

طراحی شبکه زنجیره تأمین پایدار برای خدمات پزشکی در شرایط عدم قطعیت

حوریه کلانتر نیستانی^۱، مرضیه مظفری^{۲*}

دانشگاه آزاد اسلامی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۱۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۰۳

چکیده

در این مقاله یک مدل ریاضی به منظور طراحی شبکه زنجیره تأمین سه سطحی شامل تأمین‌کننده‌ها، مراکز خدمات پزشکی و نیز نقاط تقاضا ارائه می‌شود. در این مدل ریاضی شرایط عدم قطعیت در قالب سناریوهای مختلف مطرح شده است و مراکز خدمات پزشکی در سناریوهای مختلف دچار اختلال می‌شوند. این اختلال تصمیم‌گیرنده را مجاب می‌کند که تأسیس مراکز خدمت‌رسانی جدید، راه‌های ارتباطی جدید و ارتقاء راه‌های ارتباطی موجود را برای پشتیبانی از مراکز موجود انجام دهد. برای نمایش کاربرد بودن این مدل ریاضی، یک مطالعه موردی طراحی شبکه خدمات پزشکی در منطقه البرز ایران پیاده‌سازی و تحلیل شده است. نتایج حاصل شده کارایی مدل ریاضی در حل مثال‌های کاربردی را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی تسهیلات، طراحی شبکه زنجیره تأمین، پایداری، عدم قطعیت، اختلال

۱- مقدمه

زنجیره تأمین یک سیستم یکپارچه از تجهیزات و فعالیت‌های به هم مرتبط است که در ارتباط با فرآیند و انتقال محصولات و توزیع آنها بین مشتریان می‌باشد. یک زنجیره تأمین شامل همه مراحل مستقیم و غیرمستقیم در برآورده‌سازی درخواست یک مشتری نقش دارند. مدیریت زنجیره تأمین شامل مدیریت جریان مواد و اطلاعات از تأمین‌کنندگان و خریداران مواد خام تا مشتری نهایی است. شبکه‌ای از نهادهایی که در تولید و تحویل یک محصول تمام شده تا مشتری نهایی درگیر می‌شوند، زنجیره تأمین نامیده می‌شود. هدف این است که همه افراد در زنجیره با یکدیگر همکاری کنند تا هزینه کلی کاهش یافته و کیفیت و سرعت تحویل محصولات و خدمات بهبود یابد. مدیریت زنجیره تأمین به رویکرد تیمی به وظایفی مانند بازاریابی،

خرید، عملیات و مهندسی نیاز دارد که همه با یکدیگر همکاری کنند.

در فاز طراحی زنجیره، تصمیماتی همچون مکان‌یابی تسهیلات، تخصیص مشتریان به مراکز توزیع و نیز تعیین میزان دریافت و ارسال کالا توسط هر یک از اعضای زنجیره مشخص می‌شود. به منظور طراحی یک زنجیره تأمین کارا، مکان‌یابی مناسب تسهیلات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا مکان‌یابی تسهیلات یک تصمیم راهبردی است. تصمیمات راهبردی هزینه بالا و زمان بسیار زیادی لازم دارد. به همین دلیل انتظار می‌رود اجرای این تصمیمات دوام طولانی‌تری داشته باشد. تغییرات محیطی در طول عمر تسهیلات می‌تواند به‌عنوان یک هشدار جدی در مکان‌یابی تسهیلات به‌شمار آید.

در مسائل واقعی هنگامی که تصمیم‌گیرندگان می‌خواهند تسهیلات جدیدی را مکان‌یابی کنند ابتدا باید تقاضای بازار مشتریان موجود و همچنین مشتریان بالقوه را پیش‌بینی کرده و سپس باید مکان و تعداد تسهیلات جدیدی را که به بهترین نحو به مشتریان خدمت می‌دهند را مشخص کنند. این حوزه از علم به مسائل مکان‌یابی مشهور هستند. مسائل مکان‌یابی به‌صورت وسیعی در جهان واقعی از قبیل: مکان‌یابی انبارها، کارخانه‌های تولیدی، ایجاد مکان‌های عمومی (ایستگاه‌های آتش‌نشانی، مراکز آموزشی، ایستگاه‌های سوخت‌رسانی و...) به‌کار گرفته می‌شود [۱].

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، واحد الکترونیک، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، پست الکترونیک: hkalantar83@gmail.com

*۲- استادیار مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، واحد الکترونیک، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، نویسنده پاسخگو، پست الکترونیک: m_mozafari@iauec.ac.ir، نشانی: تهران، خیابان پاسداران، نیستان نهم، نبش خیابان رام، پلاک ۵

تغییر در شبکه تحت بررسی می‌تواند اقتصادی‌تر از اضافه کردن تسهیل جدید باشد [۶]. از این رو بررسی هم‌زمان مکان‌یابی تسهیلات و تغییر شبکه^۱ مورد توجه قرار گرفته که در مدل این مسئله، علاوه بر اضافه کردن تسهیلات جدید به شبکه، امکان تغییر در طراحی شبکه نیز وجود دارد. این مسئله می‌تواند در شبکه‌های حمل‌ونقل، شبکه‌های توزیع برق، شبکه‌های مخابراتی، شبکه‌های کامپیوتری و شبکه‌های لجستیکی مورد استفاده قرار گرفته و در مقایسه با مسئله مکان‌یابی تسهیلات در شبکه با در نظر گرفتن ظرفیت، جواب بهینه را با هزینه کمتری حاصل کند [۷].

در این مقاله طراحی شبکه زنجیره تأمین سه سطحی شامل تأمین‌کننده‌ها، مراکز خدمات پزشکی و نقاط تقاضا مورد بررسی قرار گرفته است. شرایط عدم قطعیت در قالب سناریوهای مختلف مطرح شده و مراکز خدمات پزشکی در سناریوهای مختلف دچار اختلال می‌شوند. تأسیس مراکز خدمت‌رسانی جدید، راه‌های ارتباطی جدید و ارتقاء راه‌های ارتباطی موجود از تصمیمات اصلی سیاست‌گذاران برای پشتیبانی از مراکز موجود در نظر گرفته می‌شود. ادامه این مقاله به صورت زیر سازمان‌دهی می‌شود. در بخش دوم به ادبیات موضوع پرداخته می‌شود. در بخش سوم مفروضات مسئله تبیین شده و مدل ریاضی ارائه می‌شود. در بخش چهارم مطالعه موردی تشریح شده و در نهایت بخش پنجم به نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

۲- مرور ادبیات

نکته مهمی که باید در مکان‌یابی تسهیلات بر روی شبکه به آن توجه داشت این است که با وجود اثر عمیقی که توپولوژی شبکه اصلی ممکن است بر روی مکان‌یابی تسهیلات داشته باشد ولی همه این مدل‌های کلاسیک، تسهیلات را بر روی یک شبکه مفروض و از پیش تعیین شده مکان‌یابی می‌کنند. در صورتی که در دنیای کاربردی، این موضوع کمتر واقعیت داشته و شبکه‌ها عموماً قابل تعیین و طراحی کردن هستند. در ادامه، مسائل و مدل‌های بررسی شده در ارتباط با مکان‌یابی تسهیلات به همراه تغییر در شبکه مرور می‌شود:

