International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2016)
Decmber 2016, Volume 27, Number 4
pp.513 -528

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

A Dynamic Multi-objective Model for Location-allocation Problem in Emergency Network Design for Blood Supply

Hamed Vafa Arani & Ali Bozorgi Amiri*

Hamed Vafa Arani, *Department of Industrial and Systems Engineering, College of Engineering, University of Tehran*
Ali Bozorgi Amiri, *Department of Industrial and Systems Engineering, College of Engineering, University of Tehran.*

Keywords

Blood supply systems,
Location–allocation,
Multi-objective,
optimization,
Emergency network

ABSTRACT

In emergencies, due adventures especially natural disasters, supply of some commodities which are directly related to human life are very critical. In this paper, a multi–objective mathematical model for temporary blood collection facilities and allocation blood donators to these places are proposed. In proposed model, some centers for collecting and stocking blood that are collected by temporary facilities are considered. In addition, donators can confer to blood centers, directly. In proposed multi–objective mathematical model, first objective function is the maximum blood shortage minimization and second objective function is minimizing of blood transportation costs from temporary facilities to blood centers, donating costs to temporary facilities and blood centers, temporary facilities movement costs between possible locations for these facilities and inventory holding costs. The proposed model has capacity constraints for temporary blood collection facilities and blood centers. Finally, for the validation of proposed model, the epsilon- constraint method and numerical example are used.

© 2016 IUST Publication, IJIEPM Vol. 27, No. 4, All Rights Reserved

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــریت تولیـــد

شمـــاره ۴، جلـــد ۲۷، زمستان ۱۳۹۵
صفحـــه۵۲۸ -۵۱۴

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

ارائه مدل چند هدفه پویا جهت طراحی شبکه‌های پاسخ اضطراری جهت تامین خون

حامد وفاآرانی و علی بزرگی امیری *

کلمات کلیدی

سیستم‌های عرضه خون، مکان‌یابی-تخصیص، بهینه سازی چند هدفه، شبکه پاسخ اضطراری

چکیده:

در مواقع اضطرار ناشی از حوادث و بلایای طبیعی و ساخت بشر، تامین برخی اقلام که ارتباط مستقیم با زندگی انسان‌ها دارند، از اهمیت بالایی برخوردارند. در این مقاله، مدلی چند هدفه برای مکان‌یابی تسهیلات موقت جهت جمع‌آوری خون و تخصیص اهداکنندگان خون به این مکان‌ها ارائه شده است. در مدل پیشنهادی، مراکزی برای جمع‌آوری و ذخیره خون‌های جمع‌آوری شده توسط تسهیلات موقت در نظرگرفته شده است. علاوه براین، اهدا کنندگان می‌توانند به طور مستقیم به این مراکز برای اهدای خون مراجعه نمایند. اهداف در نظر گرفته شده در مدل برنامه ریزی ریاضی دو هدفه عبارتند از: (۱) کمینه-سازی بیشنیه کمبود خون در نقاط تقاضا (۲) کمینه سازی هزینه‌های انتقال خون از تسهیلات موقت به مراکز خون، هزینه اهدای خون به تسهیلات موقت و مراکز خون، هزینه جابجایی تسهیلات موقت و هزینه کمبود خون در دوره‌های مختلف. مدل ارائه شده دارای محدودیت ظرفیت برای تسهیلات موقت و مراکز خون می‌باشد. در نهایت، جهت صحه گذاری مدل پیشنهادی، مساله با روش محدودیت اپسیلون برای مثال عددی حل شده است.

۱. مقدمه

حوادث غیر مترقبه همچون زلزله، باعث تغییرات ناگهانی و غیر قابل پیش بینی در تقاضای برخی کالاها و مواد می‌شوند. این مواد و کالاها در بازه‌های زمانی اضطرار از سطوح اهمیت متفاوتی برخوردار هستند. حال اگر این ماده مورد تقاضا ارتباط مستقیم با جان و سلامتی انسان‌ها در این حوادث داشته باشد، پاسخگویی به این تقاضاها بایستی در اولویت کار سیستم تامین این مواد قرار گیرد. خون یکی از مواردی است که به طور قطع در مواقع زلزله و حوادث غیر قابل پیش بینی، افزایش سطح تقاضای قابل توجهی را تجربه می‌کند[۱]. لذا در کشورهای مختلف بایستی سیستم تامین و عرضه خون به شکل کارا در مواقع اضطرار وظیفه خود را انجام دهد. در صورت بررسی سیستم توزیع خون به عنوان یک زنجیره تامین، تقاضا همان نیاز خونی بیماران است و عرضه خون از طریق اهدای خون اهداکنندگان برآورده می‌شود. اگرچه پیشرفت‌های خوبی در زمینه تکنولوژی در مورد انتقال و نگهداری خون در سال‌های اخیر حاصل شده است، اما هیچگاه از اهمیت اهداکنندگان خون و فرآورده‌های خونی کاسته نخواهد شد[۲].

با بررسی انجام شده روی زلزله ون‌چوان در چین در سال ۲۰۰۸، اشکالات زیر در سیستم انتقال و عرضه خون مشاهده شد. : ۱. سیستم عرضه خون در این کشور به صورت متمرکز اداره می‌شد و زمان‌بندی منطقه‌ای و خاص برای مناطق خطرپذیر وجود نداشت. ۲. سیستم‌های عرضه خون منطقه‌ای، به دلیل زمان-بندی‌های متنوع از لحاظ کیفیت خون قابل اعتماد نبودند. ۳. بعد از زلزله ون‌چوان استقبال بی نظیری برای اهدای خون از سوی بازماندگان صورت گرفت که پس از گذشت مدتی منابع ذخیره سازی خون تکمیل و جایی برای نگهداری خون وجود نداشت و مسئولان را به این نتیجه رساند که بایستی تعادلی بین

تاریخ وصول: ۹۱/۱۱/۱۵

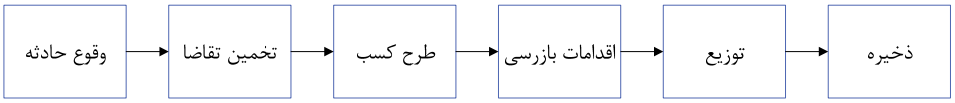
تاریخ تصویب: ۹۲/۰۴/۱۹

حامد وفاآرانی، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، h.vafa@ut.ac.ir

***نویسنده مسئول مقاله: دکتر علی بزرگی امیری**، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران. Alibozorgi@ut.ac.ir

اهدای خون و موجودی خون برقرار کنند. همچنین آن‌ها بایستی برای وقایع قابل پیش بینی و غیرقابل پیش بینی ذخایر خون کافی در اختیار داشته باشند[۱].

در مقطع کنونی برای بیشینه‌سازی سطح سرویس به تقاضای کالاها و مواد اضطراری در مواقع عادی و اضطرار، مدل‌های تحقیق در عملیات جهت برنامه‌ریزی جمع‌آوری، ذخیره سازی و توزیع این اقلام مورد توجه قرار گرفته است [۳]. فرآیند عرضه خون در مواقع اضطرار به صورت شکل(۱) می‌باشد. در مواقع اضطرار، در بازه‌های زمانی متفاوت، تقاضا برای خون متفاوت است، لذا در مدل پیشنهادی، ، تسهیلات موقت جمع آوری-کننده خون از اهداکنندگان، قابل جابجایی فرض شده و مدل به صورت چند دوره‌ای در نظرگرفته شده است. از طرفی انتقال تسهیلات موقت در دوره‌های مختلف هم هزینه زاست.



شکل ۱. فرایند عرضه خون در مواقع اضطرار

با توجه به اطلاعات ورودی مساله، مدل تصمیم خواهد گرفت اهداکنندگان به کدام تسهیلات موقت جهت اهدای خون مراجعه نمایند. اما برای آزمایش خون‌های جمع‌آوری شده بایستی واحدهای خون به مراکز خون منتقل شوند. لذا انتقال واحدهای خون از تسهیلات موقت به مراکز خون هزینه زاست و بایستی فاصله فی مابین کمینه شود. در مدل پیشنهادی، امکان اینکه اهداکنندگان به صورت مستقیم به مراکز خون مراجعه نمایند نیز در نظر گرفته شده است که در این‌حالت هزینه انتقال واحدهای خون از تسهیلات موقت به مراکز خون حذف خواهد شد. دو هدف اصلی مدل پیشنهادی شامل کمینه‌سازی بیشینه میزان کمبود خون در مراکز خون و کمینه‌سازی هزینه‌های انتقال و جابجایی خون، هزینه‌های جابجایی تسهیلات بین مکان‌های بالقوه و هزینه‌های نگهداری موجودی خون در مراکز خون می-باشند.

