Archive of SID

FET 2017 ۷ اسفند ۱۳۹۵ 25 February 2017
اولین کنفرانس ملی
آینده مهندسی و تکنولوژی
1st national Conference On Future Of Engineering And Technology
تهران - ایران Iran - Tehran

طراحی و بهینه سازی چند هدفه در سیستم زنجیره تأمین بانک خون

دکتر سعید جعفرزاده

استادیار دانشگاه صنعتی ارومیه

Saeid.edu@gmail.com

سمانه حبیبی

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی ارومیه

Samane.habibi@yahoo.com

چکیده

سیستم زنجیره ی تأمین خون یکی از پر چالش ترین موضوعات در سیستم زنجیره ی تأمین می باشد چرا که فاسد شدنی بودن خون چالش های بزرگی برای حفظ سطح موجودی و سیاست های صدور و جایگزینی در این سیستم زنجیره ی تأمین تحمیل می کند. همچنین با رشد و توسعه روز افزون سیستم سلامت میزان تقاضا برای خون بطور فزاینده ای رو به افزایش می باشد، در این میان میزان درخواست خون هر بیمارستان مسئله ی بسیار مهمی است که در شرایط نیاز کنونی و کمبود منابع خون چالش بسیار بزرگی برای بیمارستان ها ایجاد می کند، از یک سو درخواست بیش از حد نیاز و افزایش سطح موجودی در بیمارستان ها منجر به افزایش نرخ اتلاف می گردد و از سوی دیگر درخواست کمتر از مقدار نیاز ممکن است منجر به کمبود خون و در مواردی موجب افزایش نرخ مرگ و میر گردد. مسئله ی دیگر تخصیص خون به بیمار می باشد که در این تحقیق تقاضا برای خون به دو دسته تقسیم بندی شده است تقاضا برای خون تازه که مربوط به بیماران سرطانی و دیالیزی و بیماران خاص می باشد و تقاضا برای خون غیر تازه که مربوط به سایر اعمال جراحی که اعمال جراحی انتخابی نامیده می شوند می باشد. در این تحقیق سعی شده است که این تقاضا ها و همچنین سیاست های مصرف هر دو نوع خون مد نظر قرار گیرد. در این تحقیق در تابع هدف اول میزان درخواست و کمبود و اتلاف خون در هر بیمارستان کمینه شده و در تابع هدف دوم با ایجاد یک زیر شبکه متشکل از چند بیمارستان با تبادل میزان خون باقی مانده ی هر بیمارستان کمبود های گروه بیمارستانی تحت نظارت مرکز خون کاهش یافته است. این مدل توسط نرم افزار GAMS و با استفاده از روش معیار جامع حل شده است. نتایج حاصل نشان می دهد که ایجاد یک زیر شبکه میان گروهی از بیمارستان ها می تواند مشکل کمبود خون را تا حد زیادی مرتفع کند.

واژه‌های کلیدی: مدلسازی تابع دو هدفه، روش معیار جامع، زیر شبکه، درخواست، کمبود، اتلاف

۱- مقدمه

با مقایسه محصولات خون با هر مورد دیگر چند تفاوت مهم مربوط زنجیره ی تأمین خون آشکار خواهد شد .نخست، تأمین خون داوطلبانه می باشد در حالی که هزینه های مربوط به بیشتر محصولات ، برای خون نیز وجود دارد .دوم، ساختار زنجیره ی تأمین خون بر عکس اغلب محصولات متداول می باشد زیرا خون تولید شده توسط انسان در بسیاری موارد قبل از استفاده بطور مکانیکی به اجزای خون تجزیه می گردد. با این حال، در زنجیره ی عرضه سنتی، اجزا ابتدا تولید شده و سپس برای

www.SID.ir

Archive of SID

ایجاد یک محصول تمام شده مونتاژ می گردند .سوم، قیمت اخذ خون همیشه خطی است و هیچ مقیاس اقتصادی وجود ندارد. در نهایت، قابل توجه ترین تفاوتها در مورد سیاست صدور موجودی می باشد . به حداقل رساندن کمبود و اتلاف خون چالش های عمده مربوط به مدیریت خون در یک بیمارستان و در یک مرکز خون است . با توجه به ویژگی های فاسد شدنی بودن خون (اگر در مدت زمان طول عمر از پیش تعیین شده مورد استفاده قرار نگیرد، فاسد می شود) جلوگیری از ذخیره سازی تعداد زیادی واحد خون بسیار مهم است. از طرف دیگر، تعداد ناکافی از محصولات خون در موجودی ممکن است به لغو فعالیت های برنامه ریزی شده در یک بیمارستان و در نتیجه افزایش نرخ مرگ و میر منجر شود. بنابراین، مدیریت انقضا و کمبود محصولات خون همچنان به صورت چالشی برای بیمارستان ها مطرح می باشد. هدف از این تحقیق طراحی و توسعه ی مدلی برای بهینه سازی میزان درخواست خون بیمارستان ها و کاهش میزان کمبود و اتلاف خون در بیمارستان ها و همچنین کاهش سطح موجودی باقی مانده در بیمارستان ها می باشد. برای تحقق این هدف باید به سوالات زیر پاسخ داده شود:

آیا امکان کاهش میزان درخواست خون بیمارستان ها وجود دارد؟ آیا امکان کاهش میزان کمبود خون در بیمارستان ها وجود دارد؟ آیا امکان کاهش میزان اتلاف خون در بیمارستان ها وجود دارد؟ آیا انتقال خون در زیر شبکه های بیمارستانی امکان پذیر است؟ آیا ایجاد زیر شبکه ی بیمارستانی به کاهش میزان کمبود خون منجر خواهد شد؟

این تحقیق با توسعه ی یک مدل با دو تابع هدف که تابع هدف دوم به ایجاد زیر شبکه و نقل و انتقالات در این زیر شبکه با نظارت مرکز انتقال خون متمرکز می باشد به تحقق اهداف ذکر شده می پردازد و با استفاده از روش معیار جامع که یکی از روش های تصمیم گیری چند معیاره می باشد به حل این مدل دو هدفه پرداخته شده است. برای حل این مدل از کدنویسی با استفاده از نرم افزار GAMS با بکارگیری کامپیوتر شخصی مدل hp ، 7.88 Gb و 2.50 GHz استفاده شده است.