شیشه‌بری و جبل عاملی^۲ (۲۰۱۳) با اضافه کردن تسهیل پشتیبان در مواردی که شرایط حداقل برآورده نمی‌شود سعی در افزایش قابلیت اعتماد تسهیلات دارند. همچنین محدودیت بودجه برای سرمایه‌گذاری نیز در نظر گرفته شده

مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات می‌توانند در موارد مختلفی از قبیل تابع هدف، مبنای اندازه‌گیری، تعداد و اندازه تسهیلات و مواردی از این قبیل با هم فرق کنند. بسته به مفروضات در نظر گرفته شده مدل‌های زیادی برای مسائل مکان‌یابی تسهیلات ارائه گردیده‌اند [۲].

مدل‌های ریاضی به صورت گسترده برای حل این مسائل مطرح شدند که آنها را می‌توان تحت عناوین مدل‌های گسسته و پیوسته دسته‌بندی کرد. در مدل‌های پیوسته تسهیلات می‌توانند در هر نقطه‌ای از صفحه قرار گیرند در حالی که در گسسته فقط می‌توانند در نقاط محدودی قرار گیرند. مدل‌های مکان‌یابی شبکه یک زیرمجموعه بزرگ و مهم از مدل‌های گسسته هستند. در این مدل‌ها ساختار اساسی سیستم به نحوی است که تسهیلات تحت یک شبکه مفروض باید مکان‌یابی شوند (مانند: قرار گرفتن ایستگاه‌های آتش‌نشانی در شبکه حمل‌ونقل یک شهر) و مسافت‌های واقعی بین دو نقطه از شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند [۳].

مسائل مکان‌یابی تسهیلات - طراحی شبکه یک طبقه چالش برانگیز از مسائل مکان‌یابی روی شبکه بوده که دو نوع از تصمیمات را ترکیب می‌کنند:

- تصمیم‌گیری‌های مکان‌یابی شامل انتخاب یک مجموعه از گره‌ها برای قرار دادن تسهیلات و طراحی الگوی تخصیص گره‌ها به تسهیلات است.

- تصمیم‌گیری‌های طراحی شبکه شامل انتخاب یک مجموعه‌ای از لینک‌ها برای ایجاد ارتباط گره‌ها به تسهیلات اختصاص یافته به آنها است [۴].

در اکثر مسائل مکان‌یابی تسهیلات در شبکه، فرض بر این است که شبکه داده‌شده و لینک‌ها از قبل مشخص شده‌اند و تحت این شرایط مکان بهینه تسهیلات مشخص می‌شود. در گروه دیگری از مسائل تحت عنوان مسائل طراحی شبکه، هدف طراحی بهینه شبکه‌هایی است که بتواند تقاضاها را پاسخ داده و محدودیت‌هایی را ارضا کنند [۵]. بنابراین در مواردی که توپولوژی شبکه مورد بررسی نقش مهمی در مکان بهینه تسهیل ایفا می‌کند، می‌توان با ترکیب دو مسئله مکان‌یابی تسهیلات - طراحی شبکه جواب بهینه مناسب‌تری یافت. در واقع در مواردی که رابطه بین هزینه سفر روی هر کدام از لینک‌ها و هزینه‌های سرمایه‌گذاری شامل هزینه قرار دادن تسهیلات و هزینه ساخت لینک، یک رابطه از قبل مشخص و بدیهی نباشد،

1- Facility Location Network Design Problem (FLNDP)

2- Shishebori & Jabalameli

است. آنها برای حل مدل خود از یک مدل غیرخطی عدد صحیح مختلط استفاده کرده‌اند. در آخر نیز آنالیز حساسیتی برای مشخص شدن حساسیت جواب بهینه نسبت به تغییرات در متغیرها انجام گرفته است. در این مقاله فرض می‌شود که تسهیلات مورد استفاده در مدل در ابتدای شروع به فعالیت سالمند و سپس در طی زمان در اثر عواملی مانند اشتباهات نیروی انسانی، بلایای طبیعی خراب می‌شوند. همچنین فرض می‌شود پس از وقوع خرابی در یک تسهیل تقاضای آن به نزدیک‌ترین تسهیل انتقال می‌یابد. در نتیجه هزینه حمل و نقل اضافه و تخصیص دوباره وجود دارد که در کل برای هزینه اضافه شده سقف مجازی در نظر گرفته می‌شود [۸].

شیشه‌بری و همکاران (۲۰۱۴) در مقاله‌ای یک مدل MIP را با در نظر گرفتن خطر خرابی تسهیل برای مسئله FLND ارائه کردند. در این مدل ابتدا هزینه‌های استقرار تسهیلات، ساخت لینک و هزینه‌های حمل و نقل در نظر گرفته شده است. سپس با توجه به خطر خرابی هر تسهیل، هزینه‌های اضافی برای تقویت سیستم اضافه می‌شود. مدل ارائه شده به دنبال کمینه کردن هزینه کل است. آنها برای حل مدل ابتدا با استفاده از روش‌هایی کارآمد مدل را خطی کرده و سپس با حل چندین مثال عددی توسط مدل کارایی آن ثابت شده است [۹].

برمن^۱ و همکاران (۱۹۹۲) نشان دادند که کارایی یک شبکه حمل و نقل با تسهیلات موجود که با هزینه‌های حمل و نقل اندازه‌گیری می‌شود، می‌تواند با ایجاد تغییراتی در شبکه موجود افزایش یابد. آنها در این مقاله تحت سناریوهای متفاوتی لینک‌هایی را به شبکه اضافه یا از شبکه حذف کردند سپس با روش‌هایی دقیق و ابتکاری مقدار بهینه عملکرد تسهیلات موجود را اندازه گرفته و مشاهده کردند در مواردی می‌توان با تغییر در شبکه کارایی شبکه را افزایش داد [۱۰].

کامپل^۲ و همکاران (۲۰۰۶) مدلی ارائه کردند که در آن هدف حداقل کردن زمان سفر در یک شبکه بود. در این مدل هیچ تصمیمی برای مکان‌یابی تسهیلات گرفته نمی‌شد، بلکه مدل با انتخاب مکان‌هایی از شبکه بالقوه سعی در حداقل کردن قطر شبکه دارد [۱۱].

گوهوآتیزر و همکاران (۲۰۱۱) دو مسئله درخت استینر و مکان‌یابی را به‌طور هم‌زمان بررسی کردند. مدل آنها مکان تسهیلات، تخصیص مشتریان و ارتباط بین تسهیلات از طریق یک درخت استینر را مشخص می‌کرد. تابع هدف این مسئله حداقل کردن هزینه طراحی برای تسهیلات و لینک‌های درخت و هزینه سرویس‌دهی بود.

