

ارائه مدل مکان‌یابی پایگاه‌های اهدای خون با در نظر گرفتن اختلال در محل استقرار

محمد زنده‌دل^۱، علی بزرگی امیری^{۲*} و هاشم عمرانی^۳

^۱ کارشناسی ارشد مهندسی صنایع - دانشگاه علم و فناوری مازندران

^۲ استادیار دانشکده مهندسی صنایع - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

^۳ استادیار گروه مهندسی صنایع - دانشگاه صنعتی ارومیه

چکیده

مدیریت زنجیره تأمین خون، یکی از چالش‌های مهم سیستم‌های بهداشت و درمان است. مکان‌یابی صحیح پایگاه‌های اهدای خون نقش کلیدی در بهینه‌سازی زنجیره تأمین خون دارد. بروز اختلال در محل استقرار پایگاه‌های اهدای خون و از دسترس خارج شدن آن‌ها به دلیل وقوع شرایط بحرانی تأثیر منفی روی عملکرد زنجیره می‌گذارد. در این مقاله یک شبکه بهینه‌سازی زنجیره تأمین خون که شامل سه بخش اصلی نقاط تأمین (اهداکندگان خون)، پایگاه‌های اهدای خون (ثابت و سیار) و نقاط تقاضا (بیمارستان) است پیشنهاد می‌شود و با ارائه یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی، به مکان‌یابی پایگاه‌های اهدای خون و تخصیص اهداکندگان به آن‌ها با در نظر گرفتن اختلال در محل استقرار می‌پردازد. در ادامه، به دلیل NP-Hard بودن مدل، با استفاده از الگوریتم تقریب میانگین نمونه (SAA) به حل آن و تجزیه و تحلیل نتایج محاسباتی پرداخته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مدیریت زنجیره تأمین خون، مکان‌یابی، پایگاه اهدای خون، اختلال

مقدمه

یکی از پایگاه‌های اهدای خون، اقدام به خون‌دهی می‌کنند. واحدهای خونی به دلیل فسادپذیری‌شان به مراکز جمع‌آوری و نگهداری منتقل شده و در آنجا پس از انجام آزمایشات لازم در بانک خون به طور موقتی نگهداری و سپس بر حسب نیاز به دست مصرف‌کنندگان (بیمارستان‌ها و مراکز بهداشتی-درمانی) می‌رسد.

با توجه به تقاضای بیمارستان‌ها در شرایط عادی و بخصوص بحرانی، مهم‌ترین موضوعی که مطرح می‌شود، تأمین خون کافی و سالم است. تعاریف گوناگونی درباره بحران وجود دارد که در ذیل تعریفی از آن بیان شده است: حادثه‌ای است که به طور طبیعی و یا توسط بشر، به طور ناگهانی و یا فزاینده به وجود می‌آید و سختی و مشقت را به جامعه تحمیل می‌کند که برای برطرف کردن آن نیازمند اقدامات اساسی و فوق‌العاده است؛ نظیر زلزله، سیل، طوفان‌های بزرگ، جنگ و... [۳]. مدیریت بحران به مجموعه‌ای از عملیات و فرایندهای مشخص گفته می‌شود که برای جلوگیری و کاهش اثرات بحران در قبل از بحران، در حین وقوع بحران و بعد از بحران برنامه‌ریزی می‌شوند [۴]. از جمله اقدامات لازم و ضروری، تأمین خون

خون انسان یک منبع کمیاب است که فقط به وسیله خود انسان تولید می‌شود و در حال حاضر هیچ محصول یا فرایند شیمیایی دیگری نیست که به عنوان جایگزین آن مورد استفاده قرار گیرد [۱]. تأمین خون سالم و کافی مورد نیاز بیمارستان‌ها و مدیریت آن در شرایط عادی و بحرانی چالشی است که سیستم سلامت دولت‌ها همیشه با آن مواجه هستند. نیاز به اهداکندگان خون و فرآورده‌های آن همیشه وجود خواهد داشت، در حالی که عرضه آن از سوی اهداکندگان تا حدودی نامنظم و تقاضا برای فرآورده‌های خونی اغلب تصادفی است [۲]. تطبیق عرضه و تقاضا به شیوه‌ای کارآمد درباره این محصول کارچندان ساده‌ای نیست. خون و فرآورده‌های خونی، محصولاتی فاسدشدنی هستند که این کار را مشکل‌تر می‌کند. کمبود خون هزینه‌های بالایی را برای جامعه به همراه می‌آورد، زیرا باعث افزایش نرخ مرگ و میر می‌شود [۲]. بنابراین طراحی یک زنجیره تأمین مناسب برای تأمین خون مورد نیاز، موضوعی است که باید بدان توجه داشت. در زنجیره تأمین خون، تأمین‌کنندگان خون، اهداکندگانی هستند که به طور داوطلب با مراجعه به

کافی برای آسیب دیدگان است.

بحران در زمینه خدمات انتقال خون به طور کلی اشاره به وضعیتی دارد که توانایی زنجیره در دریافت و عرضه خون به طور موقت یا کامل از دست برود و یا وضعیتی که باعث به وجود آمدن تقاضای ناگهانی خون، بیش از حد معمول و هجوم گسترده اهداکنندگان به پایگاه‌های اهدای خون است که باعث بروز مشکلاتی در سیستم جمع‌آوری خون می‌شود [۵]. بنابراین مدیریت سیستم خون در زمان بحران، یکی از چالش‌های اصلی در زمینه خدمات انتقال خون است. وقوع بلایای طبیعی مانند زلزله، سیل، سونامی، تهدیدات بیولوژیکی مانند شیوع اپیدمی و... به علاوه بحران‌های انسان‌ساز مانند جنگ و حملات تروریستی از جمله عواملی است که می‌تواند تأثیر نامطلوبی روی اهداکنندگان خون، کارکنان، فرآیندهای انتقال خون، تدارکات و امکانات و در کل زنجیره تأمین این محصول داشته باشد [۵،۳]. بنابراین در مدیریت زنجیره تأمین خون، ابتدا باید تأثیر فاجعه روی سطوح مختلف زنجیره شناسایی شود و سپس اقدامات مناسب به منظور مقابله با آن توسعه یابد. یکی از سطوحی که می‌تواند متأثر از این فجایع باشد، بروز اختلال در محل استقرار پایگاه‌های انتقال خون و از دسترس خارج شدن آن‌ها است [۵].

در زنجیره تأمین، هنگامی که تسهیل ارائه‌دهنده خدمات به دلیل بروز اختلال از دسترس خارج می‌شود یا باید به دنبال تسهیل جایگزین باشد یا زنجیره متحمل جریمه می‌شود [۶]. یافتن تسهیلات جایگزین و تحمیل جریمه، اغلب هزینه‌های بالایی دارد و می‌تواند منجر به ضرر و زیان‌های بزرگی شود. بنابراین، یافتن یک پیکربندی اولیه از تسهیلات باز زمانی که نبود اطمینان در استقرار تسهیلات در نظر گرفته شده باشد، اهمیت فراوانی پیدا می‌کند [۷]. در حیطه زنجیره تأمین خون، از دسترس خارج شدن محل‌های استقرار پایگاه در شرایط بحران به دلایل گوناگونی چون تخریب راه‌ها، ترافیک، ناامنی و... تصمیم‌گیران این حوزه را بر این می‌دارد تا با ملاحظه همه سناریوهای محتمل هنگام بحران، به تعیین تعداد بهینه پایگاه و استقرار مناسب‌ترین محل‌ها قبل از وقوع بحران بپردازند.

