



## A location-inventory model of blood products (platelet) in the blood supply chain based on the EOQ ordering system

**Sarvenaz Aieneh-Vand**

M.S. Student in Industrial Engineering, School of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran. E-mail: sarvenaz\_aienehvand@ind.iust.ac.ir

**Mohammad Reza Gholamian\***

\*Corresponding Author, Associate Prof., School of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran. E-mail: Gholamian@iust.ac.ir

### Abstract

**Objective:** Despite the advancement of technology and the emergence of innovations in the field of healthcare, scientists have not yet been able to find a suitable alternative to human blood. As a result, inventory management of blood and blood products has always been a major concern of the medical community. Among blood products, platelet management is very important because of their specific usages and their rapid perishabilities. The main objective of this research is to present a platelet supply chain design for decreasing the number of shortages and wastages simultaneously.

**Methods:** In this study, a mixed nonlinear location-inventory model is presented by using inventory concepts in order to manage platelet inventory in blood centers and hospitals and locating collection facilities to reduce platelet supply chain costs. The proposed location-inventory model has approximately converted into mixed linear programming using the piecewise linearization method and then has been solved with the Gams software.

**Results:** Using the proposed model, blood centers are able to meet a high percentage of hospital demands, which reduces the number of platelet shortage units and supply chain cost. Also, using inventory concepts and better hospital assignment to blood centers with FIFO policy, the restriction of wastage on the number of lost units in hospitals and blood centers will be removed.

**Conclusion:** Using the developed contribution and applying inventory control and economic order quantity (EOQ) relations, the platelet inventory in the blood centers can be managed in such a way that in each period the maximum demand of hospitals has been met and the shortage has been reduced. Also, due to the specific features of the blood, platelets would be kept in more proper conditions, which will reduce the wastes in hospitals. In addition, the number of blood donors can be improved by using mobile blood collection facilities.

**Keywords:** Platelet Supply Chain, Economic Order Quantity, Location, Inventory Management, Wastage.

**Citation:** Aieneh-Vand, Sarvenaz & Gholamian, Mohammad Reza (2020). A location-inventory model of blood products (platelet) in the blood supply chain based on the EOQ ordering system. *Industrial Management Journal*, 12(4), 609-633. (in Persian)

Industrial Management Journal, 2020, Vol. 12, No.4, pp. 609-633

DOI: 10.22059/IMJ.2021.309101.1007772

Received: September 02, 2020; Accepted: May 18, 2021

Article Type: Research-based

© Faculty of Management, University of Tehran

## ارائه مدل مکان‌یابی-موجودی فرآورده‌های خونی (پلاکت) در زنجیره تأمین خون بر اساس سیستم سفارش‌دهی EOQ

سروناز آئینه‌وند

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. رایانامه: sarvenaz\_aienehvand@ind.iust.ac.ir

محمد رضا غلامیان\*

\* نویسنده مسئول، دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. رایانامه: Gholamian@iust.ac.ir

### چکیده

**هدف:** علیرغم پیشرفت تکنولوژی در زمینه بهداشت و درمان، دانشمندان هنوز نتوانسته‌اند جایگزین مناسبی برای خون انسان پیدا کنند. در نتیجه مدیریت موجودی خون و فرآورده‌های خونی همواره از دغدغه‌های اصلی جوامع پزشکی به شمار می‌رود. از میان فرآورده‌های خونی، مدیریت پلاکت‌ها به دلیل کاربردهای منحصر به فردشان و در مقابل فسادپذیری سریعشان، بسیار حائز اهمیت است. هدف اصلی این پژوهش ارائه مدل زنجیره تأمین پلاکت جهت کاهش تعداد کمبودها و دورریزها بطور همزمان است.

**روش:** در این مطالعه، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی مختلط مکان‌یابی-موجودی با استفاده از مفاهیم موجودی برای مدیریت موجودی پلاکت در مراکز خون و بیمارستان‌ها و مکان‌یابی تسهیلات جمع‌آوری به منظور کاهش هزینه‌های زنجیره تأمین پلاکت ارائه شده است. مدل مکان‌یابی-موجودی ارائه شده توسط روش خطی‌سازی تکه‌ای به مدل خطی تقریب زده شده و سپس توسط نرم افزار گمز حل شده است.

**یافته‌ها:** با استفاده از مدل پیشنهادی، مراکز خون توانایی پاسخگویی به درصد بالایی از تقاضای بیمارستان‌ها را پیدا می‌کنند که موجب کاهش تعداد واحدهای کمبود پلاکت و هزینه‌های زنجیره تأمین می‌گردد. همچنین با استفاده از مفاهیم موجودی و تخصیص بهتر بیمارستان‌ها به مراکز خون با به کارگیری سیاست فایفو، محدودیت هدررفت تعداد واحدهای دورریز در بیمارستان‌ها و مراکز خون برطرف می‌گردد.

**نتیجه‌گیری:** با استفاده از نوآوری توسعه یافته و بکارگیری روابط و فرمول‌های کنترل موجودی و میزان سفارش اقتصادی، می‌توان موجودی پلاکت مراکز خون را به گونه‌ای مدیریت کرد که در هر دوره، حداکثر تقاضای بیمارستان‌ها پاسخ داده شده و کمبود کاهش یابد. همچنین به دلیل ویژگی‌های خاص خون، پلاکت‌ها در شرایط مناسب‌تری نگهداری می‌شوند که سبب کاهش دورریز در بیمارستان‌ها می‌گردد. بعلاوه با استفاده از تسهیلات جمع‌آوری خون بسیار می‌توان تعداد اهداکنندگان خون را بهبود بخشید.

**کلیدواژه‌ها:** زنجیره تأمین پلاکت، مقدار سفارش اقتصادی، مکان‌یابی، مدیریت موجودی، دورریز

**استناد:** آئینه‌وند، سروناز و غلامیان، محمد رضا (۱۳۹۹). ارائه مدل مکان‌یابی-موجودی فرآورده‌های خونی (پلاکت) در زنجیره تأمین خون بر اساس سیستم سفارش‌دهی EOQ. مدیریت صنعتی، ۱۲(۴)، ۶۰۹-۶۳۳.

## مقدمه

زنجیره تأمین خون شامل فرآیندهای جمع‌آوری خون از اهداکنندگان، آزمایش و تولید فرآورده‌های خونی در مراکز خون و انتقال فرآورده‌های خونی به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی به منظور درمان بیماران می‌باشد. همانطور که گفته شد، خون به عنوان بخشی از درمان استفاده می‌شود و موجود بودن مقدار کافی از آن ضرورت دارد. زیرا کمبود هر یک از فرآورده‌های مورد نیاز ممکن است به مرگ بیمار منجر شود. از سوی دیگر خون تنها از بدن انسان زنده گرفته می‌شود و میزان تمایل اهداکننده در طول زمان و مکان‌های مختلف متغیر است. بنابر اعلام صلیب سرخ آمریکا در سال ۲۰۱۴ تنها ۱۰ درصد افراد واجد شرایط در این کشور خون اهدا کرده‌اند و بنابر آمار سازمان جهانی بهداشت میزان اهدا در کشورهایی با درآمد متوسط و ضعیف کمتر می‌باشد (اوسوریو، بریلسفورد و اسمیت، ۲۰۱۵). این بدان معناست که تصمیم‌گیری و مدیریت بهینه موجودی در زنجیره تأمین خون از یکسو با افزایش تعداد بیماران (تقاضا) و از سوی دیگر با کاهش تعداد اهداکنندگان (عرضه) همراه است که بهینه‌سازی زنجیره را به چالش کشیده است (سفرید و همکارانش، ۲۰۱۱).

امروزه به دلیل افزایش دغدغه‌های فردی، تمایل افراد برای اهدای خون در حال کاهش است. عوامل مختلفی در تصمیم‌گیری اهداکننده تأثیر می‌گذارند. از سوی دیگر با بروز بیماری‌های جدید و بالا رفتن جمعیت، میزان تقاضا رو به افزایش است. فرآورده مورد نظر در این تحقیق پلاکت می‌باشد این عوامل سبب شده است تا زنجیره تأمین پلاکت یکی از معدود زنجیره‌های تأمینی باشد که هم در بخش عرضه و هم در بخش تقاضا دارای عدم قطعیت بالایی می‌باشد که سبب دو برابر شدن پیچیدگی مدیریت و برنامه‌ریزی زنجیره می‌گردد (انصافیان و یعقوبی، ۲۰۱۷). به دلیل محدود بودن طول عمر پلاکت و کاربرد گسترده آن در جراحی‌ها و بیماری‌های رایج، مدیریت صحیح پلاکت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از سوی دیگر به دلیل عدم وجود بانک خون و نبودن شرایط لازم نگهداری پلاکت در بسیاری از بیمارستان‌ها، پلاکت‌های مصرف نشده به سرعت فاسد می‌گردند. با توجه به شکاف تحقیقاتی و عدم به کارگیری مدل‌های EOQ در مقالات مشابه، در این تحقیق سعی بر آن است تا با استفاده از مقدار سفارش اقتصادی و مفاهیم موجودی و در نظر گرفتن تمام سطوح زنجیره تأمین، یک مدل مکان یابی-موجودی ارائه شود تا تخصیص بیمارستان‌ها به مراکز خون و پاسخگویی به تقاضای پلاکت بیمارستان‌ها به گونه‌ای تعیین گردد تا علاوه بر کاهش میزان کمبود پلاکت در بیمارستان‌ها، میزان هدررفت در مراکز خون و بیمارستان‌ها کاهش یابد و میزان هزینه کل سیستم زنجیره تأمین کمینه گردد.