کنتراس^۳ و همکاران (۲۰۱۲) به دو روش مختلف مسئله FLNDP را فرموله کردند. از بین این دو مدل ریاضی به‌دست آمده، مدل اول به دلیل استفاده از متغیرهای زیاد و به تبع آن زمان حل بالا مورد استفاده قرار نگرفته و بر روی مدل دوم کار شد. در ابتدا مدل خطی شده و سپس با استفاده از نامعادلاتی فضای حل مدل محدود شد. برای حل این مدل ریاضی از روش شاخه و کران استفاده شد که با استفاده از یک الگوریتم ابتکاری حد بالای مورد نیاز روش شاخه و کران محاسبه گردید [۴].

قادری و جبل‌عاملی (۲۰۱۳) مدلی را برای حل مسئله DUFLNDP در جهت تعیین هم‌زمان مکان بهینه تسهیلات و شبکه تحت بررسی در صورت وجود محدودیت بودجه ارائه دادند. آنها برای حل این مدل دو الگوریتم یک‌بر مبنای الگوریتم حریصانه و یک‌بر اساس الگوریتم شبیه‌سازی تبرید ارائه دادند [۱۲].

جبارزاده^۴ (۲۰۱۲) به بررسی مسئله طراحی زنجیره تأمین، درحالتی که ریسک خرابی در تسهیلات وجود دارد پرداخت. سپس مسئله را به‌صورت یک مدل ریاضی MINLP با هدف حداکثر سود کلی زنجیره نوشت. با حل مدل به‌صورت هم‌زمان تعداد تسهیلات، مکان تسهیلات و خرابی‌های ممکن برای تسهیلات مشخص می‌شود [۱۳].

گاویندان^۵ و همکاران (۲۰۱۵) یک مدل دو هدفه برای مکان‌یابی و تخصیص پایدار در زنجیره تأمین ارائه کردند. آنها به‌طور هم‌زمان به کمینه‌سازی کل هزینه‌ها و نیز کمینه‌سازی آلودگی‌های زیست‌محیطی پرداخته‌اند. به‌منظور ایجاد راه‌حل‌های پایدار از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده شده و بر روی صنعت اتومبیل‌سازی آمریکا بررسی و پیاده‌سازی شده است [۱۴].

اردلان^۶ و همکاران (۲۰۱۶) به طراحی شبکه زنجیره تأمین در حالت انعطاف در مقدار تقاضای پاسخ داده شده

3- Contreras
4- Jabbarzadeh
5- Govindan
6- Ardalan

1- Berman
2- Campbell

احتمال شکست سیستم (شامل قطع مسیرهای ارتباطی و مراکز خدمات پزشکی) است.

۳- مدل ریاضی

در این بخش ساختار کلی مدل ریاضی توضیح داده شده است. فرض کنید مجموعه‌ای از شهرها به عنوان نقاط تقاضا در یک منطقه جغرافیایی با مجموعه‌ای از جاده‌ها به عنوان راه‌های ارتباطی وجود دارند که شامل راه‌های ارتباطی موجود و جدید کاندید برای ساخت شبکه جابجایی در منطقه مورد بحث تعریف شده است. این مجموعه از مراکز خدمات پزشکی (مانند درمانگاه‌ها) در منطقه وجود دارند و کاملاً خواستار استقرار مراکز خدمات پزشکی جدید، راه‌های ارتباطی جدید و ارتقاء راه‌های ارتباطی موجود است به نحوی که هزینه کلی سرمایه‌گذاری (شامل استقرار امکانات، ساخت راه‌های ارتباطی جدید و ارتقاء راه‌های ارتباطی موجود) و هزینه‌های اجرایی کلی (شامل هزینه‌های جابجایی) به حداقل مقدار خود برسد. همچنین این مراکز تأسیس شده باید ملزومات دارویی خود را از تأمین‌کننده‌هایی که وضعیت آنها مشخص و قطعی است، دریافت کنند.

نکته دیگر این تحقیق این است که تمام مراکز خدمات پزشکی موجود (به آنهایی که وجود دارند و چه مراکز خدمات پزشکی جدید) همواره فعال نیستند. براساس برخی اتفاقات پیش‌بینی نشده مانند آبهوای طوفانی، جنبش‌های کارگری، کمبود یا نبود پزشک یا دارو، خرابکاری یا تغییرات مالکیت آنها معمولاً اختلالاتی دارند و دیگر قابل دسترس نیستند. به همین منظور نقاط تقاضای مرکز خدمات پزشکی از هم پاشیده باید در کنار نزدیک‌ترین مرکز خدمات پزشکی فعال دوباره به فعالیت خود بپردازند. بنابراین افزایش فاصله‌های مسافرتی توسط نقاط تقاضا موجب افزایش هزینه‌های جابجایی می‌شود. به علاوه، تعداد بیماران (تقاضا) هر منطقه جغرافیایی (نقاط) تضمین شده نیست و رفتار تصادفی دارد. در ضمن مجموعه شهرها در منطقه جغرافیایی کوهستانی قرار دارد که شرایط آبهوایی فصلی سخت می‌تواند موجب بسته شدن و در نتیجه عدم موجودیت برخی راه‌های ارتباطی جابجایی شود.

این مدل ریاضی باید این مسائل را معین کند:

- (۱) محل‌های ایده‌آل مراکز خدمات پزشکی جدید براساس طرح شبکه، اختلالات سیستم و محیط غیرمطمئن.

پرداختند. در این تحقیق چند حالت برای تقاضای هر یک از مشتریان در نظر گرفته شده است و مکان‌یابی مراکز توزیع و تخصیص مشتریان به مراکز توزیع نیز انجام شده است. آنها از روش آزادسازی لاگرانژ برای حل این مسئله استفاده کرده‌اند [۱۵].

شیشه‌بری و یوسفی (۲۰۱۵) یک مدل ریاضی جدید برای طراحی شبکه پایدار با در نظر گرفتن اختلال در سیستم ارائه کردند. این مدل ریاضی به روش بهینه‌سازی استوار حل شده است. نتایج موردنظر بر روی مطالعه موردی کشور ایران بیانگر کاربردی بودن مفروضات و روابط مدل ریاضی این تحقیق دارد [۱۶].

با بررسی دقیق‌تر تحقیقات گذشته مشخص می‌شود که برخی مطالعات تلاش‌های خود را بر برنامه‌ریزی راهبردی متمرکز کرده‌اند درحالی‌که بقیه بر تصمیمات تاکتیکی (شامل مسیریابی وسایل نقلیه خدمات پزشکی در تماس‌های غیر اورژانسی) و برخی دیگر بر کنترل عملیاتی (ارسال و جابجایی وسایل نقلیه خدمات پزشکی) متمرکز شده‌اند. نکته مهم دیگری که در تحقیقات گذشته این حوزه به چشم نمی‌خورد، در نظر گرفتن تأمین داروها و ملزومات لازم توسط تأمین‌کننده‌های آنها، در طراحی شبکه امدادسانی است.

