

## کاهش هزینه‌های اتلاف و کمبود فرآورده‌های مختلف خونی بیمارستان‌ها با در نظر گرفتن سازگاری گروه‌های گوناگون

مهدی یوسفی نژاد عطاری\*، سید حمیدرضا پسندیده\*\*، افسانه آقایی\*\*\*،

سید تقی اخوان نیاکی\*\*\*\*

تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۹

تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۱۲

### چکیده

مدیریت زنجیره تامین خون، یکی از اجزای اصلی سیستم سلامت هر کشور محسوب می‌گردد. این زنجیره از دو جزء جمع آوری خون اهدا کنندگان و عرضه فرآورده‌های خون تشکیل شده است. این مقاله با تمرکز روی موضوع عرضه فرآورده‌های مختلف خون، سعی در ارائه یک مدل ریاضی جهت کاهش هزینه‌های اتلاف و کمبود موجودی فرآورده‌های خونی بیمارستان‌ها دارد. در این مدل ضمن برآورده ساختن نیازهای بیمارستان‌ها در گروه‌های مختلف خون هزینه‌های موجودی بیمارستان‌ها مدنظر قرار گرفته است. بدین منظور یک مدل ریاضی تصادفی با هدف کاهش هزینه‌های اتلاف، تامین و کمبود ارائه شده است. مدل ریاضی در ۵ بیمارستان تحت پوشش پایگاه انتقال خون آذربایجان شرقی پیاده سازی شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد بیمارستان‌ها ترجیح می‌دهند با توجه به هزینه بالای کمبود گروه‌های مختلف خونی، دچار کمبود نشوند، لذا هزینه‌های اتلاف را بپردازند. با توجه به سازگاری گروه‌های مختلف خون هزینه‌های تامین فرآورده گلبول قرمز ۱۸٪ کاهش یافته و موجودی گروه خونی O+ نیز جهت سازگاری با سایر گروه‌های خونی کاهش یافته است.

**واژگان کلیدی:** زنجیره تامین خون، گلبول قرمز متراکم، سازگاری گروه‌های خونی، پایگاه انتقال خون

\* گروه مهندسی صنایع، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، ایران

\*\* دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه خوارزمی (نویسنده مسئول)

E-Mail: Shr\_pasandideh@khu.ac.ir

\*\*\* مرکز تحقیقات انتقال خون، موسسه عالی آموزشی و پژوهشی طب انتقال خون، تهران، ایران

\*\*\*\* گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

## مقدمه

بیمارستان‌ها فرآورده‌های خون را به آسیب دیدگان سوانح یا بیماران دارای عمل جراحی، بیماران نیازمند پیوند عضو، بیماران دارای سرطان خون یا سایر بیماری‌ها انتقال می‌دهد. تقاضا برای محصولات خون همواره وجود دارد و این تقاضا نمی‌تواند از قبل با قطعیت مشخص گردد. بنابراین داشتن یک سیستم بانک خون با موجودی کافی از خون تازه در دسترس یکی از مولفه‌های کلیدی در تمامی سیستم‌های سلامت در دنیا است (ناگرنی و همکاران، ۲۰۱۲). طبق گزارش منتشر شده توسط صلیب سرخ ایالات متحده آمریکا در شرایط عادی در هر دو ثانیه یک نفر نیاز به خدمت انتقال خون دارد. انتقال خون آمریکا برای ارائه خدمت روزانه به بیش از ۳۹۰۰۰ اهدا کننده نیاز دارد و در اغلب گزارش‌ها نیز اعلام می‌شود که موجودی خون تا ۲ روز دیگر تمام می‌شود. در سال ۲۰۱۲ موجودی خون آمریکا به پایین‌ترین سطح ممکن در عرض ۱۵ سال گذشته رسید (گولدفارب، ۲۰۱۳). در ایران در هر سه ثانیه یک بیمار نیاز به خون یا فرآورده‌های خونی دارد. سازمان انتقال خون نیز سعی دارد در تامین موجودی کافی برای شرایط عادی و اضطراری دارد، هر مرکز در انتقال خون ایران حداقل باید به اندازه مصرف پنج روز خون داشته باشد. بنابراین دسترس پذیری خون یکی از نیازمندی‌های کلیدی در این سازمان می‌باشد. مساله دسترس پذیری خون برای هر یک از گروه‌های خونی و فرآورده‌ها می‌تواند متفاوت باشد؛ به عنوان مثال در ایران در گروه‌های خونی منفی با کمبود وجود دارد.

چالش اصلی محصولات فاسدشدنی در مدیریت موجودی و دسترس پذیری آن‌ها در مقابل اتلاف ناشی از منقضی شدن تاریخ است (ناهیماس، ۲۰۱۱). خون نیز یکی از محصولات فاسدشدنی است بنابراین مسئله مدیریت موجودی خون زیرمجموعه‌ای از مسئله موجودی فاسدشدنی است. ناهیماس<sup>۱</sup> مدعی شده است که علاقه و انگیزه محققین به مسائل موجودی فاسدشدنی در ابتدا از مساله مدیریت بانک خون جرقه زده است. اما مساله موجودی خون

---

1. Nahmias

دارای پیچیدگی‌هایی مانند خون تخصیص یافته و تخصیص نیافته است که منجر می‌شود تا مدل‌های عمومی از تئوری محصولات فاسدشدنی به راحتی قابل اعمال در این مسئله نباشند. از یک سو کمبود خون برای بیماری که نیاز فوری به خون دارد غیرقابل تصور است و از سوی دیگر موجودی اضافی خون نیز منجر به تحمیل هزینه‌های غیرضروری به سیستم سلامت می‌شود (استینجر و همکاران، ۲۰۱۲). بنابراین چالش میان دو هدف، نگهداری سطح بهینه موجودی جهت جلوگیری از کمبود و کمینه سازی ضایعات، همواره یکی از دغدغه‌های موجود در سازمان‌های انتقال خون به شمار می‌رود.

نکته اساسی در زنجیره تامین خون از دیدگاه یک خدمت، مدیریت هزینه است. هزینه خون به صورت کلی وابسته به گامهایی است که برای تحویل واحد خون می‌بایست انجام شود، هرچه این گام‌ها بیشتر و پیچیده تر باشد، هزینه این خدمت نیز افزایش می‌یابد. (شاندر و همکاران، ۲۰۰۷).

هزینه هر واحد گلبول قرمز خون در آمریکا در طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷ به میزان ۶٫۴٪ افزایش داشته است که این مساله توجه به مصرف درست خون را افزایش می‌دهد. در بسیاری از کشورها بیمارستان‌ها، ۹۰٪ از هزینه خسارت بابت خونهای منقضی شده را پرداخت می‌کنند؛ در نتیجه بیشترین استرس و فشار هزینه برای بیمارستان‌ها است (چن، ۲۰۱۰). در حالی که در ایران، خون و فرآورده‌های خونی به صورت رایگان میان بیمارستان‌ها توزیع می‌شوند و در نتیجه بیمارستان‌ها تعهد لازم را برای مدیریت بهینه مصرف خون ندارند؛ البته بیمارستان‌ها هزینه خون تزریق شده به بیمار را در خدمت ارائه شده محسوب می‌کنند. در نتیجه بحث اتلاف خون و مدیریت هزینه ناشی از آن تبدیل به هزینه‌های پنهان در سازمان انتقال خون ایران<sup>۱</sup> شده است.

سازمان انتقال خون ایران تنها ساختار معتبر ملی در ایران است که مسئولیت هدایت و کنترل زنجیره تامین خون از ابتدا تا انتها یعنی جمع‌آوری خون از اهداکنندگان داوطلب تا توزیع به مراکز ذینفع را بر عهده دارد (قهرمانیان و همکاران، ۲۰۰۸). سازمان انتقال خون ایران، که در

1. IBTO: Iranian blood transfusion organization

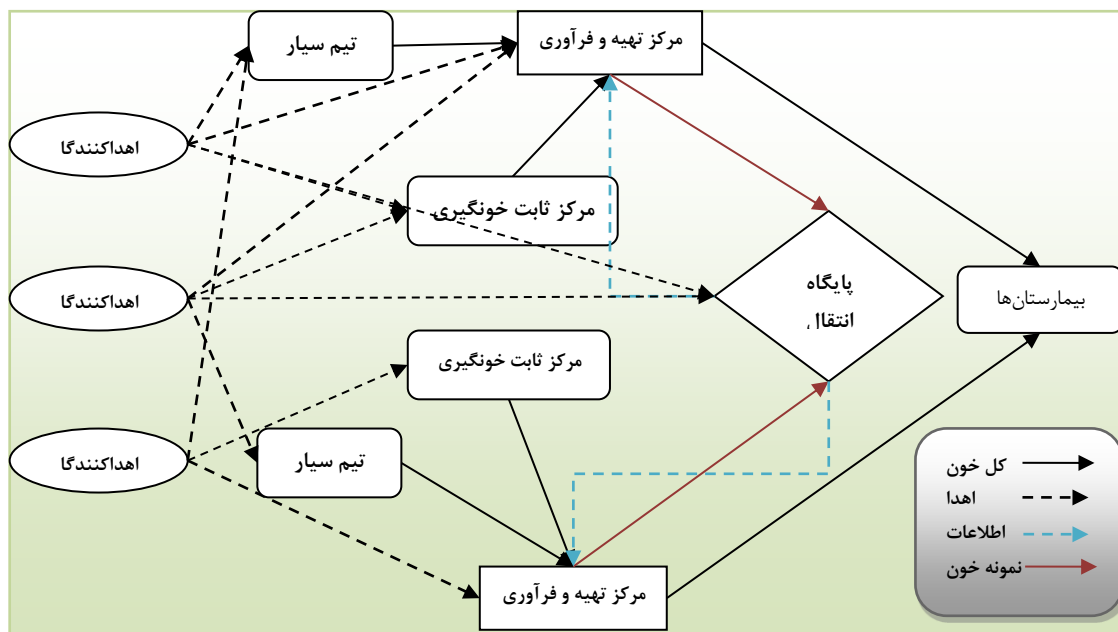
سال ۱۳۵۳ تاسیس گردید، یک سیستم متمرکز و یکپارچه در کشور است که در حال حاضر یک بخش جدایی ناپذیر از نظام سلامت در کشور را تشکیل داده است. کلیه فعالیت‌ها مانند خونگیری از اهداکنندگان داوطلب، پردازش، ذخیره و توزیع خون و فرآورده‌های خونی به بیمارستان‌ها به عنوان مراکز مصرف کننده خون، تحت یک سیستم متمرکز در سازمان انتقال خون انجام می‌گیرد (چراغعلی، ۲۰۱۲).

