طراحی مدل ریاضی دوهدفه عدد صحیح مختلط غیرخطی با هدف افزایش قابلیت اطمینان زنجیره تأمین خون[1]

مجید معتمدی
گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران، Moatamedi.m@gmail.com
محمدمهدی موحدی
گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران*
جواد رضائیان
گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه علوم و فنون مازندران، مازندران، ایران؛
گروه مهندسی صنایع، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران، javadjf@gmail.com
علی رضا رشیدی کمیجان
گروه مهندسی صنایع، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران، rashidi@azad.ac.ir

چکیده هدف این تحقیق ارائه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی دوهدفه چندسطحی عدد صحیح مختلط غیرخطی با اهداف کاهش هزینه و افزایش قابلیت اطمینان در زنجیره تامین خون است. در این تحقیق قابلیت اطمینان نسبت به عوامل: شرایط و ایمنی حمل، نوسان دما، استانداردهای بسته‌بندی، تجهیزات آزمایشگاهی و تقاضا در نظر گرفته شده است. برای آزمایش مدل، مسئله در ابعاد مختلف و استفاده از داده-های واقعی مدل‌سازی و حل گردید و نتایج به دست آمد. علاوه‌بر آن خروجی‌های مسأله نسبت به تغییرات پارامترها مورد تحلیل حساسیت قرار گرفت. برای حل مدل ریاضی ارائه شده از حل کننده Baron در نرم‌افزار GAMS ۲۴,۹ استفاده شده است. این مدل محصول ارسال شده از خون به بیمارستان، میزان تولید محصول در مرکز خون، میزان خون جمع‌آوری شده از اهداکنندگان، تعداد مراکز جمع‌آوری، میزان موجودی محصول در هر مرکز و بیمارستان را با هدف کاهش هزینه و افزایش قابلیت اطمینان تعیین می‌نماید. با توجه به اینکه تابع هدف اول از نوع حداکثرسازی و تابع هدف دوم از نوع حداقل‌سازی است، بین این دو تابع تضاد وجود دارد، به این معنی که با افزایش قابلیت اطمینان هزینه‌ها کاهش می‌یابند. مدل ارائه شده در این تحقیق، متغیرهای تصمیم را به گونه‌ای تعیین می‌نماید که ضمن افزایش قابلیت اطمینان زنجیره تامین خون، هزینه‌ها به نحو مطلوب تحت کنترل قرار گیرند و اتلاف و کمبود خون نیز حداقل گردد.

کلمات کلیدی: زنجیره تامین خون، قابلیت اطمینان، حداقل سازی اتلاف و کمبود.

[1]- این مقاله برگرفته از رساله دکتری دانشجو مجید معتمدی است که در دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه انجام شده است.

* (Corresponding author) mmmovahedi@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

مدیریت زنجیره تأمین به عنوان یک واژه رایج علمی و مدیریتی در سال ۱۹۸۲ توسط اولیور و وبر برای توصیف یک سیستم کنترل سلسله مراتبی برای مواد، اطلاعات و جریان‌های مالی در یک شبکه چندبعدی بالقوه از نهادهای تصمیم‌گیری مستقل، معرفی شد [۱]. مدیریت زنجیره تامین[۲] با فرایند برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل عملیات زنجیره تامین در یک روش کارآمد، در نظر گرفته می‌شود [۲]. طراحی شبکه زنجیره تامین مساله‌ای مربوط به بخش‌های مختلف از جمله مراقبت‌های بهداشتی [۳]، انرژی [۴]، مدیریت ضایعات [۵] و تدارکات انسانی [۶] است. در سال‌های اخیر مراقبت‌های بهداشتی جهانی بر بهبود زنجیره‌های تامین متمرکز شده است. دلایل اصلی این تمرکز، کاهش هزینه‌های مراقبت‌های بهداشتی و اتلاف منابع، با حفظ سطح خدمات مشتری، ایمنی بیمار و سلامت عمومی است [۷]. پریویت و گُن سالوز، چالش‌های اصلی در زنجیره تامین سلامت را عدم اطمینان در تقاضا، مدیریت موجودی و سفارش، انقضا و منابع انسانی محدود می‌دانند [۸].

مطالعات زنجیره تامین خون در دهه ۱۹۶۰ آغاز شد. ویژگی‌های محصول‌های خون، رفتارهای تصادفی موجود در مناطق تقاضا و عرضه، و اهمیت خون برای انسان، زنجیره تامین خون را برای متخصصان، دانشمندان و دولت‌ها مورد توجه قرار داده است. گفته می‌شود که هر دو ثانیه یک نفر در ایالات متحده نیاز به خون دارد و هر روز بیش از ۴۱،۰۰۰ اهدای خون مورد نیاز است [۹].

خون یکی از حیاتی ترین محصولات بهداشتی است که تا کنون با وجود توسعه داروها جایگزینی پیدا نکرده است. هر روز بسیاری از مردم در سراسر جهان به خون و محصول‌های آن نیاز دارند، به طوری که از هر سه نفر یک نفر در طول زندگی خود نیاز به انتقال خون و محصول‌های خون دارد (سازمان انتقال خون ایران) [۱۰]. گرچه در دسترس بودن خون در هر دو روش درمان منظم و موارد اضطراری بسیار مهم است، میزان اهدای خون در هر کشور متفاوت است. مثلا در ایالات متحده، فقط ۱۰ درصد از افراد واجد شرایط خون اهدا می‌کنند؛ با این حال، طبق اعلام WHO[۳]، این نرخ در کشورهای در حال توسعه و کم درآمد کمتر است. در نتیجه، انطباق عرضه با تقاضای خون نیاز به توسعه زیرساخت در جمع‌آوری، تولید و توزیع خون است. علاوه بر این، براورده ساختن تقاضا و به حداقل رساندن هزینه‌ها و اتلاف‌ها به عنوان هدف‌های ترجیحی زنجیره در نظر گرفته می‌شود. خون به صورت نامنظم اهدا می‌شود و تقاضا برای خون تصادفی است. بنابراین مطابقت کارآمد عرضه و تقاضای خون، ساده نیست. علاوه بر این، هر گونه کمبود و وقفه در جریان خون منجر به مرگ انسان می‌شود [۱۱]. این امر بیمارستان‌ها را به مسائل مربوط به زنجیره تامین هدایت می‌کند که از نیاز بیمار شروع می‌شود و با انتقال خون مورد نیاز بیماران به پایان می‌رسد. خون در آزمایشگاه‌ها تولید نمی‌شود و تنها منبع خون، اهدای خون است که مساله خون را بسیار مشکل و حیاتی می‌کند. زنجیره تامین خون اجزای مختلف دارد، که شامل بیماران، بیمارستان‌ها یا سایر ارائه دهندگان خدمات بهداشتی، مراکز خون، تسهیلات متغیر، ثابت و اهداکنندگان می‌باشد. کارایی زنجیره‌های تامین خون به طور قابل توجهی می‌تواند از طریق برنامه‌ریزی ریاضی مانند روش‌های تحقیق در عملیات بهبود یابد. برای طراحی یک شبکه زنجیره تأمین کارآمد، داشتن شبکه مطلوب جمع‌آوری و توزیع خون اهمیت زیادی دارد [۱۲].

در زنجیره تامین خون مدیریت موجودی خون با دو چالش حیاتی مواجه است، که عبارت‌اند از حصول اطمینان از در دسترس بودن خون و در عین حال کاهش هزینه‌ها. در این ارتباط، کمبود می‌تواند خطر مرگ و میر در بیمارستان‌ها را افزایش دهد، برعکس، سطح بالایی از موجودی می‌تواند باعث نابودی این منابع شود [۱۳]. طبق گزارش صلیب سرخ آمریکای ، تقریبا ۲۸,۹ درصد از بیمارستان‌ها، گزارش کردند که در سال ۲۰۰۷ یک یا چند روز جراحی در ایالات متحده به دلیل کمبود خون به تعویق افتاد، که این امر حدود ۴۱۲ بیمار را تحت تاثیر قرار داد [۱۴].

مدیریت موثر زنجیره تامین خون باعث می‌شود تا همزمان تصمیم‌گیری چندگانه در سطح استراتژیک و تاکتیکی انجام شود. این تصمیمات عبارت‌اند از: جانمایی، انتقال امکانات موقت و سیار در میان یک مجموعه از سایت‌های بالقوه، ایجاد مراکز جمع‌آوری اصلی در میان مجموعه‌ای از مکان‌های نامزدشده، انتخاب مراکز آزمایشگاهی در میان مراکز جمع‌آوری اصلی تاسیس شده، اختصاص اهداکنندگان مختلف به مراکز جمع‌آوری، اختصاص محصول‌های مختلف به مراکز آزمایشگاهی و تخصیص اجزای مشتق شده به مناطق تقاضا با در نظر گرفتن زمان اتلاف مربوط. قابل توجه است که برخی از این تصمیمات باید به صورت دوره‌ای صورت پذیرد، که در نتیجه مدل‌های تصمیم‌گیری پیچیدگی

[2] Supply chain management
[3] World Health Organization

Archive of SID
www.SID.ir

محاسباتی بالاتری خواهد داشت. با توجه به ماهیت پویا و نامطمئن زنجیره تامین خون، برخی از پارامترهای ورودی مانند مقدار عرضه، تقاضا و زمان حمل با ناهماهنگی مواجه می‌شوند و در نتیجه تصمیمات طراحی شبکه به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. بنابر این، مسئله پارامترهای ورودی نامعلوم است و خطرهای مرتبط با آن باید با دقت مورد توجه قرار گیرد.

