

ارائه مدل چندهدفه قابل اطمینان مکان‌یابی-تخصیص برای سیستم‌های تأمین خون تحت شرایط اختلال

نسترن کاظمی*، زهرا بادری** و علی بزرگی امیری***

*گروه مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه علم و فناوری مازندران

**گروه ریاضی، دانشگاه علم و فناوری مازندران

***گروه مهندسی صنایع پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت ۱۳۹۳/۸/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۳/۱۰

چکیده: در زمان وقوع بلایای طبیعی و انسان‌ساز، تأمین برخی اقلام که ارتباط مستقیم با زندگی انسان‌ها دارند، از اهمیت بالایی برخوردارند. در جهان واقعی سیستم‌های عرضه با اختلالات بسیاری در تسهیلات خود روبه‌رو هستند و از کار افتادن تسهیلات منجر به عدم تأمین به‌موقع می‌شود و اهمیت این موضوع در سیستم تأمین خون بیشتر آشکار می‌شود. در این مقاله، مدلی چندهدفه برای مکان‌یابی تسهیلات موقت جهت جمع‌آوری خون و تخصیص اهداکنندگان خون به این مکان‌ها ارائه شده است. اهداف مدل شامل کمینه کردن بیشترین مقدار کمبود در مراکز خون در بدترین حالت وقوع اختلالات در تسهیلات و نیز کمینه کردن مجموع هزینه‌ها در بدترین حالت وقوع اختلالات در تسهیلات می‌باشد. جهت نشان دادن کاربردپذیری مدل پیشنهادی، مسئله با روش محدودیت افسیلون بر روی مثال عددی حل و تجزیه و تحلیل شده است

واژه‌های کلیدی: سیستم‌های تأمین خون، مکان‌یابی-تخصیص، بهینه‌سازی چندهدفه.

رده‌بندی ریاضی (۲۰۱۰): ۴۶N۱۰ و ۹۰B۵۰.

۱- مقدمه

وقوع حوادث غیرمترقبه نظیر سیل و زلزله، باعث ایجاد تغییرات ناگهانی در تقاضای برخی از کالاها به‌ویژه کالاهایی نظیر خون می‌شود؛ که با جان و سلامتی انسان‌ها ارتباط مستقیم دارند. در نتیجه سیستم تأمین این کالاها می‌بایست پاسخ‌گویی به این تقاضاها را در اولویت کار خود

قرار دهد. به طور قطع در هنگام وقوع حوادث غیرمترقبه سطح تقاضای خون به صورت قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. بنابراین در هنگام وقوع حادثه، سیستم عرضه و تأمین خون در کشورها می‌بایست به شکل کارایی و وظیفه خود را انجام دهند.

بسیاری از مطالعات مدل‌های تحقیق در عملیات را برای بهینه‌سازی پاسخ‌گویی به تقاضای کالا و مواد اضطراری در مواقع عادی و اضطراری جهت جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و توزیع این اقلام موردتوجه قرار داده‌اند. شکل (۱) فرآیند عرضه خون در مواقع اضطرار را نشان می‌دهد. از آنجایی که در مواقع اضطرار، تقاضای خون در بازه‌های زمانی مختلف، متفاوت است. بنابراین در مدل پیشنهادی، تسهیلات موقت جمع‌آوری خون قابل‌جابه‌جایی فرض شده است. علاوه بر این می‌بایست این نکته را موردتوجه قرار داد؛ که جابه‌جایی و انتقال تسهیلات موقت در دوره‌های مختلف نیز هزینه‌زا است.



شکل ۱: فرآیند عرضه خون در مواقع اضطرار

مدل با توجه به اطلاعات ورودی مسئله تصمیم خواهد گرفت که اهداکنندگان برای اهدای خون به کدام تسهیل موقت مراجعه کنند. همچنین خون جمع‌آوری شده از تسهیلات موقت می‌بایست برای انجام آزمایش‌ها به مراکز خون منتقل شود. بنابراین می‌بایست هزینه انتقال خون از تسهیلات موقت به مراکز خون کمینه شود. علاوه بر این، اگر اهداکنندگان بتوانند به صورت مستقیم به مراکز خون جهت اهدای خون مراجعه کنند، هزینه انتقال واحدهای خون از تسهیلات موقت به مراکز خون حذف خواهد شد. بنابراین در مدل پیشنهادی امکان اینکه اهداکنندگان به صورت مستقیم به مراکز خون مراجعه نمایند نیز در نظر گرفته شده است.

در جهان واقعی سیستم‌های عرضه با اختلالات بسیاری در تسهیلات خود در اثر حوادث طبیعی یا توسط انسان‌ها روبه‌رو هستند که وجود این اختلالات تأثیر بسیار زیادی روی عملکرد سیستم می‌گذارد. این اختلالات باعث می‌شود که تسهیلات نتوانند وظایف خود را به درستی انجام دهند یا به طور کلی باعث از کار افتادن تسهیل در نتیجه منجر به افزایش هزینه‌های سیستم به لحاظ اقتصادی می‌شود یکی از روش‌های مقابله با این اختلالات طراحی تسهیلات دارای قابلیت اطمینان است [۱].

مطالعات انجام شده در زمینه مکان‌یابی تسهیلات سلامت به‌ویژه تسهیلات جمع‌آوری خون و همچنین مکان‌یابی تسهیلات پویا تاکنون فرض وقوع اختلال در تسهیلات را در نظر نگرفته‌اند،

درحالی‌که وقوع اختلال در این نوع تسهیلات منجر به عدم پاسخ‌گویی آن‌ها و همچنین منجر به کاهش کارایی و دقت نتایج حاصل از این نوع مدل‌ها می‌شود. بنابراین، مدل‌سازی این‌گونه مسائل تحت شرایط اختلال منجر به ایجاد نتایج قابلیت اعتماد تری نسبت به سایر مدل‌های مکان‌یابی می‌شود؛ که این فرض را در مکان‌یابی تسهیلات در نظر نمی‌گیرند.

این مقاله مسئله مکان‌یابی تخصیص تسهیلات پویای اضطراری جهت جمع‌آوری خون تحت وجود اختلالات در تسهیلات را مورد بررسی قرار می‌دهد. اهداف اصلی مدل پیشنهادی شامل کمینه‌سازی بیشینه مقدار کمبود خون در مراکز خون بدترین حالت وقوع اختلالات در تسهیلات و کمینه کردن مجموع هزینه‌ها در بدترین حالت وقوع اختلالات در تسهیلات می‌باشد. از جمله مهم‌ترین نوآوری‌های این مقاله عبارت‌اند از:

- (۱) در نظر گرفتن فرض وقوع اختلالات در مکان‌یابی تسهیلات جمع‌آوری خون و مکان‌یابی تسهیلات پویا؛
- (۲) در نظر گرفتن عدم جابجایی تسهیلاتی که دچار اختلال می‌شوند و همچنین عدم تخصیص اهداکنندگان به تسهیلات دارای اختلال؛
- (۳) کمینه کردن بیشترین مقدار کمبود در مراکز خون و کمینه کردن مجموع هزینه‌ها در بدترین حالت وقوع اختلال در تسهیلات؛
- (۴) تخصیص مکان‌های کاندید برای اهدا خون به دیگر تسهیلات در صورت وقوع اختلال در تسهیلات.

ادامه مقاله به‌صورت زیر سازمان‌دهی شده است. در بخش ۲، مروری بر ادبیات موضوع بیان می‌شود. در بخش ۳، مدل ریاضی پویای چند دوره‌ای دو هدفه برای مکان‌یابی و تخصیص مراکز جمع‌آوری خون تحت وقوع اختلالات در تسهیلات تشریح می‌شود. بخش ۴، رویکرد پیشنهادی جهت حل مسئله چندهدفه ارائه می‌شود. در بخش ۵، جهت اعتبارسنجی مدل و روش حل پیشنهادی، مدل ارائه‌شده با یک مثال عددی حل و تحلیل حساسیت آن بیان می‌شود. و در نهایت بخش ۶، نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی ارائه می‌شود.

