

Developing an Integrated Blood Supply Chain Network in Crisis Conditions Considering the Concentration of Sites in Facilities and Blood Types Substitution

- Mohsen Jami**  Ph.D. Candidate in Industrial Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran.
- Hamidreza Izadbakhsh** * Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran
- Alireza Arshadi Khamseh**  Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran

Abstract


In the management of the blood supply chain network, the existence of a coherent and accurate program can help increase the efficiency and effectiveness of the network. This research presents an integrated mathematical model to minimize network costs and blood delivery time in crisis conditions. In the present model, to ensure timely and sufficient blood supply, especially in crisis conditions, the new approach concentration of blood collection, processing, and distribution sites in the facilities, emergency transportation, pollution, route traffic (delivery delay), blood type substitution, and supporter facilities were used. Moreover, other important decisions, including locating all permanent and temporary facilities at three blood collection, processing, and distribution sites, and blood shortage, were also applied in the model. The proposed model was solved for several problems using the Augmented epsilon-constraint method. Results show that deploying advanced processing equipment in field hospitals, the concentration of sites in facilities, and blood type substitution have significantly improved network efficiency. Therefore, managers and decision-makers can use the proposed approaches to optimize the blood supply chain network to minimize network costs and blood delivery time.


Keywords: Blood Supply Chain, Integration, Location, Concentration of Sites in Facilities, Blood Types Substitution, Emergency Transportation.


* Corresponding Author: hizadbakhsh@khu.ac.ir

How to Cite: Jami, M., Izadbakhsh, H., Arshadi Khamseh, A. (2023). Developing an Integrated Blood Supply Chain Network in Crisis Conditions Considering the Concentration of Sites in Facilities and Blood Types Substitution, *Journal of Industrial Management Studies*, 20(67), 51-84.

توسعه یک شبکه زنجیره تأمین خون یکپارچه در شرایط بحران با در نظر گرفتن تمرکز سطوح در تسهیلات و جایگزینی گروه‌های خونی

محسن جامی  دانشجوی دکتری رشته مهندسی صنایع، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

حمیدرضا ایندبخش  * استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

علیرضا ارشادی خمسه  دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

چکیده

در مدیریت شبکه زنجیره تأمین خون وجود یک برنامه منسجم و دقیق می‌تواند به افزایش کارایی و اثربخشی شبکه کمک شایانی نماید. در این پژوهش مدل ریاضی یکپارچه در شرایط بحران به منظور کمینه نمودن هزینه‌ها و زمان تحویل خون ارائه شده است. در مدل حاضر برای اطمینان از تأمین خون به موقع و به اندازه به خصوص در شرایط بحران از رویکرد جدید همچون تمرکز سطوح جمع‌آوری، فرآوری و توزیع خون در تسهیلات، در نظر گرفتن حمل و نقل اضطراری، ترافیک مسیر (تأخیر در تحویل)، جایگزینی گروه‌های خونی و تسهیلات پشتیبان بهره گرفته شد. تصمیمات مهم دیگری اعم از مکان‌یابی کلیه تسهیلات دائم و موقت در سه سطح جمع‌آوری، فرآوری و توزیع و کمبود خون نیز در مدل اعمال شد. مدل را با استفاده از روش اسپیلون محدودیت تکامل یافته^۱ برای مسائل مختلف حل شد. نتایج حاصل از محاسبات نشان داد استقرار تجهیزات فرآوری پیشرفته در بیمارستان‌های صحرایی، تمرکز سطوح در تسهیلات، جایگزینی گروه‌های خونی سبب بهبود قابل توجه شبکه شده است لذا مدیران و تصمیم‌گیرندگان می‌توانند از این رویکردها برای بهینه‌سازی شبکه زنجیره تأمین خون به منظور به کاهش هزینه‌ها و زمان تحویل خون استفاده نمایند.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین خون، یکپارچه‌سازی، مکان‌یابی، تمرکز سطوح در تسهیلات، جایگزینی گروه‌های خونی، حمل و نقل اضطراری.

* نویسنده مسئول: hizadbakhsh@khu.ac.ir

1. AEC (Augement Epsilon Constrate)

مقدمه

یکی از مهم‌ترین جنبه‌های زندگی انسان سلامتی است که تأثیر زیادی بر سایر جنبه‌های زندگی دارد. در این بین، خون به عنوان یک منبع حیاتی برای زندگی انسان نیز موضوع مهمی برای تحقیق به شمار می‌رود (Heidari-Fathian & Pasandideh, 2018). با توجه به اینکه هیچ جایگزینی برای خون انسان پیدا نمی‌شود، داشتن یک برنامه دقیق و بی‌نقص برای جمع‌آوری و ذخیره این منبع نایاب، حیاتی است (Gunpinar & Centeno, 2015). در یک زنجیره تأمین خون، خون از اهداکننده‌ها در تسهیلات ثابت و موقت، جمع‌آوری سپس به مراکز خون انتقال داده می‌شوند. در این مرحله در بانک‌های خون، خون را فرآوری و ذخیره‌سازی می‌کنند و به وسیله حمل و نقل اختصاصی به بیمارستان‌ها انتقال داده می‌شوند (Pierskalla, 2005).

در این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی دو هدفه به منظور یکپارچه‌سازی شبکه زنجیره تأمین خون برای شرایط عادی و بحرانی در سه سطح جمع‌آوری خون، فرآوری و ذخیره‌سازی و توزیع خون ارائه شده است. مدل ریاضی دو هدفه پیشنهادی، به طور هم‌زمان، علاوه بر حداقل کردن هزینه‌های شبکه زنجیره تأمین، زمان پاسخگویی را کمینه می‌سازد. مدل با استفاده از روش اپسیلون محدودیت تکامل یافته حل شد. به منظور افزایش سطح پاسخگویی به تقاضای بیماران در مراکز درمانی و مقابله با کمبود، تمرکز سطوح (جمع‌آوری، فرآوری و ذخیره‌سازی و توزیع خون به بیماران) در تسهیلات، جایگزینی گروه‌های خونی و تسهیلات پشتیبان در نظر گرفته شد. در جایگزینی گروه‌های خونی، هر گروه خونی را نمی‌توان برای هر بیمار استفاده نمود. از میان چندین گروه خونی سازگار، اولویتی از جایگزینی گروه‌های خونی وجود دارد که برای پاسخ به تقاضا اجازه می‌دهد تا تخصیص بهینه گروه خونی را بر اساس نیاز تعیین کند. به همین منظور، یک ماتریس اولویت‌بندی خون برای تعیین جایگزینی گروه‌های خونی استفاده می‌شود. در جدول ۱ ماتریس گروه‌های خونی را نشان می‌دهد که می‌توانند جایگزین گروه خونی دیگر شوند. در پژوهش حاضر از طرح اولویت‌بندی به منظور استفاده از گروه‌های خونی خاص برای

جایگزینی گروه‌های خونی بهره گرفته شده است (Hamdan & Diabat, 2019).

جدول ۱. ماتریس سازگاری گروه‌های خونی

گروه‌های خونی	A+	A-	B+	B-	AB+	AB-	O+	O-
A+	√				√			
A-	√	√			√	√		
B+			√		√			
B-			√	√	√	√		
AB+					√			
AB-					√	√		
O+	√		√		√		√	
O-	√	√	√	√	√	√	√	√

نوآوری‌های مقاله به صورت خلاصه در ادامه ارائه شده است:

۱- ارائه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط دو هدفه با تعیین مکان کلیه تسهیلات دائم و موقت در سه سطح جمع‌آوری خون، فرآوری و توزیع خون در دوره‌های زمانی.

۲- تمرکز سطوح (جمع‌آوری، فرآوری و ذخیره‌سازی و توزیع خون) در تسهیلات.

۳- یکپارچه‌سازی تصمیمات استراتژیکی، تاکتیکی و عملیاتی شرایط قبل و بعد از بحران اعم از مکان‌یابی، زمان تحویل خون، موجودی و تخصیص در سه سطح جمع‌آوری، فرآوری و توزیع خون

۴- حمل‌ونقل اضطراری با در نظر گرفتن ترافیک مسیر در زمان‌های مختلف

ادامه مقاله به شرح زیر سازمان‌دهی شده است: مبانی نظری و پیشینه پژوهش در بخش

۲ بررسی می‌شود. بخش ۳ روش‌شناسی پژوهش می‌باشد که تعریف مسئله، فرمول‌بندی و

روش حل را تشریح می‌کند. بخش ۴ اجرای مدل و تحلیل را پوشش می‌دهد و در خاتمه

بخش ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادها را مورد بحث قرار می‌دهد.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

هدف از این بخش بررسی پیشینه پژوهش در شبکه زنجیره تأمین خون می‌باشد. مدیریت فرآورده‌های خونی، یکی از نگرانی‌ها و دغدغه‌های مهم بشر است. اگرچه برای جایگزینی گروه‌های خونی تلاش‌هایی صورت گرفته اما هنوز اهداکنندگان خون، مهم‌ترین منبع تأمین نیاز بیماران می‌باشند. مطالعه درباره مدیریت زنجیره تأمین خون و فرآورده‌های آن در سال ۱۹۶۰ توسط Vanzyl آغاز شد.

به ارائه یک مدل ریاضی چند هدفه در شرایط بحران با در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا پرداختند به طوری که تصمیمات مرتبط با مکان، تخصیص و اختلال مسیر را بهینه نمایند (Haghjoo, Tavakkoli-Moghaddam, Shahmoradi-Moghadam, & Rahimi, 2020). به ارائه یک مدل ریاضی برای کاهش هزینه‌های زنجیره تأمین خون به همراه کمینه کردن میزان کمبود و میزان انقضای فرآورده‌های خونی پرداختند و عدم اطمینان میزان عرضه خون را از طریق زنجیره مارکوف بررسی و برای تخمین مقادیر نیاز مراکز درمانی، تقاضای واسله به صورت فازی در نظر گرفته شد (kouchaki tajani, Mohtashami, Amiri, & Ehtesham Rasi, 2022). به طراحی زنجیره تأمین خون در سه سطح اهداکنندگان، بانک‌ها (مراکز خون) و بیمارستان‌ها در قالب یک مدل چندهدفه به منظور حداقل‌سازی مجموع هزینه‌ها، حداقل‌سازی زمان کلی ارسال واحدهای خونی و حداقل‌سازی میزان تقاضای برآورد نشده بیمارستان‌ها در هر دوره، پرداختند (Kazemi, Homayounfar, Fadaei, Soufi, & Salehzadeh, 2022). یک مدل ریاضی را در زنجیره تأمین خون به منظور تأمین تضمینی تقاضا با توجه به سطوح تصمیم‌گیری استراتژیکی و تاکتیکی با طراحی یک چهارچوب برای توسعه مدل‌های مبتنی بر تصمیم‌گیری ارائه نمودند (Meneses, Santos, & Barbosa-Póvoa, 2022). مدلی را با اهداف کاهش هزینه‌های شبکه، تازگی خون و کاهش کمبود را برای زنجیره تأمین خون با در نظر گرفتن عدم قطعیت دو مرحله‌ای با رویکرد برنامه‌ریزی احتمالی دو مرحله‌ای استوار استفاده شد (Sibevei, Azar, & Zandieh, 2022). با توجه به کاهش اهدای خون

