

ارائه یک مدل مکان‌یابی - موجودی سه‌سطحی برای زنجیره‌ی تأمین خون

ابوالفضل کاظمی* (دانشیار)

معصومه حیدری (کارشناس ارشد)

دانشکده‌ی مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین

مرضیه کریمی (دانشجوی دکتری)

گروه مهندسی صنایع، دانشکده‌ی فنی و مهندسی، دانشگاه بزد

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، زمستان ۱۴۰۱
دوری (۲۸-۱)، شماره ۲، ص. ۱۳-۳، (پژوهشی)

مدیریت زنجیره‌ی تأمین خون یکی از چالش‌های مهم سیستم بهداشت و درمان است. تصمیم‌گیری در ارتباط با مکان‌یابی پایگاه‌های جمع‌آوری و توزیع خون و همچنین سیاست کنترل موجودی شامل مقدار بهینه سفارش برای مقابله با هدر رفتن و کمبود خون از چالش‌های اساسی این زنجیره است. در این مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ی مکان‌یابی - موجودی سه‌سطحی خون که جزء زنجیره‌ی تأمین کالای فاسدشدنی است؛ با در نظر گرفتن سیستم مصرف FIFO در بیمارستان‌ها ارائه شده است. هدف مدل کمیته‌سازی هزینه‌ی کل به همراه تعیین مکان بهینه پایگاه‌های ثابت و سیار، تخصیص اهداکنندگان به آن‌ها و تعیین سیاست موجودی است. در این پژوهش، پلاکت که کم‌عمرترین جزء خون محسوب می‌شود، بررسی شده است. به منظور حل مدل پیشنهادی، از دو الگوریتم ژنتیک (GA) و بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) استفاده و در نهایت پارامترهای این دو الگوریتم به‌وسیله‌ی آزمایشات ناگوچی تنظیم شده است.

واژگان کلیدی: زنجیره‌ی تأمین خون، مکان‌یابی - موجودی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم ازدحام ذرات.

abkaazemi@qiau.ac.ir

m.heidari@qiau.ac.ir

marzиеk@ymail.com

۱. مقدمه

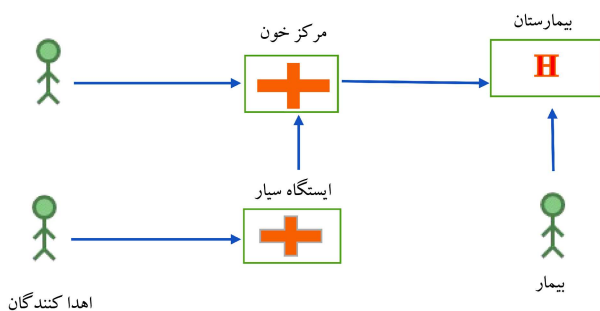
تأمین خون سالم و کافی مورد نیاز بیمارستان‌ها و مدیریت آن در شرایط عادی و بحرانی، چالشی است که سیستم سلامت دولت‌ها همیشه با آن مواجه‌اند. نیاز به اهداکنندگان خون و فرآورده‌های آن همیشه وجود خواهد داشت، در حالی که عرضه‌ی آن از سوی اهداکنندگان تا حدودی نامنظم و تقاضا برای فرآورده‌های خونی اغلب تصادفی است. تطبیق عرضه و تقاضا به شیوه‌ی کارآمد درباره این محصول کار چندان ساده‌ی نیست. خون و فرآورده‌های خونی، محصولاتی فاسدشدنی هستند و این کار را دشوارتر می‌کند. همچنین از میان خون‌های اهدا شده تنها میزان ۵٪ از آن‌ها قابل استفاده بوده و بین هر بار اهدای خون و دفعه بعد، یک فاصله‌ی زمانی اجباری وجود دارد تا بدن فرد بتواند خون از دست داده را بازسازی کند. با توجه به مدیریت عرضه محصولات خونی، نمی‌توان خون را به خودی خود یک محصول دانست.^[۱] بنابراین مدیریت زنجیره‌ی تأمین و به دنبال آن طراحی یک زنجیره‌ی تأمین مناسب برای تأمین خون مورد نیاز، موضوعی است که باید بدان توجه داشت. طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین خون یکی از تصمیمات راهبردی در مدیریت

* نویسنده مسؤل

تاریخ: دریافت ۱۳۹۹/۷/۱۳، اصلاحیه ۱۴۰۰/۸/۲۵، پذیرش ۱۴۰۰/۹/۲۸

DOI:10.24200/J65.2021.56228.2140

زنجیره‌ی تأمین خون از سه فاز تشکیل شده است. فاز اول که «جمع‌آوری خون» نام دارد، شامل سه سطح است. سطح اول، اهدای خون توسط اهداکنندگان و در سطح دوم و سوم جمع‌آوری آن‌ها توسط پایگاه‌های سیار یا ثابت انجام می‌شود. در فاز دوم (فاز تولید)، پس از انجام آزمایشات برای اطمینان از عدم وجود بیماری، فرآورده‌های خونی تولید می‌شوند. در این مرحله انجام آزمایشات و جداسازی فرآورده‌ها معمولاً به‌صورت موازی انجام می‌شود. واحد خون کامل به پنج جزء گلبول‌های قرمز، پلاسما، گلبول‌های سفید، سرم یا پلاکت تقسیم می‌شود. همه‌ی فرآورده‌های خون به جز پلاسما فاسدشدنی هستند، مخصوصاً پلاکت‌ها که بسیار زود فاسد می‌شوند؛ چرا که عمر آن‌ها پنج روز است. دومین جزء خونی از لحاظ فسادپذیری، گلبول‌های



شکل ۱. زنجیره تأمین سه‌سطحی مدل پیشنهادی.

قرمز هستند که ۴۲ روز عمر می‌کنند. فاز سوم این زنجیره، فاز توزیع محصولات خونی است. پس از آن‌که خون اهداکنندگان جمع‌آوری، آزمایش و در انبار ذخیره شد، آماده تزریق و انتقال به بیماران نیازمند به خون است. با ارسال درخواست خون توسط بانک خون بیمارستان و یا سایر مراکز درمانی از یک محصول و در صورت وجود آن در مرکز به آن درخواست پاسخ داده می‌شود.^[۳]

در زنجیره تأمین خون هم کمبود و هم مازاد خون باید در نظر گرفته شود. اگر تقاضا برآورده نشود، منجر به از دست رفتن زندگی می‌شود.^[۴] طبق آمار صلیب سرخ آمریکا ۲۸٫۹٪ از بیمارستان‌ها گزارش کنسل شدن عمل جراحی به دلیل کمبود خون که شامل ۴۱۲ بیمار بود گزارش شده است.^[۵] به علت فسادپذیری بودن خون، ذخیره کردن بیش از اندازه‌ی آن باعث هدر رفتن آن و همچنین کمبود آن باعث کنسل شدن عمل‌های جراحی و یا در شرایط بحرانی، کمبود آن باعث مرگ بیمار می‌شود. در سال ۲۰۰۴، ۱۷٪ پلاکت جمع‌آوری شده در آمریکا هدر رفته است.^[۶] همچنین از آن‌جا که عرضه‌ی خون از سوی اهداکنندگان تا حدودی نامنظم و تقاضا برای فرآورده‌های خونی اغلب تصادفی است، در این پژوهش، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌یی مکان‌یابی - موجودی سه‌سطحی خون مورد مطالعه قرار گرفته شده است. سه سطح پیشنهادی در این پژوهش، نقاط اهداکننده، مراکز جمع‌آوری و نقاط تقاضا مطابق شکل ۱ در نظر گرفته شده است.

هدف از این پژوهش ارائه‌ی یک مدل برنامه‌ریزی برای مسئله‌ی مکان‌یابی - موجودی زنجیره‌ی تأمین خون است. زنجیره‌ی تأمین خون پیشنهادی، دارای سه سطح، شامل اهداکنندگان خون، پایگاه‌های سیار و ثابت و مراکز مصرف است. تابع هدف کمینه کردن هزینه‌ی مکان‌یابی پایگاه‌های سیار و ثابت جمع‌آوری خون، هزینه‌ی حمل و نقل، هزینه‌ی تخصیص اهداکنندگان، هزینه‌ی سفارش، هزینه‌ی نگهداری، کمبود و هدر رفتن خون در مراکز خون و بیمارستان‌هاست. هدف به دست آوردن مقدار خون انتقال یافته از هر سطح زنجیره‌ی خون به سطح دیگر زنجیره است. با دانستن مقدار خون انتقال یافته مدیر می‌تواند تصمیم‌گیری‌های مناسبی اتخاذ کند. بنابراین این پژوهش می‌تواند به‌عنوان یک سیستم پشتیبان تصمیم به مدیر در تصمیم‌گیری کمک کند.