با توجه به موارد فوق به منظور تامین مناسب خون برای نقاط تقاضا و کاهش عدم اطمینان در زنجیره تامین خون، در این مقاله به ارائه یک مدل بهینه سازی دو هدفه چند سطحی زنجیره تامین خون که شامل: تسهیلات جمع‌آوری خون در نقاط عرضه، آزمایش و تولید محصولات خون در مراکز خون و انتقال خون و محصولات منتج شده از خون به نقاط تقاضا می‌باشد، می‌پردازیم. مساله مهم در مدل‌سازی زنجیره تامین خون که کمتر به آن توجه شده این است که برای تأمین خون از عرضه کنندگان و انتقال به موقع خون و محصول‌های آن به نقاط تقاضا قابلیت اطمینان هریک از سطوح و نیز فرایندهای تولید و انتقال اهمیت بسیاری دارد که در تحقیق‌های مربوط کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است.

مدل مورد بررسی با لحاظ نمودن عدم اطمینان نسبت به شرایط و ایمنی حمل خون از لحاظ نوسانات دما، بسته‌بندی غیر استاندارد خون در محل جمع‌آوری و مراکز خون، عدم اطمینان نسبت به کارکرد تجهیزات آزمایشگاهی در مرکز خون، عدم اطمینان نسبت به تقاضا خون در مرکز خون، میزان محصول ارسال شده از مرکز خون به بیمارستان، میزان تولید محصول توسط مرکز خون، میزان خون جمع‌آوری شده از اهداکنندگان توسط تسهیلات و تعداد مراکز جمع‌آوری، میزان موجودی محصول در مرکز خون و بیمارستان را با هدف کاهش هزینه کل و افزایش میزان قابلیت اطمینان با توجه به حداقل‌سازی اتلاف و کمبود تعیین می‌نماید. هزینه‌های زنجیره تامین، شامل هزینه‌های جمع‌آوری، حمل، نگهداری، کمبود، اتلاف و تولید خون و محصول‌های خون می‌باشند. یکی از مهم‌ترین مسائل در زنجیره تأمین خون، تأمین و پاسخگویی به تقاضای خون مورد نیاز بیمارستان‌ها است. کمبود خون و اتلاف خون، دو عدم قطعیت اصلی هستند که بیش‌ترین تأثیر را بر کل زنجیره تامین دارند. نوسانات دما و بسته‌بندی غیر استاندارد در تحویل اثر قابل توجهی بر کیفیت خون برای استفاده طولانی‌تر و بیشتر دارد. ذخیره‌سازی واحدهای خون بیش از حد در یک زمان خاص می‌تواند نرخ انقضای خون بدون استفاده را افزایش دهد. همچنین درخواست مقدار بیش از حد خون در نقاط تقاضا می‌تواند منجر به فقدان خون برای توزیع به سایر نقاط مورد نیاز در شبکه شود. افزایش قابلیت اطمینان سیستم از ایجاد اختلال در زنجیره تامین خون جلوگیری می‌کند و موجب پایداری آن می‌گردد. پرداخت هزینه‌های تأمین خون بیشتر از نیاز واقعی و نیز عدم مدیریت موجودی و قابلیت اطمینان پایین در زنجیره تأمین خون ممکن است به هزینه فرصت اضافی برای عملیات بیشتر در وظایف تدارکات خون منجر شود.

مدل ارایه شده در این تحقیق با درنظر گرفتن موارد فوق دو هدف که یکی از نوع حداکثرسازی و دیگری از نوع حداقل‌سازی است را شامل می‌گردد، که بین این دو هدف تضاد وجود دارد، به این معنا که برای بهینه‌سازی با افزایش قابلیت اطمینان باید هزینه‌ها کاهش یابند. مدل ارائه شده در این تحقیق، متغیرهای تصمیم را به گونه‌ای تعیین می‌نماید که ضمن افزایش قابلیت اطمینان زنجیره تأمین خون، هزینه‌ها به نحو مطلوب تحت کنترل قرار گیرند و اتلاف و کمبود خون نیز حداقل شوند.

این مقاله در ادامه بدین صورت سازماندهی شده است که بخش دوم به بررسی ادبیات زنجیره تامین خون می‌پردازد و نوآوری‌های مقاله را نسبت به تحقیقات موجود بر می‌شمارد. در بخش سوم مدل‌سازی ریاضی آن تشریح شده است. برای اعتبارسنجی مدل ارائه شده، یک مثال عددی در بخش چهارم ارائه شده است. در نهایت، نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات بعدی در بخش پنجم آمده است.

۲- مرور ادبیات

در این بخش به اختصار به بررسی ادبیات مربوط به زنجیره تأمین خون پرداخته می‌شود. پژوهش مربوط به مدیریت زنجیره تأمین خون در سال ۱۹۶۰ توسط ون زیل آغاز شد [۱۵]. اُسوریو و همکارانش [۱۶]، یک بررسی ساختاری را در مورد مدل‌های کمی زنجیره تأمین خون ارائه کردند. آنها رویکردها و مدل‌های مختلف در هر مرحله از زنجیره تامین را ارائه کرده و نیز رویکردهای مدل سازی، تصمیم‌گیری‌ها و ویژگی‌هایی که به ندرت مورد مطالعه قرار گرفته‌اند را شناسایی کردند. نتایج حاکی از آن بود که کاربرد برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط در زنجیره تامین خون محدود است. زهیری و همکاران [۱۷]، مدلی در رابطه با مدیریت جمع آوری خون با رویکرد برنامه‌ریزی احتمالی استوار با هدف کاهش هزینه کل ایجاد مراکز اصلی، انتقال امکانات موقت در هر دوره و

Archive of SID
www.SID.ir

هزینه حمل بسته‌های خون از امکانات موقت به امکانات اصلی در طول افق برنامه‌ریزی با فرض عدم قطعیت پارامترهای اصلی و عدم اطمینان برای مقادیر اهدا و تقاضا انجام دادند. چراغی و حسینی مطلق [۱۸]، تحقیقی در رابطه با بهینه‌سازی حمل و نقل خون در امدادرسانی با توجه به اختلال تسهیلات و قابلیت اطمینان مسیر در شرایط عدم اطمینان با هدف به حداقل رساندن کل هزینه زنجیره تامین از جمله هزینه استقرار امکانات سیار، هزینه کل انتقال امکانات تسهیلات خون سیار، هزینه کل عملیاتی تجهیزات خون با توجه به میزان اختلال در امکانات، هزینه کل حمل و نقل بین تسهیلات خون و مناطق تقاضا در رابطه با قابلیت اطمینان مسیر و هزینه کل موجودی در امکانات خون محلی و همچنین مناطق تقاضا انجام دادند. موآتسیم و همکاران [۱۹]، مدلی را بر اساس تئوری بازی هیبریدی برای بهینه‌سازی لجستیک با مطالعه موردی در زنجیره تامین خون ارایه دادند که هزینه‌های هر ائتلاف را با توجه به هزینه حمل و نقل، هزینه تولید کیسه خون استفاده نشده و همچنین هزینه عدم برآورده ساختن درخواست‌ها به حداقل می‌رساند.