این پژوهش با ارائه یک مدل زنجیره تأمین خون به مکان‌یابی پایگاه‌های اهدای خون و نیز تخصیص

اهداکنندگان به این پایگاه‌ها، جمع‌آوری و ارسال خون به بیمارستان‌ها با در نظر گرفتن نبود قابلیت اطمینان در استقرار پایگاه می‌پردازد.

در ادامه، این مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است: در بخش دوم، مطالعات انجام‌شده در این حوزه مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش سوم و چهارم، بیان مسئله و فرمولاسیون ریاضی آن تشریح شده است. برای اعتبارسنجی مدل ارائه‌شده، یک مثال عددی در بخش پنجم ارائه شده است. در نهایت، نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات بعدی در بخش ششم آمده است.

مرور ادبیات

مطالعه درباره مدیریت زنجیره تأمین محصولات فاسدشدنی به طور کلی، و فرآورده‌های خونی به طور خاص، در سال ۱۹۶۰ توسط ون زایل آغاز شد [۸]. ناهمباز در سال ۱۹۸۲ با ارائه مدلی به بررسی مدیریت موجودی محصولات فاسدشدنی پرداخت و با استفاده از همین مدل یک بررسی کوتاه روی فرآورده‌های خونی انجام داد [۹].

در مدل‌سازی زنجیره تأمین خون از مدل‌های متنوعی استفاده شده است. بخصوص روش‌های شبیه‌سازی، برنامه‌ریزی دینامیکی، برنامه‌ریزی عددصحيح، برنامه‌ریزی آرمانی و رویکردهای چندهدفه که بعضی از روش‌های معمول در ادبیات این موضوع هستند. این رویکردها به تنهایی یا ترکیبی با دیگر روش‌ها برای تجزیه و تحلیل مسائل واقعی مورد استفاده قرار گرفته است.

هیگما و همکاران [۱۰] مدلی را با به کارگیری برنامه‌ریزی دینامیکی مارکف و روش شبیه‌سازی برای بانک خون هلند طراحی کردند. مطالعه آن‌ها بیشتر روی هزینه‌های تولید و مدیریت موجودی پلاکت خون تمرکز داشت. زو و همکاران [۱۱] به بررسی مدیریت موجودی پلاکت خون با توجه به طول عمر سه روزه آن پرداختند. آن‌ها مدل خود را با استفاده از برنامه‌ریزی دینامیکی فرموله کردند. آلفنسو و همکاران [۱۲] مسئله جمع‌آوری خون در فرانسه را با ملاحظه هزینه استقرار پایگاه‌های ثابت و سیار جمع‌آوری خون مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از مدل‌های شبکه پتری برای توصیف فرآیندهای متفاوت جمع‌آوری خون، رفتار اهداکنندگان و منابع انسانی مورد نیاز استفاده کردند. مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح ارائه‌شده

کاهش میزان خون فاسد شده و هزینه‌های جمع‌آوری آن پرداختند. اطلاعات مربوط به یک مرکز جمع‌آوری انتقال خون در میدوست جمع‌آوری و نتایج محاسباتی برای این منطقه گزارش شد. ناگورنی و همکاران [۲۰] با ارائه یک مدل زنجیره تأمین خون که شامل مراکز جمع‌آوری، تسهیلات آزمایشگاهی و تسهیلات ذخیره‌سازی و مراکز توزیع است، به مطالعه این موضوع پرداختند. نویسندگان با توسعه یک شبکه عمومی با یک رویکرد بهینه‌سازی چندمعیاره به بررسی هزینه‌های عملیاتی کل زنجیره و ریسک‌های ناشی از کمبود و یا مازاد موجودی پرداختند. نتایج محاسباتی با استفاده از روش نابرابری تغییرات به دست آمده است. مدل تحلیلی شرح داده شده در [۲۱]، ابزاری برای مدل‌سازی پایگاه‌های اهدای خون برای توازن بین سطوح مختلف تقاضا، خدمات، هزینه‌ها به علاوه کمبودها پرداخته است. این مقاله با استفاده از مدل صف و تکنیک‌های سطح عبور به تعیین سیاست‌های بهینه پرداخته است. نتایج به دست آمده با استفاده از مدل شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های واقعی به دست آمده از مرکز خون در کانادا تأیید شده است.

در بیشتر کارهای گذشته در زمینه طراحی زنجیره تأمین خون، به مباحث مربوط به مکان‌یابی پایگاه‌های اهدای خون و تخصیص بهینه اهداکنندگان کمتر پرداخته شده است. مهم‌تر آنکه هنگام وقوع یک فاجعه طبیعی، امکان از دسترس خارج شدن پایگاه‌ها وجود دارد و این در حالی است که به دلیل آسیب‌های انسانی وارده، نیاز به خون بیش از پیش احساس می‌شود و تأمین آن یک موضوع اساسی و مهم تلقی می‌شود. بنابراین تعیین مناسب‌ترین مکان‌ها برای استقرار پایگاه‌های اهدای خون قبل از وقوع بحران، با نظر گرفتن سناریوهای گوناگون محتمل بعد از وقوع بحران در افزایش هر چه بیشتر کارایی زنجیره تأمین خون مؤثر است.

بیان مسئله

زنجیره تأمین خون پیشنهادی (شکل ۱) شامل سه بخش اصلی نقاط تأمین (اهداکنندگان خون)، پایگاه‌های اهدای خون (ثابت و سیار) و نقاط تقاضا (بیمارستان‌ها) است. اهداکنندگان با مراجعه به یکی از پایگاه‌های ثابت یا سیار، اقدام به اهدای خون می‌کنند. واحدهای خونی جمع‌آوری شده در پایگاه‌های سیار برای انجام آزمایشات

