



Paper Type: Original-Application Paper



A Robust Possibilistic Programming Approach to Design a Comprehensive Blood Supply Chain Based on the ABO-RH Index

Taher Kochaki Tajani¹, Ali Mohtashami^{1*} , Maghsoud Amiri², Reza Ehtesham Rasi¹

¹ Department of Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran; taher.kouchaki@yahoo.com; mohtashami07@gmail.com; rezaehteshamrasi@gmail.com.

² Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran; amiri@atu.ac.ir.

Citation:



Kochaki Tajani, T., Mohtashami, A., Amiri, M., & Ehtesham Rasi, R. (2023). A robust possibilistic programming approach to design a comprehensive blood supply chain based on the ABO-RH index. *Journal of decisions and operations research*, 8(2), 424-445.

Received: 08/11/2020

Reviewed: 11/12/2020

Revised: 21/02/2021

Accepted: 05/03/2021

Abstract

Purpose: This paper aimed to design a robust blood supply chain model that includes the stages of collection, processing and distribution of blood and blood products taking into account the lifespan and age of demand, which seeks to reduce supply chain costs and reduce the shortage and waste of blood products.

Methodology: In this paper, MINLP method is used to model the research problem and in order to face the uncertainty in the problem parameters, the MPFRP method based on fuzzy data is proposed. The designed model was first evaluated for validation with numerical examples in small and large size and using real data in a case study in GAMS software?

Findings: Using numerical examples and real data, the output indicates the performance of the proposed model. The output also had acceptable flexibility in the face of uncertainty in the parameters of the research model.

Originality/Value: In this study, in order to reduce the shortage of blood products in situations where blood product is not available in the same group as the requested blood product, the ABO-RH adaptability principle has been used to replace the received demand with a compatible inventory. And also, to deal with uncertainty in uncertain parameters in the supply chain a solution based on mixed possibilistic-flexible robust programming is proposed.

Keywords: Robust programming, Robust possibilistic programming, Mixed integer non-linear programming, Blood supply chain.

Corresponding Author: mohtashami07@gmail.com

 <http://dorl.net/dor/20.1001.1.25385097.1402.8.2.8.2>



Licensee. **Journal of Decisions and Operations Research**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



نوع مقاله: پژوهشی



ارایه مدل برنامه‌ریزی استوار امکانی به منظور طراحی زنجیره‌تامین جامع خون با در نظر گرفتن شاخص ABO-RH

طاهر کوچکی تاجانی^۱، علی محتشمی^{۱*}، مقصود امیری^۲، رضا احتشام راثی^۱
^۱گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.
^۲گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران.

چکیده

هدف: هدف از این مطالعه طراحی یک مدل زنجیره‌تامین خون استوار که شامل مراحل جمع‌آوری، فرآوری و توزیع خون و محصولات خونی با در نظر گرفتن طول عمر و سن تقاضا بوده است که مدل پیشنهادی به دنبال کاهش هزینه‌های متحمل بر زنجیره‌تامین و نیز کاهش کمبود و اتلاف محصولات خونی می‌باشد.

روش‌شناسی پژوهش: در این تحقیق از روش برنامه‌نویسی ریاضی غیرخطی به منظور مدل‌سازی مساله تحقیق استفاده شده و به منظور مواجه با عدم قطعیت در پارامترهای مساله نیز روش برنامه‌ریزی استوار امکانی-منعطف مختلط^۱ مبتنی بر داده‌های فازی پیشنهاد شده است. مدل طراحی شده ابتدا به منظور اعتبارسنجی با مثال‌های عددی در سایز کوچک و بزرگ و با استفاده از داده‌های واقعی در یک مطالعه موردی در نرم‌افزار گمز مورد ارزیابی قرار گرفته است.

یافته‌ها: یافته‌های تحقیق چه در بخش اعتبارسنجی و چه در بخش مطالعه موردی، بیانگر کارایی مدل پیشنهادی می‌باشد. هم‌چنین خروجی مدل انعطاف‌پذیری مورد قبولی در مقابل عدم قطعیت مشاهده شده در پارامترهای تحقیق داشته است.

اصالت/ارزش افزوده علمی: در این تحقیق به جهت کاهش کمبود فرآورده‌های خونی در شرایطی که محصول خونی هم‌گروه با محصول خونی مورد تقاضا موجود نباشد، از اصل تطبیق‌پذیری ABO-RH به منظور جایگزین نمودن تقاضای اصله با موجودی قابل تطبیق استفاده شده است و هم‌چنین به منظور مقابله با عدم قطعیت در پارامترهای غیرقطعی در زنجیره‌تامین یک راهکار مبتنی بر بهینه‌سازی استوار امکانی-منعطف پیشنهاد شده است.

کلیدواژه‌ها: برنامه‌ریزی استوار، برنامه‌ریزی استوار امکانی، برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی، زنجیره‌تامین خون.

۱- مقدمه

خون و فرآورده‌های درمانی آن، سالانه جان میلیون‌ها نفر را در سراسر دنیا نجات می‌دهد، هرچند که بسیاری از کشورهای در حال توسعه جهان هم‌چنان با مرگ‌ومیر ناشی از کمبود خون و فرآورده‌های آن و نیز عدم مدیریت صحیح منابع خونی مواجه می‌باشند. حیاتی بودن این

¹ Mixed possibilistic-flexible robust programmig

* نویسنده مسئول

mohtashami07@gmail.com

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.25385097.1402.8.2.8.2>





کالای اساسی باعث شده کمبود آن در زنجیره‌تامین سلامت یک امر فاجعه‌بار و مصیبت‌بار لحاظ شود. لذا هرگونه بهبود و پیشرفت در مدیریت زنجیره‌تامین خون و فرآورده‌های خونی باعث بهره‌وری در نظام سلامت و نجات جان انسان‌ها خواهد شد. مصرف خون و فرآورده‌های خونی به‌طور عمده در خونریزی‌های ناشی از حوادث و سوانح غیر مترقبه، اعمال جراحی ویژه، جراحی‌های بزرگ مثل پیوند اعضا و جراحی‌های باز قلب، عوارض ناشی از بارداری و زایمان و ناخوشی‌های دوران نوزادی و هم‌چنین بسیاری از بیماران و کودکان مبتلا به بیماری‌های بدخیم و سرطان و نیز بیماران اختلالات انعقادی مانند تالاسمی و هموفیلی مورد نیاز می‌باشد. طی سال‌های اخیر شاهد افزایش نرخ مصرف خون و فرآورده‌های خون در مراکز درمانی هستیم. افزایش جمعیت، انجام عمل‌های جراحی پیشرفته، افزایش طول عمر و امید به زندگی، افزایش حوادث و سوانح و... علل عمده افزایش مصرف فرآورده‌های خونی می‌باشد. هم‌چنین با پیشرفت کمی و کیفی پایگاه‌های انتقال خون تولید فرآورده‌های اختصاصی‌تر (مانند فرآورده‌های اشعه دیده، کم لکوسیت و پلاکت فرزیس) مصرف نیز افزایش یافته است. با عنایت به موارد فوق یعنی هم افزایش میزان تقاضا و نیز افزایش میزان عرضه نیاز به یک برنامه‌ریزی جهت مدیریت صحیح منابع و نیز پاسخگویی به تقاضاهای واصله در طول زنجیره‌تامین احساس می‌گردد. برنامه‌ریزی زنجیره‌تامین خون چالش‌برانگیز می‌باشد که عمده‌ترین دلیل آن ماهیت غیرقابل پیش‌بینی بودن خون است زیرا تقاضا برای خون و محصولات آن بسیار تصادفی بود و از سویی تامین خون از طریق اهداکنندگان نیز به‌صورت نامنظم می‌باشد. تطبیق این عرضه و تقاضا نامنظم یک چالش بزرگ در این زنجیره‌تامین می‌باشد. چالش دیگر فسادپذیری خون و محصولات خونی می‌باشد، زیرا طول عمر کوتاه و متفاوت خون و فرآورده‌های آن و مانع از ذخیره‌سازی طولانی مدت شده که این امر باعث می‌شود که از زمان فرآوری، مدت محدودی برای مصرف آن فرصت داشته باشیم. در غیر این صورت محصول منقضی و غیرقابل استفاده می‌باشد. چنانچه بخواهیم زنجیره‌تامین خون را تجسم کنیم، در این زنجیره، تامین‌کنندگان اهداکنندگانی هستند که به‌طور داوطلبانه و با مراجعه به پایگاه‌های مربوط به دریافت خون یا مراکز خون، خون خود را اهدا می‌کنند و در حقیقت ماده اولیه را فراهم می‌نمایند. سپس واحدهای خونی جمع‌آوری شده به مراکز جمع‌آوری و نگهداری منتقل شده و در آنجا پس از انجام آزمایشات لازم در بانک خون به‌طور موقت نگهداری و سپس برحسب نیاز به مصرف‌کنندگان نهایی نظیر بیمارستان‌ها و مراکز ارایه‌دهندگان خدمات درمانی می‌رسد. باید توجه داشت که طراحی مناسب شبکه خون از اهمیت بالایی برخوردار است. طراحی مجدد شبکه به دلیل هزینه‌های قابل توجه و زمان مورد نیاز در کوتاه‌مدت قابل تغییر نیست لذا استفاده از امکانات موجود و بهینه‌سازی شرایط ارجحیت بیش‌تری نسبت به استقرار دوباره تجهیزات، مراکز خون و سایر تسهیلات مربوط به زنجیره‌تامین خون دارد [1]. یک عامل مهم در زنجیره‌تامین خون عامل هزینه می‌باشد؛ هزینه‌هایی چون دریافت خون از اهداکنندگان، فرآوری محصولات و هزینه‌های موجودی خون و فرآورده‌های خونی در بیمارستان‌ها و مراکز خون. هزینه‌های انتقال خون به مراکز تقاضا از اهمیت بالایی برخوردار است، عامل دیگر موجودی محصولات خونی در مراکز عرضه و تقاضا می‌باشد. ذخیره‌سازی فرآورده‌های خونی به علت تقاضاهای مراکز درمانی می‌باشد؛ ذخیره‌سازی زیاد باعث افزایش میزان موجودی و نیز باعث افزایش هزینه نگهداری و نیز افزایش میزان فسادپذیری محصولات خونی می‌شود. از سویی باید توجه داشت که نبود ذخیره مناسب محصولات خونی در این مراکز نیز باعث کمبود خواهد شد، کمبود محصولات خونی عواقب جبران‌ناپذیری بر زنجیره‌تامین تحمیل می‌نماید لذا باید توجه داشت که کاهش هزینه‌ها باید با رعایت کاهش کمبود و اتلاف انجام پذیرد [2]، [3]. خون جزو کالاهای فاسدشدنی می‌باشد و زنجیره‌تامین که مبتنی بر آن و فرآورده‌های آن می‌باشد نیز همین ویژگی را داراست [4]. فرآورده‌های خون آن دسته از مواد تشکیل‌دهنده خون هستند که کاربرد درمانی داشته و می‌توان به‌وسیله سانتریفیوژ^۱، فیلتر کردن و منجمد نمودن با استفاده از روش‌های مرسوم انتقال خون تهیه کردند که عمدتاً شامل انواع پلاسما، پلاکت، گلبول قرمز و کرایوپره سی پتیت^۲ می‌باشند که این محصولات دارای طول عمر متفاوت از یکدیگر (پلاکت ۵ تا ۷ روز پلاسما و کرایوپره سی پتیت حدود یک سال و گلبول قرمز و خون کامل ۲۱ تا ۴۲ روز عمر) هستند و پس از آن مدت فاسد شده و باید منهدم گردند. در صورتی که مصرف این محصول درست مدیریت نشود به‌خاطر منقضی شدن مقدار قابل توجهی از آن دور ریخته خواهد شد و با اتلاف مواجه خواهیم بود و چنین وضعیتی برای سیستم زنجیره‌تامین ایجاد هزینه (مالی و اجتماعی) خواهد نمود. نکته مهم دیگر که باید مورد توجه قرار گیرد محصولات خونی مشتق شده از خون نیز خود دارای ویژگی و طول عمر متفاوتی می‌باشند که این خود یک چالش دیگر در طراحی زنجیره‌تامین خون را به همراه خواهد ساخت. لذا در این تحقیق ما با یک زنجیره‌تامین چندمحصولی از کالاهای فاسدشدنی با عمر متفاوت مواجه‌ایم که هدف اصلی آن کاهش هزینه زنجیره‌تامین در کنار کاهش کمبود و اتلاف خون و فرآورده‌های آن خواهد بود.

