● وصول مقاله: ۱۴۰۰/۴/۷
● اصلاح نهایی: ۱۴۰۰/۷/۲۴
● پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۸/۶

توسعه مدل برنامه‌ریزی چند هدفه، چند دوره‌ای و چندسطحی زنجیره تامین خون

فاطمه معاشی‌ثانی[۱]/ مصطفی حاجی‌آقایی‌کشتلی[۲]/ یوسف قلی‌پورکنعانی[۳]/ فاطمه هرسج[۴]

چکیده

مقدمه: عدم برنامه‌ریزی درست در تامین خون ممکن است ضررهای جبران ناپذیری برای انسان به دنبال داشته باشد. هدف از این تحقیق تعیین برنامه بهینه اهدا، انبارش و ارسال خون به بیمارستان‌ها در هر دوره است به طوری که میزان هزینه‌های راه اندازی و طراحی زنجیره تأمین خون و نیز مدت زمان تحویل آن را کمینه کند.

روش پژوهش: این مطالعه ازنظر هدف کاربردی و از نظر روش شناسی توصیفی - تحلیلی می‌باشد. مدل با رویکرد عدم قطعیت با استفاده از روش محدودیت اپسیلون و در نرم افزار GAMZ حل شد. برای ارزیابی صحت مدل، مطالعه موردی در ۵ منطقه از استان مازندران صورت گرفت و با انجام تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای کلیدی، اثر آن بر هزینه کل و زمان چرخه دریافت و انتقال خون بررسی شد.

یافته‌ها: نتایج این مطالعه حاکی از دقت بالای مدل با امکان ارسال جانبی بین بیمارستان‌ها می‌باشد. بطوری که با کاهش ۵ درصدی در زمان حمل و نقل تا ۱۵ درصد، کاهش زمان چرخه خون و کاهش ۲۵ درصدی این زمان، کاهش ۲۶ % کل فرآیند انتقال خون را به همراه دارد.

نتیجه‌گیری: نتایج عددی نشان می‌دهد استفاده از این مدل منجر به کاهش هزینه‌های راه اندازی و طراحی زنجیره تامین خون و نتیجتا کاهش مدت زمان دریافت و انتقال آن به بیمارستان‌ها می‌گردد. علت اصلی کاهش وجود سه مرکز سیار خون می‌باشد که وظیفه نگهداری و انتقال خون به بیمارستان‌ها را دارد. در نتیجه استفاده از مدل های با امکان ارسال جانبی توصیه می‌گردد..

کلید واژه‌ها: شبکه زنجیره تامین خون، عدم قطعیت، انتقال جانبی، بیمارستان.

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی صنایع، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، نور، ایران
۲- استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه علم و فناوری مازندران، بهشهر، ایران، (نویسنده مسئول)، پست الکترونیک: mostafahaji@mazust.ac.ir
۳- استادیار گروه مهندسی صنایع، واحد قائمشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائمشهر، ایران
۴- استادیار گروه مهندسی صنایع، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، نور، ایران

مقدمه

از آنجایی که تامین خون در بیمارستان‌ها با جان انسان‌ها رابطه مستقیم دارد، در سیستم‌های سلامت، تامین خون سالم و فراوری شده از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است[۱]. سالانه افراد زیادی به دلیل ضعف در بخش‌هایی از زنجیره تامین خون، دچار مشکلات فراوان و چه بسا جبران ناپذیری می‌شوند. همان‌طور که می‌دانید فرآورده‌های خونی دارای طول عمر کوتاهی بوده و جزء محصولات فساد پذیر به حساب می‌آیند که در صورت نیاز فوری در عمل‌های جراحی و یا موارد اورژانسی از ارزش حیاتی بسیار بالایی برخوردارند. بنابراین تامین به موقع خون در صورت نیاز و امکان پیش‌بینی میزان تقاضای هر بیمارستان از یکسو و جلوگیری از اتلاف آن از سوی دیگری می‌تواند عامل کلیدی در تامین پایدار فرآورده‌های خونی بیمارستان‌ها باشد. عملا بخش عظیمی از این فرآیند بدلیل ضعف در چرخه زنجیره تامین خون دچار اتلاف می‌شود.

بنابراین مدیریت زنجیره‌تامین خدمات بهداشت و درمان نسبت به سایر صنایع از پیچیدگی و اهمیت بیشتری برخوردار است. علاوه برآن با محصولات، خدمات و فعالیت‌های پزشکی مختلفی سروکاردارد و هم‌چنین، تقاضاهای غیر قابل پیش‌بینی، این مدیریت را بسیار مشکل می‌سازد[۲]. بنابراین حفظ تعادل و مدیریت زنجیره تامین خون بین اتلاف و کمبود واحدهای خون، هدف اصلی مدیریت موجودی در زنجیره‌های خون است. آنچه در برنامه‌ریزی برای زنجیره تامین خون حائز اهمیت است، تعادل بین عرضه و تقاضا در این زنجیره است. تقاضای نامشخص و ماهیت فسادپذیری واحدهای خونی 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 می گردد 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 پیچیدگی هایی فنی مانند خون تخصیص یافته و تخصیص نیافته است که منجر می‌گردد تا مدل‌های ساده و عمومی محصولات فاسد شدنی به راحتی قابل تعمیم در این زنجیره نباشند.

بنابراین امروزه مدل‌های توسعه یافته چند هدفه، چند سطحی و چند دوره‌ای جهت برای ارائه راهکارهای مناسب مورد استفاده قرار می‌گیرد که 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. برای مواردی نظیر عمل جراحی قلب باز یا عمل‌های جراحی مربوط به نوزادان بعلت 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 فرایندهایی روی آن، به اجزا مختلفی هم‌چون گلبول، پلاکت، پلاسما و ... تبدیل می‌گردد. مدیریت کارآمد زنجیره تامین خون کمک می‌کند تا به طور مناسب به مشکلات ذکر شده رسیدگی شود[۱۰]. شبکه زنجیره تامین خون چند سطحی شامل مراکز ثابت و موقت/ سیار و مراکز آزمایشگاهی و بیمارستان‌های هدف 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[۱۲]. بنابراین، مراکز موقت، عمل اهدای خون را تسهیل کرده‌اند. مراکز آزمایشگاهی که در مراکز ثابت واقع شده‌اند، موظف به استخراج و فراوری اجزای مختلفی از خون کامل می‌باشند. لازم به ذکر است که تنها تعدادی از مراکز ثابت شامل آزمایشگاه نیز می‌شوند. (در این پژوهش، مراکز اصلی شامل آزمایشگاه به عنوان مراکزجمع آوری اصلی نامیده می‌شوند). شبکه چند سطحی مورد مطالعه در این پژوهش به شرح شکل ۱ می‌باشد. (شکل ۱)

بیمارستان‌ها فرآورده‌های خون را به آسیب‌دیدگان 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 با موجودی کافی از خون تازه در دسترس یکی از مولفه‌های کلیدی در تمامی سیستم های سلامت در دنیا است[۱۳].

بر اساس مطالعه انجام شده بیشترین مرگ ثبت شده بر حسب فصول طبقه‌بندی بین‌المللی بیماری‌ها، بیماری‌های گردش خون است[۱۴]. طبق گزارش منتشر شده 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 ارائه خدمت روزانه به بیش از۳۹۰۰۰ اهدا کننده نیاز دارد و در اغلب گزارش ها نیز اعلام می شود که موجودی خون تا ۲ روز دیگر تمام می شود. در سال ۲۰۱۲ موجودی خون آمریکا به پایین ترین سطح ممکن در عرض ۱۵ سال گذشته رسید[۱۵].

