

ارائه مدلی برای طراحی زنجیره تأمین فراورده‌های خونی در زمان وقوع بحران زلزله با در نظر گرفتن انتقال از سایر استان‌ها (مطالعه موردی: شبکه انتقال خون تهران)

جمال نهفتی کهنه^۱، ابراهیم تیموری^۲

چکیده: از دیرباز تا کنون انسان‌ها در موارد مختلفی از قبیل خونریزی‌های شدید، پیوند اعضا و غیره، به فراورده‌های خونی نیاز داشته‌اند. یکی از موقعیت‌هایی که نیاز به فراورده‌های خونی به شدت افزایش می‌یابد و شبکه انتقال خون در تأمین آن دچار مشکل می‌شود، هنگام وقوع بحرانی مانند زلزله است. در این مقاله با طراحی زنجیره تأمین فراورده‌های خونی مطابق با دنیای واقعی، سعی بر پاسخگویی به نیاز متقاضیان این فراورده‌ها در زمان وقوع بحران زلزله شده و به دلیل ناتوانی شهر حادثه‌دیده در زمان وقوع این بحران در تأمین فراورده‌های خونی مورد نیاز خود، بحث انتقال این فراورده‌ها از مراکز استان‌های مجاور مطرح شده است. این مسئله به صورت دوهدفه تحت عدم قطعیت فازی مدل‌سازی شده و از روش محدودیت افسیلون اصلاحی برای حل آن استفاده شده است. مطالعه موردی در خصوص وقوع بحران زلزله در شهر تهران با استفاده از اطلاعات شبکه انتقال خون این شهر بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد با در نظر گرفتن امکان انتقال فراورده‌های خونی از سایر استان‌ها، می‌توان به تصمیم‌گیرندگان امر شبکه انتقال خون برای افزایش خدمت‌رسانی به متقاضیان در زمان زلزله کمک شایانی کرد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی ریاضی فازی، بحران زلزله، روش محدودیت افسیلون اصلاحی، زنجیره تأمین فراورده‌های خونی، شبکه انتقال خون تهران.

۱. کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۲. دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۹/۱۷

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۰۹

نویسنده مسئول مقاله: ابراهیم تیموری

E-mail: teimoury@iust.ac.ir

مقدمه

انسان‌ها از آغاز آفرینش تاکنون همواره با انواع آسیب‌ها و بلاهای طبیعی مواجه بوده‌اند، به همین دلیل آسیب‌های جانی و مالی فراوانی به آنها وارد شده است، به طوری که هر سال حدود ۲۰۰ میلیون نفر درگیر بحران‌ها و حوادث طبیعی شده و صدها نفر از بین می‌روند. در این رابطه، به طور متوسط سالانه به ۳ درصد از تولید ناخالص داخلی کشورهای حادثه‌خیز، خسارت وارد می‌شود (گرین، مودی، لونی و توماس، ۲۰۰۳). خون سالم، نجات‌دهنده زندگی است. همه روزه، در سراسر جهان بسیاری از افراد به خون و فرآورده‌های خونی نیاز پیدا می‌کنند، به طوری که از هر سه نفر، یک نفر در طول زندگی احتیاج به تزریق خون و فرآورده‌های خونی دارد (سازمان انتقال خون ایران، ۱۳۹۴).

تأمین خون سالم و کافی مورد نیاز مناطق و مدیریت آن در وضعیت عادی و بحرانی، چالشی است که سیستم سلامت دولت‌ها همواره با آن مواجه است. نیاز به اهداکنندگان خون و فرآورده‌های آن همیشه وجود دارد، در حالی که عرضه آن از سوی اهداکنندگان تا حدی نامنظم بوده و تقاضا برای این فرآورده‌ها اغلب تصادفی است. همچنین کمبود این فرآورده، هزینه‌های بسیار زیادی را به جامعه وارد می‌کند که می‌تواند به افزایش میزان مرگ و میر منجر شود (بلین و فورس، ۲۰۱۲). از این رو، طراحی یک زنجیره تأمین مفید و کارآمد مطابق با وضعیت دنیای واقعی برای تأمین خون و فرآورده‌های آن در وضعیت بحران، امری است که باید بدان توجه شود. به طور کلی بحران یا فاجعه به اتفاقی گفته می‌شود که سبب از دست دادن یا مصدوم شدن انسان‌ها و نابودی سلامتی در زنجیره تأمین می‌شود (انجمن آمریکایی بانک‌های خون، ۲۰۰۸). همچنین بحران در زمینه خدمات انتقال خون، به وضعیتی اشاره دارد که توانایی زنجیره در دریافت و عرضه خون به طور موقت یا کامل از دست برود یا وضعیتی که باعث به وجود آمدن تقاضای ناگهانی و بیش از حد خون و هجوم گسترده متقاضیان خون به بیمارستان‌ها شود که به بروز مشکلاتی در سیستم جمع‌آوری خون می‌انجامد (مصطفی، شیف، موریس و اینگام، ۲۰۰۴).

در زنجیره تأمین خون، تأمین‌کنندگان افراد اهداکننده‌ای هستند که به صورت داوطلبانه با مراجعه به پایگاه‌های اهدای خون ثابت و سیار، به خون‌دهی اقدام می‌کنند. واحدهای خون به دلیل فسادپذیری در اسرع وقت به بانک‌های خون منتقل می‌شوند، در این مراکز عمل پالایش و تصفیه خون انجام می‌گیرد و فرآورده‌های مختلف آن تجزیه شده و به صورت موقت نگهداری می‌شود؛ سپس با توجه به تقاضای متقاضیان فرآورده‌های خونی، این فرآورده‌ها به بیمارستان‌های مختلف انتقال می‌یابد. با توجه به تقاضای بیمارستان‌ها در وضعیت بحرانی، مهم‌ترین مسئله در این زنجیره، تأمین خون مورد نیاز بیمارستان‌هاست. همان‌طور که گفته شد، این مسئله در شرایط

بحران حساسیت بیشتری پیدا می‌کند. از این رو با توجه به توضیحات بالا، لازم است با مرور ادبیاتی در زمینه زنجیره تأمین خون به تعیین شکاف‌ها پرداخته شود.

پیشینه پژوهش

پژوهش درباره مدیریت زنجیره تأمین محصولات فسادپذیر و به‌خصوص فراورده‌های خونی توسط ون زایل (۱۹۶۴) آغاز شد. ناهمپاس (۱۹۸۲) علاوه بر محصولات خونی، روی مسائل موجودی فسادپذیر نیز تمرکز کرد و مروری کوتاه از کاربردهای مسائل مطرح‌شده در مدیریت بانک خون ارائه داد. تا کنون محققان زیادی از مدل‌های بهینه‌سازی عدد صحیح برای طراحی زنجیره تأمین خون استفاده کردند.

جیکوبس، سیلان و کلمسون (۱۹۹۶) به بررسی مسئله مکان‌یابی مجدد پایگاه‌های اهدای خون در نورفاک ویرجینیا پرداختند و نتیجه‌گیری‌هایی از نحوه زمان‌بندی فعالیت‌های جمع‌آوری و توزیع فراورده‌های خونی ارائه کردند.

پیرزکالا (۲۰۰۴) نیز مرور جامعی در کتاب خود انجام داد و بسیاری از مسائل حوزه‌های مدیریت زنجیره تأمین خون، از قبیل ساختار سلسله‌مراتبی سازمان‌های خون، تخصیص اهداکنندگان به تسهیلات خون، تعیین تعداد مراکز خون در جامعه، مدیریت موجودی در تسهیلات خون و غیره را بررسی کرد.

شاهین، سوراتل و مرال (۲۰۰۷) یک مدل ریاضی برای منطقه‌سازی خدمات خونی در بخشی از جمعیت هلال احمر ترکیه ارائه دادند و از مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح برای حل مسائل مکان‌یابی - تخصیص در تصمیم‌گیری استفاده کردند.

ستین و سارول (۲۰۰۹) نیز مدلی برای مکان‌یابی بانک‌های خون بین بیمارستان‌ها و مراکز درمانی ارائه دادند که در این مدل سعی در حداقل کردن کل هزینه ثابت مکان‌یابی بانک‌های خون و کل فاصله سفر بین بانک‌های خون و بیمارستان‌ها است.

همیلمایر، دوئرتر، هارتل و ساولسبرگ (۲۰۱۰) در مقاله خود درباره انتخاب بیمارستان‌هایی که هر روز باید توسط وسایل حمل خون از پایگاه‌های اهدای خون پوشش داده شوند، تصمیم‌گیری کردند و با در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضای خون بیمارستان‌ها، مقدار خون مورد نیاز هر بیمارستان را در روز تعیین کردند. همچنین همیلمایر و همکاران (۲۰۱۰) توسعه‌ای از مدل قبلی خود ارائه دادند. در این مقاله تقاضا به صورت تصادفی بوده و چندین شکل برای برآورده کردن تقاضا در زمان‌های اورژانسی ارائه شده است.

ناگورنی، معصومی و یو (۲۰۱۲) نیز یک مدل زنجیره تأمین خون شامل مراکز جمع‌آوری، تسهیلات آزمایشگاهی، تسهیلات نگهداری و مراکز توزیع ارائه دادند. نویسندگان، شبکه‌ای عمومی با رویکرد بهینه‌سازی چند معیاره توسعه دادند و هزینه‌های عملیاتی کل زنجیره و ریسک‌های مربوط به کمبود یا مازاد موجودی را بررسی کردند.

بلین و فورس (۲۰۱۲) مروری از زنجیره تأمین خون و محصولات آن ارائه دادند و مسائلی مانند مدیریت موجودی، تخصیص موجودی، جدول زمان‌بندی و غیره را در نظر گرفتند. نویسندگان در این مرور، حوزه‌های بالقوه برای توسعه را مشخص کردند و موضوعاتی برای تحقیقات ارائه دادند.

