

یک مدل بهینه‌سازی ریاضی برای طراحی یک شبکه زنجیره تامین پایدار خون در شرایط عدم قطعیت

ناعمه زرین‌پور* (دانشیار)

سید محسن علی‌زاده (دانشجوی کارشناسی ارشد)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شیراز

مهندسی صنایع و مدیریت شریف (تابستان ۱۴۰۳)
دوره‌ی ۴۰، شماره‌ی ۱، صص. ۱۲۵-۱۴۰، (پادداشت فنی)

با توجه به محدود بودن منابع تامین خون، فسادپذیری آن و خطرات ناشی از کمبود خون در بیمارستان‌ها، مدیریت زنجیره تامین خون با هدف تامین خون سالم و کافی یکی از چالش‌های مدیریت سیستم‌های سلامت محسوب می‌شود. در این مقاله، یک مدل ریاضی برای طراحی زنجیره تامین خون براساس شعاع پوشش، بودجه، تاریخ انقضای خون در شرایط عدم قطعیت پارامترها ارائه می‌شود. براساس اهداف توسعه پایدار، مدل پیشنهادی کمیته‌سازی هزینه‌های زنجیره تامین، کمیته‌سازی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و پیشینه‌سازی موقعیت‌های شغلی را میسر می‌سازد. برای مدیریت عدم قطعیت پارامترها از رویکرد برنامه‌ریزی فازی محدودیت شانس و برای حل مدل از برنامه‌ریزی فازی استفاده می‌شود. نتایج حاصل از مطالعه موردی نشان می‌دهد که مدل غیرقطعی براساس ضرایب اطمینان، حالت‌های مختلف جواب بهینه مکان‌یابی تسهیلات و جریان خون را در اختیار مدیران قرار می‌دهد. همچنین توابع هدف نسبت به حالت قطعی افزایش و تسهیلات موقتی بیشتری جهت کاهش کمبود خون استقرار می‌یابند.

واژگان کلیدی: زنجیره تامین خون، اهداف توسعه پایدار، برنامه‌ریزی فازی محدودیت شانس، مکان‌یابی - تخصیص.

zarrinpoor@sutech.ac.ir
mohsen.alizade44@yahoo.com

۱. مقدمه

و در حال حاضر هیچ محصول یا فرایند شیمیایی دیگری به‌عنوان جایگزین آن وجود ندارد.^[۴] براساس آمار و اطلاعات موجود، تنها حدود پنج درصد از اهداکنندگان واجد شرایط واقعا خون خود را اهدا می‌کنند.^[۵] با توجه به نیاز مبرم به خون و همچنین توجه به این موضوع که اهداکنندگان باید برای اهدای خون زمان مشخصی را به مراکز خون مراجعه کنند، جهت تکریم و افزایش اهداکنندگان و صرفه‌جویی در وقت آنها نیاز هست که اهداکننده رزرو و غیر رزرو در نظر گرفته شود.^[۶] اهداکنندگان رزرو، افرادی هستند که به‌علت مشکلات شخصی نمی‌توانند همه ساعت به مراکز خون مراجعه کنند.^[۶] این موضوع در بلندمدت رضایت و تشویق اهداکنندگان جهت اهدای خون و همچنین افزایش عرضه در زنجیره تامین خون را در پی خواهد داشت. اهداکنندگان غیر رزرو نیز افرادی هستند که می‌توانند در هر ساعت از شبانه‌روز به مراکز خون جهت اهدای خون مراجعه کنند و ممکن است به‌علت شلوغی مرکز انتقال خون مدت زمانی را معطل بمانند.^[۶] شایان ذکر است که در دنیای واقعی، فرایند اهدا به دوسورت رزرو و غیررزرو وجود دارد. در سایت سازمان انتقال خون نیز سامانه نوبت‌دهی اینترنتی اهدای خون اضافه شده است که براساس آن اهداکننده می‌تواند نوبت اهدای خون را رزرو

با توجه به رشد روزافزون جمعیت، شاهد افزایش بیماری‌ها، حوادث و آلودگی‌ها در جوامع بشری هستیم و برای کاهش عواقب چنین خطراتی، وجود یک سیستم سلامت کارآمد ضروری است. تامین خون سالم و کافی نقشی اساسی در مدیریت سیستم‌های سلامت ایفا می‌کند و هزینه‌های مربوط به تامین خون و مشتقات آن نیز بخش مهمی از مخارج بهداشتی جوامع را تشکیل می‌دهد.^[۱] فرآورده‌های خونی برای نجات جان انسان‌ها بسیار ضروری است و فقدان آن ممکن است باعث به خطر انداختن سلامت و ایمنی انسان شود.^[۲] برای فرایندهای درمانی در بیمارستان نظیر پیوند اعضا، درمان سرطان، کم‌خونی و انجام جراحی‌های بزرگ نظیر جراحی قلب باز، خون مورد نیاز است. از هر سه نفر، یک نفر در طول زندگی به انتقال خون و فرآورده‌های خونی نیاز دارد. هر ساله حدود ۵ میلیون بیمار در آمریکا خون یا محصولات خونی مانند سلول‌های قرمز خون، پلاکت یا پلاسما را از طریق تزریق خون دریافت می‌کنند.^[۳] خون انسان یک منبع کمیاب است که فقط به‌وسیله خود انسان تولید می‌شود

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۴۰۱/۲/۲۵، اصلاحیه ۱۴۰۲/۲/۲۳، پذیرش ۱۴۰۲/۴/۳.

استناد به این مقاله:

زرین‌پور، ناعمه و علی‌زاده، محسن، ۱۴۰۳. یک مدل بهینه‌سازی ریاضی برای طراحی یک شبکه زنجیره تامین پایدار خون در شرایط عدم قطعیت. مهندسی صنایع و مدیریت شریف، ۴۰ (۱)، صص. ۱۲۵-۱۴۰. DOI:10.24200/j65.2023.59545.2271

نماید و برای مشاهده، پیگیری یا ابطال نوبت رزرو شده براساس کد رهگیری اقدام نماید.^[۷]

تهیه خون سالم و کافی هم در هنگام فاجعه و هم در شرایط عادی، یک چالش بزرگ برای سیستم‌های بهداشتی دولت‌ها محسوب می‌شود. با توجه به اهمیت خون در سیستم‌های سلامت، طراحی یک زنجیره تامین خون کارا با در نظر گرفتن مواردی نظیر اهداکنندگان، تعیین تعداد و مکان بهینه مراکز خون، نحوه تخصیص خون، میزان موجوی خون و تعیین نواحی خدمت‌رسانی تسهیلات ضروری به نظر می‌رسد.^[۸]

طراحی یک شبکه یکپارچه تامین و توزیع خون می‌تواند تا حد زیادی موجب کاهش خسارات جانی ناشی از کمبود خون و همچنین موجب صرفه‌جویی در هزینه‌ها و رضایت مصرف‌کنندگان شود.^[۹] اگرچه، نیاز به اهداکنندگان خون برای تامین فرآورده‌های خونی وجود دارد، اما تامین نامنظم خون و غیرقطعی بودن تعداد اهداکنندگان خون، زمان اهدا و میزان تقاضا برای فرآورده‌های خونی موجب شده است که ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای خون بسیار دشوار باشد.^[۲]

بررسی موضوع پایداری در مدیریت زنجیره تامین به دلیل مقررات دولت‌ها و مسئولیت‌های اجتماعی سازمان‌ها موضوعی غیرقابل اجتناب است. در سال‌های اخیر طراحی شبکه زنجیره تامین پایدار به‌عنوان ابزاری برای مقابله با مسائل زیست‌محیطی و به‌همراه جنبه اقتصادی زنجیره تامین توسعه یافته است.^[۱۰]

سازمان جهانی بهداشت توصیه می‌کند که فرایندهای مختلف یک سیستم سلامت که در آن خون و فرآورده‌های خونی وجود دارند، باید از طریق یک شبکه پایدار و یکپارچه هماهنگ شوند تا ایمنی و امکان تولید فرآورده‌های کافی فراهم شود.^[۱۱] با توجه به هزینه‌های بالای زنجیره تامین خون، وجود منابع محدود برای تامین خون و بودجه کنترل شده، بررسی مسائل زیست‌محیطی نظیر ضایعات خون با توجه به بحث فاسد شدن خون و فرآورده‌های آن ضروری است تا به‌موجب آن امکان طراحی و تدوین استراتژی‌هایی برای تامین تقاضا و عرضه خون از طریق خدمات با کیفیت پایدار میسر شود.^[۱۲] به این دلایل، با در نظر گرفتن سه رکن زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی برای جلوگیری از مرگ و میر ضایعات خون و جلوگیری از تحمیل هزینه‌های بالا، استفاده از پایداری در زنجیره تامین خون امری ضروری است.^[۱۳-۱۴]

افزون بر ضایعات خون، افزایش آلاینده‌های زیست‌محیطی یکی دیگر از مسائل مهم و چالش‌های زنجیره تامین خون است. تأثیرات زیست‌محیطی هنگام تاسیس مراکز خون.^[۱۵] انتقال خون از مراکز موقت به مراکز دائم خون،^[۱۳-۱۸] انتقال خون از مراکز خون به آزمایشگاه و از آزمایشگاه به نقاط تقاضا،^[۱۳-۱۸] نمونه‌هایی از فعالیت‌های زنجیره تامین خون است که سبب تولید و افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی در زنجیره تامین خون می‌شود.^[۱۶-۱۸] همچنین دفن خون‌های فاسد شده نیز یکی دیگر از منابع تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی است.^[۱۴-۱۶] یکی دیگر از ابعاد مهم پایداری، مسئولیت اجتماعی است که با مسائلی مانند ایجاد شغل، ایمنی محیط کار، کاهش نرخ اخراج کارکنان، توسعه منطقه، تسهیلات رفاهی کارکنان، آموزش کارکنان و غیره بررسی می‌شود.^[۱۹] بررسی بعد اجتماعی نقش مهمی در عملکرد زنجیره تامین در هر صنعتی و از جمله در زمینه خون و فرآورده‌های خونی دارد.^[۲۰] بعد اجتماعی در زنجیره تامین خون در پارامترهایی نظیر فرصت‌های شغلی ایجاد شده در مراکز دائم و موقتی خون^[۱۴، ۱۶، ۲۰] و شاخص سلامت و ایمنی مصرف‌کننده و اهداکننده^[۲۱، ۲۲] بررسی شده است.

در این مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی چندسطحی و چند دوره‌ای برای طراحی زنجیره تامین خون با در نظر گرفتن اهداف توسعه پایدار ارائه شده است. براساس بعد اقتصادی پایداری، هزینه‌های زنجیره تامین خون کمینه خواهد شد. براساس بعد زیست‌محیطی، تأثیرات زیست‌محیطی تاسیس مراکز خون موقت و

دائم و جریان خون ارسال شده بین سطوح مختلف زنجیره تامین کمینه و براساس بعد اجتماعی مشاغل ایجاد شده بیشینه می‌شود.

در مدل پیشنهادی، محدودیت بودجه برای ساخت تسهیلات موقتی، میزان کمبود و موجودی خون در دوره‌های زمانی مختلف و هزینه تست آزمایش خون بررسی شده است. با توجه به ماهیت غیرقطعی پارامترها در دنیای واقعی، عدم قطعیت پارامترهای کلیدی زنجیره تامین خون نظیر تقاضای خون، هزینه‌های سیستم و بودجه در نظر گرفته شده است. برای برخورد با عدم قطعیت پارامترها از رویکرد فازی محدودیت شانس و برای حل مدل چندهدفه نیز از رویکرد فازی تعاملی استفاده شده است. در پایان نیز یک مطالعه موردی برای نشان دادن کارایی مدل پیشنهادی در حل مسائل دنیای واقعی ارائه شده است. ادامه این مقاله به این صورت سازماندهی شده است که در بخش دوم پیشینه پژوهش ارائه می‌شود. در بخش سوم، مدل پیشنهادی و مفروضات آن بیان می‌شود. در بخش چهارم، رویکرد برخورد با عدم قطعیت تشریح می‌شود. در بخش پنجم روش حل مسئله بیان می‌شود. در بخش ششم، نتایج عددی و تحلیل حساسیت مدل بیان خواهد شد. در بخش هفتم بیش‌های مدیریتی بیان می‌شود و در بخش آخر نتیجه‌گیری و جهت‌های تحقیقات آتی آورده شده است.

