مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال نوزدهم، شماره سوم (پیاپی ۷۴)، پاییز ۰۱، ص ص ۸۸-۶۳
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

بهینه‌سازی شبکه زنجیره‌تامین خون با امکان ارسال جانبی

فاطمه معاشی ثانی[۱]، مصطفی حاجی‌آقایی کشتلی[۲]*، یوسف قلی پور کنعانی[۳]، فاطمه هرسج [۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، نور، مازندران، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه علم و فناوری مازندران، بهشهر، مازندران، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد قائمشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائمشهر، مازندران، ایران

۴- استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، نور، مازندران، ایران

رسید مقاله: ۹ آذر ۱۴۰۰

پذیرش مقاله: ۲۴ اردیبهشت ۱۴۰۱

چکیده

در این پژوهش مدلی جهت توسعه و بهینه‌سازی میزان درخواست خون بیمارستان‌ها، کاهش میزان کمبود و اتلاف خون و کاهش سطح موجودی باقیمانده در بیمارستان‌ها و نیز کمینه‌سازی زمان سیکل انتقال خون به مراکز درمانی در زنجیره‌تامین خون طراحی شد. این مدل شامل گروه‌های اهدایی، مراکز ثابت/ متحرک، مراکز بانک خون و بیمارستان‌ها می‌باشد. مدل پیشنهادی دو هدفه، سه سطحی و چند دوره‌ای و همچنین برای در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت مقدار تقاضا در بیمارستان‌ها به صورت فازی در نظر گرفته شده است. مساله بیان‌شده در این تحقیق، پارامترهایی همچون میزان عرضه خون، میزان تقاضا، ظرفیت هر یک از مراکز و هزینه‌های مرتبط در زنجیره‌تأمین خون و همچنین امکان ارسال جانبی فرآورده‌های خونی را در بر می‌گیرد. از این رو مدل طراحی‌شده از لحاظ پارامترهای مهم با رویکرد بهینه‌سازی ابتدا با روش محدودیت اپسیلون در اندازه کوچک و با مثال عددی به صورت دقیق در نرم‌افزار GAMS بررسی شد و سپس برای جستجوی راه حل بهینه پارتو در ابعاد بزرگ‌تر، از الگوریتم فراابتکاری NSGAII (الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب) استفاده شد که نتایج حل الگوریتم NSGAII نشان می‌دهد که بهتر از روش محدودیت اپسیلون عمل می‌کند.

کلمات کلیدی: زنجیره‌تامین خون، عدم قطعیت، الگوریتم فراابتکاری NSGAII، انتقال جانبی.

۱ مقدمه

زنجیره‌تامین خون در سیستم‌های سلامت، اهمیت بسیاری دارد [۱]. مدیریت زنجیره‌تامین در حوزه خدمات بهداشتی به‌خاطر انحرافات بیشتر، نسبت به صنایع دیگر پیچیده‌تر می‌باشد. علاوه برآن با محصولات، خدمات وفعالیت‌های پزشکی مختلفی سروکاردارد و همچنین، تقاضاهای غیرقابل پیش‌بینی، این مدیریت را بسیار مشکل می‌سازد [۲]. بنابراین حفظ تعادل و مدیریت زنجیره‌تامین خون بین ضایعات و کمبود واحدهای خون، هدف

* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: mostafahaji@mazust.ac.ir

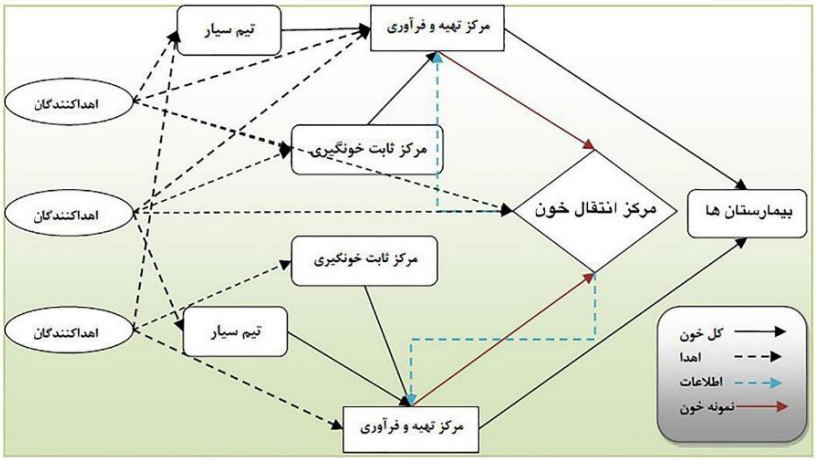
[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]

اصلی مدیریت موجودی در زنجیره‌های خون است. آنچه در برنامه‌ریزی برای زنجیره‌تامین خون حایز اهمیت است، تعادل بین عرضه و تقاضا در زنجیره است. تقاضای نامشخص و ماهیت فسادپذیری واحدهای خون می‌تواند منجر به افزایش ضایعات و کمبود آن شود [۳]. طبق گزارش سازمان جهانی بهداشت، سالانه در جهان، ۱۱۷/۴ میلیون اهدای خون و به‌تبع آن تزریق خون صورت می‌گیرد [۴]. بر اساس آمار اعلامی از سوی مدیرعامل سازمان انتقال خون ایران در حال حاضر دو میلیون و ۱۰۰ هزار اهدای خون در کشور وجود داشته که سالانه دو میلیون گلبول قرمز هم مصرف می‌شود و حدود ۷۰۰ هزار واحد پلاسما برای مراکز درمانی ارسال می‌گردد. همچنین حدود یک میلیون و۴۰۰ هزار واحد پلاکت در اختیار مراکز درمانی سراسر کشور قرار می‌گیرد [۵]. در حالی که مراکز انتقال خون، قابلیت توزیع میزان کمتری از عرضه را دارا می‌باشند [۶] و همچنین‌مساله موجودی خون دارای پیچیدگی‌هایی مانند خون تخصیص‌یافته و تخصیص‌نیافته است که منجر می‌گردد تا مدل های عمومی از تئوری محصولات فاسدشدنی به راحتی قابل اعمال در این زنجیره نباشند. بنابراین برای ارایه راهکارهای مناسب برای این مساله در زنجیره‌تامین خون که سبب بسیاری از ریسک‌ها از قبیل کمبود تجهیزات یا موجودی نامناسب خون هستند، نیاز به مدیریت و برنامه‌ریزی کارشناسانه دارد تا بتوان سیستم را هرچه بهتر بهبود بخشید[۷]. از یک سو کمبود خون برای بیماری که نیاز فوری به خون دارد غیرقابل تصور است و از سوی دیگر موجودی اضافی خون نیز منجر به تحمیل هزینه‌های غیرضروری به سیستم سلامت کشور می‌شود [۸]. بنابراین چالش میان دو هدف، نگهداری سطح بهینه موجودی جهت جلوگیری از کمبود و کمینه‌سازی ضایعات، همواره یکی از دغدغه‌های موجود در سازمان‌های انتقال خون به شمار می‌رود. در ضمن برای مواردی نظیر عمل جراحی قلب باز یا عمل های جراحی مربوط به نوزادان به‌علت برخی الزامات پزشکی باید حتما از فرآورده‌های خونی با تازگی زیاد استفاده شود [۹]. زنجیره جمع‌آوری خون معمولاً به شکل خون کامل جمع‌آوری و پس از طی فرآیندهایی روی آن، به اجزا مختلفی همچون گلبول، پلاکت، پلاسما و ... تبدیل می‌گردد. مدیریت کارآمد زنجیره‌تامین خون کمک می‌کند تا به طور مناسب به مشکلات ذکرشده رسیدگی شود [۱۰]. شبکه زنجیره‌تامین خون شامل مراکز ثابت و موقت/ متحرک و مراکز بانک خون می‌باشد. مراکز ثابت، مسئول جمع‌آوری خون با ظرفیت قابل توجه ذخیره‌سازی و فن‌آوری هستند [۱۱]. تأسیس این تسهیلات معمولاً نیازمند سرمایه‌گذاری زیادی است. از سوی دیگر، تسهیلات موقت با سطوح محدودتر ظرفیت، بسیار مقرون به صرفه بوده و در پوشش تقاضا و اهداکنندگان انعطاف‌پذیر می‌باشد. بنابراین، مراکز موقت، عمل اهدای خون را تسهیل کرده‌اند. خون فرآوری‌شده در مراکز بانک خون ذخیره می‌شود و مطابق تقاضای بیمارستان‌ها ارسال انجام می‌گردد و شبکه مورد مطالعه در این پژوهش به شرح شکل ۱ می‌باشد.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]



شکل ۱. نمایی از مساله مورد بررسی

۲ پیشینه تحقیق

در این بخش مروری بر مدل‌های پوشش در لجستیک امداد در ۱۰سال گذشته شده است. لازم به ذکر است برخی منابع مسایل مکان‌یابی اضطراری را شامل ۵ حوزه تجهیز، آمادگی، امداد، آتش نشانی و آمبولانس می‌دانند اما با توجه به تفاوت ماهیت دو حوزه آتش‌نشانی و آمبولانس که تکرار بیشتر و ریسک کم‌تری نسبت به وقوع بلایا دارند، در اینجا به فقط حوزه‌های تجهیز، آمادگی و امداد پرداخته شده است.

خون انسان ارزشمندترین ماده حیاتی برای بشر است و مصرف خون در طب دنیا و ایران، جایگاه والایی دارد. در هر سه ثانیه یک نفر در جهان، برای ادامه حیات به خون یا فرآورده‌های خونی نیاز دارند [۱۲]. در ضمن خون یکی از محصولات فاسدشدنی است بنابراین مساله مدیریت موجودی خون زیرمجموعه‌ای از مساله موجودی فاسدشدنی است. ناهیماس مدعی شده است که علاقه و انگیزه محققین به مسایل موجودی فاسدشدنی در ابتدا از مساله مدیریت بانک خون جرقه زده شده است [۱۳].

عاروان و توکلی مقدم [۱۴] یک مدل طراحی شبکه ارایه کردند که مکان‌یابی تسهیلات را با هدف حداقل کردن هزینه‌ها و زمان و در نظر گرفتن فسادپذیری بررسی می‌نماید و ارتباطات عرضی بین بیمارستان‌ها نیز در آن در نظرگرفته شده است در این مطالعه مراکز جمع‌آوری و مراکز خون مکان‌یابی شده‌اند و سپس تخصیص بیمارستان‌ها و مراکز صورت گرفته است. دهقانی و عباسی [۱۵] به ارایه یک مدل موجودی برای محصولات فسادپذیر با قابلیت کاربرد برای خون پرداختند. آنها یک سیاست انتقال عرضی برای محصولات فسادپذیر بر مبنای سن قدیمی‌ترین محصول برای بهبود عملکرد سیستم پیشنهاد دادند. همچنین از یک رویکرد ابتکاری با استفاده از معادلات دیفرانسیل جزیی برای محاسبه معیارهای عملکردی و هزینه بهره جستند.