شا و هوانگ (۲۰۱۲) مدلی برای مکان‌یابی تخصیص چند دوره‌ای در خصوص زمان‌بندی تأمین خون بعد از وقوع زلزله در بیجینگ ارائه دادند و حداقل‌سازی هزینه‌هایی از قبیل هزینه‌های حمل و نقل، هزینه موجودی و هزینه جریمه در افق زمانی مشخص را در نظر گرفتند. زنده‌دل، بزرگی امیری و عمرانی (۱۳۹۳) نیز به تعیین مکان بهینه مراکز اهدای خون برای مقابله با وقوع اختلال پرداختند که هدف مسئله آنها کاهش هزینه‌ها باشد.

جبارزاده، فهیم‌نیا و سورینگ (۲۰۱۴) یک زنجیره تأمین شامل مکان‌های جمع‌آوری خون، مراکز خون و اهداکنندگان طراحی کردند و با در نظر گرفتن عدم قطعیت از نوع بهینه‌سازی استوار و هدف کاهش هزینه، تصمیمات مکان‌یابی و تخصیص موجودی در زمان بحران را اتخاذ کردند. گونپیار و سنتنو (۲۰۱۴) یک زنجیره تأمین خون برای گلبول قرمز و پلاکت‌ها شامل اهداکنندگان، بانک خون، مراکز سیار، بیمارستان و بیماران با اهداف کم کردن هزینه کل، سطوح کمبود و مازاد بودن این محصولات در بیمارستان در یک افق برنامه‌ریزی ارائه دادند.

اروان، توکلی‌مقدم و عبداللهی (۲۰۱۵) یک زنجیره تأمین چند محصولی خون شامل مکان‌های بالقوه اهدا، آزمایشگاه‌ها، بانک‌های خون و نقاط تقاضا ارائه دادند. اهداف این مدل به حداقل رساندن هزینه‌ها و زمان انتقال خون است.

اسوریو، برایلس‌فورد و اسمیت (۲۰۱۵) یک مقاله مروری درباره مدل‌های کمی در زنجیره تأمین خون ارائه دادند و در آن چندین حوزه که در ادبیات کمتر به آن پرداخته شده است را معرفی کردند. یکی از این حوزه‌ها، در نظر گرفتن سطوح مختلف در این زنجیره و ارتباطات مختلف بین این سطوح است. در جدول ۱ دسته‌بندی مقالات زنجیره تأمین خون آورده شده است.

جدول ۱. دسته‌بندی مقالات موجود در مرور ادبیات

سایر روش‌ها	روش حل		مدل سازی		انتقال از سایر استان‌ها		شرایط		تعداد فرآورده		نوع زنجیره		تاریخ هدف		مقاله	
	فرآیندکاری	ابتکاری	دقیق	غیرخطی	خطی	در نظر گرفتن	در نظر نگرفتن	بحران	عادی	چند فرآورده‌ای	تک فرآورده‌ای	کامل	ناقص	چند هدف		تک هدف
✓					✓	✓	✓		✓		✓		✓		✓	جکیوس و همکاران (۱۹۹۶)
✓					✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓	شاهین و همکاران (۲۰۰۷)
		✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓	سنتین و سارول (۲۰۰۹)
✓					✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓	همیلمایر و همکاران (۲۰۱۰)
	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓	ناگورنی و همکاران (۲۰۱۳)
		✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓	شا و هوانگ (۲۰۱۲)
					✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓	زنددل و همکاران (۱۳۹۳)
					✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓	جبارزاده و همکاران (۲۰۱۴)
		✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓	گرنیبار و مستنو (۲۰۱۴)
					✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓	اروان و همکاران (۲۰۱۵)
					✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓	این مقاله

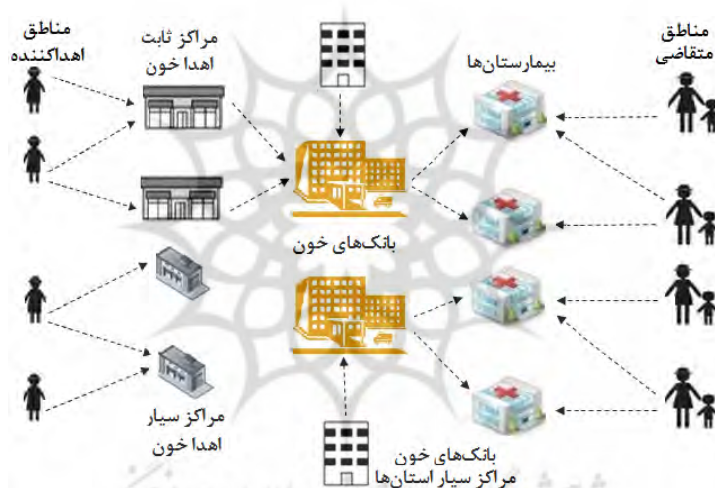
با توجه به جدول ۱، در تحقیقات گذشته مدل جامعی که کل زنجیره تأمین فراورده‌های خونی شامل مناطق اهداکننده، مراکز ثابت و سیار اهدای خون، بانک‌های خون، بیمارستان‌ها و مناطق دریافت‌کننده خون را در زمان بحران به صورت یکپارچه در نظر بگیرد، ارائه نشده است. همچنین بحث تأمین فراورده‌های خونی از بانک خون سایر شهرها نیز در نظر گرفته نشده است. هدف اصلی این مقاله، ارائه مدلی جامع و یکپارچه برای زنجیره تأمین فراورده‌های خونی در زمان بحران زلزله است که شامل مکان‌یابی مراکز سیار اهدای خون، مقدار خون اهدایی هر منطقه به مراکز ثابت و سیار، مقدار خون انتقالی از مراکز ثابت و سیار به بانک‌های خون، مقدار فراورده‌های خونی انتقالی از بانک‌های خون مراکز استان‌های مجاور به بانک‌های خون شهر زلزله‌زده و از بانک‌های خون این شهر به بیمارستان‌ها با توجه به تقاضای مناطق آسیب‌دیده و آسیب‌نندیده از بیمارستان‌ها، مقدار موجودی فراورده‌های خونی در بیمارستان‌ها و بانک‌های خون با در نظر گرفتن خرابی مراکز ثابت و سیار اهدای خون و بیمارستان‌هاست. اهداف مدل شامل کمینه‌سازی زمان‌های حمل و نقل بین سطوح مختلف و بیشینه‌سازی پوشش مناطق اهداکننده خون توسط مراکز سیار اهدای خون است.

مواردی که این مقاله را از سایر مقالات متمایز می‌کند، بدین شرح است: ۱. ارائه مدل برنامه‌ریزی زنجیره تأمین فراورده‌های خونی به صورت دو هدفه که ساختار زنجیره را کامل در نظر گرفته است. این ساختار زنجیره تأمین شامل مناطق اهداکننده خون، مراکز ثابت و سیار اهدای خون، بانک خون، بیمارستان‌ها و مناطق متقاضی خون است. ۲. با توجه به وجود تقاضای زیاد متقاضیان فراورده‌های خونی و امکان کمبود این گونه فراورده‌ها، بحث انتقال آنها از بانک خون مراکز سایر استان‌ها به شهر زلزله‌زده در نظر گرفته شده است. ۳. برای در نظر گرفتن مسئله در فضای واقعی، از اطلاعات واقعی شبکه انتقال خون شهر تهران و همچنین آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایکا، ۲۰۰۰) در رابطه با زلزله تهران استفاده شده است. ۴. در این مقاله بحران مد نظر زلزله است که با توجه گسل‌های مختلف موجود در شهر تهران، سناریوهای مختلفی برای فعال شدن هر گسل در نظر گرفته شده است. همچنین نحوه تأثیر زمان وقوع زلزله بر تعداد افراد متقاضی فراورده‌های خونی نیز لحاظ شده است. ۵. با توجه به عدم قطعیت در زنجیره تأمین خون و در فضای بحران، از برنامه‌ریزی فازی استفاده شده است.

شرح مسئله

در زنجیره تأمین خون، ابتدا افراد اهداکننده از مناطق مختلف بر اساس کمترین مسافت به مراکز ثابت و سیار اهدای خون مراجعه کرده و به اهدای خون اقدام می‌کنند؛ سپس با توجه به فسادپذیری خون، مقادیر خون دریافت‌شده در اسرع وقت به بانک‌های خون انتقال داده می‌شود

که در این بانک‌ها اعمال پالایش و تصفیه روی خون انجام می‌گیرد و فراورده‌های خونی شامل گلبول قرمز، پلاسما و پلاکت استخراج می‌شود. این فراورده‌ها در بانک‌های خون نگهداری شده و مطابق با نیاز مناطق از بیمارستان‌های هر منطقه، به آن بیمارستان منتقل می‌شود. سپس افراد متقاضی دریافت هر یک از فراورده‌های خونی در هر منطقه با مراجعه به بیمارستان‌ها، فراورده خونی مورد نیاز خود را دریافت می‌کنند. با توجه به آمارهای مشخص شده در زمان بحران زلزله، شهرهای زلزله‌زده به اندازه کافی خون برای تأمین نیاز آسیب‌دیدگان و بیماران ندارند. از این رو با توجه به فضای زنجیره تأمین فراورده‌های خونی در زمان بحران زلزله یا کمبود در یک استان، مسئله انتقال فراورده‌های خونی پالایش شده از مراکز سایر استان‌ها به شهر زلزله‌زده در نظر گرفته شده است. ساختار زنجیره تأمین مد نظر در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. زنجیره تأمین فراورده های خونی

مفروضات

۱. مدت زمان هر دوره ۲ روز و افق زمانی به صورت ۳ دوره‌ای (۶ روز) در نظر گرفته شده است.
۲. برای پیشگیری از فساد فراورده‌های خونی، مدیریت موجودی در این مسئله به صورت FIFO در نظر گرفته شده است.
۳. بحث فعال شدن مراکز سیار اهدای خون به صورت عملیاتی در هر دوره در نظر گرفته شده است.

