



Design of Blood Supply Chain Optimization Model Using Fuzzy Approach and Markov Chain under Demand and Supply Uncertainty

Taher Kouchaki Tajani 

Ph.D. in Industrial Management, Faculty of
Management and Accounting, Qazvin Branch,
Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Ali Mohtashami *

Associate Professor of Department of
Industrial Management, Faculty of
Management and Accounting, Qazvin Branch,
Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Maghsoud Amiri 

Professor, Department of Industrial
Management, Faculty of Management and
Accounting, Allameh Tabataba'i University,
Tehran, Iran

Reza Ehtesham Rasi 

Assistant Professor of Department of
Industrial Management, Faculty of
Management and Accounting, Qazvin Branch,
Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Abstract

In this paper, we have proposed a model based on Mixed Integer Non-Linear Programming for the blood supply chain under conditions of uncertainty in supply and demand, from the stage of receiving blood from volunteers to the moment of distribution in demand centers. The challenges addressed in this optimization model are the reduction of blood supply chain costs along with minimizing the shortage and expiration rate of blood products. The Markov chain has been used to address the uncertainty of donor blood supply. To estimate the needs of medical centers, the received demand is considered fuzzy. Then, the proposed model is solved in small dimensions by GAMS software

* Corresponding Author: mohtashami07@gmail.com

How to Cite: Kouchaki Tajani, T., Mohtashami, A., Amiri, M., Ehtesham Rasi, R. (2024). Design of Blood Supply Chain Optimization Model Using Fuzzy Approach and Markov Chain under Demand and Supply Uncertainty, *Industrial Management Studies*, 22(72), 73-124.

and in large dimensions by Bat and Whale meta-heuristic algorithms, and the results are presented. In addition, a case study is presented to show the applicability of the proposed model. The results show a reduction in the level of costs as well as a reduction in the shortage and expiration of blood products in the supply chain.

Introduction

One of the important topics researched in the global healthcare systems of different countries is the improvement of supply chain performance. The health system has one of the most complex and challenging supply chains due to its direct relationship with human lives. Issues such as uncertainty in blood demand and supply, blood inventory planning, delivery schedule, ordering time, attention to expiration date, and limited human resources are among the challenging issues in the field of health, especially the supply chain of blood and blood products. A unit of blood, from the time it is received from the donor to the time it is injected into the patient as whole blood or blood product, includes many processes and challenges that must be taken into account to ensure the health of the blood and the health of the supply chain. Redesigning an existing blood supply chain is not possible in the short term due to significant costs and time required, so using existing facilities and optimizing conditions is more preferable than reestablishing equipment, blood centers, and other facilities related to the blood supply chain. In this research, by presenting a mathematical model, we try to optimize the tools and facilities in a blood supply chain. The important goal in the blood supply chain is the cost factor. The costs incurred on the blood supply chain include costs such as blood collection from volunteers, product processing and blood inventory costs in hospitals and blood centers, and blood transfer costs to demand centers. On the other hand, the balance in storage and waste reduction is also very important in this chain. High storage increases the amount of inventory (increase in cost) and also increases the rate of perishability (increase in cost) of blood products. It is important to pay attention to the fact that the reduction of costs should be accompanied by the reduction of shortages and waste. In addition to the lack of blood, improper distribution and untimely supply of blood to hospitals can be completely disastrous. Requests to blood centers are made under certain conditions, such that the

requested product(s) are separated in terms of blood group or the presence or absence of a specific antigen. Paying attention to blood groups and compatibility indicators is one of the principles of blood transfusion, and not observing them can cause unfortunate events.

Due to the disproportionate percentage of distribution of blood groups among volunteers, there has always been a possibility of a shortage in the supply chain. In the medical world, in case of a shortage of a blood product of a certain group, attempts are made to replace that product from groups that can be matched. This will reduce the shortage and save the lives of patients whose blood with the required blood group and RH is not available at the same moment. In order to solve this challenge, in the upcoming research, a solution based on the versatility of unanswered demands will be considered, which will be included in the mathematical model. Another important issue is the age of the demand for the requested product, which creates an age-based demand in the supply chain. (Some special patients need fresh or normal products according to the type of disease.)

Methodology

In this research, a comprehensive mathematical model has been developed in the form of a MINLP model. The research model is based on a comprehensive blood supply chain consisting of three components: collection, processing, and consumption of blood products. There are three types of collection centers in this model: first, vehicles that serve blood donors at predetermined locations and collect blood; second, fixed collection facilities located in some areas of the city that solely perform the task of collecting blood; and third, blood centers (blood transfusion centers) that perform both blood collection work and other tasks related to product processing, testing, and transfer planning to demand centers and hospitals. The next part of the model is related to the processing of the collected blood. In this part, the blood collected by the collectors in the blood center is aggregated, the percentage of each blood group is determined, and according to the need in the blood centers, products such as red blood cells, platelets, and whole blood plasma are sent to hospitals. It is worth noting that as blood is converted into other products, some characteristics of the product, including the age of the products, differ from each other. Therefore, in the continuation of transferring the

products and responding to their demand, the age of the blood product will be considered. Additionally, it should be noted that the blood product requested from the demand centers is in two forms. For some special patients and in special surgeries, a series of blood products with a certain age (young blood) are needed. Therefore, the importance of the age of the blood sent to the hospitals is also seen in the model. In the real world, in the face of a shortage in hospitals, a solution is thought out, which is to use the principle of adaptability of blood groups. Through a pre-accepted adaptability matrix, a series of demands for blood groups g , in case of shortage, can be satisfied with the supply of blood groups f turn around. Deterministic supply chain network design models do not take into account the uncertainties and information related to the future affecting the supply chain parameters and as a result cannot guarantee the future performance of the supply chain because due to the inherent and fluctuating and sometimes severe change in the environment of many operating systems Parameters in optimization problems have random and non-deterministic characteristics. In this research, two different approaches have been used to face the uncertainty in blood supply and demand values. For the demand, a triangular fuzzy approach has been proposed. According to the conditions of uncertainty, the appropriate alpha cut is selected based on the opinion of the decision-makers, and the demand is adapted to the conditions. Regarding the amount of supply, in order to estimate the number of donors in future periods, we have used the Markov chain to predict the number of donors based on the records in the past.

Findings

In order to evaluate the presented model, it is necessary to solve the research in both small and large sizes to determine the reaction of the research target function to changes in the parameters of the problem. For this purpose, the research model was first coded in GAMS 24.1 software. According to the designed sample problems, up to a certain size, it is possible to solve the problem within a certain time frame using GAMS software. However, as the size of the problem increases and the time to reach the answer also increases, meta-heuristic algorithms such as WOA and BAT were employed to solve this problem. The results indicate that the Whale Optimization Algorithm

(WOA) performed better. Subsequently, based on a case study, a problem was presented to illustrate the efficiency of the model and its solution method. The results obtained for the objective function and the values obtained for the main variables of the research demonstrate the effectiveness of the model and its solution approach.

Conclusion

The purpose of this article is to design a comprehensive supply chain that includes three parts: collection, processing, and distribution of blood products. The supply chain comprises mobile and fixed blood collection units that receive blood from donors and send it to blood centers. At these centers, blood is processed into required products and then distributed to demand centers based on demands categorized as fresh or normal products. In this research, the objective was to minimize costs such as blood collection, blood inventory in blood centers and hospitals, as well as the cost of blood products expiring due to non-use. To address blood deficiency, the blood compatibility system was incorporated into the model. This system ensures that if a certain product of a certain group is not available, a compatible product from another group is sent as a replacement. The model was solved using the exact solution approach of GAMS software for smaller-sized problems. However, for larger-sized problems, meta-heuristic algorithms such as WOA and BAT were employed to achieve reasonable solving times. Additionally, a fuzzy coefficient was proposed for relatively accurate demand prediction, and the Markov chain and the Kolmogorov left-hand theorem were utilized to predict the number of blood donors. The results obtained from small-sized problems using accurate solver algorithms, as well as medium and large-sized problems using WOA and BAT meta-heuristic algorithms, demonstrate the efficiency of the designed model. Finally, a sensitivity analysis based on changes in fuzzy coefficients of demand and coefficients, including the alpha cut transformation function, and its effect on the objective function are presented.

Keywords: Blood Supply Chain, Markov Chain, Mixed Integer Non-Linear Programming, Whale Metaheuristic Algorithm, Bat Metaheuristic Algorithm.



طراحی مدل بهینه‌سازی زنجیره تأمین خون با استفاده از رویکرد فازی و زنجیره مارکوف تحت شرایط عدم قطعیت تقاضا و عرضه

دکتری مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

طاهر کوچکی تاجانی 

دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

علی محتشمی * 

استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

مقصود امیری 

استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

رضا احتشام رانی 

چکیده

در این مقاله ما یک مدل مبتنی بر برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی برای زنجیره تأمین خون تحت شرایط عدم اطمینان در تقاضا و عرضه که از مرحله دریافت خون از داوطلبان تا لحظه توزیع در مراکز تقاضا را در بر می‌گیرد، ارائه نموده‌ایم. چالش‌هایی که در این مدل بهینه‌سازی پرداخته شده، کاهش هزینه‌های متحمل بر زنجیره تأمین خون به همراه کمینه کردن میزان کمبود و میزان انقضای فرآورده‌های خونی می‌باشد. برای مواجهه با عدم اطمینان میزان عرضه خون اهداکنندگان از زنجیره مارکوف و برای تخمین مقادیر نیاز مراکز درمانی، تقاضای واسطه به صورت فازی در نظر گرفته شده است. سپس مدل ارائه شده در سائز کوچک توسط نرم‌افزار گمز و در سائزهای بزرگ توسط الگوریتم‌های فراابتکاری خفاش و وال حل شده و نتایج ارائه گردیده است. در پایان یک مطالعه موردی نیز جهت بررسی کاربرد مدل مورد بررسی قرار گرفته است؛ که

طراحی مدل بهینه‌سازی زنجیره تأمین خون با استفاده از رویکرد ...؛ کوچکی تاجانی و همکاران | ۷۹

نتایج حاصله نشان‌دهنده کاهش مطلوب هزینه‌ها و نیز کاهش میزان کمبود و انقضای محصولات خونی در زنجیره تأمین می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین خون، زنجیره مارکوف، مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی، الگوریتم فراابتکاری وال، الگوریتم فراابتکاری خفاش.

مقدمه

یکی از مباحث مهمی که در سیستم‌های بهداشت و درمانی جهانی کشورهای مختلف مورد تحقیق و بررسی قرار می‌گیرد، بهبود عملکرد زنجیره تأمین می‌باشد. نظام سلامت به دلیل ارتباط مستقیمی که با جان انسان‌ها دارد یکی از پیچیده‌ترین و پر چالش‌ترین زنجیره تأمین‌ها را داراست. مسائلی از قبیل عدم قطعیت در تقاضا و عرضه خون، برنامه‌ریزی موجودی خون، زمان‌بندی ارسال، زمان سفارش‌گذاری، توجه به تاریخ انقضا و منابع محدود انسانی از جمله مسائل چالشی در حوزه‌ی سلامت به‌ویژه زنجیره تأمین خون و فرآورده‌های خونی می‌باشد (فورتسچ و خاپالوآ، ۲۰۱۶). یک واحد خون از زمانی که از شخص اهداکننده دریافت می‌گردد تا زمانی که به بیمار به‌عنوان خون کامل یا فرآورده خونی تزریق می‌گردد شامل فرآیندها و چالش‌های زیادی می‌گردد که توجه به این چالش‌ها و مسائل تضمین‌کننده سلامت خون و سلامت زنجیره تأمین می‌گردد. رشد روزافزون جمعیت، پیدایش بیماری‌های نوظهور، افزایش میزان بحران‌های طبیعی مانند سیل و زلزله و حوادث غیرطبیعی چون جنگ، حملات تروریستی و تصادفات رانندگی، دولت‌ها را به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه ترغیب به به‌کارگیری و طراحی بهبود عملکرد خدمات‌رسانی به بیماران مخصوصاً در شرایط وقوع بحران کرده است. در این راستا مدیریت خون و فرآورده‌های آن یک مسئله حیاتی در زمان وقوع این‌گونه بحران‌ها به حساب می‌آید.

خون کالایی معمولی نیست و خصوصیتی چون حیاتی بودن و غیرقابل جایگزین بودن را داراست، خون و محصولات خونی فسادپذیر است که عرضه و تقاضای آن عموماً دارای عدم قطعیت می‌باشد. این امر موجب هرچه پیچیده‌تر شدن این زنجیره تأمین شده است که در شرایط بحرانی و با رسیدن اوج تقاضا پیچیدگی و مشکلات این زنجیره بیشتر می‌شود. کمبود خون و فرآورده‌های خونی هزینه بالایی از لحاظ اجتماعی و انسانی دارد؛ زیرا می‌تواند باعث افزایش نرخ مرگ‌ومیر شود (بلین و فورس، ۲۰۱۲). در یک زنجیره تأمین خون، خون کامل توسط داوطلبان در مکان‌هایی از قبیل تسهیلات ثابت یا متحرک

خون‌گیری یا مراکز خون از اهداکنندگان دریافت می‌گردد. خون جمع‌آوری شده توسط تسهیلات جمع‌آوری به مراکز خون منتقل شده و در آنجا مورد آزمایش قرار گرفته و در صورت سلامت به فرآورده‌های موردنیاز فرآوری می‌شوند. اجزای تفکیک‌شده خون به وسیله ماشین‌های حمل‌ونقل اختصاصی خون به بیمارستان‌ها انتقال داده می‌شوند و بیمارستان‌ها نیز با توجه به نیازهای درمانی خود در خصوص استفاده از محصولات خونی تصمیم‌گیری می‌نمایند. محصولات خونی یا فرآورده‌های خون آن دسته از مواد تشکیل‌دهنده خون هستند که کاربرد درمانی داشته، می‌توانند به وسیله سانتریوفیوژ^۱، فیلتر کردن و منجمد نمودن با استفاده از روش‌های مرسوم انتقال خون تهیه گردند (مدیسین، ۲۰۱۳) که عمدتاً شامل انواع پلاسما، پلاکت و گلبول قرمز، کرایوپره سی پتیت^۲ می‌باشند که این محصولات دارای طول عمر متفاوت از یکدیگر (پلاکت ۵-۷ روز پلاسما و کرایوپره سی پتیت حدود یک سال و گلبول قرمز و خون کامل ۲۱-۴۲ روز عمر) هستند؛ و پس از آن مدت منقضی شده و باید منهدم گردند (باین، ۲۰۱۴). در صورتی که مصرف این محصول درست مدیریت نشود مقدار قابل توجهی از آن دور ریخته خواهد شد؛ و چنین وضعیتی برای سیستم زنجیره تأمین ایجاد هزینه (مالی و اجتماعی) خواهد نمود.

