Journal of Industrial Innovations 1(3) (2023) 255 – 270

Industrial Innovations

https://jii.araku.ac.ir

ISSN: 2980-8847

Presenting a Bi- objective Integrated Model of Blood Supply Chain Network Design with the Approach of Increasing the Quality of Products

Fateme Rashidian [a*]

[a] Ph.D student, industrial engineering, Faculty of Engineering, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran.

Original Article

Use your device to scan and read the article online

Citation: Rashidian F, Presenting a Bi- objective Integrated Model of Blood Supply Chain Network Design with the Approach of Increasing the Quality of Products. Industrial Innovations. 2023;1(3):255-270

https://doi.org/10.61186/jii.1.3.255

KEYWORDS

Supply chain network design;
Quality of products;
LP- metric algorithm.

ABSTRACT

The blood supply chain plays an essential role in the health supply chain network, especially when a disaster occurs, the need for a sufficient blood supply chain to improve the condition of patients increases greatly. Therefore, paying attention to the existing requirements in the network design plays an important role in improving the service sector as much as possible. Blood transfusion is a complex process that carries the risk of reduced quality at every step, from donors to patients. Therefore, maintaining a high quality of blood products is crucial in the supply chain. Additionally, the transportation of blood products is costly due to specialized equipment. This paper presents a bi-objective model for designing a blood supply chain network. The first objective is to minimize costs, while the second objective is to maximize the quality of the blood products. A preliminary model is introduced, taking into account critical parameters. The proposed method is tested and validated through a case study of a blood network. The results show that the cost objective function is 42 units for small problems and 664 units for medium problems, while the objective function for blood quality is also considered in the same solutions. The LP- metric algorithm provides acceptable Pareto solutions, with efficiency of 1678 units for small problems and 24392 units for medium problems. In the case of small problems, all donors go to the main center, while for medium problems, temporary centers are established in addition to the main centers during certain time periods.

Extended Abstract

1. Introduction

The perishable nature of blood products should be taken into consideration throughout the entire blood supply chain, including production and transportation, especially during transportation. It is important to be cautious during transportation because blood products have a limited time life. Using improper storage devices can increase the risk of bacterial contamination, decrease the viability of blood products and ultimately lower their quality. Therefore, this study aims to minimize overall costs, such as building blood centers, establishing temporary facilities, and transportation costs, while maximizing the quality of blood products. To achieve it, a mixed integer linear programming (MILP) model is proposed.

* Corresponding author.
E-mail address: f_rashidian89@yahoo.com
DOI: https://doi.org/10.61186/jii.1.3.255
Received: November 1, 2023; Received in revised form: December 4, 2023; Accepted: December 12, 2023
Article type: Research Paper
©Author

2. **Modeling and formulation**

In this section, we introduce a mathematical model called bi-objective mixed integer programming (MIP) model. The model aims to achieve two objectives: minimizing overall costs and maximizing the quality of the products being transferred.

$$Min\ Z_1 = \sum_{j1,j2,t} y_{j1,j2,t}\, c_{j1,j2} + \sum_{k} z_k\, c_k^{''} + \sum_{j,k,t} s_{jkt}^{''} c_{jk}' \quad (1)$$

$$Maxz_2 = \sum_{k,h,t,e} R_{khe}' * p_{khte} \quad (2)$$

$$\sum_{j1} y_{j1,j2,t} \le 1 \quad (3)$$

$$\sum_{j1 \ne j2} y_{j1,j2,t} = P \quad (4)$$

$$\sum_{j2} y_{j1,j2,t} \le \sum_{j} y_{j,j1,t-1} \quad \forall j1, t \ge 2 \quad (5)$$

$$\sum_{j} x_{ijt} + \sum_{k} x_{ikt}' \le 1 \quad \forall i, t \quad (6)$$

$$x_{ijt} r_{ij} \le r_0 \sum_{j1} y_{j1,j,t} \quad \forall i, j, t \quad (7)$$

$$x_{ikt}' w_{ik} \le w_0 z_k \quad \forall i, k, t \quad (8)$$

$$x_{jkt}^{''} q_{jk} \le q_0 z_k \quad \forall j, k, t \quad (9)$$

$$u_{khte} * f_{kh} \le f_0 \quad \forall k, h, t, e \quad (10)$$

$$xx_{kdt} * b_{kd} \le b_0 \quad \forall k, d, t \quad (11)$$

$$s_{ijt} \le M x_{ijt} \quad \forall i, j, t \quad (12)$$

$$s_{ikt}' \le M x_{ikt}' \quad \forall i, k, t \quad (13)$$

$$s_{jkt}^{''} \le M x_{jkt}^{''} \quad \forall j, k, t \quad (14)$$

$$\sum_{i} s_{ikt}' + \sum_{j} s_{jkt}^{''} \le V_k \quad \forall k, t \quad (15)$$

$$\sum_{j} s_{ijt} + \sum_{k} s_{ikt}' \le d_{it} \quad \forall i, t \quad (16)$$

$$\sum_{i} s_{ijt} \le u_0 \quad \forall j, t \quad (17)$$

$$x_{jkt}^{''} \le \sum_{j1} y_{j1,j,t} \quad \forall j, k, t \quad (18)$$

$$\sum_{h,e} p_{khte} \le \sum_{i} s_{ikt}' + \sum_{j} s_{jkt}^{''} \quad \forall k, t \quad (19)$$

$$\sum_{i} s_{ijt} = \sum_{k} s_{jkt}^{''} \quad \forall j, t \quad (20)$$

$$u_{khte} * a_{kh} \le a_0 \quad \forall k, h, t, e \quad (21)$$

$$xx_{kdt} * l_{kd} \le l_0 \quad \forall k, d, t \quad (22)$$

$$\sum_{k,e} p_{khte} = De_{ht} \quad \forall h, t \quad (23)$$

$$\sum_{k,d} ss_{kdt} = \sum_{i,k} s_{ikt}' + \sum_{j,k} s_{jkt}^{''} - \sum_{k,h,e} p_{khte} \quad \forall t \quad (24)$$

$$p_{khte} = 0 | t_e' < a_{kh} \quad \forall k, h, t, e \quad (25)$$

$$xx_{kdt} > 0 \ | t_e' < a_{kh} \quad \forall k, h, d, t, e \quad (26)$$

$$p_{khte} \le M * u_{khte} \quad \forall k, h, t, e \quad (27)$$

$$\sum_{e} u_{khte} \leq 1 \qquad \forall k,h,t \qquad (28)$$

$$x_{ijt}, x'_{ikt}, x''_{jkt}, y_{j1,j2,t}, z_k, u_{khte}, xx_{kdt} \in \{0,1\} \qquad \forall i,j,k,t \qquad (29)$$

$$s_{ijt}, s'_{ikt}, s''_{jkt}, p_{khte}, ss_{kdt}, P \geq 0, integer \qquad \forall i,j,k,t \qquad (30)$$

3. **Implementation of the model and analysis**

In order to validate the accuracy of the presented model, two problems with small and medium scales respectively with the dimensions (|I|*|J|*|K|*|T|*|H|*|D|*|E|= 4*3*3*2*3*2*2) and (|I|*|J|*|K|*|T|*|H|*|D|*|E|=14*15*6* 8*11*4*2) has been solved by Games software.

In Figure 3, out of the three possible locations for establishing main centers, only the first location was chosen for blood collection. Temporary centers were not selected. As a result, donors only go to main center number 1 to meet the demand in all periods. Additionally, mini refrigerators are sufficient for transporting blood packages to hospitals, eliminating the need for cold boxes. There is no spoiled blood during transport, so there is no need to transfer blood from hospitals to destruction centers at any time.