ادامه مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است. دربخش ۲، مروری بر ادبیات موضوع انجام گرفته است. در بخش ۳، مدل ریاضی پویای چند دوره‌ای برای مکان‌یابی و تخصیص مراکز جمع‌آوری خون ارائه شده است. بخش ۴، رویکرد پیشنهادی جهت حل مساله چندهدفه ارائه شده است. در بخش ۵، جهت اعتبارسنجی مدل و روش حل پیشنهادی، مثال عددی حل و تحلیل حساسیت شده است و در نهایت بخش ۶، نتیجه گیری و پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی ارائه شده است.

۲. مرور ادبیات

در زمینه عرضه خون در مواقع اضطراری، تحقیقاتی توسط ژو(۱۹۹۹)و لی و همکارانش(۲۰۰۰) برای سیستم مدیریت خون در کشورهای ایالات متحده و کانادا انجام شده است[۴] و [۵]. کو و همکارانش(۲۰۰۸)، مدیریت موجودی در زمان‌بندی سیستم عرضه خون در زلزله ون‌چوان سال ۲۰۰۸ را تجزیه و تحلیل کرده است [۶]. یان(۲۰۰۶) و لی و همکارانش(۲۰۰۸)، عرضه خون در مواقع اضطرار را از دیدگاه تجربی بررسی کرده و ضعف‌های این سیستم‌ها از جمله کمبود و عدم کارایی امنیت خون را مورد توجه قرار داده‌اند[۷] و [۸]. شاهین و همکارانش (۲۰۰۷) یک مساله مکان‌یابی مراکز خون در سطح منطقه‌ای را برای صلیب سرخ ترکیه مطالعه کردند. آن‌ها مساله را با رویکرد سلسله مراتبی دو سطحی مدل کردند که در سطح اول مراکز خون منطقه‌ای و در سطح دوم، مراکز خون، ایستگاه‌های خون و واحدهای سیار قرار می‌گرفتند. آن‌ها از یک مدل سه مرحله‌ای استفاده کردند که در مرحله اول مکان‌یابی مراکز منطقه‌ای، تخصیص مراکز خون به مراکز منطقه‌ای و تخصیص نقاط تقاضا به مراکز خون انجام می‌شد. در مرحله دوم کمترین تعداد ایستگاه‌های خون که تمام نقاط تقاضا را پوشش می‌داد، تعیین می‌شد و اندازه ناوگان سیار در هر منطقه با یک مدل عدد صحیح در سطح سوم محاسبه می‌شد[۹]. ستین و سارول(۲۰۰۹)، یک مدل برنامه ریزی ریاضی چند هدفه، که ترکیبی از مدل پوششی مکان‌یابی گسسته و روش مرکز جاذبه مکان‌یابی پیوسته بود، ارائه کردند. هدف مدل آن‌ها مکان‌یابی بانک‌های خون در بیمارستان‌ها، کلینیک‌ها و موسسات سلامت بود. اهداف مدل آن‌ها، کمینه کردن هزینه ثابت مکان بانک خون و کمینه کردن مسافت بین بانک خون و بیمارستان‌ها و حداکثر پاسخ‌گویی به تقاضای خون بود[۱۰]. ناگورنی و معصومی(۲۰۱۲)، یک مدل چند هدفه برای طراحی/ بازطراحی شبکه ذخیره و عرضه خون ارائه کردند. اهداف استفاده شده در مدل آن‌ها، کمینه کردن ریسک‌های عرضه و کمینه کردن هزینه کمبود خون در برابر تقاضا و ریسک‌های جانبی در برخی اتصالات زنجیره تامین بود[۱۱]. استنگر و همکاران (۲۰۱۲) کارایی سیستم مدیریت موجودی مواد فسادپذیر را با در نظر گرفتن سیستم عرضه خون انگلستان بررسی کردند. در نهایت آن‌ها شش توصیه برای بهبود وضعیت سیستم عرضه خون و

کاهش ضایعات خون ارائه کردند[۱۲]. دلن و همکاران (۲۰۱۲) یک ساختار تصمیم گیری متشکل از تحقیق در عملیات، داده کاوی و سیستم اطلاعات جغرافیایی را برای بهبود زنجیره تامین خون پیشنهاد دادند. آن‌ها برای یافتن روند ذخیره سازی و مصرف خون، ارزیابی وضعیت زنجیره تامین خون و یافتن مشکلات و فرصت‌های بالقوه سیستم از تکنیک‌های مذکور استفاده کردند[۱۳].

در ادامه، پژوهش‌هایی که مساله مکان‌یابی- تخصیص را در شرایط اضطرار بطور عام مورد مطالعه قرار داده اند، آمده است. شریف و همکارانش(۲۰۱۲)، یک مساله مکان‌یابی-تخصیص را برای برنامه ریزی تسهیلات سلامت در مالزی پیشنهاد دادند. آن‌ها از مساله مکان‌یابی حداکثر پوشش برای این منظور استفاده کردند و مساله ارائه شده را با یک رویکرد جدید مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای ابعاد بالا حل کردند[۱۴]. در زمینه مکان-یابی چند هدفه برای تجهیزات اضطراری، آراز و همکارانش(۲۰۰۷)، یک مدل چند هدفه فازی را برای مساله مکان‌یابی تسهیلات اضطراری همچون آمبولانس ارائه دادند. آن-ها مدل ارائه شده را با روش‌های مختلف از جمله برنامه ریزی آرمانی فازی حل کردند[۱۵]. سیام و کته (۲۰۱۰) یک مدل مکان‌یابی-تخصیص برای خدمات ویژه درمانی مانند مراکز درمان آسیب‌های مغزی را توسعه دادند. آن‌ها مدل ارائه شده را برای کمینه کردن هزینه‌ها در یک سطح سرویس خاص با الگوریتم شبیه‌سازی تبرید حل کردند. همچنین آن‌ها تحلیل حساسیت بر اساس سه عامل درجه تمرکز خدمات، نقش نگهداری بیمار به عنوان تابعی از فاصله تا مرکز درمانی و تراکم جمعیتی بیماران را با یک موازنه بین هزینه تهیه خدمات و نیاز به این خدمات انجام دادند[۱۶]. جبل عاملی و همکارانش (۲۰۱۱) ، یک مدل احتمالی چند هدفه برای لجستیک امداد با تقاضا و عرضه نادقیق و هزینه‌های راه اندازی و حمل و نقل نادقیق در مواقع اضطرار ارائه کردند. اهداف مدل آن‌ها کمینه کردن هزینه‌ها و بیشینه کردن رضایت‌مندی در نقاط آسیب دیده بود و نهایتا برای حل مساله رویکرد فازی تعاملی دو مرحله‌ای را به کار گرفته اند[۱۷]. دوین و همکارانش (۲۰۱۱) یک مدل دو مرحله‌ای برای لجستیک کمک‌های بشردوستانه، قبل از فاجعه و بعد از فاجعه ارائه کردند که در آن، مقدار اقلام کمکی که قبل از فاجعه باید دخیره شوند، مقدار اقلامی که در هر مرحله باید جاری باشد و مقدار کمبود اقلام مشخص می‌شدند. هدف در این مدل مجموع هزینه‌های مکان‌یابی تسهیلات، نگهداری موجودی و حمل و نقل و کمبود را در فضای تصادفی و قطعی کمینه می‌کرد[۱۸]. کنبلات و ماسف (۲۰۱۱) یک مساله مکان‌یابی را با فرض تصادفی بودن مکان نقاط تقاضا (در مواقع اضطرار) مطالعه کردند. تابع هدف در این مساله فاصله خطی مستقیم بین تسهیلات خدمات اضطراری و نقاط تقاضا را کمینه می‌کرد که باعث کمینه شدن بیشینه ریسک مورد انتظار می‌شد. آن‌ها برای حل مدل در ابعاد مختلف از شبیه‌سازی استفاده کردند و نشان دادند که پاسخ‌های حاصل از شبیه‌سازی بسیار به جواب بهینه نزدیک است[۱۹]. بزرگی و همکارانش(۲۰۱۱)، یک مدل احتمالی استوار چند هدفه برای لجستیک در مواقع اضطرار ارائه کردند. عدم قطعیت در مدل آن‌ها شامل تقاضا، عرضه و هزینه-های تدارک و حمل و نقل می‌شد. توابع هدف مدل آن‌ها شامل کمینه کردن میانگین و واریانس هزینه‌ها و کمینه کردن بیشینه میزان کمبود بود. نهایتا آن‌ها مدل خود را در یک مطالعه موردی در یک ناحیه ایران پیاده‌سازی کردند[۲۰]. عشقی و نجفی (۲۰۱۳) یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند کالایی و چند دوره‌ای را برای مسیریابی پاسخ‌گویی به نیازها بعد از زلزله ارائه کردند. مدل چند هدفه ارائه شده توسط آن‌ها دارای اهداف کمینه کردن مجموع نیازهای برآورده نشده و مصدومان رسیدگی نشده بود [۲۱].