¹ Centrifugation² Cryoprecipitate



در زنجیره‌تامین خون نیز هر فرآورده خونی را براساس گروهی خاص تفکیک می‌نمایند. روشی برای تقسیم‌بندی خون‌ها بر پایه وجود یا نبود آنتی‌ژن‌های موروثی خاصی روی سطح گلبول‌های قرمز خون وجود دارد. براساس مهم‌ترین این تقسیم‌بندی خون انسان‌ها به چهار دسته A ، B ، AB و O و براساس تقسیم‌بندی دیگر به گروه‌های $RH+$ و $RH-$ تقسیم می‌شوند. باتوجه به درصد نامتناسب توزیع گروه‌های خونی در بین اهداکنندگان، امکان کمبود همیشه در زنجیره‌تامین وجود داشته است. در علم طب خون در صورت برخورد با کمبود یک فرآورده خونی از گروهی خاص سعی در جایگزینی آن فرآورده از گروه‌هایی که امکان تطبیق وجود دارد، می‌شود [2]؛ این کار باعث کاهش میزان کمبود خواهد شد. نجات جان بیمارانی که خون با گروه خونی RH موردنیاز آن در همان لحظه موجود نمی‌باشد، می‌شود [3]. 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.

جدول ۱ - تطبیق‌پذیری گروه‌های خونی.
Table 1- Compatibility of blood groups.

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

به دلیل فضای موجود در زنجیره‌تامین برای تصمیم‌گیری هموار با مسایل، مشکلاتی از جمله کمبود اطلاعات و یا غیردقیق بودن اطلاعات موجود مواجه می‌باشیم؛ بنابراین، در مدل‌هایی که برای برنامه‌ریزی زنجیره‌تامین ارائه می‌شود باید این مساله را مدنظر داشت. لذا به‌منظور سوق دادن مدل ریاضی به دنیای واقعی می‌توان فرض کرد برخی پارامترها دارای عدم قطعیت از نوع فازی (عدم قطعیت شناختی) می‌باشند. رویکردی که در سال‌های اخیر برای مقابله با عدم قطعیت (شناختی) بیش‌تر موردتوجه قرار گرفته است رویکرد بهینه‌سازی استوار است. دو برتری این نوع برنامه‌ریزی اول در این است که بهینه‌سازی استوار نسبت به رویکرد احتمالی از لحاظ حل مدل دارای سهولت بیش‌تری است و دوم اینکه دانش واضحی از توزیع احتمالی داده‌های دارای عدم قطعیت نیاز نیست و می‌توان از داده‌های تاریخی و تجربه‌های تصمیم‌گیران در برخی موارد برای تخمین بازه‌ی دارای عدم قطعیت استفاده نمود [5].

۲- پیشینه تحقیق

مطالعات زیادی در خصوص زنجیره‌تامین خون و اجزای آن صورت پذیرفته است که از لحاظ موضوع و روش انجام تحقیق دارای پراکندگی و تنوع زیادی می‌باشد و این موضوع از جنبه‌های گوناگون موردبررسی قرار گرفته است. آغاز این مطالعات توسط نهمیاس [6] در خصوص زنجیره‌تامین محصولات فاسدشدنی بوده است. بعدازآن، این مطالعات توسعه یافته است. در خصوص مطالعات اخیر نیز می‌توان تحقیقات صورت گرفته ذیل را برشمرد.

قندروش و سن [7] با ارائه یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی به دنبال کمینه کردن هزینه‌های تولید پلاکت خون برای یک مرکز انتقال خون منطقه‌ای بودند. به‌دلیل غیرمحدب بودن تابع هدف ارائه‌شده حل آن بسیار مشکل بود و تضمینی برای رسیدن به یک جواب بهینه نبوده



است؛ بنابراین، نویسندگان فرمولاسیون مدل به شکل ساده‌تری تبدیل نمودند؛ یعنی با تبدیل تابع هدف به محدودیت و نیز تبدیل محدودیت‌های غیرخطی به یک عبارت خطی و تبدیل آن به یک برنامه‌ریزی عدد صحیح به حل مدل پرداخته‌اند. هملمایر و همکاران [8] مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح را توسعه داده‌اند که مدل 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 گرفته است. محققان با در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضای خون بیمارستان‌ها مقدار خون مورد نیاز هر بیمارستان را در روز تعیین کرده‌اند. در مطالعه ناگورنی و همکاران [9] زنجیره‌تامین خون به صورت مجموعه‌ای شامل سایت‌ها، تجهیزات پردازش و تست، تجهیزات ذخیره‌سازی، مراکز توزیع و همچنین نقاط تقاضا مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. محقق یک مدل بهینه‌سازی برنامه‌نویسی ریاضی شبکه خون را توسعه می‌دهد که در آن هدف‌های چندگانه بهینه‌سازی مدل، تصمیم‌گیرندگان را قادر می‌سازند تا هم هزینه کل و هم تابع خطر کل را مینیمم کنند. گانپیر و سنتنو [10] در مطالعه خود به چالش‌های موجود در زنجیره‌تامین خون نگاه ویژه داشته‌اند که مهم‌ترین این مسایل کاهش کمبود و تلفات محصولات خون است. در این مقاله مدل برنامه‌ریزی عددی برای به حداقل رساندن هزینه کل، کمبود و میزان تلفات خون در بیمارستان در طول افق مدت برنامه‌ریزی ارائه شده است. تمرکز اصلی روی گلوبول‌های قرمز و پلاکت خونی است. مدل‌های تصادفی و قطعی ارائه شده در تحقیق شامل موارد تقاضای ناگهانی، تقاضا برای دو نوع بیمار (جوان و عادی) بوده است که نتایج نشان می‌دهد، میزان اتلاف از میانگین $19/9\%$ به $2/07\%$ کاهش یافته؛ علاوه بر این، کمبود و هزینه کل به ترتیب به میزان $91/43\%$ و $20/7\%$ کاهش می‌یابد. در مقاله اوزوریو و همکاران [11] یک مدل بهینه‌سازی شبیه‌سازی ادغام شده برای پشتیبانی از تصمیمات عملیاتی در برنامه‌ریزی تولید زنجیره‌تامین خون ارائه شده است و شبیه‌سازی رویداد گسسته برای نشان دادن جریان از طریق زنجیره‌تامین، شامل جمع‌آوری، تولید، نگهداری و توزیع بوده است. از سوی دیگر، مدل بهینه‌سازی خطی که در طول افق برنامه‌ریزی اجرا شده، برای پشتیبانی از تصمیمات روزانه مانند تعداد مورد نیاز اهداکنندگان، روش‌های جمع‌آوری و برنامه‌ریزی تولید مورد استفاده قرار گرفته است. این مدل با داده‌های واقعی از یک مرکز خون در کلمبیا ارزیابی شده، نتایج نشان می‌دهد شاخص‌های کلیدی مانند کمبود، خون منقضی شده، اهداکنندگان و هزینه‌ها بهبود یافته است. رضانیان و همکاران [11] یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط جهت کاهش کمبودها و نیز افزایش انگیزه برای اهداکنندگان خونی ارائه نموده‌اند؛ نوآوری این تحقیق، در نظر گرفتن جنبه‌های اجتماعی از قبیل فاصله اهداکنندگان، تجربه اهداکنندگان و بودجه جهت افزایش میزان جذب اهداکنندگان خون بوده است. به منظور مواجهه با عدم قطعیت تقاضا نیز از برنامه‌ریزی استوار مبتنی بر سناریو استفاده شده است و در انتها مدل و کاربرد آن با یک مطالعه موردی در تهران مورد آزمون قرار گرفته است. نجفی و همکاران [12] یک مدل ریاضی برای مدیریت سفارش و صدور خون پیشنهاد نموده‌اند. مدل پیشنهادی برای به حداقل رساندن کمبود و هدر رفتن خون، روابط جانشینی (بین گروه‌های خونی) را در بین انواع خون در فرآیند انتقال خون در نظر می‌گیرد. از آنجا که مدل پیشنهادی حاوی پارامترهای نامطمئن است، با استفاده از برنامه‌نویسی محدودیت شانس، یک همتای قطعی ایجاد کرده و سپس مدل قطعی ارائه می‌شود که با استفاده از تقریب‌های ریاضی خطی شده است و در پایان، یک آزمایش عددی برای نمایش نتایج مدل و تجزیه و تحلیل تاثیر پارامترهای مختلف بر مدیریت موجودی خون ارائه شده است. سامانی و همکاران [13] یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط چند هدفه مبتنی بر رویکردهای برنامه‌نویسی تصادفی دومرحله‌ای و برنامه‌های احتمالی برای مقابله با ترکیبی از عدم اطمینان‌های شناختی و تصادفی برای طراحی یک شبکه زنجیره‌تامین خون یکپارچه ارائه نموده‌اند. مدل توسعه یافته جنبه‌های خاص زنجیره‌های خون‌رسانی را شامل تقاضای نامشخص محصولات خون و تامین نامنظم آن‌ها، فسادپذیری فرآورده‌های خونی و جلوگیری از کمبود و هم‌چنین تجزیه و تحلیل تعادل بین بهره‌وری هزینه (از طریق به حداقل رساندن کل هزینه‌ها)، پاسخگویی (از طریق به حداقل رساندن حداکثر تقاضای ارضا نشده) و اثربخشی شبکه طراحی شده (با به حداقل رساندن مدت زمان تولید خون در مراکز منطقه‌ای خون و مصرف) در نظر می‌گیرد. به منظور ارزیابی و اعتبارسنجی مدل، ابتدا آزمایش‌های عددی و سپس یک مطالعه موردی واقعی برای نشان دادن کاربرد مدل پیشنهادی ارائه شده است. همدان و دیابت [14] یک مدل ریاضی تصادفی دومرحله‌ای برای گلوبول قرمز ارائه نموده‌اند که هم‌زمان تصمیمات تولید و موجودی و مکان را مورد نظر قرار می‌دهد. مساله 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 به منظور ارزیابی و اعتبارسنجی مدل، ابتدا آزمایش‌ها است که با استفاده از روش اپسیلون محدودیت مساله سه هدفه به یک مساله تبدیل شده و طی یک برنامه‌نویسی عدد صحیح¹ حل گردیده است. حسینی مطلق و همکاران [15] یک مدل برنامه‌نویسی تصادفی دومرحله‌ای برای مدیریت زنجیره‌تامین گلوبول‌های قرمز ارائه داده‌اند که این مدل تصمیمات مربوط به تخصیص موقعیت مکانی

¹ MIP



تسهیلات و مدیریت موجودی را بهینه‌سازی می‌نماید و هدف آن به حداقل رساندن هزینه کل زنجیره‌تامین شامل هزینه‌های ثابت، هزینه‌های عملیاتی، هزینه‌های نگهداری موجودی، هزینه‌های ضایعات و هزینه‌های حمل‌ونقل می‌باشد. روش بهینه‌سازی استوار نیز برای مقابله 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 [16] یک مدل برنامه‌نویسی تصادفی استوار تصادفی را برای مساله توزیع موجودی در یک زنجیره‌تامین 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 الهام‌گرفته از یک مطالعه موردی واقعی در ایران پیاده‌سازی شده تا کاربرد بالقوه آن را نشان دهد. دودمان و امیر [17] مدل دوهدفه برای طراحی شبکه زنجیره‌تامین خون باهدف کاهش هزینه تاسیس تسهیلات ثابت و موقت، هزینه‌های انتقال فرآورده‌های خونی و حداقل کردن حداکثر میزان کمبود ارایه نمودند. دراین مدل، انتقالات جانبی بین بیمارستان‌ها در نظر گرفته شده است. مدل غیرقطعی به کمک روش فازی خیمنز به مدل قطعی تبدیل شده و در ادامه مدل دوهدفه، به مدل تک‌هدفه تبدیل شده است. نتایج محاسباتی حاصل از مدل نشان می‌دهد که در مدل فازی به دلیل وجود آلفا-کات^۱، مدل انعطاف‌پذیرتر شده است. در ادامه به منظور مشخص شدن جایگاه تحقیق در مقایسه با سایر مطالعات که با تحقیق پیش رو قرابت موضوعی دارند جدول ۲ ارایه می‌گردد.