طراحی مجدد یک زنجیره تأمین خون موجود، به دلیل هزینه‌های قابل توجه و زمان موردنیاز در کوتاه مدت میسر نیست لذا استفاده از امکانات موجود و بهینه‌سازی شرایط ارجحیت بیشتری نسبت به استقرار دوباره تجهیزات، مراکز خون و سایر تسهیلات مربوط به زنجیره تأمین خون دارد. لذا در این تحقیق با ارائه مدل ریاضی، سعی در بهینه‌سازی ابزارها و امکانات موجود در یک زنجیره تأمین خون می‌باشیم. هدف مهم در زنجیره تأمین خون عامل هزینه می‌باشد، هزینه‌های متحمل بر زنجیره تأمین خون شامل هزینه‌های چون خون‌گیری از داوطلبان، فرآوری محصولات و هزینه‌های موجودی خون و فرآورده‌های خونی در بیمارستان‌ها و مراکز خون، هزینه‌های انتقال خون به مراکز تقاضا را شامل می‌شود؛ و از طرفی تعادل در ذخیره‌سازی و کاهش ضایعات نیز در این زنجیره از اهمیت

1. Centrifugation
2. Cryoprecipitate

بالایی برخوردار است. ذخیره‌سازی زیاد باعث افزایش میزان موجودی (افزایش هزینه) و نیز باعث افزایش میزان فسادپذیری (افزایش هزینه) محصولات خونی می‌گردد (دیلون و همکاران، ۲۰۱۷)؛ و از طرفی کمبود محصولات خونی نیز عواقب جبران‌ناپذیرتری به وجود خواهد آورد توجه به این نکته ضروری است که کاهش هزینه‌ها باید با رعایت کاهش کمبود و اتلاف باید انجام پذیرد (زهیری و پیشوایی، ۲۰۱۶). علاوه بر کمبود خون، توزیع نامناسب و تأمین نابهنگام خون به بیمارستان‌ها هم می‌تواند کاملاً مصیبت‌بار و فاجعه آفرین باشد (سائر و همکاران، ۲۰۰۷). تقاضاهای واصله به مراکز خون تحت شرایط خاصی صورت می‌گیرد. بدین صورت که فرآورده درخواستی (تقاضاها) از نظر گروه خونی یا وجود یا عدم وجود آنتی‌ژنی خاص تفکیک می‌گردد. توجه به گروه‌های خونی و شاخص‌های تطبیق‌پذیری یکی از اصول انتقال خون است و رعایت نکردن آن‌ها می‌تواند اتفاقات ناگواری به عمل آورد.

در زنجیره خون نیز هر فرآورده خونی را بر اساس گروهی خاص تفکیک شده است. روشی برای تقسیم‌بندی خون‌ها بر پایه وجود یا نبود آنتی‌ژن‌های موروثی خاصی روی سطح گلبول‌های قرمز خون وجود دارد. بر اساس مهم‌ترین این تقسیم‌بندی، خون انسان‌ها به چهار دسته A، AB، B و O و بر اساس تقسیم‌بندی دیگر به گروه‌های RH⁺ و RH⁻ تقسیم می‌شود. با توجه به درصد نامتناسب توزیع گروه‌های خونی در بین داوطلبان امکان کمبود همیشه در زنجیره تأمین وجود داشته است در دنیای پزشکی در صورت مواجهه با کمبود یک فرآورده خونی از گروهی خاص سعی در جایگزینی آن فرآورده از گروه‌هایی که امکان تطبیق وجود دارد، می‌شود (دیلون و همکاران، ۲۰۱۷). این کار باعث کاهش میزان کمبود و نجات جان بیمارانی که خون با گروه خونی و RH موردنیاز آن در همان لحظه موجود نمی‌باشد می‌شود (زهیری و پیشوایی، ۲۰۱۶). به‌منظور حل این چالش در تحقیق پیش رو راهکاری مبتنی بر تطبیق‌پذیری تقاضاهای پاسخ داده نشده در نظر گرفته خواهد شد که مبتنی بر جدول (۱) در مدل ریاضی لحاظ خواهد شد.

طراحی مدل بهینه‌سازی زنجیره تأمین خون با استفاده از رویکرد ...؛ کوچکی تاجانی و همکاران | ۸۳

همان‌طور که گفته‌شده تفکیک خون به محصولات خونی باعث ایجاد محصولات جدید می‌شوند این محصولات جدید علاوه بر اینکه خصوصیات خاص خود را دارا بوده و کاربردهای متفاوتی در علوم پزشکی دارند دارای عمر متفاوت نیز می‌باشند. در مطالعات نجفی و همکاران (۲۰۱۷) و انصافیان و همکاران (۲۰۱۷) به این مسئله توجه شده است؛ که این مسئله می‌تواند مانع از نگهداری بیش از حد یک محصول خاص در انبار مرکز خون یا بیمارستان به‌عنوان ذخیره خونی شود. مسئله دیگر مورد توجه لحاظ سن تقاضا محصول درخواستی می‌باشد؛ که این، تقاضا مبتنی بر سن را در زنجیره تأمین ایجاد می‌نماید. (برخی بیماران خاص با توجه به نوع بیماری نیاز به یک محصول تازه و یا معمولی نیازمند می‌باشند) (اسکندری و همکاران، ۲۰۱۸).

جدول ۱. جدول سازگاری فرآورده‌های خونی

نوع گروه خونی گیرنده	سلول‌های قرمز اهداکنندگان	خون کل اهداکنندگان	پلاسمای اهداکنندگان	پلاکت اهداکنندگان
O RH+	O RH-, O RH+	O RH+, O RH-	هریک از انواع گروه‌های خونی	هریک از انواع گروه‌های خونی
O RH-	O RH-	O RH-	هریک از انواع گروه‌های خونی	هریک از انواع گروه‌های خونی
A RH+	A RH+, A RH-, O RH+, O RH-	A RH+, A RH-	هریک از انواع A یا AB	هریک از انواع گروه‌های خونی
A RH-	A RH-, O RH-	A RH-	هریک از انواع A, AB	هریک از انواع گروه‌های خونی
B RH+	B RH+, B RH-, O RH+, O RH-	B RH+, B RH-	هریک از انواع B یا AB	هریک از انواع گروه‌های خونی
B RH-	B RH-, O RH-	B RH-	هریک از انواع B یا AB	هریک از انواع گروه‌های خونی
AB RH+	هریک از انواع گروه‌های خونی	AB RH+, AB RH-	هریک از انواع AB	هریک از انواع گروه‌های خونی
AB RH-	AB RH-, A RH-, B RH-, O RH-	AB RH-	هریک از انواع AB	هریک از انواع گروه‌های خونی

پیشینه پژوهش

مقالات بسیاری در حوزه مدیریت خون و زنجیره تأمین خون نگاشته شده است و از جنبه‌های گوناگون این موضوع مورد بررسی قرار گرفته است. شاید بتوان آغاز این مطالعات را توسط ناهیماس (۱۹۸۲) در خصوص زنجیره تأمین محصولات فاسدشدنی دانست؛ و بعدها این مطالعات توسط پراستاکوس (۱۹۸۴) و پیرسکالا (۲۰۰۵)، توسعه یافته است. مهم‌ترین مطالعات سال‌های اخیر با تمرکز بر طراحی زنجیره تأمین خون، می‌توان به مطالعات ذیل اشاره نمود.

سپونتریس (۱۹۸۴) مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح را ارائه داده است که در هنگام سفارش برای خون، جدید و یا قدیمی بودن آن را در نظر می‌گیرد و خون‌های تازه را از مرکز گردآوری خون به بیمارستان تخصیص می‌دهد و هدف آن‌ها کمینه کردن تعداد متوسط خون بازگردانده شده از بیمارستان به مراکز خون است. ژاکوبز و همکاران (۱۹۹۶) دو مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح را برای بررسی مسئله جایابی تسهیلات صلیب سرخ ویرجینیای آمریکا ارائه نموده‌اند کار آن‌ها زمینه را برای فعالیت برنامه‌ریزی که در مراکز توزیع و گردآوری خون امروزی انجام می‌گیرد فراهم کرده است. هایجما و همکاران (۲۰۰۷) برنامه‌ریزی پویا مبتنی بر زنجیره مارکوف را برای یک مسئله واقعی برای بانک خونی در هلند به کاربرند مقاله آن‌ها بر روی تولید و مدیریت موجودی پلاکت تمرکز می‌کند و همچنین مدل آن‌ها فقط هزینه‌هایی که به تولید و موجودی پلاکت مربوط‌اند را در نظر می‌گیرد. شاهین و همکاران (۲۰۰۷) سه مسئله زنجیره تأمین خون را از جنبه جایابی و مکان‌یابی منطقه‌ای با استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح فرموله کرده‌اند که نتایج تجربی با استفاده از داده‌های واقعی صلیب سرخ ترکیه گردآوری شده است. هایجیما و همکاران (۲۰۰۷) از یک روش برنامه‌نویسی پویا مبتنی بر زنجیره مارکوف و شبیه‌سازی آن برای تخمین میزان دو نوع تقاضا متفاوت برای بیماران خاص پرداختند؛ که تقاضا محصولات جوان برای بیماران سرطانی و تقاضا با هر سنی برای سایر بیماران.

قندفروش و سن (۲۰۱۰) با ارائه یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی به دنبال کمینه کردن هزینه‌های تولید پلاکت خون برای یک مرکز انتقال خون منطقه‌ای بودند. به دلیل غیر محدب بودن تابع هدف ارائه شده حلال بسیار مشکل بود و تضمینی برای رسیدن به یک جواب بهینه نمی‌داد بنابراین فرمولاسیون مدل به شکل ساده‌تری درآورد آن‌ها با تبدیل تابع هدف به محدودیت درجه دو به یک عبارت خطی و تبدیل آن به یک برنامه‌ریزی عدد صحیح به حل مدل پرداخته‌اند. هملمایر و همکاران (۲۰۱۰) مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح را توسعه دادند که تصمیم می‌گیرد بین تعدادی بیمارستان، کدام برای انتقال خون ارسال شده پوشش داده شود. روش‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح و جستجوی متغیر محلی برای به دست آوردن جواب‌های محلی و مقایسه مورد استفاده قرار گرفته‌اند محققان با در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضای خون توسط بیمارستان‌ها مقدار خون مورد نیاز هر بیمارستان را در روز تعیین کردند. ژو و همکاران (۲۰۱۱) مسئله موجودی پلاکت را با فرض عمر ثابت ۳ روزه برای پلاکت و تقاضای غیرقطعی تحلیل کرده‌اند همچنین برای حل مسئله از برنامه‌ریزی پویا استفاده کرده‌اند و در آن منبع دوگانه متغیر برای سفارش در نظر گرفته‌اند به این معنا که تصمیم‌گیرنده علاوه بر سفارش عادی حق انتخاب سفارش تسریع شده را نیز دارد.

آلفونسو و همکاران (۲۰۱۲) برای جمع‌آوری خون در فرانسه تجهیزات ثابت و سیار را در نظر گرفته‌اند، آن‌ها مدل‌های شبکه‌ای برای توصیف فرآیندهای مختلف گردآوری خون رفتار اعطاکنندگان، منابع انسانی لازم استفاده کرده‌اند. همچنین برای تشخیص منابع انسانی لازم و برنامه‌ریزی استراتژی ملاقات با اعطاکنندگان از شبیه‌سازی استفاده نموده‌اند. رمضانیان و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط جهت کاهش کمبودها و نیز افزایش انگیزه برای اهداکنندگان خونی ارائه نمودند. نوآوری این تحقیق در نظر گرفتن جنبه‌های اجتماعی از قبل فاصله اهداکنندگان، تجربه اهداکنندگان و بودجه‌های جهت افزایش میزان جذب اهداکنندگان خون بوده است به منظور مواجهه با عدم قطعیت تقاضا نیز از برنامه‌ریزی پایدار مبتنی بر سناریو جهت مواجهه با عدم قطعیت استفاده

نمودند؛ و کاربرد مدل را با یک مطالعه موردی در تهران مورد آزمون قرار دادند. حیدری و پسندیده (۲۰۱۸) یک مدل زنجیره تأمین دو هدفه ارائه نمودند که به صورت هم زمان هم به دنبال کاهش کل هزینه های شبکه زنجیره تأمین و نیز کل تأثیرات زیست محیطی فعالیت های این مجموعه بوده است. تقاضا و عرضه در این مدل دارای عدم قطعیت بوده و از برنامه ریزی استوار به منظور مواجهه با این عدم قطعیت استفاده شده است در نهایت مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح ارائه شده با استفاده از الگوریتم آزادسازی لاگرانژ حل شده است. زهیری و همکاران (۲۰۱۸) یک مدل دو هدفه برنامه ریزی مختلط عدد صحیح باهدف جمع آوری، تولید غربالگری توزیع و برنامه ریزی مسیریابی محصولات خونی ارائه شده است؛ که به دنبال بهینه سازی کل هزینه و نیز اولویت تازگی محصولات خون منتقل شده به بیمارستان ها است. برای مقابله با عدم اطمینان ذاتی داده های ورودی یک رویکرد برنامه نویسی تصادفی چند مرحله مبتنی بر درخت سناریو ترکیبی ارائه شده است. با توجه به پیچیدگی مدل یک مدل هایبرید MSDV فازی ارائه نموده اند؛ که نتایج نشان دهنده بهره وری راه حل ارائه شده و الگوریتم حل بوده است. همدان و دیابت (۲۰۱۹) یک مدل تصادفی دو مرحله ای برای گلبول قرمز ارائه نموده اند که هم زمان تصمیمات تولید و موجودی و مکان را مورد نظر قرار می دهد. مسئله اول در خصوص تعداد امکانات جمع آوری خون سیار برای اعزام را تعیین می کند در حالی که در مرحله دوم تصمیم گیری در مورد موجودی و تولید را مورد بررسی قرار می دهد هدف به حداقل رساندن تعداد واحدهای فاسد شده، هزینه سیستم و زمان تحویل خون بوده است که با استفاده از روش «اپسیلون-محدودیت» مسئله سه هدفه به یک مسئله تبدیل شده و طی یک برنامه نویسی عدد صحیح حل گردیده است. حسینی و همکاران (۲۰۲۰) یک مدل برنامه نویسی تصادفی دوسطحی برای مدیریت زنجیره تأمین گلبول های قرمز ارائه داده اند که این مدل تصمیمات مربوط به تخصیص موقعیت مکانی تسهیلات و مدیریت موجودی را بهبود می بخشد و هدف آن کاهش هزینه کل زنجیره تأمین شامل هزینه های ثابت، هزینه های عملیاتی، هزینه های نگهداری موجودی، هزینه های ضایعات و هزینه های حمل و نقل می باشد. روش

طراحی مدل بهینه‌سازی زنجیره تأمین خون با استفاده از رویکرد ...؛ کوچکی تاجانی و همکاران | ۸۷

بهینه‌سازی استوار نیز برای مواجهه با عدم قطعیت پارامترها در این تحقیق پیشنهاد شده است. در این مقاله انتقال بین مراکز عرضه و تقاضا بر اساس شاخص ABO-RH می‌باشد دریکوند و همکاران (۲۰۲۰) یک مدل برنامه‌نویسی تصادفی استوار تصادفی را برای مسئله توزیع موجودی در یک زنجیره تأمین خون پیشنهاد نموده‌اند، هدف اول، حداقل رساندن تعداد کل کمبودها و ضایعات و هدف دوم ارتباط بین یک مرکز خون و دو تیپ بیمارستان و بیمارار بوده است. از روش ترکیبی اپسیلون محدودیت و آرام‌سازی لاگرانژ برای حل مدل پیشنهادی دوهدفه استفاده شده است. در انتها، این مدل با استفاده از داده‌های یک مطالعه موردی واقعی در ایران پیاده‌سازی شده تا کاربرد بالقوه آن را نشان دهد. قهرمانی و همکاران (۲۰۲۱) یک شبکه زنجیره تأمین خون برای کاهش هزینه کل شبکه زنجیره تأمین تحت تقاضا و هزینه حمل‌ونقل طراحی نموده‌اند. سطوح شبکه که برای مدل‌سازی در نظر گرفته شده شامل خوشه‌های اهدا، مراکز انتقال خون دائمی و موقت، مراکز آزمایشگاه عمده و نقاط تأمین خون است اهداف دیگر تحقیق نیز شامل تعیین تعداد و مکان بهینه امکانات بالقوه تخصیص بهینه جریان کالا بین تأسیسات منتخب و تعیین مناسب‌ترین مسیر حمل‌ونقل برای توزیع کالا به مناطق مورد تقاضا در شرایط عدم اطمینان بوده است. آرائی و همکاران (۲۰۲۱) یک شبکه زنجیره تأمین خون را که شامل چهار سطح (اهداکنندگان، امکانات جمع‌آوری خون، مراکز خون و بیمارستان‌ها) که دارای دو ویژگی مهم عوامل ABO-Rh و ماندگاری محصولات خونی است طراحی نموده‌اند. علاوه بر این در مطالعه آن‌ها، یک سیستم موجودی یکپارچه برای به اشتراک‌گذاری سطوح موجودی بیمارستان‌ها در نظر گرفته شده است. این نوع سیستم موجودی به‌عنوان «تأمین جانبی» شناخته می‌شود که به بیمارستان اجازه می‌دهد در صورت عدم وجود محصول مورد نیاز در مرکز خون و مازاد آن در هر بیمارستان، تقاضای خود را از طریق موجودی بیمارستان‌های دیگر برآورده کند.

