مقاله پژوهشی

طراحی شبکه زنجیره تأمین بیمارستانی با رویکرد مکان‌یابی تسهیلات و در نظر گرفتن اختلال

سعید بخشنده [1*]، کمال باقری [2]، محمدسعید مهرآباد [3]، عمران محمدی [4]

دانشگاه علم و صنعت ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۳۱

چکیده

تحت هیچ شرایطی نمی‌توان از اهمیت مدیریت زنجیره تأمین سلامت کاست. مکان‌یابی مراکز درمانی و بیمارستانی در سناریوهای تحت تأثیر حوادث طبیعی می‌تواند به کنترل بیشتر بر خسارات جانی و مالی منتهی شود. در این نوشتار برای مکان‌یابی تسهیلات یادشده سه سطح اصلی اعم از نقاط تقاضا (شهرستان‌های استان گیلان)، مراکز درمانی و بیمارستان‌ها و تأمین‌کننده‌ها تعریف‌شده است که با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی و قطعی نسبت به حل این مسأله اقدام شده است. رویکرد مدل بهینه‌سازی و پاسخ پایانی به‌صورت دقیق در استان گیلان حل و ارائه‌شده است. هدف اصلی این مدل پیشنهادی، حداقل کردن هزینه‌های احداث و جابجایی با توجه به اختلال ایجادشده در بیمارستان‌ها، مراکز درمانی علی‌الخصوص لینک‌های ارتباطی میان نقاط تقاضا و بیمارستان / مراکز درمانی و همچنین بین تأمین‌کننده و بیمارستان / مراکز درمانی، می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین بیمارستان، مکان‌یابی، بیمارستان و مراکز امدادی

۱- مقدمه

مشکل شبکه‌های زنجیره تأمین (SCND) تصمیمات استراتژیکی ازجمله تعیین تعداد، محل و ظرفیت امکانات موردنیاز برای ارائه خدمات به شیوه‌ای به‌موقع و کارآمد است. هنگام طراحی یک شبکه زنجیره تأمین (SCN)، پارامترهایی ازجمله پیش‌بینی تولید، انبارداری، توزیع، حمل‌ونقل و تقاضا (مرتبط با هزینه‌ها) و همچنین درآمد و سطح خدمات موردبررسی قرار می‌گیرد. یکی از عواملی که باعث پیچیدگی مشکلات SCND می‌شود، تأثیر طولانی مدت تصمیمات طراحی شبکه است. امکانات تأمین در SCN ها برای چندین سال گزینش می‌شوند. بنابراین، برای در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترها، به‌ویژه الزامات مهم (مانند تقاضاها)، در نظر گرفتن شرایط مساعد و دلخواه و بدون توجه به حوادث طبیعی نتیجه قابل‌اطمینانی را حاصل نمی‌کند. افزون بر این، حوادث پرمخاطره برآمده از فجایع طبیعی یا برآمده از اشتباهات انسانی ممکن است، تأثیرات جدی بر روی قابلیت‌های یک زنجیره تأمین داشته باشد [۲۰].

تانگ دودسته از ریسک‌ها را در زنجیره‌های تأمین تعریف می‌کند. اولی خطرات عملیاتی برآمده از حوادث کسب‌وکار مانند خرابی ماشین‌ها و قطعی برق است که منجر به عدم قطعیت‌های مؤثر در عرضه و تقاضا می‌شود. ریسک‌های عملیاتی معمولاً با استفاده از چنین عدم قطعیت‌هایی در

۱*- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع گرایش بهینه سازی، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران، نویسنده مسئول، پست الکترونیک: saeed.bakhshandeh.t@gmail.com
نشانی: تهران، نارمک، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع گرایش بهینه سازی، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، پست الکترونیک: kamalbagheri8877@gmail.com

۳- استاد تمام، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، پست الکترونیک:mehrabad@iust.ac.ir

٤- استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، پست الکترونیک:e_mohammadi@iust.ac.ir

داده‌های ورودی (به‌عنوان نمونه، تقاضای مشتری نامعلوم، ظرفیت تأمین نامطمئن و هزینه‌های نامشخص) به دلیل ماهیت پویا این پارامترها در درازا زمان به دست می‌آیند. [۲۱]

طبقه‌بندی دوم خطرات اختلال است که برآمده از بلاهای طبیعی و بی‌همتا مانند زمین‌لرزه، سیل، طوفان‌ها، حملات تروریستی و غیره هستند. بااین‌حال، در نظر گرفتن تمامی این عدم قطعیت‌ها برای تغییرات احتمالی در درازا یک افق بلندمدت (به‌عنوان نمونه خطرات عملیاتی) و نیز خطرات اختلال ضروری است تا فضای رقابتی طراحی‌شده حفظ شود. [۱]

در تمام بحران‌های طبیعی، امنیتی، سیاسی و نظامی احتمال وقوع حوادثی که منجر به جراحت به انسان‌ها شود، وجود دارد. کشوری که آمادگی انجام واکنش مناسب در هنگام وقوع بحران‌ها را داشته باشد، می‌تواند ضمن کاهش تلفات انسانی، نسبت به پیشگیری از انتشار بحران و ضایعات، اقدام مناسب انجام دهد. یکی از اقداماتی که معمولاً سازمان‌های مقابله با حوادث غیرمترقبه و نیز سازمان‌های امدادی دولتی و خصوصی و سرانجام سازمان های نظامی انجام می‌دهند، تأسیس مراکز امدادی و درمانی است. مهم‌ترین مسائلی که در سر راه تأسیس این مراکز وجود دارد، بررسی مکانی است که با توجه به امکانات، منابع موجود، ویژگی‌های منطقه و حجم احتمالی مصدومان و مجروحان، مورد گزینش قرار می‌گیرد تا مناطق به تحت پوشش خدمات ارائه نماید، روش انتقال زخمی و آسیب‌دیده به آنجا حتی‌الامکان ساده و آسان باشد و اتلاف سرمایه پیش نیاید. همچنین، بحران‌ها و حوادث حداقل آسیب را به مرکز وارد نماید و فاصله مناسب با محل وقوع جراحت و آسیب را داشته باشد. [۲]

۲- بازبینی ادبیات

صالحی صادقیانی و همکارانش [۳] معتقدند که طراحی شبکه‌های انعطاف‌پذیر تحت ریسک‌های عملیاتی و اختلال می‌تواند یک برتری رقابتی اساسی ایجاد کند. آن‌ها یک مدل پوشش چندگانه قطعی برای نخستین بار پیشنهاد دادند. سپس آن را به یک مدل قوی بر پایه سناریو از طریق تولید سناریو و پروفایل‌های اختلال برای طراحی یک شبکه انعطاف‌پذیر تعمیم دادند. جبارزاده و همکاران [۴] نیز بر این باورند که زنجیره تأمین جهانی بیش از هر زمان دیگری تحت تهدید اختلالات برآمده از بلایای طبیعی و بی‌همتا و همچنین وقفه‌های ناگهانی برآمده از تنوع در عرضه و تقاضا قرار دارد. آن‌ها یک مدل بهینه‌سازی یکپارچه-تصادفی و یک راهکار لاگرانژی برای طراحی مقاوم در برابر وقفه‌های عرضه / تقاضا زنجیره تأمین و اختلالات تسهیلات ارائه دادند که خطر ابتلا به آن و میزان تأثیر آن را می‌توان از طریق سرمایه‌گذاری‌های مدیریت‌شده کاهش داد.