جدول ۲- شکاف تحقیق.
Table 2- Research gap.

منبع	هدف چند تک	محصول چند تک	دوره زمانی چند تک	اتلاف	کمبود	سن محصول	ABO- RH	عدم قطعیت	مدل ریاضی	تکنیک	متد حل
[18]	*	*	*	*	*				MINLP		حل دقیق
[19]	*		*	*	*			*	MILP	RO	لاگرانژ
[20]	*	*		*	*	*		*	MILP	RO	الپی متریک
[4]	*	*		*	*			*	MINLP	MSSP	هیوریستیک
[21]	*	*		*	*	*		*	MINLP	F-ROzz	هیوریستیک
[2]		*		*	*	*		*	MINLP	TSSP	حل دقیق
[11]	*	*		*	*	*	*	*	MILP	TSSP	حل دقیق
[3]		*		*	*	*	*	*	MILP	RO-Fm	حل دقیق
[22]	*	*		*	*	*	*	*	MINLP	FMP	متاهیوریستیک
مدل تحقیق	*	*	*	*	*	*	*	*	MNILP	MPFRP	حل دقیق

۳- تعریف مساله

مدل ریاضی پیش‌رو براساس یک زنجیره‌تامین جامع خون برگرفته از سه جز جمع‌آوری، تولید و ارسال و مصرف فرآورده‌های خونی تشکیل شده است. مراکز جمع‌آوری در این مدل بر سه بخش می‌باشند؛ اول اتوبوس‌های خون‌گیری که در مکان‌های از پیش تعیین شده به اهداکنندگان خون سرویس داده و خون جمع‌آوری می‌کنند. دسته دوم تسهیلات ثابت جمع‌آوری خون که در برخی از مناطق از قبل تعیین شده مستقر شده و فقط کار جمع‌آوری خون و انتقال آن به مراکز 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 جمع‌آوری کننده‌ها در مرکز خون تجمیع شده، درصد هر گروه خونی مشخص شده و براساس نیاز از پیش تعیین شده در مراکز خونی به محصولاتی نظیر گلوبول قرمز، پلاکت و خون کامل پلاسما تبدیل شده تحت آزمایش قرار گرفته و سپس به بیمارستان‌ها ارسال می‌شود. 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. باید توجه داشت که فرآورده خونی درخواستی از مراکز تقاضا به دو شکل می‌باشد، برای برخی بیماران خاص و در

¹ α -cut

جراحی‌های خاص به یکسری فرآورده‌های خونی با عمر مشخص (خون جوان) نیاز می‌باشد و برای سایر بیماران خون معمولی یا جوان مورد استفاده قرار می‌گیرد. لذا لزوم اهمیت به سن خون ارسالی به بیمارستان‌ها نیز در مدل دیده خواهد شد.

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

۱. طراحی زنجیره‌تامین جامع که شامل مساله جمع‌آوری خون توسط سه جز جمع‌آوری‌کننده خون، مساله پردازش و چندمحصولی 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. ارایه یک روش جدید به منظور تطبیق‌پذیری محصولات واحدهای خونی در صورتی که محصول خونی هم‌گروه با آن محصول خونی یافت نشد، خون جایگزین مطابق الگوی ABO_RH ارسال گردد (جدول ۱).
۳. ارایه یک راهکار مبتنی بر بهینه‌سازی استوار-برنامه‌ریزی امکان به منظور مقابله با عدم قطعیت در پارامترهای غیرقطعی در زنجیره‌تامین.

۴- مدل ریاضی تحقیق

۴-۱- معرفی پارامترها و متغیرهای تحقیق

اندیس‌ها

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 g در دوره t .
$\tilde{C}b_b$	هزینه خون جمع‌آوری شده توسط وسیله b .
$\tilde{C}m_m$	هزینه خون جمع‌آوری شده توسط مرکز خون m .
$\tilde{C}l_l$	هزینه خون جمع‌آوری شده توسط مرکز جمع‌آوری l .
$\tilde{C}ih_h$	هزینه نگهداری محصولات خونی در بیمارستان h .
$\tilde{C}im_m$	هزینه نگهداری محصولات خونی در مرکز خون m .
$\tilde{C}mh_{m,h}$	هزینه انتقال محصولات خونی از مرکز خون m به بیمارستان h .
$\tilde{C}sh_h$	هزینه کمبود محصولت خونی p .
$\tilde{C}w$	هزینه اتلاف محصولات خونی.





حداکثر فاصله مجاز.	Cd
حداکثر ظرفیت اهداکنندگان i در دوره t .	$Zi_{i,t}$
حداکثر ظرفیت دریافت خون وسیله b .	Zb_b
حداکثر ظرفیت دریافت مرکز l .	Zl_l
حداکثر ظرفیت دریافت خون مراکز خون m .	Zm_m
فاصله اهداکنندگان i با مکان جمع‌آوری خون y .	$Dy_{i,y}$
فاصله اهداکنندگان i با مرکز دریافت خون l .	$DI_{i,l}$
فاصله اهداکنندگان i با مرکز خون m .	$Dm_{i,m}$
یک عدد بسیار بزرگ.	BM
درصد مقدار هر گروه خونی در کل خون جمع‌آوری شده در مرکز m .	Zg_g
درصد مقدار هر محصول خونی p در کل خون جمع‌آوری شده در مرکز m .	Zp_p
ظرفیت هر یک از وسایل نقلیه b در دوره t .	$Cap_{b,t}$

۲-۴- متغیرهای تحقیق

متغیرهای عدد صحیح

مقدار خون جمع‌آوری شده توسط وسیله b در دوره t .	$Mb_{b,t}$
مقدار خون جمع‌آوری شده توسط وسیله b در دوره t .	$Mm_{m,t}$
مقدار خون جمع‌آوری شده در مراکز جمع‌آوری l .	$MI_{m,t}$
مقدار موجودی آخر دوره مرکز خون m از محصول p با گروه g با سن r در دوره t .	$Ipb_{m,p,g,r,t}$
مقدار موجودی آخر دوره بیمارستان h از محصول p با گروه g با سن r در دوره t .	$Iph_{h,p,g,r,t}$
مقدار محصول p از گروه g با سن r انتقال‌یافته از مرکز خون m به بیمارستان h در دوره t .	$MpgH_{m,h,p,g,r,t}$
مقدار کمبود محصول p در گروه g در بیمارستان h در دوره t .	$Sph_{p,g,h,r,t}$
میزان اتلاف محصول p فاسد شده در بیمارستان h در دوره t .	$Wh_{p,t}$
میزان اتلاف محصول p فاسد شده در مرکز خون m در دوره t .	$Wb_{b,t}$
مقدار کل خون جمع‌آوری شده در مرکز خون m در دوره t .	$KgM_{m,t}$
مقدار هر گروه خونی g در خون جمع‌آوری شده در مرکز خون m در دوره t .	$MgM_{m,g,t}$
مقدار هر محصول p با گروه خونی g در مرکز خون m در دوره t .	$MpM_{m,p,g,t}$
مقدار موجودی آخر دوره بیمارستان h از محصول p گروه g سن r در دوره t ، پس از کسر میزان قابل انتقال طبق ماتریس تطبیق‌پذیری گروه‌های خونی.	$Niph_{h,p,g,r,t}$
مقدار کمبود آخر دوره بیمارستان h از محصول p گروه g سن r در دوره t ، پس از کسر میزان قابل انتقال طبق ماتریس تطبیق‌پذیری گروه‌های خونی.	$Nsph_{h,p,g,r,t}$

متغیرهای باینری تحقیق

اگر اهداکنندگان i در مکان Y به وسیله b خون بدهند ۱ در غیر این صورت.	$OB_{i,y,b,t}$
اگر وسیله جمع‌آوری خون در منطقه y در دوره t قرار بگیرد ۱ در غیر این صورت.	$PB_{b,y,t}$
اگر اهداکنندگان i به مرکز جمع‌آوری l خون بدهند ۱ در غیر این صورت.	$CL_{i,l,t}$
اگر اهداکنندگان i به مرکز خون m خون بدهند ۱ در غیر این صورت.	$CM_{i,m,t}$
اگر وسیله b خون جمع‌آوری شده را به مرکز خون M تحویل دهد ۱ در غیر این صورت.	$VLMI_{i,m,t}$
اگر مرکز جمع‌آوری خون l خون جمع‌آوری شده را به مرکز خون m تحویل دهد ۱ در غیر این صورت.	$VBM_{b,m,t}$

مقادیر کم تر از یک، جهت دستیابی به مقادیر عدد صحیح برای میزان گروه خونی g در مرکز خونی m در دوره t .	$\delta_{m,g,t}$
مقادیر کم تر از یک، جهت دستیابی به مقادیر عدد صحیح میزان محصول خونی p با گروه g در مرکز خونی m در دوره t .	$\mu_{m,g,t}$
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.	$per_{p,g,f,h,t}$
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.	$per'_{p,g,f,h,t}$
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.	$per''_{p,g,f,h,t}$
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.	$per'''_{p,g,f,h,t}$

۳-۴- مدل ریاضی تحقیق

$$\begin{aligned} \text{Min} Z = & \sum_b \sum_t Mb_{b,t} * Cb_b + \sum_m \sum_t Mm_{m,t} \\ & * Cm_m + \sum_l \sum_t Ml_{l,t} * Cl_l \\ & + \sum_h \sum_p \sum_g \sum_r \sum_t Nlph_{h,p,g,r,t} * Cih_h \\ & + \sum_p \sum_g \sum_h \sum_r \sum_t Ipb_{m,p,g,r,t} * Cim_m \end{aligned} \quad (1)$$

$$+ \sum_m \sum_h \sum_p \sum_g \sum_r \sum_t MpgH_{m,h,p,g,r,t} * Cmh_{m,h}$$

$$+ \sum_p \sum_g \sum_h \sum_r \sum_t NSph_{p,g,h,r,t} * Csh_h$$

$$+ \sum_p \sum_t Wb_{p,t} * Cw + \sum_p \sum_t Wh_{p,t} * Cw,$$

s.t.

$$\sum_y \sum_b CB_{i,y,b,t} \leq 1 \quad \text{for all } i,t, \quad (2)$$

$$OB_{i,y,b,t} * dy_{i,y} \leq cd \quad \text{for all } i,y,b,t, \quad (3)$$

$$\sum_i \sum_y OB_{i,y,b,t} * Zi_{i,t} \leq Zb_b \quad \text{for all } b,t, \quad (4)$$

$$\sum_i \sum_y OB_{i,y,b,t} * Zi_{i,t} = Mb_{b,t} \quad \text{for all } b,t, \quad (5)$$

$$Mb_{b,t} \leq cap_{b,t} * \sum_i \sum_y OB_{b,t} \quad \text{for all } b,t, \quad (6)$$

$$\sum_y Pb_{b,y,t} = 1 \quad \text{for all } b,t, \quad (7)$$

$$OB_{i,y,b,t} \leq Pb_{b,y,t} \quad \text{for all } i,y,b,t, \quad (8)$$

$$\sum_l CL_{i,l,t} \leq 1 \quad \text{for all } i,l,t, \quad (9)$$

$$CL_{i,l,t} * Dl_{i,l} \leq cd \quad \text{for all } i,l,t, \quad (10)$$

$$CL_{i,l,t} * Zi_{i,t} \leq Zl_l \quad \text{for all } i,l,t, \quad (11)$$

$$\sum_i CL_{i,l,t} * Zi_{i,t} = Ml_{l,t} \quad \text{for all } l,t, \quad (12)$$

$$\sum_m CL_{i,m,t} \leq 1 \quad \text{for all } i,t, \quad (13)$$

$$CL_{i,m,t} * Dm_{i,m} \leq cd \quad \text{for all } i,m,t, \quad (14)$$

$$\sum_m Call_{i,m,t} * Zi_{i,t} \leq Zm_m \quad \text{for all } m,t, \quad (15)$$

$$\sum_m CM_{i,m,t} * Zi_{i,t} \leq Mm_{m,t} \quad \text{for all } m,t, \quad (16)$$