۴. تقاضای مناطق متقاضی تقسیم‌پذیر است به طوری که تقاضا می‌تواند در چند بخش و از چند بیمارستان برآورده شود.
۵. با توجه به اینکه خون در بانک‌های خونی تصفیه شده و به سه فرآورده آن یعنی گلبول قرمز، پلاسما و پلاکت تجزیه می‌شود، کل شبکه قبل از بانک‌های خونی به صورت تک فرآورده‌ای و بعد از آن به صورت چند فرآورده‌ای در نظر گرفته شده است.
۶. تخریب در مراکز ثابت و سیار اهدای خون و بیمارستان‌ها به صورت کامل در نظر گرفته شده و اگر تسهیلی دچار اختلال شد، موجودی آن به طور کامل از بین خواهد رفت.
۷. به دلیل فسادپذیری خون و انتقال آن از مراکز ثابت و سیار اهدای خون به بانک‌های خون در اسرع وقت، مطابق با فضای دنیای واقعی، نگهداری موجودی در مراکز اهدای خون در نظر گرفته نشده است.
۸. در هر دوره با توجه به بودجه از مراکز سیار محدودی می‌توان استفاده کرد.
۹. با توجه به وجود عدم قطعیت در زنجیره تأمین خون، بنا بر نظر خبرگان این حوزه برخی از پارامترهای مدل به صورت فازی در نظر گرفته شده است.

مدل‌سازی

در این قسمت مسئله زنجیره تأمین فرآورده‌های خونی با در نظر گرفتن بحران زلزله به صورت چند دوره‌ای، دو مرحله‌ای و سناریوبندی مدل شده است. در مرحله اول، تصمیمات مربوط به مکان‌یابی مراکز سیار اهدا اتخاذ می‌شود و در مرحله دوم در خصوص مقادیر اهدای خون، حمل و نقل فرآورده‌های خونی در بین سطوح مختلف، دریافت فرآورده‌های خونی توسط مناطق از بیمارستان‌ها، نگهداری این فرآورده‌ها در بانک‌های خون و بیمارستان‌ها و پوشش مناطق اهداکننده با توجه به تخریب‌های رخ داده در مراکز ثابت و سیار اهدا و بیمارستان‌ها تصمیم‌گیری می‌شود.

شناساگرها

i:	فرآورده‌های خونی	m':	بانک خون سایر استان‌ها
j:	مناطق اهداکننده خون	n:	مجموعه بیمارستان‌ها
k:	مراکز ثابت اهدای خون	o:	مجموعه مناطق متقاضی خون
l:	مراکز سیار اهدای خون	t:	مجموعه دوره‌های زمانی
m:	بانک خون	s:	مجموعه سناریوهای فعالیت گسل‌ها

پارامترها

زمان حمل و نقل واحدهای خونی از مرکز ثابت اهدای خون k به بانک خون m	\tilde{t}_{km}
زمان حمل و نقل واحدهای خونی از مرکز سیار اهدای خون l به بانک خون m	\tilde{t}_{lm}
زمان حمل و نقل فرآورده‌های خونی از مرکز ثابت اهدای خون m' تا بانک خون m	$\tilde{t}_{m/m}$
زمان حمل و نقل فرآورده‌های خونی از بانک خون m به بیمارستان n	\tilde{t}_{mn}
زمان رسیدن متقاضیان خون از مناطق خود تا بیمارستان‌ها	\tilde{t}_{no}
تقاضای منطقه متقاضی o از فرآورده خونی i در دوره t تحت سناریوی s	\tilde{d}_{iot}^s
برابر ۱ اگر منطقه اهداکننده خون j تحت پوشش مرکز ثابت خون k قرار بگیرد و در غیر این صورت برابر صفر	η_{jk}
برابر ۱ اگر منطقه اهداکننده خون j تحت پوشش مرکز سیار خون l قرار بگیرد و در غیر این صورت برابر صفر	λ_{jl}
برابر ۱ اگر منطقه متقاضی خون o تحت پوشش بیمارستان n قرار بگیرد و در غیر این صورت برابر صفر	ψ_{no}
برابر ۱ اگر مرکز ثابت اهدای خون k در دوره t تحت سناریوی s بر اثر زلزله تخریب نشود و در غیر این صورت برابر صفر	ϑ_{kt}^s
برابر ۱ اگر مرکز سیار اهدای خون l در دوره t تحت سناریوی s بر اثر زلزله تخریب نشود و در غیر این صورت برابر صفر	τ_{lt}^s
برابر ۱ اگر بیمارستان n در دوره t تحت سناریوی s بر اثر زلزله تخریب نشود و در غیر این صورت برابر صفر	ω_{nt}^s
حداکثر افرادی که می‌توانند در مرکز سیار اهدای خون l در دوره t خون اهدا کنند	$\tilde{\pi}_{lt}$
حداکثر افرادی که می‌توانند در مرکز ثابت اهدای خون k در دوره t خون اهدا کنند	$\tilde{\delta}_{kt}$
جمعیت اهداکننده خون در منطقه j در دوره t تحت سناریوی s	\tilde{a}_{jt}^s
ظرفیت نگهداری (ارسال) فرآورده خونی i در بانک خون شهر m'	$\tilde{\phi}_{im'}$
ظرفیت نگهداری فرآورده i در بانک خون m	σ_{im}
ظرفیت نگهداری فرآورده i در هر بیمارستان	$\tilde{\chi}_i$
درصد خون سالم بعد از تصفیه خون	Φ
احتمال رخ دادن سناریوی s	P_s
تعداد مراکز سیار قابل احداث	O
یک عدد بزرگ	M

متغیرهای تصمیم

- مقدار واحدهای خونی اهداشده از منطقه z به مرکز ثابت اهدای k در دوره t تحت سناریوی s : θ_{jkt}^s
- مقدار واحدهای خونی اهداشده از منطقه z به مرکز سیار اهدای l در دوره t تحت سناریوی s : γ_{jlt}^s
- مقدار خون حمل شده از مرکز ثابت اهدای خون k به بانک خون m در دوره t تحت سناریوی s : Γ_{kmt}^s
- مقدار خون حمل شده از مرکز سیار اهدای خون l به بانک خون m در دوره t تحت سناریوی s : V_{lmt}^s
- مقدار فراورده خونی i حمل شده از بانک خون m' به بانک m در دوره t تحت سناریوی s : $w_{im't}^s$
- مقدار فراورده خونی i حمل شده از بانک خون m به بیمارستان n در دوره t تحت سناریوی s : u_{imnt}^s
- مقدار موجودی فراورده خونی i در بانک خون m در دوره t تحت سناریوی s : q_{imt}^s
- مقدار موجودی فراورده خونی i در بیمارستان n در دوره t تحت سناریوی s : ϕ_{int}^s
- مقدار فراورده خونی i دریافت شده توسط منطقه متقاضی o از بیمارستان n در دوره t تحت سناریوی s : x_{inot}^s
- اگر خون از مرکز ثابت اهدای خون k به بانک خون m در دوره t تحت سناریوی s حمل شود برابر 1 و در غیر این صورت صفر : $e\Gamma_{kmt}^s$
- اگر خون از مرکز سیار اهدای خون l به بانک خون m در دوره t تحت سناریوی s حمل شود برابر 1 و در غیر این صورت صفر : ev_{lmt}^s
- اگر فراورده خونی i از بانک خون m' به بانک خون m در دوره t تحت سناریوی s حمل شود برابر 1 و در غیر این صورت صفر : $ew_{im't}^s$
- اگر فراورده خونی i از بانک خون m به بیمارستان n در دوره t تحت سناریوی s حمل شود برابر 1 و در غیر این صورت صفر : eu_{imnt}^s
- اگر فراورده خونی i توسط منطقه متقاضی o از بیمارستان n در دوره t تحت سناریوی s دریافت شود، برابر 1 و در غیر این صورت صفر : ex_{inot}^s
- اگر مرکز سیار اهدای خون l در دوره t فعال شود برابر 1 و در غیر این صورت صفر : y_{lt}
- اگر منطقه اهداکننده z در دوره t تحت سناریوی s توسط حداقل یک مرکز اهدای خون پوشش داده شود برابر 1 و در غیر این صورت صفر : v_{jt}^s

توابع و محدودیت‌ها

توابع هدف و محدودیت‌های مدل به صورت زیر خواهد بود.

$$\text{Min } Z_1 = \sum_s p_s \left(\sum_k \sum_m \sum_t \tilde{t}d_{km} e \Gamma_{kmt}^s + \tilde{t}e_{lm} e v_{lmt}^s \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$+ \sum_i \sum_{m'} \sum_m \sum_t \tilde{t}f_{m'm} e w_{im'mt}^s + \sum_i \sum_m \sum_n \sum_t \tilde{t}h_{mn} e u_{imnt}^s \\ + \sum_i \sum_n \sum_o \sum_t \tilde{t}r_{no} e x_{inot}^s)$$

$$\text{Max } Z_2 = \sum_j \sum_t \sum_s p_s a_{jt}^s v_{jt}^s \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\theta_{jkt}^s \leq M (\vartheta_{kt}^s \cdot \eta_{jk}) \quad \forall j, k, t, s \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\gamma_{jlt}^s \leq M (\tau_{lt}^s \cdot y_{lt} \cdot \lambda_{jl}) \quad \forall j, l, t, s \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\sum_j \theta_{jkt}^s \leq \tilde{\delta}_{kt} \quad \forall k, t, s \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$\sum_j \gamma_{jlt}^s \leq \tilde{\pi}_{lt} \quad \forall l, t, s \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$\sum_m \Gamma_{kmt}^s = \sum_j \theta_{jkt}^s \quad \forall k, t, s \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$\sum_m v_{lmt}^s = \sum_j \gamma_{jlt}^s \quad \forall l, t, s \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$\sum_k \Gamma_{kmt}^s + \sum_l v_{lmt}^s + \sum_i \sum_{m'} w_{im'mt}^s \leq \sum_i \sigma_{im} \quad \forall m, t, s \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$\sum_m w_{im'mt}^s \leq \tilde{\phi}_{im'} \quad \forall i, m', t, s \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$q_{imt-1}^s + \Phi \left(\sum_k \Gamma_{kmt}^s + \sum_l v_{lmt}^s \right) + \sum_{m'} w_{im'mt}^s - \sum_n u_{imnt}^s \\ = q_{imt}^s \quad \forall i, m, t, s \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

