طراحی مدل چندهدفه چند سطحی زنجیره تأمین خون در شرایط بحران

محمد مهدی پایدار[1*]، میترا حبیبی[2]

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۱۳
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۱۲

چکیده

این مقاله، در طی چند دوره، یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه در زنجیره تأمین خون پس از وقوع بحران ارائه می‌کند. این مدل تعداد و مکان تسهیلات و نیز نحوه تخصیص خون به تسهیلات مختلف را تعیین می‌کند. در این مقاله، یک مدل سه سطحی ارائه شده‌است به‌طوری‌که خون از تسهیلات موقت و دائم خون‌گیری جمع‌آوری و به مرکز خون منتقل می‌شود. واحدهای خونی در مرکز خون آزمایش و فرآوری شده و سپس به مراکز درمانی منتقل می‌شود. باتوجه به هدف مسئله، کمینه‌سازی هزینه‌ها و کمبودها، مسئله دوهدفه می‌باشد که این دو هدف باهم در تقابل‌اند. بنابراین با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی و به‌کارگیری داده‌های واقعی تهیه‌شده از مطالعه موردی در شهرستان قائمشهر، مسئله حل گردید. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که با صرف هزینه نه‌چندان زیاد، می‌توان برای داشتن یک زنجیره تأمین خون مناسب برنامه‌ریزی کرد.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین خون، بحران، مکان‌یابی، مدل ریاضی چندهدفه

۱- مقدمه

هر ساله بلایای طبیعی، نظیر سیل، زلزله و طوفان قسمت‌های مختلفی از جهان را گرفتار می‌کند. وقوع این حوادث، خسارات جانی و مالی زیادی را درپی دارد. با وقوع این حوادث، حجم عظیمی از تقاضا برای عملیات امداد و نجات به‌وجود می‌آید. به‌طورکلی، بحران حادثه‌ای است که به‌طور طبیعی و یا توسط بشر، به‌صورت ناگهانی و یا فزاینده به‌وجود می‌آید و سختی و مشقت را به جامعه تحمیل می‌کند که جهت برطرف کردن آن، نیازمند اقدامات اساسی و فوق‌العاده می‌باشد.

در سال‌های اخیر تعداد زیادی از این حوادث و بلایا در ایران و سایر کشورهای جهان رخ داده است. براساس آمارهای جهانی، ایران در بین ۱۰ کشور حادثه‌خیز جهان، رتبه هفتم را دارد که کشوری پرخطر محسوب می‌شود. طبق گزارشات منتشر شده، در دو دهه گذشته، نزدیک به ۱۰ درصد کل جمعیت ایران به نحوی در اثر حوادث و بلایای طبیعی کشته شده، خسارت دیده یا آسیب دیده‌اند و این عدد قابل توجهی است. یکی از مخرب‌ترین این حوادث، زلزله است. در زلزله بم، از ۱۰۸ هزار واحد خونی اهداشده، فقط ۲۱ هزار واحد یعنی تقریباً ۲۳ درصد به نقاط زلزله‌زده عرضه شد. در چنین شرایطی نیاز به مدیریت بحران احساس می‌شود. مدیریت بحران، به مجموعه‌ای از عملیات و فرآیندهای مشخص اطلاق می‌شود که برای جلوگیری و کاهش اثرات بحران در قبل از بحران، در حین وقوع بحران و بعد از بحران برنامه‌ریزی می‌شوند[۱]. لجستیک در زنجیره تأمین و پشتیبانی مدیریت بحران نقش اساسی و تعیین‌کننده‌ای را برعهده دارد که درصورت اختلال درایفای این نقش، کل فرآیند مدیریت بحران با مشکل روبه‌روشده و دچار اختلال خواهدشد. لجستیک امدادرسانی، به آن دسته از فرآیندها و سیستم‌هایی مربوط

۱*- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران، نویسنده پاسخگو، پست الکترونیکی: paydar@nit.ac.ir
نشانی: مازندران، شهرستان بابل، خیابان شریعتی، دانشگاه صنعتی بابل، دانشکده مکانیک، گروه مهندسی صنایع
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران، پست الکترونیکی: maralhabibi88@gmail.com

می‌شود که در هماهنگی افراد، منابع، مهارت‌ها و دانش لازم جهت کمک به افراد آسیب‌دیده در بلایای طبیعی دخالت دارند.

در کنار برنامه‌ریزی برای تأمین و توزیع مناسب کالاهای امدادی از جمله خوراک و پوشاک، یکی از مباحث بسیار حیاتی و مهم، تلاش برای امدادرسانی به آسیب‌دیدگان و مجروحان نیازمند خون می‌باشد. مدیریت زنجیره تأمین خون، یکی از مسائل و نگرانی‌های اصلی بشر می‌باشد. اگرچه پیشرفت‌های زیادی در زمینه جایگزینی محصولات خون انجام شده اما همچنان نیاز به اهدای خون و استفاده از محصولات خونی وجود دارد. خون کالایی معمولی نیست و عرضه خون اهداشده نسبتاً نامنظم و تقاضا برای محصولات خون در بحران نادقیق است. تطبیق عرضه و تقاضا به‌طور مؤثر، به‌آسانی امکان‌پذیر نمی‌باشد. همچنین خون یک کالای فسادپذیر است که این خود بر پیچیدگی کار می‌افزاید. کمبود خون، هزینه‌های جبران‌ناپذیری برای جامعه خواهد داشت به‌طوری‌که می‌تواند منجر به افزایش نرخ مرگ‌ومیر شود. همچنین هدررفتن خون نیز غیرقابل قبول است زیرا تأمین خون فقط از طریق اهدا خون توسط افراد جامعه امکان‌پذیر است و نیز بین هر دو اهدای خون برای هر فرد باید یک فاصله زمانی رعایت شود. بنابراین نگهداری موجودی کافی خون و مدیریت آن به‌منظور پاسخ به تقاضا، امری مهم و حیاتی می‌باشد[۲]. همچنین، محدودیت‌های نگهداری و حمل‌ونقل محصولات خونی به دلیل محدود بودن زمان مصرف آن و نگهداری در دمای مخصوص از دیگر عوامل حیاتی در طراحی این شبکه است. لذا، امروزه، موضوع مدیریت زنجیره تأمین خون در بحران، یکی از اصلی‌ترین چالش‌ها برای هر سیستم سلامت در پی خطرات ناشی از بلایای طبیعی و یا ساخت دست بشر می‌باشد. در برنامه‌ریزی مدیریت سیستم خون، ابتدا باید تأثیر بحران بر عناصر اصلی سیستم شناسایی و سپس برای اقدامات پیشرفته برنامه‌ریزی کرد[۳].