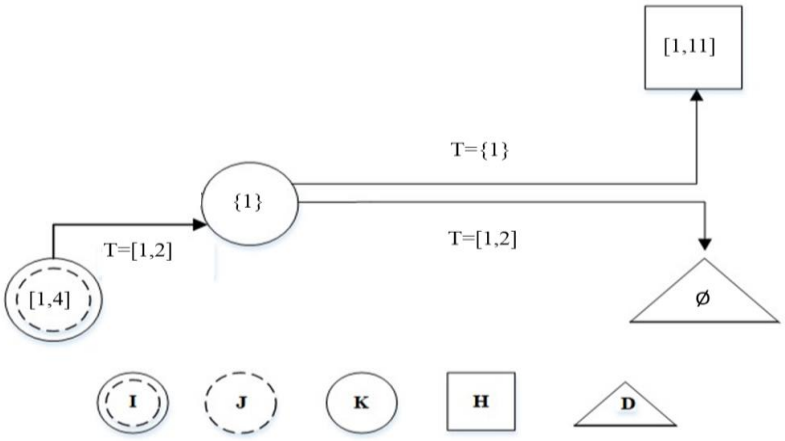


Figure 1 The final solution to the problem in small dimensions

In Figure 4, out of the six possible locations for main centers, the first, fourth, and fifth locations were chosen. The first and fourth temporary centers were also selected to partially meet the demand in the second and third periods. Donors still go to main center number 1 to meet the remaining demand in these two periods and other periods. Again, mini refrigerators are used to transport blood packages to hospitals, and there is no spoiled blood during the supply chain, leading to no transfer of blood from hospitals to destruction centers.

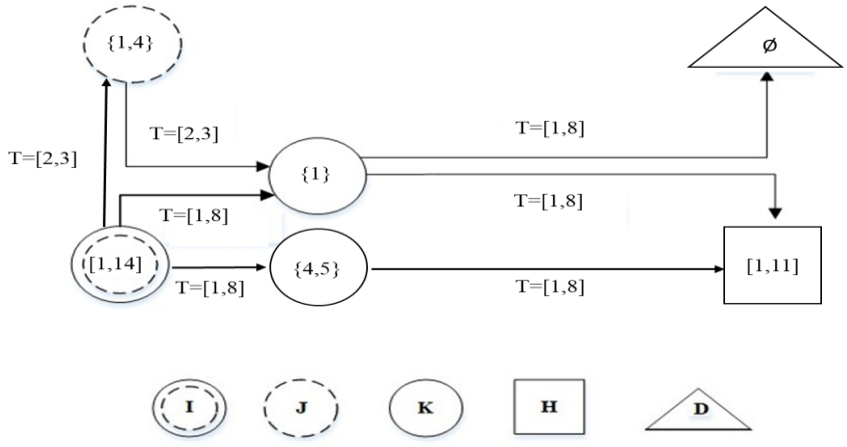


Figure 2 The final solution to the problem in mid dimensions

4. **Conclusion**

This research paper introduces a comprehensive three-level MILP model that encompasses the collection and distribution stages. The goal is to ensure the efficient provision of high-quality blood for patients in a healthcare system. To achieve this, a bi-objective model is developed, aiming to minimize total costs while maximizing the quality of blood products during transportation. The model also takes into account two different storage technologies and determines their optimal allocation to different blood products.

The findings indicate that using mini refrigerators alone is sufficient for transporting blood packages to hospitals, eliminating the need for cold boxes. Moreover, by carefully managing the longevity of the blood packs and addressing the possibility of spoilage, all hospitals' demands are met promptly. As a result, there is no spoiled blood transferred to any destruction centers.

نوآوری‌های صنعتی، دوره ۱، شماره ۳، سال ۱۴۰۲، صفحات ۲۵۵ تا ۲۷۰

نوآوری‌های صنعتی

شاپا: ۸۸۴۷-۲۹۸۰

ارائه مدل یکپارچه دو هدفه طراحی شبکه زنجیره تأمین خون با رویکرد افزایش کیفیت محصولات

فاطمه رشیدیان [الف*]

[الف] دانشجوی دکترا، مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران. f_rashidian89@yahoo.com

واژگان کلیدی

زنجیره تـأمین خـون؛ کیفیت محصولات؛ روش معیار جامع.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۱

چکیده

زنجیره تأمین خون نقش اساسی را در شبکه زنجیره تأمین سلامت ایفا می‌کند. انتقال خون یک فرآیند چند سطحی است که در هر فرآیند از اهداکنندگان گرفته تا انتقال خون به بیمار، با ریسک کاهش کیفیت مواجه است. بنابراین کیفیت محصولات خونی نقش اساسی را در زنجیره تأمین دارد. همچنین انتقال محصولات خونی، به دلیل استفاده از وسایل حمل ویژه بسیار گران‌قیمت است. در این مقاله یک مدل دو هدفه یکپارچه برای طراحی شبکه زنجیره تأمین خون ارائه‌شده است. تابع هدف اول سعی می‌کند کل هزینه شبکه را به حداقل برساند، درحالی‌که تابع هدف دوم به دنبال به حداکثر رساندن ضریب کیفیت محصولات خونی است. کاربرد و عملکرد روش پیشنهادی و اعتبار سنجی آن‌ها در قالب مطالعه موردی از شبکه خونی موردبررسی قرارگرفته است. نتیجه نهایی حاکی از آن است که مقدار تابع هدف هزینه دریکی از جواب‌های کارای جبهه پارتوی الگوریتم معیار جامع در مساله با ابعاد کوچک برابر ۴۲ واحد و در مساله با ابعاد متوسط برابر ۶۶۴ واحد و مقدار تابع هدف کیفیت خون نیز در همان جواب کارای پارتویی الگوریتم معیار جامع در مساله با ابعاد کوچک برابر ۱۶۷۸ واحد و در مساله با ابعاد متوسط برابر ۲۴۳۹۲ واحد شد که یک جواب پارتویی قابل‌قبول برای این مساله است. همچنین در مساله با ابعاد کوچک، تمام اهداکنندگان تنها به مرکز اصلی شماره یک مراجعه می‌کنند، درحالی‌که در مساله با ابعاد متوسط علاوه بر مراکز اصلی، تعدادی از مراکز موقت نیز می‌بایست در برخی دوره‌های زمانی تأسیس شود.

۱- مقدمه

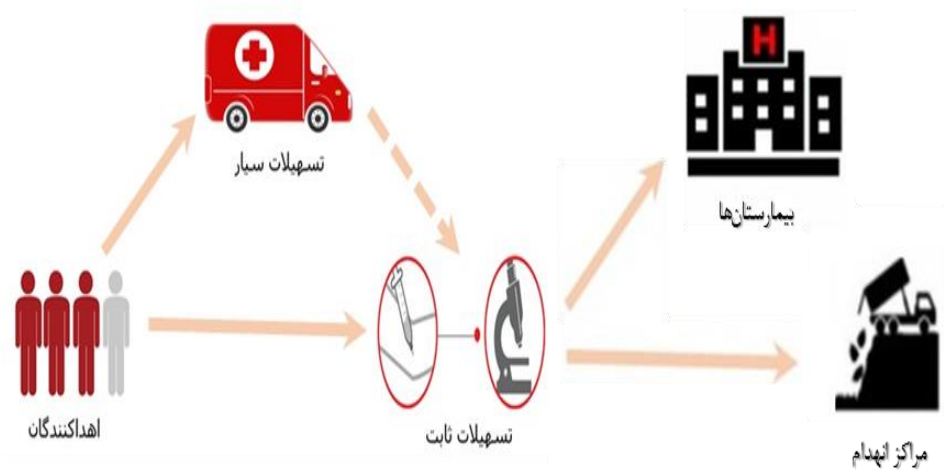
زنجیره تأمین خون نقش کلیدی را در سیستم‌های سلامت ایفا می‌کند. هر پیشرفتی که در مدیریت این زنجیره اتفاق بیفتد، تأثیر مستقیمی بر عرضه خون به‌عنوان یک کالای حیاتی خواهد داشت. ایجاد یک شبکه بهینه برای جمع‌آوری و توزیع خون به‌عنوان بخشی از زنجیره تأمین خون، منجر به بهینه‌سازی طراحی شبکه این زنجیره خواهد شد [۱]. زنجیره تأمین خون از دیدگاه استراتژیک دارای جایگاه ویژه‌ای در سیستم‌های سلامت است. خون و فرآورده‌های آن برای درمان بیماری‌هایی ازجمله سرطان، تالاسمی و کم‌خونی موقت مهم است. علاوه بر این، مدیریت فرآورده‌های خونی، از اهداکننده تا انتقال خون به بیمار، به دلیل نادر بودن و طول عمر محدود خون، پیچیده است. ازاین‌رو، مدیریت صحیح زنجیره تأمین خون نقش اساسی در بهبود شبکه خون دارد و باعث افزایش ایمنی بیماران می‌شود.

