

طراحی مدل تخصیص فرآورده‌های خونی در شرایط عدم قطعیت (مورد مطالعه: سازمان انتقال خون یزد)

محبوبه زارع زاده¹، زهرا ناجی عظیمی^{2*}، علی مروتی شریف آبادی³،
محمدعلی پیرایش⁴

- 1- دانشجوی دکتری مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
- 2- دانشیار، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
- 3- دانشیار، گروه مدیریت، دانشکده مدیریت، اقتصاد و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران
- 4- دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

دریافت: 98/2/17

پذیرش: 97/9/28

چکیده

خون و فرآورده‌های آن، سرمایه‌ای باارزش در حفظ جان بیماران است و در مواردی، تنها داروی حیاتی و شفابخش برای بیماران است؛ بنابراین باید از ضایع شدن و مصرف غیر بهینه آن خودداری شود. مسئله تخصیص خون و فرآورده‌هایش، یکی از انواع مسائل تخصیص است که یافتن جواب بهینه آن، می‌تواند منجر به کاهش مرگ‌ومیر و اتلاف هزینه شود. در این پژوهش، مسئله تخصیص فرآورده‌های خونی در حالت تصادفی ارائه و مدل تصادفی در سازمان انتقال خون و بیمارستان‌های استان یزد به کار گرفته شده است. در این مطالعه، تمرکز بر روی فرآورده‌های پلاکت و گلبول قرمز خون به دلیل میزان تقاضای بیشتر و ویژگی فسادپذیری آن‌ها است. هدف از این پژوهش، کمینه‌سازی هزینه‌های تهیه و کمینه‌سازی کمبود و اتلاف فرآورده‌های پلاکت و گلبول قرمز خون با در نظر گرفتن محدودیت‌های مسئله است. مدل ارائه شده به وسیله نرم‌افزار ILOGCPLEX 12.6.1 در محیط نرم‌افزاری Microsoft Visual Studio کدنویسی و اجرا شده است.

واژگان کلیدی: خون و فرآورده‌های خونی؛ مسئله تخصیص؛ مدل برنامه‌ریزی تصادفی.

1- مقدمه

خون انسان یک منبع کمیاب است که فقط به وسیله خود انسان تولید می‌شود و در حال حاضر، هیچ محصول یا فرآیند شیمیایی دیگری نیست که به‌عنوان جایگزین آن مورد استفاده قرار گیرد [1]. تأمین خون سالم و کافی مورد نیاز بیمارستان‌ها و مدیریت آن در شرایط عادی و بحرانی چالشی است که سیستم سلامت دولت‌ها همیشه با آن مواجه هستند. نیاز به اهداکنندگان خون و فرآورده‌های آن همیشه وجود دارد؛ درحالی‌که عرضه آن از سوی اهداکنندگان تا حدودی نامنظم و تقاضا برای فرآورده‌های خونی اغلب تصادفی است [2]. تأمین‌کنندگان خون، اهداکنندگانی هستند که به‌طور داوطلب با مراجعه به یکی از پایگاه‌های اهدای خون، اقدام به خون‌دهی می‌کنند. واحدهای خونی به دلیل فسادپذیری‌شان به بانک خون منتقل شده و در آن‌جا پس از انجام آزمایش‌های لازم به‌طور موقتی نگهداری و سپس برحسب نیاز به دست مصرف‌کنندگان (بیمارستان‌ها و مراکز بهداشتی-درمانی) می‌رسند. یک واحد خون می‌تواند به پنج فرآورده خونی تقسیم شود: سلول‌های قرمز خون، پلاسما، سلول‌های سفید خون، سرم و پلاکت‌ها. همه اجزای خون به‌جز پلاسما، خون خاصیت فاسدشدنی دارند. بانک‌های خون با مشکلات مختلفی روبرو هستند. دو نمونه از این مشکلات مسئله کمبود و اتلاف خون و فرآورده‌های آن است. منظور از هزینه‌های کمبود همان هزینه‌های تهیه یا خرید واحد خونی است که در زمان لازم فراهم نیست و کمبود آن باعث افزایش نرخ مرگ‌ومیر می‌شود. از طرف دیگر، زمانی که یک واحد خونی آماده‌شده مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، فاسد و منقضی شده و دور انداخته می‌شود و موجب ایجاد هزینه‌های اتلاف می‌شود؛ بنابراین، تطبیق عرضه و تقاضا به شیوه‌ای کارآمد درباره این محصول کارچندان ساده‌ای نیست.

مسئله اصلی این پژوهش تخصیص بهینه فرآورده‌های خونی (پلاکت و گلبول قرمز خون) از سازمان انتقال خون به بیمارستان‌ها و واحدهای درمانی است. در مدل ارائه‌شده در این مقاله سعی می‌شود تا میزان کمبود و اتلاف فرآورده‌های خونی به حداقل ممکن برسد. از طرفی، تقاضای بیمارستان‌ها و مراکز بهداشتی درمانی نیز به‌صورت تصادفی در نظر گرفته شده است. با توجه به بررسی مطالعات انجام‌شده

در حوزه خون و فرآورده‌های آن، مدل حاضر با محدودیت‌ها و تابع هدفی که در ادامه می‌آید، برای اولین بار است که در حالت تصادفی ارائه می‌شود.

2- پیشینه پژوهش

مسئله تخصیص یکی از مسائل پایه‌ای در پژوهش عملیاتی است که از زمان ارائه آن تاکنون در کاربردهای مختلف از جمله تخصیص خون و فرآورده‌های خونی گسترش یافته است. در پژوهشی که توسط کوستاس [3] در سال 1984 در زمینه تخصیص خون به بیمارستان‌ها در کشور انگلیس انجام شده است، از یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح برای تخصیص خون به بیمارستان‌ها با هدف کاهش خون منقضی شده استفاده شده است. از جمله محدودیت‌های مدل، برابر بودن تعداد واحد خونی ارسال شده به بیمارستان‌ها با مقدار تقاضای آن‌ها است. همچنین واحدهای خونی ارسال شده به بیمارستان‌ها از موجودی بانک خون تأمین می‌شود و روش آن‌ها برای تأمین خون بیمارستان‌ها FIFO بوده است.

آنجلیس¹ و همکاران [4] در سال 2001 یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه، چندمحصوله و چنددوره‌ای را برای مدیریت بهتر سیستم اهدا-انتقال خون در کشور ایتالیا ارائه داده‌اند. هدف این پژوهش کمینه‌سازی مقدار خون وارداتی از خارج سیستم است. برخی محدودیت‌هایی که ایشان در این پژوهش در نظر گرفتند شامل محدودیت میزان تخصیص گلبول قرمزخون در هر روز، میزان موجودی گلبول قرمز در داخل سیستم و میزان خون وارداتی از خارج سیستم است.

تته² [5] در سال 2008 پژوهشی در زمینه تخصیص بهینه پلاکت با هدف به حداکثر رساندن منافع با در نظر گرفتن منافع اجتماعی منهای هزینه نگهداری و هزینه موارد منقضی شده انجام داده است. از جمله محدودیت‌های به کار رفته در مدل، محدودیت ارسال فرآورده خونی به روش FIFO و محدودیت موجودی است. در این پژوهش جهت حل مدل، از یک روش ابتکاری و یک مدل برنامه‌ریزی خطی با روش افق‌گردشی³، استفاده شده است.

