

## 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. And to estimate the needs of medical centers, the received demand is considered fuzzy. Then the proposed model is solved in small dimensions by GAMS

\* Corresponding Author: mohtashami07@gmail.com

**How to Cite:** xxxxxxxx

Received: Original Research

Review

Accepted:

eISSN: 2476-5988 ISSN: 2251-8037

software 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 that is 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 and blood products in hospitals and blood centers, blood transfer costs to demand centers. And 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. Waste must be done. 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. In such a way 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, it is tried 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 that are located in some areas of the city and only perform the task of collecting blood And third, blood centers (blood transfusion centers), which actually 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 Hospitals are sent. It is worth noting that as long as blood is converted into other products, some of the characteristics of the product, including the age of the products, are different 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. And it should also 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. will be. In the real world, in the face of a shortage in hospitals, a solution is thought out, and that is to use the principle of adaptability of blood groups, that is, 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 in order to determine the reaction of the research target function to the changes in the parameters of the problem . For this purpose, first the research model in GAMS 24.1 software It is coded that according to the designed sample problems, up to a certain size, it is possible to solve the problem in a certain time by using GAMS software By increasing the size of the problem and increasing the time to reach the answer, To solve this problem, we had to use meta-heuristic algorithms such as WOA and BAT, and the results show that Wall's algorithm performed better. In the following, based on a case study, a problem has been presented in which the results obtained for the objective function and the values obtained for the main variables of the research show the efficiency of the model and its solution method.

## Conclusion

Here goes the text for you 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 has mobile and fixed blood collection units that receive blood from donors and send it to blood centers in the center. Blood is processed into required products. Blood products are sent to the demand centers based on the demands that are based on two categories of 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. It should be noted that in order to reduce blood deficiency, the blood compatibility system is used in this model, that is, if a certain product of a certain group is not available, according to the principle of compatibility, a product of the group that can replace it should be sent to solve the model in the form of an exact solution of GAMS software was used, but with the increase in the size of the problem, we have used meta-heuristic algorithms in larger sizes. Also, a fuzzy coefficient has been proposed for a relatively accurate prediction of the demand and to predict the amount of blood donors from the method We have used the Markov chain and the Kolmogoroff left-hand theorem. The results obtained in small sizes by the accurate solver algorithm and medium and large sizes are presented due to achieving a reasonable time of solving using WOA and BAT meta-engineering algorithms , which acknowledges the efficiency of the designed model. At the end of a sensitivity analysis based on the change In the fuzzy coefficients of demand and coefficients, 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

طاہر 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 راثی 

### چکیده

در این مقاله ما یک مدل مبتنی بر برنامه ریزی عدد صحیح مختلط غیر خطی 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 نرم افزار گمز و درسایزهای بزرگ توسط الگوریتم‌های فرابتکاری 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 نتایج حاصله نشان دهنده کاهش مطلوب هزینه‌ها و نیز کاهش میزان کمبود و انقضای محصولات خونی در زنجیره تأمین می‌باشد

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین خون، زنجیره مارکوف، مساله برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط  
غیر خطی، الگوریتم فراابتکاری وال، الگوریتم فراابتکاری خفاش

آماده انتشار

## 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 در تقاضا و عرضه خون، برنامه ریزی موجودی خون، زمانبندی ارسال، زمان سفارش گذاری، توجه به تاریخ انقضا و منابع محدود انسانی از جمله مسائل چالشی در حوزه‌ی سلامت به ویژه 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 به عنوان 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 روز افزون جمعیت، پیدایش بیماری‌های نوظهور، افزایش میزان بحران‌های طبیعی مانند سیل و زلزله و حوادث غیر طبیعی چون جنگ، حملات تروریستی و تصادفات رانندگی، دولت‌ها را به خصوص در کشورهای در حال توسعه ترغیب به بکارگیری و طراحی بهبود عملکرد خدمت رسانی به بیماران مخصوصاً در شرایط وقوع بحران کرده است. در این راستا مدیریت خون و فرآورده‌های آن یک مسأله حیاتی در زمان وقوع اینگونه بحران‌ها به حساب می‌آید.

خون کالایی معمولی نیست و خصوصیات خاصی 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 بارسیدن 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 مرگ و میر 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 مورد نیاز فرآوری می‌شوند. اجزای تفکیک شده خون به وسیله ماشین‌های حمل و نقل 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 تشکیل دهنده خون هستند که کاربرد درمانی داشته، می‌توانند به وسیله سانتریوفیوژ<sup>۱</sup>، 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<sup>۲</sup> 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 مورد نیاز 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 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 ضروریست 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 مصیبت بار و فاجعه آفرین باشد (ساسر و همکاران، ۲۰۰۷). تقاضاهای واصله به مراکز خون تحت شرایط خاصی صورت می‌گیرد. بدین صورت

<sup>1</sup> Centrifugation

<sup>2</sup> Cryoprecipitate

که که فرآورده درخواستی (تقاضاها) از نظر گروه خونی یا وجود یا عدم وجود آنتی ژنی خاص تفکیک می‌گردد. توجه به گروه‌های خونی و شاخص‌های تطبیق پذیری یکی از اصول انتقال خون است و رعایت نکردن آن‌ها می‌تواند اتفاقات ناگواری بعمل 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  $A$ ،  $B$ ،  $AB$  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  $RH$  مورد نیاز آن در همان لحظه موجود نمی‌باشد می‌شود (زهیری و پیشوایی، ۲۰۱۶). به منظور حل این چالش در تحقیق پیش رو راهکاری مبتنی بر تطبیق پذیری تقاضاهای پاسخ داده نشده در نظر گرفته خواهد شد که مبتنی بر جدول (۱) در مدل ریاضی لحاظ خواهد شد.

همان‌طور که گفته شده 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 مسأله توجه شده است. که این مسأله می‌تواند مانع از نگهداری بیش از حد یک محصول خاص در انبار مرکز خون یا بیمارستان به عنوان ذخیره خونی شود. مسأله 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 اهدا کنندگان	خون کل اهدا کنندگان	پلاسمای اهدا کنندگان	پلاکت اهدا کنندگان
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 گروه‌های خونی یا AB	هریک از انواع گروه‌های خونی
A RH-	A RH-, O RH-	A RH-	هریک از انواع گروه‌های خونی A, AB	هریک از انواع گروه‌های خونی
B RH+	B RH+, B RH-, O RH+, O RH-	B RH+, B RH-	هریک از انواع گروه‌های خونی B یا AB	هریک از انواع گروه‌های خونی
B RH-	B RH-, O RH-	B RH-	هریک از انواع گروه‌های خونی B یا AB	هریک از انواع گروه‌های خونی
AB RH+	هریک از انواع گروه‌های خونی	AB RH+, AB RH-	هریک از انواع گروه‌های خونی AB	هریک از انواع گروه‌های خونی
AB RH-	AB RH-, A RH-, B RH-, O RH-	AB RH-	هریک از انواع گروه‌های خونی 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 فاسد شدنی دانست. و بعدها این مطالعات توسط پراستاکوس (۱۹۸۴)، و پیرسکالا (۲۰۰۵)، توسعه یافته است. مهم ترین مطالعات سال‌های اخیر با تمرکز بر طراحی زنجیره تأمین خون، می‌توان به مطالعات ذیل اشاره نمود.