کلای و همکاران [۲۰]، مدلی با توجه به نوسانات موجودی خون ناشی از عرضه تصادفی، تقاضای تصادفی، فاسد شدن و سیاست-های توزیع و صدور خون، در زنجیره تامین خون ارایه دادند. فرتش و کاپالوا [۲۱]، مدلی برای کاهش عدم اطمینان در تقاضا برای خون بیمارستان‌ها و بانک‌های خون ارایه کردند. چراغی و همکاران [۲۲]، مدل استوار برای طراحی یک سیستم جمع آوری و توزیع خون تحت شرایط عدم اطمینان تقاضا با هدف به حداقل رساندن هزینه کل شبکه شامل هزینه استقرار مراکز اصلی خون، هزینه جابجایی امکانات موقت خون، و هزینه تحویل خون از امکانات موقت به امکانات اصلی و از امکانات اصلی به بیمارستانها و مراکز بهداشتی در افق برنامه ریزی چندگانه ارایه نمودند که مقدار تقاضا به عنوان تنها پارامتر نامعلوم در نظر گرفته شد. ییتس و همکارای [۲۳]، تحقیق را در رابطه با رویکردهای ارزیابی و به حداقل رساندن تلفات خون در بیمارستان و زنجیره تامین خون انجام دادند. نتایج به اشتراک گذاری موجودی خون در بین بیمارستان‌های نزدیک را عاملی برای کاهش هزینه‌ها می‌داند که افزایش احتمال ارضای تقاضا توسط بیمارستان‌ها را در پی دارد. همچنین این امر کاهش هزینه‌های کمبود را برای ارضای تقاضا در پی دارد. این تحقیق مدیریت موثر موجودی خون را عاملی در جهت کاهش میزان تلفات خون بیان می‌کند. انصافیان و همکاران [۲۴]، تحقیقی را در رابطه با بهبود کیفیت و ایمنی خدمات انتقال پلاکت خون در یک زنجیره تامین یکپارچه مبتنی بر بیمار تحت عدم اطمینان انجام دادند. انصافیان و یعقوبی [۲۵]، مدل بهینه سازی استوار برای تدارک، تولید و توزیع در زنجیره تامین پلاکت با هدف به حداقل رساندن هزینه‌های تهیه، راه اندازی و تولید متغیر، نگهداری موجودی در مرکز خون و بیمارستان‌ها، تحویل از مراکز خون به بیمارستان‌ها، هزینه‌های اتلاف در مراکز و بیمارستان‌ها و هزینه کمبود در بیمارستان‌ها در با پارامتر تقاضای نامعین و عدم قطعیت ارایه کردند. یوسفی‌نژاد عطاری و همکاران [۲۶]، مدل برنامه‌ریزی آرمانی چندگانه تصادفی[4] برای کاهش اتلاف و کمبود محصولات خون در بیمارستان‌ها در شرایط عدم قطعیت تقاضا ارایه نمودند. رمضانیان و بهبودی [۲۷]، یک شبکه زنجیره تامین خون تحت عدم اطمینان در عرضه و تقاضا با توجه به جنبه‌های اجتماعی طراحی کردند. نتایج حاکی از آن بود که بودجه تبلیغاتی و رفتار خوب کارکنان در مراکز درمانی، انگیزه-های مثبت برای اهداکنندگان ایجاد می‌کنند. قطره سمنی و همکاران [۲۸]، مدلی برای زنجیره تامین یکپارچه خون برای امدادرسانی در فاجعه با پارامترهای مبهم آمیخته با عدم قطعیت، با در نظر گرفتن ویژگی‌های چند محصولی و فسادپذیری محصول‌های خون ارایه نمودند. احمدی و نجفی [۲۹]، تحقیقی را در رابطه با مدیریت موجودی خون در بیمارستان با توجه به عرضه و عدم قطعیت تقاضا و امکان انتقال خون انجام دادند. سیبوا و همکاران [۳۰]، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح تصادفی در مدیریت زنجیره تامین خون ارایه نمودند. در مدل فوق هدف اصلی به حداقل رساندن کل هزینه، کمبود و سطوح هدررفتن واحد خون می‌باشد. رامیرز و لابادی [۳۱]، کنترل موجودی تصادفی و توزیع محصول‌های خون را با هدف کم‌کردن هزینه کل و میزان کمبود و اتلاف در زنجیره تامین خون برای تقاضای شناخته شده و مشخص و مواردی که تقاضاها نامطمئن هستند، با توجه به دوره‌های مختلف، انواع خون و طول عمر محصولات مورد بررسی قرار دادند. مسلمی و میرزازاده [۳۲]، در تحقیقی به ارزیابی عملکرد برای کنترل عدم اطمینان و ارزیابی قابلیت اطمینان چهار مرحله زنجیره تامین خون پرداختند. دیلن و همکاران [۳۳]، در تحقیقی به ارایه یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای برای مدیریت موجودی در زنجیره تامین خون در بخش بیمارستان پرداختند. مساله تحقیق شامل تصمیم‌گیری برای بهینه‌سازی زنجیره تامین خون می‌باشد، به طوری که هزینه‌های عملیاتی، کمبود خون و اتلاف (فاسد شدن) آن را به حداقل برساند، با توجه به ماهیت عدم اطمینان برای تقاضای

[4] multi choice goal programming model

Archive of SID
www.SID.ir

خون. آندرس. اف. اوسوریو و همکاران [۳۴]، تحقیقی با هدف حداقل کردن هزینه کل مربوط به جمع‌آوری خون و نیز حداقل نمودن تعداد اهداکنندگان انجام دادند. برای این منظور یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح ارایه شد. در تحقیق فوق عدم قطعیت تقاضا در نظر گرفته شده است. عزیزان و همکاران [۳۵]، در تحقیقی به ارایه مدلی برای جمع‌آوری و توزیع اهدای خون بر اساس مسائل مسیریابی وسیله نقلیه پرداختند. هدف تحقیق به حد اقل رساندن هزینه کل مسیریابی و به حد اکثر رساندن کل میزان خونی است که باید به مراکز انتقال خون حمل گردد. همچنین حفظ دمای خون برای اطمینان از فاسد نشدن آن از جنبه‌های دیگری بود که در مدل مورد توجه قرار گرفت. اکیچی و همکاران [۳۶]، طی بررسی مدیریت زنجیره تامین خون اظهار داشتند که با توجه به تقاضا و اولویت محصول‌های مختلف خون، ممکن است این تمایل وجود داشته باشد تا مقدار زیادی از آن جمع‌آوری گردد، با توجه به اینکه امکان نگهداری موجودی بالا وجود داشته باشد. اینکار در مواقع بحران می‌تواند به تامین تقاضای احتمالی کمک کند. پریتیکشا و همکاران [۳۷]، مدل توزیع ذخایر خون به بخش‌های بهداشت و درمان برای بهبود در دسترس بودن موجودی بانک خون و کاهش ضایعات به علت انقضای ذخایر خون ارایه کردند.

همان گونه که مرور ادبیات نشان می‌دهد، اکثر مقاله‌های موجود احتمال اختلال‌ها و عدم اطمینان در زنجیره تامین انتقال خون را نادیده گرفته‌اند و تعداد کمی از آنها را می‌توان یافت که به قابلیت اطمینان زنجیره تامین خون توجه نموده باشند. با در نظر گفتن شکاف‌های تحقیقاتی مذکور، مقاله حاضر بدین شرح به ارائه نوآوری می‌پردازد. اول آن که، مدل ارائه شده قابلیت اطمینان در تسهیلات انتقال خون را در دو سطح عرضه و تولید در نظر می‌گیرد. دوم اینکه بیش‌تر تحقیق‌ها در این زمینه به ارایه مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح پرداخته‌اند که باعث کوچکترشدن فضای حل مساله می‌گردد و نتایج با واقعیت فاصله پیدا می‌کند، در این تحقیق یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط ارایه می‌گردد که نتایج را بیش‌تر به واقعیت نزدیک می‌کند. همچنین در مدل کمینه‌کردن کمبود و اتلاف خون و محصولات خون در زنجیره تامین خون مدنظر قرار گرفته است. به عبارتی مدل مورد بررسی علاوه بر حداقل نمودن مجموع هزینه‌ها در زنجیره تامین، بیشینه نمودن اطمینان در زنجیره تامین خون و کمبود و اتلاف خون را نیز مدنظر قرار می‌دهد.

۳- مدل‌سازی مساله

۳-۱- تعریف مساله

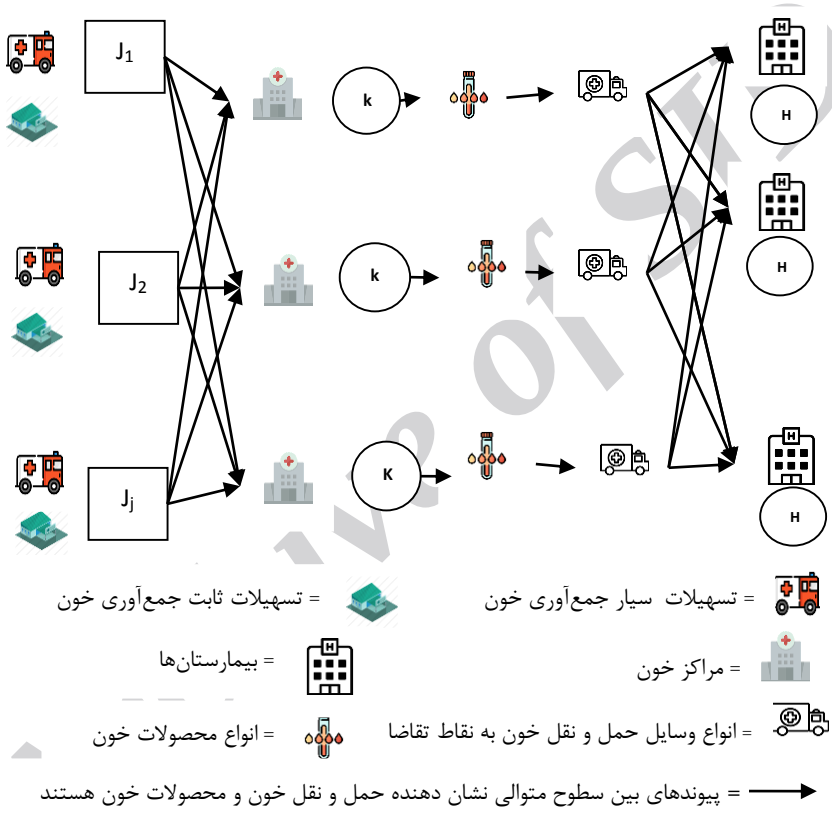
زنجیره تامین خون مورد بررسی شامل شبکه سه سطحی زنجیره تامین خون شامل عرضه، پردازش و توزیع خون می‌باشد (شکل ۱). تسهیلات جمع‌آوری، خون اهداکنندگان را جمع‌آوری می‌کنند و آن را برای انجام آزمایش و تهیه محصولات مورد نیاز بیماران در مراکز خون منتقل می‌نماید. در نهایت مراکز خون تقاضای خون بیمارستان‌ها و مراکز درمانی را بر اساس نیازشان به خون و محصولات خون برآورده می‌کنند. حال مساله این است که میزان محصول ارسال شده از مرکز خون به بیمارستان، میزان تولید محصول توسط مرکز خون، میزان خون جمع آوری شده از اهداکنندگان توسط تسهیلات جمع‌آوری، تعداد مراکز جمع‌آوری، میزان موجودی محصول در مرکز خون و بیمارستان را چه میزان تعیین کنیم تا هزینه کل زنجیره تامین با توجه به حد اقل‌سازی اتلاف و کمبود، حد اقل گردد، در حالی که میزان قابلیت اطمینان زنجیره تامین حد اکثر می‌گردد.

