum_{j_1} y_{j_1, j_2, t} \leq 1 \quad \forall j_2, t \quad (3)$$

$E_{prt'}$ مقدار پلاکت تولید شده به روش p و منقضی شده در مرکز خون r در دوره t'

$$\sum_{\substack{j_1, j_2 \neq j_1 \\ = N}} y_{j_1, j_2, t} = N \quad \forall t \quad (4)$$

$H_{hpt'}$ میزان کمبود پلاکت تولید شده به روش p در بیمارستان h در دوره t'

۲-۳ مدل ریاضی

$$\begin{aligned}
 \sum_{j_2} y_{j_1, j_2, t} &\leq \sum_j y_{j, j_1, t-1} \quad \forall j_1, t \geq 2 \quad (5)
 \end{aligned}$$

در این بخش، توابع هدف و محدودیت‌های مدل ریاضی مسئله مورد بررسی ارائه خواهند شد.

$$\sum_k x_{ikt} + \sum_j x'_{ijt} \leq 1 \quad \forall i, t \quad (6)$$

$$Q'_{p,r,t} + I_{p,r,t-1} + \sum_{r'} s''_{pr'rt} - \sum_{r'} s''_{pr'r't} = I_{p,r,t} + \sum_{h,t' \geq t} Q_{p,r,h}^{t,t'} \quad \forall r, p, t \quad (21)$$

$$I_{p,r,t} \geq G_{r,t} \quad \forall r, p, t \quad (22)$$

$$\sum_{t \geq t' - l_p} \sum_r Q_{p,r,h}^{t,t'} \geq \alpha(de_{hpt'}) \quad \forall h, p, t' \quad (23)$$

$$\sum_{h,t < t' - l_p} Q_{p,r,h}^{t,t'} \geq E_{rpt'} \quad \forall r, p, t' \quad (24)$$

$$z_k, x_{ikt}, x'_{ijt}, x''_{jkt}, y_{j_1, j_2, t} \in \{0, 1\} \quad (25)$$

$$v_{ijt}, v'_{jkt}, s_{ikt}, s'_{krt}, Q_{prt}, I_{prt}, Q_{prh}^{tt'}, E_{prt'}, H_{hpt'} \geq 0 \quad (26)$$

تابع هدف (۱) در پی کمینه کردن هزینه کل شبکه از جمله هزینه احداث تسهیلات محلی (ثابت)، هزینه جابجایی تسهیلات سیار، هزینه انتقال واحدهای خونی از تسهیلات سیار به تسهیلات محلی، هزینه انتقال واحدهای خونی از تسهیلات محلی به مراکز خون، هزینه تولید در مراکز خون، هزینه ارسال پلاکت خون مابین مراکز خون، هزینه نگهداری پلاکت در مرکز خون، هزینه فساد پلاکت در مرکز خون و هزینه انتقال پلاکت خون از مراکز خون به بیمارستانها در طول افق برنامه ریزی است. تابع هدف (۲) به کمینه سازی حداکثر کمبود در هر بیمارستان در هر دوره می پردازد. به عبارت دیگر، باتوجه به وزن پلاکت برای هر بیمارستان، سعی در کاهش حداکثر اختلاف بین عرضه و مقدار تقاضای آنها دارد.

محدودیت (۳) تضمین می کند که فقط یکی از تسهیلات سیار می تواند در هر دوره از مکان J_1 به مکان J_2 جابجا شود. محدودیت (۴) تعداد تسهیلات سیار در هر دوره را تعیین می کند.

$$x'_{ijt} r_{ij} \leq r_0 \sum_{j_1} y_{j_1, j, t} \quad \forall i, j, t \quad (7)$$

$$x_{ikt} w'_{ik} \leq w_0 z_k \quad \forall i, k, t \quad (8)$$

$$x''_{jkt} q_{jk} \leq q_0 z_k \quad \forall j, k, t \quad (9)$$

$$x''_{jkt} \leq \sum_{j_1} y_{j_1, j, t} \quad \forall j, k, t \quad (10)$$

$$v_{ijt} \leq M x'_{ijt} \quad \forall i, j, t \quad (11)$$

$$s_{ikt} \leq M x_{ikt} \quad \forall i, k, t \quad (12)$$

$$v'_{jkt} \leq M x''_{jkt} \quad \forall j, k, t \quad (13)$$

$$\sum_i v_{ijt} \leq U \quad \forall j, t \quad (14)$$

$$\sum_i v_{ijt} = \sum_k v'_{jkt} \quad \forall j, t \quad (15)$$

$$\sum_k s_{ikt} + \sum_j v_{ijt} \leq d_{it} \quad \forall i, t \quad (16)$$

$$\sum_i s_{ikt} + \sum_j v'_{jkt} \leq U'_k \quad \forall k, t \quad (17)$$

$$\sum_i s_{ikt} + \sum_j v'_{jkt} = \sum_r s'_{krt} \quad \forall k, t \quad (18)$$

$$\sum_k s'_{krt} \leq U''_r \quad \forall r, t \quad (19)$$

$$\beta \left(\sum_k s'_{krt} \right) q'_p = Q'_{p,r,t} \quad \forall r, p, t \quad (20)$$

ارائه مدل استوار دوهدفه برای طراحی یکپارچه شبکه زنجیره تامین خون ...

خون در هر دوره را نشان می‌دهد. محدودیت (۲۰) میزان تولید پلاکت خون در هر مرکز خون در هر دوره را تعیین می‌کند. محدودیت (۲۱) معادله تعادل جریان در هر یک از مرکز خون در هر دوره است. محدودیت (۲۳) تضمین می‌کند که در هر دوره میزانی از پلاکت در بانک خون مرکز خون موجود باشد و در واقع سطح ذخیره اطمینان را مشخص می‌کند. محدودیت (۲۳) محدودیت ارضای تقاضا در هر بیمارستان در هر دوره است. محدودیت (۲۳) ارضای تقاضای هر بیمارستان در هر دوره را تعیین می‌کند. محدودیت (۲۴) حداکثر میزان مجاز فساد در هر مرکز در هر دوره را تعیین می‌کند. محدودیت‌های (۲۵) و (۲۶) تعیین کننده نوع متغیرهای تصمیم می‌باشند.

۳-۳ خطی سازی مدل

همانطور که ملاحظه می‌شود تابع هدف (۲) غیرخطی است بنابراین به منظور خطی سازی آن روابط (۲۷) و (۲۸) جایگزین رابطه (۲) می‌گردد.

$$\text{Min } Z_2 = F \quad (27)$$

$$F \geq \max_{h,p,t'} \left\{ de_{hpt'} - \sum_{t \geq t' - l_p} \sum_r Q_{p,r,h}^{t,t'} \right\} \quad \forall h,p,t' \quad (28)$$

۴. روش حل

در مدل‌های چند هدفه، پس از حل مساله یک جواب منحصر به فرد نمی‌توان یافت، بلکه دسته‌ای از جوابهای قابل قبول و غیرپست خواهیم داشت که در ادبیات چندهدفه آن را مرز پارتو می‌نامند. در واقع در این گونه مسائل، هدف یافتن مجموعه‌ای از نقاط غیر پست (مرز پارتو) و ارائه آن به تصمیم گیرنده است که بر مبنای ترجیحات خود یکی از آن‌ها را برگزیند. برای اینکه که تصمیم گیرنده بتواند ترجیحات خود را با توجه به جواب‌های به دست آمده و محدودیت‌های فنی مسئله مطرح کند، روش‌های تعاملی برنامه‌ریزی چندهدفه از سایر روش‌های موجود در

در واقع در هر دوره تعداد یکسانی از تسهیلات انتخاب می‌شود تا از هزینه‌های بسته شدن تسهیلات در یک دوره و بازگشایی آن در دوره بعدی جلوگیری شود. محدودیت (۵) تضمین می‌کند که تسهیلات سیار تنها در صورتی می‌توانند در هر دوره از مکانی به مکان دیگر جابجا شوند که در دوره گذشته در مکان قبل بوده باشند. محدودیت (۶) تعیین می‌کند که اهدای خون توسط اهداکنندگان تنها در یکی از تسهیلات سیار یا محلی می‌تواند اتفاق بیفتد. محدودیت‌های (۷) تا (۹) بیان کننده محدودیت‌های شعاع پوششی برای تسهیلات می‌باشند. محدودیت (۷) تضمین می‌کند که هر گروه اهداکننده تنها می‌تواند به یکی از تسهیلات سیار در هر دوره تخصیص یابد به شرطی که در محدوده شعاع پوششی این تسهیلات قرار داشته باشد. محدودیت (۸) هر گروه اهداکننده تنها می‌تواند به یکی از تسهیلات محلی در هر دوره تخصیص یابد به شرطی که در محدوده شعاع پوششی این تسهیلات قرار داشته باشد. در نهایت محدودیت (۹) بیان می‌کند که تسهیلات سیار می‌توانند به تسهیلات محلی تخصیص یابند در صورتی که در محدوده پوشش‌دهی تسهیلات محلی واقع شده باشند. محدودیت (۱۰) بیانگر این است که انتقال خون از تسهیلات سیار به تسهیلات محلی در صورتی امکان‌پذیر است که تسهیل سیار مربوطه موجود باشد. محدودیت‌های (۱۱) تا (۱۳) تضمین می‌کنند که واحدهای خونی در صورتی می‌تواند توسط یکی از تسهیلات سیار یا محلی جمع‌آوری شوند که این تسهیلات بازگشایی شده باشند. این واحدهای خونی سپس از تسهیلات سیار به تسهیلات محلی می‌رود. محدودیت (۱۴) ماکزیم ظرفیت تسهیلات سیار را نشان می‌دهد. محدودیت (۱۵) بیانگر محدودیت تعادل جریان برای هر تسهیل سیار است. محدودیت (۱۶) بیان کننده این است که مجموع خون‌های جمع-آوری شده نمی‌تواند از میزان عرضه خون تجاوز کند. محدودیت (۱۷) ماکزیم ظرفیت تسهیلات محلی را نشان می‌دهد. محدودیت (۱۸) معادله تعادل جریان در هر یک از تسهیلات محلی در هر دوره است. محدودیت (۱۹) ماکزیم ظرفیت مراکز

است و بنابراین باید در این روش مقیاس‌های توابع هدف به یک مقیاس مشترک تبدیل شود.

۲. در روش محدودیت اِپسیلون می‌توان تعداد جوابهای بهینه تولید شده را از طریق تنظیم مناسب تعداد نقاط شکست در بازه مقادیر توابع هدف (بازه مقادیر ندیر و ایده‌آل) کنترل نمود.

بعنوان مثال مدل دوهدهه زیر را در نظر بگیرید:

$$\text{Min } Z_1 = \sum_{j \in N} c_j x_j$$

$$\text{Min } Z_2 = F$$

s. t:

$$\sum_{j \in N} a_{ij} x_j \leq R_i \quad i \in M \quad (29)$$

$$\sum_{j \in N} b_{ij} x_j \geq K_i \quad i \in M$$

$$x_j \geq 0 \quad j \in N$$

که در آن M و N به ترتیب بیانگر محدودیت‌ها و متغیرهای مدل می‌باشند. در روش محدودیت اِپسیلون، یکی از توابع هدف (بر اساس اولویت تصمیم‌گیرنده) به عنوان هدف اصلی مسئله قرار داده شده و باقی اهداف به صورت محدودیت در مسئله ظاهر می‌شوند که بازه تغییرات آن‌ها بر اساس حدود تعیین شده در جدول امتیازها^۸ برای بهترین و بدترین مقدار هر یک از آن‌ها مشخص می‌گردد. سپس هر تابع هدف در محدودیت بین بدترین و بهترین مقدار خود (بازه مقادیر ϵ) تغییر کرده و هر بار یکی از جواب‌های مسئله استخراج می‌گردد. تعداد گام‌های ϵ در بازه تغییرات توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود. هرچه ϵ کوچکتر باشد، امکان دستیابی به نقاط غیرپست بیشتر می‌شود. بر این اساس مدل نهایی را می‌توان بصورت مدل (۳) نوشت. در این مقاله برای ایجاد جدول امتیازها از روش لکزیگرافی^۹ استفاده شده است. برای یافتن بهترین مقدار هر تابع هدف، مسئله به

حوزه برنامه‌ریزی چندهدفه مناسب ترند. با استفاده از این روش - ها، می‌توان تقریب خوبی از جوابهای بهینه پارتو بدست آورد و این موضوع فرایند تصمیم‌گیری را در شرایطی که با مسائل چندهدفه مواجه هستیم تسهیل می‌کند.