ساپونتزیس (۱۹۸۴) مدل برنامه ریزی 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 برنامه ریزی عدد صحیح را برای بررسی مسأله جایی تسهیلات صلیب سرخ ویرجینیای آمریکا ارائه نموده‌اند کار آنها زمینه را برای فعالیت برنامه ریزی که در مراکز توزیع و گردآوری خون امروزی انجام می‌گیرد فراهم کرده است. هایجما و همکاران (۲۰۰۷) برنامه ریزی پویا مبتنی بر زنجیره مارکوف را برای یک مسأله 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 مربوطند را در نظر می‌گیرد. شاهین و همکاران (۲۰۰۷) سه مسأله زنجیره تأمین خون را از جنبه جایی و مکان یابی منطقه‌ای با استفاده از برنامه ریزی 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 برنامه نویسی پویا مبتنی بر زنجیره مارکوف و شبیه سازی 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.

قند فروش و سن (۲۰۱۰) با ارائه یک مدل برنامه ریزی غیر خطی به دنبال کیمنه کردن هزینه‌های تولید پلاکت خون برای یک مرکز انتقال خون منطقه‌ای بودند. به دلیل غیر محذب بودن تابع هدف ارائه شده حل آن بسیار مشکل بود و تضمینی برای رسیدن به یک جواب بهینه نداد بنابراین فرمولاسیون مدل به شکل ساده تری درآید آنها با تبدیل تابع هدف به محدودیت درجه دو به یک عبارت خطی و تبدیل آن به یک برنامه ریزی عدد صحیح به حل مدل پرداخته اند. هملمایر و همکاران (۲۰۱۰) مدل برنامه ریزی عدد صحیح را توسعه دادن اند که تصمیم می‌گیرد بین تعدادی بیمارستان، کدام برای انتقال خون ارسال شده پوشش داده شود. روش‌های برنامه ریزی عدد صحیح و جستجوی متغیر محلی برای بدست 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) مسأله موجودی پلاکت را با فرض عمر ثابت ۳ روزه برای پلاکت و تقاضای غیر قطعی تحلیل کرده‌اند همچنین برای حل مسأله از برنامه ریزی

پویا استفاده کرده‌اند و در آن منبع دوگانه متغییر برای سفارش در نظر گرفته‌اند به این معنا که تصمیم گیرنده 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 برنامه ریزی استراتژی ملاقات با اعطاکنندگان از شبیه‌سازی استفاده نموده‌اند.

رضانیان و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل برنامه ریزی 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 برنامه ریزی 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 همزمان هم به دنبال کاهش کل هزینه‌های شبکه زنجیره تأمین و نیز کل تأثیرات زیست محیطی فعالیت‌های 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 با هدف جمع‌آوری، تولید غربالگری توزیع و برنامه ریزی مسیریابی محصولات خونی ارائه شده است. که به دنبال بهینه‌سازی کل هزینه و نیز اولویت‌تازگی محصولات خون منتقل شده به بیمارستان‌ها است.

برای مقابله با عدم اطمینان ذاتی داده‌های 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 نمودند. که نتایج نشان دهنده بهره‌وری راه حل ارائه شده و الگوریتم حل بوده است. همدان و دیابت (۲۰۱۹) یک مدل تصادفی دو مرحله‌ای برای گلبول قرمز ارائه نموده‌اند که همزمان تصمیمات تولید و موجودی و مکان را مورد نظر قرار می‌دهد.

مسئله اول در خصوص تعداد امکانات جمع‌آوری خون سیار برای اعزام را تعیین می‌کند در حالی که در مرحله دوم تصمیم‌گیری در مورد موجودی و تولید را مورد بررسی قرار می‌دهد 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 دو سطحی برای مدیریت زنجیره تأمین گلوبول‌های قرمز ارائه داده‌اند که این مدل تصمیمات مربوط به تخصیص موقعیت مکانی تسهیلات و مدیریت موجودی را بهبود می‌بخشد و هدف آن کاهش هزینه کل زنجیره تأمین شامل هزینه‌های ثابت، هزینه‌های عملیاتی، هزینه‌های نگهداری موجودی، هزینه‌های ضایعات و هزینه‌های حمل و نقل می‌باشد. روش بهینه‌سازی استوار نیز برای مواجهه با عدم قطعیت پارامترها در این تحقیق پیشنهاد شده است. در این مقاله انتقال بین مراکز عرضه و تقاضا براساس شاخص ABO-RH می‌باشد

دریکوند و همکاران (۲۰۲۰) یک مدل برنامه نویسی 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 بیماران 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 حمل و نقل طراحی نموده‌اند. سطوح شبکه که برای مدل سازی 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 بیهنه امکانات بالقوه تخصیص بهینه جریان کالا بین تأسیسات منتخب و تعیین مناسب‌ترین مسیر حمل و نقل 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 نموده اند. علاوه بر این در مطالعه آن‌ها، یک سیستم موجودی یکپارچه برای به اشتراک گذاری سطوح موجودی بیمارستانها در نظر گرفته شده است. این نوع سیستم موجودی به عنوان "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 برنامه نویسی 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 پیش بینی 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 کام اول به معرفی مسأله تحقیق خواهیم پرداخت. نوآوری‌های تحقیق، مفروضات و نیز پارامترهای و متغیرهای تشکیل دهنده مسأله تعریف خواهد شد در گام دوم با توجه به شرح مسأله تحقیق مدلسازی 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 الگوریتم های 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