بر همین اساس این تحقیق بر سطح راهبردی تمرکز داشته و یک مدل ریاضی ارائه می‌دهد که می‌تواند به عنوان یک وسیله حمایتی برای برنامه‌ریزان سیستم‌های خدمات پزشکی عمل کند. در ضمن می‌تواند دستیابی عادلانه جغرافیایی را افزایش داده، هزینه‌های نقل و انتقال و همچنین هزینه‌های خرابی مراکز خدمات پزشکی را تحت شرایط نامطمئن کاهش دهد. مدل ارائه شده می‌تواند به حد ایده‌آل ارتقاء / ساخت راه‌های ارتباطی یا استقرار مراکز خدمات پزشکی با کاهش هزینه بیانجامد. درحالی‌که هزینه نقل و انتقال‌های پیش‌بینی شده در خرابی مراکز خدمات پزشکی و عدم اطمینان نیازها را باید در نظر گرفت. هدف انتخاب مناطق ایجاد امکانات ارتقاء / ساخت راه‌های ارتباطی، تعیین نیازمندی، کاهش ارقام هزینه‌ها، کاهش ریسک قطع برنامه و حرکت قوی حمل‌ونقلی بین نقاط است. به عبارت دیگر مدل به حد کافی قابل اجرا و مؤثر برای به‌کارگیری در سیستم‌های خدمات پزشکی با توجه به محیط‌های نامطمئن (شامل عدم اطمینان هزینه‌های حمل‌ونقل و تقاضا) و

(۲) راه‌های ارتباطی جابه‌جایی که باید در شبکه ارائه شده ساخته / ارتقاء داده شود.

(۳) میزان تقاضای نقاط که باید توسط راه‌های ارتباطی ارتقاء داده شده / ساخته شده در هر سناریو جابه‌جا شود.

(۴) کسر هر تقاضا که باید در هر سناریو توسط مراکز خدمات پزشکی موجود و جدید تأمین شود.

(۵) میزان کالای دریافتی هر یک از مراکز خدمات پزشکی از هر یک از تأمین‌کننده‌های خود

مفروضات مدل ریاضی

مفروضات در نظر گرفته شده در مسئله این تحقیق به شرح زیر است:

۱- هر نقطه شبکه بازگوکننده یک شهر یا مرکز مسکونی شهری است.

۲- هر نقطه می‌تواند مرکز تجهیزات یا مرکز تقاضای تجهیزات باشد. یعنی در هر مرکز تقاضا می‌توان یک مرکز خدمات پزشکی افتتاح کرد.

۳- مراکز خدمات پزشکی جدید را فقط می‌توان در نقاط (شهرها) شبکه مستقر کرد و نمی‌توان بر راه‌های ارتباطی شبکه قرار داد.

۴- حداکثر فقط یک مرکز می‌تواند در هر نقطه مستقر کرد.

۵- ساختار کلی شبکه براساس یک سیستم مشتری خدمت‌رساننده پایه‌ریزی شده است. این به آن معناست که برای تقاضا و دریافت خدمات به مراکز خدمات پزشکی مراجعه می‌کنند.

۶- تمام هزینه‌های مسافرتی (حمل‌ونقل) برابر هستند. ۷- تمام راه‌های ارتباطی شبکه مورد هدایت قرار می‌گیرند.

۸- تمام مراکز خدمات پزشکی و راه‌های ارتباطی شبکه (جاده‌های جابه‌جایی) صلاحیت دارند.

۹- تمام مراکز خدمات پزشکی و راه‌های ارتباطی شبکه نامعتبر هستند و ممکن است با برخی احتمالات اختلال دچار قطع شوند.

۱۰- احتمال قطع مراکز خدمات پزشکی و راه‌های ارتباطی شبکه به‌عنوان سناریو توسط متخصصان حرفه‌ای تعیین شده‌اند.

۱۱- محدودیت بودجه سرمایه‌گذاری بر محل استقرار خدمات پزشکی و ارتقاء / ساخت راه‌های ارتباطی وجود دارد.

۱۲- تمام هزینه‌های مسافرت تضمین نشده‌اند و رفتار تصادفی دارند.

۱۳- تقاضای نقطه j تضمین نشده است و رفتار تصادفی دارد.

۱۴- تعداد تأمین‌کننده‌های دارویی و ملزومات پزشکی مشخص و ثابت است.

۱۵- هزینه انتقال از هر یک از تأمین‌کننده‌ها به مراکز خدمات پزشکی تأسیس شده، قابل تعیین است.

علائم به کار گرفته شده در مدل ریاضی به شرح زیر تعریف می‌شوند:

D مجموعه نقاط تقاضا

L مجموعه لینک‌های شبکه

$S = \{0, 1, 2, \dots, s\}$ مجموعه سناریوهای غیر پایدار

P مجموعه تأمین‌کننده‌ها

P_f تعداد مراکز خدمت‌رسانی که باید تأسیس شود.

f_i هزینه ثابت راه‌اندازی مرکز خدمت‌رسانی i

C_{ij} هزینه احداث و یا بهبود لینک i به j $(i, j) \in L$

t_{ij} هزینه انتقال یک جریان بین i و j $(i, j) \in L$

d_j تقاضای نقطه j

α_j ظرفیت تسهیل در نقطه j

β_{ij} ظرفیت لینک i به j

P_r سطح پایداری مطلوب

BC حد بالای مقدار بودجه موردنظر جهت سرمایه‌گذاری

M عدد مثبت خیلی بزرگ

Δ_s^* هزینه بهینه سناریو غیر پایدار S

ϕ_j^s پارامتر باینری و برابر ۱ اگر نقطه j تحت سناریو S دچار اختلال شود.

φ_{ij}^s پارامتر باینری و برابر ۱ اگر مسیر i به j در سناریو S دچار اختلال شود.

CSM_{pj} هزینه ارسال کالاها از تأمین‌کننده p به مرکز خدمت‌رسانی در نقطه j

متغیرهای تصمیم

Z_j برابر ۱ اگر در نقطه j مرکز خدمت‌رسانی پزشکی احداث شود.