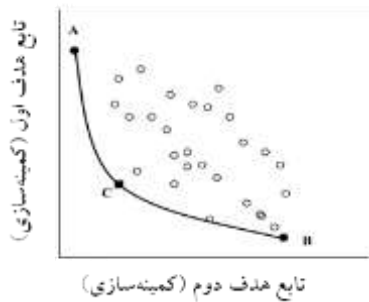
۴-۱ روش محدودیت اِپسیلون

روش‌های تعاملی برای حل مسائل چندهدفه براساس این‌که تصمیم‌گیرنده در چه مرحله‌ای از تصمیم‌گیری وارد عمل می‌شود متفاوت هستند که از جمله آن‌ها می‌توان به روش‌های پسینی^۷ اشاره کرد که به دلیل این‌که مجموعه پارتو را در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار داده و به وی حق انتخاب می‌دهند، از محبوبیت بالاتری برخوردارند. در بین روش‌های پسین، روش محدودیت اِپسیلون از جمله روش‌های پرکاربرد محسوب می‌شود. روش محدودیت اِپسیلون در مقایسه با روشهای وزن‌دهی که هر دو از روش‌های تعاملی محسوب می‌شوند، دارای مزایای زیادی است که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [Mavrotas, 2009]:

۱. روش محدودیت اِپسیلون برای حل مسائل غیرمحدب نیز مناسب است. با استفاده از این روش می‌توان ترکیبی از نقاط بهینه پارتو (نامغلوب) گوشه‌ای و غیرگوشه‌ای داشت. به عبارت دیگر، با تغییر پارامتر اِپسیلون به صورت پله به پله در بازه مقادیر ندیر و ایده‌آل تابع هدفی که در محدودیت قرار می‌گیرد، می‌توان به جوابهای بهینه پارتوی مختلف و در نهایت مرز پارتو دست یافت که به تصمیم‌گیرنده این امکان را می‌دهد که از بین نقاط روی مرز پارتو بر اساس ترجیحات و اولویتهای خود تصمیم‌گیری نماید. این در حالی است که روش وزن‌دهی تنها قادر به تولید جوابهای بهینه گوشه‌ای است.
۱. در روش محدودیت اِپسیلون نیازی به این نیست که توابع هدف یک مقیاس مشترک داشته باشند و مقیاس‌های متفاوت آنها مشکلی ایجاد نمی‌کند. ولی در روش وزن‌دهی، مقیاس توابع هدف به شدت بر نتایج بدست آمده تاثیرگذار

ارائه مدل استوار دوهدفه برای طراحی یکپارچه شبکه زنجیره تامین خون

بعنوان مثال پس از حل یک مدل چند هدفه به روش محدودیت اسیلون مرز پارتو بصورت شکل (۲) خواهد بود. در این نمودار نقاط A، B و C نقاط غیرپست را تشکیل می دهند که در اختیار تصمیم گیرنده قرار خواهند گرفت.



شکل ۲. مرز پارتو

۲-۴ رویکرد بهینه سازی استوار

برای مواجهه با عدم قطعیت در مسائل بهینه سازی که نیازمند توجه همزمان به معیار موجه بودن و معیار بهینگی است، رویکرد برنامه ریزی استوار روش های ریسک گریزانه ارائه می دهد. بنابراین، اهمیت و نقش استواری بویژه در مسائلی که نیازمند اخذ تصمیمات استراتژیک از قبیل مکان یابی تسهیلات است بیش از پیش به چشم می خورد. انواع متعددی از رویکردهای ریاست برای مدل های بهینه سازی تاکنون ارائه شده اند. بعنوان مثال، سویستر [Singh, 1982] اولین رویکرد را برای مقابله با عدم قطعیت ارائه نمود که رویکرد او اغلب به مدل های بسیار محافظه کارانه و جواب های نه چندان جالب از نظر بهینگی منجر می شود. از طرف دیگر، بنتال و نمیروسکی [Ben-Tal and Nemirovski, 2000] مدل های منعطف تر و با محافظه کاری کمتر ارائه کردند. برتسیماس و سیم [Bertsimas and Sim, 2003] رویکردی بر مبنای این امر که اتفاق افتادن بدترین بدبینانه ترین حالت برای همه ضرایب بطور همزمان، غیر واقعی است یکی دیگر از رویکردهای استوار را ارائه نمودند. فیچتی و موناکی [Fischetti and Monaci, 2009] نیز بر مبنای مدل

صورت تک هدفه با تابع هدف مورد نظر حل می شود و بدترین مقدار هر تابع هدف، از مسئله ای تک هدفه با آن تابع هدف و با قراردادن باقی توابع هدف به صورت محدودیت تساوی با بهترین مقدار خود در مسئله تعیین می شود. برای بدست آوردن مقادیر پارامتر اسیلون، در ابتدا حدود (بازه) تغییرات اسیلون مشخص می شود. چنانچه تابع هدفی که در محدودیت واقع می شود از نوع ماکزیم سازی باشد، حد بالای این بازه، مقدار ایده آل آن تابع هدف و حد پایین این بازه، مقدار ندیر تابع هدف مذکور است. اگر تابع هدف از نوع مینیم سازی باشد، حد بالای بازه مقدار ندیر و حد پایین آن مقدار ایده آل تابع هدف خواهد بود. پس از بدست آمدن بازه مذکور، می بایست آن را به تعداد زیربازه های یکسان شکست داد. تعداد دقیق این زیربازه ها و نقاط شکست در ادبیات مشخص نشده است و به فراخور مسئله می تواند متفاوت باشد. آنچه که در تعیین تعداد نقاط شکست اهمیت دارد این است که در نهایت تعداد مناسبی از نقاط پارتویی در اختیار تصمیم گیرنده قرار دهد. در واقع می بایست تعداد این نقاط نه به حدی کم و فاصله بین آنها نه به حدی زیاد باشد که مرز پارتوی بدست آمده ناکارآمد و تصمیم گیری بین نقاط مرزی دشوار شود و نه اینکه این نقاط به حدی زیاد باشند که عملاً تمایز چندانی نتوان بین آنها قائل بود که باز هم در این شرایط کارایی نخواهد داشت.

$$\begin{aligned} \text{Min } Z_1 &= \sum_{j \in N} c_j x_j \\ \text{s. t:} \\ Z_2 &\leq \varepsilon \\ \sum_{j \in N} a_{ij} x_j &\leq R_i \quad i \in M \\ \sum_{j \in N} b_{ij} x_j &\geq K_i \quad i \in M \\ x_j &\geq 0 \quad j \in N \end{aligned} \quad (30)$$

برتسیماس و سیم رویکرد استوار سبک را ارائه کرده‌اند که در آن حد بدتر شدن تابع هدف محدود و مشخص است.

۴-۲-۱ رویکرد استوار سبک

در این بخش، به منظور مواجهه با عدم قطعیت در مقدار تقاضای خون از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده می‌شود. در واقع، ماهیت تقاضا که ترکیبی از تقاضای انتخابی (مشخص) و تقاضای اورژانسی (تصادفی) است تصادفی است. از طرفی از آنجاکه تقاضای اورژانسی معمولاً دارای الگوی مشخصی نیست و بازه‌ای برای تغییرات آن متصور هستند، بدست آوردن تابع توزیع برای آن دشوار است. بنابراین در این حالت در نظر گرفتن پارامتر تقاضا بصورت بازه‌ای و انتخاب روش برنامه‌ریزی استوار برای مواجهه با این پارامتر غیرقطعی گزینه مناسبی است. در این مقاله از یک رویکرد استوار سبک که از ترکیب بهینه‌سازی استوار با یک رویکرد برنامه‌ریزی دومرحله‌ای تصادفی بوجود آمده استفاده شده است و دارای انعطاف‌پذیری و سهولت در استفاده است [Fischetti and Monaci, 2009]. این رویکرد با ایجاد تعادل منطقی بین استواری شدنی‌بودن و بهینگی بر اساس ترجیحات تصمیم‌گیرنده و کاربرد موردنظر، نه تنها از نقض محدودیت جلوگیری می‌کند، بلکه افزایش هزینه تابع هدف را به طریقی مناسب کنترل می‌نماید. این رویکرد با متغیرهای کمکی مربوط به محدودیت‌های مدل سروکار دارد. به عبارت دیگر، درجه استواری جوابها متناظر با مقدار متغیر کمکی است که برای جذب انحرافات در محدودیت مربوطه کنار گذاشته شده است. تکمیل این روش منوط به حل سه مدل برنامه‌ریزی خطی است که شامل مدل اسمی (قطعی) و دو مدل خطی دیگر که در ادامه به معرفی آنها پرداخته می‌شود.

فرض کنید x^* یک جواب بهینه برای مدل اسمی (۳۱)–(۳۳) باشد.

$$\text{Min} \sum_{j \in N} c_j x_j \quad (31)$$

$$\sum_{j \in N} a_{ij} x_j \geq d_i \quad i \in M \quad (32)$$

$$x_j \geq 0 \quad j \in N \quad (33)$$

اکنون فرض کنید که ماتریس D غیر قطعی بوده و مقادیری در بازه $\tilde{d}_i \in [d_i, d_i + \hat{d}_i]$ می‌گیرد و M و N به ترتیب بیان کننده تعداد محدودیت‌ها و متغیرهای مدل هستند. حداکثر انحراف از محدودیت غیر قطعی \hat{d}_i ام با توجه به جواب بهینه x^* بر اساس رابطه زیر بدست می‌آید:

$$L_i^* = (d_i + \hat{d}_i) - \sum_{j \in N} a_{ij} x_j^* \quad i \in M \quad (34)$$

همچنین مجموعه‌ای به نام U را در نظر می‌گیریم $U = \{i \in M: L_i^* > 0\}$ که متشکل از سطرهایی (محدودیت‌ها) است که باید مقدار کافی متغیر کمکی برای آنها در نظر گرفته شود. بنابراین، $U \geq 1$ نشان می‌دهد که حداقل یک سطر نیاز به متغیر کمکی دارد زیرا در غیر اینصورت جواب بهینه بدست آمده از حل مدل اسمی در هر واقع‌نمایی از پارامتر عدم قطعیت، موجه و بهینه خواهد بود.

در ابتدا اولین مدل خطی حل می‌شود:

$$\text{Max } \sigma \quad (35)$$

$$\sum_{j \in N} a_{ij} x_j - s_i = d_i \quad i \in M \quad (36)$$

$$\sigma \leq \frac{s_i}{L_i^*} \quad i \in U \quad (37)$$

$$\sum_{j \in N} c_j x_j \leq (1 + \delta) z^* \quad (38)$$

$$x_j \geq 0 \quad j \in N \quad (39)$$

$$s_i \geq 0 \quad i \in M \quad (40)$$

ارائه مدل استوار دوهدفه برای طراحی یکپارچه شبکه زنجیره تامین خون

شوند. برای این منظور مدل دوم که در ادامه معرفی خواهد شد بکار گرفته می‌شود.

فرض کنید (x^*, s^*, σ^*) جواب بهینه مدل (۳۵) - (۴۰) باشد، بنابراین میانگین مقادیر کمی نرمالیزه شده بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$s_{avg} = \frac{\sum_{i \in U} s_i^* / L_i^*}{|U|} \quad (41)$$

همچنین حداقل مقادیر کمی نرمالیزه شده بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$s_{min} = \min\{s_i^* / L_i^* : i \in U\} \quad (42)$$

سپس به منظور نزدیک کردن حداقل مقادیر کمی به میانگین آنها، مدل خطی (۴۳) - (۴۹) حل خواهد شد.

$$\text{Min} \sum_{i \in U} t_i \quad (43)$$

$$\sum_{j \in N} a_{ij} x_j - s_i = d_i \quad i \in U \quad (44)$$

$$\sum_{j \in N} c_j x_j \leq (1 + \delta) z^* \quad (45)$$

$$\frac{s_i}{L_i^*} + t_i \geq s_{avg} \quad i \in U \quad (46)$$

$$x_j \geq 0 \quad j \in N \quad (47)$$

$$\frac{s_i}{L_i^*} \geq s_{min} \quad i \in U \quad (48)$$

$$s_i \geq 0, t_i \geq 0 \quad i \in U \quad (49)$$

که در آن تابع هدف (۴۳) مجموع متغیرهای t_i که به هر محدودیت غیرقطعی تخصیص می‌یابد را به منظور ایجاد توازن بین مقادیر کمی نرمالیزه شده کمینه می‌کند. اگر مقادیر کمی کمتر از مقدار میانگین باشد این متغیر مقدار مثبت می‌گیرد. همچنین $s_{min} = \sigma^*$ مقدار تابع هدف مدل اول است.