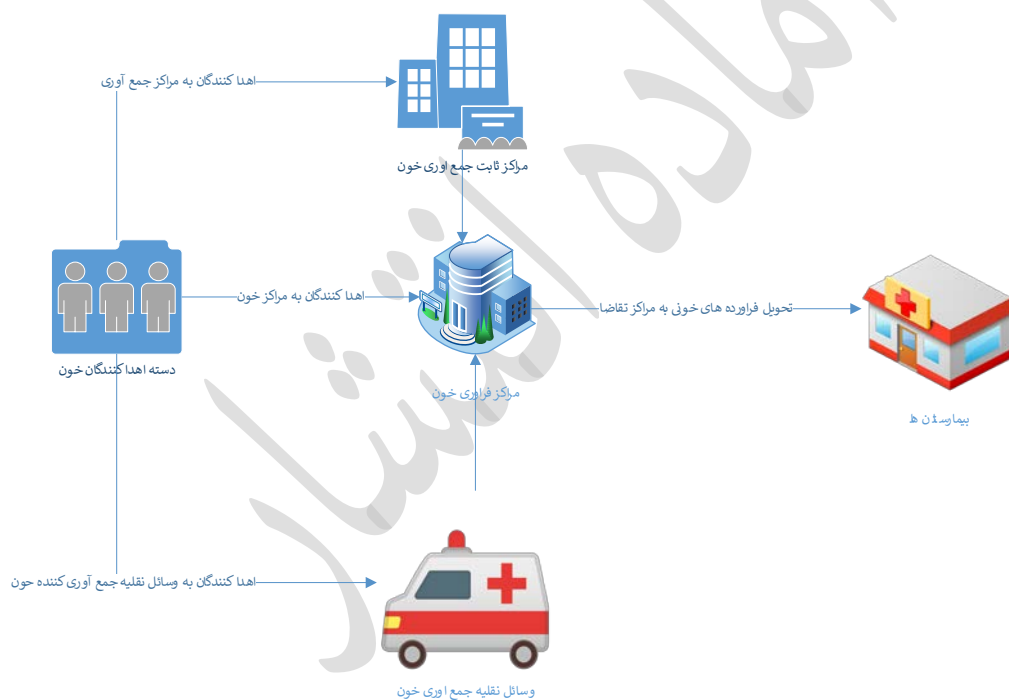
### تعریف مسأله

مدل تحقیق پیش رو بر اساس یک زنجیره تأمین جامع خون بر گرفته از سه جزء جمع آوری، پردازش، و مصرف فرآورده های خونی تشکیل شده است. مراکز جمع آوری در این مدل بر سه نوع می باشند اول وسائل نقلیه ای که در مکان های از پیش تعیین شده به اهدا کنندگان خون سرویس داده و خون جمع آوری می کنند دوم تسهیلات جمع آوری ثابت که در برخی از مناطق شهر مستقر شده و فقط وظیفه جمع آوری خون را انجام می دهند و سوم مراکز خون ( مراکز انتقال خون ) که در واقع هم کار جمع آوری خون و نیز سایر وظایف مربوط به فرآوری محصول، آزمایش و برنامه ریزی انتقال به مراکز تقاضا و بیمارستان ها انجام می دهند. بخش بعدی مدل مربوط به پردازش خون جمع آوری شده می باشد که در این بخش خون جمع آوری شده توسط جمع آوری کننده ها در مرکز خون تجمیع شده در صد هر گروه خونی مشخص شده و بر اساس نیاز در مراکز خونی به محصولات نظیر گلبول قرمز، پلاکت و خون کامل، پلاسما بیمارستان ها ارسال می شود. شماتیک زنجیره تأمین مورد نظر در شکل (۱) به تصویر کشیده شده است. نکته قابل ذکر در این است که مادامی که خون به محصولات دیگری تبدیل می گردد برخی از خصوصیات محصول از جمله سن محصولات بایکدیگر متفاوت می باشد 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 می باشد برای برخی بیماران خاص و در جراحی های خاص به یکسری فرآورده های خونی با عمر مشخص ( خون جوان ) نیاز می باشد 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 تطبیق پذیری گروه‌های خونی است یعنی طی یک ماتریس تطبیق پذیری 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 تطبیق پذیری پس از این 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 محتمل مربوط به آینده موثر بر پارامترهای زنجیره تأمین را در نظر نمی‌گیرند و در نتیجه نمی‌توان عملکرد آتی زنجیره تأمین را تضمین نمایند چرا که با توجه به تغییر ذاتی و نوسانی و گاه‌آشید محیط سیستم‌های عملیاتی بسیاری از پارامترها در مسائل بهینه‌سازی دارای خصوصیات تصادفی و

غیر قطعی هستند در این شرایط در طراحی زنجیره تأمین که چشم انداز بلند مدت تصمیم گیرندگان باعث تشدید آن می‌گردد. باعث می‌شود عدم اطمینان افزایش یابد. ماهیت غیر قطعی تقاضا برای واحدهای خونی و عدم قطعیت در اهدا کنندگان باعث پیچیده‌ترین شدن برنامه ریزی زنجیره تأمین خون می‌گردد. (پروداکتس، ۲۰۰۷). در این تحقیق به منظور مواجهه با عدم قطعیت در مقادیر تقاضا و عرضه خون از دو رویکرد متفاوت استفاده شده است. برای تقاضا یک رویکرد فازی مثلثی پیشنهاد شده است که با توجه به شرایط عدم اطمینان و بر اساس نظر تصمیم گیرندگان برش آلفا مناسب انتخاب شده و تقاضا نسبت به شرایط تطبیق می‌یابد. در خصوص میزان عرضه نیز به منظور تخمین تعداد اهدا کنندگان دوره های آتی از زنجیره مارکوف به منظور پیش بینی تعداد اهدا کنندگان بر اساس سوابق موجود در گذشته استفاده نموده ایم.

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 مسأله جمع‌آوری خون توسط سه جز جمع‌آوری کننده خون، مسأله 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 تطبیق پذیری محصولات واحدهای خونی در شرایطی که در صورت که خون هم گروه 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 پیش بینی میزان اهدا کنندگان خون مبتنی بر زنجیره مارکوف

مفروضات مدل

- تمام مراکز جمع‌آوری دارای ظرفیت محدود می‌باشند.

- مراکز خون هم کار جمع آوری خون و فراوری 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 می شود.
- هر نوع محصولات خونی در این تحقیق با نوع دیگر داری تفاوت در عمر می باشد و بر اساس سن محصول به تقاضای واسله پاسخ داده می شود.
- عدم قطعیت در تقاضا و عرضه دیده شده است.