شکل ۱ شمایی از مسئله موردبررسی را ارائه می‌کند که شامل گروه‌های اهداکننده، تسهیلات جمع‌آوری، بیمارستان‌ها و

* نویسنده مسئول؛

آدرس پست الکترونیک: f_rashidian89@yahoo.com

مراکز انهدام است. همچنین تسهیلات ثابت آزمایشگاهی جهت بررسی سطح کیفیت خون دریافت شده در نظر گرفته می‌شود [۲].



شکل ۱ شمای کلی از مساله موردبررسی

روند شبکه زنجیره تأمین خون با اهدای خون توسط اهداکنندگان در تسهیلات موقت یا ثابت آغاز می‌شود. در اینجا لازم به ذکر است که مراکز خون به دودسته طبقه‌بندی می‌شوند: ۱- تسهیلات موقت برای جمع‌آوری خون. ۲- تسهیلات ثابت برای جمع‌آوری خون و مجهز به فناوری‌ها و آزمایشگاه‌های پیشرفته برای تست، تولید و توزیع فرآورده‌های خونی است. این دو نوع تسهیلات در ظرفیت با یکدیگر متفاوت هستند (ظرفیت تسهیلات ثابت بیشتر از تسهیلات موقت است). بعلاوه، مکان تسهیلات ثابت در هر دوره غیرقابل تغییر بوده درصورتی‌که مکان تسهیلات موقت در هر دوره با پرداخت هزینه‌ای اضافه‌تر می‌تواند تغییر کند.

این هزینه به حجم تقاضا و نیز موقعیت جغرافیایی تقاضا در هر دوره وابسته است. همچنین هزینه‌ای که احداث تسهیلات ثابت در پی دارد بیشتر از تسهیلات موقت است. تأمین‌کنندگان اولیه این شبکه که همان اهداکنندگان می‌باشند با مراجعه به یکی از تسهیلات موقت یا ثابت اقدام به اهدای خون می‌کنند. سپس، خون‌های جمع‌آوری‌شده در انتهای هر دوره از تسهیلات موقت به تسهیلات ثابت منتقل می‌شوند [۲]. درنهایت خون جمع‌آوری‌شده سالم در تسهیلات ثابت توسط جعبه‌های سرد یا مینی یخچال‌ها به بیمارستان‌ها منتقل می‌شوند و خون فاسد شده جهت دورریز به مراکز انهدام منتقل می‌شود [۳].

با بررسی زنجیره تأمین این محصولات، عامل فسادپذیری باید از زمان تولید تا انتقال به بیماران، خصوصاً در طی حمل‌ونقل موردتوجه قرار گیرد. ازآنجاکه محصولات دریافت شده از مراکز خون برای مدت طولانی قابل‌استفاده نیست، درنظرگرفتن آن در طی حمل‌ونقل نیاز به توجه ویژه دارد. استفاده از وسایل ذخیره‌سازی نامناسب می‌تواند خطر آلودگی باکتریایی را برای محصولات خونی ایجاد کرده، فاکتورهای حیاتی آن‌ها را کاهش داده و درنهایت کیفیت آن‌ها را کاهش دهد [۴]. درنتیجه به حداقل رساندن هزینه کل مانند هزینه‌های ساخت مراکز خون، هزینه‌های تأسیس تسهیلات موقت و هزینه‌های حمل‌ونقل و به حداکثر رساندن کیفیت فرآورده‌های خونی از اهداف اصلی این مطالعه در نظر گرفته‌شده است. برای دستیابی به این هدف، یک مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط عدد صحیح (MILP[1]) ارائه‌شده است.

شا و هوانگ (۲۰۱۲) باهدف به حداقل رساندن هزینه کل و تقاضای ارضا نشده یک الگوریتم ابتکاری مبتنی بر رویکرد آزادسازی لاگرانژ تهیه کردند و کاربرد این مدل را از طریق مطالعه موردی در پکن ارائه دادند [۵]. ظهیری و همکاران (۲۰۱۴) به حداقل رساندن هزینه کل را به‌عنوان تنها تابع هدف در نظر گرفتند. آن‌ها از یک رویکرد برنامه‌نویسی تصادفی دومرحله‌ای

[1]. Mixed Integer Linear Programming

با پارامترهای نامعین استفاده کردند [۶]. ظهیری و همکاران (۲۰۱۵) مجموعه‌ای از یک شبکه خون را موردبررسی قراردادند و مدلی را برای ایجاد و تخصیص مراکز موقت و ثابت پیشنهاد دادند و اهداکنندگان را به محل‌های انتقال خون اختصاص دادند. آن‌ها برخی پارامترهای ورودی را نامعین در نظر گرفتند و از رویکرد فازی- روباست برای مقابله با عدم قطعیت استفاده کردند. سرانجام، آن‌ها یک مطالعه موردی واقعی در شهر بابل را برای ارزیابی مدل پیشنهادی در نظر گرفتند [۷].

ظهیری و پیشوائی (۲۰۱۷) یک مدل یکپارچه برای طراحی BSCN[۲] معرفی کردند و سازگاری گروه‌های خونی را در این مدل در نظر گرفتند. آن‌ها به ارائه یک مدل دو هدفه پرداختند که تابع هدف اول هزینه کل شبکه را به حداقل می‌رساند و تابع هدف دوم حداکثر تقاضای ارضا نشده را به حداقل می‌رساند. آن‌ها برای مقابله با پارامترهای غیرقطعی از رویکرد فازی-روباست استفاده کردند، سپس این مدل را با استفاده از یک مطالعه موردی از استان مازندران ارزیابی کردند [۸]. سامانی و حسینی-مطلق (۲۰۱۸) اختلال و عدم اطمینان در زمینه BSC را در نظر گرفتند. به‌منظور همکاری در فرآیند تولید و همچنین کاهش وقفه، فرآیند سلسله مراتبی تحلیلی فازی با تجزیه‌وتحلیل منطقی خاکستری در نظر گرفته شد. علاوه بر این، برای مقابله با خطرات ناشی از بلایای طبیعی و پارامترهای عدم قطعیت، یک رویکرد روباست ارائه‌شده است [۹].