ابزار گردآوری داده در این تحقیق، استفاده از سیستم ذخیره اطلاعات مرکز انتقال خون (MAC) می باشد. این داده ها مربوط به یک دوره ی هفت روزه در چهار بیمارستان در سطح شهر تهران می باشد.

این تحقیق در پنج فصل تهیه و تنظیم شده است. در بخش اول به بیان کلیات تحقیق پرداخته شده است، در بخش دوم مطالعات پیشین صورت گرفته در این زمینه مورد بررسی قرار می گیرد. در بخش سوم، به بیان روش تحقیق پرداخته شده است. در بخش چهارم، با استفاده از روش تجزیه و تحلیل چند معیاره به بررسی نتایج بدست آمده پرداخته شده است. در بخش آخر به جمع بندی و نتیجه گیری پژوهش و ارائه پیشنهادات پرداخته می شود.

۲- تحقیقات انجام گرفته

پژوهش مربوط به مدیریت زنجیره تامین محصولات فاسد شدنی به طور کلی و خون به طور خاص در سال ۱۹۶۰ توسط ون زیل[1] آغاز شد .مقاله ای که توسط نمیاس[2] در سال ۱۹۸۲ نوشته شده بر روی موجودی فاسد شدنی تمرکز دارد و یک بررسی مختصر برای برنامه های کاربردی مدل های مدیریت بانک خون فراهم می کند .در سال ۱۹۸۴، پراستاکوس[3] به مرور تئوری و کارهای انجام شده در مدیریت موجودی خون پرداخت. از آن زمان، نزدیک به یک صد مقاله ی مرتبط با خون در این زمینه وجود دارد.

[1] - Van Zyl

[2] - Nahmias

[3] - Prastacos

www.SID.ir

Archive of SID

هیجما[1] و همکاران (۲۰۰۷) یک مورد واقعی بانک خون هلندی را با اعمال برنامه نویسی پویا مارکوف و روش شبیه سازی پیاده سازی کردند. مقاله آنها به تولید و مدیریت موجودی پلاکت تمرکز داشت ، آنها تنها هزینه هایی که به طور مستقیم به تولید و موجودی پلاکت مربوط بودند را در نظر گرفتند. ژو[2] و همکاران (۲۰۱۱) یک مسئله موجودی پلاکت را با فرض طول عمر ثابت سه روز و با توجه به تقاضای تصادفی تجزیه تحلیل کردند . مسئله با استفاده از روش برنامه نویسی پویا که در آن منابع دوگانه جایگزین در دسترس است و تصمیم گیرنده دارای حق انتخاب جایگزین کردن سفارش تسریع در کنار سفارش معمول می باشد، فرموله شده است. آلفونسو[3] و همکاران (۲۰۱۲)مسئله ی جمع آوری خون در فرانسه را با در نظر گرفتن هر دو روش جمع آوری از طریق سایت ثابت و خون گیری سیار مورد توجه قرار دادند .آنها با استفاده از مدل شبکه پرتی[4] برای توصیف فرآیندهای مختلف جمع آوری خون، رفتارهای اهدا کننده، منابع مورد نیاز بشر ، روش شبیه سازی برای شناسایی استراتژی های مناسب برنامه ریزی منابع و انتصاب اهدا کننده را بکار گرفتند.

کندال[5] و لی[6] (۱۹۸۰) یک مدل برنامه ریزی آرمانی برای رسیدن به اهداف متعدد مربوط به سطوح موجودی، در دسترس بودن خون تازه، انقضای خون، سن خون، و هزینه های جمع آوری آن را توسعه داد . داده ها را برای یک منطقه خون بزرگ شهری و روستایی در میدوست [7] برای یک دوره یک ساله جمع آوری شده و نتایج محاسباتی مدل گزارش شده است .

مطالعات کمی با توجه به کاربرد مدیریت علم و تحقیق در عملیات OR / MS در دو دهه گذشته ظهور یافتند. مدل مدیریت موجودی پلاکت برای تعیین نرخ انقضا و کمبود به عنوان تابعی از سطح ذخیره پایه و میانگین تقاضای روزانه ارائه شد. با استفاده از شبیه سازی، مدل سطح ذخیره پایه برای میانگین مصرف تقاضای روزانه مختلف ارائه شد که انقضا و کمبود پلاکت در یک منطقه را به طور قابل توجهی کاهش داد. در مطالعه دیگر، برنامه ریزی زمانبندی اهداکنندگان در یک واحد خون گیری سیار انجام شد. این مدل سازی شامل مسائل مربوط به روانشناسی و تشویق اهداکنندگان، طراحی امکانات جمع آوری و مدیریت صفوف موازی و دنباله دار بود.

با استفاده از یک مدل شبیه سازی، محققان قادر به بهبود فرآیندهای ثبت نام، غربالگری و خون گیری شدند، که به نوبه خود موجب بهبود رضایت اهدا کنندگان و کاهش ریزش و امتناع اهدا کنندگان در اهدای خون بعدی می شود.

مدل های موجودی مکان واحد، بنای اساسی مدل های پیچیده تر مکان ها و / یا مراتب مختلف ، جریان اطلاعات، دانش رفتار بازار یا مشتری و / یا گزینه های تدارکات اضافی را شکل می دهد. این کار با پیشگامی وینو[8] (۱۹۶۰)،بولیسکایا[9] (۱۹۶۴)، و ون زایل (۱۹۶۴) آغاز شد ، آنها مسئله های بررسی گسسته بدون هزینه های ثابت به ترتیب تحت تقاضا قطعی، تقاضا تصادفی برای اقلام با طول عمر یک دوره و تقاضا تصادفی برای اقلام با طول عمر دو دوره را مورد توجه قرار دادند .