## پیشینه پژوهش

مطالعات در زمینه مدیریت زنجیره تأمین فرآورده‌های خونی در دهه ۱۹۶۰ آغاز شد. با توجه به مقالات مروری ارائه شده توسط بلین و فرس<sup>۱</sup> (۲۰۱۲) و پیرابن، گوررو و لابادی<sup>۲</sup> (۲۰۱۹) تاکنون نزدیک به ۱۵۰ مقاله در حوزه زنجیره تأمین

<sup>۱</sup>. Beliën & Forcé

<sup>۲</sup>. Pirabán, Guerrero & Labadie

خون و فرآورده‌های خونی انتشار یافته است. هایجما، وال و دیجک<sup>۱</sup> (۲۰۰۷) تولید و مدیریت موجودی پلاکت را با در نظر گرفتن تقاضای پیر و جوان و با به کارگیری روش ترکیبی از فرآیند تصمیم‌گیری مارکوف<sup>۲</sup> و شبیه‌سازی، قوانین بازپرسازی بررسی نمودند. اصلانی، کولر و اتکین<sup>۳</sup> (۲۰۱۳) یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری بر مبنای شبیه‌سازی ارائه کردند تا مراکز خون به کمک آن بتوانند مقدار دورریز پلاکت به دست آمده از روش آفرزیس خود را به کمترین مقدار برسانند. سیولک، کاراسمن واسچلر ولف<sup>۴</sup> (۲۰۱۳) یک سیاست ابتکاری برای بازپرسازی موجودی پلاکت خون با در نظر گرفتن سن‌های متفاوت ارائه کردند. عبدالوهاب و وهاب<sup>۵</sup> (۲۰۱۴) در مقاله خود، مدل شامل یک بانک خون پلاکت با در نظر گرفتن ۸ نوع گروه خونی، تقاضای غیرقطعی، عرضه غیرقطعی و زمان انتظار<sup>۵</sup> قطعی ارائه کردند. تصمیمات مرتبط با مقدار سفارش دهی از مدل روزنامه فروش<sup>۶</sup> پیروی می‌کند و ترکیبی از مدل روزنامه فروش، برنامه‌ریزی خطی و برنامه‌ریزی تقریبی پویا<sup>۷</sup> برای توسعه مدل به کار رفته است. آروان، توکلی مقدم و عبداللهی<sup>۸</sup> (۲۰۱۵) یک مدل برای مکان‌یابی تسهیلات جمع‌آوری و مراکز خون با در نظر گرفتن زمان انتقالات خون و فرآورده‌های خونی در میان سطوح مختلف شبکه زنجیره تأمین خون به منظور کاهش زمان سپری شده پیشنهاد دادند و برای دستیابی به جواب پارتو<sup>۹</sup> از روش محدودیت اسپیلون استفاده کردند. رمضانیان و بهبودی<sup>۱۰</sup> (۲۰۱۷) به منظور افزایش تعداد واحدهای اهداشده و کاهش کمبود، یک مدل مکان‌یابی تسهیلات جمع‌آوری خون با در نظر گرفتن عوامل موثر بر نظر اهداکنندگان شامل فاصله اهداکنندگان تا تسهیلات جمع‌آوری، رفتار پرسنل و زمان سپری شده در تسهیلات جمع‌آوری و تبلیغات را ارائه کردند. انصافیان، یعقوبی و مدرس یزدی<sup>۱۱</sup> (۲۰۱۷) به منظور یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین پلاکت و مدیریت بهتر واحدهای خون، گروه‌های خونی را برای تزریق جایگزین اولویت بندی کرده و تقاضا را براساس سن پلاکت دسته‌بندی نمودند و برای مقابله با عدم قطعیت میزان عرضه، تعداد اهداکنندگان یا استفاده از مدل زنجیره مارکوف پیش بینی شده است. همچنین برای تولید سناریوهای مختلف از روش مونت کارلو<sup>۱۲</sup> استفاده شده است. انصافیان و یعقوبی<sup>۱۲</sup> (۲۰۱۷) در مقاله دیگری یک مدل با در نظر گرفتن تقاضای پلاکت با سن‌های مختلف، سیاست‌های مصرف فایفو و لایفو<sup>۱۱</sup> و روش‌های مختلف تولید پلاکت، افزایش تازگی پلاکت‌های تزریق شده به بیماران پیشنهاد کردند. راجندران و رایندران<sup>۱۳</sup> (۲۰۱۷) یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی مختلط به منظور حداقل کردن میزان پلاکت‌های فاسد شده و افزایش سطح خدمت رسانی به بیماران با در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا توسعه دادند. حسینی‌فرد و عباسی<sup>۱۴</sup> (۲۰۱۸) برای مدیریت بهینه موجودی، متمرکز کردن موجودی ب بیمارستان‌هایی که از لحاظ مسافت به یکدیگر نزدیک می‌باشند را پیشنهاد دادند. بدین منظور، بر اساس سیاست بازپرسازی (S-1,S) به مرکز خون سفارش می‌دهند که استفاده از این روش سبب افزایش پایداری و

<sup>1</sup>. Hajjema, Wal & Dijk

<sup>2</sup>. Markov decision process

<sup>3</sup>. Asllani, Culler & Etkin

<sup>4</sup>. Civelek, Karaesmen & Scheller-Wolf

<sup>5</sup>. Lead time

<sup>6</sup>. News-vendor model

<sup>7</sup>. Approximate dynamic Programming

<sup>8</sup>. Arvan, Tavakkoli-Moghaddam & Abdollahi

<sup>9</sup>. Pareto Solution

<sup>10</sup>. Monte-Carlo

<sup>11</sup>. LIFO (Last In First Out)

<sup>12</sup>. Rajendran & Ravindran

انعطاف پذیری شبکه می‌شود. دوان، کیانگ، یانگ و لو<sup>۱</sup> در مقاله خود، به منظور مدیریت بهینه موجودی واحدهای خونی، چگونگی توزیع خون میان واحدهای مختلف و متمرکز کردن چندین دپارتمان مختلف را بررسی کردند. یوسفی نژاد و نیشابوری جم (۲۰۱۸) مدیریت موجودی و تصمیمات مکان یابی سطوح مختلف یک زنجیره تأمین گلوبول قرمز را بررسی کردند و با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی ترکیبی<sup>۲</sup>، برنامه‌ریزی آرمانی چند هدفه<sup>۳</sup> و استوار با عدم قطعیت تقاضا و عرضه مقابله کردند. کارایی مدل توسط برش بهینه پارتو<sup>۴</sup> نشان داده شد. اسکندری خاقانی، توکلی مقدم، طالع زاده و حسن زاده امین (۲۰۱۸) برای یکپارچه سازی زنجیره تأمین خون، اثرات زیست محیطی شامل مکان‌یابی، حمل و نقل و دورریز و اثرات اجتماعی شامل فرصت‌های شغلی دائم و ثابت را بررسی کردند. ظهیری، ترابی، محمدی و آقابگلو (۲۰۱۸) به منظور افزایش تازگی محصولات ارسالی به بیمارستان‌ها، میزان زمان مورد انتظار برای مصرف فرآورده‌ها را مطرح نموده و از مدل صف برای مدیریت بهتر آن استفاده کردند. یعقوبی و کامور (۱۳۹۶) در مقاله خود، انتقالات عرضی میان بیمارستان‌ها را در نظر گرفتند تا علاوه بر کاهش هزینه‌ها، معیار تازگی فرآورده‌های خونی برای عمل‌های جراحی رعایت شود. همدن و دیابت<sup>۵</sup> (۲۰۱۹) از مدل برنامه‌ریزی دو سطحی برای تولید و کنترل موجودی گلوبول‌های قرمز استفاده کردند. در سطح اول، مدل، تعداد تسهیلات سیار جمع‌آوری مورد نیاز را تعیین می‌کند و در سطح دوم، تصمیمات مرتبط با میزان تولید و نگهداری موجودی اتخاذ می‌گردد.

حق جو، توکلی مقدم، شاهمرادی مقدم و رحیمی (۲۰۲۰) یک مدل مکان‌یابی-تخصیص استوار را با در نظر گرفتن اختلال در تسهیلات و عدم قطعیت در شرایط بحران، ارائه و وابستگی میزان اختلال در تسهیلات به هزینه اولیه برای بازگشایی تسهیلات را دو الگوریتم فرا ابتکاری بررسی نمودند. شکوهی فر، صباغی و پیلوری (۲۰۲۱) با در نظر گرفتن عدم قطعیت فازی برای عرضه و تقاضا و همچنین امکان انتقال پلاکت میان بیمارستان‌ها یک مدل جدید با عنوان IMAU-BSCLT<sup>۶</sup> به منظور کاهش هزینه‌های کمبود و دورریز ارائه کردند. حائری، حسینی مطلق، سامانی و رضایی (۲۰۲۰) روش پوشش داده‌ها را برای افزایش پایداری<sup>۷</sup> و کارایی<sup>۸</sup> زنجیره تأمین خون در شرایط اختلال خارجی مانند زلزله و اختلال داخلی مانند خراب شدن تجهیزات ارائه کردند.

همانطور که جدول زیر نشان می‌دهد، چالش اصلی در زنجیره تأمین خون، تعیین تعداد واحدهای خون است به گونه

ای که کمبود و فسادپذیری حداقل شود.

<sup>1</sup> Duan, Qiang, Yanhong & Lu

<sup>2</sup> Hybrid stochastic programming

<sup>3</sup> Multi-choice goal programming

<sup>4</sup> Pareto-optimal cuts

<sup>5</sup> Hamdan & Diabat

<sup>6</sup> Inventory Management model for Age-differentiated platelets under supply/demand Uncertainties (IMAU) for Blood Supply Chains with Lateral Transshipment (BSCLT)

<sup>7</sup> Resilient

<sup>8</sup> Efficient

جدول ۱. جمع بندی مرور تحقیق

روش حل	نوع مدل	تابع هدف	سطوح زنجیره					تصمیم گیری			تحقیق
			تفقا تقاضا	مركز جون	تسهیل ثبت	تسهیل سیار	اهد اکنده	مسیر یابی	موجودی	مکان یابی	
ابتکاری	MDP- شبهه سازی	تعداد واحدهای تولید شده		✓					✓		هایچما و همکارانش (۲۰۰۷)
شبهه سازی	شبهه سازی	دورریز		✓					✓		اصلانی و همکارانش (۲۰۱۳)
دقیق	ریاضی	کارایی		✓					✓		عبدالوهاب و وهاب (۲۰۱۴)
مارکوف- ابتکاری		هزینه		✓					✓		سیولک و همکارانش (۲۰۱۵)
گمز	MILP	هزینه		✓	✓	✓	✓			✓	رمضانیان و بهبودی (۲۰۱۷)
گمز	MILP	هزینه - زمان	✓	✓	✓		✓			✓	آروان و همکارانش (۲۰۱۵)
گمز	MILP	هزینه	✓	✓					✓		حسینی فرد و عباسی (۲۰۱۶)
گمز و متلب	MILP	هزینه	✓	✓	✓				✓		انصافیان و همکارانش (۲۰۱۷)
گمز	MILP	هزینه- تازگی	✓	✓	✓		✓		✓		انصافیان و یعقوبی (۲۰۱۷)
ابتکاری	MIP	هزینه	✓	✓					✓		راجندران و رایندران (۲۰۱۷)
ابتکاری	MIP	هزینه- زمان		✓	✓	✓	✓		✓	✓	یوسفی نژاد و نیشابوری (۲۰۱۸)
فرا ابتکاری	MIP	هزینه- زیست محیطی- اجتماعی	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	اسکندری و همکارانش (۲۰۱۸)
فرا ابتکاری	MIP	هزینه- تازگی	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	ظهیری و همکارانش (۲۰۱۸)

جدول ۲. ادامه جمع بندی مرور تحقیق

روش حل	نوع مدل	تابع هدف	سطوح زنجیره					تصمیم گیری			تحقیق
			تقاضا	مرکز	تسهیل ثبت	تسهیل سیر	اهدانکننده	مسیر یابی	موجودی	مکان یابی	
گمز	MIP	دورریز- هزینه- زمان	✓	✓	✓	✓			✓	✓	همدن و دیابت (۲۰۱۹)
فرا ابتکاری	MIP	هزینه		✓		✓	✓			✓	حق جو و همکارانش (۲۰۲۰)
گمز	MIP	کارایی- هزینه- پایداری	✓	✓	✓				✓	✓	حائری و همکارانش(۲۰۲۰)
شبه سازی	MIP	هزینه	✓	✓		✓	✓		✓		شکوهی فر و همکارانش(۲۰۲۱)
گمز	LP	هزینه	✓	✓					✓	✓	یعقوبی و کامور (۱۳۹۶)

چالش اصلی در زنجیره تامین خون، تعیین تعداد واحدهای خون است به گونه ای که کمبود و فسادپذیری حداقل شود. همانطور که در جدول (۲) مشاهده شد، بیشتر مطالعات صورت گرفته در حوزه مدیریت موجودی می باشد و تعداد مقالاتی که تمامی تصمیمات زنجیره تامین را در نظر گرفته باشند، کمتر است. همچنین تعداد سطوح در نظر گرفته شده در مقالات متغیر است و تعداد کمی از مقالات تمامی سطوح زنجیره تامین از اهدانکنندگان تا بیماران را بررسی کرده اند. در جمع بندی، با مرور مطالعات پیشین مشخص گردید که در زنجیره تامین خون، ارائه یک مدل یکپارچه با در نظر گرفتن تمام سطوح زنجیره و همچنین تمامی سطوح تصمیم گیری (بلند مدت، میان مدت و کوتاه مدت) به منظور کاهش تعداد دورریز و افزایش تازگی پلاکتهای تزریقی به بیماران در هر دوره پیشنهاد نشده است. بعلاوه، همانطور که جدول (۲) نشان می دهد، استفاده از مفاهیم موجودی در بهینه سازی تمام سطوح زنجیره کمتر به کار رفته است.