در اثر بیماری کووید ۱۹ به طراحی یک مدل چند هدفه در زنجیره تأمین خون به منظور تأمین خون در شرایط اضطراری با در نظر گرفتن مکان‌یابی، موجودی و مسیریابی پرداختند (Khalilpourazari & Hashemi Doulabi, 2022). یک شبکه زنجیره تأمین خون شامل اهداکنندگان، تسهیلات جمع‌آوری خون (دائمی و موقت)، تسهیلات خون منطقه‌ای، تسهیلات خون محلی، بیمارستان‌های منطقه‌ای و بیمارستان‌های محلی با در نظر گرفتن تعداد وسایل مورد نیاز حمل و نقل ارائه نمودند (Khalilpourazari, Soltanzadeh, Weber, & Roy, 2020). یک مدل ریاضی تصادفی جهت کاهش هزینه‌های اتلاف و کمبود موجودی فرآورده‌های خونی در ۳ بیمارستان تحت پوشش پایگاه انتقال خون در آذربایجان شرقی ارائه دادند. در این مدل ضمن برآورده ساختن نیازهای بیمارستان‌ها با گروه‌های خونی مختلف، هزینه‌های موجودی بیمارستان‌ها نیز مدنظر قرار گرفت (yyyyyyy, 2019). به ارائه یک مدل در زنجیره تأمین خون در شرایط بحران برای تعیین مکان بهینه بیمارستان‌های صحرائی، ظرفیت امکانات، حمل و نقل، تخصیص گروه‌های خونی، طول عمر خون با مسیر انتقال مطلوب و حل آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداخته‌اند (Razavi, Gholizadeh, Nayeria, & Ashrafi, 2020). به ارائه یک مدل در تأمین خون با سه شرط فوریت، عدالت و خطر با در نظر گرفتن اختلال و عدم قطعیت در تأمین خون در شرایط بحران پرداختند (Cheraghi & Hosseini-Motlagh, 2020). یک مدل بهینه‌سازی تصادفی دو مرحله‌ای برای شبکه زنجیره تأمین خون در شرایط زلزله با در نظر گرفتن مکان‌یابی تأسیسات دائمی جمع‌آوری خون، میزان موجودی خون، تصمیمات عملیاتی و جایگزینی را ارائه نمودند (Salehi, Allahyari Emamzadeh, Mirzapour, Hashem, & Shafiei Aghdam, 2021). به طراحی شبکه زنجیره تأمین خون در شرایط بحران با سناریوهای مختلف و در نظر گرفتن گروه‌های خونی و تاریخ انقضا باهدف کاهش هزینه‌های سیستم پرداختند (Asadpour, Boyer, & R Tavakkoli, 2020). یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای با عدم قطعیت در تقاضا و اختلالات در تأسیسات با در نظر گرفتن فاسدشدن خون، گروه‌های خونی متمایز و

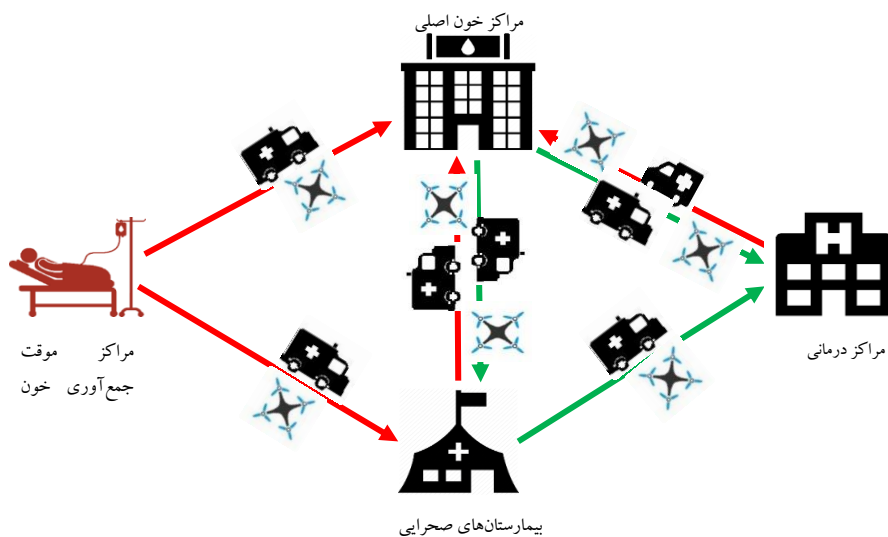
قوانین اولویت‌بندی در زنجیره تأمین خون ارائه کردند (Hosseini-Motlagh, Samani, & Homaei, 2020). یک مدل ریاضی تصادفی دومرحله‌ای با در نظر گرفتن جایگزینی گلوبول‌های قرمز با اهداف کاهش فساد خون، هزینه‌های سیستم و زمان تحویل خون ارائه نمودند (Hamdan & Diabat, 2019). به طراحی یک شبکه زنجیره تأمین خون با اهداف کاهش هزینه‌های سیستم و کمبود خون با در نظر گرفتن تقاضای فازی پرداختند که در مدل پیشنهادی انتقالات جانبی را نیز در نظر گرفتند (Doodman & Bozorgi Amiri, 2020). در شبکه زنجیره تأمین خون مدلی را برای عوامل کمی و کیفی به‌منظور کمینه کردن هزینه، اتلاف و حداکثر سازی امکانات با در نظر گرفتن عدم قطعیت و بهره‌گیری از روش بهینه‌سازی استوار طراحی نمودند (Samani, Hosseini-Motlagh, & Ghannadpour, 2019). یک مدل زنجیره تأمین خون را برای کاهش هزینه‌های عملیاتی و ریسک‌های ناشی از مازاد و یا کمبود موجودی با در نظر گرفتن تسهیلات جمع‌آوری، تسهیلات آزمایشگاهی و ذخیره‌سازی و تسهیلات توزیع ارائه نمودند (Habibi-Kouchaksaraei, Paydar, & Asadi-Gangraj, 2018). به ارائه یک مدل در شرایط بحران به‌منظور در دسترس بودن کالاهای خونی با استفاده از روش سناریویی پرداختند (Samani, Torabi, & Hosseini-Motlagh, 2018). ضمن ترکیب برنامه‌ریزی تصادفی پویا و رویکرد دوسطحی برای انبار پلاکت‌های خونی و جایگزینی گروه‌های خونی، مدلی را برای حداقل کردن هزینه‌ها، فساد و کمبود خون ارائه کردند (Dillon, Oliveira, & Abbasi, 2017). به‌منظور بهینه‌سازی مصرف فرآورده‌های خونی در بیمارستان‌ها ضمن توزیع فرآورده‌ها توسط مراکز خون، امکان انتقال جانبی خون در بیمارستان‌ها نیز به‌عنوان راهکاری به‌منظور مقابله با عدم قطعیت تقاضا در نظر گرفته شد (Yaghobi & Kamvar, 2017). یک مدل بهینه‌سازی برای زنجیره تأمین خون در شرایط اضطراری برای مکان‌یابی تسهیلات دائم و موقت مراکز خون و مراکز اهدای خون، اختصاص تسهیلات به اهداکنندگان خون و تعیین سطح موجودی خون در چند دوره پس از فاجعه با در نظر گرفتن سناریوهایی برای عدم قطعیت در عرضه و تقاضا باهدف کاهش

هزینه ارائه نمودند (Jabbarzadeh, Fahimnia, & Seuring, 2014). به ارائه یک مدل ریاضی در شبکه زنجیره تأمین خون در شرایط بحران برای کمینه کردن زمان و هزینه با در نظر گرفتن نحوه حمل و نقل اضطراری و تأثیر مخرب شعاع تخریب زلزله پرداختند (Khalilpourazari & Khamseh, 2019). به توسعه یک مدل برای شبکه زنجیره تأمین خون در شرایط بحران با در نظر گرفتن خطر اختلال و قابلیت اطمینان و عدم قطعیت تأمین خون و مکان‌یابی تسهیلات دائمی و موقت جمع‌آوری خون پرداخت (Rahmani, 2019).

مدل پیشنهادی در این مقاله بسط مستقیم مدل ارائه‌شده توسط (Hamdan & Diabat, 2019) می‌باشد. با این حال هیچ‌کدام از مدل‌های ریاضی موجود در ادبیات تحقیق شامل تمرکز سطوح در تسهیلات نمی‌باشند. از منظر تصمیمات استراتژیکی، تاکتیکی و عملیاتی در ادبیات موجود مکان‌یابی برای کلیه تسهیلات دائم و موقت در سه سطح جمع‌آوری، فرآوری و توزیع برای شرایط قبل و بعد از بحران انجام نشده است در حالی که در این پژوهش یکپارچه‌سازی تصمیمات مکانی برای کلیه تسهیلات دائم و موقت در سه سطح کامل صورت گرفته است. کمتر مطالعاتی حمل و نقل خون را در شرایط اضطراری بررسی نموده‌اند و تأخیر زمانی در تحویل خون را در نظر نگرفته‌اند در حالی که در این پژوهش ضمن در نظر گرفتن حمل و نقل اضطراری خون به وسیله پهباد و خودرو، تأخیر در تحویل خون را در دوره‌های در دوره‌های زمانی با توجه به وسایل نقلیه با ظرفیت و شعاع تحت پوشش متفاوت در نظر گرفته شده است.

روش شناسی پژوهش

تعریف مسئله. در این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی دو هدفه به‌منظور طراحی یکپارچه شبکه زنجیره تأمین خون در سه سطح جمع‌آوری، فرآوری و توزیع خون در شرایط بحران ارائه شده است. شکل ۱، شبکه زنجیره تأمین موردنظر در این مسئله را نشان می‌دهد. در این پژوهش کلیه سطوح از جمع‌آوری و فرآوری تا توزیع خون برای تسهیلات دائمی و موقت در نظر گرفته شده است.