---

[1] - Haijema
[2] - Zhou
[3] - Alfonso
[4] - Petri
[5] - Kendall
[6] - Lee
[7] - Midwest
[8] - Veinott
[9] - Bulinskaya

www.SID.ir

Archive of SID

به طور معمول، تقاضای بیش از حد از طریق انباشت یا فروش از دست رفته با ترکیب کردن تحویل سریع در مدل ها در برخی مقالات، (به عنوان مثال، فوجی وارا[1] و همکاران (۱۹۹۷)، کتزنبرگ[2] و فرگوسن[3] (۲۰۰۶)، یـن[4] (۱۹۷۵)، بـارلف Bar-Lev و همکاران (۲۰۰۵) و ژو و پیرسکالا[5] (۲۰۰۶) بروز می کند. در عمل، راه دیگری برای تحقق مازاد تقاضا برای یک محصول وجود دارد: جایگزینی. در مورد کالاهای فاسدشدنی، محصولات با سن های مختلف اغلب در کنار هم در بازار وجود دارند و موجـودی را با استفاده از قوانین پیچیده تر از FIFO یا LIFO، می توان صادر کرد، بـا مجـاز کـردن اقـلام بـا سـنین و طـول عمرهـای مختلف که به عنوان جایگزین برای دیگری مورد استفاده قرار گیرند. این ایده برای اولین بار در موجودی کالاهای فاسد شـدنی در مقاله ی پیرسکالا و روچ[6] (۱۹۷۲) دیده شد که آنها فرض کردند که تقاضا برای هر دسته (سن) وجود دارد و اینکه تقاضـا از یک گروه خاص سنی می تواند از ذخایر آن گروه و یا استفاده از اقلامی که تازه تر هستند برآورده شود.

هیجما Haaijema و همکاران (۲۰۰۵، ۲۰۰۷) متذکر می شوند که پلاکت ها ۴-۶ روز ماندگاری مـوثر دارنـد و ۷۰ درصـد از بیماران نیازمند به پلاکت از اختلال عملکرد پلاکت رنج می برند و نیاز به یک منبع تازه از پلاکت (قدیمیتر از ۳ روز نباشد) بـر اساس یک اصل منظم دارند، این در حالیست که ۳۰٪ باقی مانده از بیماران که ممکـن اسـت بـه طـور موقـت علـت تروما یـا جراحی دچار کمبود پلاکت شوند ، عملی قوی با در نظر گرفتن سن پلاکت تا حد نهایت طـول عمـر پلاکـت را ندارنـد. بـرای زنجیره تامین شامل کالاهای فاسد شدنی غیر از خون هستند، تعویض معمولا بستگی به انتخاب مشتری و/ یـا توانـایی تـأمین کننده با خرده فروش به اثرگذاری روی تصمیم خرید مشتری دارد. تیروس[7] و هیلمن[8] (۲۰۰۵) ، در تحقیقات تجربـی خـود اثر تاریخ انقضا بر رفتار خرید مشتریان از فروشگاه مواد غذایی را مورد مطالعه قرار دادند. یافته های تیروس و هـیلمن (۲۰۰۵) روش معمول از تنزیل قیمت اجناس مواد غذایی که به پایان دوره ی خود نزدیک می شوند به منظور القای خرید، را تأیید کـرد .

ای شی[9] (۱۹۹۳) دو نوع از مشتریان (اولویت بالا و پایین) که تنها تازه ترین محصولات و یا محصولات در هـر رده ی سـنی را تقاضا می کنند را مدلسازی کرد و سطح موجودی هدف بهنیه را که سود مورد انتظار در یک دوره برای یک محصـول بـا طـول عمر محدود را حداکثر می کند ، بدست آورد.ابتدا تقاضای مشتریان با اولویت بالا از تازه ترین ذخایر برآورده می شود، سپس بـا استفاده از FIFO موجودی در این مدل صادر می شود.

---

[1]- Fujiwara
[2] - Ketzenberg
[3]- Ferguson
[4] - Yen
[5] - Pierskalla
[6] - Roach
[7] - Tsiros
[8] - Heilman
[9] - Ishii

www.SID.ir

Archive of SID

۳- معرفی مدل

در این تحقیق یک زنجیره ی تأمین دو سطحی شامل یک مرکز خون و چند بیمارستان و یک زیر شبکه بیمارستانی در نظر گرفته شده است. بیمارستان با تقاضای خون مواجه است که باید برای انجام اعمال روزانه برآورده شود به همین منظور به مرکز انتقال خون ثبت سفارش می کند. بنابراین، سطح بهینه سفارش خون باید در دوره های مختلف تعیین گردد.

۳-۱- فروض مدل

در این تحقیق فروض زیر در نظر گرفته شده است:

- ظرفیت مرکز خون محدود می باشد
- سن واحدهای خونی که از مرکز انتقال خون دریافت می شود مشخص و در طول زمان متفاوت می باشد.
- عمر مفید خون محدود و برابر با ۴۲ روز می باشد البته ۲ روز هم زمان برای آزمایش باید در نظر گرفته شود.
- سیاست صدور و یا استفاده از واحدهای خونی FIFO می باشد که مسن ترین واحد خون در موجودی ابتدا مصرف می شود.
- اگر تقاضا بعلت فقدان موجودی، برآورده نشود، سیستم یک هزینه ی کمبود متحمل خواهد شد.
- اگر یک واحد خون منقضی شود، سیستم یک هزینه ی اتلاف متحمل خواهد شد.