پنگ[1] و همکارانش [۵] یک مسئله مدیریت زنجیره تأمین راهبردی را موردمطالعه قراردادند تا شبکه‌های قابل‌اطمینانی طراحی کنند که در شرایط عادی به‌خوبی شدنی باشند، درحالی‌که در هنگام روبرو با وقفه‌های ناگهانی نیز کمابیش خوب عمل کند. آن‌ها یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط را ارائه کردند که هدف آن کمینه کردن هزینه بود. فهیم نیا و جبارزاده [۶] معتقدند که مدیریت زنجیره تأمین پایدار به بخشی جدایی‌ناپذیر از راهبرد شرکت در هر صنعت تبدیل‌شده است. آن‌ها رابطه مقاومت پایداری در سطح طراحی زنجیره تأمین را بررسی کردند و از یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه با استفاده از روش امتیازدهی عملکرد پایدار و یک روش برنامه‌نویسی فازی تصادفی توسعه‌یافته برای انجام تجزیه‌وتحلیل توازن پایداری پویا و طراحی یک "زنجیره تأمین پایدار" استفاده کردند.

شیشه‌بری و یوسفی [۷] یک مدل برنامه‌نویسی خطی عدد صحیح مختلط را برای طراحی شبکه خدمات پزشکی (MS) را ارائه دادند که به‌طور همزمان پارامترهای نامعین، اختلالات سیستم و محدودیت بودجه سرمایه‌گذاری را در نظر می‌گیرد. مدل پیشنهادی را بر پایه‌یک روش بهینه‌سازی استوار برای نگهداری از شبکه در برابر عدم قطعیت فرموله کردند. زرین پور و فلاح نژاد [۸] یک مدل تخصیص مکان‌یابی تخصیص را برای طراحی شبکه خدمات بهداشتی پیشنهاد کردند که در آن امکانات در معرض خطر اختلالات قرار دارند. عدم قطعیت مربوط به تقاضا و سرویس را با سیستم صف‌بندی کنترل کردند. برای مدل پیشنهادی از روش بهینه‌سازی استوار دو مرحله‌ای استفاده کردند.

مستر[2] و همکارانش [۹] دو مدل تخصیص-مکان‌یابی برای رسیدگی به عدم قطعیت در برنامه‌ریزی راهبردی شبکه‌های بیمارستانی پیشنهاد دادند که هدف این مدل‌ها چگونگی سازمان‌دهی دوباره سیستم شبکه بیمارستان است

1-Peng
1- Mestre

که تصمیم‌گیرنده به دنبال بهبود دسترسی جغرافیایی و به دنبال آن کمینه‌سازی هزینه‌ها می‌باشد. بزرگی امیری و همکارانش [۱۰] یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی دو هدفه بر پایه ترکیب همزمان مسئله مکان‌یابی و تخصیص خدمات قابل‌ارائه در بیمارستان‌ها را پیشنهاد دادند. برای حل مدل پیشنهادی نیز، از دو روش وزن دهی و روش محدودیت اپسیلون افزوده‌شده استفاده کردند.

پاول و مک‌دونالد[1] [۱۱] چارچوب مدل‌سازی تصادفی را با در نظر گرفتن منابع متعددی از عدم قطعیت ارائه کردند تا برای تعیین مکان و ظرفیت مراکز توزیعی مورداستفاده قرار گیرد. آن‌ها یک روش هیوریستیک بهینه‌سازی تکاملی را با کمک یک مدل برنامه‌نویسی عدد صحیح مختلط توسعه دادند که راه‌حل‌هایی باکیفیت بالا را تولید می‌کند. قوامی‌فر و همکاران [۱۲] به رقابتی میان زنجیره تأمین داخلی پرداختند که در آن تولیدکننده و نمایندگان فروش برای رسیدن به اهدافشان رقابت می‌کنند. آن‌ها از یک رویکرد برنامه‌نویسی چند سطحی و چندگانه برای طراحی یک شبکه زنجیره تأمین رقابتی استفاده کردند. یک رویکرد ترکیبی، دربرگیرنده برنامه سازش و روش‌های تجزیه بندرز برای حل مدل توسعه‌یافته است. محمدی و همکارانش [۱۳] یک شبکه مراقبت‌های بهداشتی قابل‌اعتماد را طراحی کردند. تحت ظرفیت محدود، صف بیماران ممکن است منجر به خطر مرگ شود. افزون بر این، واحدهای درمان تنها به بیمارانی که در آستانه پوشش هستند خدمت ارائه می‌دهند، درحالی‌که این آستانه تحت تأثیر چندین عامل قرار می‌گیرد. آن‌ها تعداد بیماران را بررسی کرده و آستانه را تحت عدم اطمینان پوشش در نظر گرفتند. برای کنترل عدم قطعیت نیز، روش الگوریتم فرا ابتکاری را برای حل این مشکل توسعه دادند.

شیآن[2] و همکارانش [۱۴] یک مدل مسئله غیرخطی عدد صحیح مختلط (MINLP) بر پایه سناریو را ارائه دادند که خطرات اختلال در تأسیسات، ازدحام ترافیک مسیر و تأخیر در صف برای ایجاد یک مشکل مکان‌یابی تسهیلات را ادغام می‌کند. آن‌ها از یک فرمول‌بندی MINLP و یک روش راه‌حل آزادسازی لاگرانژی (LR) را استفاده کردند.

شیشه‌بری [۱۵] یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط با در نظر گرفتن هزینه‌های مختلفی ازجمله مکان‌یابی تسهیلات، اتصال و بهبود و هزینه‌های حمل‌ونقل برای مدل‌سازی مسئله طراحی شبکه مکان‌یابی تسهیلات با امکانات غیرقابل‌اعتماد ارائه داد. توفیقی و همکاران [۱۶] در مورد مسئله طراحی شبکه دوطرفه انحصاری تدارکاتی، دربرگیرنده چندین انبار مرکزی و مرکز توزیع محلی و یک رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی احتمالی بر پایه سناریوهای دومرحله‌ای ارائه دادند. در این پژوهش به طراحی شبکه امدادی در تهران هنگام زمین‌لرزه‌های نهفته برای مقابله با مشکلات بزرگ تدارکاتی در مراحل پیش و پس از فاجعه است پرداخته‌شده است. آن‌ها از یک الگوریتم تطبیقی دیفرانسیل مخصوص (DE) برای یافتن راه‌حل‌های مناسب استفاده کردند.

محمدی و یعقوبی [۱۷] بر این باورند که در صورت وقوع فاجعه‌ای طبیعی و اشتباهات انسانی، تقاضای بالا برای تدارکات پزشکی و تعداد زیادی از افراد زخمی در یک دوره زمانی کوتاه در مناطق آسیب‌دیده ظاهر خواهند شد. سپس یک مدل بهینه‌سازی تصادفی دو هدفه جهت مکان‌یابی نقاط انتقال و مراکز توزیع تجهیزات پزشکی ارائه دادند که وقتی فاجعه‌ای رخ می‌دهد، تعیین اولویت درمان زخمی‌ها بر پایه شدت بیماری یکی از مهم‌ترین مسائل در زمینه ems است که سیستم تریاژ نامیده می‌شود. مدل دو جهته پیشنهادی را به یک مدل برنامه‌نویسی عدد صحیح مختلط با استفاده از روش ε- مقید تبدیل کردند.