1. Angelis

2. Tetteh

3. Rolling horizon method

یوو جون¹ [6] در سال 2012 پژوهشی در زمینه زمان‌بندی، مکان‌یابی و تخصیص خون در سیستم‌های تأمین خون اضطراری (مانند شرایط بعد از زلزله) انجام داده و یک مدل پویای چندمرحله‌ای با هدف به حداقل رساندن هزینه‌های عملیاتی مطرح کرده‌اند. در این پژوهش، بیان شده که حوادث غیرمترقبه‌ای مثل زلزله در زندگی انسان وجود دارد که موجب افزایش ناگهانی تقاضای خون می‌شود و در آن زمان، تأمین خون سالم و کافی یک چالش بزرگ است. آن‌ها چند دوره زمانی را در مدل در نظر گرفته و مسئله مورد نظر خود را در یک مطالعه موردی در پکن مورد بررسی قرار دادند.

ادوومی² و همکاران [7] در سال 2012 پژوهشی در زمینه بهینه‌سازی تخصیص خون در سیستم بانک خون آفریقای جنوبی انجام داده‌اند. آن‌ها در پژوهش خود یک مدل ریاضی به‌منظور حداقل‌سازی مقدار واحد خون وارد شده از خارج سیستم ارائه کرده‌اند. در این مقاله، الگوریتم‌های متعددی شامل الگوریتم ژنتیک (GA)³، الگوریتم ژنتیک تطبیقی (AGA)⁴، الگوریتم ژنتیک بازسازی شبیه‌سازی شده (SAGA)⁵، الگوریتم ژنتیک بازسازی شبیه‌سازی شده تطبیقی (ASAGA)⁶ و الگوریتم بالارفتن از تپه (HC)⁷ برای حل مسئله ارائه شده و در نهایت، الگوریتم HC بهترین نتایج را حاصل کرده است.

در مطالعه دیگری که توسط کوین⁸ و همکاران [8] در سال 2013 در زمینه تخصیص فرآورده‌های خونی با هدف کاهش ضایعات خون و تأمین نیازهای بیمار انجام شده است، محققان مسئله تخصیص خون را با استفاده از مسئله کوله‌پشتی‌های چندگانه⁹ مدل‌سازی کرده‌اند. آن‌ها از دو روش برنامه‌ریزی پویا و الگوریتم GRASP برای حل مدل استفاده کرده‌اند. محدودیت‌های مدل مورد مطالعه شامل محدودبودن ظرفیت مرکزخون، محدودیت‌های مرتبط با استفاده از روش FIFO در ارائه خون، محدودیت طول عمر فرآورده‌های خونی و محدودیت زمان انتظار برای دریافت

1. Yue & Jun

2. Adewumi

3. Genetic Algorithm

4. Adaptive Genetic Algorithm

5. Simulated Annealing Genetic Algorithm

6. Adaptive Simulated Annealing Genetic Algorithm

7. Hill Climbing

8. Kevin

9. Multiple Knapsack Problem

واحدهای خونی است. نتایج به‌دست‌آمده در این مدل، نشانگر کارایی بیشتر الگوریتم GRASP نسبت به برنامه‌ریزی پویا بوده است. میکیل¹ و همکاران [9] در سال 2014 در مطالعه‌ای با موضوع تخصیص خون در سیستم بانک خون از نظریه صف² و مسئله کوله‌پشتی به‌منظور کمینه‌سازی واردات خون و فرآورده‌های خونی و حداقل‌کردن میزان اتلاف خون استفاده کرده‌اند. محدودیت‌های مدل ارائه شده بدین صورت است که حجم خون تخصیص داده‌شده در روز نباید از حجم کل خون در دسترس بیشتر باشد. همچنین هر واحد خونی نباید بیشتر از 30 روز نگهداری شود زیرا منقضی شده و باید سوزانده شود. در این پژوهش، از شبیه‌سازی براساس داده‌های تصادفی برای حل مسئله استفاده شده است و نتایج نشان دهنده کاهش فراوان واردات انواع خون و حداقل شدن ضایعات خونی بوده است.

میکیل و همکاران [10] در سال 2015 در پژوهشی با موضوع بهینه‌سازی مسئله تخصیص خون، به‌منظور حداقل‌کردن خون وارداتی از خارج سیستم، مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی را مورد استفاده قرار داده‌اند. همچنین ایشان برای حل مدل، روش‌های فراابتکاری را به کار برده‌اند. محدودیت در نظر گرفته شده در این مدل برابری مقدار کل واحدهای خونی عرضه‌شده با مقدار به‌دست‌آمده از داخل و خارج سیستم است. محققان مسئله را به‌صورت یک مسئله کوله‌پشتی مدل‌سازی کرده و با دو الگوریتم فراابتکاری جستجوی ممنوع³ (TS) و الگوریتم شبیه‌سازی تبریدی⁴ (SA) به حل مسئله پرداخته‌اند. همچنین در ادامه یک الگوریتم ترکیبی از الگوریتم‌های جستجوی ممنوع و شبیه‌سازی تبریدی ایجاد کرده‌اند که نتایج بهتری را نسبت به نتایج اجرای جداگانه الگوریتم‌ها ارائه داده است.

به غیر از بحث تخصیص خون و فرآورده‌های آن، در زمینه زنجیره تأمین خون هم پژوهش‌هایی انجام شده است؛ از جمله مطالعاتی که توسط کاتسالیاکی و برایسفورد⁵ [11]، قندفروش و سن [12]، بلیین و فورس¹ [1]، ناگورنی و همکاران

1. Micheal
2. Queueing theory
3. Tabu Search Algorithm
4. Simulated Annealing
5. Katsaliaki & Brailsford

[13]، فیلهو و همکاران² [14]، جبارزاده و همکاران [15]، ونانیا و همکاران³ [16]، زهیری و همکاران [17]، گان‌پینار⁴ و همکاران [18]، حیدری و همکاران [19] و اسکندری و همکاران [20] انجام شده است، اما از آنجا که هدف این مقاله انجام تخصیص بهینه است، از مرور این مقالات در اینجا خودداری می‌شود.

در پژوهش‌های داخلی، چندان در زمینه تخصیص خون و فرآورده‌های آن کار نشده است. بنابراین در اینجا تنها به چند مورد از پژوهش‌هایی که در زمینه مسئله تخصیص و تخصیص تصادفی در داخل صورت گرفته است، اشاره می‌شود.

عراقی و عشقی [21] در سال 1387 در پژوهشی مسئله تخصیص تصادفی را برای حالتی که هزینه‌ی تخصیص فعالیت‌ها به افراد برابر با صفر است و نیز برای کمینه‌سازی تابع هدفی که بر اساس دو معیار تأخیر در انجام فعالیت‌ها و فعالیت‌های نیمه‌تمام تعریف می‌شود، مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مسئله فرض شده است که افراد به صورت تصادفی و با توزیع احتمال مشخص وارد سیستم شده و میزان حضور آن‌ها در سیستم نیز مقداری احتمالی است که از یک تابع توزیع نرمال با میانگین و واریانس مشخص به دست می‌آید. مهارت افراد نیز به صورت تصادفی تعیین شده است. در این پژوهش برای حل مسئله تخصیص تصادفی، از الگوریتم مجموعه مورچگان و برای محاسبه میزان تابع هدف، به ازای جواب‌های تولید شده توسط مورچگان مختلف، از شبیه‌سازی استفاده شده است و در نهایت، برای چند مسئله فرضی همگرایی مدل نشان داده شده است.

