مکان‌یابی و تخصیص چندهدفه در زنجیره تأمین خون
مطالعه موردی: استان مازندران

پیمان قاسمی*[۱]، مهدی ابراهیمی[۲]، میلاد نوروززاده[۳]، علی اصغر غیبی[۴]

دانشگاه آزاد اسلامی مؤسسه آموزش عالی روزبهان

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۰۶

چکیده

از آن‌جایی‌که خون یکی از مهم‌ترین نیازهای هر بیمار در شرایط بحرانی مختلف محسوب می‌شود، لذا یکی از دغدغه‌های مراکز درمانی، پدیده کمبود یا فساد خون می‌باشد. از این رو مدیریت زنجیره تأمین خون سعی در رفع شکاف بین تأمین‌کنندگان و مصرف‌کنندگان خون دارد که نتیجه آن عدم مواجهه با کمبود و حداقل رساندن فساد فرآورده‌های خونی و کاهش هزینه‌ها است. در این مقاله سعی بر این شده است تا مشکلات ذکرشده را به‌وسیله استقرار به‌جا و مناسب پایگاه‌های جدید خون و احداث پایگاه‌های پشتیبان و استفاده از تجهیزات در دسترس اعم از پایگاه‌ها و اتوبوس‌های سیار موجود جهت دریافت خون در شرق استان مازندران مورد بررسی قرار داده، تا این مشکلات به حدود مطلوبی به حداقل رسانده شوند. از این رو یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی سه‌هدفه بر پایه کمینه‌سازی کمبودها، هزینه‌ها و بیشینه‌سازی دریافت به موقع خون با استفاده از نرم‌افزار گمز و راه‌حل‌های پارتو مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین خون، برنامه‌ریزی سه‌هدفه، مسئله مکان‌یابی- تخصیص، راه حل پارتو.

۱- مقدمه

امروزه با افزایش روزافزون بیماری‌ها و بلاهای طبیعی و غیرطبیعی مواجه‌ایم. یکی از مسائل مهم پزشکی تشخیص نوع بیماری است. هر بیمار سیر درمان خاص خود را دارد. بسیاری از بیماری‌ها همانند بیماران تالاسمی و مصدومان در سوانح رانندگی، آسیب‌دیدگان در زلزله و غیره علاوه‌بر دوره درمان دارویی، نیاز به کمک‌های انسان دوستانه‌ای چون تأمین خون دارند.

در مواقع مواجهه با بلایای طبیعی میزان تقاضا از این محصول روند افزایشی به خود می‌گیرد؛ در ضمن مواردی همچون بحرانی بودن محصول، عمر کوتاه و هزینه‌های بالای آن در کنار مشکلات جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و توزیع آن در بین بیمارستان‌ها اهمیت نیاز خون به یک زنجیره تأمین را شاخص می‌نماید.

گروه‌های خونی به انواع مختلف تقسیم می‌شوند که هر بیمار نیاز به نوع خاصی از این گروه خونی دارد. ممکن است بعضی از مراکز بیمارستانی به یک نوع از گروه خونی نیاز بیشتری نسبت به سایر گروه‌های خونی داشته باشند.

در زنجیره تأمین خون باید نکاتی را توجه نمود که اهمیت این موضوع را پررنگ‌تر می‌کند:

- در این زنجیره، کمبود خون مجاز نیست و باید به تمام تقاضاها پاسخ داده شود.

- خون از جمله محصولات فاسدشدنی می‌باشد که نقش اساسی در ادامه زندگی انسان‌ها ایفا می‌کند. با توجه به اینکه جایگزینی برای این نوع محصول وجود ندارد و فقدان آن

۱- دانشجوی دکتری صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، نویسنده مسئول، پست الکترونیک: Peiman.ghasemi@aut.ac.ir، نشانی: تهران - خیابان کریمخان زند - خیابان ایرانشهر شمالی - نبش خیابان آذرشهر- منطقه پستی ۱۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

۲- کارشناس مهندسی صنایع موسسه آموزش عالی روزبهان، پست الکترونیک: milad.noruzi.1371@gmail.com

۳- کارشناس مهندسی صنایع موسسه آموزش عالی روزبهان، پست الکترونیک: mehdi_ebrahimi7120@yahoo.com

۴- کارشناس مهندسی صنایع موسسه آموزش عالی روزبهان، پست الکترونیک: milad.noruzi.1371@gmail.com

به‌طور مستقیم با سلامت انسان‌ها در ارتباط است، اهمیت این موضوع بیشتر آشکار می‌شود. بنابراین باید تاریخ انقضای خون را هم در نظر گرفت. از طرفی با توجه به محدود بودن و اهمیت خون باید از هدر رفت خون جلوگیری کرد.

- میزان تقاضا برای خون در دوره‌های مختلف متغیر است که ممکن است افزایش یا کاهش داشته باشد.

یکی از راهکارهای مؤثر برای حل این مشکل، سیستم زنجیره تأمین خون است که به یک سیستم اطلاعاتی دقیق و برنامه‌ریزی هوشمند نیاز دارد.

برای اولین بار در سال ۱۹۶۰ توسط ون‌ژی[1] [۱] مطالعاتی در زمینه مدیریت زنجیره‌تأمین مواد فاسدشدنی و محصولات خونی صورت پذیرفت. همچنین نامیاس[2] [۲]، پراستاکوس[3] [۳] و سایرلسن و برودهیم[4] [۴] نیز از اولین افرادی بودند که در این زمینه پژوهش‌هایی انجام دادند.

یانگ‌مینگ[5] [۵] بانک خون و خدمات استفاده از خون را در یک بیمارستان کوچک در منطقه زلزله‌خیز روستایی در کشور اندونزی توصیف نمود. تابع هدف او در این پژوهش افزایش رضایت مشتریان بوده است. او در مطالعات خود محدودیت زمان را در حین حمل و نقل فرآورده‌های خونی در نظر گرفت.

ماریانوف و سرا[6] [۶] از روش برنامه‌ریزی خطی در مقالات خود استفاده نمودند. آنها از برنامه‌ریزی چندهدفه برای حل مسئله مسیریابی انتقال خون در شرایط بحرانی در شهر لیورپول استفاده نمودند. آنها توابع هدفی مثل هزینه، مسافت و پوشش حداکثر تقاضا را در کار خود در نظر گرفتند.

هیگما و واندروال[7] [۷] مدلی را با به‌کارگیری برنامه‌ریزی دینامیکی مارکف و روش شبیه‌سازی برای بانک خون هلند طراحی کردند. مطالعه آنها بیشتر بر هزینه‌های تولید و مدیریت موجودی پلاکت خون تمرکز داشت.

کپاچ[8] و همکاران[۸] یک مدل تحلیلی ارائه نمودند که به‌عنوان یک ابزار برای مراکز خونی مبادلات میان سطوح تقاضا، سطوح خدمت، هزینه‌ها همانند هزینه‌های کمبود و ضایعات را مدل می‌کند. آنها از مدل‌های صف به‌منظور تعیین خط‌مش بهینه استفاده نموده و نتایج را با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی و داده‌های واقعی در خدمات خونی در کانادا اعتبارسنجی نمودند.

هیمیلمایر[9] و همکاران[۹] با توسعه مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح، در مورد پوشش بیمارستان‌ها توسط وسایل حمل خون از پایگاه‌های اهدای خون تصمیم‌گیری کردند. آنها با در نظر گرفتن میزان عدم قطعیت در تقاضای خون توسط بیمارستان‌ها، مقدار خون مورد نیاز هر بیمارستان را در روز تعیین کردند.

استرانگر[10] و همکاران[۱۰] با توجه به زنجیره تأمین انگلستان، عملکرد مدیریت موجودی فاسدشدنی را مورد بررسی قرار دادند. آنها پیشنهاداتی به‌منظور بهبود مدیریت موجودی فاسدشدنی و کاهش ضایعات ارائه نمودند.

لی و لیائو[11] [۱۱] تلاشی را به‌منظور طراحی یک مدل زنجیره تأمین خون پایدار در مرکز خون تایچونگ در تایوان با در نظر گرفتن هزینه کل و تازگی خون‌های انتقالی برای امنیت بیماران انجام دادند. مدل آنها شامل سه مرحله ورودی، رویکرد بهینه و خروجی بود. مرحله ورودی از روش تاگوچی پویا[12] برای راه‌اندازی سیگنال‌ها، صداها و کنترل فاکتورهای زنجیره تأمین خون بهره برد. آنها از شبکه‌های عصبی[13] و الگوریتم ژنتیک[14] به‌منظور تعیین فرآیند خروجی استفاده کردند.