در [۱۳] به بررسی سفارشات خون و فرآورده‌های خونی و تخصیص بهینه واحدهای خونی به بیمارستان‌ها پرداخته است. تابع هدف این مدل، کمینه‌کردن تعداد واحدهای خونی برگشتی به سازمان انتقال خون است. همیلمایر و همکاران [۱۴] با توسعه مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح به تصمیم‌گیری در مورد انتخاب بیمارستان‌هایی که باید هر روز توسط وسایل حمل خون از پایگاه‌های اهدای خون پوشش داده شوند، پرداخته‌اند. نویسندگان با در نظر گرفتن میزان نبود قطعیت در تقاضای خون توسط بیمارستان‌ها مقدار خون مورد نیاز هر بیمارستان را در روز تعیین کردند. جاکبس و همکاران [۱۵] با به‌کارگیری مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح، به بررسی مسئله مکان‌یابی مجدد پایگاه‌های اهدای خون در نورفک ویرجینیا پرداختند. آن‌ها نتیجه‌گیری‌هایی از نحوه زمان‌بندی فعالیت‌های جمع‌آوری و توزیع فرآورده‌های خونی کردند. مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح ارائه شده در [۱۶] به بررسی سفارشات خون تازه و تخصیص واحدهای خونی به بیمارستان‌ها پرداخته است. تابع هدف مطرح شده در این مقاله، به دنبال کمینه‌سازی میانگین تعداد واحدهای خون برگشتی به سازمان انتقال خون است. قندفروش و سن [۱۷] با ارائه یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی به دنبال کمینه‌کردن هزینه‌های تولید پلاکت خون برای یک مرکز انتقال خون منطقه‌ای بودند. به دلیل غیرمحدب بودن تابع هدف ارائه شده، حل آن بسیار مشکل بود و تضمینی برای رسیدن به یک جواب بهینه نمی‌داد، بنابراین فرمولاسیون مدل به شکل ساده‌تری درآمد. آن‌ها با تبدیل تابع هدف و محدودیت‌های درجه دو، به یک عبارت خطی و تبدیل آن به یک برنامه‌ریزی عدد صحیح به حل مدل پرداختند. ستین و سارول [۱۸] از یک مدل برنامه‌ریزی ترکیبی ریاضی که ترکیبی از مدل‌های مکان‌یابی پیوسته گرانس و مدل‌های مکان‌یابی گسسته پوشش بود، استفاده کردند. تابع هدف مسئله با استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی آرمانی غیرخطی فرموله شد و هدف آن کاهش زمان سفر بین بانک خون و بیمارستان‌ها، هزینه‌های ثابت مکان‌یابی بانک‌های خون و هزینه‌های مرتبط با نابرابری به عنوان شاخصی برای عدالت اجتماعی در فاصله بود. کندال و لی [۱۹] با توسعه یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی، به بررسی اهداف چندگانه مربوط به سطوح موجودی، در دسترس بودن خون تازه،

مدل سازی

مدل پیشنهادی به صورت یک مدل برنامه ریزی تصادفی دو مرحله‌ای فرموله شده است. برنامه ریزی تصادفی، نوعی برنامه ریزی ریاضی است که در آن بعضی از پارامترهای مسئله به طور غیرقطعی مورد بررسی قرار می‌گیرد [۶]. این نبود قطعیت در برخی پارامترها می‌تواند به صورت یک توزیع احتمالی مطرح شود. در مسائل مکان‌یابی، تسهیلات با در نظر گرفتن نبود قابلیت اطمینان، ظرفیت تسهیلات می‌تواند به عنوان یک پارامتر غیر قطعی مورد بررسی قرار بگیرد [۲۳].

در مسئله برنامه ریزی تصادفی، تصمیم‌گیری در دو مرحله انجام می‌گیرد. ابتدا در مرحله اول، محل و تعداد بهینه پایگاه تعیین می‌شود. تخصیص در مرحله دوم بعد از تحقق سناریوهای ممکن تصمیم‌گیری می‌شود. این تخصیص تحت تأثیر سناریوی به وقوع پیوسته است. هنگامی که سناریو به وقوع پیوسته مشخص شود، همه اطلاعات مورد نیاز برای تخصیص اهداکنندگان در دسترس است [۶].

اگر λ نشان‌دهنده تعداد تسهیلات باشد، بنابراین تعداد کل سناریوهای ممکن در بدترین حالتی که همه محل‌های کاندید برای استقرار پایگاه در دسترس باشند، برابر است [۲۳]:

$$\sum_{k=1}^{\lambda} \binom{\lambda}{k} = 2^{\lambda} - 1 \quad (1)$$

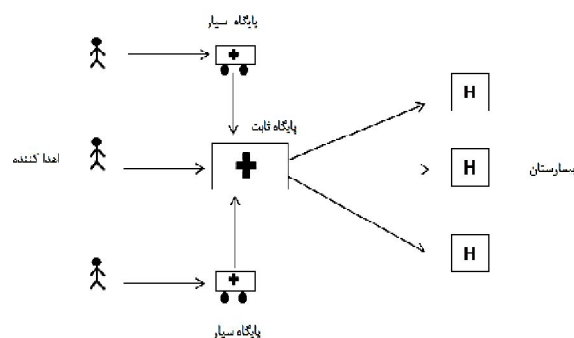
اگر سناریویی که در آن هیچ یک از محل‌های کاندید از دسترس خارج نمی‌شوند را اضافه کرد، تعداد کل سناریوهای محتمل وقوع برابر با 2^{λ} می‌شود. اگر مجموعه سناریوها با اندیس S نشان داده شود، آنگاه A_j مجموعه محل‌هایی است که تحت سناریو S از دسترس خارج می‌شوند. سناریو S با احتمال q^S به وقوع می‌پیوندد. بنابراین احتمال وقوع سناریو S برابر است با:

$$q^S = \prod_{j \in A_S} p_j \prod_{j \notin A_S} (1 - p_j) \quad (2)$$

احتمال اختلال در تسهیل j

با توجه به مسئله تشریح شده، شناساگرها، پارامترها و متغیرهای مدل به صورت زیر تعریف می‌شوند:

لازم و تفکیک خون سالم و ناسالم از یکدیگر به پایگاه‌های ثابت ارسال می‌شوند. پس از دریافت سفارش از مراکز درمانی و بیمارستان‌ها توسط پایگاه ثابت، خون و فرآورده‌های آن به بانک خون این مراکز منتقل می‌شود.



شکل ۱: شمایی از یک زنجیره تأمین خون

مهم‌ترین بخش این زنجیره، پایگاه‌ها و محل استقرار آن‌ها است. تعیین مناسب‌ترین مکان و تخصیص اهداکنندگان به این پایگاه‌ها در شرایط عادی و بحرانی در افزایش هر چه بیشتر کارایی زنجیره مؤثر است. نبود اطمینان محل استقرار پایگاه‌های اهدای خون (ثابت و سیار) در زمان بحران و از دسترس خارج شدن آن بر اثر وقوع حوادثی مانند تخریب محل، ناامنی، ترافیک و ... تصمیم‌گیران این حوزه را بر این می‌دارد تا با در نظر گرفتن همه سناریوهای محتمل، تعداد و محل استقرار بهینه این پایگاه‌ها را به دست آورند. بنابراین تعیین مناسب‌ترین مکان و تخصیص اهداکنندگان به این پایگاه‌ها، با سناریوهای محتمل، موضوعی است که در این پژوهش به آن پرداخته شده است.