عدم قطعیت تنها چیزی نیست که واقعیت و تئوری را از هم جدا می‌کند، بلکه پویایی سیستم‌های واقعی هم یکی از این موارد است. اگرچه این رویکرد حل مسائل را بسیار پیچیده می‌کند. در مسائل پویا، در دوره‌های مختلف، مقدار پارامترهای مساله متفاوت خواهند بود. اما در یک دوره خاص این پارامترها مقادیرثابتی خواهند داشت. بنیان و همکاران (۲۰۱۲) یک مدل مکان‌یابی-تخصیص یک دوره‌ای و چند دوره‌ای را برای مدیریت سیستم سلامت آسیب دیدگان پیشنهاد کردند. مدل آن‌ها هزینه‌های عملیاتی، سفر، عدم پوشش تقاضا و هزینه‌های اولیه سیستم را به عنوان تابع هدف کمینه می-کرد[۲۲]. شا و هوانگ(۲۰۱۲)، یک مدل چند دوره‌ای تک‌هدفه برای مکان‌یابی-تخصیص سیستم‌های عرضه خون در مواقع اضطرار ارائه کردند و این مساله را با روش آزادسازی لاگرانژ حل کردند[۱]. مدل آن‌ها اگرچه چند دوره‌ای بود اما محدودیت‌های تعادل موجودی را که باعث پویایی مدل می‌شوند، شامل نمی‌شد. علاوه بر این مدل آن‌ها تنها تخصیص تسهیلات موقت به مراکز خون را شامل بود و اهداکنندگان را به تسهیلات موقت تخصیص نمی‌داد. اسکات(۱۹۷۱)، یک مساله مکان‌یابی-تخصیص چندمرحله‌ای را با استفاده از الگوریتم مایوپیک حل کرد[۲۳]. تاپیرو(۱۹۷۱)، یک مساله مکان‌یابی-تخصیص پویا را با محدودیت هزینه حمل و نقل و محدودیت ظرفیت ایستگاه-های سرویس ارائه کرد[۲۴]. زرین پور و همکاران (۲۰۱۲) یک مدل مکان‌یابی-تخصیص را با امکان ایجاد ازدحام در یک محیط رقابتی ارائه کردند. تعامل فضایی، ازدحام، محیط رقابتی مبتنی بر انتخاب مشتری و تقاضای احتمالی مواردی هستند که در مدل آن‌ها بررسی شده‌اند[۲۵]. همان‌طور که از پژوهش‌های فوق برمی‌آید، مسائل مکان-

یابی-تخصیص از جمله حوزه‌هایی است که با رویکردهای متفاوت به آن نگریسته شده است. اما آن‌چه قابل توجه است، این است که این روش برای حل مسائل مربوط به تسهیلات اضطراری بسیار کم به کار رفته است. خصوصا مساله مکان‌یابی مراکز جمع‌آوری و اهدای خون به ندرت مورد توجه بوده است، در صورتی که پاسخ‌گویی به تقاضای خون در مواقع اضطرار از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است. همچنین رویکرد چند هدفه به مسائل مکان‌یابی تسهیلات اضطراری بسیار کم در ادبیات دیده شده است.

هدف این مقاله، ارائه مدل برنامه ریزی ریاضی جهت پاسخ‌گویی به نیازهای خونی افراد جامعه به خصوص در مواقع اضطرار می-باشد. مدل ارائه شده در مقاله حاضر، یک مدل پویای چند دوره-ای چندهدفه مکان‌یابی-تخصیص می‌باشد. هدف اول به این دلیل می‌باشد که خون دارای اهمیت بسیار ویژه‌ای برای جامعه می‌باشد و به جهت رعایت عدالت در توزیع، به کمینه‌سازی بیشینه میزان کمبودها در نقاط تقاضا پرداخته شده است. عدالت به عنوان یک مفهوم بسیار پیچیده در زمینه توزیع کالاهای حساس همچون خون بایستی مورد توجه کافی قرارگیرد. در مدل ارائه شده در مقاله حاضر، به جای استفاده از رویکرد کمینه کردن مجموع کمبودها از رویکرد کمینه‌سازی بیشینه کمبودها در مراکز خون استفاده شده است. رویکرد مذکور سبب ایجاد عدالت بیش‌تر در توزیع خون بین مراکز خون یا همان نقاط تقاضا شده و باعث می‌شود نسبت به عملکرد تابع هدف کمینه کردن مجموع کمبودها، خون تا حد امکان به همه نقاط تقاضا برسد. مهمترین نوآوری‌ها و ملاحظاتی که این مقاله را از دیگر مقالات این حوزه متمایز می‌سازد شامل موارد زیر است:

۱. استفاده از رویکرد چند هدفه برای کمینه‌سازی بیشینه کمبودها و کمینه‌سازی مجموع هزینه‌ها؛
۲. امکان اهدای خون بصورت مستقیم توسط اهداکنندگان در مراکز خون به معنای دوکاناله بودن شبکه تامین خون؛
۳. در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت برای مراکز اهدای خون و تسهیلات موقت جمع‌آوری خون؛
۴. توسعه شبکه توزیع خون به سه سطح اهداکنندگان، تسهیلات موقت جمع‌آوری خون و مراکز خون؛
۵. در نظر گرفتن عدالت در توزیع خون با استفاده از رویکرد کمینه کردن بیشینه کمبودها به جای مجموع کمبودها.

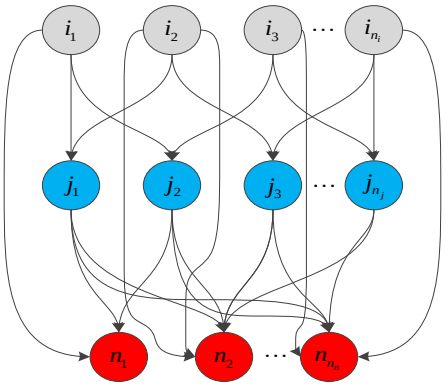
۳. تشریح مساله

۳-۱. فرضیات مدل

برای تشریح مدل ارائه شده، شبکه‌ای نظیر شکل(۲) در نظر گرفته می‌شود. این شبکه شامل سه نوع گره می‌باشد. اول، گروه-های اهداکننده خون هستند که به شکل یک نقطه در مرکز یک منطقه جمعیتی در نظر گرفته شده‌اند، دوم، مکان‌های بالقوه برای استقرار تسهیلات موقت جمع‌آوری خون و سوم، مراکز خون برای جمع‌آوری، فرآوری، آزمایش و ذخیره خون هستند. همانطور که در شکل(۲) دیده می‌شود، حرکات در جهت‌های نشان داده شده امکان پذیر هستند. فرضیات مساله به شرح زیر هستند:

۱. هر منطقه به عنوان یک گروه اهداکننده در نظر گرفته شده‌است.
۲. گروه‌های اهداکننده می‌توانند به دو صورت خون اهدا کنند، به نزدیک‌ترین تسهیلات موقت جمع‌آوری خون یا به طور مستقیم به نزدیک‌ترین مرکز خون مراجعه کنند.
۳. خون‌های جمع‌آوری شده در هریک از تسهیلات موقت بایستی برای آزمایش‌های سلامت خون و فرآوری آن به مراکز خون انتقال یابند.
۴. تسهیلات موقت جمع‌آوری خون برای حداکثر پوشش اهداکنندگان در دوره‌های مختلف می‌توانند جابجا شوند، اما مکان آن‌ها در ابتدای هر دوره ثابت است.
۵. برای حرکت تسهیلات موقت جمع آوری خون، تعدادی مکان ممکن در نظر گرفته شده اند.
۶. افق زمانی برای برنامه‌ریزی چند دوره‌ای می‌باشد. جمع-آوری خون در ساعت اداری انجام می‌شود و زمان باقی مانده از هر دوره صرف جابجایی بین مکان‌های بالقوه و انتقال خون به مراکز خون می‌شود.