جرون‌بلین و هین‌فورس[15] [۱۲] مطالعات زیادی در زمینه مدیریت زنجیره تأمین محصولات خونی انجام دادند. آنا با دسته‌بندی فرآورده‌های خونی و ارائه مدل و حل آنها مطالعاتی انجام دادند.

آلفنسو[16] و همکاران[۱۳] مسئله جمع‌آوری خون در فرانسه را با در نظر گرفتن هزینه‌های استقرار پایگاه‌های ثابت و سیار جمع‌آوری خون، مورد بررسی قرار دادند. آنها از مدل‌های شبکه پتری[17] برای توصیف فرآیندهای متفاوت جمع‌آوری خون، رفتار اهداکنندگان و منابع انسانی مورد نیاز استفاده کردند. مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح ارائه‌شده در پژوهش ساپونتزیس[18] [۱۴] به بررسی سفارشات خون و

1- Van Zyl
2- Nahmias
3- Prastacos
4- Sirelson & Brodheim
5- Yongming
6- Marianov & Serra
7- Haijema & Van der Wal
8- Kopach

9- Hemmelmayr
10- Stanger
11- Li & Liao
12- Dynamic Taguchi method
13- Neural Networks
14- Genetic Algorithm
15- Jeroen Belien & Hein Force
16- Alfonso
17- Petri net
18- Sapountzis

فرآورده‌های خونی و تخصیص بهینه واحدهای خونی به بیمارستان‌ها پرداخته‌است.تابع هدف این مدل، کمینه‌کردن تعداد واحدهای خونی برگشتی به سازمان انتقال خون است.

ناگورنی و ماسومی[1] [۱۵] با ارائه یک مدل زنجیره تأمین خون شامل مراکز جمع‌آوری، تسهیلات آزمایشگاهی و تسهیلات ذخیره‌سازی و مراکز توزیع، به مطالعه این موضوع پرداختند. نویسندگان با توسعه یک شبکه عمومی با یک رویکرد بهینه‌سازی چندهدفه به بررسی هزینه‌های عملیاتی کل زنجیره و ریسک‌های ناشی از کمبود و یا مازاد موجودی پرداختند.

جبارزاده[2] و همکاران[۱۶] یک مدل بهینه‌سازی استوار برای زنجیره تأمین خون هنگام وقوع بلایا پیشنهاد دادند. آنها مدل خود را به‌صورت تک هدفه و چند دوره‌ای در نظر گرفتند. همچنین با استفاده از داده‌های مربوط به استان تهران مدل خود را اعتبارسنجی نمودند.

دوان و لیائو[3] [۱۷] یک مدل شبیه‌سازی جدید به‌منظور مدیریت موجودی زنجیره تأمین خون با سازگاری گروه‌های خونی پیشنهاد دادند. آنها در مدل خود سه سناریو درنظر گرفتند. هدف آنها از موجودی، حداقل‌سازی نرخ تاریخ انقضاء خون‌ها در شرایطی است که یک عدد به‌عنوان حداکثر کمبود مجاز برای آن تعریف شده باشد. نتایج تحقیقات آنها، روند رو به رشد نیاز به گروه خونی O را نشان می‌دهد.

قاسمی و همکاران[۱۸] به طراحی زنجیره تأمین خون در هنگام زلزله پرداختند. در این پژوهش، مدیریت زنجیره تأمین فرآورده‌های خونی و رساندن آنها به مناطق آسیب‌دیده به طوری‌که مسافت‌های طی‌شده و هزینه‌های حمل و نقل،انتقال، جریمه فاسدشدن و هزینه موجودی به حداقل برسد، مورد بررسی قرار گرفته است. اطلاعات استخراج شده از زلزله شهر پکن با استفاده از نرم‌افزار گمز حل شده است و چگونگی تخصیص فرآورده‌های خونی به مناطق مختلف به‌صورت بهینه تعیین گردیده است.

قاسمی[۱۹] در پایان‌نامه خود به مسیریابی و تخصیص وسایل‌نقلیه امدادی در فاز پاسخ‌گویی زلزله در منطقه ۹ تهران پرداخته است. در این مطالعه مراکز درمانی به شرح زیر هستند: مراکز درمانی دائم مانند بیمارستان‌ها، کلینیک‌ها، مراکز اورژانس و مراکز درمانی موقت مانند مدارس، مراکز آتش‌نشانی، ایستگاه‌های مترو، مراکز انتظامی و پارک‌ها که در زمان زلزله می‌شود به‌عنوان مکان‌های کمکی از آنها استفاده کرد. وی در این مطالعه از مدل‌سازی عدد صحیح استفاده نموده است.

نهفتی[4] و همکاران[۲۰] مدلی برای زنجیره تأمین خون در شرایط بحران در شهر تهران ارائه داده است. مدل پیشنهاد داده‌شده یک مدل عدد صحیح بوده و عوامل متغیر در این مدل به‌صورت فازی تعریف شده‌اند. مدل مذکور برای مقابله با شرایط زلزله طراحی شده است. نتایج تحقیق بیانگر صحت عملکرد این مدل با قابلیت اطمینان بالا می‌باشد.

فریدونی و شهانقی[5] [۲۱] یک مدل چند دوره‌ای در توزیع و مکان‌یابی تسهیلات در زنجیره تأمین خون ارائه داده است. عدم قطعیت در تقاضا موجب شده است که از رویکرد بهینه‌سازی استوار جهت مقابله با عدم قطعیت استفاده شود. مهم‌ترین هدف این پژوهش مکان‌یابی بیمارستان‌ها و مراکز توزیع خون می‌باشد. نتایج این پژوهش نیز مورد بهره‌برداری سازمان انتقال تهران قرار گرفته است.

زهیری[6] و همکاران[۲۲] یک مدل غیرخطی جهت مکان‌یابی تسهیلات و مدیریت جریان در زنجیره تأمین خون ارائه دادند. مدل ارائه‌شده دو سطحی بوده که سطح اول شامل برنامه‌ریزی تکنیکی و سطح دوم شامل برنامه‌ریزی عملیاتی بوده است. در این پژوهش برای اثبات کارایی مدل از یک مثال تصادفی استفاده‌شده و برای حل این مثال از بهینه‌سازی احتمالی کمک گرفته شده است.

زهرایی[7] و همکاران[۲۳] مدلی را برای زنجیره تأمین خون با نظر گرفتن زمان فاسدشدن خون در نظر گرفتند. تابع هدف این مدل کمینه‌کردن کمبود و هزینه می‌باشد. مطالعه موردی در نظر گرفته‌شده در این پژوهش شهر تهران می‌باشد. نتایج حاصل از این تحقیق بیانگر آن است که کارایی مدل با افزایش تعداد مراکز توزیع به شرط رعایت مفروضات مسئله افزایش خواهد یافت.

آروان[8] و همکاران[۲۴] به مکان‌یابی مراکز اهدای خون پرداختند. مدل ارائه‌شده مراکز تست خون، نقاط تقاضا و همچنین آزمایشگاه‌های خون را نیز در نظر گرفته است. تابع هدف این پژوهش کاهش هزینه حمل و نقل و کاهش هزینه احداث مراکز خون می‌باشد. با توجه به چند هدفه بودن این پژوهش از روش محدودیت اپسیلون برای بهینه‌سازی استفاده

1- Nagurney & Masoumi
2- Jabbarzadeh
3- Duan & Liao
4- Nahofti
5- Fereiduni & Shahanaghi
6- Zahiri
7- Zahraee
8- Arvan

شده است. برای صحت اعتبار مدل از مثال‌های عددی با حجم کم و زیاد استفاده شده است.

این پژوهش در پنج بخش تدوین شده است. در بخش اول موضوع تحقیق و تعاریف مقدماتی مربوط به این تحقیق بیان شده است. بخش دوم این پژوهش مربوط به پیشینه زنجیره‌تأمین خون است. در بخش سوم مدل ریاضی پیشنهادی ارائه گردیده است. در بخش چهارم نتایج محاسباتی و در بخش آخر نتیجه‌گیری ارائه خواهد شد.