قربانی پور و همکاران [22] در سال 1394 با موضوع حل مسئله گسترش‌یافته تخصیص کارکنان در شرایط عدم قطعیت مسئله تخصیص خدمت‌یاران بخش پیداشدگان به دفاتر این بخش در حرم مطهر رضوی را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این پژوهش تعداد متقاضیان خدمت، تصادفی و دارای توزیع مشخصی است که بر اساس الگوی حضور متقاضیان خدمت در گذشته معلوم شده است؛ بنابراین، مسئله به صورت مسئله تخصیص کارکنان در حالت تصادفی فرموله شده است. در نهایت،

1. Belien & Force

2. Filho, Carvalho, Salviano

3. Vananya, Maryania, Amaliahb, Rinaldy, Muhammad

4. Gunpinar

مدل حاصل با به‌کارگیری روش تلفیقی تحلیل سلسله مراتبی و مجموع ساده وزنی برای محاسبه پارامترهای مدل از طریق شبیه‌سازی مونت کارلو حل شده است. آذر و همکاران [23] در سال 1392 در پژوهشی به ارائه یک مدل استوار فازی برای تخصیص بودجه به برنامه‌ها و تخصیص بودجه به دانشکده‌ها بر اساس سرانه دانشجویی پرداختند. در این پژوهش به دلیل عدم قطعیت‌های تصادفی و فازی موجود در تعیین پارامترهای مسئله، دو سناریو مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج ارائه شده در دو سطح کلان و عملیاتی نشان از قابلیت بسیار بالای مدل استوار فازی نسبت به مدل قطعی در پاسخگویی به عدم قطعیت موجود در پارامترهای مسئله و همچنین مدیریت سطح ریسک تصمیم دارد.

پور خطیر و همکاران [24] در سال 1396 در پژوهشی با در نظر گرفتن سیاست‌های کلی دانشگاه علوم پزشکی تهران از مدل‌های ریاضی در تخصیص بودجه به بیمارستان‌های زیرمجموعه، استفاده کرده و سپس با هدف پاسخگویی بهتر در مواجهه با شرایط نامطمئن، مدل را با بهره‌گیری از مباحث فازی و استواری، ایجاد کرده‌اند. همچنین برای تحلیل دقیق‌تر قابلیت‌های مدل استوار از شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده شده است.

اسدی و همکاران [25] در سال 1397 به ارائه یک مدل مکانیابی-تخصیص تسهیلات بحران با هدف کاهش هزینه در شرایط عدم قطعیت پرداخته‌اند. این مدل با در نظر گرفتن تقاضای پویا تا 72 ساعت پس از آغاز بحران، انبارهای تأسیس شده را به نقاط آسیب طبق سناریوهای مختلف تخصیص می‌دهد. در این پژوهش یک مدل مکان‌یابی لجستیک تک‌هدفه برای مکان انبارهای امداد مطمئن و نامطمئن و انبارهای پشتیبان ارائه شده است. مدل پیشنهادی بر روی مطالعه موردی زلزله در شهر تهران پیاده‌سازی شده است. سپس مسئله برای تعداد مختلف تسهیلات اجرا شده و تحلیل حساسیت و اعتبارسنجی صورت گرفته است. نتایج نشان می‌دهد مکان‌یابی انبارهای توزیع امداد و تخصیص مناطق براساس مدل پیشنهادی می‌تواند باعث بهبود امدادسانی شده و به مدیران جهت مقابله با بحران کمک نماید.

جدول زیر تفاوت بین پژوهش‌هایی که تاکنون در زمینه تخصیص خون و فرآورده‌های آن انجام شده و پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.

جدول 1 مقایسه پژوهش‌های انجام شده در زمینه تخصیص خون و فرآورده‌های آن با پژوهش حاضر

منبع	محدودیت‌ها	تابع هدف	نوع تقاضا	روش حل
	محدود بودن طول عمر فرآورده‌های خونی استفاده از روش FIFO در ارسال خون امکان تهیه خون از خارج سازمان	کمیته‌سازی میزان خون وارداتی کمیته‌سازی میزان اتلاف خون کمیته‌سازی میزان کیبود خون کمیته‌سازی هزینه‌های عملیاتی حداکثر کردن منافع کل (از طریق منافع اجتماعی)		
costos [3]	✓	✓	قطعی	برنامه‌ریزی ریاضی
Angelis & Storchii [4]	✓	✓	قطعی	برنامه‌ریزی چندهدفه
Tetteh [5]	✓	✓	قطعی	روش ابتکاری
Yue & Jun [6]	✓	✓	قطعی	روش ابتکاری
Adewumi, Budlender & Olusanya [7]	✓	✓	قطعی	الگوریتم ژنتیک
Kevin, Micheal & Aderemi [8]	✓	✓	قطعی	الگوریتم گرسپ
Micheal, Olusanya & Aderemi [9]	✓	✓	قطعی	مدل صف و الگوریتم کوله‌پشتی
Micheal, Olusanya & Aderemi [10]	✓	✓	قطعی	الگوریتم شبیه‌سازی تیریدی و الگوریتم جستجوی ممنوع
پژوهش حاضر	✓	✓*	تصادفی	برنامه‌ریزی تصادفی

مرور پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که هیچ‌یک از مدل‌ها، شرایط در نظر گرفته در پژوهش حاضر را به‌طور یکجا در نظر نگرفته‌اند. به عبارت دیگر، در هر یک از این مقالات تنها بعضی از این محدودیت‌ها یا اهداف پژوهش وجود دارد یا در شرایط دیگر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بنابراین، مدل حاضر با محدودیت‌ها و تابع هدفی که در ادامه می‌آید، برای اولین بار است که در حالت تصادفی ارائه می‌شود.

3- مدل‌سازی ریاضی

فرض می‌شود در مسئله این پژوهش یک سازمان انتقال خون وجود دارد که به n بیمارستان در قالب واحد کامل خون و فرآورده‌های تفکیک‌شده خونی بر اساس تقاضای آن‌ها و به‌صورت روزانه خون تخصیص می‌دهد. از طرفی، سازمان انتقال خون در هر روز مقداری خون به‌صورت رایگان توسط اهداکنندگان خون دریافت می‌کند و در صورتی که برای تخصیص خون به بیمارستان‌ها به خون بیشتری نیاز باشد، مقدار مورد نیاز را از خارج سازمان انتقال خون به‌طور رایگان دریافت می‌کند، اما هزینه حمل‌ونقل وجود دارد. خون اهدایی به 2 روز وقت برای انجام آزمون و تفکیک فرآورده‌های خونی نیاز دارد و در نتیجه، تازه‌ترین فرآورده‌خونی دارای طول عمر 3 روز است. فرض کنیم k نوع فرآورده‌خونی وجود دارد که از این به بعد خون کامل را هم برای یکسان شدن عبارات، فرآورده خونی نوع صفر در نظر می‌گیریم.