۲. مرور ادبیات

تحقیقات در زمینه‌ی مدیریت محلی و منطقه‌یی تأمین خون از دهه‌ی ۱۹۶۰ آغاز شد و در اواخر دهه‌ی ۱۹۷۰ و اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ به اوج خود رسید. مرورهای خوبی در این زمینه را می‌توان در اواسط دهه‌ی ۱۹۸۰ در کارهای نامیاس و پراکتاکوس پیدا کرد. در مطالعه‌ی پراکتاکوس (۱۹۸۴)، سیاست‌ها و تصمیمات مدیریت بانک

خون بیشتر کانون توجه بوده است.^[۷] اما در مطالعه نامیاس (۱۹۸۲)، توجه بیشتر به نظریه‌های موجودی‌های فسادپذیر معطوف شده است.^[۸]

پیرسکالا (۲۰۰۵)، مرور ادبیاتی بر مدیریت زنجیره‌ی تأمین بانک خون ارائه کرده است. وی، طرح زنجیره‌ی تأمین خون و مسائل تاکتیکی و عملیاتی این زنجیره را بررسی کرده است. پرسش‌هایی همچون «چه عملکردی از بانکداری خون باید انتظار داشت؟»، «چه مکان‌هایی برای این عملکرد باید انتخاب شود؟»، «چه تعداد مرکز خون در یک منطقه باشد؟»، «این مراکز در چه مناطقی باشد و چه محدودیتی از اهداکنندگان را پوشش دهند؟»، «چه سرویس‌های تزریقی باید توسط این مراکز ارائه شود؟» در این مطالعه بررسی شده است.^[۹] ژو و همکاران (۲۰۱۱)، به بررسی مدیریت موجودی پلاکت خون با توجه به طول عمر سه روزه‌ی آن پرداختند. آن‌ها یک سیستم تناوبی موجودی برای سفارش پلاکت تحت دو حالت بازپس‌سازی^۱ سفارش در ابتدای دوره و میان‌دوره استفاده کردند و مدل خود را با استفاده از برنامه‌ریزی پویا فرموله کردند.^[۱۰] دوان و لیا (۲۰۱۴)، چارچوب بهینه‌سازی شبیه‌سازی جدیدی برای مدیریت زنجیره‌ی تأمین خون پیشنهاد دادند که با گروه خونی ABO سازگار بود. هدف کمینه‌سازی نرخ تاریخ‌گذشتگی با در نظر گرفتن یک سطح خاص قابل قبول برای کمبود بود. آن‌ها از روش حل فراابتکاری TA-TS برای حل مدل استفاده کردند.^[۱۱] فهیم‌نیا و همکاران (۲۰۱۵)، یک زنجیره‌ی تأمین چندهدفه برای کمینه‌سازی هزینه و زمان تحویل خون ارائه دادند و از یک روش ترکیبی محدودیت اسپینل^۲ و آزادسازی لاگرانژ^۳ برای حل مدل خود استفاده کردند.^[۱۱] دیلون و همکاران (۲۰۱۷)، یک مدل تصادفی دومرحله‌یی برای تعیین سیاست‌های بهینه‌ی بازبینی دوره‌یی برای مدیریت موجودی گلبول‌های قرمز ارائه داده‌اند که بر کمینه‌سازی هزینه‌های عملیاتی، کمبود خون و هدر رفت ناشی از قدیمی شدن تأکید دارد.^[۱۲]

شاهین و همکاران (۲۰۰۷)، حسینی فرد و عباسی (۲۰۱۸)، رضانیان و بهبودی (۲۰۱۷) و ظهیری و پیشوائی (۲۰۱۷)، زنجیره‌ی تأمین خون را با استفاده از تقاضا و عرضه‌ی تصادفی مدل کردند. شاهین و همکاران (۲۰۰۷)، یک مدل ریاضی برای منطقه‌یی شدن خدمات خونی در ترکیه ارائه دادند. آنها فرض کردند که جمعیت یک منطقه تقاضای خون را تعیین کرده و برای حل مسائل مکان‌یابی - تخصیص از مدل‌های p-q میانی^۴ استفاده کرده‌اند.^[۱۳] حسینی فرد و عباسی (۲۰۱۸)، اهمیت تمرکز موجودی را در دومین سطح زنجیره‌ی تأمین خون دوسطحی بررسی کردند. سطح اول شامل یک بانک خون واحد با عرضه‌ی نامشخص است، در حالی که سطح دوم شامل بیمارستان‌هایی است که تقاضای خارجی دارند. آن‌ها نشان دادند که تمرکز موجودی بیمارستان‌ها یکی از عوامل اساسی در زنجیره‌ی خون است و می‌تواند باعث پایداری و تاب‌آوری زنجیره خون شود.^[۱۴] رضانیان و بهبودی (۲۰۱۷)، یک مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط عدد صحیح را برای طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین خون پیشنهاد دادند. آن‌ها عوامل اجتماعی مختلفی از جمله مسافت، هزینه‌ی تبلیغات و عوامل تجربه را که بر روند تصمیم‌گیری اهداکنندگان تأثیر می‌گذارد، در نظر گرفتند.^[۱۵] ظهیری و پیشوائی (۲۰۱۷)، سازگاری گروه‌های خونی را در طراحی شبکه‌های زنجیره‌ی تأمین خون در نظر گرفتند. برای این منظور، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی دهدفه برای کمینه‌سازی هزینه‌ی کل و همچنین بیشینه‌سازی تقاضای برآورده نشده تدوین شده است.^[۱۶]

اسکندری و همکاران (۲۰۱۸)، یک زنجیره‌ی تأمین خون پایدار چندهدفه ارائه داده‌اند که به بیشینه‌سازی جنبه‌های اجتماعی (مشاغل ثابت و متغیر) در زنجیره‌ی تأمین می‌پردازد.^[۱۷] قطره سامانی و همکاران (۲۰۱۸)، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط چندهدفه برای طراحی یک شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین خون در شرایط بحران ارائه داده‌اند. مدل توسعه یافته‌ی آن‌ها، تمام جنبه‌های خاص زنجیره‌ی

نوآوری‌های مقاله‌ی حاضر، با ارائه‌ی جدول ۱، به مقایسه‌ی این مقاله با مقالات حوزه‌ی زنجیره‌ی تأمین خون، از منظر نوع عدم قطعیت و رویکرد مواجهه با آن، نوع تصمیمات، تعداد سطوح زنجیره، توابع هدف و غیره پرداخته شده است.

۳. تعریف مسئله

در این پژوهش، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ی مکان‌یابی - موجودی سه‌سطحی خون که جزء زنجیره‌ی تأمین کالای فاسدشدنی است، با در نظر گرفتن سیستم مصرف FIFO در بیمارستان‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است.

همان‌طور که پیش‌تر توضیح داده شد، زنجیره‌ی تأمین خون پیشنهادی، دارای سه سطح، شامل اهداکنندگان خون، پایگاه‌های سیار و ثابت و مراکز مصرف است. اهداکنندگان به پایگاه ثابت یا سیار تخصیص می‌یابند. در صورت تخصیص به پایگاه سیار، پایگاه سیار به سمت پایگاه ثابت حرکت می‌کند. در پایگاه ثابت با توجه به تقاضای مراکز مصرف (که در این‌جا بیمارستان لحاظ شده است)، خون را ارسال می‌کنند و بیمارستان‌ها با توجه به سیاست FIFO خون را برای بیماران خود استفاده می‌کنند. نکته‌ی قابل توجه درباره خون، فسادپذیری سریع پلاکت است که از این جهت حائز اهمیت است و بر این اساس سطح موجودی با عمر پلاکت در مرکز خون و بیمارستان‌ها در این مقاله مورد مطالعه قرار گرفته شده است.

تابع هدف به منظور کمینه کردن هزینه‌ی مکان‌یابی پایگاه‌های سیار و ثابت جمع‌آوری خون، هزینه‌ی حمل و نقل، هزینه‌ی تخصیص اهداکنندگان، هزینه‌ی سفارش، هزینه‌ی نگهداری، کمبود و هدر رفتن خون در مراکز خون و بیمارستان‌هاست. هدف مدل تعیین تصمیمات شامل: ۱. تعداد پایگاه سیار و مراکز خون؛ ۲. مکان پایگاه‌های سیار و مراکز خون؛ ۳. مقدار خون جمع‌آوری شده توسط پایگاه‌ها تحت هر سناریو؛ ۴. سطح موجودی آخر دوره است.

۳.۱. فرضیات مدل

فرضیات در نظر گرفته شده در مدل پیشنهادی عبارت‌اند از:

- ظرفیت پایگاه‌های سیار و ثابت محدود است؛
- عرضه‌ی خون، تقاضا و مصرف بیمارستان تصادفی است؛
- زمان انتظار برای انتقال خون از مرکز خون به بیمارستان صفر است؛
- طول عمر پلاکت در مدل ۵ روز در نظر گرفته شده است؛
- سیاست مصرف خون در بیمارستان بر اساس FIFO است؛
- اگر تقاضا برآورده نشود، توسط موجودی در دسترس با کمبود مواجهه می‌شود؛
- اگر عمر محصول تمام شود، هدر رفتن اتفاق می‌افتد؛
- موجودی ابتدای دوره صفر است.