سایر فرض‌های مدل به شرح زیر است:

- ظرفیت تولید محصول‌های مختلف خون در مراکز خون محدود است.
- ظرفیت بانک خون در بیمارستان‌ها و مراکز درمانی محدود است.
- در تسهیلات جمع‌آوری هیچ ذخیره‌سازی وجود ندارد؛ و تنها در مراکز خون و بیمارستان‌ها ذخیره‌سازی وجود دارد.
- واحدهای خون به طور مستقیم از مراکز خون به مناطق تقاضا (بیمارستان‌ها و مراکز درمانی) منتقل می‌شوند.
- از آنجایی که آزمایش‌های مربوط به تشخیص آلودگی‌های احتمالی بر روی نمونه خون اهداکنندگان انتخاب شده صورت می‌گیرد، محصول‌های تازه به محض تولید برای انتقال آماده می‌شوند.
- در این تحقیق سه محصول خونی گلبول قرمز، پلاکت و پلاسما مورد توجته استه قرار گرف.
- کل زنجیره به عنوان یک محصول واحد قبل از مرکز خون و سپس چند محصول بعد از مرکز خون مورد توجه قرار گرفته است.
- فرض می‌شود که مرکز خون تنها جایی است که مسئول ساخت مجموعه محصول‌های خون است.

Archive of SID
www.SID.ir

- هزینه‌های کمبود زمانی می‌تواند رخ دهد که تقاضای درخواست شده توسط بیمارستان‌ها و مراکز خون به طور کامل توسط مرکز خون یا مراکز جمع آوری ارائه نمی‌شود.
- در مراکز خون و بیمارستان‌ها اگر واحد خون منقضی یا فاسد شود، در ارتباط با دور انداختن واحد خون با هزینه‌ی اتلاف مواجه می‌شویم. مقادیر تقاضای بیمارستان‌ها در دوره‌های مختلف زمانی بیشتر از نیاز واقعی آنها است. این واقعیت توسط سازمان انتقال خون ایران بررسی و تأیید شده است [۲۶]. در نتیجه مرکز خون همیشه تقاضای کامل اعلام شده بیمارستان‌ها را تامین نمی‌کند.
- در زنجیره تامین خون ضایعات واحدهای خون و محصولات یک مشکل جهانی است که از ۰ تا ۶ درصد در کشورهای مختلف متفاوت بوده و رسیدن به ضایعات کمتر از ۱ درصد شاخص بهبود کیفیت تلقی می‌شود و این میزان در کشور ایران بین ۲,۵ الی ۲,۹ درصد برآورد می‌گردد [۳۸]. در این تحقیق قابلیت اطمینان برای حمل خون و قابلیت اطمینان تجهیزات جمع آوری خون به ترتیب ۸۰ و ۸۵ درصد فرض گردیده است. همچنین اطمینان نسبت به براورده شدن تقاضای خون در مرکز خون ۸۵ درصد در نظر گرفته شده و فرض بر این است که قابلیت اطمینان سایر سطوح زنجیره تامین ۱۰۰ درصد می‌باشد.



شکل ۱- زنجیره تامین خون

۳-۲- اندیس‌ها و مجموعه‌ها

J = مجموعه تسهیلات جمع‌آوری خون $j \in J$

K = مجموعه مراکز خون $k \in K$

H = مجموعه بیمارستان‌ها $h \in H$

T = دوره زمانی $t \in T$

P = مجموعه محصولات خون $p \in P$

۳-۳- پارامترها

$\bar{\beta}1$ = متوسط اطمینان نسبت به شرایط و ایمنی حمل خون از لحاظ دما و سایر موارد از محل جمع‌آوری j به مرکز خون k

$\bar{\beta}2$ = متوسط اطمینان نسبت به کارکرد تجهیزات آزمایشگاهی در مراکز جمع‌آوری

www.SID.ir

$\bar{\beta}3_{jkt}$ = متوسط اطمینان نسبت به براورده‌شدن تقاضای خون در مرکز خون k از مرکز جمع‌آوری j در دوره t.

$\bar{\delta}_j^1$ = متوسط درصد بسته‌بندی غیر استاندارد خون در محل جمع آوری j

$\bar{\delta}_k^2$ = متوسط درصد بسته‌بندی غیر استاندارد خون و محصولات خون در مرکز خون k

CC_{jt} = هزینه جمع‌آوری هر واحد خون از اهداکنندگان توسط تسهیلات جمع‌آوری j در دوره t.

CV_{pkht} = هزینه حمل هر واحد محصول p از مرکز خون k به بیمارستان h در دوره t.

CP_{pkt} = هزینه تولید هر واحد محصول p در مرکز خون k در دوره t.

CV'_{jk} = هزینه حمل هر واحد خون از محل جمع‌آوری j مرکز خون k در دوره t.

CH'_{pht} = متوسط هزینه نگهداری هر واحد محصول نوع p در بیمارستان h در دوره t.

CH''_{pkt} = متوسط هزینه نگهداری هر واحد محصول نوع p در مرکز خون k در دوره t.

CS_{pht} = هزینه کمبود محصول نوع p در بیمارستان h در دوره t.

CW'_{pk} = هزینه اتلاف محصول نوع p در مرکز خون k در دوره t.

Db_{kjt} = میزان تقاضا در مرکز خون k از مراکز جمع‌آوری j در دوره t.

AD_{pht} = میزان تقاضای واقعی بیمارستان h برای محصول p در دوره t.

D_{pkht} = میزان تقاضا برای محصول نوع p از مرکز خون k توسط بیمارستان h در دوره t.

$u1_{pkt}$ = حداکثر ظرفیت مرکز خون k در دوره t.

$u2_{jt}$ = حداکثر ظرفیت تسهیلات جمع‌آوری j در دوره t.

$u3_{pkt}$ = حداکثر ظرفیت مرکز خون k برای تولید محصول p در دوره t.

$u4_{pht}$ = حداکثر ظرفیت نگهداری محصول p در بیمارستان h در دوره t.

میزان محصول نوع p ارسال شده از مرکز خون k به بیمارستان h در دوره t.

۳-۴- متغیرهای تصمیم

Q_{pkht} = میزان محصول نوع p ارسال شده از مرکز خون k به بیمارستان h در دوره t.

PR_{pkt} = میزان تولید محصول نوع p توسط مرکز خون k در دوره t.

Cb_{jt} = میزان خون جمع‌آوری شده از اهداکنندگان توسط تسهیلات جمع‌آوری j در دوره t.

Cb'_{jkt} = میزان خون ارسال شده از مراکز جمع‌آوری j به مرکز خون k در دوره t.

N''_{jt} = تعداد مراکز جمع‌آوری خون j در دوره t.

IN'_{pkt} = میزان موجودی محصول p در مرکز خون k در دوره t.

IN''_{pht} = میزان موجودی محصول p در بیمارستان h در دوره t.

De'_{pht} = میزان کمبود محصول نوع p در بیمارستان h در دوره t.

De''_{pkt} = میزان کمبود محصول نوع p در مرکز خون k در دوره t.

WB'_{pkt} = میزان اتلاف محصول نوع p در مرکز خون k در دوره t.

Archive of SID

www.SID.ir

۳-۵- مدل ریاضی

$$\text{MaxZ1}=\left(\bar{\beta}_1 \times \sum_k \sum_t \sum_j \left(Cb'_{jkt} \div Db_{jkt}\right)\right) \times \left(\bar{\beta}_2 \times \sum_j \sum_t \left(N''_{jt} \times u2_{jt} \div \sum_k Db_{jkt}\right)\right) \times \left(\bar{\beta}3_{jkt} \times \sum_k \sum_t \left(Cb'_{jkt} \div Db_{kjt}\right)\right) \quad (۱)$$

$$\text{Min Z2}= \left(\sum_p \sum_k \sum_t IN'_{pkt} \times CH''_{pkt}\right) + \left(\sum_p \sum_h \sum_t IN''_{pht} \times CH'_{pht}\right) + \left(\sum_p \sum_k \sum_h \sum_t Q_{pkht} \times CV_{pkht}\right) + \left(\sum_p \sum_h \sum_t De_{pht} \times CS_{pht}\right) + \left(\sum_j \sum_k \sum_t Cb'_{jkt} \times CV'_{jkt}\right) + \left(\sum_p \sum_k \sum_t PR_{pkt} \times CP_{pkt}\right) - \left(\sum_j \sum_t Cb_{jt} \times CC_{jt}\right) + \sum_j \left(\bar{\delta}_j^1 \times \left(\sum_t Cb_{jt} \times CC_{jt}\right)\right) + \sum_k \left(\bar{\delta}_k^2 \times \left(\sum_p \sum_t PR_{pkt} \times CP_{pkt}\right)\right) + \left(\sum_p \sum_k \sum_t WB'_{pkt} \times CW'_{pkt}\right) \quad (۲)$$