با توجه به تحقیقات فوق‌الذکر طراحی زنجیره تأمین با در نظر گرفتن عوامل مختلف دارای چالش‌های گوناگونی خواهد بود لذا آنچه این تحقیق رو از تحقیقات پیش رو

متمایز می‌سازد در نگاه اول به محصولات خونی بوده که این محصولات دارای ویژگی‌های خاص خود و نیز طول عمر مخصوص به خود در زنجیره تأمین می‌باشند که نیازمند برنامه‌نویسی ریاضی به منظور تفکیک آن‌ها از یکدیگر می‌باشند. عامل دیگر مورد توجه در تحقیق پیش رو شرایط عدم قطعیت در نظر گرفته شده برای تقاضا و عرضه می‌باشد. با توجه به ادبیات تحقیق و کاربرد زنجیره مارکوف، این زنجیره می‌تواند یک راه کار مناسب به منظور پیش‌بینی میزان تقاضا باشد. زنجیره مارکوف به منظور توصیف توالی از رویدادهای احتمالی است که در آن احتمال هر رویداد فقط به حالت رویداد قبلی بستگی دارد. برای میزان اهداکنندگان نیز از آنجایی که حدود میزان عرضه بر اساس سوابق قبلی عموماً در مراکز انتقال خون در دسترس است، لذا با ارائه یک حد بالا و پایین و میانگین ماهانه می‌توان میزان عرضه دارای عدم اطمینان را به صورت یک بازه عدد فازی در نظر گرفت که انتخاب برش مناسب با توجه به سطح عدم اطمینان می‌تواند برآورد مناسبی از میزان عرضه در دوره زمانی مورد نظر ارائه دهد.

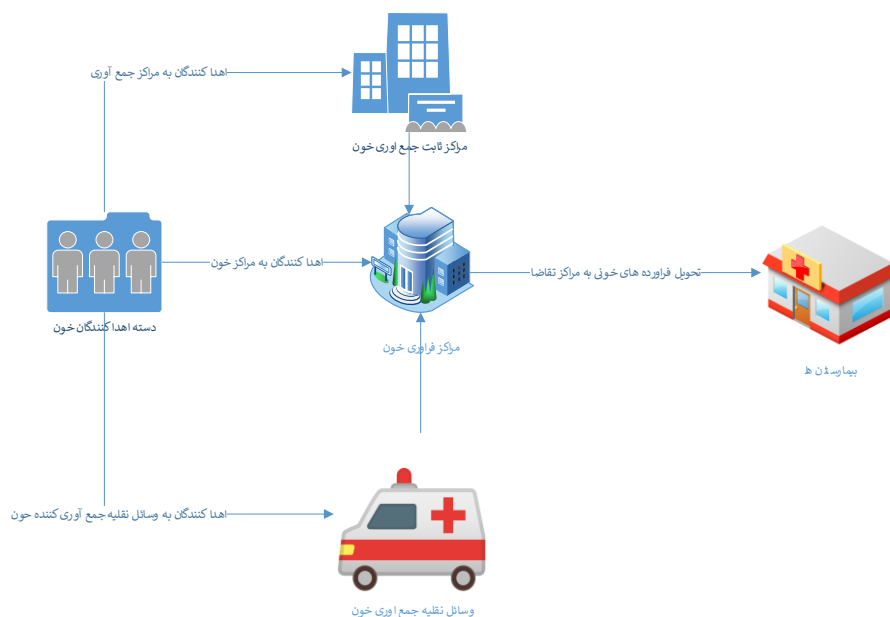
در ادامه تحقیق به صورت گام به گام دنبال خواهد شده در گام اول به معرفی مسئله تحقیق خواهیم پرداخت. نوآوری‌های تحقیق، مفروضات و نیز پارامترهای و متغیرهای تشکیل دهنده مسئله تعریف خواهد شد در گام دوم با توجه به شرح مسئله تحقیق مدل سازی ریاضی صورت خواهد پذیرفت در گام سوم عدم اطمینان در تقاضا و عرضه و چگونگی تخمین دو پارامتر دارای عدم اطمینان تشریح خواهد شد. در گام چهارم پس از تشکیل ساختار کلی مدل نیاز به اعتبار سنجی مدل به صورت حل دقیق در نرم افزار گمز و حل با استفاده از الگوریتم‌های متاهیوریستیک در نرم افزار متلب خواهد بود و در گام پنجم کارایی مدل تحقیق بر اساس یک مطالعه موردی مورد آزمون قرار خواهد گرفت در گام ششم میزان حساسیت مدل تحقیق بر اساس تغییرات در میزان عرضه مورد بررسی قرار خواهد گرفت

تعریف مسئله

مدل تحقیق پیش رو بر اساس یک زنجیره تأمین جامع خون برگرفته از سه جزء جمع‌آوری، پردازش و مصرف فرآورده‌های خونی تشکیل شده است. مراکز جمع‌آوری در این مدل بر سه نوع می‌باشند اول وسایل نقلیه‌ای که در مکان‌های از پیش تعیین شده به اهداکنندگان خون سرویس داده و خون جمع‌آوری می‌کنند دوم تسهیلات جمع‌آوری ثابت که در برخی از مناطق شهر مستقر شده و فقط وظیفه جمع‌آوری خون را انجام می‌دهند و سوم مراکز خون (مراکز انتقال خون) که در واقع هم کار جمع‌آوری خون و نیز سایر وظایف مربوط به فرآوری محصول، آزمایش و برنامه‌ریزی انتقال به مراکز تقاضا و بیمارستان‌ها انجام می‌دهند. بخش بعدی مدل مربوط به پردازش خون جمع‌آوری شده می‌باشد که در این بخش خون جمع‌آوری شده توسط جمع‌آوری‌کننده‌ها در مرکز خون تجمع شده درصد هر گروه خونی مشخص شده و بر اساس نیاز در مراکز خونی به محصولاتی نظیر گلبول قرمز، پلاکت و خون کامل، پلاسما بیمارستان‌ها ارسال می‌شود. شماتیک زنجیره تأمین موردنظر در شکل (۱) به تصویر کشیده شده است. نکته قابل ذکر در این است که مادامی که خون به محصولات دیگری تبدیل می‌گردد برخی از خصوصیات محصول از جمله سن محصولات با یکدیگر متفاوت می‌باشد لذا در ادامه انتقال محصولات و پاسخ به تقاضای آن‌ها با توجه به سن آن محصول خونی در نظر خواهد گرفته شد؛ و نیز باید توجه داشت که فرآورده خونی درخواستی از مراکز تقاضا به دو شکل می‌باشد برای برخی بیماران خاص و در جراحی‌های خاص به یکسری فرآورده‌های خونی با عمر مشخص (خون جوان) نیاز می‌باشد لذا لزوم اهمیت به سن خون ارسالی به بیمارستان‌ها نیز در مدل دیده خواهد شد. در دنیای واقعی در مواجهه با کمبود در بیمارستان‌ها یک راه کار اندیشیده می‌شود و آن استفاده از اصل تطبیق‌پذیری گروه‌های خونی است یعنی طی یک ماتریس تطبیق‌پذیری از قبل پذیرفته شده یکسری از تقاضاهای گروه‌های خونی g در صورت کمبود می‌تواند با عرضه گروه‌های خونی f ارضاء گردند؛ بنابراین برای موجودی

پایان دوره بیمارستان‌ها یک متغیر جدید تعریف می‌نماییم (باید توجه داشت تطبیق‌پذیری پس‌ازاین باید انجام گیرد که محصول خونی هم گروه با آن محصول وجود نداشته باشد)

شکل ۱. شماتیک زنجیره تأمین خون



مدل‌های قطعی طراحی شبکه زنجیره تأمین عدم قطعیت‌ها و اطلاعات محل مربوط به آینده مؤثر بر پارامترهای زنجیره تأمین را در نظر نمی‌گیرند و در نتیجه نمی‌توان عملکرد آتی زنجیره تأمین را تضمین نمایند چراکه با توجه به تغییر ذاتی و نوسانی و گاهی شدید محیط سیستم‌های عملیاتی بسیاری از پارامترها در مسائل بهینه‌سازی دارای خصوصیات تصادفی و غیرقطعی هستند در این شرایط در طراحی زنجیره تأمین که چشم‌انداز بلندمدت تصمیم‌گیرندگان باعث تشدید آن می‌گردد. باعث می‌شود عدم اطمینان افزایش یابد. ماهیت غیرقطعی تقاضا برای واحدهای خونی و عدم قطعیت در اهداکنندگان باعث پیچیده‌ترین شدن برنامه‌ریزی زنجیره تأمین خون می‌گردد. (پروداکتس، ۲۰۰۷). در این تحقیق به منظور مواجهه با عدم قطعیت در مقادیر تقاضا و عرضه خون از دو رویکرد

طراحی مدل بهینه‌سازی زنجیره تأمین خون با استفاده از رویکرد ...؛ کوچکی تاجانی و همکاران | ۹۱

متفاوت استفاده شده است. برای تقاضا یک رویکرد فازی مثلثی پیشنهاد شده است که با توجه به شرایط عدم اطمینان و بر اساس نظر تصمیم‌گیرندگان برش آلفا مناسب انتخاب شده و تقاضا نسبت به شرایط تطبیق می‌یابد. در خصوص میزان عرضه نیز به منظور تخمین تعداد اهداکنندگان دوره‌های آتی از زنجیره مارکوف به منظور پیش‌بینی تعداد اهداکنندگان بر اساس سوابق موجود در گذشته استفاده نموده‌ایم.

درواقع توسعه‌های که در مدل ریاضی پیش رو در نظر گرفته شده و آن را از مقالات دیگر متمایز می‌سازد

۱- طراحی زنجیره تأمین جامع که شامل مسئله جمع‌آوری خون توسط سه جز جمع‌آوری‌کننده خون، مسئله پردازش و چند محصولی بودن و چند ویژگی بودن محصولات خونی، در نظر گرفتن سن محصولات خونی و تفکیک تقاضا بر اساس سن خون که هزینه کل را مینیمم نماید.

۲- ارائه یک روش جدید به منظور تطبیق‌پذیری محصولات واحدهای خونی در شرایطی که در صورت که خون هم‌گروه با آن محصول خونی یافت نشد خون جایگزین مطابق جدول شماره ۱ ارسال گردد.

۳- ارائه یک راهکار فازی به منظور مقابله با عدم قطعیت در تقاضای ارسالی بیمارستان‌ها

۴- راهکاری برای پیش‌بینی میزان اهداکنندگان خون مبتنی بر زنجیره مارکوف

مفروضات مدل

- تمام مراکز جمع‌آوری دارای ظرفیت محدود می‌باشند.
- مراکز خون هم‌کار جمع‌آوری خون و فرآوری محصولات خونی را بر عهده دارند
- طول فرآیند پردازش و فراوری محصولات خونی ۲ روز است.
- تقاضای واسله به مراکز خون به دو نوع تازه و معمولی تفکیک می‌شود.
- هر نوع محصولات خونی در این تحقیق با نوع دیگر دارای تفاوت در عمر می‌باشد و بر اساس سن محصول به تقاضای واسله پاسخ داده می‌شود.

- عدم قطعیت در تقاضا و عرضه دیده شده است.