تسهیلات موقت می‌توانند در ابتدای دوره صفر در هر مکانی قرار بگیرند.



شکل ۲. شبکه نمونه برای سیستم توزیع خون

۳-۲. اندیس‌ها، پارامترها و متغیرها

شناساگرها

i گروه‌های اهداکننده.

j مکان‌های بالقوه برای استقرار تسهیلات موقت جمع‌آوری خون.

n مراکز خون.

مجموعه‌ها

I مجموعه اهداکنندگان خون و اندیس $i \in I$

J مجموعه مکان‌های ممکن برای استقرار تسهیلات موقت جمع‌آوری خون و اندیس $j \in J$

N مجموعه مراکز خون و اندیس $n \in N$

پارامترها

R ماتریس فاصله هر گروه اهداکننده از هر مکان ممکن برای استقرار تسهیلات موقت. $r_{i,j} \in R$

r شعاع پوشش تسهیلات موقت جمع‌آوری خون به صورتی که اگر $r_{i,j} \le r$ باشد آنگاه i با j می‌تواند پوشش داده می‌شود.

S ماتریس فاصله هر گروه اهداکننده از هر مرکز خون. $s_{i,n} \in S$ یعنی فاصله اهداکننده i از مرکز خون n.

s شعاع پوشش مراکز خون برای اهداکنندگان به صورتی که اگر $s_{i,n} \le s$ باشد آنگاه i با n می‌تواند پوشش داده می‌شود.

C_{jn} هزینه انتقال هرواحد خون بین مکان j و مرکز خون n توسط تسهیلات موقت.

$C_{j_1 j_2}$ هزینه حرکت تسهیلات موقت بین دو مکان بالقوه j_1 و j_2

C_{ij} هزینه اهدای هر واحد خون از اهداکننده i به تسهیل موقت j.

C_{in} هزینه اهدای هر واحد خون از اهداکننده i به مرکز خون n.

C هزینه نگهداری هر واحد خون در مراکز خون.

P تعداد تسهیلات موقت جمع‌آوری خون.

d_0 ظرفیت هریک از تسهیلات موقت جمع‌آوری خون(واحد خون).

D_n^t میزان تقاضا در دوره t در مرکز خون n (واحد خون).

d_{it} حجم اهدای خون گروه اهداکننده i در دوره t(واحد خون).

V_n ظرفیت هر یک از مراکز خون(واحد خون).

M عدد مثبت بسیار بزرگ.

متغیرها

X_{ij}^{t} اگر گروه اهداکننده i به مکان ممکن برای تسهیل جمع‌آوری خون j در دوره t اختصاص یابد،۱ ودر غیراین‌صورت صفر.

$y_{j_1 j_2}^{t}$ اگر یک تسهیل موقت در دوره $t-1$ در مکان j_1 و در دوره t به مکان j_2 انتقال یابد،۱ و درغیر این‌صورت صفر.

Z_{in}^{t} اگر گروه اهداکننده i در دوره t به مرکز خون n اختصاص یابد،۱ ودرغیراین‌صورت صفر.

d_{ij}^{t} تعداد واحد خونی که گروه اهداکننده i به تسهیل مستقر در مکان j در دوره t اهدا کرده‌اند.

T_{in}^{t} تعداد واحد خونی که گروه اهداکننده i به مرکز خون n در دوره t اهدا کرده‌اند.

Q_{jn}^{t} تعداد واحد خونی که از تسهیل موقت j به مرکز خون n در دوره t ارسال شده است.

I_{n}^{t} میزان موجودی مرکز خون n در انتهای دوره t.

b_{n}^{t} میزان کمبود در مرکز خون n در انتهای دوره t.

۳-۳. مدل ریاضی

مدل ریاضی دو هدفه ارائه شده در این مساله به صورت عددصحیح غیر خطی بوده و با توجه به پارامترها و متغیرهای فوق به شکل زیر ارائه شده است.

$$min\ Z1=\sum_{t=1}^{T} max_{n}\, b_{n}^{t} \qquad (۱)$$

$$min\ Z_2=\sum_{t=1}^{T}\left(\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}C_{ij}.d_{ij}^{t}+\sum_{i=1}^{I}\sum_{n=1}^{N}C_{in}T_{in}^{t}\right)+\sum_{t=1}^{T}\left(\sum_{j=1}^{J}\sum_{n=1}^{N}C_{jn}Q_{jn}^{t}+\sum_{j_1=1}^{J}\sum_{j_2=1}^{J}C_{j_1 j_2}.y_{j_1 j_2}^{t}+C.\sum_{n=1}^{N}I_{n}^{t}\right) \qquad (۲)$$

$$\sum_{j_1=1}^{J} y_{j_1 j_2}^{t}\le 1 \qquad ;\forall j_2,t \qquad (۳)$$

$$\sum_{j_2=1}^{J} y_{j_1 j_2}^{t}\le \sum_{j=1}^{J} y_{j j_1}^{t-1} \qquad ;\forall j_1\in J,t \qquad (۴)$$

$$\sum_{j_1=1}^{J}\sum_{j_2=1}^{J} y_{j_1 j_2}^{t}=P \qquad ;\forall t \qquad (۵)$$

$$X_{ij}^{t}\le \sum_{j_1=1}^{J} y_{j_1 j}^{t} \qquad ;\forall j\in J,i,t \qquad (۶)$$

$$\sum_{i=1}^{I} d_{ij}^{t}\le d_0 \qquad ;\forall j,t \qquad (۷)$$

$$X_{ij}^{t}.r_{ij}\le r \qquad ;\forall j,i,t \qquad (۸)$$

$$Z_{in}^{t}.S_{in}\le S \qquad ;\forall i,n,t \qquad (۹)$$

$$d_{ij}^{t}\le X_{ij}^{t}.M \qquad ;\forall j,i,t \qquad (۱۰)$$

$$T_{in}^{t}\le Z_{in}^{t}.M \qquad ;\forall j,i,t \qquad (۱۱)$$

$$\sum_{n=1}^{N} Q_{jn}^{t}\le \sum_{i=1}^{I} d_{ij}^{t} \qquad ;\forall j,t \qquad (۱۲)$$

$$\left[\sum_{j=1}^{J} d_{ij}^{t}+\sum_{n=1}^{N} T_{in}^{t}\right]\le d_{it} \qquad ;\forall i,t \qquad (۱۳)$$

$$\left[\sum_{i=1}^{I} T_{in}^{t} + \sum_{j=1}^{J} Q_{jn}^{t}\right] + I_n^{t-1} - I_n^{t} + b_n^{t} = D_n^{t} \quad ;\forall n,t \qquad (۱۴)$$

$$I_n^{t} \le V_n \quad ;\forall n,t \qquad (۱۵)$$

$$X_{ij}^{t}, y_{j_1 j_2}^{t}, Z_{in}^{t} = \{0,1\} \quad ;\forall i,j,n,t \qquad (۱۶)$$

$$d_{ij}^{t}, T_{in}^{t}, Q_{jn}^{t}, I_n^{t}, b_n^{t} \ge 0, \text{int} \quad ;\forall i,j,n,t \qquad (۱۷)$$