در مطالعه‌ای دیگر یک شبکه زنجیره تأمین خون پویا توسط رحمانی (۲۰۱۹) در شرایط وجود اختلال ارائه‌شده است. به دلیل مدیریت ریسک اختلال در زنجیره تأمین، از روش p -robust استفاده‌شده است. علاوه بر این، پارامترهای غیرقطعی توسط یک روش بهینه‌سازی روباست کنترل می‌شوند. همچنین، برای حل مدل از روش آزادسازی لاگرانژ استفاده‌شده است [۱۰]. سامانی و حسینی مطلق (۲۰۱۹) یک مدل دو هدفه یکپارچه را برای طراحی شبکه زنجیره تأمین خون ارائه دادند. تابع هدف اول سعی می‌کند تا کل هزینه شبکه را به حداقل برساند، درحالی‌که هدف دوم به دنبال به حداکثر رساندن ضریب کیفیت است. با توجه به عدم قطعیت شناختی پارامترهای حیاتی، یک روش فازی و همچنین برخی رویکردهای استوار را معرفی کردند و کاربرد و عملکرد روش‌های پیشنهادی و اعتبار سنجی آن‌ها را در یک مورد واقعی از شبکه خونی تهران موردبررسی قراردادند [۱۱].

حق جو و همکاران (۲۰۲۰) یک شبکه زنجیره تأمین خون مطمئن را در شرایط وقوع فاجعه ارائه دادند. به دلیل عدم قطعیت در وقوع اختلال در مراکز توزیع و مقادیر تقاضا از یک رویکرد استوار- سناریو محور استفاده نمودند و جهت حل مساله موردنظر از روش‌های حل فرا ابتکاری استفاده کردند [۱۲]. اسلامی پور و نوبری (۲۰۲۳) یک مدل دوهدفه جهت طراحی یک شبکه زنجیره تأمین پایدار و مطمئن خون ارائه دادند. آن‌ها عدم قطعیت در مقادیر تقاضا را با در نظر گرفتن مفهوم قابلیت اطمینان پوشش دادند و جهت حل مساله از روش‌های حل CPLEX و ICA[۳] استفاده نمودند [۱۳].

به‌منظور مقایسه مقاله موردنظر با سایر مقالات، خلاصه‌ای از پژوهش‌های انجام‌شده تاکنون در قالب جدول۱ آورده شده است.

جدول ۱ خلاصه مرور ادبیات

روش حل	مطالعه موردی	توابع هدف	فسادپذیری محصول	وسیله نقلیه ناهمگن	نام نویسنده (سال)
آزادسازی لاگرانژ	شهر پکن	حداقل رساندن هزینه کل و تقاضای ارضا نشده	-	-	شاو و هوانگ (۲۰۱۲)
CPLEX	شهر بابل	حداقل رساندن هزینه کل	-	-	ظهیری و همکاران (۲۰۱۵)
CPLEX	استان مازندران	حداقل رساندن هزینه کل حداقل رساندن حداکثر تقاضای ارضا نشده	-	-	ظهیری و پیشوایی (۲۰۱۷)
CPLEX	شهر تهران	حداقل رساندن هزینه کل حداکثر رساندن ضریب کیفیت	-	-	سامانی و حسینی مطلق (۲۰۱۹)
فرا ابتکاری	-	حداقل رساندن هزینه کل	-	-	حق جو و همکاران

[2]. Blood Supply Chain Network
[3]. Imperialist Competitive Algorithm

روش حل	مطالعه موردی	توابع هدف	فسادپذیری محصول	وسیله نقلیه ناهمگن	نام نویسنده (سال)
					(۲۰۲۰)
CPLEX و ICA	-	حداقل رساندن هزینه کل حداقل رساندن انتشار آلاینده‌ها	-	-	اسلامی پور و نوبری (۲۰۲۳)
CPLEX	استان مرکزی	حداقل رساندن هزینه کل حداکثر رساندن کیفیت محصولات	✓	✓	پژوهش حاضر (۲۰۲۳)

بنابراین با مقایسه مقاله موردنظر با پژوهش‌های گذشته می‌توان نتیجه گرفت که پژوهش حاضر یک رویکرد جدید جهت مکان‌یابی- مسیریابی زنجیره تأمین خون ارائه داده که می‌تواند به جهت فسادپذیری محصولات، از چندین وسیله نقلیه استفاده نموده و مقادیر ضایعات را نیز به مکان‌های مناسب جهت انهدام منتقل کند.

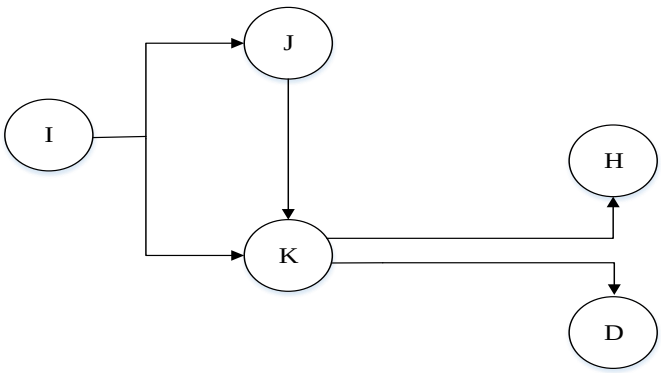
۲- مدل‌سازی و فرمول‌بندی

زنجیره تأمین خون از سه سطح جمع‌آوری، تولید و توزیع تشکیل‌شده است. مرحله اول با فرآیند جمع‌آوری خون آغازشده و شامل تسهیلات موقت و ثابت و گروه‌های اهداکننده است. پس‌ازآن، خون جمع‌آوری‌شده به آزمایشگاه‌های واقع در تسهیلات ثابت منتقل می‌شود. همان‌طور که قبلاً ذکر شد مراکز خون به دو نوع طبقه‌بندی می‌شوند؛ ظرفیت خون برای هر دو نوع مراکز محدود است. علاوه بر این هزینه‌های تأسیس و نگهداری تسهیلات ثابت نسبتاً زیاد است. مرحله بعدی شامل تولید اجزای مختلف خون در آزمایشگاه‌هایی است که در مراکز خون واقع‌شده‌اند.

برای اطمینان از سلامتی بسته‌های خون، به آزمایش آن‌ها پرداخته می‌شود، می‌توان مقدار خون قابل‌استفاده را به محصولات مختلفی ازجمله RBC، PLT و PLS تقسیم کرد. آخرین مرحله از این شبکه، توزیع محصولات مختلف خونی از تسهیلات ثابت به بیمارستان‌ها در نظر گرفته‌شده است. مرحله توزیع باید بتواند کیفیت محصولات را در سطح قابل‌توجهی در طی مراحل حمل‌ونقل حفظ کند. به همین دلیل، دو نوع تکنولوژی برای ذخیره‌سازی فرآورده‌های خونی در حین حمل‌ونقل در نظر گرفته‌شده است که شامل مینی یخچال و جعبه سرد است.

در این روش، مینی یخچال قابل‌حمل است و به‌عنوان یک ظرف عایق‌بندی شده برای حفظ فرآورده‌های خونی در شرایط دمایی مناسب، امکان ذخیره‌سازی مطمئن از محصولات خونی و جعبه سرد را فراهم می‌کند.

مزیت استفاده از مینی یخچال در مقایسه با جعبه سرد، حفظ فرآورده‌های خونی در سطح بالایی از کیفیت در هنگام حمل‌ونقل است. باوجوداین واقعیت، هزینه کل یک یخچال کوچک معمولاً بیشتر از هزینه کل یک جعبه سرد است. در این مقاله به بررسی دو سطح جمع‌آوری و توزیع پرداخته می‌شود. شکل۲ ساختار شبکه خون پیشنهادی را نشان می‌دهد که گره‌های موجود با نماد مجموعه‌های مرتبط معرفی‌شده است که در ادامه به تعریف هر یک از آن‌ها پرداخته می‌شود.