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 دسترس پذیری خون یکی از نیازمندی های کلیدی در این سازمان می باشد. مساله دسترس پذیری خون برای هر یک از گروه های خونی و فرآورده ها می تواند متفاوت باشد؛ به عنوان مثال در ایران در گروه های خونی منفی با کمبود اهداکننده ی خون مواجه هستیم.

به دلیل اهمیت خون در سیستم‌های سلامت و نیز آمارهایی که نشان می‌دهد در هر سه ثانیه یک نفر در جهان به خون نیاز دارد، محققین پژوهش های فراوانی در حوزه زنجیره تامین خون جهت تامین و ارسال به موقع خون به افراد نیازمند در بیمارستان‌ها انجام داده‌اند از جمله می‌توان به برخی از آنها در زیر اشاره کرد[۱۶].

ناهیماس مدعی شده است که علاقه و انگیزه محققین به مسائل موجودی فاسد شدنی در ابتدا از مساله مدیریت بانک خون جرقه زده شده است[۱۷]. عاروان و توکلی مقدم[۱۸] نیز یک مدل طراحی شبکه زنجیره تامین خون ارائه کردند که مکان یابی تسهیلات را با هدف حداقل کردن هزینه‌ها و زمان و در نظر گرفتن فسادپذیری بررسی کردند و ارتباطات عرضی بین بیمارستان ها نیز در آن در نظرگرفته شد[۱۹]. در این مطالعه مراکزجمع آوری و مراکز خون، مکان یابی شده و سپس تخصیص بیمارستان ها و مراکز صورت گرفته است. همدان و دیابات[۲۰] در مطالعه ای مشابه مساله برنامه نویسی تصادفی دو مرحله ای برای گلبول های قرمز ارائه کردند که همزمان تصمیمات تولید، موجودی و مکان را در نظر می‌گیرد. هدف از این پژوهش، به حداقل رساندن سه شاخص تعداد فرآورده‌های فاسد شده، هزینه سیستم و زمان تحویل خون. با استفاده از روش محدودیت اپسیلون می‌باشد.

دهقانی و عباسی[۲۱] به ارائه یک مدل موجودی برای محصولات فسادپذیر با قابلیت کاربرد برای خون پرداختند آنها یک سیاست انتقال عرضی برای محصولات فسادپذیر بر مبنای سن قدیمی ترین محصول برای بهبود عملکرد سیستم پیشنهاد دادند . هم‌چنین از یک رویکرد ابتکاری با استفاده از معادلات

دیفرانسیل جزئی برای محاسبه معیارهای عملکردی و هزینه بهره جستند. حسینی مطلق و همکاران[۲۲] به توسعه مدل برنامه‌ریزی خطی ریاضی برای تحقق همزمان سه چالش انگیزه اهداکنندگان، بهینه سازی تصمیم گیری در خصوص موقعیت و ظرفیت تسهیلات و کنترل قابلیت اطمی‌نان و پایداری زنجیره تامین خون پرداختند و در یک مطالعه موردی به کنترل عدم قطعیت و امکان رفع اختلالات پرداختند.

حسینی و همکاران[۲۳] یک مدل برنامه‌نویسی تصادفی دومرحله ای که انتقال بین مراکز عرضه و تقاضا بر اساس شاخص ABO-RH بوده که با هدف حداقل رساندن هزینه کل زنجیره تامین شامل هزینه‌های ثابت، هزینه‌های عملیاتی، هزینه‌های نگهداری موجودی، هزینه‌های ضایعات و هزینه‌های حمل و نقل برای مدیریت زنجیره تامین گلبول‌های قرمز ارائه دادندکه این مدل برای مقابله با عدم قطعیت پارامترهای مربوط به تخصیص موقعیت مکانی تسهیلات و مدیریت موجودی با روش بهینه‌سازی استوار پارامترهای تاثیرگذار را بهینه نمود.

دریکوند و همکاران[۲۴] یک مدل برنامه‌نویسی تصادفی استوار را برای مسئله توزیع موجودی در یک زنجیره تامین خون پیشنهاد کردند که هدف نخست، به حداقل رساندن تعداد کل کمبودها و اتلاف، هدف دوم ارتباط بین یک مرکز خون و دو تیپ بیمارستان بود. آنها از روش ترکیبی محدودیت اپسیلون و آرام‌سازی 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[۲۵] یک مدل دوهدفه با در نظر گرفتن انتقالات جانبی بین بیمارستان‌ها برای طراحی شبکه زنجیره تامین خون با هدف کاهش هزینه تأسیس تسهیلات ثابت و موقت، هزینه‌های انتقال فرآورده های خونی و حداقل کردن حداکثر میزان کمبود ارائه دادند و نتایج در مدل فازی به دلیل وجود آلفا-کات۱ انعطاف پذیرتر شد. در جدول ۱ خلاصه ای از مقالات حوزه طراحی شبکه زنجیره تامین خون گرداوری شده است و جایگاه پژوهش حاضرنسبت به پژوهش‌های مهم انجام شده در سال‌های اخیر مشاهده می‌شود. (جدول۱)

از آنجا که چالش اصلی محصولات فاسدشدنی در مدیریت موجودی ناشی از منقضی شدن تاریخ مصرف آن است[۱]. مدیریت هزینه در زنجیره تامین خون از اهمیت بالایی برخوردار است. لذا هزینه خون به صورت کلی وابسته به گام هایی است که برای تحویل واحد خون می بایست برداشته شود، هرچه این گام ها بیشتر و پیچیده‌تر باشد، هزینه این خدمت نیز افزایش می‌یابد[۲۶].

هزینه هر واحد گلبول قرمز خون در آمریکا 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 بیمارستان ها، ۹۰٪ از هزینه خسارت ناشی از خون‌های منقضی شده را پرداخت می‌کنند؛ در نتیجه بیشترین استرس و فشار هزینه برای بیمارستان‌ها است[۲۷].

در حالی که در ایران، خون و فرآورده های خونی به صورت رایگان میان بیمارستان ها توزیع می شوند و در نتیجه بیمارستان ها برنامه مناسبی برای مدیریت بهینه مصرف خون ندارند؛ البته بیمارستان ها هزینه خون تزریق شده به بیمار را در خدمت ارائه شده محسوب می‌کنند. در نتیجه بحث اتلاف خون و مدیریت هزینه ناشی از آن تبدیل به هزینه های پنهان در سازمان انتقال خون ایران شده است. با توجه به مجموعه تحقیقات انجام شده در حوزه ی زنجیره تامین خون، هنوز برنامه‌ریزی جامعی برای توسعه و بهبود مدل‌های زنجیره تامین خون انجام نشده است که بطور همزمان بتواند هم بحث عدم قطعیت و هم سیاست انتقال عرضی و امکان ارسال جانبی را در زنجیره تامین خون چند سطحی و چند دوره ای و چند هدفه خون دنبال کند پس سعی بر آن است که در تحقیق حاضر به همه این مسائل مطرح شده یکجا پرداخته شود و در مطالعه موردی و واقعی ابن مدل توسعه یافته و در بوته آزمایش قرارگیرد و هزینه‌های این مدل ارزیابی گردد.