S.T:

$$\sum_j Cb'_{jkt} \geq \sum_p PR_{pkt} \qquad \forall\ k \in K, t \in T \quad (۳)$$

$$PR_{pkt} \geq \sum_h Q_{pkht} \qquad \forall\ p \in P, k \in K, t \in T \quad (۴)$$

$$IN''_{pht} \leq u4_{pht} \qquad \forall\ p \in P, h \in H, t \in T \quad (۵)$$

$$N'_{pkt} \times u3_{pkt} \geq PR_{pkt} \qquad \forall\ p \in P, k \in K, t \in T \quad (۶)$$

$$IN'_{pkt} \leq u1_{pkt} \quad (۷)$$

$$N''_{jt} \times u2_{jt} \geq Cb_{jt} \qquad \forall\ j \in J, t \in T \quad (۸)$$

$$IN''_{ph(t-1)} + \sum_k Q_{pkht} + De'_{pht} = IN''_{pht} + AD_{pht} \qquad \forall\ p \in P, h \in H, t \in T \quad (۹)$$

$$\sum_p IN'_{pkt-1} + \sum_j Cb'_{jkt} + \sum_p De''_{pkt} = \sum_p IN'_{pkt} + \sum_h \sum_p Q_{pkht} \qquad \forall\ k \in K, t \in T \quad (۱۰)$$

$$Cb_{jt} = \sum_k Cb'_{jkt} \qquad \forall\ j \in J, t \in T \quad (۱۱)$$

$$WB'_{pkt} = \sum_p IN'_{pkt-1} + \sum_j Cb'_{jkt} - \sum_h D_{pkht} - \sum_h De'_{pht} \qquad \forall\ p \in, k \in K, t \in T \quad (۱۲)$$

$$\sum_j Cb_{jt} \geq AD_{pht} \qquad \forall\ p \in P, h \in H, t \in T \quad (۱۳)$$

$$IN'_{pkt} \leq M \times y_1 \quad (۱۴)$$

$$De''_{pkt} \leq M \times y_2 \quad (۱۵)$$

$$y_1 + y_2 = 1 \quad (۱۶)$$

$$IN''_{pht} \leq M \times z_1 \quad (۱۷)$$

$$De'_{pht} \leq M \times z_2 \quad (۱۸)$$

$$z_1 + z_2 = 1 \quad (۱۹)$$

$$Cb'_{jkt} \leq Db_{jkt} \qquad \forall\ j \in J, k \in K, t \in T \quad (۲۰)$$

$$N''_{jt} \times u2_{jt} \leq \sum_k Db_{jkt} \qquad \forall\ j \in J, t \in T \quad (۲۱)$$

$$Q_{pkht}, PR_{pkt}, N''_{jt}, WB'_{pkt} \in Z^+ \quad (۲۲)$$

$$PR_{pkt}, Cb_{jt}, Cb'_{jkt}, IN'_{pkt}, IN''_{pht} \geq 0 \quad (۲۳)$$

$$z_1, z_2, y_1, y_2 \in \{0,1\} \quad (۲۴)$$

تابع هدف اول (۱)، قابلیت اطمینان زنجیره تامین خون شامل: اطمینان نسبت به شرایط و ایمنی حمل از لحاظ نوسانات دما، اطمینان نسبت به کارکرد تجهیزات آزمایشگاهی در مرکز جمع-آوری، اطمینان نسبت به برآورده شدن تقاضا در مرکز خون، را حداکثر می‌سازد. تابع هدف دوم (۲)، هزینه کل زنجیره تامین، شامل هزینه ناشی از بسته‌بندی غیر استاندارد خون، هزینه‌های نگهداری، حمل، تولید، کمبود و اتلاف را حداقل می‌سازد. محدودیت (۳) تضمین می‌کند میزان خون تولید شده از میزان خون ارسال شده از مراکز جمع‌آوری تجاوز نکند. محدودیت (۴) تضمین می‌کند میزان خون ارسال شده به بیمارستان‌ها از میزان خون تولید شده در مراکز خون تجاوز نکند. محدودیت (۵) حداکثر ظرفیت نگهداری محصول P در بیمارستان را نشان می-دهد. محدودیت (۶) حداکثر ظرفیت مرکز خون برای تولید محصول P را نشان می‌دهد. محدودیت (۷) حداکثر ظرفیت مرکز خون برای نگهداری محصول P را نشان می‌دهد. محدودیت (۸) حداکثر ظرفیت تسهیلات جمع‌آوری را نشان می‌دهد. محدودیت

Archive of SID
www.SID.ir

(۹) توازن موجودی در بیمارستان را نشان می‌دهد. محدودیت (۱۰) توازن موجودی در مرکز خون را نشان می‌دهد. محدودیت (۱۱) تعادل جریان را در تسهیلات جمع‌آوری تضمین می‌کنند و اینکه تمام خون دریافت شده به مراکز خون منتقل می‌گردد. محدودیت (۱۲) میزان اتلاف مرکز خون را مشخص می‌کند. محدودیت (۱۳) تضمین می‌کند میزان خون جمع‌آوری شده تقاضا را پوشش دهد. محدودیت‌های (۱۴، ۱۵ و ۱۶) تضمین می‌کند در مراکز خون در یک دوره یا موجودی داریم یا کمبود. محدودیت‌های (۱۷، ۱۸ و ۱۹) تضمین می‌کند در نقاط تقاضا در یک دوره یا موجودی داریم یا کمبود. محدودیت‌های (۲۰ و ۲۱) میزان تقاضای مرکز خون را نشان می‌دهند و محدودیت (۲۲، ۲۳ و ۲۴) نوع متغیرهای تصمیم را بیان می‌کنند.

۴- نتایج محاسباتی

برای ارزیابی میزان عملکرد مدل پیشنهادی، یک مسئله محاسباتی با ابعاد مختلف مورد بررسی قرار گرفت و مورد آزمایش قرار داده شد که نتایج مرتبط با آن در این بخش ارائه شده است. برای حل مدل ریاضی ارائه شده از حل کننده Baron در نرم افزار GAMS ۲۴,۹ در یک کامپیوتر خانگی استفاده شده است. مقدار پارامترهای مدل از داده‌های واقعی مقاله داوودی کیا کلاته و همکاران [۳۹] و نهفتی کهنه و همکاران [۱۰] گرفته شده است. مدل به کمک داده‌های فوق پس از بی‌مقیاس سازی پارامترها حل شده و برای تایید عملکرد آن بر روی تغییر پارامترهای هزینه اتلاف، کمبود و عملکرد توابع هدف، تحلیل حساسیت انجام شد که گزارش آن در ادامه آمده است.

برای بررسی قابلیت حل مدل در ابعاد مختلف، ۶ نمونه در اندازه‌های مختلف تولید شده است که نتایج حل آنها در جدول (۱) ارائه شده است. در جدول (۱) ستون دوم نشان دهنده تعداد اعضای هر نمونه است. اعضا عبارتند از (j,k,h,t,p)، که در آن j تعداد تسهیلات جمع‌آوری خون، k تعداد مراکز خون، h تعداد بیمارستان، t تعداد دوره و p تعداد محصول می‌باشد. نتایج بیانگر آن است که با افزایش ابعاد مساله زمان حل به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. در این میان افزایش تعداد محصولات در مدل بیش‌ترین تاثیر را در افزایش زمان حل مساله دارد.

۴-۱- اعتبار سنجی مدل

برای اعتبار سنجی و صحت عملکرد، مدل به کمک داده‌های واقعی مقاله داوودی کیا کلاته و همکاران [۳۹] و نهفتی کهنه و همکاران [۱۰] و در نرم افزار GAMS/Baron حل شد. با حل مدل نتایج زیر به ازای ابعاد (۲، ۳، ۳۰، ۲، ۱۵) بدست آمد.

۴-۱-۱-تحلیل حساسیت بر روی هزینه اتلاف و کمبود

برای آزمودن صحت مدل بر روی پارامترهای هزینه اتلاف و هزینه کمبود تحلیل حساسیت صورت گرفته است. همانگونه که انتظار می‌رفت با افزایش هزینه اتلاف میزان اتلاف کاهش یافت، که این امر افزایش هزینه کل زنجیره تامین را درپی داشت. (جدول ۲). همچنین با افزایش هزینه کمبود میزان کمبود کاهش یافت و این امر افزایش هزینه کل را در پی داشت (جدول ۳)، نتایج صحت مدل ارایه شده را تایید می‌کنند.