$$\sum_y \sum_b OB_{i,y,b,t} + \sum_l CL_{i,l,t} + \sum_m CM_{i,m,t} \leq 1 \text{ for all } i,t, \quad (17)$$

$$\sum_m VBM_{b,m,t} \leq 1 \text{ for all } b,t, \quad (18)$$

$$VBM_{b,m,t} \leq \sum_i \sum_y CallB_{i,y,b,t} \text{ for all } b,m,t, \quad (19)$$

$$\sum_m VBM_{b,m,t} * BM \geq \sum_i \sum_y CallB_{i,y,b,t} \text{ for all } b,t, \quad (20)$$

$$\sum_m Vlm_{l,m,t} \leq 1 \text{ for all } l,t, \quad (21)$$

$$Vlm_{l,m,t} \leq \sum_i CallL_{i,l,t} \text{ for all } l,m,t, \quad (22)$$

$$\sum_m Vlm_{l,m,t} * BM \geq \sum_i CallL_{i,l,t} \text{ for all } l,t, \quad (23)$$

$$\sum_b Mb_{b,t} * Vbm_{b,m,t} + \sum_i Ml_{l,t} * Vlm_{l,m,t} + Mm_{m,t} \leq Zm_m \text{ for all } m,t, \quad (24)$$

$$\sum_b Mb_{b,t} * Vbm_{b,m,t} + \sum_i Ml_{l,t} * Vlm_{l,m,t} + Mm_{m,t} \leq Kgm_{m,t} \text{ for all } m,t, \quad (25)$$

$$Mgm_{m,g,t} + \delta_{m,g,t} = Kgm_{m,t} * Zg_g \text{ for all } m,g,t, \quad (26)$$

$$Mpm_{m,p,g,t} + \mu_{m,p,g,t} = mgm_{m,g,t-2} * Zp_p \text{ for all } m,p,g,t, \quad (27)$$

$$\delta_{m,g,t} < 1 \text{ for all } m,g,t, \quad (28)$$

$$\mu_{m,p,g,t} < 1 \text{ for all } m,p,g,t, \quad (29)$$

$$Ipb_{m,p,g,r,t} = Ipb_{m,p,g,r-1,t-1} + Mpm_{m,p,g,t} - \sum_h MpgH_{m,h,p,g,r,t} \text{ for all } m,p,g,r=3,t \geq 3, \quad (30)$$

$$\sum_{r=3}^{r=r_l p} Ipb_{m,p,g,r,t} = \sum_{r=3}^{r=r_l p} Ipb_{m,p,g,r-1,t-1} - \sum_h \sum_{r=3}^{r=r_l p} MpgH_{m,h,p,g,r,t} \text{ for all } m,p,g,r > 3,t \geq 3, \quad (31)$$

$$\sum_{r=3}^{r=r_y p} Iph_{h,p,g,r,t} = \sum_{r=3}^{r=r_y p} Niph_{h,p,g,r-1,t-1} - DemY_{p,g,h,t} + \sum_{r=3}^{r=r_y p} MpgH_{m,h,p,g,r,t} \text{ for all } h,p,g,t, \quad (32)$$

$$\sum_{r=r_y p+1}^{r=r_l p} Iph_{h,p,g,r,t} = \sum_{r=r_y p+1}^{r=r_l p} Niph_{h,p,g,r-1,t-1} - DemO_{p,g,h,t} + \sum_{r=r_y p+1}^{r=r_l p} MpgH_{m,h,p,g,r,t} \text{ for all } h,p,g,t, \quad (33)$$

$$\sum_{r=3}^{r=r_y} Sph_{h,p,g,r,t} = DemY_{p,g,h,t} - \sum_h \sum_{r=3}^{r=r_l p} MpgH_{m,h,p,g,r,t} \text{ for all } h,p,g,t, \quad (34)$$

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

$$per_{p,g,f,h,t} \leq 1 \text{ for all } p,g,f,h,t, \quad (36)$$

$$per'_{p,g,f,h,t} \leq 1 \text{ for all } p,g,f,h,t, \quad (37)$$

$$per''_{p,g,f,h,t} \leq 1 \text{ for all } p,g,f,h,t, \quad (38)$$

$$per'''_{p,g,f,h,t} \leq 1 \text{ for all } p,g,f,h,t, \quad (39)$$

$$\sum_g per_{p,g,f,h,t} \leq 1 \text{ for all } p,f,h,t, \quad (40)$$

$$\sum_g per'_{p,g,f,h,t} \leq 1 \text{ for all } p,f,h,t, \quad (41)$$

$$\sum_g per''_{p,g,f,h,t} \leq 1 \text{ for all } p,f,h,t, \quad (42)$$

$$\sum_g per'''_{p,g,f,h,t} \leq 1 \text{ for all } p,f,h,t, \quad (43)$$

$$\sum_f per_{p,g,f,h,t} * mat_{p,g,f} * \sum_{r=3}^{r=r_y p} Sph_{h,p,f,r,t} \leq \sum_{r=3}^{r=r_y p} Sph_{h,p,g,r,t} \text{ for all } p,g,h,t \geq 3, \quad (44)$$

$$\sum_f per'_{p,g,f,h,t} * mat_{p,g,f} * \sum_{r=r_y p+1}^{r=r_l p} Sph_{h,p,f,r,t} \leq \sum_{r=r_y p+1}^{r=r_l p} Sph_{h,p,g,r,t} \text{ for all } p,g,h,t \geq 3, \quad (45)$$



$$\sum_f per''_{p,g,f,h,t} * mat_{p,g,f} * \sum_{r=3}^{r=ry_p} Iph_{h,p,f,r,t} \leq \sum_{r=3}^{r=ry_p} Iph_{h,p,g,r,t} \text{ for all } p, g, h, t \geq 3, \quad (46)$$

$$\sum_f per'''_{p,g,f,h,t} * mat_{p,g,f} * \sum_{r=ry_p+1}^{r=rl_p} Iph_{h,p,f,r,t} \leq \sum_{r=ry_p+1}^{r=rl_p} Iph_{h,p,g,r,t} \text{ for all } p, g, h, t \geq 3, \quad (47)$$

$$\sum_{r=3}^{r=ry_p} Niph_{h,p,g,r,t} = \sum_{r=3}^{r=ry_p} Iph_{h,p,g,r,t} - \sum_f per_{p,g,f,h,t} * mat_{p,g,f} * \sum_{r=3}^{r=ry_p} Sph_{h,p,f,r,t} \text{ for all } p, g, h, t \geq 3, \quad (48)$$

$$\sum_{r=ry_p+1}^{r=rl_p} Niph_{h,p,g,r,t} = \sum_{r=ry_p+1}^{r=rl_p} Iph_{h,p,g,r,t} - \sum_f per'_{p,g,f,h,t} * mat_{p,g,f} * \sum_{r=ry_p+1}^{r=rl_p} Sph_{h,p,f,r,t} \text{ for all } p, g, h, t, \quad (49)$$

$$\sum_{r=3}^{r=ry_p} NSph_{h,p,g,r,t} = \sum_{r=3}^{r=ry_p} Sph_{h,p,g,r,t} - \sum_f per''_{p,g,f,h,t} * mat_{p,g,f} * \sum_{r=3}^{r=ry_p} Iph_{h,p,f,r,t} \text{ for all } p, g, h, t, \quad (50)$$

$$\sum_{r=ry_p+1}^{r=rl_p} NSph_{h,p,g,r,t} = \sum_{r=ry_p+1}^{r=rl_p} Sph_{h,p,g,r,t} - \sum_f per'''_{p,g,f,h,t} * mat_{p,g,f} * \sum_{r=ry_p+1}^{r=rl_p} Iph_{h,p,f,r,t} \text{ for all } p, g, h, t, \quad (51)$$

$$Wh_{p,t} = \sum_{r=end} \sum_h \sum_g Niph_{h,p,g,r,t} \text{ for all } p, t, \quad (52)$$

$$Wb_{p,t} = \sum_{r=end} \sum_m \sum_g Ipb_{m,p,g,r,t} \text{ for all } p, t. \quad (53)$$

تابع هدف (۱) به دنبال مینیمم سازی هزینه‌های متحمل بر زنجیره تامین خون می‌باشد. محدودیت (۲) اشاره می‌کند به اینکه هر گروه اهداکنندگان i حداکثر تنها در یک مکان γ توسط یک وسیله b در دوره زمانی t پوشش داده می‌شوند. محدودیت (۳) فاصله اهداکنندگان i جهت تخصیص به وسیله b در مکان γ در دوره t نباید از حداکثر فاصله مجاز بیش تر باشد. محدودیت (۴) میزان خون اهداشده 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) مشخص می‌کند مقدار خون جمع‌آوری شده توسط وسیله نقلیه b در دوره t باید کم‌تر از ظرفیت هر وسیله نقلیه باشد. محدودیت‌های (۷) و (۸) مشخص می‌کند که هر وسیله جمع‌آوری خون b در کدام یک از مناطق γ در دوره t مستقر می‌باشد. محدودیت (۹) اشاره می‌کند به آن‌که هر گروه اهداکنندگان i حداکثر تنها در یک مرکز جمع‌آوری خون l در دوره t می‌تواند جمع‌آوری شود. محدودیت (۱۰) فاصله اهداکنندگان i جهت تخصیص به مرکز جمع‌آوری l در دوره t باید کم‌تر از حداکثر فاصله مجاز باشد. محدودیت (۱۱) خون جمع‌آوری شده توسط مرکز جمع‌آوری l باید از حداکثر ظرفیت جمع‌آوری کم‌تر باشد. محدودیت (۱۲) میزان خون جمع‌آوری شده توسط مراکز جمع‌آوری l در دوره t را مشخص می‌کند. محدودیت (۱۳) اشاره می‌کند به اینکه هر گروه مشتریان i حداکثر می‌توان به یک مرکز خون m در هر دوره زمانی تخصیص یابد. محدودیت (۱۴) فاصله اهداکنندگان جهت تخصیص به مراکز خون باید از حداکثر فاصله مجاز کم‌تر باشد. محدودیت (۱۵) میزان خون جمع‌آوری شده توسط مراکز خون از حداکثر ظرفیت خون‌گیری مراکز خون باید کم‌تر باشد. محدودیت (۱۶) میزان خون جمع‌آوری شده در مرکز خون m در دوره t را مشخص می‌کند. محدودیت (۱۷) 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. محدودیت اتصال (۱۸) تا محدودیت اتصال (۲۰) اشاره به انتقال خون از هر b به مراکز خون m دارد. محدودیت اتصال (۲۱) تا محدودیت اتصال (۲۳) اشاره به انتقال خون از مرکز جمع‌آوری l به مرکز خون m را دارد. محدودیت (۲۴) میزان کل خون جمع‌آوری شده در مراکز خون m باید همواره کوچکتر مساوی ظرفیت آن مراکز خون باشد. محدودیت (۲۵) به کل خون جمع‌آوری شده در مراکز خون اشاره دارد. محدودیت‌های (۲۶) و (۲۷) 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 در واقع محصول به‌دست آمده در مرکز خون از خون دو روز قبل می‌باشد). محدودیت‌های (۲۸) و (۲۹) اشاره به ضایعات حاصل از ضرب تبدیل گروه خونی و محصولات دارد محدودیت‌های (۳۰) و (۳۱) این محدودیت میزان موجودی آخر دوره مراکز خون محصولات p با گروه g با سن r در دوره t را محاسبه می‌نماید. محدودیت‌های (۳۲) و (۳۳) این محدودیت میزان موجودی آخر دوره بیمارستان h با محصولات p از گروه g با سن r در دوره t را محاسبه می‌نماید. محدودیت‌های (۳۴) و (۳۵) میزان کمبود هر محصول p از گروه g را در بیمارستان h در دوره t محاسبه می‌نماید. محدودیت (۳۶) تا محدودیت (۳۹) اشاره به درصد جایگزینی از هر موجودی که طبق ماتریس تطبیق‌پذیری جهت ارضای تقاضا باقی ماند ارسال شود. محدودیت (۴۰) تا محدودیت (۴۳) این محدودیت‌ها جلوگیری می‌کند از اینکه یک موجودی خون چند بار برای انتقال مورد استفاده قرار گیرد. محدودیت‌های (۴۴) و (۴۵) حداکثر میزان رفع کمبود نباید از میزان کمبود بیش تر باشد. محدودیت‌های (۴۶) و (۴۷) حداکثر



میزان موجودی قابل انتقال نباید از حداکثر موجودی باقی مانده در دسترس بیش تر باشد. محدودیت‌های (۴۸) و (۴۹) 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. محدودیت‌های (۵۰) و (۵۱) میزان کمبود جدید هر بیمارستان پس از کسر آن قسمت از کمبود که توسط موجودی قابل تطبیق، محاسبه شده است. محدودیت (۵۲) میزان اتلاف محصول خونی p در دوره t که در بیمارستان‌ها فاسد می‌شود را محاسبه می‌نماید. محدودیت (۵۳) میزان اتلاف خونی محصول p در دوره t در مراکز خون فاسد می‌شوند را محاسبه می‌نماید.