۲. پیشینه پژوهش

رویکردهای مختلفی در مدل‌سازی زنجیره تامین خون وجود دارد که می‌توان به مدل‌های شبیه‌سازی، برنامه‌ریزی عدد صحیح، برنامه‌ریزی آرمانی و برنامه‌ریزی پویا اشاره کرد. نخستین بار ون زابل،^[۲۳] مطالعاتی در زمینه مدیریت زنجیره تامین مواد فاسد شدنی و فرآورده‌های خونی انجام داد. اولین مدل ریاضی جهت مدیریت موجودی محصولات خونی نیز توسط نامیاس،^[۲۴] ارائه شد. شا و هوانگ،^[۲۵] مدلی برای برنامه‌ریزی توزیع خون در شرایط فاجعه با هدف کمینه‌سازی هزینه حمل و نقل، ارائه نمودند. جبارزاده و همکاران،^[۲۶] یک مدل برای طراحی زنجیره تامین خون با هدف کمینه‌سازی هزینه حمل و نقل، هزینه نگهداری موجودی، هزینه استقرار تسهیلات و هزینه عملیاتی ارائه دادند. گانیپنار و سنترو،^[۲۷] یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح جهت کمینه‌سازی هزینه‌ها، کمبود و میزان ضایعات فرآورده‌های خونی در بیمارستان در یک افق برنامه‌ریزی مورد بررسی قرار دادند. در مدل آنها، تمرکز اصلی روی گلبول‌های قرمز و اجزای پلاکت کل سلول‌های خون بود. فریدونی و شهانقی،^[۲۷] یک مدل برنامه‌ریزی چنددوره‌ای برای طراحی زنجیره تامین خون با هدف تعیین مکان و توزیع فرآورده‌های خونی در شرایط وقوع فاجعه پیشنهاد دادند. رضائیان و بهبودی،^[۲۸] یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی با هدف کمینه‌سازی هزینه مکان‌یابی تسهیلات دائمی، هزینه انتقال تسهیلات موقت، هزینه حمل و نقل از تاسیسات به مراکز خون، هزینه نگهداری موجودی و هزینه کمبود طراحی کردند. در مدل آنها، پارامترهای هزینه و تقاضا غیرقطعی است و از یک رویکرد برنامه‌ریزی استوار برای برخورد با عدم قطعیت پارامترها استفاده شده است. اسکندری خانقاهی و همکاران،^[۱۳] یک شبکه زنجیره تامین خون پایدار تحت شرایط عدم قطعیت پارامترها در زمان بحران توسعه دادند. در مدل آنها، اهداف کمینه‌سازی اثرات زیست‌محیطی جمع‌آوری خون و هزینه‌های زنجیره تامین و بیشینه‌سازی اثرات اجتماعی از جمله تعداد فرصت‌های شغلی ایجاد شده در نظر گرفته شده است. حیدری فتحیان و پسندیده،^[۱۴] یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی با هدف کمینه‌سازی کل هزینه‌های زنجیره، کمینه‌سازی مقدار کمبود و خون فاسد شده در بیمارستان‌ها و کمینه‌سازی اثرات زیست‌محیطی جهت طراحی یک شبکه زنجیره تامین خون ارائه دادند. اسوریو

اهداف کمیته‌سازی هزینه‌های زنجیره و بیشینه‌سازی اثرات مثبت اجتماعی از جمله ایجاد فرصت شغلی در مراکز موقت و دائم خون و بیمارستان‌ها طراحی کردند. اسلامی‌پور و نوبری،^[۲۰] مدلی جهت طراحی شبکه زنجیره تامین خون با اهداف کمیته‌سازی هزینه‌های زنجیره، کمیته‌سازی اثرات زیست‌محیطی ناشی از ایجاد مراکز خون، حمل‌ونقل بین سطوح زنجیره و دفن خون‌های فاسد شده و بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان از تامین خون پیشنهاد دادند. خداوردی و همکاران،^[۲۱] یک مدل ریاضی جهت طراحی شبکه زنجیره تامین خون با اهداف کمیته‌سازی اثرات زیست‌محیطی ناشی از حمل و نقل بین سطوح زنجیره و دفن خون‌های فاسد شده، کمیته‌سازی هزینه‌های زنجیره و کمیته‌سازی کمبود خون طراحی کردند.

در جدول ۱ خلاصه‌ای از تحقیقات پیشین و ویژگی‌های آنها بررسی شده است. سطر آخر جدول نیز، ویژگی‌های پژوهش حاضر را نشان می‌دهد. اگر چه، بعد اقتصادی پایداری با هدف کمیته‌سازی هزینه‌ها از مسائل کلیدی در طراحی شبکه زنجیره تامین خون به حساب می‌آید، اما در سال‌های اخیر مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی در طراحی زنجیره تامین در بخش سلامت و مراقبت‌های بهداشتی به‌ویژه زنجیره تامین خون نیز بسیار مورد توجه نویسندگان قرار گرفته است. اما استفاده از هر سه بعد پایداری تنها در دو مقاله اسکندری خانقاهی و همکاران،^[۲۲] آرانی و همکاران^[۱۵] مورد توجه قرار گرفته است. علاوه بر تقاضای خون، بسیاری از پارامترها در طراحی شبکه زنجیره تامین خون در دنیای واقعی نظیر بودجه برای راه اندازی تسهیلات موقتی و هزینه‌های زنجیره تامین در هر دوره ماهیت غیرقطعی دارند. بنابراین استفاده از رویکردهای عدم قطعیت جهت افزایش کارایی مدل امری ضروری است. شایان ذکر است که در این مطالعه تقاضا، بودجه برای راه‌اندازی تسهیلات موقتی و هزینه‌های سیستم به‌صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده‌اند، که در ادبیات موضوع استفاده از عدم قطعیت برای پارامترهای ذکر شده به‌طور همزمان در هیچ پژوهشی یافت نشده است. در بخش ویژگی‌های مدل، تنها در مقاله حق‌جو و همکاران^[۲۵] محدودیت بودجه برای راه‌اندازی تسهیلات جمع‌آوری خون استفاده شده است. سطح انقضاء خون در مقالات اندکی از جمله لاریمی و یعقوبی،^[۶] راجندران و راونیدان^[۳۱] و اسدپور و همکاران،^[۱۶] مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین تمام ویژگی‌های مدل‌سازی نظیر مکان‌یابی، تخصیص، موجودی، بودجه، سطح انقضاء و شعاع پوشش به‌طور همزمان در هیچ پژوهشی یافت نشده است. جهت افزایش اهداکنندگان و صرفه‌جویی در وقت برای اهداکنندگان نیاز هست که اهداکننده رزرو و غیر رزرو در مدل‌سازی ریاضی جهت افزایش میزان عرضه در نظر گرفته شود، که تنها در مقاله لاریمی و یعقوبی،^[۶] به این موضوع پرداخته شده است. با تعیین شکاف‌های تحقیقاتی در مطالعات پیشین مطابق جدول ۱ و توضیحات مطرح شده، نوآوری‌های پژوهش حاضر به‌صورت زیر است:

- توسعه یک مدل ریاضی چند هدفه با در نظر گرفتن هر سه بعد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به‌طور همزمان؛
- ارائه یک مدل یکپارچه مکان‌یابی - تخصیص - موجودی با در نظر گرفتن فاکتورهایی نظیر بودجه برای تسهیلات جمع‌آوری خون، شعاع پوشش، انواع اهداکنندگان و سطح انقضاء؛
- در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترهایی نظیر تقاضای خون، هزینه‌های سیستم و بودجه و استفاده از یک رویکرد فازی محدودیت شانس جهت برخورد با عدم قطعیت؛
- استفاده از روش برنامه‌ریزی فازی تعاملی برای حل مدل چندهدفه پیشنهادی؛

و همکاران،^[۲۹] یک مدل برنامه‌ریزی استوار با هدف کمیته‌سازی کل هزینه‌ها و تعیین تعداد اهداکنندگان در دسترس ارائه دادند. سامانی و حسینی مطلق،^[۳۰] یک مدل ریاضی با اهداف کمیته‌سازی هزینه‌ها، تقاضای از دست رفته و فاصله بین تولید خون در مراکز خون و مصرف در بیمارستان‌ها در شرایط فاجعه طراحی کردند. لاریمی و یعقوبی،^[۶] یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی تحت شرایط عدم قطعیت با اهداف کمیته‌سازی هزینه‌ها و بیشینه‌سازی واحدهای پلاکت خون در بیمارستان‌ها ارائه نمودند. دیابت و همکاران،^[۳۱] یک مدل ریاضی با هدف کمیته‌سازی زمان و هزینه تحویل محصولات به نقاط تقاضا بعد از وقوع فاجعه با در نظر گرفتن امکان اختلال در تسهیلات زنجیره تامین خون پیشنهاد کردند. راجندران و راونیدان،^[۳۲] یک مدل بهینه‌سازی استوار به‌منظور کمیته‌سازی ضایعات و کمبود پلاکت برای تعیین سیاست‌های سفارش‌دهی در زنجیره تامین خون در شرایط عدم قطعیت تقاضا ارائه دادند. صالحی و همکاران،^[۳۳] یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی جهت طراحی شبکه توزیع خون در شرایط وقوع فجایع طبیعی پیشنهاد کردند. محمدیان بهبهانی و همکاران،^[۲۱] یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه برای طراحی شبکه زنجیره تامین خون با اهداف کمیته‌سازی زمان تحویل فرآورده‌های خونی و کل هزینه‌های زنجیره و بیشینه‌سازی تأثیرات اجتماعی نظیر شاخص سلامت مصرف‌کننده و میزان اهداکنندگان منظم خون ارائه دادند. جمائی و همکاران،^[۳۴] مدلی جهت طراحی شبکه زنجیره تامین پلاکت با اهداف کمیته‌سازی اثرات زیست‌محیطی جمع‌آوری پلاکت بین سطوح زنجیره و کمیته‌سازی هزینه‌های زنجیره ارائه دادند. حق‌جو و همکاران،^[۳۵] یک مدل مکان‌یابی - تخصیص برای طراحی یک شبکه زنجیره تامین خون در شرایط بحران و با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف جهت مدل‌سازی عدم قطعیت تقاضا و اختلالات تسهیلات پیشنهاد دادند. همدان و دیابت،^[۳۶] یک مدل بهینه‌سازی دوهدفه جهت طراحی زنجیره تامین با هدف کمیته‌سازی زمان و هزینه ارسال خون به بیمارستان‌ها پس از وقوع فاجعه پیشنهاد دادند. آنها امکان وقوع اختلالات احتمالی در تسهیلات خون و مسیرهای حمل و نقل را بررسی نمودند. حسینی مطلق و همکاران،^[۳۷] یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی جهت مدیریت زنجیره تامین گلبول‌های قرمز ارائه دادند که هدف آن کمیته‌سازی هزینه کل شامل هزینه ثابت استقرار تسهیلات، هزینه عملیاتی، هزینه نگهداری موجودی و هزینه حمل و نقل است. قهرمانی‌نهر و همکاران،^[۳۸] یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی جهت طراحی شبکه زنجیره تامین خون با هدف کمیته‌سازی هزینه تاسیس مراکز دائم، هزینه حمل و نقل خون بین سطوح زنجیره و هزینه نگهداری موجودی خون ارائه کردند. شیرازی و همکاران،^[۳۹] یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی جهت طراحی شبکه زنجیره تامین خون با اهداف کمیته‌سازی هزینه‌ها و زمان‌های حمل و نقل بین سطوح زنجیره پیشنهاد دادند. آرانی و همکاران،^[۱۵] مدلی جهت طراحی یک شبکه زنجیره تامین خون پایدار با اهداف کمیته‌سازی اثرات زیست‌محیطی جمع‌آوری خون، کمیته‌سازی هزینه‌های زنجیره و بیشینه‌سازی اثرات اجتماعی از جمله تعداد فرصت‌های شغلی ایجاد شده از تاسیس مراکز دائم و موقت طراحی کردند. اسدپور و همکاران،^[۱۶] یک مدل ریاضی با اهداف کمیته‌سازی اثرات زیست‌محیطی جمع‌آوری خون بین سطوح زنجیره و کمیته‌سازی هزینه‌های زنجیره پیشنهاد دادند. اسکندری و فیلی،^[۱۷] مدلی جهت طراحی یک شبکه زنجیره تامین خون با اهداف کمیته‌سازی هزینه‌های زنجیره، کمیته‌سازی تقاضای برآورده نشده و کمیته‌سازی اثرات مخرب زیست‌محیطی ناشی از حمل‌ونقل خون بین سطوح زنجیره ارائه کردند. قهرمانی‌نهر و همکاران،^[۱۸] یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی جهت طراحی شبکه زنجیره تامین خون با اهداف کمیته‌سازی هزینه‌های زنجیره و کمیته‌سازی اثرات زیست‌محیطی ناشی از حمل‌ونقل خون بین سطوح زنجیره ارائه کردند. تیرکلاهی و همکاران،^[۲۰] مدلی جهت طراحی شبکه زنجیره تامین خون با

جدول ۱. خلاصه مقالات زنجیره تامین خون.

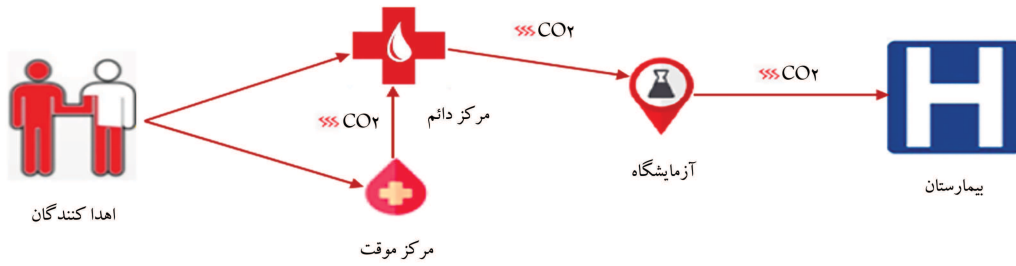
موضوع	نوع پارامترها		پارامتر دارای عدم قطعیت	تابع هدف			ویژگی‌های مدل						روش حل	مطالعه موردی	
	قطعی	غیر قطعی		زیست‌محیطی	اجتماعی	اقتصادی	مکان‌یابی	تخصیص	موجودی	بودجه	شماره پوشش	تاریخ انقضا			اهدایکنندگان زرد و غیر زرد
[۲۵]	*													*	
[۲۶]	*	ترکیبی	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
[۴]	*	تصادفی	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
[۲۷]	*	ترکیبی	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
[۲۸]	*	استوار	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
[۲۹]	*	استوار	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
[۳۰]	*	ترکیبی	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
[۶]	*	استوار	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
[۳۱]	*	ترکیبی	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
[۳۲]	*	استوار	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
[۳۳]	*	ترکیبی	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
[۲۱]	*	ترکیبی	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
[۳۴]	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
[۳۵]	*	ترکیبی	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
[۳۶]	*	ترکیبی	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
[۳۷]	*	ترکیبی	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
[۳۸]	*	استوار	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
[۳۹]	*	تصادفی	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
[۱۵]	*	ترکیبی	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
[۱۶]	*	تصادفی	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
[۱۷]	*	استوار	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
[۱۸]	*	ترکیبی	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
[۲۰]	*	فازی	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
[۴۰]	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
[۴۱]	*	ترکیبی	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
این مطالعه	*	فازی	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	

• استفاده از مطالعه موردی واقعی شهر شیراز برای نشان دادن کاربردی بودن مدل پیشنهادی.