در مدل ارائه شده هدف اول (۱)، بیشینه کمبود خون در نقاط تقاضا را کمینه می‌کند. هدف دوم(۲)، هزینه‌های حمل و نقل از مکان‌های استقرار تسهیلات موقت به مراکز خون، هزینه‌های اهدای خون به تسهیلات موقت جمع‌آوری خون، هزینه‌های اهدای خون مستقیم به مراکز خون، هزینه‌های حرکت تسهیلات موقت بین مکان‌های ممکن برای استقرار و هزینه نگهداری موجودی خون را کمینه می‌کند. محدودیت(۳)، تضمین می‌کند که در هر دوره حداکثر یک تسهیل موقت به مکان j_2 وارد شود. محدودیت(۴)، تضمین می‌کند، تنها در صورتی یک تسهیل می‌تواند در یک دوره حرکت کند که در دوره قبل یک تسهیل به آن مکان آمده باشد. محدودیت(۵)، نشان می‌دهد که تعداد کل تسهیلات موقت جمع‌آوری خون در هر دوره ثابت و برابر P می‌باشد. محدودیت(۶)، تضمین می‌کند که اهدا کنندگان تنها به مکان‌هایی اختصاص یابند که در آن‌ها تسهیل موقت وجود داشته باشد، و نامعادله (۷) محدودیت ظرفیت برای هریک از تسهیلات موقت جمع‌آوری خون می‌باشد. محدودیت(۸)، تضمین می‌کند که فاصله گروه‌های اهداکننده از تسهیل موقت جمع‌آوری خون مورد نظر باید از شعاع پوشش آن کم‌تر باشد. محدودیت(۹)، نشان می‌دهد، اگر اهداکننده‌ای بخواهد برای اهدای خون مستقیم به یک مرکز خون مراجعه کند، فاصله او با آن مرکز باید از شعاع پوشش آن مرکز برای اهداکنندگان کمتر باشد. محدودیت (۱۰) نشان می‌دهد تنها در صورتی خونی از گروه اهداکننده i به مکان بالقوه j اهدا خواهد شد که گروه اهداکننده i به مکان j تخصیص یافته باشد. محدودیت (۱۱) نشان می‌دهد تنها در صورتی خونی از گروه اهداکننده i به مزکز خون n اهدا خواهد شد که گروه اهداکننده i به مرکز خون n تخصیص یافته باشد. محدودیت(۱۲) تضمین می‌کند که مقدار واحد خون خروجی از تسهیل موقت j کمتر یا مساوی ورودی به آن تسهیل است. محدودیت (۱۳)، محدودیت ظرفیت اهدای خون هریک از گروه‌های اهداکننده می‌باشد. محدودیت(۱۴)، تعادل بین موجودی خون، میزان اهدای خون و تقاضای خون در هر مرکز خون در هر دوره را نشان می‌دهد. محدودیت ظرفیت ذخیره خون در هر یک از مراکز خون در محدودیت (۱۵) نشان داده شده است. و نهایتا محدودیت (۱۶) و (۱۷) برای تعریف متغیرها و نامنفی بودن آن‌هاست.

همان‌طور که از مدل ریاضی ارائه شده مشخص است، تابع هدف اول جهت کمینه‌سازی بیشینه کمبود خون در نقاط تقاضا غیرخطی می‌باشد. لذا جهت سهولت حل و قابلیت تبدیل این مدل به یک مدل خطی، تابع هدف اول ارائه شده را با تعریف یک متغیر جدید به نام m_t به صورت معادله (۱۸) بازنویسی می‌کنیم:

$$min\ Z1 = \sum_{t=1}^{T} m_t \qquad (۱۸)$$

علاوه بر تغییر معادله فوق، محدودیت‌های (۱۹) و (۲۰) به مدل ریاضی ارائه شده اضافه خواهد شد:

$$m_t \ge b_n^{t} \qquad (۱۹)$$

$$m_t \ge 0 \qquad (۲۰)$$

با توجه به تغییر تابع هدف اول یه معادله (۱۸) و اضافه شدن محدودیت‌های (۱۹) و (۲۰) که همه خطی هستند، مدل ریاضی ارائه شده تبدیل یک مدل خطی عدد صحیح خواهد شد.

۴. روش حل پیشنهادی

حل مسائل چند هدفه و در حقیقت محاسبه نقاط پارتویی برای این مسائل دارای روش‌های مختلفی می‌باشد. برنامه‌ریزی آرمانی، برنامه‌ریزی تطابقی، روش نقطه مرجع و روش محدودیت اپسیلون از جمله شناخته شده ترین این روش-هاست[۲۶]. روش محدویت اپسیلون، از جمله روش‌های حل دقیق مسائل چند هدفه می‌باشد که تعداد دلخواهی نقطه پارتویی حاصل از موازنه توابع هدف را ارائه می‌دهد . در مقاله حاضر برای حل مدل فوق از این روش استفاده شده است. گام-های روش محدودیت اپسیلون به صورت زیر است:[۲۷]

$$Max\ f_j(X) \qquad j = 1,2,...,k$$
$$g_i(X) \le 0 \qquad i = 1,2,...,m$$
$$X \ge 0$$

۱- یکی از توابع هدف $f_j(X)$ به عنوان تابع هدف اصلی انتخاب می‌شود، که در این مساله هدف اول یعنی کمینه کردن کمبود به عنوان هدف اصلی انتخاب می‌شود.

۲- هر بار با توجه به یکی از توابع هدف، مساله به صورت تک هدفه حل شده و مقادیر بهینه هر تابع هدف و بدترین مقدار برای آن تابع هدف به دست می‌آید. برای محاسبه بدترین مقدار توابع هدف کمینه کردن به بیشینه کردن و بالعکس تغییر خواهد یافت.

۳- بازه بین دو مقدار بهینه توابع هدف فرعی، به تعداد از قبل مشخص تقسیم بندی می‌شود و یک جدول مقادیر برای $\varepsilon_2,\ldots,\varepsilon_n$ به دست می‌آید.

۴- هر بار مساله با تابع هدف اصلی با هر یک از مقادیر $\varepsilon_2,\ldots,\varepsilon_n$ حل می‌شود. برای مسائل بیش از دو هدف بایستی برای هرکدام از توابع هدف فرعی مقادیر ε مشخص شود و مساله با تمام حالات ممکن حل شود.

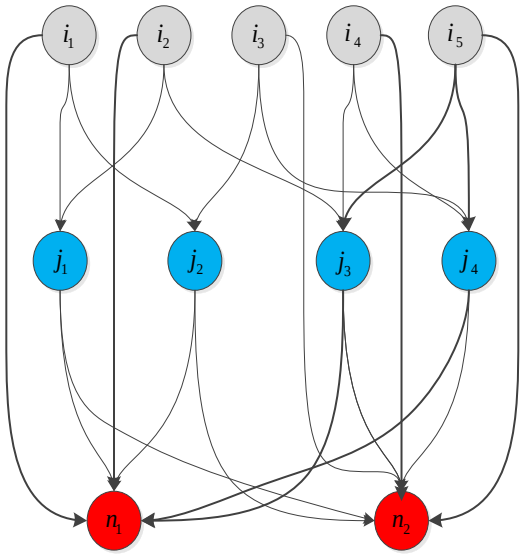
۵- جواب‌های پارتویی یافته شده گزارش می‌شود.

۵. نتایج محاسباتی

در این بخش، مثال عددی جهت تصدیق مدل برنامه‌ریزی ریاضی پویای چندهدفه پیشنهادی و نشان دادن کارایی مدل در اجرای مطالعات موردی ارائه شده است. با توجه به اطلاعات کسب شده از سازمان انتقال خون و تعداد گره‌های مدنظر قرار گرفته در مثال عددی حاضر، شبکه مطالعات موردی چندان بزرگ‌تر از مثال عددی ارائه شده نیستند. بر اساس آمار ارائه شده در مقاله ناگورنی و معصومی (۲۰۱۲) [۱۱] تعداد مراکز خون در کشورهای توسعه یافته از جمله آمریکا محدود بوده و در کل ایالات متحده آمریکا کم‌تر از ۱۰ مرکز خون وجود دارد.

۵-۱. داده‌های مثال عددی

شبکه‌ی مثال حاضر با ۵ گروه اهداکننده، ۴ مکان بالقوه برای استقرار تسهیلات موقت و افق زمانی ۳ دوره‌ای در نظر گرفته شده است. تعداد تسهیلات موقت ۳ عدد و ثابت می‌باشد. شکل (۳) شمایی از شبکه مثال عددی را نشان می‌دهد. برای نمونه ماتریس فاصله‌گروه‌های اهداکننده تا مکان‌های بالقوه، در جدول(۱) آمده است. علاوه بر این پارامترهای هزینه‌ای و فاصله‌ای مورد استفاده در حل مدل ارائه شده در جدول (۲) ارائه شده است.