با حل مدل فوق حداقل مقدار متغیر کمی که باید برای هر محدودیت غیرقطعی i کنار گذاشته شود بدست می‌آید که این مقدار باید بیشینه گردد. در حقیقت منطق مدل فوق این است که در هر محدودیت غیرقطعی i ، مقداری ذخیره (متغیر کمی s_i) از منابع به منظور مواجهه با عدم قطعیت و کاهش اثرات منفی آن (نظیر کمبود) نگهداری می‌کند. این حالت در محدودیت (۳۶) مشخص شده است. سپس به منظور مقایسه پذیری این مقادیر ذخیره، آنها را نرمالیزه می‌کند. به منظور نرمالیزه کردن مقادیر کمی در هر محدودیت غیرقطعی i ، همانطور که در محدودیت (۳۷) قابل مشاهده است، آنها بر حداکثر انحرافات (نقض) آن محدودیت (L_i^*) تقسیم می‌شوند. سپس کوچکترین کسر حاصل شده، یعنی حداقل مقدار متغیر کمی نرمالیزه شده (σ) همانور که در تابع هدف (۳۵) نشان داده شده باید بیشینه گردد. زیرا آنچه که می‌تواند به هنگام بروز عدم قطعیت مشکل ساز شود همین کمترین مقادیر ذخیره هستند که منجر به کمبود و نقض محدودیت می‌شوند. لازم به ذکر است که نگهداری مقدار ذخیره منجر به افزایش هزینه (Z) خواهد شد و از آنجائیکه نمی‌توان بطور نامحدود هزینه به سیستم تحمیل کرد بنابراین سطح مجاز بدتر شدن (زیاد شدن) هزینه‌ها می‌بایست کنترل شود. محدودیت (۳۸) این امر را توسط پارامتر (δ) که به نوعی سطح مطلوب استواری جواب را تعیین می‌کند کنترل می‌شود. این پارامتر معمولاً بر اساس ترجیحات تصمیم‌گیرنده تعیین می‌گردد. در واقع این مدل به همراه مدل زیر مقدار مناسبی برای متغیر کمی تعیین می‌کنند که تحت واقع‌نمایی‌های مختلف از پارامتر غیرقطعی، هم با کاهش نقض محدودیت سطح استواری مدل را بهبود دهد و هم استواری جواب در یک سطح کنترل شده‌ای حفظ شود. محدودیت‌های (۳۹) و (۴۰) نیز دامنه متغیرهای مسئله را تعیین می‌کنند.

با توجه به ماهیت ماکزیم-مینیم مدل فوق، اجباری برای در نظر گرفتن مقادیر کمی بزرگ - که برای بهبود استواری مهم هستند- وجود ندارد. بنابراین، مقادیر کمی می‌بایست متوازن

۳-۴ تلفیق رویکردهای چند هدفه و استوار

نقاط غیرپست، حداکثر نقض محدودیت (L^*) و نیز مجموعه U بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$L_{hpt}^* = \alpha(de_{hpt}' + \widehat{de}_{hpt}') - \left(\sum_{t' \leq t+l_p} \sum_r Q_{p,r,h}^{t,t'} \right) \quad \forall h, p, t' \quad (52)$$

$$U = \{h, p, t' \in M: L_{hpt}^* > 0\} \quad (53)$$

سیس مدل دوهدفه استوار سبک برای تمامی این نقاط بر اساس گام‌های مذکور در بخش (۲،۴) و اضافه کردن اهداف اول و دوم مسئله بصورت زیر فرموله و پیاده‌سازی می‌گردد:

$$Max \sigma \quad (54)$$

$$\sum_{t' \leq t+l_p} \sum_r Q_{p,r,h}^{t,t'} = \alpha(de_{hpt}') + S_{hpt}' \quad \forall h, p, t' \quad (55)$$

$$\sigma \leq \frac{S_{hpt}'}{L_{hpt}^*} \quad \forall h, p, t' \quad (56)$$

$$F \leq \varepsilon^* \quad (57)$$

$$\begin{aligned} & \sum_k c'_k z_k + \sum_{j_1} \sum_{j_2} \sum_t c_{j_1, j_2} y_{j_1, j_2, t} \\ & + \sum_j \sum_k \sum_t Tc_{jk} u'_{jkt} \\ & + \sum_k \sum_r \sum_t Tc'_{kr} s'_{krt} \\ & + \sum_r \sum_p \sum_t Pc_p Q'_{prt} \\ & + \sum_p \sum_r \sum_{r'} \sum_t Td_{r'r} s''_{pr'rt} \\ & + \sum_r \sum_p \sum_t h_p I_{rpt} \\ & + \sum_p \sum_r \sum_t exp E_{prt}' \\ & + \sum_r \sum_h \sum_p \sum_t \sum_{t'} Tc''_{rh} Q_{prh}^{tt'} \\ & \leq (1 + \delta) Z_1^* \end{aligned} \quad (58)$$

$$S_{hpt}' \geq 0 \quad \forall h, p, t' \quad (59)$$

در این بخش، با ترکیب رویکردهای محدودیت اپسیلون و رویکرد استوار سبک در پی یافتن مرز پارتویی خواهیم بود که دارای استواری شدنی بودن و استواری بهینگی است. در این مقاله، مقدار تقاضای خون که نقش حیاتی در برنامه ریزی برای زنجیره تامین خون ایفا می‌کند دارای عدم قطعیت از نوع تصادفی است. به گونه‌ای که این تقاضای غیر قطعی \widehat{de}_{hpt}' در بازه زیر مقدار می‌گیرد $[de_{hpt}', de_{hpt}' + \widehat{de}_{hpt}']$ که در آن de_{hpt}' بیانگر مقدار اسمی پارامتر عدم قطعیت است. بعلاوه \widehat{de}_{hpt}' بیانگر حداکثر انحراف از تقاضا (بدترین حالت) است و در این مقاله مقدار آن بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$\widehat{de}_{hpt}' = 0.2 \times de_{hpt}' \quad (50)$$

با در نظر گرفتن گام‌های بیان شده در بخش‌های (۱،۴) و (۲،۴)، مدل دوهدفه استوار بصورت زیر فرموله خواهد شد:

در ابتدا برای تک‌هدفه نمودن مدل دوهدفه ارائه شده در بخش (۲،۳)، از روش محدودیت اپسیلون ارائه شده در بخش (۱،۴) استفاده می‌شود. به این منظور، پس از تعیین حدود مرزی هر تابع هدف و تصمیم‌گیری در مورد گام برش (ε)، مدلی با هدف کمینه‌سازی تابع هدف (۱) و با لحاظ تمامی محدودیت‌های (۳) - (۲۶) مدل دوهدفه ارائه شده در بخش (۲،۳) و نیز محدودیت‌های زیر اجرا می‌شود:

$$F \leq \varepsilon \quad \forall h, p, t: Z_2^* \leq \varepsilon \leq Z_2^- \quad (51)$$

که در مدل فوق Z_2^* و Z_2^- به ترتیب بهترین و بدترین مقدار تابع هدف دوم را نشان می‌دهند.

پس از برپایی جدول امتیازهای نقاط مرزی با استفاده از روش لکزیکوگرافی و یافتن نقاط غیرپست، به استوارسازی این مجموعه نقاط پرداخته می‌شود. به این منظور، برای هر یک از

ارائه مدل استوار دوهدفه برای یکپارچه شبکه زنجیره تامین خون

$$\frac{S_{hpt'}}{L_{hpt}^*} + t_{hpt'} \quad \forall h, p, t' \in U \quad (73)$$

$$\geq S_{avg}$$

$$\frac{S_{hpt'}}{L_{hpt}^*} \geq S_{min} \quad \forall h, p, t' \in U \quad (74)$$

$$t_{hpt'} \geq 0 \quad (75)$$

به همراه محدودیت‌های (۳)–(۲۱)، (۲۴)–(۲۸).

۵. نتایج محاسباتی

جهت مقابله با عدم قطعیت در پارامتر مقدار تقاضا، رویکرد برنامه‌ریزی استوار بدلیل توانمندی‌اش در ارائه جواب استوار مورد استفاده قرار گرفته است. حال در این بخش، عملکرد این رویکرد و مدل دوهدفه استوار با انجام چند مثال عددی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای این منظور چهار مسئله نمونه‌ای همانطور که در جدول (۲) و با توجه به مقالات [Zahiri, Mousazadeh, and Bozorgi-Amiri, 2015] و [Soleimany Ferizhandy, 2011] ارائه شده طراحی گردیده است. در تولید این مسائل نمونه‌ای سعی شده است که ابعاد مختلفی در نظر گرفته شود تا برای بررسی کارایی مدل در ابعاد مشابه دنیای واقعی کاربرد داشته باشد. در ابتدا هر دو مدل قطعی و استوار تحت مقادیر اسمی پارامترها که بصورت تصادفی با استفاده از تابع توزیع یکنواخت طبق جدول (۳) تولید شده اند حل می‌شوند. سپس تحلیل حساسیت به ازای بیست و پنج واقع-نمایی و سطوح مختلف عدم قطعیت (δ) به منظور ارزیابی کارایی رویکرد استوار در برابر رویکرد قطعی انجام شده و میانگین جوابها گزارش می‌شوند. مثال‌های عددی با استفاده از نرم‌افزار گمز روی کامپیوتر شخصی با مشخصات Intel Core i5، CPU 2.5GHz و 6GB RAM اجرا شده اند. در ابتدا باتوجه به گام‌های ارائه شده در بخش (۴)–(۱)، جدول امتیازهای نقاط مرزی برای مدل دوهدفه قطعی ارائه شده در این مقاله بصورت جدول (۳) است. به این منظور هدف اول (هزینه-ها) در تابع هدف و هدف دوم (ماکزیم کمبود) در محدودیت

به همراه محدودیت‌های (۳)–(۲۱)، (۲۴)–(۲۸).

در مدل فوق، ε^* گام بهینه محاسبه شده برای تابع هدف دوم در نقطه غیرپست و Z_1^* مقدار بهینه تابع هدف اول آن را نشان می‌دهد.