۳. مدل ریاضی ۳.۱.۳. تعریف مسئله

در این مقاله، یک مدل مکان‌یابی - تخصیص برای طراحی شبکه زنجیره تامین خون با در نظر گرفتن اهداکنندگان، مراکز موقت و دائم انتقال خون، آزمایشگاه‌ها و بیمارستان‌ها (نقاط تقاضا) ارائه شده است. شکل ۱ نمای کلی زنجیره تامین خون پیشنهادی را نشان می‌دهد. در مدل پیشنهادی، اهداکنندگان برای اهدای خون به مراکز موقت یا دائم مراجعه

می‌کنند. خون‌های اهدا شده از مراکز موقت به مراکز دائم منتقل می‌شوند. سپس، خون‌های جمع‌آوری شده در مراکز دائم به آزمایشگاه‌ها منتقل می‌شوند و پس از تایید سلامت در بیمارستان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مدل ارائه شده، تصمیمات بهینه در مورد مکان‌یابی مراکز خون (دائم و موقت)، تخصیص اهداکنندگان به مراکز خون دائم یا موقتی، جریان خون در کل زنجیره، میزان موجودی و میزان کمبود خون در هر دوره زمانی اتخاذ می‌شود. در مدل پیشنهادی اهداف توسعه پایدار لحاظ شده است. براساس بعد اقتصادی پایداری، هزینه‌های زنجیره تامین خون کمینه خواهد شد. براساس بعد زیست‌محیطی، تأثیرات زیست‌محیطی ناشی از ایجاد مراکز خون و حمل‌ونقل خون کمینه و براساس بعد اجتماعی مشاغل ایجاد شده جهت تاسیس مراکز دائم و موقت بیشینه می‌شود. در مدل ریاضی، محدودیت‌های دنیای واقعی نظیر بودجه برای ساخت مراکز موقت، موجودی جهت کاهش خطر مرگ و میر ناشی از کمبود خون، برآورده شدن تقاضای خون در هر دوره و سطح انقضای خون در مراکز



شکل ۱. شبکه زنجیره تامین خون.

$r n_{jm}$: فاصله بین مرکز موقت j و مرکز دائم m ؛

$r u_{ml}$: فاصله بین مرکز دائم m و آزمایشگاه l ؛

$r l_{lu}$: فاصله بین آزمایشگاه l و بیمارستان u ؛

$\tilde{Q}c_{mt}$: هزینه کمبود در مرکز دائم m در دوره t ؛

\tilde{C}_{mt} : هزینه تدارکات برای جمع‌آوری خون از اهداکنندگان رزرو در مرکز دائم m در دوره t ؛

\tilde{C}_{mt}^l : هزینه تدارکات برای جمع‌آوری خون از اهداکنندگان غیر رزرو در مرکز دائم m در دوره t ؛

\tilde{C}_{jmt} : هزینه انتقال یک واحد خون از مرکز موقت j به مرکز دائم m در دوره t ؛

$\tilde{C}T_{mlt}$: هزینه انتقال یک واحد خون از مرکز دائم m به آزمایشگاه l در دوره t ؛

$\tilde{C}N_{lut}$: هزینه انتقال یک واحد خون از آزمایشگاه l به بیمارستان u در دوره t ؛

FR_m : هزینه ثابت ساخت مرکز دائم خون m ؛

Fu : هزینه ثابت راه‌اندازی مرکز خون موقت؛

\tilde{C}_{mkt} : هزینه عملیاتی واحد برای جمع‌آوری خون در مرکز دائم m از اهداکننده k در دوره t ؛

\tilde{C}_{jkt} : هزینه عملیاتی واحد برای جمع‌آوری خون در مرکز موقت j از اهداکننده k در دوره t ؛

$\tilde{C}H_{lt}$: هزینه نگهداری یک واحد خون در آزمایشگاه l در دوره t ؛

\tilde{C}_{lt} : هزینه تست هر واحد خون در آزمایشگاه l در دوره t ؛

$\tilde{C}H_{mt}$: هزینه نگهداری یک واحد خون در مرکز دائم m در دوره t ؛

$\tilde{C}v_{jj,t}$: هزینه انتقال مرکز موقت از مکان j به مکان j در دوره t ؛

P_{max} : حداکثر تعداد تسهیلات موقت؛

SA_{mt} : مقدار ذخیره ایمنی خون در مرکز دائم m در دوره t ؛

EB_m : تأثیرات زیست‌محیطی ایجاد مرکز خون دائم m ؛

EF : تأثیرات زیست‌محیطی ایجاد یک مرکز خون موقت؛

ET : تأثیرات زیست‌محیطی حمل‌ونقل یک واحد خون به‌ازای هر کیلومتر؛

jo : فرصت‌های شغلی ایجاد شده با احداث یک مرکز موقت؛

jo'_m : فرصت‌های شغلی ایجاد شده با احداث مرکز دائم m ؛

TO_{lt} : زمان انجام عملیات در آزمایشگاه l در دوره t ؛

Tn_{jt} : کل زمان جمع‌آوری خون در مرکز موقت j در دوره t ؛

Tu_{mt} : کل زمان جمع‌آوری خون در مرکز دائم m در دوره t ؛

Tb_{jmt} : زمان حمل‌ونقل از مرکز موقت j به مرکز دائم m در دوره t ؛

TP_{mlt} : زمان حمل‌ونقل از مرکز دائم m به آزمایشگاه l در دوره t ؛

Tr_{lut} : زمان حمل‌ونقل از آزمایشگاه l به بیمارستان u در دوره t ؛

Tb_{max} : تاریخ انقضای خون؛

M : عددی بسیار بزرگ.

۲.۳. مفروضات

دائم و آزمایشگاه بررسی می‌شود. عدم قطعیت پارامترهای تقاضای خون، هزینه‌های سیستم، ضایعات خون و بودجه نیز در نظر گرفته می‌شود. در ادامه نوشتار مفروضات، مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم و مدل ریاضی تشریح می‌شود.

۱. فرایند اهدای خون به دوصورت رزرو و غیر رزرو قابل انجام است؛ [۷۶]

۲. برای مقابله با کمبود خون، واحدهای خون به‌عنوان ذخیره در بانک خون نگهداری می‌شود؛

۳. هر اهداکننده در هر زمان می‌تواند تنها به یک مرکز موقت یا یک مرکز دائم، خون اهدا کند. [۲۳، ۲۵]

۴. بودجه برای احداث تسهیلات خون محدود است؛

۵. برای کنترل بهتر تصمیمات میان‌مدت و نوسانات در دوره‌های تقاضا، برنامه‌ریزی در دوره‌های زمانی مختلف انجام می‌شود؛

۶. خون‌های جمع‌آوری شده در مراکز موقت و دائم برای آزمایش سلامت خون باید به آزمایشگاه منتقل شوند؛

۷. در مراکز موقت هیچ ذخیره‌سازی وجود ندارد و خون تنها در مراکز دائم و آزمایشگاه ذخیره می‌شود. [۲۳، ۲۴، ۲۵]

۳.۳. نمادهای مدل

• مجموعه‌ها

K : مجموعه اهداکنندگان؛

M : مجموعه مراکز دائم؛

J : مجموعه مراکز موقت؛

L : مجموعه آزمایشگاه‌ها؛

U : مجموعه بیمارستان‌ها؛

T : مجموعه دوره‌های زمانی.

• پارامترها

\tilde{D}_{ut} : تقاضای خون بیمارستان u در دوره t ؛

\tilde{B} : حداکثر بودجه برای ساخت تسهیلات؛

d_{kt} : حداکثر میزان اهدای خون اهداکننده k در دوره t ؛

φ_{kt} : میزان خون دریافت شده از اهداکننده k در دوره t ؛

r : شعاع پوشش مراکز دائم خون؛

r_w : شعاع پوشش مراکز موقت خون؛

• متغیرهای تصمیم

XR_m : اگر یک مرکز خون دائم در مکان m ایجاد شود یک و در غیر این صورت صفر است؛

yu_{kjt} : اگر اهداکننده k به مرکز موقت j در دوره t تخصیص یابد یک و در غیر این صورت صفر است؛

YR_{kmt} : اگر اهداکننده k به مرکز دائم m در دوره t تخصیص یابد یک و در غیر این صورت صفر است؛

R_{jmt} : اگر مرکز موقت j به مرکز دائم m در دوره t تخصیص یابد یک و در غیر این صورت صفر است؛

RT_{mlt} : اگر مرکز دائم m به آزمایشگاه l در دوره t تخصیص یابد یک و در غیر این صورت صفر است؛

RN_{lut} : اگر آزمایشگاه l به بیمارستان u در دوره t خون تخصیص دهد یک و در غیر این صورت صفر است؛

QN_{lut} : مقدار خون منتقل شده از آزمایشگاه l به بیمارستان u در دوره t ؛

Q'''_{mlt} : مقدار خون منتقل شده از مرکز دائم m به آزمایشگاه l در دوره t ؛

Q''_{mkt} : مقدار خون جمع‌آوری شده در مرکز دائم m از اهداکننده k در دوره t ؛

Q'_{jmt} : مقدار خون منتقل شده از مرکز موقت j به مرکز دائم m در دوره t ؛

Q_{jkt} : مقدار خون جمع‌آوری شده در مرکز موقت j از اهداکننده k در دوره t ؛

er_t : تعداد تسهیلات موقت مورد نیاز در دوره t ؛

X_{kt} : تعداد اهداکنندگان خون غیر رزرو k در دوره t ؛

S_{kt} : تعداد اهداکنندگان خون رزرو k در دوره t ؛

SH_{mt} : میزان کمبود خون در مرکز دائم m در دوره t ؛

IL_{lt} : سطح موجودی خون در آزمایشگاه l در دوره t ؛

IH_{mt} : سطح موجودی خون در مرکز دائم m در دوره t ؛

$XM_{jj\backslash t}$: اگر مرکز موقت در مکان j استقرار یابد و به مکان $j\backslash$ در دوره t انتقال یابد یک و در غیر این صورت صفر است.

تابع هدف ۱، هزینه‌های زنجیره تامین خون را کمینه می‌کند. این هزینه‌ها شامل هزینه‌های ثابت استقرار تسهیلات، هزینه جمع‌آوری خون اهداکنندگان در مراکز خون، هزینه حمل‌ونقل بین سطوح مختلف زنجیره تامین، هزینه انتقال مراکز موقتی، هزینه نگهداری موجودی خون، هزینه کمبود، هزینه تدارکات جهت جمع‌آوری خون و هزینه تست سلامت خون است.

$$\begin{aligned} \min z_1 = & \sum_t Fu \times er_t + \sum_m FR_m \times XR_m \\ & + \sum_j \sum_k \sum_t \tilde{C}_{jkt} \times Q_{jkt} + \sum_m \sum_k \sum_t \tilde{C}_{mkt} \times Q''_{mkt} \\ & + \sum_j \sum_m \sum_t \tilde{C}_{jmt} \times Q'_{jmt} + \sum_m \sum_l \sum_t \tilde{C}T_{mlt} \times Q'''_{mlt} \\ & + \sum_l \sum_u \sum_t \tilde{C}n_{lut} \times QN_{lut} + \sum_j \sum_{j\backslash} \sum_t \tilde{C}v_{jj\backslash t} \times XM_{jj\backslash t} \\ & + \sum_m \sum_t \tilde{C}H_{mt} \times IH_{mt} + \sum_l \sum_t \tilde{C}H_{lt} \times IL_{lt} \\ & + \sum_m \sum_t \tilde{Q}c_{mt} \times SH_{mt} + \sum_k \sum_m \sum_t \tilde{C}_{mt} \times S_{kt} \\ & + \sum_k \sum_m \sum_t \tilde{C}'_{mt} \times X_{kt} + \sum_m \sum_l \sum_t \tilde{C}_{lt} \times Q'''_{mlt} \end{aligned} \quad (1)$$

تابع هدف ۲، کل تأثیرات زیست‌محیطی زنجیره تامین خون طراحی شده را کمینه

می‌نماید. این تابع هدف شامل تأثیرات زیست‌محیطی تاسیس مراکز خون موقت و دائم و تأثیرات زیست‌محیطی ارسال واحدهای خون جمع‌آوری شده بین سطوح زنجیره است.

$$\begin{aligned} \min z_r = & \sum_m EB_m \times XR_m + \sum_t EF \times er_t \\ & + \sum_j \sum_m \sum_t ET \times Q'_{jmt} \times rn_{jm} + \sum_m \sum_l \sum_t ET \times Q'''_{mlt} \times rlu_{ml} \\ & + \sum_l \sum_u \sum_t ET \times QN_{lut} \times rlu_{lu} \end{aligned} \quad (2)$$

تابع هدف ۳، تأثیرات اجتماعی زنجیره تامین خون شامل مشاغل ایجاد شده جهت تاسیس مراکز خون دائم و موقت را بیشینه می‌نماید.