در ایران، خون و فرآورده‌های خونی در بیش از ۹۰ مرکز انتقال خون و یا مراکز فرآوری و تهیه جمع‌آوری، پردازش، ذخیره و به بیمارستان‌ها توزیع می‌شود. از کل این مراکز، ۳۱ مرکز انتقال خون در مراکز استانی سراسر کشور انتقال خون وجود دارد و در ۳۴ مرکز آزمایش‌های تخصصی انجام می‌گیرد. به طور کلی همه مراکز ذکر شده دارای مراکز خونگیری ثابت و یا سیار می‌باشند و بیش از ۳۷۰ مرکز خونگیری، تهیه و فرآوری و مرکز انتقال خون در کشور وجود دارد (امیدخدا و همکاران، ۲۰۱۶).

در تعاریف سازمان انتقال خون، پایگاه و یا مرکز انتقال خون<sup>۱</sup>، محلی است که در آن کلیه فعالیت‌های مربوط به انتخاب اهداکننده، جمع‌آوری خون و فرآورده‌های آن شامل خون کامل و یا آفرزیس، آزمایشات عفونت‌های قابل انتقال از طریق خون و فرآورده‌ها، آزمایشات تعیین گروه‌های خون، تولید فرآورده‌های خون، ذخیره و در نهایت توزیع به بانک خون بیمارستان برای کاربردهای بالینی و یا توزیع به مراکزی که با خدمات بالینی در ارتباط هستند، صورت می‌گیرد. همچنین مرکز تهیه و فرآوری خون<sup>۲</sup> به مرکزی اطلاق می‌گردد که علاوه بر خونگیری و یا انجام عملیات آفرزیس، تولید فرآورده و نیز پخش آن را نیز بر عهده داشته باشد. در این مراکز نمونه‌های اهداکنندگان برای انجام آزمایشات غربالگری و بررسی به پایگاه‌های انتقال خون ارسال می‌شود. علاوه بر این، مرکز ثابت خونگیری<sup>۳</sup> صرفاً تجهیزات خونگیری دارد و می‌تواند اقدام به خونگیری و یا آفرزیس نماید. تیم سیار خونگیری<sup>۴</sup> نیز

- 
1. BTC: Blood transfusion center
  2. BCPC: Blood collection and processing center
  3. BCC: Blood collection center
  4. MT: Mobile team

گروهی متشکل از کارمندان سازمان انتقال خون می‌باشد که با تجهیزات خونگیری در مکان‌های از پیش تعیین شده مستقر شده و اقدام به جمع‌آوری خون از اهداکنندگان داوطلب می‌نمایند. مراکز تهیه و فرآوری و پایگاه انتقال خون پس از جمع‌آوری خون اهداکنندگان و دریافت خون مراکز ثابت خونگیری و اکیپ‌های سیاری و اطمینان از سلامت خون اهدا شده، اقدام به ذخیره سازی خون می‌نمایند. واحدهای خون ذخیره شده به درخواست بیمارستان‌ها تحویل داده می‌شود. شکل (۱) زنجیره تامین خون در ایران را نشان می‌دهد. در خواست بیمارستان‌ها و مراکز درمانی برای تحویل خون همواره با چالش‌هایی همراه است. نخست آنکه میزان تقاضای اعلامی بیمارستان‌ها همواره بیش از نیاز واقعی آنها می‌باشد. ثانیاً مراکز عرضه نیز نمی‌توانند تمام تقاضای اعلام شده را پاسخ دهند لذا سعی دارند تمام موجودی خود را در هر دوره براساس شرایط بیمارستان‌ها توزیع نمایند.



شکل ۱. زنجیره تامین خون ایران

یک شبکه بهینه جمع آوری و توزیع خون می‌تواند می‌تواند با استفاده از فرمولاسیون ریاضی جهت بهینه سازی شبکه زنجیره تامین خون بدست آید (دان و لیو، ۲۰۱۴).

مساله زنجیره تامین خون می‌تواند از دو جنبه چند محصولی پیچیدگی خاصی داشته باشد. الف) فرآورده‌های مختلف بدست آمده از خون ب) گروه‌های مختلف خون. در جدول (۱) فرآورده‌های اصلی خون و خصوصیات مربوط به آنها نشان داده شده است (بلیین و فورس، ۲۰۱۲). گروه‌های خونی روشی برای تقسیم بندی خون‌ها برپایه وجود یا نبود پادگن (آنتی ژن)‌های موروثی خاصی روی سطح گلبول‌های قرمز خون است. براساس مهمترین این تقسیم بندی خون انسان‌ها به چهار دسته A، B، AB و O و براساس تقسیم بندی دیگر و براساس وجود یا عدم وجود آنتی ژن‌های Rh به گروه‌های مثبت و منفی تقسیم می‌شوند. تقسیم بندی فرآورده‌های خون در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۱. فرآورده‌های اصلی خون و خصوصیات آن‌ها

مولفه	عمر مفید	مورد استفاده	تولید شده از	دمای نگهداری
RBC	۳۵ تا روز	بیماران کم خون، نوزادان نارس، بیماری‌هایی که تحت شیمی‌درمانی یا اشعه درمانی قرار گرفته اند، جراحی‌های قلب، ارتوپدی و مراحل نهایی بیماران کلیوی	واحد خون کامل	دمای ۱-۶ درجه سانتی گراد
PLT	۳ تا ۵ روز	بیماران تحت درمان سرطان، پیوند مغز استخوان و خونریزی‌های بعد از جراحی	واحد خون کامل (پلاکت فرزیس)	۲۰ تا ۲۴ درجه سانتی گراد
پلاسما	۱۲ ماه	درمان بیماری‌های کبدی و سوختگی و.....	واحد خون کامل	نگهداری در دمای منفی ۱۸ درجه سانتی گراد و سردتر

جدول ۲. سازگاری گروه‌های خونی (دان و لیو، ۲۰۱۴).

اهدایکننده								گیرنده
AB+	AB-	B+	B-	A+	A-	O+	O-	
							√	O-
						√	√	O+
					√		√	A-
			√	√	√	√	√	A+
			√				√	B-
		√	√			√	√	B+
	√		√		√		√	AB-
√	√	√	√	√	√	√	√	AB+

در ادامه مقاله از بخش‌های زیر تشکیل شده است: در بخش (۲) به ادبیات موضوعی مربوط به توزیع فرآورده‌های خون اشاره شده است. در بخش (۳) نخست یک مدل برنامه ریزی غیر خطی با متغیرهای صحیح از موضوع عرضه پایگاه انتقال خون و تقاضای فرآورده‌های خون بیمارستان‌ها ارائه شده است. در ادامه تابع هدف و تعدادی از محدودیت‌ها خطی سازی شده اند و در پایان این بخش مدل در قالب یک مساله برنامه ریزی آرمانی چند انتخابی فرموله شده است. در بخش (۴) به پیاده سازی مطالعه موردی و نهایتاً در بخش آخر مقاله به نتایج و پیشنهادات آینده پرداخته شده است.

### ادبیات موضوعی

زنجیره تامین خون در دو محور اساسی، جمع آوری خون اهدا کنندگان در شرایط عادی و اضطراری و عرضه فرآورده‌های مختلف خون مورد توجه محققین مختلفی بوده است. در موضوع جمع آوری خون اهدا کنندگان، تاکید اصلی مقالات بر روی تعیین مکان مناسب سایت‌های جمع آوری خون بوده است (زهیری و همکاران، ۲۰۱۵) (جبارزاده و همکاران، ۲۰۱۴) (فهیم نیا و همکاران، ۲۰۱۵). اما در حوزه توزیع فرآورده‌های خون، عمده مقالات ارائه شده به مدیریت موجودی فرآورده خون بیمارستان‌ها تمرکز کرده اند. یکی از تحقیقات اولیه تخصیص خون به بیمارستان‌ها در کشور اسکاتلند انجام شد که از یک مساله برنامه ریزی

- خطی تصادفی استفاده شد (ساپونتیز، ۱۹۸۹). سپس مقالات بعدی با اهداف کاهش اتلاف و کمبود فرآورده‌های خون ارائه گردید. (گنپینار و سنتو، ۲۰۱۵). در جدول (۳) تحقیقات انجام شده در خصوص زنجیره تامین خون بر اساس معیارهای زیر دسته بندی شده است:
- رویکرد مدلسازی: با توجه به شرایط مساله و استفاده از متغیرهای پیوسته، عدد صحیح و باینری مدل‌های ریاضی متفاوتی تعریف و فرموله می‌شود. در بین رویکردهای استفاد شده، مدل‌های برنامه ریزی عدد صحیح مخلوط<sup>۱</sup>، برنامه ریزی آرمانی غیر خطی باینری<sup>۲</sup> بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند.
  - رویکرد عدم قطعیت: توجه به پارامترهای مختلف در تحقیقات صورت گرفته به صورت ریاست، تصادفی، فازی یا قطعی بوده است.
  - تکنیک‌های حل: عمدتاً روش‌های به کار گرفته شده برای حل مسائل شبکه زنجیره تامین خون به صورت دقیق، ابتکاری و شبیه سازی بوده است.
  - تابع هدف: مسائل مختلف شبکه زنجیره تامین خون به صورت تک هدفه و چند هدفه تعریف شده‌اند.
  - پیروید زمانی: دوره‌های زمانی برای استفاده از پارامترها و تعیین متغیرها عمدتاً به صورت چند دوره ای در نظر گرفته شده است.
  - محدوده مطالعه: تحقیقات انجام شده محدوده‌های مختلفی را برای مدلسازی و تعریف مساله انتخاب نموده‌اند که معمولاً در خصوص جمع آوری خون، توزیع فرآورده‌های خون و کل زنجیره خون بوده است.
  - شاخص‌های عملکردی: در مسائل مرتبط با شبکه زنجیره تامین خون هزینه‌های مرتبط با نگهداری، اتلاف و کمبود مورد توجه قرار گرفته است.
  - سازگاری گروه‌های خونی: تعداد اندکی از مقالات به موضوع سازگاری گروه‌های خونی مطابق با جدول (۲) توجه نموده‌اند.