۴-۴- عدم قطعیت در پارامترهای مدل

در دنیای امروزی زنجیره‌تامین به واسطه طبیعت پیچیده‌شان با حد بالایی از عدم قطعیت روبرو هستند که می‌تواند کیفیت عملکرد آن‌ها را به‌طور نامطلوبی تحت تاثیر قرار دهند. با توجه به اهمیت این امر، عدم قطعیت در طراحی زنجیره‌تامین که افق بلندمدت تصمیم‌گیری نیز که سبب تشدید آن می‌گردد به دو دسته قابل تقسیم می‌باشد. دسته اول مرتبط با تغییرپذیری و انعطاف موجود در مقدار تابع هدف و محدودیت‌ها می‌باشد به عبارت دیگر، حدود تابع هدف و محدودیت‌ها در این حالت غیرقطعی و مبهم می‌باشند. رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی انعطاف‌پذیر که از مجموعه‌های فازی مبتنی بر ترجیح استفاده می‌کند، برای مواجهه با این نوع از عدم قطعیت مورد استفاده قرار می‌گیرد. نوع دوم عدم قطعیت مرتبط با فقدان داده و یا دانش در مورد مقدار دقیق پارامترهای ورودی مساله می‌باشد. از این رو برنامه‌ریزی امکانی مورد استفاده قرار می‌گردد. باید توجه داشت که پارامترهای غیرقطعی توسط توابع امکانی در این تحقیق از تابع امکان مثلثی براساس داده‌های ناکافی موجود و یا دانش و تجربه تصمیم‌گیرندگان تخمین زده شده است.

با توجه به ماهیت مساله پارامترهای دارای عدم قطعیت هزینه، تحقیق شامل هزینه جمع‌آوری خون (در سه جز وسیله نقلیه‌ها، مراکز خون و مراکز ثابت جمع‌آوری) هزینه‌های نگهداری (شامل هزینه نگهداری محصولات خونی در مراکز خون و در مراکز تقاضا) هزینه انتقال خون از مراکز خون به مراکز تقاضا، هزینه اتلاف محصولات خونی در بیمارستان‌ها و مراکز خون و نیز هزینه کمبود محصولات خونی در بیمارستان‌ها به‌صورت فازی در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است ظرفیت وسایل نقلیه جمع‌آوری خون نیز به‌صورت پارامتر دارای عدم قطعیت شناسایی شده است. به‌منظور مقابله با این عدم قطعیت مدل ترکیبی بهینه‌سازی امکانی-استوار منعطف پیشنهاد می‌گردد.

۴-۵- مدل پایه برنامه‌ریزی منعطف

براساس مدل پایه طراحی شده توسط [23]، اولین و سومین محدودیت فرم استاندارد مدل به‌صورت منعطف (نرم) در نظر گرفته می‌شود و محدودیت‌های انعطاف‌پذیر از نظر زبانی فرموله شده‌اند و رضایت آن‌ها درجاتی می‌باشد [24].

$$\begin{aligned} \text{Min } E &= cx + fy, \\ \text{s.t.} \\ Ax &\geq d, \\ Bx &= 0, \\ Sx &\leq Ny, \\ Ty &\leq 1, \\ y &\in \{0, 1\}, x \geq 0, \end{aligned} \quad (54)$$

که بردارهای c و f به ترتیب مربوط به هزینه‌های ثابت باز بودن تسهیلات و دیگری برای هزینه فعالیت‌های متغیر هستند. ماتریس‌های A ، B ، S ، T و N ضرایب محدودیت‌ها را نشان می‌دهند که N نشانگر ظرفیت امکانات است. بردار d نماینده تقاضا است، بردارهای x و y به ترتیب به‌عنوان متغیرهای پیوسته و باینری در نظر گرفته می‌شوند و نماد \geq نماد فازی \geq می‌باشد. به‌جای تخطی محدودیت‌های نرم می‌توان از دو عدد فازی (r و t) استفاده نمود، که بازنویسی مدل به شکل ذیل صورت می‌پذیرد:

$$\text{Min } E = cx + fy,$$

s.t.

$$Ax \geq d - \tilde{t}(1 - \alpha),$$

$$Bx = 0, \quad (55)$$

$$Sx \leq Ny + [\tilde{r}(1 - \beta)]y,$$

$$Ty \leq 1,$$

$$y \in \{0, 1\}, x \geq 0.$$

پارامترهای α و β مینیمم سطح رضایت از محدودیت منعطف می‌باشد و \tilde{t} و \tilde{r} یک عدد مثلثی بوده که سه نقطه آن به صورت $\tilde{t} = (t^p, t^m, t^o)$ و $\tilde{r} = (r^p, r^m, r^o)$ می‌باشد براساس روش [25] دی فازی شده آن به شکل ذیل تبدیل می‌شود:

$$\left(t^m + \frac{\varphi_t - \varphi'_t}{3} \right), \quad (56)$$

$$\left(t^m + \frac{\varphi_t - \varphi'_t}{3} \right). \quad (57)$$

که مقادیر φ_t و φ'_t (h_r و h'_r) براساس رابطه (58) به دست می‌آید.

$$\varphi_t = t^o - t^m, \quad (58)$$

$$\varphi'_t = t^m - t^p.$$

۴-۶- بهینه‌سازی استوار-امکانی منعطف مختلط

برای توسعه مدل برنامه‌ریزی بهینه‌سازی استوار منعطف، فرض بر این است که بردارهای f و c در تابع هدف و هم‌چنین بردار d و ماتریس ضریب N در محدودیت‌های اول و سوم با عدم قطعیت شناختی مواجه شده‌اند [23]. از توزیع امکان مثلثی برای مدل‌سازی پارامترهای نادقیق استفاده شده است. براساس رویکرد برنامه‌نویسی امکانی ارائه شده در [26] مدل اصلی برنامه‌ریزی امکانی-استوار انعطاف‌پذیر مختلط را می‌توان به صورت زیر فرموله کرد:

$$\text{Min } E = \left(\frac{c^{(p)} + c^{(m)} + c^{(o)}}{3} \right) x + \left(\frac{f^{(p)} + f^{(m)} + f^{(o)}}{3} \right) y,$$

$$\text{s.t. } Ax \geq \left[\delta \left(\frac{d^m + d^o}{2} \right) + (1 - \delta) \left(\frac{d^p + d^m}{2} \right) - \left(t^m + \frac{\varphi_t - \varphi'_t}{3} \right) (1 - \alpha) \right] c,$$

$$Bx = 0,$$

(59)

$$Sx \leq \left[\rho \left(\frac{N^p + N^m}{2} \right) + (1 - \rho) \left(\frac{N^m + N^o}{2} \right) \right] y + \left[\left(r^m + \frac{h_r - h'_r}{3} \right) (1 - \beta) \right] y,$$

$$Ty \leq 1,$$

$$y \in \{0, 1\}, x > 0.$$

همان‌طور که از مدل (59) مشاهده می‌شود، برای پارامترهای تابع هدف مقدار معادل عدد فازی برای مدل‌سازی تابع هدف استفاده می‌شود. پارامترهای δ و ρ نشان‌دهنده سطح اطمینان از محدودیت‌هایی است که پارامترهای عدم اطمینان را دربرمی‌گیرد ($\delta \geq 0.5, \rho \leq 1$). پارامترهای α و β به عنوان سطح رضایت محدودیت‌های انعطاف‌پذیر تعریف می‌شوند. مقدار پارامترهای فوق‌الذکر را باید تصمیم‌گیرنده تعیین کند. با این حال این روش برای تعیین مقدار مناسب چنین پارامترهایی (به ویژه هنگامی که تعداد پارامترها افزایش می‌یابد) نیاز به زمان صرف آزمایش‌های تکراری دارد و هم‌چنین نمی‌تواند بهینه بودن مقادیر تعیین شده را تضمین کند. علاوه بر این، تابع هدف که براساس مقدار مورد انتظار تشکیل می‌شود، به دلیل عدم اطمینان پارامترها، دچار نقص احتمالی خواهد شد، که این موارد نتایج حاصل را غیرقابل اطمینان می‌کند که ممکن است منجر به تحمیل هزینه‌های زیاد غیرمنتظره برای تصمیم‌گیرنده شود. برای از بین بردن نقاط ضعف ذکر شده، می‌توان مدل‌های برنامه‌نویسی امکانی استوار را براساس روش برنامه‌نویسی محدودیت‌شانس توسعه داد. برای مقابله با عدم دقت پارامترها از معیارهای برنامه‌ریزی اقدام و امکان استفاده شده است [27].





$$\begin{aligned}
\text{Min } E &= \left(\frac{c^{(p)} + c^{(m)} + c^{(o)}}{3} \right) x + \left(\frac{f^{(p)} + f^{(m)} + f^{(o)}}{3} \right) y \\
&+ \pi \left[\left[c^{(o)} x + f^{(o)} y \right] - \left[\left(\frac{c^{(p)} + c^{(m)} + c^{(o)}}{3} \right) x + \left(\frac{f^{(p)} + f^{(m)} + f^{(o)}}{3} \right) y \right] \right] \\
&+ \omega \left[d^m - \delta \left(\frac{d^m - d^o}{2} \right) - (1 - \delta) \left(\frac{d^p + d^m}{2} \right) \right] + \\
&\varepsilon \left[\rho \left(\frac{N^p + N^m}{2} \right) + (1 - \rho) \left(\frac{N^m - N^o}{2} \right) - N^p \right] y \\
&+ \gamma \left[\left(t^m + \frac{\varphi_t - \varphi'_t}{3} \right) (1 - \alpha) \right] + \theta \left[\left(r^m + \frac{h_r - h'_r}{3} \right) (1 - \beta) \right] y, \\
Ax &\geq \left[\delta \left(\frac{d^m + d^o}{2} \right) + (1 - \delta) \left(\frac{d^p - d^m}{2} \right) \right] - \left(t^m + \frac{\varphi_t - \varphi'_t}{3} \right) (1 - \alpha), \\
Bx &= 0, \\
Sx &\leq \left[\rho \left(\frac{N^p + N^m}{2} \right) + (1 - \rho) \left(\frac{N^m + N^o}{2} \right) \right] y + \left[\left(r^m + \frac{h_r - h'_r}{3} \right) (1 - \beta) \right] y, \\
Ty &\leq 1, \\
y &\in \{0, 1\}, x \geq 0, 0 \leq \alpha, \beta \leq 1, 0.5 \leq \delta, \rho \leq 1.
\end{aligned} \tag{60}$$

قسمت اول و دوم تابع هدف عملکرد متوسط سیستم مربوطه را براساس مقدار مورد انتظار پارامترهای نامطمئن نشان می‌دهد. قسمت سوم درجه "بهینگی استوار" را تنظیم می‌کند. این بخش حداکثر انحراف نسبت به مقدار مورد انتظار تابع را به حداقل می‌رساند. پارامتر π اهمیت این قسمت را در برابر قسمت‌های دیگر تعیین می‌کند. سایر قسمت‌ها به دنبال به حداقل رساندن کل هزینه‌های جریمه ناشی از نقض احتمالی محدودیت‌ها است که شامل پارامترهای نامطمئن نیز می‌باشد.