(9)

$$\sum_{i \in D} Z_i = P_f$$

(10)

$$SM_{pj}^s \leq M Z_j \quad \forall j \in L, p \in P$$

(11)

$$Y_{ij}^s, SM_{pj}^s \geq 0 \quad \forall (i,j) \in L, \forall s \in S$$

(12)

$$Z_j, \delta_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in D$$

(13)

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in L$$

(14)

رابطه شماره (۱) تابع هدف مدل ریاضی را نشان می‌دهد که بیانگر کل هزینه‌های شبکه زنجیره‌ای مورد نظر است. این هزینه‌ها شامل هزینه‌های راه‌اندازی مراکز خدمت‌رسانی، هزینه‌های احداث یا بهبود لینک‌های شبکه، هزینه‌های طی مسیر و هزینه‌های تأمین مواد مورد نیاز است. محدودیت‌های (۲) تا (۴) محدودیت‌های جریان هستند. محدودیت (۲) بیان می‌کند که اختلاف جریان خروجی و ورودی در هر نقطه تقاضا، باید براساس میزان تقاضای آن نقطه باشد. این امر در شرایطی انجام می‌شود که در آن نقطه تقاضا، مرکز خدمت‌رسانی احداث شده باشد و رابط (۳) و (۴) دقیقاً همین مفهوم را برای سایر نقاط که مرکز خدمت‌رسانی در آنها احداث نمی‌شود تشریح می‌کند. محدودیت (۵) تضمین می‌کند که نقاط شبکه یا مرکز خدمت‌رسانی یا نقطه دارای تقاضا هستند. محدودیت (۶) مدل ریاضی را مجبور می‌کند که هزینه‌های شبکه خدمت‌رسانی آن به اندازه سطح خدمت‌پذیری باشد. محدودیت (۷) هزینه‌های دریافت کالا از تأمین‌کننده‌ها و توزیع آن بین نقاط تقاضا را برحسب میزان بودجه آن محدود می‌کند. محدودیت (۸) تضمین می‌کند که جریان عبوری از یک نقطه کمتر از ظرفیت آن باشد. محدودیت (۹) بین هر دو نقطه از شبکه جریان را به صورت یک‌طرفه ایجاد می‌کند. محدودیت (۱۰) بیانگر این نکته است که تعداد از پیش مشخص شده نقاط خدمت‌رسانی در مدل ریاضی مشخص می‌شود. محدودیت (۱۱) تضمین می‌کند که ارسال کالاهای مورد نیاز از سوی تأمین‌کننده‌ها فقط برای مراکز پزشکی ارسال شود. محدودیت (۱۲) تا (۱۵) نوع متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهد.

δ_j برابر ۱ اگر نقطه j به عنوان نقطه تقاضا باقی‌مانده و مرکزی در آن احداث نشود.

X_{ij} برابر ۱ اگر یال i به j احداث و یا بهبود داده شود. Y_{ij}^s مقدار تقاضای منتقل شده بین i و j تحت سناریو S SM_{pj}^s برابر ۱ اگر تحت سناریو S مرکز خدمت‌رسانی در نقطه j از تأمین‌کننده p کالای مورد نیاز خود را تأمین کند.

روابط ریاضی

Minimize

Z=

$$\sum_{j \in D} f_j Z_j + \sum_{(i,j) \in L} C_{ij} X_{ij} + \sum_{(i,j) \in L} t_{ij} Y_{ij}^0 + \sum_{(p,j,s)} CSM_{pj} SM_{pj}^s$$

(1)

s.t.

$$\sum_{(i,j) \in L} Y_{ji}^s - \sum_{(i,j) \in L} Y_{ij}^s + d_j \leq \alpha_j + M \phi_j^s + M(1 - Z_j) \quad \forall j \in D, \forall s \in S$$

(2)

$$\sum_{(i,j) \in L} Y_{ji}^s - \sum_{(i,j) \in L} Y_{ij}^s \leq d_j + M(\delta_j) \quad \forall j \in D, \forall s \in S$$

(3)

$$\sum_{(i,j) \in L} Y_{ji}^s - \sum_{(i,j) \in L} Y_{ij}^s \geq d_j - M(\delta_j) \quad \forall j \in D, \forall s \in S$$

(4)

$$\delta_j + (1 - \phi_j^s) Z_j = 1 \quad \forall j \in D, \forall s \in S$$

(5)

$$\sum_{j \in D} f_j Z_j + \sum_{(i,j) \in L} C_{ij} X_{ij} + \sum_{(i,j) \in L} t_{ij} Y_{ij}^s \leq (1 + p_r) \Delta_s^* \quad \forall s \in S/0$$

(6)

$$\sum_{j \in D} f_j Z_j + \sum_{(i,j) \in L} C_{ij} X_{ij} + \sum_{(p,j,s)} CSM_{pj} SM_{pj}^s \leq BC$$

(7)

$$Y_{ij}^s \leq (1 - \phi_{ij}^s) \beta_{ij} X_{ij} \quad \forall (i,j) \in L, \forall s \in S$$

(8)

$$X_{ij} + X_{ji} \leq 1 \quad \forall (i,j) \in L$$

۴- مطالعه موردی

ایران کشوری لرزه خیز است و بر روی یکی از دو کمربند بزرگ لرزه خیز جهان موسوم به «آلیا» قرار دارد. منطقه جنوب البرز مرکزی که کلان شهر تهران در آن واقع است نیز نه تنها از خطر زلزله ایمن نیست بلکه سالهاست در انتظار زلزله ای ویرانگر با قدرت بالای ۷ ریشتر به سر می برد. عامل اصلی وقوع زلزله در تهران وجود ۱۵ گسل در این منطقه است که سه گسل در این میان هر یک به تنهایی پتانسیل ایجاد زلزله ای بیش از ۷ ریشتر را دارند. در اثر وقوع زلزله در این منطقه حدود ۱۵ درصد مردم جان خود را از دست می دهند، ۵ درصد مردم به شدت آسیب خواهند دید و ۵۸ درصد از ساختمان های تهران ویران شده یا به شدت صدمه خواهند دید.

با توجه به نقشه گسل های فعال در ناحیه البرز، ۱۳ منطقه به عنوان نقاط آسیب پذیر در هنگام وقوع بلای طبیعی زلزله انتخاب شده اند. امداد رسانی شش مکان برای احداث مراکز توزیع در شهرهای نکا، رودبار، قزوین، گرمسار، تهران و کاشان در نظر گرفته شده است. به منظور پشتیبانی از مراکز خدمت رسانی نیز، شش مرکز تأمین کالای امدادی در شهرهای گرگان، آمل، قزوین، سمنان، اراک و اصفهان مدنظر است. اطلاعات مربوط به آسیب دیدن نقاط مختلف شبکه در یک شرایط بحران همچون زلزله در منطقه البرز، در جدول (۱) ذکر شده است. لازم به ذکر است که اطلاعات این جدول براساس منطقه بندی وزارت کشور و نیز منطقه بندی شهر تهران بزرگ ارائه شده است.