---

1 .MIP: Mixed integer programming

2 .NNLG: Binary nonlinear goal programming



جدول ۳. مقایسه مطالعات انجام شده با موضوع زنجیره تامین خون

روش	رویکرد مطالعه	رویکرد عدم قطعیت			تکنیک حل			تابع هدف		پریود زمانی		محدوده مطالعه			شاخص‌های عملکرد		
		ریاست	تصادفی	نازای	قطعی	هیوربسیک	شبه سازی	دقیق	چندهدفه	تک هدفه	چندگانه	تکی	توزیع	کل زنجیره	تجزیه	مزیته ائتلاف	مزیته کمبود
اسپتور (رتیلا و اسپتور، ۲۰۰۹)	-	-	-	-	-	-	-	-	•	-	-	-	•	-	-	•	-
(وانگ دینچک و همکاران، ۲۰۰۹)	MDP <sup>1</sup>	-	-	-	•	-	-	-	-	•	-	-	-	•	•	•	-
(کزن، ۲۰۱۰)	-	-	-	-	-	-	-	-	•	-	-	-	•	-	-	-	-
اسپتور (رتیلا و اسپتور، ۲۰۰۹)	GNLP	-	-	-	•	-	•	-	•	-	•	-	-	-	-	-	-
(زو و همکاران، ۲۰۰۹)	SDP <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	•	-	•	•	-	-	-	•	•	•	-
(سپتید و همکاران، ۲۰۱۱)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	-	-	-	-
(بنا و هاگ، ۲۰۱۲)	MINLP	-	-	-	•	-	-	-	•	•	-	-	-	•	-	-	-

1. Markov dynamic programming  
 2. stochastic dynamic programming

-	-	•	-	•	-	-	-	-	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(استیجری و همکاران، ۲۰۱۳)
-	-	-	-	-	-	-	•	-	-	•	-	-	•	-	-	-	-	-	-	-	(بلیک و هاروی، ۲۰۱۲)
-	-	-	-	-	-	-	•	-	•	•	-	•	-	-	-	-	-	•	-	-	(زهیری و همکاران، ۲۰۱۵)
-	-	-	-	-	-	-	•	-	•	•	-	•	-	-	-	-	-	-	•	-	(جبارزاده و همکاران، ۲۰۱۴)
-	-	-	-	-	-	-	•	-	•	-	•	-	-	-	-	-	-	-	•	-	(نظم نیا و همکاران، ۲۰۱۵)
-	-	-	-	-	•	•	-	•	•	-	-	•	-	-	•	-	-	-	-	-	(اوسترو و همکاران، ۲۰۱۳)
-	•	•	•	-	•	-	-	•	•	-	•	-	-	-	-	-	-	-	•	-	(گیتیار و سنو، ۲۰۱۵)
•	-	-	-	•	-	-	•	-	-	-	•	•	-	-	-	-	-	•	•	-	(زهیری و پیشوازی، ۲۰۱۳)
-	-	•	•	•	-	-	-	-	•	•	-	-	•	-	-	-	-	-	•	-	(پورنایم و همکاران، ۲۰۱۷)

1. Dynamic Programming

-	-	•	-	-	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(رتز و همکاران، ۲۰۱۷)
-	-	-	•	-	•	-	-	•	•	-	•	-	-	-	•	-	-	-	M IP (کاشانی و همکاران، ۲۰۱۷)
-	•	•	•	-	•	-	-	•	-	•	•	-	-	-	-	•	-	-	M IP (پورسینی، تراز عطاری و همکاران، ۲۰۱۷)
•	•	•	•	-	•	-	-	•	•	-	•	-	-	-	-	•	-	-	M IP (تحقیق پیش رو)

براساس مقاله گنپینار و سنتو (۲۰۱۵) مدل ریاضی برای کاهش هزینه‌های نگهداری، اتلاف و کمبود فرآورده‌های خون بیمارستان‌ها ارائه شده است. سازگاری گروه‌های مختلف خون در نظر گرفته نشده است و مراکز تقاضا متعدد لحاظ نشده است. همچنین در تحقیقی که دان و لیو (۲۰۱۴) جهت بررسی سازگاری گروه‌های خونی ارائه دادند برای کاهش هزینه‌ها از مدل ریاضی استفاده نشده است. لذا می‌توان تفاوت‌های مقاله حاضر را با سایر تحقیقات انجام شده، در بندهای زیر خلاصه نمود:

الف- تعداد بیمارستان‌ها مورد بررسی در شبکه عرضه بیش از یک مورد در نظر گرفته شده است.  
ب- هزینه کمبود فرآورده‌های خون برای بیماران به دو صورت فوق العاده نیازمند و نیازمند تفکیک شده است.

ج- همزمان با هدف مدیریت موجودی و کاهش هزینه‌های اتلاف و کمبود، موضوع سازگاری گروه‌های خونی در مدل برنامه ریزی عدد صحیح مخلوط لحاظ شده است، که این موضوع مورد توجه هیچ کدام از محققین نبوده است.

د- از یک مطالعه موردی برای نشان دادن نتایج استفاده شده است.

## روش شناسی

ما برای مدلسازی یک زنجیره تامین دو سطحی از فرآورده‌های خون را در نظر می‌گیریم که شامل یک مرکز توزیع و چند بیمارستان است. بیمارستان‌ها خون مورد نیاز خود را از پایگاه انتقال خون درخواست می‌کنند و پایگاه انتقال خون طبق موجودی فرآورده‌های خون اقدام به تامین نیاز بیمارستان‌ها می‌نماید.

در ایران، بیمارستان‌ها برای تهیه فرآورده‌های مختلف خون به جز هزینه‌های حمل هزینه دیگری جهت تهیه فرآورده‌های خون نمی‌پردازند لذا همواره مقادیر تقاضا از پایگاه انتقال خون بیش از نیاز واقعی آنهاست. این موضوع به تجربه توسط سازمان انتقال خون ایران و پایگاه‌های انتقال خون استانی؛ درک شده است، لذا پایگاه انتقال خون دقیقاً قادر نمی‌باشد تقاضای بیمارستان‌ها را تامین نماید.

در این تحقیق به جای رفتار یکسان با فرآورده خون، فرآورده خون با گروه‌های خونی متفاوت با سازگاری مرتبط با جدول (۳) در مدل لحاظ گردیده است. سطح موجودی برای هر نوع گروه خونی می‌تواند از یک روز به روز دیگر در طول هفته متغیر باشد که پس از برآورد تقاضا سطح موجودی به روزآوری می‌گردد. به عبارت دیگر پس از حذف واحدهای فرآورده خون منقضی شده عمر باقی مانده نگهداری واحدهای ذخیره شده یک روز کاهش می‌یابد و در نهایت واحدهای جدید دریافت شده از مرکز توزیع سطح موجودی را تغییر می‌دهد. بیمارستان‌ها با سیاست روش اولین صادره از اولین وارده<sup>۱</sup> اقدام به مصرف موجودی بانک فرآورده‌های خون می‌کنند. به طوریکه نخست اولویت با گروه خونی یکسان بوده و در صورت عدم موجودی، سازگاری گروه‌های خونی مورد توجه قرار می‌گیرد (گنپینار و سنتو، ۲۰۱۵).

---

1.FIFO

## مفروضات تحقیق

- ۱- ظرفیت پایگاه انتقال خون جهت ذخیره‌سازی و عرضه فرآورده‌های مختلف خون محدود است.
- ۲- عمر فرآورده‌های مختلف خون که از پایگاه انتقال خون دریافت می‌گردد مشخص بوده و در طول زمان تغییر می‌کند.
- ۳- عمر مفید و قابل استفاده برای گلبول‌های قرمز ۳۰ روز در نظر گرفته شده است.
- ۴- اگر بیمارستان‌ها به دلایلی دچار کمبود گردند در آن صورت هزینه کمبود روی خواهد داد که برای بیماران فوق العاده نیازمند (و نیازمند) هزینه‌های متفاوتی را در بردارد که با اعمال هزینه‌های اضافی فرآورده خون مورد نیاز تامین می‌گردد.
- ۵- زمان تحویل فرآورده‌های خون از پایگاه انتقال خون صفر در نظر گرفته می‌شود. بنابراین از کلیه زمان‌های حمل و جابجایی بین بیمارستان‌ها و پایگاه انتقال خون صرف نظر می‌گردد.
- ۶- بیمارستان‌ها از فرآورده‌های خون ذخیره شده به صورت FIFO استفاده می‌کنند.
- ۷- اگر یک واحد از فرآورده‌های خون از عمر مفید خود فراتر رود در آن صورت منقضی شده و بیمارستان‌ها متحمل هزینه دفع خواهند شد که این هزینه برای همه گروه‌های خونی یکسان در نظر گرفته می‌شود.
- ۸- بیمارستان‌های در نظر گرفته شده در زنجیره عرضه خون لازم برای سایر بیمارستان‌ها را تامین نمی‌کنند.
- ۹- جهت رفع نیاز بیماران برای انواع مختلف گروه‌های خونی، نخست از گروه خونی بیمار، در صورت عدم موجودی از گروه‌های خونی سازگار استفاده می‌شود.

اندیس‌ها

$i$	اندیس بیمارستان‌ها ( $i=1,2,\dots,I$ )
$j$	اندیس گروه‌های مختلف خون ( $j=1,2,\dots,8$ )
$k$	اندیس عمر فرآورده‌های خون ( $k=1,2,\dots,K$ )

اندیس سناریوهای مختلف ( $s=1,2,\dots,S$ )	S
اندیس پریودهای مختلف زمانی ( $t=1,2,\dots,T$ )	t
	پارامترها
احتمال وقوع سناریو S	$\pi_s$
هزینه مواجهه با کمبود بیمارستان‌ها برای بیماران "فوق العاده نیازمند" فرآورده‌های خون	Sc1 <sub>a</sub>
هزینه مواجهه با کمبود بیمارستان‌ها برای بیماران " نیازمند" فرآورده‌های خون	Sc2 <sub>b</sub>
هزینه نگهداری یک واحد فرآورده‌های خون در بیمارستان‌ها	Hc
ظرفیت پایگاه انتقال خون برای توزیع فرآورده‌های خون به بیمارستان‌ها در دوره t	Cap <sup>t</sup>
تقاضای بیمارستان $i$ ام از فرآورده خون با گروه خونی $j$ برای دوره t با سناریو S	$d_{ij}^{ts}$
هزینه اتلاف یک واحد فرآورده خون در بیمارستان‌ها	Wc
هزینه حمل هر واحد فرآورده خون از پایگاه انتقال خون به بیمارستان $i$ ام	Tc <sub>i</sub>
نسبت فرآورده خون گروه $j$ ارسال شده با عمر $k$ روزه از پایگاه انتقال خون به بیمارستان $i$ ام در دوره t . $0 \leq \theta_{ij}^t \leq 1 \forall i,j,t$ و $\sum_k \theta_{ij}^t = 1 \forall i,j,t$	$\theta_{ijk}^t$
یک عدد بزرگ	M
درصد مواجهه بیمارستان با کمبود در هر کدام از گروه‌های خونی	$\varphi$
مقدار آن یک است در صورتیکه گروه خونی $j_1$ طبق جدول (۱) با گروه خونی $j_2$ سازگار باشد، در غیر این صورت صفر است.	$q_{j_1,j_2}$

متغیرهای تصمیم:

<p>تعداد واحدهای فرآورده خون از گروه <math>j</math> ارسال شده توسط پایگاه انتقال خون به بیمارستان <math>i</math> ام در دوره <math>t</math>.</p>	$x_{ij}^t$
<p>تعداد واحدهای فرآورده خون از گروه <math>j</math> دریافت شده توسط بیمارستان <math>i</math> ام با عمر <math>k</math> روزه در ابتدای دوره <math>t</math>.</p>	$y_{ijk}^t$
<p>تعداد واحدهای فرآورده خون اتلاف شده از گروه <math>j</math> توسط بیمارستان <math>i</math> ام در انتهای دوره <math>t</math> سناریوی <math>s</math>.</p>	$u_{ij}^{ts}$
<p>میزان موجودی فرآورده خون از گروه <math>j</math> با عمر <math>k</math> روزه در بیمارستان <math>i</math> ام از در انتهای دوره <math>t</math> با سناریو <math>s</math></p>	$ln_{ijk}^{ts}$
<p>تعداد واحدهای کمبود فرآورده خون از گروه <math>j</math> در بیمارستان <math>i</math> ام در انتهای دوره <math>t</math> با سناریو <math>s</math> برای بیماران فوق العاده نیازمند</p>	$r1_{ija}^{ts}$
<p>تعداد واحدهای کمبود فرآورده خون از گروه <math>j</math> در بیمارستان <math>i</math> ام در انتهای دوره <math>t</math> با سناریو <math>s</math> برای بیماران نیازمند</p>	$r2_{ijb}^{ts}$
<p>اگر همه واحدهای فرآورده خون از گروه <math>j</math> با عمر <math>k</math> روزه در بیمارستان <math>i</math> ام به صورت کامل مورد استفاده قرار نگیرد در آن صورت به این میزان برای دوره بعدی باقی می‌ماند. (متغیر کمکی)</p>	$l_{ijk}^{ts}$
<p>مقدار آن یک است اگر میزان تقاضای بیمارستان <math>i</math> ام با فرآورده خون از گروه <math>j</math> با عمر <math>k</math> روزه در دوره <math>t</math> و سناریو <math>s</math> برآورده شود، در غیر این صورت صفر خواهد بود.</p>	$z_{ijk}^{ts}$
<p>تعداد واحدهای فرآورده خون از گروه <math>j</math> در بیمارستان <math>i</math> دوره <math>t</math> و سناریوی <math>s</math> که لازم است با استفاده از سازگاری گروه‌های فرآورده خون تامین گردد.</p>	$cm_{ij}^{ts}$
<p>نسبت کمبود بیمارستان‌ها در هر کدام از گروه‌های خونی در طول همه دوره‌ها</p>	$sr_{ij}^s$

$Qm_{ij_1, j_2}^{ts}$  تعداد واحدهای فرآورده خونی که در بیمارستان  $i$ ، دوره  $t$  و سناریوی  $s$  برای گروه خونی  $2$  از سایر گروه‌های خونی تهیه شده است.

$$\begin{aligned} \text{Min ZZ} = & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^8 \sum_{t=1}^T Tc_i x_{ij}^t \\ & + \sum_{s=1}^S \pi_s \left( \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^8 \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T Hc.In_{ijk}^{ts} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^8 \sum_{t=1}^T Wc.u_{ij}^{ts} \right. \\ & \left. + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^8 \sum_{t=1}^T Sc1_a r1_{ija}^{ts} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^8 \sum_{t=1}^T Sc2_b r2_{ijb}^{ts} \right) \quad (1) \end{aligned}$$

تابع هدف اول در رابطه (۱) مجموع هزینه‌های حمل و نقل بین پایگاه انتقال خون و بیمارستان‌ها، هزینه نگهداری فرآورده‌های خونی، هزینه اتلاف فرآورده‌های منقضی شده و هزینه‌های کمبود برای بیماران فوق العاده نیازمند و نیازمند را به ازای گروه‌های مختلف خون حداقل می‌کند.

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^8 x_{ij}^t \leq \text{Cap}^t \quad \forall t \quad (2)$$

محدودیت رابطه (۲) تضمین می‌کند مجموع واحدهای فرآورده خون همه گروه‌ها ارسال شده توسط پایگاه انتقال خون به کلیه بیمارستان‌ها در هر دوره از ظرفیت نگهداری پایگاه انتقال خون بیشتر نباشد.

$$y_{ijk}^t = 0 \quad \forall k=1,2, i,j,t \quad (3)$$

محدودیت رابطه (۳) بیان می‌دارد در هر دوره به بیمارستان‌ها واحدهای فرآورده خون از گروه خونی با عمر یک یا دو روزه به بیمارستان‌ها تحویل داده نمی‌شود. خون اهدایی در روزهای اول و دوم مورد تست و آزمایش قرار می‌گیرد.

$$y_{ijk}^t = x_{ij}^t \theta_{ijk}^t \quad \forall k=3,4,\dots,K, i,j,t \quad (4)$$



محدودیت رابطه (۴) در هر بیمارستان و دوره، تعداد واحدهای فرآورده خون از هر گروهی را به هر رده سنی تخصیص می‌دهد.

$$z_{ijk}^{ts} \geq z_{ij(k-1)}^{ts} \quad \forall k=3,4,\dots,K, i,j,t,s \quad (5)$$

محدودیت رابطه (۵) نشان می‌دهد که در هر بیمارستان و دوره سیاست **FIFO** برای مصرف گروه‌های مختلف اجرا می‌گردد.

$$In_{ijk}^{ts} = 0 \quad \forall k=1,2, i,j,t,s \quad (6)$$

محدودیت رابطه (۶) بیان می‌دارد که در سناریوهای مختلف موجودی فرآورده خون یک و دو روزه برای گروه‌های مختلف در هیچ بیمارستان و دوره ای نگهداری نمی‌شود.

$$z_{ij2}^{ts} = 0 \quad \forall i,j,t,s \quad (7)$$

رابطه (۷) نشان می‌دهد که در تمام دوره‌ها فرآورده خون از هر گروهی با عمر دو روزه تقاضای هیچ بیمارستانی را تامین نمی‌کند.

$$u_{ij}^{ts} = In_{ijK}^{ts} \quad \forall i,j,t,s \quad (8)$$

محدودیت (۸) تضمین می‌کند موجودی پایان عمر مفید فرآورده خون از گروه‌های مختلف، در هر دوره و بیمارستان منقضی شده و به دورریز تبدیل می‌گردد.

$$Cm_{ij}^{ts} = (d_{ij}^{ts} - \sum_{k=3}^K (In_{ij(k-1)}^{(t-1)s} + y_{ijk}^t)(z_{ijk}^{ts}))^+ \quad \forall i,j,t,s \quad (9)$$

محدودیت (۹) بیان می‌دارد بیمارستان‌ها تقاضای مربوط به هر کدام از گروه‌های خونی را نخست از خود آن گروه خونی تامین می‌کنند.

$$(z_{ijk}^{ts} - z_{ij(k-1)}^{ts}) (In_{ij(k-1)}^{(t-1)s} + y_{ijk}^t) \geq l_{ijk}^{ts} \quad \forall k=3,4,\dots,K, i,j,t,s \quad (10)$$

رابطه (۱۰) نشان می‌دهد در هر بیمارستان و دوره زمانی میزان فرآورده خون از هر گروه که به دوره بعد انتقال می‌یابد نباید از میزان موجودی رده سنی مربوطه بزرگتر باشد.

$$d_{ij}^{ts} - \sum_{k=3}^K (In_{ij(k-1)}^{(t-1)s} + y_{ijk}^t) \leq Cm_{ij}^{ts} \quad \forall k=3,4,\dots,K, i,j,t,s \quad (11)$$

محدودیت (۱۱) تضمین می کند که اختلاف موجودی بروز آوری شده با میزان تقاضا از مقدار کمبود کوچکتر یا مساوی است.

$$r1_{ija}^{ts} \leq r2_{ijb}^{ts} \quad \forall i, j, t, s \quad (12)$$

محدودیت (۱۲) نشان می دهد که میزان کمبود فرآورده خون در هر گروه خونی برای بیماران فوق العاده نیازمند کمتر از بیماران نیازمند به فرآورده های نیازمند است.

$$In_{ijk}^{ts} = (1 - z_{ijk}^{ts}) \left( In_{ij(k-1)}^{(t-1)s} + y_{ij}^t - \sum_{j_1} Qm_{ij_1, j_2}^{ts} q_{j_1, j_2} \right) + (z_{ijk}^{ts} - z_{ij(k-1)}^{ts}) I_{ijk}^{ts} \quad (13)$$

$$\forall k = 3, 4, \dots, K, i, j, t, s$$

محدودیت (۱۳) میزان موجودی بیمارستان ها با توجه به موجودی قبلی و دریافت های جدید بروز آوری می گردد.

$$r1_{ija}^{ts} + r2_{ijb}^{ts} = \left( Cm_{ij}^{ts} - \sum_{j_1} Qm_{ij_1, j_2}^{ts} q_{j_1, j_2} \right)^+ \quad \forall i, j, t, s \quad (14)$$

محدودیت (۱۴) به این موضوع اشاره دارد که میزان کمبود بیمارستان ها به ازای هر گروه خونی برای بیماران مختلف در صورتی اتفاق می افتد که سازگاری گروه های خونی نیز نتواند تقاضای بیمارستان ها را برآورد کند.

$$E_p(Sr_{ij}^s) \leq 1 - \varphi \quad \forall i, j, s \quad (15)$$

محدودیت (۱۵) تضمین می کند میانگین نسبت کمبودها در هر کدام از گروه های خونی از احتمال سرویس دهی بیشتر نباشد.

$$x_{ij}^t, y_{ijk}^t, u_{ij}^{ts}, In_{ijk}^{ts}, r1_{ija}^{ts}, r2_{ijb}^{ts}, I_{ijk}^{ts} \geq 0, \text{ Integer } \forall i, j, k, t, s \quad (16)$$

$$Sr_{ij}^s \geq 0 \quad \forall i, j, s \quad (17)$$

جهت محاسبه مقدار  $E_p(Sr_{ij}^s)$  لازم است از رابطه (۱۸) و برای محاسبه میزان نسبت دور ریزها از رابطه (۱۹) استفاده کرد:

$$E_p(Sr_{ij}^s) = \sum_j Sr_{ij}^s \cdot p_g(j) \quad \forall i, j, s \quad (18)$$

$$Sr_{ij}^s = \frac{\sum_{t=1}^T X_{ij}^t}{\sum_{t=1}^T d_{ij}^{ts}} \quad \forall i, j, s \quad (19)$$

$$E_p(Sr_{ij}^s) \leq 1 - \varphi \quad \forall i, j, s \quad (20)$$

$$p_g(j) = \begin{cases} \frac{Pd_j}{\sum_{j \in Bs_g} Pd_j} & ; \quad j \in Bs_g \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (21)$$

مقدار  $Pd_j$  میزان توزیع جمعیت برای گروه خونی نوع  $j$  در منطقه جغرافیایی حوزه مطالعه است.