شکل ۲ ساختار شبکه خون پیشنهادی

همان‌گونه که در شکل۲ مشاهده می‌شود، اهداکنندگان، مراکز جمع‌آوری خون سیار و ثابت، بیمارستان‌ها و مراکز انهدام به ترتیب با نمادهای H،K،J،I و D نمایش داده‌شده است. اهداکنندگان می‌توانند به مراکز سیار یا ثابت، جهت اهدای خون مراجعه کنند. سپس خون جمع‌آوری‌شده از مراکز سیار به مراکز ثابت منتقل و پس از بررسی و آزمایشات، مقدار خون سالم به بیمارستان‌ها و مقدار خون ناسالم به مراکز انهدام منتقل می‌شود.

بنابراین نوآوری‌های مساله به شرح زیر است:

- طراحی شبکه زنجیره تأمین خون یکپارچه برای یک مسئله چند دوره‌ای
- ارائه یک مدل جدید دو هدفه باهدف به حداقل رساندن هزینه کل و حداکثر رساندن کیفیت محصولات خونی
- در نظر گرفتن تکنولوژی‌های مختلف برای ذخیره کردن فرآورده‌های خونی در طی فرایند حمل‌ونقل
- به‌کارگیری مدل در دو مطالعه موردی در شبکه زنجیره تأمین خون

فرضیات مسئله:

- ظرفیت جمع‌آوری هر یک از تسهیلات ثابت و موقت، محدود است.
- بیمارستان‌ها و مراکز انهدام از قبل مکان‌یابی شده‌اند.
- ازآنجاکه فرآورده‌های خونی به‌طور مستقیم و توسط نوع خاصی از وسایل نقلیه، از آزمایشگاه‌ها به بیمارستان‌ها منتقل می‌شوند، زمان سفر یک مقدار ثابت در نظر گرفته می‌شود.
- دو نوع تکنولوژی ذخیره‌سازی برای محصولات خونی ارائه‌شده است که شامل مینی یخچال‌ها و جعبه‌های سرد است.
- هر دو نوع تکنولوژی فقط برای انتقال خون از مراکز ثابت به بیمارستان‌ها استفاده می‌شود.
- هر گروه اهداکننده در هر دوره به یک تسهیل موقت یا ثابت خونی اختصاص می‌یابد.
- مدل ارائه‌شده به‌عنوان یک مساله چند دوره‌ای و تک‌محصولی در نظر گرفته‌شده است.
- در یک دوره معین، اکثر تقاضاهای بیمارستان‌ها از مراکز خونی پوشش داده می‌شود.

مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مساله:

در جدول۲ به معرفی مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم پرداخته‌شده است.

جدول ۲ مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم

نماد	توضیحات	نماد	توضیحات
I	اندیس گروه اهداکنندگان (i=1,…,I)	b_{kd}	فاصله بین تسهیل ثابت k و مرکز انهدام d
J	اندیس مکان‌های منتخب برای قرارگیری تسهیلات موقت (j=1,…,J)	b_0	شعاع پوشش دهی مراکز انهدام
K	اندیس مکان‌های منتخب برای قرارگیری تسهیلات ثابت (اصلی) (k=1,…,K)	f_{kh}	فاصله بین تسهیل ثابت k و بیمارستان h
T	اندیس دوره‌های زمانی (t=1,..,T)	f_0	شعاع پوشش دهی بیمارستان‌ها
H	اندیس بیمارستان‌ها	u_0	ظرفیت جمع‌آوری خون هر تسهیل موقت
D	اندیس مراکز انهدام	V_k	ظرفیت جمع‌آوری خون هر تسهیل ثابت
E	اندیس تجهیزات ذخیره‌سازی	d_{it}	حجم خون اهداشده از گروه i از اهداکنندگان در دوره t

	پارامترها	M	عدد بزرگ
$c_{j1,j2}$	هزینه انتقال یک تسهیل موقت از مکان j1 به مکان j2 در دو دوره زمانی متوالی	t'_e	طول عمر مفید یک بسته خون که توسط یک تجهیز e منتقل‌شده است.
c''_k	هزینه ایجاد یک تسهیل اصلی در مکان منتخب k	R'_{khe}	کیفیت باقیمانده یک بسته خونی که از تسهیل ثابت k به بیمارستان h توسط تجهیز e منتقل می‌شود.
c'_{jk}	هزینه تحویل بسته‌های خون از یک تسهیل موقت در مکان j به یک تسهیل ثابت در مکان k		متغیرهای تصمیم
g_{kh}	هزینه انتقال بسته‌های خون از یک تسهیل ثابت k به یک بیمارستان h	x_{ijt}	۱: اگر گروه i از اهداکنندگان در دوره t به تسهیل موقت j مراجعه کنند، ۰: در غیر این صورت
n_{kd}	هزینه انتقال بسته‌های خون فاسد شده از یک تسهیل ثابت k به یک مرکز انهدام d	x'_{ikt}	۱: اگر گروه i از اهداکنندگان در دوره t به تسهیل ثابت k مراجعه کنند، ۰: در غیر این صورت
De_{ht}	تقاضای کل هر بیمارستان h برای خون در دوره t	x''_{jkt}	۱: اگر تسهیل موقت j در دوره t به تسهیل ثابت k مراجعه کند، ۰: در غیر این صورت
r_{ij}	فاصله بین مرکز گروه i از اهداکنندگان و تسهیل موقت منتخب j	$y_{j1,j2,t}$	۱: اگر یک تسهیل موقت در مکان j1 در دوره t-1، به مکان j2 در دوره t جابجا شود، ۰: در غیر این صورت
r_0	شعاع پوشش دهی تسهیلات موقت	z_k	۱: اگر یک تسهیل ثابت در مکان k مستقر شود، ۰: در غیر این صورت
w_{ik}	فاصله بین مرکز گروه i از اهداکنندگان و تسهیل ثابت منتخب k	P	تعداد تسهیلات موقت موردنیاز در هر دوره
w_0	شعاع پوشش دهی تسهیلات ثابت	s_{ijt}	حجم خون اهداکنندگان گروه i که به تسهیل موقت j در دوره t مراجعه کرده‌اند.
q_{jk}	فاصله بین تسهیل موقت j و تسهیل ثابت k	s'_{ikt}	حجم خون اهداکنندگان گروه i که به تسهیل ثابت k در دوره t مراجعه کرده‌اند.
q_0	شعاع پوشش دهی تسهیلات ثابت	s''_{jkt}	حجم خون منتقل‌شده از تسهیل موقت j به تسهیل ثابت k در دوره t
l_{kd}	فاصله زمانی بین تسهیل ثابت k و مرکز انهدام d	u_{khte}	۱: اگر بسته خونی در تجهیز e ذخیره شود و از تسهیل ثابت k به بیمارستان h در دوره t جابجا شود، ۰: در غیر این صورت
l_0	شعاع زمانی پوشش دهی مراکز انهدام	p_{khte}	حجم خونی که در تجهیز e ذخیره‌شده و از تسهیل ثابت k به بیمارستان h منتقل می‌شود.
a_{kh}	فاصله زمانی بین تسهیل ثابت k و بیمارستان h	xx_{kdt}	۱: اگر بسته خونی فاسد شده از تسهیل ثابت k به مرکز انهدام d در دوره t جابجا شود، ۰: در غیر این صورت
a_0	شعاع زمانی پوشش دهی بیمارستان‌ها	ss_{kdt}	حجم خون فاسد شده که از تسهیل ثابت k به مرکز انهدام d منتقل می‌شود.