شکل ۳. شمایی از شبکه مثال عددی

جدول ۱. فاصله ۵ گروه اهدا کننده از چهار مکان بالقوه

اهداکننده	مکان ۱	۲	۳	۴
۱	۱۸۰۰	۲۵۰۰	۴۲۴۰	۶۵۰۰
۲	۴۶۱۰	۴۹۴۰	۳۰۰۰	۴۵۰۰
۳	۷۵۶۵	۷۷۶۰	۴۲۴۲	۱۵۰۰
۴	۴۲۴۰	۳۰۰۰	۱۸۰۰	۶۳۲۵
۵	۶۷۱۰	۳۰۰۰	۱۸۰۰	۳۶۰۵

جدول ۲. پارامترهای مورد استفاده در مثال عددی ارائه شده

پارامتر	مقدار
هزینه اهدای هر واحد خون بین نقاط اهدا و تسهیلات موقت	۱۰
هزینه انتقال خون بین تسهیلات جمع آوری خون و مراکز خون	۵
هزینه اهدای خون مستقیما به مراکز خون	۲۰
هزینه نگهداری موجودی خون در مراکز خون	۲
ظرفیت هر یک از تسهیلات جمع آوری خون	۲۵
شعاع پوشش تسهیلات جمع آوری خون	۴۰۰۰
شعاع پوشش مراکز خون برای اهدای مستقیم خون	۴۵۰۰

۵-۲. نتایج حاصل از اجرای مدل

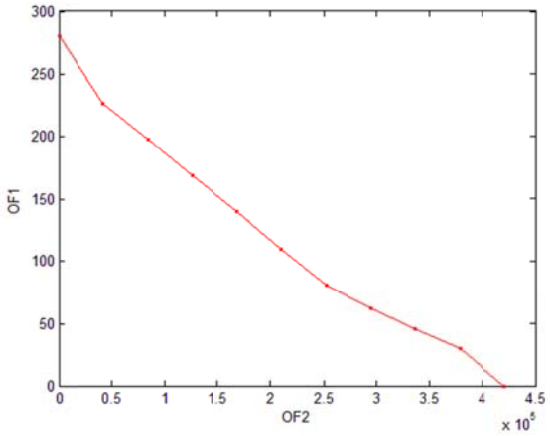
مثال عددی ارائه شده در بخش قبل، با استفاده از روش محدودیت اپسیلون بر روی مدل برنامه‌ریزی ریاضی ارائه شده اجرا شده است. همان‌طور که در بخش چهارم اشاره شد، حاصل روش محدودیت اپسیلون تعداد دلخواهی نقاط پارتویی می‌باشد. جدول (۳) نتایج حاصل از اجرای مدل را برای ۱۱ نقطه پارتویی نشان می‌دهد. جواب شماره ۱ بهترین جواب تابع هدف اول و بدترین جواب تابع هدف دوم را شامل شده و جواب شماره ۱۱ بهترین جواب تابع هدف دوم و بدترین جواب تابع هدف اول را نشان می‌دهد. با بهبود وضعیت تابع هدف دوم یا هزینه‌ها، مقدار تابع هدف اول وضعیت بدتری را به خود می‌گیرد و برعکس. روند نشان داده شده در شکل (۴) تعارض بین دو تابع هدف ارائه شده را نشان می‌دهد که با توجه به هزینه‌زا بودن تامین خون بیش‌تر برای نقاط تقاضا، روند حاصل شده از اجرای مدل کاملا منطبق بر واقعیت بوده و صحت مدل را نشان می‌دهد.

اجرای ارائه شده، با استفاده از CPLEX Solver در نرم افزار GAMS 22.2 اجرا شده است. زمان اجرای مدل به دلیل خطی کردن مدل بوسیله معادلات (۱۸) تا (۲۰) بسیار ناچیز و قابل چشم‌پوشی بوده است. مقادیر متغیرهای مدل ارائه شده در دوره زمانی دوم و برای نقطه پارتویی شماره ۶ در شکل (۵) به صورت شماتیک نشان داده شده است. در این شکل وجود پیکان بین دو گره نشان از تخصیص گره‌ها به هم و اعداد واقع در کنار گره‌ها، مقادیر خون عبوری از کمان را نشان می‌دهد.

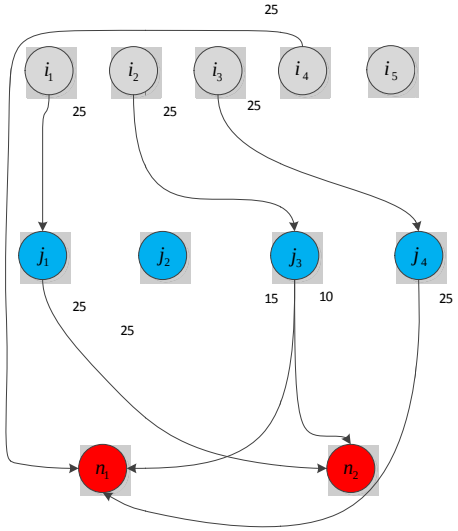
ارائه نقاط پارتویی و عدم ارائه یک جواب واحد برای مدل، ایجاد امکان انتخاب برای مدیران تصمیم گیر در سازمان‌های متصدی در امور تامین و توزیع خون بوده است. مدیران می‌توانند با توجه به شرایط به وجود آمده، چه در زمان‌های عادی و چه در مواقع اضطرار، هر یک از جواب‌های ارائه شده را برای تصمیم گیری انتخاب کنند.

جدول ۳. جواب‌های پارتویی حاصل از اجرای روش محدودیت اپسیلون

شماره جواب	تابع هدف اول	تابع هدف دوم
۱	۰	۴۲۰۸۰۰
۲	۲۹	۳۷۸۷۲۰
۳	۴۵	۳۳۶۶۴۰
۴	۶۲	۲۹۴۵۶۰
۵	۸۰	۲۵۲۴۸۰
۶	۱۰۹	۲۱۰۴۰۰
۷	۱۳۹	۱۶۸۳۲۰
۸	۱۶۸	۱۲۶۲۴۰
۹	۱۹۷	۸۴۱۶۰
۱۰	۲۲۶	۴۲۰۸۰
۱	۲۸۰	۰



شکل ۴. داده‌های پارتویی حاصل از اجرای روش محدودیت اپسیلون

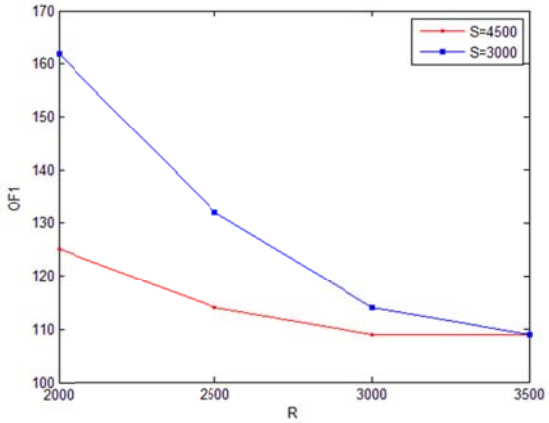


شکل ۵. مقادیر متغیرهای مدل ارائه شده در دوره زمانی دوم حاصل از جواب شماره ۶

۵-۳. تحلیل حساسیت

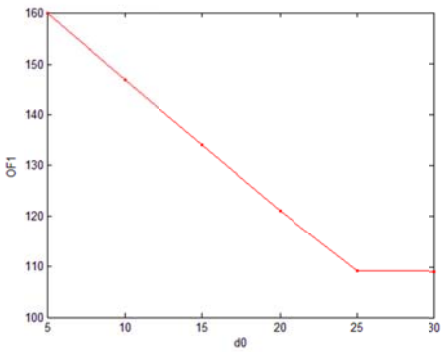
مدل ریاضی پیشنهادی شامل تعدادی پارامترهای ورودی جهت اجرای مدل می‌باشد. برخی از این پارامترها بر اساس شرایط محیطی تغییر می‌کنند و باعث تغییر در نتایج مدل می‌شوند. شبکه‌های پاسخ اضطراری به تقاضای خون به دلیل حساسیت بالا و اثر پذیری تقاضا و عرضه خون از شرایط محیطی علی الخصوص در شرایط اضطراری، نیازمند دقت بالا در تعیین پارامترهای ورودی مدل می‌باشد. راهکار موجود برای تعیین بهتر و کاراتر پارامترهای ورودی به مدل انجام تحلیل حساسیت بر روی پارامترها بوده و این کار باعث می‌شود به ازای مقادیر مختلف پارامترهای ورودی جوابی برای مساله ، همچنین میزان حساسیت جواب مساله به تغییرات هر یک از پارامترها حاصل شود. بر اساس تحلیل‌ها مدیریت می‌تواند در تعیین پارامترهای ورودی دقت لازم را انجام دهد. لازم به ذکر است در تحلیل حساسیت‌های انجام شده تابع هدف دوم در یک سطح خاص حفظ شده است.