فرضیات اصلی دیگر مسئله به شرح زیر عنوان می‌شود:

۱. پایگاه‌های ثابت و سیار ظرفیت محدود دارند.
۲. تقاضا و عرضه خون با سناریوهای متفاوت تغییر می‌کند.
۳. اختلال در محل استقرار پایگاه‌ها از یکدیگر مستقل است و از توزیع برنولی پیروی می‌کند.
۴. همه پایگاه‌ها در مواجهه با بحران آسیب‌پذیرند. زمانی که اختلال در محل استقرار پایگاه ایجاد می‌شود، آن پایگاه از خدمت‌رسانی خارج می‌شود. به عبارتی ظرفیت پایگاه در آن ناحیه صفر می‌شود.

| | | شناساگرها | |
|---|---|---|--|
| $a_k^s = \begin{cases} 1 & \text{اگر پایگاه ثابت مستقر در مکان } k \text{ تحت} \\ 0 & \text{سناریو } s \text{ از دسترس خارج شود،} \\ & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$ | | i | مجموعه ناحیه‌های جمعیتی |
| q^s | احتمال وقوع سناریو s | j | مجموعه محل‌های کاندید استقرار پایگاه |
| h_i^s | میزان خون اهدایی اهداکنندگان ناحیه i تحت سناریو s | k | سیار |
| D_h^s | تعداد واحد خون مورد نیاز بیمارستان h تحت سناریو s | h | مجموعه بیمارستان |
| k_j | ظرفیت پایگاه سیار مستقر در j | s | مجموعه سناریو |
| g_k | ظرفیت پایگاه ثابت مستقر در k | متغیرها | |
| c_{ij} | هزینه انتقال هر واحد خون از ناحیه جمعیتی i به پایگاه سیار j | $Y_j^s = \begin{cases} 1 & \text{اگر اهداکنندگان ناحیه } i \text{ تحت سناریو } s \\ & \text{به پایگاه سیار } j \text{ تخصیص یابند،} \\ & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$ | |
| c'_{ik} | هزینه انتقال هر واحد خون از ناحیه جمعیتی i به پایگاه ثابت k | $Y_{ik}^s = \begin{cases} 1 & \text{اگر اهداکنندگان ناحیه } i \text{ تحت سناریو } s \\ & \text{به پایگاه ثابت } k \text{ تخصیص یابند،} \\ & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$ | |
| c''_{jk} | هزینه انتقال هر واحد خون از پایگاه سیار j به پایگاه ثابت k | $X_j = \begin{cases} 1 & \text{اگر پایگاه سیار در ناحیه } j \text{ باز باشد،} \\ & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$ | |
| c'''_{kh} | هزینه انتقال هر واحد خون از پایگاه ثابت k به بیمارستان h | $X_k = \begin{cases} 1 & \text{اگر پایگاه ثابت در ناحیه } k \text{ باز باشد،} \\ & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$ | |
| M | عدد خیلی بزرگ | fa_{ij}^s | تعداد واحد خون اهداشده از ناحیه جمعیتی i به پایگاه سیار j تحت سناریو s |

تابع هدف و محدودیت‌ها

$$\min z = \sum_j f_j X_j + \sum_k f'_k X'_k \quad (۳)$$

$$+ \sum_s q^s \left[\sum_i \sum_j c_{ij} Y_{ij}^s + \sum_i \sum_k c'_{ik} Y_{ik}^s + \sum_j \sum_k c''_{jk} f c_{jk}^s + \sum_k \sum_h c'''_{kh} f h_{kh}^s \right]$$

$$\sum_j Y_{ij}^s + \sum_k Y_{ik}^s = 1 \quad \forall i, s \quad (۴)$$

$$Y_{ij}^s \leq X_j (1 - \alpha_j^s) \quad \forall i, j, s \quad (۵)$$

$$Y_{ik}^s \leq X'_k (1 - \alpha_k^s) \quad \forall i, k, s \quad (۶)$$

$$f c_{jk}^s \leq M \cdot X'_k \quad \forall j, k, s \quad (۷)$$

$$h_i^s Y_{ij}^s = f a_{ij}^s \quad \forall i, j, s \quad (۸)$$

$$fb_{ik}^s$$

$$fc_{jk}^s$$

$$fh_{kh}^s$$

$$f_j$$

$$f'_k$$

$$a_j^s = \begin{cases} 1 & \text{اگر پایگاه سیار مستقر در مکان } j \text{ تحت} \\ & \text{سناریو } s \text{ از دسترس خارج شود،} \\ & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

و ثابت) است. محدودیت (۱۵) و (۱۶) نوع متغیرهای تصمیم را مشخص می‌کند.

رویکرد حل

روش‌های حل دقیق، بهترین روش‌ها برای حل مسائل برنامه‌ریزی ریاضی هستند. اما در بسیاری موارد، به دلیل وسعت ابعاد مسئله، وجود تعداد زیاد متغیر و یا حضور یک سری محدودیت‌ها، این روش‌ها کارآیی خود را از دست می‌دهند. محققان برای غلبه بر این مشکل به سمت روش‌های ابتکاری و فرابابتکاری روی می‌آورند. مدل ریاضی تصادفی حاضر به دلیل وجود حجم بسیار بزرگی از سناریوها جزو مسائل NP-Hard بوده و حل آن به وسیله روش‌های دقیق، بسیار زمان‌بر است. یکی از روش‌های رایج در حل مسائل با سناریوی بالا، روش ابتکاری تقریب میانگین نمونه (SAA) است.

روش SAA [۲۴، ۲۵] یک روش آماری مبتنی بر نمونه‌برداری است که برای حل مسائل برنامه‌ریزی تصادفی با تعداد بسیار زیادی سناریو مورد استفاده قرار می‌گیرد. ایده اصلی این روش تقریب مقدار تابع هدف مسئله برنامه‌ریزی تصادفی با انتخاب N سناریو نمونه و تکرار چندین بار این عمل است. در روش SAA تعداد N سناریو به طور کاملاً تصادفی انتخاب و یک مسئله تقریبی به نام SAA problem با استفاده از این سناریوها ساخته و حل می‌شود. در این روش، M دسته که هر یک شامل N سناریو است ایجاد و SSA problem به تعداد M بار حل می‌شود. مقادیر تابع هدف (Z^m) و متغیرهای تصمیم مرحله اول (\hat{x}^m, \hat{x}'^m) به دست آمده در هر بار تکرار ذخیره می‌شود. ماک و همکاران [۲۶] ثابت کردند که مقدار میانگین توابع هدف به دست آمده از روش SAA در هر بار تکرار یک حد پایین از جواب بهینه ایجاد می‌کند. بنابراین مقادیر به دست آمده از M بار حل مدل یک برآورد آماری از حد پایین حل بهینه مسئله فراهم می‌کند. متغیر تصمیم مرحله اول (\hat{x}^m, \hat{x}'^m) به دست آمده یک حل شدنی برای مسئله اصلی است که با قرار دادن آن در مسئله اصلی و حل آن، این بار با ($N' \square N$) سناریو یک برآورد آماری از حد بالای حل بهینه فراهم می‌کند. گام‌های روش SAA در یافتن برآوردی از حدود بالا و پایین مسائل مکان‌یابی تسهیلات با تسهیلات غیر قابل

$$h_i^s Y_{ik}^s = f b_{ik}^s \quad \forall i, k, s \quad (9)$$

$$\sum_i f a_{ij}^s = \sum_k f c_{jk}^s \quad \forall j, s \quad (10)$$

$$\sum_i f b_{ik}^s + \sum_j f c_{jk}^s = \sum_h f h_{kh}^s \quad \forall k, s \quad (11)$$

$$\sum_k f h_{kh}^s = D_h^s \quad \forall h, s \quad (12)$$

$$\sum_i f a_{ij}^s \leq k_j X_j \quad \forall j, s \quad (13)$$

$$\sum_i f b_{ik}^s + \sum_j f c_{jk}^s \leq g_k X'_k \quad \forall k \quad (14)$$

$$X_j, X'_k \in \{0, 1\} \quad \forall j, k \quad (15)$$

$$f a_{ij}^s, f b_{ik}^s, f c_{jk}^s \geq 0 \quad \forall i, j, k, s \quad (16)$$