همچنین S_{avg} و S_{min} به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$S_{avg} = \frac{\sum_{h,p,t' \in U} \frac{S_{hpt}^*}{L_{hpt}^*}}{|U|} \quad (60)$$

$$S_{min} = \min \left\{ \frac{S_{hpt}^*}{L_{hpt}^*} : h, p, t' \in U \right\} \quad (61)$$

و در نهایت، گام آخر حل مدل خطی ارائه شده در زیر است:

$$\text{Min} \sum_{h,p,t' \in U} t_{hpt'} \quad (69)$$

$$\sum_{t' \leq t+l_p} \sum_r Q_{p,r,h}^{t,t'} = \alpha(de_{hpt'}) + S_{hpt'} \quad \forall h, p, t' \quad (70)$$

$$F \leq \varepsilon^* \quad (71)$$

$$\begin{aligned} & \sum_k c'_k Z_k + \sum_{j_1} \sum_{j_2} \sum_t c_{j_1, j_2} y_{j_1, j_2, t} \\ & + \sum_j \sum_k \sum_t T c_{jk} u'_{jkt} \\ & + \sum_k \sum_r \sum_t T c'_{kr} S'_{krt} \\ & + \sum_r \sum_p \sum_t P c_p Q'_{prt} \\ & + \sum_p \sum_r \sum_{r'} \sum_t T d_{r'r} S''_{pr'rt} \\ & + \sum_r \sum_p \sum_t h_p I_{rpt} \\ & + \sum_p \sum_r \sum_{t'} \exp E_{prt'} \\ & + \sum_r \sum_h \sum_p \sum_t \sum_{t'} T c''_{rh} Q_{prh}^{tt'} \\ & \leq (1 + \delta) Z_1^* \end{aligned} \quad (72)$$

سارا چراغی، سید مهدی حسینی مطلق، محمدرضا قطره سامانی

واقع می‌شود. در این مقاله برای تعیین بازه اپسیلون، بازه مقادیر ایده‌آل و ندیر تابع هدف دوم به ۱۰ زیربازه مساوی تقسیم شده‌است. سپس به منظور حل مدل، مقدار پارامتر اپسیلون از ابتدای بازه شروع و بصورت پله به پله افزایش می‌یابد و به انتهای بازه مربوطه می‌رسد و به ازای هر مقدار اپسیلون، مدل مذکور حل شده و یک نقطه (جواب) بدست می‌دهد. چنانچه تعداد زیربازه‌های ایجاد شده منجر به ایجاد تعداد مناسبی از نقاط پارتو

نشوند مجدداً زیربازه‌های بیشتری می‌بایست تولید گردند. بعنوان مثال، برای مسئله نمونه‌ای اول [۰ و ۷۶,۷۲] به ۱۰ بازه برابر تقسیم شده است و به ازای هر برش اپسیلون توابع هدف همانطور که در شکل (۳) قابل مشاهده است بدست آمده‌اند. همچنین مرز پارتو در حالت قطعی برای مسائل نمونه‌ای دوم، سوم و چهارم نیز به ترتیب در شکل‌های (۴) - (۶) نشان داده شده است.

جدول ۲. ابعاد مسائل نمونه‌ای

| شماره مسئله | تعداد گروه‌های اهداکننده | تعداد تسهیلات | | تعداد مراکز خون | تعداد بیمارستان‌ها | دوره زمانی |
|-------------|--------------------------|---------------|------|-----------------|--------------------|------------|
| | | سیار | محلی | | | |
| ۱ | ۵ | ۵ | ۶ | ۵ | ۶ | ۶ |
| ۲ | ۱۰ | ۷ | ۶ | ۶ | ۷ | ۷ |
| ۳ | ۱۵ | ۸ | ۷ | ۷ | ۸ | ۸ |
| ۴ | ۲۰ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۳۰ |

جدول ۳. مقادیر پارامترها

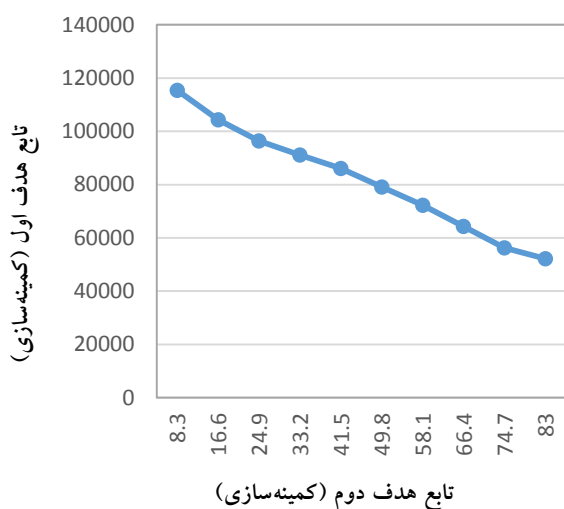
| پارامتر | مقدار | پارامتر | مقدار |
|---------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|
| d_{it} | $\sim uniform (1400, 1600)$ | c'_k | $\sim uniform (1500, 3000)$ |
| r_{ij} | $\sim uniform (20, 40)$ | c_{j_1, j_2} | $\sim uniform (0, 1, 6)$ |
| r_0 | ۱۰۰ | TC_{jk} | $\sim uniform (0, 35, 5)$ |
| q_{jk} | $\sim uniform (20, 30)$ | TC'_{kr} | $\sim uniform (0, 35, 5)$ |
| q_0 | ۱۸۰ | TC''_{rh} | $\sim uniform (0, 75, 1)$ |
| w'_{ik} | $\sim uniform (100, 200)$ | PC_p | $\sim uniform (0, 1, 3)$ |
| w_0 | ۱۰۰ | q'_p | $\sim uniform (0, 25, 35)$ |
| q_0 | ۱۸۰ | U | $\sim uniform (500, 700)$ |
| ω_{ph} | $\sim uniform (0, 1)$ | U'_k | $\sim uniform (1000, 2100)$ |
| $Td_{rr'}$ | $\sim uniform (0, 75, 1)$ | U''_r | $\sim uniform (2000, 2500)$ |
| | | $de_{hpt'}$ | $\sim uniform (300, 600)$ |

جدول ۴. مقادیر مرزی قطعی با استفاده از روش لکزیکوگرافی

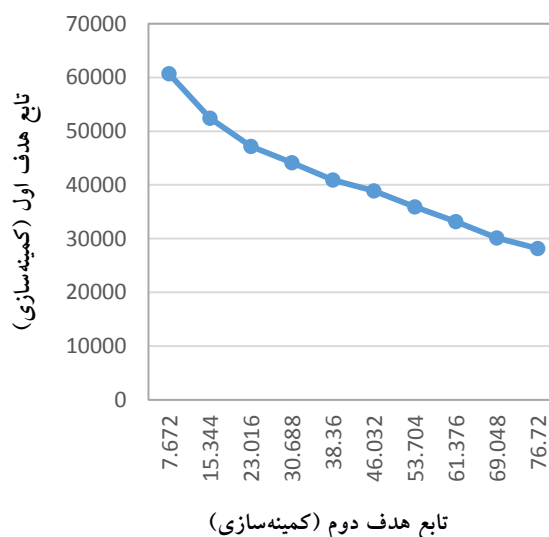
| شماره مسئله | تابع هدف | Z^* | Z^- |
|-------------|----------|----------|----------|
| ۱ | Z_1 | ۲۸۱۵۶,۹۹ | ۶۰۶۶۸,۱۳ |
| | Z_2 | ۰ | ۷۶,۷۲ |

ارائه مدل استوار دوهدفه برای یکپارچه شبکه زنجیره تامین خون

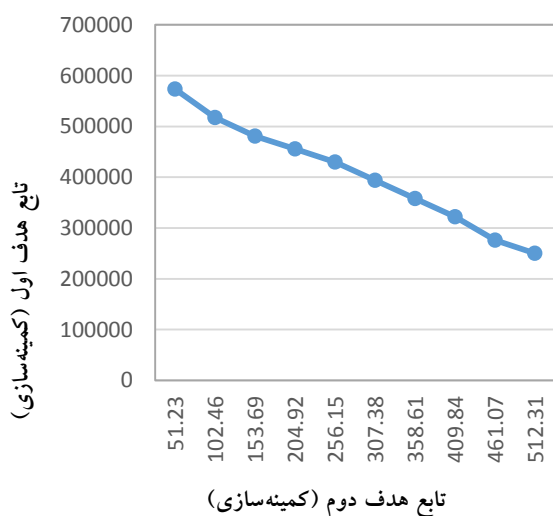
| | | | |
|-----------|-----------|-------|---|
| ۹۱۶۲۵,۴۱ | ۴۱۴۷۴,۴ | Z_1 | ۲ |
| ۸۲,۲ | ۰ | Z_2 | |
| ۱۱۵۴۱۰ | ۵۲۲۲۱,۰۷ | Z_1 | ۳ |
| ۸۳ | ۰ | Z_2 | |
| ۵۷۳۳۶۳,۳۴ | ۲۵۰۲۴۴,۷۶ | Z_1 | ۴ |
| ۵۱۲,۳۱ | ۰ | Z_2 | |



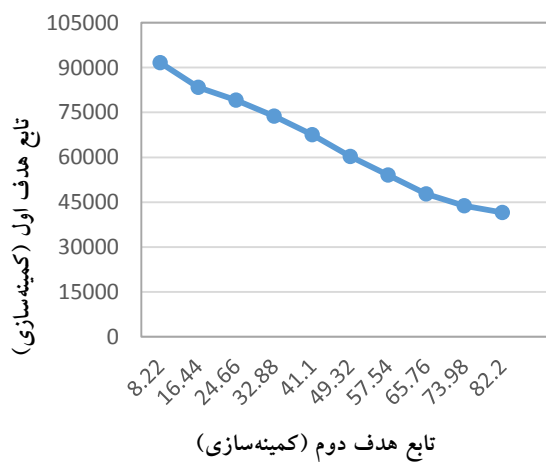
شکل ۵. مرز پارتو در حالت قطعی برای مسئله نمونه‌ای سوم



شکل ۳. مرز پارتو در حالت قطعی برای مسئله نمونه‌ای اول



شکل ۶. مرز پارتو در حالت قطعی برای مسئله نمونه‌ای چهارم



شکل ۴. مرز پارتو در حالت قطعی برای مسئله نمونه‌ای دوم

۱-۵ یافتن نقاط مرزی استوار

برای بررسی عملکرد مدل استوار دوهدفه بازه تغییرات اسپیلون تعیین می‌شود ولی باید توجه داشت که بدترین مقدار هر کدام از توابع هدف در مدل استوار با مقدار محاسبه شده در مدل قطعی تفاوت خواهد داشت. به بیان دیگر، این بازه در مدل استوار گسترده‌تر خواهد بود. دلیل این گستردگی، پارامتر δ است که به تابع هدف مدل استوار اجازه بدتر شدن می‌دهد. برای یافتن جدول مقادیر مرزی استوار، ابتدا مدل قطعی به صورت تک‌هدفه و برای هر یک از تابع هدف اجرا شده و پس از یافتن مقادیر L^* ، مدل استوار سبک اجرا می‌شود. متغیرهای خروجی این مدل سپس در تابع هدف دوم قرار داده شده و بدترین مقدار آن محاسبه می‌گردد. δ مناسب برای یافتن نقاط مرزی و برپایی مدل

استوار در این بخش، طبق نظر تصمیم‌گیرنده انتخاب می‌شود تا در نهایت تمامی نقاط غیرپست حاصل تحت شرایط یکسان در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار بگیرند. جدول مقادیر مرزی استوار برای تمامی مسادل نمونه‌ای در جدول (۵) نشان داده شده است. حال برای یافتن حدود تغییرات اسپیلون برای مسئله نمونه‌ای اول، بازه [۰ و ۹۲,۳۱] به ۱۰ زیربازه برابر تقسیم شد و در نهایت، به ازای هر نقطه غیرپست بدست آمده در این بازه L^* محاسبه شده و سپس مدل استوار سبک اجرا می‌شود. جدول (۶) مقادیر تابع هدف دو رویکرد قطعی و استوار را به ازای سطح عدم قطعیت ۰,۱ نشان نشان می‌دهد. علاوه بر این، مقادیر توابع هدف استوار برای مسائل نمونه‌ای اول تا چهارم در شکل‌های (۷) - (۱۰) نشان داده شده است.