شعاع پوشش تسهیلات موقت جمع‌آوری خون، عاملی اثرگذار بر تخصیص اهداکنندگان به تسهیلات موقت می‌باشد. علاوه بر این شعاع پوشش برای مراکز خون در جهت اختصاص اهداکنندگان مستقیم نیز مورد بررسی قرار گرفته است. شکل (۶) تحلیل حساسیت تابع هدف اول مدل ارائه شده را بر اساس شعاع پوشش تسهیلات موقت جمع‌آوری خون و شعاع پوشش مراکز خون نشان می‌دهد. بر این اساس با افزایش شعاع پوشش تسهیلات موقت، میزان تابع هدف اول بهبود می‌یابد و همین‌طور با افزایش شعاع پوشش مراکز خون جهت اهدای مستقیم خون نیز تابع هدف اول بهبود می‌یابد. لذا مدیران تصمیم گیر می‌توانند در مواقع لزوم برای کاهش کمبود خون در نقاط تقاضا شعاع‌های پوشش موجود در مدل را به اندازه مورد نیاز افزایش دهند.



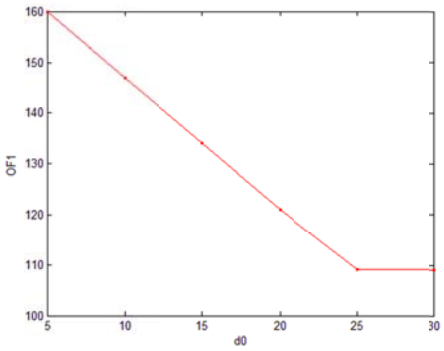
شکل ۶. تحلیل حساسیت تابع هدف اول نسبت به شعاع پوشش تسهیلات جمع‌آوری خون و شعاع پوشش مراکز خون

شکل (۷)، تغییرات تابع هدف اول را نسبت به تغییرات ظرفیت تسهیلات موقت نشان می‌دهد. عموما تسهیلات موقت به صورت وسایل نقلیه مخصوص جمع آوری خون بوده و امکان افزایش ظرفیت آن‌ها وجود دارد. با توجه به شکل (۷) با افزایش ظرفیت تسهیلات موقت، میزان تابع هدف اول بهبود می‌یابد اما نکته قابل توجه در انتهای نمودار، عدم بهبود تابع هدف اول به کمتر از مقدار ۱۰۹ است. لذا مدیران می‌توانند بر این اساس در صورت نیاز به کاهش کمبود خون با توجه به شرایط، ظرفیت تسهیلات موقت را تا ۲۵ واحد افزایش دهند در حالی که افزایش ظرفیت به بیش از ۲۵ واحد خونی تاثیری در بهبود تابع هدف اول نخواهد داشت و هزینه بلا استفاده به حساب می‌آید.



شکل ۷. تحلیل حساسیت تابع هدف اول نسبت به ظرفیت تسهیلات موقت

شکل (۸) تغییرات میزان تابع هدف اول را بر اساس میزان افزایش یا کاهش در ظرفیت ذخیره سازی خون در مراکز خون نشان می‌دهد. با افزایش ظرفیت مراکز خون تابع هدف اول بهبود می‌یابد و برعکس؛ که این امر کاملا منطبق بر واقعیت است و نشان از صحت عملکرد مدل ارائه شده دارد. علاوه بر این، از مقایسه شکل‌های (۷) و (۸) می‌توان نتیجه گرفت که تابع هدف اول ارائه شده به ظرفیت تسهیلات موقت جمع‌آوری خون نسبت به ظرفیت مراکز خون حساس‌تر می‌باشد. بر این اساس اگر ۱۰ واحد از ظرفیت تسهیلات موقت از ظرفیت حاضر آن کم شود، تابع هدف ۲۵ واحد خون افزایش می‌یابد ولی در صورت کم شدن ۱۰ واحد از ظرفیت مراکز خون تابع هدف اول تنها ۱۱ واحد افزایش خواهد یافت.



شکل ۸. تحلیل حساسیت تابع هدف اول نسبت به تغییرات در ظرفیت ذخیره‌سازی خون در مراکز خون

پارامترهای اصلی در زنجیره‌های تامین، عرضه و تقاضا می‌باشند. در زنجیره تامین خون، تقاضا به معنای نیاز خونی بیماران و آسیب دیدگان حوادث و عرضه به معنای اهدای خون توسط افراد سالم جامعه می‌باشد. لذا هردوی این پارامترها غیر قابل پیش بینی بوده و نیازمند برآوردهای همراه با خطا هستند. در مدل ارائه شده تقاضا در مراکز خون و در دوره‌های زمانی متفاوت، مختلف در نظر گرفته شده و به صورت آزمایش اول جدول (۴) می‌باشند. با افزایش تقاضا که ممکن است در یک مرکز خون و در یک دوره زمانی خاص به دلیل وقوع حوادث طبیعی یا ساخت بشر صورت گیرد، تغییرات تابع هدف اول مورد بررسی قرار گرفته است. همان‌طور که انتظار می‌رود با افزایش تقاضا در برخی مراکز و برخی دوره‌های زمانی که در آزمایش دوم و سوم جدول (۴) فرض شده است، میزان تابع هدف اول افزایش یافته است. این تحلیل صورت گرفته می‌تواند به عنوان در نظر گرفتن عدم قطعیت در میزان تقاضای خون به مدیران کمک کند تا در صورت نوسان میزان تقاضا، آمادگی روبرو شدن با این شرایط را داشته باشند. اهدای خون نیز به دلیل دخالت تصمیم‌های انسانی در کمیت آن دارای عدم قطعیت طبیعی می‌باشد و به عنوان ورودی مدل در نظر گرفته شده است. لذا مدیران باید بر اساس مقادیر مختلف اهدای خون برای سیستم توزیع و تامین خون تصمیم بگیرند. در مدل ارائه شده میزان اهدای خون در دوره‌های زمانی مختلف توسط مراکز اهداکننده مختلف، متفاوت در نظر گرفته شده است. میزان در نظر گرفته شده برای اجرای اولیه مدل به صورت آزمایش شماره یک جدول (۵) ارائه شده است. اختلال در برخی مراکز اهدای خون و به صفر رسیدن میزان خون اهدایی از این مراکز می‌تواند به عنوان یک عامل اثر گذار بر تصمیمات مدیران مورد توجه قرار گیرد. در آزمایش شماره (۲) جدول (۵) میزان اهدای خون مراکز ۲ و ۴ در تمامی دوره‌های زمانی برابر صفر درنظر گرفته شده است. در آزمایش سوم تعداد بیش‌تری از اهداکنندگان در دوره‌های مختلف دچار اختلال شده‌اند. در هر دو حالت میزان تابع هدف اول افزایش یافته است. بر اساس این نتایج برای مقابله با وابستگی شدید سیستم توزیع خون به تصمیمات اهداکنندگان، بایستی تدابیری از جمله افزایش ذخایر خون و یا واردات خون از سایر مناطق مورد توجه مدیران قرار گیرد.

جدول ۴. تغییرات تابع هدف اول نسبت به تغییر در تقاضای برخی مراکز خون در برخی دوره‌های زمانی

شماره آزمایش	تابع هدف اول	تقاضای دوره			پمراکز خون
		۳	۲	۱	
۱	۱۰۹	۸۰	۱۰۰	۸۰	۱
		۹۰	۷۰	۹۰	۲
		تقاضای دوره			
		۳	۲	۱	
۲	۱۸۴	۸۰	۱۰۰	۱۵۰	۱
		۹۰	۱۵۰	۹۰	۲
		تقاضای دوره			
		۳	۲	۱	
۳	۱۷۴	۱۵۰	۱۰۰	۸۰	۱
		۹۰	۷۰	۱۵۰	۲

جدول ۵. تغییرات تابع هدف اول نسبت به تغییر در میزان حداکثراهدای خون در برخی دوره‌های زمانی

شماره آزمایش	تابع هدف اول	حداکثر اهدای خون در دوره			پپ
		۳	۲	۱	
۱	۱۰۹	۵۰	۴۰	۵۰	۱
		۶۰	۷۰	۶۰	۲
		۴۰	۵۰	۷۰	۳
		۵۰	۳۰	۸۰	۴
		۶۰	۴۰	۹۰	۵
		حداکثر اهدای خون در دوره			
		۳	۲	۱	
۲	۱۱۵	۵۰	۴۰	۵۰	۱
		۰	۰	۰	۲
		۴۰	۵۰	۷۰	۳
		۰	۰	۰	۴
		۶۰	۴۰	۹۰	۵
		حداکثر اهدای خون در دوره			
		۳	۲	۱	
۳	۱۲۵	۰	۴۰	۰	۱
		۶۰	۰	۶۰	۲
		۴۰	۵۰	۰	۳
		۵۰	۰	۸۰	۴
		۰	۴۰	۰	۵