این تحقیق در نظر دارد برخی از شکاف‌های موجود در تحقیقات‌گذشته را برطرف نماید. لذامهم‌ترین آنها عبارتنداز:

- مکان‌یابی مراکز خون جدید جهت احداث در کنار بحث مکان‌یابی واحدهای سیار خون‌گیری و تخصیص.
- در نظر گرفتن سطوح مختلف موجودی و تعیین میزان موجودی هر یک از گره‌های زنجیره.
- استفاده از روش محدودیت اپسیلون اصلاح‌شده ۲ به‌عنوان جدیدترین رویکرد حل مسائل چند هدفه.

طبق بررسی‌هایی که در پیشینه تحقیقاتی انجام‌شده است، در این پژوهش مدلی سه هدفه که شامل کمبود، پایگاه پشتیبان و هزینه‌ها به‌صورت همزمان می‌باشد برای زنجیره تأمین خون در استان مازندران در نظر گرفته شده است.

در این پژوهش سعی شده تا با در نظر گرفتن تسهیلات موقتی جمع‌آوری خون، بیمارستان و مکان‌های بالقوه برای احداث مراکز جدید خون، هزینه‌ها و کمبود کاهش داده شود. در اینجا مسافت‌های مسیر اهداءکننده تا مرکز جمع‌آوری خون و از مراکز جمع‌آوری تا بیمارستان‌ها مورد بررسی قرار گرفته است تا بهینه‌ترین و کوتاه‌ترین مسیر در نظر گفته شود. همچنین ظرفیت مرکز منطقه‌ای خون و ظرفیت بیمارستان‌ها درنظرگرفته‌شده‌است. این پژوهش در پی آن است که مطالعات موردی خود را در نیمه شرقی استان مازندران انجام دهد.

۲- مدل‌سازی

۲-۱- فرضیات مدل

برخی از فرضیاتی که در مدل در نظر گرفته شده است در ادامه به تفکیک بیان می‌گردد:

۱-تعداد گروه‌های اهداکننده‌خون،واحدهای‌سیار جمع‌آوری خون و بیمارستان‌ها ثابت و معلوم می‌باشد.

۲- در حال حاضر تعدادی مراکز خون منطقه‌ای موجود می‌باشد و می‌توان از بین نقاط بالقوه برای احداث مراکز جدید بر تعداد آنها افزود.

۳- افراد موجود در گروه‌های اهداکننده در مرکز آن منطقه می‌باشند و به صورت نقطه‌ای در نظر گرفته می‌شوند.

۴- فاصله بین گروه‌های مختلف زنجیره به صورت فاصله مستقیم در نظر گرفته می‌شود.

۵- ظرفیت هر یک از واحدهای سیار محدود و مقدار آن مشخص است.

۶- مدل به‌صورت تک کالایی که همان خون است، در نظر گرفته شده است.

۷- پارامترهای موجود در مسئله مانند عرضه، تقاضا و هزینه‌های موجود قطعی بوده و مقدار آنها مشخص است.

۸-مدل‌به‌صورت چند دوره‌ای و برای یک افق برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت ارائه‌شده است ولی امکان به‌کارگیری آن برای یک افق برنامه‌ریزی میان‌مدت و بلندمدت نیز موجود می‌باشد.

۹- مدل به‌صورت چندهدفه ارائه شده و در آن اهداف هزینه‌ای و بحث عدالت به‌صورت همزمان درنظر گرفته شده است.

۱۰-در زنجیره تأمین بحث مرتبط با فرآیندهای خون‌گیری، مراحل آزمایش، انطباق و انهدام محصولات خونی به‌عنوان نگرانی‌های مسئله می‌باشد (تسهیلات موقت این وظیفه را برعهده دارند).

۲-۲- اندیس‌ها، پارامترها و متغیرها

ازآنجاکه شبکه زنجیره تأمین خون به صورت فرمول‌بندی ریاضی بیان خواهد گردید لذا در ادامه اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مدل تعریف خواهد شد.

اندیس	توضیحات
I	اندیس گروه‌های اهداکنندگان خون
J	اندیس گروه‌های تسهیلات موقتی جمع‌آوری خون
N	اندیس مراکز منطقه‌ای خون
K	اندیس بیمارستان‌ها
M	اندیس مکان‌های بالقوه برای احداث مراکز خون منطقه‌ای
T	اندیس دوره‌ها
I	مجموعه اهداکنندگان خون
J	مجموعه تسهیلات موقتی جمع‌آوری خون
N	مجموعه مراکز خون منطقه‌ای
K	مجموعه بیمارستان‌ها
M	مجموعه مکان‌های بالقوه برای احداث مراکز خون منطقه‌ای
T	مجموعه دروه‌ها

پارامتر	توضیحات
$dI_{i,j}$	مسافت از اهداکننده iام تا تسهیل موقت jام
$dc_{i,n}$	مسافت از اهداکننده iام تا مرکز منطقه‌ای خون nام
$df_{j,n}$	مسافت از اهداکننده jام تا مرکز منطقه‌ای خون nام
$ds_{n,k}$	مسافت از اهداکننده nام تا مرکز منطقه‌ای خون kام
$dd_{i,m}$	مسافت از اهداکننده iام تا مرکز منطقه‌ای خون mام
$dt_{j,m}$	مسافت از اهداکننده jام تا مرکز منطقه‌ای خون mام
$dg_{m,k}$	مسافت از اهداکنندهmام تا مرکز منطقه‌ای خون kام
$ci_{i,j}$	مقدار هزینه سفر از اهداکننده iام تا تسهیل موقت jام
$cc_{i,n}$	مقدار هزینه سفر از اهداکننده iام تا تسهیل موقت nام
$cd_{j,n}$	مقدار هزینه سفر از اهداکننده jام تا تسهیل موقت nام
$cs_{n,k}$	مقدار هزینه سفر از اهداکننده nام تا تسهیل موقت kام
$cd_{i,m}$	مقدار هزینه- مسافت از اهداکننده iام تا تسهیل موقت mام
$ct_{j,m}$	مقدارهزینه- مسافت از اهداکننده jام تا تسهیل موقت mام
$cg_{m,k}$	مقدار هزینه سفر از اهداکننده mام تا تسهیل موقت kام
$VI_{i,j}$	مقدارهزینه- مسافت از اهداکننده iام تا تسهیل موقت jام
$VC_{i,n}$	مقدار هزینه- مسافت از اهداکننده iام تا تسهیل موقت nام
$VF_{j,n}$	مقدارهزینه- مسافت از اهداکننده jام تا تسهیل موقت nام
$VS_{n,k}$	مقدار هزینه-مسافت از اهداکننده nام تا تسهیل موقت kام
$VD_{i,m}$	مقدار هزینه- مسافت از اهداکننده iام تا تسهیل موقت mام
$VT_{j,m}$	مقدارهزینه- مسافت از اهداکننده jام تا تسهیل موقت mام
$VG_{m,k}$	مقدارهزینه- مسافت از اهداکننده mام تا تسهیل موقت kام
h_k^t	هزینه نگهداری موجودی هر واحد خون در بیمارستان kام در دوره t
P	تعداد تسهیلات موقت جمع‌آوری خون
CAP_j	ظرفیت تسهیل موقت jام
$Y_{j1,j2}^t$	برابر ۱ است اگر تسهیل موقت j_1 به تسهیل موقت j_2 در دوره t نقل مکان کند، در غیر این‌صورت صفر
IC_n^t	مقدار موجودی نگهداری‌شده در مرکز منطقه‌ای خون nام در دوره t
IC_m^t	مقدار موجودی نگهداری‌شده در مرکز منطقه‌ای خون mام در دوره t
ID_k^t	مقدار خون نگهداری‌شده در بیمارستان kام در دوره t
S_i^t	حداکثر مقدار خون اهدایی توسط گروه اهداکننده iام در دوره t
CAP_n	ظرفیت مرکز منطقه‌ای خون nام
CAP_m	ظرفیت مرکز منطقه‌ای خون mام
CAP_k	ظرفیت بیمارستان kام
D_k^t	مقدار تقاضای بیمارستان kام در دوره t
L_i	درجه اهمیت اهداکنندگان گروه iام
F_m^t	هزینه احداث مرکز خون منطقه‌ای در مکان mام در دوره t