۲- مروری بر ادبیات

در ابتدا مطالعات انجام‌شده در زمینه‌ی عرضه خون در مواقع اضطرار را بیان می‌کنیم. در این زمینه، ژو و همچنین لی و همکاران مطالعاتی را بر روی سیستم مدیریت خون کشورهای ایالات‌متحده و آمریکا انجام دادند [۲]. ساهین و همکارانش یک مدل سه مرحله‌ای برای مکان‌یابی تسهیلات خون در سطح منطقه‌ای برای صلیب سرخ ترکیه ارائه دادند. آن‌ها دو سطح سلسله‌مراتبی را برای مسئله در نظر گرفته‌اند که سطح اول شامل مراکز خون منطقه‌ای و

سطح دوم شامل مراکز خون، ایستگاه‌های خون و تسهیلات موقت جمع‌آوری خون می‌باشد. مرحله اول از مدل سه مرحله‌ای شامل مکان‌یابی مراکز خون منطقه‌ای و تخصیص مراکز خون به مراکز منطقه‌ای و تخصیص نقاط تقاضا به مراکز خون، مرحله دوم شامل تعیین کم‌ترین تعداد ایستگاه‌های خون جهت پوشش تمامی نقاط تقاضا می‌باشد و درنهایت در مرحله سوم با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح تعداد تسهیلات سیار جمع‌آوری خون در هر منطقه مشخص می‌شود [۳]. ستین و سارول یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه ارائه کردند، این مدل ترکیبی از مدل پوششی مکان‌یابی گسسته و روش مرکز جاذبه مکان‌یابی پیوسته بود [۴]. ناگورانی و معصومی یک سیستم بانک خون منطقه‌ای شامل واحدهای جمع‌آوری خون مراکز آزمایشگاهی و فرآوری خون، تسهیلات ذخیره‌سازی و توزیع خون را مورد توجه قرار دادند و یک مدل چندهدفه شامل اهداف کمینه‌سازی ریسک عرضه و کمینه‌سازی هزینه کمبود خون در برابر تقاضا و ریسک‌های جانبی در برخی اتصالات زنجیره تأمین ارائه دادند [۵]. آروان و همکاران یک مدل مکان‌یابی دو هدفه را برای شبکه‌های چند محصولی تأمین خون ارائه دادند. اجزای مختلف این زنجیره تأمین خون شامل نقاط اهدای خون، آزمایشگاه‌های فرآوری خون، مراکز خون و نقاط تقاضا شامل بیمارستان‌ها و کلینیک‌های نیازمند به خون می‌باشد. در این مدل امکان وجود ضایعات خونی، تجزیه محصولات خون در آزمایشگاه و امکان نقل و انتقال خون بین نقاط تقاضا نیز در نظر گرفته شد. اهداف مدل شامل کمینه کردن مجموع هزینه‌ها و کمینه کردن میزان خون باقی‌مانده در شبکه جهت کاهش میزان مرگ‌ومیر افراد متقاضی خون است [۶].

از جمله مطالعاتی که مسئله مکان‌یابی - تخصیص را به صورت عام مورد توجه قرار داده‌اند، می‌توان مطالعات زیر را نام برد: شریف و همکارانش از مسئله مکان‌یابی حداکثر پوشش را برای مکان‌یابی تسهیلات برنامه‌ریزی سلامت در مالزی استفاده کردند و یک مدل مکان‌یابی تخصیص برای این منظور ارائه دادند و درنهایت مدل ارائه‌شده را با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک حل کردند [۷]. آراز و همکارانش یک مدل چندهدفه فازی را برای مسئله مکان‌یابی تسهیلات اضطراری همچون آمبولانس ارائه دادند. آن‌ها مدل ارائه‌شده را با روش‌های مختلف از جمله برنامه‌ریزی آرمانی فازی حل کردند [۸]. سیام و کته یک مدل مکان‌یابی - تخصیص برای خدمات ویژه درمانی مانند مراکز درمان آسیب‌های مغزی را توسعه دادند [۹]. دوین و همکارانش یک مدل دومرحله‌ای برای لجستیک کمک‌های بشردوستانه، قبل از فاجعه و بعد از فاجعه ارائه دادند. از جمله اهداف این مدل شامل کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های مکان‌یابی تسهیلات، نگهداری موجودی و حمل‌ونقل و کمبود را در فضای تصادفی و قطعی می‌باشد [۱۰]. کنبلات و ماسف یک مسئله مکان‌یابی تسهیلات اضطراری با فرض تصادفی بودن نقاط تقاضا مورد مطالعه قرار دادند. هدف این مسئله کمینه‌سازی بیشینه ریسک مورد انتظار می‌باشد. آن‌ها

برای حل مدل از روش شبیه‌سازی برای دست‌یابی به جواب‌های نزدیک به جواب بهینه استفاده کردند [۱۱]. بزرگی و همکارانش یک مدل احتمالی استوار چندهدفه برای لجستیک در مواقع اضطرار ارائه کردند. عدم قطعیت در مدل آن‌ها شامل تقاضا، عرضه و هزینه‌های تدارکات و حمل‌ونقل می‌شد. توابع هدف مدل آن‌ها شامل کمینه کردن میانگین و واریانس هزینه‌ها و کمینه کردن بیشینه میزان کمبود بود. نهایتاً آن‌ها مدل خود را در یک مطالعه موردی در یک ناحیه ایران پیاده‌سازی کردند [۱۲].

تحقیقات در زمینه‌ی مکان‌یابی تسهیلات غیر قابل اطمینان توسط دنزر با معرفی احتمال برابری اختلال در تمام تسهیلات در مسئله p میانه معرفی شد [۱۳]. اشناپدر و داسکین مدل‌های مختلف قابلیت اطمینان را معرفی کردند؛ که در آن‌ها تسهیلات دارای اختلال تصادفی با احتمال برابر هستند [۱۴]. برمن و همکاران یک مدل دارای قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن احتمال خرابی متفاوت برای تسهیلات مختلف معرفی کردند [۱۵]. برمن و همکاران مکان‌یابی تسهیلات غیر قابل اطمینان را با فرض اینکه مشتریان اطلاعات ناقصی درباره مکان تسهیلات فعال دارند را مورد توجه قرار دادند [۱۶]. هوانگ و همکاران مدل مکان‌یابی تسهیلات توزیع امداد بعد از وقوع حادثه را معرفی کردند این تسهیلات امکان دارد که تخریب شوند و نتوانند خدمات مورد انتظار را ارائه دهند [۱۷]. لوسادا و همکاران مدلی را ارائه دادند که اجزای سیستم را در برابر بدترین آسیب‌های احتمالی محافظت می‌کند. همچنین زمان بازیابی و احتمال وقوع چند آسیب بر روی یک تسهیل در طول افق برنامه‌ریزی مورد توجه قرار گرفت [۱۸]. لیبراتور و همکاران مدل دیگری برای کاهش تأثیر بدترین آسیب‌های احتمالی تحت شرایطی که همبستگی اختلالات و انتشار آسیب‌ها منجر به تخریب جزئی و کامل تسهیلات می‌شود را ارائه دادند [۱۹]. پرورش و همکاران (۲۰۱۴) یک مدل مکان‌یابی قابل اطمینان برای طراحی شبکه‌های هاب تحت شرایط اختلال ارائه دادند. اهداف مدل شامل کاهش مجموع هزینه‌های حمل‌ونقل قبل از وقوع اختلال و در کاهش مجموع هزینه‌ها در بدترین شرایط پس از وقوع اختلال است [۱]. آن و همکاران (۲۰۱۴) یک مدل بهینه‌سازی استوار برای مسئله مکان‌یابی p میانه تحت شرایط اختلال در تسهیلات با در نظر گرفتن وجود عدم قطعیت در میزان تقاضا و ظرفیت تسهیلات ارائه کردند [۲۰].

عدم قطعیت تنها چیزی نیست که واقعیت و تئوری را از هم جدا می‌کند، بلکه پویایی سیستم-های واقعی هم یکی از این موارد است. اگرچه این رویکرد حل مسائل را بسیار پیچیده می‌کند. در مسائل پویا، در دوره‌های مختلف، مقدار پارامترهای مسئله متفاوت خواهند بود. اما در یک دوره خاص این پارامترها مقادیر ثابتی خواهند داشت. شاو هوانگ یک مدل چند دوره‌ای برای مکان‌یابی-تخصیص سیستم‌های تأمین خون در مواقع اضطرار ارائه کردند و این مسئله با روش آزادسازی لاگرانژ حل کردند [۲]. جبارزاده و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی استوار را برای

طراحی شبکه‌های پویای خون تحت شرایط اضطرار و بحران ارائه دادند. در این مدل وجود عدم قطعیت در میزان تقاضای خون موردبررسی قرار گرفت. آن‌ها مدل خود را با در نظر گرفتن وقوع زلزله‌های بالقوه در شهر تهران پیاده‌سازی کردند و ۱۸ حالت مختلف را برای تقاضای خون در اثر وقوع زلزله در نظر گرفتند [۲۱].