$$q_{imt}^s \leq \sigma_{im} \quad \forall i, m, t, s \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$\sum_m \gamma_{imnt}^s \leq \tilde{\chi}_i \cdot \beta_{nt}^s \quad \forall i, n, t, s \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$\varphi_{int-1}^s + \sum_m u_{imnt}^s - \sum_o x_{inot}^s = \varphi_{int}^s \quad \forall i, n, t, s \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

$$\varphi_{int}^s \leq \tilde{\chi}_i \cdot \omega_{nt}^s \quad \forall i, n, t, s \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

$$x_{inot}^s \leq M(\omega_{nt}^s \cdot \Psi_{no}) \quad \forall i, n, o, t, s \quad \text{رابطه ۱۶}$$

$$\sum_n x_{inot}^s = d_{iot}^s \quad \forall i, o, t, s \quad \text{رابطه ۱۷}$$

$$\sum_l y_{lt} \leq 0 \quad \forall t \quad \text{رابطه ۱۸}$$

$$v_{jt}^s \leq \sum_l \lambda_{jl} \cdot y_{lt} \cdot \tau_{lt}^s \quad \text{رابطه ۱۹}$$

$$e\Gamma_{kmt}^s \leq \Gamma_{kmt}^s \quad \forall k, m, t, s \quad \text{و} \quad \Gamma_{kmt}^s \leq M.e\Gamma_{kmt}^s \quad \text{رابطه ۲۰}$$

$$ev_{lmt}^s \leq v_{lmt}^s \quad \forall k, m, t, s \quad \text{و} \quad v_{lmt}^s \leq M.ev_{lmt}^s \quad \text{رابطه ۲۱}$$

$$ew_{im'mt}^s \leq w_{im'mt}^s \quad \forall i, m', m, t, s \quad \text{و} \quad w_{im'mt}^s \leq M.ew_{im'mt}^s \quad \text{رابطه ۲۲}$$

$$eu_{imnt}^s \leq u_{imnt}^s \quad \forall i, m, n, t, s \quad \text{و} \quad u_{imnt}^s \leq M.eu_{imnt}^s \quad \text{رابطه ۲۳}$$

$$ex_{inot}^s \leq x_{inot}^s \quad \forall i, n, o, t, s \quad \text{و} \quad x_{inot}^s \leq M.ex_{inot}^s \quad \text{رابطه ۲۴}$$

$$\theta_{jkt}^s, \gamma_{jlt}^s, \Gamma_{kmt}^s, v_{lmt}^s, w_{im'mt}^s, u_{imnt}^s, x_{inot}^s, q_{imnt}^s, \phi_{int}^s \geq 0 \quad \text{رابطه ۲۵}$$

$$e\Gamma_{kmt}^s, ev_{lmt}^s, ew_{im'mt}^s, eu_{imnt}^s, ex_{inot}^s, y_{lt}, v_{jt}^s \in \{0, 1\} \quad \text{رابطه ۲۶}$$

تابع هدف ۱ به صورت حداقل کردن مجموع زمان‌های رسیدن فرآورده‌های خونی به متقاضیان است که در سطر اول آن به ترتیب زمان‌های حمل و نقل خون از مراکز ثابت و سیار اهدای خون به بانک خون؛ در سطر دوم به ترتیب زمان‌های حمل و نقل فرآورده‌های خونی از بانک خون مراکز سایر استان‌ها به بانک خون شهر زلزله‌زده و از بانک خون این شهر به بیمارستان‌ها و در سطر سوم زمان‌های رسیدن متقاضیان فرآورده‌های خونی از مناطق خود به بیمارستان‌ها آورده شده است. زمان‌های مراجعه متقاضیان فرآورده‌های خونی به بیمارستان‌ها نیز در سطر سوم تابع آورده شده است. تابع هدف ۲ بیشینه کردن پوشش مناطق اهداکننده خون توسط مراکز سیار اهدا است. محدودیت ۳ بیان می‌کند که در صورتی مناطق اهداکننده خون به یک مرکز ثابت اهدای خون می‌توانند خون اهدا کنند که در شعاع پوشش آن مرکز قرار داشته و آن مرکز توسط زلزله تخریب نشده باشد. محدودیت ۴ نیز مشابه محدودیت ۳ برای مراکز سیار مطرح شده است با این تفاوت که آن مرکز در آن دوره باید فعال باشد. محدودیت‌های ۵ و ۶

به ترتیب نشان می‌دهند که ظرفیت خون‌دهی مناطق به مراکز اهدای خون ثابت و سیار حداکثر به اندازه ظرفیت خون‌گیری این مراکز است. محدودیت‌های ۷ و ۸ به ترتیب بیان‌کننده برابر بودن جریان خون ورودی و خروجی در مراکز ثابت و سیار اهدای خون هستند. محدودیت ۹ بیان می‌کند که مجموع جریان ورودی به بانک خون از مراکز ثابت و سیار اهدای خون و بانک خون سایر استان‌ها، باید کمتر از مجموع ظرفیت فراورده‌های خونی در بانک خون باشد. کمتر بودن مقدار فراورده‌های خونی ارسالی از بانک خون سایر استان‌ها از ظرفیت آن بانک خون در محدودیت ۱۰ نشان داده شده است. محدودیت‌های ۱۱ و ۱۲ نیز به ترتیب نشان‌دهنده تعادل موجودی در بانک خون و کمتر بودن مقدار موجودی هر فراورده خونی در بانک خون از ظرفیت نگهداری آن فراورده هستند. محدودیت ۱۳ نیز نشان می‌دهد مقدار جریان فراورده خونی حمل شده به هر بیمارستان در صورت تخریب نشدن آن بیمارستان توسط زلزله باید از ظرفیت نگهداری آن فراورده خونی در بیمارستان کمتر باشد. محدودیت‌های ۱۴ و ۱۵ نیز به ترتیب تعادل موجودی در بیمارستان و کمتر بودن مقدار موجودی هر فراورده خونی در هر بیمارستان از ظرفیت نگهداری کلی آن بیمارستان در صورت تخریب نشدن آن بیمارستان توسط زلزله را نشان می‌دهند. بر اساس محدودیت ۱۶، مناطق متقاضی فراورده‌های خونی در صورتی می‌توانند از یک بیمارستان این فراورده‌ها را دریافت کنند که در شعاع پوشش آن بیمارستان قرار داشته باشند و آن بیمارستان در اثر زلزله تخریب نشده باشد. محدودیت ۱۷ بیانگر برابر بودن جریان دریافتی مناطق با تقاضا و محدودیت ۱۸ نشان‌دهنده حداکثر تعداد مراکز سیار قابل فعال شدن در هر دوره است. محدودیت ۱۹ بیان می‌کند که یک منطقه متقاضی در صورتی می‌تواند توسط یک مرکز سیار خون پوشش داده شود که در شعاع پوشش آن مرکز قرار داشته باشد، آن مرکز فعال بوده و در اثر زلزله تخریب نشده باشد. محدودیت‌های ۲۰ تا ۲۴ متغیرهای تصمیم مثبت را به متغیرهای صفر و ۱ تبدیل می‌کنند و بیان می‌کنند که در صورتی متغیر صفر و ۱ مقدار ۱ را اتخاذ می‌کند که متغیر مثبت آن مقدار مثبتی داشته باشد و در صورتی مقدار صفر اتخاذ می‌کند که متغیر مثبت آن مقدار صفر بگیرد. متغیرهای تصمیم غیرمنفی و صفر و ۱ به ترتیب در محدودیت‌های ۲۵ و ۲۶ نشان داده شده‌اند.

فازی‌زدایی مدل

تا کنون محققان زیادی از مفهوم فازی برای در نظر گرفتن عدم قطعیت استفاده کرده‌اند (برای نمونه، حسین‌زاده، منهج و کاظمی، ۱۳۹۳ و شهریاری، رضوی و اصغری‌زاده، ۱۳۹۲). در این مقاله برای پارامترهای فازی از تابع توزیع مثلثی استفاده شده است. به منظور تشخیص نوع تابع توزیع مناسب از یکی از سه استراتژی رایج، تخصیص عضویت، یعنی تخصیص انتزاعی مستقیم

استفاده شده است. در تخصیص مستقیم متخصصان و خبرگان یک مقدار عضویت عددی یا مفهومی بعد از در نظر گرفتن واقعیت‌های موجود، اهداف و غیره ارائه می‌کنند (ورکولین، ۲۰۰۵). از این رو در مقاله حاضر با توجه به در نظر گرفتن پارامتری همچون تقاضا در سه حالت روز، شب و میانگین، این دو حالت یا پارامترهایی از قبیل هزینه و ظرفیت در سه حالت کمینه، میانگین و بیشینه، با توجه به نظر کارشناسان سازمان انتقال خون و خبرگان هر حوزه بر اساس دانش ذهنی و اطلاعات عینی در دسترس از تابع فازی مثلثی استفاده شده است.

برای فازی‌زدایی مدل از روش جیمنز استفاده شده است (خیمنز، آرناس و بیل‌بائو، ۲۰۰۷؛ محمدی، یعقوبی، نهفتی‌کهنه و پیشوایی، ۱۳۹۴). \tilde{c} یک عدد فازی مثلثی است که به صورت (c^o, c^m, c^p) بوده و c^o ، c^m و c^p به ترتیب سه نقطه خوش‌بینانه، محتمل و بدبینانه آن هستند (خورشید، محفوظی و موسوی، ۱۳۹۴). برای تبدیل مقادیر فازی تابع هدف از رابطه $E(\tilde{c}) = (c^o + 2c^m + c^p)/4$ استفاده شده است.

همچنین اگر α درجه فازی باشد برای تبدیل دو محدودیت $ax \leq \tilde{c}$ و $ax \geq \tilde{c}$ از دو رابطه ۲۷ و ۲۸ و برای تبدیل محدودیت مساوی $ax = \tilde{c}$ از دو رابطه ۲۹ و ۳۰ استفاده خواهد شد.

$$ax \leq \left[(1-\alpha)(c^m + c^p/2) + \alpha(c^o + c^m/2) \right] \quad \text{رابطه ۲۷}$$

$$ax \geq \left[\alpha(c^m + c^p/2) + (1-\alpha)(c^o + c^m/2) \right] \quad \text{رابطه ۲۸}$$

$$ax \geq \left[(\alpha/2)(c^m + c^p/2) + (1-\alpha/2)(c^o + c^m/2) \right] \quad \text{رابطه ۲۹}$$

$$ax \leq \left[(1-\alpha/2)(c^m + c^p/2) + (\alpha/2)(c^o + c^m/2) \right] \quad \text{رابطه ۳۰}$$

حال با توجه به روابط بالا، مسئله فازی را می‌توان به صورت قطعی مدل کرد که در اینجا به دلیل صرفه‌جویی در فضا از ذکر روابط قطعی خودداری شده است.