جدول ۱: آزمایش‌های عددی

تعداد نمونه	اندازه نمونه	مقدار بهینه تابع هدف اول	مقدار بهینه تابع هدف دوم	مقدار بهینه تابع هدف مساله	زمان حل (ساعت)
۱	(۲، ۲، ۴، ۲، ۲)	۰,۱۳۱	۶,۵۰۶	۲,۶۰۰	۲:۲۱:۳۴,۳۷۱
۲	(۳، ۲، ۶، ۲، ۳)	۰,۳۷۱	۳۵۶,۷۲۴	۱۴۲,۶۸۲	۴:۰۲:۴۱,۳۵۲
۳	(۲، ۲، ۷، ۲، ۴)	۰,۶۹۰	۱۰,۷۶۳	۲,۱۴۳	۱:۱۰:۵۶,۴۹۲
۴	(۳، ۲، ۷، ۲، ۴)	۰,۴۹۳	۴۴۰,۸۱۲	۱۷۶,۳۱۵	۵:۱۲:۴۲,۵۸۵
۵	(۲، ۳، ۱۰، ۲، ۴)	۰,۸۸۵	۲۳,۵۵۳	۹,۳۹۳	۶:۰۲:۳۸,۰۳۶
۶	(۳، ۳، ۷، ۲، ۵)	۰,۹۲۲	۶۹۳,۱۹۷	۲۷۷,۲۵۵	۹:۴۸:۱۶,۱۰۵

www.SID.ir
Archive of SID

جدول ۲: تغییرات هزینه اتلاف محصولات در مرکز خون

مقادیر تابع هدف	میزان اتلاف محصول در مرکز خون			نوع محصول	هزینه اتلاف محصول در مرکز خون	آزمایش
تابع هدف دوم	دوره ۳	دوره ۲	دوره ۱			
۷۳,۰۹۳	۰	۰	۲۵۴	P۱	۰	۱
	۰	۰	۰	P۲		
۷۴,۰۰۱	۰	۰	۱۶۳	P۱	۰,۰۰۳۵۷۷	۲
	۰	۰	۰	P۲		
۷۴,۴۳۹	۰	۰	۱۱۸	P۱	۰,۰۰۵۳۶۶	۳
	۰	۰	۰	P۲		
۷۵,۸۰۱	۰	۰	۵۶	P۱	۰,۰۱۰۶۶	۴
	۰	۰	۰	P۲		
۷۸,۴۴۷	۰	۰	۰	P۱	۰,۰۲۱۰۸	۵
	۰	۰	۰	P۲		

جدول ۳- تغییرات هزینه کمبود محصولات در بیمارستان

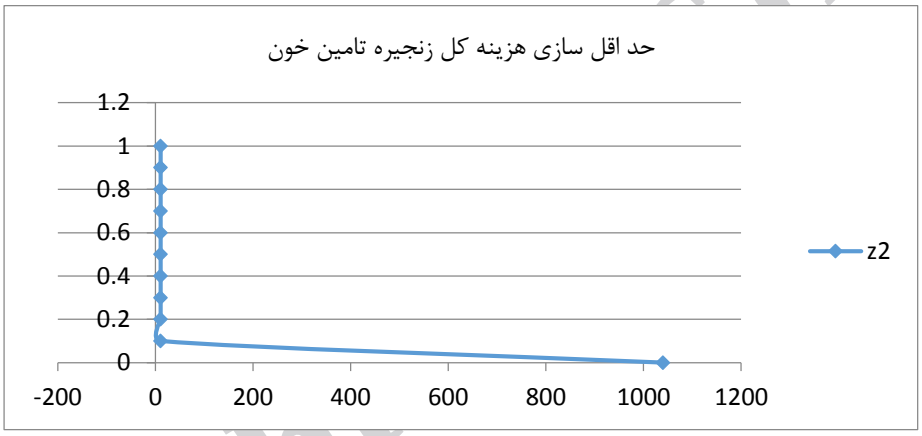
مقادیر تابع هدف	میزان موجودی بیمارستان			میزان کمبود محصول در بیمارستان			نوع محصول	هزینه کمبود محصول در بیمارستان	آزمایش
تابع هدف دوم	دوره ۳	دوره ۲	دوره ۱	دوره ۳	دوره ۲	دوره ۱			
۲۳,۲۸۴	۰	۰	۰	۳۵۸۱	۳۶۲۲	۳۶۱۸	P۱	۰	۱
	۰	۰	۰	۳۵۹۸	۳۶۳۹	۳۵۵۴	P۲		
۴۳,۸۰۴	۰	۰	۰	۳۵۸۱	۳۶۲۲	۳۶۱۸	P۱	۰,۰۰۰۹۵	۲
	۰	۰	۰	۳۵۹۸	۳۶۳۹	۳۵۵۴	P۲		
۸۰,۸۵۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۶۱۸	P۱	۰,۰۰۲۸۴۸	۳
	۰	۰	۰	۳۵۸۵	۳۶۲۹	۳۵۵۴	P۲		
۸۵,۳۶۸	۰	۰	۰	۰	۰	۶۴	P۱	۰,۰۰۳۳۲۱	۴
	۰	۰	۰	۰	۲۱۴	۰	P۲		
۸۵,۶۷۲	۰	۰	۰	۰	۰	۶۴	P۱	۰,۰۰۹۴	۵
	۰	۰	۰	۰	۰	۰	P۲		
۸۶,۰۹۵	۰	۰	۰	۰	۰	۶۴	P۱	۰,۰۱۸۶۹	۶
	۰	۰	۰	۰	۰	۰	P۲		
۸۵,۰۷۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	P۱	۰,۰۸۶۹۴	۷
	۰	۰	۰	۰	۰	۰	P۲		

Archive of SID

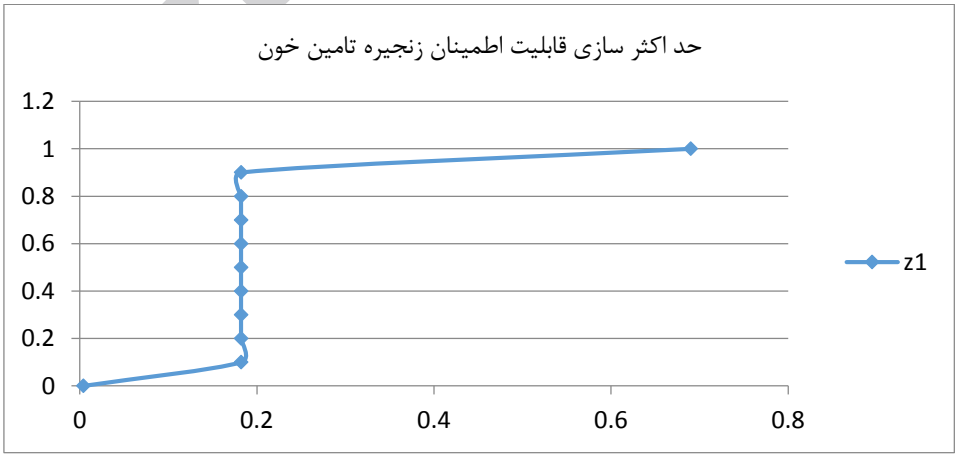
www.SID.ir

۴-۱-۲- تحلیل حساسیت تابع هدف

همان‌طور که در مدل مشاهده می‌شود، مدل ارایه شده یک مدل چند هدفه برنامه‌ریزی عدد صحیح غیر خطی مختلط است، که دو تابع هدف مدل درصدد حد اکثرسازی قابلیت اطمینان و حد اقل سازی هزینه کل زنجیره تامین خون می‌باشند. برای حل مدل از روش وزنی استفاده گشت. برای تحلیل حساسیت تابع هدف وزن-های مختلف برای توابع هدف برای مساله‌ای با ابعاد (۲ ، ۲ ، ۷، ۲ و ۴)، با ارزش وزنی (۰ الی ۱) ایجاد گشت. همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌گردد با افزایش وزن تابع هدف حد اکثر سازی قابلیت اطمینان میزان تابع هدف به سمت حد اکثر سازی و بهینه‌شدن پیش می‌رود و با افزایش وزن تابع هدف حد اقل سازی هزینه، تابع هدف به سمت حد اقل سازی و بهینه‌شدن پیش می‌رود (شکل-۳) که این امر نیز بیان‌گر صحت عملکرد مدل ارایه شده می‌باشد. در شکل (۴) پاره تو تغییرات تابع هدف اول و تابع هدف دوم نشان داده شده است. با توجه به اینکه تابع هدف اول از نوع حد اکثرسازی و تابع هدف دوم از نوع حد اقل سازی می‌باشد بین این دو تابع هدف از لحاظ ارزش تناقض وجود دارد به این معنا که با افزایش یکی از توابع دیگری باید کاهش یابد و برعکس که این امر اعتبار مدل را تایید می‌کند. شکل (۵) نیز تغییرات قابلیت اطمینان در برابر تعداد تسهیلات جمع‌آوری خون را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد بین این دو رابطه مستقیم وجود دارد و با افزایش تعداد تسهیلات جمع‌آوری قابلیت اطمینان سیستم نیز افزایش می‌یابد.