بونمی[3] و همکارانش [۱۸] معتقدند که از در سال‌های (۱۹۵۰-۱۹۶۰) تعداد بلایای طبیعی و انسانی به صورت نمایی افزایش یافته است و مشکل مکان‌یابی تسهیلات، به یک رویکرد برای مقابله با مشکلات لجستیکی انسان دوستانه تبدیل شده است. برای مقابله با این چالش، بونمی و همکارانش یک الگوریتم دقیق و یک الگوریتم اکتشافی به عنوان رویکرد اصلی برای حل این مشکل ترکیب کردند. آن‌ها چهار مشکل اصلی را بررسی کردند که عبارتند از: مسائل مکان‌یابی تسهیلات قطعی، مشکلات مکان‌یابی تسهیلات وابسته، مشکلات مکان‌یابی امکانات تصادفی و مشکلات مکان‌یابی تسهیلات انعطاف‌پذیر.

2-Paul & MacDonald
3-xian

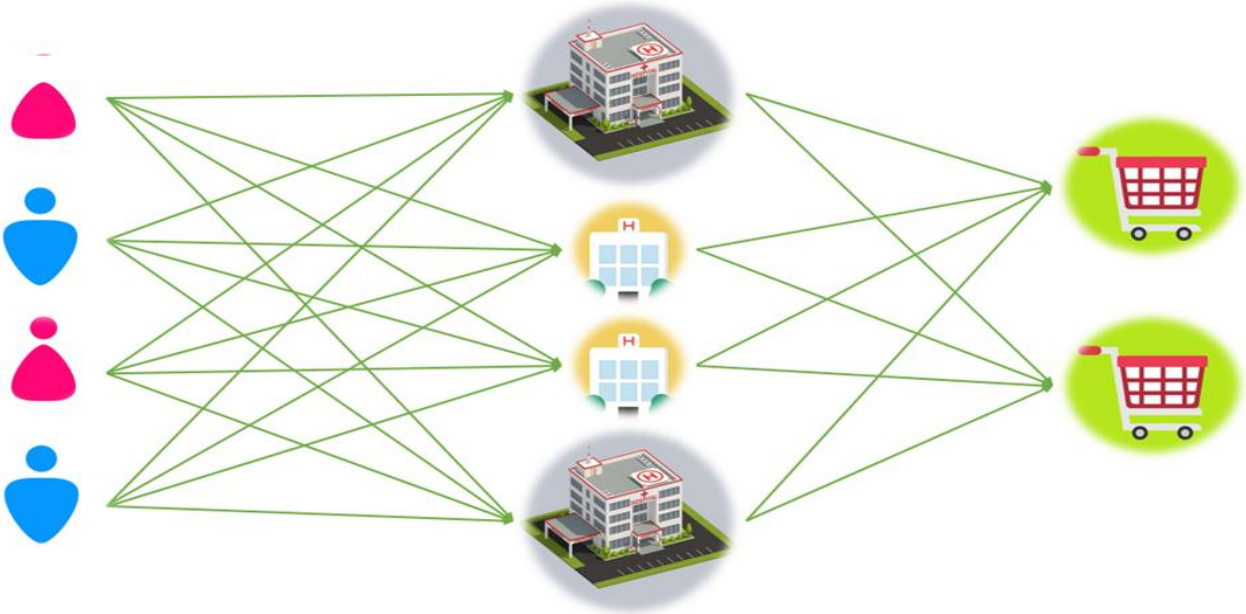
4- Boonmee

سامانی و همکارانش [۱۹] یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه عدد صحیح مختلط برای طراحی یک شبکه زنجیره تأمین خون یکپارچه برای امدادرسانی به فجایع پیشنهاد دادند. مدل توسعه‌یافته برای همه جنبه‌های ویژه زنجیره‌های تأمین خون دربرگیرنده تقاضای نامشخص محصولات خونی و عرضه نامنظم آن‌ها، فاسدشدن محصولات خونی و دوری از کمبود، طراحی‌شده است. آن‌ها همچنین یک چارچوب ترکیبی بر پایه برنامه‌نویسی تصادفی دومرحله‌ای و رویکردهای برنامه‌نویسی احتمالی برای مقابله با ترکیبی از عدم قطعیت تصادفی و انسانی طراحی‌شده است.

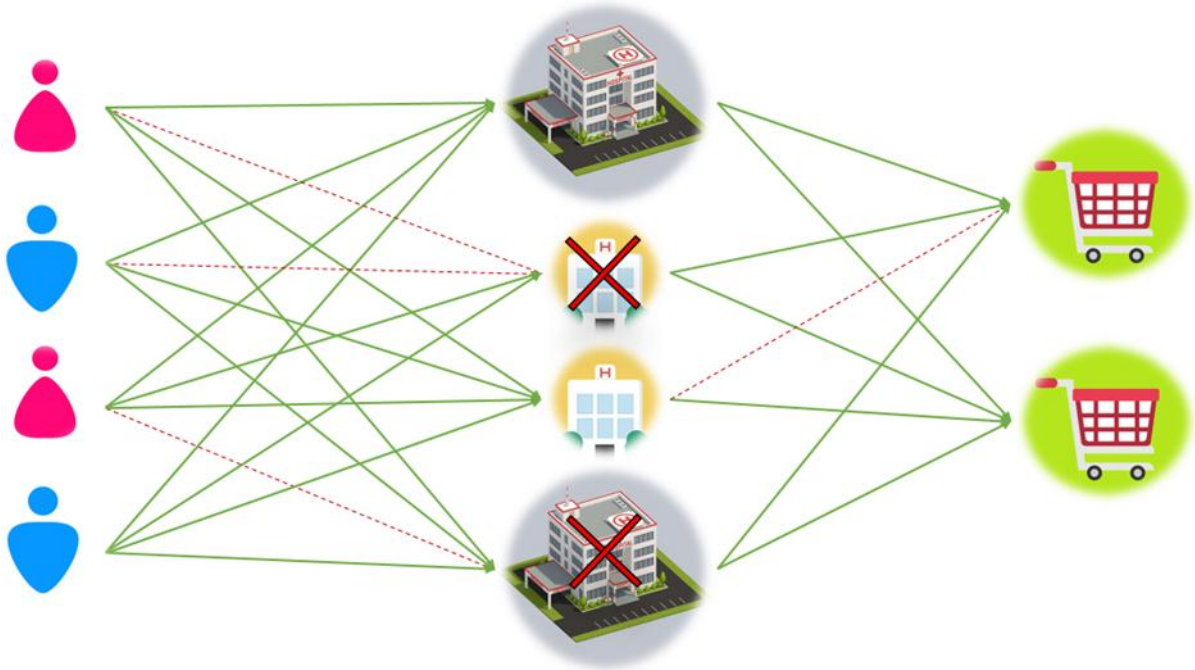
۳- تعریف مسئله

زنجیره تأمین بیمارستانی پیشنهادی (شکل۱) دربرگیرنده سه بخش اصلی نقاط تأمین‌کننده (وسایل پزشکی)، بیمارستان‌ها و مراکز درمانی و نقاط تقاضا (مکان‌های حادثه‌دیده) است. افراد آسیب‌دیده با توجه به میزان جراحات به یکی از مراکز درمانی یا بیمارستان‌ها می‌رود و بیمارستان‌ها نیز مواد و وسایل موردنیاز خود را از یکی از تأمین‌کنندگان دریافت می‌کنند و به بیماران رسیدگی می‌کنند. در هنگام بروز اختلال (زمین‌لرزه) امکان خرابی و خارج از دسترس بودن هرکدام از بیمارستان‌ها و مراکز درمانی و همچنین مسدود شدن یک یا چند تا از راه‌های دسترسی به هرکدام از سطوح شبکه امکان دارد (شکل۲).