### خطی سازی مدل

مرحله اول - در محدودیت‌های (۹) و (۱۴) برای خطی سازی لازمست عبارات (۲۲) و (۲۳) جایگزین کنیم.

$$Cm_{ij}^{ts} = (d_{ij}^{ts} - \sum_{k=3}^K (In_{ij}^{(t-1)s} + y_{ijk}^t)(z_{ijk}^{ts})) = \text{maz} \left( 0, d_{ij}^{ts} - \sum_{k=3}^K (In_{ij}^{(t-1)s} + y_{ijk}^t)(z_{ijk}^{ts}) \right) \quad \forall i, j, t, s \quad (22)$$

$$Cm_{ij}^{ts} \geq d_{ij}^{ts} - \sum_{k=3}^K (In_{ij}^{(t-1)s} + y_{ijk}^t)(z_{ijk}^{ts}) \quad \forall i, j, t, s$$

$$r1_{ija}^{ts} + r2_{ijb}^{ts} = \left( Cm_{ij}^{ts} - \sum_{j_1} Qm_{ij_1 j_2}^{ts} q_{j_1 j_2} \right) = \text{maz}(0, Cm_{ij}^{ts} - Am_{ij}^{ts}) \quad \forall i, j, t$$

$$r1_{ija}^{ts} + r2_{ijb}^{ts} \geq Cm_{ij}^{ts} - \sum_{j_1} Qm_{ij_1 j_2}^{ts} q_{j_1 j_2} \quad \forall i, j, t, s \quad (23)$$

مرحله دوم - اما در خصوص محدودیت‌های (۲۲)، (۱۰) و (۱۳) که غیر خطی هستند می‌توان با استفاده از تحقیق ارئه شده در (گنپینار و سنتو، ۲۰۱۵) می‌توان محدودیت‌های (۲۴) تا (۴۲) را جهت خطی سازی مرحله دوم اضافه نمود:

$$\begin{aligned} \ln_{ij(K-1)}^{(t-1)s} z_{ijk}^{ts} &= \alpha_{ijk}^{ts} \\ \forall i, j, t, s, k=3, 4, \dots, K \\ \alpha_{ijk}^{ts} &\leq z_{ijk}^{ts} \cdot M \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \forall i, j, t, s, k=3, 4, \dots, K \\ \alpha_{ijk}^{ts} &\leq \ln_{ij(K-1)}^{(t-1)s} \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \forall i, j, t, s, k=3, 4, \dots, K \\ \alpha_{ijk}^{ts} &\geq M \cdot (z_{ijk}^{ts} - 1) + \ln_{ij(K-1)}^{(t-1)s} \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} y_{ijk}^t z_{ijk}^{ts} &= \beta_{ij}^{ts} \\ \forall i, j, t, s, k=3, 4, \dots, K \\ \beta_{ijk}^{ts} &\leq z_{ijk}^{ts} \cdot M \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \forall i, j, t, s, k=3, 4, \dots, K \\ \beta_{ijk}^{ts} &\leq y_{ijk}^t \end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} \forall i, j, t, s, k=3, 4, \dots, K \\ \beta_{ij}^{ts} &\geq M \cdot (z_{ij}^{ts} - 1) + y_{ij}^t \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} z_{ijk}^{ts} l_{ijk}^{ts} &= \gamma_{ijk}^{ts} \\ \forall i, j, t, s, k=3, 4, \dots, K \\ \gamma_{ijk}^{ts} &\leq z_{ijk}^{ts} \cdot M \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} \forall i, j, t, s, k=3, 4, \dots, K \\ \gamma_{ijk}^{ts} &\leq l_{ijk}^{ts} \end{aligned} \quad (31)$$

$$\begin{aligned} \forall i, j, t, s, k=3, 4, \dots, K \\ \gamma_{ijk}^{ts} &\geq M \cdot (z_{ijk}^{ts} - 1) + l_{ijk}^{ts} \end{aligned} \quad (32)$$

$$z_{ij(k-1)}^{ts} l_{ijk}^{ts} = \delta_{ijk}^{ts}$$

$$\forall i,j,t,s, k=3,4,\dots,K$$

$$\delta_{ijk}^{ts} \leq z_{ij(k-1)}^{ts} \cdot M \quad (33)$$

$$\forall i,j,t,s, k=3,4,\dots,K$$

$$\delta_{ijk}^{ts} \leq l_{ijk}^{ts} \quad (34)$$

$$\forall i,j,t,s, k=3,4,\dots,K$$

$$\delta_{ijk}^{ts} \geq M \cdot (z_{ij(k-1)}^{ts} - 1) + l_{ijk}^{ts} \quad (35)$$

$$\forall i,j,t,s, k=3,4,\dots,K$$

$$z_{ij(k-1)}^{ts} y_{ijk}^t = \sigma_{ijk}^{ts}$$

$$\forall i,j,t,s, k=3,4,\dots,K$$

$$\sigma_{ijj}^{ts} \leq z_{ij(k-1)}^{ts} \cdot M \quad (36)$$

$$\forall i,j,t,s, k=3,4,\dots,K$$

$$\sigma_{ijk}^{ts} \leq y_{ijk}^t \quad (37)$$

$$\forall i,j,t,s, k=3,4,\dots,K$$

$$\sigma_{ijk}^{ts} \geq M \cdot (z_{ij(k-1)}^{ts} - 1) + y_{ijk}^t \quad \forall i,j,t,s, k=3,4,\dots,K \quad (38)$$

$$z_{ij(k-1)}^{ts} \ln_{ij(K-1)}^{(t-1)s} = \rho_{ij(k-1)}^{ts} \quad \forall i,j,t,s, k=3,4,\dots,K$$

$$\rho_{ij(k-1)}^{ts} \leq z_{ij(k-1)}^{ts} \cdot M \quad \forall i,j,t,s, k=3,4,\dots,K \quad (39)$$

$$\rho_{ij(k-1)}^{ts} \leq \ln_{ij(K-1)}^{(t-1)s} \quad \forall i,j,t,s, k=3,4,\dots,K \quad (40)$$

$$\rho_{ij(k-1)}^{ts} \geq M \cdot (z_{ij(k-1)}^{ts} - 1) + \ln_{ij(K-1)}^{(t-1)s} \quad \forall i,j,t,s, k=3,4,\dots,K \quad (41)$$

$$z_{ijk}^{ts} \sum_{j_1} Qm_{ij_1 j_2}^{ts} q_{j_1 j_2} = \mu_{ijk}^{ts} \quad \forall i,j,t,s, k=3,4,\dots,K$$

$$\mu_{ijk}^{ts} \leq z_{ijk}^{ts} \cdot M \quad (39)$$

$$\forall i,j,t,s, k=3,4,\dots,K$$

$$z_{ijk}^{ts} \leq \sum_{j_1} Qm_{ij_1 j_2}^{ts} q_{j_1 j_2} \quad \forall i,j,t,s, k=3,4,\dots,K \quad (40)$$

$$\mu_{ijk}^{ts} \geq M \cdot (z_{ijk}^{ts} - 1) + \sum_{j_1} Qm_{ij_1 j_2}^{ts} q_{j_1 j_2} \quad \forall i,j,t,s, k=3,4,\dots,K \quad (41)$$

$$\rho_{i(j-1)}^{ts}, \sigma_{ij}^{ts}, \gamma_{ij}^{ts}, \beta_{ij}^{ts}, \alpha_{ij}^{ts}, \mu_{ijk}^{ts} \geq 0, \text{ Integer} \quad \forall i,j,t,s, k=3,4,\dots,K \quad (42)$$

مرحله سوم- در مرحله سوم خطی‌سازی محدودیت‌های (۲۲)، (۱۰) و (۱۳) با محدودیت‌های (۴۳) تا (۴۵) جایگزین می‌شود:

$$Cm_{ij}^{ts} \geq d_{ij}^{ts} - \sum_{k=3}^K (\alpha_{ijk}^{ts} + \beta_{ij}^{ts}) \quad \forall i,j,t,s \quad (43)$$

$$\alpha_{ijk}^{ts} + \beta_{ij}^{ts} - \rho_{ij(k-1)}^{ts} - \sigma_{ijk}^{ts} \geq l_{ijk}^{ts} \quad \forall k=3,4,\dots,K, i,j,t,s \quad (44)$$

$$In_{ijk}^{ts} = In_{ij(K-1)}^{(t-1)s} + y_{ij}^t - \sum_{j_1} Qm_{ij_1j_2}^{ts} q_{j_1j_2} - \alpha_{ijk}^{ts} - \beta_{ij}^{ts} + \gamma_{ijk}^{ts} - \delta_{ijk}^{ts} + \mu_{ijk}^{ts} \quad (45)$$

$$\forall k=3,4,\dots,K, i,t,s$$

### تحلیل داده‌ها

#### وضعیت کلی شبکه توزیع

استان آذربایجان شرقی در حال حاضر یک پایگاه انتقال خون مستقر در شهرستان تبریز دارد که تمامی مراحل جمع آوری خون، غربالگری و توزیع فرآورده‌های مختلف خون در آن انجام می‌شود. همچنین در این استان دو مرکز تهیه و فرآوری در شهرستان‌های میانه و مراغه مستقر است که به جز فعالیت‌های غربالگری بقیه مراحل زنجیره خون را انجام می‌دهند. طبق جدول (۴) تعداد مراکز درمانی و بیمارستانی تحت پوشش این مراکز نشان داده شده است:

جدول ۴. تعداد بیمارستان‌ها و مراکز درمانی تحت پوشش پایگاه‌ها

۳۵	پایگاه تبریز
۳	مرکز تهیه و فرآوری میانه
۶	مرکز تهیه و فرآوری مراغه
۴۴	جمع کل استان

همانطور که در قسمت سوم مقاله اشاره شد، میزان عرضه و تقاضای فرآورده‌های خون متفاوت است لذا این موضوع به عنوان مثال در سال ۱۳۹۳ در جدول (۵) نشان داده شده است:

جدول ۵. عرضه و تقاضای فرآورده‌های خونی سال ۱۳۹۳

عرضه از پایگاه	تقاضا از پایگاه	
۱۷۲۹۱۲	۲۰۳۶۵۰	پایگاه تبریز
۱۵۵۱۰	۱۵۴۶۴	مرکز تهیه و فرآوری میانه
۱۷۵۷۰	۱۷۹۲۹	مرکز تهیه و فرآوری مراغه
۲۰۵۹۹۲	۲۳۷۰۴۳	جمع کل استان

### جمع‌آوری داده

در این مقاله، زنجیره عرضه فرآورده‌های خون پایگاه انتقال خون تبریز مد نظر قرار گرفته است که ۵ بیمارستان و مرکز درمانی تحت پوشش این پایگاه جهت پیاده سازی مدل استفاده شده است (i=5). بیمارستان‌ها عمدتاً فرآورده‌های گلبول قرمز متراکم<sup>۱</sup>، پلاکت<sup>۲</sup>، رسوب کرایو<sup>۳</sup>، خون کامل<sup>۴</sup>، پلاسمای تازه منجمد<sup>۵</sup> و گلبول قرمز شسته شده<sup>۶</sup> را از پایگاه انتقال خون تقاضا می‌کنند (گفلز و همکاران، ۲۰۱۴). که در این تحقیق فرآورده گلبول قرمز متراکم مورد بررسی قرار گرفته است. طول عمر این فرآورده بسته به ماده نگهدارنده تزریق شده به این فرآورده متفاوت است که در این مقاله ۳۰ روز در نظر گرفته شده است. با بررسی آمار اهدای خون به تفکیک گروه‌های خونی در سال ۱۳۹۳ در استان آذربایجان شرقی نسبت هر کدام از این گروه‌های خونی در جدول (۶) آمده است، که از گروه‌های خونی نامشخص در ادامه تحقیق صرف نظر می‌گردد.