مطالعه موردی

بر اساس گزارش سال ۲۰۰۵ سازمان ملل، کشور ایران در بین کشورهای جهان، رتبه نخست را در تعداد زلزله‌های با شدت بالای ۵/۵ ریشتر و یکی از بالاترین رتبه‌ها را در زمینه آسیب‌پذیری از زلزله و تعداد افراد کشته‌شده در اثر این سانحه، داشته است (پلینگ، ماسکری، رویز و هال، ۲۰۰۴). در این میان، پایتخت ایران به‌عنوان پرجمعیت‌ترین شهر در معرض آسیب بسیاری قرار دارد. به دلیل وجود تعداد زیاد گسل‌ها و سوابق تاریخی فعالیت این گسل‌ها، می‌توان گفت که در آینده‌ای نه‌چندان دور، تهران با زلزله‌ای عظیم مواجه خواهد شد. از بین گسل‌های تهران، سه

گسل مشا، شمال تهران و ری به ترتیب با طول‌هایی حدود ۷۰، ۵۸ و ۲۶ کیلومتر، اهمیت زیادی دارند (جایکا، ۲۰۰۰). طبق مطالعه جایکا (۲۰۰۰) در رابطه با زلزله تهران، شدت زلزله ناشی از فعال شدن گسل مشا و گسل شمال تهران، تقریباً به میزان ۷/۲ و گسل ری ۶/۷ ریشتر خواهد بود و با توجه به این شدت‌ها، به‌طور متوسط در صورت فعال شدن گسل مشا ۱۲/۹ درصد، گسل شمال ۳۵/۷ درصد و گسل ری ۵۵/۲ درصد ساختمان‌های شهر تهران تخریب می‌شوند. به‌منظور اعتباردهی مطالعه موردی و همچنین برنامه‌ریزی دقیق در تهران، به‌طور عمده از پژوهش معتبر جایکا استفاده شده است. در پروژه یادشده، در سال ۱۳۷۹ طی توافق‌نامه‌ای بین آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن و دولت وقت، گروهی از محققان ژاپنی به تهران آمدند و با انجام مطالعات روی شهر تهران، گزارشی کامل و جامع تحت عنوان ریز پهنه‌بندی تهران بزرگ ارائه دادند که بسیار معتبر و قابل استناد است. شهر تهران ۲۲ منطقه دارد که بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۰، جمعیت آن ۸۱۵۴۰۵۱ نفر است. اگر زلزله در شب اتفاق بیفتد میزان تلفات انسانی افزایش می‌یابد، اما تعداد ساختمان‌های تخریب‌شده در شب یا روز به همان میزان خواهد بود (جایکا، ۲۰۰۰). با توجه به توضیحات بالا، در این مقاله نیز شدت زلزله برای هر سه گسل به اندازه توضیحات بالا و زمان رخ دادن این حادثه هم در شب و هم در روز در نظر گرفته شده است. از آنجا که گزارش جایکا مربوط به سال ۱۳۷۹ است، برنامه‌ریزی طبق نتایج به‌دست‌آمده از این گزارش ممکن است با خطا همراه باشد. بر اساس نظر بسیاری از محققان مانند زنگی‌آبادی و تبریزی (۱۳۸۵) و معتمدی و همکاران (۲۰۱۲) ساختار ساختمان‌ها و سازه‌های تهران تا امروز روند رو به بهبودی داشته، اما به‌علت رعایت نکردن بسیاری از قوانین بین‌المللی در زمینه ساخت و ساز و وجود سازه‌های نامناسب قبلی، هنوز آسیب‌پذیری مناطق در برابر زلزله بسیار زیاد است. بنابراین اطلاعات مربوط به پژوهش جایکا کمی سختگیرانه است که برای به‌روز بودن برنامه‌ریزی، از تعمیم نتایج این پژوهش معتبر به زمان حال با توجه به سرشماری ۱۳۹۰ استفاده شده و طبق نظر خبرگان با در نظر گرفتن پارامتر تعداد مصدومان و در نتیجه تقاضای آنها از فراورده‌های خونی به‌صورت فازی، این اطلاعات تا حد زیادی به زمان حال نزدیک شده است. شایان ذکر است که با توجه به اهمیت این موضوع، اغلب داده‌ها و اطلاعات موجود مرتبط با حوزه خون و فراورده‌های آن، از کارشناسان سازمان انتقال خون و مقالات مربوط به این حوزه به‌دست آمده است. همچنین در مواردی که اطلاعات مربوط به سازمان انتقال خون نبود، از اساتید خبره دانشگاهی مربوط به آن حوزه و همچنین مقالات مرتبط با آن حوزه بهره‌برده شده است.

مفروضات کامل مطالعه موردی به این شرح است:

۱. با توجه به وجود ۲۲ منطقه در تهران، کل مناطق به صورت بالقوه به عنوان اهداکننده و متقاضی خون در نظر گرفته شده‌اند.
۲. بر اساس آمار موجود سازمان انتقال خون ایران (۱۳۹۴)، تعداد ۱۳ مرکز ثابت اهدای خون و ۷ مکان بالقوه (به صورت از پیش فعال شده مانند مساجد، دانشگاه‌ها و غیره و با تغییر کاربری در زمان بحران) برای فعال‌سازی مراکز سیار اهدای خون در نظر گرفته شده که در این مراکز امکان وقوع زلزله و در نتیجه تخریب مرکز لحاظ شده است.
۳. در تهران تنها یک بانک خون در مرکز وصال وجود دارد که در این مرکز علاوه بر اهدای خون، اعمال تصفیه، پالایش، تجزیه و نگهداری خون نیز انجام می‌شود. با توجه به اینکه در صورت فعال شدن هر یک از گسل‌ها، این مرکز تخریب کامل نخواهد شد، طبق نظر کارشناسان و خبرگان برای مقاوم‌سازی این مرکز در برابر زلزله تصمیم‌گیری شده است.
۴. امکان فعال شدن سه گسل مشا، شمال و ری به ترتیب در سناریوهای اول، دوم و سوم در نظر گرفته شده است.
۵. مراکز ثابت و سیار اهدای خون و بیمارستان‌ها در هر منطقه می‌تواند منطقه خود و مناطق اطراف که با آنها مرز مشترک دارند را پوشش دهند.
۶. با توجه اینکه میزان خسارات وقوع زلزله هنگام شب، بیشترین تعداد مصدوم را در پی دارد و تعداد مصدومان وقوع زلزله هنگام روز کمتر از شب است؛ هر دو حالت و همچنین وضعیت میانگین این دو حالت نیز در نظر گرفته شد؛ از این رو تعداد مصدومان یک عدد فازی مثلثی خواهد بود. در مطالعه جایکا (۲۰۰۰) تعداد تلفات نیز پیش‌بینی شده است و بر اساس مقاله ناطقی (۲۰۰۱) تعداد مصدومان سه برابر تلفات در نظر گرفته شده است.
۷. در این مقاله سه فرآورده اصلی و رایج خون، یعنی گلبول قرمز، پلاسما و پلاکت در نظر گرفته شده است. با توجه به آمار سازمان انتقال خون ایران (۱۳۹۴) از سال‌های گذشته، ۵۳/۵، ۳۱ و ۱۵/۵ درصد از تقاضا به ترتیب مربوط به گلبول قرمز، پلاکت و پلاسما است. با توجه به نظر کارشناسان سازمان انتقال خون ایران (۱۳۹۴) و تجربه‌های آنها از زلزله‌های قبلی مانند بم، فرض شده است که در زمان وقوع زلزله ۱/۲ درصد از مصدومان و ۰/۳ درصد از غیرمصدومان در هر ۴ روز به فرآورده‌های خونی نیاز دارند.
۸. با توجه به نظر کارشناسان و خبرگان، افق زمانی ۶ روز (۳ دوره زمانی ۲ روزه) لحاظ شده است و از آنجا که تقاضای مصدومان در روزهای اول بعد از زلزله بیشتر و به تدریج کم می‌شود،

ارائه مدلی برای طراحی زنجیره تأمین فرآورده‌های خونی در زمان ۵۰۳

بر اساس نظر این متخصصان در زمان وقوع زلزله در دوره‌های اول، دوم و سوم، به ترتیب ۵۰، ۳۰ و ۲۰ درصد از تقاضا وجود دارد.