### مدل ریاضی تحقیق

#### معرفی پارامترها و متغیرهای تحقیق

ایندکس ها:

$r$	سن محصولی خونی
$i$	دسته اهدا کنندگان خون
$y$	مکان های که وسیله جمع آوری خون در آنجا مستقر می شود
$b$	تعداد وسیله های نقلیه جمع آوری خون
$l$	تسهیلات جمع آوری خون ثابت
$m$	مرکز خون (جمع آوری + پردازش و توزیع)
$h$	بیمارستان ها و مراکز تقاضا محصولات خونی
$p$	محصولات خونی
$g, f$	گروه های 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 تطبیق پذیری 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 جمع آوری شده توسط وسیله $b$
$Cm_m$	هزینه خون جمع آوری شده توسط مرکز خون $m$
$Cl_l$	هزینه خون جمع آوری شده توسط مرکز جمع آوری $b$
$Cih_h$	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 $h$
$Csh_p$	هزینه کمبود محصولات خونی $p$
$Cw$	هزینه اتلاف محصولات خونی
$Cd$	حداکثر فاصله مجاز
$Zi_{i,t}$	حداکثر ظرفیت اهدا کنندگان $i$ 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 اهدا کنندگان $i$ با مکان جمع آوری خون $y$
$DI_{i,l}$	فاصله اهدا کنندگان $i$ با مرکز دریافت خون $l$
$Dm_{i,m}$	فاصله اهدا کنندگان $i$ با مرکز خون $m$
$BM$	یک عدد بسیار بزرگ
$Zg_g$	درصد مقدار هر گروه خونی در کل خون جمع آوری شده در مرکز $m$
$Zp_p$	درصد مقدار هر محصول خونی $p$ در کل خون جمع آوری شده در مرکز $m$
$alphac$	ظریب تابع آلفا کات
$ct : (ct', ct'', ct''')$	ظریب فازی پارامتر تقاضا

متغیرهای تحقیق:

متغیرهای عدد صحیح

$MMb_{b,t}$	مقدار خون جمع آوری شده توسط وسیله $b$ در دوره $t$
$MMm_{m,t}$	مقدار خون جمع آوری شده توسط وسیله $b$ در دوره $t$
$MMl_{m,t}$	مقدار خون جمع آوری شده در مراکز جمع آوری $l$
$Ipb_{m,p,g,r,t}$	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 اهدا کنندگان $i$ در مکان $Y$ به وسیله $b$ خون بدهند ادرغیر اینصورت *
$PB_{b,y,t}$	اگر وسیله جمع آوری خون در منطقه $y$ در دوره $t$ قرار بگیرد $1$ در غیر اینصورت *
$CallL_{i,l,t}$	اگر اهدا کنندگان $i$ به مرکز جمع آوری $l$ خون بدهند $1$ در غیر اینصورت *
$CallM_{i,m,t}$	اگر اهدا کنندگان $i$ به مرکز خون $m$ خون بدهند $1$ در غیر اینصورت *
$VLM_{l,m,t}$	اگر وسیله $b$ خون جمع آوری شده را به مرکز خون $m$ تحویل دهد $1$ در غیر اینصورت *
$VBM_{b,m,t}$	اگر مرکز جمع آوری خون $l$ خون جمع آوری شده را به مرکز خون $m$ تحویل دهد $1$ در غیر این صورت *

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

مدل ریاضی تحقیق

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

Subject to:

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

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

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

$$\sum_i \sum_y CallB_{i,y,b,t} * Zi_{i,t} = MMB_{b,t} \quad \forall b,t \tag{5}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$+ \sum_{r=3}^{r=rl_p} MpgH_{m,h,p,g,r,t}$$

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

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

$$\sum_{r=3}^{r=r_p} Sph_{h,p,g,r,t} = DemY_{p,g,h,t} - \sum_h \sum_{r=3}^{r=l_q} MpgH_{m,h,p,g,r,t} \quad \forall h, p, g, t \quad (34)$$

$$\sum_{r=r_p+1}^{r=l_p} Sph_{h,p,g,r,t} = DemO_{p,g,h,t} - \sum_h \sum_{r=r_p+1}^{r=l_p} MpgH_{m,h,p,g,r,t} \quad (35)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\sum_{r=3}^{r=r_p} Niph_{h,p,g,r,t} = \sum_{r=3}^{r=r_p} Iph_{h,p,g,r,t} - \sum_f percent_{p,g,f,h,t} * mat_{p,g,f} * \sum_{r=3}^{r=r_p} Sph_{h,p,f,r,t} \quad \forall p, g, h, t \geq 3 \quad (47)$$

$$\sum_{r=r_p+1}^{r=l_q} Niph_{h,p,g,r,t} = \sum_{r=r_p+1}^{r=l_q} Iph_{h,p,g,r,t} - \sum_f percent'_{p,g,f,h,t} * mat_{p,g,f} * \sum_{r=r_p+1}^{r=l_p} Sph_{h,p,f,r,t} \quad \forall p, g, h, t \quad (48)$$

$$\sum_{r=r_p+1}^{r=l_q} Niph_{h,p,g,r,t} = \sum_{r=r_p+1}^{r=l_q} Iph_{h,p,g,r,t} - \sum_f percent'_{p,g,f,h,t} * mat_{p,g,f} * \sum_{r=r_p+1}^{r=l_p} Sph_{h,p,f,r,t} \quad \forall p, g, h, t \quad (48)$$



$$\sum_{r=3}^{r=r_p} NSph_{h,p,g,r,t} = \sum_{r=3}^{r=r_p} Sph_{h,p,g,r,t} \quad \forall p, g, h, t \quad (49)$$

$$-\sum_f percent'_{p,g,f,h,t} * mat_{p,g,f} * \sum_{r=3}^{r=r_p} Iph_{h,p,f,r,t} \quad \forall p, g, h, t \quad (50)$$

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

$$-\sum_f percent'''_{p,g,f,h,t} * mat_{p,g,f} * \sum_{r=r_p+1}^{r=r_l} Iph_{h,p,f,r,t} \quad \forall p, t \quad (51)$$

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

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

که تابع هدف (۱) به دنبال مینیمم‌سازی هزینه‌های متحمل بر زنجیره تأمین خون می‌باشد. محدودیت شماره (۲) اشاره می‌کند به اینکه هر گروه اهداکنندگان  $i$  حداکثر تنها در یک مکان  $y$  توسط یک وسیله  $b$  در دوره زمانی  $t$  پوشش داده میشوند. 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 اهدا شده به وسیله جمع‌آوری  $b$  باید کمتر از حداکثر ظرفیت وسیله باشد محدودیت (۵) میزان خون جمع‌آوری شده توسط وسیله  $b$  در دوره  $T$  را مشخص می‌کند محدودیت (۶) و (۷) مشخص می‌کند که هر وسیله جمع‌آوری خون  $b$  در کدام یک از مناطق  $y$  در دوره  $t$  مستقر می‌باشد (۸) اشاره می‌کند به آنکه هر گروه اهداکنندگان  $i$  حداکثر تنها در یک مرکز جمع‌آوری خون  $l$  در دوره  $t$  می‌تواند جمع‌آوری شود محدودیت (۹) فاصله اهداکنندگان  $i$  جهت تخصیص به مرکز جمع‌آوری  $l$  در دوره  $t$  باید کمتر از حداکثر فاصله مجاز باشد محدودیت (۱۰) خون جمع‌آوری شده توسط مرکز جمع‌آوری  $l$  باید از حداکثر ظرفیت جمع‌آوری کمتر باشد محدودیت (۱۱) میزان خون جمع‌آوری شده توسط مراکز جمع‌آوری  $l$  در دوره  $t$  را مشخص می‌کند محدودیت (۱۲) اشاره می‌کند به اینکه هر گروه مشتریان  $i$  حداکثر می‌تواند 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 جمع‌آوری شده توسط مراکز