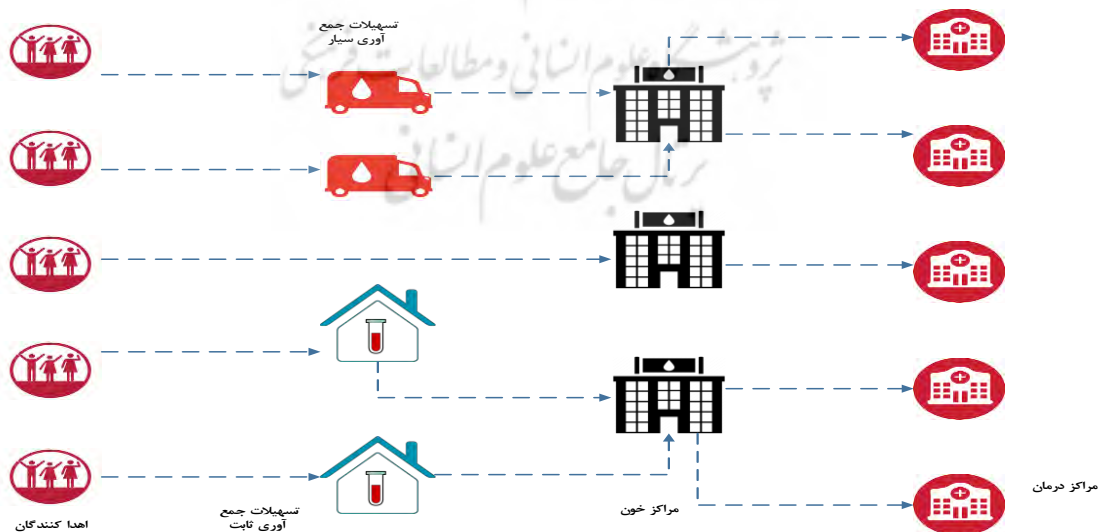
با توجه به شکاف تحقیقاتی مذکور، در این تحقیق سعی بر آن است تا با استفاده از مفاهیم موجودی و مقدار سفارش اقتصادی مدلی ارائه گردد تا به کمک آن کارایی مدیریت زنجیره تامین پلاکت افزایش یابد. در این مدل، علاوه بر موجودی مراکز خون، تعدادی پلاکت تحت عنوان ذخیره اطمینان در بانک خون نگهداری می شوند تا به کمک آن بتوان تقاضای بیمارستان ها را بهتر پاسخ داد. در این مدل غیرخطی با استفاده از مفاهیم موجودی، چگونگی تخصیص بیمارستان ها و تعداد واحدهای پلاکت تخصیص یافته به هریک از مراکز خون در هر دوره محاسبه می گردد و با به کارگیری روابط کنترل موجودی میزان هزینه ها کاهش می یابد. همچنین به منظور استفاده بهینه از واحدهای پلاکت و کم کردن میزان دورریز در هریک از تسهیلات، از محدودیت های حداکثر سازی استفاده شده است. هزینه کمبود و

هدررفت در تابع هدف و میزان کمبود و هدررفت در محدودیت ها نیز در نظر گرفته شده است که مجموع موارد فوق، در هیچیک از تحقیقات پیشین در ادبیات زنجیره تأمین خون به چشم نمی خورد.

## روش‌شناسی پژوهشی

مدل پیشنهادی یک مدل غیرخطی عدد صحیح مختلط است که زنجیره تأمین پلاکت (شکل ۱) شامل اهداکنندگان، تسهیلات جمع‌آوری سیار و ثابت، مراکز خون و بیمارستان ها را در نظر می‌گیرد. با استفاده از این مدل می‌توان مکان تسهیلات سیار، تعداد واحدهای خون جمع‌آوری شده، تعداد واحدهای پلاکت تولید شده و چگونگی تخصیص اهداکنندگان به تسهیلات جمع‌آوری، تسهیلات جمع‌آوری به مراکز خون و بیمارستان ها به مراکز خون را تعیین نمود. هدف این مدل حداقل‌سازی کل هزینه‌های زنجیره می‌باشد به گونه ای که میزان کمبود و هدررفت واحدهای پلاکت در بیمارستان به کمترین مقدار ممکن برسد.

اهدانندگان برای اهدای خون کامل به هریک از تسهیلات جمع‌آوری خون ثابت و سیار و مراکز خون می‌توانند مراجعه نمایند اما برای اهدای پلاکت به روش آفرزیش تنها می‌توانند به مراکز خون مراجعه کنند. پس از دریافت خون، تمام واحدهای خون جمع‌آوری شده در تسهیلات جمع‌آوری ثابت و سیار به مراکز خون انتقال می‌یابند. در مراکز خون پس از انجام آزمایشات لازم، فرآورده‌های خونی مورد نیاز تولید می‌گردد. فرآیند تست و پردازش حداقل دو روز زمان نیاز دارد. روزانه بر اساس میزان موجودی مراکز خون، درصدی از مقدار سفارش بیمارستان به مراکز خون، پاسخ داده می‌شود. در این مدل جهت ارسال واحدها از مراکز خون به بیمارستان ها و تزریق واحدهای خون به بیماران از روش فایفو استفاده شده است.



شکل ۱. زنجیره تأمین پلاکت



## مدلسازی

در این بخش یک مدل ریاضی به منظور یکپارچه سازی تصمیمات مکان یابی و موجودی زنجیره تأمین پلاکت ارائه خواهد شد. در ابتدا مفروضات، پارامترها و متغیرهای تصمیم ارائه شده است. سپس مدل سازی ریاضی آورده شده است.

## مفروضات

- ارسال واحدهای خون از تسهیلات جمع آوری به مراکز خون در کمتر از ۶ ساعت انجام می شود. در نتیجه تأثیری در طول عمر پلاکت ندارد.
- دو روز برای آزمایش و تولید پلاکت زمان نیاز است در نتیجه، در دوره های اول و دوم، تولید پلاکت صورت نمی گیرد.
- تقاضای هر بیمارستان از توزیع تصادفی نرمال با میانگین و واریانس معلوم پیروی می کنند و از یکدیگر مستقل می باشند.
- در هر دوره تعداد مشخصی تسهیل سیار در نقاط کاندیدا باز می باشند.
- ظرفیت جمع آوری خون در هر یک از تسهیلات، ظرفیت تولید پلاکت در مراکز خون، ظرفیت نگهداری موجودی در مراکز خون و بیمارستان ها محدود می باشد.
- تعداد اهداکنندگان آفرزیس کمتر از اهداکنندگان خون کامل می باشد.
- طول عمر پلاکت محدود و تنها ۵ روز می باشد. اگر پلاکت قبل از سپری شدن طول عمرش در مرکز خون یا بیمارستان مورد استفاده قرار نگیرد، فاسد شده است و باید دور ریخته شود.

## نمادها

تمام زیروندهای به کاررفته در این مطالعه در جدول (۳)، تمام پارامترها در جدول (۴)، تمام متغیرهای تصمیم در جدول (۵) نشان داده شده اند.

جدول ۳. زیروندها

توضیح	زیروند
زیروند گروه اهداکننده	$i = 1, \dots, I$
زیروند مکان تسهیل جمع آوری سیار	$j = 1, \dots, J$
زیروند مکان تسهیل جمع آوری ثابت	$l = 1, \dots, L$
زیروند مرکز خون	$k = 1, \dots, K$
زیروند بیمارستان	$h = 1, \dots, H$
زیروند دوره افق برنامه ریزی	$t = 1, \dots, T$

جدول ۴. پارامترها

پارامتر	توضیح
$CJ_j$	هزینه جمع‌آوری در تسهیل سیار $j$
$CL_l$	هزینه جمع‌آوری در تسهیل ثابت $l$
$CK_k$	هزینه جمع‌آوری در مرکز خون $k$
$bj.j.k$	هزینه ارسال از تسهیل سیار $j$ به مرکز خون $k$
$bl.l.k$	هزینه ارسال از تسهیل ثابت $l$ به مرکز خون $k$
$C_{j_1.j_2}$	هزینه جابجایی تسهیل سیار $j_1$ به $j_2$
$F_l$	هزینه ثابت بازگشایی تسهیل ثابت $l$
$sh$	هزینه کمبود هر واحد پلاکت در بیمارستان
$\Delta V_k$	هزینه متغیر تولید پلاکت در مرکز خون $k$
$eta$	هزینه نگهداری پلاکت در مرکز خون
$etah$	هزینه نگهداری پلاکت در بیمارستان
$wb$	هزینه دورریز در مرکز خون
$wh$	هزینه دورریز در بیمارستان
$pp$	تعداد تسهیلات سیار مورد نیاز
$UW_t$	تعداد اهداکنندگان در دوره $t$
$CPU_k$	ظرفیت تولید پلاکت مرکز خون $k$
$CPH_h$	ظرفیت نگهداری موجودی پلاکت بیمارستان $h$
$dr_{h,t}$	مصرف بیمارستان $h$ برای پلاکت در دوره $t$
$d_{k,h}$	هزینه انتقال از مرکز خون $k$ به بیمارستان $h$
$\emptyset$	هزینه تولید پلاکت آفرسیز در مرکز خون
$UPB_{k,t}$	تعداد اهداکنندگان آفرسیز در مرکز خون $k$ در زمان $t$
$\mu_{h,t}$	میانگین تقاضای بیمارستان $h$ در زمان $t$
$\sigma_{h,t}^2$	واریانس تقاضای بیمارستان $h$ در زمان $t$
$LT$	حداکثر طول عمر پلاکت
$\rho$	تعداد خون‌های مورد استفاده برای تولید یک پلاکت
$\varepsilon$	درصد خون‌های نامناسب
$\tau$	تعداد خون‌های آفرسیز گرفته شده از یک نفر
$M$	عدد بزرگ
$B_k$	هزینه ثابت سفارش دهی مرکز خون $k$
$\beta$	وزن مرتبط با هزینه حمل و نقل
$\theta$	وزن مرتبط با هزینه موجودی
$\gamma$	تعداد واحد خون کامل گرفته شده از یک نفر
$dj$	شعاع پوشش دهی تسهیل سیار
$dl$	شعاع پوشش دهی تسهیل ثابت
$dk$	شعاع پوشش دهی مرکز خون
$dij.i,j$	فاصله اهداکننده $i$ تا تسهیل سیار $j$
$dil.i,l$	فاصله اهداکننده $i$ تا تسهیل دائم $l$
$dik.i,k$	فاصله اهداکننده $i$ تا مرکز خون $k$
$A$	هزینه ثابت جابه‌جایی واحدهای خون از تسهیلات جمع‌آوری به مرکز خون