حسینی مطلق و همکاران [۱۶] به توسعه مدل برنامه‌ریزی خطی ریاضی برای تحقق همزمان سه چالش انگیزه اهداکنندگان، بهینه‌سازی تصمیم‌گیری در خصوص موقعیت و ظرفیت تسهیلات و کنترل قابلیت اطمینان و پایداری زنجیره‌تامین خون پرداختند و در یک مطالعه موردی به کنترل عدم قطعیت و امکان اختلال اجرایی

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]

نمودند. حسینی و همکاران [۱۷] یک مدل برنامه‌نویسی تصادفی دومرحله‌ای که انتقال بین مراکز عرضه و تقاضا بر اساس شاخص ABO-RH بوده که با هدف حداقل‌رساندن هزینه کل زنجیره‌تامین شامل هزینه‌های ثابت، هزینه‌های عملیاتی، هزینه‌های نگهداری موجودی، هزینه‌های ضایعات و هزینه‌های حمل ونقل برای مدیریت زنجیره‌تامین گلبول‌های قرمز ارایه دادندکه این مدل با روش بهینه‌سازی استوار برای مقابله با عدم قطعیت پارامترها مربوط به تخصیص موقعیت مکانی تسهیلات و مدیریت موجودی را بهینه‌سازی می‌کند.

دریکوند و همکاران [۱۸] یک مدل برنامه‌نویسی تصادفی استوار را برای مساله توزیع موجودی در یک زنجیره‌تامین خون پیشنهاد کردند که هدف نخست، به حداقل رساندن تعداد کل کمبودها و ضایعات و هدف دوم ارتباط بین یک مرکز خون و دو تیپ بیمارستان و بیماران بود. آنها از روش ترکیبی محدودیت اپسیلون و آرام سازی لاگرانژ برای حل مدل پیشنهادی دوهدفه استفاده کردند. در انتها، این مدل با استفاده از داده‌های الهام گرفته از یک مطالعه موردی واقعی در ایران اجراشد تا کاربرد بالقوه آن را نشان دهد.

دودمان و امیری [۱۹] یک مدل دوهدفه با در نظر گرفتن انتقالات جانبی بین بیمارستان‌ها برای طراحی شبکه زنجیره‌تامین خون با هدف کاهش هزینه تاسیس تسهیلات ثابت و موقت، هزینه‌های انتقال فرآورده‌های خونی و حداقل کردن حداکثر میزان کمبود ارایه دادند و نتایج در مدل فازی به دلیل وجود آلفا-کات، انعطاف‌پذیرتر شده است.

از آنجایی که هیچ یک از این مقالات اولاً به‌طور همزمان بحث عدم قطعیت را در مدل‌های خود لحاظ نکرده‌اند و هر چه عدم اطمینان بیشتر شود، نیاز به تولید محصول بیشتری برای مواجه با عدم اطمینان می‌باشد [۲۰]؛ در نتیجه توجه به بهینه‌سازی در زنجیره‌تامین در شرایط عدم قطعیت یک مزیت رقابتی و منجربه کاهش هزینه‌های زنجیره‌تامین می‌گردد. ثانیا سیاست انتقال عرضی و امکان ارسال جانبی را در مساله طراحی شبکه چندسطحی و چنددوره‌ای به منظورکاهش هزینه‌ها (شامل هزینه‌های عملیاتی، نگهداری و موجودی و حمل ونقل) و کاهش زمان (شامل زمان‌های پردازش و حمل ونقل) که جزء مسایل استراتژیک محسوب می شود را در نظر نگرفته‌اند که تحقیق حاضر همزمان به همه‌ی این مسایل مطرح‌شده خواهد پرداخت. همچنین با استفاده از روش محدودیت اپسیلون و به‌وسیله نرم افزار گمز مساله حل شده است. با بررسی ادبیات زنجیره‌تامین خون، نوآوری‌های این تحقیق در طراحی و بهبود و توسعه یک مدل جامع طراحی زنجیره‌تامین خون با در نظر گرفتن همزمان زنجیره‌تامین چندسطحی و عدم قطعیت پارامترهایی مانند تقاضا، زمان حمل و نقل محصولات و هزینه‌های زنجیره‌تامین خون و در نتیجه حل مدل هم با روش حل دقیق و الگویتم فراابتکاری با در نظرگرفتن امکان ارسال جانبی در زنجیره‌تامین خون می‌باشد.

۳ بیان مساله

از آنجایی که بیمارستان‌ها فرآورده‌های خون را به آسیب دیدگان سوانح یا بیماران دارای عمل جراحی، بیماران نیازمند پیوند عضو، بیماران دارای سرطان خون یا سایر بیماری‌ها انتقال می‌دهند، تقاضا برای محصولات خون همواره وجود دارد و این تقاضا نمی‌تواند از قبل با قطعیت مشخص گردد. بنابراین داشتن یک سیستم بانک خون

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]

با موجودی کافی از خون تازه در دسترس یکی از مولفه‌های کلیدی در تمامی سیستم های سلامت در دنیا است [۲۱]. بر اساس مطالعه انجام‌شده بیشترین مرگ ثبت‌شده بر حسب فصول طبقه‌بندی بین المللی بیماری‌ها، مربوط به بیماری‌های گردش خون، سرطان، بیماری‌های تنفسی است که بخش اعظم درمان آن نیازمند تامین به موقع خون است [۲۲].

طبق گزارش منتشرشده توسط صلیب سرخ ایالات متحده آمریکا در شرایط عادی در هر دو ثانیه یک نفر نیاز به خدمت انتقال خون دارد. انتقال خون آمریکا برای ارایه خدمت روزانه به بیش از ۳۹۰۰۰ اهداکننده نیاز دارد و در اغلب گزارش‌ها نیز اعلام می‌شود که موجودی خون تا ۲ روز دیگر تمام می‌شود. در سال ۲۰۱۲ موجودی خون آمریکا به پایین‌ترین سطح ممکن در عرض ۱۵ سال گذشته رسید [۲۳].

در ایران در هر سه ثانیه یک بیمار نیاز به خون یا فرآوردهای خونی دارد. سازمان انتقال خون نیز سعی در تامین موجودی کافی برای شرایط عادی و اضطراری دارد، هر مرکز در انتقال خون ایران حداقل باید به اندازه مصرف پنج روز خون داشته باشد. بنابراین دسترس‌پذیری خون یکی از نیازمندی‌های کلیدی در این سازمان می‌باشد. مساله دسترس‌پذیری خون برای هر یک از گروه‌های خونی و فرآورده‌ها می‌تواند متفاوت باشد؛ به عنوان مثال در ایران در گروه‌های خونی منفی کمبود وجود دارد. چالش اصلی محصولات فاسدشدنی، در مدیریت موجودی و دسترس‌پذیری آن‌ها در مقابل اتلاف ناشی از منقضی‌شدن تاریخ آن است[۱].

نکته اساسی در زنجیره‌تامین خون از دیدگاه یک خدمت، مدیریت هزینه است. هزینه خون به صورت کلی وابسته به گام‌هایی است که برای تحویل واحد خون می‌بایست انجام شود، هرچه این گام‌ها بیشتر و پیچیده‌تر باشد، هزینه این خدمت نیز افزایش می‌یابد [۲۴]. در دنیا از جمله کشور آمریکا هزینه هر واحد گلبول قرمز خون در طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷ به میزان ۶/۴٪ افزایش داشته است که این مساله توجه به مصرف درست خون را افزایش می‌دهد. در بسیاری از کشورها، بیمارستان‌ها ۹۰٪ از هزینه خسارت خون‌های منقضی‌شده را پرداخت می‌کنند. در نتیجه بیشترین استرس و فشار هزینه برای بیمارستان‌ها است [۲۵]. در حالی که در ایران، خون و فرآورده‌های خونی به صورت رایگان میان بیمارستان‌ها توزیع می‌شوند و در نتیجه بیمارستان‌ها تعهدی نسبت به مدیریت بهینه مصرف خون ندارند البته بیمارستان‌ها هزینه خون تزریق‌شده به بیمار را در خدمت ارایه‌شده محسوب می‌کنند. در نتیجه بحث اتلاف خون و مدیریت هزینه ناشی از آن تبدیل به هزینه‌های پنهان در سازمان انتقال خون ایران شده است بنابراین طراحی یک زنجیره‌تامین مناسب برای تأمین خون موردنیاز، موضوعی است که باید به ضرورت به آن توجه داشت.

در این تحقیق، یک شبکه زنجیره‌تامین سه سطحی، چنددوره‌ای، متشکل از گروه‌های اهدایی، مراکز ثابت/ متحرک، مراکز بانک خون و بیمارستان‌ها جهت کمینه‌سازی هزینه‌های لجستیک خون و نیز کمینه‌سازی زمان دریافت تا انتقال خون به مراکز درمانی طراحی گردیده است.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]

٤ مدل ریاضی

در این قسمت به تعریف مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم پرداخته می‌شود و در ادامه مدل ارایه‌شده آورده می‌شود.

- **مفروضات مساله**

✓ بحث فعال شدن مراکز سیار اهدا خون به‌صورت عملیاتی در هر دوره در نظر گرفته شده است.

✓ تقاضای مناطق متقاضی تقسیم‌پذیر بوده و می‌تواند طی چند قسمت و از چند بیمارستان برآورده شود.

✓ جهت مواجـــه نشدن با فسادپذیری واحدهای خونی، مدیریت موجودی در نظر گرفته شده کـــه در این مساله به صورت FIFO می‌باشد.

✓ امکان اخـــتلال عملکـــرد مراکز ثابت و سیار اهدای خـــون و بیمارستان ها در نظر گرفته شده است و همچنین اگر در یکی از این تسهیلات مشـــکلی به وجود آمد، تسهیل به صورت‌کامل مختـــل‌شده و تمام موجودی آن از بین خواهد رفت.

✓ با توجه به این‌که در فضای دنیای واقعی مقادیر خون دریافت‌شده توسط هر منطقه در مراکز اهدای خون به دلیل عدم مواجهه با فسادپذیری در اسرع وقت به بانک‌های خون منتقل می‌شوند و امکان نگهداری واحدهای خونی در مراکز اهدای خون وجود ندارد، لذا در این مساله نیز نگهداری‌موجودی در مراکز اهدای خون در نظر گرفته نشده است.

✓ با توجه به این‌که در مورد فعال شدن مراکز سیار اهدای خون ممکن است تصمیم گیرندگان با محدودیت بودجه مواجه شوند، به همین دلیل در این مساله امکان انتخاب تعداد مکان قابل فعال شدن برای این مراکز در هردوره در نظر گرفته شده است.

✓ با توجه به فضای دنیای واقعی برای نگهداری واحدهای خونی در بانک های خون و بیمارستان‌ها ظرفیت محدود در نظر گرفته شده است.

✓ با توجه به ارزیـابی صـورت پذیرفتـه، برخی از عوامل مسـاله که در فضای دنیای واقعی ماهیتی غیرقطعی دارند به‌صورت فازی در نظر گرفته شده است.