۶. نتیجه‌گیری و تحقیقات آتی

مدل ارائه شده در مقاله حاضر، یک مدل جدید برنامه‌ریزی عددصحیح چندهدفه در شرایط پویا جهت مکان‌یابی تسهیلات موقت جمع‌آوری خون و تخصیص گروه‌های اهداکننده خون به این تسهیلات می‌باشد. مدل ارائه شده دو هدفه بوده که هدف اول، کمینه‌سازی بیشینه کمبود خون به عنوان یک ماده حیاتی برای انسان و هدف دوم کمینه کردن هزینه‌های انتقال خون از تسهیلات موقت به مراکز خون و هزینه جابجایی تسهیلات موقت بین مکان‌های بالقوه برای استقرار در دوره‌های مختلف و هزینه‌های نگهداری موجودی در مراکز خون می‌باشد. مدل ارائه شده با روش محدودیت اپسیلون جهت ایجاد جواب‌های پارتویی حل شد. نتایج حاصل از این روش، نشان از تقابل دو تابع هدف ارائه شده دارد، یعنی در صورتی که هزینه‌های انتقال و جابجایی کمینه شود، کمبود خون نمی‌تواند کمینه شود. تحلیل حساسیت روی پارامترهای ورودی نشان از افزایش تابع هدف اول با کاهش شعاع‌های پوشش تسهیلات موقت و مراکز خون دارد. علاوه بر این با افزایش ظرفیت تسهیلات موقت و همچنین ظرفیت ذخیره سازی مراکز خون تابع هدف اول بهبود می‌یابد در حالی که میزان تغییرات تابع هدف اول به تغییرات ظرفیت تسهیلات موقت حساس تر از ظرفیت مراکز خون می‌باشد. همچنین افزایش ناگهانی تقاضا مورد آزمایش قرار گرفت که این افزایش باعث افزایش تابع هدف اصلی مساله شد. در نهایت اختلال در اهدای خون برخی مراکز اهدای خون مورد بررسی قرار گرفت که باعث افزایش میزان تابع هدف و دور شدن آن از مقادیر بهینه شد. برای تحقیقات آتی ، می‌توان پیشنهادات زیر را ارائه کرد:

۱. در نظر گرفتن زمان ارسال بعنوان یکی از اهداف اصلی مساله امدادرسانی.
۲. مدل‌سازی مساله در فضای عدم قطعیت چراکه عمده پارامترهای اصلی نظیر میزان تقاضای خون در واقع غیرقطعی و نامعین هستند.
۳. اجرای مدل و روش حل پیشنهادی برای مسائل دنیای واقعی نظیر برنامه ریزی برای مدیریت خون در زمان زلزله در شهرهای مختلف.
۴. استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مساله در ابعاد بزرگ‌تر.
۵. در نظر گرفتن مسیریابی وسایل نقلیه جهت انتقال خون بین گره‌های شبکه به عنوان یکی از خروجی‌های مدل.

مراجع

[1] Sha Y., JunHuang, "The Multi-period Location-allocation Problem of Engineering Emergency Blood Supply Systems", systems engineering procedia, (2012), Vol. 5, pp. 21 – 28.

[2] Beliën, j. and Forcé, H., "Supply chain management of blood products: A literature review" European Journal of Operational Research, (2010), Vol. 217, pp. 1-16.

[3] Van Wassenhove L.N., Martinez A.J.P., "Using OR to Adapt Supply Chain Management to Humanitarian Logistics", International Transactions in Operational Research, (2011), ITOR, DOI: 10.1111/ j.1475-3995.2010.00792.x.

[4] Zhu Y.M.," A brief introduction to American blood taking system", Clinical transfusion and inspection, (1999), Vol. 1, No. 3.

[5] Li A., Zhang Y., Wang Q.,"An experience on studying the American blood transfusion research", Chinese Journal of Blood Transfusion, (2000), Vol. 13, No. 4.

[6] Cuo D., Cheng Y., Chen Y.,"An analysis on the inventory management of blood scheduling after WenChuan Earthquake", Chinese Journal of Blood Transfusion, (2008), Vol. 21, No. 8.

[7] Yan H., Cheng Y., Wang S., Wang Q., Liu J.,"An method on blood supply in an emergency",Chinese Journal of Blood Transfusion, (2006), Vol. 19. No. 1. pp. 93-94.

[8] Li Ch., Song B., Wu W., Yu M.,"An introduction to the research of the blood security system in anEmergency.People", Military Surgeon, (2008), Vol. 51. No. 3.

[9] Sahin G., Sural H., Meral S., "Locational analysis for regionalization of Turkish Red Crescent blood services", Computers & Operations Research, (2007), Vol. 34, pp. 692-704.

[10] Cetin E., Sarul L.S., "A Blood Bank Location Model: A Multi- objective Approach", EUROPEAN JOURNAL OF PURE AND APPLIED MATHEMATICS, (2009), Vol. 2. No. 1, pp. 112-124.

[11] Nagurney A., Masoumi A.H., "Supply Chain Network Design of a Sustainable Blood Banking System", In Sustainable Supply Chains: Models, Methods and Public Policy Implications, T Boone, V Jayaraman, R Ganeshan, Editors (Springer, London, England), (2012), Vol. 174, pp. 49-72.

[12] Stanger, S.H.W., Wilding, R., Yates, N. and Cotton, S., "What drives perishable inventory management performance? Lessons learnt from the UK blood supply chain", Supply Chain Management: An International Journal, (2012), Vol. 17, No. 2, pp. 107 – 123

[13] Delan, D., Erraguntla, M., Mayer, R.J., Wu, C.N., "Better management of blood supply-chain with GIS-based analytics", Annual Operations Research, (2012), Vol. 185, pp. 181-193.

[14] Radiah Shariff S.S., Moin N.H., Omar M., "Location allocation modeling for healthcare facility planning in Malaysia", Computers & Industrial Engineering, (2012), Vol. 62, pp. 1000-1010.

[15] Araz C., Selim H., Ozkarahan I.,"A fuzzy multi-objective covering-based vehicle location model for emergency services", Computers & Operations Research, (2007), Vol. 34, pp. 705–726.

[16] Syam S., Cote J., "A location–allocation model for service providers with application to not-for-profit health care organizations", Omega, (2010), Vol. 38, pp. 157-166.

[17] Jabalameli M.S., Bozorgi Amiri A., Heidari M., "A multi-objective stochastic programming for emergency logistics problem", IJIEPM, (2011), Vol. 22, No. 1, pp. 66-76.

[18] Doyen A., Aras N., Barbarosoglu G., “A two-echelon stochastic facility location model for humanitarian relief logistics”, Optimization Letter, (2012), Vol. 6, pp. 1123-1145.

[19] Conbalat M.S., Massow M.V., “Locating emergency facilities with random demand for risk minimization”, Expert Systems with Applications, (2011), Vol. 38, pp. 10099-10106.

[20] Benneyan, J.C., Musdal, H., Ceyhan, M.E., Shiner, B. and Watts, B.V. “Specialty care single and multi-period location-allocation models within the Veterans Health Administration”, Socio-Economic Planning Sciences, (2012), Vol. 46, pp. 136-148.

[21] Eshghi K, Najafi M. “A Logistics Planning Model to Improve the Response Phase of Earthquake”. IJIEPM. (2013), Vol. 23, No. 4, pp. 401-416.

[22] Bozorgi-Amiri A., Jabalameli M.S., Mirzapour Al-e-Hashem. S.M.J., “A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty”, OR Spectrum, (2011), DOI 10.1007/s00291-011-0268-x.

[23] Scott A.J.,”Dynamic location-allocation systems: Some basic planning strategies". Environment and Planning, (1971), Vol. 3, pp. 73-82.

[24] Tapiero C.S.,”Transportation-location-allocation problems over time”, Journal of Regional Science, (1971), Vol. 11, No. 3, pp. 377-384.

[25] Zarrinpoor H., Shavandi H., Bagherinejad, J., “Extension of the Maximal Covering Location-Allocation Model for Congested System in the Competitive and User-Choice Environment”. IJIEPM, (2012), Vol. 22, No. 4, pp. 393-404

[26] Romero C., Tamiz M., Jones D.F,”Goal programming, compromise programming and reference point method formulations: linkages and utility interpretations”. Journal of Operational Research Society, (1998), Vol. 49, No. 9, pp. 986–991.

[27] Ehrgott, M., Gandibleux,” Multi-objective combinatorial optimization theory, methodology and applications “. Multiple criteria optimization: State of the art annotated bibliographic surveys, Kluwer Academic Publishers, (2002), pp. 369–444.