جدول 5. متغیرهای تصمیم

متغیر تصمیم	توضیح
$PJ_{i,j,t}$	اگر اهداکننده $i$ به تسهیل سیار $j$ در دوره $t$ تخصیص یابد، مقدار یک می گیرد در غیر این صورت صفر.
$PL_{i,l,t}$	اگر اهداکننده $i$ به تسهیل ثابت $l$ در دوره $t$ تخصیص یابد، مقدار یک می گیرد در غیر این صورت صفر.
$PK_{i,k,t}$	اگر اهداکننده $i$ به مرکز خون $k$ در دوره $t$ تخصیص یابد، مقدار یک می گیرد در غیر این صورت صفر.
$AJ_{j,k,t}$	اگر تسهیل سیار $j$ به مرکز خون $k$ در دوره $t$ تخصیص یابد، مقدار یک می گیرد در غیر این صورت صفر.
$AL_{l,k,t}$	اگر تسهیل ثابت $l$ به مرکز خون $k$ در دوره $t$ تخصیص یابد، مقدار یک می گیرد در غیر این صورت صفر.
$y_{j_1,j_2}$	اگر جابجایی مرکز سیار از نقطه $j_1$ به $j_2$ در دوره $t$ صورت گیرد، مقدار یک می گیرد در غیر این صورت صفر.
$X_{l,t}$	اگر تسهیل ثابت $l$ در دوره $t$ آغاز به کار کند، مقدار یک می گیرد در غیر این صورت صفر.
$S_{k,h,t}$	اگر بیمارستان $h$ به مرکز خون $k$ در دوره $t$ تخصیص یابد، مقدار یک می گیرد در غیر این صورت صفر.
$MJ_{i,j,t}$	تعداد خون اهدا شده در منطقه اهدا کننده $i$ در تسهیل سیار $j$ در دوره $t$
$ML_{i,l,t}$	تعداد خون جمع آوری شده از گروه اهدا کننده $i$ در تسهیل ثابت $l$ در دوره $t$
$MK_{i,k,t}$	تعداد خون جمع آوری شده از گروه اهدا کننده $i$ در مرکز خون $k$ در دوره $t$
$NJ_{j,k,t}$	تعداد خون ارسال شده از تسهیل سیار $j$ به مرکز خون $k$ در دوره $t$
$NL_{l,k,t}$	تعداد خون ارسال شده از تسهیل ثابت $l$ به مرکز خون $k$ در دوره $t$
$QP_{k,t}$	تعداد پلاکت تولید شده در مرکز خون $k$ در دوره $t$
$WLB_{k,t}$	تعداد پلاکت فاسد شده در مرکز خون $k$ در دوره $t$
$WLH_{h,t}$	تعداد پلاکت فاسد شده در بیمارستان $h$ در دوره $t$
$IPH_{h,t}$	سطح موجودی پلاکت در بیمارستان $h$ در دوره $t$
$IPB_{k,t}$	سطح موجودی پلاکت در مرکز خون $k$ در دوره $t$
$APB_{k,t}$	تعداد اهدا کننده آفریزس در مرکز خون $k$ در دوره $t$
$SHH_{h,t}$	تعداد کمبود پلاکت در بیمارستان $h$ در دوره $t$
$Xr_{k,h,t}$	درصد ارسال سفارش بیمارستان $h$ از مرکز خون $k$ در دوره $t$

## مدل

تابع هدف به دنبال حداقل کردن هزینه های کل زنجیره تأمین می باشد. همانطور که در رابطه (1) مشاهده می کنید جمله اول هزینه بازگشایی تسهیلات جمع آوری ثابت، جمله دوم هزینه جابجایی تسهیلات سیار میان نقاط کاندید، جمله سوم تا هفتم مرتبط با هزینه جمع آوری خون کامل از اهداکنندگان در تسهیلات جمع آوری سیار، ثابت و مراکز خون، هزینه انتقال خون های جمع آوری شده از تسهیلات جمع آوری به مراکز، جمله هشتم و نهم هزینه تولید پلاکت از خون کامل و هزینه جمع آوری پلاکت از روش آفریزس در مراکز خون، جمله دهم تا دوازدهم هزینه نگهداری پلاکت در بیمارستان ها، هزینه دورریز پلاکت های فاسد شده در بیمارستان ها و هزینه کمبود در بیمارستان ها، جملات سیزدهم تا شانزدهم هزینه دورریز در مراکز خون، هزینه سفارش دهی، هزینه انتقال پلاکت از مراکز خون به بیمارستان ها، هزینه نگهداری پلاکت و ذخیره اطمینان در مراکز خون را نشان داده اند. به منظور پاسخگویی بهتر به تقاضای بیمارستان ها از مفاهیم موجودی استفاده شده است. بدین منظور، تقاضای بیمارستان ها به مراکز خون همانند سفارش اقتصادی در نظر گرفته شده است که در هر دوره با توجه به میزان موجودی مراکز خون تخصیص بهینه صورت می گیرد و برای پاسخگویی بهتر مقداری ذخیره

اطمینان در مراکز خون موجود است. با توجه به مدل استفاده شده در مقالات مشابه و اطلاعات کسب شده از متخصصین حوزه سلامت تقاضای هر بیمارستان، توزیع نرمال در نظر گرفته شده است.

$$\begin{aligned}
 Minz = & \sum_{i,t} F_i X_{i,t} + \sum_{j_1, j_2, t} Y_{j_1, j_2} C_{j_1, j_2} \\
 & + \sum_{i,j,t} M J_{i,j,t} C J_j + \sum_{i,l,t} M L_{i,l,t} C L_l + \sum_{i,k,t} M K_{i,k,t} C K_k \\
 & + \sum_{j,k,t} N J_{j,k,t} B J_{j,k} + \sum_{l,k,t} N L_{l,k,t} B L_{l,k} + \sum_{k,t} Q P_{k,t} \Delta v_k \\
 & + \sum_{k,t} A B P_{k,t} \phi + \sum_{h,t} I P H_{h,t} \eta t a h + \sum_{h,t} W L H_{h,t} w h \\
 & + \sum_{h,t} S H H_{h,t} s h \\
 & + \sum_{k,t} W L B_{k,t} w b \\
 & + \beta \sum_{h,k,t} \mu_{h,t} d_{k,t} S_{k,h,t} X r_{k,h,t} \\
 & + \sum_{k,t} \sqrt{2\theta A \times \eta t a} \times \sqrt{\sum_h \mu_{h,t} S_{k,h,t} X r_{k,h,t}} + \theta \times \eta t a \\
 & \times z_{\alpha} \sum_{k,t} \sqrt{\sum_h \sigma_{h,t}^2 S_{k,h,t} X r_{k,h,t}}
 \end{aligned}
 \tag{۱}$$

محدودیت‌های مدل به صورت زیر می‌باشند :

• محدودیت‌های مکان یابی

محدودیت (۲) تضمین می‌کند که در هر دوره به هریک از نقاط کاندیدا حداکثر یک تسهیل جمع‌آوری سپار می‌تواند وارد شود. محدودیت (۳) نشان می‌دهد، زمانی یک تسهیل جمع‌آوری سپار از یک نقطه می‌تواند شروع به حرکت کند که در دوره قبل به آن نقطه وارد شده باشد. محدودیت (۴) تضمین می‌کند، تعداد جابجایی تسهیلات جمع‌آوری سپار آماده به کار در هر دوره برابر با تعداد مشخصی می‌باشد.

$$\sum_{j_1} y_{j_1, j_2, t} \leq 1 \quad \forall j_2, t \tag{۲}$$

$$\sum_{j_2} y_{j_1, j_2, t} \leq \sum_j y_{j, j_1, t-1} \quad \forall j_1, t \geq 2 \tag{۳}$$

$$\sum_{j_2, j_1} y_{j_1, j_2, t} = p p \quad \forall t \tag{۴}$$

محدودیت های شعاع پوشش دهی:

روابط (۵) تا (۷) چگونگی مراجعه اهداکنندگان به مراکز را نشان می دهد. اهداکننده  $A$  زمانی می تواند به تسهیل سیار  $J$ ، تسهیل ثابت  $I$  و یا مرکز خون  $K$  مراجعه کند که آن تسهیل باز شده باشد و در شعاع پوشش دهی آن تسهیل قرار گرفته باشد.

$$PJ_{i,j,t} dij_{i,j} \leq dj \sum_{j_1} y_{j_1,j,t} \quad \forall i,j,t \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$PL_{i,l,t} dil_{i,l} \leq X_{l,t} dl \quad \forall i,l,t \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$PK_{i,k,t} dik_{i,k} \leq dk \quad \forall i,k,t \quad \text{رابطه (۷)}$$

محدودیت های جمع آوری خون :

محدودیت (۸) تضمین میکند هر اهداکننده در هر دوره حداکثر به یکی از تسهیلات جمع آوری سیار و ثابت و مرکز خون برای اهدای خون خود می تواند مراجعه کند. دو رابطه (۹) و (۱۰) نشان می دهند جمع آوری خون از اهداکننده زمانی رخ می دهد که به آن تسهیل مراجعه کرده باشد. رابطه (۱۱) تضمین می کند جمع آوری خون در مرکز خون زمانی صورت می گیرد که اهداکننده به آن مرکز خون مراجعه کرده باشد. رابطه (۱۲) نشان می دهد تعداد خون جمع آوری شده در تمام تسهیلات جمع آوری و مراکز خون از تعداد اهداکنندگان در آن دوره تجاوز نمی کند.

$$\sum_j PJ_{i,j,t} + \sum_l PL_{i,l,t} + \sum_k PK_{i,k,t} \leq 1 \quad \forall i,t \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$MJ_{i,j,t} \leq PJ_{i,j,t} M \quad \forall i,j,t \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$ML_{i,l,t} \leq PL_{i,l,t} M \quad \forall i,l,t \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$MK_{i,k,t} \leq PK_{i,k,t} M \quad \forall i,k,t \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

$$\sum_{i,j} MJ_{i,j,t} + \sum_{i,l} ML_{i,l,t} + \sum_{k,t} MK_{i,k,t} \leq UW_i \gamma \quad \forall i \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

• محدودیت های ظرفیت :

روابط (۱۳) تا (۱۵) نشان می دهند که میزان خون جمع آوری شده در هر یک از تسهیلات جمع آوری و مراکز خون از ظرفیت آنها کمتر می باشد

$$\sum_i MJ_{i,j,t} \leq Cap_{j,t} \quad \forall j,t \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$\sum_i ML_{i.l.t} \leq Capl_{l.t} \quad \forall l.t \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

$$\sum_i MK_{i.k.t} \leq Capk_{k.t} \quad \forall k.t \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

محدودیت تخصیص :