طراحی شبکه زنجیره تأمین بیمارستانی



شکل (۱): شبکه زنجیره تأمین بیمارستانی پیش از اختلال



شکل (۲): شبکه زنجیره تأمین بیمارستانی بعد از اختلال

مهم‌ترین بخش این زنجیره، بیمارستان‌ها و مراکز درمانی و محل استقرار آن‌ها است. تعیین مناسب‌ترین مکان و تخصیص افراد آسیب‌دیده به این مراکز درمانی و بیمارستان ها در شرایط عادی و بحرانی در افزایش هر چه بیشتر کارایی این زنجیره تأمین مؤثر است. نبود اطمینان از محل استقرار پایگاه‌های امدادی (بیمارستان‌ها و مراکز درمانی) در زمان بحران و از دسترس خارج شدن آن براثر وقوع حوادثی مانند تخریب محل، ناامنی، قطعی برق، ترافیک و... تصمیم گیران این حوزه را وادار می‌کند تا با در نظر گرفتن همه سناریوهای محتمل، تعداد و محل استقرار بهینه این مراکز امدادی را به دست آورند. بنابراین تعیین مناسب‌ترین مکان و تخصیص افراد آسیب‌دیده به هرکدام از مراکز امدادی، با سناریوهای محتمل، موضوعی است که در این پژوهش به آن پرداخته‌شده است.

۴- مدل‌سازی

مدل پیشنهادی به‌صورت یک مدل دوسطحی مطرح‌شده است که در سطح بالاتر نخست به این مسئله می‌پردازیم که کدام نقاط کاندید به‌عنوان مکان بهینه جهت احداث تسهیلات گزینش می‌شود و در سطح پایین‌تر به دنبال حداقل کردن هزینه‌های جابجایی بین نقاط تقاضا و بیمارستان / مراکز درمانی و همچنین بین تأمین‌کننده و بیمارستان / مراکز درمانی مدل را ادامه می‌دهیم. پارامترها به‌صورت کاملاً قطعی در نظر گرفته‌شده است. لازم به ذکر است که سناریوها با استفاده از نقشه‌های زلزله‌خیزی مناطق شمال کشور در نظر گرفته‌شده است. به‌عنوان نمونه پارامتری جهت نشان دادن اختلال در یک تسهیل تعریف می‌شود چنانچه تسهیل تحت سناریو بخصوص دچار اختلال نشود مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر را به خود می‌گیرد.

۴-۱- مجموعه‌ها

I: نقاط تقاضا

J: مجموعه مکان‌های کاندید برای بیمارستان‌ها

F: مجموعه مکان‌های کاندید برای مراکز بهداشتی

K: نقاط استقرار تأمین‌کننده‌ها

T: سطح بیماری / اولویت بیماری

O: ظرفیت بیمارستان‌ها

U: ظرفیت تأمین‌کننده‌ها

V: ظرفیت مراکز بهداشتی

R: روش‌های حمل‌ونقل از تأمین‌کنندگان به بیمارستان‌ها و مراکز بهداشتی

M: روش‌های حمل‌ونقل از نقاط تقاضا به بیمارستان‌ها و مراکز بهداشتی

S: سناریوهای اختلال

۴-۲- پارامترها

$B1_{(j.s)}$:متغیر باینری، چنانچه بیمارستان j تحت سناریو s تخریب نشود برابر با یک و در غیر این صورت صفر

$B2_{(f.s)}$:متغیر باینری، چنانچه مرکز درمانی f تحت سناریو s تخریب نشود برابر با یک و در غیر این صورت صفر

$J1_{(i.j.s)}$: متغیر باینری، چنانچه مسیر ارتباطی i و j تحت سناریو s تخریب نشود برابر با یک و در غیر این صورت صفر

$J2_{(j.k.s)}$: متغیر باینری، چنانچه مسیر ارتباطی j و k تحت سناریو s تخریب نشود برابر با یک و در غیر این صورت صفر

$J3_{(i.f.s)}$: متغیر باینری، چنانچه مسیر ارتباطی i و f تحت سناریو s تخریب نشود برابر با یک و در غیر این صورت صفر

$J4_{(f.k.s)}$: متغیر باینری، چنانچه مسیر ارتباطی f و k تحت سناریو s تخریب نشود برابر با یک و در غیر این صورت صفر

$F1p_{(j.o)*}$: هزینه ثابت احداث یک بیمارستان با ظرفیت o در مکان j

$F2p_{(f.v)*}$: هزینه ثابت احداث یک مرکز بهداشتی با ظرفیت v در مکان f

$V1_{(i.j.m)}$: برابر است با هزینه واحد حمل‌ونقل یک بیمار از نقطه تقاضای i به بیمارستان j از طریق حمل نقل m

$V2_{(i.f.m)*}$: برابر است با هزینه واحد حمل‌ونقل یک بیمار از نقطه تقاضای i به مرکز بهداشتی f از طریق حمل نقل m

$V3_{(f.k.r)*}$: برابر است با هزینه واحد حمل‌ونقل مواد اولیه از تأمین کننده k به مرکز بهداشتی f از طریق حمل نقل r

$V4_{(j.k.r)*}$: برابر است با هزینه واحد حمل‌ونقل مواد اولیه از تأمین کننده k به بیمارستان j از طریق حمل نقل r

$d_{(i.s)}$: تقاضای پیش بینی شده برای ناحیه تقاضای i در سناریو s

$C1P_{(j.o)}$: ظرفیت یک بیمارستان با سطح ظرفیت o در مکان پیشنهادی j

$C2P_{(f.v)}$: ظرفیت یک مرکز بهداشتی با سطح ظرفیت v در مکان پیشنهادی f

$C3P_{(k.u)}$: ظرفیت یک تأمین کننده با سطح ظرفیت u در مکان k

$Pr_{(s)}$: احتمال وقوع سناریوی s

$Teta_{(s)}$: احتمال مراجعه به مرکز بهداشت در سناریو s

W: حداکثر بودجه در نظر گرفته شده

۴-۳- متغیرهای تصمیم

$Y_{(i.j.m.s)}$: تعداد افراد منتقل شده از نقطه تقاضا i به بیمارستان j طی وضعیت‌های گوناگون حمل و نقل m تحت سناریو s