متغیر	توضیحات
$RI_{i,j}^t$	برابر یک است اگر اهداکننده iام به تسهیل موقت jام در دوره t تخصیص یابد، در غیر این‌صورت صفر
$RC_{i,n}^t$	برابر یک است اگر اهداکننده iام به مرکز منطقه‌ای nام در دوره t تخصیص یابد، درغیر این‌صورت صفر
$RD_{i,m}^t$	برابر یک است اگر اهداکننده iام به مرکز منطقه‌ای mام در دوره t تخصیص یابد، درغیر این‌صورت صفر
$RF_{j,n}^t$	برابر یک است اگر تسهیل موقت jام به مرکز منطقه‌ای nام در دوره t تخصیص یابد، در غیر این‌صورت صفر
$RS_{n,k}^t$	برابر یک است اگر مرکز منطقه‌ای nام به بیمارستان kام در دوره t تخصیص یابد، در غیر این‌صورت صفر
$RT_{j,m}^t$	برابر یک است اگر تسهیل موقت jام به مرکز منطقه‌ای mام در دوره t تخصیص یابد، در غیر این‌صورت صفر
$RG_{m,k}^t$	برابر یک است اگر مرکز منطقه‌ای mام به بیمارستان kام در دوره t تخصیص یابد، در غیر این‌صورت صفر
$QI_{i,j}^t$	مقدار خون اهدایی از اهداکننده iام به تسهیل موقت jام در دوره t
$QC_{i,n}^t$	مقدار خون اهدایی از اهداکننده iام به مرکز منطقه ای خون nام در دوره t
$QD_{i,m}^t$	مقدار خون اهدایی از اهداکننده iام به مرکز منطقه‌ای خون mام در دوره t
$QF_{j,n}^t$	مقدارخون‌حمل‌شده‌از تسهیل موقت jام به مرکز منطقه‌ای خون nام در دوره t
$QS_{n,k}^t$	مقدار خون حمل‌شده از مرکز منطقه‌ای خون nام به بیمارستان kام در دوره t
$QG_{m,k}^t$	مقدار خون حمل شده از مرکز منطقه‌ای خون mام به بیمارستان kام در دوره t
Z_m	برابر یک است اگر در مکان m ام مرکز خون منطقه‌ای احداث گردد، در غیر این‌صورت صفر

با توجه به تعاریف ارائه شده در بالا مدل ریاضی شبکه زنجیره تأمین خون در بخش بعد تعریف خواهد شد.

۲-۳- مدل ریاضی پیشنهادی

با توجه به تعاریف ارائه‌شده یک مدل ریاضی چند دوره‌ای، چندهدفه، مکان‌یابی – تخصیص زنجیره تأمین محصولات خونی در ادامه ارائه می‌گردد. مدل ارائه‌شده بعد از حل می‌تواند نحوه تخصیص گروه‌های اهداکننده خون به تسهیلات موقت جمع‌آوری خون، تخصیص گروه‌های اهداکننده به مراکز منطقه‌ای خون، تخصیص تسهیلات موقت به مراکز منطقه‌ای خون، تخصیص مراکز منطقه‌ای خون به بیمارستان‌ها و همچنین مکان مراکز خون منطقه‌ای جدید را به‌عنوان خروجی ارائه دهد.

$$\text{Min } Z_1 = \sum_{t=1}^{T} \max {B_k^t}/{D_K^t} \quad (۱)$$

$$\max Z_2 = \sum_{t=1}^{T}\left(\sum_{i=1}^{I}\left(\sum_{j=1}^{J} L_i . RI_{i,j}^t + \sum_{n=1}^{N} L_i . RC_{i,n}^t + \sum_{m=1}^{M} L_i . RD_{i,m}^t\right)\right) \quad (۲)$$

$$\text{Min } Z_3 = \sum_{t=1}^{T}\left(\sum_{i=1}^{I}\left(\sum_{j=1}^{J} CI_{i,j} . QI_{i,j}^t + \sum_{n=1}^{n} CC_{i,n} . QC_{i,n}^t + \sum_{m=1}^{M} VD_{i,m} . QD_{i,m}^t\right)\right) + \sum_{t=1}^{T}\left(\sum_{j=1}^{J}\sum_{n=1}^{N} CF_{j,n} .\ QF_{j,n}^t + \sum_{n=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} VS_{n,k} .\ QS_{n,k}^t + \sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K} VT_{j,m} .\ QT_{j,m}^t + \sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K} VG_{m,k} .\ QG_{m,k}^t + \sum_{j_1=1}^{J}\sum_{j_2=1}^{J} CC_{j_1,j_2} .\ Y_{j_1,j_2}^t + \sum_{n=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} h_k^t .\ ID_k^t\right) + \sum_{t=1}^{T}\sum_{m=1}^{M} F_m^t . Z_m^t \quad (۳)$$

اهداف مسئله به ترتیب عبارتند از:

۱.حداقل‌سازی،حداکثر درصد کمبود خون در بیمارستان‌ها در طول دوره‌ها

۲. پوشش حداکثری اهداکنندگان خون در طول دوره‌ها

۳. حداقل‌سازی هزینه‌های جابه‌جایی میان گروه‌های مختلف، هزینه نگهداری موجودی خون و هزینه‌های احداث مراکز خون منطقه‌ای جدید

معادله (۴) تضمین می‌کند که حداکثر یک تسهیل موقت در هر دوره می‌تواند به مکان‌های کاندید حرکت کند. معادله (۵) تضمین می‌کند که یک تسهیل موقت در صورتی می‌تواند از یک مکان به مکان دیگر حرکت کند که در دوره قبلی به مکان فعلی حرکت کرده باشد. معادله (۶) تعداد تسهیلات موقت موجود را در زنجیره نمایش می‌دهد. معادله (۷) تضمین می‌کند که یک گروه اهداکنندگان در صورتی می‌توانند به یک تسهیل موقت تخصیص یابد که در آن مکان تسهیل موقت موجود باشد.

معادله (۸) تضمین می‌کند که مقدار خون اهدایی از گروه i به تسهیل موقت j در صورتی مثبت است که گروه iام به تسهیل موقت jام تخصیص یافته باشد. معادله (۹) تضمین می‌کند که مقدار خون اهدایی از گروه iام به مرکز خون منطقه‌ای nام در صورتی مثبت است که گروه i به مرکز nام تخصیص یافته باشد. معادله (۱۰) تضمین می‌کند که مقدار خون حمل شده از تسهیل موقت jام به مرکز nام در صورتی مقدار مثبت دارد که تسهیل موقت jام به مرکز nام تخصیص یافته باشد. همچنین معادله (۱۱) نشان می‌دهد مقدار خون حمل شده از مرکز خون nام به بیمارستان kام در صورتی مقدار مثبت می‌گیرد که مرکز خون nام به بیمارستان kام تخصیص داده شده باشد. معادله (۱۲) نشان می‌دهد مقدار خون حمل شده از اهداکننده iام به مرکز خون جدید mام در صورتی مقدار مثبت می‌گیرد که گروه i به مرکز خون mام تخصیص داده شود. معادله (۱۳) نشان می‌دهد مقدار خون حمل شده از تسهیل موقت jام به مرکز خون جدید mام در صورتی مقدار مثبت می‌گیرد که تسهیل موقت j به مرکز خونm تخصیص داده شود. معادله (۱۴) نشان می‌دهد مقدار خون حمل شده از مرکز خون m به بیمارستان k در صورتی مثبت است که این دو گروه به یکدیگر تخصیص داده شوند. معادله (۱۵) نشان‌دهنده ظرفیت مقدار خون اهدایی توسط هر یک از گروه‌های اهداکننده می‌باشد. معادله (۱۶) محدودیت تعادلی تسهیلات موقت می‌باشد و نشان می‌دهد میزان خروجی هر یک از تسهیلات باید کمتر از میزان ورودی آنها باشد. معادله تعادلی (۱۷) در واقع محدودیت میزان موجودی هر یک از مراکز خون منطقه‌ای فعلی در دوره‌های مختلف می‌باشد. معادله (۱۸) محدودیت میزان موجودی هر یک از مراکز خون منطقه‌ای جدید در دوره‌های مختلف است. معادله (۱۹) محدودیت تعادلی موجودی برای هر یک از بیمارستان‌ها در طی دوره‌های مختلف است. معادلات (۲۰)، (۲۱)، (۲۲)، (۲۳) به ترتیب نشان‌دهنده محدودیت‌های ظرفیت تسهیلات موقت، مراکز خون منطقه‌ای فعلی و مراکز خون منطقه‌ای جدید و بیمارستان‌ها می‌باشد. معادله (۲۴) تضمین می‌کند که هر یک از گروه‌های اهداکننده به بیش از یک گروه تخصیص نیابد. معادله (۲۵) نشان می‌دهد که هر یک از تسهیلات موقت باید حداقل به یکی از مراکز خون