در مقاله حاضر یک مدل چند دوره‌ای دو هدفه برای مکان‌یابی تسهیلات اضطراری خون که در آن تسهیلات مختلف در ابتدای هر دوره جابه‌جا می‌شوند، ارائه شده است که هدف آن‌ها کمینه کردن کمبود خون و هزینه‌ها در شرایط اضطراری بعد از وقوع حادثه است. همچنین فرض وقوع اختلال در تسهیلات در اثر حادثه را در مدل لحاظ شده است، که محدودیت‌هایی نظیر عدم جابه‌جایی تسهیلات در صورت اختلال، تخصیص مکان‌های اهداکننده خون به دیگر تسهیلات جمع‌آوری خون در صورت وقوع اختلال در تسهیلات، عدم تخصیص مکان‌های اهداکننده خون به تسهیلات دارای اختلال، عدم انتقال خون از تسهیل موقتی که دچار اختلال شده به مراکز خون، به عنوان محدودیت‌های مدل پیشنهادی در نظر گرفته شده است. همان‌طور که از پژوهش‌های فوق برمی‌آید بحث قابلیت اطمینان در طراحی شبکه‌های اضطراری خصوصاً در مورد عرضه و تأمین خون بسیار کم به‌کاررفته است، عدم توجه به این مسئله باعث عدم تأمین به‌موقع خون در سیستم عرضه خون می‌شود درحالی‌که تأمین به‌موقع در شبکه‌های اضطراری تأمین خون از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مدل ارائه‌شده مقاله حاضر علاوه بر کمینه کردن عدم پاسخ‌گویی و مسئله کمبود خون و کمینه کردن هزینه‌ها در شرایط اضطراری مسئله قابلیت اطمینان تسهیلات جمع‌آوری خون را نیز مور توجه قرار داده است.

۳- تشریح مسئله

۳-۱- فرضیات مدل

برای تشریح مدل ارائه‌شده، شبکه‌ای در نظر گرفته می‌شود. این شبکه شامل سه نوع گروه می‌باشد. اول، گروه‌های اهداکننده خون هستند. دوم، مکان‌های بالقوه برای استقرار تسهیلات موقت جمع‌آوری خون و سوم، مراکز خون برای جمع‌آوری، فراوری، آزمایش و ذخیره خون چه از تسهیلات ثابت و چه مستقیماً از سوی اهداکنندگان هستند. در این مسئله امکان وقوع آسیب و اختلال در تسهیلات موقت در نظر گرفته‌شده، که در سایر مدل‌های ارائه‌شده درزمینه‌ی مکان‌یابی تسهیلات جمع‌آوری خون این فرض در نظر گرفته نشده است. در این مسئله تعدادی از تسهیلات دارای قابلیت اطمینان هستند و در اثر وقوع حادثه این تسهیلات دچار اختلال نمی‌شوند. بنابراین حداکثر تعداد مشخصی از تسهیلات در اثر وقوع حادثه می‌توانند دچار اختلال می‌شوند. ما در این مسئله دنبال کاهش حداکثر زیان ناشی از حادثه

هستیم. بنابراین می‌بایست بدترین حالت وقوع اختلالات در تسهیلات را در نظر بگیریم. از آنجایی که سیستم ما چند دوره‌ای می‌باشد، بنابراین بدترین حالت خرابی وقوع حادثه در دوره یک و ایجاد اختلال در تمامی تسهیلاتی است که دارای قابلیت اطمینان نیستند که در آن بیشترین زیان به سیستم وارد می‌شود. بنابراین فرض می‌کنیم که خرابی تسهیلات در دوره اول رخ می‌دهد و در اثر وقوع حادثه به‌طور هم‌زمان حداکثر تسهیلات آسیب می‌بینند و دچار اختلال می‌شود.

از آنجایی که تسهیلات دچار اختلال می‌شوند، می‌بایست محدودیت‌هایی نظیر عدم تخصیص اهداکنندگان به تسهیلات دارای اختلال، عدم جابجایی تسهیلات دارای اختلال در ابتدای هر دوره، عدم انتقال خون از این تسهیلات به مراکز خون، تخصیص اهداکنندگان به سایر تسهیلات در صورت وقوع اختلال در تسهیلات و عدم پوشش نقاط اهداکننده توسط تسهیلات دارای اختلال نیز در مدل‌سازی مسئله لحاظ شود.

فرضیات مسئله به‌صورت زیر است:

۱. هر منطقه به‌عنوان یک گروه اهداکننده در نظر گرفته شده‌اند.
۲. گروه‌های اهداکننده می‌توانند به دو صورت خون اهدا کنند، یا به نزدیک‌ترین تسهیلات موقت جمع‌آوری خون یا به‌طور مستقیم به نزدیک‌ترین مرکز خون مراجعه کنند.
۳. خون‌های جمع‌آوری شده در هر یک از تسهیلات موقت نیز بایستی برای آزمایش‌های سلامت خون به مراکز خون انتقال یابند.
۴. تسهیلات موقت جمع‌آوری خون برای حداکثر پوشش اهداکنندگان در دوره‌های مختلف می‌توانند جابجا شوند، اما آن‌ها در ابتدای هر دوره ثابت هستند.
۵. برای حرکت آن‌ها تعدادی مکان ممکن در نظر گرفته شده‌اند.
۶. افق زمانی برای برنامه‌ریزی چند دوره‌ای می‌باشد. هر دوره، تنها زمان جمع‌آوری خون را شامل می‌شود.
۷. تسهیلات موقت می‌توانند در ابتدای دوره صفر در هر مکانی قرار بگیرند.
۸. اختلالات در تسهیلات مستقل از هم هستند.
۹. تسهیلی که دچار اختلال شده جابه‌جا نمی‌شود.

۳-۲- مجموعه‌ها، شناساگرها، پارامترها و متغیرها

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

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

$n \in N$ مجموعه مراکز خون و اندیس

شناساگرها

i گروه‌های اهداکننده

j مکان‌های بالقوه برای استقرار تسهیلات موقت جمع‌آوری خون

n مراکز خون

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 $r_{i,j} \leq r$ 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 $s_{i,n} \leq s$ باشد آنگاه i با n می‌تواند پوشش داده می‌شود.

$C_{j,n}$ هزینه انتقال هر واحد 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 .

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

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

C هزینه کمبود هر واحد خون.

P تعداد تسهیلات موقت جمع‌آوری خون.

d_o ظرفیت هر یک از تسهیلات موقت جمع‌آوری خون (واحد خون).

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

d_i حجم اهدای خون گروه اهداکننده i (واحد خون).

k حداکثر تسهیلات موقتی که می‌توانند دچار اختلال شوند.

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

متغیرها

y'_{j_1, j_2} اگر یک تسهیل موقت در دوره $t-1$ در مکان j_1 و در دوره t به مکان j_2 انتقال یابد،

یک و در غیر این صورت صفر.

$x_{i,j}^t$ اگر ناحیه اهداکننده i در دوره t به مکان ممکن تسهیل جمع‌آوری خون j اختصاص یابد یک در غیر این صورت صفر.

$z_{i,n}^t$ اگر ناحیه اهداکننده i در دوره t به مرکز خون n اختصاص یابد ۱ در غیر این صورت صفر.

$d_{i,j}^t$ تعداد واحد خونی که گروه اهداکننده i در دوره یک قبل از وقوع اختلال در تسهیلات به تسهیل مستقر در ناحیه j اهدا می‌کنند.

$Q_{j,n}^t$ تعداد واحد خونی که در دوره t از تسهیل موقت ناحیه j به مرکز خون n ارسال می‌کند.

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

s_j^1 اگر تسهیل موقت ناحیه i در دوره یک دچار اختلال شود یک در غیر این صورت صفر

I_n^t میزان موجودی خون در انتهای دوره t .

b_n^t میزان کمبود خون در انتهای دوره t .