روش پژوهش

این مطالعه ازنظر هدف کاربردی و از نظر روش‌شناسی به صورت توصیفی - تحلیلی می‌باشد که به منظور توسعه مدل شبکه زنجیره تامین خون با درنظرگرفتن شرایط عدم قطعیت برای کالایی بسیار حیاتی و با خصوصیاتی ویژه و در جهت بهبود مدل‌های پیشین صورت می‌گیرد. در این بخش یک مدل ریاضی یکپارچه دوهدفه و دارای حالت انتقال جانبی بین بیمارستان‌ها برای شبکه زنجیره تامین خون با پارامترهای تصادفی ارائه شده است که تابع هدف آن، کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های زنجیره تامین و زمان دریافت خون و انتقال به بانک های خونی و بیمارستان‌ها است. دراین تحقیق یک شبکه زنجیره تامین سه سطحی با قابلیت انتقال جانبی طراحی شده است. بر این اساس، مفروضات مسأله پیشنهادی بصورت زیر لحاظ می‌شود:

- بحث فعال شدن مراکز سیار اهدای خون به‌صورت عملیاتی در هر دوره در نظر گرفته شده است.
- تقاضای مناطق متقاضی تقسیم پذیر بوده و می‌تواند طی چند قسمت و از چند بیمارستان برآورده شود. جهت مواجه نشدن با فسادپذیری واحدهای خونی، مدیریت موجودی در نظر گرفته شده در این مسئله به صورت FIFO می‌باشد.
- امکان اختلال عملکرد مراکز ثابت و سیار اهدای خون و بیمارستان ها در نظر گرفته شده است و هم‌چنین اگر در یکی از این تسهیلات مشکلی به وجود آمد، تسهیل به صورت‌کامل مختل شده و تمام موجودی آن از بین خواهد رفت.
- با توجه به این که در فضای دنیای واقعی مقادیر خون دریافت شده توسط هر منطقه در مراکز اهدای خون به دلیل عدم مواجهه با فسادپذیری در اسرع وقت به بانک های خون منتقل می‌شوند و امکان نگهداری واحدهای خونی در مراکز اهدای خون وجود ندارد، لذا در این مسئله نیز نگهداری موجودی در مراکز اهدای خون در نظر گرفته نشده است.
- با توجه به این که در مورد فعال شدن مراکز سیار اهدای خون ممکن است تصمیم گیرندگان با محدودیت بودجه مواجه شوند، به همین دلیل در این مسئله 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 بیمارستان ها ظرفیت محدود در نظر گرفته شده است.
- با توجه به ارزیابی صورت پذیرفته، برخی از عوامل مساله که در فضای دنیای واقعی ماهیتی غیرقطعی دارند بصورت فازی در نظر گرفته شده است.

در این قسمت به تعریف مجموعه ها، پارامترها و متغیرهای تصمی‌م پرداخته می‌شود.

اندیس ها

I	اندیس مراکز اهدا کننده 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

پارامترها

$\widetilde{a_{ij}}$	هزینه جمع اوری خون از منطقه i توسط مرکز ثابت اهدای خون j
$\widetilde{b_{ik}}$	هزینه جمع اوری خون از منطقه i توسط مرکز سیار اهدای خون k
$\widetilde{c_{jl}}$	هزینه حمل و نقل خون از مرکز ثابت j به بانک خون l
$\widetilde{e_{kl}}$	هزینه حمل و نقل خون از مرکز سیار k به بانک خون l
$\widetilde{f_l}$	هزینه نگهداری واحد های خونی در بانک خون l
tc_{jl}	مدت زمان حمل و نقل خون از مرکز ثابت j به بانک خون l
te_{kl}	مدت زمان حمل و نقل خون از مرکز سیار k به بانک خون l
$\widetilde{g_{lm}}$	هزینه حمل و نقل واحد های خونی از بانک خون l به بیمارستان m

$\widetilde{h_m}$ هزینه نگهداری واحد خونی در بیمارستان m

$\widetilde{r_n}$ هزینه عدم خونرسانی به مراکز متقاضی منطقه n

$\widetilde{p_k}$ هزینه فعال شدن مرکز سیار اهدای خون k

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

w_{ij} اگر منطقه اهدا کننده خونi تحت پوشش مرکز ثابت j قرار بگیرد مقدار ۱ در غیر این صورت ۰

we_{ik} اگر منطقه اهدا کننده خونi 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 واحد های خونی سالم پس از تصویه خون

p_s احتمال رخ داد سناریو s

O تعداد مراکز سیار اهدای خون

M عدد بزرگ

ys_{mt}^s مقدار موجودی واحد های خونی در بیمارستان m در دوره t تحت

xye_{jlt}^s اگر واحد خونی اهدا شده از مرکز ثابت انتقال خون j به بانک خو
این صورت ۰

vye_{klt}^s اگر واحد خونی اهدا شده از مرکز سیار انتقال خون k به بانک خو
این صورت ۰

مدل ریاضی

$$\min z1 = \gamma * (\max(z_s - z_s^*)) + (1-\gamma) * \left(\sum_s p_s * \sum_i \sum_j \sum_t \widetilde{a_{ij}} * xe_{ijt}^s + \sum_i \sum_k \sum_t \widetilde{b_{ik}} * ve_{ikt}^s + \sum_j \sum_l \sum_t \widetilde{c_{jl}} * qq_{jlt}^s + \sum_k \sum_l \sum_t \widetilde{e_{kl}} * y_{klt}^s + \sum_l \sum_t \widetilde{f_l} * ws_{lt}^s + \sum_l \sum_m \sum_t \widetilde{g_{lm}} * tet_{lmt}^s + \sum_m \sum_t \widetilde{h_m} * ys_{mt}^s + \sum_n \sum_t \widetilde{r_n} * ys_{mt}^s \right) + \sum_k \sum_t \widetilde{p_k} * X_{kt} \quad (۱)$$

$$z_s = \left(\sum_i \sum_j \sum_t \widetilde{a_{ij}} * xe_{ijt}^s + \sum_i \sum_k \sum_t \widetilde{b_{ik}} * ve_{ikt}^s + \sum_j \sum_l \sum_t \widetilde{c_{jl}} * qq_{jlt}^s + \sum_k \sum_l \sum_t \widetilde{e_{kl}} * y_{klt}^s + \sum_l \sum_t \widetilde{f_l} * ws_{lt}^s + \sum_l \sum_m \sum_t \widetilde{g_{lm}} * tet_{lmt}^s + \sum_m \sum_t \widetilde{h_m} * ys_{mt}^s + \sum_n \sum_t \widetilde{r_n} * ys_{mt}^s \right) + \sum_k \sum_t \widetilde{p_k} * X_{kt} \quad \forall s \quad (۲)$$

متغیرهای تصمیم

X_{kt} اگر مرکز سیار اهدای خون k در دوره t فعال باشد ۱ در غیر این صورت ۰

xe_{ijt}^s مقدار واحد خونی اهدا شده از منطقه i به مرکز ثابت انتقال خون j در دوره t تحت سناریو s

ve_{ikt}^s مقدار واحد خونی اهدا شده از منطقه i به مرکز سیار انتقال خون k در دوره t تحت سناریو s

qq_{jlt}^s مقدار واحد خونی حمل شده از مرکز ثابت j به بانک خون l در دوره t در سناریو s

y_{klt}^s مقدار واحد خونی حمل شده از مرکز سیار k به بانک خون l در دوره t در سناریو s

tet_{lmt}^s مقدار واحد خونی حمل شده از بانک خون l به بیمارستان m در دوره t در سناریو s

qe_{mnt}^s مقدار واحد خونی حمل شده از بیمارستان m به مراکزمتقاضی n در دوره t در سناریو s

u_{nt}^s مقدار کسری خون به مناطق متقاضی n در دوره t تحت سناریو s

ws_{lt}^s مقدار موجودی واحد های خونی در بانک خون l در دوره t تحت سناریو s

$$\min z2 = \sum_s p_s * \left(\sum_j \sum_l \sum_t xye_{jlt}^s * tc_{jl} + \sum_k \sum_l \sum_t te_{kl} * vye_{klt}^s \right) \quad (۳)$$