میزان تقاضای بیمارستان‌ها از هر نوع فرآورده خونی در ابتدای هر روز به صورت تقریبی از طرف بیمارستان‌ها به سازمان انتقال خون اعلام می‌شود و بیمارستان‌ها در صورتی که در طول روز به‌طور پیش‌بینی نشده‌ای با کمبود خون مواجه شوند، این کمبود را به سازمان انتقال خون اعلام می‌کنند و سازمان انتقال خون موظف است که این کمبود بیمارستان‌ها را جبران کند؛ بنابراین، فرض می‌کنیم در صورتی که مقدار تقاضای درخواستی بیمارستان‌ها در ابتدای صبح از موجودی سازمان انتقال خون بیشتر باشد، سازمان میزان کمبود را با سفارش خون به خارج از سازمان در جهت برآورده سازی تقاضا جبران می‌کند. اما در صورتی که این کمبود در طول روز اتفاق بیفتد، سازمان میزان کمبود بیمارستان را به مراکز خون خارج از

سازمان اعلام کرده و آن پایگاه‌ها میزان خون یا فرآورده خونی لازم را به بیمارستان مربوطه ارسال می‌کنند. لذا، این نوع کمبود مستقیماً وارد مدل مسئله نمی‌شود، اما از آنجا که انتقال خون مجدد مدت‌زمانی را به خود اختصاص می‌دهد و جان بیمار را با خطر روبرو می‌سازد، بنابراین هزینه کمبود خون هزینه بالایی است. از طرفی، میزان خون مازاد تخصیص‌یافته به بیمارستان‌ها در بانک خون بیمارستان‌ها انبار می‌شود و پس از منقضی شدن و عدم استفاده به سازمان انتقال خون بازگشت داده می‌شود و سازمان آن‌ها را از رده خارج می‌کند و هزینه اتلاف برای سازمان به بار می‌آورد. از این رو، سازمان می‌تواند با کاهش خون مازاد تخصیص‌یافته به صورت روزانه به بیمارستان‌ها از تجمع فرآورده‌های خونی در بانک خون آن‌ها کاسته و میزان اتلاف را به حداقل برساند. در نتیجه، هدف مسئله کمینه‌کردن هزینه‌های تهیه، کمبود و اتلاف فرآورده‌های خونی است؛ به طوری که محدودیت‌های مسئله نیز رعایت شوند. برای تعریف دقیق‌تر مسئله مورد بررسی، مفروضات زیر تعریف می‌شوند:

3-1- فرض‌های مسئله پژوهش

- 1- در انتهای روز، حجم خون اهدایی برای سازمان انتقال خون مشخص است.
- 2- در انتهای روز، میزان کمبود فرآورده‌های خونی بیمارستان‌ها بر اساس میزان سفارش ناگهانی آن‌ها به سازمان، مشخص است.
- 3- در انتهای روز میزان مازاد فرآورده‌های خونی بیمارستان‌ها بر اساس ثبت میزان واقعی مصرف آن‌ها و گزارش آن به سازمان مشخص است.
- 4- خون برای آزمون و تفکیک به اجزای خونی به 2 روز آزمایش نیاز دارد؛ در نتیجه، انواع فرآورده‌های خونی دارای طول عمری از 3 روز تا یک مقدار حداکثر هستند.
- 5- خون تهیه‌شده از خارج سازمان انتقال خون آماده و آزمون شده است.

3-2- پارامترهای مدل

در جدول زیر پارامترهای به‌کاررفته در مدل آورده شده است:

جدول 2 پارامترهای مدل

پارامترها	نماد	زیروند (اندیس) مرتبط با مجموعه
مجموعه فرآورده‌های خونی	J	$j \in J = \{1, 2, \dots, k\}$
تعداد فرآورده‌های خونی	k	
حداکثر طول عمر فرآورده خونی نوع z ام	L_j	
طول عمر فرآورده‌های خونی نوع z ام	l_j	
مجموعه بیمارستان‌ها	I	$i \in I = \{0, 1, \dots, n\}$
تعداد کل بیمارستان‌ها	n	
هزینه انتقال هر واحد خونی	C	
هزینه کمیود هر واحد فرآورده خونی نوع z ام	sh_j	
هزینه اتلاف هر واحد فرآورده خونی نوع z ام	w_j	
تقاضای تقریبی بیمارستان i ام از فرآورده خونی نوع z ام در ابتدای روز	d_{ij}	
تقاضای واقعی بیمارستان i ام از فرآورده خونی نوع z ام در انتهای روز	d_{ij}^s	
میزان موجودی فرآورده خونی نوع z ام با طول عمر l روز در بانک خون سازمان انتقال خون	β_{ij}	
مجموع سناریوها	S	$s \in S = \{1, \dots, \varepsilon\}$
تعداد سناریوها	ε	
احتمال رخداد هر سناریو	p^s	

3-3- متغیرهای مدل

از آنجاکه میزان تقاضای خون و فرآورده‌های آن یک پارامتر تصادفی است و بسته به شرایط و تعداد بیماران و ... می‌تواند متفاوت باشد، بنابراین در واقعیت با یک برنامه‌ریزی تصادفی سروکار داریم؛ لذا در این مسئله، از مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای برای فرمول‌بندی مسئله استفاده می‌کنیم. برای مدل‌سازی مسئله در این حالت، فرض می‌کنیم مجموعه S شامل سناریوهای مختلف برای میزان تقاضای بیمارستان‌ها از فرآورده‌های خونی باشد و $s \in S$ نشان دهنده یک سناریو و p^s احتمال مربوط به سناریوی s ام باشد. در این صورت، متغیرهای تصمیم مرحله‌ی اول و دوم به شرح زیر هستند:

متغیرهای تصمیم مرحله‌ی اول:

x_j : میزان فرآورده خونی نوع z ام که توسط سازمان انتقال خون به خارج از سازمان سفارش داده می‌شود؛

y_{ijl} : حجم فرآورده خونی نوع j ام با طول عمر l روز که از سازمان انتقال خون به بیمارستان i ام تخصیص می‌یابد؛
 متغیرهای تصمیم مرحله دوم؛
 z_{ij}^s : میزان کمبود کل فرآورده خونی نوع j ام در انتهای روز در بیمارستان i ام در سناریوی s ام؛
 r_{ij}^s : میزان مازاد کل فرآورده خونی نوع j ام در انتهای روز در بیمارستان i ام در سناریوی s ام.