F_{ij} مجموعه نقاطی شامل مکان تسهیلات موقت j که هزینه حمل بیشتری نسبت به ناحیه j

دارد یعنی $C_{ij} > C_{ij}$

H_{in} مجموعه‌ای شامل مکان مراکز خون که هزینه حمل بیشتری نسبت به ناحیه j دارد یعنی

$C_{ih} > C_{ij}$

۳-۳-مدل ریاضی

با توجه به تعاریف بالا مدل چندهدفه مسئله به صورت زیر است :

$$\min Z_1 = \sum_{t=1}^T \max_n b_n^t \quad (1)$$

$$\min Z_2 = \sum_{t=1}^T \left(\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_{i,j} d_{i,j}^t + \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N C_{i,n} T_{i,n}^t \right) \quad (2)$$

$$+ \sum_{t=1}^T \left(\sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N C_{j,n} Q_{j,n}^t + \sum_{j_1=1}^J \sum_{j_2=1}^J C_{j_1,j_2} y_{j_1,j_2}^t + C \sum_{n=1}^N b_n^t \right)$$

$$\sum_{j_1=1}^J y_{j_1,j_2} \leq 1, \quad ; \forall j_2, t \quad (3)$$

$$\sum_{j_2=1}^J y_{j_1,j_2}^t \leq \sum_{j_1=1}^J y_{j_1,j_2}^{t-1} \quad ; \forall j_1 \in J, t \quad (4)$$

$$\sum_{j_1=1}^J \sum_{j_t=1}^J y^t_{j_1, j_t} = p \quad ; t=1 \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^J s_j = k \quad ; t=1 \quad (6)$$

$$\sum_{j_1=1}^J \sum_{j_t=1}^J y^t_{j_1, j_t} = p - k \quad ; \forall t \geq 2 \quad (7)$$

$$\sum_{j_1=1}^J \sum_{j_2=1}^J y^t_{j_1, j_2} \leq (1 - s_j) \quad ; \forall j, t \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^I d^t_{i,j} \leq \sum_{j_1=1}^J y^t_{j_1, j} d_0 \quad (9)$$

$$d^t_{i,j} \leq (1 - s_j) * M \quad ; \forall i, j, t=1 \quad (10)$$

$$x^t_{i,j} * r_{i,j} \leq r \quad ; \forall i \in I, j \in J \quad (11)$$

$$z^t_{i,n} * s_{i,j} \leq s \quad ; \forall i \in I, n \in N, t \quad (12)$$

$$x^t_{i,j} \leq (1 - s_j) \quad ; \forall i \in I, j \in J, t=1 \quad (13)$$

$$d^t_{i,j} \leq x^t_{i,j} * M \quad ; \forall i \in I, j \in J, t \quad (14)$$

$$T^t_{i,n} \leq z^t_{i,n} * M \quad ; \forall i \in I, n \in N, t \quad (15)$$

$$Q^t_{j,n} \leq (1 - s_j) \quad ; \forall j \in J, n \in N, t=1 \quad (16)$$

$$\sum_{n=1}^N Q^t_{j,n} \leq \sum_{i=1}^I d^t_{i,j} \quad ; \forall j \in J, n \in N, t \quad (17)$$

$$\sum_{t=1}^T [\sum_{j=1}^J d^t_{i,j} + \sum_{n=1}^N T^t_{i,n}] \leq d_i \quad ; \forall i \quad (18)$$

$$\left[\sum_{i=1}^I T^t_{i,n} + \sum_{n=1}^N T^t_{i,n} \right] + I_n^{t-1} - D_n^t = I_n^t - b_n^t \quad ; \forall n, t \quad (19)$$

$$I_n^t \leq V_n \quad ; \forall n, t \quad (20)$$

$$\sum_{h \in T_{i,j}} x_{i,h} + \sum_{k \in T_{i,j}} z_{i,k} \leq s_j \quad (21)$$

$$x^t_{i,j}, z^t_{i,n}, s_j, y^t_{i,j} = \{0, 1\} \quad (22)$$

$$d^t_{i,j}, s^t_{i,n}, Q^t_{j,n}, T^t_{i,n}, I_n^t, b_n^t, D_n^t, c_{i,j}, c_{i,n}, c_{j,n}, c, p, d_0 \geq 0, \text{int} \quad (23)$$

تابع هدف (۱)، بیشینه کمبود خون در نقاط تقاضا در بدترین حالت وقوع اختلالات را کمینه می‌کند. تابع هدف (۲)، هزینه‌های حمل‌ونقل 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 در بدترین حالت وقوع اختلالات در تسهیلات کمینه می‌کند. محدودیت (۳)، تضمین می‌کند که در هر دوره حداکثر یک تسهیل موقت به مکان j 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 در ابتدای دوره یک، p تسهیل در مکان‌های بالقوه برای تسهیلات موقت قرار می‌گیرند. محدودیت (۶)، نشان می‌دهد که تعداد خرابی‌ها در دوره یک برابر k است. محدودیت (۷)، تضمین می‌کند که بعد از تخریب k تا از تسهیلات در دوره یک از دوره دو به بعد تعداد $p-k$ تسهیل موقت می‌تواند جابه‌جا شود. محدودیت (۸)، تضمین می‌کند که در صورت خرابی تسهیل موقت ناحیه j در دوره یک آن تسهیل در ابتدای دوره دو جابه‌جا نمی‌شود. محدودیت (۹)، اولاً تضمین می‌کند که در دوره t اهداکنندگان تنها به مکان‌هایی خون اهدا می‌کنند که در آن‌ها تسهیل موقت وجود داشته باشد، دوماً محدودیت ظرفیت برای هر یک از تسهیلات موقت جمع‌آوری خون می‌باشد. محدودیت (۱۰)، تضمین می‌کند که در دوره یک، ناحیه اهداکننده i در صورتی به تسهیل موقت در ناحیه j خون اهدا می‌کند که آن تسهیل دچار اختلال نشده باشد. محدودیت (۱۱)، تضمین می‌کند که فاصله گروه‌های اهداکننده از تسهیل موقت جمع‌آوری خون موردنظر باید از شعاع پوشش آن کمتر باشد. محدودیت (۱۲)، نشان می‌دهد، اگر اهداکننده‌ای بخواهد برای اهدای خون مستقیماً به یک مرکز خون مراجعه کند، فاصله او با آن مرکز باید از شعاع پوشش آن مرکز برای اهداکنندگان کمتر باشد. محدودیت (۱۳)، تضمین می‌کند که در دوره یک گروه‌های اهداکننده به تسهیلات سالم اختصاص می‌یابند. محدودیت (۱۴) 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 (۱۵) نشان می‌دهد تنها در صورتی خونی از گروه اهداکننده i به مرکز خون n اهدا خواهد شد که گروه اهداکننده i به مرکز خون n تخصیص یافته باشد. محدودیت (۱۶)، نشان می‌دهد که در دوره یک از تسهیلی که دچار اختلال شده است به مراکز خون، خون فرستاده نمی‌شود. محدودیت (۱۷)، تضمین می‌کند که مقدار واحد خون خروجی از تسهیل موقت j کمتر یا مساوی ورودی به آن تسهیل است. محدودیت (۱۸)، محدودیت ظرفیت اهدای خون هر یک از گروه‌های اهداکننده می‌باشد. محدودیت (۱۹)، تعادل بین موجودی خون و میزان اهدای خون و تقاضای خون در هر مرکز خون در هر دوره را نشان می‌دهد. محدودیت (۲۰)، محدودیت ظرفیت ذخیره خون در هر یک از مراکز خون را نشان می‌دهد. محدودیت (۲۱)، نشان می‌دهد که هنگامی که تسهیل موقت ناحیه j در دوره اول آسیب ببیند ناحیه i می‌تواند به تسهیل موقت که هزینه حمل بیشتری دارد یا مرکز خونی که هزینه حمل بیشتری دارد اختصاص می‌یابد اما تخصیص به تسهیلات

موقت خراب مجاز نیست. نهایتاً محدودیت (۲۲) و (۲۳) برای تعریف متغیرها و نا منفی بودن آنهاست. همان‌طور که از مدل ریاضی ارائه‌شده 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 ارائه‌شده را با تعریف یک متغیر جدید به نام m_i به صورت معادله (۲۴) بازنویسی می‌کنیم:

$$\min Z_1 = \sum_{i=1}^T m_i \quad (24)$$

علاوه بر تغییر معادله فوق، محدودیت‌های (۲۵) و (۲۶) به مدل ریاضی ارائه‌شده اضافه می‌شود:

$$m_i \geq b'_n \quad (25)$$

$$m_i \geq 0 \quad (26)$$

با توجه به تغییر تابع هدف اولیه معادله (۲۴) و اضافه شدن محدودیت‌های (۲۵) و (۲۶) که همه خطی هستند، مدل ریاضی ارائه‌شده به یک مدل خطی عدد صحیح تبدیل خواهد شد.