با توجه به نکات اشاره شده، طراحی یک زنجیره تأمین خون مناسب و کارا قبل از بحران ضروری به نظر می‌رسد. زنجیره تأمین خون شامل اهداکنندگان خون، تسهیلات خون (موقت و دائم) و مراکز خون می‌باشد که به‌دنبال مکان‌یابی و تعیین تعداد تسهیلات (موقت و دائم)، نواحی خدمت‌رسانی تسهیلات، میزان موجودی خون در هر تسهیل و میزان موجودی خون در انتهای هر دوره می‌باشد. طراحی یک شبکه یکپارچه از تأمین و توزیع خون برای شرایط پس از وقوع بحران، مسئله‌ای است که به دلیل اهمیت بسیار زیاد آن، موضوع تعداد محدودی از مطالعات صورت‌گرفته می‌باشد. آشکار است که به‌کارگیری روش‌ها و طرح‌های ارائه‌شده مناسب، می‌تواند تا حد زیادی موجب کاهش خسارات جانی ناشی از کمبود خون شود. برای کاهش خسارات و تلفات ناشی از این حوادث، نیاز به مدیریت احساس می‌شود و دولت‌ها باید اقدامات لازم را برای پاسخ‌گویی هرچه بهتر این حوادث انجام دهند. یکی از این اقدامات اساسی که تا حد زیادی پاسخ‌گویی در برابر حوادث را بیشتر می‌کند، مکان‌یابی تسهیلات خون بوده که در زمان بحران، تا حد زیادی عملیات امداد را بهبود بخشیده و منجر به کاهش خسارات مالی و جانی می‌شود.

هدف این مقاله طراحی یک شبکه یکپارچه زنجیره تأمین خون در شرایط بحران می‌باشد به‌طوری‌که در سیستم سلامت بتوان بهترین عملکرد را ارائه کرد. با ارائه یک مدل ریاضی دو هدفه به دنبال کمینه‌سازی هزینه‌های شبکه شامل احداث تسهیلات خون، حمل‌ونقل، آزمایش و فراوری و نگهداری خون از یک طرف و از طرف دیگر رسیدن به بیشترین سطح پاسخ‌گویی با کمینه‌سازی نسبت به کمبود تقاضا در هر دوره مواجه هستیم. در ادامه، در بخش دوم به مرور و بررسی مقاله‌های مرتبط با پیشینه تحقیق پرداخته شده است. در بخش سوم مسئله تعریف و مدل دوهدفه طراحی شده توضیح داده می‌شود. در بخش چهارم روش برنامه‌ریزی آرمانی توضیح داده شده است. در بخش پنجم، با استفاده از داده‌های مربوط به مطالعه موردی در شهرستان قائمشهر، به حل مسئله پرداخته و نتایج عددی حاصل از حل مدل ارائه می‌گردد. در بخش آخر، جمع‌بندی و نتیجه‌گیری از حل مدل و همچنین پیشنهاداتی برای انجام تحقیقات آتی ارائه شده‌است.

۲- پیشینه تحقیق

بیشتر مقالات موجود در زنجیره تأمین امداد مرتبط با حوزه کالا بوده و کمتر در حوزه تأمین خون می‌باشند. همچنین مقالات زنجیره تأمین خون عادی نیز بیشتر در یک سطح تأمین یا توزیع بررسی شده‌اند. گانپینار و سنترو[1] (۲۰۱۵) مدلی را برای زنجیره تأمین خون در شرایط عادی با هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها و فقط در بخش توزیع خون ارائه دادند. مسئله مورد بررسی آنها مدیریت موجودی بوده که با روش شاخه‌وکران در نرم‌افزار CPLEX حل شد[۴]. جبارزاده[2] و همکاران (۲۰۱۴)، مقاله‌ای در زمینه زنجیره تأمین خون در شرایط بحران و فقط در بخش تأمین با هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها ارائه دادند. مطالعه آنها در حوزه

1- Gunpinar & Centeno
2 -Jabbarzadeh

مکان‌یابی و تخصیص تسهیلات بوده که با ارائه یک مدل بهینه‌سازی استوار مسئله را در نرم‌افزار لینگو حل نمودند[۱]. هسیش[1] (۲۰۱۴) مقاله‌ای با موضوع زنجیره تأمین خون در شرایط عادی در دو سطح تأمین و توزیع خون با دو هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها و بیشینه‌سازی سطح پاسخ‌گویی ارائه داد. مدل ایشان در مورد مکان‌یابی، تخصیص و کنترل موجودی تسهیلات بوده که با استفاده از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب مدل را حل نمود[۵]. عبدالوهاب و واهب[2] (۲۰۱۴) مدل زنجیره تأمین خون در شرایط عادی و فقط در بخش توزیع را با در نظر گرفتن هشت گروه خونی و با هدف کمینه‌شدن کمبود و فساد خون ارائه دادند و مسئله مورد بررسی را با روش برنامه‌ریزی پویا حل کردند[۶].

جهت سهولت بررسی مقالات، تعدادی از آنها در جدول (۱) ارائه شده‌است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، مقالات از نظر تابع هدف (تک‌هدفه و چندهدفه)، شرایط (عادی و بحرانی)، روش حل و... بررسی و جمع‌بندی شده است. بیشتر مقالات تک‌هدفه با هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها بوده و به بررسی تنها یک سطح تأمین یا توزیع پرداخته است. مسائل موجود در این مقالات به دو دسته مکان‌یابی- تخصیص و مدیریت موجودی تقسیم شده و برنامه‌ریزی در این مقالات در سطح راهبردی یا تاکتیکی می‌باشد. اغلب جهت بررسی روش‌های ارائه‌شده مثال‌های عددی یا مطالعات موردی آورده‌شده و کارایی مدل و روش ارائه‌شده را بررسی کرده‌اند. سعی براین بوده بیشتر مقالاتی که به بررسی موضوع زنجیره تأمین خون در شرایط بحرانی پرداخته‌اند، بررسی و از جنبه‌های مختلف تحلیل شوند.

به‌طور خلاصه، با مطالعه و بررسی مقالات پیشین، مشخص گردید تحقیقات مناسبی در لجستیک امداد و بلایا در مورد کالاهای امدادی و فیزیکی صورت گرفته است. همچنین چندین تحقیق نیز در مورد زنجیره تأمین خون عادی صورت گرفته است. اما در زمینه زنجیره تأمین خون در شرایط بحران در سیستم‌های سلامت تحقیقات بسیار کمی صورت گرفته است. در این مقاله سعی شده با طراحی شبکه زنجیره تأمین خون در شرایط بحران و با در نظر گرفتن سه سطح تأمین، فراوری و توزیع در چند دوره زمانی به کمینه‌سازی مجموع هزینه‌ها و بیشینه‌سازی سطح پاسخ‌گویی پرداخته شود.