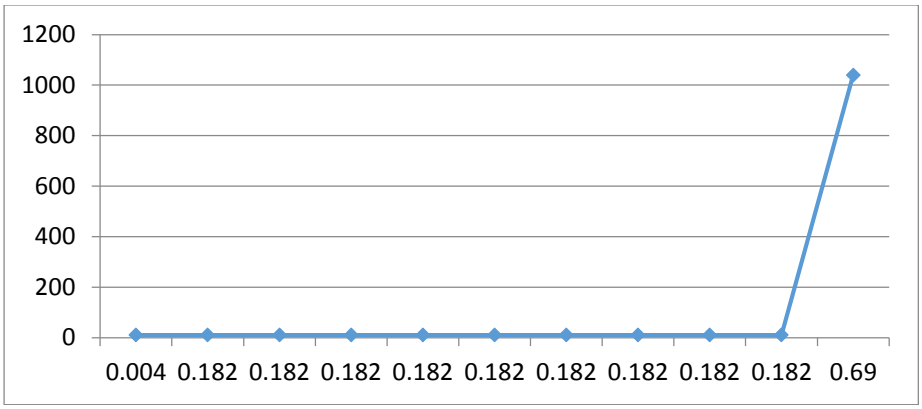


شکل ۲-حد اقل سازی هزینه کل

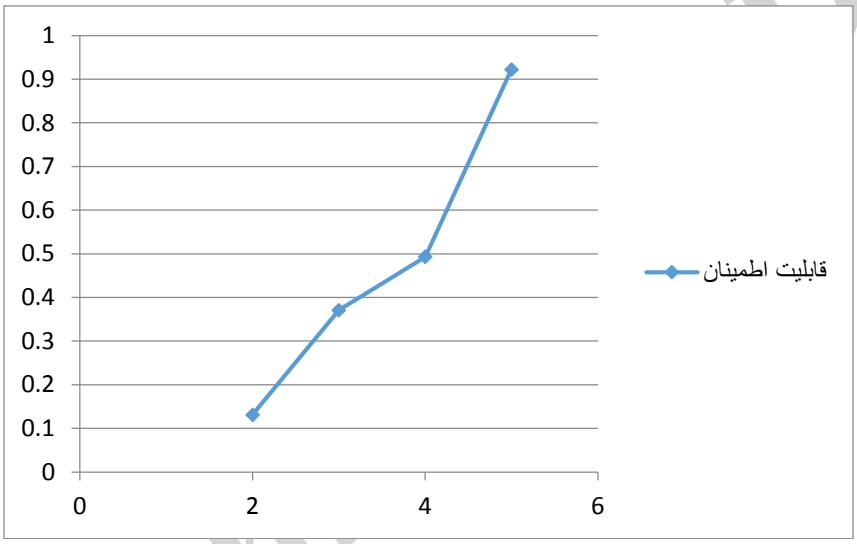


شکل ۳- حد اکثر سازی قابلیت اطمینان

www.SID.ir



شکل ۴- تغییرات تابع هدف حد اکثر سازی قابلیت اطمینان نسبت به حد اقل سازی هزینه کل زنجیره تامین خون



شکل ۵- تغییرات قابلیت اطمینان در برابر تعداد تسهیلات جمع‌آوری خون

۵- بحث

مدل طراحی شده در این تحقیق مقدار متغیرهای تصمیم شامل: محصول ارسال شده از مرکز خون به بیمارستان، میزان تولید محصول در مرکز خون، میزان خون جمع‌آوری شده، تعداد مراکز جمع‌آوری، میزان موجودی محصول در هر مرکز و بیمارستان را با هدف کاهش هزینه و افزایش قابلیت اطمینان زنجیره تامین خون تعیین و در عین حال اتلاف و کمبود خون نیز حد اقل می‌گردد. با توجه به جستجوی محققان در ادبیات موضوع تعداد مقاله‌های زنجیره تامین خون که در مدل‌سازی قابلیت اطمینان را مورد توجه قرار داده‌اند بسیار محدود می‌باشد. عقیانی و همکاران [۴۰]، مدل بهینه‌سازی استوار جهت طراحی پایای شبکه زنجیره تامین خون با درنظر گرفتن اختلالات احتمالی در تسهیلات جمع آوری، مسیرهای انتقال خون و مراکز خون هنگام بحران با هدف حد اقل نمودن عدم پوشش نقاط تقاضا و افزایش قابلیت اطمینان زنجیره تامین خون در شرایط بحران ارایه نمودند. نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیق [۴۰]، هم راستا بوده و در هر دو تحقیق نتایج بیانگر رابطه مستقیم بین تعداد تسهیلات جمع آوری و قابلیت اطمینان زنجیره تامین بوده‌اند. زنده دل و همکاران [۴۱]، نیز در تحقیق خود تنها اختلال در محل استقرار را در نظر گرفتند و نتایج نشان دهنده اهمیت موضوع قابلیت اطمینان در بحث مکان‌یابی بود. کلای و همکاران [۴۲]، بیان کردند یک اختلال کوچک که به حمل و نقل اعمال شود موجب بی‌ثباتی و نوسان در مدل می‌شود. همچنین موجودی خون می‌تواند نوسان‌ها را تحت تاثیر قرار دهد و بدون ایجاد بی‌ثباتی در سیستم موجب نوسانات کوتاه مدت در تقاضا شود و کاهش در نوسانات منجر به کمبود کمتر شده و نیز

www.SID.ir

اتلاف به علت فساد کمتر می‌شود. نتایج این تحقیق نیز بیانگر این است که با مدیریت موجودی خون در مراکز می‌توان کمبود را تا حد صفر کاهش داد و اتلاف را هم به حداقل رساند.

۶- نتیجه گیری

در این تحقیق یک مدل دو هدفه چند سطحی عدد صحیح مختلط غیرخطی با هدف کاهش هزینه و افزایش قابلیت اطمینان شبکه زنجیره تامین خون ارایه گردید. مدل مورد بررسی با لحاظ نمودن عدم اطمینان نسبت به شرایط و ایمنی حمل خون از لحاظ نوسانات دما، بسته‌بندی غیر استاندارد خون در محل جمع-آوری و مراکز خون، عدم اطمینان نسبت به کارکرد تجهیزات آزمایشگاهی در مرکز خون، عدم اطمینان نسبت به تقاضا خون در مرکز خون، میزان محصول ارسال شده از مرکز خون به بیمارستان، میزان تولید محصول توسط مرکز خون، میزان خون جمع آوری شده از اهدا کنندگان توسط تسهیلات جمع‌آوری، تعداد مراکز جمع‌آوری، میزان موجودی محصول در مرکز خون و بیمارستان را با هدف کاهش هزینه کل و افزایش میزان قابلیت اطمینان با توجه به حد اقل سازی اتلاف و کمبود تعیین می‌نماید. هزینه‌های زنجیره تامین، شامل هزینه‌های جمع‌آوری، حمل، نگهداری، کمبود، اتلاف و تولید خون و محصول‌های آن می‌باشند. با توجه به اینکه می‌توان مهم‌ترین مساله زنجیره تامین خون را تامین خون برای نقاط تقاضا دانست و کمبود خون جان انسان‌ها را به خطر می‌اندازد در مدل ارایه شده میزان کمبود کمینه می‌گردد، در حالی که میزان موجودی بیشتر از تقاضا برای جلوگیری از کمبود نیز منجر به اتلاف خون و وارد شدن هزینه اضافی به شبکه تامین خون می‌گردد که در مدل ارایه شده اتلاف خون نیز کمینه می‌گردد. باید توجه داشت که این دو مساله در دنیای واقعی با هم در تضاد می‌باشند و در مدل ارایه شده در نظر گرفته شده‌اند. همچنین افزایش قابلیت اطمینان سیستم از ایجاد اختلال در زنجیره تامین خون جلوگیری می‌کند و موجب پایداری زنجیره تامین می‌گردد و رسیدن به هدف زنجیره تامین خون، یعنی تامین خون مورد نیاز توسط نقاط تقاضا است را با حد اقل هزینه کل محقق می‌سازد که این موضوع نیز در مدل مورد توجه قرار گرفته است و با حد اقل سازی هزینه زنجیره تامین خون، افزایش قابلیت اطمینان آن را محقق می‌سازد.

نتایج نشان می‌دهد که با افزایش تعداد مراکز جمع آوری و میزان خون ارسال شده از این مراکز به مراکز خون و مدیریت موجودی خون در این مراکز می‌توان قابلیت اطمینان زنجیره تامین را افزایش داد. همچنین با افزایش ابعاد مساله به خصوص تعداد محصولات زمان حل به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد.

مدل ارایه شده از جهات مختلف قابل توسعه است. به عنوان پیشنهاد برای تحقیقات آینده می‌توان طول عمر محصول‌ها، زمان حمل محصول‌ها و قابلیت اطمینان سایر سطوح زنجیره تامین را در نظر گرفت. همچنین باتوجه به افزایش ابعاد مساله زمان حل مدل افزایش می‌یابد، در نتیجه استفاده از روش‌های حل ابتکاری و فراابتکاری برای تحقیقات آینده پیشنهاد می‌گردد.

مراجع

[1]. Agrell, P. J. and Hatami-Marbini, A. (2011) Frontier-based performance analysis models for supply chain management: State of the art and research directions. CORE DISCUSSION PAPER 2011/69

[2]. M. T. Melo, S. Nickel, F. Saldanha-da-Gama, "Facility location and supply chain management-A review," European Journal of Operational Research, vol. 196, pp. 401-412, 2009.

[3]. A. Nagurney and L. S. Nagurney, "Medical nuclear supply chain design: A tractable network model and computational approach," International Journal of Production Economics, vol. 140, pp. 865-874, 2012.

[4]. C. Kanzian, M. Kuhmaiera, J. Zazgornik, K. Stampfer "Design of forest energy supply networks using multi-objective optimization," Biomass and Bioenergy, vol. 58, pp. 294-302, 2013.

[5]. A. Nagurney, A. H. Masoumi, M. Yu, "Supply chain network operations management of a blood banking system with cost and risk minimization," Computational Management Science, vol. 9, pp. 205-231, 2012.

[6]. M. Rezaei-Malek and R. Tavakkoli-Moghaddam, "Robust humanitarian relief logistics network planning," Uncertain Supply Chain Management, vol. 2, pp. 73-96, 2014.

[7]. R. Uthayakumar, S. Priyan, Pharmaceutical supply chain and inventory management strategies:

Archive of SID
www.SID.ir

Optimization for a pharmaceutical company and a hospital, Oper. Res. Health Care 2 (2013) 52–64.