۴- روش حل پیشنهادی

روش محدودیت اِپسیلون یکی از رویکردهای شناخته‌شده برای مواجهه با مسائل چندهدفه است [۲۲ و ۲۳]. این روش با تبدیل تمامی توابع هدف به جز یکی از آنها به محدودیت به حل این نوع مسائل می‌پردازد (معادله ۲۸) [۲۳]. این روش تعداد دلخواهی نقطه پار تویی حاصل از موازنه توابع هدف را ارائه می‌دهد. گام‌های روش محدودیت اِپسیلون به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} \text{Min } f_1(t) \\ f_2(t) < \varepsilon \\ \dots \\ f_n(t) < \varepsilon \end{aligned} \quad (28)$$

۱- یکی از توابع هدف به عنوان تابع هدف اصلی انتخاب می‌شود. در این مسئله تابع هدف اول ($\text{Min } Z_1$) یعنی کمینه کردن مقدار کمبود خون به عنوان هدف اصلی انتخاب می‌شود.

۲- هر بار با توجه به یکی از توابع هدف، مسئله به صورت تک هدفه حل کنید، بهترین و بدترین مقادیر را برای هر کدام از توابع هدف به دست آورید. در این مسئله بهترین مقدار توابع هدف با حل مسئله به صورت کمینه‌سازی و بدترین مقدار تابع هدف با تبدیل مسئله کمینه‌سازی به مسئله بیشینه‌سازی به دست می‌آید.

۳- بازه بین دو مقدار بهینه (بهترین و بدترین مقدار تابع هدف) توابع هدف فرعی، به تعداد از قبل مشخص تقسیم‌بندی کنید و یک جدول مقادیر برای $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n$ مشخص شود. در اینجا برای بازه به‌دست‌آمده برای تابع هدف دوم این عمل را انجام می‌دهیم.

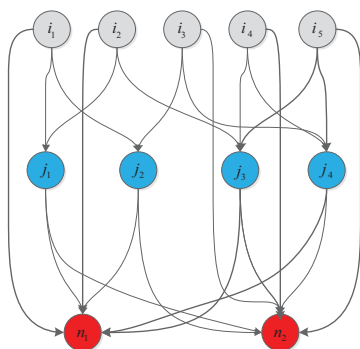
۴- هر بار مسئله با تابع هدف اصلی با هر یک از مقادیر $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n$ حل می‌شود. برای مسائل بیش از دو هدف بایستی برای هر کدام از توابع هدف فرعی مقادیر ε مشخص شود و مسئله با تمام حالات ممکن حل شود. در نهایت جواب‌های پارتویی یافته شده گزارش شود. مطابق با این مسئله تابع هدف اول (تابع هدف اصلی) به‌عنوان تابع هدف مسئله قرار داده می‌شود و تابع هدف دوم به‌صورت محدودیت زیر (معادله ۲۹) به محدودیت‌های مدل اضافه می‌شود. مسئله به ازای هر کدام از اپسیلون‌های به‌دست‌آمده (تمامی حالات ممکن) حل می‌شود و جواب‌های پارتو به‌دست‌آمده گزارش می‌شود.

$$\sum_{t=1}^T \left(\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_{i,j} d'_{i,j} + \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N C_{i,n} T'_{i,n} \right) + \sum_{t=1}^T \left(\sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N C_{j,n} Q'_{j,n} + \sum_{j_1=1}^J \sum_{j_2=1}^J C_{j_1,j_2} y'_{j_1,j_2} + C \sum_{n=1}^N b'_n \right) < \varepsilon \quad (29)$$

۵- نتایج محاسباتی

۵-۱- مثال عددی

در این بخش، مثال عددی جهت تصدیق مدل برنامه‌ریزی ریاضی پویای چندهدفه پیشنهادی و نشان دادن کارایی مدل در اجرای مطالعات موردی ارائه‌شده است. بر اساس آمار ارائه‌شده در مقاله ناگورنی و معصومی [۵] تعداد مراکز خون در کشورهای توسعه‌یافته از جمله آمریکا محدود بوده و در کل ایالات متحده آمریکا کم‌تر از ۱۰ مرکز خون وجود دارد. مثال حاضر شامل شبکه‌ای از ۵ گروه اهداکننده، ۴ مکان بالقوه برای استقرار تسهیلات موقت و افق زمانی ۲ دوره‌ای در نظر گرفته‌شده است. تعداد تسهیلات موقت ۳ عدد و ثابت می‌باشد. در این مثال حداکثر تسهیلات موقتی که می‌توانند دچار اختلال شوند ۱ می‌باشد. شکل (۲) شمایی از شبکه مثال عددی را نشان می‌دهد. ماتریس فاصله گروه‌های اهداکننده تا مکان‌های بالقوه، مرکز خون در جدول (۱) آمده است. علاوه بر این پارامترهای هزینه‌ای و فاصله‌ای مورد استفاده در حل مدل ارائه‌شده در جدول (۲) ارائه‌شده است.



شکل ۲: شمایی از شبکه مثال عددی.

جدول ۱: فاصله ۵ گروه اهداکننده از چهار مکان بالقوه

مکان مرکز خون		مکان تسهیلات موقت				اهداکننده
۲	۱	۴	۳	۲	۱	
۶۵۰۰	۳۲۰۰	۶۵۰۰	۴۲۴۰	۲۵۰۰	۱۸۰۰	۱
۴۷۰۰	۴۲۰۰	۴۵۰۰	۳۰۰۰	۲۰۰۰	۴۶۱۰	۲
۶۵۰۰	۵۸۰۰	۱۵۰۰	۴۲۴۲	۷۷۶۰	۷۵۶۵	۳
۱۵۰۰	۵۰۰۰	۶۳۳۵	۱۸۰۰	۳۰۰۰	۴۲۴۰	۴
۴۳۸۰	۳۸۰۰	۳۶۰۵	۱۸۰۰	۳۹۰۰	۶۷۱۰	۵

جدول ۲: پارامترهای مورد استفاده در مثال عددی ارائه شده

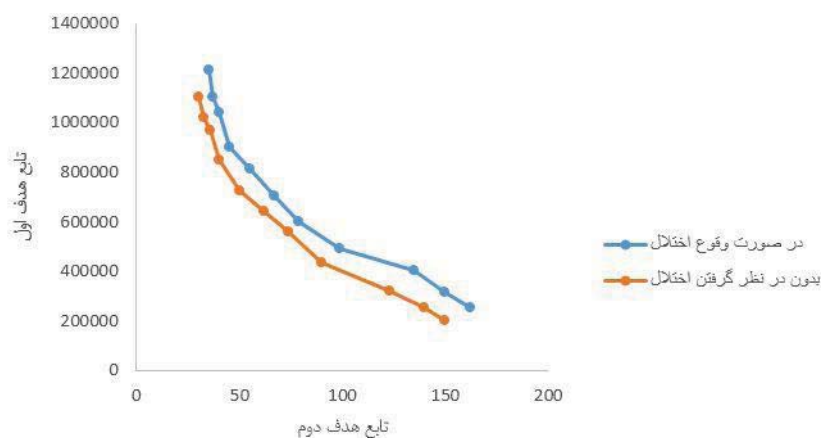
مقدار	پارامتر
۱۰	هزینه اهدای هر واحد خون بین نقاط اهدا و تسهیلات موقت
۵	هزینه انتقال خون بین تسهیلات جمع‌آوری خون و مراکز خون
۲۰	هزینه اهدای خون مستقیماً به مراکز خون
۲	هزینه نگهداری موجودی خون در مراکز خون
۲۵	ظرفیت هر یک از تسهیلات جمع‌آوری خون
۷۰	ظرفیت هر یک از مراکز خون
۴۰۰۰	شعاع پوشش تسهیلات جمع‌آوری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

مدل ارائه شده با استفاده از روش محدودیت اپسیلون و بر مبنای اطلاعات مثال عددی اجرا شد. همان‌طور که در بخش ۳ بیان شد با حل مدل با استفاده از روش محدودیت اپسیلون تعدادی