در مدل بالا تابع هدف (۳) به دنبال کمینه‌کردن هزینه‌های استقرار پایگاه‌های اهدای خون، هزینه‌های حمل واحدهای خون در طول شبکه زنجیره تأمین و تخصیص کوتاه‌ترین فاصله بین اهداکنندگان و پایگاه‌های اهدای خون است. محدودیت (۴) تضمین می‌کند اهداکنندگان هر ناحیه جمعیتی i فقط به یک نوع پایگاه (ثابت یا سیار) تخصیص یابند. محدودیت (۵) و (۶) به ترتیب، از تخصیص اهداکنندگان ناحیه i به پایگاه‌هایی که در ناحیه j ، k باز نشده و یا از دسترس خارج شده است منع می‌کند. محدودیت (۷) تضمین می‌کند واحدهای خون جمع‌آوری شده در پایگاه سیار j به پایگاه ثابت باز k ارسال می‌شوند. محدودیت (۸) و (۹) به ترتیب، نشان‌دهنده تعداد واحد خون جمع‌آوری شده در هر پایگاه سیار j و ثابت k از هر ناحیه جمعیتی i است. محدودیت (۱۰) تضمین می‌کند کل واحدهای خون جمع‌آوری شده در پایگاه‌های سیار به پایگاه ثابت ارسال شود. محدودیت (۱۱) نشان‌دهنده ارسال کل واحدهای خون جمع‌آوری شده در پایگاه‌ها (ثابت و سیار) به بانک خون مراکز بهداشتی و درمانی مانند بیمارستان‌ها است. محدودیت (۱۲) میزان تقاضای بیمارستان h به خون را نشان می‌دهد. محدودیت (۱۳) و (۱۴) به ترتیب، نشان‌دهنده حداکثر ظرفیت پایگاه‌های اهدای خون (سیار

محاسبه شکاف بین حدود و ارزیابی کیفیت حل به دست آمده است [۲۸].

نتایج محاسباتی

در این بخش با استفاده از یک مثال عددی به بررسی و اعتبارسنجی مدل پیشنهادی پرداخته و اهمیت در نظر گرفتن قابلیت اطمینان در بحث مکان‌یابی پایگاه را نشان می‌دهد. مدل در نرم‌افزار GAMS 22.9 کد شده و سپس مسئله نمونه توسط حل‌کننده CPLEX روی رایانه شخصی با مشخصات پردازنده Core i5 و حافظه داخلی GB 4 و سیستم عامل Win7 حل شده است.

این مثال شامل ۲۰ ناحیه جمعیتی و ۱۰ محل کاندید برای استقرار پایگاه سیار و ۴ محل کاندید برای استقرار ۲ بیمارستان در ناحیه‌های ۳ و ۱۰ وجود دارند. پارامترهای مدل به طور تصادفی مطابق جدول (۱) ایجاد شده‌اند. فرض بر این است که احتمال از دسترس خارج شدن هر ناحیه کاندید یکسان و از توزیع برنولی پیروی می‌کند. لازم به ذکر است تعداد کل سناریوهای قابل وقوع در بدترین حالت ممکن $(2^{4+10} = 16384)$ است.

جدول ۱: داده مثال عددی

| پارامتر | مقدار |
|-------------|-----------------|
| f_j | $U[100\ 150]$ |
| f'_k | $U[1000\ 1500]$ |
| c_{ij} | $U[40\ 50]$ |
| c'_{ik} | $U[40\ 50]$ |
| c''_{jk} | $U[100\ 200]$ |
| c'''_{kh} | $U[100\ 200]$ |
| h_i^s | $U[300\ 500]$ |
| D_h^s | $U[1000\ 2000]$ |
| k_j^s | $U[200\ 250]$ |
| g_k^s | $U[2000\ 2500]$ |

جدول (۲) نتایج استفاده از روش SAA اعمال شده روی مثال عددی مسئله را نشان می‌دهد. مقادیر N', M, N به ترتیب ۱۵۰ و ۱۰ و ۱۵۰۰۰ در نظر گرفته شده و مسئله برای احتمال‌های اختلال بین ۰ تا ۰/۵ حل

اطمینان به صورت زیر بیان می‌شود [۲۷]:

گام اول: N سناریو به طور تصادفی انتخاب می‌شود و سپس مدل ریاضی زیر حل می‌شود. این عمل M بار تکرار می‌شود. سپس مقادیر متغیرهای تصمیم (\hat{x}^m, \hat{x}'^m) و تابع هدف (z^m) به دست آمده در هر بار تکرار ذخیره می‌شوند:

$$\min z^m = \sum_j f_j X_j^m + \sum_k f'_k X'_k{}^m \quad (17)$$

$$+ \frac{1}{N_m} \sum_{s=1}^{N_m} q^s \left[\sum_i \sum_j c_{ij} Y_{ij}^{ms} + \sum_i \sum_k c'_{ik} Y'_{ik}{}^{ms} + \sum_j \sum_k c''_{jk} f c_{jk}^{ms} + \sum_k \sum_h c'''_{kh} f h_{kh}^{ms} \right]$$

محدودیت (۱۶ تا ۴)

گام دوم: تخمین حد پایین تابع هدف بهینه با محاسبه میانگین مقادیر به دست آمده از حل M بار تابع هدف در گام اول به صورت زیر:

$$\bar{z}^M = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M z^m \quad (18)$$

گام سوم: تخمین حد بالای تابع هدف بهینه با قرار دادن متغیرهای تصمیم (\hat{x}^m, \hat{x}'^m) به دست آمده گام اول در مسئله اصلی و حل آن برای سناریوهای $(N' \square N)$

$$\min \hat{z}^m = \sum_j f_j X_j^m + \sum_k f'_k X'_k{}^m \quad (19)$$

$$+ \frac{1}{N'} \sum_{s=1}^{N'} q^s \left[\sum_i \sum_j c_{ij} Y_{ij}^{ms} + \sum_i \sum_k c'_{ik} Y'_{ik}{}^{ms} + \sum_j \sum_k c''_{jk} f c_{jk}^{ms} + \sum_k \sum_h c'''_{kh} f h_{kh}^{ms} \right]$$