- **اندیس‌ها**

I	اندیس مراکز اهداکننده خون
J	اندیس مراکز ثابت اهدای خون
K	اندیس مراکز سیار اهدای خون
L	اندیس بانک خون
M	اندیس بیمارستان
N	اندیس مناطق متقاضی خون
T	اندیس دوره زمانی
S	اندیس سناریو رخداد

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]

- **پارامترها**

a_{ij} هزینه جمع‌آوری خون از منطقه i توسط مرکز ثابت اهدای خون j

b_{ik} هزینه جمع‌آوری خون از منطقه i توسط مرکز سیار اهدای خون k

c_{jl} هزینه حمل و نقل خون از مرکز ثابت jبه بانک خون l

e_{kl} هزینه حمل و نقل خون از مرکز سیار k به بانک خون l

f_l هزینه نگهداری واحدهای خونی در بانک خون l

tc_{jl} مدت زمان حمل و نقل خون از مرکز ثابت jبه بانک خون l

te_{kl} مدت زمان حمل و نقل خون از مرکز سیار k به بانک خون l

tg_{lm} مدت زمان حمل و نقل خون از بانک خون l به بیمارستان m

tcc_{mn} مدت زمان حمل و نقل خون از بیمارستان m به مناطق متقاضی n

g_{lm} هزینه حمل و نقل واحدهای خونی از بانک خون l به بیمارستان m

cc_{mn} هزینه حمل و نقل واحدهای خون از بیمارستان m به مناطق متقاضی n

h_m هزینه نگهداری واحد خونی در بیمارستان m

r_n هزینه عدم خون‌رسانی به مراکز متقاضی منطقه n

p_k هزینه فعال‌شدن مرکز سیار اهدای خون k

d_{nt}^s تقاضای منطقه متقاضی n در دوره t تحت سناریو s

w_{ij} اگر منطقه اهداکننده خون i تحت پوشش مرکز ثابت j قرار بگیرد مقدار ۱ در غیر این صورت ۰

we_{ik} اگر منطقه اهداکننده خون i تحت پوشش مرکز سیار k قرار بگیرد مقدار ۱ در غیر این صورت ۰

v_{mn} اگر منطقه متقاضی n تحت پوشش بیمارستان m قرار بگیرد مقدار ۱ در غیر این صورت ۰

wh_{jt}^s اگر مرکزثابت اهدای خون J در دوره t تحت سناریو s دچار اختلال شود ۱ در غیر این صورت ۰

$whe^s{}_{kt}$ اگر مرکز سیار اهدای خون k در دوره t تحت سناریو s دچار اختلال شود ۱ در غیر این صورت ۰

bb_{mt}^s اگر بیمارستان m در دوره t تحت سناریو s دچار اختلال شود ۱ در غیر این صورت ۰

vv_j ظرفیت مرکز ثابت اهدای خون j

q_k ظرفیت مرکز سیار اهدای خون k

si_l ظرفیت نگهداری خون در بانک خون l

tt_m ظرفیت نگهداری واحد خونی در بیمارستان m

X درصد واحدهای خونی سالم پس از تصویه خون

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]

p_s	احتمال رخ داد سناریو s
O	تعداد مراکز سیار اهدای خون
M	عدد بزرگ
Γ	ضریب مجاز تأسف

- **متغیرهای تصمیم**

X_{kt}	اگر مرکز سیار اهدای خون k در دوره t فعال باشد ۱ در غیر این صورت ۰
xe^s_{ijt}	مقدار واحد خونی اهداشده از منطقه i به مرکز ثابت انتقال خون j در دوره t تحت سناریو s
ve^s_{ikt}	مقدار واحد خونی اهداشده از منطقه i به مرکز سیار انتقال خون k در دوره t تحت سناریو s
qq^s_{jlt}	مقدار واحد خونی حمل‌شده از مرکز ثابت j به بانک خون l در دوره t در سناریو s
y^s_{klt}	مقدار واحد خونی حمل‌شده از مرکز سیار k به بانک خون l در دوره t در سناریو s
tet^s_{lmt}	مقدار واحد خونی حمل‌شده از بانک خون l به بیمارستان m در دوره t در سناریو s
qe^s_{mnt}	مقدار واحد خونی حمل‌شده از بیمارستان m به مراکز متقاضی n در دوره t در سناریو s
u^s_{nt}	مقدار کسری خون به مناطق متقاضی n در دوره t تحت سناریو s
ws^s_{lt}	مقدار موجودی واحدهای خونی در بانک خون l در دوره t تحت سناریو s
ys^s_{mt}	مقدار موجودی واحدهای خونی در بیمارستان m در دوره t تحت سناریو s
xye^s_{jlt}	اگر واحد خونی اهداشده از مرکز ثابت انتقال خون j به بانک خون l در دوره t تحت سناریو s برود ۱ در غیر این صورت ۰
vye^s_{klt}	اگر واحد خونی اهداشده از مرکز سیار انتقال خون k به بانک خون l در دوره t تحت سناریو s برود ۱ در غیر این صورت ۰
tyt^s_{lmt}	اگر واحد خونی از بانک خون l به بیمارستان m در دوره t تحت سناریو s برود ۱ در غیر این صورت ۰
qy^s_{mnt}	اگر واحد خونی از بیمارستان m به مراکز متقاضی n در دوره t تحت سناریو s برود ۱ در غیر این صورت ۰

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]

- **تابع هدف**

$$
\begin{aligned}
&min\ \ z_{۱} = \Gamma * (max(z_s - z_s^*)) + (۱-\Gamma) \\
&*(\sum_s p_s * \sum_i \sum_j \sum_t \tilde{a}_{ij} * xe_{ijt}^{\ s} + \sum_i \sum_k \sum_t \tilde{b}_{ik} * ve_{ikt}^{\ s} \\
&+\sum_j \sum_l \sum_t \tilde{c}_{jl} * qq_{ijt}^{\ s} + \sum_k \sum_l \sum_t \tilde{e}_{kl} * y_{klt}^{\ s} + \sum_l \sum_t \tilde{f}_l * ws_{lt}^{\ s} \\
&+\sum_l \sum_m \sum_t \tilde{g}_{lm} * tet_{lmt}^{\ s} + \sum_m \sum_t cc_{mn} * qe_{mnt}^{\ s} + \sum_m \sum_t \tilde{h}_m * ys_{mt}^{\ s} + \sum_n \sum_t \tilde{r}_n * u_{nt}^{\ s}) \\
&+\sum_k \sum_t \tilde{p}_k * X_{kt}
\end{aligned}
\qquad (۱)
$$

$$
\begin{aligned}
Z_S = &(\sum_i \sum_j \sum_t \tilde{a}_{ij} * xe_{ijt}^{\ s} + \sum_i \sum_k \sum_t \tilde{b}_{ik} * ve_{ikt}^{\ s} \\
&+\sum_j \sum_l \sum_t \tilde{c}_{jl} * qq_{ijt}^{\ s} + \sum_k \sum_l \sum_t \tilde{e}_{kl} * y_{klt}^{\ s} + \sum_l \sum_t \tilde{f}_l * ws_{lt}^{\ s} \\
&+\sum_l \sum_m \sum_t \tilde{g}_{lm} * tet_{lmt}^{\ s} + \sum_m \sum_t cc_{mn} * qe_{mnt}^{s} + \sum_m \sum_t \tilde{h}_m * ys_{mt}^{\ s} + \sum_n \sum_t \tilde{r}_n * u_{nt}^{\ s}) \\
&+\sum_k \sum_t \tilde{p}_k * X_{kt}
\end{aligned}
\qquad (۲)
$$

$$
\begin{aligned}
min\ \ z_{۲} = &\sum_s p_s * (\sum_j \sum_l \sum_t tc_{jl} * xye_{jlt}^{s} + \sum_k \sum_l \sum_t te_{kl} * vye_{klt}^{s} \\
&+\sum_l \sum_m \sum_t tg_{lm} * tyt_{lmt}^{s} + \sum_m \sum_n \sum_t tcc_{mn} * qy_{mnt}^{s})
\end{aligned}
\qquad (۳)
$$

s.t.

$$xe_{ijt}^{s} \le M * (wh_{jt}^{s} * w_{ij}) \qquad \forall i, j, t, s \qquad (۴)$$

$$ve_{ikt}^{s} \le M * (whe_{kt}^{s} * X_{kt} * we_{ik}) \qquad \forall i, k, t, s \qquad (۵)$$

$$\sum_i xe_{ijt}^{s} \le vv_j \qquad \forall j, t, s \qquad (۶)$$

$$\sum_i ve_{ikt}^{s} \le q_k \qquad \forall k, t, s \qquad (۷)$$

$$\sum_j qq_{jlt}^{s} = \sum_i xe_{ijt}^{s} \qquad \forall j, t, s \qquad (۸)$$

$$\sum_l y_{klt}^{s} = \sum_i ve_{ikt}^{s} \qquad \forall k, t, s \qquad (۹)$$

$$\sum_j qq_{jlt}^{s} + \sum_k y_{klt}^{s} \le si_l \qquad \forall l, t, s \qquad (۱۰)$$

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]

$$ws^s_{lt-1} + \sum_j qq^s_{jlt} + \sum_k y^s_{klt} - X\sum_m tet^s_{lmt} = ws^s_{lt} \qquad \forall l,t,s \qquad (11)$$

$$ws^s_{lt} \le si_l \qquad \forall l,t,s \qquad (12)$$

$$\sum_l tet^s_{tmt} \le tt_m * bb^s_{mt} \qquad \forall m,t,s \qquad (13)$$

$$ys^s_{mt-1} + X\sum_l tet^s_{lmt} - \sum_n qe^s_{mnt} = ys^s_{mt} \qquad \forall m,t,s \qquad (14)$$

$$ys^s_{mt} \le tt_m * bb^s_{mt} \qquad \forall m,t,s \qquad (15)$$

$$qe^s_{mnt} \le M * (bb^s_{mt} * v_{mn}) \qquad \forall m,n,t,s \qquad (16)$$

$$d^s_{nt} - \sum_m qe^s_{mnt} = u^s_{nt} \qquad \forall n,t,s \qquad (17)$$

$$\sum_k X_{kt} \le 0 \qquad \forall kt,s \qquad (18)$$

$$qq^s_{jlt} \le M * xye^s_{jlt} \qquad \forall j,l,t,s \qquad (19)$$

$$y^s_{klt} \le M * vye^s_{klt} \qquad \forall k,l,t$$

$$tet^s_{lmt} \le M * tyt^s_{lmtl} \qquad \forall l,m,t,s$$

$$qe^s_{mnt} \le M * qy^s_{mnt} \qquad \forall m,n,t,s$$

$$xe^s_{ijt}, ve^s_{ikt}, qq^s_{jlt}, y^s_{klt}, tet^s_{lmtl}, qe^s_{mnt}, u^s_{nt}, ws^s_{lt}, ys^s_{mt} \ge 0 \qquad (20)$$

- **تشریح توابع هدف و محدودیت‌ها**

رابطه (۱) تابع هدف اول مساله را نشان می‌دهد که کمینه‌سازی حداکثر تاسف یا حالت واقع بینانه(بخش اول) امید ریاضی کلیه سناریوها و حالت دوم بدبینانه (بخش دوم) می‌باشد. رابطه (۲) بخش دوم این تابع هدف را نشان می‌دهد که شامل هزینه‌های حمل و نقل خون از مراکز ثابت و سیار خون به بانک خون و هزینه‌های انتقال از بانک خون به بیمارستان‌ها و از بیمارستان ها به مناطق متقاضی می‌باشد و هزینه‌های نگهداری موجودی در بانک خون و بیمارستان‌ها و هزینه کسری موجودی در مناطق متقاضی است. رابطه (۳) تابع هدف دوم مساله را نشان می‌دهد که کمینه‌سازی زمان انتقال خون از مراکز ثابت و سیار خون به بانک خون و از بانک خون به بیمارستان‌ها و از بیمارستان‌ها به مناطق متقاضی می‌باشد. محدودیت(۴) تضمین می‌کند تا مقدار واحد خونی دریافت‌شده از منطقه i توسط مرکز ثابت اهدایی j پشتیبانی شود. محدودیت (۵) تضمین می کند که مقدار خون دریافتی توسط مراکز سیار توسط مراکز سیار حمایت‌شده و آن مرکز سیار بازگشایی‌شده باشد. محدودیت (۶) تضمین می‌کند مقدار خون دریافت‌شده از هر منطقه i توسط مراکز ثابت کمتر از ظرفیت آن مراکز باشد.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]

محدودیت (۷) تضمین می‌کند مقدار خون دریافت شده از هر منطقه i توسط مراکز سیار کمتر از ظرفیت آن مراکز باشد. محدودیت (۸) تضمین می‌کند مقدار خون جمع‌آوری‌شده از تمام نواحی i توسط مراکز ثابت اهدا در هر دوره از مراکز ثابت به بانک‌های خونی ارسال می‌شود. محدودیت (۹) تضمین می‌کند مقدار خون جمع‌آوری‌شده از تمام نواحی i توسط مراکز سیار اهدا در هر دوره از مراکز سیار به بانک‌های خونی ارسال می‌شود. محدودیت (۱۰) تضمین می‌کند که خون های جمع‌آوری شده از سوی مراکز ثابت و سیاری که به بانک خون می‌رسد از ظرفیت آن کمتر باشد.