- **مدل ریاضی پیشنهادی**

توابع هدف:

تابع هدف ۱: تابع هدف اول به دنبال به حداقل رساندن هزینه کل شامل هزینه‌های تأسیس، هزینه‌های جابجایی مراکز موقت، هزینه حمل‌ونقل و هزینه استفاده از تجهیزات برای ذخیره‌سازی محصولات است.

$$Min\ Z_1 = \sum_{j1,j2,t} y_{j1,j2,t}\, c_{j1,j2} + \sum_{k} z_k\, c''_k + \sum_{j,k,t} s''_{jkt} c'_{jk} + \sum_{j,k,t} p_{khte} g_{kh} + \sum_{j,k,t} ss_{kdt} n_{kd} \qquad (1)$$

تابع هدف ۲: حفظ فرآورده‌های خونی در بالاترین سطح کیفیت در حین ارسال به بیمارستان است. برای دستیابی به این هدف، انتخاب تکنولوژی مناسب برای ذخیره‌سازی، نقش مهمی در حفظ کیفیت آن‌ها در فرآیندهای انتقال دارد. در این راستا باید توجه داشت که هر فرآورده خونی به شرایط مناسبی نیاز دارد تا در طی انتقال ایمن باشد. شرایط مناسب توسط بعضی از

فاکتورها مانند PH پلاکت و میزان پروتئین پلاسما و هموگلوبین در RBC قابل‌اندازه‌گیری است. با اندازه‌گیری این فاکتورها پس از فرآیند انتقال می‌توان سطح کیفی هر محصول را به دست آورد. بنابراین تابع هدف دوم سطح کیفیت فرآورده‌های خونی را در طی فرایند ارسال آن‌ها از آزمایشگاه‌ها به بیمارستان‌ها به حداکثر می‌رساند.

$$Maxz_2 = \sum_{k,h,t,e} R'_{khe} * p_{khte} \quad (2)$$

محدودیت‌ها:

این مدل با محدودیت‌های مختلفی ازجمله جایگزینی مراکز موقت، شعاع پوشش، تخصیص، ظرفیت، تعادل، تولید، تأسیس مراکز، جریان تقاضا، زمان، تکنولوژی ذخیره‌سازی، نوع محدودیت متغیرها، روبرو است که در زیر توضیح داده‌شده است.

$$\sum_{j1} y_{j1,j2,t} \leq 1 \quad (3)$$

محدودیت (۳): محدودیت جابجایی برای تسهیلات موقت (در هر دوره حداکثر یکی از تسهیلات موقت می‌تواند از مکان‌های دیگر به یک مکان خاص جابجا شود) است.

$$\sum_{j1 \neq j2} y_{j1,j2,t} = P \quad (4)$$

محدودیت (۴): محدودیت تعداد تسهیلات موقت در هر دوره (این محدودیت باعث می‌شود که مدل در هر دوره همان تعداد تسهیلات را به‌منظور اجتناب از ایجاد هزینه‌های بسته شدن تسهیلات و بازگشایی آن در دوره‌های متوالی انتخاب کند) است.

$$\sum_{j2} y_{j1,j2,t} \leq \sum_{j} y_{j,j1,t-1} \ \forall j1, t \geq 2 \quad (5)$$

محدودیت (۵): نشان‌دهنده این است که در صورتی در هر دوره، تسهیلات موقت از یک مکان می‌توانند به مکان دیگر بروند که در دوره قبل در مکان اول بوده باشند.

$$\sum_{j} x_{ijt} + \sum_{k} x'_{ikt} \leq 1 \ \forall i, t \quad (6)$$

محدودیت (۶): محدودیت تخصیص اهداکنندگان (در هر دوره هر گروه از اهداکنندگان فقط می‌تواند دریکی از تسهیلات موقت و یا تسهیلات ثابت خون اهدا کند) است.

$$x_{ijt} r_{ij} \leq r_0 \sum_{j1} y_{j1,j,t} \ \forall i, j, t \quad (7)$$

محدودیت (۷): محدودیت تخصیص اهداکنندگان به تسهیلات موقت (در صورتی اهداکنندگان می‌تواند به تسهیلات موقت تخصیص یابند که در محدوده شعاع پوشش دهی تسهیلات مذکور قرار داشته باشد و این تسهیلات موجود باشند) است.

$$x'_{ikt} w_{ik} \leq w_0 z_k \ \forall i, k, t \quad (8)$$

محدودیت (۸): محدودیت تخصیص اهداکنندگان به تسهیلات ثابت (در صورتی اهداکنندگان می‌تواند به تسهیلات ثابت تخصیص یابند که در محدوده شعاع پوشش دهی تسهیلات مذکور قرار داشته باشد و این تسهیلات احداث‌شده باشند) است.

$$x''_{jkt} q_{jk} \leq q_0 z_k \qquad \forall j, k, t \quad (9)$$

محدودیت (۹): محدودیت تخصیص تسهیلات موقت به تسهیلات ثابت (در صورتی تسهیلات موقت می‌توانند به تسهیلات ثابت تخصیص یابد که در محدوده شعاع پوشش دهی تسهیلات مذکور قرار داشته باشند) است.

$$u_{khte} * f_{kh} \leq f_0 \qquad \forall k, h, t, e \quad (10)$$

محدودیت (۱۰): محدودیت تخصیص تسهیلات ثابت به بیمارستان‌ها (در صورتی تسهیلات ثابت می‌توانند به بیمارستان‌ها تخصیص یابد که در محدوده شعاع پوشش دهی بیمارستان‌ها قرار داشته باشند) است.

$$xx_{kdt} * b_{kd} \leq b_0 \qquad \forall k, d, t \qquad (11)$$

محدودیت (۱۱): محدودیت تخصیص تسهیلات ثابت به مراکز انهدام (در صورتی تسهیلات ثابت می‌توانند به مراکز انهدام تخصیص یابد که در محدوده شعاع پوشش دهی مراکز انهدام قرار داشته باشند) است.

$$s_{ijt} \leq M x_{ijt} \qquad \forall i, j, t \qquad (12)$$

$$s'_{ikt} \leq M x'_{ikt} \qquad \forall i, k, t \qquad (13)$$

$$s''_{jkt} \leq M x''_{jkt} \qquad \forall j, k, t \qquad (14)$$

محدودیت‌های (۱۲) تا (۱۴): این محدودیت‌ها بیانگر جریان خون از اهداکنندگان به هریک از تسهیلات و نیز از تسهیلات موقت به تسهیلات ثابت در صورت احداث این تسهیلات می‌باشند.

$$\sum_i s'_{ikt} + \sum_j s''_{jkt} \leq V_k \qquad \forall k, t \qquad (15)$$

محدودیت (۱۵): محدودیت حداکثر ظرفیت تسهیلات ثابت است.

$$\sum_j s_{ijt} + \sum_k s'_{ikt} \leq d_{it} \qquad \forall i, t \qquad (16)$$

محدودیت (۱۶): محدودیت مربوط به حجم خون اهداشده توسط اهداکنندگان در هر دوره است.

$$\sum_i s_{ijt} \leq u_0 \qquad \forall j, t \qquad (17)$$

محدودیت (۱۷): محدودیت حداکثر ظرفیت تسهیلات موقت است.

$$x''_{jkt} \leq \sum_{j1} y_{j1,j,t} \qquad \forall j, k, t \qquad (18)$$

محدودیت (۱۸): این محدودیت تضمین می‌کند که واحدهای خونی در صورتی می‌توانند از تسهیلات موقت به تسهیلات ثابت انتقال یابند که تسهیلات موقت بازگشایی‌شده باشند.

$$\sum_{h,e} p_{khte} \leq \sum_i s'_{ikt} + \sum_j s''_{jkt} \qquad \forall k, t \qquad (19)$$

محدودیت (۱۹): محدودیت تعادل مقدار خون ارسالی به هر بیمارستان می‌باشد.

$$\sum_i s_{ijt} = \sum_k s''_{jkt} \qquad \forall j, t \qquad (20)$$

محدودیت (۲۰): تضمین‌کننده کل حجم خونی که در هر دوره توسط تسهیلات موقت جمع‌آوری‌شده‌اند و به تسهیلات ثابت انتقال‌یافته است.