$$\max z_r = \sum_m jo'_m \times XR_m + \sum_t jo \times er_t \quad (3)$$

محدودیت ۴، تضمین می‌کند که حداکثر یکی از تسهیلات می‌تواند در هر دوره به مکان $j\backslash$ انتقال یابد.

$$\sum_j XM_{jj\backslash t} \leq 1 \quad \forall j\backslash, t \quad (4)$$

محدودیت ۵، تضمین می‌کند که تسهیلات موقتی تنها در صورتی می‌توانند در هر دوره به مکانی دیگر انتقال یابند که در آنجا یک تسهیل وجود داشته باشد.

$$\sum_{j^2} XM_{j\backslash j^2 t} \leq \sum_j XM_{jj\backslash t-1} \quad \forall j\backslash, t \quad (5)$$

محدودیت ۶، تضمین می‌کند که اهداکنندگان در صورتی می‌توانند خون خود را به یک مرکز موقت اهدا کنند که آن مرکز استقرار یافته باشد.

$$\sum_k yu_{kjt} \leq \sum_{j\backslash} XM_{jj\backslash t} \quad \forall j\backslash, t \quad (6)$$

محدودیت ۷، تضمین می‌کند که مرکز موقت j می‌تواند به یک مرکز خون دائم اختصاص یابد به شرطی که مرکز موقت در آن مکان وجود داشته باشد.

$$\sum_m R_{jmt} \leq \sum_{j\backslash} XM_{jj\backslash t} \quad \forall j\backslash, t \quad (7)$$

محدودیت ۸، بودجه ساخت تسهیلات را نشان می‌دهد.

$$\sum_t Fu \times er_t + \sum_m FR_m \times XR_m \leq \tilde{B} \quad (8)$$

محدودیت‌های ۹ تا ۱۳ جریان بین متغیرهای مثبت و باینری در سطوح زنجیره را مشخص می‌کند.

$$Q_{jkt} \leq M yu_{kjt} \quad \forall j, k, t \quad (9)$$

$$Q'_{jmt} \leq M R_{jmt} \quad \forall m, j, t \quad (10)$$

$$Q''_{mkt} \leq M YR_{kmt} \quad \forall m, k, t \quad (11)$$

$$Q'''_{mlt} \leq M RT_{mlt} \quad \forall m, l, t \quad (12)$$

$$QN_{lut} \leq M RN_{lut} \quad \forall l, u, t \quad (13)$$

محدودیت ۱۴، تعداد تسهیلات موقتی مورد نیاز در هر دوره را نشان می‌دهد.

$$\sum_j \sum_{j\backslash} XM_{jj\backslash t} = er_t \quad \forall t \quad (14)$$

محدودیت ۱۵، نشان می‌دهد که تعداد تسهیلات موقتی در هر دوره نمی‌تواند از یک حد مجاز بیشتر باشند.

$$er_t \leq Pmax \quad \forall t \quad (15)$$

محدودیت‌های ۱۶ و ۱۷، شعاع پوشش مراکز دائم و موقت را نشان می‌دهد.

$$rn_{jm}R_{jmt} \leq rw \quad \forall m, j, t \quad (16)$$

$$ru_{ml}RT_{mlt} \leq r \quad \forall m, l, t \quad (17)$$

محدودیت ۱۸، میزان خون‌های اهدا شده در هر دوره توسط هر گروه از اهداکنندگان در مراکز موقت و دائم را محدود می‌کند.

$$\sum_j Q_{jkt} + \sum_m Q''_{mkt} \leq d_{kt} \quad \forall k, t \quad (18)$$

محدودیت ۱۹ مشخص می‌کند که در هر دوره باید تقاضای بیمارستان‌ها برآورده شود.

$$\sum_j \sum_m Q'_{jmt} + \sum_m \sum_k Q''_{mkt} = \sum_u \tilde{D}_{ut} \quad \forall t \quad (19)$$

محدودیت ۲۰ مشخص می‌کند که مجموع زمان انتقال خون از مراکز موقت به دائم، زمان انتقال خون از مرکز دائم به آزمایشگاه، زمان انتقال خون از آزمایشگاه به بیمارستان و زمان‌های عملیاتی لازم در آزمایشگاه و مرکز دائم باید کوچکتر یا مساوی تاریخ انقضای خون باشد.

$$(Tn_{jt} + Tb_{jmt})R_{jmt} + Tu_{mt}XR_m + (TP_{mlt} + To_{lt})RT_{mlt} + Tr_{lut}RN_{lut} \leq Tb_{max} \quad \forall j, m, l, u, t \quad (20)$$

محدودیت‌های ۲۱ و ۲۲ به ترتیب میزان موجودی خون در هر دوره در مراکز دائم و آزمایشگاه‌ها را نشان می‌دهد.

$$IH_{mt} = IH_{m,t-1} + \sum_k Q''_{mkt} + \sum_j Q'_{jmt} - \sum_l Q'''_{mlt} + SH_{mt} - SA_{mt} \quad \forall m, t \quad (21)$$

$$IL_{lt} = IL_{l,t-1} + \sum_m Q'''_{mlt} - \sum_u QN_{lut} \quad \forall l, t \quad (22)$$

محدودیت‌های ۲۳ و ۲۴، میزان خون جمع‌آوری شده در هر دوره زمانی از هر اهداکننده در هر مرکز دائم و موقت را محاسبه می‌کند.

$$Q''_{mkt} = \varphi_{kt} Y R_{kmt} \quad \forall m, k, t \quad (23)$$

$$Q_{jkt} = \varphi_{kt} y u_{kjt} \quad \forall j, k, t \quad (24)$$

محدودیت ۲۵، اهداکنندگان رزرو و غیر رزرو را مشخص می‌کند.

$$X_{kt} + S_{kt} = \sum_m Y R_{kmt} \quad \forall k, t \quad (25)$$

محدودیت‌های ۲۶ و ۲۷، حدود متغیرهای تصمیم مسئله را مشخص می‌کنند.

$$XM_{jj} \forall t, XR_m, y u_{kjt}, R_{jmt}, RT_{mlt}, RN_{lut}, Y R_{kmt} \in \{0, 1\} \quad \forall j, k, m, l, u, t \quad (26)$$

$$Q_{jkt}, Q'_{jmt}, Q''_{mkt}, QN_{lut}, Q'''_{mlt}, IL_{lt}, IH_{mt}, SH_{mt}, er_t, S_{kt}, X_{kt}, \geq 0 \quad \forall j, k, m, l, u, t \quad (27)$$

۴. رویکرد برنامه‌ریزی فازی محدودیت شانس

تصادفی بودن و عدم قطعیت ذاتی دو نوع عدم قطعیت هستند که می‌توانند در داده‌های ورودی رخ دهند. زمانی عدم قطعیت داده‌ها با استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی مدل‌سازی می‌شود که داده‌های تاریخی قابل اعتماد کافی برای توصیف پارامترهای غیرقطعی با استفاده از توزیع‌های احتمالی وجود داشته باشد. عدم وجود دانش در مورد مقادیر دقیق پارامترهای مدل و اطلاعات ناکافی از داده‌های تاریخی باعث ایجاد عدم قطعیت ذاتی می‌شود.^[۲۵] داده‌های کافی برای برآورد مناسب توزیع احتمال پارامترهای غیرقطعی زنجیره تامین خون به دلیل ماهیت دینامیکی و پویای آن وجود ندارد. در چنین مواردی، عدم قطعیت توسط توزیع‌های امکانی به شکل اعداد فازی مثلثی یا دوزنقه‌ای براساس نظرات کارشناسان خبره به دست می‌آید.^[۲۶] در برنامه‌ریزی فازی از ضرایب اطمینان فازی و توابع عضویت برای بیان عدم قطعیت یا فقدان دانش در مورد پارامترها استفاده می‌شوند.^[۲۷] بر خلاف رویکرد تصادفی، که نیاز به دانش کافی از توزیع پارامترهای غیرقطعی دارد، رویکرد فازی مدل کارآمدتری را ارائه می‌کند، زیرا کمتر به اطلاعات تاریخی وابسته است. همچنین با توجه به این‌که بهینه‌سازی فازی از درجه عضویت برای پارامترهای غیرقطعی استفاده می‌کند، به مدبران زنجیره تامین این امکان را می‌دهد که براساس درجه عضویت پارامترها تصمیم‌گیری انعطاف‌پذیرتری را ارائه دهند.^[۲۸]

برخی از پارامترهای کلیدی مدل پیشنهادی دارای عدم قطعیت هستند. در این مقاله از رویکرد فازی محدودیت شانس استفاده شده است. این رویکرد از روش‌های پرکاربرد برای مهار عدم قطعیت پارامترها است که بر پایه مفاهیم ریاضی قوی نظیر میانگین مورد انتظار یک عدد فازی، عملگرهای لزوم و امکان، تصمیم‌گیرنده را قادر می‌سازد تا سطح محافظه کارانه برآورده‌سازی محدودیت‌ها را کنترل کند.^[۲۹]

برای تبدیل مدل غیرقطعی به یک مدل معادل قطعی، از مقدار مورد انتظار برای مدل‌سازی پارامترهای غیرقطعی تابع هدف و از مقیاس Nec برای مدل‌سازی محدودیت‌های شانس استفاده می‌شود. با توجه به این‌که از توزیع فازی دوزنقه‌ای برای پارامترهای دارای عدم قطعیت استفاده می‌شود، لذا در تابع هدف از مقدار مورد انتظار یک عدد فازی دوزنقه‌ای استفاده شده است.

براساس رویکرد برنامه‌ریزی فازی محدودیت شانس، معادل قطعی مدل غیرقطعی پیشنهادی به صورت زیر خواهد بود:^[۵۰]

$$\min E[z_1] = \sum_t Fu \times er_t + \sum_m FR_m \times XR_m + \sum_j \sum_k \sum_t \sum_{r=1}^f \frac{C_{jktr}}{f} \times Q_{jkt} + \sum_m \sum_k \sum_t \sum_{r=1}^f \frac{C_{mkt}}{f} \times Q''_{mkt} \quad (28)$$

$$+ \sum_j \sum_m \sum_t \sum_{r=1}^f \frac{C_{jmt}}{f} \times Q'_{jmt} + \sum_m \sum_l \sum_t \sum_{r=1}^f \frac{CT_{mlt}}{f} \times Q'''_{mlt} + \sum_u \sum_l \sum_t \sum_{r=1}^f \frac{CN_{lutr}}{f} \times QN_{lut} + \sum_j \sum_{j_1} \sum_t \sum_{r=1}^f \frac{Cv_{jj_1tr}}{f} \times XM_{jj_1t}$$

گام ۳. با استفاده از رابطه‌های ۳۸ تا ۴۰ یکپارچه‌سازی توابع هدف انجام می‌شود. پارامتر γ ضریب جبران، $F(v)$ فضای شدنی مدل، $\mu_h(v)$ درجه تامین تابع هدف و اهمیت نسبی تابع هدف را نشان می‌دهد. λ_0 حد پایین درجه تامین تابع هدف است و به صورت $(\lambda_0 = \min_h [\mu_h(v)])$ محاسبه می‌شود.

$$MAX \lambda(v) = \gamma \lambda_0 + (1 - \gamma) \sum_h \varphi_h \mu_h(v) \quad (38)$$

$$\lambda_0 \leq \mu_h(v) \quad h = 1, 2, 3 \quad (39)$$

$$v \in F(v), \lambda_0, \gamma \in [0, 1] \quad (40)$$

۶. نتایج عددی

در این بخش به منظور اعتبار سنجی مدل پیشنهادی، یک مطالعه موردی در شیراز بررسی و در انتها تحلیل حساسیت تابع هدف نسبت به پارامترهای مدل انجام می‌شود. مدل ریاضی ارائه شده در نرم افزار GAMS ۲۴.۱.۲ کدنویسی شده است.

۱.۶. مطالعه موردی

شیراز یکی از کلان شهرهای ایران با جاذبه گردشگری فراوان و سومین شهر مذهبی ایران و مرکز استان فارس واقع در جنوب ایران است. شیراز پنجمین شهر بزرگ و پرجمعیت ایران و پرجمعیت‌ترین شهر جنوب کشور به‌شمار می‌رود.^[۵۲] به علت نیاز مریم به خون در بیمارستان‌ها و مراکز درمانی و برای جبران کمبود خون و پاسخگویی به نرخ تقاضا، طراحی یک زنجیره تامین خون کارا ضروری به نظر می‌رسد. بر اساس اطلاعات سالنامه آماری شیراز، فعالیت‌های خونگیری سازمان انتقال خون در سطح شهر شیراز برای سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۰ در جدول ۲ نشان داده شده است.^[۵۲] نظر به این‌که برخی از داوطلبین بعد از پذیرش از اهدای خون منصرف شده‌اند، در برخی از سال‌ها تعداد داوطلبین با مجموع تعداد مردودین و اهداکنندگان خون برابر نیست. در سطح شیراز ۷ نقطه به‌عنوان کاندید برای استقرار تسهیلات موقت در نظر گرفته شده است. خون‌های اهدا شده در مراکز موقت (اتوبوس‌های سیار) به مراکز خون دائم منتقل می‌شوند. سپس خون‌های جمع‌آوری شده از مراکز موقت و دائم به آزمایشگاه انتقال خون شیراز واقع در خیابان نمازی منتقل شده و پس از انجام تست آزمایش سلامت خون در اختیار بیمارستان‌ها و مراکز درمانی قرار می‌گیرند. در این مطالعه ۶ بیمارستان به‌عنوان نقاط تقاضا در نظر گرفته شده است. جدول ۳ اطلاعات ۶ نقطه تقاضا را نشان می‌دهد. در این مطالعه یک افق برنامه‌ریزی ۳ ماهه در نظر گرفته شده است و هر واحد زمان یک دوره یک‌ماهه را نشان می‌دهد.^[۵۲]

جدول ۲. فعالیت خونگیری سازمان انتقال خون در سطح شیراز.