$B_{(i.f.m.s)}$: تعداد افراد منتقل شده از نقطه تقاضا i به مرکز درمانی f طی وضعیت‌های گوناگون حمل و نقل m تحت سناریو s

$Z1_{(j.k.r.s)}$: حجم مواد اولیه مورد نیاز بیمارستان j که از تأمین کننده k طی وضعیت‌های گوناگون حمل و نقل r تحت سناریو s تأمین می‌شود

$Z2_{(f.k.r.s)}$: حجم مواد اولیه مورد نیاز مرکز درمانی f که از تأمین کننده k طی وضعیت‌های گوناگون حمل و نقل r تحت سناریو s تأمین می‌شود

$X1p_{(j.o)}$: تأسیس بیمارستان پیشنهادی j با ظرفیت o

$X2p_{(f.v)}$: تأسیس مرکز درمانی پیشنهادی f با ظرفیت v

۴-۴- تابع هدف و محدودیت‌ها

$$\sum_j \sum_o F1p_{(j.o)*} X1p_{(j.o)} + \sum_f \sum_v F2p_{(f.v)*} X2p_{(f.v)} + \sum_s Pr_{(s)} * [\sum_i \sum_j \sum_m V1_{(i.j.m)*} Y_{(i.j.m.s)} + \sum_i \sum_f \sum_m V2_{(i.f.m)*} B_{(i.f.m.s)} + \sum_f \sum_k \sum_r V3_{(f.k.r)*} Z2_{(f.k.r.s)} + \sum_j \sum_k \sum_r V4_{(j.k.r)*} Z1_{(j.k.r.s)}] \quad (۱)$$

S.t.

$$[1 - Teta_{(s)}][d_{(i.s)}] = \sum_j \sum_m Y_{(i.j.m.s)} \quad \forall i.s \quad (۲)$$

$$[Teta_{(s)}][d_{(i.s)}] = \sum_f \sum_m B_{(i.f.m.s)} \quad \forall i.s \quad (۳)$$

$$\sum_i \sum_m Y_{(i.j.m.s)} = \sum_k \sum_r Z1_{(j.k.r.s)} \quad \forall i.s \quad (۴)$$

$$\sum_i \sum_m B_{(i.f.m.s)} = \sum_k \sum_r Z2_{(f.k.r.t)} \quad \forall f.s \quad (۵)$$

$$\sum_o X1P_{(j.o)} \leq 1 \quad \forall j \quad (۶)$$

$$\sum_v X2P_{(f.v)} \leq 1 \quad \forall f \quad (۷)$$

$$\sum_i \sum_m Y_{(i.j.m.s)} \leq B1_{(j.s)} * \sum_o C1P_{(j.o)} * X1P_{(j.o)} \quad \forall j.s \quad (۸)$$

$$\sum_i \sum_m Y_{(i.j.m.s)} \leq J1_{(i.j.s)} * \sum_o C1P_{(j.o)} * X1P_{(j.o)} \quad \forall j.s \quad (۹)$$

$$\sum_i \sum B_{(i.f.m.s)} \leq B2_{(f.s)} * \sum_v C2P_{(f.v)} * X2P_{(f.v)} \quad \forall f.s \quad (۱۰)$$

$$\sum_i \sum_m B_{(i.f.m.s)} \leq J3_{(i.f.s)} * \sum_v C2P_{(f.v)} * X2P_{(f.v)} \quad \forall f.s \quad (۱۱)$$

$$\sum_r (Z1_{(j.k.r.s)} + Z2_{(f.k.r.s)}) \leq (J4_{(f.k.s)} * \sum_u C3P_{(k.u)} + (J2_{(jks)} * \sum_u C3P_{(ku)}) \quad \forall j.f.k.s \quad (۱۲)$$

$$\sum_j \sum_o F1P_{(j.o)} * X1P_{(j.o)} + \sum_f \sum_v F2P_{(f.v)} * X2P_{(f.v)} \leq W \quad \forall j \quad (۱۳)$$

$$X1P_{j.o} \,.\, X2P_{f.v} \in \{0.1\} \quad (۱۴)$$

$$Y_{(i.j.m.s)} \,.\, B_{(i.f.m.s)} \,.\, Z1_{(j.k.r.s)} \,.\, Z2_{(f.k.r.s)} \geq 0 \quad (۱۵)$$

در مدل‌بالا تابع هدف (۱) به حداقل کردن همه هزینه طی سه سطح می‌پردازد که در سطح بالاتر نخست به این مسئله می‌رسیم که کدام نقاط کاندید به‌عنوان مکان بهینه جهت احداث تسهیلات گزینش می‌شود و در سطح پایین‌تر حداقل کردن هزینه‌های جابجایی بین نقاط تقاضا و بیمارستان / مراکز درمانی و همچنین بین تأمین‌کننده و بیمارستان / مراکز درمانی پرداخته می‌شود. محدودیت (۲)

و (۳) تضمین می‌کند که تمام تقاضا یا به بیمارستان و یا به مراکز درمانی تخصیص داده شود با توجه به اینکه که ضریبی متأثر از وخامت حادثه تحت عنوان Teta (s) تعریف‌شده که احتمال رجوع بیمار به مراکز درمانی را نشان می‌دهد. در محدودیت (۴) مواد اولیه لازم برای بیمارستان‌ها با توجه به مراجعه‌کنندگان ارسال می‌شود. همچنین محدودیت (۵) تضمین می‌کند که مواد اولیه موردنیاز برای مداوای بیماران مراکز درمانی به‌طور کامل ارسال شود. محدودیت (۶) تضمین می‌کند که حداکثر یک بیمارستان در نقاط پیشنهادی تأسیس شود و همچنین در محدودیت (۷) الزامی مبنی بر احداث حداکثر یک مرکز درمانی در نقاط پیشنهادی مطرح‌شده است. در محدودیت شماره (۹) تخصیص در صورتی انجام می‌شود که بیمارستان تحت سناریو تعریف‌شده دچار اختلال نشود و در شرایطی این تخصیص صورت گیرد که بیمارستان بخصوص احداث‌شده باشد. همچنین محدودیت (۱۰) تضمین می‌کند که تخصیص در شرایطی صورت پذیرد که لینک ارتباطی بین نقاط تقاضا و بیمارستان‌ها طی سناریو تعریف‌شده دچار اختلال نشده باشد. در محدودیت شماره (۱۱) تخصیص در صورتی انجام می‌شود که مراکز درمانی تحت سناریو تعریف‌شده دچار اختلال نشود و در شرایطی این تخصیص صورت گیرد که مرکز درمانی بخصوص احداث‌شده باشد. همچنین محدودیت (۱۲) تضمین می‌کند که تخصیص در شرایطی صورت پذیرد که لینک ارتباطی بین نقاط تقاضا و مراکز درمانی طی سناریو تعریف‌شده دچار اختلال نشده باشد. در محدودیت (۱۳) ظرفیت تأمین‌کننده در نظر گرفته‌شده است که باید نیاز بیمارستان‌ها و مراکز درمانی را پاسخ دهد و در پایان محدودیت (۱۴) محدودیت بودجه جهت احداث مراکز درمانی و بیمارستانی می‌باشد. محدودیت (۱۵) و (۱۶) نوع متغیرهای مسئله را مشخص می‌نماید.