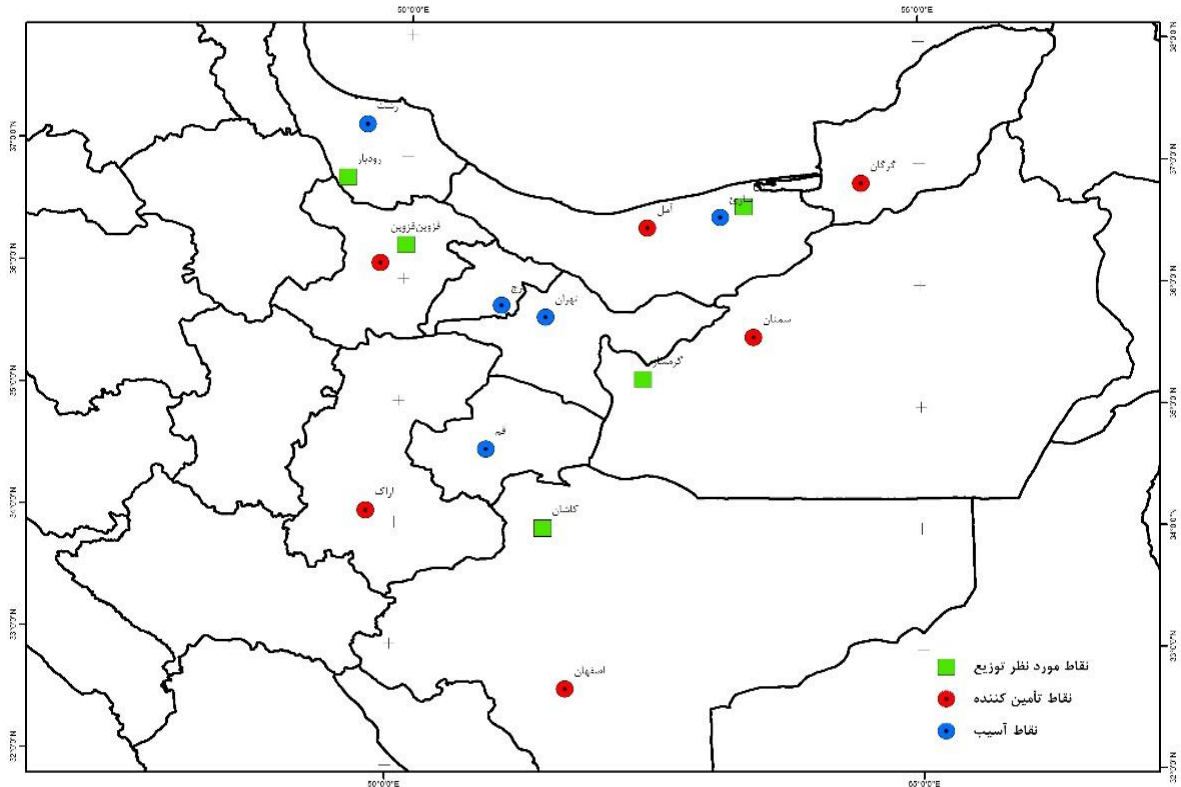
جدول (۱): سیزده نقطه آسیب هنگام وقوع بلای طبیعی زلزله در ناحیه البرز

ردیف	نام منطقه	ردیف	نام منطقه
۱	مازندران	۷	تهران ۳: مناطق ۶، ۷، ۸ و ۱۳ شهرداری تهران
۲	رشت	۸	تهران ۴: مناطق ۱۱، ۱۲ و ۱۴ شهرداری تهران
۳	کرج	۹	تهران ۵: مناطق ۱۷ و ۱۸ شهرداری تهران
۴	قم	۱۰	تهران ۶: مناطق ۱۹ و ۲۰ شهرداری تهران
۵	تهران ۱: مناطق ۱، ۳ و ۴ شهرداری تهران	۱۱	شهرستان توابع تهران ۱: اسلامشهر و رباط کریم
۶	تهران ۲: مناطق ۲، ۵، ۶ و ۲۱، ۲۲ شهرداری تهران	۱۲	شهرستان توابع تهران ۲: پاکدشت، ورامین، ری، پیشوا، فیروزکوه، دماوند و شمیرانات
		۱۳	شهرستان توابع تهران ۳: شهریار، قدس و ملارد

با توجه به جمعیت هر نقطه آسیب، تقاضای هر نقطه تعریف شده است. شرایط عدم قطعیت تحت سه سناریوی خوب، متوسط و بد با احتمال ۰/۳، ۰/۳ و ۰/۴ در نظر گرفته شده است. هزینه راه اندازی برای تمام مراکز خدمات پزشکی یکسان و برابر ۴ میلیارد تومان برآورد شده است. سطح پایداری مورد نظر ۰/۸ در نظر گرفته شده است. بودجه در نظر گرفته شده برای شرایط بحران در این منطقه، در ایده آل ترین حالت ۱۰ میلیارد تومان تخمین زده شده است. این رقم در پرس و جو از خبرگان سازمان مدیریت بحران کشور و تجارب آنها و تحلیل جمعیتی در منطقه البرز تعیین شده است.

با توجه به فواصل بین مراکز تأمین و مراکز توزیع و همچنین مراکز خدمات پزشکی و نقاط تقاضا، هزینه انتقال هر واحد کالا به شرح جداول (۲) و (۳) است. لازم به ذکر

است اطلاعات ارائه شده در جداول (۲) و (۳) از مراجع [۱۷، ۱۸] اقتباس شده است. همچنین این اطلاعات برحسب فاصله نقاط مختلف شبکه از یکدیگر محاسبه گردیده است.



شکل (۱) شمایی از مراکز تأمین، نقاط مورد نظر راه اندازی مراکز خدمات پزشکی و نقاط تقاضا

جدول (۲) هزینه انتقال هر واحد کالای امدادی بین مراکز تأمین و مراکز توزیع (بر حسب ده تومان)

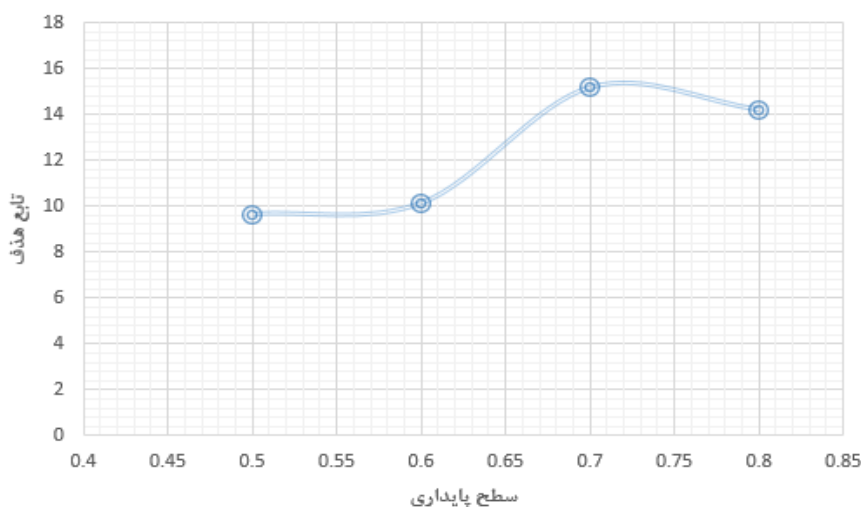
کاشان	تهران	گرمسار	قزوین	رودبار	نکا	
۱۶۰۷,۵	۱۰۴۲,۵	۱۰۶۷,۵	۱۳۶۷,۵	۱۶۱۷,۵	۲۷۵	گرگان
۱۱۳۲,۵	۶۶۷,۵	۶۷۸,۵	۸۹۲,۵	۱۱۴۲,۵	۲۲۲,۵	آمل
۹۹۰	۳۷۵	۷۱۵	۱۲۵	۲۵۰	۱۰۹۲,۵	قزوین
۱۲۰,۵	۶۴۰	۲۵۰	۹۶۵	۹۶۵	۵۶۲,۵	سمنان
۵۷۵	۶۸۲,۵	۱۰۷۲,۵	۷۵۷,۵	۱۰۰۷,۵	۱۴۵۰	اراک
۴۵۵	۱۱۴۷,۵	۱۴۳۷,۵	۱۲۰۰	۱۴۵۰	۱۸۱۵	اصفهان