[8]. N. Privett, D. Gonsalvez, The top ten global health supply chain issues: Perspectives from the field, Oper. Res. Health Care 3 (2014) 226–230.

[9]. Rezaei-Malek, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zahiri, B., & Bozorgi-Amiri, A. (2016). An interactive approach for designing a robust disaster relief logistics network with perishable commodities. Computers & Industrial Engineering,94, 201-215.

[10]. Jamal Nahofti Kohneh, Ebrahim Teymoury, Mir Saman Pishvaee: Blood products supply chain design considering disaster circumstances (Case study: earthquake disaster in Tehran); Journal of Industrial and Systems Engineering Vol. 9, special issue on supply chain, pp 51 – 72 ;Winter (January) 2016.

[11]. Duan, Q., & Liao, T. W. "Optimization of blood supply chain with shortened shelf lives and ABO compatibility". International Journal of Production Economics, Vol. 153, (2014), pp.113-129.

[12]. Zahiri, B., Torabi, S. A., Mousazadeh, M., & Mansouri, S. A. "Blood collection management: Methodology and application". Applied Mathematical Modelling, Vol. 39, No. 23, (2015), pp.7680-7696.

[13]. Andrea Pirabán Ramírez, Nacima Labadie: Stochastic inventory control and distribution of blood products. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bogota, Colombia, October 25-26, 2017.

[14]. B. I. Whitaker, J. Green, M. R. King, L. L. Leibeg, S. M. Mathew, K. S. Schlumpf, G. B. Schreiber, "The 2007 National Blood Collection and Utilization Survey," 2007.

[15]. van Zyl GJJ. Inventory control for perishable commodities. Dissertation, University of North Carolina;1964.

[16]. 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.

[17]. B. Zahiri, S.A. Torabi, M. Mousazadeh, S.A. Mansouri: Blood collection management: A robust possibilistic programming approach; Appl. Math. Modelling (2015), doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.apm. 2015.04.028.

[18]. Sara Cheraghi, Seyyed-Mahdi Hosseini-Motlagh & Mohammadreza Ghatreh Samani: A Robust Optimization Model for Blood Supply Chain Network Design; International Journal of Industrial Engineering & Production Research (2016); December 2016, Volume 27, Number 4 pp. 425-444.

[19]. Salma Mouatassim, Mustapha Ahlaqqach, Jamal Benhra, My Ali El Oualidi (2016); Model based on Hybridized Game Theory to Optimize Logistics: Case of Blood Supply Chain; International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 145 – No.15, July 2016.

[20]. Nigel M. Clay , Babak Abbasi , Andrew Eberhard and John Hearne; On the volatility of blood inventories; INTERNATIONAL TRANSACTIONS INOPERATIONAL RESEARCH; Intl. Trans. in Op. Res. 25 (2018) 215–242 DOI: 10.1111/itor.12326

[21]. Sima M. Fortsch, Elena A. Khapalova: Reducing uncertainty in demand for blood; Operations Research for Health, Care 9 (2016) 16–28.

[22]. Sara Cheraghi, Seyyed-Mahdi Hosseini-Motlagh: Optimal Blood Transportation in Disaster Relief Considering Facility Disruption and Route Reliability under Uncertainty; 225 International Journal of Transportation Engineering, Vol.4/ No.3/ Winter 2017.

[23]. N. Yates, S. Stanger, R. Wilding & S. Cotton: Approaches to assessing and minimizing blood wastage in the hospital and blood supply chain. ISBT Science Series (2017) 0, 1–8.

[24]. Ensafian, Hamidreza.,Yaghoubi, Saeed., & Yazdi , Mohammad Modarres., Raising quality and safety of platelet transfusion services in a patientbased integrated supply chain under uncertainty.Computers and Chemical Engineering http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2017.06.015.

[25]. Hamidreza Ensafian, Saeed Yaghoubi(2017): Robust optimization model for integrated procurement, production and distribution in platelet supply chain. Transportation Research Part E 103 (2017) 32–55.

[26]. Mahdi Yousefi Nejad Attari, Seyed Hamid Reza Pasandide, Afsaneh Agaie, Seyed Taghi Akhavan Niaki: Presenting a stochastic multi choice

Archive of SID

www.SID.ir

goal programming model for reducing wastages and shortages of blood products at hospitals. Journal of Industrial and Systems Engineering Vol. 10, Special issue on healthcare, pp 81-96 Winter (January) 2017.

[27]. Reza Ramezanian, Zahra Behboodi : Blood supply chain network design under uncertainties in supply and demand considering social aspects. Transportation Research Part E 104 (2017) 69–82.

[28]. Mohammad Reza Ghatreh Samani, S. Ali Torabi and S. Mahdi Hosseini-Motlagh, Integrated blood supply chain planning for disaster r e l i e f , International Journal of Disaster Risk Reduction, https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.10.005.

[29]. A. Ahmadi, M. Najafi, Blood inventory management in hospitals: Considering supply and demand uncertainty and blood transshipment possibility, Operations Research for Health Care (2017), https://doi.org/10.1016/j.orhc.2017.08.006.

[30]. Lusiana Sibuea, Habibis Saleh, Moh Danil Hendry Gamal. Stochastic Integer Programming Models in the Management of the Blood Supply Chain: A Case Study. World Journal of Operational Research. Vol. 1, No. 2, 2017, pp. 41-48. doi: 10.11648/j.wjor.20170102.11.

[31]. Andrea Pirabán Ramírez, Nacima Labadie: Stochastic inventory control and distribution of blood products. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bogota, Colombia, October 25-26, 2017.

[32]. Shiva Moslemi and Abolfazl Mirzazadeh: PERFORMANCE EVALUATION OF FOUR-STAGE BLOOD SUPPLY CHAIN WITH FEEDBACK VARIABLES USING NDEA CROSS-EFFICIENCY AND ENTROPY MEASURES UNDER IER UNCERTAINTY. NUMERICAL ALGEBRA, CONTROL AND OPTIMIZATIOVolume 7, Number 4, December 2017.

[33]. Mary Dillon, Fabricio Oliveira and Babak Abbasi, A twostage stochastic programming model for inventory management in the blood supply chain, Intern. Journal of Production Economics, http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.02.006.

[34]. Andres F. Osorio , Sally C. Brailsford , Honora K. Smith , WHOLE BLOOD OR APHERESIS DONATIONS? A MULTI-OBJECTIVE STOCHASTIC OPTIMIZATION APPROACH, European Journal of Operational Research (2017), doi: 10.1016/j.ejor.2017.09.005.

[35]. Nur Arif Azezan, Mohammad Fadzli Ramli, and Hafiz Masran(2017): A review on the modelling of collection and distribution of blood donation based on vehicle routing problem; International Conference on Mathematics, Statistics and their Applications (ICMSA2017). AIP Conf. Proc. 1905, 040008-1–040008-6; https://doi.org/10.1063/1.5012196

[36]. Ali Ekici, Okan Örsan Özener, and Elvin Çoban(2018): Blood Supply Chain Management and Future Research Opportunities; Operations Research Applications in Health Care Management, International Series in Operations Research & Management Science 262, https://doi.org/10.1007/978-3-319-65455-3_10.

[37]. Pratiksha Patil, Pradip Kumar Ray and Esha Saha(2018): Modeling and Analysis of Distribution of Blood Stocks to Healthcare Units; Healthcare Systems Management: Methodologies and Applications, Managing the Asian Century, DOI 10.1007/978-981-10-5631-4_9.

[۳۸]. امیدخدا، آزاده، صدیقه امینی کافی آباد، علی اکبر پورفتح اله، مهتاب مقصودلو (۱۳۹۶)، مدیریت تولید، فرآوری، توزیع خون و پایش ضایعات آن در ایران (۱۳۸۸ الی ۱۳۹۴)، فصلنامه علمی پژوهشی خون، دوره ۱۲ شماره ۲ پاییز ۹۶، (۱۵۵-۱۶۳).

[۳۹]. داودی کیاکلایه، علی، پریدار، مصطفی، توگه، غلامرضا (۱۳۹۱)، محاسبه هزینه واحد پایگاه‌های انتقال خون استان گیلان، فصلنامه علمی پژوهشی خون، دوره ۹ شماره ۳ پاییز ۹۱، (۳۴۶-۳۵۲).

[۴۰]. عقیانی، مونا، جبارزاده، آرمین، سجادی، سید جعفر (۱۳۹۴)، ارائه یک مدل بهینه سازی استوار جهت طراحی شبکه زنجیره تامین خون در شرایط بحران با در نظرگرفتن قابلیت اطمینان، نشریه مهندسی و مدیریت کیفیت جلد 5 - شماره ۲، تابستان ۹۵.

[۴۱]. زنده دل، محمد، بزرگی امیری، علی، عمرانی، هاشم (۱۳۹۳)، ارائه مدل مکان یابی پایگاه های اهدای خون با در نظر گرفتن اختلال در محل استقرار، نشریه تخصصی مهندسی صنایع، دوره ۴۸، سال ۹۳، (۳۳-۴۳).

[42]. Nigel M. Clay , Babak Abbasi , Andrew Eberhard and John Hearne; On the volatility of blood inventories; INTERNATIONAL TRANSACTIONS

Archive of SID
www.SID.ir

Res. 25 (2018) 215–242 DOI: 10.1111/itor.12326 . INOPERATIONAL RESEARCH; Intl. Trans. in Op.

Archive of SID

www.SID.ir