عبارت $\left[\delta \left(\frac{d^m + d^o}{2} \right) + (1 - \delta) \left(\frac{d^p - d^m}{2} \right) \right], \left[\rho \left(\frac{N^p + N^m}{2} \right) + (1 - \rho) \left(\frac{N^m - N^o}{2} \right) - N^p \right]$ برای تعیین شکاف بین بدترین حالت و مقادیر انتخاب شده از پارامترهای نامشخص در مدل تعبیه شده‌اند. علاوه بر این پارامترهای ω و نماینده هزینه جریمه برای هر واحد نقض محدودیت‌های ناشی از عدم دقت پارامترهای نامشخص است. شایان ذکر است که "پایداری امکان پذیری" مربوط به عدم اطمینان پارامترها از طریق قسمت سوم و چهارم تابع هدف تنظیم می‌شود، درحالی‌که قسمت‌های پنجم و ششم "پایداری امکان پذیری" همراه با انعطاف‌پذیری محدودیت‌های نرم را کنترل می‌کنند.

باتوجه به کلیات مطرح شده به منظور ارائه مدل برنامه‌ریزی استوار امکانی منعطف تحقیق تابع هدف مساله به شکل ذیل تغییر خواهد یافت.



$$\begin{aligned}
 \text{Min}Z = & \sum_b \sum_t Mb_{b,t} * \left(\frac{Cb_b^p + Cb_b^m + Cb_b^o}{3} \right) * (1-\pi) \\
 & + \sum_m \sum_t Mm_{m,t} * \left(\frac{Cm_m^p + Cm_m^m + Cm_m^o}{3} \right) * (1-\pi) \\
 & + \sum_l \sum_t Ml_{l,t} * \left(\frac{Cl_l^p + Cl_l^m + Cl_l^o}{3} \right) * (1-\pi) \\
 & + \sum_h \sum_p \sum_g \sum_r \sum_t Iph_{h,p,g,r,t} * \left(\frac{Cih_h^p + Cih_h^m + Cih_h^o}{3} \right) * (1-\pi) \\
 & + \sum_p \sum_g \sum_h \sum_r \sum_t Ipb_{m,p,g,r,t} * \left(\frac{Cim_m^p + Cim_m^m + Cim_m^o}{3} \right) * (1-\pi) \\
 & + \sum_m \sum_h \sum_p \sum_g \sum_r \sum_t MpgH_{m,h,p,g,r,t} * \left(\frac{Cmh_{m,h}^p + Cmh_{m,h}^m + Cmh_{m,h}^o}{3} \right) * (1-\pi) \\
 & + \sum_p \sum_g \sum_h \sum_r \sum_t Sph_{p,g,h,r,t} * \left(\frac{Csh_h^p + Csh_h^m + Csh_h^o}{3} \right) * (1-\pi) \\
 & + \left(\sum_p \sum_t Wb_{p,t} + \sum_p \sum_t Wh_{p,t} \right) * \left(\frac{Cw^p + Cw^o + Cw^o}{3} \right) * (1-\pi) \\
 & + \pi * \left(\begin{aligned} & \sum_b \sum_t Mb_{b,t} * Cb_b^o + \sum_m \sum_t Mm_{m,t} * Cm_m^o \\ & + \sum_l \sum_t Ml_{l,t} * Cl_l^o \\ & + \sum_h \sum_p \sum_g \sum_r \sum_t Iph_{h,p,g,r,t} * Cih_h^o \\ & + \sum_p \sum_g \sum_h \sum_r \sum_t Ipb_{m,p,g,r,t} * Cim_m^o \\ & + \sum_m \sum_h \sum_p \sum_g \sum_r \sum_t MpgH_{m,h,p,g,r,t} * Cmh_{m,h}^o \\ & + \sum_p \sum_g \sum_h \sum_r \sum_t Sph_{p,g,h,r,t} * Csh_h^o \\ & + \sum_p \sum_t Wb_{p,t} * Cw^o + \sum_p \sum_t Wh_{p,t} * Cw^o \end{aligned} \right) \\
 & + \phi * \sum_i \sum_y \sum_b \sum_t OB_{i,y,b,t} \\
 & * \left[\rho * \left(\left(\frac{Cap_{b,t}^p + Cap_{b,t}^m}{2} \right) + (1-\rho) * \left(\frac{Cap_{b,t}^m + Cap_{b,t}^o}{2} \right) \right) - \sum_b \sum_t Cap_{b,t}^p \right] \\
 & + \theta * \left[\sum_i \sum_y \sum_b \sum_t \left(r^m + \frac{h_r - h'_r}{3} \right) * (1-\beta) * OB_{i,y,b,t} \right].
 \end{aligned} \tag{61}$$

و محدودیت‌های ۶ مساله قطعی به شکل محدودیت (۶۲) تغییر خواهد یافت.

$$\begin{aligned}
 Mb_{b,t} \leq & \sum_i \sum_y \sum_b \sum_t OB_{i,y,b,t} * \\
 & \left(\rho * \left(\frac{Cap_{b,t}^p + Cap_{b,t}^m}{2} \right) + (1-\rho) * \left(\frac{Cap_{b,t}^m + Cap_{b,t}^o}{2} \right) \right) \\
 & + \left[\sum_i \sum_y \sum_b \sum_t OB_{i,y,b,t} * \left(r^m + \frac{h_r - h'_r}{3} \right) * (1-\beta) \right].
 \end{aligned} \tag{62}$$

برای ارزیابی مدل ارایه شده نیاز به حل تحقیق در دو سایز کوچک و بزرگ می باشد تا واکنش تابع هدف تحقیق نسبت به تغییرات پارامترهای مساله مشخص گردد، بدین منظور مدل تحقیق در نرم افزار *GAMS 24.1* کد شده است. مشخصات کامپیوتر استفاده شده برای حل مساله *cori7-2630Qm 2HGZ* با *RAM:8GB* بوده است. تفاوت در مسایل حل شده در جدول ۳ لحاظ شده است. برخی از پارامترهای مهم قطعی و غیرقطعی مساله نیز در جدول های ۴ و ۵ ارایه شده است.



جدول ۳- مثال های طراحی شده جهت حل مساله.

Table 3- Designed examples to solve the problem.

مثال	i	b	y	L	m	h	t	p
مثال ۱	2	1	2	1	2	2	8	1
مثال ۲	2	1	2	1	2	3	8	1
مثال ۳	3	2	2	1	2	3	8	1
مثال ۴	3	2	2	2	2	4	8	1
مثال ۵	4	2	2	2	2	4	26	2
مثال ۶	4	2	2	2	2	4	26	2
مثال ۷	5	2	2	2	2	4	27	2
مثال ۸	6	3	3	2	3	5	27	2
مثال ۹	6	3	3	3	3	7	28	3
مثال ۱۰	7	3	3	3	4	10	28	3
مثال ۱۱	8	4	4	3	4	12	30	3
مثال ۱۲	10	6	6	3	6	16	30	3

جدول ۴- پارامترهای حل مثال عددی.

Table 4- Parameters of solving the numerical example.

پارامترها	مقادیر	پارامترها	مقادیر	پارامترها	مقادیر
DemY _{p,g,h,t}	UI (1,3)	Cim _m	(UI 10,12)	rl _p	{p1 : 25, p2 : 7}
DemO _{p,g,h,t}	UI (1,5)	Csh _h	100	ry _p	{p1 : 5, p2 : 3}
Dy _{i,y}	UI (1,5)	Dl _{i,t}	UI (1,5)	Zp _p	{p1 : 0.6, p2 : 0.4}
Zm _m	UI (3000,10000)	Dm _{i,m}	UI (1,5)	Zl _l	UI (1000,3000)
Zb _b	UI (1000,5000)	Zb _b	UI (1000,5000)	Zi _{i,t}	UI (70,90)
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]				

جدول ۵- جدول پارامترهای غیرقطعی مساله.

Table 5- The problem uncertainty parameters.

پارامترهای غیرقطعی	پارامترهای غیرقطعی
Cb _b	{5,10,13}
Cm _m	{3,5,8}
Cl _l	{3,6,9}
Cmh _{m,h}	{10,12,16}
cap _{b,t}	{110,125,136}

به منظور مواجهه با کمبود در بیمارستان ها یک راه کار در نظر گرفته شده است و آن استفاده از اصل تطبیق پذیری گروه های خونی است یعنی طی یک ماتریس تطبیق پذیری از قبل پذیرفته شده یک بخش از تقاضاهای گروه های خونی *g* در صورت کمبود، می تواند با عرضه گروه های خونی *f* ارضا گردند (باید توجه داشت تطبیق پذیری پس از این باید انجام گیرد که محصول خونی هم گروه با آن محصول وجود نداشته باشد).

Table 6- RBC compatibility.

	A+	A-	B+	B-	AB+	AB-	O+	O-
A+	1	1	0	0	0	0	1	1
A-	0	1	0	0	0	0	0	1
B+	0	0	1	1	0	0	1	1
B-	0	0	0	1	0	0	0	1
AB+	1	1	1	1	1	1	1	1
AB-	0	1	0	1	0	1	0	1
O+	0	0	0	0	0	0	1	1
O-	0	0	0	0	0	0	0	1

به طور مثال ماتریس تطبیق پذیری برای محصول گلبول قرمز در جدول ۶ نشان داده شده است که در ستون نوع گیرنده خونی و در سطر سلول های قرمز خون دهنندگان است که به صورت ماتریس باینری نمایش داده شده است. یک به معنی امکان تطبیق پذیری و صفر به معنی عدم امکان تطبیق پذیری می باشد. مدل تحقیق یک بار در حالت پارامترهای قطعی و یک بار در حالت پارامترهای غیر قطعی حل شده تفاوت در پاسخ و زمان رسیدن به جواب در جدول ۷ ارایه شده است. همان طور که مشخص است هزینه به دست آمده در تابع هدف در حالت غیر قطعی بیش تر از پاسخ های قطعی می باشد که این به علت وجود سطح اطمینان برای پارامترهای دارای عدم قطعیت بوده و باماهیت مساله تحقیق تطابق دارد.

جدول ۷- جواب مساله.

Table 7- The answers to problem.

مثال ها	نرم افزار گمز حل قطعی تابع هدف	نرم افزار گمز حل غیر قطعی تابع هدف	زمان حل مساله	زمان حل مساله
مثال ۱	29432	30014	120	121
مثال ۲	51476	52257	123	125
مثال ۳	58432	59960	127	128
مثال ۴	89432	94325	189	198
مثال ۵	93439	98427	688	754
مثال ۶	278321	357222	1019	1564
مثال ۷	531904	635190	1234	1890
مثال ۸	942316	990733	1467	1901
مثال ۹	3764231	3601078	2345	2578
مثال ۱۰	7421004	9504222	4567	5673
مثال ۱۱	11235488	16123555	7643	9012
مثال ۱۲	21345657	23456783	8032	11195

* زمان حل به ثانیه

مدل ارایه شده، یک مدل طراحی شده زنجیره تامین خون می باشد که هزینه محور می باشد؛ تابع هدف تحقیق از ۸ بخش تشکیل شده است. بخش اول تابع هدف، هزینه های جمع آوری توسط وسیله های نقلیه سیار جمع آوری خون را مورد محاسبه قرار می دهد. در بخش دوم هزینه های تسهیلات جمع آوری کننده خون ثابت لحاظ شده و در بخش سوم هزینه های مربوط به خون گیری توسط مراکز خون محاسبه می گردد. نحوه تخصیص داوطلبان به این تسهیلات، مبتنی بر فاصله و نیز شعاع پوشش می باشد که در محدودیت های مساله این امر لحاظ گردیده است. در بخش چهارم و پنجم هزینه های مربوط به موجودی پایان دوره محصولات خونی باقی مانده در مراکز خون و محصولات خونی مصرف نشده در بانک های خون مراکز درمانی لحاظ می گردد. در بخش بعدی هزینه های انتقال مربوط به محصولات خونی از مراکز خون به مراکز درمانی مورد توجه قرار گرفته است. همان طور که گفته شده کمبود فرآورده های خونی در مراکز درمانی یک امر فاجعه آفرین و خطرناک است لذا به جهت کاهش کمبود و پوشش حداکثری تقاضا کمبود به صورت یک جریمه بزرگ در تابع هدف دیده شده است. این هزینه به واسطه اصل تطبیق پذیری که در محدودیت های مساله طراحی شده کاهش می یابد. در بخش آخر تابع هدف محاسبه هزینه اتلاف (هزینه منقضی شدن) محصولات خونی انجام پذیرفته است، از آن جایی که طول عمر محصولات خونی محدود بوده و در افق برنامه ریزی در صورت استفاده نشدن ممکن است منقضی گردند، لذا عدم مصرف که منجر به انقضای محصولات می گردد نیز به صورت هزینه در تابع هدف دیده شده است.