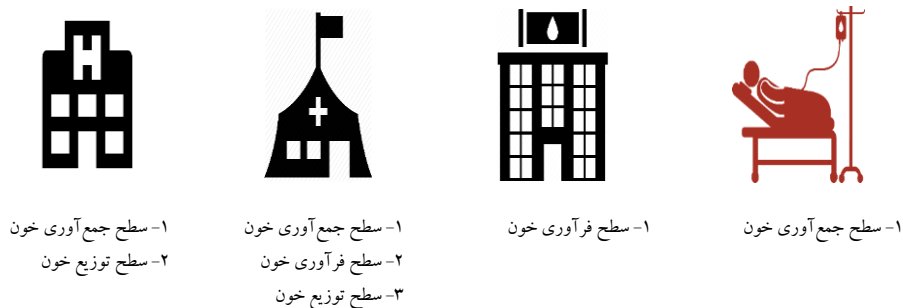


شکل ۱. نمودار شبکه زنجیره تأمین خون

جمع‌آوری خون در تسهیلات دائم (بیمارستان‌های صحرایی و مراکز درمانی) و موقت (مراکز جمع‌آوری خون موقت) امکان‌پذیر می‌باشد. این تسهیلات پس از جمع‌آوری خون به‌منظور انجام آزمایشات، خون را به مراکز خون دائم (مراکز خون اصلی) و موقت (بیمارستان‌های صحرایی) انتقال داده سپس با توجه به تقاضا، خون از مراکز خون دائم و موقت به مراکز درمانی و بیمارستان‌های صحرایی به‌منظور توزیع و تزریق به بیماران منتقل می‌شود. در صورتی که خون پردازش‌شده در سطح فرآوری بیمارستان‌های صحرایی نیاز به انجام آزمایش‌های تکمیلی داشته باشد آنگاه خون‌ها جهت فرآوری مجدد به مراکز خون

اصلی که دارای تجهیزات پیشرفته فرآوری هستند منتقل می‌شود. در این شبکه برای مقابله با کمبود و افزایش سطح پاسخگویی ضمن در نظر گرفتن تسهیلات پشتیبان برای مراکز توزیع (نقاط تقاضا) از جایگزینی گروه‌های خونی و تمرکز سطوح در تسهیلات نیز استفاده شد. شکل ۲ تمرکز سطوح در تسهیلات را نشان می‌دهد به صورتی که بیمارستان‌های صحرایی کار سه سطح جمع‌آوری، فرآوری و توزیع خون را می‌تواند به صورت هم‌زمان انجام دهد، مراکز درمانی دارای دو سطح جمع‌آوری و توزیع خون می‌باشند و بقیه مراکز (مراکز خون اصلی و مراکز جمع‌آوری خون موقت) نیز به ترتیب دارای سطوح فرآوری و جمع‌آوری خون می‌باشند به عبارتی تک‌کاره هستند. برای افزایش پاسخگویی و پایداری در شبکه، حمل‌ونقل اضطراری، تأخیر در تحویل (ترافیک) را برای وسایل حمل‌ونقل با ظرفیت و سرعت متفاوت در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است ظرفیت ذخیره‌سازی و فرآوری خون در تسهیلات دائم نسبت به تسهیلات موقت بیشتر می‌باشد.

مراکز موقت جمع‌آوری خون (j) مراکز خون اصلی (z) بیمارستان‌های صحرایی (a) مراکز درمانی (u)



شکل ۲. تمرکز سطوح در تسهیلات

در دوران پس از بحران مثل زلزله، با افزایش شدید تقاضای خون طی دوره‌های مختلف از طرف مصدومین روبه‌رو هستیم. به‌منظور بررسی دقیق، این برهه زمانی را به چهار دوره زمانی ۲۴ ساعته تقسیم کرده و تقاضا در هر دوره به‌صورت مجزا بررسی می‌شود. دوره اول شامل ۲۴ ساعت اولیه، دوره دوم شامل ۴۸ ساعت بعد از اتمام ۲۴ ساعت اولیه، دوره سوم شامل ۷۲ ساعت بعدی و در دوره آخر شامل یک هفته بعدی می‌باشد.

مدل تصمیم‌های مربوط به تعداد و مکان کلیه تسهیلات دائم و موقت در سه سطح جمع‌آوری فرآوری و توزیع خون، میزان جمع‌آوری، فرآوری و توزیع خون، سطح موجودی و تخصیص، مقدار خون جایگزین شده و تعیین روش حمل‌ونقل با توجه به ترافیک را مشخص می‌نماید.

مفروضات مسئله. مفروضات استفاده‌شده در مسئله به شرح ذیل می‌باشند:

- مکان‌های بالقوه برای راه‌اندازی و استقرار تسهیلات دائم و موقت از پیش تعیین شده می‌باشند.
- تسهیلات موقت جمع‌آوری خون و بیمارستان‌های صحرایی تنها در زمان بحران استقرار می‌یابند.
- انقضا خون مجاز نیست.
- تعداد وسایل نقلیه نامحدود می‌باشند.
- واحدهای خون جمع‌آوری شده به صورت کامل فرآوری می‌شوند.
- دوره‌های زمانی ثابت و قطعی می‌باشد.
- مقدار عرضه و تقاضای خون در دوره‌های زمانی متفاوت می‌باشد.
- سطح موجودی گروه‌های خونی در ابتدای دوره اول صفر می‌باشد.
- هزینه و زمان انتقال خون در میان بیمارستان‌های صحرایی برابر صفر می‌باشد.

فرمول‌بندی مسئله

اندیس‌ها

J مجموعه‌ای از مکان‌های بالقوه برای تسهیلات موقت جمع‌آوری خون که با اندیس j نشان داده می‌شود.

U مجموعه‌ای از مکان‌های بالقوه برای مراکز درمانی که با اندیس u نشان داده می‌شود.

Z مجموعه‌ای از مکان‌های ممکن برای مراکز خون اصلی که با اندیس z نشان داده می‌شود.

A مجموعه‌ای از مکان‌های ممکن برای بیمارستان صحرائی که با اندیس a نشان داده می‌شود.

V حالت‌های حمل و نقل

T دوره‌های زمانی t

B مجموعه‌ای از گروه‌های خونی که با اندیس b و b° نشان داده می‌شود.

پارامترهای مدل

$F1$ هزینه راه‌اندازی تسهیلات دائم درمانی

$F2$ هزینه استقرار تسهیلات موقت جمع‌آوری خون

$F3$ هزینه راه‌اندازی مرکز خون اصلی خون

$F4$ هزینه استقرار بیمارستان صحرائی

M یک عدد خیلی بزرگ

COU هزینه جمع‌آوری هر واحد خون در مراکز دائم درمانی u

COJ هزینه جمع‌آوری هر واحد خون در مراکز موقت جمع‌آوری خون j

COA هزینه جمع‌آوری هر واحد خون در بیمارستان صحرائی a

SDU_{but} منبع موجود از گروه خونی b برای مراکز دائم درمانی u در دوره t

SDJ_{bjt} منبع موجود از گروه خونی b برای مراکز موقت جمع‌آوری خون j در دوره

t

SDA_{bat} منبع موجود از گروه خونی b در بیمارستان صحرائی a در دوره t

$CO1$ هزینه هر واحد فرآوری خون در مرکز خون اصلی z

$CO2$ هزینه هر واحد فرآوری خون در بیمارستان صحرائی a

SM_{bb° هزینه اولویت‌بندی برای گروه خونی b که بجای گروه خونی b°

استفاده شده است

CM_{bb° ماتریس سازگاری دودویی برای گروه‌های مختلف خون، اگر گروه

خون b بتواند بجای گروه خونی b° استفاده شود یک در غیر این صورت صفر

TOU زمان برای جمع‌آوری هر واحد خون در مراکز دائم درمانی u

TOJ	زمان برای جمع آوری هر واحد خون در مراکز موقت جمع آوری خون
TOA	زمان برای جمع آوری هر واحد خون در بیمارستان صحرایی a
TM	زمان انجام آزمایش های تطبیق به منظور جایگزینی برای هر واحد خون
$TOOZ$	زمان مورد نیاز برای فرآوری هر واحد خون در مرکز خون اصلی z
$TOOA$	زمان مورد نیاز برای فرآوری هر واحد خون در بیمارستان صحرایی a
$COST_v$	هزینه هر کیلومتر سفر در بین مراکز توسط وسیله نقلیه v
HZ	هزینه نگهداری هر واحد خون در مرکز خون اصلی z
HA	هزینه نگهداری هر واحد خون در بیمارستان صحرایی a
HU	هزینه نگهداری هر واحد خون در مرکز درمانی u
HE	هزینه جریمه برای کمبود هر واحد خون
PE	زمان جریمه برای کمبود هر واحد خون
RD	برآورد اینکه چه سرویسی از مرکز خون a به مرکز خون z به منظور انجام آزمایش های تکمیلی تغییر مسیر می دهد.
$P1$	حداکثر تعداد مراکز درمانی u
$P2$	حداکثر تعداد مراکز موقت جمع آوری خون j
$P3$	حداکثر تعداد مراکز خون اصلی z
$P4$	حداکثر تعداد بیمارستان صحرایی a
DU_{but}	مقدار تقاضا برای گروه خونی b در مرکز درمانی u در دوره t
DA_{bat}	مقدار تقاضا برای گروه خونی b در مرکز درمانی a در دوره t
$capz$	حداکثر ظرفیت ذخیره سازی در مرکز خون z
$capa$	حداکثر ظرفیت ذخیره سازی در مرکز خون a
$capu$	حداکثر ظرفیت ذخیره سازی در مرکز خون u
TR_{vt}	ضریب تأخیر (ترافیک مسیر حمل و نقل) در تحویل خون توسط وسیله نقلیه v در دوره t

حداکثر ظرفیت برای حمل خون در بین مراکز توسط وسیله نقلیه v	cap_v
حداکثر شعاع پوشش وسیله نقلیه v	COV_v
فاصله مرکز موقت جمع‌آوری خون z تا بیمارستان صحرائی a برای وسیله نقلیه v	rja_{jav}
فاصله مرکز موقت جمع‌آوری خون z تا مرکز خون اصلی z برای وسیله نقلیه v	rjz_{jzv}
فاصله مرکز درمانی u تا مرکز خون اصلی z برای وسیله نقلیه v	ruz_{uzv}
فاصله مرکز خون اصلی z تا مرکز درمانی u برای وسیله نقلیه v	rzu_{zuv}
فاصله مرکز خون اصلی z تا بیمارستان صحرائی a برای وسیله نقلیه v	rza_{zav}
فاصله بیمارستان صحرائی a تا مرکز خون اصلی z برای وسیله نقلیه v	raz_{azv}
فاصله بیمارستان صحرائی a تا مرکز درمانی u برای وسیله نقلیه v	rau_{auv}
زمان سفر از مرکز موقت جمع‌آوری خون z به مرکز خون اصلی z با وسیله نقلیه v	TJZ_{jzv}
زمان سفر از مرکز موقت جمع‌آوری خون z به بیمارستان صحرائی a با وسیله نقلیه v	TJA_{jav}
زمان سفر از مرکز درمانی u به مرکز خون اصلی z با وسیله نقلیه v	TUZ_{uzv}
زمان سفر از مرکز خون اصلی z به مرکز درمانی u با وسیله نقلیه v	TZU_{zuv}
زمان سفر از مرکز خون اصلی z به بیمارستان صحرائی a با وسیله نقلیه v	TZA_{zav}
زمان سفر از بیمارستان صحرائی a به مرکز درمانی u با وسیله نقلیه v	TAU_{auv}
زمان سفر از بیمارستان صحرائی a به مرکز خون اصلی z با وسیله نقلیه v	TAZ_{azv}

v

متغیرهای مثبت

$$\delta_{bzt} \text{ مقدار گروه خونی } b \text{ فرآوری شده در مرکز خون اصلی } z \text{ در دوره } t$$

$$\beta_{bat} \text{ مقدار گروه خونی } b \text{ پردازش شده در بیمارستان صحرائی } a \text{ در دوره } t$$

توسعه یک شبکه زنجیره تأمین خون یکپارچه در شرایط بحران با...؛ جامی و همکاران | ۶۵

$\phi u_{bb^{\circ}at}$ مقدار گروه خونی b که بجای گروه خونی b° در مرکز درمانی u در دوره t استفاده شده است.