خون از حداکثر ظرفیت خون‌گیری مراکز خون باید کمتر باشد محدودیت (۱۵) میزان خون جمع‌آوری شده در مرکز خون m در دوره t را مشخص میکند. محدودیت (۱۶) این محدودیت مشخص میکند 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 ظرفیت آن 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 آزمایشات برابر دو روز است پس در واقع محصول بدست آمده در مرکز خون از خون دو روز قبل می‌باشد) محدودیت (۲۷-۲۸) اشاره به ضایعات حاصل از ظرب 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 کراسمیچ به ترانسفوزیوم در آن بیمارستان می‌تواند ربط داشته باشد. که این تحقیق نیز از این مسأله مستثنی نمی‌باشد بنابر این 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 بیمارسان می‌گردد ولی در موارد پیش بینی نشده مثل خون ریزی‌های 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 پیش بینی نشده جلوگیری می‌کند. لذا ظریب CT به عنوان ظریب 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.

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

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

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

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

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

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

### برآورد میزان عرضه خون

یک مسأله مهم در تحقیق بدست آوردن یک برآورد نسبتاً دقیق از میزان عرضه خون می باشد. به منظور بهبود برآورد آکیتا و همکاران (۲۰۱۶) و انصافیان و همکاران (۲۰۱۷) راهکاری از زنجیره مارکوف و رابطه چپ-من کولموگراف پیشنهاد نموده اند. بدین صورت که از یک ماتریس انتقال زنجیره مارکوف که وابسته به زمان نمی باشد طبق رابطه چپ من کولموگراف سعی در پیش بینی تعداد اهدا کنندگان در روز  $N$  ام می نماییم.

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  $j$  می رود.

:  $P_{ik}^{(r)} P_{kj}^{(n-r)}$  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 می کند.

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

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

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

که رابطه فوق به صورت ماتریسی به صورت ذیل ارائه می گردد.

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

چون رابطه ماتریسی فوق به ازای تمام مقادیر  $\mathbf{n}$  و  $\mathbf{\Gamma}$  صادق است بنابراین

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

ماتریس انتقال اهدا کنندگان را در سه حالت اهدا کنندگان اهدا کنندگان مستعد که اقدام به اهدا نمی نمایند ( $N_Z$ )، اهدا کنندگان که برای بار اول خون اهدا می نمایند ( $N_E$ )، اهدا کنندگانی که دارای سابقه اهدا خون می باشند ( $N_R$ ) را براساس داده های قبلی برای  $\mathbf{\Gamma}$  امین روز مطابق رابطه (۶۵) محاسبه می نماییم. در بخش مطالعه کاربردی تحقیق نحوه محاسبه تعداد اهدا کنندگان تشریح می گردد.

$$N_t = \begin{bmatrix} \frac{N_R}{M} & \frac{N_E}{M} & \frac{N_Z}{M} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \rightarrow R & R \rightarrow E & R \rightarrow Z \\ E \rightarrow R & E \rightarrow E & E \rightarrow Z \\ Z \rightarrow R & Z \rightarrow E & Z \rightarrow Z \end{bmatrix} \quad (65)$$

M: تعداد روز های کاری

### اعتباری سنجی و حل مدل تحقیق

اعتبارسنجی مدل: مشخص می نماید که آیا مدل (ریاضی) یک تصویر درست از مدل و محدودیت های تعیین شده ی آن را نمایش می دهد یا خیر لذا برای ارزیابی مدل ارائه شده نیاز به حل تحقیق در دو ساینز کوچک و بزرگ می باشد تا واکنش تابع هدف تحقیق نسبت به تغییرات پارامترهای مسأله مشخص گردد. بدین منظور ابتدا مدل تحقیق در نرم افزار GAMS 24.1 کد شده، سپس به منظور حل مدل از سالور ANTIGONE استفاده شده است. مشخصات کامپیوتر استفاده شده برای حل مسأله cori7-2630Qm 2HGZ با RAM: 8GB بوده است. تفاوت در مسأله حل شده در جدول ۲ و ۳ ارائه شده است.

جدول ۲. مثال های طراحی شده جهت حل مسأله

اندیس/مثال ها	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

انديس/مثال ها	p	t	h	m	l	y	b	i
مثال ۳	۱	۸	۳	۲	۱	۲	۲	۳
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 مسأله	مقادیر	پارامترهای اصلی مسأله	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 غیر قطعی

حل نرم افزار گمز		
مثال ها	تابع هدف	زمان حل مسأله
مثال ۱	27345	8
مثال ۲	47546	10
مثال ۳	49031	10
مثال ۴	73245	13
مثال ۵ تا ۱۲	-	-

بدیهی است با افزایش سایز مسأله رسیدن به جواب مسأله سخت تر شده و نیز با توجه به محدودیت‌های سالور در نرم افزار گمز و سخت افزار کامپیوتری و از آنجایی که نوع مسأله از نوع "ان پی - هارد" می باشد، زمان حل مسأله به صورت نمایی بواسطه افزایش سایز مسأله در حال افزایش می باشد و رسیدن به جواب قطعی در زمان معمول امکان پذیر نمی باشد. بنابراین در سایزهای

به منظور دستیابی به جواب بهینه در سایز بزرگ نیاز به برنامه نویسی ریاضی مسأله در نرم افزار MATLAB و حل آن با استفاده از الگوریتم‌های فرابتکاری می‌باشیم.

### الگوریتم خفاش

خفاش‌ها جانوران شگفت‌انگیزی هستند. آن‌ها تنها پستاندارانی هستند که پرواز می‌کنند و همچنین، بسیاری از آن‌ها از توانایی پیشرفته تعیین مکان با استفاده از صوت برخوردارند. اغلب خفاش‌ها برای تعیین مکان از صوت‌هایی با فرکانس در محدوده خاص استفاده می‌کنند. در میان تمام گونه‌های خفاش‌ها، خفاش‌های کوچک مثالی معروف هستند که از صوت به عنوان ابزاری برای تعیین مکان استفاده می‌کنند. خفاش‌های کوچک پالس‌های صوتی بسیار بلندی را از خود ساطع کرده، از پژواک ناشی از برخورد پالس‌ها با اجسام محیط، آن‌ها را پردازش می‌کنند (یانگ، ۲۰۱۰).