محدودیت (۱۱) تضمین می‌کند موجودی خون بانک خون در هر دوره مساوی موجودی دوره قبل و مقدار خون دریافت‌شده از مراکز ثابت و سیار و مقدار خون ارسال‌شده به بیمارستان‌ها می‌باشد. محدودیت (۱۲) تضمین می‌کند مقدار خون موجود در بانک خون از ظرفیت بانک خون کمتر باشد. محدودیت (۱۳) تضمین می‌کند مقدار خون حمل‌شده به هر بیمارستان در صورت دچار اختلال نشدن بایستی کمتر از ظرفیت بیمارستان باشد. محدودیت (۱۴) بیان می‌کند موجودی بیمارستان ها در هر دوره حاصل جمع موجودی دوره قبل و مقدار خون سالم مانده کسر مقدار خون ارسال شده به مناطق متقاضی است.

محدودیت (۱۵) بیان می‌کند که نگهداری موجودی در بیمارستان بایستی کمتر از ظرفیت بیمارستان باشد. محدودیت (۱۶) بیان می‌کند شرط دریافت خون توسط مناطق متقاضی از هر بیمارستان این است که مناطق تحت حمایت بیمارستان باشند. محدودیت (۱۷) میزان کسری خون در مناطق متقاضی را بیان می‌کند. محدودیت (۱۸) بیان می‌کند تعداد مراکز سیار بیشتر از حد مجاز نباشد. محدودیت (۱۹) و (۲۰) بیان می‌کند که خون از مراکز ثابت و سیار خون به بانک خون انتقال یابد مسیر تشکیل شود.

- **سنجش صحت و اعتبار مدل**

برای آزمودن صحت و اعتبار مدل پیشنهادی، یک مساله با ابعاد کوچک توسط نرم افزار گمز حل شد و سپس با یک نمونه حل عددی مدل پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به سوالات و مفروضات مدل‌سازی، یک مدل ریاضی MINLP در شرایط عدم قطعیت فازی جهت لجستیک خونی معرفی و توسعه داده شد. با توجه به غیرخطی بودن مدل ریاضی با استفاده ازروش محدودیت اپسیلون مدل خطی‌سازی شد. همچنین مدل ریاضی زنجیره‌تامین از لحاظ پارامترهای مهم بررسی و جهت بهینه‌سازی مدل ریاضی به ارزیابی حساسیت اثرگذار در زمان انتقال فرآورده‌های خونی پرداخته و در هر مرحله بررسی شد که چه میزان بهبود در مدل ایجاد گردید.

- **صحه‌گذاری مدل ریاضی**

در این بخش با توجه به اهداف در نظرگرفته‌شده در مدل ریاضی که کمینه‌سازی هزینه و کمینه‌سازی زمان‌بندی توزیع بود، لذا در بخش اول ورودی‌های مدل ریاضی با استفاده از جمع‌آوری اطلاعات در مناطق ۱۰ گانه در استان مازندران جمع‌آوری شد و سپس بر اساس مدل‌سازی ریاضی به ارزیابی حل مساله مورد مطالعه پرداخته شد.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]

۵ روش حل

در ارزیابی مساله مورد مطالعه تعداد مراکز اهداکننده خون را در ۱۰ نقطه در ۵ منطقه استان مازندران شناسایی و سپس مراکز اهداکننده خون بر اساس بررسی‌های انجام‌شده در شهر مازندران ۴ مرکز با نام‌های چالوس، آمل، بابل و ساری انتخاب شدند و بر اساس مراکز اهدای خون معرفی‌شده در سطح شهر ۵ مرکز سیار اختصاص‌داده شد که با استفاده از اتوبوس‌های سیار به عمل دریافت خون از اهداکنندگان کمک کند.

در تحلیل صورت پذیرفته ۳ بانک خون در سطح شهر شناسایی شدند که وظیفه نگهداری و انتقال خون را پس از ارزیابی سلامت خون بر عهده دارند و تعداد بیمارستان‌هایی که خون‌های سالم را به مناطق و درمانگاه‌ها توزیع می‌کند نیز ۳ بیمارستان در نظر گرفته شد. درمانگاه‌ها و کلینیک‌های خصوصی متقاضی خون و فرآورده‌های آن را ۱۰ مرکز در سطح شهر مازندران در نظر گرفته و بر اساس این ۱۰ مرکز سطح مدیریت زنجیره‌تامین در سه دوره زمانی و در دو سناریوی وضعیت عادی و وضعیت غیرعادی مدل‌سازی و حل شد. با توجه به ورودی‌های مساله مورد مطالعه، برای بررسی کارایی مدل ابتدا آن را در محیط گمز به صورت خطی کدنویسی کرده و سپس مساله‌ی مورد بررسی را با روش محدودیت اپسیلون حل و با توجه به غیرخطی بودن مدل ریاضی در ابعاد بزرگ‌تر با استفاده از الگوریتم فراابتکاری مدل حل شد.

به منظور حل و ارزیابی مساله از الگوریتم فراابتکاری NSGAII با رمزگذاری مبتنی بر اولویت استفاده شد. از این رو در ابتدا به ارایه جواب اولیه به کار رفته در حل مساله و عملگرهای الگوریتم فراابتکاری و در انتها نیز به تنظیم پارامتر الگوریتم ژنتیک چندهدفه با رویکرد مرتب‌سازی نامغلوب با روش تاگوچی پرداخته شد.

الف) بهینه‌سازی مبتنی بر روش محدودیت اپسیلون

مدل محدودیت اپسیلون تقویت‌شده مطابق رابطه (۲۱) نمایش داده شده است:

$$Min/Max(f_1(x)+\theta*(s_2/r_2+s_3/r_3+...+s_i/r_i+...+s_n/r_n)) \quad (۲۱)$$

$$s.t.$$

$$f_2(x)-s_2=\varepsilon_2$$

$$f_3(x)-s_3=\varepsilon_3$$

$$...,$$

$$i\in[2,n]$$

$$s_i\in R^+$$

طبق رابطه فوق راه حل‌های بهینه پارتو به‌دست می‌آیند که در آن r_i دامنه تابع هدف i ام ، ϑ یک عدد کوچک بین ۰.۰۰۰۰۰۱ تا ۰.۰۰۱. و s_i یک متغیر اضافی غیرمنفی هستند. ابتدا مقدار NIS_{f_i} (بدترین مقدار) و PIS_{f_i} (بهترین مقدار) برای هر تابع هدف به‌دست آورده می‌شوند، سپس مقدار دامنه تابع هدف i ام طبق رابطه (۲۲) محاسبه می‌شود:

$$r_i=PIS_{f_i}-NIS_{f_i} \quad (۲۲)$$

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]

بعد از آن r_i به بازه‌های برابر l_i تقسیم می‌شود. سپس $l_i + ۱$ نقطه به‌دست آورده می‌شوند که طبق رابطه زیر مقدار اپسیلون‌ها بر اساس این نقاط (Grid point) به‌دست آورده می‌شود. در این روش به ازای تمام اپسیلون‌های به‌دست آمده مدل باید حل شود که طبق رابطه (۲۳) η شماره نقاط (Grid point) به‌دست آمده است.

$$\varepsilon_i^{\eta} = NIS_{f_i} + r_i / l_i * \eta \qquad (۲۳)$$

حال پس از کدنویسی در گمز ابتدا نتایج به‌دست آمده به صورت جدول ۱ ارایه می‌شود، درنهایت مقادیر زیر برای هریک از متغیرها به‌دست آمده است:

جدول ۱. مقادیر اپسیلون

r_2	۱۰۳۵
L_i	۱۰
NIS_2	۰
$PISF_2$	۱۰۳۵
ϑ	۰/۰۰۰۱

مقدار اپسیلون‌ها در جدول ۲ نمایش داده شده است.

جدول ۲. مقادیر اپسیلون برای هر تابع هدف

شماره تابع هدف	ε_i
۱	۱۰۳/۵
۲	۲۰۷
۳	۳۱۰/۵
۴	۴۱۴
۵	۵۱۷/۵
۶	۶۲۱
۷	۷۲۴/۵
۸	۸۲۸
۹	۹۳۱/۵
۱۰	۱۰۳۵

در نهایت مدل اپسیلون تقویت‌شده با استفاده از نرم افزار گمز برای هر یک از اپسیلون‌های به‌دست آمده حل شد. مجموعه جواب‌های بهینه پارتو به‌دست آمده مطابق جدول ۳ است:

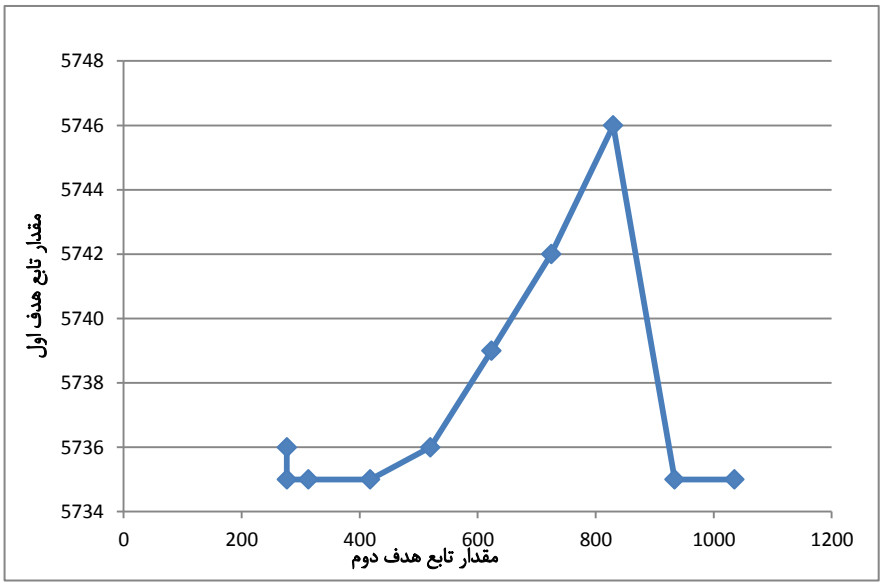
[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]

جدول ۳. مقادیر بهینه تابع اهداف

ε_i	میزان تابع هدف اول (میلیاردتومان)	میزان تابع هدف دوم
۱	۵۷۳۶	۲۷۶/۶۴۰
۲	۵۷۳۵	۲۷۶/۶۴۰
۳	۵۷۳۵	۳۱۳/۴۰
۴	۵۷۳۵	۴۱۷/۹۲۰
۵	۵۷۳۶	۵۱۹/۹۲۰
۶	۵۷۳۹	۶۲۳/۴۸۰
۷	۵۷۴۲	۷۲۴/۷۲۰
۸	۵۷۴۶	۸۲۹/۶۰۰
۹	۵۷۳۵	۹۳۳/۸۴۰
۱۰	۵۷۳۵	۱۰۳۵

شکل ۲ نشان می‌دهد روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده، جواب‌های بهینه کارآمد پارتو را ارایه می‌کند. در این روش یکی از توابع هدف به عنوان تابع هدف اصلی در نظر گرفته می‌شود تا بهینه‌سازی شود در حالی که تابع هدف دیگر به عنوان محدودیت در مدل قرار می‌گیرد. پس از کدنویسی در گمز در نهایت مدل اپسیلون تقویت‌شده با استفاده از نرم‌افزار گمز برای هر یک از اپسیلون‌ها به‌دست آمده حل شد.