۳- شرح مسئله

در این مقاله، مسئله تأمین و توزیع به‌موقع و به‌اندازه خون است، به‌طوری‌که هزینه‌ها کمینه شده و از طرف دیگر تاحد ممکن با کمبود مواجه نشویم. در دوران پس از زلزله، با افزایش شدید تقاضای خون از طرف مصدومین روبه‌رو هستیم. به‌منظور بررسی دقیق‌تر، این برهه زمانی را به چهار دوره زمانی کوتاه‌تر تقسیم کرده و تقاضا در هر دوره به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد. دوره اول، شامل ۰-۲۴ ساعت اولیه، دوره دوم ۲۴-۷۲ ساعت بعدی، دوره سوم شامل ۷۲ ساعت بعدی و دوره آخر شامل یک هفته بعدی می‌باشد. واضح است که تقاضا در دوره دوم و سوم بسیار بیشتر از دو دوره دیگر است. به‌منظور درنظر گرفتن هر دو سطح تأمین و توزیع، تعداد تسهیلات موجود در مسئله زیاد بوده که این موضوع بر پیچیدگی مسئله می‌افزاید. شکل (۱)، نمایی کلی از مسئله را نشان می‌دهد. به‌طورکلی، مسئله مورد بررسی این مقاله شامل مکان‌های مختلفی است:

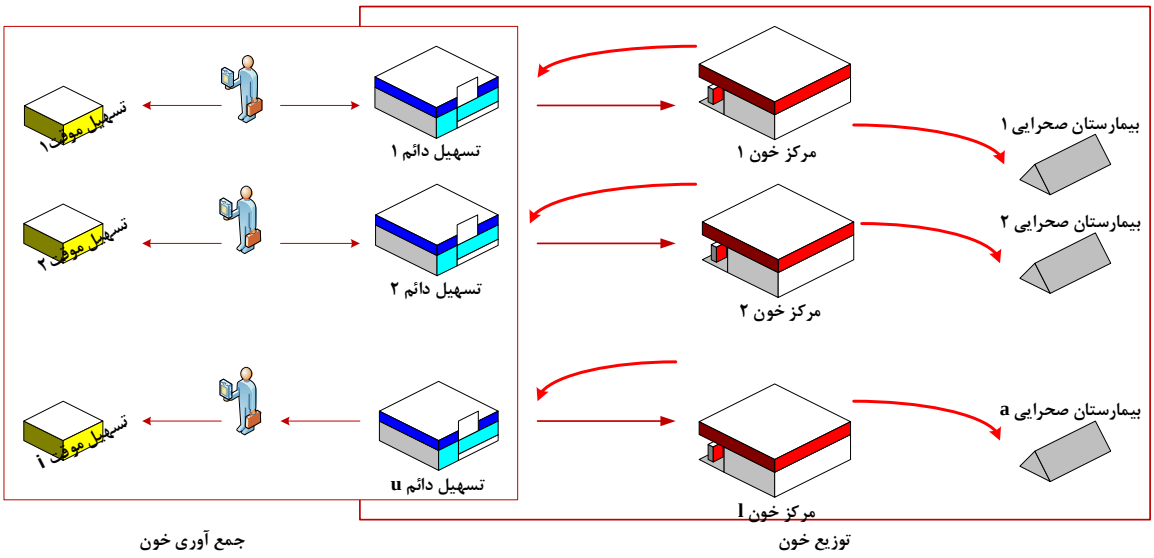
- تسهیلات بالقوه موقت خون‌گیری شامل کانکس‌ها و اتوبوس‌های خون‌گیری قابل حمل که می‌تواند در نقاط مختلف قرار گیرند. این مکان‌ها وظیفه جمع‌آوری (تأمین) خون را به عهده دارند.
- تسهیلات دائم موجود و بالقوه خون‌گیری و درمان مانند بیمارستان‌ها وکلینیک‌ها که در مکان مشخص راه‌اندازی می‌شوند. معمولاً در یک منطقه مورد مطالعه تعدادی تسهیلات دائم وجود دارند و می‌توان تعداد بالقوه‌ای را نیز به‌منظور برپایی در نظر گرفت. این مکان‌ها در حین بحران هم وظیفه جمع‌آوری (تأمین) خون و هم وظیفه درمان (توزیع) را بر عهده دارند.
- مراکز خون موجود و بالقوه که در مکان مشخص راه‌اندازی می‌شوند. معمولاً در یک منطقه مورد مطالعه تعدادی مرکز خون وجود دارد و می‌توان تعداد بالقوه‌ای را نیز به منظور برپایی در نظر گرفت. این مکان‌ها وظیفه فراوری و تست (تأمین) خون را بر عهده دارند.
- بیمارستان‌های صحرایی بالقوه که در مکان مشخص به منظور درمان آسیب‌دیدگان برپا می‌شوند.

مسئله، تعیین تعداد و مکان تسهیلات موقت و دائم که قرار است احداث یا راه‌اندازی شوند و همچنین تعیین استراتژی تأمین، فراوری و توزیع خون می‌باشد. به‌طوری‌که هزینه‌های سیستم سلامت و نسبت کمبود به تقاضا کمینه شوند. این دو هدف با هم در تقابل‌اند زیرا نمی‌توان هم هزینه‌ها را کاهش داد و هم کمبودها را کمینه کرد.

1- Hsieh
2- Abdulwahab & Wahab

جدول (۱): دسته‌بندی مقالات با توجه به ویژگی‌های مشخص

مولف	سال	هدف		شرایط		محصول		دوره		سطح		مسئله	روش حل	نتایج محاسباتی	
		تک هدفه	چند هدفه	عادی	بحرانی	کالا	خون	تک	چند	تک	چند			مثال عددی	مطالعه موردی
وانگ و همکاران[۷]	۲۰۱۴		کمینه کردن زمان سفر، کمینه کردن هزینه توزیع، بیشینه کردن قابلیت اطمینان		*	*		*			تأمین، توزیع	مکان‌یابی، مسیریابی	NSGAII	*	چین
جبارزاده و همکاران[۱]	۲۰۱۴	کمینه‌سازی هزینه‌ها			*		*		*	تأمین		مکان‌یابی، تخصیص	بهینه‌سازی استوار		تهران
گانپینار و سنترو[۴]	۲۰۱۵	کمینه‌سازی هزینه‌ها		*			*		*	توزیع		مدیریت موجودی	CPLEX	*	
صدری اقدم و توکلی مقدم[۸]	۱۳۹۳	کمینه‌سازی مجموع کمبود و ضایعات		*			*		*		مرکز خون، بیمارستان	مدیریت موجودی	Lingo	*	
کاراپ[۳]	۲۰۱۰	بهینه‌سازی سطح موجودی خون			*		*				تأمین، توزیع	مدیریت موجودی			
زنده دل و همکاران[۹]	۱۳۹۳	کمینه‌سازی هزینه‌ها و فاصله			*		*	*			تأمین، توزیع	مکان‌یابی، تخصیص	SSA	*	
زنده دل و امیری[۱۰]	۱۳۹۲	کمینه‌سازی هزینه‌ها و فاصله			*		*	*			تأمین، توزیع	مکان‌یابی	GAMS	*	
شاو و هوانگ[۱۱]	۲۰۱۲	کمینه‌سازی هزینه‌ها			*		*		*		تأمین، توزیع	مکان‌یابی، تخصیص	آزادسازی لاگرانژ		چین
لیاو و دوان[۱۲]	۲۰۱۴	کمینه‌شدن کمبود و فساد		*			*		*		تأمین، توزیع	مدیریت موجودی	روش فرا ابتکاری TA-TS	*	
هسیش[۵]	۲۰۱۴		کمینه‌شدن هزینه‌ها، بیشینه‌شدن سطح پاسخ‌گویی	*			*	*			تأمین، توزیع	مکان‌یابی، تخصیص، کنترل موجودی	NSGAII	*	
عبدالوهاب و واهب[۶]	۲۰۱۴	کمینه‌شدن کمبود و فساد		*			*	*	*	توزیع		مدیریت موجودی	برنامه ریزی پویا	*	