۳-۲- معرفی اندیس های مدل

توضیحات	اندیس
بیمارستان از ۱ تا K	k,k’
عمر خون از ۱ تا I روز	i
زمان دوره از ۱ تا T (۱: برابر با شنبه ، روز شروع کاری می باشد)	t
گروه سنی خون (برای خون تازه a=0 و برای خون قدیمی a=1 است.)	a

۳-۳- معرفی پارامترها

توضیحات	پارامتر
طول عمر فرآورده های خونی	I
بازه زمانی برنامه	T
تعداد بیمارستان ها	K
هزینه ی خرید هر واحد خون (برای خون تازه a=0 و برای خون قدیمی a=1 است.)	c_a
هزینه ی نگهداری هر واحد خون در بیمارستان	h
هزینه هر واحد خون مازاد در بیمارستان	w
هزینه ی هر واحد کمبود خون در بیمارستان	b
ظرفیت مرکز خون (اختصاص داده شده به بیمارستان k در دوره ی زمانی t	CAP_k^t
تقاضای خون تازه برای a=0 و تقاضای هر خون دیگر برای a=1، در بیمارستان k در دوره ی t	d_{ak}^t
هزینه انتقال یک واحد خون از بیمارستان k به بیمارستان k’ در دوره زمانی t منتقل می گردد	$cost_{kk'}^t$
هزینه عدم انتقال یک واحد خون از بیمارستان k به بیمارستان k’ در دوره زمانی t منتقل می گردد	$cost'^t_{kk'}$
تعداد خون i روزه ، دریافت شده توسط بیمارستان k درابتدای دوره ی t از مرکز انتقال خون	y_{ik}^t

www.SID.ir

Archive of SID

عدد بزرگ	L

۳-۴- معرفی متغیرهای تصمیم

متغیر	توضیحات
x_{ak}^t	میزان خون تازه برای a=0 و میزان خون قدیمی برای a=1 سفارش داده شده از سوی بیمارستان k به مرکز خون در ابتدای دوره ی t سفارش داده می شود.
v_{ik}^t	سطح موجودی خون i روزه در انتهای دوره ی زمانی t برای بیمارستان k
u_k^t	میزان مازاد خون در انتهای دوره ی زمانی t برای بیمارستان k
r_k^t	میزان کمبود خون در انتهای دوره ی زمانی t برای بیمارستان k
m_{ik}^t	متغیر کمکی در ارتباط با گروه خونی i روزه ، بیمارستان k در دوره ی زمانی t. تعداد واحدهای خونی را شامل می شود که در یک گروه سنی ، اگر خون موجود در این گروه سنی بطور کامل برای برآورد تقاضا در دوره فعلی بیمارستان استفاده قرار نگرفته باشد،برای استفاده در دوره بعدی بکار گرفته می شود. در واقع این همان واحد خون های اضافی در بیمارستان محسوب می شود که می توان از آنها برای انتقال به بیمارستانی که دچار کمبود شده است استفاده نمود تا هم کمبود بیمارستان دیگر برآورده گردد و هم بیمارستان با ذخیره ی خون اضافی متحمل هزینه نگهداری و اتلاف احتمالی نگردد.
s_{ik}^t	مقدار آن برابر با یک می باشد اگر خون i روزه برای برآوردن تقاضا در دوره ی زمانی t برای بیمارستان k مورد استفاده قرار گیرد، در غیر اینصورت برابر با صفر است
$z_{kk'}^t$	مقدار تبادل خون بین بیمارستان ها که از موجودی در دسترس هر بیمارستان استفاده می گردد، یعنی مقدار خونی که از بیمارستان k به بیمارستان k' در دوره زمانی t منتقل می گردد
$slack_{k'}^t$	متغیر کمکی که برای برقراری شرط تبادل در صورت عدم تبادل مقدار خواهد گرفت

۳-۵- معرفی فرمول نویسی

$$\min \sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} c_0 * x_{0k}^t + \sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} c_1 * x_{1k}^t + \sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} w.u_k^t + \sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} b.r_k^t + \sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T}\sum_{k'=1}^{K} z_{kk'}^t * cost_{kk'}^t \qquad (۱-۳)$$

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T}\sum_{k'=1}^{K} slack_{k'}^t * cost'^t_{kk'} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{i=3}^{I}\sum_{t=1}^{T} h.v_{ik}^t \qquad (۲-۳)$$

$$x_{0k}^t + x_{1k}^t \le CAP_k^t \qquad \forall t,k \qquad (۳-۳)$$

www.SID.ir

$$y_{ik}^{t} = 0 \qquad i = 1,2\ ,\forall t,k \tag{۴-۳}$$

$$s_{ik}^{t} \geq s_{(i-1)k}^{t} \qquad i = 3,\dots,7\ ,\forall,t,k \tag{۵-۳}$$

$$s_{ik}^{t} \geq s_{(i-1)k}^{t} \qquad i = 8,\dots,I\ ,\forall,t,k \tag{۶-۳}$$

$$d_{0k}^{t} = \sum_{i=3}^{7}((v_{(i-1)k}^{(t-1)} + y_{ik}^{t})\, s_{ik}^{t} - m_{ik}^{t}) + r_{k}^{t} + \sum_{k'=1}^{K} z_{k'k}^{(t-1)} - \sum_{k'=1}^{K} z_{kk'}^{(t-1)} \qquad \forall t,k\ ,k'\ ,k \neq k' \tag{۷-۳}$$

$$d_{1k}^{t} = \sum_{i=8}^{I}((v_{(i-1)k}^{(t-1)} + y_{ik}^{t})\, s_{ik}^{t} - m_{ik}^{t}) + \sum_{k'=1}^{K} z_{k'k}^{(t-1)} - \sum_{k'=1}^{K} z_{kk'}^{(t-1)} \qquad \forall t,k\ ,k'\ ,k \neq k' \tag{۸-۳}$$

$$\left(s_{ik}^{t} - s_{(i-1)k}^{t}\right)\left(v_{(i-1)k}^{(t-1)} + y_{ik}^{t}\right) + \sum_{k'=1}^{K} z_{k'k}^{(t-1)} - \sum_{k'=1}^{K} z_{kk'}^{(t-1)} \geq m_{ik}^{t} \qquad i = 3,..,7, \quad \forall t,k\ ,k'\ ,k \neq k' \tag{۹-۳}$$