شکل ۲. جبهه پارتوی جواب‌های بهینه

ب)بهینه‌سازی مبتنی بر الگوریتم فراابتکاری NSGAII

مسایل طراحی زنجیره‌تامین با زیرمسایلی همچون مکانیابی تسهیلات، تعیین اندازه ظرفیت و ... در حوزه مسایل NP_hard قرار می‌گیرند و به‌علت زمان‌بر بودن حل این مدل با روش‌های دقیق و نیز اهمیت یافتن پاسخ بهینه این

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]

مسایل به جهت کاهش قابل توجه‌ای که در هزینه‌ها دارد محققان ترغیب شدند تا برای حل این مسایل از رویکردهای مختلفی مانند الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده کنند [۲۶].

در این پژوهش به دلیل این‌که روش‌های دقیق درشرایط فوق قادر به پیداکردن جواب بهینه در زمان قابل قبولی نیستند، مدل با الگوریتم ژنتیک چندهدفه با رویکرد مرتب‌سازی نامغلوب NSGAII[1] حل شده است و از رمزگشایی جدید مبتنی بر اولویت استفاده‌شده است. در ادامه ابتدا تعریف یک جواب (کروموزوم در الگوریتم ژنتیک)، نحوه رمزگذاری و نحوه رمزگشایی مبتنی بر اولویت تشریح می‌گردد.

- **کروموزوم اولیه**

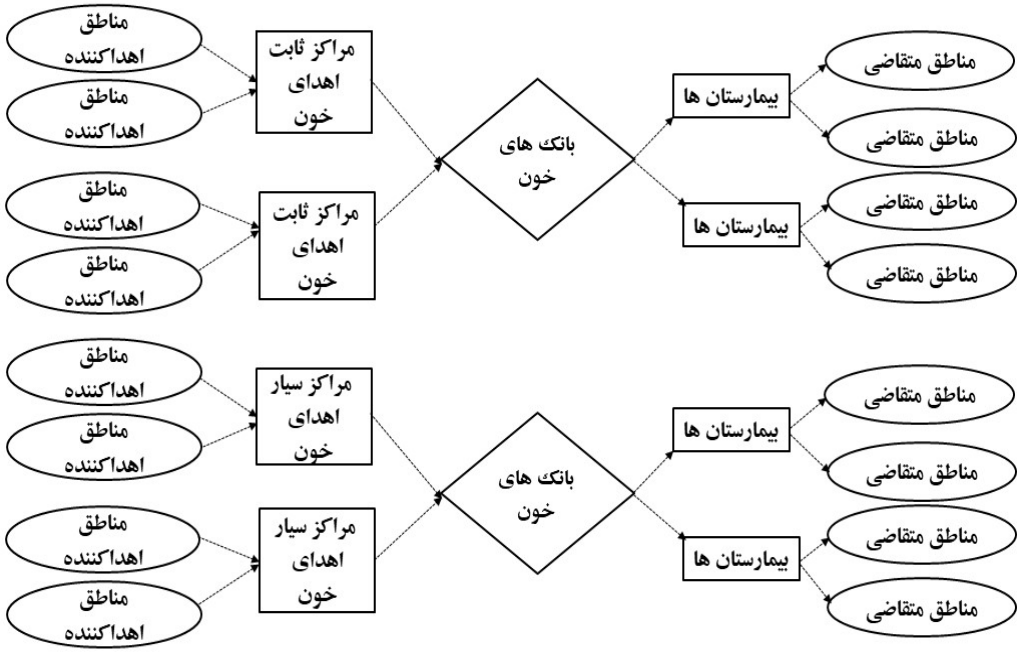
در این پژوهش با توجه به پیچیدگی بالای مدل پیشنهادی، از رمزگشایی جدید مبتنی بر اولویت استفاده شده است. این رمزگذاری بر اساس یک جایگشت از اعداد طبیعی به طول تعداد گره‌های هر سطح می‌باشد. شکل ۳ رمزگذاری مبتنی بر اولویت اصلاح‌شده را برای یکی از سطوح شبکه با ۳ مرکز اهدای خون و ۴ بانک خون نشان می‌دهد. نحوه رمزگشایی و رمزگذاری دریکی از سطوح شبکه زنجیره‌تامین خون با ۳ مرکز اهدای خون و ۴ بانک خون نشان داده شده است، رمزگذاری بر اساس یک جایگشت از تعداد گره‌ها می‌باشد که در شکل ۳ به‌صورت (۶-۱-۴-۷-۳-۵-۲) نشان داده‌شده است که اولویت‌های (۶-۱-۴-۷) مربوط به بانک خون و (۳-۵-۲) مربوط به مراکز اهدای خون می‌باشد. برای رمزگشایی دو مرحله‌ای زیر بایستی طی شود:

مرحله ۱- ابتدا بزرگ‌ترین اولویت از بین مراکز اهدای خون انتخاب‌شده (اولویت ۵ مربوط به مرکز اهدا کننده دوم) و درصورتی‌که این مرکز بتواند همه تقاضای بانک خون را پاسخ دهد، اولویت بقیه مراکز اهدای خون به مقدار صفر کاهش پیدا می‌کند. شکل ۳ نشان می‌دهد ظرفیت مرکز اهدای کننده ۲ برابر با ۹۵۰ می‌باشد، درصورتی‌که مجموع تقاضای بانک خون برابر ۱۳۰۰ است. در این صورت مرکز اهداکننده بعدی با بزرگ‌ترین اولویت بعدی (اولویت ۳ مربوط به مرکز اهدا کننده سوم) انتخاب می‌شود. حال مجموع ظرفیت دو مرکز اهدا (مقدار ۱۶۵۰) بزرگ‌تر از مجموع تقاضای بانک خون (مقدار ۱۳۰۰) می‌باشد. در این صورت تنها اولویت مرکز اهدا کننده اول به صفر کاهش پیدا خواهد کرد.

1 Non dominated Sorting Genetic Algorithm-II

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]



شکل ۳. نحوه رمزگذاری و رمزگشایی مبتنی بر اولویت اصلاح‌شده

مرحله ۲- پس از تعیین تعداد و مکان مراکز اهداکننده بالقوه، تخصیص بهینه بین مراکز اهداکننده انتخاب‌شده و بانک خون صورت می‌گیرد. در این مرحله نیز بزرگ‌ترین اولویت (اولویت ۷ مربوط به بانک خون اول) انتخاب‌شده و کم‌ترین هزینه حمل‌ونقل مربوط به این بانک خون انتخاب‌شده از مرحله اول شناسایی می‌شود (مرکز اهدا کننده سوم با هزینه ۱۵) و حداقل مقدار ظرفیت مرکز اهدا کننده انتخاب‌شده و بانک خون تعیین‌شده به‌عنوان مقدار بهینه تخصیص مشخص می‌شود. پس از به‌روزرسانی ظرفیت باقیمانده و یا تقاضای برآورده نشده، مقدار اولویت به صفر کاهش می‌یابد. تا زمانی که مقدار همه اولویت‌ها به صفر کاهش نیافته، مرحله دوم تکرار می‌شود.

٦ تنظیم پارامترهای الگوریتم NSGAII

گام اول در هر تکرار از الگوریتم ژنتیک پس از ایجاد جمعیت اولیه، ارزیابی خطاهای راه حل‌های تولید شده و دومین گام، به‌روزرسانی جمعیت است که شامل سه فاز باز ترکیبی، ترکیب و جهش، که به ترتیب Pr، Pc، Pm درصد از نسل بعد را ایجاد می‌کنند. این دو گام به‌صورت تکراری تا زمان شرط خاتمه الگوریتم پی در پی اجرا می‌شوند [۲۷]. برای تنظیم پارامتر از متغیر پاسخ استفاده‌شده است. این متغیر پاسخ ترکیبی از ۵ معیار ارایه‌شده می‌باشد و مقدار آن با استفاده از رابطه (۲۴) محاسبه می‌شود. با توجه به این‌که معیارها دارای اهمیت یکسانی نیستند، ضرایب وزنی به‌کاررفته برای آن‌ها تعیین می‌شود.

$$R_i = (w_1 * \overline{NPF}_1 + w_2 * \overline{MSI}_2 + w_3 * \overline{SM}_3 + w_4 * \overline{CPU - Time}) / (w_1 + w_2 + w_3 + w_4) \qquad (۲۴)$$

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]

عوامل و سطح عامل به‌کاررفته برای الگوریتم NSGAII مطابق جدول ۴ تعریف‌شده است:

جدول ٤. سطوح عامل استفاده‌شده برای الگوریتم NSGAII

پارامترها	سطوح عامل‌ها		
	۱	۲	۳
nPop	۵۰	۷۰	۱۰۰
Pc	۰/۲	۰/۵	۰/۸
Pm	۰/۲	۰/۳	۰/۴

با مراجعه به جدول استاندارد آرایه‌های متعامد درروش تاگوچی و با استفاده از نرم‌افزار Minitab، آرایه‌های متعامد $L_9(34)$ به‌عنوان مناسب‌ترین طرح برای مدل‌های سه تا شش انتخاب می‌شود. آرایه‌های متعامد این طرح در جدول ۵ نشان داده‌شده است.