اندیس‌ها

i : مجموعه‌ی ناحیه‌ی جمعیتی اهداکنندگان؛

k : مجموعه‌ی محل‌های کاندید استقرار پایگاه ثابت؛

z : مجموعه‌ی محل‌های کاندید استقرار پایگاه سیار؛

h : مجموعه‌ی بیمارستان‌ها؛

t : دوره زمانی؛

تأمین خون شامل عدم قطعیت در تقاضا و عرضه‌ی نامنظم، فسادپذیری و جلوگیری از کمبود فرآورده‌های خونی را در نظر گرفته و بین هزینه‌ها، کمبود و تازگی توازن ایجاد کرده است. در این پژوهش برای حل مدل، از رویکرد تعاملی فازی استفاده شده است.^[۱۸] قطره سامانی و همکاران (۲۰۱۹)، در پژوهشی دیگر یک راهکار پیشگیری دومرحله‌ی با استفاده از یک روش ترکیبی فرایند سلسله مراتبی فازی و تحلیل منطقی خاکستری برای تعیین تسهیلات خون اضافی پیشنهاد داده‌اند که خطر ایجاد اختلال از طریق آن کاهش می‌یابد. علاوه بر این، یک فرمول p استوار^۵ برای کنترل قابلیت اطمینان تحت سناریوهای اختلال با کم‌ترین هزینه ارائه شده است.^[۱۹] حمدان و دیابات (۲۰۱۹)، یک مدل بهینه‌سازی تصادفی دومرحله‌ی برای زنجیره‌ی تأمین خون پیشنهاد دادند. مدل سه‌هدفه‌ی آن‌ها، آسیب‌پذیری واحدهای خونی، تصمیم‌گیری‌های پیش‌بینی شده و همچنین برنامه‌ریزی برای پس از فاجعه را در نظر می‌گیرد. با استفاده از روش محدودیت اسپیلن، مسئله‌ی سه‌هدفه به یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط تبدیل و با استفاده از CPLEX برای یک مطالعه‌ی موردی واقعی از اردن حل شده است.^[۲۰] صالحی و همکاران (۲۰۱۹)، یک مدل جدید تصادفی استوار دومرحله‌ی چنددوره‌ی و سه‌سطحی برای طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی خون با در نظر گرفتن یک بحران طبیعی احتمالی پیشنهاد داده‌اند. امکان انتقال خون از یک گروه خونی و همچنین مشتقات آن به انواع دیگر بر اساس نیاز پزشکی به عنوان نوآوری در مدل در نظر گرفته شده است. این مدل برای در نظر گرفتن یک زلزله‌ی احتمالی در تهران تهیه شده است.^[۲۱] حق جو و همکاران (۲۰۲۰)، یک مدل مکان‌یابی - تخصیص استوار پویا برای طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین خون تحت ریسک اختلال در تسهیلات و عدم قطعیت در وضعیت بحران ارائه داده‌اند. برای حل مدل در ابعاد بزرگ از دو الگوریتم فراابتکاری رقابت استعماری خودسازگار^۶ و بهینه‌سازی علف‌های هرز مهاجم^۷ استفاده شده است.^[۲۲] حسینی مطاق و همکاران (۲۰۲۰)، مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ی دوهدفه برای مدیریت زنجیره‌ی تأمین گلبول‌های قرمز با در نظر گرفتن عدم قطعیت ارائه داده‌اند. هدف مدل، کمینه‌سازی هزینه‌ی کل زنجیره‌ی تأمین همراه با تعیین تصمیمات بهینه مکان‌یابی - تخصیص و مدیریت موجودی است. رویکرد بهینه‌سازی استوار برای مقابله با عدم قطعیت پارامترها به کار گرفته شده است.^[۲۳] در پژوهشی دیگر، حمدان و دیابات (۲۰۲۰)، یک مدل بهینه‌سازی دوهدفه‌ی استوار، برای طراحی زنجیره‌ی تأمین خون که در برابر سناریوهای بحران تاب‌آور^۸ هستند، پیشنهاد داده‌اند. هدف مدل بهینه‌سازی تصادفی دومرحله‌ی پیشنهادی، به کمینه‌سازی زمان و هزینه‌ی ارسال خون به بیمارستان‌ها بعد از وقوع بحران ضمن در نظر گرفتن اختلالات احتمالی در تجهیزات خون و مسیرهای حمل و نقل است. الگوریتم آزادسازی لاگرانژ برای حل مدل در ابعاد بزرگ با در نظر گرفتن مطالعه موردی بانک‌های خون در اردن به کار گرفته شده است.^[۲۴]

با توجه به مرور ادبیات انجام گرفته، مکان‌یابی پایگاه‌های سیار و ثابت و تعیین سیاست بهینه در موجودی خون و همچنین کمینه‌سازی هزینه‌های مربوط به زنجیره‌ی تأمین خون مانند هزینه‌ی مکان‌یابی، هزینه‌ی حمل و نقل، هزینه‌ی تخصیص اهداکنندگان، هزینه‌ی سفارش، هزینه‌ی نگهداری، کمبود و هدر رفتن خون در مراکز خون و بیمارستان‌ها باعث بهبود زنجیره‌ی تأمین می‌شود. همچنین با توجه به فسادپذیری کالای خون، سیستم مصرف در بیمارستان به صورت FIFO در نظر گرفته شده است تا میزان ضایعات و کمبود خون کمینه شود، که از نوآوری‌های این تحقیق است. مدل تصمیمات به تعیین: ۱. تعداد پایگاه سیار و مراکز خون؛ ۲. مکان پایگاه‌های سیار و مراکز خون؛ ۳. مقدار خون جمع‌آوری شده توسط پایگاه‌ها تحت هر سناریو؛ ۴. سطح موجودی آخر دوره می‌پردازد. همچنین به منظور شفاف‌سازی

جدول ۱. جدول مقایسه‌ی مقالات حوزه طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین خون.

روش حل	نوع عدم قطعیت		توابع هدف	رویکرد مدل‌سازی	سیاست مصرف در بیمارستان	نوع تصمیمات	تعداد سطوح زنجیره	نویسندگان
	فازی	تصادفی احتمالی						
برنامه‌ریزی پویا	*		هزینه	برنامه‌ریزی پویای تصادفی	-	موجودی	۲	ژو و همکاران (۲۰۱۱)
گمز	*		هزینه - زمان تحویل	برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ی	-	مکان‌یابی - موجودی	۳	فهم‌نیا و همکاران (۲۰۱۵)
گمز	*		هزینه	برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط	-	مکان‌یابی - موجودی	۳	رمضانیان و بهبودی (۲۰۱۷)
گمز	*	*	هزینه - کمبود - تازگی	ترکیب برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ی و برنامه‌ریزی امکانی	-	مکان‌یابی - موجودی	۳	قطره سامانی و همکاران (۲۰۱۸)
فرااب‌تکاری		*	هزینه - اثرات محیطی - اثرات اجتماعی	برنامه‌ریزی امکانی	-	مکان‌یابی - موجودی	۳	اسکندری و همکاران (۲۰۱۸)
گمز	*		هزینه	برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ی	-	مکان‌یابی - موجودی	۳	صالحی و همکاران (۲۰۱۹)
فرااب‌تکاری		*	هزینه	برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط	-	مکان‌یابی - تخصیص	۲	حق جو و همکاران (۲۰۲۰)
گمز	*	*	هزینه	برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ی	FIFO	مکان‌یابی - تخصیص موجودی	۲	حسینی مطلق و همکاران (۲۰۲۰)
گمز	*		هزینه - زمان تحویل	برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ی	-	مکان‌یابی - موجودی	۳	حمدان و دیابات (۲۰۲۰)
گمز و فرااب‌تکاری	*		هزینه	برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ی	FIFO	مکان‌یابی - موجودی	۳	تحقیق حاضر

Cap_k : ظرفیت پایگاه ثابت k ؛

$Capp_j$: ظرفیت پایگاه سیار j ؛

f_j : هزینه‌ی استقرار پایگاه سیار در محل j ؛

f_k : هزینه‌ی استقرار پایگاه ثابت در محل k ؛

hh_{sit} : مقدار خون اهدایی در زمان t توسط اهداکننده i ام تحت سناریو s ؛

d_{sht} : مقدار تقاضای خون از بیمارستان h در زمان t تحت سناریو s ؛

dd_{sht} : مقدار تقاضای خون بیمارستان h از مرکز خون در زمان t تحت سناریو s ؛

ca_{ij} : هزینه‌ی انتقال یک واحد خونی از ناحیه‌ی جمعیتی i به پایگاه سیار j ؛

cb_{ik} : هزینه‌ی انتقال یک واحد خونی از ناحیه‌ی جمعیتی i به پایگاه ثابت k ؛

r : طول عمر؛

s : مجموعه‌ی سناریوها.

● پارامترها

B : هزینه‌ی کمبود خون؛

hh : هزینه‌ی نگهداری خون؛

W : هزینه‌ی هدر رفتن خون؛

O : هزینه‌ی سفارش خون از مرکز خون؛

M : عدد بزرگ؛

S.t.

$$\sum_j y_{sijt} + \sum_k yy_{sikt} = 1 \quad \forall s, i, t \quad (2)$$

$$y_{sijt} \leq M * x_j \quad \forall s, i, j, t \quad (3)$$

$$yy_{sikt} \leq M * xx_k \quad \forall s, i, k, t \quad (4)$$

$$yy_{s_jkt} \leq M * xx_k \quad \forall s, j, k, t \quad (5)$$

$$Fc_{sjkrt} \leq M * yy_{s_jkt} \quad \forall s, j, k, r, t \quad (6)$$

$$Fa_{sijrt} = hh_{sit} * y_{sijt} \quad \forall s, i, j, t, r = 1 \quad (7)$$

$$Fb_{sikt} = hh_{sit} * yy_{sikt} \quad \forall s, i, k, t, r = 1 \quad (8)$$

$$\sum_i Fa_{sijrt} = \sum_k Fc_{sjkrt} \quad \forall s, j, k, t, r = 1 \quad (9)$$

$$\sum_i Fb_{sikt} + \sum_j Fc_{sjkrt} = p_{skrt} \quad \forall s, k, t, r = 1 \quad (10)$$

$$\sum_i Fb_{sikt} + \sum_j Fc_{sjkrt} \leq Cap_k xx_k \quad \forall s, k, t, r = 1 \quad (11)$$

$$\sum_i Fa_{sijrt} \leq Capp_j x_j \quad \forall s, j, t, r = 1 \quad (12)$$

$$v_{skrt} = p_{skrt} - \sum_h q_{skhrt} + rrr_{skrt} \quad \forall s, k, t, r = 1 \quad (13)$$

$$v_{skrt} = v_{skr-t-1} - \sum_h q_{skhrt} + rrr_{skrt} \quad \forall s, k, t, r \geq 2 \quad (14)$$

$$\sum_k \sum_r q_{skhrt} = dd_{sht} \quad \forall s, h, t \quad (15)$$

$$\sum_h q_{skhrt} \leq (v_{skrt} + p_{skrt}) xx_k \quad \forall s, k, t, r \quad (16)$$