۹. با توجه به دماهای متفاوت نگهداری سه فرآورده نام‌برده، یخچال‌های متفاوتی برای نگهداری از آنها وجود دارد و ظرفیت نگهداری آنها در بانک خون وصال به‌طور دقیق مشخص است (جدول ۲). همچنین با توجه به وجود ظرفیت‌های نگهداری مختلف این فرآورده‌ها در بیمارستان‌های مختلف شهر تهران، این ظرفیت طبق نظر کارشناسان به‌صورت عدد فازی لحاظ شده که در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۲. ظرفیت فرآورده‌های خونی در بانک خون تهران (σ_{im})

ظرفیت	فرآورده	ظرفیت	فرآورده	ظرفیت	فرآورده
۷۵۰	پلاکت ($i=3$)	۳۸۰۰۰	پلاسما ($i=2$)	۳۲۰۰۰	گلبول قرمز ($i=1$)

جدول ۳. ظرفیت فرآورده‌های خونی در بیمارستان‌های تهران (\tilde{X}_i)

ظرفیت	فرآورده	ظرفیت	فرآورده	ظرفیت	فرآورده
(۷۵۰ و ۱۱۲۵ و ۱۵۰۰)	پلاکت	(۲۵۰ و ۶۲۵ و ۱۰۰۰)	پلاسما	(۱۰۰۰ و ۱۳۷۵ و ۱۷۵۰)	گلبول قرمز

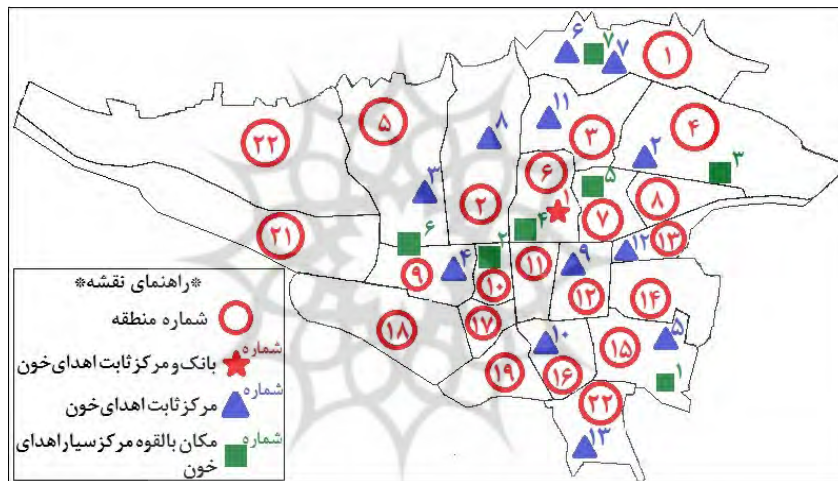
۱۰. تعداد ۱۴۴ بیمارستان به فرآورده‌های خونی در تهران نیاز دارند که در آنها امکان تخریب توسط زلزله در نظر گرفته شده است. در شکل ۲ نقشه گسل‌های تهران آورده شده است.



شکل ۲. نقشه گسل‌های شهر تهران

با توجه به شکل ۲، چنانچه بیمارستان یا مراکز ثابت و سیار اهدا روی گسل مربوطه وجود داشته باشد، در صورت فعال شدن گسل، به‌طور کامل تخریب خواهد شد. از این رو با توجه به مطالعه جایکا (۲۰۰۰)، در صورت فعال شدن گسل مشا، بخشی از مناطق ۴ و ۱۲، گسل شمال بخشی از مناطق ۱، ۲، ۴ و ۵ و گسل ری بخشی از مناطق ۱۱، ۱۲، ۱۵، ۱۸ و ۲۰ تخریب خواهند شد. این تخریب می‌تواند به‌علت سازه نامناسب ساختمان‌های منطقه یا واقع بودن گسل روی آن منطقه باشد. از این رو پارامترهای θ_{kt}^s ، τ_{lt}^s و ω_{nt}^s به‌دست خواهد آمد.

۱۱. مکان‌های قرارگیری مراکز ثابت و سیار اهدا و بانک خون روی نقشه تهران در شکل ۳ نشان داده شده‌اند.



شکل ۳. مکان قرارگیری مراکز ثابت و سیار اهدای خون و بانک خون روی نقشه تهران

۱۲. برای محاسبه مسافت‌ها بین تسهیلات مختلف با توجه به استفاده از وسیله نقلیه آمبولانس یا وسایلی از این قبیل، کوتاه‌ترین مسافت در مسیرهای اصلی (بزرگراه‌ها و شریان‌های اصلی) مد نظر قرار گرفته و از سامانه مسیریاب تهران (سایت مسیریاب تهران) استفاده شده است. طبق نظر کارشناسان و خبرگان، سرعت وسایل نقلیه در زمان بحران به‌دلیل شلوغی و ترافیک مسیرها در شهر تهران به سه صورت فازی ۲۰، ۲۵ و ۳۰ کیلومتر بر ساعت و در حالت انتقال فرآورده‌های خونی از مراکز استان‌های مجاور تهران (ساری، سمنان، قم، اراک و کرج) برابر ۷۰، ۶۰ و ۸۰ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شده است. حال با توجه به داشتن فواصل و

سرعت‌ها، زمان‌های حمل و نقل به صورت فازی به دست می‌آید که به دلیل محدودیت فضا از ذکر زمان‌های حمل و نقل خودداری شده است. احتمال وقوع هر یک از سناریوها برابر با یکدیگر و مساوی $0/33$ لحاظ شده است. همچنین با توجه به اینکه زمان اهدای خون حداکثر ۳۰ دقیقه است، با در نظر گرفتن فعالیت ۱۲ ساعتی در هر مرکز اهدا و تعداد تخت‌ها و تسهیلات هر مرکز، حداکثر تعداد افرادی که می‌توانند خون اهدا کنند به دست می‌آید که با توجه به قطعی نبودن تعداد تخت‌ها و تسهیلات به صورت عدد فازی در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است که چون مرکز اهدای خون وصال، بانک خون هم می‌باشد، تعداد تخت‌ها و تسهیلات آن ۲ برابر سایر مراکز است و در نتیجه تعداد افراد بیشتری می‌توانند خون اهدا کنند. برای سایر مراکز ثابت و سیار، این ظرفیت یکسان در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، بر اساس نظر خبرگان ظرفیتی به منظور نگهداری یا ارسال فراورده‌های خونی در هر دوره برای بانک خون سایر استان‌ها (Φ_{imr}) در نظر گرفته شده و با توجه به قطعی نبودن این ظرفیت، پارامتر آن به صورت فازی لحاظ شده است. ظرفیت‌های مذکور در جدول ۴ مشاهده می‌شود و ضریب Φ (درصد خون سالم بعد از تصفیه) نیز طبق آمار سازمان انتقال خون تهران (۱۳۹۴) برابر ۸۷ درصد در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه به طور متوسط حداقل ۲/۲ درصد از ایرانیان به خون‌دهی اقدام می‌کنند، جمعیت بالقوه اهداکنندگان خون، از کسر کردن متوسط جمعیت مصدوم از کل جمعیت هر منطقه در هر سناریو و ضرب آن در درصد بالا به دست می‌آید. این جمعیت بالقوه اهداکننده در هر زمانی وجود داشته که بنا بر نظر کارشناسان سازمان انتقال خون، در زمان بحران زلزله افزایش پیدا می‌کند. از این رو جمعیت بالقوه اهداکنندگان خون به عنوان ضرایبی برای هر منطقه در تابع هدف دوم در نظر گرفته شده است (محمودیان شوشتری و پورفتح‌الله، ۲۰۰۶).

جدول ۴. مقادیر فازی سایر پارامترهای موجود

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
$\tilde{\delta}_{kt}$ (برای مرکز ثابت (بانک خون))	(۳۸۴۶۷۲ و ۹۶۰)	$\tilde{\delta}_{kt}$ (سایر مراکز ثابت) و π_1	(۴۸۰، ۳۳۶، ۱۹۲)	$\tilde{\Phi}_{lm}$	(۱۴۰۰ و ۱۷۰۰ و ۲۰۰۰)
$\tilde{\Phi}_{2m}$	(۶۰۰ و ۹۰۰ و ۱۲۰۰)	$\tilde{\Phi}_{3m}$	(۴۰۰ و ۵۵۰ و ۷۰۰)		

روش حل

روش محدودیت اپسیلون اصلاح شده یکی از رویکردهای شناخته شده برای مواجهه با مسائل چند هدفه است که با انتقال تمام توابع هدف به جز یکی از آنها در هر مرحله، به حل این نوع مسائل می‌پردازد. یکی از مزیت‌های عمده این روش نسبت به روش‌های دیگر، تحت کنترل درآوردن

تعداد جواب‌های تولیدشده و بازه‌ها با توجه به معیارهای تصمیم‌گیرنده و در نتیجه تولید جواب‌های پارتویی است. در این روش بر اساس بهترین تعادل جواب بین جواب‌های پارتویی بهینه، جواب بهینه توسط تصمیم‌گیرنده انتخاب می‌شود. از این رو با توجه به اینکه در زنجیره تأمین فراورده‌های خونی، تصمیم‌گیرندگان نقش مهمی دارند و نظر آنها حائز اهمیت بسیار زیادی است، از این روش استفاده شده است. اگر تابع هدف ۱ و تابع هدف ۲ با Z_1 و Z_2 نشان داده شوند، گام‌های این روش برای این مسئله به ترتیب زیر است:

۱. تابع هدف Z_1 با توجه به اهمیت بحث زمان‌های حمل و نقل فراورده‌های خونی در بحران، به‌عنوان تابع هدف اصلی انتخاب می‌شود.

۲. مسئله با توجه به تابع هدف Z_2 حل می‌شود و بیشترین و کمترین مقدار برای این تابع هدف به دست می‌آید.

۳. تابع هدف Z_2 به‌صورت محدودیت ۳۲ در مدل نوشته می‌شود و مدل مسئله با تابع هدف اصلی حل می‌شود. بازه بین دو مقدار تابع هدف، به تعداد β قسمت تقسیم‌بندی شده و جدولی با توجه به رابطه ۳۳ برای ϵ_μ به دست می‌آید.