$\phi a_{bb^{\circ}at}$ مقدار گروه خونی b که بجای گروه خونی b° در بیمارستان صحرائی a در دوره t استفاده شده است.

ρ_{bztv} مقدار گروه خونی b منتقل شده از بیمارستان صحرائی a به مرکز خون اصلی z در دوره t با وسیله نقلیه v

λ_{bautv} مقدار گروه خونی b فرستاده شده از بیمارستان صحرائی a به مرکز درمانی u در دوره t با وسیله نقلیه v

θ_{bzutv} مقدار گروه خونی b فرستاده شده از مرکز خون اصلی z به مرکز درمانی u در دوره t با وسیله نقلیه v

η_{bzatv} مقدار گروه خونی b فرستاده شده از مرکز خون اصلی z به بیمارستان صحرائی a در دوره t با وسیله نقلیه v

ξ_{bzt} سطح موجودی گروه خونی b در مرکز خون اصلی z در دوره t

ξ_{bat} سطح موجودی گروه خونی b در بیمارستان صحرائی a در دوره t

α_{but} سطح موجودی گروه خونی b در مرکز درمانی u در دوره t

Ω_{but} مقدار تقاضای برآورد نشده گروه خونی b در مرکز درمانی u در دوره t

Λ_{bat} مقدار تقاضای برآورد نشده گروه خونی b در بیمارستان صحرائی a در دوره t

متغیرهای صفر و یک

X_{ut} اگر یک مرکز درمانی در دوره t در مکان u راه اندازی شود یک در غیر این

صورت صفر

E_{jt} اگر یک مرکز موقت جمع آوری خون در دوره t در مکان j استقرار یابد

یک در غیر این صورت صفر

W_{zt} اگر یک مرکز خون اصلی در دوره t در مکان z راه اندازی شود یک

در غیر این صورت صفر

Q_{at} اگر یک بیمارستان صحرائی در دوره t در مکان a استقرار یابد یک در غیر این صورت صفر
 R_{jztv} اگر یک مرکز موقت جمع آوری خون z در دوره t به مرکز خون اصلی z تخصیص یابد یک در غیر این صورت صفر
 A_{jatv} اگر یک مرکز موقت جمع آوری خون z در دوره t به بیمارستان صحرائی a تخصیص یابد یک در غیر این صورت صفر
 Y_{uztv} اگر یک تسهیل ثابت خون u در دوره t به مرکز خون اصلی z تخصیص یابد یک در غیر این صورت صفر
 S_{zutv} اگر خون فرآوری شده از مرکز خون اصلی z در دوره t به مرکز درمانی u تخصیص یابد یک در غیر این صورت صفر
 ψ_{aztv} اگر یک تسهیل ثابت خون a در دوره t به مرکز خون اصلی z تخصیص یابد یک در غیر این صورت صفر
 C_{zatv} اگر خون فرآوری شده از مرکز خون اصلی z در دوره t به بیمارستان صحرائی a تخصیص یابد یک در غیر این صورت صفر
 ω_{aat} اگر یک تسهیل خون از سطح جمع آوری بیمارستان صحرائی a به سطح فرآوری همان بیمارستان صحرائی a در دوره t تخصیص یابد یک در غیر این صورت صفر
 γ_{aat} اگر خون فرآوری شده از سطح فرآوری بیمارستان صحرائی a در دوره t به سطح توزیع همان بیمارستان صحرائی a تخصیص یابد یک در غیر این صورت صفر
 π_{autv} اگر خون فرآوری شده از بیمارستان صحرائی a در دوره t به مرکز درمانی u تخصیص یابد یک در غیر این صورت صفر
 (۱)

$$\begin{aligned}
 \min zw1 = & \left\{ \left(\sum_u \sum_t F1X_{ut} \right) + \left(\sum_j \sum_t F2E_{jt} \right) + \left(\sum_z \sum_t F3W_{zt} \right) \right. \\
 & + \left. \left(\sum_a \sum_t F4Q_{at} \right) \right\} \\
 & + \left\{ \left(COU \sum_b \sum_z \sum_v \sum_t \sum_u SDU_{but} Y_{uztv} \right) \right. \\
 & + \left. \left(COJ \sum_j \sum_b \sum_t SDJ_{bjt} \sum_v \left(\sum_z R_{jztv} + \sum_a A_{jatv} \right) \right) \right. \\
 & + \left. \left(COA \sum_a \sum_b \sum_t SDA_{bat} \omega_{aat} \right) \right\} \\
 & + \left\{ \sum_t \sum_b \left(CO1 \sum_z \delta_{bzt} + CO2 \sum_a \beta_{bat} \right) \right\} \\
 & + \left\{ COST_v \sum_t \left[\left(\sum_j \sum_a rja_{jav} A_{jatv} \right) \right. \right. \\
 & + \left. \left(\sum_j \sum_z rjz_{jzv} R_{jztv} \right) + \left(\sum_u \sum_z ruz_{uzv} Y_{uztv} \right) \right. \\
 & + \left. \left(\sum_z \sum_u rzu_{zuv} S_{zutv} \right) + \left(\sum_z \sum_a rza_{zav} C_{zatv} \right) \right. \\
 & + \left. \left(\sum_a \sum_u rau_{auv} \pi_{autv} \right) + \left. \left(\sum_a \sum_z raz_{azv} \psi_{aztv} \right) \right] \right\} \\
 & + \left\{ \left(\sum_{b^\circ} \sum_b \sum_a \sum_t SM_{bb^\circ} \phi_{a_{bb^\circ}at} \right) \right. \\
 & + \left. \left(\sum_{b^\circ} \sum_b \sum_u \sum_t SM_{bb^\circ} \phi_{u_{bb^\circ}ut} \right) \right\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \left\{ HE \left[\sum_b \sum_t \left(\sum_u \Omega_{but} + \sum_a \Lambda_{bat} \right) \right] \right\} \\
 & + \left\{ \sum_t \sum_b \left(\sum_z HZ \xi_{bzt} + \sum_a HA \zeta_{bat} + \sum_u HU \alpha_{but} \right) \right\} \\
 & \hspace{15em} (۲)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \min zw2 = & \left\{ TOU \left(\sum_u \sum_t \sum_b \sum_z \sum_v SDU_{but} Y_{uztv} \right) \right. \\
 & + \left(TOA \sum_a \sum_t \sum_b SDA_{bat} \omega_{aat} \right) \\
 & + \left(TOJ \sum_j \sum_t \sum_b SDJ_{bjt} \left(\sum_z \sum_v R_{jztv} \right. \right. \\
 & \left. \left. + \sum_a \sum_v A_{jatv} \right) \right\} \\
 & + \left\{ \left(TOOZ \sum_z \sum_b \sum_t \delta_{bzt} \right) + \left(TOOA \sum_a \sum_b \sum_t \beta_{bat} \right) \right\} \\
 & + \left\{ \left(\sum_u \sum_{b^\circ} \sum_b \sum_t TM \phi_{u_{bb^\circ}ut} \right) \right. \\
 & \left. + \left(\sum_a \sum_b \sum_{b^\circ} \sum_t TM \phi_{a_{bb^\circ}at} \right) \right\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \left\{ \sum_t \sum_v TR_{vt} \left[\left(\sum_j \sum_z TJZ_{jzv} R_{jztv} \right) + \left(\sum_j \sum_a TJA_{jav} A_{jatv} \right) \right. \right. \\
 & \quad + \left(\sum_u \sum_z TUZ_{uzv} Y_{uztv} \right) + \left(\sum_z \sum_u TZU_{zuv} S_{zutv} \right) \\
 & \quad + \left(\sum_z \sum_a TZA_{zav} C_{zatv} \right) + \left(\sum_a \sum_z TAZ_{azv} \psi_{aztv} \right) \\
 & \quad \left. \left. + \left(\sum_a \sum_u TAU_{auv} \pi_{autv} \right) \right] \right\} \\
 & + \left\{ PE \left[\sum_b \sum_t \left(\sum_u \Omega_{but} + \sum_a \Lambda_{bat} \right) \right] \right\}
 \end{aligned}$$

محدودیت‌ها

$$\sum_u X_{ut} \leq p1 \quad \forall t \in T \text{ (۳)}$$

$$\sum_j E_{jt} \leq p2 \quad \forall t \in T \text{ (۴)}$$

$$\sum_z W_{zt} \leq p3 \quad \forall t \in T \text{ (۵)}$$

$$\sum_a Q_{at} \leq p4 \quad \forall t \in T \text{ (۶)}$$

$$\beta_{bat} \leq \sum_v \sum_j SDJ_{bjt} A_{jatv} + SDA_{bat} \omega_{aat} \quad \forall t \in T, b \in B, a \in A \text{ (۷)}$$

$$\delta_{bzt} \leq (\lambda)$$

$$\sum_v \sum_j SDJ_{bjt} R_{jztv} + \sum_v \sum_u SDU_{but} Y_{uztv} + \sum_v \sum_a \rho_{baztv} \quad \forall t \in T, b \in B, z \in Z$$

$$\sum_z \sum_v \rho_{baztv} = RD (\beta_{bat}) \quad \forall t \in T, b \in B, a \in A \text{ (۹)}$$

$$\sum_v (\sum_a A_{jatv} + \sum_z R_{jztv}) \leq 1 \quad \forall j \in J, t \in T \text{ (۱۰)}$$

$$\sum_a \sum_v A_{jatv} + \sum_z \sum_v R_{jztv} \leq E_{jt} * M \quad \forall j \in J, t \in T \text{ (۱۱)}$$

$$\sum_z \sum_v Y_{uztv} + \sum_z \sum_v S_{zutv} + \sum_a \sum_v \pi_{autv} \leq X_{ut} * M \quad \forall u \in U, t \in T \text{ (۱۲)}$$