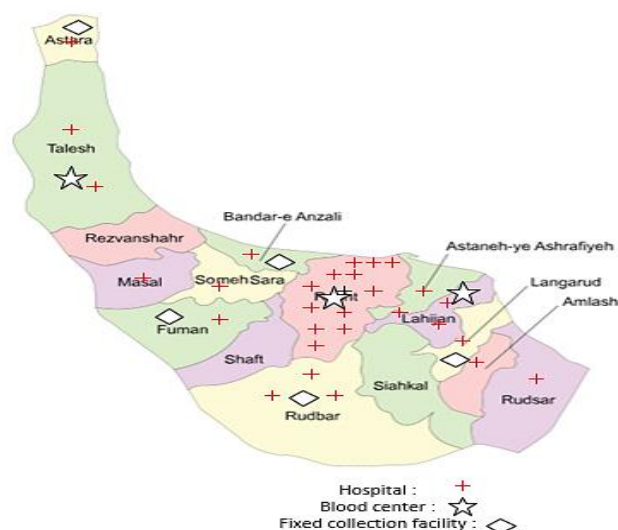




در بخش محدودیت‌ها نیز در ابتدا محدودیت‌های مربوط به پوشش تسهیلات و تخصیص اهداکنندگان به مراکز خون موردبررسی قرار گرفته است؛ در ادامه تجمیع خون جمع‌آوری شده توسط تسهیلات ثابت خون‌گیری و وسیله‌های سیار در مراکز خون پرداخته شده است. مشخص شدن گروه‌های خونی براساس درصد توزیع و نیز فرآورده‌گیری و محاسبه دوران تست و آزمایش خون در ادامه لحاظ گردیده است. این در شرایطی است که هر محصول خونی در طی افق برنامه‌ریزی با سن و گروه خونی خاص خود شناخته خواهد شد. پس از انجام مبادله محصولات از مراکز خون به مراکز درمانی موجودی و کمبود پایان دوره آن‌ها محاسبه خواهد شد. شایان‌ذکر است در بسیاری از موقعیت‌های پیچیده تصمیم‌گیری نظیر این‌گونه مسایل برنامه‌ریزی با داده‌های نادقیق همراه خواهد بود. داده‌های موجود ممکن است آن قدری کافی نباشد تا بتواند پارامترهای یک مساله واقعی را به‌صورت عینی و دقیق تعریف کرده در چنین شرایطی در این تحقیق ما از برنامه‌ریزی امکانی استفاده نموده‌ایم در واقع بواسطه عدم قطعیت پارامترهای تحقیق، مدل تحقیق به‌صورت یک مدل قطعی مکمل معادل ارایه شده است.

۵- مطالعه موردی

برای ارزیابی مدل ارایه شده در دنیای واقعی اطلاعات یک‌ماهه مراکز خون استان گیلان، کشور ایران انتخاب شده است. در این استان، سه مرکز خون اصلی وجود دارد که کار فرآورده‌گیری خون‌های جمع‌آوری شده را انجام می‌دهند و وظیفه خون‌رسانی به ۳۱ مرکز تقاضا در ۱۱ شهر را بر عهده دارند.



شکل ۱- شماتیک جغرافیایی از استقرار تسهیلات جمع‌آوری و مراکز تقاضا.

Figure 1- Geographical schematic of the establishment of collection facilities and demand centers.

باتوجه به بازه یک‌ماهه انتخاب شده جهت ارزیابی دو محصول RBC و پلاکت جهت بررسی مدل انتخاب می‌گردد. نتایج تابع هدف براساس خروجی الگوریتم‌های حل دقیق نرم‌افزار گمز به‌دست آمده است که این خروجی براساس 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 i ، هزینه کمبود خون و هزینه فاسدشدن فرآورده خونی تفکیک شده است. خروجی به‌دست آمده برای تابع هدف مساله در سطح استواری $0/6$ برای مساله تحقیق به تفکیک هزینه‌های هر بخش از مدل در جدول ۸ گزارش شده است.

جدول ۸- مقدار به‌دست آمده برای تابع هدف با استفاده از گمز.

Table 8- The obtained value for the objective function using the GAMS.

تابع هدف	معیارهای توابع	خروجی گمز
	هزینه جمع‌آوری	1610462
	هزینه موجودی	1730870
مینیمم هزینه‌ها	هزینه ارسال	8643520
	هزینه کمبود	251974
	هزینه فاسدشدن	8643356
	هزینه کل	20880182

میزان خون جمع‌آوری شده براساس تسهیلات جمع‌آوری که در آن شهر مستقر شده است در جدول ۹ ارایه شده است که خون تسهیلات

l و b در تسهیلات m تجمع گردیده و فرآیند تولید فرآورده‌های خونی در مراکز m انجام می‌پذیرد. تعداد فرآورده‌های تولیدی نیز در جدول ۱۰ ارائه شده است.

جدول ۹- خون جمع‌آوری شده در مراکز جمع‌آوری طی دوره.

Table 9- Blood collected in collection centers during the period.

خون کامل جمع‌آوری شده	خون جمع‌آوری شده در مراکز جمع‌آوری
2994	رشت (m1)
1067	لاهیجان (m2)
703	لنگرود (11)
486	رودسر (12)
506	انزلی (13)
426	فومن (14)
680	تالش (m3)
250	آستارا (15)
721	وسایل نقلیه جمع‌آوری خون (b1,b2)

جدول ۱۰- خون تجمع‌شده در مراکز خون و فرآورده‌های تولیدی.

Table 10- Aggregated blood in blood and blood products centers.

پلاکت فرآوری شده	RBC فرآوری شده	خون جمع‌آوری شده	مراکز خون
1657	4647	4776	M1
101	2255	2318	M2
34	929	955	M3

باتوجه به کلیات مدل توزیع مقادیر RBC و پلاکت‌ها و مقادیر کمبود مشاهده شده و مقادیر منقضی شده در جدول ۱۱ ارائه شده است.

جدول ۱۱- مقادیر محصولات فاسد شده (منقضی شده) و میزان کمبود هر بیمارستان.

Table 11- The corrupted (expired) products and deficiency of each hospital.

مقادیر فاسد شده در بیمارستان	مقادیر کمبود	مقادیر پلاکت	مقادیر ارسالی	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	رشت	
0	0	0	0	76	16	H3	رشت	
3	1	72	0	2	230	H4	رشت	
3	1	75	1	2	437	H5	رشت	
0	0	0	0	51	16	H6	رشت	
3	1	57	0	4	211	H7	رشت	
28	20	634	0	1	827	H8	رشت	
1	1	14	0	7	432	H9	رشت	
6	4	133	0	1	276	H10	رشت	
4	1	90	0	2	204	H11	رشت	
0	0	0	0	8	57	H12	رشت	
0	0	0	0	22	28	H13	رشت	
6	6	143	0	1	426	H14	رشت	
0	0	8	0	2	91	H15	فومن	
0	0	0	0	1	185	H16	تالش	
0	0	1	0	31	18	H17	تالش	
1	2	16	0	3	123	H18	آستارا	
0	3	0	0	23	11	H19	آستارا	
0	0	0	1	17	16	H20	رودبار	
0	0	0	0	9	32	H21	رودبار	
0	0	0	0	3	29	H22	املش	
0	0	10	0	1	66	H23	املش	
0	0	1	11	1	278	H24	لاهیجان	
0	0	0	0	1	61	H25	لاهیجان	
0	0	10	0	2	200	H26	لنگرود	
1	0	17	0	1	395	H27	رودسر	
1	2	23	0	4	342	H28	انزلی	
0	1	1	2	1	138	H29	آستانه	
0	0	2	0	4	143	H30	صومعه‌سرا	
0	0	2	0	2	103	H31	ماسال	





همان‌طور که مشاهده می‌شود، درصد متوسط گلبول قرمز منقضی شده در مراکز درمانی کم‌تر از ۳٪ و میزان اتلاف پلاکت به ۴٪ رسیده است که این رقم در مقابل مقدار ۹ درصدی گلبول قرمز و ۵/۴ درصدی پلاکت به میزان قابل توجه‌ای کاهش یافته است. میزان کمبود در بحث فرآورده گلبول قرمز به میزان ۳٪ و برای پلاکت ۵/۵٪ است. دلیل تفاوت این دو و بالا بودن میزان اتلاف پلاکت نسبت به گلبول قرمز به‌واسطه میزان عمر کوتاه ۷ روزه آن است. در ۸۳٪ مراکز درمانی کمبود گلبول قرمز و در ۵۵٪ مراکز درمانی کمبود پلاکت به صفر رسیده است.

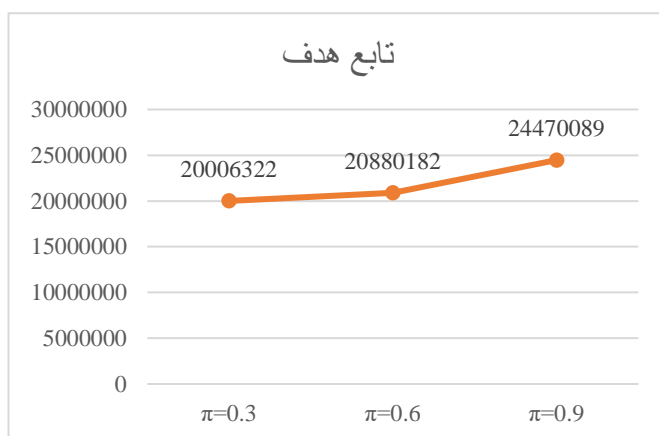
۶- آنالیز حساسیت

در این قسمت به منظور مشخص نمودن، مناسب بودن مدل استوار پیشنهادی و نیز عملکرد مدل برنامه‌ریزی استوار امکانی-منعطف تحقیق پس از حل که خروجی در جدول ۱۲ ارائه گردید، این بار مدل تحقیق را براساس سطوح استواری مختلف طراحی و مقادیر تابع هدف با توجه به تغییر پارامتر استواری مدل سنجیده می‌شود. مدل تحقیق به ازای مقادیر سطوح اطمینان (۰/۳، ۰/۶، ۰/۹) حل شده است. همان‌طور که در شکل ۲ مشخص می‌باشد با افزایش سطوح استواری مدل مقادیر تابع هدف افزایش یافته است یعنی نتایج نشان می‌دهد، افزایش حداقل درجه شدنی بودن، منجر به افزایش هزینه‌های تابع هدف خواهد گردید.

جدول ۱۲- میزان تغییرات تابع هدف براساس تغییر در ضریب استواری.

Table 12- The rate of change of the objective function based on the change in the robuat factor.

ضریب وزن	$\pi = 0.3$	$\pi = 0.6$	$\pi = 0.9$
تابع هدف	20006322	20880182	24470089



شکل ۲- میزان تغییرات تابع هدف نسبت به ضریب استواری.

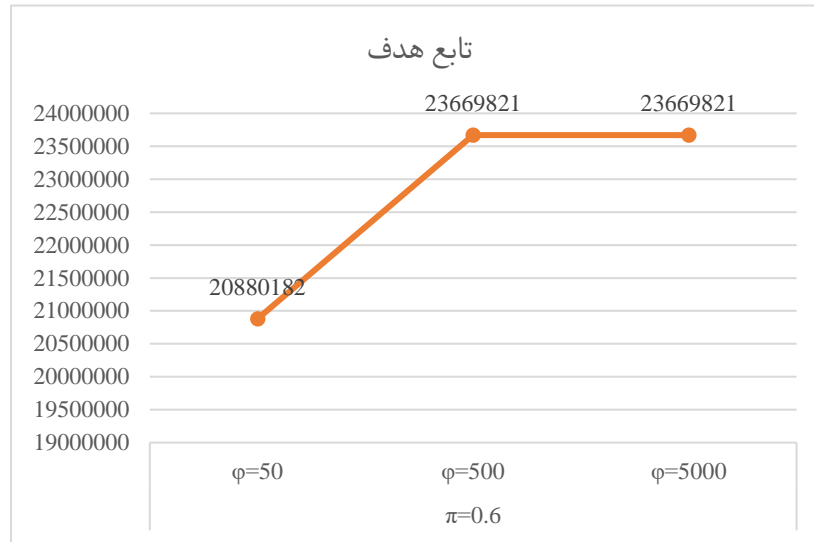
Figure 2- The rate of change of the objective function relative to the robuat factor.