مدل ریاضی تحقیق

معرفی پارامترها و متغیرهای تحقیق

ایندکس‌ها:

r	سن محصولی خونی
i	دسته اهداکنندگان خون
y	مکان‌های که وسیله جمع‌آوری خون در آنجا مستقر می‌شود
b	تعداد وسیله‌های نقلیه جمع‌آوری خون
l	تسهیلات جمع‌آوری خون ثابت
m	مرکز خون (جمع‌آوری + پردازش و توزیع)
h	بیمارستان‌ها و مراکز تقاضا محصولات خونی
p	محصولات خونی
g, f	گروه‌های خونی مبتنی بر ABO-RH
t	دوره زمانی

پارامترها:

rl_p	طول عمر هر محصول p
ry_p	حداکثر سن مورد قبول برای مصرف محصولات خونی p
$mat_{p,g,f}$	ماتریس باینری تطبیق‌پذیری گروه محصولات خونی در صورتی که محصول خونی p جهت ارضای تقاضا موجود نباشد
$demY_{p,g,h,t}$	تقاضای محصولات خونی p با عمر جوان از گروه g از مرکز تقاضا h در دوره t
$demO_{p,g,h,t}$	تقاضای محصولات خونی p با عمر معمولی از گروه g از مرکز تقاضا h در دوره t
Cb_b	هزینه خون جمع‌آوری‌شده توسط وسیله b
Cm_m	هزینه خون جمع‌آوری‌شده توسط مرکز خون m
Cl_l	هزینه خون جمع‌آوری‌شده توسط مرکز جمع‌آوری b

طراحی مدل بهینه‌سازی زنجیره تأمین خون با استفاده از رویکرد ...؛ کوچکی تاجانی و همکاران | ۹۳

Cih_h	هزینه نگهداری محصولات خونی در بیمارستان h
Cim_m	هزینه نگهداری محصولات خونی در مرکز خون m
$Cmh_{m,h}$	هزینه انتقال محصولات خونی از مرکز خون m به بیمارستان h
Csh_h	هزینه کمبود محصولات خونی p
Cw	هزینه اتلاف محصولات خونی
Cd	حداکثر فاصله مجاز
$Zi_{i,t}$	حداکثر ظرفیت اهداکنندگان i در دوره t
Zb_b	حداکثر ظرفیت دریافت خون وسیله b
Zl_l	حداکثر ظرفیت دریافت مرکز l
Zm_m	حداکثر ظرفیت دریافت خون مراکز خون m
$Dy_{i,y}$	فاصله اهداکنندگان i با مکان جمع‌آوری خون y
$DI_{i,l}$	فاصله اهداکنندگان i با مرکز دریافت خون l
$Dm_{i,m}$	فاصله اهداکنندگان i با مرکز خون m
BM	یک عدد بسیار بزرگ
Zg_g	درصد مقدار هر گروه خونی در کل خون جمع‌آوری شده در مرکز m
Zp_p	درصد مقدار هر محصول خونی p در کل خون جمع‌آوری شده در مرکز m
α_{phac}	ضریب تابع آلفا کات
$ct : (ct', ct'', ct''')$	ضریب فازی پارامتر تقاضا

متغیرهای تحقیق

متغیرهای عدد صحیح

$MMb_{b,t}$	مقدار خون جمع‌آوری شده توسط وسیله b در دوره t
$MMm_{m,t}$	مقدار خون جمع‌آوری شده توسط وسیله b در دوره t
$MMl_{l,t}$	مقدار خون جمع‌آوری شده در مراکز جمع‌آوری l
$Ipb_{m,p,g,r,t}$	مقدار موجودی آخر دوره مرکز خون m از محصول p با گروه g با سن r در دوره t
$Iph_{h,p,g,r,t}$	مقدار موجودی آخر دوره بیمارستان h از محصول p با گروه g با سن r در دوره t
$MpgH_{m,h,p,g,r,t}$	مقدار محصول p از گروه g با سن r انتقال یافته از مرکز خون m به بیمارستان h در دوره t

$Sph_{p,g,h,r,t}$	مقدار کمبود محصول p در گروه g در بیمارستان h در دوره t
$Wh_{p,t}$	میزان اتلاف محصول p فاسد شده در بیمارستان h در دوره t
$Wb_{b,t}$	میزان اتلاف محصول p فاسد شده در مرکز خون m در دوره t
$KgM_{m,t}$	مقدار کل خون جمع آوری شده در مرکز خون m در دوره t
$MgM_{m,g,t}$	مقدار هر گروه خونی g در خون جمع آوری شده در مرکز خون m در دوره t
$MpM_{m,p,g,t}$	مقدار هر محصول p با گروه خونی g در مرکز خون m در دوره T
$Niph_{h,p,g,r,t}$	مقدار موجودی آخر دوره بیمارستان h از محصول p گروه g سن r در دوره t ، پس از کسر میزان قابل انتقال طبق ماتریس تطبیق پذیری گروه‌های خونی
$Nsph_{h,p,g,r,t}$	مقدار کمبود آخر دوره بیمارستان h از محصول p گروه g سن r در دوره t ، پس از کسر میزان قابل انتقال طبق ماتریس تطبیق پذیری گروه‌های خونی

متغیرهای باینری تحقیق

$CallB_{i,y,b,t}$	اگر اهداکنندگان i در مکان y به وسیله b خون بدهند 1 در غیر این صورت 0
$PB_{b,y,t}$	اگر وسیله جمع آوری خون در منطقه y در دوره t قرار بگیرد 1 در غیر این صورت 0
$CallL_{i,l,t}$	اگر اهداکنندگان i به مرکز جمع آوری l خون بدهند 1 در غیر این صورت 0
$CallM_{i,m,t}$	اگر اهداکنندگان i به مرکز خون m خون بدهند 1 در غیر این صورت 0
$VLM_{l,m,t}$	اگر وسیله b خون جمع آوری شده را به مرکز خون m تحویل دهد 1 در غیر این صورت 0
$VBM_{b,m,t}$	اگر مرکز جمع آوری خون l خون جمع آوری شده را به مرکز خون m تحویل دهد 1 در غیر این صورت 0

متغیرهای مثبت

$\delta_{m,g,t}$	مقادیر کمتر از یک جهت دستیابی به مقادیر عدد صحیح برای میزان گروه خونی g در مرکز خونی m در دوره t
$\mu_{m,g,t}$	مقادیر کمتر از یک جهت دستیابی به مقادیر عدد صحیح میزان محصول خونی p با گروه g در مرکز خونی m در دوره t
$percent_{p,g,f,h,t}$	درصد از محصول p در گروه خونی f که به جای تقاضای گروه g در بیمارستان h در دوره t جهت رفع کمبود خون تازه
$percent'_{p,g,f,h,t}$	درصد از محصول p در گروه خونی f که به جای تقاضای گروه g در بیمارستان h در دوره t جهت رفع کمبود خون معمولی

طراحی مدل بهینه‌سازی زنجیره تأمین خون با استفاده از رویکرد ...؛ کوچکی تاجانی و همکاران | ۹۵

درصد از محصول p در گروه خونی f که به جای تقاضای گروه g در بیمارستان h در دوره t از میزان موجودی خون تازه
 $percent'_{p,g,f,h,t}$
 درصد از محصول p در گروه خونی f که به جای تقاضای گروه g در بیمارستان h در دوره t از میزان موجودی خون معمولی
 $percent'_{p,g,f,h,t}$

مدل ریاضی تحقیق

$$\begin{aligned} MinZ = & \sum_b \sum_t MMb_{b,t} * Cb_b + \sum_m \sum_t MMm_{m,t} * Cm_m + \sum_l \sum_t MML_{l,t} * Cl_l \\ & + \sum_h \sum_p \sum_g \sum_r \sum_t NIp_{h,p,g,r,t} * Cih_h + \sum_p \sum_g \sum_h \sum_r \sum_t Ipb_{m,p,g,r,t} * Cim_m \\ & + \sum_m \sum_h \sum_p \sum_g \sum_r \sum_t MpgH_{m,h,p,g,r,t} * Cmh_{m,h} \\ & + \sum_p \sum_g \sum_h \sum_r \sum_t NSph_{p,g,h,r,t} * Csh_h \\ & + \sum_p \sum_t Wb_{p,t} * Cw + \sum_p \sum_t Wh_{p,t} * Cw \end{aligned} \quad (1)$$

Subject to:

$$\sum_y \sum_b CallB_{i,y,b,t} \leq 1 \quad \forall i,t \quad (2)$$

$$CallB_{i,y,b,t} * dy_{i,y} \leq cd \quad \forall i,y,b,t \quad (3)$$

$$\sum_i \sum_y CallB_{i,y,b,t} * Zi_{i,t} \leq Zb_b \quad \forall b,t \quad (4)$$

$$\sum_i \sum_y CallB_{i,y,b,t} * Zi_{i,t} = MMb_{b,t} \quad \forall b,t \quad (5)$$

$$\sum_y Pb_{b,y,t} = 1 \quad \forall b,t \quad (6)$$

$$CallB_{i,y,b,t} \leq Pb_{b,y,t} \quad \forall i,y,b,t \quad (7)$$

$$\sum_l CallL_{i,l,t} \leq 1 \quad \forall i,l,t \quad (8)$$

$$CallL_{i,l,t} * Dl_{i,l} \leq cd \quad \forall i,l,t \quad (9)$$

$$CallL_{i,l,t} * Zi_{i,t} \leq Zl_l \quad \forall i,l,t \quad (10)$$

$$\sum_i CallL_{i,l,t} * Zi_{i,t} = Mml_{l,t} \quad \forall l,t \quad (11)$$

$$\sum_m Call_{i,m,t} \leq 1 \quad \forall i,t \quad (12)$$

$$Call_{i,m,t} * Dm_{i,m} \leq cd \quad \forall i,m,t \quad (13)$$

$$\sum_m Call_{i,m,t} * Zi_{i,t} \leq Zm_m \quad \forall m, t \quad (14)$$

$$\sum_m CallM_{i,m,t} * Zi_{i,t} \leq Mmm_{m,t} \quad \forall m, t \quad (15)$$

$$\sum_y \sum_b CallB_{i,y,b,t} + \sum_l CallL_{i,l,t} + \sum_m CallM_{i,m,t} \leq 1 \quad \forall i, t \quad (16)$$

$$\sum_m VBM_{b,m,t} \leq 1 \quad \forall b, t \quad (17)$$

$$VBM_{b,m,t} \leq \sum_i \sum_y CallB_{i,y,b,t} \quad \forall b, m, t \quad (18)$$

$$\sum_m VBM_{b,m,t} * BM \geq \sum_i \sum_y CallB_{i,y,b,t} \quad \forall b, t \quad (19)$$

$$\sum_m Vlm_{l,m,t} \leq 1 \quad \forall l, t \quad (20)$$

$$Vlm_{l,m,t} \leq \sum_i CallL_{i,l,t} \quad \forall l, m, t \quad (21)$$

$$\sum_m Vlm_{l,m,t} * BM \geq \sum_i CallL_{i,l,t} \quad \forall l, t \quad (22)$$

$$\sum_b MmB_{b,t} * Vbm_{b,m,t} + \sum_l Mml_{l,t} * Vlm_{l,m,t} + Mmm_{m,t} \leq Zm_m \quad \forall m, t \quad (23)$$

$$\sum_b MmB_{b,t} * Vbm_{b,m,t} + \sum_l Mml_{l,t} * Vlm_{l,m,t} + Mmm_{m,t} \leq Kgm_{m,t} \quad \forall m, t \quad (24)$$

$$Mgm_{m,g,t} + \delta_{m,g,t} = Kgm_{m,t} * Zg_g \quad \forall m, g, t \quad (25)$$

$$Mpm_{m,p,g,t} + \mu_{m,p,g,t} = mgm_{m,g,t-2} * Zp_p \quad \forall m, p, g, t \quad (26)$$

$$\delta_{m,g,t} < 1 \quad \forall m, g, t \quad (27)$$

$$\mu_{m,p,g,t} < 1 \quad \forall m, p, g, t \quad (28)$$

$$Ipb_{m,p,g,r,t} = Ipb_{m,p,g,r-1,t-1} + Mpm_{m,p,g,t} - \sum_h MpgH_{m,h,p,g,r,t} \quad \forall m, p, g, r=3, t \geq 3 \quad (29)$$

$$\sum_{r=3}^{r=rl_p} Ipb_{m,p,g,r,t} = \sum_{r=3}^{r=rl_p} Ipb_{m,p,g,r-1,t-1} - \sum_h \sum_{r=3}^{r=rl_p} MpgH_{m,h,p,g,r,t} \quad \forall m, p, g, r > 3, t \geq 3 \quad (30)$$

$$\sum_{r=3}^{r=ry_p} Iph_{h,p,g,r,t} = \sum_{r=3}^{r=ry_p} Niph_{h,p,g,r-1,t-1} - DemY_{p,g,h,t} \quad \forall h, p, g, t \quad (31)$$

$$+ \sum_{r=3}^{r=ry_p} MpgH_{m,h,p,g,r,t} \quad \forall h, p, g, t \quad (32)$$

$$\sum_{r=ry_p+1}^{r=rl_p} Iph_{h,p,g,r,t} = \sum_{r=ry_p+1}^{r=rl_p} Niph_{h,p,g,r-1,t-1} - DemO_{p,g,h,t} \quad \forall h, p, g, t \quad (32)$$

$$+ \sum_{r=ry_p+1}^{r=rl_p} MpgH_{m,h,p,g,r,t} \quad \forall h, p, g, t \quad (33)$$

$$\sum_{r=3}^{r=ry_p} Sph_{h,p,g,r,t} = DemY_{p,g,h,t} - \sum_h \sum_{r=3}^{r=rl_p} MpgH_{m,h,p,g,r,t} \quad \forall h, p, g, t \quad (33)$$

طراحی مدل بهینه‌سازی زنجیره تأمین خون با استفاده از رویکرد ...؛ کوچکی تاجانی و همکاران | ۹۷

$$\sum_{r=ry_p+1}^{r=rl_p} Sph_{h,p,g,r,t} = DemO_{p,g,h,t} - \sum_h \sum_{r=ry_p+1}^{r=rl_p} MpgH_{m,h,p,g,r,t} \quad (34)$$

$$percent_{p,g,f,h,t} \leq 1 \quad \forall p,g,f,h,t \quad (35)$$

$$percent'_{p,g,f,h,t} \leq 1 \quad \forall p,g,f,h,t \quad (36)$$

$$percent''_{p,g,f,h,t} \leq 1 \quad \forall p,g,f,h,t \quad (37)$$

$$percent'''_{p,g,f,h,t} \leq 1 \quad \forall p,g,f,h,t \quad (38)$$

$$\sum_g percent_{p,g,f,h,t} \leq 1 \quad \forall p,f,h,t \quad (39)$$

$$\sum_g percent'_{p,g,f,h,t} \leq 1 \quad \forall p,f,h,t \quad (40)$$

$$\sum_g percent''_{p,g,f,h,t} \leq 1 \quad \forall p,f,h,t \quad (41)$$

$$\sum_g percent'''_{p,g,f,h,t} \leq 1 \quad \forall p,f,h,t \quad (42)$$

$$\sum_f percent_{p,g,f,h,t} * mat_{p,g,f} * \sum_{r=3}^{r=ry_p} Sph_{h,p,f,r,t} \leq \sum_{r=3}^{r=ry_p} Sph_{h,p,g,r,t} \quad \forall p,g,h,t \geq 3 \quad (43)$$

$$\sum_f percent'_{p,g,f,h,t} * mat_{p,g,f} * \sum_{r=ry_p+1}^{r=rl_p} Sph_{h,p,f,r,t} \leq \sum_{r=ry_p+1}^{r=rl_p} Sph_{h,p,g,r,t} \quad \forall p,g,h,t \geq 3 \quad (44)$$

$$\sum_f percent''_{p,g,f,h,t} * mat_{p,g,f} * \sum_{r=3}^{r=ry_p} Iph_{h,p,f,r,t} \leq \sum_{r=3}^{r=ry_p} Iph_{h,p,g,r,t} \quad \forall p,g,h,t \geq 3 \quad (45)$$

$$\sum_f percent'''_{p,g,f,h,t} * mat_{p,g,f} * \sum_{r=ry_p+1}^{r=rl_p} Iph_{h,p,f,r,t} \leq \sum_{r=ry_p+1}^{r=rl_p} Iph_{h,p,g,r,t} \quad \forall p,g,h,t \geq 3 \quad (46)$$

$$\sum_{r=3}^{r=ry_p} Niph_{h,p,g,r,t} = \sum_{r=3}^{r=ry_p} Iph_{h,p,g,r,t} - \quad \forall p,g,h,t \geq 3 \quad (47)$$

$$\sum_f percent_{p,g,f,h,t} * mat_{p,g,f} * \sum_{r=3}^{r=ry_p} Sph_{h,p,f,r,t} \quad \forall p,g,h,t \quad (48)$$

$$\sum_{r=ry_p+1}^{r=rl_p} Niph_{h,p,g,r,t} = \sum_{r=ry_p+1}^{r=rl_p} Iph_{h,p,g,r,t} -$$

$$\sum_f percent'_{p,g,f,h,t} * mat_{p,g,f} * \sum_{r=ry_p+1}^{r=rl_p} Sph_{h,p,f,r,t} \quad \forall p,g,h,t \quad (49)$$

$$\sum_{r=3}^{r=ry_p} NSph_{h,p,g,r,t} = \sum_{r=3}^{r=ry_p} Sph_{h,p,g,r,t}$$

$$- \sum_f percent''_{p,g,f,h,t} * mat_{p,g,f} * \sum_{r=3}^{r=ry_p} Iph_{h,p,f,r,t}$$

$$\sum_{r=ry_p+1}^{r=rl_p} NSph_{h,p,g,r,t} = \sum_{r=ry_p+1}^{r=rl_p} Sph_{h,p,g,r,t} \quad \forall p, g, h, t \quad (50)$$

$$-\sum_t percent'_{p,g,f,h,t} * mat_{p,g,f} * \sum_{r=ry_p+1}^{r=rl_p} Iph_{h,p,f,r,t}$$

$$Wh_{p,t} = \sum_{r=end} \sum_h \sum_g Niph_{h,p,g,r,t} \quad \forall p, t \quad (51)$$

$$Wb_{p,t} = \sum_{r=end} \sum_m \sum_g Ipb_{m,p,g,r,t} \quad \forall p, t \quad (52)$$