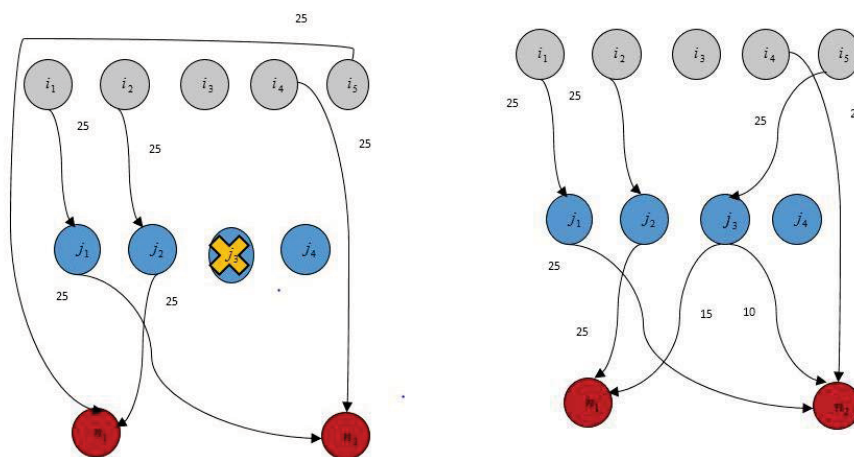
نقاط پارتویی تولید می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده از اجرای مدل برای ۱۱ نقطه پارتویی با استفاده از CPLEX Solver در نرم‌افزار GAMS 22.2، در جدول (۳) آمده است در این جدول همچنین نتایج که نشان‌دهنده نقاط غیر مغلوب مسئله یا نقاط پار تویی می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۳) دیده می‌شود، نقاط پار تویی تعارض بین دو تابع هدف را به‌خوبی نشان می‌دهد که با بهبود یک تابع هدف، هدف دیگر از بهینگی فاصله می‌گیرد. به عبارتی جواب پارتو ۱ بهترین جواب تابع هدف اول و بدترین جواب تابع هدف دوم و همچنین جواب ۱۱ بهترین جواب برای تابع هدف دوم و بدترین جواب برای تابع هدف اول می‌باشد. در این جدول همچنین نتایج حاصل از اجرای مدل بدون در نظر گرفتن فرض اختلال در تسهیلات را نیز نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان هزینه‌ها و کمبود در صورت وقوع اختلال نسبت به حالت وقوع اختلال در تسهیلات بیشتر می‌باشد. در نتیجه نتایج حاصل از اجرای مدل بیانگر منطبق بودن مدل با واقعیت می‌باشد. مقادیر متغیرهای مدل ارائه‌شده در دوره زمانی اول و برای نقطه پار تویی شماره ۸ در شکل (۴) به‌عنوان مثال به‌صورت شماتیک نشان داده‌شده 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. علامت (X) بر روی مکان استقرار تسهیلات بیانگر این است که تسهیل موقت در دوره اول در مکان سوم قرار گرفته و این تسهیل دچار اختلال می‌شود.

جدول ۳: جواب‌های پارتویی حاصل از اجرای روش محدودیت اِپسیلون

نقطه پار تویی	بدون در نظر گرفتن فرض اختلال		با در نظر گرفتن فرض اختلال	
	تابع هدف اول	تابع هدف دوم	تابع هدف اول	تابع هدف دوم
۱	۳۰	۱۱۱۲۵۴۶	۳۵	۱۲۱۲۵۶۷
۲	۳۵	۱۰۲۶۵۴۱	۳۷	۱۱۰۲۳۱۲
۳	۳۸	۱۰۰۱۶۲۱	۴۰	۱۰۴۳۶۱۳
۴	۴۲	۸۹۱۵۳۹	۴۵	۹۰۲۱۶۳
۵	۵۱	۸۰۲۵۸۴	۵۵	۸۱۲۳۶۵
۶	۶۲	۶۹۱۳۵۴	۶۷	۷۰۲۱۵۸
۷	۷۵	۶۰۱۲۳۱	۷۹	۶۰۲۴۵۷
۸	۹۳	۴۷۲۵۶۱	۹۹	۴۹۱۲۶۱
۹	۱۲۳	۳۸۲۱۴۲	۱۳۵	۴۰۱۱۲۳
۱۰	۱۴۵	۳۰۲۴۱۲	۱۵۰	۳۱۲۵۶۴
۱۱	۱۵۸	۲۲۰۳۵۲	۱۶۲	۲۵۰۲۲۳



شکل ۳: تقابل بین دو تابع هدف



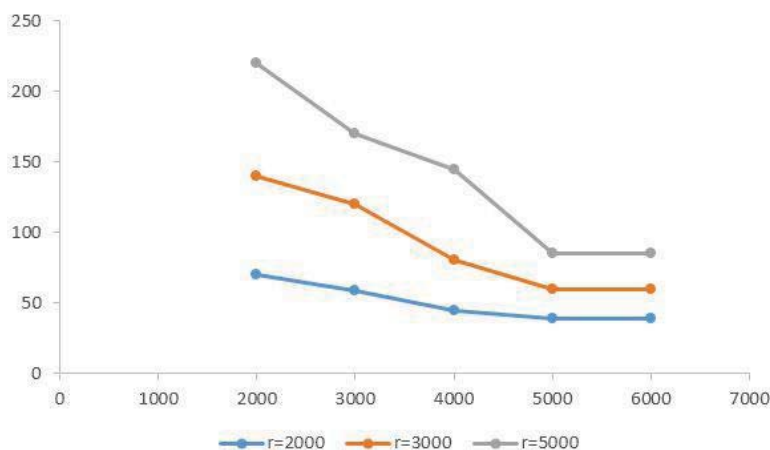
شکل ۵: مقادیر متغیرهای مدل ارائه شده در دوره زمانی اول حاصل از بهینه‌سازی جواب شماره ۸
 شکل ۴: مقادیر متغیرهای مدل ارائه شده در دوره زمانی اول حاصل از بهینه‌سازی از جواب شماره ۸

شکل (۵) مقادیر متغیرها برای جواب پارتوی ۸ در دوره اول حاصل از اجرای مدل بدون در نظر گرفتن فرض وقوع اختلال در تسهیلات به عنوان نمونه نشان می‌دهد. همان‌طور که از مقایسه دو شکل ۴ و ۵ برمی‌آید در صورت وقوع اختلال در تسهیلات ناحیه سوم مکان اهدا کنند ۵ به مرکز خون یک تخصیص می‌یابد که در فاصله دورتری نسبت به مکان سوم است اختصاص می‌یابد در نتیجه منجر به افزایش هزینه‌های سیستم می‌گردد. ارائه نقاط پارتوی و عدم ارائه یک جواب واحد برای مدل، در تصمیم‌گیری بهتر مدیران سازمان‌های متصدی امور تأمین خون

تأثیرگذار بوده و مدیران می‌توانند با توجه به شرایط به وجود آمده، چه در زمان‌های عادی و چه در مواقع اضطرار، هر یک از جواب‌های ارائه‌شده را برای تصمیم‌گیری انتخاب کنند.

۵-۲- تحلیل حساسیت

هدف از تحلیل حساسیت تعیین چگونگی تأثیرپذیری نتایج حاصل از تغییرات در ورودی‌های (پارامترها) مدل است. این تحلیل موجب می‌شود که نسبت به استحکام مدل پیشنهادی اطمینان حاصل شود. مدل ریاضی پیشنهادی شامل تعدادی پارامترهای ورودی است که در اثر تغییرات در شرایط محیطی تغییر می‌کنند و این تغییرات موجب تغییر نتایج خاص از مدل می‌شود. یکی از پارامترهای ورودی مدل شعاع پوشش تسهیلات جمع‌آوری خون (r) است که بر روی تخصیص اهداکنندگان به تسهیلات موقت جمع‌آوری خون تأثیرگذار می‌باشد. همچنین تغییرات در شعاع پوشش مراکز خون (s) بر روی تخصیص مستقیم اهداکنندگان تأثیرگذار می‌باشد. به دلیل اینکه شعاع پوشش تسهیلات موقت و مراکز خون، هم‌زمان بر مقادیر تابع هدف اول مؤثرند، لذا تحلیل حساسیت روی مقادیر مختلف r و s به صورت زیر در شکل (۶) به ازای مقادیر ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۵۰۰۰ شعاع پوشش تسهیلات موقت روی مقدار تابع هدف اول نشان داده شده است.