جدول ۵. آرایه‌های متعامد L9(33) برای الگوریتم NSGAII

شماره آزمایش	nPop	Pc	Pm
۱	۱	۱	۱
۲	۱	۲	۲
۳	۱	۳	۳
۴	۲	۱	۲
۵	۲	۲	۳
۶	۲	۳	۱
۷	۳	۱	۳
۸	۳	۲	۱
۹	۳	۳	۲

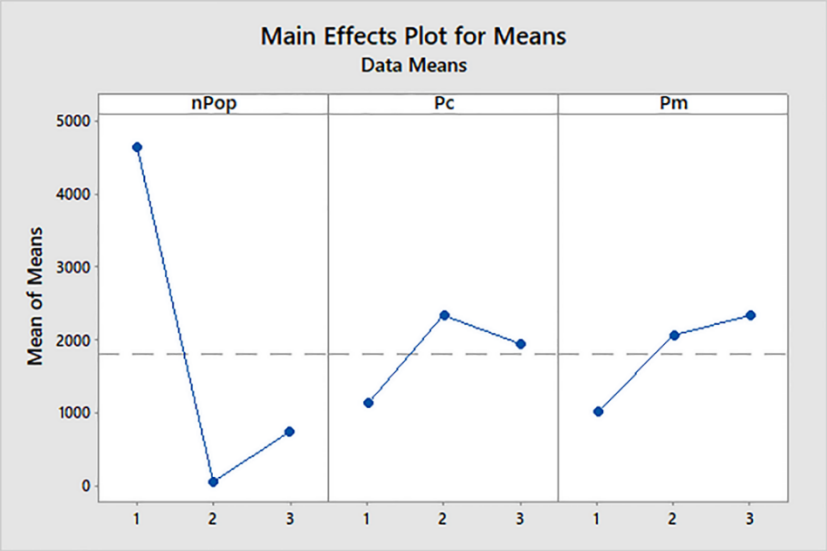
ازآنجایی‌که مقدار R_i در هر مساله متفاوت بوده و به‌طور مستقیم قابل‌استفاده نمی‌باشد از درصد انحراف نسبی (RPD) فرمول (۲۵) برای هر مساله استفاده می‌شود.

$$RPD = (\mathrm{Alg}_{sol} - MIN_{sol}) * ۱۰۰ / (MIN_{sol}) \qquad (۲۵)$$

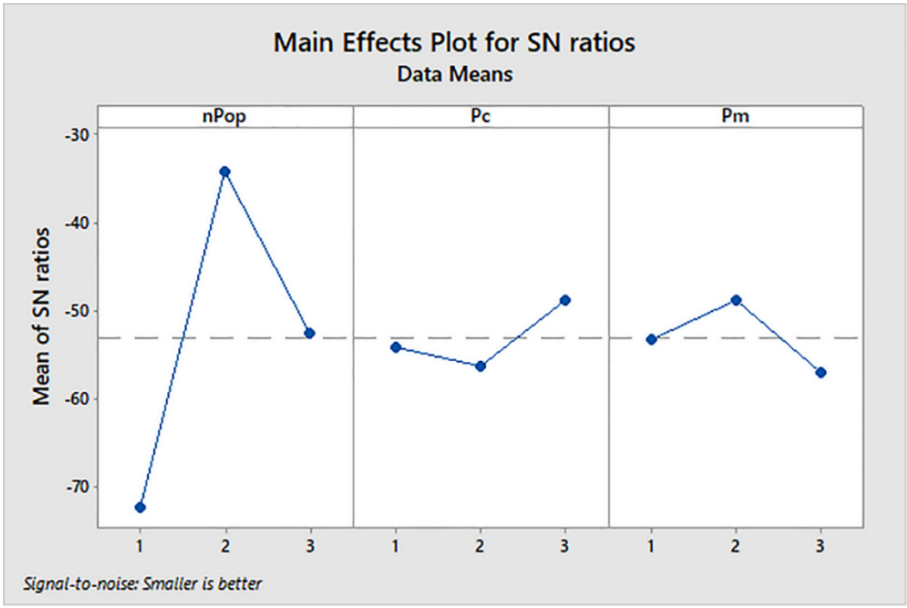
در رابطه‌ی بالا Alg_{sol} و Min_{sol} به ترتیب مقادیر R_i برای هر تکرار از آزمایش و بهترین حل به‌دست‌آمده می‌باشند. بعد از تبدیل مقدار R_i به RPD، طبق ساختار طراحی پارامتر تاگوچی نسبت S/N بر اساس RPD محاسبه می‌شود. سپس میانگین نسبت S/N آزمایشات برای هر سطح پارامتر به‌دست می‌آید. بهترین مقدار هر پارامتر کمترین مقدار میانگین میانگین‌ها را دارد، درواقع سطوح عامل‌هایی بهینه هستند که حداقل نسبت میانگین موردنظر را نتیجه می‌دهند. پس از اجرای آزمایش تاگوچی، نتایج، میانگین میانگین‌ها و متوسط نسبت S/N برای هر سطح از فاکتورها در الگوریتم NSGAII برای مدل ارایه‌شده در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده‌شده است.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]



شکل ٤. نمودار میانگین میانگین‌ها برای الگوریتم NSGAII



شکل ٥. نمودار متوسط نسبت S/N برای الگوریتم NSGAII

با توجه به نمودارهای به‌دست‌آمده، سطح بهینه فاکتورهای الگوریتم NSGAII مطابق با جدول ۶ است:

جدول ٦. سطوح بهینه عامل استفاده‌شده برای الگوریتم NSGAII

پارامترها	سطوح عامل‌ها			سطح عامل بهینه
	۱	۲	۳	
nPop	۵۰	۷۰	۱۰۰	۷۰
Pc	۰/۲	۰/۵	۰/۸	۰/۲
Pm	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۲

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]

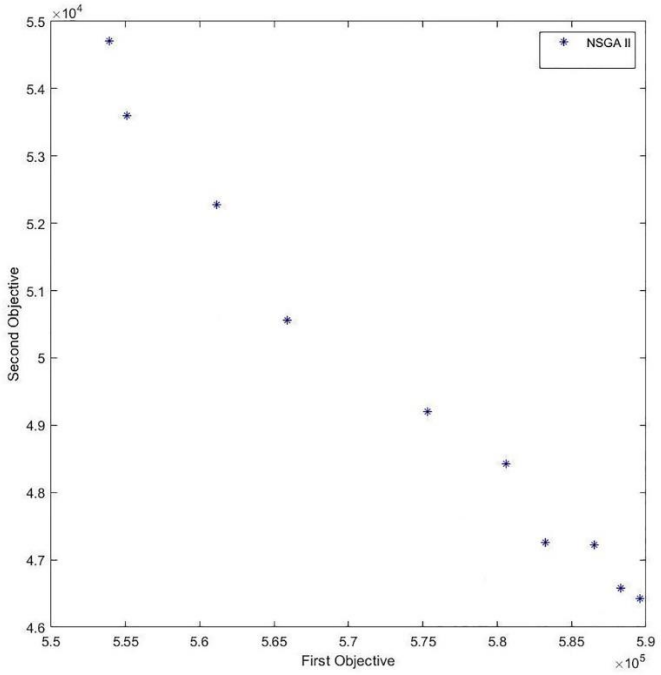
- **مثال عددی و نتایج محاسباتی**

برای ارزیابی و تعیین صحت کدنویسی انجام‌شده در نرم‌افزار MATLAB یک مساله نمونه در سایز کوچک برای الگوریتم پیشنهادشده طراحی و متغیرهای خروجی حاصل از اولین جواب کارای الگوریتم نشان داده‌شده است؛ بنابراین اندازه مسأله تعیین‌شده در صحه‌گذاری اولیه و بر اساس پارامترهای تصادفی تولیدشده بر اساس توزیع یکنواخت می‌باشد. پس از طراحی مساله و تولید داده‌های تصادفی، مساله طراحی‌شده با استفاده از الگوریتم فراابتکاری NSGAII و در ۱۰۰ تکرار انجام‌شده و شاخص‌های الگوریتم فراابتکاری چندهدفه تعیین‌شده است. جدول ۷ میانگین و شاخص‌های نتایج به‌دست‌آمده از اجرای الگوریتم NSGAII را نشان می‌دهد.

جدول ۷. شاخص‌های الگوریتم فراابتکاری در حل مساله نمونه

شاخص	الگوریتمNSGAII
زمان محاسباتی	۱۸.۸۸
میانگین تابع هدف اول	۵۷۳۹۵۴.۲۱
میانگین تابع هدف دوم	۴۹۶۲۲.۱۱
NPF	۱۰
MSI	۳۶۶۴۳.۳۰
SM	۰.۴۷۶

بنابراین جبهه پارتو به‌دست‌آمده از حل مساله نمونه با الگوریتم NSGAII در شکل ۶ نشان داده‌شده است.



شکل ٦. جبهه پارتو حاصل از حل مساله با الگوریتم NSGAII

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]

برای نشان دادن خروجی‌های مهم مدل زنجیره‌تامین خون، جدول ۸ تعداد و مکان بهینه تسهیلات و همچنین مسیر بهینه به‌دست‌آمده از حل مسأله با الگوریتم NSGAII را برای اولین جواب کارای مساله نشان می‌دهد.

جدول ۸. تعداد و مکان بهینه تسهیلات و همچنین مسیر بهینه وسایل نقلیه با الگوریتم فراابتکاری

الگوریتم	مراکز بالقوه	تعداد	مکان بهینه
NSGAII	مراکز جمع‌آوری	۲ مرکز	۱ و ۳
	بانک خون	۲ مرکز	A و C
	مسیر حمل و نقل	مرکز سیار ۱ در دوره ۱	$C \to ۳ \to ۴ \to C$
		مرکز سیار ۲ در دوره ۱	$A \to ۵ \to ۱ \to ۲ \to A$
		مرکز سیار ۱ در دوره ۲	$C \to ۲ \to ۵ \to C$
		مرکز سیار ۲ در دوره ۲	$A \to ۴ \to ۳ \to ۱ \to A$

نتایج معیارهای مورد آزمون در الگوریتم NSGAII نشان می‌دهد که الگوریتم NSGAII کارایی ضعیف‌تری در معیار SM دارد ولی روش اپسیلون در این معیارعکس العملی نشان نمی‌دهد، در واقع با معیار SM نمی‌توان نتیجه‌گیری کرد. در معیار Time، الگوریتم محدودیت اپسیلون در زمان‌های پایین بسیار خوب عمل کرده ولی در ابعاد بالا زمان حل بسیار زیادی دارد ولی الگوریتم NSGAII در ابعاد بالا نیز زمان بسیار کمی می‌برد و با افزایش بعد مسأله زمان به طور معمول بالا رفته است.

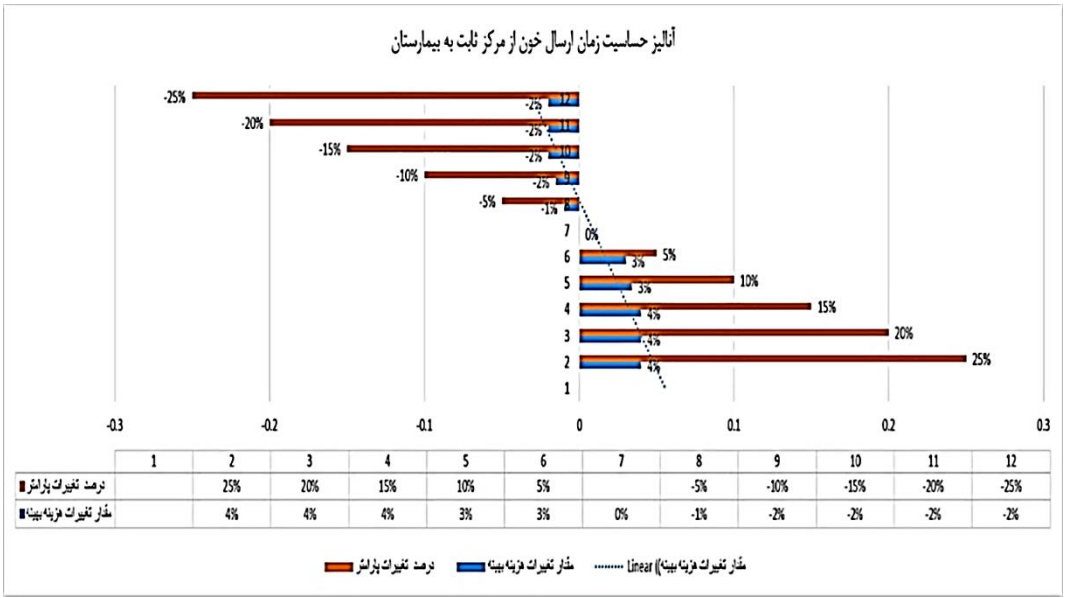
در معیار MID نیز الگوریتم NSGAII بسیار بهتر از محدودیت اپسیلون عمل کرده است همان‌طورکه مشاهده می‌شود با این معیار می‌توان نشان داد در ابعاد بالا می تواند جواب‌های خوبی نسبت به روش محدودیت اپسیلون به ما بدهد.