روابط (۱۶) و (۱۷) نشان می‌دهد هریک از تسهیلات جمع‌آوری ثابت و سیار تنها به یک مرکز خون تخصیص می‌یابد. روابط (۱۸) و (۱۹) تضمین می‌کنند که تخصیص تسهیلات جمع‌آوری ثابت و سیار به یک مرکز خون زمانی صورت می‌گیرد که آن تسهیل مشغول به فعالیت باشد. روابط (۲۰) و (۲۱) نشان می‌دهد که خون‌های جمع‌آوری شده در تسهیلات جمع‌آوری ثابت و سیار در صورت تخصیص به مرکز خون انتقال می‌یابند. روابط (۲۲) و (۲۳) تضمین می‌کنند که در هر دوره تمام خون‌های جمع‌آوری شده در تسهیلات جمع‌آوری ثابت و سیار به مراکز خون انتقال داده می‌شوند. هر بیمارستان در هر دوره باید به یک مرکز خون تخصیص یابد که در رابطه (۲۴) نشان داده شده است.

$$\sum_k AJ_{j.k.t} = 1 \quad \forall j.t \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

$$\sum_k AL_{l.k.t} = 1 \quad \forall l.t \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

$$AJ_{j.k.t} \leq \sum_{j_1} y_{j_1.j.t} \quad \forall j.k.t \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

$$AL_{l.k.t} \leq X_{l.t} \quad \forall l.k.t \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

$$NJ_{j.k.t} \leq M * AJ_{j.k.t} \quad \forall j.k.t \quad \text{رابطه (۲۰)}$$

$$NL_{l.k.t} \leq M * AL_{l.k.t} \quad \forall l.k.t \quad \text{رابطه (۲۱)}$$

$$\sum_i MJ_{i.j.t} = \sum_k NJ_{j.k.t} \quad \forall j.t \quad \text{رابطه (۲۲)}$$

$$\sum_i ML_{i.l.t} = \sum_k NL_{l.k.t} \quad \forall l.t \quad \text{رابطه (۲۳)}$$

$$\sum_k S_{k.h.t} = 1 \quad \forall h.t \quad \text{رابطه (۲۴)}$$

محدودیت‌های تولید پلاکت

رابطه (۲۵) نشان می‌دهد که میزان تولید پلاکت در هر دوره از میزان خون جمع‌آوری کمتر می‌باشد. این بدان معنی است که بخشی از خون‌های جمع‌آوری شده دور ریخته می‌شوند و تنها بخشی از خون باقیمانده به پلاکت تبدیل می‌گردند.

رابطه (۲۶) تضمین می کند که میزان تولید پلاکت در هر مرکز خون در هر دوره از ظرفیت تولید پلاکت آن مرکز تجاوز نمی کند. رابطه (۲۷) نشان می دهد تعداد پلاکت های آفرزیش از اهداکنندگان آفرزیش کمتر می باشد.

$$\sum_j NJ_{j.k.t-2} + \sum_l NL_{l.k.t-2} + \sum_i MK_{i.k.t-2} \geq QP_{k.t} * \rho * (1 + \varepsilon) \quad \forall k.t \quad \text{رابطه (۲۵)}$$

$$QP_{k.t} \leq CPU_k \quad \forall k.t \geq 3 \quad \text{رابطه (۲۶)}$$

$$APB_{k.t} \leq UPB_k \quad \forall k.t \geq 3 \quad \text{رابطه (۲۷)}$$

با توجه به رابطه (۲۸) میزان موجودی پلاکت هر بیمارستان در هر دوره از ظرفیت پلاکت آن بیمارستان تجاوز نمی کند. با توجه به رابطه (۲۹) و (۳۰) در دوره اول و دوم، پلاکت تنها از روش آفرزیش از اهداکنندگان جمع آوری می شود و بخشی از میزان تقاضای بیمارستان های تخصیص یافته به آن مرکز خون ارضا می گردد. همانطور که در رابطه (۳۱) مشاهده می شود در دوره سوم به بعد تولید پلاکت صورت می گیرد و همچنین در صورت استفاده نکردن پلاکت تا قبل از طول عمر آن پلاکت فاسد می گردد. محدودیت های (۳۲) و (۳۳) میزان موجودی پلاکت بیمارستان در هر دوره را نشان می دهند. در دوره اول، بیمارستان بخشی از سفارش خود را دریافت می کند. در صورتی که مقدار پلاکت دریافتی از تقاضای بیمارستان بیشتر باشد، مازاد آن به دوره بعد منتقل می گردد و در غیر این صورت کمبود صورت می گیرد.

$$IPH_{h.t} \leq CPH_h \quad \forall h.t \quad \text{رابطه (۲۸)}$$

$$IPB_{k.1} = APB_{k.1} * \tau - \sum_h \mu_{h.1} S_{k.h.1} Xr_{k.h.1} \quad \forall k \quad \text{رابطه (۲۹)}$$

$$IPB_{k.2} = IPB_{k.1} + APB_{k.2} * \tau - \sum_h \mu_{h.2} S_{k.h.2} Xr_{k.h.2} \quad \forall k \quad \text{رابطه (۳۰)}$$

$$IPB_{k.t} = APB_{k.t} * \tau - \sum_h \mu_{h.t} S_{k.h.t} Xr_{k.h.t} + QP_{k.t} - WLB_{k.t} \quad \forall k.t \geq 3 \quad \text{رابطه (۳۱)}$$

$$IPH_{h.1} = \sum_k \mu_{h.1} S_{k.h.1} Xr_{k.h.1} - dr_{h.1} + SHH_{h.1} \quad \forall h \quad \text{رابطه (۳۲)}$$

$$IPH_{h.t} = IPH_{h.t-1} + \sum_k \mu_{h.t} S_{k.h.t} Xr_{k.h.t} - dr_{h.t} + SHH_{h.t} \quad \forall h.t \quad \text{رابطه (۳۳)}$$

محدودیت دورریز:

$$WLB_{k.t} = \max \left\{ 0, IPB_{k.t-LT} - \sum_h \mu_{h.t} S_{k.h.t} Xr_{k.h.t} - WLB_{k.t-LT} \right\} \quad \forall t \geq LT.k \quad \text{رابطه (۳۴)}$$

$$WLH_{h.t} = \max \{ 0, IPH_{h.t-LT} - dr_{h.t} - WLH_{h.t-LT} \} \quad \forall t \geq LT.h \quad \text{رابطه (۳۵)}$$

دو محدودیت (۳۴) و (۳۵) به کارگیری سیاست فایفو در هنگام استفاده از پلاکت در مراکز خون و بیمارستان‌ها را نشان می‌دهند. در دوره‌های نزدیک که به پایان یافتن طول عمر پلاکت تلاش بر آن است تا پلاکت‌های قدیمی تر قبل از فاسد شدن استفاده گردند تا هزینه دورریز کاهش یابد.

$$SHH_{h,t}, APB_{k,t}, Xr_{k,h,t}, IPB_{k,t}, IPH_{h,t} \geq 0 \quad \text{رابطه ۳۶}$$

$$MJ_{i,j,t}, ML_{i,l,t}, MK_{i,k,t}, NJ_{j,k,t}, NL_{l,k,t}, QP_{k,t} \geq 0 \quad \text{رابطه ۳۷}$$

$$AJ_{j,k,t}, AL_{l,k,t}, PJ_{i,j,t}, PL_{i,l,t}, PK_{i,k,t}, Y_{j,j,t}, S_{k,h,t}, Xl_{l,t} \in [0, 1] \quad \text{رابطه ۳۸}$$

$$WLH_{h,t}, WLB_{k,t} \quad (U S) \quad \text{رابطه ۳۹}$$

روابط ۳۶ تا ۳۹ نوع متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهند.

### خطی‌سازی مدل

در قسمت غیر خطی تابع هدف، اگر بخواهیم از رابطه  $\frac{D}{Q}A + \frac{Q}{2}h$  که رابطه اصلی محاسبه هزینه در مفاهیم موجودی می‌باشد، استفاده کنیم، به دلیل آنکه در مخرج رابطه  $\mu_{h,t} S_{k,h,t} Xr_{k,h,t}$  قرار می‌گیرد و در برخی موارد این مقدار صفر می‌شود کسر بی نهایت می‌گردد و جواب بی کران می‌شود. بدین منظور از رابطه معادل و تقریبی آن استفاده می‌کنیم. علاوه بر این؛ فرض می‌کنیم که واریانس تقاضای بیمارستان  $h$  نسبتی از میانگین تقاضای همان بیمارستان است و برای تمام بیمارستان‌ها ثابت است (شن، کولارد و دسکین<sup>۱</sup>، ۲۰۰۳). در این صورت خواهیم داشت:

$$\mu_{h,t} = \lambda * \sigma_{h,t}^2 \rightarrow \sigma_{h,t}^2 = \mu_{h,t} / \lambda \quad \text{رابطه ۴۰}$$

رابطه (۴۰) را در دو جمله آخر تابع هدف در رابطه (۱) جایگذاری می‌کنیم و از پارامترهای یکسان فاکتور می‌گیریم و به صورت زیر بازنویسی می‌کنیم:

$$\omega_k = \left( \sqrt{2 * \theta * A * eta} + \theta * eta * z_{\alpha} \sqrt{\frac{1}{\lambda}} \right) \quad \text{رابطه ۴۱}$$

$$\sum_{k,t} \omega_k * \sqrt{\sum_h \mu_{h,t} S_{k,h,t} Xr_{k,h,t}} \quad \text{رابطه ۴۲}$$

<sup>1</sup> Shen, Coullard & Daskin



همانطور که در رابطه (۴۲) مشاهده شد، عبارت زیر رادیکال از ضرب دو متغیر تصمیم تشکیل شده است که مدل را غیر خطی می‌نماید. ضرب دو متغیر تصمیم عدد صحیح و صفر و یک را می‌توان با استفاده از عبارات زیر و متغیر تصمیم جدید  $WW_{k,h,t}$  خطی نمود (نوروزی، توکلی مقدم، غضنفریان، علی نقیان و سلامت بخش، ۲۰۱۲) :

$$WW_{k,h,t} = S_{k,h,t} Xr_{k,h,t} \quad \forall k, h, t \quad \text{رابطه ۴۳}$$

$$WW_{k,h,t} \leq S_{k,h,t} \quad \forall k, h, t \quad \text{رابطه ۴۴}$$

$$WW_{k,h,t} \leq Xr_{k,h,t} \quad \forall k, h, t \quad \text{رابطه ۴۵}$$

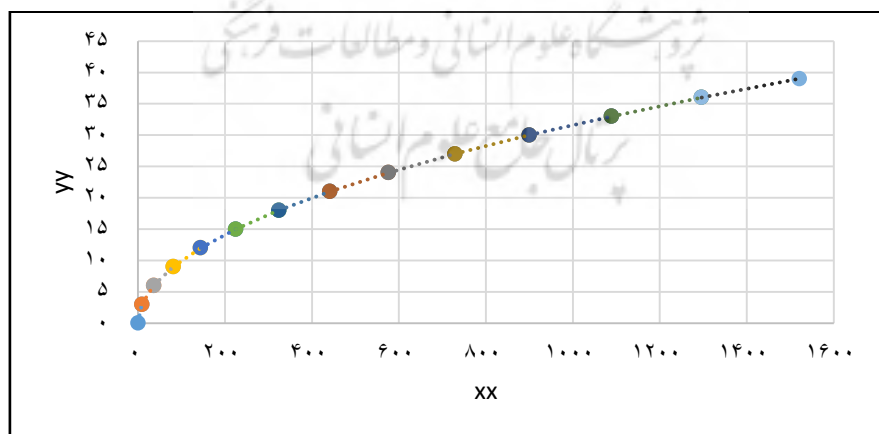
$$WW_{k,h,t} \geq k, h, t - M(1 - S_{k,h,t}) \quad \forall k, h, t \quad \text{رابطه ۴۶}$$