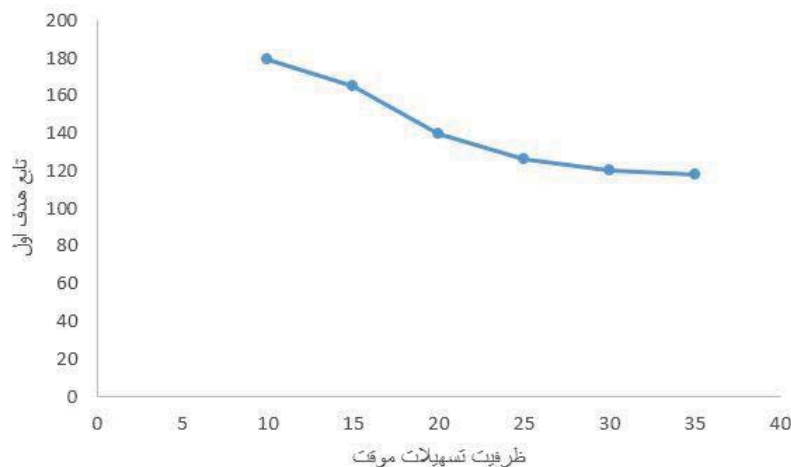


شکل ۶: تحلیل حساسیت تابع هدف اول نسبت به شعاع پوشش مراکز خون در سطح

$$r = 5000 \text{ و } r = 3000, r = 2000$$

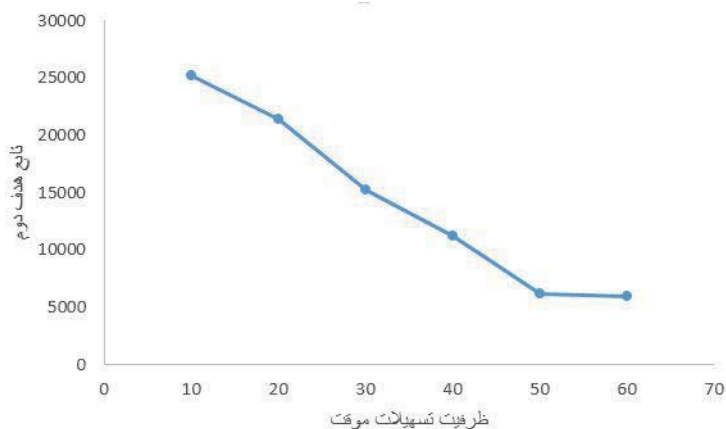
با توجه به شکل (۶) با افزایش شعاع پوشش مراکز خون با افزایش شعاع پوشش تسهیلات موقت، مقدار تابع هدف اول یا بیشترین مقدار کمبود خون کاهش می‌یابد که با توجه به اینکه

با افزایش شعاع پوشش اهداکننده‌های بیشتری و مقادیر خون بیشتری می‌توانند اهدا کنند، باعث کاهش بیشترین مقدار کمبود می‌شود. شکل‌های (۷) و (۸) به ترتیب حساسیت مقادیر تابع هدف اول و دوم نسبت به تغییرات ظرفیت تسهیلات موقت را نشان می‌دهد. عموماً تسهیلات موقت به صورت وسایل نقلیه مخصوص جمع‌آوری خون بوده و امکان افزایش ظرفیت آن‌ها وجود دارد. با توجه به دو نمودار، با افزایش ظرفیت تسهیلات موقت هم بیشترین مقدار کمبود و هم مجموع هزینه‌ها کاهش می‌یابند. با افزایش ظرفیت، اهداکنندگان مقدار خون بیشتری به تسهیل اختصاص یافته، اهدا می‌کنند. لذا مقدار کمبود کمتر، هزینه‌های کمبود کمتر شده و هزینه‌های اهدا و انتقال خون به تسهیلات موقت افزایش می‌یابد ولی با توجه به ضریب خیلی بزرگ‌تر هزینه‌های کمبود در مجموع تابع هدف دوم کاهش را نشان می‌دهد. در نتیجه مدیران می‌توانند در صورت نیاز برای کاهش کمبود خون ظرفیت تسهیلات جمع‌آوری خون را افزایش دهند.

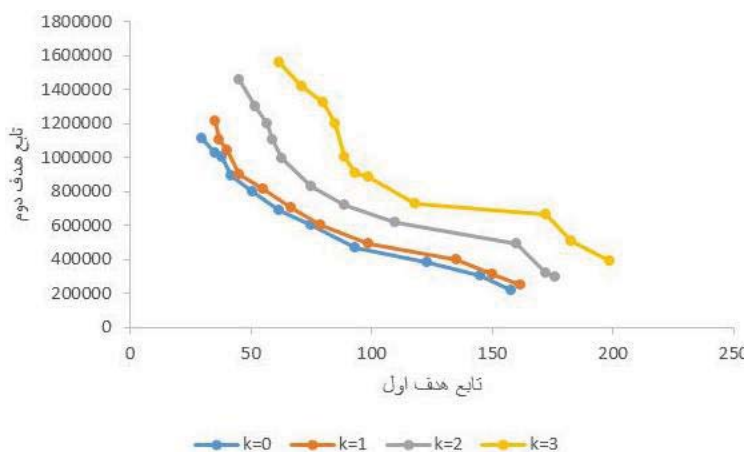


شکل ۷: تحلیل حساسیت تابع هدف اول نسبت به ظرفیت تسهیلات موقت.

یکی از مهم‌ترین پارامترهای مورد استفاده در مدل حداکثر تعداد تسهیلاتی است می‌تواند دچار اختلال شوند. این پارامتر در اثر تغییرات وضعیت امنیتی تسهیلات می‌تواند دچار تغییر شود. یعنی در اثر بهبود وضعیت امنیتی تعداد تسهیلاتی که دارای قابلیت اطمینان هستند بیشتر می‌شوند و بالعکس. شکل (۹) میزان حساسیت توابع هدف در اثر تغییر تعداد حداکثر تسهیلاتی که می‌توانند دچار اختلال شوند را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش تعداد تسهیلات غیرقابل اطمینان میزان کمبود خون و مجموع هزینه‌ها افزایش می‌یابد.



شکل ۸: تحلیل حساسیت تابع هدف دوم نسبت به ظرفیت تسهیلات موقت



شکل ۹: تحلیل حساسیت توابع هدف در اثر تغییر در تعداد تسهیلات غیر قابل اطمینان

از جمله مهم‌ترین و تأثیرگذارترین پارامترهای استفاده‌شده در مدل میزان عرضه خون یا به عبارتی میزان خون که در دوره‌های مختلف توسط اهداکنندگان به تسهیلات جمع‌آوری خون و مراکز خون، همچنین تقاضای خون که در اینجا به معنی میزان نیاز خون بیماران و آسیب دیدگان حوادث اضطراری می‌باشد. در اثر وقوع حوادث غیرمترقبه میزان تقاضای خون در یک دوره خاص مربوط به برخی از مرکز خون افزایش می‌یابد.

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

مراکز خون	تقاضای دوره		تابع هدف اول	شماره آزمایش
	۱	۲		
۱	۸۰	۹۰	۹۹	۱
۲	۷۰	۸۰		
	تقاضای دوره			
	۱	۲		
۱	۱۵۰	۹۰	۱۲۱	۲
۲	۱۵۰	۸۰		
	تقاضای دوره			
	۱	۲		
۱	۸۰	۱	۱۴۱	۳
۲	۷۰	۱۵۰		

جدول (۴) میزان حساسیت تابع هدف اول در اثر افزایش تقاضای برخی از مراکز خون و در برخی از دوره‌های زمانی نشان می‌دهد. این جدول میزان تقاضا را در سه آزمایش متفاوت نشان می‌دهد. افزایش تقاضای خون در آزمایش دوم و سوم ایجاد شده است. علاوه بر این باید توجه داشت که در مدل پیشنهادی میزان تقاضای خون در دوره‌های مختلف متفاوت است. همان‌طور که از این جدول برمی‌آید با افزایش تقاضای خون میزان تابع هدف اول افزایش می‌یابد. این تحلیل میزان عدم قطعیت تقاضای خون را بررسی می‌کند و به مدیران در تصمیم‌گیری در مورد نوسانات تقاضای خون کمک می‌کند. از آنجایی تصمیمات افراد در میزان اهدای خون تأثیرگذار می‌باشد. بنابراین این پارامتر ورودی مدل دارای عدم قطعیت می‌باشد. مدیران می‌بایست با در نظر گرفتن مقادیر مختلف اهدای خون تصمیم‌گیری مناسبی را در مورد سیستم عرضه و تأمین خون انجام دهند. 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. میزان تغییرات در اهدای خون در آزمایش دوم و سوم نشان داده شده است. همان‌طور که از این جدول برمی‌آید با کاهش اهدای خون میزان کمبود خون افزایش می‌یابد.