$$u_{khte} * a_{kh} \leq a_0 \qquad \forall k, h, t, e \qquad (21)$$

محدودیت (۲۱): محدودیت تخصیص تسهیلات ثابت به بیمارستان‌ها (در صورتی تسهیلات ثابت می‌توانند به بیمارستان‌ها تخصیص یابد که در محدوده زمانی شعاع پوشش دهی بیمارستان‌ها قرار داشته باشند).

$$xx_{kdt} * l_{kd} \leq l_0 \qquad \forall k, d, t \qquad (22)$$

محدودیت (۲۲): محدودیت تخصیص تسهیلات ثابت به مراکز انهدام (در صورتی تسهیلات ثابت می‌توانند به مراکز انهدام

تخصیص یابد که در محدوده شعاع پوشش دهی مراکز انهدام قرار داشته باشند.

$$\sum_{k,e} p_{khte} = De_{ht} \qquad \forall h,t \qquad (23)$$

محدودیت (۲۳): تضمین می‌کند که تقاضای هر بیمارستان باید در هر دوره برآورده شود.

$$\sum_{k,d} ss_{kdt} = \sum_{i,k} s'_{ikt} + \sum_{j,k} s''_{jkt} - \sum_{k,h,e} p_{khte} \qquad \forall t \qquad (24)$$

محدودیت (۲۴): محدودیت تعادل مقدار خون فاسد شده ارسالی به هر مرکز انهدام می‌باشد.

$$p_{khte} = 0 | t'_e < a_{kh} \qquad \forall k,h,t,e \qquad (25)$$

$$xx_{kdt} > 0 \ | t'_e < a_{kh} \qquad \forall k,h,d,t,e \qquad (26)$$

محدودیت (۲۵ و ۲۶): محدودیت زمانی است، که تضمین می‌کند که هر بسته خونی موجود در تکنولوژی ذخیره‌سازی باید زمانی کمتر از عمر محصول خود را از تسهیلات ثابت به بیمارستان‌ها طی کند؛ در غیر اینصورت بسته خونی موردنظر فاسد بوده و به مرکز انهدام منتقل می‌شود.

$$p_{khte} \leq M * u_{khte} \qquad \forall k,h,t,e \qquad (27)$$

محدودیت (۲۷): تضمین می‌کند که اگر بسته خونی به تکنولوژِی ذخیره‌سازی اختصاص یابد، محصول فقط در این نوع تجهیزات قابل ذخیره است.

$$\sum_{e} u_{khte} \leq 1 \qquad \forall k,h,t \qquad (28)$$

محدودیت (۲۸): تعریف می‌کند که هر بسته خونی فقط در یک جعبه سرد یا مینی یخچال در طی حمل‌ونقل قابل ذخیره است. درواقع این محدودیت نشان‌دهنده تعداد بهینه تجهیزات ذخیره‌سازی و حمل خون از تسهیلات ثابت به بیمارستان‌ها می‌باشد.

$$x_{ijt}, x'_{ikt}, x''_{jkt}, y_{j1,j2,t}, z_k, u_{khte}, xx_{kdt} \in \{0,1\} \qquad \forall i,j,k,t \qquad (29)$$

$$s_{ijt}, s'_{ikt}, s''_{jkt}, p_{khte}, ss_{kdt}, P \geq 0, integer \qquad \forall i,j,k,t \qquad (30)$$

محدودیت‌های (۲۹) و (۳۰): تعیین‌کننده نوع متغیرهای تصمیم است.

۳- نتایج

به‌منظور اعتبارسنجی صحت مدل ارائه‌شده، دو مساله به ترتیب با مقیاس‌های کوچک و متوسط به ابعاد ($|I|*|J|*|K|*|T|*|H|*|D|*|E|=4*3*3*2*3*2*2$) و ($|I|*|J|*|K|*|T|*|H|*|D|*|E|=14*15*6*8*11*4*2$) توسط نرم‌افزار گمز حل‌شده است. جهت مقداردهی پارامترها از مقادیر موجود در مطالعه موردی ادبیات پیشین ایده گرفته و با توجه به کاربرد مساله در ایران، مقادیر همانند جدول شماره ۳ برای پیاده‌سازی در استان مرکزی به‌روزرسانی شده است.

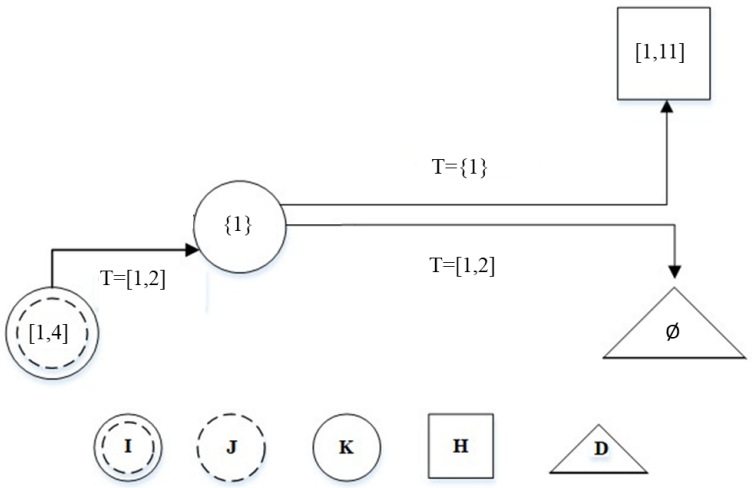
جدول ۳ مقادیر پارامترها

$c_{j1,j2}$	Uniform (10,30)	l_{kd}	Uniform (24,240)
c''_k	Uniform (1000,3000)	l_0	Uniform (40,150)
c'_{jk}	Uniform (0/01,0/05)	a_{kh}	Uniform (24,240)
g_{kh}	Uniform (0/01,0/05)	a_0	Uniform (40,150)
n_{kd}	Uniform (0/01,0/05)	b_{kd}	Uniform (50,500)
De_{ht}	Uniform (100,500)	b_0	Uniform (100,300)

r_{ij}	Uniform (50,500)	f_{kh}	Uniform (50,500)
r_0	Uniform (100,300)	f_0	Uniform (100,300)
w_{ik}	Uniform (50,500)	u_0	Uniform (300,500)
w_0	Uniform (500,1500)	V_k	Uniform (2000,3000)
q_{jk}	Uniform (50,500)	d_{it}	Uniform (100,400)
q_0	Uniform (500,1500)	M	Uniform (10000,20000)
t'_e	Uniform (180,480)	R'_{khe}	Uniform (0.9, 0.99)

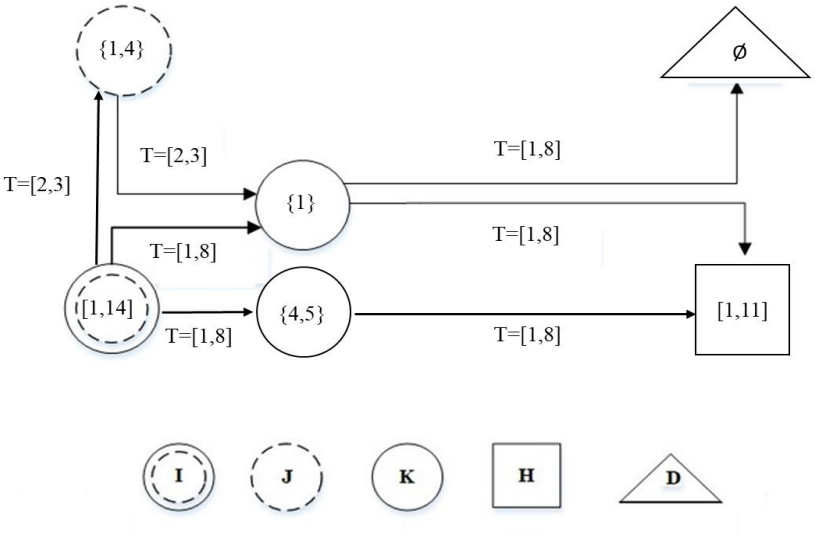
در اشکال ۳ و ۴ جواب نهایی مساله، به ترتیب در ابعاد کوچک و متوسط به‌صورت شماتیک قابل رویت است. در ابعاد بزرگ‌تر، این مساله توسط روش‌های حل دقیق به جواب مناسب نمی‌رسد و می‌بایست از روش‌های ابتکاری یا فرا ابتکاری استفاده نمود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تخصیص جریان‌ها توسط خطوط کامل به تصویر کشیده شده است.