$$\omega_{aat} + \sum_j \sum_v A_{jatv} + \sum_z \sum_v C_{zatv} + \sum_u \sum_v \pi_{autv} + \sum_z \sum_v \psi_{aztv} \text{ (۱۳)}$$

$$\gamma_{aat} \leq Q_{at} * M \quad \forall a \in A, t \in T$$

$$\sum_u \sum_v Y_{uztv} + \sum_a \sum_v \psi_{aztv} + \sum_j \sum_v R_{jztv} + \sum_u \sum_v S_{zutv} \text{ (۱۴)}$$

$$\sum_a \sum_v C_{zatv} \leq W_{zt} * M \quad \forall z \in Z, t \in T$$

$$\alpha_{bu,t-1} + \sum_{b^{\circ}} \phi u_{bb^{\circ}ut} CM_{bb^{\circ}} - \alpha_{but} + \Omega_{but} = DU_{but} \quad \forall t \in T, b \in (15)$$

$$B, u \in U$$

$$\zeta_{ba,t-1} + \sum_{b^{\circ}} CM_{bb^{\circ}} \phi a_{bb^{\circ}at} - \zeta_{bat} + \Lambda_{bat} = DA_{bat} \quad \forall t \in T, b \in (16)$$

$$B, a \in A$$

$$\sum_b \sum_{b^{\circ}} \phi a_{bb^{\circ}at} \leq M * \gamma_{aat} \quad \forall t \in T, a \in A (17)$$

$$\xi_{bz,t-1} + \delta_{bzt} - \sum_v (\sum_u \theta_{bzutv} + \sum_a \eta_{bzatv}) - \xi_{bzt} = 0 \quad \forall t \in T, b \in (18)$$

$$B, z \in Z$$

$$\sum_z \sum_v \theta_{bzutv} + \sum_a \sum_v \lambda_{bautv} = \sum_{b^{\circ}} \phi u_{bb^{\circ}ut} CM_{bb^{\circ}} \quad \forall t \in T, b \in (19)$$

$$B, u \in U$$

$$\sum_z \sum_v \eta_{bzatv} + (1 - RD)(\beta_{bat}) - \sum_u \sum_v \lambda_{bautv} = (20)$$

$$\sum_{b^{\circ}} \phi a_{bb^{\circ}at} CM_{bb^{\circ}} \quad \forall t \in T, b \in B, a \in A$$

$$\sum_b \zeta_{bat} \leq capa \quad \forall a \in A, t \in T (21)$$

$$\sum_b \xi_{bzt} \leq capz \quad \forall z \in Z, t \in T (22)$$

$$\sum_b \alpha_{but} \leq capu \quad \forall u \in U, t \in T (23)$$

$$\sum_b \rho_{bztv} \leq cap_v \psi_{aztv} \quad \forall a \in A, z \in Z, t \in T, v \in V (24)$$

$$\sum_b \lambda_{bautv} \leq cap_v \pi_{autv} \quad \forall a \in A, u \in U, t \in T, v \in V (25)$$

$$\sum_b \theta_{bzutv} \leq cap_v S_{zutv} \quad \forall u \in U, z \in Z, t \in T, v \in V (26)$$

$$\sum_b \eta_{bzatv} \leq cap_v C_{zatv} \quad \forall a \in A, z \in Z, t \in T, v \in V (27)$$

$$\sum_j \sum_a \sum_t r_j a_{jav} A_{jatv} \leq COV_v \quad \forall v \in V (28)$$

$$\sum_j \sum_z \sum_t r_j z_{jzv} R_{jztv} \leq COV_v \quad \forall v \in V (29)$$

$$\sum_u \sum_z \sum_t r_u z_{uzv} Y_{uztv} \leq COV_v \quad \forall v \in V (30)$$

$$\sum_z \sum_a \sum_t r_a z_{zav} C_{zatv} \leq COV_v \quad \forall v \in V (31)$$

$$\sum_a \sum_u \sum_t r_a u_{auv} \pi_{autv} \leq COV_v \quad \forall v \in V (32)$$

$$\sum_z \sum_u \sum_t r_u z_{zuv} S_{zutv} \leq COV_v \quad \forall v \in V (33)$$

$$\sum_a \sum_z \sum_v r_a z_{azv} \psi_{aztv} \leq COV_v \quad \forall v \in V (34)$$

$$(35)$$

$$X_{ut}, E_{jt}, W_{lt}, Q_{at}, R_{jztv}, A_{jatv}, Y_{uztv}, \psi_{aztv}, \omega_{aat}, C_{zatv},$$

$$S_{zutv}, \gamma_{aat}, \pi_{autv} = \{0,1\} \quad \forall j \in J, a \in A, u \in U, z \in Z, b \in B, v \in V, t \in T \quad (36)$$

$$\delta_{bzt}, \beta_{bat}, \phi_{abb^*at}, \phi_{ubb^*ut}, \rho_{bavt}, \lambda_{bavt}, \mu_{bat}, \theta_{bzutv}, \eta_{bzutv}, \xi_{bzt}, \zeta_{bat}, \alpha_{but}, \Omega_{but}, \Lambda_{bat} \geq 0 \quad \forall j \in J, a \in A, u \in U, z \in Z, b \in B, v \in V, t \in T$$

رابطه (۱) اولین تابع هدف: تابع هدف هزینه می‌باشد که هدف آن کمینه کردن هزینه‌های کل زنجیره می‌باشد هزینه‌های این تابع شامل هزینه راه‌اندازی مراکز موقت جمع‌آوری خون، راه‌اندازی بیمارستان‌های صحرائی، برقراری مراکز دائم درمانی و برقراری مراکز دائم خون می‌باشد. بخش دوم شامل هزینه‌های عملیاتی جمع‌آوری خون، بخش سوم شامل هزینه‌های عملیاتی برای فرآوری خون، بخش چهارم شامل هزینه‌های سفر در بین مراکز توسط وسیله نقلیه v ، بخش پنجم هزینه‌های جایگزینی گروه‌های خونی، بخش ششم هزینه‌های نگهداری برای موجودی خون و بخش هفتم هزینه‌های جریمه کمبود خون در نظر گرفته شده‌اند.

رابطه (۲) دومین تابع هدف: تابع هدف زمان می‌باشد و هدف آن کمینه کردن کل زمان مربوط به زنجیره خون می‌باشد از جمله زمان‌های عملیاتی جمع‌آوری خون در کلیه مراکز دائم و موقت، زمان پردازش خون، زمان جایگزینی خون، زمان حمل و نقل خون میان مراکز، ترافیک (تأخیر در تحویل خون) و زمان جریمه کمبود می‌باشد.

رابطه (۳) حداکثر تعداد مراکز درمانی را مشخص می‌کند. رابطه (۴) حداکثر تعداد مراکز موقت جمع‌آوری خون را نشان می‌دهد. رابطه (۵) نشان‌دهنده حداکثر تعداد مراکز خون می‌باشد. رابطه (۶) نشان‌دهنده حداکثر تعداد بیمارستان‌های صحرائی است. رابطه (۷) مقدار خونی که در بیمارستان‌های صحرائی پردازش می‌شود را محدود به موجودی در دسترس می‌کند. رابطه (۸) مقدار خون پردازش شده را در مراکز خون اصلی به موجودی در دسترس محدود می‌کند. رابطه (۹) مقدار خونی را که نیاز به آزمایش‌های تکمیلی دارد و باید جهت پردازش مجدد از مرکز فرآوری بیمارستان‌های صحرائی به مراکز خون اصلی منتقل می‌شود را مشخص می‌کند. رابطه (۱۰) نشان‌دهنده تخصیص یک تسهیل خون از

مراکز موقت جمع‌آوری خون z در زمان t به یکی از مراکز فرآوری بیمارستان‌های صحرائی یا مراکز خون اصلی می‌باشد. رابطه (۱۱) مشخص می‌کند اگر خون از مراکز موقت جمع‌آوری خون z در زمان t با وسیله نقلیه v به بیمارستان صحرائی a یا مراکز خون اصلی منتقل شده است باید مراکز موقت جمع‌آوری خون z در زمان t استقرار یافته باشد. رابطه (۱۲) مشخص می‌کند اگر خون از مراکز درمانی u در زمان t با وسیله نقلیه v انتقال خون میان این مرکز و مراکز خون اصلی و یا بیمارستان‌های صحرائی a صورت گرفته باشد باید مراکز درمانی u در زمان t راه‌اندازی شده باشد. رابطه (۱۳) بیان می‌دارد اگر خون به بیمارستان‌های صحرائی وارد یا خارج و یا میان سطوح خود منتقل شده باشد باید بیمارستان صحرائی a در زمان t استقرار یافته باشد. رابطه (۱۴) نشان می‌دهد اگر خون از مراکز خون اصلی خارج یا وارد شده باشد باید مراکز خون اصلی z در زمان t راه‌اندازی شده باشد. رابطه (۱۵) موجودی خون در دوره جاری را با توجه به تقاضا و مقدار خون واردشده به مراکز درمانی u و موجودی دوره قبل مشخص می‌کند. رابطه (۱۶) موجودی خون در دوره جاری را با توجه به تقاضا و مقدار خون واردشده به بیمارستان صحرائی a و موجودی دوره قبل مشخص می‌کند (در محدودیت‌های ۱۵ و ۱۶ برای حفظ طراوت خون از تکنیک اولین صادره از اولین وارده^۱ استفاده شده است به صورتی که در پاسخ به تقاضا ابتدا موجودی دوره قبل مصرف می‌شود سپس خونی که در دوره جاری فرآوری شده است مصرف می‌شود). رابطه (۱۷) ثابت می‌کند اگر خون از سطح فرآوری به سطح توزیع همان بیمارستان صحرائی منتقل شده باشد حتماً بیمارستان صحرائی a استقرار یافته است. رابطه (۱۸) گارانتی می‌کند که سطح موجودی خون در مراکز خون اصلی در دوره قبل ($t-$) I بعلاوه مقدار خون فرآوری شده در مراکز خون اصلی z در دوره t منهای مقدار خون‌های ارسالی از مراکز خون اصلی z به مراکز درمانی u و بیمارستان‌های صحرائی a برابر است در دوره t با وسیله حمل و نقل v برابر است با سطح موجودی خون در مراکز خون اصلی z در دوره t . رابطه (۱۹) نشان‌دهنده برابری مقدار جایگزینی خون با مقدار خون‌های واردشده به مراکز درمانی u می‌باشد. رابطه (۲۰) نشان‌دهنده برابری مقدار جایگزینی خون

1. First In First Out (FIFO)

با مقدار خون‌های تخصیص داده شده به بیمارستان‌های صحرایی a می‌باشد. رابطه (۲۱) موجودی خون را بیمارستان‌های صحرایی a با توجه به ظرفیت ذخیره‌سازی‌شان محدود می‌کند. رابطه (۲۲) موجودی خون را در مراکز خون اصلی z با توجه به ظرفیت ذخیره‌سازی‌شان محدود می‌کند. رابطه (۲۳) موجودی خون را در مراکز درمانی u با توجه به ظرفیت ذخیره‌سازی‌شان محدود می‌کند. رابطه (۲۴) تا (۲۷) نشان‌دهنده حداکثر ظرفیت وسایل حمل‌ونقل خون می‌باشد. رابطه (۲۸) تا (۳۴) نشان‌دهنده حداکثر شعاع تحت پوشش وسایل نقلیه برای انتقال خون میان مراکز می‌باشد. رابطه (۳۵) متغیرهای صفر و یک را مشخص می‌کند و رابطه (۳۶) نشان‌دهنده متغیرهای بزرگ‌تر مساوی صفر می‌باشد.