تابع هدف به دلیل دارا بودن عبارت رادیکالی غیرخطی می‌باشد. به دلیل مقعر بودن تابع رادیکال، تابع هدف محدب نمی‌باشد و از روش‌های خطی‌سازی مرسوم نمی‌توان استفاده نمود. به منظور خطی‌سازی، از روش تقریبی خطی‌سازی تکه‌ای و یا قطعه قطعه استفاده می‌کنیم (کیو و وانگ<sup>۱</sup>، ۲۰۱۶). بدین منظور عبارات زیر را در نظر می‌گیریم:

$$XX_{k,t} = \sum_h \mu_{h,t} WW_{k,h,t} \quad \forall k, t \quad \text{رابطه ۴۷}$$

$$YY_{k,t} = \sqrt{XX_{k,t}} \quad \forall k, t \quad \text{رابطه ۴۸}$$

$$YY_{k,t} = \sqrt{\sum_h \mu_{h,t} WW_{k,h,t}} \quad \forall k, t \quad \text{رابطه ۴۹}$$



شکل ۲ - تابع رادیکالی تقاضا

<sup>1</sup>. Qiu & Wang

تابع  $YY_{k,t}$  یک تابع غیر خطی و رادیکالی می‌باشد. برای خطی‌سازی آن می‌توان تابع را به قطعات کوچک‌تر همانند شکل (۲) تقسیم کرد و برای هر یک با توجه به رابطه (۵۰) معادله خط نوشت. در این رابطه  $k$  شیب خط می‌باشد که از رابطه (۵۱) به دست می‌آید و  $b$  عرض از مبدأ نام دارد.

$$Y = k * X + b \quad \text{رابطه (۵۰)}$$

$$k = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \quad \text{رابطه (۵۱)}$$

تابع  $YY_{k,t}$  برابر است با مجموع تمام قطعه‌های کوچک‌تر که به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$YY_{k,t} = (k_1XX_{k,t} - b_1)y_{1k,t} + (k_2XX_{k,t} - b_2)y_{2k,t} + \dots + (k_nXX_{k,t} - b_n)y_{nk,t} \quad \forall k.t \quad \text{رابطه (۵۲)}$$

متغیرهای تصمیم  $\{YK_{k,t} | A = 1, \dots, n\}$  صفر و یک می‌باشند و در هر دوره برای هر بیمارستان تنها یکی از آن‌ها مقدار می‌گیرد و یکی از قطعه‌ها فعال می‌شود بدین منظور محدودیت زیر را اضافه می‌کنیم:

$$y_{1k,t} + y_{2k,t} + \dots + y_{nk,t} = 1 \quad \forall k.t \quad \text{رابطه (۵۳)}$$

محدودیت (۵۲) را به صورت کامل می‌نویسیم:

$$YY_{k,t} = k_1XX_{k,t}y_{1k,t} - b_1y_{1k,t} + k_2XX_{k,t}y_{2k,t} - b_2y_{2k,t} + \dots + k_nXX_{k,t}y_{nk,t} - b_ny_{nk,t} \quad \forall k.t \quad \text{رابطه (۵۴)}$$

همانطور که مشاهده می‌کنید، ضرب دو متغیر تصمیم  $XX_{k,t}$  و  $YA_{k,t}$  محدودیت را غیر خطی می‌سازد. بنابراین از روابط ذکر شده استفاده می‌کنیم و برای هر کدام یک متغیر تصمیم  $\{FFA_{k,t} | A = 1, \dots, n\}$  جایگزین و محدودیت‌های زیر را اضافه می‌کنیم.

$$FFA_{k,t} \leq XX_{k,t} \quad \forall k.t \quad \text{رابطه (۵۵)}$$

$$FFA_{k,t} \leq YA_{k,t} \quad \forall k.t \quad \text{رابطه (۵۶)}$$

$$FFA_{k,t} \geq XX_{k,t} - M(1 - YA_{k,t}) \quad \forall k.t \quad \text{رابطه (۵۷)}$$

رابطه (۵۴) را به صورت زیر می‌نویسیم:

$$YY_{k,t} = k_1FF1_{k,t} - b_1y_{1k,t} + k_2FF2_{k,t} - b_2y_{2k,t} + \dots + k_nFFn_{k,t} - b_ny_{nk,t} \quad \forall k.t \quad \text{رابطه (۵۸)}$$

تابع هدف را به صورت خطی می‌نویسیم:

$$\begin{aligned}
 \text{Minz1} = & \sum_{i,t} F_i X_{i,t} + \sum_{j_1, j_2, t} Y_{j_1, j_2} C_{j_1, j_2} \\
 & + \sum_{i,j,t} M_{j,i,j,t} C_{j,t} + \sum_{i,l,t} M_{l,i,l,t} C_{l,t} + \sum_{i,k,t} M_{k,i,k,t} C_{k,t} \\
 & + \sum_{j,k,t} N_{j,k,t} B_{j,k,t} + \sum_{l,k,t} N_{l,k,t} B_{l,k,t} + \sum_{k,t} QP_{k,t} \Delta v_k \\
 & + \sum_{k,t} ABP_{k,t} \phi + \sum_{h,t} IPH_{h,t} \text{etah} + \sum_{h,t} WLH_{h,t} wh + \sum_{h,t} SHH_{h,t} sh \\
 & + \sum_{k,t} WLB_{k,t} wb + \beta \sum_{h,k,t} d_{k,t} WW_{k,h,t} + \sum_{k,t} \omega_k * YY_{k,t}
 \end{aligned}$$

رابطه ۵۹

روابط (۲۹) تا (۳۱) و (۳۴) را بازنویسی می‌کنیم:

$$IPB_{k,t} = APB_{k,t} * \tau - XX_{k,t} \quad \forall k, t = 1 \quad \text{رابطه ۶۰}$$

$$IPB_{k,t} = IPB_{k,t-1} + APB_{k,t} * \tau - XX_{k,t} \quad \forall k, t = 2 \quad \text{رابطه ۶۱}$$

$$IPB_{k,t} = IPB_{k,t-1} + QP_{k,t} + APB_{k,t} * \tau - XX_{k,t} - WLB_{k,t} \quad \forall k, t \geq 3 \quad \text{رابطه ۶۲}$$

$$WLB_{k,t} = \max\{0, IPB_{k,t-lt} - WLB_{k,t-lt} - XX_{k,t}\} \quad \forall k, t \geq lt \quad \text{رابطه ۶۳}$$

همانطور که مشاهده می‌کنید برنامه‌ریزی غیر خطی به کمک روش خطی‌سازی تکه ای به یک برنامه‌ریزی خطی تبدیل شده است که به کمک نرم افزار گمز قابل حل می‌باشد.

### یافته‌های پژوهش

پس از صحبت‌های صورت گرفته با پایگاه مرکزی انتقال خون تهران و همچنین بانک خون بیمارستان شریعتی و بررسی مشکلات کنونی، در این بخش شبکه زنجیره تامین پلاکت استان تهران با در نظر گرفتن چشم اندازهای آینده در نظر گرفته شده است. بدین منظور یک شبکه زنجیره تأمین پلاکت با ۱۲ مرکز جمع‌آوری ثابت که از میان آن‌ها ۵ مرکز توانایی آزمایش و پردازش واحدهای خونی را دارا می‌باشند، در نظر گرفته شده است. این ۵ مرکز را می‌توان به عنوان مرکز خون در نظر گرفت. در کنار آن تسهیلات جمع‌آوری سیار نیز در صورت نیاز، آغاز به کار می‌کنند. بعلاوه، ۵ بیمارستان بزرگ شریعتی، امام خمینی (ره)، میلاد، رسول اکرم و طالقانی که روزانه تعداد بسیار زیادی عمل جراحی و تزریق واحدهای خونی انجام می‌دهند، به عنوان ۵ بیمارستان پر مصرف هدف مطالعاتی، در نظر گرفته شده اند. حسب اطلاعات ارائه شده، تقاضای این دسته از بیمارستان‌ها عموماً از توزیع نرمال با میانگین ۱۸۷ و واریانس ۲۲۳ پیروی می‌کند. سایر بیمارستان‌ها دارای تقاضای جزئی می‌باشند و تقاضای آن‌ها عموماً از توزیع نرمال با میانگین ۷ و واریانس ۴ پیروی می‌کند. هزینه‌های به کار گرفته شده در مدل، در جدول (۷) نشان داده شده است. اهداکنندگان نیز در ۲۲

منطقه براساس ۲۲ منطقه شهرداری شهر تهران قرار دارند که با توجه به شعاع پوشش دهی و مسافت، به یکی از تسهیلات مراجعه می نمایند.

جدول ۶- هزینه ها

مقدار (هزار تومان)	هزینه
۱۰۰	جمع‌آوری خون کامل
۱۵۰	تولید پلاکت از خون کامل
۵۰۰	تولید پلاکت از آفرزیس
۱۵۰	دورریز در بیمارستان و مرکز خون
۱۵۰۰	کمبود در بیمارستان
۱ تا ۱۰*	جابه جایی ناوگان ها میان سطوح مختلف

\* هزینه جابه جایی ناوگان ها یک عدد تصادفی میان ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ می باشد.

### حل مدل

مدل ارائه شده را با استفاده از پارامترهای مشخص شده در بخش قبل در نرم افزار GAMS کد نویسی شده و با استفاده از یک رایانه با پردازنده Core i7-7500U و حافظه داخلی ۱۲ گیگاهرتز توسط حل کننده CPLEX حل شده است و نتایج حاصل از حل مدل برای هفت دوره در جداول (۵) تا (۹) نشان داده شده است. دو جدول (۵) و (۶) میزان تولید به هر دوروش خون کامل و آفرزیس را در تمام دوره‌های برنامه‌ریزی نشان می دهند. همانطور که در بخش قبل گفته شد، تولید پلاکت پس از انجام آزمایشات مرتبط و از دوره سوم به بعد آغاز می گردد. در دوره اول یک موجودی پلاکت اولیه برای هر مرکز خون در نظر گرفته شده است. با استفاده از این مدل، در هفت دوره تنها ۸۴۰ کمبود رخ می دهد که حدود ۱۰٪ مجموع تقاضای تمام بیمارستان ها در افق برنامه‌ریزی (هفت دوره) می باشد و در جدول (۷) به تفکیک هر دوره و هر بیمارستان نشان داده شده است. با استفاده از سیاست فایفو، میزان هدررفت در بیمارستان ها و مراکز خون صفر می باشد و این بدان معناست که تمامی پلاکت ها قبل از فاسد شدن مصرف می گردند. میزان موجودی پلاکت در مراکز خون و بیمارستان ها در جداول (۸) و (۹) نشان داده شده است. به دلیل مجهز نبودن بیمارستان ها به بانک خون مناسب، مدل سعی بر آن دارد تا موجودی در مراکز خون نگهداری شود. از آنجایی که بخشی از پلاکت ها به عنوان ذخیره اطمینان در مراکز خون نگهداری می شود، موجودی مراکز خون بالاتر از مدل های دیگر می شود.