منطقه‌ای تخصیص یابد. معادله (۲۶) در واقع تضمین می‌کند که هر یک از بیمارستان‌ها باید حداقل به دو مرکز خون تخصیص یابد. علت جایگزینی عدد دو به جای یک نیز اهمیت موضوع خون‌رسانی به بیمارستان‌ها است تا در مواقع ضروری و بحران در صورت بروز مشکل برای یکی از مراکز خون،گزینه دوم برای بیمارستان‌ها جهت دریافت خون موجود باشد. معادله‌های (۲۷)، (۲۸) و (۲۹) تضمین می‌کند که در صورتی اهداکنندگان، تسهیلات موقت یا بیمارستان‌ها می‌توانند به یک مرکز خون جدید تخصیص یابند که آن مرکز احداث‌شده باشد. معادله (۳۰) نشان‌دهنده صفر و یک بودن متغیرها و معادله (۳۱) عدد مثبت بودن و عدد صحیح بودن متغیرها را تضمین می‌کند.

$$\sum_{j_1=1}^{J} Y_{j_1,j_2}^{t} \le 1 \qquad \forall j_2,t \qquad (۴)$$

$$\sum_{j_2=1}^{J} Y_{j_1,j_2}^{t} \le \sum_{j=1}^{J} Y_{j,j_1}^{t-1} \qquad \forall j_1 \in J,t \qquad (۵)$$

$$\sum_{j_1}^{J}\sum_{j_2}^{J} Y_{j_1,j_2}^{t} = P \qquad \forall t \qquad (۶)$$

$$RI_{i,j}^{t} \le \sum_{j_1}^{J} Y_{j_1,j}^{t} \qquad \forall i,j,t \qquad (۷)$$

$$QI_{i,j}^{t} \le RI_{i,j}^{t}.M \qquad \forall i,j,t \qquad (۸)$$

$$QC_{i,n}^{t} \le RC_{i,n}^{t}.M \qquad \forall i,n,t \qquad (۹)$$

$$QF_{j,n}^{t} \le RF_{j,n}^{t}.M \qquad \forall j,n,t \qquad (۱۰)$$

$$QS_{n,k}^{t} \le RS_{n,k}^{t}.M \qquad \forall n,k,t \qquad (۱۱)$$

$$QD_{i,m}^{t} \le RD_{i,m}^{t}.M \qquad \forall i,m,t \qquad (۱۲)$$

$$QT_{j,m}^{t} \le RT_{j,m}^{t}.M \qquad \forall j,m,t \qquad (۱۳)$$

$$QG_{m,k}^{t} \le RG_{m,k}^{t}.M \qquad \forall m,k,t \qquad (۱۴)$$

$$\sum_{j=1}^{J} QI_{i,j}^{t} + \sum_{n=1}^{N} QC_{i,n}^{t} + \sum_{m=1}^{M} QD_{i,m}^{t} \le S_i^{t} \qquad \forall i,t \qquad (۱۵)$$

$$\sum_{n=1}^{N} QF_{j,n}^{t} + \sum_{m=1}^{M} QT_{j,m}^{t} \le \sum_{j=1}^{J} QI_{i,j}^{t} \qquad \forall j,t \qquad (۱۶)$$

$$\sum_{i=1}^{I} QC_{i,n}^{t} + \sum_{j=1}^{J} QF_{j,n}^{t} - \sum_{k=1}^{K} QS_{n,k}^{t} + IC_n^{t-1} \ge IC_n^{t} \qquad \forall n,t \qquad (۱۷)$$

$$\sum_{i=1}^{I} QD_{i,m}^{t} + \sum_{j=1}^{J} QT_{j,m}^{t} - \sum_{k=1}^{K} QG_{m,k}^{t} + IC_m^{t-1} \ge IC_m^{t} \qquad \forall m,t \qquad (۱۸)$$

$$\sum_{n=1}^{N} QS_{n,k}^{t} + \sum_{m=1}^{M} QG_{m,k}^{t} + ID_k^{t-1} - ID_k^{t} + B_k^{t} = D_k^{t} \qquad \forall k,t \qquad (۱۹)$$

$$\sum_{i=1}^{I} QI_{i,j}^{t} \le CAP_j \qquad \forall j,t \qquad (۲۰)$$

$$IC_n^{t} \le CAP_n \qquad \forall n,t \qquad (۲۱)$$

$$IC_m^{t} \le CAP_m \qquad \forall m,t \qquad (۲۲)$$

$$ID_k^{t} \le CAP_k \qquad \forall k,t \qquad (۲۳)$$

$$\sum_{j=1}^{J} RI_{i,j}^{t} + \sum_{n=1}^{N} RC_{i,n}^{t} + \sum_{m=1}^{M} RD_{i,m}^{t} \le 1 \qquad \forall i,t \qquad (۲۴)$$

$$\sum_{n=1}^{N} RF_{j,n}^{t} + \sum_{m=1}^{M} RT_{j,m}^{t} \ge 1 \qquad \forall j,t \qquad (۲۵)$$

$$\sum_{n=1}^{N} RS_{n,k}^{t} + \sum_{m=1}^{M} RG_{m,k}^{t} \ge 2 \qquad \forall k,t \qquad (۲۶)$$

$$RD_{i,m}^{t} \le Z_m \qquad \forall i,m,t \qquad (۲۷)$$

$$RT_{j,m}^{t} \le Z_m \qquad \forall j,m,t \qquad (۲۸)$$

$$RG_{m,k}^{t} \le Z_m \qquad \forall k,m,t \qquad (۲۹)$$

$$RI_{i,j}^{t}, RC_{i,n}^{t}, RF_{j,n}^{t}, RS_{n,k}^{t}, RG_{m,k}^{t} \in \{0,1\} \qquad \forall i,j,n,k, \qquad (۳۰)$$

$$QI_{i,j}^{t}, QC_{i,n}^{t}, QF_{j,n}^{t}, QS_{n,k}^{t}, QG_{m,k}^{t} \ge 0, integer \qquad \forall i,j,n,k, \qquad (۳۱)$$

۳- مطالعه موردی

استان مازندران به‌عنوان استان میانی در شمال کشور واقع است. این استان با نزدیک به ۶۰ شهر و در قالب ۲۱ شهرستان دارای جمعیتی بیش از سه میلیون نفر می‌باشد. تأسیس پایگاه انتقال خون استان مازندران به‌عنوان پنجمین پایگاه انتقال خون کشور در سال ۱۳۵۶ یعنی سه سال پس از تأسیس سازمان انتقال خون ایران مصوب گردیده و در سال ۱۳۵۸ آغاز به کار نمود. اکنون با گذشت بیش از ۳۶ سال استان مازندران دارای ۱۷ پایگاه و مرکز ثابت است که تعداد شش عدد از آنها به‌عنوان مراکز اصلی انتقال خون به‌شمار می‌آیند. همچنین استان مازندران دارای پنج عدد اتوبوس خون‌گیری به‌عنوان واحدهای سیار دریافت خون می‌باشد که این اتوبوس‌ها در ۱۴ شهر عملیات دریافت خون را انجام می‌دهند.

مراکز اصلی انتقال خون استان در شهرستان‌های زیر واقع می‌باشند:

۱- مرکز خون بهشهر
۲- مرکز خون ساری
۳- مرکز خون بابل
۴- مرکز خون آمل
۵- مرکز خون چالوس
۶- مرکز خون تنکابن

مراکز خون اصلی به‌همراه اتوبوس‌های خون‌گیری و کانکس‌های موجود وظیفه دریافت خون در سطح استان را بر عهده دارند.

سازمان انتقال خون استان وظیفه دارد پس از دریافت خون، آزمایش و ذخیره‌سازی خون‌های مورد نیاز تقاضاهای مرتبط با مراکز درمانی و بیمارستان‌ها را به‌عنوان نقاط تقاضا برآورده نمایند. در حال حاضر در استان مازندران به مرکزیت ساری و ۱۱ پایگاه شهرستانی و یک مرکز ثابت خون‌گیری در ساری با هدف تأمین خون سالم وکافی مورد نیاز جهت مراکز درمانی سطح استان انجام وظیفه می‌نماید.