$$\left(s_{ik}^{t} - s_{(i-1)k}^{t}\right)\left(v_{(i-1)k}^{(t-1)} + y_{ik}^{t}\right) + \sum_{k'=1}^{K} z_{k'k}^{(t-1)} - \sum_{k'=1}^{K} z_{kk'}^{(t-1)} \geq m_{ik}^{t} \qquad i = 8,\dots,I\ ,\forall t,k\ ,k'\ ,k \neq k' \tag{۱۰-۳}$$

$$s_{2k}^{t} = 0 \qquad \forall t,k \tag{۱۱-۳}$$

$$v_{ik}^{t} = (1 - s_{ik}^{t})\left(v_{(i-1)k}^{(t-1)} + y_{ik}^{t}\right) + \left(s_{ik}^{t} - s_{(i-1)k}^{t}\right)m_{ik}^{t} + \sum_{k'=1}^{K} z_{k'k}^{(t-1)} - \sum_{k'=1}^{K} z_{kk'}^{(t-1)} \qquad i = 3,\dots,I\ ,\forall t,k\ ,k'\ ,k \neq k' \tag{۱۲-۳}$$

$$u_{k}^{t} = v_{Ik}^{t} \qquad \forall t,k \tag{۱۳-۳}$$

www.SID.ir

$$\sum_{k'=1}^{K} z_{kk'}^{t} < 1.5 * \sum_{k'=1}^{I} r_{k'}^{t} \qquad \forall t, k, k \neq k' \qquad (۱۴-۳)$$

$$\sum_{k'=1}^{K} z_{kk'}^{t} \leq \sum_{i=1}^{I} v_{i\,k}^{t} \qquad \forall t, k, k \neq k' \qquad (۱۵-۳)$$

$$\sum_{k'=1}^{K} z_{kk'}^{t} + slack_{k'}^{t} \leq \sum_{k'=1}^{I} r_{k'}^{t} \qquad \forall t, k, k \neq k' \qquad (۱۶-۳)$$

$$x_{ak}^{t} \in Z^{+} \qquad \forall a, t, k \qquad (۱۷-۳)$$

$$y_{ik}^{t}, v_{ik}^{t}, m_{ik}^{t} \in Z^{+} \qquad \forall i, t, k \qquad (۱۸-۳)$$

$$r_{k}^{t}, u_{k}^{t} \in Z^{+} \qquad \forall t, k \qquad (۱۹-۳)$$

$$slack_{k'}^{t}, z_{kk'}^{t} \in Z^{+} \qquad \forall t, k, k', k \neq k' \qquad (۲۰-۳)$$

$$s_{ik}^{t} \in \{0,1\} \qquad \forall i, t, k \qquad (۲۱-۳)$$

تابع هدف اول به دنبال به حداقل رساندن هزینه خرید و اتلاف و کمبود هزینه در طول افق برنامه ریزی است. تابع هدف دوم به دنبال تبادلات خون میان بیمارستان می باشد. محدودیت (۳-۳) مربوط به ظرفیت مرکز خون است، درخواست خون هر بیمارستان باید کمتر مساوی ظرفیت مرکز خون برای آن بیمارستان باشد. محدودیت (۳-۴) تضمین می کند خون یک و دو روزه به بیمارستان ارسال نشود، این زمان دو روزه صرف آزمایش بر روی خون اهدایی می شود. محدودیت های (۳-۵)و(۳-۶) ، سیاست FIFO را تضمین می کند، یعنی خون قدیمی تر زودتر باید استفاده شود. این محدودیت ها برای تفکیک خون به دو دسته تازه و قدیمی نوشته شده است. زیرا مصرف خون تازه و خون قدیمی در بیمارستان بنا به نیاز بیماران با اولویت های متفاوت برنامه ریزی خاص خود را دارند. بیماران اولویت ۱ (بیماران با اولویت بالا تر) ، بیمارانی هستند که به خون تازه نیاز دارند و مصرف خون تازه برای آنها خارج از سیاست FIFO که برای خون سه تا هفت روز در نظر گرفته شده انجام می پذیرد. بیماران اولویت ۲ (بیماران با اولویت پایین تر) ، بیمارانی هستند که به خون تازه نیاز حیاتی ندارند و مصرف خون تازه برای آنها مطابق سیاست FIFO برای خون بالای هفت روز می باشد. محدودیت (۳-۷)محدودیت تقاضاست و امکان استفاده از واحد خون تازه برای بیماران اولویت ۲ (بیماران با اولویت پایین تر) زمانی که تمام واحد های قدیمی در موجودی تخلیه شده اند را فراهم می آورد. در واقع مجموع میزان تقاضای خون تازه و میزان تقاضای خون قدیمی که با واحدهای خون قدیمی تر از آن برآورده نشده اند برابر با مجموع موجودی دوره ی گذشته و میزان دریافتی دوره ی فعلی منهای میزان خون مصرف نشده از هر گروه خونی به اضافه ی میزان کمبود خون بیمارستان می باشد. محدودیت (۳-۸)محدودیت تقاضاست و امکان استفاده از واحد خون تازه برای بیماران اولویت ۲ (بیماران با اولویت پایین تر) زمانی که تمام واحد های قدیمی در موجودی تخلیه شده اند را فراهم می آورد. در واقع میزان تقاضای خون قدیمی برابر با مجموع موجودی دوره ی گذشته و میزان دریافتی دوره ی