محدودیت‌های مدل

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

$$ve_{ikt}^s \le M * (whe^s{}_{kt} * X_{kt} * we_{ik}) \quad \forall i.k.t.s \quad (۵)$$

(۶)

$$\sum_i xe^s_{ijt} \le vv_j \qquad \forall j.t.s$$

(۷)

$$\sum_i ve^s_{ikt} \le q_k \qquad \forall k.t.s$$

(۸)

$$\sum_l qq^s_{jlt} = \sum_i xe^s_{ijt} \qquad \forall j.t.s$$

(۹)

$$\sum_l y^s_{klt} = \sum_i ve^s_{ikt} \qquad \forall k.t.s$$

(۱۰)

$$\sum_j qq^s_{jlt} + \sum_k y^s_{klt} \le si_l \qquad \forall l.t.s$$

(۱۱)

$$ws^s_{lt-1} + \sum_j qq^s_{jlt} + \sum_k y^s_{klt} - X\sum_m tet^s_{lmt} = ws^s_{lt} \quad \forall l.t.s$$

(۱۲)

$$ws^s_{lt} \le si_l \qquad \forall l.t.s$$

(۱۳)

$$\sum_i tet^s_{imt} \le tt_m * bb^s_{mt} \quad \forall m.t.s$$

(۱۴)

$$ys^s_{mt-1} + X\sum_i tet^s_{imt} - \sum_n qe^s_{mnt} = ys^s_{mt} \quad \forall m.t.s$$

(۱۵)

$$ys^s_{mt} \le tt_m * bb^s_{mt} \qquad \forall m.t.s$$

(۱۶)

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

(۱۷)

$$d^s_{nt} - \sum_m qe^s_{mnt} = u^s_{nt} \qquad \forall n.t.s$$

(۱۸)

$$\sum_k X_{kt} \le 0 \qquad \forall k$$

(۱۹)

$$qq^s_{jlt} \le M * xye^s_{jlt} \qquad \forall j.l.t.s$$

(۲۰)

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

رابطه (۱) تابع هدف اول مسئله را نشان می‌دهد که کمی‌نه سازی حداکثر تاسف یا حالت واقع بینانه(بخش اول) امی‌د ریاضی کلیه سناریو ها و حالت دوم بدبینانه (بخش دوم) می‌باشد. رابطه (۲) بخش دوم این تابع هدف را نشان می‌دهد که شامل هزینه انتقال خون از به مراکز ثابت و سیار اهدای خون و هزینه‌های حمل و نقل از مراکز ثابت و سیار خون به بانک خون و هزینه‌های انتقال از بانک خون به بیمارستان ها و از بیمارستان‌ها به مناطق متقاضی می‌باشد و هزینه‌های نگهداری موجودی در بانک خون و بیمارستان ها و هزینه کسری موجودی در مناطق متقاضی است. رابطه (۳) تابع هدف دوم مسئله را نشان می‌دهد که کمی‌نه سازی زمان دریافت خون و انتقال به بانک های خونی می‌باشد.

محدودیت (۴) تضمین می کند تا مقدار واحد خونی دریافت شده 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 حمایت شده و ان مرکز سیار بازگشایی شده باشد. محدودیت (۶) تضمین می کند مقدار خون دریافت شده از هر منطقه i توسط مراکز ثابت کمتر از ظرفیت آن مراکز باشد.

محدودیت (۷) تضمین می کند مقدار خون دریافت شده از هر منطقه i توسط مراکز سیار کمتر از ظرفیت آن مراکز باشد. محدودیت (۸) تضمین می کند مقدار خون جمع‌آوری شده از تمام نواحی i توسط مراکز ثابت اهدا در هر دوره از مراکز ثابت به بانک های خونی ارسال می‌شود. محدودیت (۹) تضمین می کند مقدار خون جمع آوری شده از تمام نواحی i توسط مراکز سیار اهدا در هر دوره از مراکز سیار به بانک های خونی ارسال می‌شود.

محدودیت (۱۰) تضمین می‌کند که خون‌های جمع‌آوری شده از سوی مراکز ثابت و سیاری که به بانک خون می‌رسد از ظرفیت آن کمتر باشد. محدودیت (۱۱) تضمین می کند موجودی در هر دوره مساوی

موجودی دوره قبل و مقدار خون دریافت شده از مراکز ثابت و سیار و مقدار خون ارسال شده به بیمارستان‌ها می‌باشد. محدودیت (۱۲) تضمین می کند مقدار خون موجود در بانک خون از ظرفیت بانک خون کمتر باشد. محدودیت (۱۳) تضمین می کند مقدار خون حمل شده به هر بیمارستان در صورت دچار اختلال نشدن بایستی کمتر از ظرفیت بیمارستان باشد. محدودیت (۱۴) بیان می کند موجودی بیمارستان ها در هر دوره حاصل جمع موجودی دوره قبل و مقدار خون سالم مانده کسر مقدار خون ارسال شده به مناطق بحران است.

محدودیت (۱۵) بیان می کند که نگهداری موجودی در بیمارستان بایستی کمتر از ظرفیت بیمارستان باشد. محدودیت (۱۶) بیان می کند شرط دریافت خون توسط مناطق متقاضی از هر بیمارستان این است که مناطق تحت حمایت بیمارستان باشند. محدودیت (۱۷) میزان کسری خون در مراکز بحران را بیان می کند. محدودیت (۱۸) بیان می کند 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.

با توجه به سوالات و مفروضات مدلسازی، یک مدل ریاضی برنامه ریزی غیرخطی ترکیبی عدد- صحیح (MINLP) در جهت لجستیک خونی معرفی و توسعه داده شد. برای آزمودن صحت و اعتبار مدل پیشنهادی، مدل ریاضی ارائه شده در ابعاد کوچک‌تر توسط نرم افزار گمز که یک نرم‌افزار تحقیق در عملیات است حل شد. سپس به بررسی عدم قطعیت فازی مدل پرداخته و با توجه به غیرخطی بودن مدل ریاضی با استفاده از روش محدودیت اپسیلون، مدل خطی سازی شد.

هدف از این کار این است که با رویکرد بهینه‌سازی با استفاده از روش محدودیت اپسیلون ، مدل ریاضی زنجیره تامین را از لحاظ پارامتر های مهم مسأله هم‌چون میزان عرضه خون، میزان تقاضا، ظرفیت هر یک از مراکز و هزینه‌های مرتبط در زنجیره تامین خون و امکان ارسال جانبی فرآورده های خونی بررسی کرده و با ایجاد بهینه‌سازی مدل ریاضی به ارزیابی حساسیت اثر گذار در زمان انتقال فرآورده های خونی بپردازیم.