جدول (۳) هزینه انتقال جریان بین مراکز بالقوه خدمات پزشکی و نقاط تقاضا (بر حسب ده تومان)

توابع تهران ۳	توابع تهران ۲	توابع تهران ۱	تهران ۶	تهران ۵	تهران ۴	تهران ۳	تهران ۲	تهران ۱	قم	کرج	گیلان	مازندران	
۹۱۷,۵	۴۱۷,۵	۸۱۷,۵	۷۵۷,۵	۷۶۷,۵	۷۳۷,۵	۷۳۵	۷۸۲,۵	۷۴۵	۱۰۴۸	۹۵۰	۹۷۰	۲۰۰	نکا
۷۰۰	۸۷۵	۷۷۵	۴۲۵	۶۴۰	۶۶۵	۶۷۰	۶۴۵	۶۷۷,۵	۹۰۵	۵۲۵	۲۳۷,۵	۱۰۴۵	رودبار
۴۵۰	۶۲۵	۵۲۵	۱۵۲	۳۹۰	۴۱۵	۴۲۰	۳۹۵	۴۳۷,۵	۷۰۵	۳۲۵	۴۶۲,۵	۹۴۷,۵	قزوین
۴۵۰	۲۵۰	۳۷۵	۳۵۷,۵	۳۹۲,۵	۳۷۰	۳۸۰	۴۱۵	۳۹۰	۵۱۲,۵	۳۴۰	۱۱۵۲,۵	۶۳۵	گرمسار
۱۲۵	۲۰۰	۱۰۰	۴۲,۵	۴۵	۵۰	۶۲,۵	۶۵	۷۰	۳۳۰	۱۵۰	۸۶۲,۵	۶۲۲,۵	تهران
۷۵۰	۶۶۵	۶۱۵	۶۳۵	۶۴۵	۶۵۵	۶۷۰	۶۷۵	۶۸۲,۵	۲۸۵	۴۷۰	۱۴۲۷,۵	۱۱۸۷,۵	کاشان

اطلاعات مورد نظر تحت قالب شرایط، اندیس‌ها و متغیرهای مدل ریاضی در نرم‌افزار GAMS وارد شده است. سپس روابط مدل ریاضی در محیط این نرم‌افزار وارد شده و به کمک حل‌کننده‌های آن، این مدل ریاضی بهینه‌سازی شده است. در شرایط بهینه شهرهای نکا، تهران و کاشان به عنوان مراکز خدمت‌رسانی پزشکی انتخاب شده‌اند. این نقاط پس از برآورده‌سازی تقاضا برای شهرهای خود، سایر شهرها را نیز سرویس‌دهی می‌کنند. کل هزینه‌های سیستم در این حالت حدود ۹ میلیارد و ۶۵۰ میلیون تومان برآورد شده است که از بودجه کل تعیین شده نیز کمتر است. نکته قابل توجه در این مسئله آن است که درصد زیادی از افزایش هزینه‌ها به خاطر در نظر گرفتن اختلال در مراکز پزشکی است. اما از

آنجا که در شرایط واقعی حذف این فرض غیر واقعی است، بنابراین هر سیستم خدمت‌رسانی که در شرایط غیر پایدار مورد بررسی قرار می‌گیرد، هزینه‌هایی بالاتر از سیستم کاملاً پایدار خواهد داشت. به همین دلیل تمرکز بر کاهش هزینه‌ها در این نوع سیستم‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از کلیدی‌ترین عوامل مدل ریاضی ارائه شده سطح پایداری مطلوب آن است. به منظور بررسی تأثیر این پارامتر بر مسئله مورد بررسی به تحلیل حساسیت این مورد پرداخته می‌شود. برای این منظور مقادیر بین ۰/۵ تا ۰/۸ به صورت متغیر برای این پارامتر در نظر گرفته و نتایج آن گزارش شده است. در شکل (۲) روند مقدار تابع هدف به ازای تغییرات سطح پایداری نشان داده شده است.



شکل (۲) تأثیر سطح پایداری بر تابع هدف

همان‌طور که مشاهده می‌شود افزایش سطح پایداری تا ۷۰ درصد منجر به افزایش هزینه‌های سیستم شده و از آن به بعد کل هزینه‌ها روند کاهش خواهد داشت. بنابراین با انتخاب مقادیر سطح پایداری بالای ۷۰ درصد می‌توان در هزینه‌های کل صرفه‌جویی قابل توجهی کرد.

تحلیل حساسیت مدل ریاضی

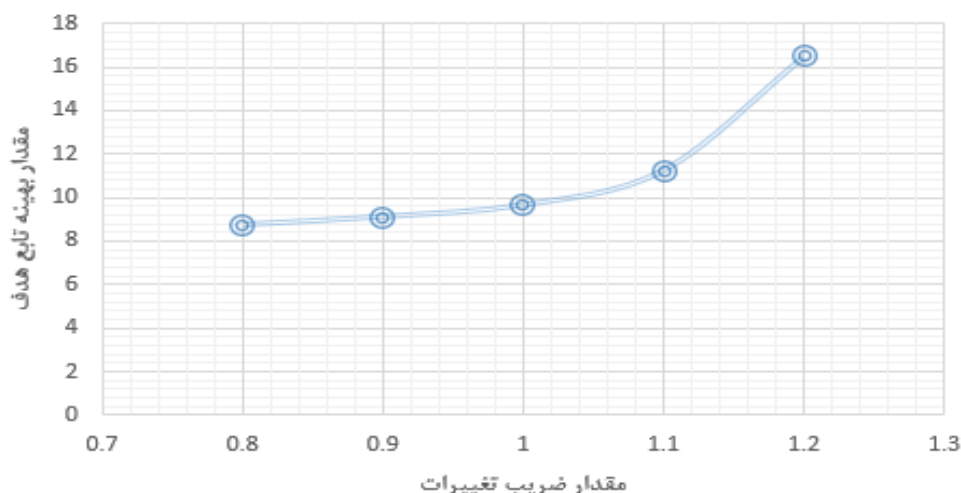
یکی از جنبه‌های مهم در مدل ریاضی مقادیر پارامترهای آن است. در شرایط واقعی ممکن است این مقادیر دچار تغییر و نوسان شود. بنابراین لازم است این تغییرات بررسی