3-4- مدل ریاضی

$$\text{Min} \sum_{s \in S} p^s (\sum_{j \in J} cx_j + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} sh_j z_{ij}^s + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} w_j r_{ij}^s)$$

$$x_j + \sum_{l=3}^{L_j} \beta_{jl} \geq \sum_{i \in I} d_{ij} \quad \forall j \in J \quad (1)$$

$$\sum_{l=3}^{L_j} y_{ijl} \geq d_{ij} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (2)$$

$$y_{ijl} \geq y_{ij(l-1)} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall l \in \{4, \dots, L_j\} \quad (3)$$

$$\sum_{l=3}^{L_j} y_{ijl} + z_{ij}^s - r_{ij}^s = d_{ij}^s \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall s \in S \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n y_{ijl} \leq x_j + \beta_{jl} \quad \forall j \in J, l = 3 \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n y_{ijl} \leq \beta_{jl} \quad \forall j \in J, \forall l \in \{4, \dots, L_j\} \quad (6)$$

$$x_j \geq 0 \text{ \& int} \quad \forall j \in J \quad (7)$$

$$y_{ijl} \geq 0 \text{ \& int} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall l = 3, \dots, L_j \quad (8)$$

$$z_{ij}^s \geq 0 \text{ \& int} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall s \in S \quad (9)$$

$$r_{ij}^s \geq 0 \text{ \& int} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall s \in S \quad (10)$$

تابع هدف مدل کمینه‌کردن هزینه کل تهیه و کمبود و اتلاف انواع فرآورده‌های خونی در سازمان انتقال خون است. محدودیت اول بیان‌کننده این است که مجموع میزان فرآورده خونی نوع z_{am} در دریافتی از خارج سازمان و میزان موجودی فرآورده خونی نوع z_{am} در سازمان انتقال خون باید بزرگتر مساوی مجموع تقاضای تقریبی بیمارستان‌ها باشد. محدودیت دوم بیان‌کننده این است که میزان کل فرآورده خونی تخصیص‌یافته نوع z_{am} به بیمارستان i ام در ابتدای روز باید از نیاز تقریبی آن بیمارستان به این فرآورده بزرگتر یا مساوی آن باشد. محدودیت سوم بیان‌کننده تخصیص خون به بیمارستان‌ها به صورت FIFO است. محدودیت چهارم میزان کمبود و اتلاف‌خون را در هر سناریو در قالب یک محدودیت آرمانی که میزان تخصیص خون را برابر با تقاضای بیمارستان قرار می‌دهد، محاسبه می‌کند. محدودیت پنجم بیان‌کننده آن است که به ازای هر فرآورده تازه (با طول عمر 3 روز)، میزان خون تخصیص داده‌شده به بیمارستان‌ها باید کمتر یا مساوی مقدار سفارش داده‌شده به خارج سازمان و مقدار موجودی آن باشد. محدودیت ششم بیان‌کننده محدودیت موجودی (برای فرآورده‌های با طول عمر بالاتر که فقط از داخل سازمان تأمین می‌شوند) است. محدودیت هفتم تا دهم نیز تعریف متغیرها را نشان می‌دهند.

این مطالعه به لحاظ هدف، در قالب پژوهش‌های کاربردی و به لحاظ روش پژوهش، در زمره پژوهش‌های کمی است. تیم خبرگان این پژوهش را 7 نفر از مدیران و مسئولان سازمان انتقال خون و بانک خون بیمارستان‌های استان یزد تشکیل داده‌اند که در بیان محدودیت‌ها و اهداف و پارامترهای مدل از نظرات ایشان استفاده شده است.

4- نتایج محاسباتی

در اینجا ابتدا به معرفی یک مسئله واقعی پرداخته می‌شود و سپس نتایج به دست آمده از حل مدل بر اساس این داده‌ها ارائه خواهند شد.

4-1- داده‌های یک مسئله واقعی

اجرای مدل بر روی سازمان انتقال خون شهر یزد انجام شده و 19 بیمارستان موجود در آن در نظر گرفته شده‌اند. در این مقاله برای اجرای مدل بر روی دو فرآورده خونی پلاکت و گلبول قرمز خون به دلیل ویژگی فسادپذیری و تقاضای زیاد آن‌ها تمرکز شده و مدل مسئله به وسیله نرم‌افزار ILOGCPLEX 12.6.1 در محیط نرم‌افزاری Microsoft Visual Studio اجرا و حل شده است.

به منظور بررسی کارایی مدل تصادفی دو مرحله‌ای طراحی شده، برای هر یک از فرآورده‌های پلاکت و گلبول قرمز خون ده سناریو مختلف از میزان تقاضا در نظر گرفته و در نهایت، مدل تصادفی حل شد. گفتنی است سناریوهای در نظر گرفته شده در مدل تخصیص، با توجه به اطلاعات دریافت شده از تقاضای بیمارستان‌های مورد مطالعه از سازمان انتقال خون است؛ این اطلاعات مربوط به دو ماه آن سازمان است. در این پژوهش با در نظر گرفتن کمترین، متوسط و بیشترین مقدار نیاز از هر فرآورده خونی در هر بیمارستان، ترکیبات مختلفی از آن‌ها به عنوان سناریوهای مختلف می‌بایست در نظر گرفته شود. اگر هر یک از دو فرآورده پلاکت و گلبول قرمز تنها یکی از سه حالت کم، متوسط یا زیاد را به خود بگیرد (صرف نظر از اعدادی که در خود این بازه‌ها می‌تواند داشته باشد) با توجه به تعداد بیمارستان‌ها که 19 عدد هستند، تعداد سناریوها برابر 338 حالت است که در اینجا با توجه به تعداد زیاد آن‌ها، به عنوان نمونه 10 سناریو به صورت تصادفی در نظر گرفته شده است. جدول

طراحی مدل تخصیص فرآورده‌های خونی در ... _____ محبوبه زارع زاده و همکاران

3 و 4 نشان دهنده سناریوها و میزان تقاضای موردبررسی برای هر یک از فرآورده‌های پلاکت و گلبول قرمزخون در هر بیمارستان است.

جدول 3 میزان تقاضاهای مختلف از فرآورده پلاکت در سناریوهای مختلف

بیمارستان	سناریو 1	سناریو 2	سناریو 3	سناریو 4	سناریو 5	سناریو 6	سناریو 7	سناریو 8	سناریو 9	سناریو 10
1	1	5	0	7	1	1	3	5	0	1
2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
3	1	0	0	0	3	0	4	0	0	1
4	3	4	5	4	10	5	15	2	0	5
5	3	0	0	0	4	7	5	2	7	0
6	2	5	4	0	0	3	0	0	3	2
7	5	2	0	0	2	2	0	4	2	0
8	0	5	0	0	10	8	0	0	5	0
9	0	0	0	2	3	0	3	0	0	4
10	1	0	0	0	2	2	10	5	6	6
11	1	2	1	5	0	2	0	5	2	6
12	5	0	0	0	1	2	1	20	2	1
13	0	0	10	3	10	0	0	0	0	3
14	4	1	0	0	3	0	5	0	5	1
15	2	5	5	0	0	2	0	0	2	0
16	0	2	2	5	0	0	5	0	0	0
17	0	2	1	2	2	0	4	5	0	2
18	10	2	0	0	4	3	2	4	3	0
19	2	0	0	0	0	0	10	2	0	1