۵- روش حل

روش‌های حل دقیق بهترین روش برای حل مسائل برنامه‌ریزی ریاضی است. رویکرد این مدل رویکرد بهینه‌سازی است که این در شرایطی است که تمامی پارامترها قطعی در نظر گرفته‌شده است. مدل پیشنهادی یک مدل خطی است که به دنبال حداقل کردن همه هزینه طی سه سطح می‌پردازد که در سطح بالاتر نخست به این مسئله می‌رسیم که کدام نقاط کاندید به‌عنوان مکان بهینه جهت احداث تسهیلات گزینش می‌شود و در ادامه به دنبال حداقل کردن هزینه‌های جابجایی بین نقاط تقاضا و بیمارستان / مراکز درمانی و همچنین بین تأمین‌کننده و بیمارستان / مراکز درمانی مدل را پرداخته می‌شود.

شکل (۳): ذی‌نفعان پروژه

تخصیص به‌صورت تکی در نظر گرفته‌شده است و محدودیت‌های مسئله روی ظرفیت تمامی تسهیلات ازجمله بیمارستان، مراکز درمانی و تأمین‌کننده‌ها در نظر گرفته‌شده است. همچنین اختلال طی سناریوهایی در بیمارستان‌ها، مراکز درمانی و افزون بر این موارد در لینک ارتباطی جابجایی بین نقاط تقاضا و بیمارستان / مراکز درمانی و همچنین بین تأمین‌کننده و بیمارستان / مراکز درمانی در نظر گفته‌شده است که از مهم‌ترین نوآوری‌های مدل پیشنهادی بوده است. نوع مثال مطالعه موردی بوده که استان گیلان به‌عنوان حوزه موردمطالعه در نظر گرفته است. یکی دیگر از نوآوری‌های شایان به ذکر مدل، توسعه آن با افزودن مراکز درمانی است. مراکز درمانی با توجه به

سطح وخامت و جراحت بیمار می‌تواند یکی از مقصدهای انتظاری او باشد.

۶- نتایج حل

در این بخش با استفاده از یک نمونه موردی به بررسی و مدل پیشنهادی پرداخته‌شده. مدل در گمز GAMS ورژن (۲۴.۱) روی رایانه شخصی با مشخصات پردازنده (۵) Core i و سیستم‌عامل Win(10) حل‌شده است. این نمونه (۱۷) نقطه تقاضا دربرگیرنده تمامی (۱۷) شهرستان استان گیلان می‌باشد. در ادامه (۷) نقطه پیشنهادی برای احداث بیمارستان و (۱۷) نقطه پیشنهادی برای احداث مراکز درمانی طی استان در نظر گرفته‌شده است.

جهت ضرورت این پژوهش می‌توان به مواردی ازاین‌دست اشاره نمود که(۷۲/۴۰) درصد از مساحت استان گیلان در فاصله صفرتا (۱۵) کیلومتری گسل‌های فعال قرار دارد و همچنین (۴۵/۶۴)درصد از مساحت این استان در فاصله‌ای کمتر از هشت کیلومتر تا گسل‌های غیرفعال قرار دارند. بر پایه مطالعات انجام‌شده (۵۷/۲۰) درصد از جمعیت نقاط شهری در مناطقی با پرخطر زمین‌لرزه (۸۰-۱۰۰ درصد) ساکن هستند.

شکل (۴): نقاط کاندید برای احداث مراکز درمانی

شکل (۵): نقاط کاندید برای احداث بیمارستان

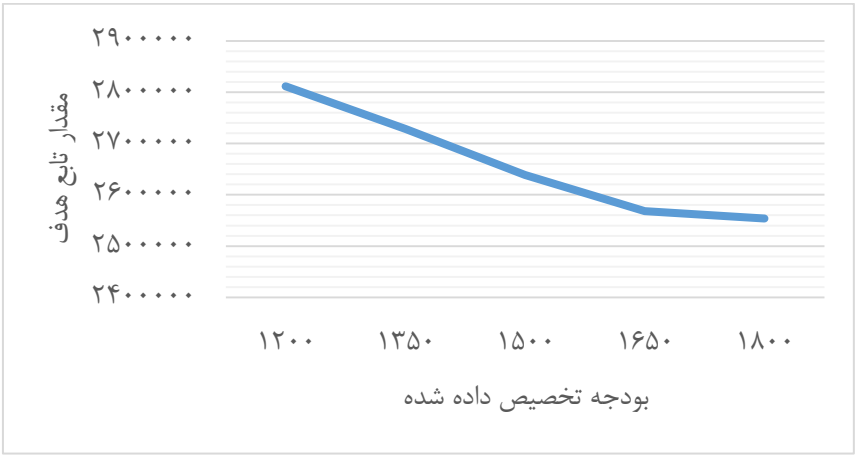
بعد از حل مدل مشاهده شد که دو بیمارستان از (۷) بیمارستان پیشنهادی و (۱۰) مرکز درمانی از (۱۷) مورد پیشنهادی که با توجه با پارامترهای تعریف‌شده در مدل می‌توان تعداد افراد انتقالی را به تفکیک شهرستان پیگیری نمود. همچنین حجم انتقالی از مواد اولیه برای هر بیمارستان و مرکز درمانی قابل‌ردیابی است. همان‌طور در شکل زیر مشاهده می‌شود شهرستان‌هایی که به هرکدام از دو بیمارستان احداث‌شده، تخصیص داده‌شده‌اند قابل‌ردیابی بوده، این محاسبات برای مراکز درمانی هم تکرار و ارائه‌شده است.

شکل (۶): مراکز درمانی فعال‌شده و نحوه‌ی تخصیص بیماران به آن‌ها

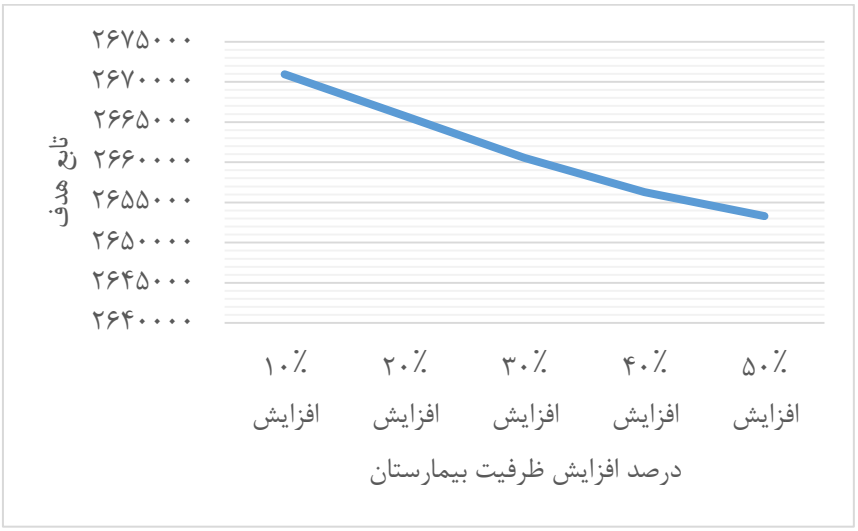
۷- تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت بر پارامترهای قابل‌کنترل صورت می‌گیرد به‌نحوی‌که تأثیرات بر تابع هدف موردبررسی قرار گیرد. پارامترهایی که جهت تحلیل حساسیت گزینش‌شده‌اند ظرفیت تسهیلات که دربرگیرنده بیمارستان‌ها، مراکز درمانی و تأمین‌کننده‌ها می‌باشند. تحلیل دیگری بر پارامتر بودجه برای تأسیس تسهیلات بیمارستان / مراکز درمانی صورت گرفته است که بار دیگر به تغییرات رفتار و روند تابع هدف توجه می‌شود.