جدول ۵. جدول مقادیر مرزی استوار با استفاده از روش لکزیکوگرافی

| شماره مسئله | تابع هدف | Z^* | Z^- |
|-------------|----------|-----------|-----------|
| ۱ | Z_1 | ۲۸۱۵۶,۹۹ | ۶۷۱۱۳,۴۱ |
| | Z_2 | ۰ | ۹۲,۳۱ |
| ۲ | Z_1 | ۴۱۴۷۴,۴۴ | ۱۱۴۹۳,۰ |
| | Z_2 | ۰ | ۱۰۴,۱۲ |
| ۳ | Z_1 | ۵۲۲۲۱,۰۷ | ۱۲۸۶۸۴ |
| | Z_2 | ۰ | ۱۱۳,۵۳ |
| ۴ | Z_1 | ۲۵۰۲۴۴,۷۶ | ۵۸۱۱۶۰,۱۳ |
| | Z_2 | ۰ | ۷۲۳,۱۱ |

جدول ۶. خلاصه نتایج حل مدل دوهدفه (رویکرد استوار در برابر رویکرد قطعی)

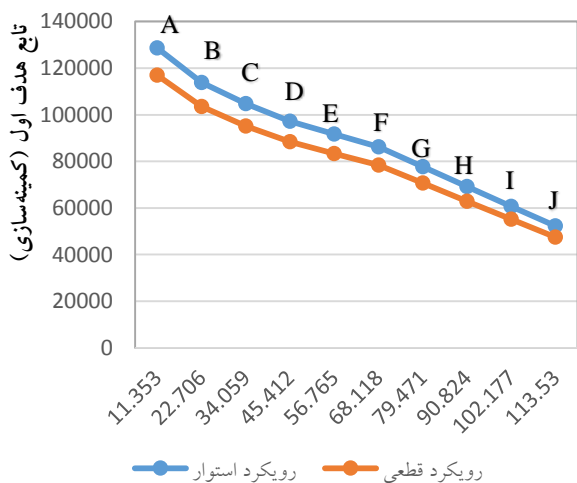
| شماره مسئله | نقطه غیرپست | تابع هدف اول (\$) (\$) | | تابع هدف دوم | | زمان حل (دقیقه) |
|-------------|-------------|------------------------|----------|--------------|--------|-----------------|
| | | قطعی | استوار | قطعی | استوار | |
| ۱ | A | ۶۱۰۱۲,۱۸ | ۶۷۱۱۳,۴ | ۹,۳۳۱ | ۹,۳۳۱ | ۴:۱۲ |
| | B | ۵۴۳۴۹,۹۱ | ۵۹۷۸۴,۹۱ | ۱۸,۶۴۲ | ۱۸,۶۴۲ | ۴:۲۳ |
| | C | ۴۹۵۰۵,۸۳ | ۵۴۴۵۶,۴۲ | ۲۷,۶۹۳ | ۲۷,۶۹۳ | ۴:۰۹ |
| | D | ۴۶۴۷۹,۹۶ | ۵۱۱۲۷,۹۳ | ۳۶,۹۲۴ | ۳۶,۹۲۴ | ۴:۱۳ |

ارائه مدل استوار دوهدفه برای طراحی یکپارچه شبکه زنجیره تامین خون

| | | | | | | |
|---------|---------|---------|------------|------------|---|---|
| ۴:۱۸ | ۴۶,۱۵۵ | ۴۶,۱۵۵ | ۴۵۷۹۹,۴۴ | ۴۱۶۳۵,۸۵ | E | |
| ۴:۲۱ | ۵۵,۳۸۶ | ۵۵,۳۸۶ | ۴۲۱۷۰,۹۵ | ۳۸۳۳۷,۲۲ | F | |
| ۴:۲۳ | ۶۴,۶۱۷ | ۶۴,۶۱۷ | ۳۹۱۴۲,۴۶ | ۳۵۵۸۴,۰۵ | G | |
| ۴:۲۴ | ۷۳,۸۴۸ | ۷۳,۸۴۸ | ۳۶۸۱۳,۹۷ | ۳۳۴۶۷,۲۴ | H | |
| ۴:۲۰ | ۸۳,۰۷۹ | ۸۳,۰۷۹ | ۳۲۴۸۵,۴۸ | ۲۹۵۳۲,۲۵ | I | |
| ۴:۱۷ | ۹۲,۳۱ | ۹۲,۳۱ | ۲۸۱۵۶,۹۹ | ۲۵۵۹۷,۲۶ | J | |
| ۶:۲۸ | ۱۰,۴۱۲ | ۱۰,۴۱۲ | ۱۱۴۹۳۰ | ۱۰,۴۴۸۱,۸۱ | A | |
| ۶:۲۶ | ۲۰,۸۲۴ | ۲۰,۸۲۴ | ۱۰,۶۷۳۸,۷۱ | ۹۷۰۳۵,۱۹ | B | |
| ۶:۲۶ | ۳۱,۲۳۶ | ۳۱,۲۳۶ | ۹۸۵۹۶,۵۴ | ۸۹۶۳۳,۲۱ | C | |
| ۶:۲۷ | ۴۱,۶۴۸ | ۴۱,۶۴۸ | ۹۰,۴۴۴,۸۱ | ۸۲۲۲۲,۵۵ | D | |
| ۶:۲۹ | ۵۲,۰۶ | ۵۲,۰۶ | ۸۲۲۵۳,۰۸ | ۷۴۷۷۵,۵۲ | E | ۲ |
| ۶:۳۳ | ۶۲,۴۷۲ | ۶۲,۴۷۲ | ۷۴۱۸۱,۳۵ | ۶۷۴۳۷,۵۹ | F | |
| ۶:۳۰ | ۷۲,۸۸۴ | ۷۲,۸۸۴ | ۶۵۹۵۹,۶۲ | ۵۹۹۶۳,۲۹ | G | |
| ۶:۲۹ | ۸۳,۲۹۶ | ۸۳,۲۹۶ | ۵۷۸۱۷,۸۹ | ۵۲۵۶۱,۷۱ | H | |
| ۶:۳۱ | ۹۳,۷۰۸ | ۹۳,۷۰۸ | ۴۹۶۳۶,۱۶ | ۴۵۱۲۳,۷۸ | I | |
| ۶:۳۲ | ۱۰۴,۱۲ | ۱۰۴,۱۲ | ۴۱۴۷۴,۴۴ | ۳۷۷۰۴,۰۳ | J | |
| ۲۲:۲۱ | ۱۱,۳۵۳ | ۱۱,۳۵۳ | ۱۲۸۶۸۳,۹۹ | ۱۱۶۹۸۵,۴۵ | A | |
| ۲۲:۲۳ | ۲۲,۷۰۶ | ۲۲,۷۰۶ | ۱۱۳۸۰۸,۱۱ | ۱۰۳۴۶۱,۹۲ | B | |
| ۲۲:۲۳ | ۳۴,۰۵۹ | ۳۴,۰۵۹ | ۱۰,۴۷۱۲,۲۳ | ۹۵۱۹۲,۹۳۶ | C | |
| ۲۲:۲۴ | ۴۵,۴۱۲ | ۴۵,۴۱۲ | ۹۷۱۹۶,۳۵ | ۸۸۳۶۰,۳۱۸ | D | |
| ۲۲:۲۷ | ۵۶,۷۶۵ | ۵۶,۷۶۵ | ۹۱۶۹۰,۴۷ | ۸۳۳۵۴,۹۷۳ | E | ۳ |
| ۲۲:۲۷ | ۶۸,۱۱۸ | ۶۸,۱۱۸ | ۸۶۲۰۴,۵۹ | ۷۸۳۶۷,۸۰۹ | F | |
| ۲۲:۲۸ | ۷۹,۴۷۱ | ۷۹,۴۷۱ | ۷۷۶۸۸,۷۱ | ۷۰,۶۲۶,۱ | G | |
| ۲۲:۲۵ | ۹۰,۸۲۴ | ۹۰,۸۲۴ | ۶۹۲۱۲,۸۳ | ۶۲۹۲۰,۷۵۵ | H | |
| ۲۲:۲۴ | ۱۰۲,۱۷۷ | ۱۰۲,۱۷۷ | ۶۰,۶۹۶,۹۵ | ۵۵۱۷۹,۰۴۵ | I | |
| ۲۲:۲۶ | ۱۱۳,۵۳ | ۱۱۳,۵۳ | ۵۲۲۲۱,۰۷ | ۴۷۴۷۳,۷ | J | |
| ۱:۲۶:۱۶ | ۷۲,۳۱۱ | ۷۲,۳۱۱ | ۵۸۱۱۶۰,۱۳ | ۵۲۸۳۲۷,۳۹ | A | |
| ۱:۲۷:۰۵ | ۱۴۴,۶۲۲ | ۱۴۴,۶۲۲ | ۵۲۴۳۹۱,۷۲ | ۴۷۶۷۱۹,۷۵ | B | |
| ۱:۲۶:۲۷ | ۲۱۶,۹۳۳ | ۲۱۶,۹۳۳ | ۴۸۷۶۲۳,۳۵ | ۴۴۳۲۹۳,۹۵ | C | ۴ |
| ۱:۲۶:۲۱ | ۲۸۹,۲۴۴ | ۲۸۹,۲۴۴ | ۴۵۰۸۶۴,۹۸ | ۴۰۹۸۷۷,۲۵ | D | |

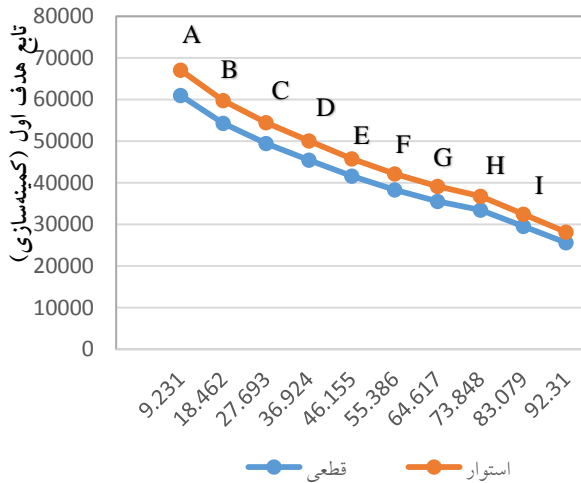
سارا چراغی، سید مهدی حسینی مطلق، محمدرضا قطره سامانی

| | | | | | |
|---------|---------|---------|-----------|-----------|---|
| ۱:۲۶:۱۸ | ۳۶۱.۵۵۵ | ۳۶۱.۵۵۵ | ۴۲۴۰۸۶.۶۱ | ۳۸۵۵۳۳.۲۸ | E |
| ۱:۲۷:۰۶ | ۴۳۳.۸۶۶ | ۴۳۳.۸۶۶ | ۳۸۷۱۱۸.۲۴ | ۳۵۱۹۲۵.۶۷ | F |
| ۱:۲۷:۱۱ | ۵۰۶.۱۷۷ | ۵۰۶.۱۷۷ | ۳۵۹۵۴۹.۸۷ | ۳۲۶۸۶۳.۵۲ | G |
| ۱:۲۷:۱۷ | ۵۷۸.۴۸۸ | ۵۷۸.۴۸۸ | ۳۲۳۷۸۱.۵ | ۲۹۴۳۴۶.۸۲ | H |
| ۱:۲۷:۱۳ | ۶۵۰.۷۹۹ | ۶۵۰.۷۹۹ | ۲۸۶۹۱۳.۱۳ | ۲۶۰۸۳۰.۱۲ | I |
| ۱:۲۷:۱۵ | ۷۲۳.۱۱ | ۷۲۳.۱۱ | ۲۵۰۲۴۴.۷۶ | ۲۲۷۴۹۵.۲۴ | J |



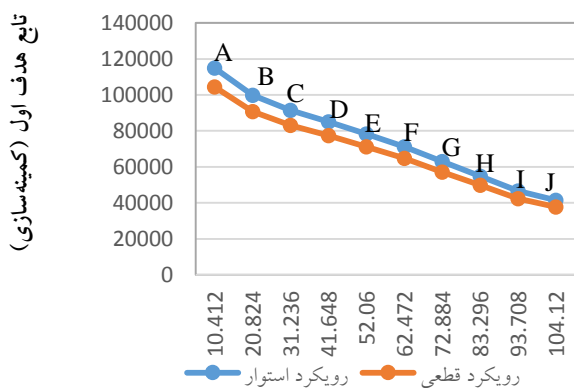
تابع هدف دوم (کمیته‌سازی)

شکل ۹. مقدار توابع هدف برای مسئله نمونه‌ای سوم



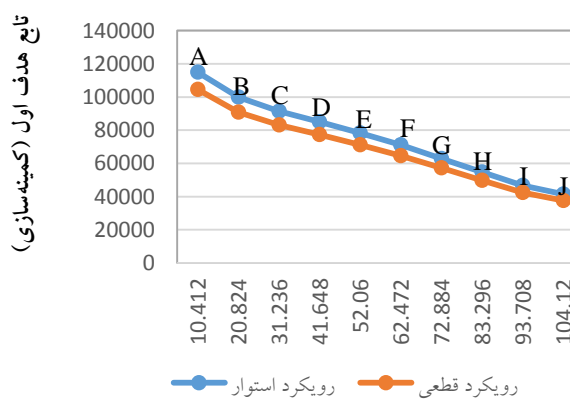
تابع هدف دوم (کمیته‌سازی)

شکل ۷. مقدار توابع هدف برای مسئله نمونه‌ای اول



تابع هدف دوم (کمیته‌سازی)

شکل ۱۰. مقدار توابع هدف برای مسئله نمونه‌ای چهارم



تابع هدف دوم (کمیته‌سازی)

شکل ۸. مقدار توابع هدف برای مسئله نمونه‌ای دوم

ارائه مدل استوار دوهدفه برای طراحی یکپارچه شبکه زنجیره تامین خون

۵- ۲ محاسبه مقادیر نقض محدودیت و مجموع هزینه- های شبکه:

استوار محاسبه گردد و در نهایت مجموع هزینه‌های شبکه که شامل هزینه توابع هدف و نقض محدودیت است در این جدول تعیین می‌شود و مبنای مقایسه دو رویکرد استوار و قطعی قرار می‌گیرد. همچنین در شکل‌های (۱۴)-(۱۱) منحنی‌های مجموع هزینه‌های شبکه به ازای مجموعه نقاط غیرپیست برای هر سه مسئله نمونه‌ای بر اساس رویکردهای استوار و قطعی به تصویر کشیده شده است.