شکل(۱): نمای کلی مسئله

۳-۱ مدل ریاضی

اندیس‌ها:

i مکان بالقوه تسهیل موقت خون‌گیری

j تسهیل دائم (مکان بالقوه بیمارستان دائمی)

k تسهیل دائم (بیمارستان موجود)

a مکان بیمارستان صحرایی بالقوه

b مرکز خون موجود

l مرکز خون بالقوه

t دوره

$u = j \cup k$ مجموعه تسهیلات دائم

$z = b \cup l$: مجموعه مراکز خون

$n = u \cup a$ مجموعه مراکز درمان

پارامترها:

$f1_i$ هزینه راه‌اندازی تسهیل موقت خون‌گیری i ام

$f2_j$ هزینه احداث تسهیل دائم j ام

$f3$ هزینه راه‌اندازی بیمارستان صحرایی

$f4_l$ هزینه احداث مرکز فراوری خون l ام

$Capc_{nt}$ ظرفیت درمان مرکز درمان n ام

$Capf_n$ ظرفیت نگهداری خون در مرکز درمان n ام

$Capb_{ut}$ ظرفیت خون‌گیری تسهیل دائم u ام

$Capa_{it}$ ظرفیت خون‌گیری تسهیل موقت i ام

$Capd_{zt}$ ظرفیت مرکز فراوری خون z ام

Ih هزینه نگهداری هر واحد خون در مرکز فراوری خون

co هزینه تست هر واحد خون در مرکز فراوری خون (فرآوری خون)

$Cost$ هزینه واحد مسافت (به ازای هر کیلومتر)

dem_t تقاضای افراد آسیب دیده برای درمان در دوره t ام

α درصد افراد آسیب دیده نیازمند فراورده خونی

β درصد خون قابل استفاده بعد از فراوری در مرکز فراوری خون

λ درصدی از تقاضای فراورده خونی که باید پاسخ داده شود.

$disct_{iz}$ فاصله بین تسهیل موقت i تا مرکز فراوری خون z

$discc_{nz}$ فاصله بین مرکز درمانی n تا مرکز فراوری خون z

CV ظرفیت وسیله نقلیه به منظور حمل و نقل خون

متغیرهای تصمیم:

CH_{it} مقدار خونی که در تسهیل موقت i ام جمع‌آوری می‌شود.

BH_{ut} مقدار خونی که در تسهیل دائم u ام جمع‌آوری می‌شود.

QT_{izt} مقدار خونی که از تسهیل موقت i ام به مرکز خون zام در دوره t ام منتقل می‌شود.

QC_{uzt} مقدار خونی که از تسهیل دائم u ام به مرکز خون z ام در دوره t ام منتقل می شود.

TH_{znt} مقدار خونی که از مرکز خون z به مرکز درمانی n ام در دوره t ام منتقل می شود.

IN_{zt} مقدار خونی که در مرکز خون z در انتهای دوره t ام نگهداری می شود.

IB_t مقدار کمبود خون در دوره t ام

X_i ۱ اگر تسهیل موقت در مکان i ام احداث شود، در غیر این صورت ۰

Y_j ۱ اگر تسهیل دائم جدید در مکان j ام احداث شود، در غیر این صورت ۰

W_l ۱ اگر مرکز خون جدید در مکان l ام احداث شود، در غیر این صورت ۰

F_a ۱ اگر بیمارستان صحرایی a ام احداث شود، درغیراینصورت ۰

حالت ایده‌آل آن است که به تعداد کافی و در مکان‌های مختلف، تسهیلات موقت و دائم وجود داشته باشد و همچنین مقادیر کافی خون نگهداری شود تا درصورت وقوع بحران با هیچ کمبود خون یا مراکز درمانی مواجه نشویم. اما ازآنجایی که همواره محدودیت بودجه وجود دارد، ناچاریم طوری برنامه‌ریزی کنیم که در کنار تأمین کافی و به‌موقع خون، هزینه‌ها نیز کمینه شوند. بنابراین همان‌طور که ذکر شد، مسئله شامل دو تابع هدف است. تابع هدف اول، کمینه‌سازی هزینه‌هاست؛ هزینه‌ها شامل هزینه راه‌اندازی تسهیل موقت، هزینه احداث تسهیل دائم (بیمارستان)، هزینه راه‌اندازی بیمارستان صحرایی، هزینه احداث مرکز خون، هزینه جمع‌آوری خون از تسهیلات (موقت و دائم) به مرکز خون، هزینه آزمایش و فرآوری خون در مرکز خون، هزینه نگهداری خون، هزینه توزیع خون از مرکز خون به تسهیلات (بیمارستان صحرایی و تسهیل دائم).

$$\text{Min } Z_1 = \sum_i X_i f1_i + \sum_j f2_j Y_j + \sum_a f3 F_a + \sum_l f4_l W_l +$$
$$\sum_t \left[\text{cost} \times \left(\sum_i \sum_z disct_{iz} \left\lceil \frac{QT_{izt}}{CV} \right\rceil + \sum_u \sum_z discc_{uz} \left\lceil \frac{QC_{uzt}}{CV} \right\rceil \right) \right] +$$
$$co \times \left(\sum_i \sum_z \sum_t QT_{izt} + \sum_u \sum_z \sum_t QC_{uzt} \right) + Ih \times \sum_z \sum_t IN_{zt} + \sum_t \left[\text{cost} \times \left(\sum_n \sum_z discc_{nz} \left\lceil \frac{TH_{znt}}{CV} \right\rceil \right) \right]$$

توابع هدف:

تابع هدف دوم، شامل کمینه‌سازی کمبود تقاضای خون در دوره‌های مختلف می‌باشد. به این منظور، نسبت کمبود به تقاضا در دوره‌های مختلف زمانی را کمینه می‌کنیم.

$$\text{Min } Z_2 = \sum_t \frac{IB_t}{dem_t}$$

باتوجه به محدود بودن ظرفیت مراکز خون، جهت آزمایش و فرآوری، تسهیلات موقت و دائم جهت خون‌گیری، درمان و نگهداری خون و همچنین ظرفیت وسیله نقلیه جهت جمع‌آوری و توزیع خون، با محدودیت‌هایی مواجه هستیم. همچنین جهت تخصیص تسهیلات خون‌گیری به مراکز خون در بخش تأمین، و مراکز خون به مراکز درمانی در بخش توزیع، با درنظر گرفتن فاصله تسهیلات نسبت به هم، با محدودیت‌هایی روبه‌رو هستیم. محدودیت‌ها به شرح زیر می‌باشند:

محدودیت‌ها:

$$CH_{it} \le capa_{it} \quad \forall i,t \quad (۱)$$

$$CH_{it} \le M \times X_i \quad \forall i,t \quad (۲)$$

$$BH_{ut} \le Capb_{ut} \quad \forall u,t \quad (۳)$$

$$BH_{ut} \le M \times Y_j \quad \forall u \in j,t \quad (۴)$$

$$CH_{it} = \sum_z QT_{izt} \quad \forall i,t \quad (۵)$$

$$BH_{ut} = \sum_z QC_{uzt} \quad \forall u,t \quad (۶)$$

$$\sum_i QT_{izt} + \sum_u QC_{uzt} \le Capd_{zt} \quad \forall z,t \quad (۷)$$

$$QT_{izt} \le M \times W_l \quad \forall i,z \in l,t \quad (۸)$$

$$QC_{uzt} \le M \times W_l \quad \forall u,z \in l,t \quad (۹)$$

$$QT_{izt} \le M \times X_i \quad \forall i,z,t \quad (۱۰)$$

$$QC_{uzt} \le M \times Y_j \quad \forall u \in j,z,t \quad (۱۱)$$

$$\left(\left(\sum_i QT_{izt} + \sum_u QC_{uzt}\right) \times \beta\right) + IN_{zt-1} - \sum_n TH_{znt} = IN_{zt} \quad \forall z,t \quad (۱۲)$$

$$\sum_z TH_{znt} \le Capf_n \quad \forall n,t \quad (۱۳)$$

$$\sum_z \sum_n TH_{znt} + IB_t = Dem_t \times \alpha \quad \forall t \quad (۱۴)$$

$$TH_{znt} \le M \times W_l \quad \forall z \in l,n,t \quad (۱۵)$$

$$TH_{znt} \le M \times Y_j \quad \forall z,n \in j,t \quad (۱۶)$$

$$TH_{znt} \le M \times F_a \quad \forall z,n \in a,t \quad (۱۷)$$

$$\sum_z \sum_n TH_{znt} \ge \lambda \times (dem_t \times \alpha) \quad \forall n,t \quad (۱۸)$$

$$X_i, Y_j, W_l, F_a \in [0,1] \quad (۱۹)$$

$$CH_{it}, BH_{ut}, QT_{izt}, QC_{uzt}, TH_{znt}, IN_{zt}, IB_t \ge 0 \& \text{int} \quad (۲۰)$$

محدودیت اول: مقدار خونی که در تسهیل موقت i ام در هر دوره جمع آوری می‌شود باید کوچک‌تر- مساوی ظرفیت خون‌گیری آن تسهیل باشد.

محدودیت دوم: درصورتی در تسهیل موقت i ام خون جمع‌آوری می‌شود که تسهیل iام احداث شده باشد.

محدودیت سوم: مقدار خونی که در تسهیل دائم uام در هر دوره جمع‌آوری می‌شود باید کوچک‌تر- مساوی ظرفیت خون‌گیری آن تسهیل باشد.

محدودیت چهارم: درصورتی خون از تسهیل دائم u ام جمع‌آوری می‌شود که تسهیل دائم uام احداث شده باشد.

محدودیت پنجم: مقدار خونی که از تسهیل موقت i ام جمع‌آوری می‌شود برابر است با مقدار خونی که از این تسهیل به مراکز خون منتقل می‌شود.

محدودیت ششم: مقدار خونی که از تسهیل دائم u ام جمع‌آوری می‌شود برابر است با مقدار خونی که از این تسهیل به مراکز خون منتقل می‌شود.

محدودیت هفتم: مجموع خونی که به مرکز خون z منتقل می‌شود کوچک‌تر- مساوی ظرفیت آن مرکز خون است.

محدودیت هشتم و نهم: به‌ترتیب بیان می‌کند؛ درصورتی خون از تسهیلات موقت و دائم به مرکز خون lام منتقل می‌شود که مرکز خون l احداث شده‌باشد.

محدودیت دهم: بیان می‌کند؛ در صورتی خون از تسهیل موقت iام به مراکز خون منتقل می‌شود که تسهیل موقت iام احداث شده‌باشد.

محدودیت یازدهم: بیان می‌کند؛ در صورتی خون از تسهیل دائم jام به مراکز خون منتقل می‌شود که تسهیل دائم jام احداث شده‌باشد.

محدودیت دوازدهم: بیان می‌کند، مقدار خون نگهداری شده در انتهای هر دوره برابر است با مقدار خون فراوری شده و موجودی دوره قبل منهای مقدار خون ارسال شده به مراکز درمانی.

محدودیت سیزدهم: مقدار خونی که به هر مرکز درمانی منتقل می‌شود باید متناسب با ظرفیت آن مرکز باشد.

محدودیت چهاردهم: تقاضای خون یا توسط مراکز خون پاسخ داده می‌شود و یا با کمبود مواجه می شود.

محدودیت پانزدهم: بیان می‌کند، اگر مرکز خون l احداث شده باشد، آن‌وقت خون از مرکز خون lام به مراکز درمانی منتقل می‌شود.

محدودیت شانزدهم و هفدهم: بیان می‌کند، خون از مرکز خون z به‌ترتیب به مرکز درمانی j ام و aام منتقل می‌شود اگر مرکز درمانی j و a احداث شده باشد.

محدودیت هجدهم: مقدار خون پاسخ داده شده باید بزرگ‌تر مساوی درصدی از تقاضا باشد.

محدودیت نوزدهم و بیستم: متغیرهای صفر و یک و متغیرهای عدصحیح را مشخص می‌کند.

۴- برنامه‌ریزی آرمانی

یک مسئله تصمیم‌گیری چندهدفه، در حالت کلی دارای تعدادی تابع هدف می‌باشد که لزوماً این توابع با یکدیگر هم‌راستا نبوده و در مواردی با هم در تعارض‌اند. بهینه‌سازی یک تابع هدف ممکن است منجر به بدتر شدن توابع هدف دیگر شود. در چنین شرایطی نمی‌توان همه اهداف را به‌صورت هم‌زمان بهینه کرد. بنابراین باید به‌دنبال جوابی بود که تعادل رضایت‌بخشی بین توابع هدف ایجاد کند.

بسته به چگونگی ترکیب فرآیندهای بهینه‌سازی و تصمیم‌گیری، روش‌های تصمیم‌گیری چندهدفه به چند دسته تقسیم می‌شود. یکی از این روش‌ها که در این مقاله نیز استفاده شده است، روش تصمیم‌گیری پیش از جست‌وجو است. در این حالت، قبل از اجرای الگوریتم بهینه‌سازی، درجه اهمیت توابع هدف توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود. به‌این صورت مسئله چندهدفه به یک مسئله تک‌هدفه تبدیل می‌شود. یکی از مهم‌ترین روش‌های حل مدل‌های چندهدفه، روش برنامه‌ریزی آرمانی است. در این روش، هدف حداقل کردن انحرافات نامساعد از آرمان‌ها می‌باشد. اساس کار روش برنامه‌ریزی آرمانی به این صورت است که برای توابع هدف مسئله، اعدادی را به‌عنوان سطح انتظار درنظر گرفته، سپس سعی می‌کند مجموع انحرافات از این سطوح کمینه شود. وقتی از برنامه‌ریزی آرمانی استفاده می‌نماییم، اهداف بر مبنای سه مفهوم زیر فرموله می‌شوند:

۱- متغیرهای انحرافی: انحراف‌ها مقادیری هستند که آرمان‌ها از مقدار مورد نظر خود کمتر یا بیشتر محقق شده‌اند. d_i^+ انحراف‌های بیشتر محقق و d_i^- انحراف‌های کمتر محقق را نشان می‌دهند. هدف مدل برنامه‌ریزی آرمانی کمینه نمودن مجموع این متغیرها است.