$$z_{shrt} \geq z_{shr-t} \quad \forall s, h, t, r \quad (17)$$

$$\sum_r (v_{shr-t-1} + \sum_k q_{skhrt}) z_{shrt} - jj_{shrt} + rr_{sht} = d_{sht} \quad \forall s, h, t \quad (18)$$

$$(1 - z_{shr-t})(v_{shr-t-1} + \sum_k q_{skhrt}) \geq jj_{shrt} \quad \forall s, h, r, t \quad (19)$$

$$d_{sht} - \sum_r (v_{shr-t-1} + \sum_k q_{skhrt}) \leq rr_{sht} \quad \forall s, h, t \quad (20)$$

$$v_{shrt} = (1 - z_{shrt})(v_{shr-t-1} + \sum_k q_{skhrt}) - (z_{shrt} - z_{shr-t}) jj_{shrt} \quad \forall s, h, r, t \quad (21)$$

$$\sum_r (v_{shrt}) rr_{sht} = 0 \quad \forall s, h, t \quad (22)$$

$$\sum_r (v_{skrt}) \sum_r rrr_{skrt} = 0 \quad \forall s, h, t \quad (23)$$

$$u_{sht} = v_{shrt} \quad \forall s, h, t, r = 0 \quad (24)$$

$$u_{skt} = v_{skrt} \quad \forall s, h, t, r = 0 \quad (25)$$

$$Fa, Fb, Fc, v, vv, u, uu, rr, rrr, jj, q \geq 0 \quad \text{and int eger} \quad (26)$$

$$x_j, xx_k, y_{sijt}, yy_{sikt}, yy_{s_jkt}, z_{shrt} \in \{0, 1\} \quad (27)$$

cc_{jk} : هزینه انتقال یک واحد خونی از پایگاه سیار j به پایگاه ثابت k ؛

cd_{kh} : هزینه انتقال یک واحد خونی از پایگاه ثابت k به بیمارستان h ؛

P_s : احتمال وقوع سناریو s .

• متغیرهای تصمیم

Fa_{sijrt} : مقدار خون انتقال یافته با طول عمر r از ناحیه i جمعیتی i به پایگاه سیار j در دوره t تحت سناریو s ؛

Fb_{sikt} : مقدار خون انتقال یافته با طول عمر r از ناحیه i جمعیتی i به پایگاه ثابت k در دوره t تحت سناریو s ؛

Fc_{sjkrt} : مقدار خون انتقال یافته با طول عمر r از پایگاه سیار j به پایگاه ثابت k در دوره t تحت سناریو s ؛

x_j : اگر پایگاه سیار در ناحیه j ایجاد شود ۱ و در غیر این صورت ۰ است؛

xx_k : اگر پایگاه ثابت در ناحیه k ایجاد شود ۱ و در غیر این صورت ۰ است؛

y_{sijt} : اگر ناحیه i جمعیتی i به پایگاه سیار j در زمان t تحت سناریو s تخصیص یابد ۱ و در غیر این صورت ۰ است؛

yy_{sikt} : اگر ناحیه i جمعیتی i به پایگاه ثابت k در زمان t تحت سناریو s تخصیص یابد، ۱ و در غیر این صورت ۰ است؛

yy_{s_jkt} : اگر پایگاه سیار j به پایگاه ثابت k در زمان t تحت سناریو s تخصیص یابد، ۱ و در غیر این صورت ۰ است؛

z_{shrt} : اگر از خون با طول عمر r در زمان t تحت سناریو s توسط بیمارستان h مصرف شود ۱ و در غیر این صورت ۰ است؛

q_{skhrt} : مقدار سفارش بیمارستان h از مرکز خون k با طول عمر r در دوره t تحت سناریو s ؛

rrr_{skt} : مقدار کمبود خون در مرکز خون k در زمان t تحت سناریو s ؛

uu_{skt} : مقدار هدر رفتن خون در مرکز k در زمان t تحت سناریو s ؛

rr_{sht} : مقدار کمبود خون در بیمارستان h در زمان t تحت سناریو s ؛

u_{sht} : مقدار هدر رفتن خون در بیمارستان h در زمان t تحت سناریو s ؛

jj_{sht} : مقدار باقی مانده از موجودی خون بیمارستان h که برای تقاضا در دوره t تحت سناریو s کاملاً استفاده نشده است و به دوره بعدی انتقال یافته است؛

vv_{skrt} : موجودی مرکز خون k با طول عمر r در دوره t تحت سناریو s ؛

v_{shrt} : موجودی بیمارستان h با طول عمر r در دوره t تحت سناریو s ؛

p_{skrt} : مقدار خون وارد شده به پایگاه ثابت k با طول عمر r در دوره t تحت سناریو s .

۲.۳. تابع هدف و محدودیت‌ها

$$\begin{aligned} Min = & \sum_j f_j x_j + \sum_k f_k xx_k \\ & + P_s [\sum_s \sum_i \sum_j \sum_t Ca_{ij} y_{sijt} \\ & + \sum_s \sum_i \sum_k \sum_t cb_{ik} yy_{sikt} \\ & + \sum_s \sum_j \sum_k \sum_r \sum_t cc_{jk} fc_{sjkrt} \\ & + \sum_k \sum_h \sum_r \sum_t q_{khrt} (cd_{kh} + O) \\ & + \sum_s \sum_k \sum_r \sum_t vv_{skrt} hhh \\ & + \sum_s \sum_k \sum_t (rrr_{skt} b + uu_{skt} W) \\ & + \sum_s \sum_h \sum_r \sum_t v_{shrt} hhh \\ & + \sum_s \sum_h \sum_t (rr_{sht} b + u_{sht} W)] \end{aligned} \quad (1)$$

رابطه‌ی ۱ تابع هدف مسئله است که به دنبال کمینه کردن هزینه‌های استقرار پایگاه‌های اهدای خون، هزینه‌ی تخصیص اهداکنندگان به سوی پایگاه ثابت و سیار، هزینه‌ی حمل و نقل واحدهای خون در طول شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین، هزینه‌ی سفارش، هزینه‌ی نگهداری، هزینه‌ی کمبود و هدر رفتن خون در مراکز خون و بیمارستان‌هاست. محدودیت ۲ تضمین می‌کند که هر ناحیه‌ی جمعیتی i یا به پایگاه ثابت یا به پایگاه سیار تخصیص می‌یابد. محدودیت‌های ۳ و ۴ تضمین می‌کنند، هر ناحیه‌ی جمعیتی i یا به پایگاه ثابت یا به پایگاه سیار در صورتی تخصیص می‌یابد که آن پایگاه باشد. محدودیت ۵ تضمین می‌کند که پایگاه سیار به پایگاه ثابت تخصیص می‌یابد؛ در صورتی که آن پایگاه باز باشد. محدودیت ۶ تضمین می‌کند که در صورتی که تخصیص صورت گرفته شده باشد جریان بین پایگاه ثابت و سیار وجود دارد. محدودیت‌های ۷ و ۸ مقدار جریان خون از اهداکنندگان به پایگاه سیار z و پایگاه ثابت h است. محدودیت ۹ تضمین می‌کند که واحدهای خون جمع‌آوری شده توسط پایگاه سیار z که به پایگاه ثابت h منتقل می‌شود؛ برابر با مقدار خون اهدایی اهداکنندگان به پایگاه سیار است. محدودیت ۱۰ مقدار کل خون منتقل شده توسط اهداکنندگان و پایگاه سیار z به پایگاه ثابت h است. محدودیت ۱۱ بیان می‌کند که مقدار خون منتقل شده به پایگاه ثابت h باید از ظرفیت پایگاه کم‌تر باشد. محدودیت‌های ۱۲ و ۱۳ موجودی مراکز خون را نشان می‌دهد. محدودیت ۱۵ بیان می‌کند که مقدار جریان از مراکز h برابر تقاضای بیمارستان h در هر دوره است. محدودیت ۱۶ تضمین می‌کند که مقدار جریان از پایگاه ثابت خون به بیمارستان کم‌تر یا مساوی موجودی پایگاه ثابت خون است. محدودیت ۱۷، ارسال FIFO در سیاست مصرف خون در بیمارستان h را نشان می‌دهد. محدودیت ۱۸ بیان می‌کند که تقاضا کاملاً باید برآورد شود، در غیر این صورت بیمارستان با کمبود برای ارسال خون مواجه می‌شود. z_j^{short} متغیر کمکی است که تعداد واحد یک گروه خونی که دست‌کم یک واحد از آن در دوره زمانی مصرف شده است، را نگه می‌دارد. محدودیت ۱۹ تضمین می‌کند که متغیر کمکی z_j^{short} نباید از مقدار موجودی در دسترس بیشتر باشد و در صورت مثبت بودن مقدار آن از استفاده کردن موجودی جدیدتر جلوگیری می‌کند و بیان‌گر برآورد شدن تقاضا است. محدودیت ۲۰ بیان می‌کند که اگر تقاضا بیشتر از موجودی باشد با کمبود مواجه می‌شویم. محدودیت ۲۱ سطح موجودی گروه خون با عمر r بیمارستان h در هر دوره را نشان می‌دهد. محدودیت ۲۲ و ۲۳ تضمین می‌کند که در صورت وجود موجودی، کمبود صفر است. محدودیت‌های ۲۴ و ۲۵ مقدار هدر رفتن خون را نشان می‌دهد. در نهایت محدودیت‌های ۲۶ و ۲۷ نوع متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهند.