۷ تحلیل حساسیت مدل ریاضی

بخش جداناپذیر هر مدل ریاضی بررسی حساسیت پارامترهای ورودی به مساله است. از این رو با بررسی پارامترهای اثرگذار بر نتایج مدل ریاضی، حساسیت هر یک به تغییرات بررسی می‌شود. در بخش اول همان‌طور که در مدل ریاضی نیز اشاره شد یکی از آیتم‌های اثرگذار بر بهبود سیستم طراحی شده، مدت زمان حمل و نقل میان مرکز ثابت و سیار یا بیمارستان بوده است که با توجه به تحلیل حساسیت انجام شده، شکل ۷ نشان می‌دهد کاهش زمان حمل و نقل از میزان ۵ درصد تا ۲۵ درصد، کل بهبود تابع هدف بین ۱ الی ۲ درصد می‌باشد که این بهبود از کاهش ۱۵ درصدی شکل ثابتی به خود گرفته است و این بدان مفهوم است که کاهش زمان حمل و نقل به بیش از ۱۵ درصد وضعیت موجود اثر چندانی در میزان تابع هدف ندارد از طرفی دیگر در صورت افزایش زمان حمل و نقل تا ۲۵ درصد، ۴٪ زمان کل سیکل تابع هدف افزایش می یابد.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]



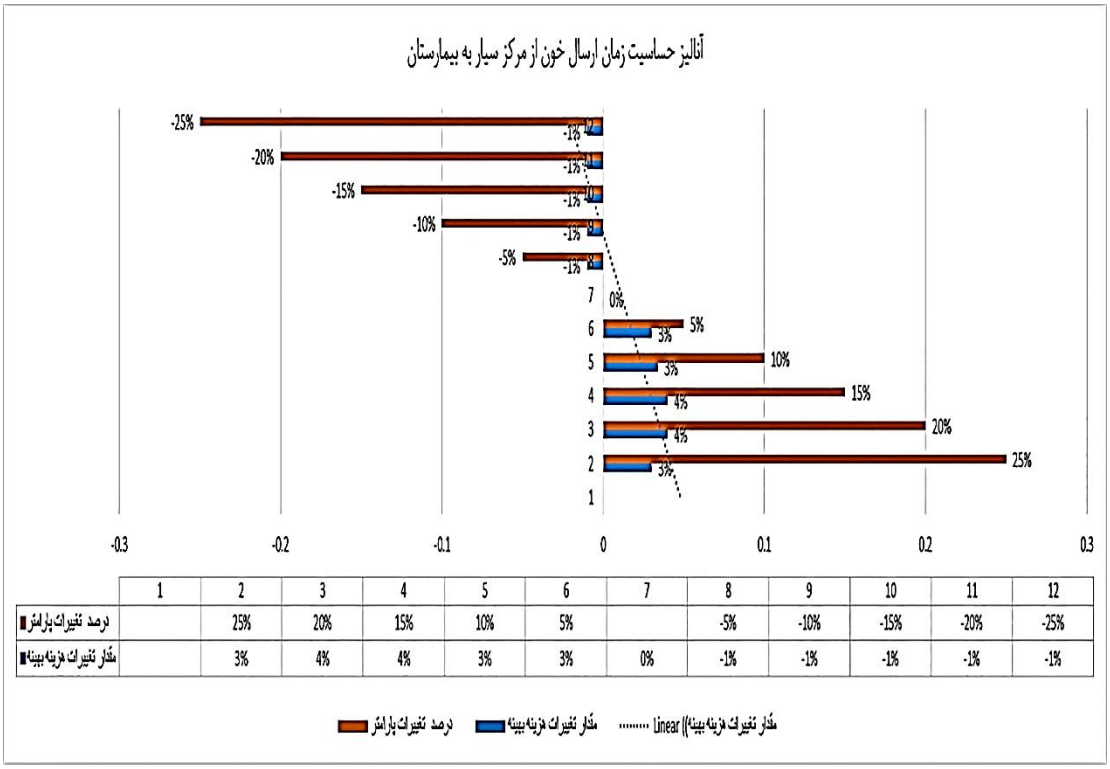
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
درصد تغییرات پارامتر		25%	20%	15%	10%	5%		-5%	-10%	-15%	-20%	-25%
مقدار تغییرات هزینه بینه		4%	4%	4%	3%	3%	0%	-1%	-2%	-2%	-2%	-2%

شکل ۷. تحلیل حساسیت مربوط به زمان ارسال فرآورده‌های خونی از مرکز ثابت به بیمارستان

بخش دوم یکی از سناریوهای بهبود، کاهش زمان حمل و نقل بر روی ایستگاه های سیار می‌باشد همان‌گونه که شکل ۸ نشان می‌دهد در تحلیل حساسیت مربوط به مدت زمان حمل و نقل مرکز سیار مشاهده می‌شود کاهش زمان حمل و نقل، کاهش چشم‌گیری در زمان کل سیستم نداشته و دلیل آن هم نیز به‌دلیل اثرگذاری کم این بخش سیار در دریافت واحدهای خونی است که به نسبت به مرکز ثابت اثرگذاری کمتری دارد و در صورت افزایش زمان حمل و نقل به مشابه مرکز ثابت، زمان کل سیستم به میزان ۴ درصد افزایش می‌یابد. نکته قابل تامل در این بخش این است که در سناریو معرفی‌شده در جهت کاهش زمان‌های انتقال خون از ایستگاه ثابت و سیار بر اساس تحلیل حساسیت انجام شده در یافتیم که بخش بیشتر بهبود حاصل‌شده به‌دلیل بهبود در زمان مرکز ثابت می‌باشد و مرکز سیار اثر چندانی نداشته و می‌توان سناریوهای بهبود بعدی را بر روی مرکز ثابت طرح‌ریزی نمود.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]

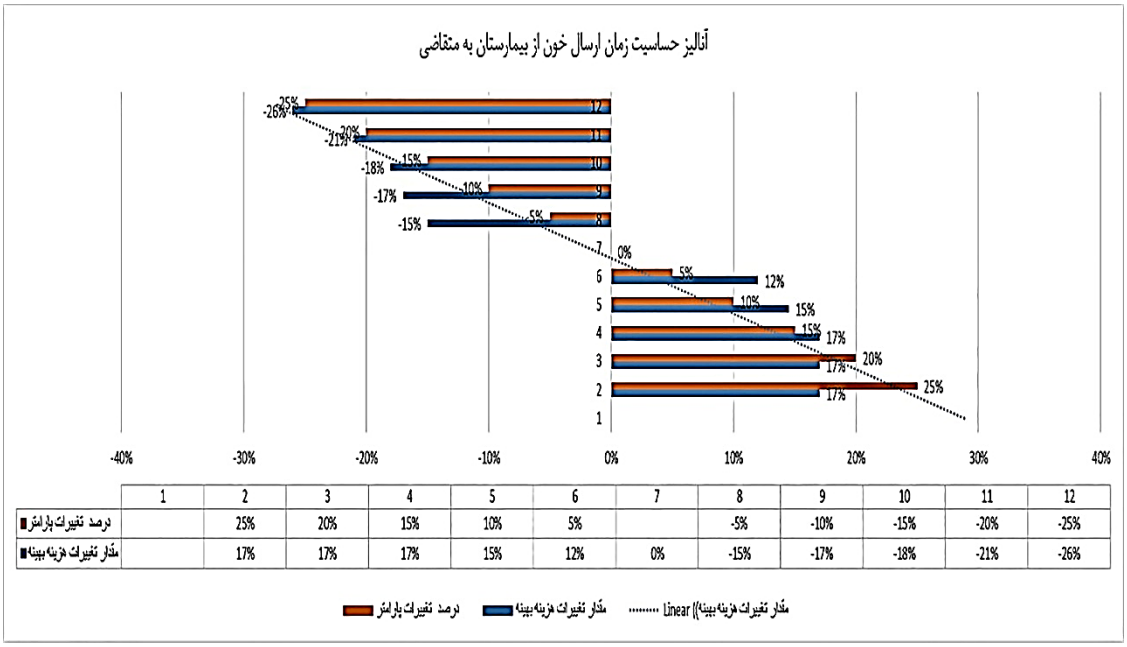


شکل ۸. تحلیل حساسیت مربوط به حمل و نقل از مرکز سیار به بیمارستان

در بخش سوم همان‌گونه که در مدل شبیه‌سازی و ریاضی مشاهده‌شد، برترین سناریو بهبود، بهبود در حمل و نقل مربوط به بیمارستان به مراکز متقاضی است که این موضوع مورد تحلیل حساسیت پارامتری قرار گرفت، شکل ۹ نشان می‌دهد مهم‌ترین موضوع در تحلیل حساسیت انجام‌شده، حساسیت مربوط به این پارامتر است که کاهش ۵ درصدی در زمان این حمل و نقل تا ۱۵ درصد کاهش زمان سیکل تامین تا توزیع فرآورده‌های خونی داشته که این میزان حساسیت اشاره به دقت نظر بالای این بخش دارد. همان‌طور که مشاهده می گردد کاهش ۲۵ درصدی این زمان کاهش ۲۶٪ کل سیکل انتقال بوده که این بهبود بسیار تاثیرگذار در روند اجرای سناریو های بهبود است و عملاً صحه‌گذاری بر نتایج حاصل از مدل ریاضی توسط تحلیل حساسیت نیز انجام شد.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
درصد تغییرات پارامتر		25%	20%	15%	10%	5%		-5%	-10%	-15%	-20%	-25%
مقدار تغییرات هزینه-بهینه		17%	17%	17%	15%	12%	0%	-15%	-17%	-18%	-21%	-26%

شکل ۹. تحلیل حساسیت مربوط به مدت زمان جابجای و انتقال از بیمارستان به مرکز متقاضی