۲- فاکتورهای اولویت (با تقدم نسبت به یکدیگر): منظور جهت‌دهی مدل برای بهینه‌سازی اهداف بر حسب اهمیت اهداف می‌باشند.

۳- وزن‌دهی به متغیرهای انحرافی در همان سطح از اولویت: در برخی موارد ضروری است که متغیرهای انحرافی را که سطح اولویت مشابهی دارند، وزن‌دهی نمود.

مدل کلی روش برنامه‌ریزی آرمانی وزنی به صورت زیراست:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{n} W_i \left(d_i^+ + d_i^-\right)$$

$$s.t.$$

$$h_k(X) = (\le \text{or} \ge) 0 \qquad k = 1,2,...,q \qquad (۲۱)$$

$$f_i(X) - d_i^+ + d_i^- = g_i \qquad i = 1,2,...,n$$

$$d_i^+, d_i^- \ge 0 \qquad i = 1,2,...,n$$

در آرمان‌های نوع سود، انحرافات منفی و در آرمان‌های نوع هزینه، انحرافات مثبت باید به حداقل برسند.$h_k(X)$ محدودیت k ام سیستم و $f_i(X)$ آرمان i ام می‌باشند. g_i سطح انتظار آرمان i ام و d_i^+ انحراف‌های مثبت و d_i^- - انحراف‌های منفی از مقدار آرمان iام می‌باشند که به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$d_i^- = \begin{cases} g_i - f_i(X) & \text{if } f_i(X) < g_i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d_i^+ = \begin{cases} f_i(X) - g_i & \text{if } f_i(X) > g_i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

همچنین، W_i ضرایب وزن مثبتی هستند که اهمیت هر یک از آرمان‌ها را نسبت به سایر آرمان‌ها تعیین می‌کنند که $\sum_i W_i = 1$.

با توجه به توضیحات بیان شده، مدل برنامه‌ریزی آرمانی مسئله تحقیق حاضر به‌صورت زیر فرمول‌بندی می‌شود:

$$\text{Min } Z = W_1\left(\frac{d_1^+ + d_1^-}{g_1}\right) + W_2\left(\frac{d_2^+ + d_2^-}{g_2}\right)$$

s.t:

constraints (1)- (20) and

$$Z_1 - d_1^+ + d_1^- = g_1$$

$$Z_2 - d_2^+ + d_2^- = g_2$$

۵- مطالعه موردی

ایران یکی از زلزله‌خیزترین کشورها در جهان می‌باشد که در طی سال‌های اخیر با زلزله‌های ویرانگر زیادی مواجه شده‌است. نگرانی اصلی در زمان زلزله و پس از آن، فراهم‌نمودن به‌موقع و به‌اندازه خون می‌باشد. در این مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی خطی به منظور تأمین، فراوری و توزیع بهینه خون ارائه شد که هدف آن کمینه‌کردن هزینه‌ها و کمبود خون در دوره‌های مختلف حین و پس از بحران است. به این منظور، داده‌های واقعی مربوط به شهرستان قائم‌شهر جمع‌آوری و مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. قائم‌شهر در شمال ایران، در استان مازندران واقع شده است. این شهر با مساحت ۴۵۸.۸ مترمربع، حدود ۱۹۶۰۰۰ نفر جمعیت دارد. این شهر دارای دو بیمارستان و یک تسهیل موقت (کانکس) خون‌گیری می‌باشد. همچنین خون مورد نیاز از دو شهرستان بابل و ساری که در اطراف این شهر قرار گرفته، تأمین و فرآوری می‌شود. ازآنجا که در هنگام وقوع بحران با افزایش شدید تقاضا روبه‌رو خواهیم بود، برآنیم تا با راه‌اندازی و احداث تعدادی تسهیل موقت، بیمارستان و مرکز خون به تعداد کافی و در مکان مناسب، برای وقوع احتمالی چنین حوادثی آمادگی لازم را داشته باشیم. جدول (۲)، هزینه راه‌اندازی تسهیلات موقت و هزینه احداث تسهیلات دائم رانشان می‌دهد. کلیه واحدها در عنوان جداول داخل پرانتز نوشته‌شده‌است. در صورت احداث مرکز خون در شهرستان قائم‌شهر، هزینه احداث معادل صد میلیون تومان می‌باشد. جدول‌های (۳) و (۴)، فاصله بین تسهیلات را نشان می‌دهند. در این مسئله، پنج تسهیل موقت خون‌گیری، پنج تسهیل دائم خون‌گیری و درمان، سه مرکز خون و پنج بیمارستان صحرایی درنظر گرفته شده‌است. هدف آن است که باتوجه به هزینه‌ها و محدودیت‌ها، تعداد و مکان تسهیلات را مشخص و نحوه جمع‌آوری و توزیع خون بین تسهیلات را مشخص کنیم.

جدول(۲): هزینه احداث و راه‌اندازی تسهیلات دائم و موقت (بر حسب تومان)

تسهیل موقت خون‌گیری	۱ (خیابان امام خمینی/ بالقوه)	۲ (خیابان آیت‌اله صالحی مازندرانی/ بالقوه)	۳ (خیابان کارگر/ موجود)	۴ (خیابان کوچکسرا/ بالقوه)	۵ (خیابان خزر/ بالقوه)
هزینه راه‌اندازی	۳۰۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰۰	۰	۳۰۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰۰
تسهیل دائم جمع‌آوری خون و درمان	۱ (بیمارستان رازی/ موجود)	۲ (بیمارستان ولی عصر/ موجود)	۳ (بیمارستان قائم/ بالقوه)	۴ (بیمارستان پرچیکلا/ بالقوه)	۵ (کلینیک اسداله‌پور/ بالقوه)
هزینه احداث	۰	۰	۳۰۰۰۰۰۰۰	۸۰۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰

جدول(۳): فاصله تسهیلات موقت از مراکز خون (برحسب کیلومتر)

		مرکز خون		
		۱ (شهرستان بابل/ موجود)	۲ (شهرستان ساری/ موجود)	۳ (شهرستان قائم شهر/ بالقوه)
تسهیل موقت خون‌گیری	۱	۲۰	۲۵	۵
	۲	۲۲	۲۶	۵.۵
	۳	۲۱	۲۲	۵
	۴	۲۲	۲۴	۵
	۵	۲۲	۲۴	۶

جدول(۴): فاصله مراکز خون از مراکز درمان (برحسب کیلومتر)

		مرکز خون		
		۱	۲	۳
مرکز درمان	۱ (بیمارستان رازی)	۲۱	۲۳	۴.۵
	۲ (بیمارستان ولی عصر)	۲۵	۲۰	۹
	۳ (بیمارستان قائم)	۲۱	۲۶	۰
	۴ (بیمارستان نیما یوشیج)	۲۲	۲۳	۸
	۵ (کلینیک اسداله پور)	۲۵	۲۲	۸.۵
	۶ (بیمارستان صحرایی/ بالقوه)	۱۸	۲۳	۵
	۷ (بیمارستان صحرایی/ بالقوه)	۲۱	۲۵	۵.۵
	۸ (بیمارستان صحرایی/ بالقوه)	۲۰	۲۴	۵