در شکل ۳ از میان سه مکان ممکن برای ایجاد مراکز اصلی، تنها مکان اول و از بین مراکز موقت، هیچ‌کدام جهت جمع‌آوری خون انتخاب‌نشده است. بنابراین برای پاسخگویی به تقاضا در همه دوره‌ها، اهداکنندگان تنها به مرکز اصلی شماره ۱ مراجعه می‌کنند. همچنین از بین تجهیزات مختلف جهت جمع آوری بسته‌های خونی، تنها مینی یخچال‌ها برای حمل این بسته‌های خونی به بیمارستان‌ها کافی است و نیازی به استفاده از جعبه‌های سرد نیست. مقدار خون فاسد شده در طی انتقال نیز صفر است، بنابراین نیازی به انتقال خون از بیمارستان‌ها به مراکز انهدام در هیچ دوره‌ای نمی‌باشد.



شکل ۳ جواب نهایی مساله در ابعاد کوچک

در شکل ۴ از میان شش مکان ممکن برای ایجاد مراکز اصلی، علاوه بر مکان اول، مکان‌های چهارم و پنجم نیز انتخاب‌شده است. علاوه بر این، در بین مراکز موقت موجود، مراکز اول و چهارم برای برآورده کردن بخشی از تقاضا در دوره دوم و سوم انتخاب‌شده است. سپس، برای پاسخگویی به تقاضای باقیمانده در این دو دوره و سایر دوره‌ها، اهداکنندگان به مرکز اصلی شماره ۱ مراجعه می‌کنند. همچنین مانند مساله قبل، از بین تجهیزات مختلف جهت جمع‌آوری بسته‌های خونی، تنها مینی یخچال‌ها برای حمل این بسته‌های خونی به بیمارستان‌ها مورداستفاده قرارگرفته است. حجم خون فاسد شده در طول زنجیره تأمین نیز صفر است که منجر به عدم انتقال خون از بیمارستان‌ها به مراکز انهدام می‌شود.



شکل ۴ جواب نهایی مساله در ابعاد متوسط

۴- نتیجه‌گیری

این مقاله یک مدل MILP سه سطحی یکپارچه را ارائه می‌دهد که شامل مراحل جمع‌آوری و توزیع است. با توجه به آماده‌سازی خون سالم با حداکثر کیفیت برای بیماران در یک سیستم سلامت کارآمد، یک مدل دو هدفه برای کاهش هزینه‌های کل و بالا بردن کیفیت فرآورده‌های خونی در طول حمل‌ونقل تهیه‌شده است. از روش معیار جامع به‌عنوان یک رویکرد مؤثر برای تبدیل مدل چندهدفه به تک هدفه استفاده‌شده است. دو نوع تکنولوژی ذخیره‌سازی و انتساب بهینه آن‌ها به محصولات خونی نیز در نظر گرفته‌شده است.

عملکرد و کاربرد مدل ارائه‌شده از طریق دو مطالعه موردی با داده‌های شبه واقعی از شبکه خونی در ابعاد کوچک و متوسط مورد آزمایش قرار گرفت. با توجه به ابعاد مساله نتایج نشان داد که تنها مینی یخچال‌ها برای حمل بسته‌های خونی به بیمارستان‌ها کافی است و نیازی به استفاده از جعبه‌های سرد نیست. علاوه بر این با توجه به طول عمر بسته‌های خونی و امکان فساد آن‌ها، به تقاضای کلیه بیمارستان‌ها در موعد مقرر پاسخ‌داده‌شده، درنتیجه مقدار خون فاسد شده انتقال‌یافته به کلیه مراکز انهدام برابر صفراست.

مقدار تابع هدف هزینه دریکی از جواب‌های کارای جبهه پارتوی الگوریتم معیار جامع در مساله با ابعاد کوچک برابر ۴۲ واحد و در مساله با ابعاد متوسط برابر ۶۶۴ واحد و مقدار تابع هدف کیفیت خون نیز در همان جواب کارای پارتویی الگوریتم معیار جامع در مساله با ابعاد کوچک برابر ۱۶۷۸ واحد و در مساله با ابعاد متوسط برابر ۲۴۳۹۲ واحد شد که یک جواب پارتویی قابل‌قبول برای این مساله است. به‌منظور مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود که مقادیر عرضه و تقاضای خون به‌صورت غیرقطعی در نظر گرفته شود. همچنین پیشنهاد می‌شود که مرحله تولید محصولات خونی نیز در نظر گرفته شود و مساله به‌صورت یک مدل چندمرحله‌ای و چند محصولی موردبررسی قرار گیرد.

۵- منابع

[1] Nagurney A, Masoumi AH, Yu M. Supply chain network operations management of a blood banking system with cost and risk minimization. Computational management science. 2012;9:205-31.

[2] Mvere D, Bond K. The blood cold chain: guide to the selection and procurement of equipment and accessories: World Health Organization, 2002.

[3] Rudmann SV. Textbook of blood banking and transfusion medicine: Elsevier Health Sciences, 2005.

[4] Taymory Naghadeh H, Fallahtafti M, Shoshtarian SMM. Evaluation of in vitro quality of none agitated platelet concentrate. Medical Sciences Journal of Islamic Azad University. 2013;23:107-12.

[5] Sha Y, Huang J. The multi-period location-allocation problem of engineering emergency blood supply systems. Systems Engineering Procedia. 2012;5:21-8.

[6] Zahiri B, Mousazadeh M, Bozorgi-Amiri A. A robust stochastic programming approach for blood collection and distribution network design. International journal of research in industrial engineering. 2014;3:1-11.

[7] Zahiri B, Torabi S, Mousazadeh M, Mansouri S. Blood collection management: Methodology and application. Applied Mathematical Modelling. 2015;39:7680-96.

[8] Zahiri B, Pishvaee MS. Blood supply chain network design considering blood group compatibility under uncertainty. International journal of production research. 2017;55:2013-33.

[9] Samani MRG, Hosseini-Motlagh S-M. An enhanced procedure for managing blood supply chain under disruptions and uncertainties. Annals of Operations Research. 2019;283:1413-62.

[10] Rahmani D. Designing a robust and dynamic network for the emergency blood supply chain with the risk of disruptions. Annals of Operations Research. 2019;283:613-41.

[11] Samani MRG, Hosseini-Motlagh S-M, Sheshkol MI, Shetab-Boushehri S-N. A bi-objective integrated model for the uncertain blood network design with raising products quality. European journal of industrial engineering. 2019;13:553-88.

[12] Haghjoo N, Tavakkoli-Moghaddam R, Shahmoradi-Moghadam H, Rahimi Y. Reliable blood supply chain network design with facility disruption: A real-world application. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2020;90:103493.

[13] Eslamipoor R, Nobari A. A reliable and sustainable design of supply chain in healthcare under uncertainty regarding environmental impacts. Journal of applied research on industrial engineering. 2023;10:256-72.