محدودیت (۱۶ تا ۴)

و معرفی جواب‌های (\hat{x}^m, \hat{x}'^m) با بهترین مقدار تابع هدف (\hat{z}^m) به دست آمده به عنوان خروجی:

$$z^{SSA} = \min_{m=1, \dots, M} (\hat{z}^m) \quad (20)$$

$$(\hat{x}, \hat{x}')^{SSA} = \arg \min_{m=1, \dots, M} (\hat{x}, \hat{x}') \quad (21)$$

دلیل محاسبه حد پایین مقدار بهینه تابع هدف،

نشان‌دهنده محل استقرار پایگاه‌ها (ثابت و سیار) است. نتیجه پر اهمیتی که از مقایسه اعداد به دست آمده از جدول (۲) استنباط می‌شود، این است که هر چقدر آسیب‌پذیری محل‌های استقرار پایگاه افزایش می‌یابد، تعداد پایگاه‌های انتخاب شده توسط مدل افزایش می‌یابد. هنگام وقوع بحران ممکن است یک یا چند پایگاه از دسترس خارج شوند. به همین دلیل مدل با انتخاب پایگاه‌های بیشتر سعی در کاهش ریسک ناشی از دسترس خارج شدن پایگاه‌ها و به دنبال کاهش خون جمع‌آوری شده می‌کند.

شده است. ستون دوم جدول (۲) نشان‌دهنده برآورد حد پایینی از مقدار بهینه تابع هدف است. ستون سوم، برآوردی از حد بالای مقدار بهینه تابع هدف را نشان می‌دهد. همچنین ستون چهارم، نشان‌دهنده درصد شکاف بین این دو حد است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

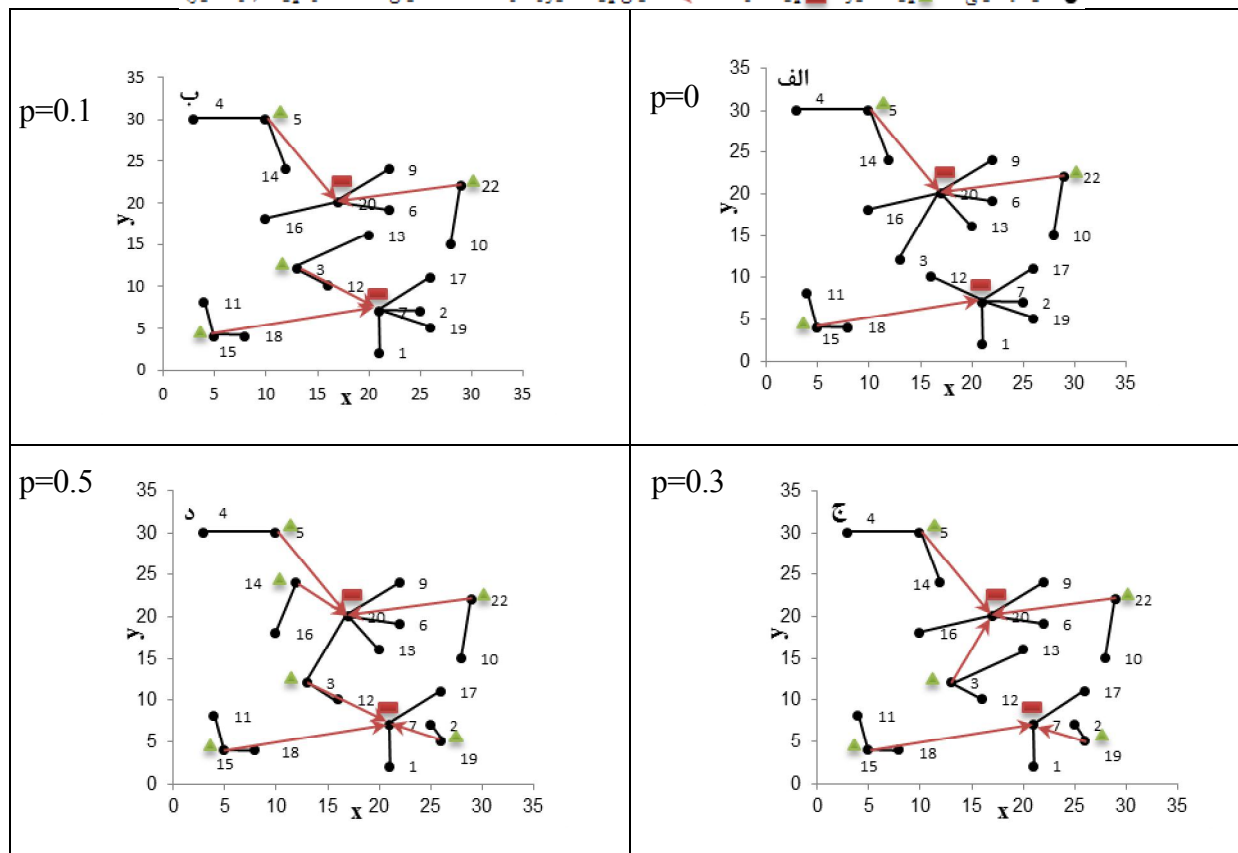
$$Gap\% = \frac{z^{SAA} - \bar{z}}{\bar{z}} \times 100 \quad (29)$$

مقدار شکاف، یک نشانگر خوب برای بررسی کیفیت مقدار حل به دست آمده در روش SAA است. اگر میزان شکاف $\pm 10\%$ باشد، مقدار تابع هدف به دست آمده به مقدار بهینه نزدیک است [۷]. ستون پنجم و ششم

جدول ۲: نتایج حاصل از حل مدل با روش SAA

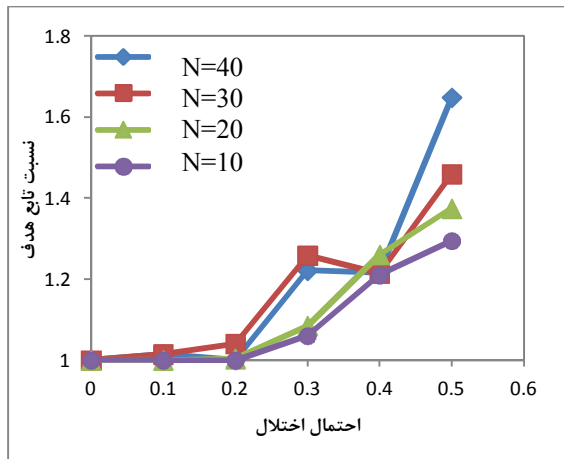
| p | z^{SAA} | \bar{z}^{10} | Gap (%) | Mobile camp | Fix camp | Time |
|-----|-----------|----------------|----------|-----------------|----------|-------|
| 0.0 | 6154.21 | 6154.21 | 0 | 5,15,22 | 12,20 | 5 |
| 0.1 | 6962.47 | 6812.47 | 2.201845 | 3,5,15,22 | 12,20 | 115.5 |
| 0.2 | 8186.81 | 8022.23 | 2.051549 | 3,5,15,22 | 12,20 | 189.2 |
| 0.3 | 10862.9 | 10269.56 | 5.777657 | 3,5,15,19,22 | 12,20 | 198.4 |
| 0.4 | 11734.8 | 10181.25 | 15.25893 | 3,5,15,19,22 | 12,20 | 2134 |
| 0.5 | 15481.81 | 12939.9 | 19.64397 | 3,5,14,15,19,22 | 12,20 | 2224 |