جدول ۷. میزان تولید پلاکت از خون کامل

مرکز خون	دوره				
	۳	۴	۵	۶	۷
۱	۲۹۳	۲۶۱	۲۴۸	۲۷۴	۲۲۹
۲	۲۰۲	۱۹۶	۱۴۳	۱۳۴	۱۵۸
۳	۱۸۱	۱۸۵	۲۱۲	۱۹۶	۱۴۷
۴	۲۱۷	۲۰۱	۱۹۹	۲۲۱	۲۲۸
۵	۲۹۱	۲۳۶	۲۰۴	۲۸۴	۱۹۴

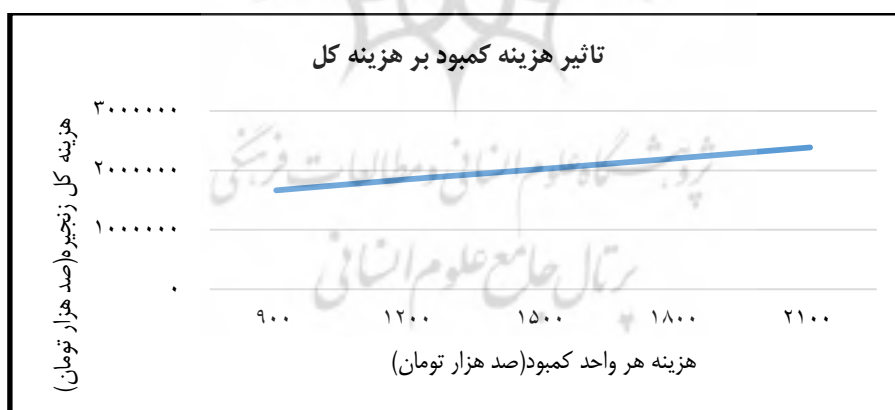
جدول ۸. میزان تولید پلاکت از روش آفرزیس

دوره							
مرکز خون	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۱	۲۴	۶	۲۴	۳۰	۶	۱۲	۱۲
۲	۳۰	۶	۱۸	۲۴	۱۸	۲۴	۳۰
۳	۳۰	۳۰	۳۰	۲۴	۱۲	۱۸	۲۴
۴	۱۲	۱۲	۱۲	۶	۲۴	۲۴	۲۴
۵	۳۰	۳۰	۲۴	۲۴	۱۸	۲۴	۳۰

### تحلیل نتایج

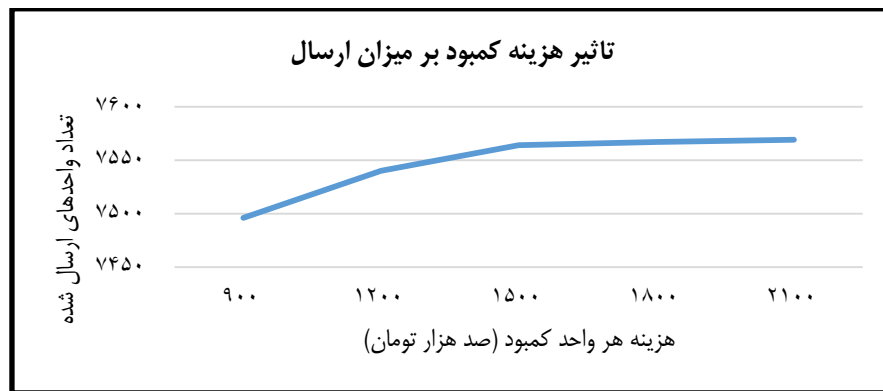
در این بخش به تحلیل حساسیت مدل می پردازیم و برآورد خواهیم کرد که خروجی های مدل (متغیرهای تصمیم) تا چه حد به مقادیر ورودی (پارامترها) حساس می باشند. از آنجائیکه مدل در تلاش است تا کل هزینه های زنجیره تأمین پلاکت را کاهش دهد، اثرات تغییرات پارامترهای هزینه از جمله هزینه کمبود و هزینه تولید هر واحد پلاکت را بر تعداد موجودی، کمبود و هزینه های زنجیره بررسی می کنیم.

همانطور که شکل (۳) مشاهده می شود، با افزایش هزینه هر واحد کمبود، هزینه کل زنجیره افزایش می یابد. این افزایش در ابتدا شیب تندی دارد اما از نقطه ۱۵۰۰ به بعد شیب آن کاهش میابد. این بدان معناست که اگر هزینه کمبود از این مقدار بیشتر در نظر گرفته شود به دلیل محدودیت ظرفیت تولید، افزایش هزینه تأثیری بر میزان تولید و تعداد کمبود ندارد و هزینه کل تنها به سبب افزایش هزینه کمبود بالا می رود.



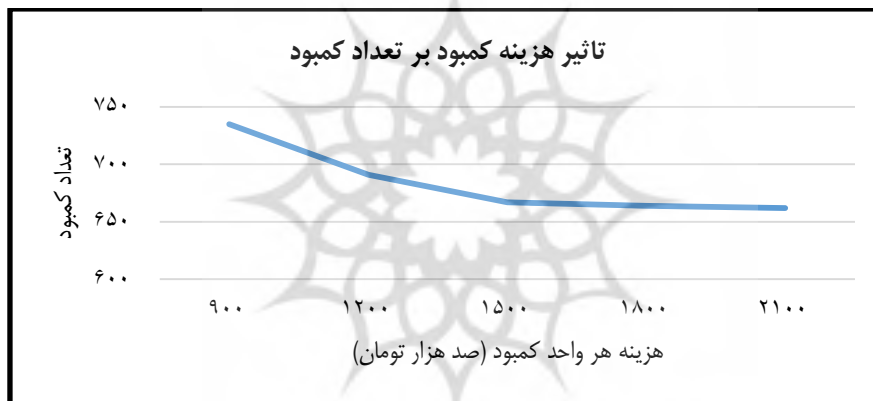
شکل ۳. تأثیر هزینه هر واحد کمبود پلاکت بر هزینه کل زنجیره تأمین پلاکت

همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است، با افزایش هزینه کمبود هر واحد شیب افزایش تعداد واحدهای ارسالی در ابتدا تند می باشد. این افزایش شیب از نقطه ۱۵۰۰ به بعد شیب تعداد واحدهای ارسالی در نمودار کاهش می یابد. این بدان معناست که اگر هزینه کمبود را از این مقدار بیشتر در نظر گرفته شود به دلیل محدودیت ظرفیت تولید، افزایش هزینه تأثیری بر میزان تولید و تعداد ارسال ندارد.



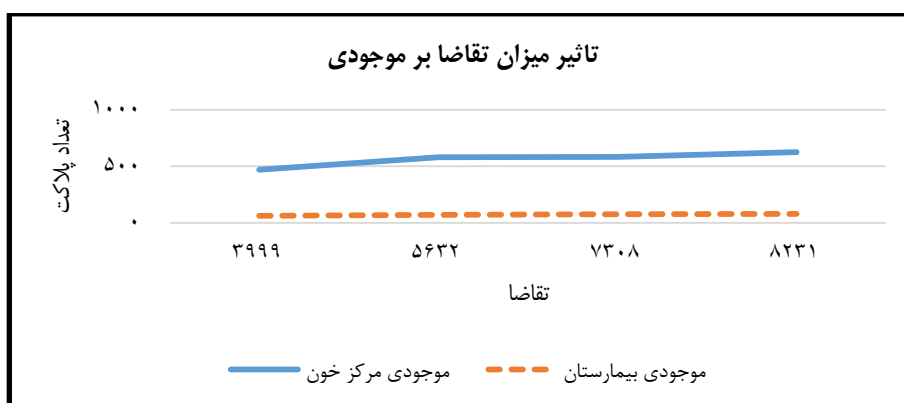
شکل ۴. تأثیر هزینه کمبود هر واحد پلاکت بر میزان ارسال به بیمارستان ها

همانطور که در شکل (۵) می بینید، تعداد کمبود در انتهای نمودار ثابت است. این بدان معناست افزایش هزینه کمبود تا مقداری می تواند بر میزان کمبود تاثیر گذارد و پس از آن که ظرفیت تولید اشباع گردد، افزایش هزینه کمبود تاثیری بر مقدار ارسال و کمبود ندارد.



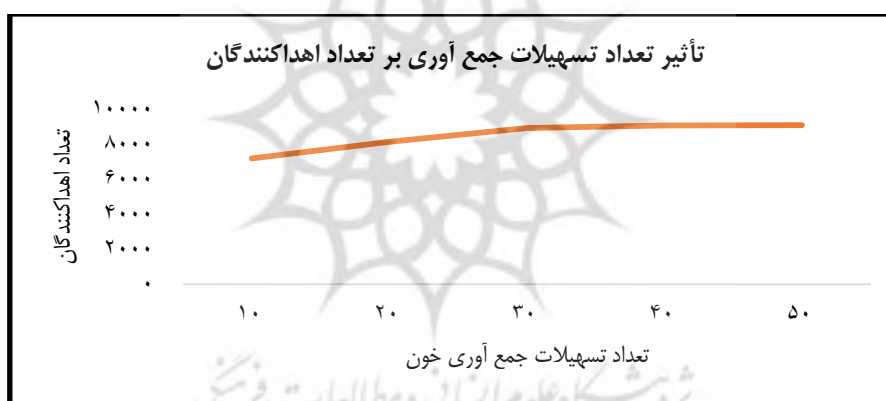
شکل ۵. تأثیر هزینه کمبود هر واحد پلاکت بر تعداد کمبود

همانطور که پیش از این گفته شد، به دلیل مناسب نبودن شرایط نگهداری و عدم وجود بانک خون در تمام بیمارستان ها، سعی بر آن است تا موجودی بیمارستان ها کاهش یابد. با توجه به شکل (۶) در می یابیم که با افزایش میزان تقاضای بیمارستان ها، موجودی بیشتری در مراکز خون نگهداری می شود. همچنین به دلیل استفاده از مفاهیم موجودی، مراکز خون مقداری پلاکت به عنوان ذخیره اطمینان در بانک خون خود نگهداری می کنند تا بتوانند در دوره های آتی تقاضای بیمارستان ها را تأمین نمایند. نگهداری موجودی پلاکت در بیمارستان ها به دلایل ذکر شده سبب افزایش میزان هدررفت می شود، زیرا شرایط نگهداری برای آن ها فراهم نمی باشد. در نتیجه، کاهش موجودی بیمارستان ها در شکل (۶) نشان می دهد که مدل شرایط را بهینه کرده است. همچنین با کاهش موجودی ها، میزان فسادپذیری به حداقل مقدار خود یعنی صفر رسیده است.