در این قسمت سعی می‌شود تا با حل مدل ارائه شده به ازای مجموعه نقاط غیرپیست که در بخش گذشته تعیین شد و بیست- و پنج بار واقع‌نمایی $[0.2 \times de_{npt}]$ و سطح عدم قطعیت ۰,۰۱ همانطور که در جدول (۷) ارائه شده، مقادیر نقض محدودیت مدل مورد بررسی بر اساس هر دو رویکرد قطعی و

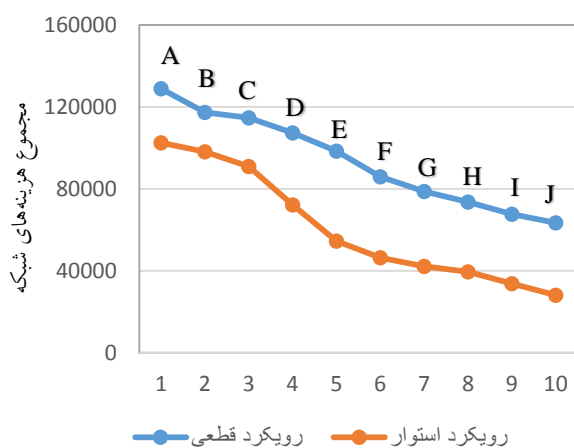
جدول ۷. مقادیر نقض محدودیت و مجموع هزینه‌های شبکه (رویکرد استوار در برابر رویکرد قطعی)

| زمان حل | مجموع هزینه‌های شبکه | | نقض محدودیت (\$) | | نقطه غیرپیست | $\alpha = 0.1$ $\delta = 0.01$ شماره مسئله |
|---------|----------------------|------------|------------------|-------------|--------------|--|
| | استوار | قطعی | استوار | قطعی | | |
| ۴:۲۱ | ۱۰۲۵۵۲.۵ | ۱۲۸۹۴۱.۹۲۱ | ۳۵۴۳۹.۱۴ | ۶۷۹۲۹.۷۴۱ | A | ۱ |
| ۴:۲۵ | ۹۸۱۱۹.۳۶ | ۱۱۷۳۹۶.۰۸ | ۳۸۳۳۴.۴۵ | ۶۳۰۴۶.۱۷ | B | |
| ۴:۲۵ | ۹۱۰۲۵.۳۷ | ۱۱۴۶۲۹.۲۴ | ۳۶۵۶۸.۹۵ | ۶۵۱۲۳.۴۱ | C | |
| ۴:۲۲ | ۷۲۲۶۲.۴۵ | ۱۰۷۳۲۸.۹۱۳ | ۲۱۱۳۴.۵۲ | ۶۰۸۴۸.۹۵۳ | D | |
| ۴:۲۴ | ۵۴۶۴۶.۴۱ | ۹۸۵۱۹.۴۲۴ | ۸۸۴۶.۹۷ | ۵۶۸۸۳.۵۷۴ | E | |
| ۴:۲۷ | ۴۶۴۵۸.۹۴ | ۸۵۹۹۷.۰۵۲ | ۴۲۸۷.۹۹ | ۴۷۶۵۹.۸۳۲ | F | |
| ۴:۲۷ | ۴۲۲۶۶.۵۲ | ۷۸۸۳۰.۷۲۶ | ۳۱۲۴.۰۶ | ۴۳۲۴۶.۶۷۶ | G | |
| ۴:۲۹ | ۳۹۶۰۱.۲ | ۷۳۶۲۹.۷۵۲ | ۲۷۸۷.۲۳ | ۴۰۱۶۲.۵۱۲ | H | |
| ۴:۳۲ | ۳۳۷۷۲.۹۷ | ۶۷۶۷۵.۴۵۴ | ۱۲۸۷.۴۹ | ۳۸۱۴۳.۲۰۴ | I | |
| ۴:۲۰ | ۲۸۱۶۸.۹۴ | ۶۳۴۴۰.۴۶۴ | ۱۱.۹۴۶ | ۳۷۸۴۳.۲۰۴ | J | |
| ۶:۳۲ | ۱۵۱۰۷۷.۹ | ۱۷۳۷۷۰.۱ | ۳۶۱۴۷.۹۲۲۸ | ۶۹۲۸۸.۳۳۵۸۲ | A | ۲ |
| ۶:۳۲ | ۱۴۵۸۳۹.۸ | ۱۶۱۳۴۲.۳ | ۳۹۱۰۱.۱۳۹ | ۶۴۳۰۷.۰۹۳۴ | B | |
| ۶:۳۵ | ۱۳۵۸۹۶.۹ | ۱۵۶۰۵۹.۱ | ۳۷۳۰۰.۳۲۹ | ۶۶۴۲۵.۸۷۸۲ | C | |
| ۶:۳۷ | ۱۱۲۰۰۲ | ۱۴۴۲۸۸.۵ | ۲۱۵۵۷.۲۱۰۴ | ۶۲۰۶۵.۹۳۲۰۶ | D | |
| ۶:۳۷ | ۹۱۲۷۶.۹۹ | ۱۳۲۷۹۶.۸ | ۹۰۲۳.۹۰۹۴ | ۵۸۰۲۱.۲۴۵۴۸ | E | |
| ۶:۴۱ | ۷۸۵۵۵.۱ | ۱۱۶۰۵۰.۶ | ۴۳۷۳.۷۴۹۸ | ۴۸۶۱۳.۰۲۸۶۴ | F | |
| ۶:۴۳ | ۶۹۱۴۶.۱۶ | ۱۰۴۰۷۴.۹ | ۳۱۸۶.۵۴۱۲ | ۴۴۱۱۱.۶۰۹۵۲ | G | |
| ۶:۴۱ | ۶۰۶۶۰.۸۶ | ۹۳۵۲۷.۴۷ | ۲۸۴۲.۹۷۴۶ | ۴۰۹۶۵.۷۶۲۲۴ | H | |
| ۶:۴۱ | ۵۰۹۴۹.۴ | ۸۴۰۲۹.۸۵ | ۱۳۱۳.۲۳۹۸ | ۳۸۹۰۶.۰۶۸۰۸ | I | |
| ۶:۴۳ | ۴۱۴۸۶.۶۲ | ۷۶۳۰۴.۱ | ۱۲.۱۸۴۹۲ | ۳۸۶۰۰.۰۶۸۰۸ | J | |
| ۲۲:۳۶ | ۲۳۵۷۱۰.۲ | ۳۲۲۱۳۳.۳ | ۱۰۷۰۲۶.۲۰۲۸ | ۲۰۵۱۴۷.۸۱۷۸ | A | ۳ |

سارا چراغی، سید مهدی حسینی مطلق، محمدرضا قطره سامانی

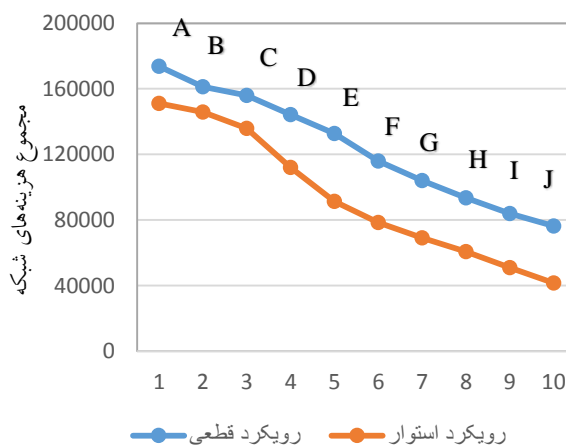
| | | | | | |
|---------|----------|----------|-------------|-------------|---|
| ۲۲:۳۹ | ۲۲۹۵۷۸.۱ | ۲۹۳۸۶۱.۴ | ۱۱۵۷۷۰.۰۳۹ | ۱۹۰۳۹۹.۴۳۳۴ | B |
| ۲۲:۴۱ | ۲۱۵۱۵۰.۵ | ۲۹۱۸۶۵.۶ | ۱۱۰۴۳۸.۲۲۹ | ۱۹۶۶۷۲.۶۹۸۲ | C |
| ۲۲:۴۱ | ۱۶۱۰۲۲.۶ | ۲۷۲۱۲۴.۲ | ۶۳۸۲۶.۲۵۰۴ | ۱۸۳۷۶۳.۸۳۸۱ | D |
| ۲۲:۴۴ | ۱۱۸۴۰۸.۳ | ۲۵۵۱۴۳.۴ | ۲۶۷۱۷.۸۴۹۴ | ۱۷۱۷۸۸.۳۹۳۵ | E |
| ۲۲:۴۶ | ۹۹۱۵۴.۳۲ | ۲۲۲۳۰۰.۵ | ۱۲۹۴۹.۷۲۹۸ | ۱۴۳۹۳۲.۶۹۲۶ | F |
| ۲۲:۴۲ | ۸۷۱۲۳.۳۷ | ۲۰۱۲۳۱.۱ | ۹۴۳۴.۶۶۱۲ | ۱۳۰۶۰۴.۹۶۱۵ | G |
| ۲۲:۴۲ | ۷۷۶۳۰.۲۶ | ۱۸۴۲۱۱.۵ | ۸۴۱۷.۴۳۴۶ | ۱۲۱۲۹۰.۷۸۶۲ | H |
| ۲۲:۴۳ | ۶۴۵۸۵.۱۷ | ۱۷۰۳۷۱.۵ | ۳۸۸۸.۲۱۹۸ | ۱۱۵۱۹۲.۴۷۶۱ | I |
| ۲۲:۴۶ | ۵۲۲۵۷.۱۵ | ۱۶۱۷۶۰.۲ | ۳۶.۰۷۶۹۲ | ۱۱۴۲۸۶.۴۷۶۱ | J |
| ۱:۳۲:۰۱ | ۸۵۹۰۰۳ | ۱۰۶۰۸۹۷ | ۲۷۷۸۴۲.۸۵۷۶ | ۵۳۲۵۶۹.۱۶۹۴ | A |
| ۱:۳۴:۲۲ | ۸۲۴۹۳۳.۸ | ۹۷۱۰۰۱.۷ | ۳۰۰۵۴۲.۰۸۸ | ۴۹۴۲۸۱.۹۷۲۸ | B |
| ۱:۳۴:۲۹ | ۷۷۴۳۲۳.۹ | ۹۵۳۸۶۱.۵ | ۲۸۶۷۰۰.۵۶۸ | ۵۱۰۵۶۷.۵۳۴۴ | C |
| ۱:۳۴:۳۱ | ۶۱۶۵۵۹.۶ | ۸۸۶۹۳۳ | ۱۶۵۶۹۴.۶۳۶۸ | ۴۷۷۰۵۵.۷۹۱۵ | D |
| ۱:۳۴:۳۱ | ۴۹۳۴۴۶.۹ | ۸۳۱۵۰۰.۵ | ۶۹۳۶۰.۲۴۴۸ | ۴۴۵۹۶۷.۲۲۰۲ | E |
| ۱:۳۴:۳۶ | ۴۲۰۷۳۶.۱ | ۷۲۵۵۷۸.۸ | ۳۳۶۱۷.۸۴۱۶ | ۳۷۳۶۵۳.۰۸۲۹ | F |
| ۱:۳۴:۳۷ | ۳۸۴۰۴۲.۵ | ۶۶۵۹۱۷.۵ | ۲۴۴۹۲.۶۳۰۴ | ۳۳۹۰۵۳.۹۳۹۸ | G |
| ۱:۳۴:۴۲ | ۳۴۵۶۳۳.۴ | ۶۰۹۲۲۰.۹ | ۲۱۸۵۱.۸۸۳۲ | ۳۱۴۸۷۴.۰۹۴۱ | H |
| ۱:۳۴:۴۲ | ۲۹۷۰۰۷.۱ | ۵۵۹۸۷۲.۸ | ۱۰۰۹۳.۹۲۱۶ | ۲۹۹۰۴۲.۷۱۹۴ | I |
| ۱:۳۴:۴۰ | ۲۵۰۳۳۸.۴ | ۵۲۴۱۸۶ | ۹۳.۶۵۶۶۴ | ۲۹۶۶۹۰.۷۱۹۴ | J |