سال	تعداد داوطلبین	تعداد مردودین	تعداد اهداکننده خون
۱۳۹۳	۱۲۵۱۶۲	۳۷۹۲۶	۸۷۲۳۶
۱۳۹۴	۱۲۸۸۹۳	۳۸۲۱۱	۹۰۶۸۲
۱۳۹۵	۱۳۱۹۶۶	۳۹۲۷۸	۹۲۶۸۸
۱۳۹۶	۱۲۸۶۱۹	۴۱۸۵۹	۸۶۷۶۰
۱۳۹۷	۱۵۳۴۶۲	۲۵۳۳۱	۱۰۲۹۷۹
۱۳۹۸	۱۴۲۵۶۹	۳۲۸۳۵	۹۸۰۷۰
۱۳۹۹	۱۲۸۶۸۶	۳۶۰۸۲	۹۲۶۰۴
۱۴۰۰	۱۳۰۴۴۱	۳۱۸۵۸	۹۸۵۸۳

$$\begin{aligned} & + \sum_m \sum_t \sum_{r=1}^f \frac{CH_{mtr}}{f} \times IH_{mt} + \sum_l \sum_t \sum_{r=1}^f \frac{CH_{ltr}}{f} \times IL_{lt} \\ & + \sum_m \sum_t \sum_{r=1}^f \frac{QC_{mtr}}{f} \times SH_{mt} + \sum_k \sum_m \sum_t \sum_{r=1}^f \frac{C_{mtr}}{f} \times S_{kt} \\ & + \sum_k \sum_m \sum_t \sum_{r=1}^f \frac{C'_{mtr}}{f} \times X_{kt} + \sum_m \sum_l \sum_t \sum_{r=1}^f \frac{C_{ltr}}{f} \times Q'''_{mlt} \end{aligned}$$

$$\min z_r$$

$$\max z_r$$

$$s.t : (4) - (7), (9) - (18), (20) - (27)$$

$$\sum_t Fu \times er_t + \sum_m FR_m \times XR_m \leq (1 - \alpha) \times B_r + (\alpha) \times B_1 \quad (29)$$

$$\sum_j \sum_m Q'_{mjt} + \sum_k \sum_m Q''_{mkt} \geq \sum_u D_{ut(r)} \forall t \quad (30)$$

$$\sum_j \sum_m Q'_{mjt} + \sum_k \sum_m Q''_{mkt} \leq \sum_u D_{ut(r)} \forall t \quad (31)$$

در محدودیت ۲۹، α سطح اطمینان برآورده شدن محدودیت را مشخص می‌کند و مقدار آن بین ۰/۵ تا ۱ در نظر گرفته می‌شود.

۵. روش حل

برای حل مسائل چندهدفه روش‌های مختلفی نظیر روش محدودیت افسیلون، روش معیار جامع، روش جمع وزنی و برنامه‌ریزی آرمانی وجود دارد. در این پژوهش، از یک روش برنامه‌ریزی فازی تعاملی استفاده می‌شود که نخستین بار توسط ترابی و حصینی^[۵۱] در سال ۲۰۰۸ ارائه شده است. کلیات این روش به‌قرار زیر است:

گام ۱. راه‌حل ایده‌آل مثبت (PIS) و راه‌حل ایده‌آل منفی (NIS) برای سه تابع هدف را می‌توان طبق معادلات ۳۲ تا ۳۴ تعیین کرد:

$$z_1^{NIS} = \max z_1, \quad z_1^{PIS} = \min z_1 \quad (32)$$

$$z_r^{NIS} = \max z_r, \quad z_r^{PIS} = \min z_r \quad (33)$$

$$z_r^{NIS} = \min z_r, \quad z_r^{PIS} = \max z_r \quad (34)$$

گام ۲. تابع عضویت خطی برای هر تابع هدف به‌صورت زیر تعیین می‌شود:

$$\mu_1(Z_1) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_1 < Z_1^{PIS} \\ \frac{Z_1^{NIS} - Z_1}{Z_1^{NIS} - Z_1^{PIS}} & \text{if } Z_1^{PIS} \leq Z_1 \leq Z_1^{NIS} \\ 0 & \text{if } Z_1 > Z_1^{NIS} \end{cases} \quad (35)$$

$$\mu_r(Z_r) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_r < Z_r^{PIS} \\ \frac{Z_r^{NIS} - Z_r}{Z_r^{NIS} - Z_r^{PIS}} & \text{if } Z_r^{PIS} \leq Z_r \leq Z_r^{NIS} \\ 0 & \text{if } Z_r > Z_r^{NIS} \end{cases} \quad (36)$$

$$\mu_r(Z_r) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_r > Z_r^{PIS} \\ \frac{Z_r - Z_r^{NIS}}{Z_r^{PIS} - Z_r^{NIS}} & \text{if } Z_r^{NIS} \leq Z_r \leq Z_r^{PIS} \\ 0 & \text{if } Z_r < Z_r^{NIS} \end{cases} \quad (37)$$

جدول ۳. اطلاعات نقاط تقاضا.

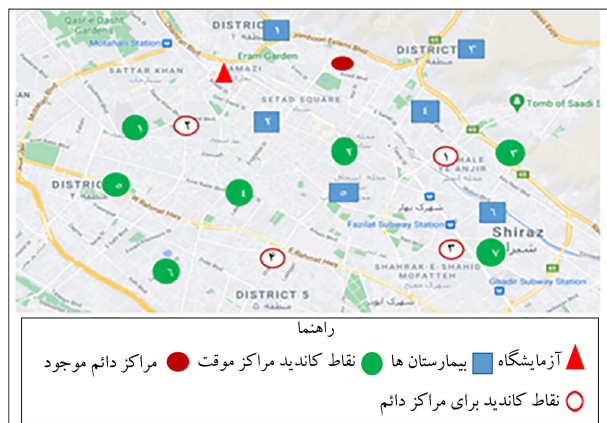
ردیف	نام بیمارستان	نوع بیمارستان	تعداد تخت
۱	بیمارستان نمازی	دولتی	۷۸۰
۲	بیمارستان پارس	خصوصی	۴۵
۳	بیمارستان شهريار	خصوصی	۵۹
۴	بیمارستان شهید دکتر بهشتی	دولتی	۲۲۴
۵	بیمارستان زینبیه	دولتی	۱۷۹
۶	بیمارستان مسلمین	دولتی	۱۳۵

جدول ۴. داده‌های مربوط به پارامترهای مدل.

پارامتر	ارزش	پارامتر	ارزش	پارامتر	ارزش
rn_{jm}	$[10, 60]$	d_{kt}	$[30, 150]$	EF	۶۳۰۰۰
Tu_{mt}	$[360, 1440]$	r	۴۰	φ_{kt}	$[0, 45, 0, 5]$
TP_{mlt}	$[20, 90]$	rw	۷۰	Tn_{jt}	$[360, 720]$
M	۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰	EB_m	$[25000, 65000]$	Tr_{lut}	$[5, 90]$
Tb_{max}	۴۳۲۰۰	\bar{D}_{ut}	$[800, 1000]$	α	$[0, 5, 1]$
P_{max}	۱۰	rl_{tu}	$[1, 60]$	Tb_{jmt}	$[20, 60]$
ru_{ml}	$[20, 60]$	TO_{lt}	$[1440, 14400]$	jo/jo'_m	$[1, 30]$

جدول ۵. مقدار توابع هدف در شرایط قطعی و غیرقطعی.

α	مقدار تابع هدف در شرایط قطعی			مقدار تابع هدف در شرایط عدم قطعیت		
	z_1	z_2	z_3	z_1	z_2	z_3
۰٫۶	۸۰	$9,788,8521 E + 8$	$3,052,71 E + 10$	۸۰	$9,788,8521 E + 8$	$3,052,71 E + 10$
۰٫۸	۸۵	$2,783,57 E + 10$	$9,886,578 E + 8$	۸۵	$9,886,578 E + 8$	$3,084,89 E + 10$
۰٫۹	۹۱	$9,256,157 E + 8$	$9,934,589 E + 8$	۹۱	$9,934,589 E + 8$	$3,155,74 E + 10$



شکل ۲. شبکه مطالعه موردی قبل از حل مدل.

نماید. تقاضای بیمارستان‌ها در دوره اول و در سطح α برابر ۰٫۶ نقاط سیار ۱، ۲ و ۷، در سطح α برابر ۰٫۸ علاوه بر نقاط قبلی نقطه ۴ و در سطح α برابر ۰٫۹ نیز علاوه بر نقاط دو سطح قبل نقطه ۵ جهت پاسخگویی به تقاضای بیمارستان‌ها در نظر گرفته شده‌اند.

با توجه به نتایج عددی و شکل ۳ می‌توان بیان نمود که با افزایش سطح عدم قطعیت پارامترها، توابع هدف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی افزایش پیدا می‌کنند. بنابراین، نمی‌توان عدم قطعیت پارامترهای مدل پیشنهادی را نادیده

مقدار اکثر پارامترهای مدل بر اساس داده‌های واقعی از سایت سازمان انتقال خون استان فارس و بیمارستان‌های شهر شیراز جمع‌آوری شده است. [۵۳] مقدار برخی از پارامترها نیز از مقالات مختلف نظیر لاریمی و یعقوبی در سال ۱۹۲۰، [۶] قهرمانی‌نهر و همکاران ۲۰۲۲ [۳۸] و باغبانی ۲۰۲۲ [۴۲] در جدول ۴ نشان داده شده است. در این جدول فاصله‌ها بر حسب کیلومتر، تقاضا و میزان خون اهداکنندگان بر حسب لیتر، تأثیرات زیست‌محیطی بر حسب مترمکعب، زمان انتقال و جمع‌آوری خون و انقضا بر حسب دقیقه و فرصت‌های شغلی بر حسب تعداد افراد است. جدول ۵ مقدار توابع هدف در حالت قطعی و غیرقطعی را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۵ با افزایش مقدار پارامتر α ، هزینه‌های سیستم، تأثیرات زیست‌محیطی و اجتماعی افزایش پیدا می‌کند. بنابراین تصمیم‌گیرنده با دو رویکرد مواجه می‌شود. اول، به‌منظور کاهش هزینه‌های سیستم و تأثیرات زیست‌محیطی سطح پارامتر α را کاهش دهد که در این صورت فرصت‌های شغلی ایجاد شده نیز کاهش پیدا می‌کند. دوم، به‌منظور افزایش فرصت‌های شغلی سطح پارامتر α را افزایش دهد که در این صورت هزینه‌های سیستم و تأثیرات منفی زیست‌محیطی افزایش پیدا خواهد کرد.

شکل ۲ شبکه مطالعه موردی قبل از حل مدل و شکل ۳ شبکه مطالعه موردی بعد از حل مدل به‌ازای سطوح مختلف پارامتر α را نشان می‌دهد. شایان ذکر است که به‌دلیل صرفه‌جویی در فضا، تنها دوره یک نشان داده شده است. با افزایش پارامتر α ، جهت پاسخگویی به افزایش تقاضا تعداد تسهیلات سیار افزایش پیدا می‌کند. همچنین با توجه به میزان تقاضا، هیچ مرکز دائم جدیدی ایجاد نشده است و مرکز دائم موجود و مراکز موقت استقرار یافته می‌تواند تقاضای خون بیمارستان‌ها را برآورده



ب) $\alpha = 0.18$



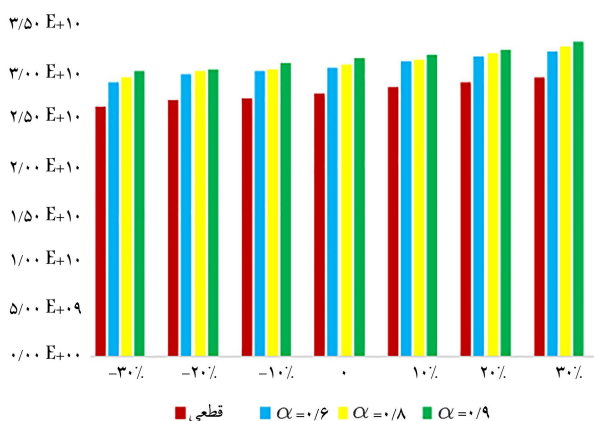
الف) $\alpha = 0.06$



ج) $\alpha = 0.09$



شکل ۳. شبکه مطالعه موردی بعد از حل مدل در دوره $t = 1$.



شکل ۴. تغییرات z نسبت به تغییرات تقاضا در مدل‌های قطعی و فازی محدودیت شانس.

مختلف زنجیره تامین افزایش خواهد یافت. در نتیجه با افزایش حمل‌ونقل، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش می‌یابد. بنابراین همانطور که شکل ۵ نشان می‌دهد، تابع هدف زیست‌محیطی با افزایش تقاضا، افزایش خواهد یافت. با توجه به شکل ۶، می‌توان بیان نمود که با افزایش نرخ تقاضا، تابع هدف اجتماعی افزایش یافته است، زیرا جهت برآورده نمودن تقاضای افزایش یافته، نیاز به استقرار مراکز دائم و موقت بیشتری است که در پی آن تعداد فرصت‌های شغلی افزایش خواهد یافت.