روش حل

این بخش راه‌حل پیشنهادی را برای حل مدل ریاضی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط^۱ توضیح می‌دهد. دستیابی به یک راه‌حل بهینه برای مدل دو هدفه توسعه‌یافته که هر دو تابع هدف را به‌طور هم‌زمان با توجه به تضاد بین توابع هدف به حداقل می‌رساند غیرممکن است به همین دلیل می‌توان از روش‌های حل چندهدفه برای حل مسائل با در نظر گرفتن تضاد بین اهداف استفاده کرد. در این پژوهش از روش اپسیلون محدودیت تکامل‌یافته (AEC) (Esmaili, Amjady, & Shayanfar, 2011) برای حل ریاضی دو هدفه پیشنهادی استفاده شده است.

روش اپسیلون محدودیت تکامل‌یافته: در این روش، تمامی توابع هدف به‌غیر از یکی از آن‌ها ضمن تبدیل به محدودیت به آن‌ها وزن نیز داده می‌شود و با تعریف یک حد بالا برای توابع هدف تبدیل‌شده به محدودیت حل می‌گردد.

$$\begin{cases} \text{Min} f_1(x) - \sum_{i=2}^n \frac{w_i}{w_n} \phi_i s_i \\ f_i(x) + s_i = e_i \quad i = 2, 3, \dots, n \\ x \in X \\ s_i \geq 0 \end{cases}$$

اجرای مدل و تحلیل داده‌ها

مدل با استفاده از حل‌کننده CPLEX از طریق نرم‌افزار گمز بر روی رایانه‌ای با پردازنده ۳ گیگاهرتز و رم ۱۲۸ گیگابایت اجرا شد. پارامترهای مدل شبکه زنجیره تأمین خون که به طور تصادفی بر اساس توزیع یکنواخت تولید می‌شوند در جدول ۳ آورده شده است. جدول ۴ ماتریس اولویت‌بندی برای جایگزینی گروه‌های خونی را از طریق هزینه را نشان می‌دهد (Dillon et al., 2017). با توجه به اینکه استفاده از گروه‌های خونی جایگزین می‌تواند اثرات مخربی بر سلامت فرد داشته باشد، مهم است که جایگزینی خون بر اساس اولویت هزینه در نظر گرفته شود. علاوه بر این، گروه‌های خونی خاص برای سلامتی انسان مضرت‌ر هستند، اگرچه هنوز با جایگزینی سازگار هستند. جدول ۴ بر اساس شیوه‌های موجود در نیو ساوت ولز است (Abbasi, Vakili, & Chesneau, 2017).

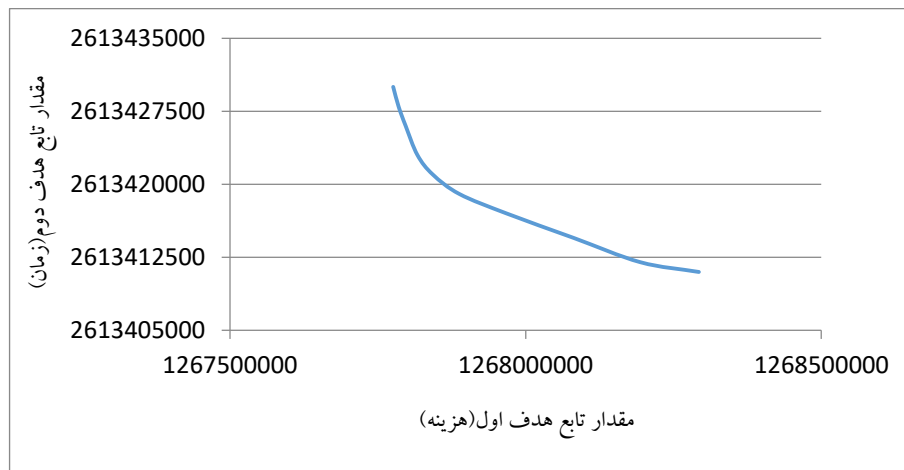
جدول ۳. مقدار پارامترها

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
F1	~Uniform (800000,1200000)	HE	~Uniform (400000,500000)
F2	~Uniform (120000,150000)	PE	~Uniform (700000,1000000)
F3	~Uniform (650000,850000)	capz	~Uniform (350,500)
F4	~Uniform (3500000,420000)	capa	~Uniform (200,300)
COU	~Uniform (500,800)	capu	~Uniform (220,275)
COJ	~Uniform (500,800)	HZ	~Uniform (500,1000)
COA	~Uniform (500800)	HA	~Uniform (650,1150)
CO1	~Uniform (1000,1200)	HU	~Uniform (550,1050)
CO2	~Uniform (1000,1200)	COV _{v2}	~Uniform (20,40)
TOU	~Uniform (5,10)	COV _{v1}	~Uniform (30,60)
TOJ	~Uniform (7,12)	COST _{v1}	~Uniform (1300,1500)
TOA	~Uniform (6,11)	COST _{v2}	~Uniform (350,500)
T00Z	~Uniform (10,15)	cap _{v2}	~Uniform (300,400)
T00A	~Uniform (12,17)	cap _{v1}	~Uniform (150,250)
RD	~Uniform (0.1,0.18)	TR _{v1}	~Uniform (1,1)
w1	0.5	TR _{v2}	~Uniform (2,4)
W2	0.5	W inf	0.5

جدول ۴. ماتریس اولویت‌بندی گروه‌های خونی

گروه‌های خونی	اولویت‌ها						
	1	2	3	4	5	6	7
A+	O -	O +	A -	A+	-	-	-
A-	O -	A-			-	-	-
B+	O -	O +	B-	B+	-	-	-
B-	O -	B-			-	-	-
AB+	O-	O+	B-	A-	B+	A+	AB+
AB-	O -	B -	A -	AB-	-	-	-
O+	O -	O+	-	-	-	-	-
O-	O-	-	-	-	-	-	-

تضاد توابع هدف. اگرچه مدل ریاضی دو هدفه با استفاده از روش اسپیلون محدودیت تکامل یافته به مدل تک هدفه تبدیل می‌شود، اما با استفاده از این روش می‌توان نقاط بهینه پارتو را به دست آورد. در شکل ۳ که نتایج حاصل از اجرای مثال عددی مسئله ۱ جدول ۵ نشان می‌دهد با کاهش مقدار تابع هدف اول (هزینه‌های شبکه)، مقدار تابع هدف دوم (زمان تحویل خون) افزایش یافته است که این نشان‌دهنده تضاد بین توابع هدف و در نهایت اعتبار مدل را اثبات می‌کند؛ بنابراین مدیران و تصمیم‌گیران می‌توانند با توجه به اهمیت هزینه‌ها و زمان تحویل خون تعادلی را در شبکه زنجیره تأمین خون ایجاد کنند.



شکل ۳. تضاد بین توابع هدف

آنالیز حساسیت

در این بخش، از آنالیز حساسیت به منظور بررسی تأثیر تغییرات وزن توابع هدف و نرخ ارجاع خون (پارامتر RD) بر مقادیر توابع هدف برای سه مثال عددی انجام شد. شایان ذکر است نتایج به دست آمده در جدول ۵ با در نظر گرفتن برابری وزن‌ها و ثابت بودن پارامترها نشان داده شده است.

تأثیر تغییرات وزن توابع هدف بر مقادیر توابع هدف

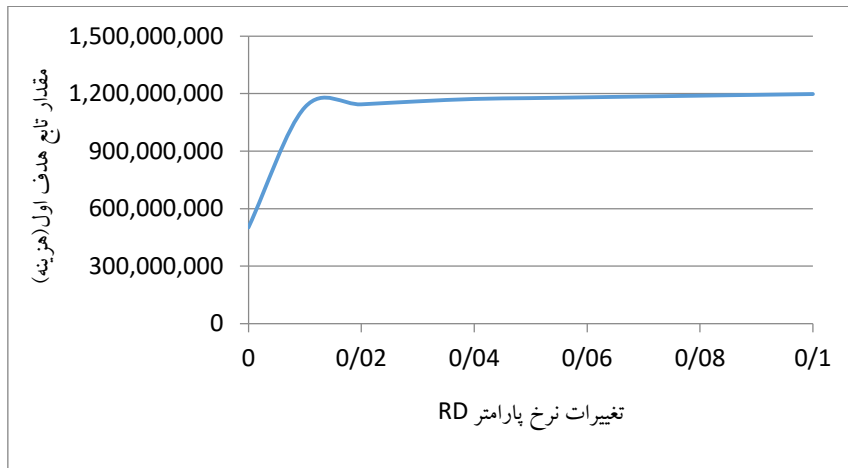
با تغییرات وزن توابع هدف نسبت به یکدیگر، روند تغییرات در مقادیر تابع هدف اول و دوم برای هر سه مسئله حل شده مشابه می‌باشد. به صورتی که با کاهش وزن تابع هدف اول از ۰٫۹ به ۰٫۱، مقادیر تابع هدف اول روند صعودی دارند و مقادیر تابع هدف دوم زمانی کاهش می‌یابند که وزن تابع هدف دوم از ۰٫۱ به ۰٫۹ افزایش یابد. نتایج تغییرات وزن توابع هدف بر روی مقادیر توابع هدف در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵. مقادیر توابع هدف با تغییر در وزن توابع هدف