۴



نقطه غیرپست

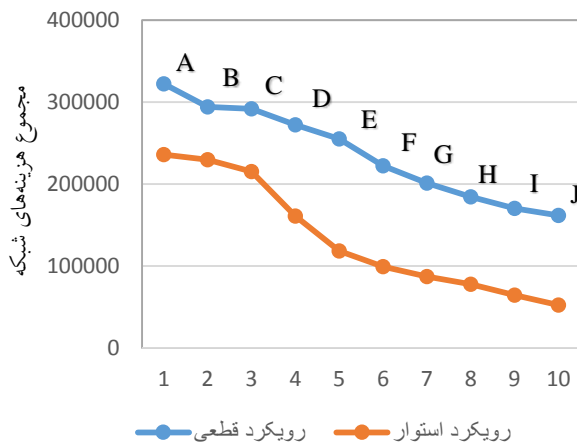
شکل ۱۱. مجموع هزینه‌های شبکه برای مسئله نمونه‌ای اول



نقطه غیرپست

شکل ۱۲. مجموع هزینه‌های شبکه برای مسئله نمونه‌ای دوم

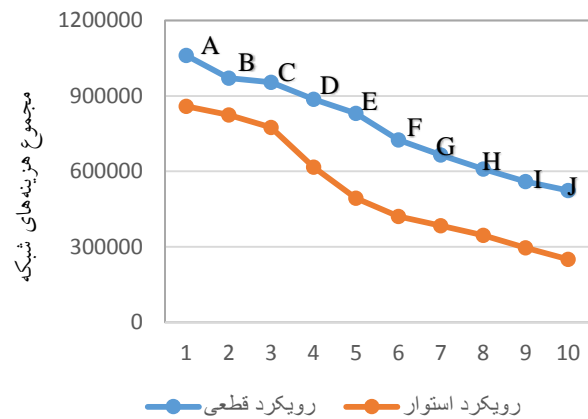
ارائه مدل استوار دوهدفه برای طراحی یکپارچه شبکه زنجیره تامین خون



نقطه غیرپست

شکل ۱۳. مجموع هزینه‌های شبکه برای مسئله نمونه‌ای سوم

هرچند مجموع هزینه‌های شبکه در حالت استوار کمتر از شرایطی است که مدل بصورت قطع‌ی در نظر گرفته شود. بنابراین یافتن سطح مناسب برای سطح حفاظت در گرو ایجاد توازن بین نقض (تقاضای ارضا نشده) و هزینه است. این توازن بنابر نظر تصمیم‌گیرنده می‌تواند ایجاد شود. هرچند یکی از ساده‌ترین راه‌های یافتن مقدار مناسب برای δ ، یافتن نقطه برخورد منحنی‌های نقض محدودیت و هزینه است. علاوه بر این، همانطور که در شکل‌های (۱۵) و (۱۶) مشاهده می‌شود، میزان کمبود و تعداد تسهیلات جمع‌آوری خون (محل‌ی و سیار) برای مسئله نمونه‌ای اول با در نظر گرفتن و بدون در نظر گرفتن سیاست انتقال عرضی نشان داده شده است. همانطور که قابل مشاهده است در شرایطی که انتقال عرضی بین مراکز خون در نظر گرفته می‌شود میزان کمبود در مقایسه با شرایطی که انتقال عرضی وجود ندارد بصورت کاهش محسوسی داشته است. این موضوع نشان از اهمیت انتقال عرضی خون بین مراکز خون در کاهش میزان کمبود دارد و می‌تواند دیدگاه مثبتی نسبت به انتقال عرضی در ذهن تصمیم‌گیرندگان ایجاد نماید (شکل (۱۵)). همچنین در شرایطی که انتقال عرضی وجود داشته باشد به مراتب تسهیلات جمع‌آوری کمتری در طول دوره نسبت به شرایط فقدان انتقال عرضی مورد نیاز است. این نتیجه را شاید بتوان این‌گونه تفسیر کرد که در شرایط انتقال عرضی سطح موجودی بین مراکز خون



نقطه غیرپست

شکل ۱۴. مجموع هزینه‌های شبکه برای مسئله نمونه‌ای چهارم

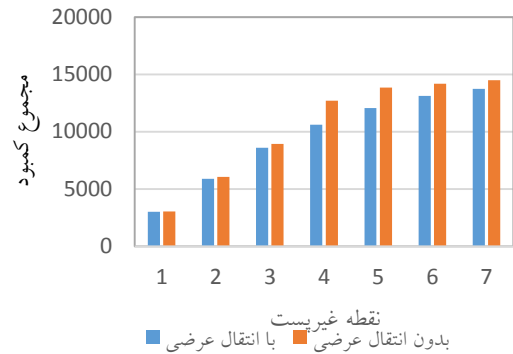
همانطور که ملاحظه می‌شود در تمامی مسائل نمونه‌ای، رویکرد استوار در مقایسه با رویکرد قطع‌ی نقض محدودیت به مراتب کمتری را بر شبکه مورد نظر تحمیل می‌کند که این امر مهم به خصوص در کاربردهایی چون زنجیره تامین خون که یک زنجیره انسان به انسان بوده و هرگونه اختلال در رساندن این محصول به مشتریان این زنجیره می‌تواند هزینه‌های غیرقابل جبرانی همچون مرگ را به همراه داشته باشد بسیار حائز اهمیت است. علاوه بر این، با مقایسه رویکردهای استوار و قطع‌ی می‌توان بر اساس مجموع هزینه‌هایی که به شبکه مورد بررسی تحمیل می‌گردد به عملکرد بهتر رویکرد استوار در مقایسه با رویکرد قطع‌ی پی برد. بنابراین، مجموعه نقاط غیرپست استوار در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار خواهند گرفت تا او بتواند بر اساس ترجیحات خود از بین این مجموعه نقاط انتخاب نماید.

۳-۵ تحلیل‌های مدیریتی

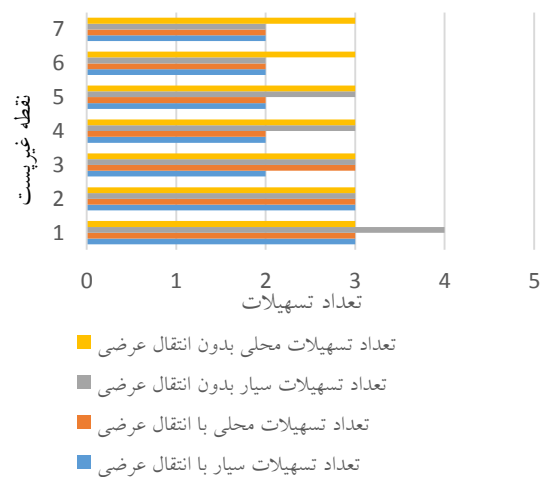
در این بخش چکیده یافته‌های حاصل از تحلیل حساسیت‌ها در قالب تحلیل‌های مدیریتی ارائه می‌شود. نخست اینکه، با افزایش سطح حفاظت (δ) اگرچه هزینه شبکه در حالت مدل استوار افزایش می‌یابد ولی نقض محدودیت به صورت محسوسی کاهش داشته است. بعلاوه، هرچه سطح حفاظت افزایش یابد مقدار بیشتری از نقض محدودیت (عدم ارضای تقاضا) کاسته خواهد شد ولی از طرفی هزینه (تابع هدف اول) افزایش می‌یابد.

شرایط عدم قطعیت و با در نظر گرفتن انتقال عرضی بین مراکز خون طی یک افق برنامه‌ریزی چند دوره‌ای ارائه گردیده است. این مدل بطور همزمان در جستجوی کمینه کردن هزینه کل شبکه شامل هزینه احداث تسهیلات محلی (ثابت)، هزینه جابجایی تسهیلات سیار، هزینه انتقال واحدهای خونی از تسهیلات سیار به تسهیلات محلی، هزینه انتقال واحدهای خونی از تسهیلات محلی به مراکز خون، هزینه تولید پلاکت در مراکز خون، هزینه ارسال پلاکت‌ها مابین مراکز خون، هزینه نگهداری پلاکت در مرکز خون، هزینه فساد پلاکت در مرکز خون و هزینه انتقال پلاکت خون از مراکز خون به بیمارستان‌ها در طول افق برنامه‌ریزی و از طرفی کمینه کردن حداکثر کمبود در بیمارستان‌ها در هر دوره است. به منظور غلبه بر عدم قطعیت در پارامتر تقاضا از رویکرد برنامه‌ریزی استوار استفاده شده است. برتری این رویکرد در مقابل رویکرد قطعی در مواجهه با عدم قطعیت و ارائه جوابهای استوار با انجام چند مثال عددی به اثبات رسید. رویکرد استوار بطور قابل توجهی مدل را در برابر انحرافات محدودیت حفظ می‌کند. به بیان دیگر، بهینه‌سازی استوار مدلی با حداقل تغییرات نامطلوب و هزینه مرتبط با آن و نیز هزینه کل کمتر که شامل هر دو نوع هزینه از جنس نقض محدودیت و توابع هدف است در مقایسه با مدل قطعی ارائه می‌دهد. در واقع با افزایش سطح حفاظت (δ) اگرچه هزینه شبکه در مدل استوار افزایش می‌یابد ولی نقض محدودیت (تقاضای ارضا نشده) به صورت قابل توجهی کاهش می‌یابد. هرچند مجموع هزینه‌های شبکه که مجموع هزینه تابع هدف و هزینه عدم ارضای تقاضا است در حالت استوار کمتر از شرایطی است که مدل بصورت قطعی در نظر گرفته شود. بعلاوه در مدل در نظر گرفته شده امکان انتقال عرضی محصول خون بین مراکز خون لحاظ شده است. نتایج بیانگر آن است که در شرایطی که انتقال عرضی بین مراکز خون در نظر گرفته می‌شود میزان کمبود در مقایسه با شرایطی که انتقال عرضی وجود ندارد بصورت کاهش محسوسی داشته است. این موضوع نشان از اهمیت انتقال عرضی خون بین مراکز خون در

تقریباً نزدیک به هم می‌شود. ولی در شرایطی که انتقال عرضی وجود ندارد مراکز فقط به اندازه ذخیره اطمینان موجودی خواهند داشت و ممکن است که این میزان کفاف پاسخگویی به تقاضا را نداشته باشد و بنابراین برای جلوگیری از کمبود نیاز به جمع‌آوری خون وجود خواهد داشت (شکل ۱۶)).