- 1 .PC: packed red blood cells
- 2 . PLT: platelet concentration
- 3 .CP: Cryoprecipitate
- 4 .WB: whole blood
- 5 .FPP: Fresh Frozen Plasma
- 6 .WRBC: Washed Red Blood cells

جدول ۶. آمار اهدای خون به تفکیک گروه‌های خونی

اندیس گروه‌های خونی (j)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	-	جمع
گروه‌های خونی (ABO)	A+	A-	B+	B-	AB+	AB-	O+	O-	نامشخص	-
آمار اهدا کنندگان (Pd <sub>j</sub> )	۳۰۸۱۹	۳۸۴۸	۱۸۱۷۷	۲۱۹۲	۷۱۸۰	۹۳۸	۲۸۳۴۰	۳۸۵۶	۴۳	۹۵۳۹۳
احتمال کمبود با توجه به سازگاری (p <sub>g</sub> (j))	۰/۴۶	۰/۴۹	۰/۳۴	۰/۳۶	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۸۸	۱	-	-

در پیوست (۱) میزان تقاضای ماهیانه بیمارستان‌ها و مراکز درمانی به تفکیک دوره‌های مختلف زمانی و برای سالهای ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ و سناریوهای متفاوت آمده است. هزینه کمبود با الهام از مقاله زو<sup>۱</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۱ به ازای هر واحد فرآورده خون برای بیماران فوق العاده نیازمند و نیازمند به ترتیب ۵,۲ و ۳,۷ میلیون تومان در نظر گرفته شده است (زو و همکاران، ۲۰۱۱). همچنین هزینه اتلاف برای هر واحد ۶۰ هزار تومان در نظر گرفته شده است (هیجما و همکاران، ۲۰۰۷).

### پیاده‌سازی مدل

با استفاده از نرم افزار گمز و حل کننده سیپلکس<sup>۲</sup> نتایج حل مدل در دو حالت بدون در نظر گرفتن سازگاری گروه‌های خونی و با توجه به در نظر گرفتن سازگاری در بیمارستان‌ها به دست آمد. که جدول (۷) خلاصه نتایج محاسباتی در هر دو حالت را نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده از میزان نسبت اتلاف هر کدام از گروه‌های خونی در بیمارستان‌ها در حالت بدون سازگاری ۱۸ درصد بیشتر از اتلاف فرآورده خون در بیمارستان‌ها در حالت با توجه

1 .Zhou

2 .CPLEX



سازگاری گروه‌های خونی است. جدول (۸) این نتایج را به تفکیک بیمارستان‌ها، گروه‌های خونی و سناریوها نشان می‌دهد.

جدول ۷. خلاصه نتایج محاسباتی در دو حالت

شکاف نسبی حل	شکاف حل	مقدار تابع هدف (تومان)	زمان حل (ثانیه)	
۰	۰	۲۶۹۱۵۹۸۷۰	۱۰۳۵	بدون توجه به سازگاری گروه‌های خونی
۰	۰	۲۲۰۷۱۱۰۹۳	۱۷۵۲	با توجه به سازگاری گروه‌های خونی

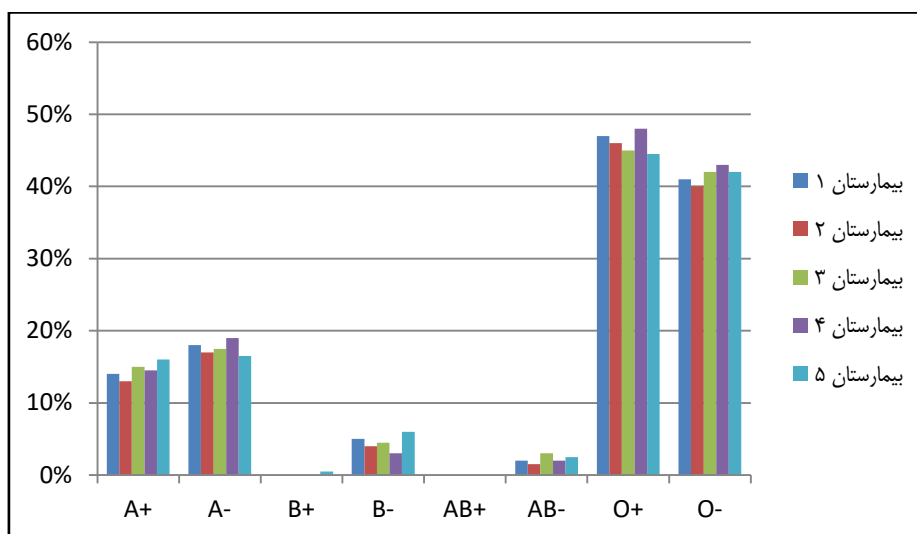
نتایج حاصل نشان می‌دهد بیمارستان‌ها با توجه به هزینه‌های بالای کمبود ترجیح می‌دهند با تقاضای بیش از نیاز واقعی خود هزینه‌های اتلاف بپردازند و با کمبود مواجه نشوند.

جدول ۸. نسبت اتلاف برای گروه‌های مختلف خون در بیمارستان‌ها به تفکیک سناریوهای مختلف (با  $f_i=0.9$  و  $St_{ij}^s$ ) (به درصد)

با سازگاری					بدون سازگاری					گروه‌ها
S=5	S=4	S=3	S=2	S=1	S=5	S=4	S=3	S=2	S=1	
۰/۰۱۲۶	۰/۰۱۱۷	۰/۰۱۰۸	۰/۰۰۹۹	۰/۰۰۹	۰/۰۱۴	۰/۰۱۳	۰/۰۱۲	۰/۰۱۱	۰/۰۱	A+
۰/۰۱۹۶	۰/۰۱۸۲	۰/۰۱۶۸	۰/۰۱۵۴	۰/۰۱۴	۰/۲۶۶	۰/۲۴۷	۰/۲۲۸	۰/۲۰۹	۰/۱۹	A-
۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۶۵	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۵۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۱۹۵	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۱۶۵	۰/۰۰۱۵	B+
۱/۰۲۹	۰/۹۵۵۵	۰/۸۸۲	۰/۸۰۸۵	۰/۷۳۵	۱/۰۲۹	۹/۵۵۵	۸/۸۲	۸/۰۸۵	۷/۳۵	B-
۰/۰۰۹۸	۰/۰۰۹۱	۰/۰۰۸۴	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۷	۰/۰۹۸	۰/۰۹۱	۰/۰۸۴	۰/۰۷۷	۰/۰۷	AB+
۲/۳۸	۲/۲۱	۲/۰۴	۱/۸۷	۱/۷	۵/۹۴	۳/۶۸	۴/۳۲	۳/۹۶	۳/۶	AB-
۰/۰۳۵	۰/۰۳۲۵	۰/۰۳	۰/۰۲۷۵	۰/۰۲۵	۰/۰۴۴۸	۰/۰۴۱۶	۰/۰۳۸۴	۰/۰۳۵۲	۰/۰۳۲	O+
۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۴	O-
۰/۰۱۲۶	۰/۰۱۱۷	۰/۰۱۰۸	۰/۰۰۹۹	۰/۰۰۹	۰/۰۱۴	۰/۰۱۳	۰/۰۱۲	۰/۰۱۱	۰/۰۱	A+
۰/۰۱۹۶	۰/۰۱۸۲	۰/۰۱۶۸	۰/۰۱۵۴	۰/۰۱۴	۰/۲۶۶	۰/۲۴۷	۰/۲۲۸	۰/۲۰۹	۰/۱۹	A-
۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۶۵	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۵۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۱۹۵	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۱۶۵	۰/۰۰۱۵	B+
۱/۰۲۹	۰/۹۵۵۵	۰/۸۸۲	۰/۸۰۸۵	۰/۷۳۵	۱/۰۲۹	۹/۵۵۵	۸/۸۲	۸/۰۸۵	۷/۳۵	B-
۰/۰۰۹۸	۰/۰۰۹۱	۰/۰۰۸۴	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۷	۰/۰۹۸	۰/۰۹۱	۰/۰۸۴	۰/۰۷۷	۰/۰۷	AB+
۲/۳۸	۲/۲۱	۲/۰۴	۱/۸۷	۱/۷	۵/۹۴	۳/۶۸	۴/۳۲	۳/۹۶	۳/۶	AB-
۰/۰۳۵	۰/۰۳۲۵	۰/۰۳	۰/۰۲۷۵	۰/۰۲۵	۰/۰۴۴۸	۰/۰۴۱۶	۰/۰۳۸۴	۰/۰۳۵۲	۰/۰۳۲	O+
۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۴	O-
۰/۰۱۲۶	۰/۰۱۱۷	۰/۰۱۰۸	۰/۰۰۹۹	۰/۰۰۹	۰/۰۱۴	۰/۰۱۳	۰/۰۱۲	۰/۰۱۱	۰/۰۱	A+
۰/۰۱۹۶	۰/۰۱۸۲	۰/۰۱۶۸	۰/۰۱۵۴	۰/۰۱۴	۰/۲۶۶	۰/۲۴۷	۰/۲۲۸	۰/۲۰۹	۰/۱۹	A-