که تابع هدف (۱) به دنبال مینیمم سازی هزینه های متحمل بر زنجیره تأمین خون می باشد. محدودیت شماره (۲) اشاره می کند به اینکه هر گروه اهداکنندگان i حداکثر تنها در یک مکان y توسط یک وسیله b در دوره زمانی t پوشش داده می شوند. محدودیت (۳) فاصله اهداکنندگان i جهت تخصیص به وسیله b در مکان y در دوره t نبادی از حداکثر فاصله مجاز بیشتر باشد محدودیت (۴) میزان خون اهداشده به وسیله جمع آوری b باید کمتر از حداکثر ظرفیت وسیله باشد محدودیت (۵) میزان خون جمع آوری شده توسط وسیله b در دوره T را مشخص می کند محدودیت (۶) و (۷) مشخص می کند که هر وسیله جمع آوری خون b در کدام یک از مناطق y در دوره t مستقر می باشد (۸) اشاره می کنید به آنکه هر گروه اهداکنندگان i حداکثر تنها در یک مرکز جمع آوری خون l در دوره t می تواند جمع آوری شود محدودیت (۹) فاصله اهداکنندگان i جهت تخصیص به مرکز جمع آوری l در دوره t باید کمتر از حداکثر فاصله مجاز باشد محدودیت (۱۰) خون جمع آوری شده توسط مرکز جمع آوری l باید از حداکثر ظرفیت جمع آوری کمتر باشد محدودیت (۱۱) میزان خون جمع آوری شده توسط مراکز جمع آوری l در دوره t را مشخص می کند محدودیت (۱۲) اشاره می کند به اینکه هر گروه مشتریان i حداکثر می توان به یک مرکز خون m در هر دوره زمانی تخصیص یابد محدودیت (۱۳) فاصله اهداکنندگان جهت تخصیص به مراکز خون باید از حداکثر فاصله مجاز کمتر باشد محدودیت (۱۴) میزان خون جمع آوری شده توسط مراکز خون از حداکثر ظرفیت خون گیری مراکز خون باید کمتر باشد محدودیت (۱۵) میزان خون جمع آوری شده در مراکز خون m در دوره t را مشخص می کند. محدودیت (۱۶) این محدودیت مشخص می کند که هر i تنها فقط

می‌تواند به یکی از وسیله b یا مرکز جمع‌آوری l یا مرکز خون m خون اهدا نماید. محدودیت‌های اتصال (۱۷-۱۸-۱۹) اشاره به انتقال خون از هر b به مراکز خون m دارد محدودیت‌های اتصال (۲۰-۲۱-۲۲) اشاره به انتقال خون از مرکز جمع‌آوری l به مرکز خون m را دارد. محدودیت (۲۳) میزان کل خون جمع‌آوری شده در مراکز خون m باید همواره کوچک‌تر مساوی ظرفیتان مراکز خون باشد محدودیت (۲۴) به کل خون جمع‌آوری شده در مراکز خون اشاره دارد محدودیت (۲۵-۲۶) مشخص‌کننده سهم گروه‌های خونی در خون جمع‌آوری شده و نیز تفکیک خون به محصولات دیگر خونی اشاره دارد (لازم به ذکر است زمان تفکیک محصولات و نیز دوره آزمایش‌ها برابر دو روز است پس درواقع محصول به‌دست آمده در مرکز خون از خون دو روز قبل می‌باشد) محدودیت (۲۷-۲۸) اشاره به ضایعات حاصل از ضرب تبدیل گروه خونی و محصولات دارد محدودیت (۲۹-۳۰) این محدودیت میزان موجودی آخر دوره مراکز خون محصولات p با گروه g با سن r در دوره t را محاسبه می‌نماید. (۳۱-۳۲) این محدودیت میزان موجودی آخر دوره بیمارستان h با محصولات p از گروه g با سن r در دوره t را محاسبه می‌نماید محدودیت (۳۳-۳۴) میزان کمبود هر محصول p از گروه g را در بیمارستان h در دوره T محاسبه می‌نماید (۳۵-۳۶-۳۷-۳۸) اشاره به درصد جایگزینی از هر موجودی که تطبیق ماتریس تطبیق‌پذیری جهت ارضای تقاضا باقی ماند ارسال شود. (۳۹-۴۰-۴۱-۴۲) این محدودیت‌ها جلوگیری می‌کند از اینکه یک موجودی خون چند بار برای انتقال مورد استفاده قرار گیرد (۴۳-۴۴) حداکثر میزان رفع کمبود نباید از میزان کمبود بیشتر باشد (۴۵-۴۶) حداکثر میزان موجودی قابل انتقال نباید از حداکثر موجودی باقی مانده در دسترس بیشتر باشد (۴۷-۴۸) نیز به میزان موجودی جدید هر بیمارستان پس از کسر آن قسمت از موجودی که طبق ماتریس تطبیق‌پذیری قابلیت رفع کمبود را دارد اشاره می‌نماید. (۴۹-۵۰) میزان کمبود جدید هر بیمارستان پس از کسر آن قسمت از کمبود که توسط موجودی قابل تطبیق، محاسبه شده است. (۵۱) میزان اتلاف محصول خونی p در

دوره T که در بیمارستان‌ها فاسد می‌شود را محاسبه می‌نماید محدودیت (۵۲) میزان اتلاف خونی محصول p در دوره T در مراکز خون فاسد می‌شوند را محاسبه می‌نماید.

عدم اطمینان در تقاضا

استفاده از مجموعه‌های فازی در مقابله با عدم قطعیت و ابهام کاربردهای زیادی در مسائل زنجیره تأمین دارد. از عدم قطعیت‌های که در مواجهه با مسائل زنجیره تأمین با آن مواجه خواهیم شد، عدم قطعیت در تقاضا می‌باشد. عموماً درخواست بیمارستان بیشتر از نیاز واقعی بیمارستان‌ها خواهد بود این درخواست بیشتر به مسائل زیادی از جمله به سیاست‌های بیمارستان و نیز نسبت کراسمچ به ترانسفوزیوم دران بیمارستان می‌تواند ربط داشته باشد؛ که این تحقیق نیز از این مسئله مستثنی نمی‌باشد بنابراین باید همواره بیش از مصرف واقعی یک مرکز تقاضا به آن خون وارد شود حتی اگر خون اضافه وارد شده برای مثال در عمل جراحی استفاده نگردد. البته این امر باعث افزایش میزان هدر رفت خون در بانک خون بیمارستان می‌گردد ولی در موارد پیش‌بینی نشده مثل خون‌ریزی‌های که در حین عمل کادر پزشکی تخمین مناسبی از خون مورد نیاز بیمار نمی‌تواند ارائه دهد منجر به نجات جان مصدوم و بیمار خواهد شد؛ و از کمبودهای پیش‌بینی نشده جلوگیری می‌کند. لذا ضریب CT به عنوان ضریب افزایش دهنده تقاضا در این تحقیق مورد استفاده قرار می‌گیرد به منظور تخمین تقاضا این ضریب دارای یک حد ماکزیمم و یک حد مینیمم (برابر یک) و یک حد وسط که میانگین تقاضا قبلی می‌باشد قرار می‌گیرد که نوع آن به صورت یک عدد فازی مثلثی دیده می‌شود لذا از روش آلفا-کات به منظور تبدیل عدد مثلثی به یک بازه مشخص برای انتخاب تقاضا استفاده می‌شود؛ که به صورت ذیل مدل‌سازی می‌گردد.

$$demy'_{p,g,h,t} + zdemy'_{p,g,h,t} \leq (CT'''' - (\alpha C * (CT'''' - CT''')) * demy_{p,g,h,t} \quad \forall p, g, h, t \quad (53)$$

$$demo'_{p,g,h,t} + zdemo \leq (CT'''' - (\alpha C * (CT'''' - CT''')) * demo_{p,g,h,t} \quad \forall p, g, h, t \quad (54)$$

$$demy'_{p,g,h,t} + zdemy_{p,g,h,t} \geq (CT' + (\alpha C * (CT' - CT''')) * demy_{p,g,h,t} \quad \forall p, g, h, t \quad (55)$$

$$demo'_{p,g,h,t} + zdemo_{p,g,h,t} \geq (CT' + (\alpha C * (CT' - CT''')) * demo_{p,g,h,t} \quad \forall p, g, h, t \quad (56)$$

طراحی مدل بهینه‌سازی زنجیره تأمین خون با استفاده از رویکرد ...؛ کوچکی تاجانی و همکاران | ۱۰۱

$$zdem_{p,g,h,t} \leq 1 \quad \forall p,g,h,t \quad (57)$$

$$zdemo_{p,g,h,t} \leq 1 \quad \forall p,g,h,t \quad (58)$$

برآورد میزان عرضه خون

یک مسئله مهم در تحقیق به دست آوردن یک برآورد نسبتاً دقیق از میزان عرضه خون می‌باشد. به‌منظور بهبود برآورد آکیتا و همکاران (۲۰۱۶) و انصافیان و همکاران (۲۰۱۷) راهکاری از زنجیره مارکوف و رابطه چپ-من کولموگراف پیشنهاد نموده‌اند. بدین صورت که از یک ماتریس انتقال زنجیره مارکوف که وابسته به زمان نمی‌باشد طبق رابطه چپ من کولموگراف سعی در پیش‌بینی تعداد اهداکنندگان در روز N ام می‌نماییم. رابطه چپمن کولموگراف روشی را جهت محاسبه احتمالات انتقال از وضعیت پس از N بار تغییر وضعیت را فراهم کرده است این معادله عبارت است

$$P_{ij}^{(n)} = \sum_{k=0}^{\infty} P_{ik}^{(r)} P_{kj}^{(n-r)} \quad (59)$$

n و r اعداد صحیح و $n \geq r \geq 0$

$P_{ij}^{(n)}$: احتمالی است که تحت آن فرایند بعد از n انتقال از وضعیت i به j می‌رود.

$P_{ik}^{(r)} P_{kj}^{(n-r)}$: احتمال آن است که فرایند در شروع از وضعیت i به وضعیت j در طول n انتقال در مسیری که از وضعیت k در r امین انتقال عبور می‌کند.

$$P_{ij}^{(n)} = \Pr(X_n = j \mid X_0 = i) = \sum_k \Pr(X_n = j, X_r = K \mid X_0 = i) \quad (60)$$

$$= \sum \Pr(X_n = j \mid X_0 = i, X_r = K) \Pr(X_r = k \mid X_0 = i) \quad (61)$$

$$= \sum_k \Pr(X_n = j \mid X_r = K) \Pr(X_r = k \mid X_0 = i) = \sum_{k=0}^{\infty} P_{kj}^{(n-r)} P_{ik}^{(r)} \quad (62)$$

که رابطه فوق به‌صورت ماتریسی به‌صورت ذیل ارائه می‌گردد.

$$P^{(n)} = P^{(r)} . P^{(n-r)} \quad (63)$$

چون رابطه ماتریسی فوق به ازای تمام مقادیر n و r صادق است بنابراین

$$\begin{aligned}
 P^{(n)} &= P.P^{(n-1)} \\
 P^{(n-1)} &= P.P^{(n-2)} \\
 P^{(n)} &= P.P \dots P = P^n
 \end{aligned}
 \tag{64}$$

ماتریس انتقال اهداکنندگان را در سه حالت اهداکنندگان مستعد که اقدام به اهدا نمی‌نمایند (N_Z)، اهداکنندگان که برای بار اول خون اهدا می‌نمایند (N_E)، اهداکنندگانی که دارای سابقه اهدا خون می‌باشند (N_R) را بر اساس داده‌های قبلی برای T امین روز مطابق رابطه (۶۵) محاسبه می‌نماییم. در بخش مطالعه کاربردی تحقیق نحوه محاسبه تعداد اهداکنندگان تشریح می‌گردد.

$$N_t = \begin{bmatrix} \frac{N_R}{M} & \frac{N_E}{M} & \frac{N_Z}{M} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \rightarrow R & R \rightarrow E & R \rightarrow Z \\ E \rightarrow R & E \rightarrow E & E \rightarrow Z \\ Z \rightarrow R & Z \rightarrow E & Z \rightarrow Z \end{bmatrix}^t
 \tag{65}$$

M: تعداد روزهای کاری

اعتباری سنجی و حل مدل تحقیق

اعتبارسنجی مدل: مشخص می‌نماید که آیا مدل (ریاضی) یک تصویر درست از مدل و محدودیت‌های تعیین‌شده آن را نمایش می‌دهد یا خیر لذا برای ارزیابی مدل ارائه‌شده نیاز به حل تحقیق در دو ساینز کوچک و بزرگ می‌باشد تا واکنش تابع هدف تحقیق نسبت به تغییرات پارامترهای مسئله مشخص گردد. بدین منظور ابتدا مدل تحقیق در نرم‌افزار GAMS 24.1 کد شده، سپس به منظور حل مدل از سالور ANTIGONE استفاده شده است. مشخصات کامپیوتر استفاده‌شده برای حل مسئله cori7-2630Qm 2HGZ با RAM: 8GB بوده است. تفاوت در مسئله حل‌شده در جدول ۲ و ۳ ارائه شده است.