۴. هر بار مسئله با تابع هدف اصلی با هر یک از مقادیر ϵ_μ حل می‌شود، جواب پارتویی گزارش داده‌شده و تصمیم‌گیرنده می‌تواند جواب بهینه بازه مد نظر را انتخاب کند (لشگرآرا، کاظمی، قهرمانی و بهشاد، ۲۰۱۲).

$$Z_2 \geq \epsilon_\mu \quad \text{رابطه ۳۱}$$

$$\epsilon_\mu = \min(Z_2) + \left(\frac{\max(Z_2) - \min(Z_2)}{\beta} \right) \mu \quad \text{رابطه ۳۲}$$

یافته‌های پژوهش

در این بخش نتایج محاسباتی حاصل از حل مدل با استفاده از حل‌کننده CPLEX 24.1 در نرم‌افزار GAMS ارائه شده است. برای تابع هدف دوم ۱۰ بازه ($\beta = 5$) در نظر گرفته شده است. مدل به‌ازای مقادیر مختلف α و تعداد مراکز سیار مختلف حل شده و مقادیر تابع هدف اصلی، تابع هدف فرعی و مراکز سیار اهدای خون فعال شده در جدول ۵ آورده شده است. شایان ذکر است که به‌دلیل محدودیت فضا، فقط بازه هشتم و نهم ($\mu = 89$) نمایش داده شده است. با توجه به جدول ۵ با افزایش مقدار α ، درجه سختگیری افزایش یافته و مقدار تابع هدف اصلی نیز زیاد می‌شود و تابع هدف فرعی چون به α وابسته نیست، مقدارش تغییر نمی‌کند. همچنین هرچه مقدار μ/β کاهش پیدا کند، مقدار اپسیلون کاهش یافته و در نتیجه محدودیت بازرتر شده و مقدار

تابع هدف اصلی بهتر (کمتر) خواهد شد. علاوه بر این، زمانی که تعداد مراکز سیار کاهش پیدا کند نیز مقدار تابع هدف فرعی و اصلی کاهش خواهد یافت که کاهش تابع هدف اصلی به دلیل انتقال فرآورده بیشتر از مراکز سیار به بانک خون است. طبق جدول ۵ مراکز سیار ۲، ۴، ۵ و ۶ در تمام حالت‌ها به دلیل مکان مناسب این مراکز روی نقشه و تحت پوشش قرار دادن مناطق بیشتری برای اهدای خون، فعال هستند. در حالت ۱۵ و ۱۶ نیز چون درجه سختگیری (α) افزایش یافته، با تعداد ۴ مرکز سیار نمی‌توان تقاضا را برآورده کرد و غیرموجه خواهد شد.

جدول ۵. نتایج محاسباتی

حالت	α	تعداد مراکز سیار	μ/β	تابع هدف فرعی	تابع هدف اصلی	مراکز سیار فعال
۱	۰/۶	۷	۰/۹	۳۸۹۱۴۰/۲۹	۲۸۷۲۰۴/۱۸	۱-۷
۲			۰/۸	۳۴۵۹۰۲/۵	۲۳۵۲۱۱/۲۶	۱-۷
۳		۶	۰/۹	۳۳۱۴۸۲/۳۴	۲۶۲۴۵۵/۳۲	۱ و ۲ و ۴ و ۵-۷
۴			۰/۸	۳۹۴۵۳۹/۹	۲۱۰۴۰۴/۷۳	۱ و ۲ و ۴ و ۵-۷
۵		۵	۰/۹	۲۵۲۳۴۵/۴	۲۴۱۶۲۹/۵۲	۲ و ۴ و ۵-۷
۶			۰/۸	۲۲۴۳۰۶/۶۷	۱۸۵۴۴۸/۴۶	۲ و ۴ و ۵-۷
۷		۴	۰/۹	۱۶۹۸۴۲/۸۲	۲۱۷۹۱۵/۰۸	۲ و ۴ و ۵ و ۶
۸			۰/۸	۱۵۰۹۷۱/۴	۱۶۸۹۲۴/۵۲	۲ و ۴ و ۵ و ۶
۹	۰/۹	۷	۰/۹	۳۸۹۱۴۰/۲۹	۳۲۴۳۶۸/۳۹	۱-۷
۱۰			۰/۸	۳۴۵۹۰۲/۵	۲۶۹۶۳۶/۰۵	۱-۷
۱۱		۶	۰/۹	۳۳۱۴۸۲/۳۴	۳۰۷۸۷۸/۵۵	۱ و ۲ و ۴ و ۵-۷
۱۲			۰/۸	۳۹۴۵۳۹/۹	۲۴۹۴۴۷/۶	۱ و ۲ و ۴ و ۵-۷
۱۳		۵	۰/۹	۲۵۲۳۴۵/۴	۲۷۹۳۰۴/۴۸	۲ و ۴ و ۵-۷
۱۴			۰/۸	۲۲۴۳۰۶/۶۷	۲۲۶۵۷۰/۹۳	۲ و ۴ و ۵-۷
۱۵		۴	۰/۹	۱۶۹۸۴۲/۸۲	غیر موجه	غیر موجه
۱۶			۰/۸	۱۵۰۹۷۱/۴	غیر موجه	غیر موجه

در تمام حالت‌های بالا با توجه به کمبود فرآورده‌های خونی گلبول قرمز و پلاسما در تهران، از بانک خون مراکز استان‌های مجاور، کمبود این فرآورده‌ها جبران شده است. پلاکت مورد نیاز نیز در تهران تأمین شده و نیازی به انتقال از سایر استان‌ها نیست. از این رو، تحلیل نتایج برای به‌دست آوردن ظرفیت بهینه دو فرآورده گلبول قرمز و پلاسما در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶. تحلیل ظرفیت نگهداری (ارسال) فراورده‌های خونی در بانک خون مراکز سایر استان‌ها

حالت	ظرفیت	حالت	ظرفیت	حالت	ظرفیت
موجه	$(i=2)(150, 450, 750)$	غیرموجه	$(i=1)(1120, 1420, 1720)$	موجه	$(i=1)(1400, 1700, 2000)$
غیرموجه	$(i=2)(140, 440, 740)$	موجه	$(i=2)(600, 900, 1200)$	موجه	$(i=1)(1130, 1430, 1730)$

طبق جدول ۶ ظرفیت بهینه گلبول قرمز (۱۷۳۰ و ۱۴۳۰ و ۱۱۳۰) و پلاسما (۷۵۰ و ۴۵۰ و ۱۵۰) است.

اعتبارسنجی

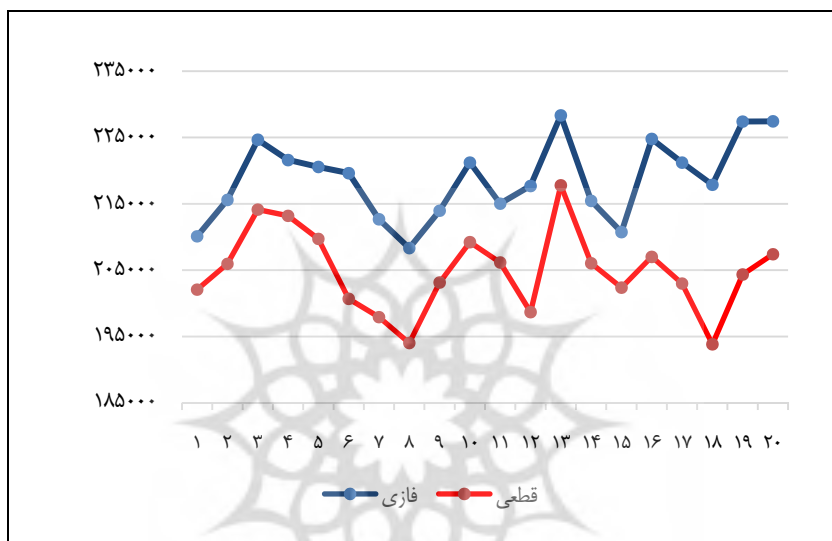
در این قسمت اعتبارسنجی مدل انجام شده است. محققان بسیاری (برای نمونه پیشوایی، ربانی و ترابی، ۲۰۱۱؛ بابازاده، رزمی، پیشوایی و ربانی، ۲۰۱۵) از این روش برای اعتبارسنجی مدل‌های خود استفاده کرده‌اند. بدین منظور ابتدا مدل قطعی تک‌هدفی شده (با روش محدودیت افسیلون اصلاح شده) با در نظر گرفتن پارامترهای فازی به صورت میانگین حل می‌شود. سپس مدل فازی تک‌هدفی شده (با روش محدودیت افسیلون اصلاح شده) حل شده و جواب‌های این دو مدل به دست خواهد آمد.

حال متغیرهای به دست آمده از این دو مدل به صورت پارامتر در یک مدل قطعی در نظر گرفته می‌شوند که این مدل مشابه مدل قطعی اول است، با این تفاوت که پارامترهای فازی به صورت توزیع یکنواخت بین اعداد اول و سوم فازی در نظر گرفته شده‌اند (جدول ۷). همچنین به دلیل متفاوت بودن مقادیر مختلف تقاضا و زمان‌های حمل و نقل، مقادیر این پارامترها به صورت توزیع یکنواخت بین اعداد فازی اول و سوم آن در نظر گرفته شده‌اند که از ذکر آن در جدول ۷ خودداری شده است.

جدول ۷. توزیع یکنواخت برای تولید پارامترهای فازی

پارامتر فازی	تولید این پارامتر	تولید یکنواخت برای	پارامتر فازی	تولید یکنواخت برای
$\tilde{\delta}_{kt}$ (برای مرکز ثابت (بانک خون))	$U[384, 960]$	$\tilde{\delta}_{kt}$ (سایر مراکز ثابت) و π_{1t}	$\tilde{\delta}_{kt}$	$U[192, 480]$
$\tilde{\phi}_{1m'}$	$U[1400, 2000]$	$\tilde{\phi}_{2m'}$	$\tilde{\phi}_{2m'}$	$U[600, 1200]$
$\tilde{\phi}_{3m'}$	$U[400, 700]$	$\tilde{\chi}_1$	$\tilde{\chi}_1$	$U[750, 1500]$
$\tilde{\chi}_2$	$U[250, 1000]$	$\tilde{\chi}_3$	$\tilde{\chi}_3$	$U[1000, 1750]$

حال مدل قطعی مذکور به‌ازای متغیرهای به‌دست آمده از حل دو مدل قبل که به‌صورت پارامتر در نظر گرفته شده و پارامترهای قطعی و پارامترهای فازی تولیدشده توسط توزیع یکنواخت، به‌ازای هر بار تولید مقادیر مختلف برای هر دو مدل در یک حالت خاص، مثلاً حالت $\mu/\beta = 0/8$ ، $\alpha = 0/6$ و تعداد ۶ مرکز سیار حل شد. مقادیر تابع هدف اصلی برای هر دو حالت با ۲۰ بار تولید این مقادیر و حل مدل مذکور در شکل ۴ آورده شده است.