جهت انجام مطالعه موردی با مشورت خبرگان زنجیره تامین خون در استان مازندران که ضمن داشتن تحصیلات آکادمی‌ک حداقل فوق لیسانس، دارای حداقل پانزده سال تجربه نیز می باشند، تعداد مراکز اهدا کننده خون در ۱۰ نقطه در ۵ منقطه استان مازندران و سپس ۴ مرکزکلیدی در شرق، غرب و مرکز استان با نام های چالوس، آمل، بابل و ساری به ضرورت انتخاب شدند. بر اساس مراکز اهدای خون معرفی شده در سطح شهر ۵ مرکز سیار اختصاص داده شد که با استفاده از اتوبوس های سیار به عمل دریافت خون از اهدا کنندگان کمک می 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 بیمارستان هایی که خون های سالم را به مناطق و درمانگاه ها توزیع می کند نیز ۳ بیمارستان در نظر گرفته شد. درمانگاه ها و کلینیک های خصوصی متقاضی خون و فراورده های آن را ۱۰ مرکز در سطح استان مازندران در نظر گرفته و بر اساس این ۱۰ مرکز سطح مدیریت زنجیره تامین در سه دوره زمانی و در دو سناریوی وضعیت عادی و وضعیت غیر عادی مدل سازی و حل شد.

روش محدودیت اپسیلون

مدل محدودیت اپسیلون تقویت شده را می‌توان مطابق رابطه (۲۱) نمایش داد:

(۲۱)

$$\text{Min/Max}\left(f_1(x) + \theta * \left(\frac{s_2}{r_2} + \frac{s_3}{r_3} + \cdots + \frac{s_i}{r_i} \ldots + \frac{s_n}{r_n}\right)\right)$$

St :

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

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

....

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

$s_i \in R^+$

طبق رابطه فوق راه حل های بهینه پارتو بدست می آیند.که در آن ri دامنه تابع هدف i ام ، ϑ یک عدد کوچک بین ۰.۰۱ تا ۰.۰۰۰۰۰۱ و Si یک متغیر اضافی غیر منفی هستند. ابتدا مقدار NIS_{fi} (بدترین مقدار) و PIS_{fi} (بهترین مقدار) برای هر تابع هدف بدست آورده می شوند،سپس مقدار دامنه تابع هدف iام طبق رابطه (۲۲) محاسبه می‌شود:

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

بعد از آن r_i به بازه های برابر l_i تقسیم می‌شود.سپس l_i+1 نقطه بدست آورده می شوند که طبق رابطه زیر مقدار اپسیلون ها بر اساس این نقاط (Grid point) بدست آورده می‌شود. در این روش به ازای تمام اپسیلون های بدست آمده مدل باید حل شود که طبق رابطه (۲۳) η شماره نقاط (Grid point) بدست آمده است.

$$\varepsilon_i^{\eta} = NIS_{fi} + \frac{r_i}{l_i} * \eta \quad (۲۳)$$

یافته‌ها

در این بخش با توجه به اهداف در نظر گرفته شده در مدل ریاضی که حاصل کمی‌نه سازی هزینه و کمینه‌سازی زمانبندی توزیع در زنجیره تامین خون می‌باشد، لذا در بخش اول ورودی های مدل ریاضی با استفاده از جمع اوری اطلاعات در مناطق ۱۰ گانه جمع‌آوری شد. حال پس از کدنویسی در گمز ابتدا نتایج بدست آمده به صورت جدول ۲ ارائه می‌شود، درنهایت مقادیر زیر برای هریک از متغیرها بدست آمده است: (جدول ۲)

سپس با استفاده از رابطه (۲۴) زیر مقدار اپسیلون ها را بدست آوردیم که در جدول ۳ نمایش داده شده است. (جدول ۳)

$$\varepsilon_i^{\eta} = NIS_{fi} + \frac{r_i}{l_i} * \eta \quad (۲۴)$$

در نهایت مدل اپسیلون تقویت شده را با استفاده از نرم‌افزار گمز برای هر یک از اپسیلون ها بدست آمده حل کردیم. مجموعه جواب های بهینه پارتو بدست آمده مطابق جدول ۴ است: (جدول۴)

شکل ۲ نشان می‌دهد روش محدودیت اپسیلون تقویت شده جواب های بهینه کارآمد پارتو را ارائه می‌کند. (شکل ۲)

در این روش یکی از توابع هدف به عنوان تابع هدف اصلی در نظر گرفته می‌شود تا بهینه سازی شود در حالی که تابع هدف دیگر به عنوان محدودیت در مدل قرار می گیرد. پس از کد نویسی در گمز در نهایت مدل اپسیلون تقویت شده را با استفاده از نرم افزار گمز برای هر یک از اپسیلون ها بدست آمده حل کردیم. از این رو با استفاده از روش محدودیت اپسیلون به ارزیابی مدل ریاضی پرداخته خواهد شد.

تحلیل حساسیت مدل ریاضی

همان‌گونه که می دانیم بخش جدای ناپذیر هر مدل ریاضی بررسی حساسیت پارامتر های ورودی به مساله است از این رو در این بخش قصد داریم تا با بررسی پارامترهای اثر گذار بر نتایج مدل ریاضی، حساسیت هر یک به تغییرات را مشخص و بررسی نمائیم.

الف) تحلیل حساسیت مربوط به زمان ارسال فرآورده های خونی از مرکز ثابت به بیمارستان

همانطور که در مدل ریاضی نیز اشاره شد یکی از آیتم های اثر گذار بر بهبود سیستم طراحی شده، مدت زمان حمل و نقل میان مرکز ثابت و سیار یا بیمارستان بوده است که با توجه به آنالیز حساسیت انجام شده، شکل ۳ نشان می‌دهد. (شکل۳)

کاهش زمان حمل و نقل از میزان ۵ درصد تا ۲۵ درصد، کل بهبود تابع هدف بین ۱ الی ۲ درصد می باشد 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.

ب) تحلیل حساسیت مربوط به مدت زمان جابجای و انتقال از بیمارستان به مرکز متقاضی

همان‌گونه که در مدل شبیه‌سازی و ریاضی مشاهده شد، برترین سناریو بهبود، بهبود در حمل و نقل مربوط به بیمارستان به مرکز متقاشی است که این موضوع مورد تحلیل حساسیت پارامتری قرار گرفت:

شکل ۴ نشان می‌دهد مهم‌ترین موضوع در تحلیل حساسیت انجام شده، 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 دقت نظر بالایی در این بخش اشاره دارد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد کاهش ۲۵ درصدی این زمان کاهش ۲۶٪ کل سیکل انتقال بوده که این بهبود بسیار بسیار تاثیر گذار در روند اجرای سناریو های بهبود است و عملاً صحه‌گذاری بر نتایج حاصل از مدل ریاضی توسط تحلیل حساسیت نیز انجام شد. (شکل ۴)

بحث و نتیجه‌گیری

به منظور بهبود و توسعه شبکه زنجیره تامین خون، از مدل ریاضیMINLP در جهت لجستیک خونی استفاده شد. در این مدل هزینه‌های لجستیک خون و زمان دریافت تا انتقال فرآورده های خونی با توجه به پارامترهای کلیدی مساله تعیین گردید. هم‌چنین، امکان ارسال جانبی فراورده های خونی در دوره های زمانی نیز مورد بررسی قرار گرفت. یکی از وجه تمایزات این مدل توسعه یافته نسبت به مدل های مشابه استفاده همزمان بحث عدم قطعیت و سیاست انتقال عرضی و امکان ارسال جانبی می‌باشد که کارایی مدل را در مقایسه با مدل‌های مشابه افزایش داده است.