جدول ۲. مثال‌های طراحی‌شده جهت حل مسئله

اندیس/مثال‌ها	p	t	h	m	l	y	b	i
مثال ۱	۱	۸	۲	۲	۱	۲	۱	۲
مثال ۲	۱	۸	۳	۲	۱	۲	۱	۲
مثال ۳	۱	۸	۳	۲	۱	۲	۲	۳

طراحی مدل بهینه‌سازی زنجیره تأمین خون با استفاده از رویکرد ...؛ کوچکی تاجانی و همکاران | ۱۰۳

اندیس/مثال‌ها	p	t	h	m	l	y	b	i
مثال ۴	۱	۸	۴	۲	۲	۲	۲	۳
مثال ۵	۲	۳۰	۴	۲	۲	۲	۲	۴
مثال ۶	۲	۳۰	۴	۲	۲	۲	۲	۴
مثال ۷	۲	۳۰	۴	۲	۲	۲	۲	۵
مثال ۸	۲	۳۰	۵	۳	۲	۳	۳	۶
مثال ۹	۳	۳۰	۷	۳	۳	۳	۳	۶
مثال ۱۰	۳	۳۰	۱۰	۴	۳	۳	۳	۷
مثال ۱۱	۳	۳۰	۱۲	۴	۳	۴	۴	۸
مثال ۱۲	۳	۳۰	۱۶	۶	۳	۶	۶	۱۰

جدول ۳. پارامترهای حل مثال عددی

پارامترهای اصلی مسئله	مقادیر	پارامترهای اصلی مسئله	مقادیر
$Dl_{i,l}$	uniformint(1,5)	$DemY_{p,g,h,t}$	Uniformint (1,3)
$Dm_{i,m}$	uniformint(1,5)	$DemO_{p,g,h,t}$	Uniformint(1,5)
Zg_g	[O+ 0.34, O- 0.04, A+ 0.27, A- 0.03, B+ 0.22, B- 0.02, AB+ 0.07, AB- 0.01]	Cb_b	Uniformint(5,10)
Zl_l	uniformint(1000,3000)	Cm_m	Uniformint(3,5)
$Dy_{i,y}$	uniformint(1,5)	Cl_i	Uniformint (3,6)
Zb_b	uniformint(1000,5000)	$Cmh_{m,h}$	Uniformint(10,12)

جدول ۴. حل مثال عددی در حالت قطعی و غیرقطعی

حل نرم‌افزار گمز		مثال‌ها
زمان حل مسئله	تابع هدف	
8	27345	مثال ۱
10	47546	مثال ۲
10	49031	مثال ۳
13	73245	مثال ۴
-	-	مثال ۵ تا ۱۲

بدیهی است با افزایش سایز مسئله رسیدن به جواب مسئله سخت تر شده و نیز با توجه به محدودیت های سالور در نرم افزار گمز و سخت افزار کامپیوتری و از آنجایی که نوع مسئله از نوع «ان پی - هارد»^۱ می باشد، زمان حل مسئله به صورت نمایی به واسطه افزایش سایز مسئله در حال افزایش می باشد و رسیدن به جواب قطعی در زمان معمول امکان پذیر نمی باشد؛ بنابراین در سایزهای بزرگ نیاز به برنامه نویسی ریاضی مسئله در نرم افزار MATLAB و حل آن با استفاده از الگوریتم های فراابتکاری می باشیم.

الگوریتم خفاش

خفاش ها جانوران شگفت انگیزی هستند. آن ها تنها پستاندارانی هستند که پرواز می کنند و همچنین، بسیاری از آن ها از توانایی پیشرفته تعیین مکان با استفاده از صوت برخوردارند. اغلب خفاش ها برای تعیین مکان از صوت هایی با فرکانس در محدوده خاص استفاده می کنند. در میان تمام گونه های خفاش ها، خفاش های کوچک مثالی معروف هستند که از صوت به عنوان ابزاری برای تعیین مکان استفاده می کنند. خفاش های کوچک پالس های صوتی بسیار بلندی را از خود ساطع کرده، از پژواک ناشی از برخورد پالس ها با اجسام محیط، آن ها را پردازش می کنند (یانگ، ۲۰۱۰).

الگوریتم بهینه سازی خفاش که در سال ۲۰۱۰ برای نخستین بار توسط ژنشی یانگ ارائه شد، الهامی از خصوصیات ردیابی خفاش های کوچک در جستجوی شکار است. به منظور بسط این الگوریتم بهینه سازی از قوانین کلی استفاده شده است که در زیر به آن ها اشاره می گردد:

قانون اول: همه خفاش ها به کمک پژواک فاصله را تشخیص می دهند و همچنین، همه آن ها تفاوت صدای پژواک شده ناشی از غذا و اجسام اطراف پیرامونشان را می دانند.

قانون دوم: خفاش ها به صورت تصادفی با سرعت V_i و در موقعیت P_i با فرکانس ثابت f_{min} و طول موج های مختلف و با بلندی صوت R شکار خود را دنبال کرده، می توانند

طراحی مدل بهینه‌سازی زنجیره تأمین خون با استفاده از رویکرد ...؛ کوچکی تاجانی و همکاران | ۱۰۵

به صورت خودکار طول موج و همچنین، نرخ پالس‌های ارسالی خود $r \in [0,1]$ با توجه نزدیکی شکارشان تنظیم کنند.

قانون سوم: اگرچه بلندی صوت می‌تواند در بسیاری از حالات متفاوت باشد، باین حال فرض می‌شود که این تغییرات از بیشترین مقدار R تا کمترین مقدارش به عنوان $R_{\min}$ محدود باشد.

علاوه بر این فرض‌های ساده‌سازی، تقریب‌های دیگری نیز در طراحی الگوریتم خفاش در نظر گرفته شده است؛ مانند اینکه: عموماً فرکانس f در دامنه $[f_{\min}, f_{\max}]$ قرار دارد که متناظر با دامنه طول موج $[\lambda_{\min}, \lambda_{\max}]$ است برای مثال دامنه فرکانس ۲۰ الی ۵۰۰ کیلوهرتز متناظر با دامنه طول موج ۰٫۷ تا ۱۷ میلی‌متر می‌باشد. البته مطابق با مسئله می‌توان از هر طول موج دیگری استفاده شود. همچنین متوان دامنه طول موج یا فرکانس را تنظیم نمود. در الگوریتم BA نیاز به تعریف قوانینی است که چگونگی به همگام‌سازی موقعیت x_i و سرعت v_i در فضای d بعدی جستجو را معین می‌کنند موقعیت جدید x_i^t و سرعت v_i^t در گام زمانی t به صورت زیر می‌باشد.

$$f_i = f_{\min} + (f_{\max} - f_{\min})\beta \quad (66)$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^t - x_*) f_i \quad (67)$$

$$x_i^t = v_i^{t-1} + v_i^t \quad (68)$$

که $\beta \in [0,1]$ بردار تصادفی از توزیع یکنواخت است. در اینجا x_* بهترین موقعیت سراسری یکنواخت است که بعد از مقایسه همه راه‌حل‌ها در میان Π خفاش یافته می‌شود. در ابتدا به هر خفاش به صورت تصادفی مقدار فرکانس تصادفی که به صورت یکنواخت از بازه $[f_{\min}, f_{\max}]$ به دست می‌آید اختصاص داده می‌شود. برای مرحله جستجوی محلی، راه‌حل جدید برای هر خفاش از طریق یک گام تصادفی به صورت زیر تولید می‌شود.

$$x_{\text{new}} = x_{\text{old}} + \varepsilon A^t \quad (69)$$

که $\varepsilon \in [0,1]$ یک مقدار تصادفی است و $A^t = \langle A^t \rangle$ مقدار میانگین بلندی صوت همه خفاش‌ها در زمان t است.

به هنگام سازی سرعت و موقعیت در خفاش ها دارای شباهت هایی با الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات می باشد که f_i که در آن سرعت و دامنه حرکت ازدحام را کنترل می کند در واقع می تواند از جهاتی الگوریتم خفاش را ترکیبی از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات بدون بهره مندی از بهترین پاسخ محلی ذره i ام به همراه یک جستجوی محلی مبتنی بر بلندی و نرخ انتشار پالس دانست.

بلندی A_i نرخ انتشار پالس باید در طی فرایند تکرارها به هنگام شوند همان طور که بلندی صوت خفاش زمانی که شکار خود را می یابد کاهش می یابد. در حالی که نرخ پالس های منتشر شده افزایش می یابد.

برای بلندی می توان از هر مقدار دلخواهی استفاده نمود برای سادگی امر می توان $A_0 = 1$ و $A_{\min} = 0$ در نظر گرفته شود که فرض $A_{\min} = 0$ به معنی یافتن شکار توسط خفاش و توقف موقتی انتشار صدا می باشد. این مقادیر به صورت زیر به هنگام می شوند.

$$A_i^{t+1} = \alpha A_i^t, \quad r_i^{t+1} = r_i^0 [1 - \exp(-\gamma t)] \quad (70)$$

که α و γ مقادیر ثابتی هستند برای هر مقدار $0 < \alpha < 1$ و $\gamma > 0$ داریم

$$A_i^t \rightarrow 0, r_i^t \rightarrow r_i^0, \text{ as } t \rightarrow \infty \quad (71)$$

انتخاب مناسب پارامترها نیاز به آزمایش دارد در ابتدا هر خفاش مقادیر مختلف از نرخ پالس و بلندی به صورت تصادفی داده می شود و سپس تنها در زمانی که راه حل جدید بهبود یابد به هنگام می شوند که به معنی حرکت به سمت راه حل بهینه می باشد (یانگ و همکاران، ۲۰۱۳).

الگوریتم فراابتکاری وال

این الگوریتم از رفتار اجتماعی وال های گوژپشت^۱ الهام گرفته است. طعمه های مورد علاقه آن ها گله ماهی کریل و کوچک هستند. جالب ترین چیز در مورد نهنگ گوژپشت نحوه شکار خاص او است. روش تغذیه با ایجاد حباب های متمایز دایره ای انجام می شود. نهنگ

طراحی مدل بهینه‌سازی زنجیره تأمین خون با استفاده از رویکرد ...؛ کوچکی تاجانی و همکاران | ۱۰۷

ها سمت پایین طعمه شیرجه رفته و با ایجاد حباب‌هایی به شکل مارپیچی در اطراف طعمه به سمت سطح شنا می‌کنند، دانشمندان دو مانور مرتبط با شبکه حبابی را مشخص کرده و آن‌ها را مارپیچ به سمت بالا^۱ و حلقه‌های دوتایی^۲ نامیدند. این روش تغذیه روش خاصی است که تنها در نهنگ‌ها دیده شده است. در الگوریتم وال مانور مارپیچ شبکه‌ی حبابی به صورت ریاضی برای انجام بهینه‌سازی مدل شده است. (میرجلیلی و لويس، ۲۰۱۶)

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)| \quad (72)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}^*(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (73)$$

که در فرمول بالا t تکرار فعلی، $\vec{A}$ و $\vec{C}$ بردار ضرایب، $\vec{X}^*$ بردار مکان بهترین جواب، $\vec{X}$ بردار مکان، $||$ علامت قدر مطلق و ضرب نقطه‌ای عنصر در عنصر است؛ که اگر در هر تکرار جواب بهتری وجود داشت $\vec{X}^*$ به روزرسانی می‌شود.

بردارهای $\vec{A}$ و $\vec{C}$ به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r} - \vec{a} \quad (74)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r}$$

که $\vec{a}$ در هر تکرار به صورت خطی از ۲ به ۰ طی تکرارها کاهش می‌یابد و $\vec{r}$ یک بردار رندم بین [۰ و ۱] است.

در روش حمله وال گوژپشت حوا طعمه در امتداد یک دایره انقباضی و هم‌زمان در مسیر مارپیچی شکل شنا میند برای مدل‌سازی این رفتار فرض احتمال ۵۰ درصدی بین این دو مکانیزم انتخاب می‌گردد تا موقعیت‌ها وال‌ها طی بهین‌سازی به روزرسانی شود. مدل ریاضی به صورت زیر است:

$$\vec{X}(t+1) = \begin{cases} \vec{X}^*(t) - \vec{A} \cdot \vec{D}, & p < 0.5 \\ \vec{D}' \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t), & p \geq 0.5 \end{cases} \quad (75)$$

-
1. upward spirals
 2. double loops

که p یک عدد تصادفی بین ۰ و ۱ است، b ثابتی برای تعریف شکل مارپیچ لگاریتمی l عددی تصادفی بین -1 و 1 و ضرب نقطه‌ای می‌باشد بردار $\vec{A}$ با مقادیر تصادفی بین -1 و 1 به کار گرفته می‌شود تا عامل جستجو به وال مرجع نزدیک شود.

الگوریتم WOA با مجموعه‌ای از راه‌حل‌های تصادفی شروع به کار می‌کند. در هر تکرار، عوامل جستجو موقعیت خود را با توجه به عامل جستجویی که تصادفی انتخاب شده و با بهترین راه‌حل به دست آمده‌ی جاری، به‌روزرسانی می‌کنند. پارامتر a جهت فراهم آوردن اکتشاف و استخراج، به ترتیب از مقدار ۲ تا ۰ کاهش می‌یابد. یک عامل جستجوی تصادفی در حالت $|A| > 1$ انتخاب می‌شود، این در حالی است که بهترین راه‌حل زمانی انتخاب می‌شود که جهت به‌روزرسانی موقعیت عوامل جستجو، $|A| < 1$ باشد. بسته به مقدار p ، الگوریتم WOA این قابلیت را دارد تا بین حرکت دایروی و یا مارپیچی یکی را انتخاب کند. وال برای جستجو برای طعمه برای به‌روزرسانی موقعیت عامل جستجو، به‌جای استفاده از داده‌های بهترین عامل جستجو، از انتخاب تصادفی بهره می‌برد

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_{rand} - \vec{X}| \quad (76)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_{rand} - \vec{A} \cdot \vec{D}$$

که $\vec{X}_{rand}$ یک بردار موقعیت تصادفی (یک نهنک تصادفی) انتخاب شده از مکان کنونی جمعیت است.

ساختار بردار جواب

جمعیت اولیه. بردار جواب اولیه مسئله به صورت تصادفی بین صفر و یک در ۸ بخش به صورت شکل ۲ می‌باشد؛ و به صورت تصادفی پیوسته تولید می‌شود.

شکل ۲. ساختار یک نمونه بردار جواب

K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
۴۸	۸۰	۳۲	۳۲	۸۰	۳۲	۳۲	۹۶

طراحی مدل بهینه‌سازی زنجیره تأمین خون با استفاده از رویکرد ...؛ کوچکی تاجانی و همکاران | ۱۰۹

بخش اول بردار جواب مشخص کننده این است که دسته اهداکنندگان I به کدام یک از سه مکان‌های جمع‌آوری خون تخصیص داده شوند. (به طول مثال، مقدار ۴۸ درایه اول از حاصل ضرب $t=8$ ضرب در $i=2$ در ۳ به دست آمده و نشان‌دهنده ۴۸ عدد تصادفی بین ۰ و یک می‌باشد) بخش دوم بردار جواب مربوط به این است که الگوریتم مشخص نماید در صورت انتخاب b برای دریافت خون به کدام یک از b ها خون تخصیص داده شود. بخش سوم بردار جواب مربوط به این است که در صورت دریافت خون در l ها به کدام l خون تخصیص داده شود، بخش چهار بردار جواب مربوط به این است که در صورت انتخاب مرکز خون m به کدام مرکز خون تخصیص داده شود. بخش پنجم در صورتی که وسیله‌های نقلیه b خون را جمع‌آوری نمودند که هر کدام از b ها در کدام y ها قرار گیرند. بخش ششم بردار جواب نشان‌دهنده آن است که هر کدام از وسیله‌های نقلیه b در صورت دریافت خون به کدام یک از مراکز خون را تحویل نمایند. بخش هفتم بردار جواب مشخص می‌نماید که کدام مراکز جمع‌آوری خون، خون را به کدام یک از مراکز خون m تحویل دهند. بخش هشتم جواب نشان‌دهنده این است که خون مراکز m به کدامیک از h ها تخصیص داده شوند.

پس از طراحی بردار جواب مسئله برای حل مسائل طرح‌شده الگوریتم‌های فراابتکاری WOA و BAT هر مسئله ۲۰ بار اجرا شده میزان جمعیت اولیه ۱۰۰ و تکرار برابر با ۲۴۳ در نظر گرفته شده است؛ که پاسخ ارائه‌شده را جدول ۵ ارائه گردیده است.