شکل ۱۵. میزان کمبود کل با در نظر گرفتن و بدون در نظر گرفتن انتقال عرضی



شکل ۱۶. تعداد تسهیلات جمع‌آوری با در نظر گرفتن و بدون در نظر گرفتن انتقال عرضی

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای تحقیقات

آتی

در این مقاله یک مدل دوهدفه برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای طراحی شبکه جمع‌آوری، تولید و توزیع خون تحت

9. Whole blood-derived
10. Buffy coat
11. PRP

۸. مراجع

- Arvan, M., Tavakkoli-Moghaddam, R. and Abdollahi, M. (2015) "Designing a bi-objective and multi-product supply chain network for the supply of blood", *Uncertain Supply Chain Management*, Vol. 3, No.1, pp.57-68.
- Beliën, J. and Forcé, H. (2012) "Supply chain management of blood products: A literature review", *European Journal of Operational Research*, Vol. 217, No. 1, pp. 1-16.
- Ben-Tal, A. and Nemirovski, A. (2000) "Robust solutions of linear programming problems contaminated with uncertain data", *Mathematical Programming*, Vol. 83, No. 3, pp. 411-424.
- Bertolini F., Rebullia P., Porretti L. and Murphy S. (1992) "Platelet quality after 15-day storage of platelet concentrates prepared from buffy coats and stored in a glucose-free crystalloid medium", *Transfusion*, Vol. 32, pp.9-16.
- Bertsimas, D. and Sim, M. (2004) "The price of robustness", *Operations Research*, Vol. 52, No. 1, pp.35-53.
- Cheraghi, S. and Hosseini-Motlagh, S. M. (2017) "Optimal blood transportation in disaster relief considering facility disruption and route reliability under uncertainty", *International Journal of Transportation Engineering*, Vol. 4, No. 3, pp.225-254.
- Dehghani, M. and Abbasi, B. (2018) "An age-based lateral-transshipment policy for perishable items", *International Journal of Production Economics*, Vol.198, pp.93-103.
- Duan, Q. and Liao, T. W. (2014) "Optimization of blood supply chain with

کاهش میزان کمبود دارد و می‌تواند بعنوان استراتژی موثر توسط تصمیم‌گیرندگان اعمال شود. همچنین در شرایطی که انتقال عرضی وجود داشته باشد به مراتب تسهیلات جمع‌آوری کمتری در طول دوره نسبت به شرایط فقدان انتقال عرضی مورد نیاز است. که دلیل آن می‌تواند این باشد که در شرایط انتقال عرضی سطح موجودی بین مراکز خون تقریباً نزدیک به هم می‌شود ولی در شرایطی که انتقال عرضی وجود ندارد ممکن است سطح موجودی اطمینان مراکز پاسخگویی تقاضا نباشد و بنابراین برای جلوگیری از کمبود نیاز به جمع‌آوری خون وجود خواهد داشت. تحقیقات آتی در این حوزه از ادبیات می‌تواند در موارد زیر ادامه یابد:

- توسعه مدل مقاله حاضر با در نظر گرفتن شبکه چندمحصولی با توجه به عمرهای متفاوت محصولات و در نظر گرفتن ویژگی‌های تازگی این محصولات به منظور حفظ کیفیت آنها بعنوان تابع هدف دیگر
- در نظر گرفتن روش جمع‌آوری آفرزیس^{۱۱} در کنار جمع‌آوری خون کامل و لحاظ کردن ویژگی‌های هریک از آنها به منظور تعیین سطح بهینه جمع‌آوری از هر روش
- در نظر گرفتن چند نوع بیمارستان با اولویتهای مختلف مطابق با مسئله دنیای واقعی و در نظر گرفتن امکان انتقال عرضی محصولات خون از بیمارستانهای کوچکتر به بیمارستانهای بزرگتر برای جلوگیری از کمبود در بیمارستانهای بزرگتر و اتلاف در بیمارستانهای کوچکتر

۷. پی‌نوشت‌ها

1. Epsilon constraint
2. Light robust
3. Realizations
4. Apheresis
5. Whole blood
6. Variable inequality
7. Interactive possibilistic programming
8. FIFO

- supply chain network design in earthquake considering earthquake magnitude: a comprehensive study with real world application", *Annals of Operations Research*, pp.1-39.
- Kohneh, J. N., Teymoury, E. and Pishvaei, M. S. (2016) "Blood products supply chain design considering disaster circumstances (Case study: Earthquake disaster in Tehran)", *Journal of Industrial and Systems Engineering*, Vol. 9, pp.51-72.
 - Levin, E., Culibrk, B., Gyöngyössi-Issa, M., Weiss, S., Scammell, K., LeFresne, W., Jenkins, C. and Devine, D. V. (2008) "Implementation of buffy coat platelet component production: comparison to platelet-rich plasma platelet production", *Transfusion*, Vol. 48, No.11, pp.2331-2337.
 - Melo, M. T., Nickel, S. and Saldanha-da-Gama, F. (2009) "Facility location and supply chain management—A review", *European Journal of Operational Research*, Vol.196, No. 2, pp.401-412.
 - Mousazadeh, M., Torabi, S. A. and Zahiri, B. (2015) "A robust possibilistic programming approach for pharmaceutical supply chain network design", *Computers & Chemical Engineering*, Vol.82, pp.115-128.
 - Mavrotas, G. (2009) "Effective implementation of the ϵ -constraint method in multi-objective mathematical programming problems", *Applied Mathematics and Computation*, Vol.213, No.2, pp.455-465.
 - Nagurney, A., Masoumi, A. H. and Yu, M. (2012) "Supply chain network operations management of a blood banking system with cost and risk minimization", *Computational Management Science*, Vol. 9, No.2, pp. 205-231.
 - Nahmias, S. (1982) "Perishable inventory theory: A review", *Operations research*, Vol.30, No. 4, pp. 680-708.
 - shortened shelf lives and ABO compatibility", *International Journal of Production Economics*, Vol.153, pp.113-129.
 - Eskandari-Khanghahi, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Taleizadeh, A. A. and Amin, S. H. (2018) "Designing and optimizing a sustainable supply chain network for a blood platelet bank under uncertainty", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 71, pp.236-250.
 - Fischetti, Matteo and Michele Monaci (2009) "Light robustness", *Robust and Online Large-scale Optimization*, Springer Berlin Heidelberg, pp.61-84.
 - Ghandforoush, P. and Sen, T. K. (2010) "A DSS to manage platelet production supply chain for regional blood centers", *Decision Support Systems*, Vol. 50, No.1, pp. 32-42.
 - Habibi-Kouchaksaraei, M., Paydar, M. M. and Asadi-Gangraj, E. (2018) "Designing a bi-objective multi-echelon robust blood supply chain in a disaster", *Applied Mathematical Modelling*, Vol.55, pp. 583-599.
 - Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B. and Seuring, S. (2014) "Dynamic supply chain network design for the supply of blood in disasters: a robust model with real world application", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol.70, pp.225-244.
 - Jacobs, D. A., Silan, M. N. and Clemson, B. A. (1996) "An analysis of alternative locations and service areas of American Red Cross blood facilities", *Interfaces*, Vol.26, No.3, pp.40-50.
 - Kamyabniya, A., Lotfi, M. M., Naderpour, M. and Yih, Y. (2017) "Robust platelet logistics planning in disaster relief operations under uncertainty: A coordinated approach", *Information Systems Frontiers*, Vol. 20, No. 4, pp.1-24.
 - Khalilpourazari, S. and Khamseh, A. A. (2017) "Bi-objective emergency blood

- earthquake in Tehran", *Annals of Operations Research*, pp.1-25.
- Samani, M. R. G., Torabi, S. A. and Hosseini-Motlagh, S. M. (2018) "Integrated blood supply chain planning for disaster relief". *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 27, pp.168-188.
 - Schreiber, G. B., Schlumpf, K. S., Glynn, S. A., Wright, D. J., Tu, Y., King, M. R., ... and Gultinan, A. M. (2006) "Convenience, the bane of our existence, and other barriers to donating", *Transfusion*, Vol. 46, No.4, pp. 545-553.
 - Sha, Y. and Huang, J. (2012) "The multi-period location-allocation problem of engineering emergency blood supply systems", *Systems Engineering Procedia*, Vol. 5, pp.21-28.
 - Singh, C. (1982) "Convex programming with set-inclusive constraints and its applications to generalized linear and fractional programming", *Journal of Optimization Theory and Applications*, Vol.38, No.1, pp.33-42.
 - Soleimany Ferizhandy, A. (2011) "Platelet activation of platelet concentrates derived from buffy coat and apheresis methods", *Transfusion and Apheresis Science*, Vol.44, pp.11-13.
 - Sönmezoglu, M., Kocak, N., Öncül, O., Özbayburtlu, S., Hepgul, Z., Kosan, E. and Bayik, M. (2005) "Effects of a major earthquake on blood donor types and infectious diseases marker rates", *Transfusion Medicine*, Vol.15, No.2, pp.93-97.
 - Tofighi, S., Torabi, S. A. and Mansouri, S. A. (2016) "Humanitarian logistics network design under mixed uncertainty", *European Journal of Operational Research*, Vol.250, No.1, pp.239-250.
 - Torabi, S. A. and Hassini, E. (2008) "An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply
 - Osorio, A. F., Brailsford, S. C. and Smith, H. K. (2015) "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.
 - Paterson, C., Teunter, R. and Glazebrook, K. (2012) "Enhanced lateral transshipments in a multi-location inventory system", *European Journal of Operational Research*, Vol.221, No. 2, pp. 317-327.
 - Pierskalla, W. P. (2005) "Supply chain management of blood banks", In *Operations Research and Health Care* (pp. 103-145). Springer, Boston, MA.
 - Prastacos, G. P. (1984) "Blood inventory management: an overview of theory and practice", *Management Science*, Vol. 30, No.7, pp. 777-800.
 - 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.
 - Riahi, N., Hosseini-Motlagh, S. M. and Teimourpour, B. A. (2013) "Three-phase hybrid times series modelling framework for improved hospital inventory demand forecast", *International Journal of Hospital Research*, Vol. 2, No. 3, pp. 133-142.
 - Şahin, G., Süral, H. and Meral, S. (2007) "Locational analysis for regionalization of Turkish Red Crescent blood services", *Computers & Operations Research*, Vol.34, No.3, pp.692-704.
 - Salehi, F., Mahootchi, M. and Hussein, S. M. M. (2017) "Developing a robust stochastic model for designing a blood supply chain network in a crisis: A possible

- Transportation Review, Vol.80, pp.166-183.
- Zahiri, B., Torabi, S. A., Mousazadeh, M. and Mansouri, S. A. (2015) "Blood collection management: Methodology and application", Applied Mathematical Modelling, Vol. 39, No. 23, pp.7680-7696.
 - Zahiri, B., Mousazadeh, M. and Bozorgi-Amiri, A. (2014) "A robust stochastic programming approach for blood collection and distribution network design", International Journal of Research in Industrial Engineering, Vol.3, No.2, pp.1-11.
 - chain master planning", Fuzzy Sets and Systems, Vol.159, No.2, pp.193-214.
 - Torabi, S. A. and Moghaddam, M. (2012) "Multi-site integrated production-distribution planning with trans-shipment: a fuzzy goal programming approach", International Journal of Production Research, Vol. 50, No.6, pp.1726-1748.
 - Vassallo, R. R. and Murphy, S. (2006) "A critical comparison of platelet preparation methods", Current Opinion in Hematology, Vol.13, No. 5, pp. 323-330.
 - Wang, K. M. and Ma, Z. J. (2015) "Age-based policy for blood transshipment during blood shortage". Transportation Research Part E: Logistics and

سارا چراغی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۹۲ از دانشگاه پیام‌نور و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۹۷ از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مدل‌سازی سیستم های سلامت و مدل‌سازی در شرایط عدم قطعیت است.



سید مهدی حسینی مطلق، درجه کارشناسی خود در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۸۰ از دانشگاه علم و صنعت ایران، درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۸۲ و درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۸۷ از دانشگاه تربیت مدرس اخذ نمود. ایشان در حال حاضر عضو هیئت علمی با مرتبه دانشیاری در دانشگاه علم و صنعت ایران است. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان کاربردهای تحقیق در عملیات در سیستم‌های سلامت، طراحی شبکه‌های لجستیک و زنجیره تأمین، مدل‌های زمانبندی و مسیریابی در زنجیره تأمین، مدل‌های هماهنگی در زنجیره تأمین و برنامه‌ریزی احتمالی و بهینه‌سازی استوار است.



محمدرضا قطره سامانی، درجه کارشناسی خود در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۹۱ از دانشگاه فنی- مهندسی گلپایگان و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۹۴ از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. ایشان در حال حاضر دانشجوی دکتری دانشگاه علم و صنعت ایران در رشته مهندسی صنایع است. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مدل‌سازی سیستم های سلامت، مدل‌سازی در شرایط عدم قطعیت و مدل‌سازی مسائل مسیریابی است.