۰/۰۰۷	۰/۰۰۰۶۵	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۵۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۱۹۵	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۱۶۵	۰/۰۰۱۵	B+	۴
۱/۰۲۹	۰/۹۵۵	۰/۸۸۲	۰/۸۰۸۵	۰/۷۳۵	۱/۰۲۹	۹/۵۵۵	۸/۸۲	۸/۰۸۵	۷/۳۵	B-	
۰/۰۰۹۸	۰/۰۰۹۱	۰/۰۰۸۴	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۹۸	۰/۰۰۹۱	۰/۰۰۸۴	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۷	AB+	
۲/۳۸	۲/۲۱	۲/۰۴	۱/۸۷	۱/۷	۵/۰۴	۴/۶۸	۴/۳۲	۳/۹۶	۳/۶	AB-	
۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۳۲۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲۷۵	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۴۴۸	۰/۰۰۴۱۶	۰/۰۰۳۸۴	۰/۰۰۳۵۲	۰/۰۰۳۲۲	O+	
۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۴	O-	
۰/۰۱۲۶	۰/۰۱۱۷	۰/۰۱۰۸	۰/۰۰۹۹	۰/۰۰۹	۰/۰۱۴	۰/۰۱۳	۰/۰۱۲	۰/۰۱۱	۰/۰۱	A+	
۰/۰۱۹۶	۰/۰۱۸۲	۰/۰۱۶۸	۰/۰۱۵۴	۰/۰۱۴	۰/۲۶۶	۰/۲۴۷	۰/۲۲۸	۰/۲۰۹	۰/۱۹	A-	
۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۶۵	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۵۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۱۹۵	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۱۶۵	۰/۰۰۱۵	B+	
۱/۰۲۹	۰/۹۵۵	۰/۸۸۲	۰/۸۰۸۵	۰/۷۳۵	۱/۰۲۹	۹/۵۵۵	۸/۸۲	۸/۰۸۵	۷/۳۵	B-	
۰/۰۰۹۸	۰/۰۰۹۱	۰/۰۰۸۴	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۹۸	۰/۰۰۹۱	۰/۰۰۸۴	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۷	AB+	
۲/۳۸	۲/۲۱	۲/۰۴	۱/۸۷	۱/۷	۵/۰۴	۴/۶۸	۴/۳۲	۳/۹۶	۳/۶	AB-	
۳/۰۳۵	۰/۰۰۳۲۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲۷۵	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۴۴۸	۰/۰۰۴۱۶	۰/۰۰۳۸۴	۳/۰۳۵۲	۰/۰۰۳۲۲	O+	
۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۴	O-	
۰/۰۱۲۶	۰/۰۱۱۷	۰/۰۱۰۸	۰/۰۰۹۹	۰/۰۰۹	۰/۰۱۴	۰/۰۱۳	۰/۰۱۲	۰/۰۱۱	۰/۰۱	A+	
۰/۰۱۹۶	۰/۰۱۸۲	۰/۰۱۶۸	۰/۰۱۵۴	۰/۰۱۴	۰/۲۶۶	۰/۲۴۷	۰/۲۲۸	۰/۲۰۹	۰/۱۹	A-	
۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۶۵	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۵۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۱۹۵	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۱۶۵	۰/۰۰۱۵	B+	۵
۱/۰۲۹	۰/۹۵۵	۰/۸۸۲	۰/۸۰۸۵	۰/۷۳۵	۱/۰۲۹	۹/۵۵۵	۸/۸۲	۸/۰۸۵	۰/۳۵	B-	
۰/۰۰۹۸	۰/۰۰۹۱	۰/۰۰۸۴	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۹۸	۰/۰۰۹۱	۰/۰۰۸۴	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۷	AB+	
۲/۳۸	۲/۲۱	۲/۰۴	۱/۸۷	۱/۷	۵/۰۴	۴/۶۸	۴/۳۲	۳/۹۶	۳/۶	AB-	
۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۳۲۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲۷۵	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۴۴۸	۰/۰۰۴۱۶	۳/۰۳۸۴	۰/۰۰۳۵۲	۰/۰۰۳۲۲	O+	
۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۴	O-	

نتایج به دست آمده در جدول (۶) نشان می‌دهد از سازگاری گروه‌های خونی در بیمارستان‌ها اتلاف در گروه‌های مختلف کاهش داده است. در شکل (۲) درصد واحدهای گلبول قرمز سازگار شده را برای گروه‌های مختلف در بیمارستان‌ها خون را در دوره اول نشان می‌دهد. در این شکل کاملاً مشخص است که در بیمارستان‌های مختلف گروه O+ واحدهای بیشتری را به جای سایر گروه‌های خونی استفاده کرده‌اند.



شکل ۲. درصد میزان سازگاری برای گروه‌های مختلف در بیمارستان‌ها در دوره اول

### بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق شبکه زنجیره عرضه فرآورده‌های مختلف خون با هدف کاهش هزینه‌های اتلاف و کمبود از یک طرف و از طرف دیگر کاهش اختلاف میان مقادیر عرضه و تقاضای فرآورده‌های خون بین پایگاه انتقال خون به عنوان مرکز رسمی توزیع در استان‌ها و بیمارستان‌ها به عنوان مراکز تقاضا از طرف دیگر مورد مطالعه قرار گرفت. لذا جهت حصول به این اهداف یک مدل برنامه ریزی غیر خطی آرمانی تصادفی ارائه شد که با استفاده از روابط ریاضی به یک مدل برنامه ریزی خطی آرمانی تصادفی تغییر یافت. جهت پیاده سازی مدل، از شبکه عرضه فرآورده‌های خون استان آذربایجان شرقی استفاده شد. در این استان ۵ بیمارستان تحت پوشش پایگاه انتقال خون استان در نظر گرفته شد. با جمع آوری داده‌ها و نهایتاً حل مدل در نرم افزار گمز، مقادیر متخلف عرضه فرآورده گلبول قرمز متراکم برای دوره‌های مختلف بدست آمد. لذا می‌توان نتایج را در بندهای زیر خلاصه نمود:

- بیمارستان‌ها با توجه به هزینه‌های پایین نگهداری و اتلاف و حمل در مقایسه با هزینه‌های کمبود برای بیماران فوق العاده نیازمند و نیازمند ترجیح می‌دهند تقاضای بیش از نیاز واقعی خود را به پایگاه انتقال خون اعلام دارند.
  - پایگاه انتقال خون با درک این موضوع که بیمارستان‌ها هزینه قابل توجهی را برای تامین فرآورده‌های خون نمی‌پردازند لذا سعی دارد مقادیر عرضه را مدیریت نموده و نسبت به موجودی خود توزیع را انجام دهد.
  - سازگاری گروه‌های خونی می‌تواند هزینه‌های اتلاف بیمارستان‌ها را کاهش دهد.
  - گروه O+ به دلیل سازگاری بیشتر با سایر گروه‌ها، هزینه‌های اتلاف را بیشتر کاهش داده است.
- برای تحقیقات آینده می‌توان پیشنهادات زیر را ارائه نمود:
- در این تحقیق از مراکز عرضه واحدهای تهیه و فرآوری که زیر نظر پایگاه انتقال خون استان، فرآورده‌های مختلف خون را عرضه می‌کنند چشم پوشی شده بود لذا می‌توان در تحقیقات آتی این موضوع را مورد بررسی قرار داد.
  - در این تحقیق تنها از فرآورده گلبول قرمز متراکم با طول عمر ۳۰ روز برای پیاده سازی مدل استفاده شد. لذا در تحقیقات آینده می‌توان سایر محصولات را نیز مدنظر قرار داد.
  - در تحقیقات آینده می‌توان نیاز بیماران را به خون تازه مورد توجه قرار داد.
  - در تحقیق حاضر بیمارستان‌ها امکان تامین نیاز اضطراری سایر بیمارستان‌ها را ندارند لذا می‌توان در مطالعات بعدی این موضوع را در نظر گرفت.

## منابع

Beliën, J., & Forcé, H. (2012). Supply chain management of blood products: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 217(1), 1–16.

Blake, J., & Hardy, M. (2013). Using simulation to evaluate a blood supply network in the Canadian Maritime Provinces. *Journal of Enterprise Information Management*, 26(1/2), 119–134.

Cetin, E., & Sarul, S. (2009). A Blood Bank Location Model: A Multi objective Approach. *European Journal of Pure and Applied Mathematics*, 2(1), 112–124.

Chen, I. (2010). In a world of throwaways, making a dent in medical waste. *NEW York Times*.

Cheraghali, A. M. (2012). Overview of Blood Transfusion System of Iran: 2002–2011. *Iranian Journal of Public Health*, 41(8), 89–93.

Duan, Q., & Liao, T. W. (2014). Optimization of blood supply chain with shortened shelf lives and ABO compatibility. *International Journal of Production Economics*, 153, 113–129.

Fahimnia, B., Jabbarzadeh, A., Ghavamifar, A., & Bell, M. (2015). Supply chain design for efficient and effective blood supply in disasters. *International Journal of Production Economics*.

Gharehbaghian, A., Abolghasemi, H., & Namini Tabrizi, M. (2008). Status of blood transfusion services in Iran. *Asian Journal of Transfusion Science*, 2, 13–17.

Goldfarb, R. S. (2013). Shortage, Shortage, Who's Got the Shortage? *The Journal of Economic Education*, 44(3), 277–297.

Grant, D. B. (2010). Integration of supply and marketing for a blood service. *Management Research Review*, 33(2), 123–133.

Gunpinar, S., & Centeno, G. (2015). Stochastic integer programming models for reducing wastages and shortages of blood products at hospitals. *Computers & Operations Research*, 54, 129–141.

Haijema, R., van der Wal, J., & van Dijk, N. M. (2007). Blood platelet production: Optimization by dynamic programming and simulation. *Computers & Operations Research*, 34(3), 760–779.

Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., & Seuring, S. (2014). Dynamic supply chain network design for the supply of blood in disasters: A robust model with real world application. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 70, 225–244.

Kazemi, S. M., Rabbani, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Shahreza, F. A. (2017). Blood inventory-routing problem under uncertainty. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 32(1), 467–481.

Maramazi Ghaflez, B., Kaab Omeir, H., Jalali Far, M. A., Saki, N., Torabizadeh Maatoghi, J., & Naderpour, M. (2014). Study of rate and causes of blood components discard among Ahwaz's hospital. *Blood-Journal*.

Nagurney, A., Masoumi, A. H., & Yu, M. (2012). Supply chain network operations management of a blood banking system with cost and risk minimization. *Computational Management Science*, 9(2), 205–231.

Nahmias, S. (2011). *Perishable inventory systems*. Springer.

Omidkhoda, A., Amini Kafi-Abad, S., Pourfatollah, A. A., & Maghsudlu, M. (2016). Blood collection, components preparation and distribution in Iran, 2008–2012. *Transfusion and Apheresis Science*, 54(1), 117–121.

Osorio, A. F., Brailsford, S. C., Smith, H. K., Forero-Matiz, S. P., & Camacho-Rodríguez, B. A. (2016). Simulation-optimization model for production planning in the blood supply chain. *Health Care Management Science*, 1–17.

Puranam, K., Novak, D. C., Lucas, M. T., & Fung, M. (2017). Managing blood inventory with multiple independent sources of supply. *European Journal of Operational Research*, 259(2), 500–511.