نتایج عددی این تحقیق نشان می دهد استفاده از این مدل به کاهش هزینه کل و نتیجتا کاهش زمان دریافت خون و انتقال به بانک های خونی و بیمارستان‌ها منجر می‌شود که با نتایج حسینی مطلق و چراغی[۲۲] و حسینی مطلق و همکاران[۲۳] و دریوکند[۲۴] کاملا مطابقت دارد.

علت عمده کاهش سیکل زمان انتقال خون در این مدل توسعه یافته این است که در تحلیل صورت پذیرفته در مطالعه موردی ۳ بانک خون سیار شناسایی شدند که وظیفه نگهداری و انتقال خون را پس از ارزیابی سلامت خون به بیمارستان ها را بر عهده داشتند. همان طور که نتایج تحلیل حساسیت نشان داد، بخش بیشتر بهبود حاصل شده در مدل بدلیل بهبود در زمان مرکز ثابت می‌باشد ومرکز سیار اثر چندانی بر بهبود مدل نداشته است.

مهم‌ترین موضوع حساسیت مربوط به مدت زمان جابجایی و انتقال از بیمارستان به مرکز متقاضی است که با کاهش ۵ درصدی در زمان این حمل و نقل تا ۱۵ درصد زمان سیکل تامین تا توزیع فرآورده های خونی کاهش داشته است که این میزان حساسیت دقت بالای مدل را نشان می‌دهد که با نتایج تحقیقات عاروان و توکلی مقدم[۱۹] هم‌خوانی دارد. همانطور که مشاهده می گردد کاهش ۲۵ درصدی این زمان حدود۲۶ % از کل چرخه دریافت تا انتقال خون را کاهش می‌دهدکه عملاً بر نتایج حاصل از مدل ریاضی توسط تحلیل حساسیت نیز صحه گذاری شده است.

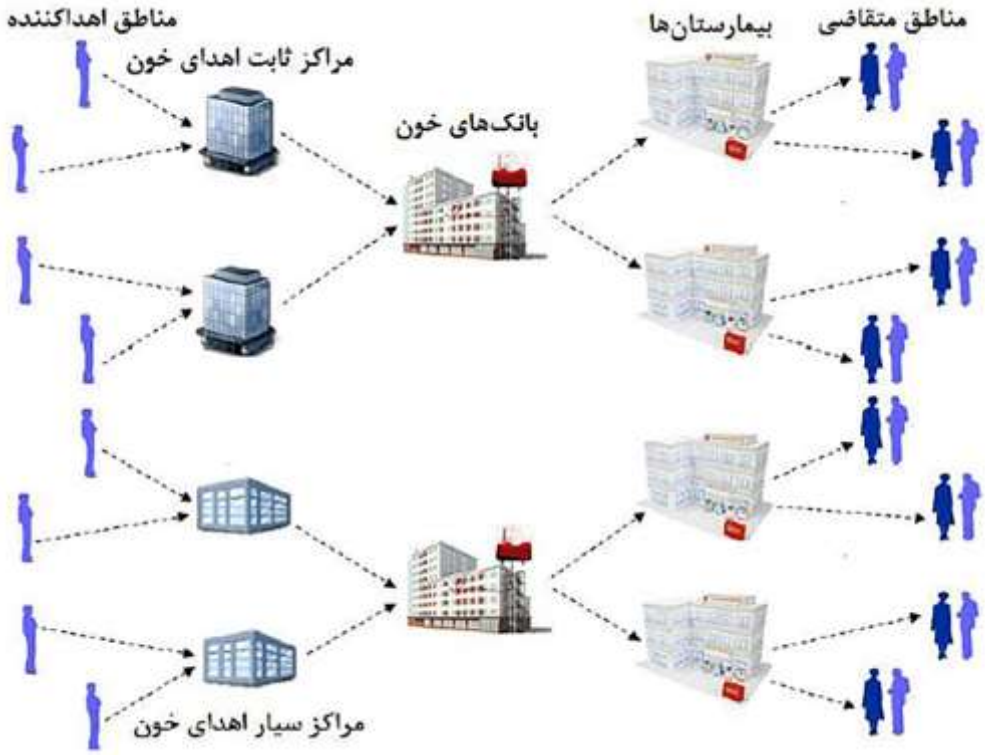
تحلیل های انجام شده در این مقاله حاکی از نیاز زنجیره تامین خون کشورجهت پاسخگویی بیشتر وبهتر به امکان ارسال جانبی فرآورده‌های خونی در بیمارستان هاست، به نحوی که در صورت نبود این امکان، تامین تقاضای کل کشور دچار اختلال می گردد این در حالی است که با ایجاد این امکان هزینه زنجیره مطابق با تحقیقات دهقانی و عباسی[۲۱] به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد ، لذا توجه به این امر به مدیران حوزه بهداشت و سلامت کشور توصیه می‌شود[۱۸].

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 پردازش شده ی در دسترس در

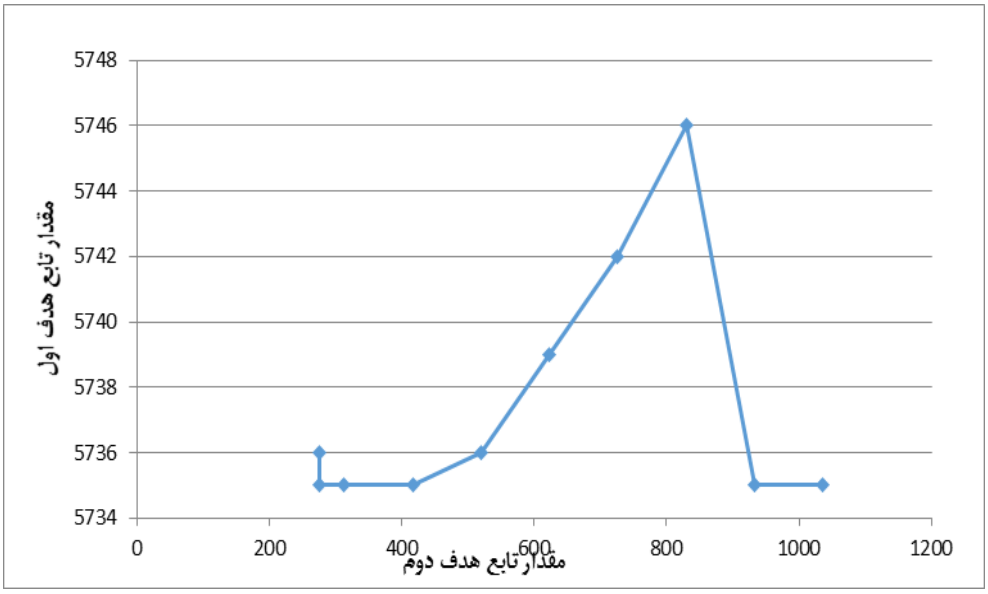
بیمارستان‌ها، با فراهم ساختن امکان ارسال جانبی فرآورده‌های خونی در زنجیره تامین خون می‌توان پاسخگویی به تقاضا و مصرف فرآورده‌های خونی بیماران را تاحد زیادی در مراکز درمانی بهبود بخشید.
میزان مصرف فرآورده های خونی در بیمارستان‌ها تابعی از تعداد حوادث و سوانح روزانه است و ماهیتی غیرقطعی دارد و این امر موجب می‌شود در اغلب موارد، پیش بینی میزان دقیق تقاضای روزانه‌ی بیمارستان‌ها با میزان تقاضای عملی آنها مطابقت نداشته باشد[۲۸].
نتایج این تحقیق نشان داد که در چنین شرایطی بیمارستان‌ها ترجیح می‌دهند تا مقدار بیشتری از فرآورده های خونی سفارش دهند تا ذخیره ی 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 زنجیره‌ی تأمین خون مقدور نیست. نتایج فار و همکاران[۲۹] نیز نشان می‌دهد که تقریبا ۷۷/۹ درصد از واحدهای خون هدر رفته به دلیل انقضای زمان هدر می رود.
با توجه به محدودیت و ضرورت های بوجود آمده مدل توسعه یافته فوق در سطح استان مازندران و در ابعاد کوچک بررسی شد که پیشنهاد می‌گردد این مدل جهت ارزیابی بهتر در سطح کل کشور با الگوریتم های فراابتکاری چندهدفه حل و تحلیل گردد. هم‌چنین شرایط کنونی کشور در خصوص بیماری کووید ۱۹، شرایط قرنطینه و عدم تمایل مردم به خون دهی مزید بر علت شد. با توجه به تاثیرگذاری نوع صنعت در بهبود مدل زنجیره تامین [۳۰] پیشنهاد می‌شود این پژوهش برای دیگر سیستمهای خدمات مراقبتهای بهداشتی نیز انجام شود و اقدامات جهت بهبود مورد بحث قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