۲.۲.۶. بودجه

یکی دیگر از پارامترهایی که می‌تواند بر توابع هدف تأثیر بگذارد بودجه است. تأثیر بودجه بر روی ۳ تابع هدف به ترتیب در شکل‌های ۷ تا ۹ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۷، می‌توان بیان نمود که با افزایش بودجه می‌توان تعداد تسهیلات موقت و دائمی بیشتری جهت اهدای خون تأسیس کرد که این امر سبب افزایش هزینه استقرار تسهیلات می‌شود. از سوی دیگر، با افزایش تعداد تسهیلات در زنجیره تامین

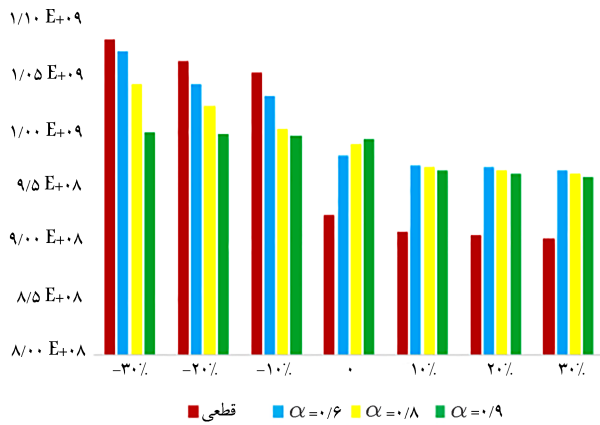
گرفت، زیرا هزینه‌های سیستم، اثرات مخرب زیست‌محیطی و اثرات مثبت اجتماعی به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر عدم قطعیت قرار دارند. از سوی دیگر، با در نظر گرفتن سطوح اطمینان مختلف، جواب‌های بهینه مختلفی براساس مکان تسهیلات و جریان‌های خون به‌دست خواهد آمد. بنابراین، مدیران سیستم‌های سلامت با توجه به توابع اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی به‌ازای سطوح اطمینان مختلف می‌توانند بهترین جواب را اختیار نمایند. باید توجه داشت که در نظر گرفتن عدم قطعیت با سطح اطمینان بالا باعث می‌شود که طرح به‌دست آمده برای شبکه زنجیره تامین خون حتی در حالت‌هایی که عدم قطعیت پارامترها بسیار زیاد است، بهینه باشد.

۲.۶. تحلیل حساسیت

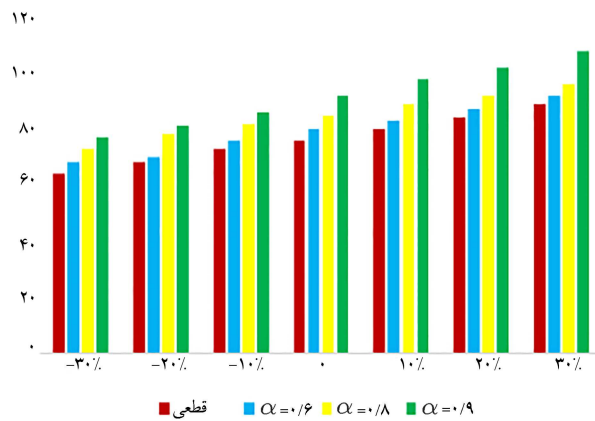
در این بخش، تغییرات توابع هدف نسبت به مقادیر مختلف تقاضا و بودجه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۱.۲.۶. تقاضا

یکی از پارامترهایی کلیدی که تأثیر زیادی بر توابع هدف می‌گذارد میزان تقاضای خون است. تأثیر تقاضای خون بر روی ۳ تابع هدف به ترتیب در شکل‌های ۴ تا ۶ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴ می‌توان بیان نمود که با افزایش تقاضا، نیاز است که میزان خون بیشتری در مراکز موقت و دائم جمع‌آوری شوند که براساس آن هزینه عملیاتی جمع‌آوری خون افزایش می‌یابد. همچنین نیاز است که مراکز موقت و دائم بیشتری در شبکه استقرار یابند تا برآورده‌سازی تقاضای بیمارستان‌ها میسر شود. جهت برآورده نمودن تقاضای بیمارستان‌ها، میزان خون بیشتری بین سطوح مختلف زنجیره تامین یعنی مراکز موقت، مراکز دائم، آزمایشگاه‌ها و بیمارستان‌ها انتقال خواهد یافت که افزایش هزینه‌های حمل‌ونقل را در پی خواهد داشت. همچنین در آزمایشگاه باید تست سلامت برای میزان خون بیشتری انجام شود. با افزایش هزینه‌های عملیاتی سیستم، تابع هدف اقتصادی افزایش خواهد یافت. همانطور که بیان شد با افزایش نرخ تقاضا، میزان خون جمع‌آوری شده و انتقال یافته بین سطوح



شکل ۸. تغییرات z نسبت به بودجه در مدل‌های قطعی و فازی محدودیت شانس.

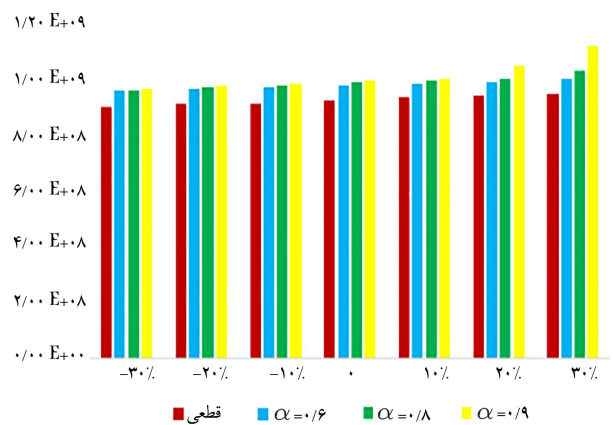


شکل ۹. تغییرات z نسبت به بودجه در مدل‌های قطعی و فازی محدودیت شانس.

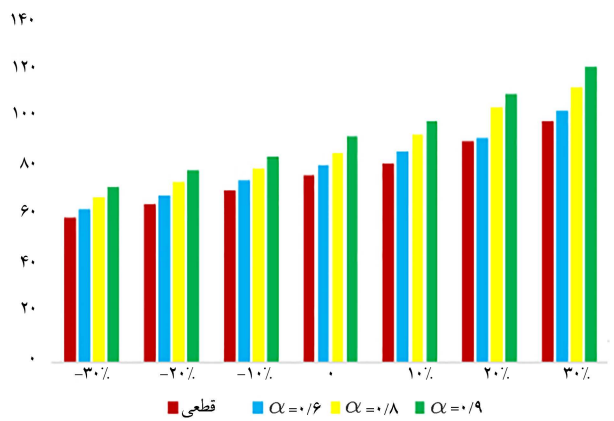
کاهش بودجه روی تابع زیست‌محیطی را نشان می‌دهد. با افزایش بودجه، از یک سو امکان استقرار تسهیلات بیشتر در شبکه میسر می‌شود که این موضوع منجر به افزایش میزان انتشار مربوط به تاسیس مراکز موقت و دائم خواهد شد. از سوی دیگر با توجه به این‌که میزان حمل‌ونقل کل در شبکه کاهش خواهد یافت، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از حمل‌ونقل به میزان چشمگیری کاهش می‌یابد. با توجه به این‌که حمل‌ونقل از تصمیمات عملیاتی زنجیره تامین است و در کل افق برنامه‌ریزی وجود دارد، بنابراین صرفه‌جویی ناشی از کاهش حمل‌ونقل بیشتر از افزایش انتشار در اثر تاسیس مراکز دائم و موقت است و این موضوع منجر به کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. با توجه به شکل ۹، با افزایش بودجه، تعداد مراکز دائم و موقت افزایش خواهد یافت که در پی آن تعداد فرصت‌های شغلی ایجاد شده در شبکه زنجیره تامین افزایش و تابع هدف اجتماعی نیز افزایش می‌یابد.

۳.۶. مقایسه نتایج برنامه‌ریزی چند هدفه

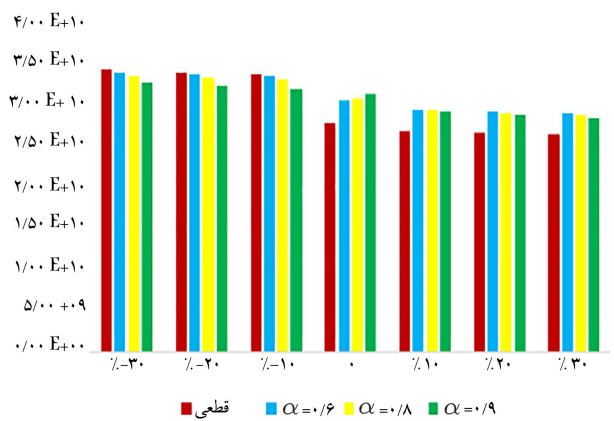
روش‌های متنوعی برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه ارائه شده است. از میان این روش‌ها، امروزه روش‌های برنامه‌ریزی فازی به دلیل انعطاف‌پذیری بالا و قابلیت محاسبه درجه ارضای هر یک از توابع هدف به‌طور گسترده مورد استفاده می‌گیرند.^[۵۴] در این پژوهش از روش ترکیبی - حصینی^[۵۱] (TH) که از روش‌های برنامه‌ریزی فازی تعاملی است، استفاده شده است. در این بخش، عملکرد این روش با دو روش برنامه‌ریزی فازی تعاملی مشهور دیگر شامل روش لی و هوانگ (LH)^[۵۵] و روش سلیم و اوکاراها (SO)^[۵۶] مقایسه شده است.



شکل ۵. تغییرات z نسبت به تغییرات تقاضا در مدل‌های قطعی و فازی محدودیت شانس.



شکل ۶. تغییرات z نسبت به تغییرات تقاضا در مدل‌های قطعی و فازی محدودیت شانس.



شکل ۷. تغییرات z نسبت به تغییرات بودجه در مدل‌های قطعی و فازی محدودیت شانس.

خون هزینه حمل‌ونقل به صورت چشمگیری کاهش می‌یابد، زیرا امکان تخصیص مراکز موقت به مراکز دائم نزدیکتر و همچنین تخصیص مراکز دائم به آزمایشگاه‌ها در فواصل کوتاه‌تر میسر خواهد شد. با توجه به این‌که کاهش هزینه حمل‌ونقل می‌تواند افزایش هزینه در نتیجه استقرار تسهیلات را جبران نماید، بنابراین با افزایش بودجه استقرار تسهیلات، هزینه‌های سیستم کاهش خواهد یافت. شکل ۸ تأثیر افزایش

جدول ۶. مقدار توابع هدف در شرایط قطعی و غیرقطعی.

روش حل	α	مقدار تابع هدف در شرایط عدم قطعیت			مقدار تابع هدف در شرایط قطعی		
		z_1	z_2	z_3	z_1	z_2	z_3
TH	۰٫۶	$3,05271E+10$	$9,7888521E+8$	۸۰			
	۰٫۸	$3,08489E+10$	$9,886578E+8$	۸۵	$2,78357E+10$	$9,256157E+8$	۷۶
	۰٫۹	$3,15574E+10$	$9,934589E+8$	۹۱			
SO	۰٫۶	$3,16257E+10$	$9,828451E+8$	۷۶	$2,81345E+10$	$9,344576E+8$	۷۰
	۰٫۸	$3,20746E+10$	$9,879813E+8$	۸۱			
	۰٫۹	$3,31549E+10$	$9,944592E+8$	۸۷			
LH	۰٫۶	$3,19519E+10$	$9,862785E+8$	۷۴			
	۰٫۸	$3,23719E+10$	$9,926514E+8$	۷۸	$2,83761E+10$	$9,487849E+8$	۷۳
	۰٫۹	$3,27671E+10$	$9,98742E+8$	۸۳			

جدول ۷. مقایسه روش‌های حل.

روش حل	d_1	d_2	d_3	RSD
LH	۰٫۳۰۹	۰٫۱۹۸	۰٫۱۸۵	۰٫۲۱۳
SO	۰٫۲۹۲	۰٫۱۷۵	۰٫۱۶۸	۰٫۲۰۳
TH	۰٫۲۷۴	۰٫۱۶۷	۰٫۱۲۵	۰٫۱۸۶

مقدار درجه عضویت توابع هدف و $\min_h(\mu_h(v))$ کمترین درجه توابع هدف است.

$$RSD = \max_h(\mu_h(v)) - \min_h(\mu_h(v)) \quad (48)$$

جدول ۷ نتایج حاصل از مقایسه روش‌های حل را براساس دو شاخص ذکر شده نشان می‌دهد. براساس نتایج به دست آمده، روش TH از نظر شاخص فاصله و شاخص درجه رضایت از هر دو روش SO و LH بهتر است. همچنین روش SO از نظر شاخص فاصله و شاخص درجه رضایت از روش LH بهتر است. باید توجه داشت که هر چه شاخص درجه رضایت بیشتر باشد، جواب‌های تولید شده توازن کمتری خواهند داشت و بین درجه عضویت توابع هدف تفاوت بیشتری به وجود خواهد آمد.