افراد در تسهیلات موقت و دائم خون‌گیری، خون اهدا می‌کنند. واحدهای خون جمع‌آوری شده در این تسهیلات به مراکز خون منتقل می‌شود. در مرکز خون، واحدهای خون را آزمایش و فرآوری کرده تا خون‌های ناسالم یا دارای بیماری را جدا کنند و خون موجود را آماده تزریق نمایند. درصد خون قابل استفاده بعداز آزمایش و فرآوری در مرکز خون، β، برابر ۰.۸ درنظر گرفته‌شد. این مقدار میانگین داده‌های آماری مربوط به چند بیمارستان می‌باشد. هزینه نگهداری و هزینه آزمایش هر واحد خون ($۴۵۰\ ml$) معادل۵۰۰ تومان درنظر گرفته‌شد. خون فرآوری‌شده با وسایل نقلیه مشخص به مراکز درمانی منتقل می‌شود. هزینه واحد مسافت، ۵۰۰ تومان درنظر گرفته‌شد. همچنین هر وسیله‌نقلیه ظرفیت جابه‌جایی ۱۰۰ واحد خون را دارد. در شرایط بحران، در بین افراد آسیب‌دیده، درصد زیادی نیازمند خون می‌باشند. درصد افراد آسیب‌دیده که برای درمان نیازمند خون هستند، α، برابر ۰.۸ درنظر گرفته‌شد.

به منظور برآورد قطعی یک میزان حداقل از تقاضا، پارامتر λ، برابر ۰.۷ معرفی شد. تقاضای افراد آسیب‌دیده در جدول (۵)، آمده‌است. میزان جمع‌آوری خون در تسهیلات و انتقال آن به مراکز خون و از آنجا به مراکز درمان، بستگی به میزان ظرفیت این تسهیلات دارد. جدول‌های (۶) و (۷)، ظرفیت خون‌گیری تسهیلات موقت و دائم را نشان می‌دهد. همچنین ظرفیت نگهداری خون در مراکز درمانی و ظرفیت فرآوری خون در مرکز خون نیز، در جدول‌های (۸) و (۹) آمده‌است.

جدول(۵): تقاضای افراد آسیب‌دیده (نفر)

دوره	۱	۲	۳	۴
تقاضا	۵۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰

جدول (۶): ظرفیت خون‌گیری تسهیلات موقت (واحد خون)

		دوره			
		۱	۲	۳	۴
تسهیل موقت	۱	۹۰	۱۸۰	۲۷۰	۶۳۰
	۲	۵۵	۱۱۰	۱۶۵	۳۸۵
	۳	۹۰	۱۸۰	۲۷۰	۶۳۰
	۴	۵۵	۱۱۰	۱۶۵	۳۸۵
	۵	۲۰	۴۰	۶۰	۱۴۰

جدول(۷): ظرفیت خون‌گیری تسهیلات دائم (واحد خون)

		دوره			
		۱	۲	۳	۴
تسهیل دائم	۱	۸۰	۱۶۰	۲۴۰	۵۶۰
	۲	۸۰	۱۶۰	۲۴۰	۵۶۰
	۳	۷۵	۱۵۰	۲۲۵	۵۲۵
	۴	۷۰	۱۴۰	۲۱۰	۴۹۰
	۵	۷۰	۱۴۰	۲۱۰	۴۹۰

جدول(۸): ظرفیت نگهداری خون در مرکز درمان (واحد خون)

		دوره			
		۱	۲	۳	۴
مرکز درمانی	۱	۴۰	۶۰	۸۰	۲۵۰
	۲	۴۵	۷۵	۱۰۰	۲۸۵
	۳	۵۵	۸۵	۱۴۰	۳۰۰
	۴	۴۵	۷۵	۱۰۰	۲۸۰
	۵	۵	۷	۱۰	۲۵
	۶	۸	۱۲	۱۲	۴۰
	۷	۸	۱۲	۱۲	۴۰
	۸	۸	۱۲	۱۲	۴۰

جدول(۹): ظرفیت فراوری خون در مرکز خون (واحد خون)

		دوره			
		۱	۲	۳	۴
مرکز خون	۱	۲۵۰	۵۰۰	۷۵۰	۱۷۵۰
	۲	۲۵۰	۵۰۰	۷۵۰	۱۷۵۰
	۳	۱۸۰	۳۶۰	۵۴۰	۱۲۶۰

با توجه به مدل بهینه‌سازی خطی ارائه‌شده و به‌منظور تعیین تعداد تسهیلات و مکان‌یابی آنها و تخصیص استراتژی بهینه جهت تأمین و توزیع خون، از داده‌های ارائه‌شده در بخش‌های قبلی استفاده نموده و مسئله حل شده است. مدل مسئله در نرم‌افزار LINGO12، بر یک رایانه شخصی با مشخصات Core i7، CPU 2.1 GHz و RAM 4 GIG حل شد. همان‌طور که در بخش‌های قبل ذکر شد، مسئله دارای دو تابع هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها و کمینه‌سازی کمبودها می‌باشد که این دو هدف باهم در تقابل‌اند. هر مسئله به‌طور جداگانه در نرم‌افزار حل شد. مقدار تابع هدف اول، کمینه‌سازی هزینه‌ها، برابر ۶۷۴۰۷۳۶۰ و مقدار تابع هدف دوم، کمینه‌سازی کمبودها برابر صفر به‌دست‌آمد. با استفاده از این مقادیر به‌عنوان مقدار آرمانی اول (g_1) و دوم (g_2) و وزن‌دهی به توابع هدف باتوجه به درجه اهمیت آنها، وزن ۰.۴ برای تابع هدف اول و ۰.۶ برای تابع هدف دوم، مسئله تبدیل به یک مسئله تک‌هدفه شد. همچنین به دلیل استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی و تبدیل مسئله به مسئله تک‌هدفه، به‌ازای هر تابع هدف، یک محدودیت جدید علاوه‌بر محدودیت‌های سیستمی مسئله به آن اضافه می‌شود. پس از حل مسئله به روش برنامه‌ریزی آرمانی و ادغام دو مسئله، مقدار تابع هدف اول به ۳۹۵۹۰۶۳۰۰ تومان و مقدار تابع هدف دوم به ۰.۱۲ افزایش یافت. همچنین مقدار تابع هدف برنامه‌ریزی آرمانی برابر ۰.۱۷۵۵۹۵۶ محاسبه‌شد. در ضمن تعداد و مکان تسهیلات موقت و دائم و مرکز خون و مقدار خونی که از این تسهیلات به مراکز خون و بالعکس منتقل می‌شود مشخص و جواب‌های حاصله به‌طور خلاصه در جدول‌های (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده‌است.