Rytilä, J. S., & Spens, K. M. (2006). Using simulation to increase efficiency in blood supply chains. *Management Research News*, 29(12), 801–819.

Sapountzis, C. (1989). Allocating Blood to Hospitals. *Journal of the Operational Research Society*, 40(5), 443–449.

Seifried, E., Klueter, H., Weidmann, C., Staudenmaier, T., Schrezenmeier, H., Henschler, R., ... Mueller, M. M. (2011). How much blood is needed? *Vox Sanguinis*, 100(1), 10–21.

Sha, Y., & Huang, J. (2012). The Multi-period Location-allocation Problem of Engineering Emergency Blood Supply Systems. *Systems Engineering Procedia*, 5, 21–28.

Shander, A., Hofmann, A., Gombotz, H., Theusinger, O. M., & Spahn, D. R. (2007). Estimating the cost of blood: past, present, and future directions. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, 21(2), 271–289.

Stanger, S. H. W., Wilding, R., Yates, N., & Cotton, S. (2012). What drives perishable inventory management performance? Lessons learnt from the UK blood supply chain. *Supply Chain Management: An International Journal*, 17(2), 107–123.

Stanger, S. H. W., Yates, N., Wilding, R., & Cotton, S. (2012). Blood Inventory Management: Hospital Best Practice. *Transfusion Medicine Reviews*, 26(2), 153–163.

Van Dijk, N., Haijema, R., Van Der Wal, J., & Sibinga, C. S. (2009). Blood platelet production: a novel approach for practical optimization. *Transfusion*, 49(3), 411–420.

Yates, N., Stanger, S., Wilding, R., & Cotton, S. (2017). Approaches to assessing and minimizing blood wastage in the hospital and blood supply chain. *ISBT Science Series*, n/a-n/a.

yousefi nejad attari, mahdi, pasandide, S. H. R., Agaie, afsaneh, & Akhavan Niaki, S. T. (2017). Presenting a stochastic multi choice goal programming model for reducing wastages and shortages of blood products at hospitals. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 10(special issue on healthcare),

Zahiri, B., & Pishvae, M. S. (2016). Blood supply chain network design considering blood group compatibility under uncertainty. *International Journal of Production Research*, 1-21.

Zahiri, B., Torabi, S. A., Mousazadeh, M., & Mansouri, S. A. (2015). Blood collection management: Methodology and application. *Applied Mathematical Modelling*, 39(23-24), 7680-7696.

Zhou, D., Leung, L. C., & Pierskalla, W. P. (2011). Inventory Management of Platelets in Hospitals: Optimal Inventory Policy for Perishable Products with Regular and Optional Expedited Replenishments. *Manufacturing & Service Operations Management*, 13(4), 420-438.



پیوست (۱). میزان تقاضای بیمارستان‌ها از فرآورده گلبول قرمز متراکم طی دوره و سناریوهای مختلف

t=2					t=1					j	i
s=5	s=4	s=3	s=2	s=1	s=5	s=4	s=3	s=2	s=1		
۳۹۳۷	۳۹۳۷	۳۹۷۱	۴۰۳۳	۴۰۵۵	۴۰۱۹	۳۹۶۵	۳۹۹۲	۳۹۷۳	۳۹۱۴	j=1	i=1
۴۹۲	۴۹۲	۴۹۶	۵۰۴	۵۰۶	۵۰۲	۴۹۵	۴۹۸	۴۹۶	۴۸۹	j=2	
۲۳۲۲	۲۳۲۲	۲۳۴۲	۲۳۷۹	۲۳۹۲	۲۳۷۰	۲۳۳۹	۲۳۵۴	۲۳۴۳	۲۳۰۸	j=3	
۲۸۰	۲۸۰	۲۸۲	۲۸۷	۲۸۸	۲۸۶	۲۸۲	۲۸۴	۲۸۳	۲۷۸	j=4	
۹۱۷	۹۱۷	۹۲۵	۹۴۰	۹۴۵	۹۳۶	۹۲۴	۹۳۰	۹۲۶	۹۱۲	j=5	
۱۲۰	۱۲۰	۱۲۱	۱۲۳	۱۲۳	۱۲۲	۱۲۱	۱۲۱	۱۲۱	۱۱۹	j=6	
۳۶۲۰	۳۶۲۰	۳۶۵۱	۳۷۰۹	۳۷۲۹	۳۶۹۵	۳۶۴۶	۳۶۷۱	۳۶۵۴	۳۵۹۹	j=7	
۴۹۳	۴۹۳	۴۹۷	۵۰۵	۵۰۷	۵۰۳	۴۹۶	۴۹۹	۴۹۷	۴۹۰	j=8	
۱۵۴۴	۱۵۵۰	۱۵۶۶	۱۵۶۸	۱۵۷۵	۱۵۷۱	۱۵۳۹	۱۵۶۱	۱۵۳۸	۱۵۲۱	j=1	i=2
۱۹۳	۱۹۳	۱۹۶	۱۹۶	۱۹۷	۱۹۶	۱۹۲	۱۹۵	۱۹۲	۱۹۰	j=2	
۹۱۱	۹۱۴	۹۲۴	۹۲۵	۹۲۹	۹۲۷	۹۰۸	۹۲۱	۹۰۷	۸۹۷	j=3	
۱۱۰	۱۱۰	۱۱۱	۱۱۲	۱۱۲	۱۱۲	۱۰۹	۱۱۱	۱۰۹	۱۰۸	j=4	
۳۶۰	۳۶۱	۳۶۵	۳۶۵	۳۶۷	۳۶۶	۳۵۹	۳۶۴	۳۵۸	۳۵۴	j=5	
۴۷	۴۷	۴۸	۴۸	۴۸	۴۸	۴۷	۴۸	۴۷	۴۶	j=6	
۱۴۲۰	۱۴۲۵	۱۴۴۰	۱۴۴۲	۱۴۴۹	۱۴۴۵	۱۴۱۵	۱۴۳۶	۱۴۱۴	۱۳۹۸	j=7	
۱۹۳	۱۹۴	۱۹۶	۱۹۶	۱۹۷	۱۹۷	۱۹۳	۱۹۵	۱۹۲	۱۹۰	j=8	
۱۷۸۳	۱۷۸۶	۱۷۹۱	۱۸۰۲	۱۸۳۸	۱۸۱۳	۱۷۹۳	۱۸۳۷	۱۸۳۶	۱۷۷۴	j=1	i=3
۲۲۳	۲۲۳	۲۲۴	۲۲۵	۲۳۰	۲۲۶	۲۲۴	۲۲۹	۲۲۹	۲۲۲	j=2	
۱۰۵۱	۱۰۵۳	۱۰۵۶	۱۰۶۳	۱۰۸۴	۱۰۶۹	۱۰۵۷	۱۰۸۳	۱۰۸۳	۱۰۴۷	j=3	
۱۲۷	۱۲۷	۱۲۷	۱۲۸	۱۳۱	۱۲۹	۱۲۷	۱۳۱	۱۳۱	۱۲۶	j=4	
۴۱۵	۴۱۶	۴۱۷	۴۲۰	۴۲۸	۴۲۲	۴۱۸	۴۲۸	۴۲۸	۴۱۳	j=5	
۵۴	۵۴	۵۴	۵۵	۵۶	۵۵	۵۵	۵۶	۵۶	۵۴	j=6	
۱۶۳۹	۱۶۴۲	۱۶۴۷	۱۶۵۷	۱۶۹۰	۱۶۶۷	۱۶۴۸	۱۶۸۹	۱۶۸۹	۱۶۳۲	j=7	
۲۲۳	۲۲۳	۲۲۴	۲۲۵	۲۳۰	۲۲۷	۲۲۴	۲۳۰	۲۳۰	۲۲۲	j=8	
۱۷۱۰	۱۷۱۳	۱۷۱۴	۱۷۳۶	۱۷۷۱	۱۷۵۰	۱۷۵۴	۱۷۶۷	۱۷۶۴	۱۷۱۰	j=1	i=4
۲۱۳	۲۱۴	۲۱۴	۲۱۷	۲۲۱	۲۱۸	۲۱۹	۲۲۱	۲۲۰	۲۱۳	j=2	
۱۰۰۸	۱۰۱۰	۱۰۱۱	۱۰۲۴	۱۰۴۴	۱۰۳۲	۱۰۳۵	۱۰۴۲	۱۰۴۰	۱۰۰۸	j=3	
۱۲۲	۱۲۲	۱۲۲	۱۲۳	۱۲۶	۱۲۴	۱۲۵	۱۲۶	۱۲۵	۱۲۲	j=4	
۳۹۸	۳۹۹	۳۹۹	۴۰۵	۴۱۳	۴۰۸	۴۰۹	۴۱۲	۴۱۱	۳۹۸	j=5	
۵۲	۵۲	۵۲	۵۳	۵۴	۵۳	۵۳	۵۴	۵۴	۵۲	j=6	
۱۵۷۲	۱۵۷۵	۱۵۷۶	۱۵۹۷	۱۶۲۸	۱۶۰۹	۱۶۱۳	۱۶۲۵	۱۶۲۲	۱۵۷۲	j=7	
۲۱۴	۲۱۴	۲۱۴	۲۱۷	۲۲۲	۲۱۹	۲۲۰	۲۲۱	۲۲۱	۲۱۴	j=8	

۱۰۹۷	۱۰۹۷	۱۱۰۹	۱۱۲۱	۱۱۳۶	۱۰۹۸	۱۱۱۰	۱۱۳۶	۱۱۳۶	۱۰۹۶	j=1	i=۵
۱۳۷	۱۳۷	۱۳۹	۱۴۰	۱۴۲	۱۳۷	۱۳۹	۱۴۲	۱۴۲	۱۳۷	j=2	
۶۴۷	۶۴۷	۶۵۴	۶۶۱	۶۷۰	۶۴۸	۶۵۵	۶۷۰	۶۷۰	۶۴۷	j=3	
۷۸	۷۸	۷۹	۸۰	۸۱	۷۸	۷۹	۸۱	۸۱	۷۸	j=4	
۲۵۵	۲۵۶	۲۵۸	۲۶۱	۲۶۵	۲۵۶	۲۵۹	۲۶۵	۲۶۵	۲۵۵	j=5	
۳۳	۳۳	۳۴	۳۴	۳۵	۳۳	۳۴	۳۵	۳۵	۳۳	j=6	
۱۰۰۸	۱۰۰۹	۱۰۲۰	۱۰۳۱	۱۰۴۴	۱۰۱۰	۱۰۲۱	۱۰۴۴	۱۰۴۴	۱۰۰۸	j=7	
۱۳۷	۱۳۷	۱۳۹	۱۴۰	۱۴۲	۱۳۷	۱۳۹	۱۴۲	۱۴۲	۱۳۷	j=8	