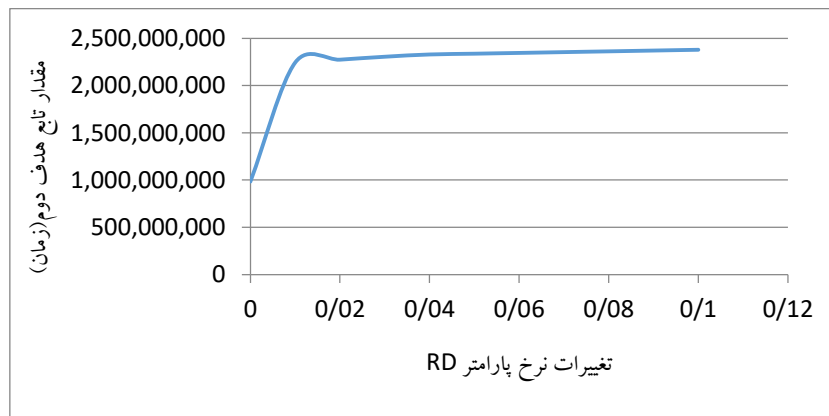
مسائل								
مسئله ۳		مسئله ۲		مسئله ۱				
P4-a-p3-z-p2-j-p1-u		P4-a-p3-z-p2-j-p1-u		P4-a-p3-z-p2-j-p1-u				
۲-۳-۲-۲-۲-۵-۲-۳		۳-۳-۲-۲-۳-۳-۳-۳		۳-۳-۵-۲-۵-۵-۳-۳				
ZW2	ZW1	ZW2	ZW1	ZW2	ZW1	W2	W1	تکرارها
۳۱۴۶۳۸۰۰۰	۱۵۷۹۴۹۵۰۰۰	۲۳۷۸۲۵۲۰۰۰	۱۱۹۷۷۲۹۰۰۰	۱۵۳۱۰۳۴۰۰۰	۷۷۶۹۹۲۵۰۰	۰٫۱	۰٫۹	۱
۳۱۴۶۳۷۶۰۰۰	۱۵۷۹۵۷۷۰۰۰	۲۳۷۸۲۵۰۰۰	۱۱۹۷۷۵۹۰۰۰	۱۵۳۱۰۳۰۰۰	۷۷۷۰۴۰۵۰۰	۰٫۲	۰٫۸	۲
۳۱۴۶۳۷۳۰۰۰	۱۵۷۹۶۷۷۰۰۰	۲۳۷۸۲۴۵۰۰۰	۱۱۹۷۹۱۸۰۰۰	۱۵۳۱۰۲۸۰۰۰	۷۷۷۰۷۳۵۰۰	۰٫۳	۰٫۷	۳
۳۱۴۶۳۶۹۰۰۰	۱۵۷۹۸۲۵۰۰۰	۲۳۷۸۲۴۳۰۰۰	۱۱۹۸۱۶۴۰۰۰	۱۵۳۱۰۱۸۰۰۰	۷۷۷۴۵۶۰۰۰	۰٫۴	۰٫۶	۴
۳۱۴۶۳۶۹۰۰۰	۱۵۷۹۸۲۵۰۰۰	۲۳۷۸۲۴۱۰۰۰	۱۱۹۸۱۸۶۰۰۰	۱۵۳۱۰۱۶۰۰۰	۷۷۷۵۲۸۵۰۰	۰٫۵	۰٫۵	۵
۳۱۴۶۳۶۹۰۰۰	۱۵۷۹۸۲۵۰۰۰	۲۳۷۸۲۴۰۰۰	۱۱۹۸۱۹۶۰۰۰	۱۵۳۱۰۱۵۵۰۰	۷۷۷۵۴۸۵۰۰	۰٫۶	۰٫۴	۶
۳۱۴۶۳۶۷۰۰۰	۱۵۷۹۸۵۵۰۰۰	۲۳۷۸۲۳۹۰۰۰	۱۱۹۸۲۰۵۰۰۰	۱۵۳۱۰۱۵۳۰۰	۷۷۷۵۷۹۵۰۰	۰٫۷	۰٫۳	۷
۳۱۴۶۳۶۵۰۰۰	۱۵۷۹۸۹۵۰۰۰	۲۳۷۸۲۳۸۰۰۰	۱۱۹۸۲۱۵۰۰۰	۱۵۳۱۰۱۵۰۰۰	۷۷۷۶۵۳۵۰۰	۰٫۸	۰٫۲	۸
۳۱۴۶۳۶۵۰۰۰	۱۵۷۹۸۹۵۰۰۰	۲۳۷۸۲۳۷۰۰۰	۱۱۹۸۲۲۵۰۰۰	۱۵۳۱۰۱۵۰۰۰	۷۷۷۶۵۳۵۰۰	۰٫۹	۰٫۱	۹

تأثیر تغییرات پارامتر RD بر مقادیر توابع هدف

به منظور بررسی تأثیر میزان ارجاع خون از بیمارستان‌های صحرائی به مراکز خون اصلی برای فرآوری مجدد (آزمایش‌های تکمیلی) بر مقادیر توابع هدف، مقدار پارامتر RD در محدوده (۰،۰۰۱) برای مسئله دوم جدول ۵ بررسی شده است. مطابق شکل ۴ و ۵، مقادیر تابع هدف اول و دوم با افزایش پارامتر RD افزایش یافت؛ بنابراین استقرار تجهیزات پیشرفته در سطوح فرآوری بیمارستان‌های صحرائی برای فرآوری واحدهای خونی منجر به کاهش هزینه‌ها و زمان تحویل خون در شبکه زنجیره تأمین خون می‌شود.



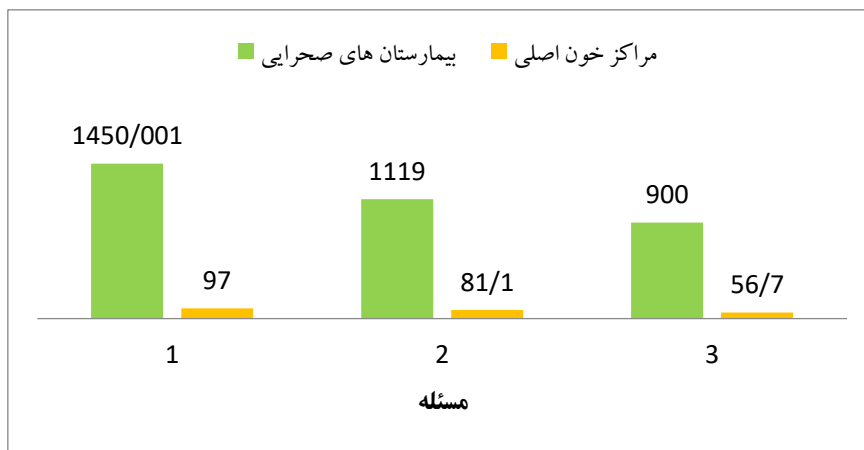
شکل ۴. مقادیر تابع هدف اول با تغییرات در پارامتر RD



شکل ۵. مقادیر تابع هدف دوم با تغییرات در پارامتر RD

مقدار خون فرآوری شده در بیمارستان‌های صحرایی و مراکز اصلی خون

مقدار کل خون فرآوری شده در بیمارستان‌های صحرایی و مراکز اصلی خون در دوره‌های زمانی برای سه مسئله جدول ۵ در وزن‌های برابر مقایسه شده‌اند. مطابق شکل ۶ میزان خون فرآوری شده در بیمارستان‌های صحرایی به‌طور قابل توجهی خیلی بیشتر از مراکز اصلی است. این موضوع حاکی از آن است که حذف هزینه و زمان انتقال خون در بیمارستان‌های صحرایی (به دلیل تمرکز سطوح جمع‌آوری، فرآوری و توزیع خون) باعث افزایش میزان خون فرآوری شده نسبت به مراکز خون اصلی (تسهیلات تک سطحی) شده که در نهایت کاهش هزینه‌های شبکه را نیز به دنبال دارد.

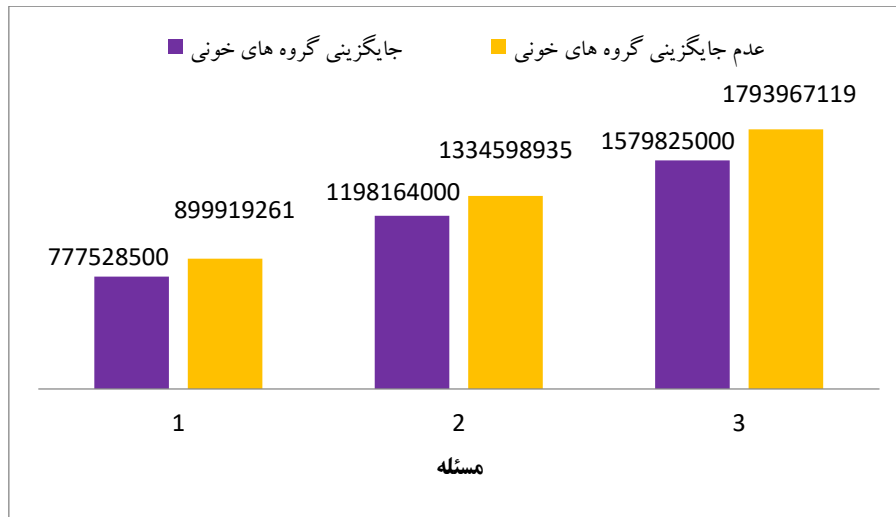


شکل ۶. مقدار کل خون فرآوری شده در بیمارستان‌های صحرایی و مراکز خون اصلی

جایگزینی گروه‌های خونی

این بخش به بررسی تأثیر جایگزینی گروه‌های خونی و عدم در نظر گرفتن جایگزینی گروه‌های خونی بر روی هزینه می‌پردازد. با در نظر گرفتن وزن برابر توابع هدف، مسائل جدول ۵ را به‌منظور تأثیر در نظر گرفتن جایگزینی و عدم در نظر گرفتن جایگزینی گروه‌های خونی روی هزینه‌های شبکه بررسی شد. با توجه به شکل ۷ نتایج نشان می‌دهد در نظر گرفتن جایگزینی گروه‌های خونی باعث کاهش هزینه‌ها می‌شود که در نهایت

کاهش کمبود خون در شبکه را به دنبال دارد.



شکل ۷. هزینه های شبکه با در نظر گرفتن و بدون در نظر گرفتن جایگزینی گروه های خونی

نگرش های مدیریتی. تمرکز سطوح جمع آوری، فرآوری و توزیع خون در تسهیلات، باعث شده تا میزان فرآوری و در نهایت توزیع خون را نسبت به تسهیلات تک سطحی افزایش دهد این موضوع سبب کاهش هزینه های شبکه و زمان تحویل خون می شود و می تواند برای بهینه سازی شبکه زنجیره تأمین خون مدنظر مدیران و تصمیم گیرندگان قرار گیرد.