۴. روش حل

از آنجا که مدل ارائه شده، مدل مختلط عدد صحیح غیر خطی است و حل آن از طریق نرم‌افزار گمز^۹ در ابعاد بزرگ امکان‌پذیر نیست، برای حل از دو الگوریتم فراابتکاری ژنتیک (GA)^{۱۰} و بهینه‌سازی تجمعی ازدحام ذرات (PSO)^{۱۱} استفاده شده است.

۱.۴. الگوریتم ژنتیک

الگوریتم‌های ژنتیک، الگوریتم‌هایی هستند که قدرت بسیار زیادی در یافتن جواب مسئله دارند، اما باید توجه داشت که شاید بتوان کاربرد اصلی این الگوریتم‌ها را در

مسائلی در نظر گرفت که دارای فضای حالت بسیار بزرگ هستند و عملاً بررسی همه حالت‌ها برای انسان در زمان‌های نرمال (در حد عمر بشر) ممکن نیست. به طور خلاصه الگوریتم ژنتیک روشی است که از تکامل ژنتیکی به عنوان یک الگوی حل مسئله استفاده می‌کند. الگوریتم ژنتیک برخلاف روش‌های جست‌وجوی متداول، با یک مجموعه از جواب‌های تصادفی که جمعیت نامیده می‌شوند و حدود یا محدودیت‌های مسئله را ارضا می‌کنند، شروع به کار می‌کند. هر یک از افراد این جمعیت کروموزوم نامیده می‌شوند که بیان‌گر یک حل از مسئله در حال بررسی است. کروموزوم رشته‌ی از نمادهاست که از تکرارهای متوالی که نسل نامیده می‌شود استخراج می‌شوند. در طول هر نسل، کروموزوم با استفاده از روش‌های برازندگی، تکامل می‌یابد. برای تولید نسل بعدی کروموزوم‌های جدید که «فرزند» نامیده می‌شوند، از طریق پیوند دو کروموزوم از نسل کنونی با استفاده از عملگر تقاطع و اصلاح کروموزوم با استفاده از یکی دیگر از انواع عملگرهای ژنتیکی به نام عملگر جهش ایجاد می‌شوند. نسل جدید به وسیله‌ی عملگر انتخاب و بر اساس مقادیر برازندگی بعضی از والدین و فرزندان و حذف بقیه آن‌ها به منظور ثابت نگه داشتن اندازه جمعیت، ایجاد کروموزوم‌های برازنده احتمال بیشتری برای انتخاب شدن دارند. در ادامه توضیحات کامل‌تری در زمینه‌ی الگوریتم ژنتیک ارائه می‌شود.

قدم اول: مقداردهی اولیه

اطلاعات اولیه برای شروع کار با الگوریتم ژنتیک به قرار زیر است:

- اندازه جمعیت (pop) که بیان‌گر تعداد کروموزوم‌هایی است که در هر مرحله باید نگهداری شود؛
- احتمال عملگر تقاطع (pc) که بیان‌گر تعداد والدینی است که در عملیات جفت‌گیری شرکت می‌کنند؛
- احتمال عملگر جهش (pm) که بیان‌گر تعداد جواب‌هایی است که در فرایند جهش شرکت می‌کنند؛
- تعداد تکرار الگوریتم.

قدم دوم: ساختار کروموزوم

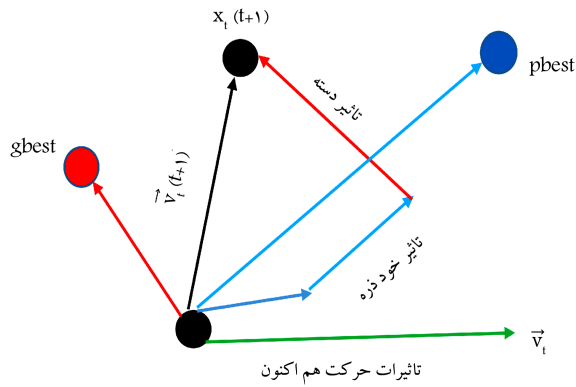
اولین گام اساسی در به کارگیری الگوریتم ژنتیک و پیاده‌سازی آن، نمایش جواب‌های مسئله به صورت کروموزوم است. در حقیقت این عمل، یک مفهوم کلیدی در الگوریتم ژنتیک است که در موفقیت و نحوه‌ی پیاده‌سازی الگوریتم تأثیر فراوانی دارد.

در این نوشتار تولید کروموزوم با توجه به این که متغیرهای x و x_k متغیرهای اصلی مسئله هستند و سایر متغیرها وابسته به این دو هستند و تنها این کروموزوم‌ها به صورت تصادفی تولید می‌شوند و از آنجا که این متغیرها صفر و ۱ هستند؛ با توجه به سبک کروموزوم صفر و ۱ به صورت تصادفی تولید می‌شود.

به عنوان مثال برای مسئله با پنج مجموعه مکان کاندید برای استقرار پایگاه سیار و چهار مجموعه مکان کاندید برای استقرار پایگاه ثابت یک نمونه کروموزوم تولید شده می‌تواند به صورت جداول ۲ و ۳ باشد. عدد صفر در ژن اول نشان‌گر عدم وجود تأسیس پایگاه است.

قدم سوم: تابع برازندگی

در این مرحله با معرفی معیارهای مختلف به ارزیابی جواب‌های موجود در جمعیت می‌پردازیم. ارزیابی برازندگی، بررسی مقدار تابع هدف با در نظر گرفتن محدودیت‌های مسئله است. در الگوریتم‌های فراابتکاری بعد از تولید کردن جواب‌ها به هر یک از



شکل ۲. تأثیرات بر روی بردار سرعت.

اساس الگوی هوش جمعی عمل می‌کند. [۲۵] در الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، ذرات بر اساس تمایلات اجتماعی فیزیکی در فضای جست‌وجو حرکت می‌کنند. مکان یک ذره هم بر اساس تجربیات خود ذره و هم بر اساس اطلاعات ذرات همسایه تغییر می‌کند. یک فضای جست‌وجوی n بعدی با $S = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ نشان داده می‌شود، به صورتی که N تعداد ذرات در دسته را نشان می‌دهد. فرض کنید $\vec{x}_i(t)$ مکان ذره در تکرار t باشد. مکان ذره p_i توسط بردار سرعت تغییر می‌کند. همان‌طور که گفته شد ذره i ام یک نقطه در فضای جست‌وجو است، به صورتی که ذره، مکان و بردار سرعتش $v_i(t)$ به ترتیب توسط معادلات ۲۸ تا ۳۰ محاسبه می‌شود:

$$P_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{in}) \in S \quad (28)$$

$$X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}) \in S \quad (29)$$

$$V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in}) \in S \quad (30)$$

فرض کنید $NG_i \subseteq S$ مجموعه‌ی تمام ذراتی است که اطلاعات خود را با p_i به اشتراک می‌گذارند. این ذرات همسایگان ذره i به شمار می‌روند. به علاوه g به عنوان اندیس بهترین ذره در این مجموعه در نظر گرفته شده است. بر این اساس:

$$f(p_g) \leq f(p_i) \quad \forall NG_i \quad (31)$$

سپس ذرات توسط معادلات ۳۲ و ۳۳ دستکاری می‌شود. مکان ذره i ام توسط بردار سرعت، طبق رابطه‌ی (۳۰) عوض می‌شود:

$$\vec{x}_i(t) = \vec{x}_i(t-1) + \vec{v}_i(t) \quad (32)$$

تبادل اطلاعات بین ذرات به صورت بردار سرعت بر روی ذره اعمال می‌شود:

$$\vec{v}_i(t) = w \vec{v}_i(t-1) + c_1 r_1 (\vec{x}_{pbest} - \vec{x}_i(t)) + c_2 r_2 (\vec{x}_{gbest} - \vec{x}_i(t)) \quad (33)$$

به صورتی که r_1 و r_2 متغیرهای تصادفی یکنواخت در بازه‌ی (۰،۱) هستند. همچنین c_1 و c_2 دو پارامتر با مقدار مثبت به نام‌های پارامترهای شناختی و اجتماعی هستند. اولین، دومین و سومین جمله در عبارت ۳۳ به ترتیب حرکت فعلی، تأثیر از اطلاعات شخصی و اجتماعی بر روی بردار سرعت را نشان می‌دهد. شکل ۲، چگونگی تأثیرات بر روی بردار سرعت را نشان می‌دهد. همچنین، بهترین مکان در هر گام طبق رابطه‌ی ۳۴ به‌هنگام می‌شود:

$$\vec{p}_i(t+1) = \vec{x}_i(t+1) \quad \text{if } f(x_i) \leq f(p_i) \quad (34)$$

جدول ۲. نمونه‌ی از کروموزوم (کروموزوم z).

۱	۰	۱	۱	۰
---	---	---	---	---

جدول ۳. نمونه‌ی از کروموزوم (کروموزوم $ax_{i,k}$).

۰	۰	۱	۱
---	---	---	---

آنها یک مقدار برازندگی اختصاص می‌یابد. در به‌کارگیری الگوریتم‌های فراابتکاری برای مسائل دارای محدودیت، مهم‌ترین نکته چگونگی مواجهه با محدودیت‌هاست. توابع جریمه یکی از مهم‌ترین روش‌های برخورد با مسائل دارای محدودیت است.

قدم چهارم: انتخاب والد

انتخاب مناسب والد تأثیر مهمی برای همگرایی الگوریتم ژنتیک دارد. فرایند انتخاب دو والد از جمعیت برای عمل تقاطع است. در این مرحله، باید در ارتباط با نحوه‌ی انتخاب والدین برای عمل تقاطع، نحوه‌ی تولید فرزندان و تعداد فرزندان تصمیم‌گیری شود. انواع روش انتخاب والد عبارت‌اند از: انتخاب رتبه‌ی، انتخاب مناسب برآزش، نمونه برداری فراگیر تصادفی، انتخاب مسابقه‌ی و انتخاب چرخ رولت. در این پژوهش از روش مسابقه‌ی استفاده شده است که سه والد به طور تصادفی انتخاب و بهترین آن که کم‌ترین هزینه را دارد برگزیده می‌شود.