در سطح استان مازندران ۴۷ بیمارستان و مرکز درمانی وجود دارند که سازمان انتقال خون موظف است خون‌های مورد نیاز آنان را تأمین نماید. به‌منظور پوشش دادن به‌موقع تقاضا، سازمان انتقال خون در صدد چگونگی انتخاب و احداث مراکز خونی جدید در شهرهای کاندید یعنی بهشهر و بابلسر می‌باشد. به دلیل طویل بودن استان مازندران، در این تحقیق سعی شده است تا اطلاعات مربوط به ناحیه‌ای از استان که نیمه شرقی آن است به‌عنوان ورودی در مدل پیشنهادی وارد شده و نتایج حاصل ارزیابی شود. اطلاعات مورد نیاز مدل پیشنهادی در ادامه ارائه می‌گردد.

جدول (۱): ظرفیت و درجه اهمیت گروه‌های اهداکننده

	بهشهر	نکا	ساری	جویبار	بابل	بابلسر
دوره اول	۷۰	۶۰	۱۵۰	۸۰	۱۲۰	۷۰
دوره دوم	۱۰۰	۹۰	۱۸۰	۱۱۰	۱۵۰	۱۰۰
اهمیت	۶۰	۴۰	۸۰	۵۰	۸۰	۷۰

جدول (۲): ظرفیت واحدهای سیار خون‌گیری

نکا	جویبار	بابلسر
۳۵	۴۰	۵۰

جدول (۳): ظرفیت مراکز خون فعلی

مرکز نکا	مرکز ساری	مرکز بابل
۸۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰

جدول (۴): ظرفیت و هزینه احداث مراکز خون جدید و کاندید

	مرکز بهشهر	مرکز بابلسر
ظرفیت	۱۰۰۰	۱۰۰۰
هزینه احداث	۸۰۰	۱۰۰۰

جدول (۵): هزینه- مسافت واحدهای سیار به مراکز

واحدسیار / مرکز خون	نکا	جویبار	بابلسر
بهشهر	۲۲	۷۰	۹۴
ساری	۲۶	۲۲	۴۶
بابل	۶۴	۳۴	۱۸
بابلسر	۳۹	۱۷.۵	۲.۵

جدول (۱) و (۲) درجه اهمیت گروه‌های اهداکننده و ظرفیت واحدهای سیار خون‌گیری و جدول (۳) ظرفیت مراکز خون فعلی را نشان می‌دهد. جدول (۴) ظرفیت و هزینه احداث مراکز خون جدید و جدول (۵) هزینه - مسافت واحدهای سیار به‌مراکز می‌باشد. همچنین ظرفیت بیمارستان‌ها نیز از ورودی‌های مسئله به‌شمار می‌آید. مدل مورد نظر نحوه تخصیص مراکز خون به بیمارستان‌ها و همچنین مقدار خون تخصیص داده‌شده و نگهداری‌شده در هر پایگاه خون یا بیمارستان را مشخص می‌کند. علاوه‌بر این مدل مشخص خواهد کرد که آیا مرکز خون منطقه‌ای در شهرهای بهشهر و بابلسر احداث گردد یا نه.

جدول (۶): مسافت گروه اهداکننده از واحد سیار

اهداکننده / واحدسیار	بهشهر	نکا	ساری	جویبار	بابل	بابلسر
بهشهر	۲	۱۵	۲۶	۴۶	۷۰	۷۶
جویبار	۷۲	۵۰	۲۰	۲	۳۰	۳۴
بابلسر	۸۰	۷۶	۴۸	۳۴	۲۲	۲

جدول (۷): هزینه - مسافت اهداکننده از مراکز خون

اهداکننده / مراکز خون	بهشهر	نکا	ساری	بابل	بابلسر
بهشهر	۴	۶۰	۹۶	۱۸۴	۱۹۶
ساری	۱۰۴	۵۲	۴	۸۸	۱۰۰
بابل	۱۸۸	۹۹	۸۴	۴	۴۴
بابلسر	۹۸	۸۰	۴۸	۲۲	۴

جدول (۸): ظرفیت بیمارستان‌ها

شماره	نام بیمارستان	تقاضای دوره اول و دوم	هزینه نگهداری دوره اول و دوم
۱	امام‌خمینی بهشهر	۲۶-۴۱	۱۳۸-۱۴۸
۲	شهدا بهشهر	۱۲-۲۷	۱۴۱-۱۵۱
۳	مهر بهشهر	۳۵-۵۰	۱۷۱-۱۸۱
۴	امیری بهشهر	۲۴-۳۹	۱۲۸-۱۳۸
۵	بو علی نکا	۴۲-۵۷	۱۵۵-۱۶۵
۶	امام حسین(ع) نکا	۱۳-۲۸	۱۴۰-۱۵۰
۷	امام خمینی ساری	۸۲-۹۷	۱۳۶-۱۴۶
۸	بو علی ساری	۷۹-۹۴	۱۴۴-۱۵۴
۹	حضرت فاطمه ساری	۲۸-۴۳	۱۷۲-۱۸۲
۱۰	زارع ساری	۴۸-۶۳	۱۱۷-۱۲۷
۱۱	شفا ساری	۲۴-۳۹	۱۸۴-۱۹۴
۱۲	نیمه شعبان ساری	۱۱-۲۶	۱۷۴-۱۸۴
۱۳	امیر مازندرانی ساری	۳۰-۴۵	۱۳۵-۱۴۵
۱۴	حکمت ساری	۲۰-۳۵	۱۲۱-۱۳۱
۱۵	ولایت ساری	۲۴-۳۹	۱۹۷-۲۰۷
۱۶	حاج عزیزی جویبار	۱۵-۳۰	۱۰۲-۱۱۲
۱۸	کودکان امیرکلا	۴۵-۶۰	۱۸۵-۱۹۵
۱۹	شهید بهشتی بابل	۱۴-۲۹	۱۳۰-۱۴۰
۲۰	۱۷ شهریور بابل	۴۲-۵۷	۱۳۸-۱۴۸
۲۱	مهرگان بابل	۲۱-۳۶	۱۳۱-۱۴۱
۲۲	یحیی نژاد بابل	۱۹-۳۴	۱۱۴-۱۲۴
۲۳	بابل کلینیک	۱۵-۳۰	۱۰۷-۱۱۷
۲۴	حضرت زینب بابلسر	۱۵-۳۰	۱۴۷-۱۵۷
۲۵	شفا بابلسر	۴۲-۵۷	۱۲۳-۱۳۳

جدول (۹): هزینه - مسافت مرکز خون از بیمارستان‌ها

نام بیمارستان / مرکز خون	مرکز بهشهر	مرکز ساری	مرکز بابل	مرکز بابلسر
امام خمینی بهشهر	۱۰	۵۸	۱۰۰	۱۰۵
شهدا بهشهر	۶	۶۰	۹۸	۹۹
مهر بهشهر	۸	۴۸	۱۰۲	۱۰۸
امیری بهشهر	۴	۵۴	۹۸	۱۰۶
بو علی نکا	۳۶	۳۲	۶۸	۸۰
امام حسین(ع) نکا	۲۸	۳۰	۷۴	۷۹
امام خمینی ساری	۴۸	۱۰	۴۸	۵۰
بو علی ساری	۵۸	۴	۵۴	۶۰
حضرت فاطمه ساری	۶۰	۸	۵۲	۵۸
زارع ساری	۵۶	۱۲	۵۸	۶۱
شفا ساری	۵۸	۱۴	۵۴	۵۴
نیمه شعبان ساری	۵۸	۸	۵۶	۵۲
امیر مازندرانی ساری	۵۶	۶	۴۶	۵۳
حکمت ساری	۵۴	۱۰	۴۸	۴۹
ولایت ساری	۶۲	۱۰	۴۶	۴۸
حاج عزیزی جویبار	۸۴	۲۴	۳۴	۳۵
کودکان امیرکلا	۱۱۸	۳۸	۸	۹۴
شهید بهشتی بابل	۱۰۲	۵۰	۶	۲۸
۱۷ شهریور بابل	۱۰۶	۵۲	۴	۲۴
مهرگان بابل	۹۸	۴۸	۱۰	۲۶
یحیی نژاد بابل	۱۰۰	۵۶	۸	۲۲
بابل کلینیک	۱۰۴	۵۲	۱۰	۲۰
حضرت زینب بابلسر	۱۰۴	۵۲	۲۴	۴
شفا بابلسر	۱۰۸	۵۲	۲۴	۸

۴- نتایج محاسباتی

در این قسمت نتایج محاسباتی مرتبط با مطالعه موردی استان مازندران ارائه خواهد گردید. اعداد زیر توسط نرم‌افزار GAMS 24.1.2 به‌عنوان خروجی به‌دست آمده است.