www.SID.ir

Archive of SID

فعلی منهای میزان خون مصرف نشده از هر گروه خونی به اضافه ی میزان تقاضای خون قدیمی که با واحدهای خون قدیمی تر از آن برآورده نشده اند در آن بیمارستان می باشد. محدودیت های (۳-۹)و(۳-۱۰) اطمینان میدهد که مقادیر قطعی متغیر کمکی، m_{ik}^{t} از تعداد واحدهای خون موجود در گروه های سنی خود تجاوز نمی کند. محدودیت (۳-۱۱)تضمین می کند که واحدهای خونی دو روزه برای برآوردن تقاضا استفاده نمی شوند زیرا بیمارستان واحدهای خونی بالای دو روز را از مرکز خون دریافت می کند. محدودیت (۳-۱۲) سطح موجودی خون پایان دوره را برای هر گروه سنی به روزرسانی می کند. محدودیت (۳-۱۳)میزان خون منقضی شده در هر بیمارستان را بدست می آورد.محدودیت (۳-۱۴)بیان می دارد که مجموع میزان انتقال خون بین بیمارستان ها باید از مجموع میزان کمبود خون بیمارستان ها کمتر باشد. محدودیت (۳-۱۵)بیان می دارد که مجموع میزان خون که از هر بیمارستان به بیمارستان های دیگر انتقال می یابد، باید از مجموع موجودی خون هر بیمارستان کمتر باشد. محدودیت (۳-۱۶)میزان خونی که در تبادلات بین بیمارستان ها شرکت نمی کند را بدست می آورد. محدودیت های (۳-۱۷)،(۳-۱۸)، (۳-۱۹)و(۳-۲۰)بیان می دارد که این متغیرها، متغیرهای مثبت و نامنفی هستند، به این دلیل که محصولات خون در کیسه های معین ارائه می گردد. محدودیت (۳-۲۱) نشان دهنده ی متغیر باینری می باشد.

باید به این نکته اشاره شود که در این مدل از دو نوع متغیر گسسته و باینری استفاده شده است و در برخی محدودیت ها این دو متغیر در یکدیگر ضرب شده اند که باعث غیرخطی شدن مدل می گردد. برای حل این مشکل از روش خطی سازی استفاده می گردد. این روش به طور خلاصه بدین صورت می باشد، از این شیوه خطی سازی در تمامی موارد مورد نیاز در مدل استفاده شده است.

فرض کنید x یک متغیر باینری و y یک متغیر گسسته باشد، حاصلضرب x و y را t می نامیم و M عددی بسیار بزرگ فرض می شود، حال روش خطی سازی به صورت زیر خواهد بود:

$$t < M * x$$

$$t < y$$

$$t \geq y + M * (x - 1)$$

۴- محاسبات عددی[1] و یافته ها

I=۴۲
T=۷
k=۴
h=۱۰۰
w=۱۵۸
b=۱۵۰۰
L=۱۰۰۰

ابتدا مقادیری که برای هر یک از پارامترها در نظر گرفته شده است ارائه می گردد. به دلیل حجم بالای داده ها و نتایج از آوردن مستقیم آنها در مقاله صرف نظر شده است و تنها به ذکر برخی از تحلیل نتایج پرداخته شده است. با توجه به نتایج بدست آمده از حل مدل، ایجاد زیر شبکه بیمارستانی میزان اتلاف خون را کاهش می دهد و کمبود بیمارستان ها را در برخی موارد مرتفع می نماید. در ادامه برخی از نتایج از جمله میزان تبادلات بین بیمارستانی که از حل مدل بدست آمده است ارائه شده است.

در جدول ۴-۱ مقادیر بدست آمده از حل مدل برای مقدار تقاضا یا همان x آورده شده است. این مقادیر به تفکیک گروه سنی خون که دو بخش تازه و غیره تازه می باشد و برای هر بیمارستان در دوره ی زمانی مشخص شده بدست آمده است. با توجه به

[1] کلیه داده ها از سیستم تگاره (سیستم بانک اطلاعاتی مرکز انتقال خون گرفته شده است

www.SID.ir

مدل این مقادیر از مقادیر تقاضای خون برای هر دوره زمانی در هر بیمارستان کمتر می باشد که این نتیجه نشاندهنده عملکرد صحیح مدل در راستای کاهش میزان درخواست و در نتیجه کاهش میزان اتلاف خون در بیمارستان ها می باشد.

جدول ۴-۱- میزان درخواست خون

		t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7
0	k1	5	8	7	6	7	8	8
0	k2	6	5	6	7	5	6	6
0	k3	5	6	6	5	5	6	5
0	k4	4	4	4	4	5	4	4
1	k1	8	9	10	10	8	6	7
1	k2	7	6	6	6	6	7	7
1	k3	6	6	7	6	5	5	5
1	k4	5	5	5	5	5	6	5

در جدول ۴-۲ میزان تبادلات در زیر شبکه بیمارستانی آورده شده است که نشاندهنده میزان انتقال خون از بیمارستان k_i بیمارستان k_j می باشد. این نتایج صحت عملکرد تابع هدف دوم و محدودیت ها مربوط به آن را تأیید می کند.

جدول ۴-۲ میزان تبادلات میان بیمارستان ها

		i3 t2	i3 t3	i3 t4	i3 t5	i3 t6	i4 t2	i4 t3	i4 t4	i4 t6	i5 t1	i5 t6	i6 t1	i6 t5	i7 t1	i7 t2	i7 t3	i7 t4
k1	k2									12								10
k1	k3				11													
k1	k4					7												
k2	k1		12											15	15			
k2	k3	11							9				11					
k2	k4				7		7	8										
k3	k1	14										16						
k3	k2																13	
k3	k4								9		7							
k4	k1			13														
k4	k2				11										10	12		
k4	k3		10							10								

جدول ۴-۳ نشان دهنده میزان اتلاف خون بدست آمده از حل مدل می باشد. این جدول نشان می دهد که مدل در زمینه ی کاهش میزان اتلاف بخوبی عمل کرده است و جز در ابتدای دوره، اتلافی وجود نداشته است.