الگوریتم بهینه‌سازی خفاش که در سال ۲۰۱۰ برای نخستین بار توسط ژن شی یانگ ارائه شد، الهامی از خصوصیات ردیابی خفاش‌های کوچک در جستجوی شکار است. به منظور بسط این الگوریتم بهینه‌سازی از قوانین کلی استفاده شده است که در زیر به آن‌ها اشاره می‌گردد:

**قانون اول:** همه خفاش‌ها به کمک پژواک فاصله را تشخیص می‌دهند و همچنین، همه

آن‌ها تفاوت صدای پژواک شده ناشی از غذا و اجسام اطراف پیرامونشان را می‌دانند.

**قانون دوم:** خفاش‌ها به صورت تصادفی با سرعت  $V_i$  و در موقعیت  $P_i$  با فرکانس ثابت  $f_{min}$  و طول موج‌های مختلف و با بلندی صوت  $R$  شکار خود را دنبال کرده، می‌توانند به

<sup>1</sup> NP-HARD

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

**قانون سوم:** اگر چه بلندی صوت میتواند در بسیاری از حالات متفاوت باشد، با این حال فرض می شود که این تغییرات از بیشترین مقدار  $R$  تا کمترین مقدارش به عنوان  $R_{\min}$  محدود باشد.

علاوه بر این فرض های ساده سازی، تقریب های 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 ۱٫۷ میلی متر می باشد. البته مطابق با مسأله می توان از هر طول موج دیگری استفاده شود. همچنین میتوان دامنه طول موج یا فرکانس را تنظیم نمود.

در الگوریتم BA نیاز به تعریف قوانینی است که چگونگی به هنگام سازی موقعیت  $x_i$  و سرعت  $v_i$  در فضای  $d$  بعدی جستجو را معین می کنند موقعیت جدید  $x'_i$  و سرعت  $v'_i$  در گام زمانی  $t$  به صورت زیر می باشد

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

$$v'_i = v_i^{t-1} + (x'_i - x_s)f_i \quad (67)$$

$$x'_i = v_i^{t-1} + v'_i \quad (68)$$

که  $\beta \in [0,1]$  بردار تصادفی از توزیع یکنواخت است. در اینجا  $x_s$  بهترین موقعیت سراری یکنواخت است که بعد از مقایسه همه راه حل ها در میان  $n$  خفاش یافته می شود. در ابتدا به هر خفاش به صورت تصادفی مقدار فرکانس تصادفی که به صورت یکنواخت از بازه  $[f_{\min}, f_{\max}]$  بدست می آید اختصاص داده می شود. برای مرحله جستجوی محلی، راه حل جدید برای هر خفاش از طریق یک گام تصادفی به صورت زیر تولید می شود.

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

که  $\varepsilon \in [0,1]$  یک مقدار تصادفی است و  $A^t = \langle A^t \rangle$  مقدار میانگین بلندی صوت همه خفاش ها 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 می‌تواند از جهاتی الگوریتم خفاش را ترکیبی از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات بدون بهره‌مندی از بهترین پاسخ محلی ذره نام به همراه یک جستوی 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 می‌یابد کاهش می‌یابد. در حالی که نرخ پالس‌های منتشر شده افزایش می‌یابد.

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

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

که  $\alpha$  و  $\gamma$  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 می‌شود و سپس تنها در زمانی که راه حل جدید بهبود یابد به هنگام می‌شوند که به معنی حرکت به سمت راه حل بهینه می‌باشد (یانگ و همکاران، ۲۰۱۳).

### الگوریتم فراابتکاری وال

این الگوریتم از رفتار اجتماعی وال‌های گوزپشت<sup>۱</sup> الهام گرفته است. طعمه‌های مورد علاقه آن‌ها گله ماهی کریل و کوچک هستند. جالب‌ترین چیز در مورد نهنگ گوزپشت نحوه شکار خاص او است. روش تغذیه با ایجاد حباب‌های متمایز دایره‌ای انجام می‌شود. نهنگ‌ها 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

<sup>1</sup> Megaptera novaeangliae

را مارپیچ به سمت بالا و حلقه‌های دوتایی<sup>۲</sup> 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 لویس، ۲۰۱۶ )

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

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

که در فرمول بالا  $t$  تکرار فعلی،  $\bar{A}$  و  $\bar{C}$  بردار ضرایب،  $\bar{X}^*$  بردار مکان بهترین جواب،  $\bar{X}$  بردار مکان،  $||$  علامت قدر مطلق و ضرب نقطه‌ای عنصر در عنصر است. که اگر در هر تکرار جواب بهتری وجود داشت  $\bar{X}^*$  به روز رسانی می‌شود. بردارهای  $\bar{A}$  و  $\bar{C}$  به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

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

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

که  $\bar{a}$  در هر تکرار به صورت خطی از ۲ به ۰ طی تکرارها کاهش می‌یابد و  $\bar{r}$  یک بردار رندم بین [۰، 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 روز رسانی شود. مدل ریاضی به صورت زیر است:

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

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

<sup>1</sup> upward spirals

<sup>2</sup> double loops

الگوریتم WOA با مجموعه‌ای از راه حل‌های 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 راه حل بدست آمده جاری، به روزرسانی 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 راه حل زمانی انتخاب می‌شود که جهت بروزرسانی موقعیت عوامل جستجو،  $|A| < 1$  باشد. بسته به مقدار  $p$ ، الگوریتم WOA این قابلیت را دارد تا بین حرکت دایروی و یا ماریپیچی یکی را انتخاب کند. وال برای جستجو برای طعمه برای بروزرسانی موقعیت عامل جستجو، به جای استفاده از داده‌های بهترین عامل جستجو، از انتخاب تصادفی بهره می‌برد

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

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

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

### ساختار بردار جواب

جمعیت اولیه بردار جواب اولیه مسأله 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

بخش اول بردار جواب مشخص کننده این است که دسته اهدا کنندگان  $I$  به کدام یک از سه مکان‌های جمع‌آوری خون تخصیص داده شوند. (به طول مثال، مقدار ۴۸ درایه اول از حاصلضرب  $t=8$  ضرب در  $i=2$  در در ۳ بدست آمده و نشان دهنده 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  $a$ ها به کدام  $I$  خون

تخصیص داده شود، بخش چهار بردار جواب مربوط به این است که در صورت انتخاب مرکز خون m به کدام مرکز خون خون تخصیص داده شود. بخش پنجم در صورتی که وسیله‌های نقلیه b خون را جمع‌آوری نمودند، که هر کدام از bها در کدام yها قرار گیرند. بخش ششم بردار جواب نشان دهنده‌ی آن است که هر کدام از وسیله‌های نقلیه b در صورت دریافت خون به کدام یک از مراکز خون خون را تحویل نمایند. بخش هفتم بردار جواب مشخص می‌نماید که کدام از مراکز جمع‌آوری خون، خون را به کدام یک از مراکز خون m تحویل دهند. بخش هشتم جواب نشان دهنده این است که خون مراکز m به کدامیک از hها تخصیص داده شوند.