● ناحیه جمعیتی ▲ پایگاه سیار ■ پایگاه ثابت ← تخصیص پایگاه سیاره ثابت — تخصیص اهداکننده به پایگاه (ثابت، سیار)



شکل ۱: مکان‌یابی-تخصیص پایگاه اهدای خون با احتمال اختلال متفاوت

اختلال کوچک است، اکثر محل‌ها در هر نمونه‌گیری کاندید استقرار پایگاه هستند؛ به عبارتی مجموعه محل‌های کاندید برای استقرار پایگاه در هر نمونه‌گیری مشابه هستند. بنابراین هر نمونه مجزا نشان‌دهنده وجود سیستم در شرایط تقریباً عادی است. به عنوان یک مثال واضح، هنگامی که $p = 0$ است، همه محل‌های کاندید برای استقرار پایگاه در هر نمونه‌گیری در دسترس هستند و روش SAA راه حل دقیقی را در این حالت به دست می‌دهد.



شکل ۲: نسبت تابع هدف برای نمونه سناریوهای متفاوت

شکل (۱) محل‌های استقرار پایگاه‌ها و تخصیص اهداکنندگان به آن‌ها هنگامی که همه ناحیه‌های کاندید در دسترس (احتمال اختلال صفر) و هنگامی که ناحیه‌های کاندید با احتمال اختلال‌های متفاوت از دسترس خارج بشوند را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل (۱) دیده می‌شود، هر چقدر احتمال اختلال بیشتر می‌شود، تعداد پایگاه انتخابی افزایش می‌یابد. دلیل این امر، از دسترس خارج شدن احتمالی یک یا چند پایگاه بر اثر وقوع اختلال و کاهش خون جمع‌آوری شده و برآورده‌نشدن نیاز بیمارستان‌های موجود است.

در ادامه، به بررسی تأثیر تعداد سناریو انتخابی در هر نمونه (N) و تعداد تکرار (M) بر کیفیت حل پرداخته می‌شود. جدول (۳) مقادیر تابع هدف به دست آمده با به‌کارگیری روش SAA برای تعداد سناریوهای متفاوت را نشان می‌دهد. همان‌طور که از جدول (۳) مشخص است، کیفیت حل با افزایش اندازه نمونه بهبود می‌یابد.

نسبت مقدار تابع هدف به دست آمده از روش SAA به مقدار بهینه آن در شکل (۲) رسم شده است. شکل (۲) نشان می‌دهد هنگامی که احتمال اختلال کوچک باشد ($p \leq 0.2$)، جواب به دست آمده خیلی خوب است. اما زمانی که احتمال اختلال بزرگ باشد ($p > 0.2$) جواب به دست آمده خیلی خوب نیست. هنگامی که احتمال

جدول ۳: مقدار تابع هدف به دست آمده از روش SAA با تعداد سناریو متفاوت

| P | $N = 10$ | $N = 20$ | $N = 30$ | $N = 40$ | Exact |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0.0 | 6154.21 | 6154.21 | 6154.21 | 6154.21 | 6154.21 |
| 0.1 | 6932.47 | 6932.47 | 6832.47 | 6832.47 | 6832.47 |
| 0.2 | 7834.21 | 8136.81 | 7852.16 | 7822.21 | 7822.21 |
| 0.3 | 10542.9 | 10862.9 | 9364.12 | 9151.63 | 8631.25 |
| 0.4 | 11254.9 | 11234.8 | 11659.25 | 11298.21 | 9253.9 |
| 0.5 | 17436.8 | 15439.9 | 14538.9 | 13692.85 | 10578.75 |

جدول ۴: نتایج به دست آمده با تعداد تکرار متفاوت

| Failure pro. | M=5 | | | M=10 | | | M=15 | | | Exact |
|--------------|-----------|-------------|--------|-----------|----------------|--------|-----------|----------------|--------|----------|
| | z_{SAA} | \bar{z}_5 | Gap(%) | z_{SAA} | \bar{z}_{10} | Gap(%) | z_{SAA} | \bar{z}_{15} | Gap(%) | |
| 0.0 | 6154.21 | 6154.21 | 0 | 6154.21 | 6154.21 | 0 | 6154.21 | 6154.21 | 0 | 6154.21 |
| 0.1 | 6932.47 | 6822.47 | 1.6 | 6932.47 | 6822.47 | 1.6 | 6934.47 | 6822.47 | 1.6 | 6934.47 |
| 0.2 | 8146.67 | 8012.23 | 2.9 | 8136.81 | 8012.23 | 1.5 | 8126.81 | 8012.23 | 1.4 | 8125.75 |
| 0.3 | 10923.90 | 10235.56 | 6.7 | 10862.9 | 10235.56 | 6.1 | 10862.9 | 10134.75 | 7.1 | 10842.1 |
| 0.4 | 11268.80 | 9681.25 | 16.3 | 11234.8 | 9981.25 | 12.5 | 11234.8 | 9881.25 | 13.6 | 11224.5 |
| 0.5 | 17925.35 | 15581.81 | 15.0 | 15581.81 | 13439.9 | 15.9 | 15581.81 | 13239.9 | 17.6 | 15561.75 |

این مقاله با توسعه یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی به انتخاب بهترین محل‌ها برای استقرار پایگاه و تخصیص اهداکنندگان به آن‌ها با سناریوهای گوناگون پرداخته است. برای ارزیابی مدل، یک مثال عددی کوچک مطرح شد و نتایج حاصل از آن، نشان‌دهنده اهمیت موضوع قابلیت اطمینان در بحث مکان‌یابی است. با توجه به سختی حل دقیق مدل، الگوریتم ابتکاری SAA برای غلبه بر این مشکل مورد استفاده قرار گرفت. توصیه‌هایی در مورد انتخاب پارامتر در طراحی این الگوریتم SAA بیان شد. نتایج محاسباتی به دست آمده نشان داد که الگوریتم SAA تقریب خوبی در حل مدل‌های برنامه‌ریزی تصادفی با شمار قابل توجهی سناریو ارائه می‌دهد. از جمله مواردی که می‌توان برای تحقیقات بعدی منظور کرد: (۱) مسیریابی واحدهای سیار اهدای خون در شرایط بحران. (۲) تعیین زمان‌بندی ارسال واحدهای خونی به بیمارستان‌ها با توجه به تقاضای آن‌ها. (۳) بروز اختلال در مسیر انتقال واحدهای خونی و تعیین مسیرهای پشتیبان.