جدول 4 میزان تقاضاهای مختلف از فرآورده کلبول قرمز در سناریوهای مختلف

سناریو 10	سناریو 9	سناریو 8	سناریو 7	سناریو 6	سناریو 5	سناریو 4	سناریو 3	سناریو 2	سناریو 1	بیمارستان
5	0	3	0	0	3	2	2	0	5	1
10	3	3	2	3	3	4	10	3	3	2
0	10	3	4	4	3	5	7	5	0	3
0	4	10	5	4	10	4	5	10	4	4
4	15	5	10	4	5	0	4	0	15	5
5	2	6	9	12	6	10	5	0	2	6
15	10	8	2	1	8	0	5	2	10	7
5	4	5	2	5	5	2	5	2	4	8
2	0	6	0	1	6	0	2	0	0	9
5	0	7	2	2	7	4	0	5	0	10
0	1	6	2	1	6	0	0	2	1	11
5	0	3	5	15	3	2	3	0	5	12
5	5	4	2	1	4	0	0	1	1	13
0	7	10	10	10	10	2	3	5	5	14
10	0	5	0	4	5	5	10	0	10	15
4	0	3	3	0	3	20	4	0	0	16
15	5	5	7	0	5	6	0	20	0	17
0	4	3	0	0	3	4	0	0	4	18
3	5	0	0	0	3	4	3	8	1	19

در این روش برای سادگی، احتمال وقوع هر سناریو بنا بر تعداد سناریوهای در نظر گرفته شده، به اندازه یک دهم منظور شد.

5- اعتبارسنجی و تحلیل حساسیت

در این قسمت، در ابتدا اعتبارسنجی مدل، سپس تحلیل حساسیت پارامترها و همچنین تحلیل حساسیت احتمال سناریوها بررسی شده است.

5-1- اعتبارسنجی مدل

برای اعتبارسنجی مدل، مدل تصادفی با حالتی که میانگین داده‌ها به‌عنوان تخمینی از آن‌ها به‌صورت قطعی وارد مدل شود، مورد مقایسه قرار گرفته و نتایج در جدول زیر آورده شده است:

جدول 5 نتایج اعتبارسنجی مدل

	میزان کل کمبود	میزان کل مازاد	میزان کل سفارش خون از خارج سازمان	میزان تابع هدف	
				مقدار تابع هدف	درصد تغییرات
حالت قطعی	135	10822	32	6758700	+20%
جواب فعلی	117	10964	32	5632250	

همان‌طور که ملاحظه می‌کنید مقدار تابع هدف در حالت قطعی نسبت به مقدار تابع هدف در حالت تصادفی 20% افزایش یافته است. از طرفی اگر برای مقایسه پذیری بیشتر، تابع هدف مشترکی را مدنظر قرار دهیم یا به عبارتی جواب مدل در حالت قطعی را در نظر گرفته و جواب متغیرهای آن را با در نظر گرفتن 10 سناریوی موجود در تابع هدف تصادفی قرار دهیم، آنگاه مقدار تابع هدف به‌دست‌آمده برابر 7159200 خواهد بود که نسبت به مقدار تابع هدف مدل تصادفی 27% افزایش یافته است.

5-2- تحلیل حساسیت پارامترها

در جداول زیر به تحلیل حساسیت پارامترهای مدل پرداخته شده است:

جدول 6 تحلیل حساسیت پارامتر هزینه کمبود

میزان کاهش یا افزایش در هزینه کمبود	ضریب جریمه کمبود	میزان کل کمبود		میزان تابع هدف	
		مقدار کل کمبود	درصد تغییرات	مقدار تابع هدف	درصد تغییرات
+15%	8625	117	0	5645412	+0/23%
+30%	9750	117	0	5658575	+0/47%
+45%	10875	117	0	5671737	+0/70%
+60%	12000	110	-5/98%	5683800	+0/92%
+75%	13125	110	-5/98%	5688250	+0/99%
+90%	14250	110	-5/98%	5702700	+1/25%
-15%	6375	117	0	5618637	+0/24%
-30%	5250	120	+3/42%	5605025	-0/48%
-45%	4125	126	+7/69%	5590975	-0/73%
-60%	3000	126	+7/69%	5576800	-0/98%
-75%	1875	126	+7/69%	5562625	-1/24%
-90%	750	127	+8/55%	5548050	-1/5%
جواب فعلی	7500	117		5632250	

همان‌طور که در جدول 6 ملاحظه می‌شود هر چه ضریب هزینه کمبود افزایش می‌یابد، میزان متغیر کمبود رو به کاهش است و هر چه ضریب هزینه کمبود کاهش می‌یابد، بر میزان متغیر کمبود افزوده می‌شود. همچنین با افزایش و کاهش این ضریب، مقدار تابع هدف نیز افزایش و کاهش یافته است. همان‌طور که در جدول دیده می‌شود، حداکثر حساسیت متغیر کمبود به ضریب جریمه آن در تابع هدف برابر 8/55 درصد و حداکثر میزان تغییر تابع هدف برابر 1/5 درصد است. با توجه به پایین بودن این ارقام می‌توان گفت مدل حساسیت بالایی به تغییر در ضریب جریمه کمبود ندارد.

جدول 7 تحلیل حساسیت پارامتر هزینه اتلاف

میزان کاهش یا افزایش در هزینه اتلاف	ضریب جریمه اتلاف	میزان کل مازاد		میزان تابع هدف	
		مقدار کل مازاد	درصد تغییرات	مقدار تابع هدف	درصد تغییرات
+15%	5750	10880	-0/77%	5641150	+0/16%
+30%	6500	10880	-0/77%	5655025	+0/40%
+45%	7250	10880	-0/77%	5699291	+1/19%
+60%	8000	10905	-0/54%	5701150	+1/22%
+75%	8750	10822	-1/29%	5768307	+2/41%
+90%	9500	10827	+1/25%	5845938	+3/8%
-15%	4250	10967	+0/03%	5629540	-0/05%
-30%	3500	10991	+0/25%	5604950	-0/48%
-45%	2750	10925	-0/36%	5598731	-0/60%
-60%	2000	11045	+0/74%	5537900	-1/67%
-75%	1250	11045	+0/74%	5512290	-2/13%
-90%	500	11047	+0/76%	5392450	-4/26%
جواب فعلی	5000	10964		5632250	

با چشم‌پوشی از بعضی پراکندگی‌ها (نویزها)، همان‌طور که در جدول 7 ملاحظه می‌شود هر چه ضریب هزینه اتلاف افزایش می‌یابد، میزان متغیر مازاد رو به کاهش است و هر چه ضریب هزینه اتلاف کاهش می‌یابد، بر میزان متغیر مازاد افزوده می‌شود. همچنین با افزایش و کاهش این ضریب، مقدار تابع هدف نیز افزایش و کاهش یافته است. همان‌طور که در جدول دیده می‌شود، حداکثر حساسیت متغیر مازاد به ضریب جریمه آن در تابع هدف برابر $1/29$ درصد و حداکثر میزان تغییر تابع هدف برابر $4/26$ درصد است. با توجه به پایین بودن این ارقام می‌توان گفت مدل حساسیت چندانی به تغییر در ضریب جریمه مقدار مازاد ندارد.