جدول ۵. جواب مسئله

	نوع حل مسئله	نرم افزار گمز		WOA		BAT	
	هدف	تابع هدف اول	Time	تابع هدف اول	Time	تابع اول	Time
مثال‌ها	1	27345	8S	27867	40s	32891	49s
	2	47546	10S	53904	118s	59172	48s
	3	49031	10S	54947	29s	63512	26s
	4	73245	13S	74957	27s	82768	65s
	5	No	No	165999	115s	934567	119s
	6	No	No	1961505	565s	1737473	725s

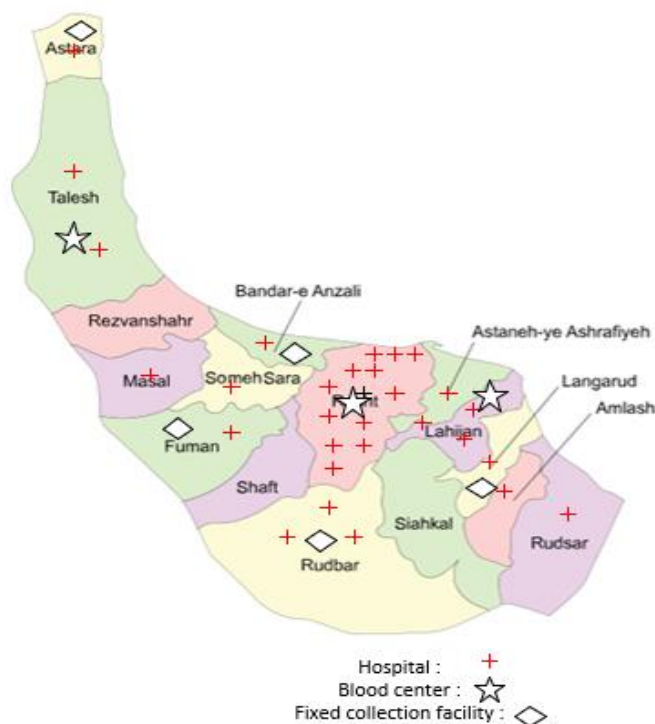
نوع حل مسئله	نرم افزار گمز			WOA		BAT	
	هدف	تابع هدف اول	Time	تابع هدف اول	Time	تابع اول	Time
	7	No	No	1978919	64s	2817094	127s
	8	No	No	7940432	117s	8539593	100s
	9	No	No	14170431	1919s	15791068	1907s
	10	No	No	17530499	1681s	19307376	1994s
	11	No	No	23265498	8052	11830736	1994s
	12	No	No	25241879	459s	2524559	10312s

نتایج حاصل از مثال عددی در خصوص شاخص های هزینه و زمان نشان دهنده این است که میزان تابع هدف به دست آمده در الگوریتم وال از الگوریتم خفاش کمتر بوده و تابع هدف مقدار کمتری را اتخاذ نموده است؛ که از این جهت برتری بیشتری نسبت به الگوریتم خفاش دارد. در خصوص زمان حل مسئله (زمان رسیدن به شرط توقف) نیز الگوریتم وال عملکرد بسیار بهتری در مسائل با ساینز بزرگ تر داشته و زودتر به شرط توقف رسیده است.

مطالعه موردی

برای ارزیابی مدل ارائه شده در دنیای واقعی اطلاعات یک ماهه مراکز خون استان گیلان، کشور ایران انتخاب شده است در این استان سه مرکز خون اصلی وجود دارد که کار فرآورده گیری خون های جمع آوری شده را انجام می دهند و وظیفه خون رسانی به ۳۱ مرکز تقاضا در ۱۱ شهر را بر عهده دارند.

شکل ۳. شمانیک جغرافیایی از استقرار تسهیلات جمع‌آوری و مراکز تقاضا



تخمین میزان خون اهدایی داوطلبان

در این بخش به منظور ارزیابی راهکاری پیشنهادی از داده‌های مرکز انتقال خون گیلان به منظور تخمین تعداد اهداکنندگان استفاده می‌نماییم بر اساس داده‌های ۴ ساله اهداکنندگان و بر اساس ماتریس انتقال محاسبات بدین صورت انجام می‌پذیرد.

به‌طور مثال بنابر جدول (۶) احتمال حالت گذار اهداکننده مکرر در دوره $t-1$ به اهداکننده مکرر در دوره t برابر است با تعداد اهداکنندگان مکرر که در دوره $t-1$ خون اهدا نموده‌اند در دوره t نیز خون اهدا کرده باشند، تقسیم به کل اهداکنندگان مکرر دور $t-1$ به و طور میانگین روزانه یک هفته کاری به میزان ۰,۶۰۱ محاسبه شده است. توجه شود که احتمال انتقال بر اساس داده‌های گذشته بر اساس داده‌های میانگین همان ماه در سال‌های اخیر استفاده شده (به علت تغییر الگو فصلی اهدا خون در اهداکنندگان)

اگر $N = [N_R, N_E, N_Z]$ باشد N_R تعداد افراد اهداکننده مستمر، N_E تعداد افراد اهداکننده بار اول و سابقه‌دار، N_Z و تعداد افرادی که خون اهدا نمی‌نمایند باشد؛ و $T_{average}$ میانگین احتمال انتقال گذار طی دوره باشد. احتمال هر یک حالت گذار را می‌توان به صورت جدول ۵ نمایش داد.

$$T_{average} = \frac{[\{t_0, t_0 - 1\} + \{t_0 - 1, t_0 - 2\} + \{t_0 - 2, t_0 - 3\} + \{t_0 - 3, t_0 - 4\} + \{t_0 - 4, t_0 - 5\} + \{t_0 - 5, t_0 - 6\}]}{6} \quad (77)$$

جدول ۶. احتمال حالت گذار هر دوره

دوره	$\frac{P_{R \rightarrow R}}{N_R}$	$\frac{P_{R \rightarrow E}}{N_R}$	$\frac{P_{R \rightarrow Z}}{N_R}$	$\frac{P_{E \rightarrow R}}{N_E}$	$\frac{P_{E \rightarrow E}}{N_E}$	$\frac{P_{E \rightarrow Z}}{N_E}$	$\frac{P_{Z \rightarrow R}}{N_Z}$	$\frac{P_{Z \rightarrow E}}{N_Z}$	$\frac{P_{Z \rightarrow Z}}{N_Z}$
$T_{Average}$	0.601	0.361	0.038	0.46	0.47	0.07	0.008	0.130	0.977

بنابر جدول (۶) ماتریس انتقال به صورت ذیل محاسبه می‌گردد

$$p = \begin{bmatrix} R \rightarrow R & R \rightarrow E & R \rightarrow Z \\ E \rightarrow R & E \rightarrow E & E \rightarrow Z \\ Z \rightarrow R & Z \rightarrow E & Z \rightarrow Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.731 & 0.161 & 0.108 \\ 0.512 & 0.439 & 0.049 \\ 0.001 & 0.105 & 0.894 \end{bmatrix}$$

کل خون اهدایی سالانه مراکز خون گیلان در سال ۱۳۹۸ تعداد ۹۳۰۰۰ واحد خونی تخمین زده شده است که از این دست ۵۹ درصد خون دهنده مستمر ۲۸ درصد با سابقه و ۱۳ درصد برای اولین بار خون اهدا نموده‌اند، اگر جمعیت مستعد اهدای خون که خون اهدا نمی‌کنند را ۷۰۰ هزار نفر تخمین بزنیم برای دوره t_0

جدول ۷. تعداد هر گروه اهداکننده در دوره t_0

تعداد برای یک سال	تعداد هر گروه از افراد بر حسب روز برای شروع دوره t_0
$N_R = 54870$	$N_R = \frac{54870}{365} = 150$
$N_E = 28830$	$N_E = \frac{28830}{365} = 79$

تعداد هر گروه از افراد برحسب روز برای شروع دوره t_0	تعداد برای یک سال
$N_z = \frac{700000}{365} = 1917$	$N_z = 700000$

بنابر این میزان تعداد اهدا در t امین روز به صورت ذیل محاسبه می‌شود.

$$N_t = [150, 79, 1917] \begin{bmatrix} 0.731 & 0.161 & 0.108 \\ 0.512 & 0.439 & 0.049 \\ 0.001 & 0.105 & 0.894 \end{bmatrix}^t$$

که مقادیر ستون $N_T^R + N_T^E$ در جدول (۸) میزان کل اهدا خون در هر دوره زمانی را نشان می‌دهد.

جدول ۸. تعداد هر گروه اهداکننده در طی دوره

دوره	N_T^R	N_T^E	N_T^Z	$N_T^R + N_T^E$
T=1	141	116	1884	257
T=2	153	130	1854	283
T=3	167	140	1826	307
T=4	179	150	1800	329
T=5	191	159	1776	350
T=6	202	167	1754	369

نتایج مدل تحقیق

با توجه به بازه یک ماهه انتخاب شده جهت ارزیابی دو محصول RBC و پلاکت جهت بررسی مدل انتخاب می‌گردد. نتایج تابع هدف بر اساس خروجی الگوریتم‌های مختلف پس از ۲۰ بار تکرار به دست آمده است که این خروجی بر اساس تفکیک تابع اول به هزینه‌های جمع آوری خون، هزینه موجودی (نگهداری خون در مراکز خون و بیمارستان‌ها)، هزینه ارسال خون از مراکز خون m به مرکز تقاضا h ، هزینه کمبود خون و هزینه فاسدشدن فرآورده خونی در جدول ۹ گزارش شده است.

جدول ۹. مقدار به دست آمده برای تابع هدف با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکار استفاده شده

توابع هدف	معیارهای توابع	الگوریتم خفاش	الگوریتم وال
تابع هدف اول	هزینه جمع آوری	۵۳۸۸۰۴۰	۴۹۳۲۱۴۵
	هزینه موجودی	۱۴۰۰۸۹۰۵	۱۱۹۲۲۶۳۹
	هزینه ارسال	۱۰۰۵۷۶۷۵	۸۹۵۴۲۲۲
	هزینه کمبود	۱۰۷۸۷۶	۱۲۵۹۸۷
	هزینه فاسد شدن	۶۴۵۴۸۷۲	۴۳۲۱۶۷۸
	هزینه کل	۳۶۰۱۷۳۶۸	۳۰۲۵۶۶۷۱

باتوجه به جدول فوق مقادیر تابع هدف به دست آمده به واسطه حل با استفاده از الگوریتم وال کمتر از الگوریتم خفاش بوده است که این نتیجه با توجه به برتری به دست آمده در حل اعتبارسنجی با استفاده از مثال عددی نیز محرز گردیده بود.

میزان خون جمع آوری شده بر اساس تسهیلات جمع آوری که در آن شهر مستقر شده است در جدول (۱۰) ارائه شده است؛ که خون تسهیلات l و b در تسهیلات m تجمیع گردیده و فرآیند تولید فرآورده‌های خونی در مراکز m انجام می‌پذیرد تعداد فرآورده‌های تولیدی نیز در جدول (۱۱) ارائه شده است.

جدول ۱۰. خون جمع آوری شده توسط جمع آوری کننده‌ها

خون کامل جمع آوری شده	خون جمع آوری شده در مراکز جمع آوری
2994	رشت ($m1$)
1067	لاهیجان ($m2$)
703	لنگرود ($l1$)
486	رودسر ($l2$)
506	انزلی ($l3$)
426	فومن ($l4$)
680	تالش ($m3$)
250	آستارا ($l5$)
721	تسهیلات جمع آوری ثابت ($b1, b2$)

طراحی مدل بهینه‌سازی زنجیره تأمین خون با استفاده از رویکرد ...؛ کوچکی تاجانی و همکاران | ۱۱۵

جدول ۱۱. خون تجمیع شده در مراکز خون و فرآورده‌های تولیدی

پلاکت فرآوری شده	RBC فرآوری شده	خون جمع‌آوری شده	مراکز خون
۱۶۵۷	۴۶۴۷	۴۷۷۶	M1
۱۰۱	۲۲۵۵	۲۳۱۸	M2
۳۴	۹۲۹	۹۵۵	M3

باتوجه به کلیات مدل توزیع مقادیر RBC و پلاکت‌ها و مقادیر کمبود مشاهده‌شده و مقادیر مصرف نشده در جدول ۱۲ ارائه شده است.

جدول ۱۲. مقادیر ارسالی، کمبود و منقضي شده‌ای محصولات در بیمارستان‌ها

مقادیر فاسد شده در بیمارستان	مقادیر کمبود	مقادیر ارسالی پلاکت	مقادیر کمبود	مقادیر فاسد شده	مقادیر RBC ارسالی	مراکز تقاضا	شهر
4	6	91	8	3	337	H1	رشت
1	1	13	0	22	115	H2	
0	0	0	0	76	16	H3	
3	1	72	0	2	230	H4	
3	1	75	1	2	437	H5	
0	0	0	0	51	16	H6	
3	1	57	0	4	211	H7	
28	20	634	0	1	827	H8	
1	1	14	0	7	432	H9	
6	4	133	0	1	276	H10	
4	1	90	0	2	204	H11	
0	0	0	0	8	57	H12	
0	0	0	0	22	28	H13	
6	6	143	0	1	426	H14	
0	0	8	0	2	91	H15	فومن
0	0	0	0	1	185	H16	تالش
0	0	1	0	31	18	H17	
1	2	16	0	3	123	H18	آستارا
0	3	0	0	23	11	H19	رودبار
0	0	0	1	17	16	H20	
0	0	0	0	9	32	H21	

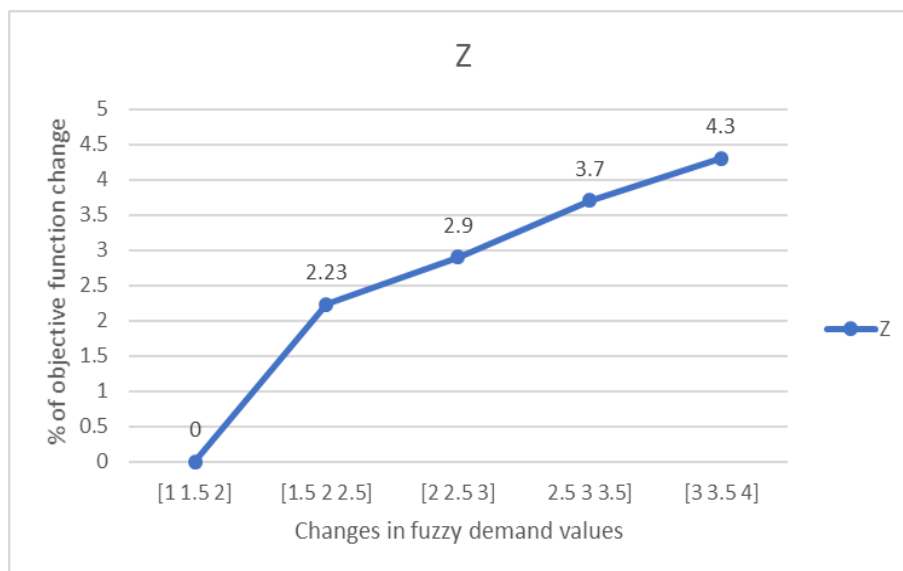
شهر	مراکز تقاضا	مقادیر RBC ارسالی	مقادیر فاسد شده	مقادیر کمبود	مقادیر ارسالی پلاکت	مقادیر کمبود	مقادیر فاسد شده در بیمارستان
املش	H22	29	3	0	0	0	0
لاهیجان	H23	66	1	0	10	0	0
	H24	278	1	11	1	0	0
	H25	61	1	0	0	0	0
لنگرود	H26	200	2	0	10	0	0
رودسر	H27	395	1	0	17	0	1
انزلی	H28	342	4	0	23	2	1
استانه	H29	138	1	2	1	1	0
صومعه سرا	H30	143	4	0	2	0	0
ماسال	H31	103	2	0	2	0	0

آنالیز حساسیت

در این بخش تغییرات تابع هدف را با توجه به تغییر در پارامترها کلیدی مسئله مورد بررسی قرار خواهیم داد. برای مدیران و تصمیم گیرندگان حوزه انتقال خون بسیار مهم است که در صورت تغییرات در تسهیلات و تغییر شرایط موجود چه تأثیراتی بر زنجیره تأمین حال حاضر خواهد گذاشت.