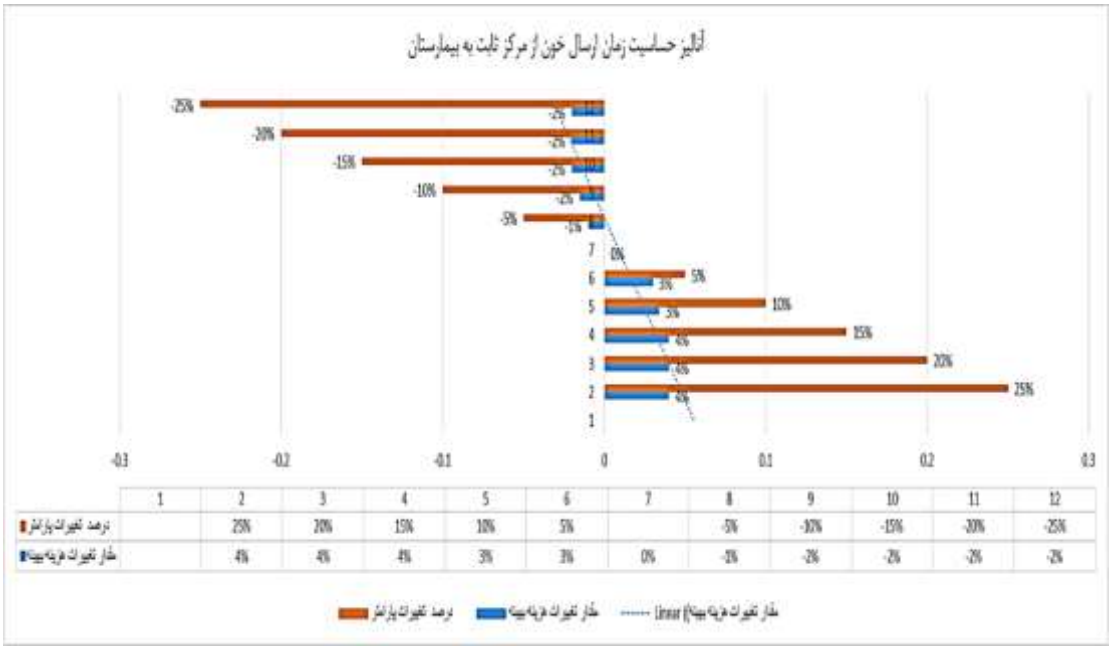
بدینوسیله از همکاری معاونان سازمان انتقال خون مازندران که ما را در انجام این پژوهش یاری رساندند، تقدیر وتشکر به عمل می آید. هم‌چنین قابل ذکر است این پژوهش برگرفته از تز دکتری رشته مهندسی صنایع با شماره مجوز تصویب ۱۶۲۲۵۷۵۷۷ مورخ ۱۳۹۹/۰۳/۲۶ در شورای پژوهش دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور می‌باشد.



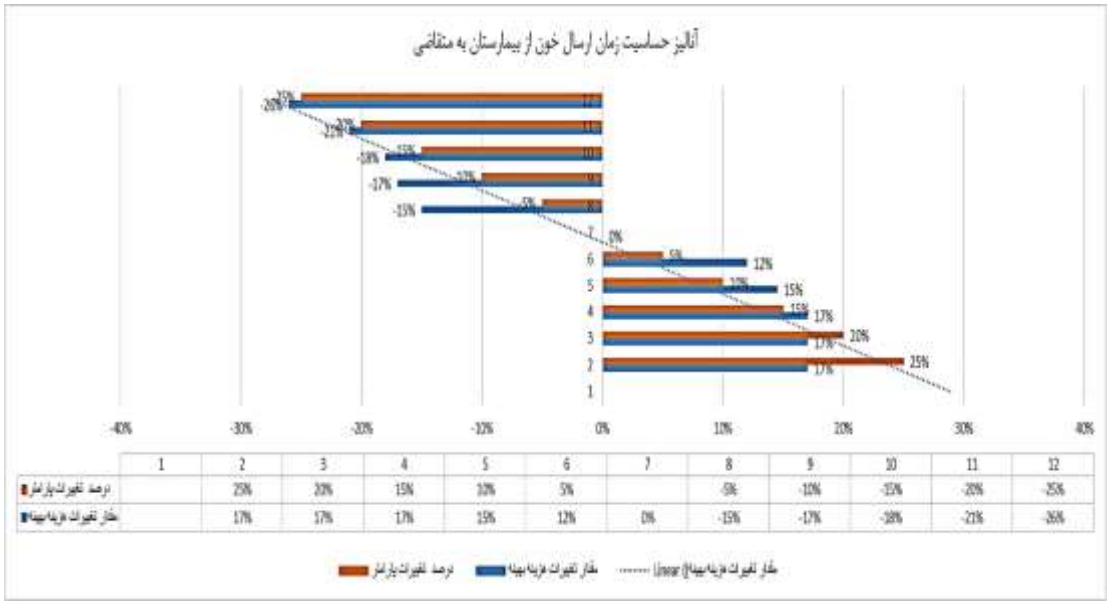
شکل ۱ - شبکه ارزیابی زنجیره تامین خون مورد مطالعه



شکل ۲- جبهه پارتوی جوابهای بهینه



شکل۳- تحلیل حساسیت مربوط به زمان ارسال فرآورده های خونی از مرکز ثابت به بیمارستان



شکل ٤- تحلیل حساسیت مربوط به مدت زمان جابجای و انتقال از بیمارستان به مرکز متقاضی

Reference:

1- Samani MR, Hosseini-Motlagh SM, Ghannadpour SF. A multilateral perspective towards blood network design in an uncertain environment. Methodology and implementation. Comput Ind Eng, 2019; 130: 450-471.

2- Boonyanusith W, Jittamaip. Blood supply chain risk management using house of risk model. Walailak J Sci Technol, 2019; 16(8): 573-91.