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

جدول ۵. جواب مسأله

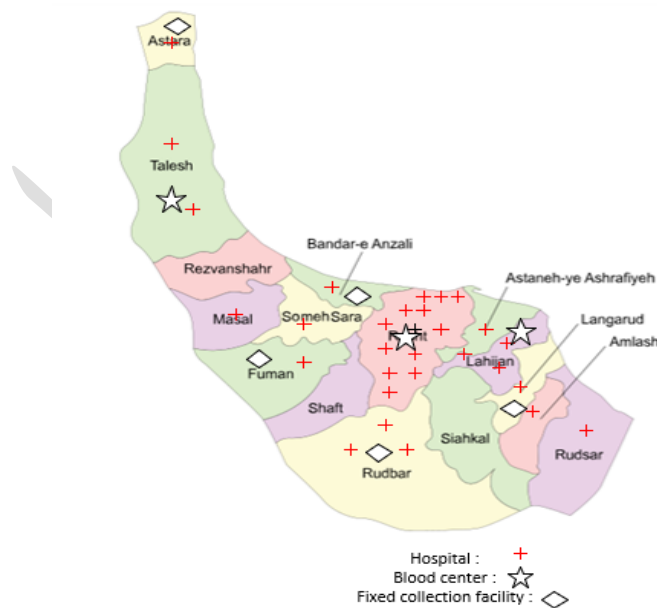
نوع حل مسأله	نرم افزار گمز	WOA		BAT			
		تابع هدف اول	Time	تابع هدف اول	Time		
مثال‌ها	1	27345	8S	27867	40s	32891	49s
	2	47546	10S	53904	118s	59172	48s
	3	49031	10S	54947	29s	63512	26s
	4	73245	13S	74957	27s	82768	65s
	5	No	No	165999	115s	934567	119s
	6	No	No	1961505	565s	1737473	725s
	7	No	No	1978919	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 بدست 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 مسأله (زمان رسیدن به شرط توقف) نیز الگوریتم وال عملکرد بسیار بهتری در مسائل با سایز بزرگتر 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. شماتیک جغرافیایی از استقرار تسهیلات جمع آوری و مراکز تقاضا



تخمین میزان خون اهدایی داوطلبان

در این بخش به منظور ارزیابی راهکاری پیشنهادی از داده های مرکز انتقال خون گیلان به منظور تخمین تعداد اهدا کنندگان استفاده می نمایم بر اساس داده های ۴ ساله اهدا کنندگان و بر اساس ماتریس انتقال محاسبات بدین صورت انجام می پذیرد.

به طور مثال بنابر جدول (۶) احتمال حالت گذار اهدا کننده مکرر در دوره t-1 به اهدا کننده مکرر در دوره t برابر است با تعداد اهدا کنندگان مکرر که در دوره t-1 خون اهدا نموده اند در دوره t نیز خون اهدا کرده باشند، تقسیم به کل اهدا کنندگان 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 داده های گذشته بر اساس داده های میانگین همان ماه در سال های اخیر استفاده شده (به علت تغییر الگو فصلی اهدا خون در اهدا کنندگان)

اگر  $N = [N_R, N_E, N_Z]$  باشد  $N_R$  تعداد افراد اهدا کننده مستمر،  $N_E$  تعداد افراد اهدا کننده بار اول و سابقه دار،  $N_Z$  و تعداد افرادی که خون اهدا نمی نمایند باشد.  $T_{average}$  میانگین احتمال انتقال گذار طی دوره باشد. احتمال هر یک حالت گذار را می توان 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	$\frac{P_{R \rightarrow R}}{N_R}$	$\frac{P_{R \rightarrow E}}{N_R}$	$\frac{P_{R \rightarrow Z}}{N_R}$	$\frac{P_{E \rightarrow R}}{N_E}$	$\frac{P_{E \rightarrow E}}{N_E}$	$\frac{P_{E \rightarrow Z}}{N_Z}$	$\frac{P_{Z \rightarrow R}}{N_Z}$	$\frac{P_{Z \rightarrow E}}{N_Z}$	$\frac{P_{Z \rightarrow Z}}{N_Z}$
$T_{Average}$	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 می گردد

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

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 باسابقه و ۱۳ درصد برای اولین بار خون اهدا نموده اند، اگر جمعیت مستعد اهدای خون که خون اهدا نمی کنند را ۷۰۰ هزار نفر تخمین بزنیم برای دوره  $t_0$

جدول ۷. تعداد هر گروه اهدا کننده در دوره  $t_0$

تعداد برای یک سال	تعداد هر گروه از افراد بر حسب روز برای شروع دوره $t_0$
$N_R = 54870$	$N_R = \frac{54870}{365} = 150$
$N_E = 28830$	$N_E = \frac{28830}{365} = 79$
$N_Z = 700000$	$N_Z = \frac{700000}{365} = 1917$

بنابر این میزان تعداد اهدا در  $t$  امین روز به صورت ذیل محاسبه می شود.

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

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

جدول ۸. تعداد هر گروه اهدا کننده 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 بدست آمده است، که این خروجی بر اساس تفکیک تابع اول به هزینه‌های جمع‌آوری 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 فاسد شدن فرآورده خونی در جدول ۹ گزارش شده است.

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

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

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

میزان خون جمع‌آوری شده بر اساس تسهیلات جمع‌آوری 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 فرآینده تولید فرآورده‌های خونی در مراکز  $m$  انجام می‌پذیرد تعداد فرآورده‌های تولیدی نیز در جدول (۱۱) ارائه شده است.

جدول ۱۰. خون جمع‌آوری شده توسط جمع‌آوری‌کننده‌ها

خون کامل جمع‌آوری شده	خون جمع‌آوری شده در مراکز جمع‌آوری
2994	رشت (m1)



لاهیجان (m2)	1067
لنگرود (11)	703
رودسر (12)	486
انزلی (13)	506
فومن (14)	426
تالش (m3)	680
آستارا (15)	250
تسهیلات جمع آوری ثابت (b1, b2)	721

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

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

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

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

شهر	مراکز تقاضا	مقادیر RBC ارسالی	مقادیر فاسد شده	مقادیر کمبود	مقادیر ارسالی پلاکت	مقادیر کمبود	مقادیر فاسد شده در بیمارستان
رشت	H1	337	3	8	91	6	4
	H2	115	22	0	13	1	1
	H3	16	76	0	0	0	0
	H4	230	2	0	72	1	3
	H5	437	2	1	75	1	3
	H6	16	51	0	0	0	0
	H7	211	4	0	57	1	3
	H8	827	1	0	634	20	28
	H9	432	7	0	14	1	1
	H10	276	1	0	133	4	6
	H11	204	2	0	90	1	4
	H12	57	8	0	0	0	0