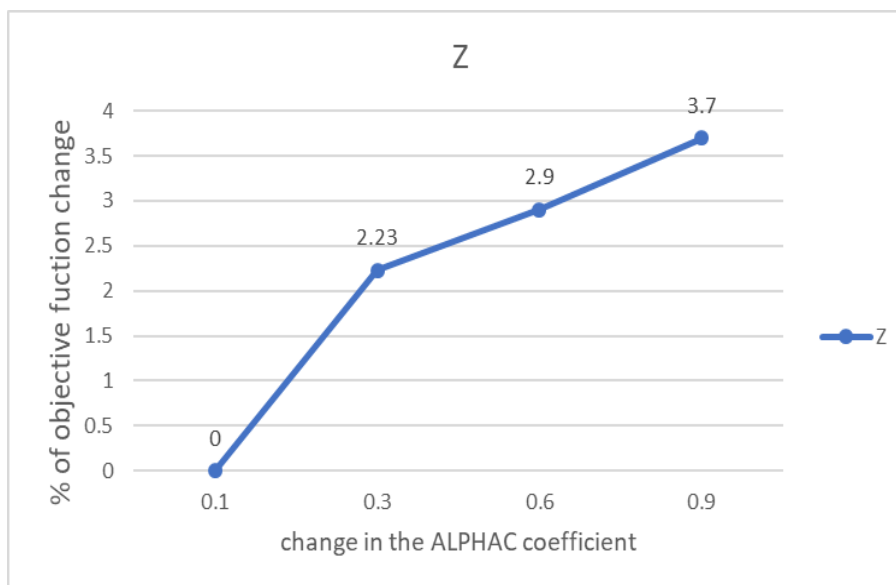
پارامتر دخیل در مقادیر تقاضا به صورت تغییر در مقادیر CT و تغییر در ضریب تابع آلفا-کات می باشد با توجه به شکل ۴ مشاهده می گردد با بزرگ شدن میزان ضریب CT مقادیر تابع هدف هزینه (Z) افزایش یافته است.

شکل ۴. آنالیز حساسیت مقادیر پارامتر CT



پارامتر دیگر تغییر در ضریب ALPHAC می‌باشد که مقادیر آن در بازه تغییرات $[0.1, 0.9]$ انتخاب گردیده است که مقادیر بیشتر این بازه گرایش به عدد کران بالای فازی دارد و مقادیر پایین‌تر این بازه به مقادیر کران پایین عدد فازی اولویت انتخاب می‌دهد بر اساس شکل (۵) جدول تغییرات تابع هدف بر اساس تغییرات ضریب ALPHA ارائه شده مشاهده می‌گردد با افزایش این ضریب مقادیر تابع هدف هزینه افزایش زنجیره تأمین افزایش خواهد یافت.

شکل ۵. آنالیز حساسیت ضریب ALPHAC



نتیجه گیری و پیشنهادها

هدف از انجام این مقاله طراحی یک زنجیره تأمین جامع بوده که شامل سه بخش جمع آوری، پردازش و توزیع کالای خونی می باشد. زنجیره تأمین دارای واحدهای جمع آوری خون متحرک و ثابت بوده که خون را از اهداکنندگان دریافت نموده و به مراکز خون ارسال می نمایند در مرکز خون خون به محصولات مورد نیاز فراوری می شود. محصولات خونی بر اساس تقاضاهای که بر اساس دو دسته محصولات تازه یا معمولی هستند، به مراکز تقاضا ارسال می گردند. در این تحقیق عملکرد تابع هدف به دنبال مینیم کردن هزینه هایی چون خون گیری، موجودی خون در مراکز خون و بیمارستان ها و نیز هزینه منقضی شدن محصولات خونی به علت عدم مصرف آن ها بوده است. گفتنی است در این مدل به منظور کاهش کمبود خونی از سیستم تطبیق پذیری خون استفاده شده یعنی اگر محصول خاصی از گروه خاصی موجود نبود طبق اصل تطبیق پذیری از آن دسته محصول گروهی که می تواند جایگزین آن شود ارسال

طراحی مدل بهینه‌سازی زنجیره تأمین خون با استفاده از رویکرد...؛ کوچکی تاجانی و همکاران | ۱۱۹

گردد برای حل مدل به صورت حل دقیق از نرم‌افزار گمز استفاده شد اما با افزایش سایز مسئله در سایزهای بزرگ‌تر از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده نموده‌ایم. همچنین برای پیش‌بینی نسبتاً دقیق از تقاضا یک ضریب فازی پیشنهاد شده است و برای پیش‌بینی میزان اهداکنندگان خون از روش زنجیره مارکوف و قضیه چپ-من کولموگراف استفاده نموده‌ایم. نتایج حاصله در سایزهای کوچک توسط الگوریتم حل‌کننده دقیق و سایز متوسط و بزرگ به علت دست یافتن به یک زمان معقول حل با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری WOA و BAT ارائه شده است که به کارایی مدل طراحی شده اذعان دارد در پایان یک تحلیل حساسیت بر اساس تغییر در ضرایب فازی تقاضا و ضریب تابع تبدیل آلفا کات و تأثیر آن بر تابع هدف ارائه شده است.

پیشنهادهای به منظور تحقیقات آتی

به منظور تحقیقات پیش رو موارد ذیل پیشنهاد می‌گردد:

- به منظور توسعه‌ای تحقیق پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آتی مسئله مکان‌یابی و سائل نقلیه متحرک جمع‌آوری خون به صورت گسترده‌تر با در نظر گرفتن متغیرها و محدودیت‌های بیشتر نظیر تفاوت در ظرفیت و نوع وسیله و مسیر در نظر گرفته شود.
- به منظور توسعه تحقیق لحاظ ذخیره احتیاطی در مراکز خون و بیمارستان‌ها و کنترل سطح آن به جهت کنترل کمبودهای ناگهانی
- در ادامه این تحقیق می‌توان کاهش زمان ارائه سرویس از مراکز خون به مراکز تقاضا را به عنوان یک هدف در زنجیره تأمین لحاظ نمود.
- جانمایی و مسیریابی مراکز انهدام فرآورده‌های خونی منقضی شده
- امکان استقرار تجهیزات در مواقع اضطرار و پیش‌آمدهای مترقبه

تعارض منافع

تعارض منافع ندارم.

این پژوهش برگرفته از رساله دکتری می باشد.

ORCID

Taher Kouchaki Tajani



<http://orcid.org/0000-0002-4008-2405>

Ali Mohtashami



<http://orcid.org/0009-0003-6226-0617>

Maghsoud Amiri



<http://orcid.org/0000-0002-0650-2584>

Reza Ehtesham Rasi



<http://orcid.org/0000-0002-1734-100X>

References

1. Akita, T., Tanaka, J., Ohisa, M., Sugiyama, A., Nishida, K., Inoue, S., & Shirasaka, T. J. T. (2016). Predicting future blood supply and demand in Japan with a Markov model: application to the sex- and age-specific probability of blood donation. 56(11), 2750-2759. <https://doi.org/10.1111/trf.13780>
2. Arani, M., Chan, Y., Liu, X., & Momenitabar, M. (2021). A lateral resupply blood supply chain network design under uncertainties. *Applied Mathematical Modelling*, 93, 165-187 <https://doi.org/10.1016/j.apm.2020.12.010>
3. Alfonso, E., Xie, X., Augusto, V., & Garraud, O. (2012). Modeling and simulation of blood collection systems. *Health care management science*, 15(1), 63-78. <https://doi.org/10.1007/s10729-011-9181-8>
4. Bain, B. J. (2014). *Blood cells: a practical guide*: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119820307>
5. Beliën, J., & Forcé, H. (2012). Supply chain management of blood products: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 217(1), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.05.026>
6. Cohen, M., & Pierskalla, W. (1975). Management policies for a regional blood bank. *Transfusion*, 15(1), 58-67. <https://doi.org/10.1046/j.1537-2995.1975.15175103512.x>
7. Derikvand, H., Hajimolana, S. M., Jabbarzadeh, A., & Najafi, S. E. (2020). A robust stochastic bi-objective model for blood inventory-distribution management in a blood supply chain. *European Journal of Industrial Engineering*, 14(3), 369-403. <https://doi.org/10.1504/EJIE.2020.107676>
8. 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.02.006>
9. Ensafian, H., Yaghoubi, S., & Yazdi, M. M. (2017). Raising quality and safety of platelet transfusion services in a patient-based integrated supply chain under uncertainty. *Computers & Chemical Engineering*, 106, 355-372. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2017.06.015>
10. Eskandari-Khanghahi, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Taleizadeh, A. A., & Amin, S. H. (2018). Designing and optimizing a sustainable supply chain network for a blood platelet bank under uncertainty. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 71, 236-250. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2018.03.004>
11. Fortsch, S. M., & Khapalova, E. A. (2016). Reducing uncertainty in demand for blood. *Operations Research for Health Care*, 9, 16-28. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2016.02.002>

12. Ghandforoush, P., & Sen, T. K. (2010). A DSS to manage platelet production supply chain for regional blood centers. *Decision Support Systems*, 50(1), 32-42. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2010.06.005>
13. Ghahremani-Nahr, J., Nozari, H., & Bathaee, M. (2021). Robust Box Approach for Blood Supply Chain Network Design under Uncertainty: Hybrid Moth-Flame Optimization and Genetic Algorithm. *International Journal of Innovation in Engineering*, 1(2), 40-62. <https://doi.org/10.52547/ijie.1.2.40>
14. Haijema, R., van der Wal, J., & van Dijk, N. M. (2007). Blood platelet production: Optimization by dynamic programming and simulation. *Computers & Operations Research*, 34(3), 760-779. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2005.03.023>
15. Hamdan, B., & Diabat, A. (2019). A two-stage multi-echelon stochastic blood supply chain problem. *Computers & Operations Research*, 101, 130-143. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.09.001>
16. 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. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.05.051>
17. Hemmelmayr, V., Doerner, K. F., Hartl, R. F., & Savelsbergh, M. W. (2010). Vendor managed inventory for environments with stochastic product usage. *European Journal of Operational Research*, 202(3), 686-695. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.06.003>
18. 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. <https://doi.org/10.1007/s12652-019-01315-0>
19. Jacobs, D. A., Silan, M. N., & Clemson, B. A. (1996). An analysis of alternative locations and service areas of American Red Cross blood facilities. *Interfaces*, 26(3), 40-50. <https://doi.org/10.1287/inte.26.3.40>
20. Medicines, E. D. f. t. Q. o. (2013). Guide to the preparation, use and quality assurance of blood components. In Recommendation No. R (95) 15.
21. Mirjalili, S., & Lewis, A. (2016). The Whale Optimization Algorithm. *Advances in Engineering Software*, 95, 51-67. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2016.01.008>
22. Nahmias, S. (1982). Perishable inventory theory: A review. *Operations Research*, 30(4), 680-708. <https://doi.org/10.1287/opre.30.4.680>
23. Najafi, M., Ahmadi, A., & Zolfagharinia, H. (2017). Blood inventory management in hospitals: Considering supply and demand uncertainty

- and blood transshipment possibility. *Operations Research for Health Care*, 15, 43-56. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2017.08.006>
24. Pierskalla, W. P. (2005). Supply chain management of blood banks. In *Operations research and health care* (pp. 103-145): Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-8066-2_5
25. Prastacos, G. P. (1984). Blood inventory management: an overview of theory and practice. *Management Science*, 30(7), 777-800. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.7.777>
26. Products, C. f. P. M. (2007). Guideline on influenza vaccines prepared from viruses with the potential to cause a pandemic and intended for use outside of the core dossier context (EMEA/CHMP/VWP/263499/2006). *Euro Agency Eval Med Prod*, 24.
27. Ramezani, R., & Behboodi, Z. (2017). Blood supply chain network design under uncertainties in supply and demand considering social aspects. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 104, 69-82. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.06.004>
28. Şahin, G., Süral, H., & Meral, S. (2007). Locational analysis for regionalization of Turkish Red Crescent blood services. *Computers & Operations Research*, 34(3), 692-704. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2005.03.020>
29. Sapountzis, C. (1984). Allocating blood to hospitals from a central blood bank. *European Journal of Operational Research*, 16(2), 157-162. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(84\)90070-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(84)90070-5)
30. Sasser, S. M., Hunt, R. C., Bailey, B., Krohmer, J., Cantrill, S., Gerold, K.,... Morris, J. (2007). In a moment's notice; surge capacity for terrorist bombings: challenges and proposed solutions.
31. Yang, C.-S., Lu, C.-S., Haider, J. J., & Marlow, P. B. (2013). The effect of green supply chain management on green performance and firm competitiveness in the context of container shipping in Taiwan. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 55, 55-73. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2013.03.005>
32. Yang, X.-S. (2010). A new metaheuristic bat-inspired algorithm. *Nature inspired cooperative strategies for optimization (NICSO 2010)*, 65-74. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12538-6_6
33. Zahiri, B., & Pishvae, M. S. (2016). Blood supply chain network design considering blood group compatibility under uncertainty. *International Journal of Production Research*, 55(7), 2013-2033. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1262563>
34. Zahiri, B., Torabi, S. A., Mohammadi, M., & Aghabegloo, M. (2018). A multi-stage stochastic programming approach for blood supply chain

- planning. Computers & Industrial Engineering, 122, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.05.041>
35. Zhou, D., Leung, L. C., & Pierskalla, W. P. (2011). Inventory management of platelets in hospitals: Optimal inventory policy for perishable products with regular and optional expedited replenishments. Manufacturing & Service Operations Management, 13(4), 420-438. <https://doi.org/10.1287/msom.1110.0334>

استناد به این مقاله: کوچکی تاجانی، طاهر، محتشمی، علی، امیری، مقصود، احتشام رائی، رضا. (۱۴۰۲). طراحی مدل بهینه‌سازی زنجیره تأمین خون با استفاده از رویکرد فازی و زنجیره مارکوف تحت شرایط عدم قطعیت تقاضا و عرضه، مطالعات مدیریت صنعتی، ۲۲(۷۲)، ۷۳-۱۲۴. DOI: 10.22054/jims.2022.57027.2575



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