شده و روند آنها مورد تحلیل قرار گیرد. یکی از مهم‌ترین پارامترهایی که ممکن است دچار نوسان شود، مقدار تقاضای نقاط آسیب دیده در سناریوها است. بر این اساس مقادیر مشخص شده در ضریب تغییرات (بین ۰/۸ تا ۱/۲) ضرب شده و مقدار تعدیل شده آن در مدل ریاضی قرار گرفته و مقدار بهینه تابع هدف مورد بررسی قرار می‌گیرد. این روند برای مطالعه موردی انجام شده و نتایج آن به صورت خلاصه در جدول (۴) بیان شده است.

جدول (۴): خروجی تحلیل حساسیت مدل ریاضی

۱,۲	۱,۱	۱	۰,۹	۰,۸	ضریب تغییرات
۱۶,۵	۱۱,۲	۹,۶۵	۹,۱۱	۸,۷	مقدار بهینه تابع هدف (میلیارد تومان)

همچنین برای درک بهتر این تحلیل حساسیت شکل (۳) ارائه شده است.



شکل (۳): خروجی تحلیل حساسیت به ازای مقادیر مختلف ضریب تغییرات

منابع

[1] M. S. Daskin, L. V. Snyder, and R. T. Berger., "Facility location in supply chain design". in Logistics systems: design and optimization: Springer, pp. 39-65, 2005.

[2] H. W. Hamacher and Z. Drezner., "Facility location: applications and Theory". Springer Science & Business Media, 2002.

[3] S. H. Owen and M. S. Daskin., "Strategic facility location: A review". European Journal of Operational Research, vol. 111, pp. 423-447, 1998.

[4] I. Contreras, E. Fernández, and G. Reinelt., "Minimizing the maximum travel time in a combined model of facility location and network design". Omega, vol. 40, pp. 847-860, 2012.

[5] Z. Drezner and G. Wesolowsky., "Design-location problems". in INFORMS National Meeting, seattle, 1998.

[6] I. Contreras and E. Fernández., "General network design: A unified view of combined location and network design problems". European Journal of

همان‌طورکه در شکل (۳) نشان داده شده است، چنانچه تقاضا به اندازه ۱۰ درصد کاهش یابد (ضریب تغییرات ۰/۹) کل هزینه‌های سیستم به میزان کمی کاهش می‌یابد و همچنین حدود ۹ میلیارد کل هزینه‌ها خواهد بود. این در حالی است که چنانچه تقاضا ۱۰ درصد افزایش داشته باشد (ضریب تغییرات ۱/۱) هزینه‌ها حدود ۱۱ میلیارد شده و از حجم بودجه تعیین شده فراتر خواهد رفت. به عبارتی دیگر مدل نسبت به افزایش تقاضا بسیار حساس‌تر از کاهش تقاضا است بنابراین لازم است برآورد بسیار مناسبی از مقدار تقاضا در سناریوهای مختلف قبل از وقوع بحران انجام داد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله به ارائه یک مدل ریاضی در زمینه طراحی شبکه خدمات پزشکی تحت شرایط عدم قطعیت و اختلال پرداخته شد. همچنین تأسیس مراکز خدمت‌رسانی جدید، راه‌های ارتباطی جدید و ارتقاء راه‌های ارتباطی موجود برای پشتیبانی از شبکه موجود مطرح شد. برای نشان دادن کاربردی بودن این تحقیق، یک مطالعه موردی در منطقه البرز ایران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج عددی نشان‌دهنده درست و منطقی بودن نتایج حاصل از مدل ریاضی است. در این شرایط می‌توان این مدل را برای شبکه‌های مختلف تحت اختلال مورد بررسی و مقایسه قرار داد.

sustainable order allocation and sustainable supply chain network strategic design with stochastic demand using a novel robust hybrid multi-objective metaheuristic". Computers & Operations Research, vol. 62, pp. 112-130, 2015.

[15] Z. Ardalan, S. Karimi, B. Naderi, and A. Khamseh., "A Supply chain networks design with multi-mode demand satisfaction policy". Computers & Industrial Engineering, vol. 96, pp. 108-117.2016.

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

[۱۷] نوریان، فرشید. اسفندی، سعید. "تحلیل اولویت مکانی پایگاه‌های پشتیبان مدیریت بحران زلزله بر مبنای استانداردهای طبقه‌بندی زمین مرجع کاربری‌ها با استفاده از روش تاپسیس". فصلنامه مدیریت بحران، شماره هفتم پاییز و زمستان ۱۳۹۴.

[۱۸] بزرگی امیری، علی حاجی آقا. "توسعه مدل ریاضی مکان‌یابی مراکز توزیع امداد و مدیریت موجودی در شرایط بحران: مطالعه موردی شهر تهران". رساله دکتری رشته مهندسی صنایع دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۹۶.

Operational Research, vol. 219, pp. 680-697, 2012.

[7] C. H. Aikens., "Facility location models for distribution planning". European journal of operational research, vol. 22, pp. 263-279 % @ 0377-2217, 1985.

[8] D. Shishebori, M. S. Jabalameli, and A. Jabbarzadeh., "Facility location-network design problem: reliability and investment budget constraint". Journal of Urban Planning and Development, vol. 140 ,p. 04014005, 2013.

[9] D. Shishebori, L. V. Snyder, and M. S. Jabalameli., "A reliable budget-constrained fl/nd problem with unreliable facilities". Networks and Spatial Economics, vol. 14, pp. 549-580, 2014.

[10] O. Berman, D. I. Ingco, and A. R. Odoni., "Improving the location of minisum facilities through network modification". Annals of Operations Research, vol. 40, pp. 1-16, 1992.

[11] J. F. Campbell., "A survey of network hub location". Studies in Locational Analysis, vol. 6, pp. 31-49, 1994.

[12] A. Ghaderi and M. S. Jabalameli., "Modeling the budget-constrained dynamic uncapacitated facility location-network design problem and solving it via two efficient heuristics: a case study of health care". Mathematical and Computer Modelling, vol. 57, pp. 382-400, 2013.

[13] A. Jabbarzadeh, S. G. Jalali Naini, H. Davoudpour, and N. Azad., "Designing a supply chain network under the risk of disruptions". Mathematical Problems in Engineering, vol. 2012, 2012.

[14] K. Govindan,, A. Jafarian, and V. Nourbakhsh., "Bi-objective integrating