جدول (۱۰): راه‌حل‌های پارتو و مقادیر توابع هدف

حل پارتو	Z_1	$Z_2(*10^3)$	$Z_3(*10^3)$
۱	۰.۵۳	۹۵۷	۱۴۷۴۱۲
۲	۰.۵۳۶	۹۸۲	۱۱۸۱۵۷
۳	۰.۵۳	۱۰۰۰	۱۴۷۳۴۱
۴	۰.۵۲۱	۱۰۰۰	۱۴۷۴۲۶
۵	۰.۵۳۱	۱۰۰۰	۱۳۵۹۱۴
۶	۰.۵۳۹	۱۰۰۰	۱۱۸۱۱۰
۷	۰.۵۳۲	۹۷۷	۱۱۷۲۶۲
۸	۰.۵۳۴	۱۰۰۰	۱۱۷۷۰۷
۹	۲	۱۰۰۰	۲۶۴
میانگین	-	-	-

جدول (۱۱): راه‌حل‌های پارتو و مقادیر توابع هدف

حل پارتو	Gap Z_1^*(%)	Gap Z_2^*(%)	Gap Z_3^*(%)
۱	۱.۷۲	۴.۳	≥ ۲۰۰
۲	۲.۸۷	۱.۸	≥ ۲۰۰
۳	۱.۷۲	۰	≥ ۲۰۰
۴	۰	۰	≥ ۲۰۰
۵	۱.۹۱	۰	≥ ۲۰۰
۶	۳.۳۳	۰	≥ ۲۰۰
۷	۲.۱۱	۲.۳	≥ ۲۰۰
۸	۲.۴۹	۰	≥ ۲۰۰
۹	۲.۸۳	۰	۰
میانگین	۲.۰۱	۰.۹۳	-

با توجه به جدول‌های (۱۰) و (۱۱) می‌توان اطلاعات زیادی در مورد حل مدل کسب کرد. در جداول مذکور مشاهده می‌گردد که تعداد ۹ عدد حل پارتو برای مدل به‌دست آمده است. همچنین مقادیر هر یک از توابع به‌ازای هر کدام از حل‌های پارتو در ستون‌های Z_1 و Z_2 و Z_3 قابل مشاهده است. ستون‌هایی که تحت عنوان Gap وجود دارند در واقع فاصله میان مقادیر هر یک از توابع هدف از مقدار بهینه خود را نشان می‌دهند.

حال با توجه به اعداد، نکات مهمی قابل بیان می‌باشد. از میان حل‌های پارتوی بدست آمده موارد از ۱ تا ۸ همانطور که ملاحظه می‌گردد، حدود تغییراتی نزدیک به یکدیگر دارند اما حل پارتوی شماره ۹ از نظر توابع هدف ۱و ۳ دارای فاصله زیادی نسبت به بقیه موارد می‌باشد. علت این امر هم این است که در این راه‌حل، تمرکز بیشتر بر روی کم کردن هزینه‌ها می‌باشد. بنابراین مدل برای کم کردن هزینه‌ها اثرش را روی تابع هدف اول می‌گذارد به این ترتیب که سعی می‌کند اکثر تقاضاهای بیمارستان‌ها را به صورت کمبود برآورده کند و همانطور که از عدد داخل جدول نیز پیداست مقدار درصد کمبود به ازای این حل افزایش چشم‌گیری نسبت به حل‌های گذشته داشته است. به طور خلاصه افزایش میزان کمبود بیمارستان‌ها جریمه‌ای است که باید برای کم کردن هزینه‌ها پرداخت گردد.

بحث بعدی مربوط به گپ‌های هر یک از توابع هدف می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌گردد مقدار این گپ‌ها کمتر از ۳ درصد می‌باشد که این خود نشان دهنده کارایی مدل و ارائه راه‌حل‌های مناسب و نزدیک مقدار به بهینه می‌باشد که مقادیر قابل قبولی به حساب می‌آید.

جدول۱۲: مقدار خون ارسالی از واحدهای سیار به مراکز

واحد سیار / مرکز خون	نکا	جویبار	بابلسر
بهشهر	۷۰	۵۰	۶۵
ساری	۴۰	۶۰	۵۵
بابل	۳۵	۱۵	۳۰
بابلسر	۱۰	۱۵	۲۰

جدول (۱۲) مقدار خون ارسالی از واحدهای سیار به مراکز خون بر حسب لیتر می‌باشد. بیشترین حجم ارسال خون از مرکز بهشهر به واحد نکا و کمترین میزان ارسال خون از مرکز بابلسر به واحد نکا می‌باشد. شهر بابلسر نیز با توجه به خروجی مسئله هم به‌عنوان مرکز خون و هم شهری که به‌عنوان واحد سیار خون در آن استقرار یافته، انتخاب شده است. این شهر نیز با توجه هزینه‌های در نظر گرفته شده به میزان ۲۰ لیتر خون به واحد سیار خود ارسال می‌نماید.

با بررسی متغیر Z_m نیز مشخص شده است که هر دو شهر کاندید بهشهر و بابلسر برای احداث مرکز منطقه‌ای خون انتخاب می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله بحث زنجیره تأمین خون مورد بررسی قرار گرفت. لذا با مطالعه تحقیقات گذشته در حوزه تحقیق، شکاف‌های موجود شناسایی گردیده و مدل جامعی ارائه شده است که در آن زنجیره تأمین خون در شرایط بحران و همچنین در شرایط عادی در نظر گرفته شد. همچنین این مدل بحث مکان‌یابی و تخصیص تسهیلات موقت خون‌گیری و مراکز خون را به‌طور همزمان در نظر می‌گیرد. در این مدل سه هدف مختلف شامل کمینه‌سازی کمبود بیمارستان‌ها در شرایط عدالت، بحث پوشش حداکثری گروه‌های اهداکننده و همچنین حداقل‌سازی هزینه‌ها که در دنیای واقعی این اهداف انطباق کاملی با شرایط دارد در نظر گرفته شده است.

به‌طور خلاصه در این تحقیق مراحل زیر طی گردید:

در بخش اول، موضوع تحقیق و تعاریف مقدماتی مربوط به آن ارائه گردید و در ادامه اهمیت موضوع تحقیق و کاربردهای آن بیان شد. در بخش دوم، ادبیات مرتبط با زنجیره تأمین خون مورد بررسی قرار گرفت. برای مطالعه تحقیقات گذشته از سایت‌های علمی، ژورنال‌ها، کتاب‌ها و منابع موجود در کتابخانه‌ها استفاده شد و پس از آنالیز آنها شکاف‌ها و کمبودهای حوزه تحقیق تعیین گردید. در بخش سوم، مدل ریاضی پیشنهادی ارائه گردید که در آن سعی شد برخی از شکاف‌های موجود در ادبیات تحقیق مرتفع گردد. بخش چهارم شامل روش حل و نتایج محاسباتی است. سپس به‌عنوان مطالعه موردی مدل پیشنهادی در سازمان انتقال خون استان مازندران پیاده‌سازی گردید و نتایج محاسباتی نیز آورده شده است. مدل مورد نظر نحوه تخصیص مراکز خون به بیمارستان‌ها و همچنین مقدار خون تخصیص داده شده و نگهداری شده در هر پایگاه خون یا بیمارستان را مشخص می‌کند. علاوه‌بر این مدل مشخص خواهد کرد که آیا نیاز به احداث مرکز خون منطقه‌ای در شهرهای بهشهر و بابلسر هست یا خیر. نتایج تحقیق حاکی از احداث مراکز خون در هر دو شهر می‌باشد.

نکته قابل توجه در مورد مقالات بررسی شده، قطعیت پارامترها است. با توجه به پیچیده‌تر شدن مدل‌های پیشنهادی در فضای عدم اطمینان و احتمالی اکثر مقالات مدل‌های خود را با فرض قطعی بودن پارامترها فرمول‌بندی کرده‌اند، حال‌آنکه کارایی مدل در فضای عدم اطمینان و احتمالی به مراتب به واقعیت نزدیک‌تر و کاربردی‌تر است.