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

4- Ibrahim IN, Mamman AI, Balogun MS, Abubakar A, Awwalu S, Kusfa IU, Usman AB, Waziri AD, Muktar HM. Motivation for donation among hospital blood donors and their attitude towards voluntary blood donation in State Government Hospitals, Kaduna, Nigeria. ISBT Science Series, 2019; 14(4): 345-51.

5- Managing Director of Iranian blood transfusion organization: 2.1 million blood units are donated annually in the country. Mehr News Agency, December 17; 2016.

6- Ghorashi SB, Hamedi M, Sadeghian R. Modeling and optimization of a reliable blood supply chain network in crisis considering blood compatibility using MOGWO. Neural Computing and Applications, 2020; 32(16): 12173-12200.

7- Sibevei A, Azar A, Zandieh M. Using a two-step approach of risk matrix and DEMATEL to identify and analyze the most important risks in the blood supply chain. Journal of Healthcare Management, 2020; 11(2): 7-20.

8- Sureshchannder GS, Rajendran C, Anantharaman RN. The relationship between service quality andcustomer satisfactions -a factor specific approach. Journal of Service Marketing, 2003; 16(4): 363-379.

9- Osorio A. F, Brailsford S. C and Smith H. K. A structured review of quantitative models in the blood supply chain. A taxonomic framework for decision-making: International Journal of Production Research, 2015; 53(24): 7191-7212.

10- Rahmani D. Designing a robust and dynamic network for the emergency blood supply chain with the risk of disruptions. Annals of Operations Research, 2019; 283(1): 613-641.

11- Dagne TB, Jayaprkash J, & Geremew Gebeyehu S. Design of Supply Chain Network Model for Perishable Products with Stochastic Demand: An Optimized Model. Journal of Optimization in Industrial Engineering, 2020; 13(1): 29-37.

12- Hsu CN, Lu PC, Hou CY, Tain YL. Blood pressure abnormalities associated with gut microbiota-derived short chain fatty acids in children with congenital anomalies of the kidney and urinary tract. Journal of clinical medicine, 2019; 8(8): 1090.

13- Nagurney, A., Masoumi, A., H.Yu, M. Supply chain network operations management of a blood banking system with cost and risk minimization. Computational Management Science, 2012; 9(2): 205-231.

14- Jahani, M., Eskandari, F., Mahmoudjanloo, S., Mahmoudi, G. 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, 2017; 8(3): 7-16.

15- Goldfarb RS. Shortage, Shortage, Who's Got the Shortage? The Journal of

Economic Education, 2013; 44(3): 277-97.
16- Rezaie N, Maarefdoust Z, Amini Kafiabad S, Mahdizadeh M, Birjandi F. Evaluation of the blood usage and wastage in Kerman hospitals: Sci J Iran Blood Transfus Organ, 2013; 10(3): 213-221.
17- Nahmias S. Heidelberg: Perishable Inventory Theory. Springer; 2011.
18- Mousavi R, Salehi-Amiri A, Zahedi A, Hajiaghaei-Keshteli M. Designing a supply chain network for blood decomposition by utilizing social and environmental factor. Computers & Industrial Engineering, 2021; 160: 107501.
19- Arvan, M., Tavakkoli-Moghaddam, R. and Abdollahi, M. Designing a biobjective and multi-product supply chain network for the supply of blood. Uncertain Supply Chain Management, 2015; 3(1): 57-68.
20- Hamdan B, Diabat A. A two-stage multi-echelon stochastic blood supply chain problem. Computers & Operations Research, 2019; 101: 130-43.
21- Dehghani M, Abbasi B. An age-based lateral-transshipment policy for perishable items. International Journal of Production Economics, 2018; 198: 93-103.
22- Hosseini-Motlagh S.-M., M.R.G. Samani, & Cheraghi S. Robust and stable flexible blood supply chain network design under motivational initiatives. Socio-Economic Planning Sciences, 2020; 70: 100725.
23- Hosseini-Motlagh SM, Samani MR, Homaei S. Blood supply chain management: robust optimization, disruption risk, and blood group compatibility (a real-life case). Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 2020; 11(3): 1085-104.
24- Derikvand H, et al., A robust stochastic bi objective model for blood inventory-distribution management in a blood supply chain. European Journal of Industrial Engineering, 2020; 14(3): 369-403.
25- Doodman M, & Bozorgi Amiri A. Integrate Blood Supply Chain Network Design with Considering Lateral Transshipment under Uncertainty. Journal of Industrial Management Perspective, 2020; 9(4): 9-40.
26- Shander A, Hofmann A, Gombotz H, Theusinger OM, Spahn DR. Estimating the cost of blood: past, present, and future directions. Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology, 2007; 21(2): 271-289.
27- Chen H, Chiang RH, Storey VC, Business Intelligence and Analytics: From Big Data to Big Impact. MIS Quarterly, 2012; 4(36): 1165-1188.
28- Silva Filho OS., Carvalho M. A., Cezarino W, Silva R, & Salviano G. Demand forecasting for blood components distribution of a blood supply chain. IFAC Proceedings Volumes, 2012; 46(24): 565-571.
29- Far RM, Rad FS, Abdolazimi Z, Kohan MM. Determination of rate and causes of wastage of blood and blood products in Iranian hospitals. Turkish Journal of Hematology, 2014 31(2): 161.
30- Alahyari, M., Pilevari, N., Radfar, R. Providing a Model for Assessing Pharmaceutical Industries Supply Chain Sustainability Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). Journal of healthcare management, 2019; 10(3): 77-88.

Received: 18 / Jun / 2021, Modified: 16/ Oct / 2021, Accepted: 28/ Oct / 2021

Development of Multi - Objective, Multi- Period and Multi - Level Blood Supply Chain Planning Model

Maashisani F [1], Hajiaghaei-Keshteli M [2], Gholipour Kanani Y [3], Harsej F [4]

Abstract

Introduction: Lack of proper planning in blood supply may lead to irreparable damage of humans. The purpose of this study is to determine the optimal plan for donating, storing and sending blood to hospitals in each period to minimize the cost of set up and design a blood supply chain and its delivery time.

Methods: This study is applied in terms of purpose and descriptive-analytical methodology. The model was solved with the uncertainty approach using the Epsilon constraint method in GAMZ software. To evaluate the accuracy of the model, a case study was conducted in 5 regions of Mazandaran province and by performing sensitivity analysis on key parameters, its effect on total cost and time of blood transfusion cycle was investigated.

Results: The results of this study indicate the high accuracy of the model with the possibility of lateral delivery between hospitals. With a 5% reduction in transport time to 15%, a reduction in blood cycle time and a 25% reduction in this time has 26% reduction in the total blood transfusion process.

Conclusion: Lateral blood delivery between hospitals was used as a solution to increase the model's ability to respond hospital's demand and also reduce shortages costs and lack of blood in the blood supply chain. Also, the important parameters of the problem such as blood supply, demand, capacity of each center and related costs in the blood supply chain and the possibility of lateral delivery of blood products were analyzed to validate the model.

Keywords: Blood supply chain network, Uncertainty, lateral delivery, Hospital.

1- PhD Student of Industrial Engineering Department, Nour Branch, Islamic Azad University, Nour, Iran

2- Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, University of Science and Technology of Mazandaran, Behshahr, Iran, (Corresponding Author), mostafahaji@mazust.ac.ir

3- Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Ghaemshahr Branch, Islamic Azad University, Ghaemshahr, Iran

4- Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Nour Branch, Islamic Azad University, Nour, Iran