۷. بینش مدیریتی

شیراز پنجمین شهر بزرگ و پرجمعیت ایران و پرجمعیت‌ترین شهر جنوب کشور به شمار می‌رود. به علت شرایط اضطراری و کمبود خون در سطح شهر شیراز و همچنین نیاز مبرم به خون و فرآورده‌های آن در بیمارستان‌ها و مراکز درمانی و برای جبران کمبود خون و پاسخگویی به نرخ تقاضا، طراحی یک زنجیره تامین خون پایدار و کارا ضروری به نظر می‌رسد. براساس مدل طراحی شده و نتایج حاصل از حل مدل، برخی از مهم‌ترین بینش‌های مدیریتی این مقاله را می‌توان به صورت زیر عنوان نمود:

- استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی برای طراحی شبکه زنجیره تامین خون، یک ابزار مناسب را در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان بخش سلامت قرار می‌دهد تا با صرف هزینه‌های محدود بهترین عملکرد را در خون‌رسانی به مناطق تقاضا داشته باشند. با در نظر گرفتن بعد اجتماعی فرصت‌های شغلی در حوزه سیستم‌های سلامت

در روش LH، با استفاده از رابطه‌های ۴۱ تا ۴۳ یکپارچه‌سازی توابع هدف به صورت زیر انجام می‌شود. در این روابط λ_0 حد پایین درجه عضویت h امین تابع هدف است و به صورت $(\lambda_0 = \min_h[\mu_h(v)])$ محاسبه می‌شود.

$$MAX \lambda(v) = \lambda_0 + \delta \sum_h \varphi_h \mu_h(v) \quad (41)$$

$$s.t \lambda_0 \leq \mu_h(v) \quad h = 1, 2, 3 \quad (42)$$

$$v \in F(v), \lambda_0 \in [0, 1] \quad (43)$$

در روش SO با استفاده از رابطه‌های ۴۴ تا ۴۶ یکپارچه‌سازی توابع هدف به صورت زیر انجام می‌شود.

$$MAX \lambda(v) = \gamma \lambda_0 + (1 - \gamma) \sum_h \varphi_h \lambda_h \quad (44)$$

$$s.t \lambda_0 + \lambda_h \leq \mu_h(v) \quad h = 1, 2, 3 \quad (45)$$

$$v \in F(v), \gamma, \lambda_h, \lambda_0 \in [0, 1] \quad (46)$$

جدول ۶، نتایج حاصل از حل مدل ریاضی چندهدفه با استفاده از سه روش ذکر شده را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، روش ترکیبی - حصینی^[۵۱] در هر دو حالت قطعی و غیرقطعی منجر به جواب‌های بهتری برای هر سه تابع هدف خواهد شد.

دو شاخص برای ارزیابی روش‌های ذکر شده شامل شاخص فاصله و درجه رضایت نیز استفاده شده است. شاخص فاصله، برای اندازه‌گیری فاصله و تعیین درجه نزدیکی هر راه‌حل نسبت به راه‌حل ایده‌آل مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاخص فاصله از رابطه ۴۷ به دست می‌آید.^[۵۱] شایان ذکر است که φ_h اهمیت نسبی تابع هدف، $\mu_h(v)$ درجه تامین تابع هدف h ام و p نشان‌دهنده توان پارامتر فاصله است.

$$d_p(v) = \left[\sum_h \varphi_h^p (1 - \mu_h(v))^p \right]^{1/p}, p \geq 1 \text{ and integer.} \quad (47)$$

شاخص درجه رضایت (RSD)، حداکثر تفاوت بین درجه عضویت اهداف را با استفاده از رابطه ۴۸ محاسبه می‌کند.^[۵۱] بدیهی است که $\max_h(\mu_h(v))$ بیشترین

یک روش برنامه‌ریزی فازی تعاملی، روش TH، استفاده شده است. برای بررسی کارایی مدل پیشنهادی از یک مطالعه موردی استفاده شد. تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای تقاضا و بودجه نیز انجام شد. در پایان، نتایج حاصل از حل مدل پیشنهادی با دو روش برنامه‌ریزی فازی براساس ۲ شاخص فاصله و درجه رضایت مقایسه شد.

با توجه به نتایج عددی می‌توان بیان نمود که با افزایش سطح عدم قطعیت پارامترها، تعداد تسهیلات خون استقرار یافته در شبکه جهت پاسخگویی به تقاضای خون افزایش می‌یابد. همچنین مقادیر توابع هدف اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی با افزایش سطح عدم قطعیت افزایش پیدا می‌کنند. از سوی دیگر، با در نظر گرفتن سطوح عدم قطعیت مختلف، جواب‌های بهینه متفاوتی براساس مکان تسهیلات و جریان‌های خون به دست خواهد آمد. بنابراین، مدیران سیستم‌های سلامت می‌توانند با توجه به مقادیر تابع هدف و سطح اطمینان بهترین جواب را اختیار نمایند.

نتایج حاصل از حل مدل ریاضی چندهدفه با استفاده از سه روش TH، SO و LH نشان می‌دهد که روش TH جواب بهتری را برای توابع اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی تولید می‌کند. همچنین، عملکرد روش TH از نظر شاخص فاصله و شاخص درجه رضایت از هر دو روش بهتر است.

نتایج حاصل از تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که با افزایش تقاضا، تعداد مراکز موقت و دائم بیشتری در شبکه استقرار می‌یابد تا امکان جمع‌آوری میزان خون بیشتری برای برآورده‌سازی تقاضای بیمارستان‌ها میسر شود. این موضوع افزایش هزینه‌های ثابت استقرار و هزینه‌های عملیاتی نظیر هزینه جمع‌آوری، هزینه حمل‌ونقل و هزینه تست سلامت خون و در نهایت افزایش تابع هدف اقتصادی را در پی خواهد داشت. با افزایش حمل‌ونقل و تعداد تسهیلات، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و تابع هدف زیست محیطی، افزایش خواهد یافت. افزایش نرخ تقاضا همچنین موجب افزایش تابع هدف اجتماعی می‌شود، زیرا جهت برآورده نمودن تقاضای افزایش یافته، نیاز به استقرار مراکز دائم و موقت بیشتری است که در پی آن تعداد فرصت‌های شغلی افزایش خواهد یافت. پارامتر بودجه نیز یکی از تأثیرگذارترین پارامترهای مدل پیشنهادی است که با افزایش آن امکان استقرار تسهیلات موقت و دائمی بیشتری جهت اهدای خون میسر می‌شود. با افزایش تعداد تسهیلات در زنجیره تامین، امکان تخصیص مراکز موقت به مراکز دائم نزدیک‌تر و همچنین تخصیص مراکز دائم به آزمایشگاه‌ها در فواصل کوتاه‌تر میسر خواهد شد. با توجه به این‌که کاهش هزینه حمل‌ونقل می‌تواند افزایش هزینه در نتیجه استقرار تسهیلات را جبران نماید، بنابراین با افزایش بودجه استقرار تسهیلات، هزینه‌های سیستم کاهش خواهد یافت. با افزایش بودجه، از یک سو میزان انتشار مربوط به تاسیس مراکز موقت و دائم افزایش می‌یابد. از سوی دیگر با کاهش میزان حمل‌ونقل، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از حمل‌ونقل به میزان چشمگیری کاهش می‌یابد. با توجه به این‌که حمل‌ونقل از تصمیمات عملیاتی زنجیره تامین است و در کل افق برنامه‌ریزی وجود دارد، بنابراین، صرفه‌جویی ناشی از کاهش حمل‌ونقل بیشتر از افزایش انتشار در اثر تاسیس مراکز دائم و موقت است و این موضوع منجر به کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. با افزایش بودجه، تعداد مراکز دائم و موقت افزایش و در پی آن تعداد فرصت‌های شغلی ایجاد شده در شبکه زنجیره تامین افزایش و تابع هدف اجتماعی نیز افزایش می‌یابد. براساس تحلیل حساسیت و نتایج عددی می‌توان بیان کرد که مدل ریاضی ارائه شده با حفظ کاهش هزینه‌های زنجیره، توجه به آلودگی زیست محیطی و افزایش اثرات مثبت اجتماعی ابزار مناسبی را در اختیار مدیران ارشد سازمان انتقال خون شیراز قرار می‌دهد تا بتوانند جهت کاهش کمبود خون در این منطقه از استان فارس تصمیمات بهینه و استراتژیکی را اتخاذ نمایند.

افزایش پیدا می‌کند و با در نظر گرفتن بعد زیست محیطی ابزار مناسبی برای مدیران جهت کاهش آلودگی‌های زیست محیطی فراهم می‌شود:

- عدم قطعیت، جز جدایی ناپذیر در دنیای واقعی است و نمی‌توان آن را نادیده گرفت. با افزایش سطح عدم قطعیت پارامترها، توابع هدف اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی افزایش پیدا می‌کنند. بنابراین، مدیران ارشد سازمان انتقال خون می‌توانند با بررسی سطوح عدم قطعیت مختلف، بهترین تصمیم استراتژیک و عملیاتی را از بین انبوه جواب‌های ارائه شده انتخاب نمایند؛
- توجه به محدودیت‌های دنیای واقعی نظیر زمان انقضاء خون جهت کاهش فاسد شدن این محصول، توجه به موجودی جهت جلوگیری از خطر مرگ‌ومیر ناشی از کمبود خون و استقرار تسهیلات موقتی جهت افزایش میزان عرضه خون می‌تواند به مدیران ارشد حوزه سلامت و سازمان انتقال خون در اتخاذ تصمیمات عملیاتی و راهبردی سطوح زنجیره تامین خون کمک شایانی کند؛
- در نظر گرفتن فرایند اهدای خون به دوسورت زرو و غیر زرو سبب رضایت و تشویق اهداکنندگان جهت اهدای خون و همچنین افزایش عرضه در زنجیره تامین خون خواهد شد؛
- در نظر گرفتن شعاع پوشش مناسب برای مراکز دائم و موقت سبب تخصیص بهینه خون در زنجیره تامین با توجه به بعد فاصله خواهد شد؛
- با افزایش میزان تقاضا، هزینه‌های سیستم و اثرات مخرب زیست محیطی و اثرات مثبت اجتماعی افزایش پیدا می‌کند و بدین ترتیب جهت کاهش کمبود می‌توان ذخیره ایمنی خون را افزایش داد تا علاوه بر کنترل هزینه‌های زنجیره، اثرات مخرب زیست محیطی و اثرات مثبت اجتماعی نیز بهینه شود.

۸. نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

در این مقاله، یک مدل ریاضی چندهدفه و چنددوره‌ای، برای طراحی زنجیره تامین خون با در نظر گرفتن سطوح مختلفی نظیر اهداکنندگان، تسهیلات جمع‌آوری خون (مراکز موقت و دائم خون)، بیمارستان‌ها و آزمایشگاه جهت تست سلامت خون ارائه شده است. در این مدل، تصمیمات بهینه استراتژیک و عملیاتی نظیر مکان‌یابی، تخصیص، جریان خون، سطوح موجودی، کمبود و تعداد اهداکنندگان اتخاذ می‌شود. محدودیت‌های دنیای واقعی نظیر تقاضا، میزان عرضه خون، موجودی خون جهت کاهش کمبود و جلوگیری از خطر کاهش مرگ و میر، تاریخ انقضای خون، بودجه جهت استقرار تسهیلات و شعاع پوشش نیز در مدل لحاظ شده است. برای طراحی شبکه زنجیره تامین خون علاوه بر بعد اقتصادی که شامل کمیته‌سازی هزینه‌های زنجیره تامین خون است، ابعاد زیست محیطی و اقتصادی نیز در نظر گرفته شده است. براساس بعد زیست محیطی، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از استقرار تسهیلات و حمل‌ونقل خون بین سطوح زنجیره تامین کمیته می‌شود. براساس بعد اجتماعی نیز تعداد فرصت‌های شغلی ایجاد شده در اثر تاسیس مراکز موقت و دائم خون بهینه می‌شود.

در این پژوهش، جهت افزایش کارایی مدل پیشنهادی عدم قطعیت پارامترهای کلیدی نظیر تقاضای خون، هزینه‌های زنجیره تامین و بودجه جهت استقرار تسهیلات موقتی خون غیرقطعی در نظر گرفته شده است. برای تبدیل مدل غیرقطعی به معادل قطعی، از یک رویکرد برنامه‌ریزی فازی محدودیت شانس، استفاده شده است. با توجه به اینکه مدل پیشنهادی یک مدل چندهدفه است، برای حل مدل مورد نظر از

پلاسم، پلاکت، گلبول سفید و قرمز با توجه به عمر محصولات و میزان تقاضای هر یک از این محصولات را توسعه داد. توسعه تابع هدف اجتماعی با در نظر گرفتن فرصت‌های شغلی متغیر در نتیجه جمع‌آوری، حمل‌ونقل و تست سلامت خون، رضایت شغلی کارکنان، روزهای از دست‌رفته کاری و توسعه منطقه در نتیجه بهبود شاخص سلامت و کاهش بیکاری از دیگر جهت‌های تحقیقات آتی مناسب خواهد بود. می‌توان امکان انتقال عرضی خون از بیمارستان‌های کوچکتر به بیمارستان‌های بزرگتر را بررسی نمود. این موضوع، از کمبود خون در بیمارستان‌های بزرگتر و اتلاف آن در بیمارستان‌های کوچکتر جلوگیری می‌کند. بررسی عدم قطعیت پارامترهای زیست‌محیطی و اجتماعی نیز می‌تواند برای تحقیقات آتی دنبال شود. استفاده از دیگر رویکردهای برخورد با عدم قطعیت مانند برنامه‌ریزی استوار و تصادفی و مقایسه نتایج با رویکرد فازی محدودیت شانس نیز می‌تواند در پژوهش‌های آتی استفاده شود. در نهایت، می‌توان از روش‌های ابتکاری و فراابتکاری جهت حل مدل پیشنهادی برای حل مسائل با ابعاد بزرگتر نظیر زنجیره تامین خون استان فارس و یا کل کشور استفاده نمود.