۸ نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

میزان مصرف فرآورده‌های خونی در بیمارستان‌ها تابعی از تعداد حوادث و سوانح روزانه است و ماهیتی غیرقطعی دارد و این امر موجب می‌شود در اغلب موارد، پیش‌بینی میزان دقیق تقاضای روزانه‌ی بیمارستان‌ها با میزان تقاضای عملی آن ها مطابقت نداشته باشد [۱]. در چنین شرایطی بیمارستان‌ها ترجیح می‌دهند تا مقدار بیشتری از فرآورده‌های خونی سفارش‌دهند تا ذخیره‌ی اطمینانی جهت مقابله با کمبودهای احتمالی در اختیار داشته باشند؛ اما سفارش بیش ازحد نیاز فرآورده‌های خونی توسط بیمارستان‌ها، به علت وجود برخی عوامل و محدودیت‌ها در زنجیره‌ی‌تامین خون مقدور نیست. از این رو در این پژوهش نیز، استفاده از انتقال جانبی خون از بیمارستان‌ها به مراکز متقاضی تحت پوشش، به عنوان راهکاری جهت افزایش قابلیت پاسخگویی به تقاضای بیمارستان‌ها و کاهش هزینه‌های ناشی از کمبود و اتلاف خون در زنجیره‌ی تامین خون، مورد بررسی قرار گرفته است و یک مدل دو هدفه با در نظر گرفتن اهداف کمینه‌سازی هزینه‌های لجستیک خون و هدف دوم کمینه‌سازی سیکل دریافت تا انتقال خون به مراکز درمانی در نظر گرفته شد. در نهایت با توجه به عدم قطعیت موجود در زنجیره‌تامین خون از رویکرد سناریوسازی عدم قطعیت بهره‌گیری شده است. سپس با توجه به مدل‌سازی انجام شده با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر روش محدودیت اپسیلون به تحلیل مدل ریاضی پرداخته شد و جبهه پارتوی جوابهای بهینه تصدیق و صحه‌گذاری شدند و از آنجایی که مدل ریاضی مساله موردنظر یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی است و این مسایل در حوزه مسایل NP_hard قرار می‌گیرند برای حل مساله با زمان معقول از الگوریتم فراابتکاری NSGAII جهت بهینه‌سازی استفاده شد، بعد از آن به مقایسه‌ی آنها از نظر بهتر جواب دادن پرداخته شد. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم NSGAII بهتر از روش محدودیت اپسیلون عمل می‌کند.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]

تحلیل‌های انجام‌شده در این مقاله حاکی از نیاز زنجیره‌تامین خون کشورجهت پاسخگویی بیشتر و بهتر به امکان ارسال جانبی فرآورده‌های خونی از بیمارستان‌ها به مناطق متقاضی است، به نحوی که در صورت نبود این امکان، تامین تقاضای کل کشور دچار اختلال می‌گردد. این در حالی است که با ایجاد این امکان هزینه‌ی زنجیره مطابق با تحقیقات دهقانی و عباسی [۱۵] به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد، لذا توجه به این امر به مدیران حوزه بهداشت و سلامت کشور توصیه می‌شود [۲۹].

نتایج تحلیل حساسیت بر روی پارامتر زمان انتقال خونی اهمیت مصرف و استفاده بهینه آن را روشن می‌سازد، به نحوی که با توجه به محدود بودن میزان فرآورده‌های خونی پردازش‌شده‌ی در دسترس در بیمارستان‌ها، با فراهم ساختن امکان ارسال جانبی فرآورده‌های خونی به مراکز درمانی در زنجیره‌تامین خون می توان پاسخگویی به تقاضا و مصرف فرآورده‌های خونی بیماران را تاحد زیادی در مراکز درمانی بهبود بخشید.

نتایج این تحقیق نشان داد که در چنین شرایطی بیمارستان‌ها ترجیح می‌دهند تا مقدار بیشتری از فرآورده‌های خونی سفارش دهند تا ذخیره‌ی اطمینانی جهت مقابله با کمبودهای احتمالی در اختیار داشته باشند؛ اما سفارش بیش ازحد نیاز فرآورده‌های خونی توسط بیمارستان‌ها، به علت وجود برخی عوامل و محدودیت‌ها در زنجیره‌ی‌تامین خون مقدور نیست. نتایج فار و همکاران [۳۰] نیز نشان می‌دهد که تقریبا ۷۷/۹ درصد از واحدهای خون هدررفته به دلیل انقضای زمان هدر می‌رود.

با توجه به یافته‌های پژوهش پیشنهادات آتی به شرح ذیل ارایه می‌گردد:

- با توجه به تاثیرگذاری نوع صنعت در بهبود شاخص‌های سلامت پیشنهاد می‌شود این پژوهش برای دیگر سیستم های خدمات بهداشتی مشابه نیز انجام شود و اقدامات جهت بهبود مورد بحث قرار گیرد.
- افزودن مساله عدالت در توزیع فرآورده‌های خونی می‌تواند به مساله مورد مطالعه افزوده شود.
- همچنین می‌توان از فرآیند خوشه‌بندی سطح اهمیت فرآورده‌های خونی و توسعه حمل و نقل ویژه در مدل ریاضی استفاده گردد.
- پیشنهاد می‌گردد محدودیت‌های جدیدی به مساله اضافه گردد و نیز از الگوریتم‌های فراابتکاری دیگری نظیر الگوریتم MOPSO، الگوریتم کشتل و غیره برای حل مساله مورد نظر و مقایسات بیشتر استفاده شود.

منابع

[1] Samani, M. R. G., Hosseini-Motlagh, S. M., Ghannadpour, S. F. (2019). A multilateral perspective towards blood network design in an uncertain environment. Methodology and implementation. Computers & Industrial Engineering, 130, 450-471.

[2] Boonyanusith, W., Jittamal, P. (2019). Blood supply chain risk management using house of risk model. Walailak Journal of Science and Technology (WJST), 16(8), 573-591.

[3] Mansouri E, Hajiaghaiee-Keshteli M, Tavakkoli-Moghaddam, R. (2017). Development of a Forward/Reverse Logistic Network in Health Care under Uncertainty and Disaster. Journal of Emergency Management, 6(1), 5-17.

[4] Ismaila Nda, I., Aisha Indo, M., Muhammad Shakir, B., Aisha, A., Sani, A, Ibrahim Usman, K., Aishat Bukola, U., Aliyu Dahiru, W., Haruna, M. (2019). Motivation for donation among hospital blood donors and their attitude towards voluntary blood donation in State Government Hospitals. Kaduna, Nigeria. ISBT Science Series, 14(4), 345-351.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]

[5] Managing Director of Iranian blood transfusion organization. (2016). 2.1 million blood units are donated annually in the country. Mehr News Agency, https://www.mehrnews.com/news/4515007.
[6] Ghorashi, S. B., Hamedi, M., & Sadeghian, R. (2020). Modeling and optimization of a reliable blood supply chain network in crisis considering blood compatibility using MOGWO. *Neural computing and applications*, *32*(16), 12173-12200.
[7] Sibevei, A., Azar, A., & Zandieh, M. (2020). Using a two-step approach of risk matrix and DEMATEL to identify and analyze the most important risks in the blood supply chain (Blood Supply Chain of Tehran). Journal of healthcare management, 11(36), 7-20.
[8] Sureshchannder, G.S., Rajendran, C., Anantharaman, R.N. (2003). The relationship between service quality and customer satisfactions -a factor specific approach. Journal of Service Marketing, 16, 363-79.
[9] Osorio, A. F., Brailsford, S.C., 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, 53(24), 7191-7212.
[10] Rahmani, D. (2019). Designing a robust and dynamic network for the emergency blood supply chain with the risk of disruptions. Annals of Operations Research, 283(1), 613-641.
[11] Dagne, T. B., Jayaprkash, J., & Geremew Gebeyehu, S. (2020). Design of Supply Chain Network Model for Perishable Products with Stochastic Demand. An Optimized Model. Journal of Optimization in Industrial Engineering, 13(1), 29-37.
[12] Rezaie, N., Maarefdoust, Z., Amini Kafiabad, S., Mahdizadeh, M., Birjandi, F. (2013). Evaluation of the blood usage and wastage in Kerman hospitals. Sci J Iran Blood Transfus Organ, 10(3), 213-221.
[13] Nahmias, S. (2011). Perishable Inventory Theory. Heidelberg: Springer.
[14] Arvan, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Abdollahi, M. (2015). Designing a biobjective and multi-product supply chain network for the supply of blood. Uncertain Supply Chain Management, 3(1), 57-68.
[15] Dehghani, M., Abbasi, B. (2018). An age-based lateral-transshipment policy for perishable items. International Journal of Production Economics, 198, 93-103.
[16] Hosseini-Motlagh, S. M., Samani, M. R. G., Cheraghi, S. (2020). Robust and stable flexible blood supply chain network design under motivational initiatives. Socio-Economic Planning Sciences, 70, 100725.
[17] Hosseini-Motlagh, .S.M., Samani, M.R.G., 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), 1085-1104.
[18] Derikvand, H., Hajimolana, S.M., Jabbarzadeh, A, Najafi, S.E. (2020). A robust stochastic bi-objective model for blood inventory-distribution management in a blood supply chain. European Journal of Industrial Engineering, 14, (3), 369-403.
[19] Doodman, M., & Bozorgi Amiri, A. (2020). Integrate Blood Supply Chain Network Design with Considering Lateral Transshipment under Uncertainty. Journal of Industrial Management Perspective, 9(4, Winter 2020), 9-40.
[20] Madrdanian Shahri, F., & Jamali, G. (2019). Developing Robust Model in a Three-Level Supply Chain with Uncertain and Random Parameters (Case Study: Thaghdis Porcelain Company). *Journal of Operational Research In Its Applications (Applied Mathematics)-Lahijan Azad University*, *16*(3), 37-53.
[21] Nagurney, A., Masoumi, A. H., Yu, M. (2012). Supply chain network operations management of a blood banking system with cost and risk minimization. Computational Management Science, 9(2), 205-231.
[22] Jahani, M., Eskandari, F., Mahmoudjanloo, S., Mahmoudi, G. (2017) The Causes of the Mortality of Inpatients in the hospitals covered by Semnan Province Universities of Medical Sciences Based on ICD10. Journal of healthcare management, 8(3), 7-16.
[23] Goldfarb, R.S. (2013). Shortage, Shortage, Who's Got the Shortage?. The Journal of Economic Education, Taylor & Francis Journals, 44(3), 277-297.
[24] Shander, A., Hofmann, A., Gombotz, H., Theusinger, O. M., Spahn, D. R. (2007). Estimating the cost of blood: past, present, and future directions. Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology, 21(2), 271-289.
[25] Chen, H., Chiang, R.H., Storey, V.C. (2012). Business Intelligence and Analytics: From Big Data to Big Impact. MIS Quarterly, 4(36): 1165-1188.
[26] Papi, A., Barzinpour, F., & Pishvaee, M. (2020). A Hybrid Solution Approach Based on Benders Decomposition and Meta-Heuristics to Solve Supply Chain Network Design Problem. *Journal of*

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]

Operational Research in Its Applications (Applied Mathematics)-Lahijan Azad University, *17*(4), 63-88.

[27] Salahi, F., Radfar, R., Toloie‌ Shlaghi, A., & Alborzi, M. (2019). Design of Multi-Objective Model for Disruption Risk Assessment of Supply Chain Using Combined Genetic Algorithm and Simulated Annealing. *Journal of Operational Research in Its Applications (Applied Mathematics)-Lahijan Azad University*, *16*(4), 89-108.

[28] Silva Filho, O.S., Carvalho, M.A., Cezarino, W., Silva, R., Salviano, G. (2012). Demand forecasting for blood components distribution of a blood supply chain. IFAC Proceedings Volumes, 46(24), 565-571.

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

[30] Far, R. M., Rad, F. S., Abdolazimi, Z., & Kohan, M. M. D. (2014). Determination of rate and causes of wastage of blood and blood products in Iranian hospitals. Turkish Journal of Hematology, 31(2), 161.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.63]