در ادامه، به بررسی تأثیر تعداد تکرار (M) بر کیفیت حل با ثابت نگه‌داشتن تعداد سناریو $N=20$ پرداخته می‌شود. جدول (۴) مقادیر تابع هدف، هنگامی که تعداد تکرارها $M=5,10,15$ است را نشان می‌دهد. مقادیر به دست آمده نشان می‌دهد که کیفیت مقادیر تابع هدف به دست آمده با افزایش تعداد تکرار چندان تغییری نمی‌کند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات بعدی

در این مقاله، یک مدل بهینه‌سازی زنجیره تأمین خون توسعه داده شد. مدل پیشنهادی شامل کمینه‌کردن هزینه‌های عملیاتی زنجیره بود. در ایجاد بهینه یک زنجیره تأمین خون، مکان‌یابی مناسب پایگاه‌های اهدای خون اهمیت ویژه‌ای دارد. از طرفی اختلال در محل استقرار پایگاه‌های اهدای خون و از دسترس خارج شدن آن‌ها در زمان بحران به دلایل گوناگونی چون تخریب راه‌ها، ترافیک، ناامنی و... می‌تواند بر عملکرد این زنجیره تأثیر منفی بگذارد. بنابراین تصمیم‌گیری در مورد تعیین تعداد و محل بهینه استقرار پایگاه‌های اهدای خون با سناریوهای محتمل امری مهم به شمار می‌آید.

مراجع

- 1- Cohen, M. A. and Pierskalla, W. P. (1975) "Management policies for a regional blood bank." *Transfusion*. Vol. 15, No.1, PP. 57–67.
- 2- Beliën, J. and Forcé, H. (2012). "Supply chain management of blood products: A literature review." *Operational Research*. Vol. 217, No.1, PP.1–16.
- 3- Kumudu K.S. Kuruppu. (2009). "Management of blood system in disasters." *Biologicals*. Vol. 38, No. 1, PP. 87–90.
- 4- Schmidt, P.J. and Bayer, W.L. (1985). "Transfusion support in a community disaster." *Supportive therapy in haematology*., PP. 371–377.
- 5- American Association of Blood banks. (2008). Disaster operations handbook-Hospital. Chapter 3, AABB Pub. Co., New York.
- 6- D Gade and E A Pohl. (2011). "The reliable facility location problem: formulation, heuristics, and approximation algorithm." *Journal on Computing*. Vol. 23, No. 3, PP. 470–482.
- 7- Zuo-Jun Max Shen, Roger Lezhou Zhan. (2009). "Sample average approximation applied to the capacitated-facilities location problem with unreliable facilities." *Journal of Risk and Reliability*. Vol. 15, No.4, PP. 223–59. Supplement, PP. 118–128.
- 8- Van Zyl G.J.J. (1964). "Inventory control for perishable commodities." Dissertation, University of North Carolina.
- 9- Nahmias, S. (1982). "Perishable inventory theory: a review." *Oper Res.*, Vol. 30, No. 4, PP. 680-708.

-
- 10- Haijema, R. and Van der Wal, J. (2007). "Blood platelet production: optimization by dynamic programming and simulation." *Comput & Oper Res.*, Vol. 34, No. 3, PP. 760 -771,
- 11- Zhou, D., Leung, LC. and Pierskalla, WP. (2011). "Inventory management of platelets in hospitals: optimal inventory policy for perishable products with regular and optional expedited replenishments." *Manuf & Serv Oper Manag.*, Vol. 13, No. 4, PP. 420-438.
- 12- Alfonso, E., Xie, X. and Augusto, V. (2012). "Modeling and simulation of blood collection systems." *Health Care Manag Sci*, Vol. 15, No. 1, PP. 63-78.
- 13- Sapountzis, C. (1984). "Allocating blood to hospitals from a central blood bank." *Eur. J. Oper. Res.*, Vol. 16, No. 2, PP. 157-162.
- 14- Hemmelmayr, V., Doerner, KF, Hartl, RF and Savelsbergh, WP. (2010). "Vendor managed inventory for environments with stochastic product usage." *Eur J Oper Res.*, Vol. 202, No. 3, PP. 686-695.
- 15- Jacobs DA, Silan MN, Clemson. (1996). "BA An analysis of alternative locations and service areas of American Red Cross facilities." *Interfaces* Vol. 26, No. 3, PP. 40-50.
- 16- Sapountzis, C. (1984). "Allocating blood to hospitals from a central blood bank." *Eur J Oper Res*, Vol. 16, No. 2, PP.157-162.
- 17- Ghandforoush, P. and Sen, TK. (2010) "A DSS to manage platelet production supply chain for regional blood centers." *Decis Support Syst* , Vol. 50, No. 1, PP. 32-42.
- 18- Cetin, E. and Sarul, LS. (2009). "A blood bank location model: a multiobjective ap- proach." *Eur J Pure and Appl Math*, Vol. 2, No.1, PP.112-124.
- 19- Kendall, KE. and Lee, SM. (1980). "Formulating blood rotation policies with multiple objectives." *Manag. Sci.*, Vol. 26, No.11, PP. 1145-1157.
- 20- Nagurney, A. and Masoumi, AH. (2012). "Supply chain network operations management of a blood banking system with cost and risk minimization." *Comput Manag Sci.*, Vol. 9, No. 2, PP. 205-231.
- 21- Kopach, R. and Balcioglu, B. (2008). "Tutorial on constructing a red blood cell inventory management system with two demand rates." *Eur J Oper Res.*, Vol. 185, No. 3, PP. 1051-1059.
- 22- Kopach, R. and Balcioglu, B. (2008). "Tutorial on constructing a red blood cell inventory management system with two demand rates." *Eur J Oper Res.*, Vol. 185, No. 3, PP. 1051-1059.
- 23- Lawrence V. Snyder, Mark S. Daskin. (2007). "Models for Reliable Supply Chain Network Design." Chapter 15, springer Pub. Co., german.
- 24- Kleywegt, A. and Shapiro, A. (2002). "The sample average approximation method for stochastic programming with recourse." *SIAM J. Optim.*, Vol. 24, No. 2, 479-502.
- 25- Shapiro, A. (1998). "A simulation-based approach to two-stage stochastic programming with recourse." *Math. Prog.*, Vol. 81, No. 3, PP. 301-325.
- 26- Mak, W. K. and Morton, D. (1999). "Monte Carlo bounding techniques for determining solution quality in stochastic programs". *Oper. Res.*, Vol. 24, No. 1, PP. 47-56.
- 27- Nezir Aydin, AlperMurat. (2013). "A swarm intelligence based sample average approximation algorithm for the capacitated reliable facility location problem". *Int. J. Production Economics.*, Vol. 145, No. 1, PP. 173-183
- 28- Shabbir Ahmed., Alexander Shapiro. (2002). "The Sample Average Approximation Method for Stochastic Programs with Integer Recourse." *Oper. Res.*, Vol. 24, No. 1, PP. 47-56.
-