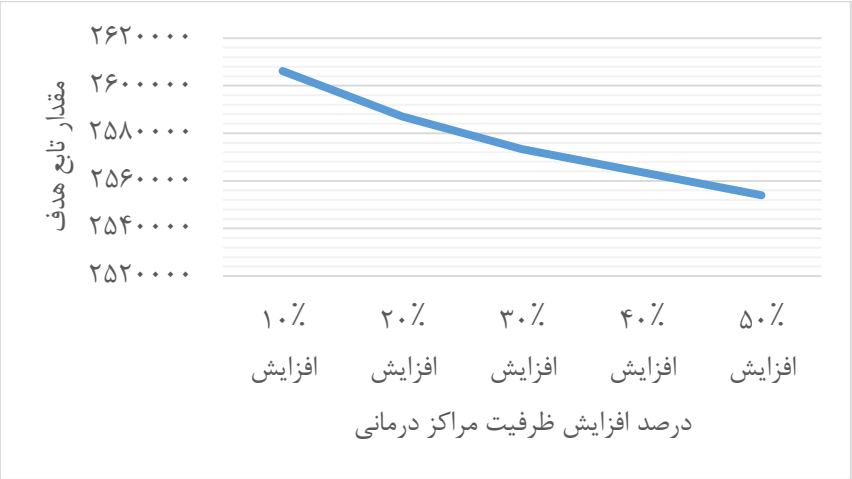
شکل (۷): بیمارستان‌های فعال‌شده و نحوه‌ی تخصیص



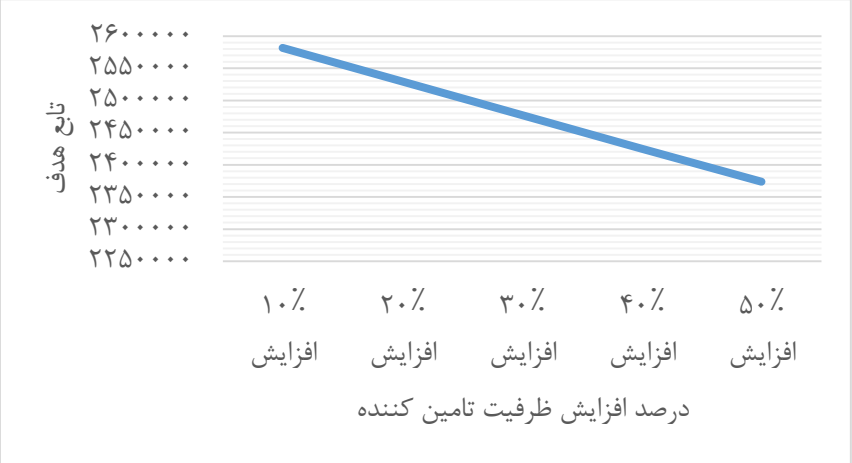
شکل (۸): تحلیل حساسیت بودجه‌ی تخصیص داده‌شده



شکل(۹): تحلیل حساسیت افزایش ظرفیت بیمارستان



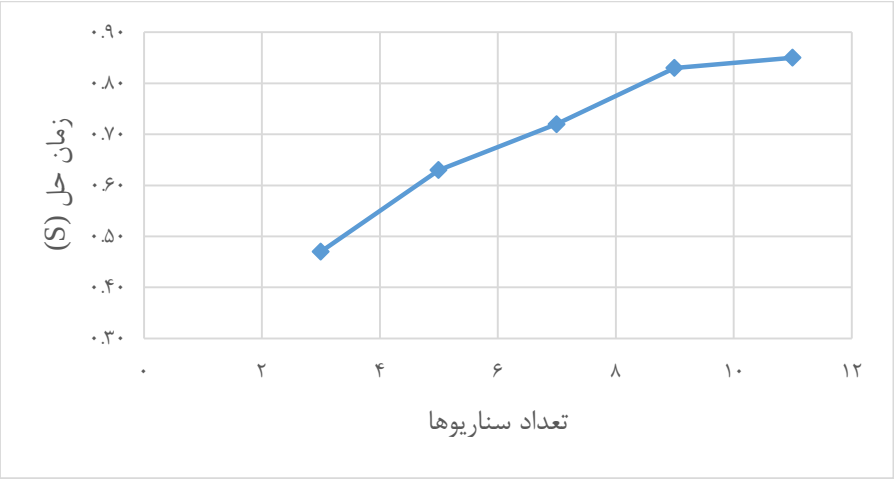
شکل(۱۰): تحلیل حساسیت افزایش ظرفیت مراکز درمانی



شکل(۱۱): تحلیل حساسیت افزایش ظرفیت تأمین‌کننده

برای تحلیل حساسیت‌های فوق مقادیر ظرفیتی بیمارستان‌ها، مراکز درمانی و تأمین‌کننده‌ها با (۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪ و ۵۰٪) افزایش محاسبه‌شده است. همچنین مقادیر در نظر گرفته‌شده برای پارامتر بودجه به‌صورت تصادفی گزینش‌شده است.

برای پیچیدگی مسئله از سناریوهای تعریف‌شده در مدل استفاده‌شده است. سناریوها تحت شرایط گوناگون با استفاده از نقشه‌های زلزله‌خیزی مناطق شمال کشور به‌دست‌آمده است. بدین‌صورت که اگر بیمارستان بخصوصی تحت یک سناریو دچار اختلال نشود مقدار یک را به خود می‌گیرد و در غیر این صورت مقدار صفر را می‌پذیرد. این تعریف برای تمامی بیمارستان‌ها، مراکز درمانی و بخصوص لینک‌های ارتباطی بین نقاط تقاضا و بیمارستان / مراکز درمانی و همچنین بین تأمین‌کننده و بیمارستان / مراکز درمانی تشریح شده است. در ادامه برای محاسبه پیچیدگی مسئله سناریوهای مسئله را به (۳، ۵، ۷، ۹، ۱۱) تغییر داده‌شده و بعد از حل مسئله زمان حل یادداشت شده است؛ که در پایان به نمودار (شکل ۱۲) نتیجه شد.