قدم پنجم: عملگر تقاطع

بخشی از فرایند تکامل در طبیعت بدین صورت است که کروموزوم‌هایی به عنوان والدین انتخاب شده و با هم ترکیب می‌شوند. در واقع می‌بایستی کروموزوم‌های انتخاب شده را تقاطع دهیم. ما سه نوع عملگر تقاطع داریم یکنواخت، تک نقطه‌ی و دو نقطه‌ی. در این پژوهش از عملگر تقاطع یکنواخت استفاده شده است.

قدم ششم: جهش

فلسفه‌ی عملگر جهش در الگوریتم ژنتیک این است که از ثابت شدن جمعیت در هر مکان هندسی جلوگیری می‌کند. در واقع عملگر جهش فضایی از جواب را که توسط عملگر تقاطع یافت نشده است، جست‌وجو می‌کند. این عملگر در کروموزوم‌های متفاوت، تغییراتی تصادفی برنامه‌ریزی نشده ایجاد کرده و ژن‌هایی را که در جمعیت اولیه وجود نداشته‌اند، وارد جمعیت کند. در رابطه‌ی با این عملگر، مفهوم مهمی تحت عنوان نرخ جهش مطرح است. نرخ جهش عبارت است از درصدی از کل ژن‌های موجود در هر کروموزوم که دچار تغییر می‌شوند. عملگرهای جهش مختلفی در ادبیات استفاده شده است اما در این پژوهش از عملگر معکوس استفاده شده است؛ به این صورت که مقدار ۱، صفر می‌شود و مقدار صفر به ۱ بدل می‌شود.

قدم هفتم: شرط خاتمه

در این تحقیق شرط خاتمه تعداد دفعات تکرار در نظر گرفته شده است.

۲.۴. الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

دوالگوریتم مشهور هوش جمعی عبارت است از: بهینه‌سازی مورچگان و بهینه‌سازی ازدحام ذرات. الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات از شبیه‌سازی رفتار جمعی حیوانات الهام گرفته شده است، به گونه‌ی که برای اولین بار توسط کندی و ابراهام با استفاده از مفاهیم نزدیک‌ترین همسایگی، سرعت و شتاب بر اساس فاصله مطرح شده است و بر

جدول ۴. سطوح ارائه شده برای پارامترهای الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات.

الگوریتم‌ها	پارامترهای الگوریتم	سطح پایین	سطح متوسط	سطح بالا
	اندازه جمعیت اولیه	۳۰	۶۰	۹۰
ژنتیک	نرخ تقاطع	۰٫۸	۰٫۹	۰٫۹۹
	نرخ جهش	۰٫۴	۰٫۵	۰٫۶
	ضریب یادگیری هر ذره	۱٫۷۵	۲	۲٫۲۵
ازدحام ذرات	ضریب یادگیری کل جامعه	۱٫۷۵	۲	۲٫۲۵
	وزن اینرسی تعدیل یافته	۰٫۸۷	۰٫۹۳	۰٫۹۹

جدول ۵. نتایج مقایسه شده گمز و دو الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات.

ابعاد مسئله $(I \times J \times K \times H \times T)$	گمز	الگوریتم ژنتیک	الگوریتم ازدحام ذرات
$ 1 \times 2 \times 2 \times 1 \times 7 $	۸۴۷۰۹/۰۸۱	۸۴۴۹۹/۴۰۷	۸۵۷۶۱/۵۴۱
$ 2 \times 2 \times 2 \times 1 \times 7 $	۸۰۵۵۰/۲۰۰	۸۲۰۸۰/۳۷۴	۸۳۰۹۰/۹۷۴
$ 3 \times 2 \times 2 \times 1 \times 7 $	۹۸۴۵۸/۴۱۸	۹۹۸۴۹/۷۰۸	۱۰۶۴۱/۱۸۶

کاهش هزینه، به دست آوردن سطوح بهینه‌ی پارامترها در زمان کم‌تر است.^[۲۷] پارامترهای الگوریتم PSO و GA در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به آزمایشات ناگوجی، مقدار اندازه جمعیت اولیه ۶۰، مقدار نرخ تقاطع ۰٫۹ و مقدار نرخ جهش ۰٫۵ به عنوان بهترین سطح جهت عملکرد بهینه الگوریتم ژنتیک در نظر گرفته شده است. همچنین، مطابق نتایج فوق مقادیر ضریب یادگیری هر ذره و کل جامعه برابر ۲ و مقدار وزن اینرسی تعدیل یافته ۰٫۹۳، به عنوان بهترین سطح جهت عملکرد بهینه الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات در نظر گرفته شده است.

۵. نتایج محاسباتی

در این بخش، با انجام آزمایشات محاسباتی، کارایی روش حل پیشنهادی ارزیابی می‌شود. به علت پیچیدگی و زمان‌بر بودن مسئله، برای حل از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده و عملکرد آن دو با یکدیگر مقایسه شده است. برای حصول اطمینان از عملکرد صحیح الگوریتم‌های پیشنهادی و نیز معتبر بودن نتایج حاصل از آن‌ها، مدل در اندازه کوچک توسط نرم‌افزار گمز ۲۳٫۴ حل شده است. پارامترهای استفاده شده و مقادیر تابع هدف به دست آمده در جدول ۵ قابل مشاهده است. مسائل آزمایشی در ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ به تعداد ۲۷ مسئله طراحی شده است. مقادیر پارامترهای ورودی در جدول ۶ ارائه شده است. برای تحلیل نتایج حاصل از اجرای ۲۷ مسئله‌ی آزمایشی توسط دو الگوریتم، دو شاخص مقدار تابع هدف و مدت زمان رسیدن به جواب بهینه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که نتایج حاصل از آن در جدول ۷ نشان داده شده است.

به منظور ارائه‌ی تحلیل آماری نتایج حاصل از اجرای الگوریتم‌های پیشنهادی، از آزمون تحلیل واریانس در سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده شده است. خروجی نتایج تحلیل واریانس دو الگوریتم به وسیله‌ی نرم‌افزار مینی‌تب^{۱۲} و آزمون t، به تفکیک برای دو معیار مقدار بهینه‌ی تابع هدف و زمان ارائه شده است. مطابق نتایج جدول ۸، مقدار p-value برای معیار مقدار تابع هدف بیان‌گر این است که دلیلی برای رد آن وجود ندارد؛ بدین معنی که میانگین‌های مقدار تابع هدف

پارامترهای زیادی هستند که بر الگوریتم PSO تأثیر می‌گذراند. به عنوان مثال تعداد ذرات، ابعاد مسئله، وزن اینرسی، اندازه همسایه‌ها، تعداد تکرارهای الگوریتم، ضرایب ثابت مؤلفه‌های اجتماعی و مؤلفه‌های شناختی و بیشترین سرعت یک ذره. در این مقاله تنظیم پارامترهای زیر برتری داشته است.

• ضرایب سرعت

c_1 و c_2 با ضرایب r_1 و r_2 در مؤلفه‌های اجتماعی و شناختی نقش بسیار زیادی در راندمان ذره دارند. اگر c_1 و c_2 مساوی صفر باشند؛ ذرات فقط با سرعت خاصی بدون هدف در فضا حرکت می‌کنند و آنقدر حرکت می‌کنند تا به مرز فضای جست‌وجو برسند. اگر $c_1 = 0$ و $c_2 > 0$ باشد، ذرات فقط به تجربه فردی خود توجه می‌کند اگر $c_1 = 0$ و $c_2 > 0$ باشد ذرات فقط به بهترین فرد گروه توجه می‌کند.

• وزن اینرسی

این وزن در واقع درصدی از سرعت قبلی ذره را در محاسبه‌ی سرعت جدید تأثیر می‌دهد. هرچه این مقدار بیشتر باشد جست‌وجوی عمومی افزایش می‌یابد و هرچه این وزن کم‌تر باشد میزان جست‌وجوی محلی افزایش می‌یابد.^[۲۶] طبق توضیحات قبل مراحل کلی الگوریتم PSO به صورت زیر است:

۱. ایجاد جمعیت اولیه؛
۲. تعیین بهترین ذره و بهترین حافظه‌ی شخصی هرکدام از ذرات؛
۳. به‌روزرسانی سرعت و موقعیت برای تمام ذرات؛
۴. تعیین بهترین ذره و بهترین حافظه‌ی شخصی هرکدام از ذرات؛
۵. در صورت برآورده نشدن شرایط خاتمه به ۳ بروید، در غیر این صورت الگوریتم خاتمه می‌یابد.

۳.۴. تنظیم پارامتر الگوریتم

از آن‌جا که نتایج الگوریتم‌های فراابتکاری به شدت به پارامترهای الگوریتم‌های پیشنهادی وابسته‌اند، از روش ناگوجی برای تنظیم پارامترهای آن‌ها استفاده خواهد شد. مزیت روش ناگوجی نسبت به دیگر روش‌های طراحی آزمایشات، علاوه بر

جدول ۶. مقادیر پارامترهای ورودی.