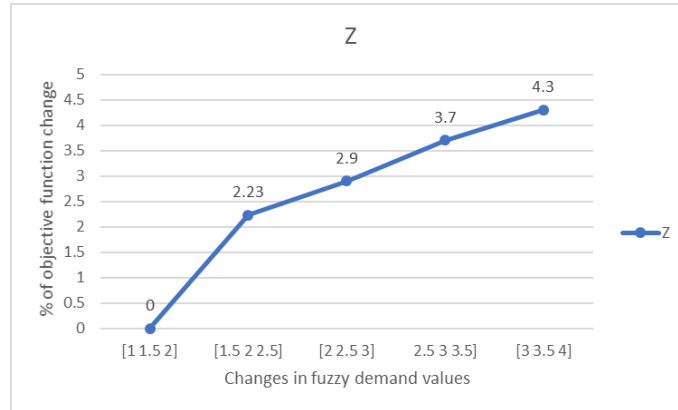
	H13	28	22	0	0	0	0
	H14	426	1	0	143	6	6
فومن	H15	91	2	0	8	0	0
تالش	H16	185	1	0	0	0	0
	H17	18	31	0	1	0	0
آستارا	H18	123	3	0	16	2	1
رودبار	H19	11	23	0	0	3	0
	H20	16	17	1	0	0	0
	H21	32	9	0	0	0	0
املش	H22	29	3	0	0	0	0
لاهیجان	H23	66	1	0	10	0	0
	H24	278	1	11	1	0	0
ن	H25	61	1	0	0	0	0
لنگرود	H26	200	2	0	10	0	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 اهداف را با توجه به تغییر در پارامترها کلیدی مسأله 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

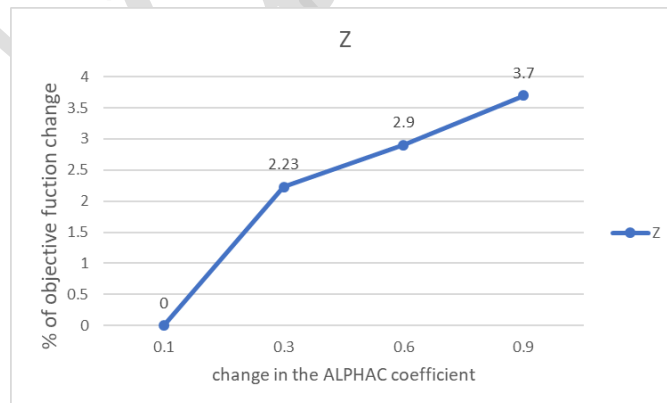
پارامتر دخیل در مقادیر تقاضا به صورت تغییر در مقادیر CT و تغییر در ضریب تابع آلفا-کات می باشد با توجه به شکل ۴ مشاهده می گردد با بزرگی شدن میزان ضریب CT مقادیر تابع هدف هزینه (Z) افزایش یافته است.

شکل ۴. آنالیز حساسیت مقادیر پارامتر CT



پارامتر دیگر تغییر در ضریب  $\text{ALPHAC}$  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 پایین‌ترین بازه به مقادیر کران پایین عدد فازی اولویت انتخاب می‌دهد بر اساس شکل (۵) جدول تغییرات تابع هدف بر اساس تغییرات ضریب  $\text{ALPHA}$  ارائه شده مشاهده می‌گردد با افزایش این ضریب مقادیر تابع هدف هزینه افزایش زنجیره تأمین افزایش خواهد یافت.

شکل ۵. آنالیز حساسیت ضریب  $\text{ALPHAC}$



نتیجه گیری و پیشنهادات

هدف از انجام این مقاله طراحی یک زنجیره تأمین جامع بوده که شامل سه بخش جمع آوری، پردازش و توزیع کالای خونی می‌باشد. زنجیره تأمین دارای واحدهای جمع آوری خون متحرک و ثابت بوده که خون را از اهدا کنندگان دریافت نموده و به مراکز خون ارسال می‌نمایند در مرکز خون به محصولات مورد نیاز فراوری می‌شود. محصولات خونی بر اساس تقاضاهای که بر اساس دو دسته محصولات تازه یا معمولی هستند، به مراکز تقاضا ارسال می‌گردند. در این تحقیق عملکرد تابع هدف به دنبال مینیم کردن هزینه‌هایی چون خون‌گیری، موجودی خون در مراکز خون و بیمارستان‌ها و نیز هزینه منقضی شدن محصولات خونی به علت عدم مصرف آن‌ها 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 می‌تواند جایگزین آن شود ارسال گردد برای حل مدل به صورت حل دقیق از نرم افزار گمز استفاده شد اما با افزایش سائز مسأله در سائزهای بزرگتر از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده نموده‌ایم. همچنین برای پیش بینی نسبتاً دقیق از تقاضا یک ضریب فازی پیشنهاد شده است و برای پیش بینی میزان اهدا کنندگان خون از روش زنجیره مارکوف و قضیه چپ-من کولموگراف استفاده نموده‌ایم. نتایج حاصله در سائزهای کوچک توسط الگوریتم حل کننده دقیق و سائز 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 ظرایب فازی تقاضا و ظریب تابع تبدیل آلفا کات و تأثیر آن بر تابع هدف ارائه شده است.

### پیشنهادات به منظور تحقیقات آتی

به منظور تحقیقات پیش رو موارد ذیل پیشنهاد می‌گردد:

- به منظور توسعه ای تحقیق پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آتی مسأله مکان یابی وسائل نقلیه متحرک جمع آوری خون به صورت گسترده تر با در نظر گرفتن متغیرها و محدودیت های 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 بیمارستان ها و کنترل سطح آن به جهت کنترل کمبود های ناگهانی
- در ادامه این تحقیق می توان 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 فراورده های خونی منقذی شده
- امکان استقرار تجهیزات در مواقع اضطرار و پیش آمد های مترقبه

## Reference

- 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>
- 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>
- 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>
- Bain, B. J. (2014). Blood cells: a practical guide: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119820307>
- 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>
- 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>
- 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>

- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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.
- 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>
- Nahmias, S. (1982). Perishable inventory theory: A review. *Operations Research*, 30(4), 680-708. <https://doi.org/10.1287/opre.30.4.680>
- 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>
- 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](https://doi.org/10.1007/1-4020-8066-2_5)
- 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>
- 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.
- 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>
- 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>
- 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)

- 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.
- 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>
- 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](https://doi.org/10.1007/978-3-642-12538-6_6)
- 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>
- 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>
- 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>