جدول 8 تحلیل حساسیت پارامتر هزینه سفارش خون از خارج سازمان

میزان کاهش یا افزایش در هزینه سفارش	ضریب جریمه سفارش	میزان کل متغیر سفارش خون از خارج سازمان		میزان تابع هدف	
		مقدار سفارش	درصد تغییرات	مقدار تابع هدف	درصد تغییرات
+30%	8125	32	0	5638250	+0/11%
+45%	9062	32	0	5641248	+0/16%
+60%	10000	32	0	5644250	+0/21%
+75%	10937	32	0	5647248	+0/27%
+90%	11875	32	0	5650250	+0/32%
-15%	5312	32	0	5629248	-0/05%
-30%	4375	32	0	5626250	-0/11%
-45%	3437	32	0	5623248	-0/16%
-60%	2500	32	0	5620250	-0/21%
-75%	1562	32	0	5617248	-0/27%
-90%	625	32	0	5614250	-0/32%
جواب فعلی	6250	32		5632250	

همان‌طور که در جدول 8 ملاحظه می‌شود، با اینکه ضریب هزینه سفارش افزایش یا کاهش یافته است، اما میزان متغیر مربوط به سفارش خون از خارج سازمان 32 است و تغییری نکرده است. علت عدم تغییر این متغیر آن است که متغیر سفارش خون از خارج سازمان، متغیری است که نیاز اعلام شده بیمارستان‌ها در ابتدای صبح را با توجه به میزان موجودی سازمان تأمین می‌کند. از آنجاکه تأمین نیاز گزارش شده بیمارستان‌ها ضروری است و از طرفی، مسئله کمینه‌سازی است، بنابراین در جواب بهینه، همواره کمترین مقدار ممکن برای این متغیر تخصیص می‌یابد. اما واضح است که با افزایش و کاهش ضریب هزینه سفارش، مقدار تابع هدف نیز افزایش و کاهش یافته است. همان‌طور که در جدول دیده می‌شود، حداکثر میزان تغییر تابع هدف برابر 0/32 درصد است. با توجه به عدم تغییر متغیر سفارش خون از خارج سازمان و همچنین پایین بودن میزان تغییر در تابع هدف می‌توان گفت مدل حساسیت چندانی به تغییر در ضریب جریمه مقدار سفارش ندارد.

3-5- تحلیل حساسیت احتمال سناریوها

در اجرای مدل، احتمال برآورد هر سناریو یک دهم در نظر گرفته شده است، اما در اینجا به سبب تحلیل حساسیت این پارامتر، برای 5 مرتبه سناریوها را با احتمال‌های تصادفی (و با مجموع یک) اجرا کرده و مقادیر متغیرها و مقدار تابع هدف در جدول زیر گزارش شده‌اند. در ستون آخر جدول، احتمال سناریوها و جواب فعلی مدل آورده شده است.

جدول 9 تحلیل حساسیت احتمال سناریوها

	احتمال سناریوها در اجرای اول	احتمال سناریوها در اجرای دوم	احتمال سناریوها در اجرای سوم	احتمال سناریوها در اجرای چهارم	احتمال سناریوها در اجرای پنجم	اجرای فعلی
سناریو 1	0/3	0/08	0/1	0/1	0/6	0/1
سناریو 2	0/1	0/05	0/06	0/1	0/02	0/1
سناریو 3	0/04	0/06	0/2	0/02	0/03	0/1
سناریو 4	0/1	0/02	0/3	0/08	0/01	0/1
سناریو 5	0/05	0/1	0/04	0/2	0/05	0/1
سناریو 6	0/02	0/2	0/05	0/1	0/04	0/1
سناریو 7	0/2	0/05	0/1	0/02	0/03	0/1
سناریو 8	0/04	0/2	0/05	0/1	0/02	0/1
سناریو 9	0/05	0/2	0/05	0/08	0/1	0/1
سناریو 10	0/1	0/04	0/05	0/2	0/1	0/1
میزان کل کمبود	116	118	115	115	117	117
میزان کل مازاد	10302	11700	10310	10830	11900	10964
میزان کل سفارش	32	32	32	32	32	32
مقدار تابع هدف	5606905	5681814	5604089	5626054	5685814	5632250
درصد تغییرات	-0/45%	+0/88%	-0/50%	-0/11%	+0/59%	

همان‌طور که در جدول ملاحظه می‌کنید، در بعضی از موارد مقدار متغیرهای کمبود و مازاد و تابع هدف افزایش و در برخی موارد کاهش یافته است. اما مقدار متغیر سفارش از خارج از سازمان به دلیل اینکه متغیر مرحله اول است و وابسته به سناریوها نیست، ثابت باقی مانده است. به‌طور کل با توجه به جدول دیده می‌شود که تغییر تابع هدف در تمام حالات کمتر از یک درصد است که قابل چشم‌پوشی است و می‌توان گفت مدل به احتمال در نظر گرفته‌شده برای سناریوها حساسیت چندانی ندارد.

6- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای به منظور تخصیص فرآورده‌های خونی از سازمان انتقال خون به بیمارستان‌ها ارائه شد. این مدل با تصادفی در نظر گرفتن میزان تقاضای فرآورده‌های خونی، طراحی شده که در آن هدف مسئله کمینه‌سازی هزینه تهیه، هزینه اتلاف و هزینه کمبود فرآورده‌های خونی است. مدل ارائه‌شده بر روی یک مطالعه موردی واقعی در شهر یزد اجرا و با روش برنامه‌ریزی تصادفی حل شد. مقدار تابع هدف جواب حاصل از حل مدل تصادفی بر اساس ده سناریو برابر با 5632250 حاصل شد. در این پژوهش، تحلیل حساسیت هر سه پارامتر (هزینه کمبود، هزینه اتلاف و هزینه سفارش خون از خارج سازمان) با میزان تغییرات 15 تا 90 درصد صورت گرفت. با توجه به پایین بودن میزان تغییرات تابع هدف، می‌توان گفت مدل حساسیت چندانی به تغییر در ضرایب جریمه ندارد. همچنین در تحلیل حساسیت احتمال سناریوها، میزان تغییر تابع هدف در تمام حالات کمتر از یک درصد است که قابل چشم‌پوشی است و می‌توان گفت مدل به احتمال در نظر گرفته‌شده برای سناریوها نیز حساسیت چندانی ندارد.

در سازمان انتقال خون، کارشناس انتقال خون براساس تجربه خود فرآورده‌ها را در ابتدای هرروز بنا به درخواست بیمارستان‌ها و مراکز درمانی تخصیص می‌دهد. در این پژوهش، جواب تخصیص دستی کارشناس از لحاظ صدق‌کردن در محدودیت‌ها بررسی و جواب، در محدودیت‌ها صدق نکرد. این مسئله نشان‌دهنده خطای انسانی در این امر خطیر است.

از طرفی بنا به احتمال وقوع سناریوهای گوناگون، برنامه‌ریزی دستی ممکن است نتواند جوابی باکیفیت تولید کند. اما از آنجا که مسئله کمبود فرآورده‌های خونی جان انسان‌ها را تهدید می‌کند و مازاد و اتلاف آن‌ها نیز این فرآورده‌های ضروری را که با نیت خیر انسانی به سازمان اهدا شده است، به هدر می‌دهد، بنابراین استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی که هم محدودیت‌ها را در نظر می‌گیرد و هم جوابی باکیفیت بر مبنای سناریوهای مختلف ارائه می‌دهد، ضروری است.