پارامتر مقدار	پارامتر مقدار	پارامتر مقدار
$B \sim \text{uniform} [40 \ 50]$	$w \sim \text{uniform} [6 \ 10]$	$cap_k \sim \text{uniform} [4000 \ 6000]$
$hhh \sim \text{uniform} [1 \ 3]$	$O \sim \text{uniform} [12 \ 15]$	$capp_j \sim \text{uniform} [1000 \ 1500]$
$f_j \sim \text{uniform} [1000 \ 1500]$	$f_k \sim \text{uniform} [19000 \ 21000]$	$ca_{ij} \sim \text{uniform} [5 \ 20]$
$cb_{ik} \sim \text{uniform} [40 \ 100]$	$cc_{jk} \sim \text{uniform} [5 \ 20]$	$cc_{kh} \sim \text{uniform} [5 \ 20]$
$d_{,ht} \sim \text{uniform} [60 \ 100]$	$d_{,ht} \sim \text{uniform} [80 \ 150]$	$d_{3ht} \sim \text{uniform} [380 \ 400]$
$dd_{,it} \sim \text{uniform} [100 \ 150]$	$dd_{,it} \sim \text{uniform} [100 \ 250]$	$dd_{,it} \sim \text{uniform} [210 \ 310]$
$hh_{,it} \sim \text{uniform} [300 \ 480]$	$hh_{,it} \sim \text{uniform} [200 \ 300]$	$hh_{,it} \sim \text{uniform} [100 \ 200]$

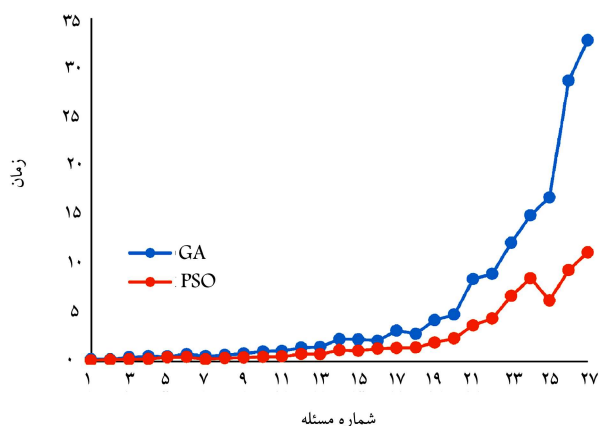
جدول ۷. نتایج مقایسه شده دو الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات.

الگوریتم ازدحام ذرات		الگوریتم ژنتیک		ابعاد مسئله	شماره مسئله
زمان محاسباتی	تابع هدف	زمان محاسباتی	تابع هدف	$ I \times J \times K \times H \times T $	
۱۰۵/۷۱۹۴	۸۵۷۶۱/۵۴۱	۲۲۷/۹۷۹۷	۸۴۴۹۹/۴۰۶۶	$ 1 \times 2 \times 2 \times 1 \times 7 $	۱
۱۶۸/۹۲۴۹	۸۳۰۹۰/۹۷۵	۲۲۶/۰۲۵۶	۸۲۰۸۰/۳۷۴۵	$ 2 \times 2 \times 2 \times 1 \times 7 $	۲
۲۰۹/۹۸۱۴	۱۰۶۴۱۱/۱۸۵۶	۴۱۹/۰۰۸	۹۹۸۴۹/۷۰۸۲	$ 3 \times 2 \times 2 \times 1 \times 7 $	۳
۲۵۷/۸۶۶۱	۱۴۰۰۹۴/۴۴۷۹	۵۳۵/۳۸۷۶	۱۵۲۰۳۱/۳۷۱	$ 3 \times 2 \times 2 \times 2 \times 7 $	۴
۴۳۳/۰۰۹	۲۳۴۹۴۸/۵۲	۴۹۴/۲۶۵۵	۲۲۵۱۶۹/۵۶	$ 3 \times 2 \times 2 \times 3 \times 7 $	۵
۴۴۳/۰۸۲	۱۹۰۲۴۹/۰۲	۷۳۸/۵۷۱۶	۱۹۴۴۶۳/۰۴۹	$ 4 \times 2 \times 2 \times 3 \times 7 $	۶
۲۲۳/۴۹۶	۱۲۱۷۷۹/۷۹	۵۳۴/۰۰۴	۱۱۲۰۵۴/۴۸۲	$ 4 \times 2 \times 2 \times 2 \times 7 $	۷
۳۳۶/۱۰۴۸	۱۵۱۹۴۷/۷	۶۵۹/۲۶۵	۱۵۵۹۲۸/۵۳۳	$ 5 \times 2 \times 2 \times 3 \times 7 $	۸
۴۰۷/۹۸۳۹	۲۵۶۸۷/۶۲	۸۱۰/۲۰۸۹	۲۳۷۹۴۸/۸۶۶	$ 5 \times 2 \times 2 \times 4 \times 7 $	۹
۴۶۵/۲۷۳۴	۱۷۳۶۰/۱/۸۸	۱۰۳۳/۹۴۶	۱۸۱۵۰۰/۲۴	$ 6 \times 3 \times 3 \times 3 \times 7 $	۱۰
۵۰۴/۵۶۲۲	۲۲۱۳۱۶/۶	۱۰۷۳/۶۵۶۹	۲۱۲۴۱۲/۱۴۳	$ 6 \times 3 \times 3 \times 4 \times 7 $	۱۱
۷۵۷/۰۳۶۸	۳۴۴۷۴۴/۵۹	۱۴۰۵/۸۹۹۹	۳۱۳۳۶۷/۶۶۷	$ 7 \times 3 \times 3 \times 5 \times 8 $	۱۲
۷۵۷/۰۳۶۸	۴۸۹۴۸۸/۶۷	۱۴۷۰/۱۱۵۱	۴۶۶۰۲۴/۴۴	$ 7 \times 3 \times 3 \times 6 \times 8 $	۱۳
۱۱۴۴/۸۴۶۱	۵۹۶۸۵۲/۲۷	۲۲۷۶/۸۹۴۱	۵۷۵۷۹۲/۰۷	$ 8 \times 3 \times 5 \times 6 \times 9 $	۱۴
۱۰۹۵/۸۸۹۵	۶۶۶۲۰۰/۹۵	۲۲۵۰/۳۸۷۹	۶۴۴۷۷۹/۶۷۷	$ 8 \times 3 \times 5 \times 7 \times 9 $	۱۵
۱۲۹۸/۵۶۶۹	۶۷۲۸۵۲/۴۸	۲۱۱۵/۰۷۴۲	۶۲۴۰۹۸/۵۱۶	$ 9 \times 4 \times 5 \times 7 \times 9 $	۱۶
۱۳۶۲/۳۰۱۵	۷۳۸۰۶۰/۴۸	۳۱۴۸/۲۸۳۶	۶۸۰۱۴۹/۲۶۳	$ 10 \times 4 \times 6 \times 7 \times 10 $	۱۷
۱۴۰۰/۸۶۸۵	۸۰۷۵۷۸/۴۵	۲۸۱۹/۰۲۶۴	۷۷۰۸۳۴/۲۹	$ 10 \times 4 \times 6 \times 8 \times 10 $	۱۸
۱۹۴۰/۵۷۹۸	۱۰۰۲۱۵۵/۲	۴۲۲۳/۸۲۰۴	۹۴۹۳۹۷/۰۰۷	$ 11 \times 5 \times 6 \times 8 \times 12 $	۱۹
۲۳۳۷/۱۹۳۹	۱۲۴۳۴۱۹/۳۲	۴۷۷۸/۸۳۴	۱۰۹۲۰۲۵/۴۲	$ 12 \times 5 \times 6 \times 9 \times 12 $	۲۰
۳۶۷۸/۲۷۷۲	۱۷۲۷۹۷۹/۵	۸۳۸۲/۲۴۲۹	۱۷۱۴۵۴۲/۷۵	$ 14 \times 8 \times 6 \times 12 \times 12 $	۲۱
۴۳۸۳/۷۲۲۷	۱۸۱۰۰۲۹/۲	۸۹۴۰/۵۹	۱۷۶۰۰۵۲/۴۸	$ 15 \times 9 \times 8 \times 12 \times 12 $	۲۲
۶۶۷۹/۳۲۷۶	۲۴۷۳۵۴۹/۹	۱۲۱۰۳/۰۶	۲۳۳۲۵۸۳/۳۹	$ 16 \times 12 \times 10 \times 15 \times 13 $	۲۳
۸۴۸۰/۵۹۹۶	۲۸۹۵۷۱۰	۱۴۹۱۰/۳۸۲	۲۷۶۷۵۰۶/۹۶	$ 17 \times 14 \times 10 \times 16 \times 14 $	۲۴
۶۲۲۳/۸۳۳۶	۳۱۶۰۸۹۶/۶	۱۶۷۳۴/۶۴۹	۳۰۸۸۹۲۶/۳۴	$ 18 \times 14 \times 10 \times 17 \times 14 $	۲۵
۹۳۱۲/۹۳۹۵	۴۴۷۸۰۷۳/۲	۲۸۶۴۵/۹۰۱	۴۲۸۸۲۰۶/۴۸	$ 22 \times 15 \times 12 \times 18 \times 16 $	۲۶
۱۱۱۲۰/۵۹۸	۵۰۵۵۷۸۹/۲	۳۲۷۴۸/۳۶۵	۵۳۴۴۸۹۷/۱۳	$ 24 \times 15 \times 12 \times 19 \times 16 $	۲۷

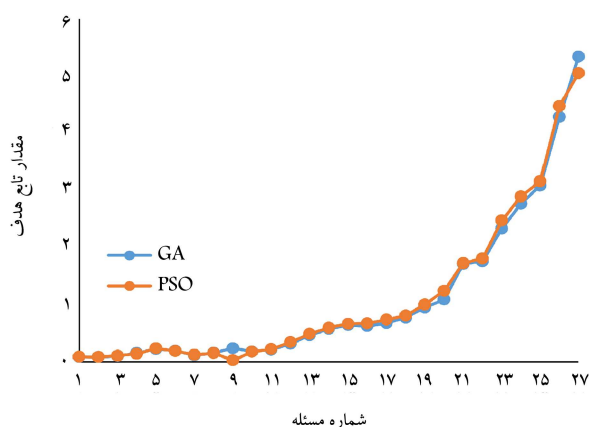
تفاوت چشمگیری با یکدیگر ندارند. شکل ۳، نمودار مقایسه‌ی دو الگوریتم بر اساس شاخص مقدار تابع هدف و تأیید بر نتیجه عدم رد فرض صفر است. مقدار p-value، پذیرش فرض صفر است. بیماری دو الگوریتم از نظر مدت رسیدن به جواب بهینه تفاوت معناداری دارند. شکل ۴، نمودار مقایسه دو الگوریتم بر اساس شاخص زمان و تأیید بر نتیجه عدم پذیرش فرض صفر است. بدین معنی که میانگین‌های

جدول ۸. نتایج تحلیل واریانس مقایسه شاخص‌ها.