شکل ۶. تأثیر میزان تقاضا بر تعداد موجودی

افزایش تعداد تسهیلات سبب افزایش هزینه‌های سیستم می‌گردد. در نتیجه انتخاب مناسب تعداد تسهیلات بسیار اهمیت دارد. از سوی دیگر تعداد اهداکنندگان به عوامل دیگری همچون تمایل شخصی آن‌ها برای اهدای خون و رفتار پرسنل با مراجعه کنندگان بستگی دارد. به همین دلیل افزایش تعداد تسهیلات باید آگاهانه صورت گیرد و در نظر گرفتن تعداد بالا تنها هزینه‌های مازاد را به سیستم را تحمیل می‌کند. شکل (۷) این روند را به خوبی نشان می‌دهد.



شکل ۷. تأثیر هزینه تولید هر واحد پلاکت بر موجودی پلاکت

## بحث و نتیجه‌گیری

به دلیل غیرقطعی بودن تعداد اهداکنندگان خون و تعداد بیماران نیازمند به هر یک از فرآورده‌های خونی، مدیریت خون امری دشوار می‌باشد. از سوی دیگر، ویژگی‌های دیگر فرآورده‌های خونی همچون فسادپذیری و نقش حیاتی آن‌ها در بهبود بیماران مدیریت زنجیره تأمین خون را با چالش‌های اساسی روبه‌رو می‌کند.

در این تحقیق یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی به منظور کمینه کردن هزینه‌های زنجیره تأمین ارائه شد. نوآوری اصلی این پژوهش یکپارچه‌سازی تمام سطوح زنجیره تأمین پلاکت با در نظر گرفتن مدل EOQ و مفاهیم موجودی و همچنین در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص خون از جمله فسادپذیری و عدم قطعیت تقاضا می‌باشد. با مجهز کردن تسهیلات جمع‌آوری ثابت به تجهیزات آزمایش و پردازش واحدهای خون و بانک خون‌های مناسب جهت نگهداری

فرآورده‌های خون، میتوان انتقالات میان تسهیلات و مراکز خون را کاهش داد و به تقاضای بیمارستان‌ها در زمان کوتاهتری پاسخ داد. در این پژوهش با استفاده از مفاهیم موجودی سعی بر آن شد تا پلاکت‌های تخصیص نیافته به بیماران در مراکز خون نگهداری شوند. کاهش موجودی در بیمارستان‌ها، از یکسو نرخ فسادپذیری پلاکت را کاهش می‌دهد و از سوی دیگر سبب می‌شود تا با تخصیص بهینه مراکز خون، کمبود کاهش یابد. همچنین با استفاده از سیاست فایفو در تخصیص پلاکت‌ها در مراکز خون و بیمارستان‌ها، میزان فسادپذیری حداقل می‌گردد.

یکی از چالش‌های اصلی زنجیره تامین پلاکت، عدم قطعیت تعداد اهداکنندگان می‌باشد. همانطور که در این تحقیق نشان داده شد، با استفاده از مدل پیشنهادی می‌توان با فراهم ساختن تسهیلات بیشتر و با استفاده از انتخاب تعداد و نوع تسهیلات جمع‌آوری خون مورد نیاز، فاصله میان اهداکنندگان تا هریک از تسهیلات کاهش داد و تمایل آن‌ها برای اهدای خون بیشتر نمود. با به کارگیری تعداد تسهیلات سیار می‌توان تعداد اهداکنندگان را افزایش داد که این امر سبب افزایش تعداد پلاکت‌های تولید شده از روش‌های مذکور و کاهش کمبود در بیمارستان‌ها می‌گردد. از سوی دیگر با افزایش تعداد مراکز خون، سازمان دهی واحدهای خون و تخصیص آن‌ها به بیمارستان‌ها نیز آسانتر می‌شود. در شرایط کنونی یک مرکز خون وظیفه ارسال خون به تمام بیمارستان‌های استان را برعهده دارد که حجم کاری بالایی را به پرسنل و مسئولان متحمل می‌کند. با تخصیص بهینه بیمارستان‌ها به مراکز خون میتوان سرعت پاسخ دهی به نیاز بیماران را کاهش داد و هزینه حمل و نقل میان سطوح مختلف زنجیره را بهبود بخشید. در این مدل با در نظر گرفتن تمام بیمارستان‌های متقاضی پلاکت و دسته‌بندی آن‌ها با توجه به میزان تقاضای هریک به دو دسته پرمصرف و کم مصرف، زنجیره تامین پلاکت پیشنهادی به دنیای واقعی نزدیکتر شده است که این امر سبب افزایش کارایی مدل می‌گردد.

یه عنوان مطالعات آتی، می‌توان توسعه‌های مدل را با در نظر گیری شرایط زیر پیشنهاد نمود. از آنجائیکه فرآورده‌های خون دارای ویژگی‌های منحصر به فرد خود می‌باشند، مدل ارائه شده را میتوان با در نظر گرفتن ویژگی‌های آن‌ها مانند طول عمر، شرایط نگهداری و کاربرد به سایر فرآورده‌های خون و یا حتی اعضای بدن و هر ماده فسادپذیر دیگر تعمیم داد و با در نظر گرفتن سن پلاکت، میزان تازگی پلاکت‌های تزریق شده را افزایش داد. همچنین در صورت فراهم شدن بانک خون مناسب در بیمارستان‌ها، هر بیمارستان می‌تواند مانند یک مرکز خون در نظر گرفته شود و مازاد موجودی خود را به بیمارستان‌های نیازمند ارسال نماید و انتقال عرضی میان بیمارستان‌ها صورت گیرد. انتقال عرضی علاوه بر کاهش میزان کمبود در بیمارستان‌ها، میزان تازگی پلاکت‌های تزریق شده را نیز افزایش می‌دهد.

## منابع

یعقوبی، س. و کامور، م. (۱۳۹۶). مدیریت مصرف فرآورده‌ها در زنجیره ی تامین خون با در نظر گرفتن امکان انتقال جانبی بین بیمارستان‌ها (مطالعه ی موردی: شهر تهران). *مطالعات مدیریت صنعتی*، (۱) ۴۷، ص. ۹۳-۱۱۹.



## References

- Abdulwahab, U. & Wahab, M.I.M, (2014). Approximate dynamic programming modeling for a typical blood platelet bank. *Computers & Industrial Engineering*, 78, 259-270.
- Arvan, Meysam; Tavakkoli-Moghaddam, Reza & Abdollahi, Mohammad, (2015). Designing a bi-objective and multi-product supply chain network for the supply of blood. *Uncertain Supply Chain Management*, 3, 57-68.
- Asllani, Arben, Culler, Elizabeth & Etkin, Lawrence, (2013). A simulation based apheresis platelet inventory management model. *Transfusion*, 54(10), 2730-2735.
- Beliën, Jeroen & Forcé, Hein, (2012). Supply chain management of blood products: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 217(1), 1-16.
- Civelek, Ismail, Karaesmen, Itir & Scheller-Wolf, Alan, (2015). Blood platelet inventory management with protection levels. *European Journal of Operational Research*, 243(3), 526-838.
- Duan, Jingnan, Su, Qiang, Zhu, Yanhong & Lu, Yuanshan, (2018). Study on the Centralization Strategy of the Blood Allocation Among Different Departments within a Hospital. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 27, 417-434.
- Ensaifian, Hamidreza & Yaghoubi, Saeed, (2017). Robust optimization model for integrated procurement, production and distribution in platelet supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 103, 32-55.
- Ensaifian, Hamidreza, Yaghoubi, Saeed & Modarres Yazdi, Mohammad, (2017). Raising quality and safety of platelet transfusion services in a patient-based integrated supply chain under uncertainty. *Computers & Chemical Engineering*, 106, 355-372.
- Eskandari-Khanghahi, Marzieh; Tavakkoli-Moghaddam, Reza; Taleizadeh, Ata Allah & Hassanzadeh Amin, Saman, (2018). Designing and optimizing a sustainable supply chain network for a blood platelet bank under uncertainty. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 71, 236-250.
- Haijema, René, Wal, Jan Van der & Nico M. van Dijk, (2007). Blood platelet production: Optimization by dynamic programming and simulation. *Computers & Operations Research*, 34(3), 760-779.
- Haghjoo, N.; Tavakkoli-Moghaddam, R.; Shahmoradi-Moghadam, H. & Rahimi, Y., (2020). Reliable blood supply chain network design with facility disruption: A real-world application. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 90, 1-18.
- Hamdan, Bayan & Diabat, Ali, (2019). A two-stage multi-echelon stochastic blood supply chain problem. *Computers & Operations Research*, 101, 130-143.
- Haeri, A.; Hosseini-Motlagh, S.-M.; Ghatreh Samani, M. R. & M. Rezaei, (2020). A mixed resilient-efficient approach toward blood supply chain network design. *International Transactions in Operational Research*, 27, 1962-2001.
- Hosseini-fard, Zahra & Abbasi, Babak, (2018). The inventory centralization impacts on sustainability of the blood supply chain. *Computers & Operations Research*, 89, 206-212.
- Max Shen, Zuo-Jun, Coullard, Collette & Daskin, Mark S, (2003). A Joint Location-Inventory Model. *Transportation Science*, 37(1), 40-55.
- Norouzi, N., Tavakkoli-Moghaddam, R., Ghazanfari, M., Alinaghian, M., Salamatbakhsh, A., (2012). A New Multi-Objective Competitive Open Vehicle Routing Problem Solved by Particle Swarm Optimization. *Networks and Spatial Economics*, 12, 609-633.

- Osorio, Andres F., Brailsford, Sally C. & Smith, Honora, (2015). A structured review of quantitative models in the blood supply chain: a taxonomic framework for decision-making. *International Journal of Production Research*, 53(24), 7191-7212.
- Pirabán, A., Guerrero, W.J. & Labadie, N., (2019). Survey on blood supply chain management: Models and methods. *Computers & Operations Research*, 112, 1-23.
- Qiu, Ruozhen & Wang, Yizhi, (2016). Supply Chain Network Design under Demand Uncertainty and Supply Disruptions: A Distributionally Robust Optimization Approach. *Scientific Programming*, 2016(2), 1-15.
- Rajendran, Suchithra & Ravindran, A. Ravi, 2017. Platelet ordering policies at hospitals using stochastic integer programming model and heuristic approaches to reduce wastage. *Computers and Industrial Engineering*, 110, 151-164.
- Ramezani, Reza & Behboodi, Zahra, (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.
- Seirfried, E., Klueter, H., Weidmann, Christian, Staudenmaier, T., Schrezenmeier, Hubert, Henschler, Reinhard, Greinacher, A. & Mueller, Markus M., (2011). How much blood is needed?. *Vox Sanguinis*, 100(1), 10-21.
- Shokouhifar, M.; Sabbaghi, M. & Pilrvari, N., (2021). Inventory management in blood supply chain considering fuzzy supply/demand uncertainties and lateral transshipment. *Transfusion and Apheresis Science*, 103103.
- Yousefi Nejad Attari, Mahdi, & Neishabouri Jami, Ensyieh, (2018). Robust stochastic multi-choice goal programming for blood collection and distribution problem with real application. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 35(23-24), 1-19.
- Zahiri, B.; Torabi, S. Ali; Mohammadi, M. & Aghabegloo, M., (2018). A multi-stage stochastic programming approach for blood supply chain planning. *Computers and Industrial Engineering*, 122, 1-14.