همچنین اکثر مقالات به موضوع کنترل موجودی محصولات خون پرداخته و تعداد اندکی بحث زنجیره تأمین و توزیع خون را مدنظر قرار داده‌اند. از میان اندک مقالات کار شده در رابطه با زنجیره تأمین و توزیع، موضوع مورد توجه مکان‌یابی- مکان‌یابی مجدد بیمارستان‌ها، پایگاه‌های خون، انبارها و غیره بوده است. درحالی‌که نحوه ارتباط بین این نقاط و وسایل حمل و نقل نقش به‌سزایی در بهبود زنجیره تأمین خون ایفا می‌کند.

این تحقیق در نظر دارد برخی از شکاف‌های موجود در تحقیقات گذشته را برطرف نماید. لذا مهم‌ترین نوآوری‌های تحقیقاتی عبارتند از:

۱- طراحی یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه به جای تک‌هدفه. زیرا معیارهای مختلفی در طراحی یک زنجیره تأمین خون دخیل هستند و این معیارها گاه در تضاد با یکدیگر بوده و نیاز است به‌صورت همزمان بهینه گردند.

۲- درنظر گرفتن کمبود، پوشش حداکثری و هزینه‌ها به عنوان مهم‌ترین معیارهای زنجیره تأمین خون به‌صورت همزمان.

۳- ارائه تابع هدف حداقل‌سازی، حداکثر درصد کمبود بیمارستان‌ها که بحث عدالت میان بیمارستان‌ها در آن لحاظ گردیده است.

۴- مکان‌یابی مراکز خون جدید جهت احداث در کنار بحث مکان‌یابی واحدهای سیار خون‌گیری و تخصیص.

۵- طراحی یک مدل چند دوره‌ای در ازای یک مدل تک دوره‌ای که به واقعیت نزدیک‌تر و کاربردی‌تر است.

۶- در نظر گرفتن سطوح مختلف موجودی و تعیین میزان موجودی هر یک از گروه‌های زنجیره.

۷- در نظر گرفتن پوشش پشتیبان برای بیمارستان‌ها جهت افزایش قابلیت اطمینان زنجیره. زیرا هنگام مواجهه با بلایای طبیعی مراکز خونی نیز ممکن است دچار سانحه تخریب شوند. لذا در نظر گرفتن پشتیبان برای خون‌رسانی به بیمارستان‌ها نیاز است.

۸- ارائه مطالعه موردی در استان مازندران، به‌منظور حل مدل، اعتبارسنجی آن و تطبیق محیط مسئله با دنیای واقعی.

هدف از این تحقیق ارائه مدلی است که با توجه به شکاف‌های موجود در حوزه تحقیق برخی از آنها را برطرف نماید. اما این تحقیق نیز همانند سایر تحقیقات بدون

فرضیات و محدودیت نیست. لذا جهت بهبود مدل فعلی و تحقیقات آینده در نظر گرفتن موارد زیر پیشنهاد می‌گردد:

۱- در نظر گرفتن مسئله مسیریابی وسایل حمل و نقل در کنار مکان‌یابی که نقش ویژه‌ای در زنجیره خون ایفا می‌کند.

۲- در نظر گرفتن مسئله در فضای عدم اطمینان یا احتمالی.

۳- فقدان پایگاه‌های انهدام خون‌های مازاد در سطوح مختلف زنجیره تأمین احساس می‌گردد. لذا مکان‌یابی یک پایگاه انهدام خون‌های مازاد می‌تواند نوآوری مناسبی باشد.

۴- استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری جدید و مقایسه نتایج حاصل از آن با الگوریتم‌های فعلی.

۵- در نظر گرفتن خون به‌صورت چند محصولی و به تفکیک انواع گروه‌های خونی.

منابع

[1]Van Zyl, G.J.J., ***"Inventory control for perishable commodities"***. University of North Carolina at Chapel Hill, 1963.

[2]Nahmias, S., ***"Perishable inventory theory: A review"***.Operations Research,30(4):p. 680-708, 1982.

[3]Prastacos, G.P., ***"Blood inventory management: an overview of theory and practice"***. Management Science, 30(7): p. 777-800, 1984.

[4]Sirelson, V, Brodheim, E., ***"A computer planning model for blood platelet production and distribution"***. Computer methods and programs in biomedicine, 35(4): p. 279-291, 1991.

[5]Yongming Zhu., ***"A brief introduction to American blood taking system"***. Clinical transfusion and inspection, 1:3, 1999.

[6]Marianov V, Serra D., ***"Location-allocation of multiple-server service centers with constrained queues or waiting times"***. Annals of Operations Research, 111, 35-50, 2002.

[7]Haijema, R, Van der Wal, J., ***"Blood platelet production"***. optimization by dynamic programming and simulation. Comput & Oper Res, Vol. 34, No. 3, PP. 760 -771, 2007.

[8]Kopach, R, Balcıoglu, B, Carter, M., ***"Tutorial on constructing a red blood cell inventory management system with two demand rates"***. European Journal of Operational Research, 185(3): p. 1051-1059, 2008.

[9]Hemmelmayr, V, Doerner, KF, Hartl, RF ,Savelsbergh, WP., ***"Vendor managed inventory for environments with stochastic product usage"***. Eur J Oper Res, Vol. 202, No. 3, PP. 686-695, 2010.

[10]Stanger, S.H, et al., ***"What drives perishable inventory management performance? Lessons learnt from the UK blood supply chain"***. Supply Chain Management, An International Journal, 17(2): p. 107-123, 2012.

[11]Li, Y.-C, Liao H.-C., ***"The optimal parameter design for a blood supply chain system by the Taguchi method"***. International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 8(11): p. 7697-7712, 2012.

[12]Jeroen Belien, Hein Force., ***"Supply chain management of blood products"***. A literature review. European Journal of Operational Research 217(1): 1-16, 2012.

[13]Alfonso, E, et al., ***"Modeling and simulation of blood collection systems"***. Health care management science, 15(1): p. 63-78, 2012.

[14]Sapountzis, C., ***"Allocating blood to hospitals from a central blood bank"***. Eur. J. Oper. Res, Vol. 16,No. 2, PP. 157-162, 1984.

[15]Nagurney, Masoumi, A.A.H., ***"Supply chain network design of a sustainable blood banking system"***. in Sustainable Supply Chains, Springer. p. 49-72, 2012.

[16]Jabbarzadeh, A, Fahimnia, B, Seuring, S., ***"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: p. 225-244, 2014.

[17]Duan, Q, Liao, T.W., ***"Optimization of blood supply chain with shortened shelf lives and ABO compatibility"***. International Journal of Production Economics, 153 :p. 113-129, 2014.

[18] قاسمی، پیمان، محمدیان خباز کاظمی، امیر، علی‌پور، مهدی. ***"مدیریت زنجیره تأمین خون در هنگام زلزله مطالعه موردی: شهر یکن"*** . تهران: کنفرانس بین‌المللی مدیریت، اقتصاد و مهندسی صنایع، ۱۳۹۴.

[19] قاسمی، علی، پایان‌نامه ***"مسیریابی و تخصیص وسایل نقلیه امدادی در فاز پاسخگویی زلزله در منطقه ۹ تهران"***. تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۹۳

[20] Nahofti, J, Teymoury, E, Pishvaee, S., ***"Blood products supply chain design considering disaster circumstances (Case study: earthquake disaster in Tehran)"***. Journal of Industrial and systems engineering, Volume 9, special issue on supply chain, Winter , p. 51-72, 2016.

[21] Fereiduni, M, Shahanaghi, K., ***"A robust optimization model for blood supply chain in emergency situations"***. Quarterly Publication, Volume 7, p. 535-554 , 2016.

[22] Zahiri, B, Mousazadeh, M, Bozorgi-Amiri, A., ***"A Robust Stochastic Programming Approach for Blood Collection and Distribution Network Design"***. International Journal of Research in Industrial Engineering, Volume 3, Number2, p.22-33, 2014.

[23] Zahraee, M, Jafri, R, Firouzi, A., ***"Efficiency Improvement of Blood Supply Chain System Using Taguchi Method and Dynamic Simulation"***. Procedia Manufacturing, Volume 2, 2015, p. 1-5, 2015.

[24]Arvan,M, Tavakkoli-Moghaddam, R, Abdollahi, M., ***"Designing a bi-objective and multi-product supply chain network for the supply of blood"***. Quarterly Publication ,Volume 3, p. 57-68 , 2015.