توجه به جایگزینی گروه های خونی، تسهیلات پشتیبان، یکپارچه سازی شرایط قبل و بعد از بحران منجر به کاهش هزینه های شبکه می شود؛ به عبارت دیگر، کاهش هزینه جریمه برای کمبود خون باعث افزایش رضایت بیماران و کارایی شبکه می شود. همچنین در نظر گرفتن حمل و نقل اضطراری با توجه به ترافیک مسیر، سبب می شود تا برنامه ریزان بتوانند یک تعادلی را میان هزینه ها و زمان تحویل خون به خصوص در شرایط بحران بسته به درجه اهمیت برقرار نمایند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این مطالعه یک مدل ریاضی دو هدفه را برای شبکه زنجیره تأمین خون با یکپارچه‌سازی شرایط قبل و بعد از بحران ارائه می‌دهد. تصمیماتی برای استقرار چهار نوع تسهیلات اعم از مراکز موقت جمع‌آوری خون، بیمارستان‌های صحرائی، مراکز اصلی خون و مراکز درمانی در سه سطح جمع‌آوری، فرآوری و توزیع خون پیشنهاد شده است. علاوه بر این موجودی، تخصیص، جایگزینی گروه‌های خونی، کمبود خون، نحوه حمل‌ونقل، ترافیک مسیر (تأخیر در تحویل) برای چهار دوره ۲۴ ساعته در مدل در نظر گرفته شده است. برای اولین بار در این زمینه از دانش تمرکز سطوح در تسهیلات استفاده شده است به صورتی که سه سطح جمع‌آوری، فرآوری و توزیع خون در بیمارستان‌های صحرائی به‌طور هم‌زمان وجود دارد. این مسئله در یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط با دو تابع هدف برای به حداقل رساندن هزینه‌های سیستم و زمان تحویل خون فرمول‌بندی شده است. مدل پیشنهادی با استفاده از روش اپسیلون محدودیت تکامل یافته حل شد.

تجزیه و تحلیل حساسیت برای وزن توابع هدف و انجام آزمایش‌های تکمیلی (پارامتر RD) انجام شد. در تجزیه و تحلیل حساسیت بر روی وزن‌های توابع هدف نتایج نشان داد که کاهش وزن تابع هدف اول باعث کاهش زمان تحویل خون شد و هزینه شبکه با افزایش وزن تابع هدف دوم افزایش یافت. بررسی تأثیر کاهش میزان تست‌های اضافی (پارامتر RD) بر مقادیر توابع هدف ثابت می‌کند که تجهیزات پیشرفته در سایت‌های پردازش بیمارستان‌های صحرائی هزینه‌های شبکه و زمان تحویل خون را کاهش می‌دهد. این نتایج می‌تواند به ذینفعان کمک کند تا در مورد اهمیت درجه هزینه و زمان شبکه تصمیم بگیرند. در مقایسه تسهیلات با سطوح متمرکز و تسهیلات تک سطحی نتایج به‌دست آمده نشان داد که میزان کل خون فراوری شده در بیمارستان‌های صحرائی به‌طور میانگین برای هر مسئله به مقدار ۱۰۷۸ واحد بیشتر از مراکز خون اصلی می‌باشد و در نهایت در نظر گرفتن جایگزینی گروه‌های خونی نیز به‌طور متوسط در هر مسئله هزینه‌های شبکه را به میزان ۱۲٪ کاهش داد که نشان می‌دهد تمرکز سطوح در تسهیلات و جایگزینی

گروه‌های خونی کارایی و اثربخشی شبکه زنجیره تأمین خون را افزایش می‌دهند. بررسی موضوعات جالب پژوهشی برای تحقیقات آتی کار حاضر: در نظر گرفتن هزینه جریمه و جایگزینی روش‌های حمل‌ونقل به دلیل عدم دسترسی به وسیله نقلیه مناسب، احتمال خرابی در انتقال خون توسط روش‌های حمل‌ونقل، محاسبه تعداد وسایل نقلیه موردنیاز، بررسی اثرات فسادپذیری خون بر روی مدل، افزودن فرآورده‌های خونی مختلف به مدل از جمله پلاکت، پلاسما، لحاظ عدم قطعیت در تأمین و تقاضای خون و درنهایت استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری برای کاهش زمان حل و مدل با مقیاس بزرگ مفید واقع می‌گردد.

تعارض منافع ندارم.

این پژوهش برگرفته از رساله دکتری می‌باشد.

ORCID

Mohsen Jmai

Hamidreza Izadbakhsh

Alireza Arshadi Khamseh



<https://orcid.org/0000-0002-2737-8711>



<https://orcid.org/0000-0001-9068-6883>



<https://orcid.org/0000-0002-6590-6992>

References

- Abbasi, B., Vakili, G., & Chesneau, S. (2017). Impacts of reducing the shelf life of red blood cells: A view from down under. *Interfaces*, 47(4), 336-351 .
- Asadpour, M., Boyer, O., & R Tavakkoli-Moghaddam, R. (2020). Designing blood supply chain network in disaster situation considering blood groups and expiration date.
- Cheraghi, S., & Hosseini-Motlagh, S.-M. (2020). Responsive and reliable injured-oriented blood supply chain for disaster relief: a real case study. *Annals of operations research*, 291(1), 1.۱۶۷-۲۹
- Dillon, M., Oliveira, F., & Abbasi, B. (2017). A two-stage stochastic programming model for inventory management in the blood supply chain. *International Journal of Production Economics*, 187, 27-41.
- Doodman, M., & Bozorgi Amiri, A. (2020). Integrate Blood Supply Chain Network Design with Considering Lateral Transshipment under Uncertainty. *Journal of Industrial Management Perspective*, 9(4, Winter 2020), 9-40.
- Esmaili, M., Amjady, N., & Shayanfar, H. A. (2011). Multi-objective congestion management by modified augmented ϵ -constraint method. *Applied Energy*, 88(3), 755-766.
- Gunpinar, S., & Centeno, G. (2015). Stochastic integer programming models for reducing wastages and shortages of blood products at hospitals. *Computers & Operations Research*. ۱۴۱-۱۲۹, ۵۴ ,
- Habibi-Kouchaksaraei, M., Paydar, M. M., & Asadi-Gangraj, E. (2018). Designing a bi-objective multi-echelon robust blood supply chain in a disaster. *Applied Mathematical Modelling*, 55, 583-599.
- Haghjoo, N., Tavakkoli-Moghaddam, R., Shahmoradi-Moghadam, H., & Rahimi, Y. (2020). Reliable blood supply chain network design with facility disruption: A real-world application. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 90, 103493.
- Hamdan, B., & Diabat, A. (2019). A two-stage multi-echelon stochastic blood supply chain problem. *Computers & Operations Research*, 101, 130-143.
- Heidari-Fathian, H., & Pasandideh, S. H. R. (2018). Green-blood supply chain network design: Robust optimization, bounded objective function & Lagrangian relaxation. *Computers & Industrial Engineering*, 122, 95-105.
- Hosseini-Motlagh, S.-M., Samani, M. R. G., & Homaei, S. (2020). Blood supply chain management: robust optimization, disruption risk, and blood group compatibility (a real-life case). *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 11(3), 1085-1104.
- Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., & Seuring, S. (2014). Dynamic supply chain

- network design for the supply of blood in disasters: A robust model with real world application. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 70, 225-244.
- Kazemi, Z., Homayounfar, M., Fadaei, M., Soufi, M., & Salehzadeh, A. (2022). Multi-Objective Optimization of Blood Products Supply Network to Minimize Delivery Time and Non-Estimated Hospital Demand. *Journal of healthcare management*, 12(4), 63-80.
- Khalilpourazari, S., & Hashemi Doulabi, H. (2022). A flexible robust model for blood supply chain network design problem. *Annals of operations research*, 1-26.
- Khalilpourazari, S., & Khamseh, A. A. (2019). Bi-objective emergency blood supply chain network design in earthquake considering earthquake magnitude: a comprehensive study with real world application. *Annals of operations research*, 283(1), 355-393.
- Khalilpourazari, S., Soltanzadeh, S., Weber, G.-W & Roy, S. K. (2020). Designing an efficient blood supply chain network in crisis: neural learning, optimization and case study. *Annals of operations research*, 289(1), 123-152.
- kouchaki tajani, t., Mohtashami, A., Amiri, m., & Ehtesham Rasi, R. (2022). Design of Blood Supply Chain Optimization Model Using Fuzzy Approach and Markov Chain under Demand and Supply Uncertainty. *Industrial Management Studies*, -. doi:10.22054/jims.2022.57027.2575
- Meneses, M., Santos, D., & Barbosa-Póvoa, A. (2022). Modelling the Blood Supply Chain—From Strategic to Tactical Decisions. *European Journal of Operational Research*.
- Pierskalla, W. P. (2005). Supply chain management of blood banks *Operations research and health care* (pp. 103-145): Springer.
- Rahmani, D. (2019). Designing a robust and dynamic network for the emergency blood supply chain with the risk of disruptions. *Annals of operations research*, 283(1), 613-641. doi:10.1007/s10479-018-2960-6
- Razavi, N., Gholizadeh, H., Nayeria, S., & Ashrafi, T. A. (2020). A robust optimization model of the field hospitals in the sustainable blood supply chain in crisis logistics. *Journal of the Operational Research Society*, 1-26.
- Salehi, F., Allahyari Emamzadeh, Y., Mirzapour, A.-E., Hashem, S. M. J., & Shafiei Aghdam, R. (2021). An L-Shaped Method to Solve a Stochastic Blood Supply Chain Network Design Problem in a Natural Disaster. *Advances in Industrial Engineering*, 55(1), 47-68.
- Samani, M. R. G., Hosseini-Motlagh, S.-M., & Ghannadpour, S. F. (2019). A multilateral perspective towards blood network design in an

- uncertain environment: Methodology and implementation. *Computers & Industrial Engineering*, 130, 450-471.
- Samani, M. R. G., Torabi, S. A., & Hosseini-Motlagh, S.-M. (2018). Integrated blood supply chain planning for disaster relief. *International journal of disaster risk reduction*, 27, 168-188.
- Sibevei, A., Azar, A., & Zandieh, M. (2022). Developing a Two-stage Robust Stochastic Model for Designing a Resilient Blood Supply Chain Considering Earthquake Disturbances and Infectious Diseases. *Industrial Management Journal*, 13(4), 664-703.
- Yaghobi, S., & Kamvar, M. (2017). Management of Products Consumption in Blood Supply Chain Considering Lateral Transshipment between Hospitals. *Industrial Management Studies*, 15(47), 93-119 . doi:10.22054/jims.2017.8118
- yyyyyyy, m. (2019). Reducing the cost of wastage and shortage of hospitals' blood products with regard to the compatibility of blood groups. *Industrial Management Studies*, 17(53), 1-31. doi:10.22054/jims.2017.16777.1598

استناد به این مقاله: جامی، محسن، ایزدبخش، حمیدرضا، ارشدی خمسه، علیرضا. (۱۴۰۱). توسعه یک شبکه زنجیره تأمین خون یکپارچه در شرایط بحران با در نظر گرفتن تمرکز سطوح در تسهیلات و جایگزینی گروه‌های خونی، فصلنامه مطالعات مدیریت صنعتی، ۲۰(۶۷)، ۵۱-۸۴

DOI: 10.22054/jims.2022.67909.2789



Industrial Management Studies is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.