در شکل ۳ نیز تغییرات تابع هدف نسبت به تغییرات میزان تخطی محدودیت‌های مساله که دارای پارامتر غیرقطعی قرار دارند سنجیده شده است. سه سطح شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است که نسبت به این سطوح مطلوبیت تابع هدف مورد انتظار می‌باشد. با افزایش میزان تخطی و در نظر گرفتن جریمه بیش‌تر میزان تابع هدف در ابتدا بدتر (افزایش) شده که این میزان افزایش در تابع هدف بواسطه تجاوز پارامترهای مربوط به محدودیت‌هایی که دارای عدم قطعیت می‌باشند از مقادیر اسمی آن‌ها بوده است و اما در ادامه پس از در نظر گرفتن جریمه‌های بیش‌تر بر روی تابع هدف تغییرات به سطح ثابتی رسیده است زیرا جریمه دیگر موجب انحراف بیش‌تر از هدف نخواهد شد.

جدول ۱۳- میزان تغییرات تابع هدف نسبت به سطح جریمه.

Table 13- The amount of changes in the objective function relative to the penalty level.

ضریب وزن	$\pi = 0.6$		
سطح جریمه	$\phi = 50$	$\phi = 500$	$\phi = 5000$
تابع هدف	23456783	23669821	23669821



شکل ۳- نمودار میزان تغییرات تابع هدف نسبت به تغییرات سطوح جریمه.

Figure 3- Graph the amount of changes in the objective function relative to the changes in penalty levels.

۷- نتایج و پیشنهادات آتی

با وجود اینکه از زمان کشف سیستم گروه خونی ABO توسط لنداشتاینر بیش از ۱۲۰ سال نمی‌گذرد ولی طب انتقال خون در این زمان کوتاه همگام با توسعه و پیشرفت‌های سریع علم و فن‌آوری، تحولات گسترده‌ای داشته است و در زمینه‌های گوناگون مانند نگهداری خون و فرآورده‌های خون به مدت طولانی‌تر، توسعه روش‌های اهدای خون اتولوگ، روش‌های نوین اهدا مانند پلاکت فرزیس و پلاسما فرزیس و انجام آزمایشات غربالگری بر خون‌های اهدایی، پیشرفت شگرفی ایجاد کرده است. نتیجه این تحولات و پیشرفت‌های تهیه و تامین خون سالم برای مصرف بیماران است. در راستای توسعه طب خون و مدیریت صحیح منابع خونی در زنجیره تامین این تحقیق صورت پذیرفته است که هدف از آن طراحی یک زنجیره تامین جامع بوده که شامل سه بخش جمع‌آوری، پردازش و توزیع کالای خونی می‌باشد. زنجیره تامین دارای واحدهای جمع‌آوری خون متحرک و ثابت بوده که خون را از اهداکنندگان دریافت نموده و به مراکز خون ارسال می‌نمایند. در مرکز خون، خون به محصولات مورد نیاز فرآوری می‌شود. محصولات خونی براساس تقاضاهایی که براساس دو دسته محصولات تازه یا معمولی هستند، به مراکز تقاضا ارسال می‌گردند. تابع هدف مدل به دنبال مینیمم کردن هزینه‌هایی چون خون-گیری، موجودی خون در مراکز خون و بیمارستان‌ها و نیز هزینه منقضی شدن محصولات خونی به علت عدم مصرف آن‌ها بوده است. در این تحقیق از مدل‌سازی بهینه‌سازی استوار امکانی-منعطف برای مدل‌سازی و مواجه با عدم قطعیت در پارامترهای دارای عدم قطعیت استفاده شده و پس از استوارسازی نتایج حاصله در اندازه‌های کوچک و بزرگ توسط الگوریتم حل‌کننده دقیق در نرم‌افزار گمز مورد اعتبار سنجی قرار گرفت. در پایان یک مطالعه موردی براساس مدل پیشنهاد شده براساس داده‌های سازمان انتقال خون استان گیلان صورت پذیرفت که نتایج حاکی از کارایی مدل پیشنهاد شده بوده است.

به منظور تحقیقات پیش رو موارد ذیل پیشنهاد می‌گردد:

- بررسی مدل به صورت زنجیره تامین سبز با در نظر گرفتن مسایل حمل و نقل و مسیریابی تحویل فرآورده‌های خونی از مراکز خون به مراکز تقاضا.
- بررسی تقاضا و عرضه به صورت غیرقطعی و استفاده از شبکه عصبی و زنجیره مارکوف به منظور برآورد میزان عرضه و تقاضا.
- بررسی جریان‌های عرضی بین مراکز تقاضا و نیز کنترل سطح موجودی و برآورد زمان سفارش دهی محصولات خونی در مراکز نگهداری محصولات خونی.
- امکان استقرار تجهیزات در مواقع اضطرار و پیش‌آمدهای مترقبه.

بینش مدیریتی: حل مشکلات زنجیره تامین از طریق یک روش استاندارد و اصولی که بر شرایط حاکم بر سیستم بهداشتی-درمانی وضعیت موجود تطبیق داشته باشد و بتواند آن را به سمت بهره‌وری سوق دهد یکی از اهداف مهم تحقیق بوده است. آنچه به عنوان دست‌آورد در این تحقیق می‌توان به آن اشاره کرد کاهش میزان کمبود محصولات خونی در بیمارستان‌ها از ۹% به کم‌تر از ۳% برای



گلبول قرمز و نیز از ۶٪ به ۴٪ برای پلاکت‌ها است که این امر از برنامه‌ریزی درست مدل تحقیق نشات گرفته است. در بحث هزینه نیز با ارایه محدودیت‌های تعادلی در عرضه و تقاضا سعی شده، تا با کم‌ترین میزان افزایش هزینه‌های موجودی و نیز اتلاف محصولات خونی، میزان کمبود محصولات خونی در بیمارستان‌ها کاهش یابد. البته استفاده از اصل تطبیق‌پذیری و جایگزین کردن گروه محصولی که موجود نبوده با محصولی دیگر از موجودی باتوجه به اصل تطبیق‌پذیری نیز در تحقق این امر نیز موثر بوده است. نکته دیگر تحقیق توصیه به منظور استفاده از برنامه‌ریزی امکانی استوار می‌باشد که به‌واسطه استفاده از این تکنیک در این سطح اطمینان ارضای محدودیت‌های توسط خود مدل تعیین می‌شود و مقدار آن بهینه است؛ دوم اینکه جواب نهایی دارای استواری بهینه بودن و استواری شدنی بودن است و سوم اینکه باتوجه به انحرافات تابع هدف به‌واسطه عدم قطعیت پارامترها موجب جلوگیری از هزینه‌های سنگین برای مدیران و تصمیم‌گیرندگان سازمانی می‌شود در صورتی که در سایر روش‌های برنامه‌ریزی‌های به موارد مذکور توجه چندانی نمی‌شود.

منابع

- [1] Osorio, A. F., Brailsford, S. C., Smith, H. K., Forero-Matiz, S. P., & Camacho-Rodríguez, B. A. (2017). Simulation-optimization model for production planning in the blood supply chain. *Health care management science*, 20(4), 548–564. DOI:10.1007/s10729-016-9370-6
- [2] 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. DOI:10.1016/j.ijpe.2017.02.006
- [3] Zahiri, B., & Pishvae, M. S. (2017). Blood supply chain network design considering blood group compatibility under uncertainty. *International journal of production research*, 55(7), 2013–2033. DOI:10.1080/00207543.2016.1262563
- [4] Zahiri, B., Torabi, S. A., Mohammadi, M., & Aghabegloo, M. (2018). A multi-stage stochastic programming approach for blood supply chain planning. *Computers and industrial engineering*, 122, 1–14. DOI:10.1016/j.cie.2018.05.041
- [5] Kalantari, M., & Pishvae, M. S. (2016). A robust possibilistic programming approach to drug supply chain master planning. *Journal of industrial engineering research in production systems*, 4(7), 49–67. (In Persian). https://ier.basu.ac.ir/article_1568.html?lang=en
- [6] Nahmias, S. (1978). Fixed-charge perishable inventory problem. *Operations research*, 26(3), 464–481. DOI:10.1287/opre.26.3.464
- [7] 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. DOI:10.1016/j.dss.2010.06.005
- [8] Hemmelmayr, V., Doerner, K. F., Hartl, R. F., & Savelsbergh, M. W. P. (2010). Vendor managed inventory for environments with stochastic product usage. *European journal of operational research*, 202(3), 686–695. DOI:10.1016/j.ejor.2009.06.003
- [9] Nagurney, A., & Masoumi, A. H. (2012). Supply chain network design of a sustainable blood banking system. *International series in operations research and management science*, 174, 49–72. DOI:10.1007/978-1-4419-6105-1_5
- [10] Gunpinar, S., & Centeno, G. (2015). Stochastic integer programming models for reducing wastages and shortages of blood products at hospitals. *Computers and operations research*, 54, 129–141. DOI:10.1016/j.cor.2014.08.017
- [11] 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. DOI:10.1016/j.tre.2017.06.004
- [12] 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. DOI:10.1016/j.orhc.2017.08.006
- [13] Ghatreh Samani, M. R., Torabi, S. A., & Hosseini-Motlagh, S. M. (2018). Integrated blood supply chain planning for disaster relief. *International journal of disaster risk reduction*, 27, 168–188. DOI:10.1016/j.ijdrr.2017.10.005
- [14] Hamdan, B., & Diabat, A. (2019). A two-stage multi-echelon stochastic blood supply chain problem. *Computers and operations research*, 101, 130–143. DOI:10.1016/j.cor.2018.09.001
- [15] 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. DOI:10.1007/s12652-019-01315-0
- [16] 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. DOI:10.1504/EJIE.2020.107676
- [17] Doodman, M., & Bozorgi Amiri, A. (2019). Integrate blood supply chain network design with considering lateral transshipment under uncertainty. *Journal of industrial management perspective*, 9(3), 9–40. (In Persian). <https://www.sid.ir/paper/408439/en>



- [18] Arvan, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Abdollahi, M. (2015). Designing a bi-objective, multi-product supply chain network for blood supply. *Uncertain supply chain management*, 3(1), 57–68. DOI:10.5267/j.uscm.2014.8.004
- [19] Heidari-Fathian, H., & Pasandideh, S. H. R. (2018). Green-blood supply chain network design: robust optimization, bounded objective function & Lagrangian relaxation. *Computers and industrial engineering*, 122, 95–105. DOI:10.1016/j.cie.2018.05.051
- [20] Larimi, N. G., & Yaghoubi, S. (2019). A robust mathematical model for platelet supply chain considering social announcements and blood extraction technologies. *Computers & industrial engineering*, 137, 106014.
- [21] Kamyabniya, A., Lotfi, M. M., Naderpour, M., & Yih, Y. (2018). Robust platelet logistics planning in disaster relief operations under uncertainty: a coordinated approach. *Information systems frontiers*, 20(4), 759–782. DOI:10.1007/s10796-017-9788-5
- [22] Eskandari, Z., Avakh Darestani, S., Imannezhad, R., & Sharifi, M. (2021). Optimizing a fuzzy multi-objective closed-loop supply chain model considering financial resources using meta-heuristic. *Scientia Iranica*, 30(4), 1480–1497.
- [23] Pishvaei, M. S., Razmi, J., & Torabi, S. A. (2012). Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: a new approach. *Fuzzy sets and systems*, 206, 1–20.
- [24] Mula, J., Poler, R., & Garcia, J. P. (2006). MRP with flexible constraints: a fuzzy mathematical programming approach. *Fuzzy sets and systems*, 157(1), 74–97.
- [25] Yager, R. R. (1981). A procedure for ordering fuzzy subsets of the unit interval. *Information sciences*, 24(2), 143–161.
- [26] Jiménez, M., Arenas, M., Bilbao, A., & Rodri, M. V. (2007). Linear programming with fuzzy parameters: an interactive method resolution. *European journal of operational research*, 177(3), 1599–1609.
- [27] Pishvaei, M. S., & Khalaf, M. F. (2016). Novel robust fuzzy mathematical programming methods. *Applied mathematical modelling*, 40(1), 407–418.