براساس نتایج به‌دست‌آمده، علاوه بر تسهیل موقت خون‌گیری موجود در مکان خیابان کارگر، لازم است سه تسهیل موقت ۱، ۲ و ۵ به ترتیب در مکان‌های خیابان امام خمینی، خیابان آیت‌اله صالحی مازندرانی و خیابان خزر راه‌اندازی شوند. همچنین با وجود دو تسهیل دائم خون‌گیری و درمان، بیمارستان رازی و بیمارستان ولی‌عصر، باید دو تسهیل دائم ۳ و ۵، به‌ترتیب، بیمارستان قائم و کلینیک اسداله‌پور در مکان‌های مشخص‌شده راه‌اندازی شوند. خون مورد نیاز از مراکز خون ۱ و ۲ در شهرستان‌های بابل و ساری فرآوری و توزیع می‌شود و براساس نتایج بدست‌آمده نیازی به احداث مرکز خون جدید نیست. همچنین باید سه بیمارستان صحرایی ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب در مکان‌های خیابان امام خمینی، خیابان آیت‌اله صالحی مازندرانی و خیابان کوچکسرا راه‌اندازی شود. بدیهی است در خیابان کارگر به تعداد کافی تسهیل دائم وجود دارد و نیاز به راه‌اندازی بیمارستان صحرایی نیست. همچنین راه‌اندازی بیمارستان‌های صحرایی ۱، ۲ و ۳ به‌دلیل دور بودن از مراکز درمانی منطقی به‌نظر می‌رسد. سیستم در دوره‌های اول و دوم با هیچ کمبودی مواجه نمی شود. در دوره‌های سوم و چهارم، در هر دوره با ۶۰ واحد کمبود مواجه شده که این میزان کمبود در مقابل حجم تقاضای به‌وجودآمده قابل قبول است.

جدول(۱۰): تعداد و مکان تسهیلات موقت و دائم که باید راه‌اندازی و احداث شوند.

تسهیل موقت	تسهیل دائم	بیمارستان صحرایی
۱: خ امام خمینی ۲: خ آیت‌اله صالحی مازندرانی ۵: خ خزر	۳: بیمارستان قائم ۵: بیمارستان اسداله‌پور	۱: خ امام خمینی ۲: خ آیت‌اله صالحی مازندرانی ۴: خ کوچکسرا

جدول(۱۱): مقدار خون که در تسهیلات موقت در هر دوره جمع‌آوری می‌شود. (واحد خون)

		تسهیل موقت			
		۱	۲	۳	۵
دوره	۱	۸۰	۸۰	۷۵	۱۰
	۲	۱۶۰	۰	۱۳۰	۰
	۳	۱۶۰	۰	۰	۰
	۴	۰	۰	۰	۰

جدول(۱۲): مقدار خون که در دوره اول از مراکز خون به مراکز درمانی منتقل می‌شود. (واحد خون)

		مرکز درمانی							
		۱	۲	۳	۵	۶	۷	۸
مرکز خون	۱	۰	۰	۱۱۰	۰	۳۰	۳۰	۳۰
	۲	۰	۲۰۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، به بررسی زنجیره تأمین خون در شرایط بحران پرداخته‌شد. هدف، تأمین، فراوری و توزیع به‌اندازه و به‌موقع خون می‌باشد. مسئله، مکان‌یابی و تعیین تعداد تسهیلات موقت و دائم و تخصیص استراتژی بهینه جهت تأمین و توزیع خون می‌باشد. یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه ارائه شد که توابع هدف آن شامل کمینه‌سازی هزینه‌ها و کمبودها است. مطالعه موردی این مقاله در شهرستان قائم‌شهر صورت پذیرفت. باتوجه به داده‌های جمع‌آوری‌شده و با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی، جواب مسئله نهایی به‌دست آمد. نتایج به‌دست‌آمده از حل مدل، نشان داد که با صرف هزینه نه چندان زیاد ۳۹۵۹۰۶۳۰۰ تومان و احداث سه تسهیل موقت، دو تسهیل دائم و سه بیمارستان صحرایی با این میزان تقاضا، می‌توان تقاضای خون حاصل‌شده از وقوع بحران را به‌موقع و تاحد ممکن به اندازه، پاسخ داد.

در این مقاله، تنها به بررسی یک سطح تأمین یا توزیع پرداخته شده‌است. همچنین سعی شد با درنظرگرفتن سه سطح تأمین، فراوری و توزیع و چهار دوره زمانی پس از وقوع بحران و عوامل متغیر تأثیرگذار در مسئله، مدلی مناسب ارائه شود. در مطالعات بعدی، می‌توان به‌جای آنکه خون به‌صورت یک محصول درنظر گرفته‌شود، به‌صورت چندمحصولی با گروه‌های خونی در مدل آورده شود. همچنین می‌توان مسئله را تحت سناریوهای مختلف وقوع بحران بررسی نمود و بخش مسیریابی را به مسئله اضافه نمود.

۷- مراجع

[1] Jabbarzadeh, A., Behnam, F., Stefan, Seuring., ***"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, 2014.

[2] Beliën, J., Forcé, H., "***Supply chain management of blood products"*** .European Journal of Operational Research. 217.1, 2012.

[3] Kumudu, K.S., Kuruppu., "***Managment of blood system in disasters"***. 87-90, 2010.

[4] Gunpinar, S., Centeno, G., ***"Stochastic integer programming models for reducing wastages and shortages of blood products at hospitals"***. Computers & Operations Research.54, 129-141, s2015.

[5] Hsieh, C., ***"An Evolutionary-Based Optimization for a Multi-Objective Blood Banking Supply Chain Model"***. Springer International Publishing Switzerland2014. Part I. LNAI 8481, 511–520, 2014.

[6] Wahab, U., ***"Approximate dynamic programming modeling for a typical blood platelet bank"***. Abdulwahab, M.I.M., Computers & Industrial Engineering.78, 259-270, 2014.

[7] Wang, H., Du, L., Ma, S., ***"Multi-objective open location-routing model with split delivery for optimized relief distribution in post-earthquake"***. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review.69, 160-179, 2014.

[۸] صدری‌اقدم، م. توکلی‌مقدم. ر. ***"مدل زنجیره تأمین دو سطحی برای پلاکت خون با در نظرگرفتن جریان بین مراکز مصرف"***. همایش ملی پژوهش‌های مهندسی صنایع، ۱۳۹۳.

[۹] زنده‌دل، م . بزرگی امیری، ع. عمرانی،ه. ***"ارائه مدل مکان‌یابی پایگاه های اهدای خون با در نظر گرفتن اختلال در محل استقرار"***. نشریه تخصصی مهندسی صنایع، ۴۸، ۳۳-۴۳، ۱۳۹۳.

[۱۰] زنده‌دل، م. بزرگی امیری، ع. ***"مکان‌یابی مجدد پایگاه‌های انتقال خون در بحران"***. دهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، ۱۳۹۲.

[11] Sha,Y.,Huang,J., "***The Multi-period Location-allocation Problem of Engineering Emergency Blood Supply Systems"***. Systems Engineering Procedia.5,21-28, 2012.

[12] Duan, Q., Liao, T.W., ***"Optimization of blood supply chain with shortened shelf lives and ABO compatibility"***. International Journal of Production Economics.153, 113-129, 2014.