شکل ۴. نتایج اعتبارسنجی

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، مقادیر تابع هدف به‌ازای حل مدل با پارامترهای فازی بیشتر (بدتر) از پارامترهای قطعی است که این امری طبیعی است، زیرا در حالت فازی، شرایط غیر قطعی نیز در نظر گرفته شده است که باعث افزایش تابع هدف اصلی می‌شود. همچنین میانگین مقدار تابع هدف اصلی در حالت فازی برابر $218717/95$ و در حالت قطعی برابر $204838/3$ است که همان‌طور که مشاهده می‌شود میانگین مقدار تابع هدف اصلی در حالت فازی بیشتر از حالت قطعی است. علاوه بر این انحراف معیار در حالت فازی برابر $5989/99$ و کمتر از انحراف معیار در حالت قطعی ($6257/43$) است که نشان‌دهنده تغییرپذیری کمتر مقادیر تابع هدف در حالت فازی نسبت به حالت قطعی است که این امر بدین دلیل است که در حالت فازی یک بازه دارای عدم قطعیت در نظر گرفته می‌شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله ساختار کامل زنجیره تأمین فراورده‌های خونی شامل مناطق اهداکننده خون، مراکز ثابت و سیار اهدای خون، بانک خون، بیمارستان‌ها و مناطق متقاضی خون در شرایط بحران زلزله در شهر تهران ارائه شد. اهداف مدل ارائه‌شده کاهش انواع زمان‌های حمل و نقل در زنجیره تأمین خون و بیشینه‌کردن پوشش مناطق اهداکننده خون توسط مراکز سیار اهدا است. برای نزدیک‌تر شدن مسئله به واقعیت، داده‌های لازم از اطلاعات شبکه انتقال خون تهران و مطالعه جایکا (۲۰۰۰) برای بحران زلزله در این شهر جمع‌آوری شد. با توجه به قطعی نبودن برخی اطلاعات، برنامه‌ریزی فازی مورد استفاده قرار گرفت و برای حل مدل از روش محدودیت اسپیلون اصلاح‌شده استفاده شد.

در حال حاضر مراکز اهدای خون بسیار وجود ندارد و از این مراکز در گذشته استفاده می‌شد. با توجه به نتایج محاسباتی برای پاسخگویی به نیاز افراد، ضروری است که مکان‌های متنوعی برای احداث مراکز سیار خون در نظر گرفته شده و این مراکز در دوره‌های مختلف فعال شوند. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که وضعیت موجود، پاسخگوی نیاز فراورده‌های خونی در مواقع بحران نیست و در این مسئله با در نظر گرفتن مراکز سیار اهدا خون به بسیاری از تقاضاها پاسخ داده شد. همچنین بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده، مرکز وصال که تنها بانک خون موجود در شهر تهران است، باید مقاوم‌سازی شود تا در برابر زلزله تخریب نشود؛ زیرا در صورت تخریب این بانک خون، تهران دچار ضررهای جبران‌ناپذیری خواهد شد. بنابراین باید کارشناسان و خبرگان شبکه انتقال خون شهر تهران، مکان‌های بالقوه دیگری به‌منظور احداث چند بانک خون در این شهر در نظر بگیرند که این امر موجب کاهش زمان حمل و نقل می‌شود. پیشنهادهای آتی را می‌توان از دو دید کاربردی و کمی مطرح کرد. در مبحث کاربردی می‌توان مفروضاتی همچون مسیریابی وسایل نقلیه انتقال خون، بروز اختلال در مسیرهای انتقال فراورده‌های خونی و امکان استفاده از مسیرهای پشتیبان برای مسیرهای تخریب‌شده را در نظر گرفت. در مبحث کمی نیز می‌توان از سایر روش‌های در نظر گرفتن عدم قطعیت همچون بهینه‌سازی استوار و سایر روش‌های حل مسائل چند هدفه بهره برد.

References

- American Association of Blood banks. (2008). *Disaster operations handbook-Hospital. Chapter 3*, AABB Pub. Co., New York.
- 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(1), 57-68.
- Babazadeh, R., Razmi, J., Pishvaei, M.S., & Rabbani, M. (2016). A sustainable second-generation biodiesel supply chain network design problem under risk. *Omega*, Accepted Manuscript.
- Beliën, J. & Forcé H. (2012). Supply chain management of blood products: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 217(1), 1-16.
- Cetin, E. & Sarul, L. S. (2009). A blood bank location model: A multi objective approach. *European Journal of Pure and Applied Mathematics*, 2(1), 112-124.
- Green, G.B., Modi, S., Lunney, K. & Thomas, T.L. (2003). Generic evaluation methods for disaster drills in developing countries. *Annals of emergency medicine*, 41(5), 689-699.
- Gunpinar S. & Centeno, G. (2014). Stochastic integer programming models for reducing wastages and shortages of blood products at hospitals. *Computers & Operations Research*, 54, 129-141.
- Hemmelmayr, V., Doerner, K. F., Hartl, R. F. & Savelsbergh M. W. (2010). Vendor managed inventory for environments with stochastic product usage. *European Journal of Operational Research*, 202(3), 686-695.
- Hemmelmayr, V., Doerner, K. F., Hartl, R. F. & Savelsbergh M. W. (2010). Delivery strategies for blood products supplies. *OR spectrum*, 31(4), 707-725.
- Hosseinzadeh, M., Menhaj, M.B. & Kazemi, A. (2015). A method for solving possibilistic multi-objective linear programming problems with fuzzy decision variables. *Journal of Industrial Management*, 6(4), 709-724. (in Persian)
- Iranian Blood Transfusion Organization. (2015). <http://www.ibto.ir/>
- Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B. & Seuring, S. (2014). Dynamic supply chain network design for the supply of blood in disasters: A robust model with real world application. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 70: 225-244.
- Jacobs, D. A., Silan, M. N & Clemson, B. A. (1996). An analysis of alternative locations and service areas of American Red Cross blood facilities. *Interfaces*, 26(3), 40-50.

- JICA, C. (2000). *The study on seismic microzoning of the Greater Tehran Area in the Islamic Republic of Iran*. Pacific Consultants International Report, OYO Cooperation, Japan.
- Jiménez, M., Arenas, M. & Bilbao, A. (2007). Linear programming with fuzzy parameters: an interactive method resolution. *European Journal of Operational Research*, 177(3), 1599-1609.
- Khorshid, S. & Mahfouzi Mousavi, J. (2010). Measuring and analyzing model of manufacturing organizations need to be agile by using MADM techniques and fuzzy approach. *Journal of Industrial Management*, 2(4), 37-56. (in Persian)
- Lashkar Ara, A., Kazemi, A., Gahramani, S. & Behshad, M. (2012). Optimal reactive power flow using multi-objective mathematical programming. *Scientia Iranica*, 19(6), 1829-1836.
- Mahmoodian Shoostari, M., Pourfathollah, A. (2006). An overview analysis of blood donation in the Islamic Republic of Iran. *Archives of Iranian Medicine*. 9 (3), 200-203.
- Mohamadi, A., Yaghoubi, S., Nahofti Kohneh, J. & Pishvae, M. S. (2015). Locating shelters and telecom-relief centers considering uncertainty in the disaster time (Case study: flood disaster in region #3 of Tehran), *Journal of Industrial Management*, 7(1), 125-149. (in Persian)
- Mostafa, M. M., Sheaff, R., Morris, M. & Ingham V. (2004). Strategic preparation for crisis management in hospitals: empirical evidence from Egypt. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 13(5), 399-408.
- Motamedi, N., Shirazi, M. M. & Nouraei, N. (2012). Designing a Rescue System for Earthquake-Stricken Area with the Aim of Facilitation and Accelerating Accessibilities (Case Study: City of Tehran). *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, World Academy of Science, Engineering and Technology*, 69: 380-383.
- Nagurney, A. Masoumi, A. H. & Yu, M. (2012) Supply chain network operations management of a blood banking system with cost and risk minimization. *Computational Management Science*, 9(2), 205-231.
- Nahmias, S. (1982) Perishable inventory theory: A review. *Operations research*, 30(4), 680-708.
- Nateghi, A. F. (2001). Earthquake scenario for the mega-city of Tehran. *Disaster Prevention and Management*, 10(2), 95-100.
- Osorio, A. F., Brailsford, S. C. & Smith, H. K. (2015). A structured review of quantitative models in the blood supply chain: a taxonomic framework for

decision-making. *International Journal of Production Research*, 53(24), 7191-7212.

Pelling, M., Maskrey, A., Ruiz, P., Hall, L. (2004). *A Global Report: Reducing Disaster Risk a Challenge for Development*. United Nations Development Programme, Bureau for Crisis Prevention and Recovery.

Pierskalla, W.P. (2004). *A Handbook of Methods and Applications. Chapter 5: Supply chain management of blood banks*. Operations Research and Health Care., Kluwer's International Series, Dordrecht.

Pishvae, M. S., Rabbani, M., & Torabi, S. A. (2011). A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Applied Mathematical Modelling*, 35(2), 637-649.

Şahin, G., Süral, H., & Meral, S. (2007). Locational analysis for regionalization of Turkish Red Crescent blood services. *Computers & Operations Research*, 34(3), 692-704.

Sha, Y. & Huang, J. (2012). The multi-period location-allocation problem of engineering emergency blood supply systems. *Systems Engineering Procedia*, 5: 21-28.

Shahriari, S., Razavi, S. M. Asgharizadeh, E. A. (2013). Fuzzy Data Envelopment Analysis and a New Approach FIEP / AHP for Full Ranking of Decision Making Units: A Case Study of Humanities Faculty of Tehran University, *Journal of Industrial Management*, 5(1), 21-42. (in Persian)

Tehran navigation system (2015). "<http://map.tehran.ir>.

Van Zyl, G. J. J. (1964). *Inventory control for perishable commodities*, PhD dissertation, University of North Carolina.

Verkuilen, J. (2005). Assigning membership in a fuzzy set analysis. *Sociological Methods & Research*, 33(4), 462-496.

Zangi abadi, A. & Tabrizi, N. (2006). Tehran earthquake and evaluating the space of vulnerability in urban areas. *Geographical Research Quarterly*, 38(1), 115-130. (in Persian)

Zendehdel, M., Bozorgi-amiri, A. & Omrani, H. A. (2014). Location Model for Blood Donation Camps with Consideration of Disruption. *Journal of Industrial Engineering*, 48: 33-43. (in Persian)