لازم به ذکر است این مطالعه نیز مانند هر مطالعه دیگری دارای محدودیت‌هایی است. نخست، داده‌های مدل پیشنهادی به‌طور کامل در دسترس نبودند، بنابراین برخی از داده‌ها به صورت غیرقطعی و به شکل فازی دوزنقه‌ای برآورد شده‌اند. همچنین مدل پیشنهادی فقط برای زمان عادی در زنجیره تامین خون کاربرد دارد، اما در شرایط فاجعه مانند سیل و زلزله که تقاضا به صورت چشمگیری افزایش می‌یابد، ممکن است کارایی بالایی نداشته باشد. در این پژوهش، بحث سازگاری گروه‌های خونی مطرح نشده است و در پژوهش‌های آتی بحث گروه‌های خونی می‌تواند مدل را به واقعیت نزدیک‌تر کند.

در پژوهش حاضر، توابع اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی در طراحی زنجیره تامین بررسی شد و برای پژوهش‌های آتی کمیته نمودن زمان‌های انتقال خون به‌عنوان تابع هدف چهارم پیشنهاد می‌شود. با توجه به این‌که خون از منابع کمیاب و حیاتی برای سیستم‌های سلامت است و عمر کوتاهی دارد، کمیته نمودن زمان انتقال می‌تواند میزان فساد خون را به حداقل برساند. برای پژوهش‌های آتی می‌توان یک مدل چندمحصولی با در نظر گرفتن دیگر فرآورده‌های خون نظیر

منابع (References)

- Nidhi, M.B., Chandran, A.G. and Pillai, V.M., 2013. Sustainability assessment of blood bag supply chain: A case study. In *2013 IEEE Global Humanitarian Technology Conference: South Asia*, pp.112-118. <https://doi.org/10.1109/GHTC-SAS.2013.6629899>.
- Beliën, J. and Forcé, H., 2012. Supply chain management of blood products: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 217(1), pp.1-16. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.05.026>.
- American Red Cross, 2014a. <http://www.redcrossblood.com>.
- Gunpinar, S. and Centeno, G., 2015. Stochastic integer programming models for reducing wastages and shortages of blood products at hospitals. *Computers and Operations Research*, 54, pp.129-141. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.08.017>.
- Delen, D., Erraguntla, M., Mayer, R.J. and Wu, C.N., 2011. Better management of blood supply-chain with GIS-based analytics. *Annals of Operations Research*, 185, pp.181-193. <https://doi.org/10.1007/s10479-009-0616-2>.
- Larimi, N.G. and Yaghoubi, S., 2019. A robust mathematical model for platelet supply chain considering social announcements and blood extraction technologies. *Computers and Industrial Engineering*, 137, p.106014. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106014>.
- <https://www.IBTO.ir>.
- Pishvaei, M.S., Razmi, J. and Torabi, S.A., 2012. Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: A new approach. *Fuzzy Sets and Systems*, 206, pp.1-20. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2012.04.010>.
- Riahi, N., Hosseini-Motlagh, S.M. and Teimourpour, B., 2013. A three-phase hybrid time's series modeling framework for improved hospital inventory demand forecast. *International Journal of Hospital Research*, 2(3), pp.133-142.
- Roshan, M., Tavakkoli-Moghaddam, R. and Rahimi, Y., 2019. A two-stage approach to agile pharmaceutical supply chain management with product substitutability in crises. *Computers and Chemical Engineering*, 127, pp.200-217. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.05.014>.
- World Health Organization. Blood safety and availability. Accessed in January, 2021, from.
- Torrado, A.S., and Barbosa-Póvoa, A., 2022. Towards an optimized and sustainable blood supply chain network under uncertainty: A Literature Review. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 3, p.100028. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100028>.
- 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*, 71, pp.236-250. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2018.03.004>.
- Heidari-Fathian, H. and Pasandideh, S.H.R., 2018. Green-blood supply chain network design: Robust optimization, bounded objective function and Lagrangian relaxation. *Computers and Industrial Engineering*, 122, pp.95-105. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.05.051>.
- Arani, M., Chan, Y., Liu, X. and Momenitabar, M., 2021. A lateral resupply blood supply chain network design under uncertainties. *Applied Mathematical Modelling*, 93, pp.165-187. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2020.12.010>.

16. Asadpour, M., Boyer, O. and Tavakkoli-Moghaddam, R., 2021. A blood supply chain network with backup facilities considering blood groups and expiration date: A real-world. application. *International Journal of Engineering*, 34(2), pp.470-479. <https://doi.org/10.5829/IJE.2021.34.02B.19>.
17. Eskandari, R. and Feili, H.R., 2021. Designing and solving location-routing-allocation problems in a sustainable blood supply Chain network of blood transport in uncertainty conditions. *International Journal of Innovation in Management, Economics and Social Sciences*, 1(4), pp.32-49. <https://doi.org/10.52547/ijimes.1.4.32>.
18. Ghahremani-Nahr, J., Kian, R., Sabet, E. and Akbari, V., 2022. A bi-objective blood supply chain model under uncertain donation, demand, capacity and cost: A robust possibilistic-necessity approach. *Operational Research*, 22(5), pp.4685-4723. <https://doi.org/10.1007/s12351-022-00710-4>.
19. Zarrinpoor, N., 2021. Designing a sustainable supply chain network for producing high-value products from waste glass. *Waste Management & Research*, 39(12), pp.1489-1500. <https://doi.org/10.1177/0734242X21994669>.
20. Tirkolaee, E. B., Golpira, H., Javanmardan, A. and Maihami, R., 2023. A socio-economic optimization model for blood supply chain network design during the COVID-19 pandemic: An interactive possibilistic programming approach for a real case study. *Socio-Economic Planning Sciences*, 85, p.101439. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101439>.
21. Mohammadian-Behbahani, Z., Jabbarzadeh, A. and Pishvae, M. S. 2021. A robust optimisation model for sustainable blood supply chain network design under uncertainty. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 31(4), pp.475-494. <https://doi.org/10.1504/IJISE.2019.099190>.
22. Mousavi, R., Salehi-Amiri, A., Zahedi, A. and Hajiaghahi-Keshteli, M., 2021. Designing a supply chain network for blood decomposition by utilizing social and environmental factor. *Computers and Industrial Engineering*, 160, p.107501. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107501>.
23. Van Zyl G.J.J., 1964. Inventory control for perishable commodities. Dissertation, University of North Carolina.
24. Nahmias, S., 1982. Perishable inventory theory: A review. *Operation Research*, 30(4), pp.680-708. <https://doi.org/10.1287/opre.30.4.680>.
25. Sha, Y. and Huang, J., 2012. The multi-period location-allocation problem of engineering emergency blood supply systems. *Systems Engineering Procedia*, 5, pp.21-28. <https://doi.org/10.1016/j.sepro.2012.04.004>.
26. 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*, 70, pp.225-244. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.06.003>.
27. Fereiduni, M. and Shahanaghi, K., 2016. A robust optimization model for blood supply chain in emergency situations. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 7(4), pp.535-554. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2016.5.002>.
28. 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*, 104, pp.69-82. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.06.004>.
29. Osorio, A.F., Brailsford, S.C. and Smith, H.K., 2018. Whole blood or apheresis donations? A multi-objective stochastic optimization approach. *European Journal of Operational Research*, 266(1), pp.193-204. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.09.005>.
30. Samani, M.R.G. and Hosseini-Motlagh, S.M., 2019. An enhanced procedure for managing blood supply chain under disruptions and uncertainties. *Annals of Operations Research*, 283(1), pp.1413-1462. <https://doi.org/10.1007/s10479-018-2873-4>.
31. Diabat, A., Jabbarzadeh, A. and Khosrojerdi, A., 2019. A perishable product supply chain network design problem with reliability and disruption considerations. *International Journal of Production Economics*, 212, pp.125-13. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.09.018>.
32. Rajendran, S. and Ravindran, A.R., 2019. Inventory management of platelets along blood supply chain to minimize wastage and shortage. *Computers & Industrial Engineering*, 130, pp.714-730. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.03.010>.
33. Salehi, F., Mahootchi, M. and Hussein, S.M.M., 2019. Developing a robust stochastic model for designing a blood supply chain network in a crisis: A possible earthquake in Tehran. *Annals of Operations Research*, 283(1-2), pp.679-703. <https://doi.org/10.1007/s10479-017-2533-0>.
34. Jemai, J., Do Chung, B. and Sarkar, B., 2020. Environmental effect for a complex green supply-chain management to control waste: A sustainable approach. *Journal of Cleaner Production*, 277, p.122919. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122919>.
35. Haghjoo, N., Tavakkoli-Moghaddam, R., Shahmoradi-Moghadam, H. and Rahimi, Y., 2020. Reliable blood supply chain network design with facility disruption: A real-world application. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 90, p.103493. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2020.103493>.
36. Hamdan, B., and Diabat, A., 2020. Robust design of blood supply chains under risk of disruptions using Lagrangian relaxation. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 134, 101764. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.08.005>.
37. Hosseini-Motlagh, S.M., Samani, M.R.G. and Homaei, S., 2020. Blood supply chain management: Robust optimization, disruption risk, and blood group compatibility (a real-life case). *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 11(3), pp.1085-1104. <https://doi.org/10.1007/s12652-019-01315-0>.
38. Ghahremani-Nahr, J., Nozari, H. and Bathaee, M., 2021. Robust box approach for blood supply Chain network design under uncertainty: Hybrid moth-flame op-

- timization and genetic algorithm. *International Journal of Innovation in Engineering*, 1(2), pp.40-62. <https://doi.org/10.52547/ijie.1.2.40>.
39. Shirazi, H., Kia, R. and Ghasemi, P., 2021. A stochastic bi-objective simulation-optimization model for plasma supply chain in case of COVID-19 outbreak. *Applied Soft Computing*, 112, p.107725. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107725>.
 40. Eslamipour, R. and Nobari, A., 2022. A reliable and sustainable design of supply chain in healthcare under uncertainty regarding environmental impacts. *Journal of Applied Research on Industrial Engineering*, 10(2), pp.256-272. <https://doi.org/10.22105/jarie.2022.335389.1461>.
 41. Khodaverdi, R., Shahbazi, M., Azar, A. and Fathi, M.R., 2022. A Robust Optimization Approach for Sustainable humanitarian supply chain management of blood products. *International Journal of Hospital Research*, 11(1). <https://doi.org/IJHR.2021.291256.1487>.
 42. Baghbani, B., 2022. A mixed integer programming optimization of blood plasma supply Chain in the uncertainty conditions during COVID-19: A real case in Iran. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2022, p.3783119. <https://doi.org/10.1155/2022/3783119>.
 43. Kohneh, J.N., Teymoury, E. and Pishvae, M.S., 2016. Blood products supply chain design considering disaster circumstances (Case study: Earthquake disaster in Tehran). *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 9(special issue on supply chain), pp.51-72.
 44. Salehi, F., Allahyari Emamzadeh, Y., Mirzapour, A.E., Hashem, S.M.J. and Shafiei Aghdam, R., 2021. An L-shaped method to solve a stochastic blood supply chain network design problem in a natural disaster. *Advances in Industrial Engineering*, 55(1), pp.47-68. <https://doi.org/10.22059/jieng.2021.325375.1776>.
 45. Oberkampf, W.L., DeLand, S.M., Rutherford, B.M., Diegert, K.V. and Alvin, K.F., 2002. Error and uncertainty in modeling and simulation. *Reliability Engineering and System Safety*, 75(3), pp.333-357. [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(01\)00120-X](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(01)00120-X).
 46. Zarrinpoor, N. and Pishvae, M.S., 2021. Designing a municipal solid waste management system under disruptions using an enhanced L-shaped method. *Journal of Cleaner Production*, 299, p.126672. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126672>.
 47. Pishvae, M.S., Rabbani, M. and Torabi, S.A., 2011. A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Applied Mathematical Modelling*, 35(2), pp.637-649. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2010.07.013>.
 48. Pishvae, M.S., and Khalaf, M.F., 2016. Novel robust fuzzy mathematical programming methods. *Applied Mathematical Modelling*, 40(1), pp.407-418. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2015.04.054>.
 49. Inuiguchi, M. and Ramik, J., 2000. Possibilistic linear programming: A brief review of fuzzy mathematical programming and a comparison with stochastic programming in portfolio selection problem. *Fuzzy Sets and Systems*, 111(1), pp.3-28. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(98\)00449-7](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(98)00449-7).
 50. Talaei, M., Moghaddam, B.F., Pishvae, M.S., Bozorgi-Amiri, A. and Gholamnejad, S., 2016. A robust fuzzy optimization model for carbon-efficient closed-loop supply chain network design problem: A numerical illustration in electronics industry. *Journal of Cleaner Production*, 113, pp.662-673. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.074>.
 51. Torabi, S.A. and Hassini, E., 2008. An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning. *Fuzzy Sets and Systems*, 159(2), pp.193-214. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2007.08.010>.
 52. <https://moba.shiraz.ir/ImageGallery/FCKUuploadedImages/58/file/Salname1400.pdf>
 53. <https://www.fars.ibto.ir>.
 54. Lai, Y.J. and Hwang, C. L., 1993. Possibilistic linear programming for managing interest rate risk. *Fuzzy Sets and Systems*, 54(2), pp.135-146. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(93\)90271-I](https://doi.org/10.1016/0165-0114(93)90271-I).
 55. Selim, H. and Ozkarahan, I., 2008. A supply chain distribution network design model: an interactive fuzzy goal programming-based solution approach. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36(3), pp.401-418. <https://doi.org/10.1007/s00170-006-0842-6>.
 56. Lai, Y.J. and Hwang, C.L., 1994. Fuzzy multiple objective decision making. In *Fuzzy multiple objective decision-making*, pp. 139-262. https://doi.org/10.1007/978-3-642-57949-3_3.