نتایج	p - value	شاخص
عدم رد فرض صفر	۰/۸۵۵	مقدار تابع هدف
رد فرض صفر	۰/۰۲۱	زمان محاسباتی



شکل ۴. نمودار مقایسه‌ی عملکرد دو الگوریتم با شاخص زمان محاسباتی (برحسب ۱۰۰۰ واحد).



شکل ۳. نمودار مقایسه‌ی عملکرد دو الگوریتم با شاخص مقدار تابع هدف (برحسب یک میلیون واحد).

است و بر این اساس سطح موجودی با عمر پلاکت در مرکز خون و بیمارستان‌ها در این مقاله مورد مطالعه قرار گرفته شده است. تابع هدف به منظور کمیته کردن هزینه‌ی مکان‌یابی پایگاه‌های سیار و ثابت جمع‌آوری خون، هزینه‌ی حمل و نقل، هزینه‌ی تخصیص اهداکنندگان، هزینه‌ی سفارش، هزینه‌ی نگهداری، کمبود و هدر رفتن خون در مراکز خون و بیمارستان‌هاست. مدل در اندازه کوچک با نرم‌افزار گمز و در ابعاد بزرگ با الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات حل شد. با مقایسه نتایج حاصل از دو الگوریتم با دو شاخص مقدار تابع هدف و زمان محاسباتی، نتیجه آن شد که الگوریتم ازدحام ذرات از لحاظ زمانی بسیار کاراتر از ژنتیک است و الگوریتم ژنتیک در ابعاد بزرگ مسئله کارایی خود را از دست می‌دهد.

در انتها، برای تحقیقات آتی می‌توان پیشنهاداتی مانند، وارد کردن سیستم صف در ایستگاه سیار و ثابت، در نظر گرفتن مدت زمان انتظار و خدمت اهداکنندگان، مسیریابی ایستگاه‌های سیار در سرویس دادن به ایستگاه‌های ثابت، بازسازی توأم بیمارستان به منظور کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل و در نظر گرفتن قیمت‌های مختلف برای پلاکت با توجه به طول عمر می‌توان ارائه داد.

۶. نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی برای مسئله مکان‌یابی - موجودی زنجیره‌ی تأمین خون ارائه شد. زنجیره‌ی تأمین خون پیشنهادی، دارای سه سطح، شامل اهداکنندگان خون، پایگاه‌های سیار و ثابت و مراکز مصرف است. اهداکنندگان یا به پایگاه ثابت یا سیار تخصیص می‌یابند. در صورت تخصیص به پایگاه سیار، پایگاه سیار به سمت پایگاه ثابت حرکت می‌کند. در پایگاه ثابت با توجه به تقاضای مراکز مصرف (که در این جا بیمارستان لحاظ شده است)، خون را ارسال می‌کنند و بیمارستان‌ها با توجه به سیاست FIFO خون را برای بیماران خود استفاده می‌کنند. نکته‌ی قابل توجه درباره‌ی خون، فسادپذیری سریع پلاکت است که از این جهت حائز اهمیت

پانویس‌ها

1. replenishment
2. Epsilon constraint
3. lagrangian relaxation
4. P-q median
5. P-robust
6. self-adaptive imperialist competitive algorithm
7. invasive weed optimization
8. resilient
9. Gams
10. genetic algorithm
11. particle swarm optimization
12. Minitab

منابع (References)

1. Belien, J. and Force, H. "Supply chain management of blood products: a literature review", *European Journal of Operational Research*, **217**(1), pp. 1-16 (2012).
2. Gunpinar, S. and Centeno, G. "Stochastic integer programming models for reducing wastages and shortages of blood products", *Computer and Operations Research*, **54**, pp. 129-141 (2015).
3. Zahiri, B. Torabi, S.A., Mousazadeh, M. and et al. "Blood collection management: methodology and application", *Applied Mathematical Modelling*, **39**(23-24) pp. 7680-7696 (2015).

4. Duan, Q. and Liao, T.W. "Optimization of blood supply chain with shortened shelf lives and ABO compatibility", *International Journal of Production Economics*, **153**, pp. 113-129 (2014).
5. Whitaker, B.I., Green, J., King, M.R. and et al. "The 2007 national blood collection and utilization survey", Washington, DC: The United States Department of Health and Human Services (2007).
6. Fontaine, M.J., Chung, Y.T., Rogers, W.M. and et al. "Improving platelet supply chains through collaborations between blood centers and transfusion services", *Transfusion*, **49**, pp. 2040-2047 (2009).
7. Prastacos, G.P. "Blood inventory management: an overview of theory and practice", *Management Science*, **30**(7), pp. 777-800 (1984).
8. Nahmias, S. "Perishable inventory theory: a review", *Operations Research*, **30**(4), pp. 680-708 (1982).
9. Pierskalla, W.P., *Supply Chain Management of Blood Banks*, Operations Research and Health Care, Springer, Boston, MA. pp. 103-145 (2005).
10. Zhou, D., Leung, L.C., and Pierskalla, W.P. "Inventory management of platelets in hospitals: optimal inventory policy for perishable products with regular and optional pedited replenishments", *Manufacturing and Service Operations Managemen*, **13**(4), pp. 420-438 (2011).
11. Fahimnia, B., Jabbarzadeh, A., Ghavamifar, A. and et al. "Supply chain design for efficient and effective blood supply in disasters", *International Journal of Production Economics*, **183**, pp. 700-709 (2015).
12. Dillon, M., Oliveira, F. and Abbasi, B. "A two-stage stochastic programming model for inventory management in the blood supply chain", *International Journal of Production Economics*, **187**, pp. 27-41 (2017).
13. Şahin, G., Süral, H. and Meral, S. "Locational analysis for regionalization of turkish red crescent blood services", *Computers & Operations Research*, **34**(3), pp. 692-704 (2007).
14. Hosseinifard, Z. and Abbasi, B. "The inventory centralization impacts on sustainability of the blood supply chain", *Computers & Operations Research*, **89**, pp. 206-212 (2018).
15. Ramezani, R. and Behboodi, Z. "Blood supply chain network design under uncertainties in supply and demand considering social aspects", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **104**, pp. 69-82 (2017).
16. Zahiri, B. and Pishvae, M.S. "Blood supply chain network design considering blood group compatibility under uncertainty", *International Journal of Production Research*, **55**(7), pp. 2013-2033 (2017).
17. Eskandari-Khanghahi, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Taleizadeh, A.A., and et al. "Designing and optimizing a sustainable supply chain network for a blood platelet bank under uncertainty", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **71**, pp. 236-250 (2018).
18. Ghatreh Samani, M.R. and Hosseini-Motlagh, S.M. "An enhanced procedure for managing blood supply chain under disruptions and uncertainties", *Annals of Operations Research*, **283**(1), pp. 1413-1462 (2019).
19. Ghatreh Samani, M.R., Torabi, S.A. and Hosseini-Motlagh, S.M. "Integrated blood supply chain planning for disaster relief", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, **27**, pp. 168-188 (2018).
20. Hamdan, B. and Diabat, A. "A two-stage multi-echelon stochastic blood supply chain problem", *Computers & Operations Research*, **101**, pp. 130-143 (2019).
21. Salehi, F., Mahootchi, M. and Moattar Husseini, S.M. "Developing a robust stochastic model for designing a blood supply chain network in a crisis: a possible earthquake in Tehran", *Annals of Operations Research*, **283**(1-2), pp. 679-703 (2019).
22. Haghjoo, N., Tavakkoli-Moghaddam, R., Shahmoradi-Moghaddam, H. and et al. "Reliable blood supply chain network design with facility disruption: a real-world application", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **90**, p. 103493 (2020).
23. Hosseini-Motlagh, S.M., Ghatreh Samani, M.R. and Homaei, Sh. "Blood supply chain management: robust optimization, disruption risk, and blood group compatibility (a real-life case)", *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, **11**(3), pp. 1085-1104 (2020).
24. Hamdan, B. and Diabat, A. "Robust design of blood supply chains under risk disruptions using lagrangian relaxation", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **134**, p. 101764 (2020).
25. Kennedy, J. and Eberhart, R.C. "Particle swarm optimization", *IEEE International Conference on Neural Networks*, Perth, Australia, **4**, pp.1942-1948 (1995).
26. Liao, C.J., Tseng, C.-T. and Luarn, P. "A discrete version of particle swarm optimization for flow shop scheduling problems", *Computers & Operations Research*, **84**, pp. 8111-8000 (2011).
27. Karimi, M., Kazemi, A. and Azizmohammadi, M. "Presenting a novel multi-objective model for the supplier selection problem in the supply chain and solve it with pareto-based metha heuristic algorithms", *Sharif Journal Industrial Engineering Management*, **1-31**(1-2), pp. 61-71 (In Persian) (2016).