در خروجی مدل و در نتایج، دیده شد که میزان اتلاف فرآورده‌های خونی نسبت به میزان کمبود و سفارش خون از خارج سازمان بیشتر است؛ در نتیجه باید راهکار و راهبردی برای حدود میزان تقاضای ابتدای صبح بیمارستان‌ها ارائه شود تا میزان اتلاف کاهش یابد.

اضافه‌نمودن برنامه‌ریزی برای روزهای خاص سال (ایام تعطیل و ایام ماه رمضان) که میزان اهداکنندگان کاهش می‌یابد، می‌تواند در تحقیقات آتی موردتوجه قرار گیرد. همچنین از آنجا که مسئله تخصیص خون و فرآورده‌های آن جزو مسائل NP-Hard است [9]، پیشنهاد می‌شود که در مطالعات بعدی برای حل مسائل با سایز بزرگ از ترکیب روش‌های متاهوریستیک برای حل مسئله استفاده شود.

7- تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از مسئولان و کارکنان سازمان انتقال خون یزد که در امر این پژوهش همکاری لازم را نموده‌اند، تقدیر و تشکر نمایند. همچنین این مقاله مستخرج از رساله دکتری (طرح پژوهشی شماره 3 مصوب دانشگاه فردوسی مشهد با کد 40674) است که بدین‌وسیله مراتب تقدیر و تشکر اعلام می‌شود.

8- منابع

- [1] J. Beliën, and H. Forcé, "Supply chain management of blood products: A literature review", *Operational Research*, vol.217,no. 1, pp. 1–16,2012.

- [2] Sh. Mehrvarz, A. Fanaei, and H. Mohebi, "Preservation and consumption of blood in abdominal surgery", *Blood Research Quarterly*, vol.7, no. 1, pp. 41-47,2010.
- [3] S. Costas, "Allocating blood to hospitals from a central blood bank", *European Journal of Operational Research*, vol.16, pp. 157-162,1984.
- [4] D.V. Angelis, N. Ricciardi, and G. Storchi, " Optimizing blood assignment in a donation-transfusion system", *Intl. Trans. in Op. Res*, vol. 8, pp. 183-192, 2001.
- [5] G.A. Tetteh, "Optimal allocation of blood products", *Interdisciplinary Program in Transportation Engineering*, thesis of Doctor of Philosophy in Transportation Engineering, 2008.
- [6] SH. Yue, and H. Jun, "The Multi-period location-allocation problem of engineering emergency blood supply systems", *Systems Engineering Procedia*, vol.5, pp. 21 – 28, 2012.
- [7] A.Adewumi, N. Budlender, and M. Olusanya, "Optimizing the assignment of blood in a blood banking system: Some initial result", *IEEE World Congress on Computational Intelligence, Brisbane, Australia*, pp. 10-15, 2012.
- [8] Kevin, O. Micheal, and A. Aderemi, "On the performance of GRASP and dynamic programming for the blood assignment problem", *Global Humanitarian Technology Conference*, vol.22, no. 3, pp.110-122, 2013.
- [9] O. Micheal, M. Olusanya, M.Arasomwan, and O. Aderemi, "Particle swarm optimization for optimizing assignment of blood in banking system", *Computational and Methematical Methods in Medicine*, vol.33, no.12, pp. 173-189, 2014.
- [10] O. Micheal, M. Olusanya, and O. Aderemi, "Using metaheuristic techniques to optimize the blood assignment problem" *International Advance Computing Conference*, pp.1-12, 2015.
- [11] K. Katsaliaki, and S.C. Brailsford, "Using simulation to improve the blood supply chain", *Journal Of The Operational Research Society*, vol.58, no.2, pp. 219-227, 2007.

- [12] P. Ghandforoush, P. and C.K. Sen, “A DSS to manage platelet production supply chain for regional blood center”, *Decision Support System*, vol.50, no.1, pp. 32-42, 2010.
- [13] Nagurney, A.H. Masoumi, and M. Yu, “Supply chain network operations management of a blood banking system with cost and risk minimization” *Computational Management Science*, vol.9, no.2, pp. 205–231, 2012.
- [14] S. Filho, M. Carvalho, W. Cezarino, R. Silva, and G. salviano, “Demand forecasting for blood components distribution of a blood supply chain”, *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 46, no.24, 565-571, 2013.
- [15] A. Jabbarzadeh, B. Fahimnia, and S. Seuring, “Dynamic supply chain network design for the supply of blood in disasters: A robust model with real world application”, *Transportation Research*, vol.70(c), pp. 225–244, 2014.
- [16] I. Vananya, A. Maryania, B. Amaliahb, F. Rinaldy, and A. Muhammad, “Blood traceability system for indonesian blood supply chain”, *Industrial Engineering and Service Science, Procedia Manufacturing*, vol.4, pp. 535-542, 2015.
- [17] S.M. Zahraee, J.M. Rohani, A. Firouzi, and A. Shahpanah, “Efficiency improvement of blood supply chain system using taguchi method and dynamic simulation”, *2nd International Materials, Industrial, and Manufacturing Engineering Conference, Bali Indonesia*, vol.2, pp. 1-5, 2015.
- [18] S. Gunpinar, S. and G. Centeno, “Stochastic integer programming models for reducing wastages and shortages of blood products at hospitals”, *Computers & Operation Research*, vol.54, pp. 129-141, 2015.
- [19] H. Heidari, and S. Pasandideh, “Modeling and solving a blood supply chain network: An approach for collection of blood”, *International journal of Supply and Operations Management*, vol.4, no. 2, pp. 158-166, 2017.
- [20] M. Eskandari, R. Tavakolimoghadam, A.A. Taleizadeh, and S. Hassanzadehamin, “Designing and optimizing a sustainable supply chain network for a blood platelet bank under uncertainty”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol.71, pp. 236-250, 2018.

- [21] M. Araghi, and K. Eshghi, “A Meta-algorithm for solving a random allocation problem” *Sharif Scientific and Research Journal*, vol.45, pp. 3-12, 2008.
- [22] A. Ghorbani, Z. Najiazimi, and M. Salari, “ The expanded problem solving of employee allocation in uncertainty” *Eighth International Conference of the Iranian Association for the Study of Opportunities. Mashhad, Ferdowsi university of mashhad*, pp.1-9, 2015.
- [23] A. Azar, M.R. Amini, and P. Ahmadi, “ Robust fuzzy performance based budgeting model an approach to managing the budget allocation risk (case study: Tarbiat Modares university)”, *Management Research in Iran*, vol.17, no. 4, pp. 65-95,2014.
- [24] M.Vi. Pourkhatir, A. Azar, and M.R. Amini, “Developing performance based budgetin model: Organizational excellence approach”, *Management Research in Iran*, vol. 21, no.2, pp. 179-198, 2018.
- [25] M. Asadi, M.A. Shafia, and S. Yaghoubi, “A disaster facilities location-allocation model considering reliability under uncertainty and dynamic demand (Case Study: Earthquake disaster in Tehran)”, *Modern Researches in Decision Making*, vol.3, no.1, pp. 1-28, 2018.