جدول ۴-۳ میزان اتلاف خون در بیمارستان ها

	t1
k1	5
k2	5
k3	5
k4	5

www.SID.ir

Archive of SID

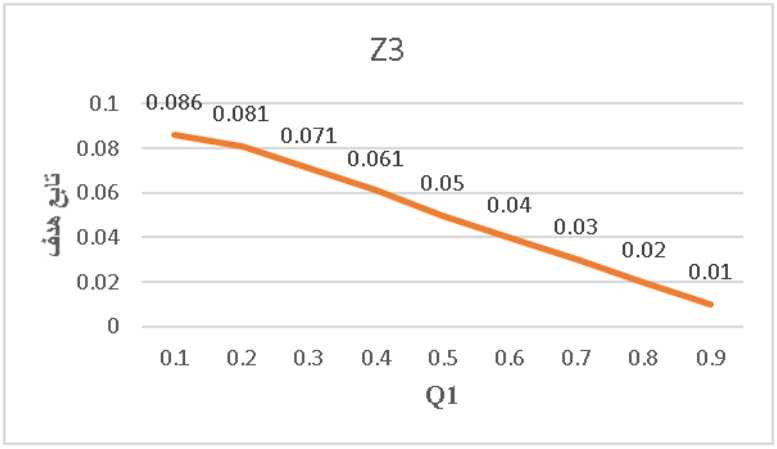
جدول ۴-۴ میزان کمبود خون حاصل از حل مدل را نشان می دهد، در این بخش نیز کمبود مربوط به ابتدای دوره می باشد که نشان می دهد هدف مدل در کاهش میزان کمبود برآورده شده است.

جدول ۴-۴- میزان کمبود خون

	t1
k1	10
k2	11
k3	10
k4	8

۴-۱- تحلیل مدل

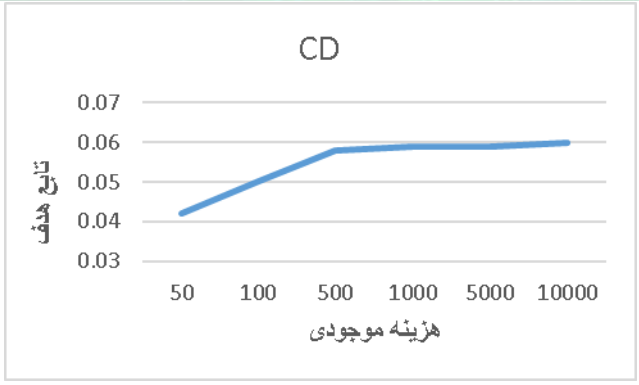
با توجه به مقادیر Q1 که نشاندهنده ی ضریب تابع هدف اول می باشد و مقادیر (1-Q1) که نشاندهنده ی ضریب تابع هدف دوم می باشد و مقادیر بدست آمده برای تابع هدف نهایی که از روش معیار جامع بدست آمده است می توان چنین نتیجه گیری نمود که با افزایش ضریب تابع هدف اول که مربوط به بهینه سازی مقادیر کمبود و اتلاف و موجودی بیمارستان ها می باشد مقدار نهایی تابع هدف کاهش می یابد و با توجه به اینکه مقدار بدست آمده از روش معیار جامع می باشد هر چه این مقدار بدست آمده کوچکتر باشد نشانه ی مطلوبیت بیشتر می باشد.



شکل ۴-۱- تأثیر ضرایب مختلف بر توابع هدف

همچنین این نتیجه استنباط می شود که با افزایش هزینه ی نگهداری موجودی مقدار تابع هدف افزایش می یابد که این به معنای افزایش موجودی بانک خون بیمارستان ها می باشد که نتیجه ی مطلوبی نمی باشد، بنظر می رسد که انتخاب مقدار ۱۰۰ برای این هزینه مقدار مناسبی می باشد و با افزایش بیشتر این مقدار نتیجه ی مناسبی بدست نخواهد آمد. در شکل ۴-۲ روند مقداردهی و نتیجه ی نهایی نشان داده شده است.

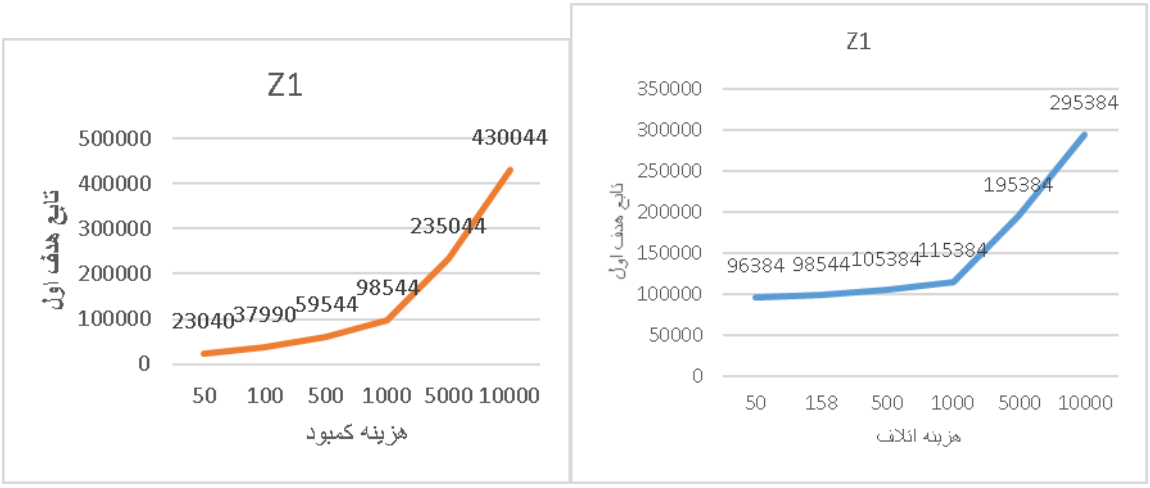
www.SID.ir



شکل ۴-۲- تأثیر مقادیر مختلف هزینه موجودی بر توابع هدف

شکل های ۴-۳ و ۴-۴ اثر مقادیر مختلف هزینه اتلاف و هزینه ی کمبود بر روی تابع هدف نهایی حاصل از روش معیار جامع را نشان می دهند که در این دو شکل نیز به وضوح می توان جهش ناگهانی تابع هدف را از یک میزان معین مقدار دهی برای هزینه های اتلاف و کمبود مشاهده کرد. با توجه به شکل مقادیر بیشتر از ۱۰۰۰ برای هر دو باعث افزایش ناگهانی جواب نهایی می گردد که این امر با توجه به حل مدل با دو تابع هدف از طریق روش معیار جامع، نشان از عدم مطلوبیت جواب دارد.