جدول ۵: تغییرات تابع هدف اول نسبت به تغییر در میزان حداکثر اهدای خون در برخی دوره‌های زمانی

شماره آزمایش	تابع هدف اول	حداکثر اهدای خون در دوره		اهداکننده
		۱	۲	
		۱	۲	
۱		۵۰	۴۰	
۲		۶۰	۷۰	
۳	۹۹	۷۰	۵۰	۱
۴		۸۰	۳۰	
۵		۹۰	۴۰	
		حداکثر اهدای خون در دوره		
		۱	۲	
۱		۵۰	۴۰	
۲	۱۰۶	۴۰	۴۰	۲
۳		۰	۰	
۴		۶۰	۳۰	
۵		۸۰	۴۰	
		حداکثر اهدای خون در دوره		
		۱	۲	
۱		۴۰	۴۰	
۲		۰	۰	۳
۳	۱۱۷	۵۰	۵۰	
۴		۰	۰	
۵		۴۰	۴۰	

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها تحقیقات آتی

مدل ارائه‌شده در مقاله حاضر یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط جهت مکان‌یابی تسهیلات موقت جمع‌آوری خون و تخصیص نقاط اهدای خون به این تسهیلات می‌باشد در این مقاله امکان وقوع اختلال در تسهیلات در نظر گرفته شد. درحالی‌که عدم توجه به این مسئله باعث عدم تأمین به‌موقع خون در سیستم عرضه خون می‌شود. همچنین مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح دو هدفه ارائه‌شده با روش محدودیت افسیلون جهت ایجاد جواب‌های پاراتوپی حل شد. نتایج حاصل از این روش، نشان از تقابل دو تابع هدف ارائه‌شده دارد. یعنی در صورتی که مجموع مقدار هزینه‌های انتقال و جابجایی کمینه شود، بیشینه مقدار کمبود خون نمی‌تواند کمینه

شود. همچنین بررسی نتایج نشان می‌دهد که در صورت وقوع اختلال در تسهیلات میزان مجموع هزینه‌های سیستم و بیشترین مقدار کمبود خون افزایش می‌یابد. سپس با انجام تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای تأثیرگذار بر مدل اعتبار مدل پیشنهادی تأیید شد. تحلیل حساسیت انجام شده حاکی از کاهش بیشینه مقدار کمبود خون در مراکز خون با افزایش شعاع پوشش تسهیلات موقت و مراکز خون و افزایش ظرفیت تسهیلات موقت می‌باشد. علاوه بر این با افزایش حداکثر تسهیلات غیرقابل اطمینان مجموع هزینه‌ها و بیشترین مقدار کمبود خون افزایش می‌یابد. با افزایش تقاضای خون در دوره‌های مختلف تابع هدف اول یعنی بیشترین مقدار کمبود افزایش می‌یابد. همچنین با کاهش میزان عرضه خون توسط اهداکنندگان بیشترین مقدار کمبود خون افزایش می‌یابد. در نتیجه نتایج حاصل از اجرای مدل بیانگر منطبق بودن مدل با واقعیت می‌باشد. تحقیقات آتی می‌توان پیشنهادها زیر را ارائه نمود:

۱. در نظر گرفتن زمان ارسال به‌عنوان یکی از اهداف اصلی مسئله امداد رسانی؛
۲. اجرای مدل و روش حل پیشنهادی برای مسائل دنیای واقعی؛
۳. استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری یا فرا ابتکاری برای حل مسئله در ابعاد بزرگ.

مراجع

- [1] Parvaresh, F. Husseini, S. M. Golpayegany, S. H. & Karimi, B. (2014). Hub network design problem in the presence of disruptions, *Journal of Intelligent Manufacturing*, **25**, 755-774.
- [2] Sha, Y. and Huang, J. (2012). The multi-period location-allocation problem of engineering emergency blood supply systems, *Systems Engineering Procedia*, **5**, 21-28.
- [3] Sahin, G., Sural, H. and Meral, S. (2007). Locational analysis for regionalization of Turkish Red Crescent blood services, *Computers & Operations Research*, **34**, 692-704.
- [4] Cetin, E. and Sarul, L.S. (2009). A Blood Bank Location Model: A Multi-objective Approach, *European Journal of Pure and Applied Mathematics*, **2**, 112-124.
- [5] Nagurney, A. and Masoumi, A.H. (2012). *Supply Chain Network Design of a Sustainable Blood Banking System*, *Sustainable Supply Chains*. Springer New York, **174**, 49-72.
- [6] Arvan, M. Tavakkoli-Moghaddam, R. & Abdollahi, M. (2015). Designing a bi-objective and multi-product supply chain network for the supply of blood, *Uncertain Supply Chain Management*, **3**, 57-68.

- [7] Shariff, S.R., Moin, N.H. and Omar, M. (2012). Location allocation modeling for healthcare facility planning in Malaysia, *Computers & Industrial Engineering*, **62**, 1000-1010.
- [8] Araz, C., Selim, H. and Ozkarahan I. (2007). A fuzzy multi-objective covering-based vehicle location model for emergency services, *Computers & Operations Research*, **34**, 705-726.
- [9] Syam, S.S. and Cote, M. J. (2010). A location-allocation model for service providers with application to not-for-profit health care organizations, *Omega*, **38**, 157-166.
- [10] Doyen, A., Aras, N. and Barbarosoglu, G. (2012). A two-echelon stochastic facility location model for humanitarian relief logistics, *Optimization Letter*, **6**, 1123-1145.
- [11] Conbalat, M.S. and Massow, M.V. (2012). Locating emergency facilities with random demand for risk minimization, *Expert Systems with Applications*, **38**, 10099-10106.
- [12] Bozorgi-Amiri, A., Jabalameli, M.S. and Al-e-Hashem, S.M. (2013). A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty, *OR spectrum*, **35**, 905-933.
- [13] Drezner, Z. (1978). Heuristic solution methods for two location problems with unreliable facilities, *Journal of the Operational Research Society*, **38**, 509-514.
- [14] Snyder, L.V. and Daskin, M.S. (2005). Reliability models for facility location: The expected failure cost case, *Transportation Science*, **39**, 400-416.
- [15] Berman, O., Krass, D. and Menezes, M.B.C. (2007). Facility reliability issues in network p-median problems: Strategic centralization and co-location effects, *Operations Research*, **55**, 332-350.
- [16] Berman, O., Drezner, T., Drezner, Z. and Wesolowsky, G.O. (2009). A defensive maximal covering problem on a network, *International Transaction in Operational Research*, **16**, 69-86.
- [17] Hong, J., Xie, Y. and Jeong, K. (2012). Development and evaluation of an integrated emergency response facility location model, *Journal of Industrial Engineering and Management*, **5**, 4-21.

- [18] Losada, C., Scaparra, M.P. and O’Hanley, J.R. (2012). Optimizing system resilience: A facility protection model with recovery time, *European Journal of Operational Research*, **217**, 519–530.
- [19] Liberatore, F., Scaparra, M.P. and Daskin, M.S. (2012). Hedging against disruptions with ripple effects in location analysis, *Omega*, **40**, 21– 30.
- [20] An, Y., Zeng, B., Zhang, Y., and Zhao, L. (2014). Reliable p-median facility location problem: two-stage robust models and algorithms. *Transportation Research Part B: Methodological*, **64**, 54-72.
- [21] Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., and Seuring, S. (2014). Dynamic supply chain network design for the supply of blood in disasters: A robust model with real world application, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **70**, 225-244.
- [22] Romero, C., Tamiz, M. and Jones, D.F. (1998). Goal programming, compromise programming and reference point method formulations: linkages and utility interpretations, *Journal of Operational Research Society*, **49**, 986–991.
- [23] Ehrgott, M. and Gandibleux, X. (2002). Multi-objective combinatorial optimization theory, methodology and applications. *In multiple criteria optimization: State of the art annotated bibliographic surveys*, Kluwer Academic Publisher, Boston, MA, 369–444.

A Reliable Multi-Objective Location-Allocation Model for Blood Supply Systems under Disruptions

Nastaran Kazemi^{*}, Zahra Baderi^{**}, Ali Bozorgi Amiri^{***}

^{*}Department of Industrial Engineering, Mazandaran University of Science and Technology, Behshahr, Iran

^{**}Department of Mathematics, Mazandaran University of Science and Technology, Behshahr, Iran

^{***}School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

In time of natural and man-made disasters, the supplies of some commodities, which are directly related to human life, are very critical. In the real world, supply systems are exposed to various disruptions in their facilities, these disruptions can essentially affect systems performance and can lead to shortage in the supply, and importance of this subject is much more expressed in the blood supply case. In this paper, a multi-objective mathematical model is proposed for the collection of temporary blood facilities and allocation of blood donators to these places. The goals of the model are to minimize the maximum blood shortage in the blood bank and to minimize the total cost in the worst case scenario in disruptions. In order to demonstrate the applicability of the proposed model, the epsilon constraint method is solved and analyzed on numerical examples.

Keywords: Blood supply systems, Location-allocation, Multi-objective optimization, Reliability.

Mathematics Subject Classification (2010): 46N10, 90B50.