شکل (۱۲): پیچیدگی مسئله بر روی پارامتر سناریو

۸- پیشنهادهای آتی

برای پیشنهادهای آتی می‌توان به جداول بازبینی ادبیات رجوع نمود ولی برای نمونه می‌توان از چند نمونه همانند موارد زیر نام برد. یکی از نوآوری‌های شایان به ذکر در نظر گرفتن سطح وخامت و جراحت بیمار است. با توجه به این‌که سطح وخامت و جراحت بیمار تعیین‌کننده اصلی برای گزینش مقصد (بیمارستان / مرکز درمانی) می‌باشد. از دیگر نوآوری‌ها می‌توان از توسعه شبکه نام برد، بدین‌صورت که با گسترش لینک‌های ارتباطی امکان انتقال بیمار از مرکز درمانی به بیمارستان و یا وارون شدنی باشد. چراکه این جستار به رفتار منطقی و نزدیک به دنیای راستین کمک بیشتری می‌کند. پیشنهاد بعدی استفاده از نرم‌افزار GIS (سیستم اطلاعات جغرافیایی) است که مجموعه‌ای قوی از امکانات و قابلیت‌ها بوده که به دریافت و ذخیره‌سازی و سپس تحلیل و پردازش داده‌ها می‌پردازد. مهم‌ترین مرحله در این نرم‌افزار، ورود اطلاعات است. در GIS دو بخش اطلاعات مکانی (نشان‌دهنده موقعیت و شکل عوارض) و توصیفی (بیانگر ویژگی‌ها و خصوصیات عوارض) موجود در یک نقشه به‌طور مستقل ولی مرتبط وارد می‌گردد. هدف پایانی در GIS ایجاد یک مدل سه‌بعدی از دنیای راستین است چراکه این نرم‌افزار به دلیل مختصات دار بودنش، هر عارضه‌ای را که ترسیم می‌کند با همان مختصات در طبیعت قابل تطابق، دسترسی و مشاهده است. یکی از موارد که در مدل پیشنهادی در نظر گرفته نشده است کمبود می‌باشد با این تعریف که در شرایطی ممکن است که ظرفیت بیمارستان و مراکز درمانی به هر نحوی مملو از جمعیت شده و دیگر قادر به پذیرش بیمار جدید نباشد. این شرایط به‌طور قطعی هزینه‌های جانی و مالی زیادی را در بر خواهد داشت که با توجه به اهمیت انکارناپذیر بودن آن قابلیت مانور بالایی را دارا است. مدل پیشنهادی تحت سناریوهای زلزله‌ای حل‌شده است و این نیاز با توجه به شرایط آب و هوایی مناطق شمالی کشور، برای حوادث طبیعی بیشتری از قبیل سیل، سونامی، برف و طوفان احساس می‌شود؛ و این فضا برای مطالعه شدیداً مستعد شناخته می‌شود. اگر بیمارستان بخصوصی تحت یک سناریو دچار اختلال نشود مقدار یک را به خود می‌گیرد و در غیر این صورت مقدار صفر را می‌پذیرد، ولی می‌توان با در نظر گرفتن هزینه‌ای در تابع هدف به مستحکم سازی این تسهیلات پرداخت تا به حذف درایه‌هایی با مقدار صفر در پارامتر مربوطه نتیجه شود.

۹- منابع و مآخذ

[۱] باقری، فاطمه، دهقان، مهدی، زیارتبان، مجید و همکاران، ***"گزینش بهترین مکان برای احداث بیمارستان و مراکز بهداشتی درمانی در یک شهر با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک"***، مجله زیست پزشکی جرجانی، شماره (۲)، صفحات (۷۸-۸۹)، (۱۳۹۶)

[۲] زنده‌دل، محمد، بزرگی امیری، علی، عمرانی، هاشم، ***"ارائه مدل مکان‌یابی پایگاه‌های اهدای خون با در نظر گرفتن اختلال در محل استقرار"***، مجله تخصصی مهندسی صنایع، دوره (۴۸)، صفحات (۳۳-۴۳) ، سال (۱۳۹۳)

[3] Sadghiani, N. S., Torabi, S. A., & Sahebjamnia, N., ***"Retail supply chain network design under operational and disruption risks",*** Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 75, 95-11, 2015.

[4] Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., Sheu, J. B., & Moghadam, H. S., ***"Designing a supply chain resilient to major disruptions and supply/ demand interruptions",*** Transportation Research Part B: Methodological, 94, 121-149, 2016.

[5] Peng, P., Snyder, L. V., Lim, A., & Liu, Z., "***Reliable logistics networks design with facility disruptions",*** Transportation Research Part B: Methodological, *45*(8), 1190-1211,2011.

[6] Fahimnia, B., & Jabbarzadeh, A., "***Marrying supply chain sustainability and resilience: A match made in heaven",*** Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 91, 306-324,2016.

[7] Shishebori, D., & Babadi, A. Y., ***"Robust and reliable medical services network design under uncertain environment and system disruptions"***, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 77, 268-288,2015.

[8] Zarrinpoor, N., Fallahnezhad, M. S., & Pishvaee, M. S., ***"Design of a reliable hierarchical location-allocation model under disruptions for health service networks: A two-stage robust approach"***, Computers & Industrial Engineering, 109, 130-150,2017

[9] Mestre, A. M., Oliveira, M. D., & Barbosa-Póvoa, A. P., ***"Location–allocation approaches for hospital network planning under uncertainty",*** European Journal of Operational Research, 240(3), 791-806,2015.

[10] Navaee, J. M., Rajabzadeh, M., & Bozorgi, A. A., ***"Locating And Allocting Hospial Services on the Basis of Cost And Efficiency: Case Study of Amol",*** Journal of Health and Administration, 21-33,2016.

[11] Paul, J. A., & MacDonald, L**.,** ***"Location and capacity allocations decisions to mitigate the impacts of unexpected disasters",*** European Journal of Operational Research, 251(1), 252-263,2016.

[12] Ghavamifar, A., Makui, A., & Taleizadeh, A. A., ***"Designing a resilient competitive supply chain network under disruption risks: A real-world application"***, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 115, 87-109,2018.

[13] Mohammadi, M., Dehbari, S., & Vahdani, B., ***"Design of a bi-objective reliable healthcare network with finite capacity queue under service covering uncertainty",*** Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,

72, 15-41,2014.

[14] An, S., Cui, N., Bai, Y., Xie, W., Chen, M., & Ouyang, Y., ***"Reliable emergency service facility location under facility disruption, en-route congestion and in-facility queuing",*** Transportation research part E: logistics and transportation review, 82, 199-216,2015.

[15] Shishebori, D., ***"Study of facility location-network design problem in presence of facility disruptions: A case study (research note)"*** , International Journal of Engineering-Transactions A: Basics, 28(1), 97-108,2014.

[16] Tofighi, S., Torabi, S. A., & Mansouri, S. A., ***"Humanitarian logistics network design under mixed uncertainty",*** European Journal of Operational Research, 250(1), 239-250,2016.

[17] Mohamadi, A., & Yaghoubi, S., ***"A bi-objective stochastic model for emergency medical services network design with backup services for disasters under disruptions: An earthquake case study",*** International journal of disaster risk reduction, 23, 204-217,2017.

[18] Boonmee, C., Arimura, M., & Asada, T., ***"Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics",*** International Journal of Disaster Risk Reduction, 24, 485-498,2017.

[19] Samani, M. R. G., Torabi, S. A., & Hosseini-Motlagh, S. M., ***"Integrated blood supply chain planning for disaster relief",*** International journal of disaster risk reduction, 27, 168-188,2018.

[20] Klibi, W., & Martel, A., ***"Scenario-based supply chain network risk modeling",*** European Journal of Operational Research, 223(3), 644-658,2012.

Perspectives in supply "[21] Tang, C. S., ***,*** International ***"chain risk management*** journal of production economics, *103*(2), 451-488,2006.