بنابراین نمی توان به صرف اینکه هر دو تابع هدف از نوع کمینه سازی هستند، هزینه ها را به دلخواه افزایش داد تا به نتیجه ی مطلوب خود رسید.



شکل ۴-۳- مقادیر مختلف هزینه اتلاف و تابع هدف شکل ۴-۴- مقادیر مختلف هزینه کمبود و تابع هدف

۵- نتیجه گیری و پیشنهادات

با توجه به نتایج بدست آمده و تحلیل های صورت گرفته در بخش قبل، می توان نتیجه گرفت که تابع هدف اول نقش مهمی را در کاهش میزان اتلاف و کمبود در مدل بازی می کند. تابع هدف دوم موجودی خون بیمارستان ها را مدیریت می کند و تا حد امکان از اتلاف خون و یا همان منقضی شدن تاریخ مصرف واحدهای خونی جلوگیری می کند و با توجه به آگاهی بیمارستان ها از چنین شبکه ی تبادلی، اطمینانی از دریافت خون در صورت نیاز و یا در شرایط اضطراری برای مدیریت بیمارستان ایجاد می شود که باعث می گردد از درخواست بیش از اندازه ی نیاز برای دریافت خون چشم پوشی کنند و این امر

www.SID.ir

Archive of SID

به مدیریت منابع مرکز انتقال خون کمک شایانی می کند و علاوه بر این در کاهش هزینه های نگهداری و اتلاف بسیار مؤثر خواهد بود.

می توان برای تحقیق بیشتر بخش تأمین کننده که همان مرکز انتقال خون می باشد را در تحقیق جامع به این بررسی اضافه نمیود و در کنار این که موجودی هر بیمارستان مورد بررسی و کنترل قرار می گیرد، برای تأمین خون توسط مرکز انتقال خون نیز برنامه ریزی نمود. مراحل جمع آوری خون را مورد بررسی قرار داد و با توجه به سابقه ی درخواست های بیمارستان های تحت پوشش یک مرکز انتقال خون و همچنین توجه به موارد استثنائات به تدوین برنامه ی زمانبندی برای دریافت خون از اهداکنندگان پرداخت که این زمینه تحقیق به شاخه تئوری صف در زنجیره ی تأمین خون وارد خواهد شد.

منابع

[1] Jennings JB. Blood bank inventory control.ManagSci1973;19(6):637–45.

[2]Basnet RB,Lamichhane D,Sharma VK. A study of blood requisition and transfusion practice in surgery at BIR hospital.PostgradMedJ2009;9(2):14–9.

[3]Fontaine MJ, Chung YT, Rogers WM, Sussmann HD, Quach P, GalelS A, etal. Improving platelet supply chains through collaborations between blood centers and transfusion services. Transfusion 2009;49(10):2040–7.

[4]Nagurney A, Masoumi AH, Yu M. Supply chain network operations management of a blood banking system with cost and risk minimization. Comput Manag Sci2012;9(2):205–31.

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

[6] Nahmias S. Perishable inventory theory :a review. Oper Res1982;30(4):680–708.

[7]Prastacos GP. Blood inventory management: an overview of theory and practice. Manag Sci 1984;30(7):777–800.

[8]Belien J, Force H. Supply chain management of blood products: a literature review. EurJ Oper Res 2012;217(1):1–16.

[9]Kamp C, Heiden M, Henseler O, Seitz R. Management of blood supplies during aninfluenzapandemic.Transfusion2010;50(1).

[10] Pereira A. Blood inventory management in the type and screen era. VoxSang2005;89(4):245–50.

[11]van Dijk N, Haijema R, vander Wal J, Sibinga CS. Blood platelet production: an overall approach for practical optimization. Transfusion 2009;49(3):411–20.

[12] Katsaliaki K. Cost-effective practices in the blood service sector. Health Policy 2008;86:376–87.

[13]Rytila JS, Spens KM. Using simulation to increase efficiency in blood supply chains. Manag Res News 2006;29(12):801–19.

[14]Madden E, Murphy EL, Custer B. Modeling redcell procurement with both double red cell and whole blood collection and the impact of European travel deferral on units available for transfusion. Transfusion 2007;47(11):2025–37.

[15]Katsaliaki K, Brailsford SC. Using simulation to improve the blood supply chain. J Oper Res Soc 2007;58(2):219–27.

[17]Kopach R, Balcioglu B, Carter M. Tutorial on constructing a red blood cell inventory management system with two demand rates. Eur J Oper Res 2008;185(3):1051–9.

www.SID.ir

Archive of SID

[18]Mustafee N, Taylor SJE, Katsaliaki K, Brailsford S. Facilitating the analysis of a UK national blood service supply chain using distributed simulation. Simulation 2009;85(2):113–28.

[19]Alfonso E, Xie X, Augusto V, Garraud O. Modeling ands imulation of blood collection systems. Health Care Manag Sci 2012;15:63–78.

[20] Kaspi H, Perry D. Inventory systems of perishable commodities. Adv Appl Probab 1983; 15(3): 674–85.

[21]Jagannathan R, Sen T. Storing crossmatched blood : a perishable inventory model with prior allocation. Manag Sci 1991;37(3):251–66.

[22]Pierskalla WP, Roach CD. Optimal issuing policies for perishable inventory. Manag Sci 1972; 18(11): 603–14.

[23]Prastacos GP. Optimal myopic allocation of a product with fixed life time Oper Res Soc 1978; 29(9): 905–13.

[24]Blake JT. On the use of operational research for managing platelet inventory and ordering. Transfusion 2009;49(3):396–401.

[25] Meysam Arvan, Reza Tavakkoli-Moghaddam, Mohammad Abdollahi, Designing a bi-objective, multi-product supply chain network for blood supply. Growing Science Ltd 2010;202(3):686–95.

[26] Serkan Gunpinar. Stochastic integer programming models for reducing wastages and shortages of blood products at hospitals.ComputOperRes2015;34(3):692–704.

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir