

ارائه‌ی یک مدل برنامه‌ریزی دوهدفه به منظور طراحی یک شبکه‌ی خدماتی سلامت با در نظر گرفتن کارایی مکان‌ها

امیر یعقوبی (کارشناس ارشد)

علی بزرگی امیری* (دانشیار)

محسن صادق عمل نیک (استاد)

دانشکده مهندسی صنایع، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، تابستان ۱۴۰۲ (دوره ۳۹، شماره ۱، صص. ۱۶۹-۱۸۲)، پژوهشی

سیستم سلامت از نظر ماهیتی سلسله‌مراتبی است که وجود پیوند ارتباطی بین سطوح مختلف آن، حل مسئله‌ی مکان‌یابی را برای هریک از سطوح به طور مجزا غیرممکن می‌سازد. هدف این پژوهش، ایجاد یک شبکه‌ی خدمات سلامت سه‌سطحی است. بدین منظور، هریک از مکان‌های داوطلب به عنوان یک واحد تصمیم‌گیرنده در نظر گرفته شده‌اند و کارایی هریک از مکان‌های داوطلب محاسبه شده است. همچنین یک مدل خطی عدد صحیح مختلط دوهدفه توسعه داده شده که به دنبال کمینه‌سازی زمان جابه‌جایی و بیشینه‌سازی کارایی از طریق انتخاب مکان‌های با کارایی بالاتر است. از روش حدی اصلاح شده برای حل مدل دوهدفه پیشنهادی استفاده شده است. به منظور ارزیابی مدل پیشنهادی یک مطالعه‌ی واقعی روی منطقه‌ی ۱ شهر تهران انجام گرفت. نتایج حل مدل نشان‌دهنده‌ی وجود ناسازگاری بین اهداف است. همچنین تأثیر پارامتر ارجاع روی جریان بیمار در سیستم به وضوح مشخص است. مقایسه‌ی شبکه‌ی موجود با شبکه‌ی پیشنهادی حاکی از بهبود در وضعیت موجود از نقطه نظر اهداف ارائه شده است.

واژگان کلیدی: سیستم سلامت، شبکه‌ی خدمات سلامت سه‌سطحی، مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط، روش حدی اصلاح شده.

۱. مقدمه

در بخش سلامت، پیامدهای تصمیمات نادرست پیرامون انتخاب تسهیلات فراتر از هزینه‌ها و خدمات مشتری است. چنانچه تسهیلات ایجاد شده کم باشند یا مکان آنها نامناسب باشد، ممکن است مرگ‌ومیر و بیماری‌ها افزایش یابد. بنابراین، مکان‌یابی تسهیلات زمانی که برای تعیین محل تسهیلات مورد استفاده قرار می‌گیرد، اهمیت بیشتری خواهد یافت.^[۱] با توجه به این که هزینه‌های بالای تسهیلات سبب می‌شود تعیین مکان آن‌ها یا پروژه‌های تغییر مکان آن‌ها جزء سرمایه‌گذاری‌های بلندمدت باشد، تصمیم‌گیرندگان باید محل‌هایی را انتخاب کنند که نه تنها در شرایط کنونی سیستم عملکرد مناسبی داشته باشد، بلکه حتی با تغییر مشخصه‌های گوناگونی چون عوامل محیطی، تغییر جمعیت و تغییر روند بازار در طول عمر تسهیلات همچنان

سودده باشند. بنابراین، تصمیم‌گیری استوار پیرامون تعیین محل تسهیلات کار دشواری است و از تصمیم‌گیرندگان خواسته می‌شود که وقایع غیرقطعی آتی را نیز در نظر بگیرند.^[۲] از سوی دیگر، به دلیل برهم‌کنش میان تقاضا برای خدمات و خصوصیات جمعیت‌شناسی نقاط تقاضای اطراف این مراکز (سلامت)، تصمیم‌گیری در مورد مکان و ظرفیت تسهیلات پیچیده است.^[۳] از این رو، نیاز به منطقه‌بندی شدن سیستم سلامت الزامی است. منظور از منطقه‌بندی شدن، توسعه‌ی هماهنگ سیستم سلامت است. البته هماهنگی تنها به معنای توزیع جغرافیایی بهینه‌ی امکانات و منابع نیست، بلکه برقراری جریان مؤثر و روابط عملکردی بین سطوح مختلف یک سیستم تسهیلاتی سلسله‌مراتبی در یک منطقه است.^[۴]

بیشتر شبکه‌های سلامت به صورت سلسله‌مراتبی ساختار یافته‌اند که میان تسهیلات سطوح مختلف ارتباط وجود دارد، به طوری که تعیین موقعیت تسهیلات در هر سطح به چالشی جدی برای نظام سلامت تبدیل شده است. در این ارجاعات

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۹/۱۲/۱۸، اصلاحیه ۱۴۰۱/۳/۹، پذیرش ۱۴۰۱/۴/۷

DOI:10.24200/J65.2022.57193.2187

استناد به این مقاله:

یعقوبی، امیر، بزرگی امیری، علی، و عمل نیک، محسن صادق، ۱۴۰۲. ارائه‌ی یک مدل برنامه‌ریزی دوهدفه به منظور طراحی یک شبکه‌ی خدماتی سلامت با در نظر گرفتن کارایی مکان‌ها. مهندسی صنایع و مدیریت شریف، ۳۹(۱)، صص. ۱۶۹-۱۸۲.

باید عواملی چون زمان جابه‌جایی بین تسهیلات، هزینه‌ی راه‌اندازی تسهیلات و عدالت در دسترسی به تسهیلات در نظر گرفته شود. اما تاکنون پژوهش‌های اندکی مجموعه این عوامل را در نظر گرفته‌اند.^[۶۵] از این رو، به منظور دستیابی به شبکه‌ی خدمات سلامت کاربردی‌تر، باید روابط سلسله‌مراتبی بین انواع تسهیلات گوناگون و جریان خدمات در سلسله‌مراتب مورد توجه قرار گیرد.^[۶] بارزترین جنبه‌ی ساختار سازمانی سیستم سلامت، وجود سیستم ارجاع در آن است. این سیستم، ساختار ارجاعی سلسله‌مراتبی انتقال بیماران از پایین‌ترین سطح تا بالاترین سطح آن و بالعکس را فراهم می‌آورد. در این سیستم حرکت بیمار بر اساس نظر متخصصان سلامت تعیین می‌شود ولی در عمل، بیماران نزدیک‌ترین نقطه را برای ورود به سیستم انتخاب می‌کنند.^[۷] از سوی دیگر، تصور این که سطوح بالاتر شبکه‌ی سلامت، خدمات باکیفیت‌تری ارائه می‌کنند، سبب شده تا مراجعه به این بخش بیشتر از سایر بخش‌ها باشد.^[۸] در سیستم ارجاع سلسله‌مراتبی هزینه‌های درمان یا پیشگیری از بیماری به دلیل مراجعه‌ی بیمار به مراکز درمانی پایه‌ی (که هزینه‌ی درمان در آن پایین است) کم‌تر خواهد بود. با توجه به این که در کشورهای در حال توسعه بیشتر بیماری‌ها توسط پزشکان متخصص قابل‌معالجه است، یک سیستم ارجاع مقرون به صرفه خواهد بود.^[۹] در واقع مراکز پایه‌ی درمان به عنوان راهنما برای حضور بیماران در سیستم سلامت عمل می‌کنند. این مراکز افزون بر این که امکان دسترسی سریع و راحت‌تر به مراقبت‌های درمانی اولیه را فراهم می‌کنند، فشار وارده بر بخش‌های دیگر از جمله اورژانس بیمارستان‌ها را نیز کاهش می‌دهند.^[۹] مزیت دیگر این تغییر در نظام سلامت کاهش درد و رنج ناشی از بیماری، کاهش نرخ بیماری و مرگ‌ومیر و همچنین دستیابی بیشتر به عدالت در دسترسی به خدمات است.^[۱۰]

در این پژوهش، یک رویکرد ترکیبی بر اساس DEA و مدل‌سازی ریاضی معرفی شده است که در مرحله‌ی اول بر اساس معیارهای تعریف شده، امتیاز کارایی را برای هر کدام از مکان‌های داوطلب تعیین می‌کند. سپس از بین این مکان‌ها، مکان‌هایی که حداقل امتیاز کارایی را کسب کنند، به عنوان نقطه‌ی منتخب به مدل بهینه‌سازی ریاضی اختصاص داده می‌شود. در مرحله‌ی دوم، تعیین موقعیت تسهیلات، تعیین ظرفیت تسهیلات، نحوه‌ی تخصیص نقاط به تسهیلات، نحوه‌ی ارجاعات در سیستم و میزان جریان بیماران در سیستم از جمله تصمیماتی است که توسط این مدل در نظر گرفته می‌شود.

هدف اصلی پژوهش حاضر، ارائه‌ی یک مدل برنامه‌ریزی دو هدفه با در نظر گرفتن کارایی مکان‌های داوطلب به منظور ایجاد یک شبکه‌ی سلامت سه سطحی است. تعیین مکان تسهیلات، ظرفیت آن‌ها، نحوه‌ی ارجاعات بیماران در سیستم، تعیین جریان بیماران بین سطوح مختلف از جمله تصمیماتی است که این پژوهش اتخاذ آنها را هدف‌گذاری کرده است.

در ادامه، در بخش دوم ساختار مقاله پیشینه‌ی پژوهش‌های حاضر، در بخش سوم بیان مسئله، در بخش چهارم نتایج حل مسئله و تحلیل حساسیت و در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی ارائه شده است.

۲. پیشینه‌ی پژوهش

در سال ۲۰۱۱، محققان یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه به منظور تعیین مکان و تعداد تسهیلات در یک سیستم خدماتی سلسله‌مراتبی چهارسطحی ارائه کردند.^[۱۱] کمیته‌سازی هزینه‌ها با توجه به نقش مهم آن در سازمان‌های ارائه دهنده‌ی خدمات

اضطراری در کنار بهینه‌سازی پوشش تقاضا از اهداف مدل پیشنهادی نویسندگان است. به منظور مقابله با عدم قطعیت‌های موجود نیز از نظریه‌ی مجموعه‌های فازی در مورد پارامترهای مدل مانند زمان سفر و هزینه‌ها استفاده شده است. در سال ۲۰۱۴، یک مدل مکان‌یابی پوشش سلسله‌مراتبی با در نظر گرفتن خطر وقوع اختلال توسعه داده شد.^[۱۲] این مدل به دنبال ایجاد پیشینه پوشش با در نظر گرفتن احتمال اختلال در عملکرد تسهیلات است. برای حل مدل از الگوریتم ترکیبی کلونی زنبور عسل^۱ استفاده شده است. در سال ۲۰۱۵ نیز، برنامه‌ریزی شبکه‌ی بیمارستانی در شرایط عدم قطعیت مورد مطالعه قرار گرفت.^[۱۳] تمرکز این پژوهش بر عدم قطعیت مربوط به تقاضاست. بدین منظور، نویسندگان دو مدل مکان‌یابی - تخصیص ارائه کردند. مدل اول یک رویکرد تصادفی اتخاذ می‌کند که به موجب آن بدون آگاهی از پارامترهای نامعلوم تصمیمات گرفته می‌شود؛ اما بر اساس مدل دوم تصمیمات تخصیص پس از عدم قطعیت گرفته می‌شود. در نتیجه با تقاضای برآورده نشده و ظرفیت مازاد مواجه خواهیم بود. در واقع در مدل اول، برخلاف مدل دوم، تخصیص وابسته به سناریوی عدم قطعیت است. بر اساس نتایج به دست آمده، مدل دوم (در نظر گرفتن تصمیمات تخصیص در شرایط غیر قطعی) نتایج بهتری را به علت انعطاف‌پذیری بالاتر خود نشان می‌دهد. در سال ۲۰۱۶، با در نظر گرفتن مفاهیم کلاسیک نظریه‌ی صف، یک مدل مکان‌یابی - تخصیص چندهدفه و چندسطحی ارائه شد.^[۱۴] این مدل اهدافی چون کمیته‌سازی مجموع زمان سفر و زمان انتظار، کمیته‌سازی هزینه‌ی ایجاد تسهیلات و کمیته‌سازی احتمال بیکاری تسهیلات را دنبال می‌کند. در سال ۲۰۱۷ محققان یک ساختار سلسله‌مراتبی دو سطحی تودرتو و چندجریانی را در حوزه‌ی سلامت مطالعه کردند.^[۱۵] بدین منظور، دو نوع بیمارستان سطح پایین و بیمارستان سطح بالا را در نظر گرفته‌اند و بر اساس آن یک مدل استوار دومرحله‌ی فرمول‌بندی کردند که تصمیمات مکان‌یابی پیش از وقوع و تصمیمات مربوط به منابع پس از وقوع اختلال، گرفته خواهند شد. برای حل مدل نیز از الگوریتم تجزیه‌ی بندرز استفاده کردند. در سال ۲۰۱۸ محققان یک مدل دوسطحی برای طراحی شبکه‌ی تسهیلات سلامت تحت محدودیت منابع ارائه کردند؛^[۱۶] سطح اول آن به «پزشک خانواده» و سطح دوم آن به تسهیلات تخصصی مانند بیمارستان‌ها و کلینیک‌های تخصصی اشاره دارد. برای مقابله با عدم قطعیت نیز از نظریه‌ی فازی استفاده کرده‌اند. در سال ۲۰۱۸ نیز یک مدل احتمالی برای تعیین مکان مراکز درمانی چندخدمتی با فرض امکان جابه‌جایی بیماران برای دریافت خدمات و ایجاد شبکه‌های صف در سیستم سلامت ارائه شد.^[۱۷] در واقع، مدل پیشنهادی سعی دارد با ارائه‌ی این خدمات در مناطق مناسب، با تعداد مناسب خدمت دهنده‌ها، دسترسی بیماران را به خدمات پیشگیرانه تسهیل کند. یکی از ویژگی‌های مهم این مدل، پیشینه‌سازی رفتار انتخابی بیماران است.^[۱۷] در سال ۲۰۱۸ به منظور طراحی شبکه‌ی سلامت، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی ارائه شد که به طور هم‌زمان مکان ارائه‌دهندگان خدمات در سطوح مختلف، ظرفیت تسهیلات ایجاد شده، تخصیص مناطق به سطح اول و الگوی ارجاع هر سطح به سطوح بالاتر را مشخص می‌کند.^[۱۸] برای مقابله با عدم قطعیت نیز از مفهوم برنامه‌ریزی استوار امکانی (RP)^۲ استفاده شده است. در همان سال (۲۰۱۸) یک مدل سلسله‌مراتبی شامل بیمارستان‌های سطح پایین و سطح بالا ارائه شد.^[۱۶] در این مدل، با در نظر گرفتن مجموعه‌ی سناریوهای اختلال، ریسک حوادث ناخواسته مد نظر قرار گرفت. به منظور مقابله با عدم قطعیت (مربوط به تقاضا و دسترسی جغرافیایی) نیز مسئله را به عنوان یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی مبتنی بر سناریوی استوار فرمول‌بندی کردند. در سال ۲۰۱۹، به منظور ارزیابی سلسله‌مراتب مراکز درمانی موجود در سوراکاتا در اندونزی، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی عدد صحیح پیشنهاد شد.^[۱۹] هدف این مدل

دنبال ارائه‌ی مدلی به منظور طراحی سیستم سلامت است که اخذ تصمیماتی چون تعیین محل و ظرفیت مراکز درمانی گوناگون و همچنین بهبود جریان بیماران در شبکه‌ی سلامت را هدف‌گذاری کرده باشد.

۳. بیان مسئله

۱.۳. سیستم مورد مطالعه

تغییر در نقطه‌ی ورود بیماران به سیستم سلامت، کاهش بار وارده بر سیستم سلامت، بهبود نحوه‌ی ارجاع بیماران در سطوح مختلف سیستم سلامت، در نظر گرفتن تأثیر معیارهای مطلوب و نامطلوب بر مکان‌های انتخابی، کاهش زمان حضور بیماران در سیستم از دیگر اهداف این پژوهش است.

در نظام ارائه شده در شکل ۱، فرد بیمار برای درمان به اولین سطح مراجعه می‌کند؛ اما باید مشخص شود که به کدام مرکز ارائه‌دهنده‌ی خدمات اولیه‌ی سلامت برای خدمت‌گیری مراجعه کند. پس لازم است که هر نقطه‌ی تقاضا دقیقاً به یک مرکز ارائه‌ی خدمات اولیه سلامت تخصیص داده شود. بنابراین، در این قسمت مکان‌یابی مراکز اولیه و تخصیص بخش‌های شهری به این مراکز از متغیرهای تصمیم مسئله خواهد بود. چنانچه ارائه‌دهندگان خدمات در سطح ۱ تشخیص دهند که فرد به خدمات تخصصی‌تری نیاز دارد باید به سطح بالاتر تخصیص یابد. بنابراین، تعیین مکان تسهیلات سطح دوم (درمانگاه‌ها) و تخصیص تسهیلات سطح ۱ به آن‌ها، در کنار تعیین ظرفیت مکان‌های یاد شده از جمله متغیرهای تصمیم مساله می‌باشند و در نهایت نیز چنانچه بیمار به خدمات بیشتری نیاز داشته باشد ارجاع از سطح دوم به سطح سوم (بیمارستان‌ها) صورت می‌گیرد که تخصیص مکان‌های انتخاب شده‌ی سطح پایین‌تر به این مکان‌ها و میزان ارجاع بیماران، متغیر تصمیم مسئله‌اند.

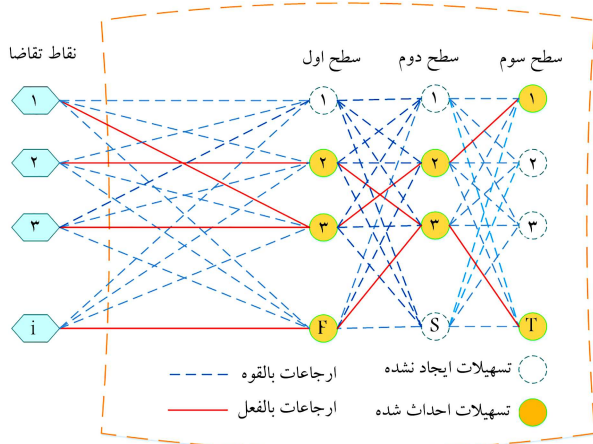
در ادامه روش تحلیل پوششی داده‌ها معرفی خواهد شد. از این روش به منظور تعیین امتیاز کارایی مکان‌های داوطلب استفاده می‌شود تا با حذف مکان‌های با امتیاز کارایی پایین، پیچیدگی مسئله کاهش یابد.

۲.۳. تحلیل پوششی داده

تحلیل پوششی داده یک روش داده‌محور^۴ است که بر اساس مدل‌های ریاضی، کارایی مجموعه‌ی از واحدها، به نام واحد تصمیم‌گیرنده (DMU)^۵ را محاسبه می‌کند. چارنز، کوپرو رودز^{۲۶} با تغییر نسبت کلاسیک علمی - مهندسی تک‌خروجی

بیشینه‌سازی تقاضای تحت پوشش تسهیلات برای هر سطح با استفاده از فاصله تسهیلات سلامت و نقاط تقاضاست. در سال ۲۰۱۳ نیز یک روش‌شناسی جدید بین تحلیل پوششی داده (DEA)^۳ و تحلیل مکانی ارائه شد.^{۱۴} بر این اساس از DEA برای ارزیابی کارایی هر یک از مراکز سلامت موجود در سیستم استفاده شد. سپس از یک مدل مکان‌یابی به منظور تعیین پیکربندی سیستم جدید استفاده کردند و در نهایت نیز دوباره از DEA برای ارزیابی مجدد کارایی مراکز سلامت در سیستم جدید بهره گرفتند. در سال ۲۰۱۹، یک رویکرد ترکیبی از تکنیک‌های DEA و برنامه‌ریزی چندهدفه به منظور تصمیم‌گیری و ارائه‌ی الگوهای کارآمد برای تصمیم‌گیران حوزه‌ی سلامت با گرفتن تصمیمات مکان‌یابی - تخصیص پیشنهاد شد.^{۱۷} برای این منظور ابتدا اهداف ارزیابی عملکرد را تعریف و سپس این معیارها را به خروجی و ورودی تفکیک کردند و پس از آن برای هر معیار ارزیابی عملکرد مجموعه‌ی از وزن‌ها را تعریف کردند. برای تمامی این وزن‌ها مدل چندهدفه را حل کردند و امتیاز کارایی هر مجموعه را توسط DEA محاسبه و رتبه‌بندی نهایی را ارائه کردند.^{۱۸} در سال ۲۰۲۰، برای نخستین بار مسئله‌ی طراحی شبکه و برنامه‌ریزی جامع نیروی کار بررسی شد.^{۱۹} برای این منظور یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح غیرخطی با هدف کمینه‌سازی کل هزینه (هزینه‌ی ایجاد تسهیلات و هزینه‌ی واحدهای خدماتی مرتبط با آن به همراه کل هزینه‌ی ارائه‌ی خدمات یا هزینه‌ی دسترسی مشتری) ارائه شد. از نظریه‌ی صف برای کنترل کیفیت خدمات از طریق تعریف محدودیت آستانه‌ی زمان انتظار در صف، استفاده کردند. در سال ۲۰۱۹، محققان به منظور ارزیابی‌های تقاضا محور از عدالت فضایی در دسترسی به خدمات سلامت چندسطحی از رویکرد R - GTL^{۲۰} استفاده کردند.^{۲۱} در این رویکرد با در نظر گرفتن سطوح مختلف ارائه‌ی خدمات و همچنین فاصله ترافیک در زمان واقعی و رفتار ساکنان برای سطوح مختلف خدماتی در بخش سلامت، کم‌ترین زمان سفر هر تور به سطوح مختلف مؤسسات ارائه‌ی خدمات سلامت، بر اساس فاصله‌ی زمان واقعی سفر و توجه به ترجیحات رفتاری ساکنان محاسبه شد. در نهایت نیز نسبت ناحیه و جمعیت انواع مختلف مناطق دسترسی به خدمات برای تحلیل عدالت فضایی سطوح چندگانه مشخص شد. در سال ۲۰۲۰، یک مدل بهینه‌سازی تصادفی برای تعیین موقعیت درمانگاه‌های سیار به منظور تعیین نحوه‌ی ورود به سیستم سلامت ارائه شد.^{۲۲} در واقع این مراکز به عنوان نقطه‌ی ورود بیماران به سیستم در نظر گرفته می‌شود و چنانچه بیماران به خدمات تخصصی‌تری نیاز داشته باشند، آن‌ها را به سطوح بالاتر تخصیص می‌دهد. در سال ۲۰۲۲، محققان چارچوبی برای برنامه‌ریزی تسهیلات سلامت مادران در هندوستان از نقطه نظر دسترسی به تسهیلات و در دسترس بودن آن‌ها توسعه دادند.^{۲۵} بدین منظور یک مدل برنامه‌ریزی تک‌هدفه با هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها پیشنهاد شد که به دنبال تعیین مکان و ظرفیت تسهیلات و همچنین نحوه‌ی ارجاعات بیماران بین تسهیلات است.

پس از بررسی پژوهش‌های مرتبط، این پژوهش‌ها بر اساس مشخصه‌های کلیدی تقسیم‌بندی شدند، که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. بر این اساس، در بیشتر پژوهش‌ها، معیاری برای انتخاب مکان‌ها در نظر گرفته نشده است. از سوی دیگر، در نظر گرفتن تعامل میان تسهیلات سبب افزایش پیچیدگی مسئله می‌شود. یک راه کاهش این پیچیدگی، کاهش ابعاد مسئله با کم کردن تعداد تسهیلات سطوح بالاتر با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است. در این پژوهش برای تعیین مکان استقرار تسهیلات، ابتدا برای هر یک از نقاط داوطلب امتیاز کارایی محاسبه کرده و سپس این هدف را بیشینه می‌کنیم. همچنین، کمینه کردن زمان جا به جایی در سیستم به منظور خدمت‌دهی بهتر، هدف دیگر این مطالعه است. از این رو، این پژوهش به



شکل ۱. سیستم سلامت مورد مطالعه.

جدول ۱. مرور پژوهش‌های مرتبط.

ردیف	نویسندگان	تعداد سطوح	تعداد اهداف	روش‌ها	نوع مدل	روش DEA	اهداف
۱	پهلوانی و مهرآباد (۲۰۱۱)	ML	MO	MH, H	BP	-	کمینه‌سازی متوسط زمان سفر، کمینه‌سازی هزینه‌ی کل، بیشینه‌سازی تقاضای تحت پوشش
۲	فراهانی و همکاران (۲۰۱۴)	ML	SO	EX, MH	MILP	-	بیشینه‌سازی پوشش تقاضا
۳	مستره و همکاران (۲۰۱۵)	ML	MO	MH	MILP	-	کمینه‌سازی ارزش انتظاری زمان سفر و هزینه‌ها
۴	حاجی‌پور و همکاران (۲۰۱۶)	SL	MO	MH	MINLP	-	کمینه‌سازی هزینه‌ی ایجاد تسهیلات، کمینه‌سازی زمان بیکاری تسهیلات
۵	زرین‌پور و همکاران (۲۰۱۷)	ML	SO	EX	MILP	-	کمینه‌سازی کل هزینه‌های شبکه
۶	رستگاری و همکاران (۲۰۱۸)	ML	SO	EX	MILP	-	کمینه‌سازی کل هزینه‌های شبکه
۷	رادمن و عشقی (۲۰۱۶)	SL	SO	H	MINLP	-	کمینه‌سازی فاصله سفر و مجموع وزنی انحرافات ناخواسته از نرخ ورود
۸	موسی‌زاده و همکاران (۲۰۱۸)	ML	MO	DE	MINLP	-	کمینه‌سازی هزینه‌ی ایجاد تسهیلات، کمینه‌سازی کل زمان سفر بین سطوح
۹	زرین‌پور و همکاران (۲۰۱۸)	ML	SO	DE	MILP	-	کمینه‌سازی ارزش انتظاری هزینه‌ها
۱۰	یورستانتو و همکاران (۲۰۱۹)	ML	SO	EX	MILP	-	بیشینه‌سازی جریان بیماران در سیستم
۱۱	متروپولیس و همکاران (۲۰۱۳)	SL	MO	EX	MINLP	CCR	بیشینه‌سازی کارایی، کمینه‌سازی فاصله سفر از تمام تسهیلات به نزدیک‌ترین تسهیل
۱۲	هوانگ و جئونگ (۲۰۱۹)	SL	MO	EX	MINLP	Context-dependent DEA	کمینه‌سازی هزینه‌های لجستیکی، بیشترین فاصله پوشش، کمینه‌سازی بیشینه فاصله پوشش
۱۳	ژانگ و همکاران (۲۰۱۹)	SL	SO	EX	ILP	-	کمینه‌سازی زمان سفر
۱۴	تایماز و همکاران (۲۰۱۹)	SL	SO	EX	BP	-	بیشینه‌سازی پوشش

ادامه‌ی جدول ۱.

هدف	روش DEA	نوع مدل	روش حل	تعداد اهداف	تعداد سطح	نویسندگان	ردیف
کمینه‌سازی کل هزینه‌ی ایجاد شبکه	-	ILNP	EX	SO	ML	احمدی‌جاوید و رامشه (۲۰۲۰)	۱۵
کمینه‌سازی کل هزینه‌ها	-	MILP	H	MO	ML	چوکسی و همکاران (۲۰۲۲)	۱۶
کمینه‌سازی زمان جابه‌جایی بین سطوح، بیشینه‌سازی امتیاز کارایی مکان‌های انتخابی	Non- Radial RAM	MILP	EX	MO	ML	پژوهش حاضر	۱۷

تک سطحی (SL)، چند سطحی (ML)، تک هدفه (SO)، چندهدفه (MO)، دقیق (EX)، ابتکاری (H)، فراابتکاری (MH)، برنامه‌ریزی صفرویک (BP)، برنامه‌ریزی خطی (LP)، برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP)، برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط (MIP) یا برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط (MILP).

$$\sum_{j=1}^n g_{fj} \lambda_j^b + d_f^b = b_{fk} \quad \forall f \in F, \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^b = 1 \quad (7)$$

$$\lambda_j^g, \lambda_j^b, d_i^{xg}, d_i^{xb}, d_r^g, d_f^b \geq 0. \quad (8)$$

$\forall i \in I, \forall r \in R, \forall f \in F, j \in J.$

در مدل بالا λ_j^g, λ_j^b به ترتیب زامین متغیر شدت^۹ برای خروجی مطلوب و متغیر شدت برای خروجی نامطلوب هستند. d_i^{xg}, d_i^{xb} نیز متغیر مازاد^{۱۰} و کمبود^{۱۱} ورودی نام مربوط به خروجی مطلوب و نامطلوب هستند. b_{jk} و g_{rk} و x_{ik} به ترتیب از راست به چپ مقدار ورودی نام در هر DMU، مقدار خروجی مطلوب در هر DMU و مقدار خروجی نامطلوب در هر DMU هستند. ضرایب تابع هدف نیز بر اساس روابط ۹ تا ۱۱ به دست می‌آید:

$$R_i^x = \frac{1}{(|I| + |R| + |F|)(\max_{j \in J} \{x_{ij}\} - \min_{j \in J} \{x_{ij}\})} \quad (9)$$

$$R_r^g = \frac{1}{(|I| + |R| + |F|)(\max_{j \in J} \{g_{rj}\} - \min_{j \in J} \{g_{rj}\})} \quad (10)$$

$$R_f^b = \frac{1}{(|I| + |R| + |F|)(\max_{j \in J} \{b_{fj}\} - \min_{j \in J} \{b_{fj}\})} \quad (11)$$

به تک‌ورودی برای محاسبه‌ی کارایی، نسبت کارایی را به صورت نسبت خروجی‌های چندگانه به ورودی‌های چندگانه تعمیم دادند که نسبت کارایی CCR^۶ نامیده می‌شود.^[۲۷]

زمانی که مرز کارایی تعیین می‌شود، واحدهای تصمیم‌ناکارا می‌توانند عملکرد خود را بر اساس افزایش خروجی‌های فعلی یا کاهش سطح ورودی‌های فعلی بهبود دهند.^[۲۸] در مدل‌های سنتی تحلیل پوششی داده فرض بر این است که تولید خروجی‌های بیشتر از ورودی‌های کم‌تر منابع، معیار کارایی است.^[۲۹] در واقع در مدل‌های سنتی DEA، کارایی یک DMU از طریق بیشینه‌سازی (یا کمینه‌سازی) نسبت مجموع موزون خروجی‌های (یا ورودی‌های) آن به مجموع موزون ورودی‌های (یا خروجی‌های) آن بر اساس شرایطی که این نسبت کم‌تر (یا بیشتر) از ۱ برای هر DMU باشد، به دست خواهد آمد.^[۳۰] این در حالی است که چنانچه خروجی‌های نامطلوب^۷ داشته باشیم، افزایش آن‌ها به معنای بهبود کارایی نیست. بنابراین چنانچه خروجی‌های مطلوب^۸ (که باید افزایش یابند) و نامطلوب (که باید کاهش یابند) وجود داشته باشند، باید از مدل‌های با خروجی مطلوب و نامطلوب استفاده کرد.^[۳۱] سونشی و گوتو^[۳۲] مدلی را به منظور ارزیابی کارایی از منظر عملکردی و زیست‌محیطی (به صورت مطلوب و نامطلوب) ارائه کردند، که عبارت است از:

$$\begin{aligned} & \text{Maximize} \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{xg} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g \\ & + \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{xb} + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \end{aligned} \quad (1)$$

subject to :

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j^g + d_i^{xg} = x_{ik} \quad \forall i \in I, \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n g_{rj} \lambda_j^g - d_r^g = g_{rk} \quad \forall r \in R, \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^g = 1 \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j^b - d_i^{xb} = x_{ik} \quad \forall i \in I, \quad (5)$$

۳.۳. مدل ریاضی مسئله

۱.۳.۳. پارامترهای مسئله

I : مجموعه‌ی نقاط تقاضا؛

F : مجموعه‌ی نقاط داوطلب برای تسهیلات سطح اول؛

S : مجموعه‌ی نقاط داوطلب برای تسهیلات سطح دوم؛

T : مجموعه‌ی نقاط داوطلب برای تسهیلات سطح سوم؛

N : مجموعه‌ی سطوح ظرفیتی؛

t_{if} : زمان انتقال از نقطه‌ی تقاضای i به نقطه‌ی داوطلب f در سطح اول؛

t_{fs} : زمان انتقال از نقطه‌ی داوطلب f در سطح اول به نقطه‌ی داوطلب s در سطح

دوم؛

$$\sum_{n \in N} O_{sn}^t \leq 1, \quad \forall s \in S \quad (19)$$

$$\sum_{n \in N} O_{tn}^t \leq 1, \quad \forall t \in T \quad (20)$$

$$\sum_{f \in F} X_{if} = 1, \quad \forall i \in I \quad (21)$$

$$\sum_{s \in S} Y_{fs} \leq 1, \quad \forall f \in F, s \in S \quad (22)$$

$$\sum_{t \in T} W_{st} \leq 1, \quad \forall f \in F, s \in S \quad (23)$$

$$X_{if} \geq \sum_{n \in N} O_{fn}^i, \quad \forall i \in I, f \in F, (i = f) \quad (24)$$

$$Y_{fs} = \sum_{n \in N} O_{fn}^s, \quad \forall f \in F, s \in S, (f = s) \quad (25)$$

$$W_{st} = \sum_{n \in N} O_{sn}^t, \quad \forall s \in S, t \in T, (s = t) \quad (26)$$

$$\sum_{f \in F} u_{if} \geq d_i^1 \cdot p_i, \quad \forall i \in I \quad (27)$$

$$\sum_{s \in S} v_{ifs} \geq d_i^f \cdot u_{if}, \quad \forall i \in I, f \in F \quad (28)$$

$$\sum_{t \in T} h_{ifst} \geq d_i^f \cdot v_{ifs}, \quad \forall i \in I, f \in F, s \in S \quad (29)$$

$$u_{if} \leq M * X_{if}, \quad \forall i \in I, f \in F \quad (30)$$

$$\sum_i v_{ifs} \leq M * Y_{fs}, \quad \forall f \in F, s \in S \quad (31)$$

$$\sum_i \sum_f h_{ifst} \leq M * W_{st}, \quad \forall s \in S, t \in T \quad (32)$$

$$O_{fn}^i, O_{sn}^s, O_{tn}^t, X_{if}, Y_{fs}, W_{st} \in \{0, 1\} \\ \forall i \in I, f \in F, n \in N, s \in S, t \in T. \quad (33)$$

$$u_{if}, v_{ifs}, h_{ifst} \geq 0, \text{ integer} \\ \forall i \in I, f \in F, s \in S, t \in T. \quad (34)$$

تابع هدف ۱۲ به دنبال کمینه کردن زمان جابه‌جایی بیمار در سیستم است. تابع هدف ۱۳ به دنبال انتخاب مکان‌هایی است که کارایی بالاتری دارند. محدودیت‌های ۱۴ تا ۱۶ به ترتیب به بیشینه ظرفیت سطح اول، دوم و سوم برای پاسخ‌گویی به بیماران به این سطوح اشاره دارد. محدودیت بودجه‌ی در قالب محدودیت ۱۷ نمایش داده شده است. محدودیت‌های ۱۸ تا ۲۰ به این اشاره دارند که در هر سطح ظرفیتی حداکثر یک تسهیل سطح اول، سطح دوم یا سطح سوم ایجاد شود. بر اساس محدودیت ۲۱ حتماً باید هریک از نقاط تقاضا به یک تسهیل سطح ۱ اختصاص یابد. بر اساس محدودیت ۲۲ و ۲۳ بیماران تخصیص‌یافته به سطح ۱ و سطح ۲ می‌توانند به تسهیل سطح بالاتر اختصاص پیدا کنند. بر اساس محدودیت ۲۴ نیز اگر تسهیلی در سطح ۱ ایجاد شود، آنگاه نقاط تقاضا به آن تخصیص می‌یابد و بر اساس محدودیت ۲۵ نیز به ترتیب اگر تسهیلی در سطح ۱ ایجاد شد، آنگاه بیماران مربوطه به تسهیلی که در سطح ۲ ایجاد شده است، ارجاع داده شوند. محدودیت ۲۶ نیز به طور مشابه برای ارتباط بین سطح ۲ و سطح ۳ بکار برده می‌شود. محدودیت‌های ۲۷ تا ۲۹ به کم‌ترین جریان ورودی به هر سطح اشاره دارند. در مقابل محدودیت‌های ۳۰ تا ۳۲ اشاره دارند که چنانچه تخصیص صورت گرفت، آنگاه امکان ارجاع بیماران بین آن نقاط وجود دارد.

t_{st}^t : زمان انتقال از نقطه‌ی داوطلب s در سطح دوم به نقطه‌ی داوطلب t در سطح سوم؛

$\eta_t^t, \eta_s^s, \eta_f^f$: کارایی مکان‌های داوطلب در هر سطح؛

p_i : جمعیت در نقطه‌ی تقاضای i ؛

d_i^1, d_i^f, d_i^s : میانگین مراجعه به هریک از سطوح از نقطه‌ی تقاضای i ام و ارجاعی از سطح پایین‌تر؛

$C_{tn}^t, C_{sn}^s, C_{fn}^f$: ظرفیت یک تسهیل در سطح اول / دوم / سوم با سطح ظرفیت n در نقطه‌ی داوطلب $f/s/t$ ؛

$OF_{tn}, OF_{sn}, OF_{fn}$: هزینه‌ی ایجاد تسهیلی در سطح اول/دوم/سوم با سطح ظرفیت n در نقطه‌ی داوطلب $f/s/t$ ؛

M : عددی بزرگ.

• متغیرهای مسئله

O_{fn}^i : متغیر دودویی؛ اگر تسهیل در سطح اول ایجاد شود برابر ۱، در غیر این صورت صفر؛

O_{sn}^s : متغیر دودویی؛ اگر تسهیل در سطح دوم ایجاد شود برابر ۱، در غیر این صورت صفر؛

O_{tn}^t : متغیر دودویی؛ اگر تسهیل در سطح سوم ایجاد شود برابر ۱، در غیر این صورت صفر؛

X_{if} : متغیر دودویی؛ اگر نقطه‌ی تقاضای i به تسهیل f در سطح اول تخصیص یابد برابر ۱، در غیر این صورت صفر؛

Y_{fs} : متغیر دودویی؛ اگر تقاضای تسهیل f در سطح اول به تسهیل s در سطح دوم تخصیص یابد برابر ۱، در غیر این صورت صفر؛

W_{st} : متغیر دودویی؛ اگر تقاضای تسهیل s در سطح دوم به تسهیل t در سطح سوم تخصیص یابد برابر ۱، در غیر این صورت صفر؛

u_{if} : جریان بیماران از نقاط تقاضا به سطح اول؛

v_{ifs} : جریان بیماران ارجاعی از سطح اول به سطح دوم؛

h_{ifst} : جریان بیماران ارجاعی از سطح دوم به سطح سوم.

با توجه به پارامترها و متغیرهای تعریف شده، مدل پیشنهادی عبارت است از:

$$\min \left(\begin{aligned} & \sum_{i \in I} \sum_{f \in F} t_{if}^1 \cdot u_{if} + \sum_{f \in F} \sum_{s \in S} t_{fs}^s \cdot (\sum_{i \in I} v_{ifs}) \\ & + \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} t_{st}^t \cdot (\sum_{i \in I} \sum_{f \in F} h_{ifst}) \end{aligned} \right) \quad (12)$$

$$\max \sum_{f \in F} \eta_f^f O_{fn}^i + \sum_{s \in S} \eta_s^s O_{sn}^s + \sum_{t \in T} \eta_t^t O_{tn}^t \quad (13)$$

$$\sum_{i \in I} u_{if} \leq \sum_{n \in N} C_{fn}^f \cdot O_{fn}^i, \quad \forall f \in F \quad (14)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{f \in F} v_{ifs} \leq \sum_{n \in N} C_{sn}^s \cdot O_{sn}^s, \quad \forall s \in S \quad (15)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{f \in F} \sum_{s \in S} h_{ifst} \leq \sum_{n \in N} C_{tn}^t \cdot O_{tn}^t, \quad \forall t \in T \quad (16)$$

$$\sum_{f \in F} \sum_{n \in N} O_{fn}^i \cdot OF_{fn} + \sum_{s \in S} \sum_{n \in N} O_{sn}^s \cdot OF_{sn} \\ + \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} O_{tn}^t \cdot OF_{tn} \leq b \quad (17)$$

$$\sum_{n \in N} O_{fn}^i \leq 1, \quad \forall f \in F \quad (18)$$

در نهایت نیز در رابطه‌ی ۳۳ و ۳۴ محدودیت‌های غیر کارکردی مسئله ذکر شده است.

لازم به ذکر است که عمده‌ی معادلات ارائه شده در این پژوهش حاصل مطالعات پیشین^[۱۸] است؛ اگرچه معادله‌ی ۱۲، ۱۷، ۲۵ و ۲۶ حاصل کار نویسندگان پژوهش حاضر است.

۴.۳. روش حل

در مسائل چندهدفه، راه‌حل‌های پارتو به جای راه‌حل‌های بهینه یگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد. یک راه‌حل پارتو هنگامی بهینه است، که نتوان آن را در یک تابع هدف بدون از دست رفتن عملکردش در حداقل یکی دیگر از اهداف بهبود داد.^[۳۳،۳۴] بنابراین، راه‌حل‌های بهینه‌ی پارتو، سازنده‌ی نقاط بهینه سازنده‌ی نقاط پارتو مسئله هستند تا تصمیم‌گیرندگان بتوانند از بین جواب‌ها، جوابی را که در مقایسه با سایر جواب‌ها ترجیح می‌دهند، انتخاب کنند.^[۳۴] مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی چندهدفه زیر را در نظر بگیرید:

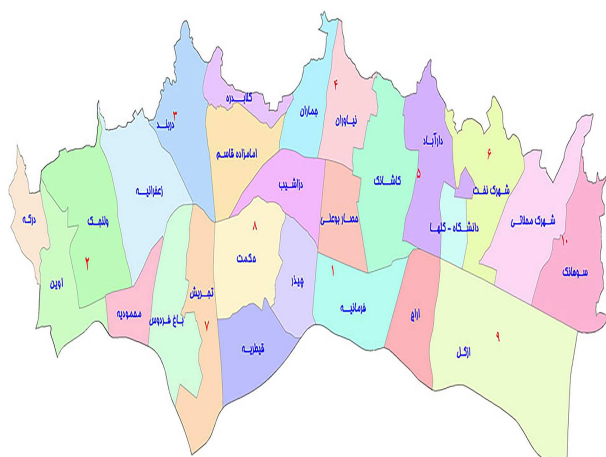
$$\begin{aligned} & \text{Min } (f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)) \\ & \text{subject to} \\ & X \in S \end{aligned} \quad (35)$$

که در آن X بردار متغیرهای تصمیم مسئله است. $f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)$ تابع‌های هدف مسئله هستند و S ناحیه‌ی شدنی مسئله است. در مدل اولیه‌ی محدودیت اسیلون، پاسخ‌های به دست آمده چندان کارآمد نیستند و یک راه‌حل ضعیف به حساب می‌آید. محققان در سال ۲۰۰۹ به منظور غلبه بر این مشکل، با استفاده از متغیرهای کمبود و مازاد در تابع هدف، محدودیت‌ها را تغییر دادند^[۳۵] و بر این اساس مدل ۳۶ را ارائه کردند:

$$\begin{aligned} & \text{Min } (f_1(x) - \text{eps} \times \\ & (S_1/r_1 + S_2/r_2 + \dots + S_p/r_p)) \\ & s.t : \\ & f_1(x) + S_1 = e_1 \\ & f_2(x) + S_2 = e_2 \\ & \vdots \\ & f_p(x) + S_p = e_p \\ & x \in S \text{ and } S_i \in \mathbb{R}^+ \end{aligned} \quad (36)$$

در این مدل eps عددی کوچک بین 10^{-6} تا 10^{-2} است. S_i متغیر کمبود مربوط به محدودیت i ام است و e_i تابع هدف محدود شده مربوط به تابع هدف i ام است.

در سال ۲۰۱۳ روش AUGMECON۲ که بهبود یافته‌ی روش پیشین است توسط ماورتاس و فلوریوس (۲۰۱۳) ارائه شد. در این روش تابع هدف به صورت $\text{Max} \left(f_1(x) + \text{eps} \sum_{i=1}^p 10^{-(i-1)} (S_i/r_i) \right)$ اصلاح شد. این اصلاح سبب می‌شود تا در صورت وجود هرگونه جایگزین بهینه، نوعی بهینه‌سازی اصلاحی^{۱۲} بر سایر اهداف انجام گیرد. برای نمونه، بر اساس این فرمول‌بندی، حل‌کننده ابتدا برای تابع هدف اول یک مقدار بهینه پیدا می‌کند، سپس سعی می‌کند تابع هدف دوم را



شکل ۲. نقشه‌ی منطقه ۱ تهران به تفکیک محله‌ها. (<https://tka-eng.com/region-1-municipality-phone>)

بهینه کند و همین‌طور این کار را برای سایر اهداف انجام می‌دهد. در این روش نسبت به روش پیشین توالی حل توابع مهم است. به دلیل استفاده از ضریب گذر^{۱۳} پس از دستیابی به اطلاعات مربوط به متغیرهای کمبود/مازاد توابع هدف محدود شده، این روش نسبت به روش پیشین سرعت بالاتری دارد. بنابراین، مدل پیشنهادی دوهدفه به یک مدل تک‌هدفه تبدیل خواهد شد:

$$\begin{aligned} & \text{Min } (f_1(x) - \text{eps} \times \\ & (S_1/r_1 + S_2/r_2 + \dots + S_p/r_p)) \\ & \text{Subject to :} \end{aligned} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} & f_2(x) + S_2 = e_2 \quad (12), (14) - (34) \\ & x \in S \text{ and } S_i \in \mathbb{R}^+ \end{aligned} \quad (38)$$

۴. نتایج حل و یافته‌ها

به منظور صحت‌سنجی و تأیید رویکرد ارائه شده، از مطالعه‌ی موردی انجام شده روی منطقه‌ی ۱ تهران (شامل ۱۰ ناحیه و ۲۷ محله)، استفاده شده است. هرکدام از محلات به عنوان نقطه‌ی داوطلب برای تعیین مکان تسهیلات سلامت انتخاب در نظر گرفته شده است. در شکل ۲، نقشه‌ی منطقه‌ی ۱ تهران به تفکیک نواحی و محلات آورده شده است.

۴.۱. نتایج تحلیل پوششی داده

برای انتخاب مکان‌های کارآتر هریک از محلات به عنوان یک واحد تصمیم‌گیرنده در نظر گرفته شده است که از جمعیت محله، مساحت محله و همچنین نزدیکی به گسل زلزله، به عنوان ورودی مدل تحلیل پوششی داده برای هر محله در نظر گرفته شده است. همچنین کیفیت زندگی و رفاه شهری به عنوان خروجی مطلوب و بافت شهری فرسوده نیز به عنوان خروجی نامطلوب در نظر گرفته شده است. مطابق بررسی‌های انجام شده در سال ۲۰۰۶، اگر m تعداد ورودی‌ها و n تعداد خروجی‌ها (مجموع تعداد خروجی‌های مطلوب و نامطلوب) باشد آن‌گاه تعداد واحدهای تصمیم‌گیرنده باید از $\{3, (m+n), \max\{m, n\}\}$ بیشتر باشد.^[۳۱] در این‌جا این اصل رعایت شده است چراکه تعداد واحدهای تصمیم (در این‌جا

جدول ۲. مقادیر ورودی‌ها و خروجی‌ها برای حل مدل DEA.

ردیف	نام محله (j)	ورودی‌ها			خروجی‌ها	
		جمعیت (x_{1j}) (۱۰۰۰۰ نفر)	مساحت (x_{2j}) (Km ²)	نزدیکی به گسل (x_{3j})	مطلوب	
					رفاه شهری (g_{1j})	کیفیت زندگی شهری (g_{2j})
۱	فرمانیه	۱,۱۳۹۴	۱,۳۵۵۵	۰	۰,۳۵۰۰	۱,۰۰
۲	حصار بوعلی	۰,۰۹۷۷	۱,۰۹۶۲	۰	۰,۳۳۰۰	۰,۹۶
۳	اوین	۰,۳۶۳۵	۰,۸۹۴۳	۱	۰,۶۹۰۰	۰,۸۴
۴	درکه	۰,۵۸۲۰	۱,۰۷۸۷	۱	۰,۶۵۰۰	۰,۷۸
۵	ولنجک	۲,۲۷۲۴	۲,۴۳۹۷	۰	۰,۷۰۰۰	۰,۹۰
۶	زعفرانیه	۲,۴۴۲۵	۲,۳۸۵۱	۱	۰,۷۲۷۳	۱,۰۰
۷	محمودیه	۰,۶۲۱۷	۰,۸۶۵۹	۰	۰,۶۴۰۰	۰,۷۰
۸	کوهسار	۰,۵۳۹۶	۰,۴۲۸۹	۰	۰,۶۵۰۰	۰,۷۲
۹	امامزاده قاسم	۱,۸۴۶۶	۱,۵۷۲۸	۱	۰,۴۰۵۰	۰,۷۵
۱۰	گلابدره	۱,۱۱۹۵	۰,۶۸۸۵	۱	۰,۳۹۸۰	۰,۷۲
۱۱	دربند	۰,۱۰۰۰	۱,۹۵۷۸	۱	۰,۴۲۴۳	۰,۹۰
۱۲	نیاوران	۰,۹۵۹۱	۱,۷۰۰۰	۰	۰,۶۶۵۱	۱,۰۰
۱۳	جماران	۰,۶۴۶۶	۰,۹۸۲۶	۰	۰,۶۵۰۰	۰,۹۵
۱۴	دزاشیب	۱,۰۹۲۷	۱,۰۱۰۰	۱	۰,۶۳۰۰	۰,۸۷
۱۵	دارآباد	۱,۰۳۹۸	۲,۰۷۷۵	۱	۰,۵۱۰۰	۰,۶۷
۱۶	کاشانک	۱,۳۹۴۱	۲,۴۸۲۶	۱	۰,۵۳۷۷	۰,۷۲
۱۷	شهرک نفت	۱,۹۶۲۷	۲,۴۴۱۹	۱	۰,۴۷۴۴	۰,۷۷
۱۸	شهرک گل‌ها	۰,۲۶۰۷	۰,۵۵۵۶	۰	۰,۴۶۵۰	۰,۷۵
۱۹	باغ فردوس	۱,۷۳۲۴	۱,۹۳۳۰	۰	۰,۰۷۹۵	۰,۹۰
۲۰	تجریش	۲,۳۱۲۵	۱,۸۷۰۶	۱	۰,۸۲۰۰	۰,۹۷
۲۱	قیطریه	۲,۰۵۶۱	۱,۵۲۷۱	۱	۰,۸۲۸۱	۱,۰۰
۲۲	حکمت	۳,۶۰۳۷	۲,۰۵۲۰	۰	۰,۶۰۹۷	۰,۹۰
۲۳	چیندر	۱,۲۲۲۷	۱,۸۷۰۶	۱	۰,۵۶۰۰	۰,۷۰
۲۴	ازگل	۲,۰۱۱۶	۵,۳۹۷۷	۰	۰,۳۱۰۰	۰,۶۷
۲۵	اراج	۱,۱۶۶۷	۱,۳۹۸۰	۰	۰,۳۱۸۶	۰,۷۰
۲۶	محلانی	۲,۶۳۰۷	۱,۹۰۹۵	۰	۰,۶۳۰۴	۰,۹۰
۲۷	سوهانک	۲,۲۰۰۶	۲,۷۲۸۶	۰	۰,۸۳۰۰	۰,۸۳

دست آورده‌اند. همچنین میانگین امتیاز کارایی این نقاط برابر با $۰,۳۰۴۴$ و انحراف معیار آن‌ها برابر با $۰,۱۳۷۴$ است.

۲۷ عدد) از $۱۸ = \max\{(۳/۳), ۳.(۳+۳)\}$ بیشتر است. در جدول ۲ به داده‌ی مربوط به هر واحد تصمیم در هریک از خروجی‌ها و ورودی‌ها اشاره شده است.

حال برای یافتن امتیاز کارایی هر کدام از DMUها، از اطلاعات ارائه شده در جدول ۲ برای حل مدل ۱ استفاده می‌کنیم که نتایج حاصل از آن به صورت شکل ۳ مشاهده می‌شود. بر اساس شکل ۳، محله‌ی تجریش با امتیاز $۰,۶۷۷$ کم‌ترین و محله‌ی گلابدره با امتیاز $۰,۵۹۲۹$ بیشترین امتیاز کارایی را بین نقاط داوطلب به

۲.۴. نتایج حل مدل

همان‌طور که در قسمت ۱.۳. اشاره شد، منظور از تسهیلات سطح ۱ مراکز ارائه‌ی پایه‌ی‌ترین خدمات سلامت (خانه‌های بهداشت)، تسهیلات سطح ۲ مراکز است

جدول ۳. ابعاد، تعداد متغیرها و محدودیت‌های مدل پیشنهادی.

ابعاد مدل	تعداد متغیرها	تعداد محدودیت‌ها
	$ N (F + S + T)$	
	$+ S (F + T)$	
	$+ T F (2 + S + S T) =$	$۵۱۳ = ۸ F + ۷ S + ۷ T + ۶ I + ۱$
	۱۰۰۵۱۸	
		$۲۶۲۴۴۰ = T F S T N $

جدول ۴. تسهیلات موجود در منطقه ۱ تهران.

سطح اول									
گلابدره	دزاشیب	نیاوران	چیتزر	قطریه	ولنجک	چمران	زعفرانیه	دارآباد	تجریش
ازگل	حکمت	شهید محلاتی	شهرک گلها						
سطح دوم									
نیاوران	فرمانیه	ولنجک	اراج	جماران	زعفرانیه	تجریش			
سطح سوم									
دارآباد	جماران	نیاوران	کاشانک						

جدول ۵. مقایسه‌ی شبکه‌ی موجود و شبکه‌ی پیشنهادی بر اساس اهداف مدل پیشنهادی.

مشخصه	شبکه‌ی تسهیلاتی موجود	شبکه‌ی تسهیلاتی پیشنهادی	تغییر %	وضعیت
تاریخ زمان جابه‌جایی	۲۴۶۸,۳۶۹	۲۰۶۷,۵۹۶	+۱۶,۲۴	✓
تابع کارایی	۷,۴۶۱	۱۱,۸۹۵	+۵۹,۴۳	✓

بیش از ۴/۰ داشته‌اند، به عنوان مکان بالقوه‌ی استقرار تسهیلات سطح سوم در نظر گرفته‌ایم. مقادیر سایر پارامترهای مدل در قسمت ۲.۲.۴ ارائه خواهد شد. لازم به ذکر است ابعاد مسئله، تعداد متغیرها و محدودیت‌ها در جدول ۳ خلاصه شده است.

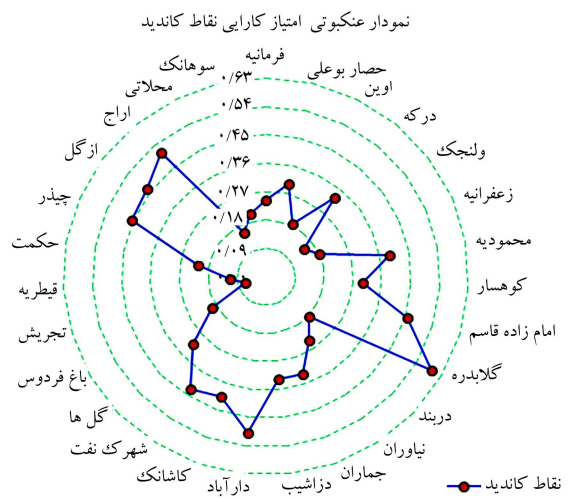
۱.۲.۴. اعتبارسنجی مدل

به منظور اعتبارسنجی نتایج، شبکه‌ی به دست آمده را با شبکه‌ی موجود در منطقه ۱ مقایسه می‌کنیم. اطلاعات مربوط به تسهیلات موجود در این منطقه در جدول ۴ خلاصه شده است. سپس مدل ارائه شده با مکان‌های موجود حل شد که نتایج حل در جدول ۵ خلاصه شده است. بر این اساس، مقدار تابع هدف شبکه‌ی پیشنهادی نسبت به وضعیت موجود، به میزان ۱۶/۲۴٪ بهبود یافته است. همچنین تابع هدف کارایی نیز بهبود ۵۹/۴۳٪ را نسبت به وضعیت موجود نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان ادعا کرد که در مجموع از نظر کارایی و زمان جابه‌جایی شبکه‌ی پیشنهادی نسبت به وضعیت موجود بهتر شده است.

۲.۲.۴. تبادل میان اهداف کارایی و زمان

به وسیله داده‌ی جدول ۶، مدل ۱۲ تا ۳۴ را به کمک روش حدی اصلاح شده حل می‌کنیم. زمان جابه‌جایی در سیستم را به عنوان تابع هدف اول در نظر گرفته و تابع کارایی را به محدودیت‌ها منتقل می‌کنیم. در شکل ۴ نمودار پارتویی اهداف نشان داده شده است.

در شکل ۴ تبادل میان تابع هدف زمان و کارایی برای این مسئله است. بر اساس این نمودار، با افزایش کارایی، کل زمان انتقال در سیستم برای دریافت خدمات افزایش می‌یابد و ناسازگاری میان توابع را نیز به درستی نشان می‌دهد. زیرا با افزایش کارایی، زمان جابه‌جایی در سیستم برای دریافت خدمات افزایش می‌یابد که با توجه به ماهیت آن (کمینه‌سازی)، مقدار هدف بدتر می‌شود.



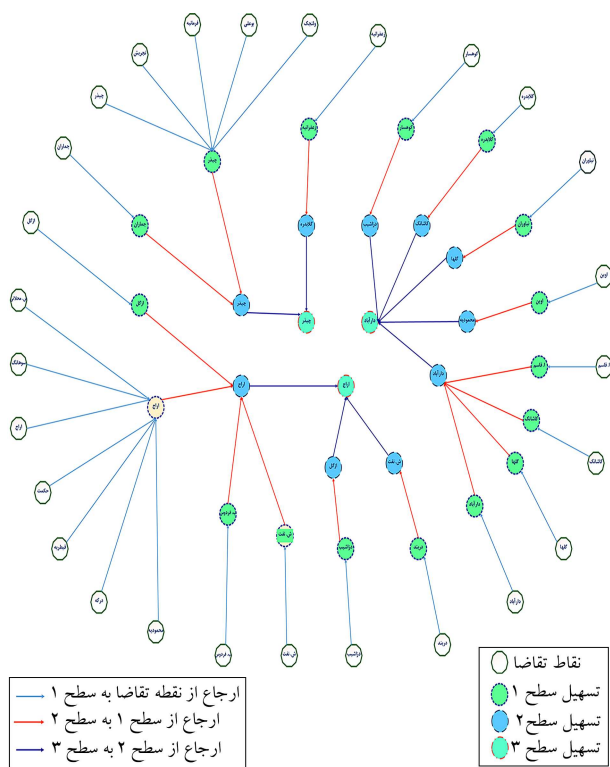
شکل ۳. نمودار عنکبوتی امتیاز کارایی مکان‌های داوطلب.

که خدمات تخصصی (کلینیک‌ها و بیمارستان‌های محلی) ارائه می‌کنند و تسهیلات سطح ۳ مراکز ارائه‌دهنده خدمات فوق تخصصی (بیمارستان‌های ناحیه‌یی و فوق تخصصی) هستند.

محله‌های گلابدره، اراج، دارآباد، ازگل، امامزاده قاسم، چیتزر، شهرک نفت، کاشانک، محمودیه، درکه، جماران، دزاشیب، گل‌ها، کوهسار، حصار بوعلی را که امتیاز کارایی‌شان از حد ۳۰/۴۴ (میانگین کارایی‌ها) بیشتر بود، به عنوان نقاط داوطلب برای استقرار تسهیلات سطح دوم در نظر گرفته‌ایم. همچنین گلابدره، اراج، دارآباد، ازگل، امامزاده قاسم، چیتزر، شهرک نفت، کاشانک را نیز که امتیاز کارایی

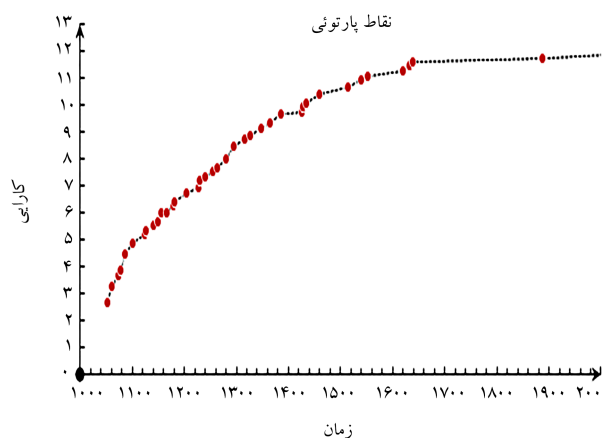
جدول ۶. مقادیر پارامترهای برای حل مدل ریاضی.

نماد	مقدار/حدود	نماد	مقدار/حدود	نماد	مقدار/حدود
I	$i \in \{1, \dots, 27\}$	OF_{f_1}	$U(250000, 400000)$	$c_{f_2}^1$	$2c_{f_1}^1 *$
F	$f \in \{1, \dots, 27\}$	OF_{f_2}	$2OF_{f_1} *$	$c_{f_3}^1$	$3c_{f_1}^1 *$
S	$s \in \left\{ 2, 4, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 15, \right. \\ \left. 16, 17, 18, 23, 24, 25 \right\}$	OF_{f_3}	$4OF_{f_1} *$	$c_{s_1}^2$	$U(45000, 60000)$
T	$t \in \left\{ 9, 10, 15, 16, \right. \\ \left. 17, 23, 24, 25 \right\}$	OF_{s_1}	$U(45000, 60000)$	$c_{s_2}^2$	$2c_{s_1}^2 *$
N	$n \in \{1, 2, 3\}$	OF_{s_2}	$2OF_{s_1} *$	$c_{s_3}^2$	$3c_{s_1}^2 *$
M	عددی بزرگ	OF_{s_3}	$4OF_{s_1} *$	$c_{t_1}^2$	$U(70000, 90000)$
B	8000000	OF_{t_1}	$U(70000, 90000)$	$c_{t_2}^2$	$2c_{t_1}^2 *$
d_i^1	$U(1, 2)$	OF_{t_2}	$2OF_{t_1} *$	$c_{t_3}^2$	$3c_{t_1}^2 *$
d_i^2	$U(1, 2)$	OF_{t_3}	$4OF_{t_1} *$		
d_i^3	$U(2, 3)$	$c_{f_1}^1$	$U(30000, 45000)$		



شکل ۵. ساختار بهینه‌ی حاصل برای منطقه ۱ تهران.

جابه‌جایی در سیستم و کارایی و همچنین تعداد تسهیلات ایجاد شده بررسی شود. چنان‌که از شکل ۶ مشخص است تغییرات بودجه و کارایی هم‌سو است. هرچه بودجه افزایش یابد تعداد تسهیلات و به دنبال آن کارایی نیز افزایش می‌یابد. کاهش بودجه نیز تأثیری مشابه به دنبال دارد؛ اما در مورد تغییرات زمان جابه‌جایی نمی‌توان اظهار نظر قطعی کرد. با تغییر بودجه از ۱۰٪ تا ۱۵٪ زمان جابه‌جایی کل به مقدار جزئی افزایش می‌یابد، اما در سایر مقادیر تغییرات زیادی می‌کند. یکی از



شکل ۴. نقاط پارتویی مسئله.

در شکل ۵، شبکه‌ی پیشنهادی برای منطقه‌ی ۱ تهران نمایش داده شده است. بر این اساس در ۱۷ محله تسهیلات از نوع اول، در ۱۰ محله تسهیلات از نوع دوم و در ۳ محله تسهیلات نوع سوم باید ایجاد شود. این شبکه نشان‌دهنده‌ی مکان بهینه‌ی ایجاد تسهیلات و همچنین نحوه‌ی تخصیص نقاط تقاضا به نقطه‌ی ورود به سیستم سلامت (مراکز درمانی پایه‌یی) است. برای نمونه اگر شخصی در دزاشیب نیاز به خدمات سطح اول داشته باشد، باید این خدمات را از مرکزی که در همان‌جا ایجاد می‌شود، دریافت کند. اما برای دریافت خدمات سطح دوم (تخصصی‌تر نسبت به سطح اول) باید به ازگل مراجعه کند و چنانچه نیازمند خدمات سطح سوم باشد، باید به اراج مراجعه کند. با توجه به این که در اراج تسهیلات هر سه سطح وجود دارد، شخصی از این محله که نیازمند دریافت این خدمات است، می‌تواند تقاضای خود را در همین محله برطرف کند. در جدول ۷، نحوه‌ی ارجاع بیماران و نیز نحوه‌ی ارجاع آنها بین سطوح سه‌گانه نشان داده شده است.

۳.۲.۴. تحلیل حساسیت روی بودجه

در این بخش، تحلیل حساسیت روی بودجه انجام گرفته تا تأثیر آن روی زمان

جدول ۷. میزان جریان بیماران و نحوه‌ی ارجاع آن‌ها در سطوح مختلف شبکه.

نقطه‌ی تقاضا	میزان و نحوه‌ی ارجاع به سطح ۱	میزان و نحوه‌ی ارجاع به سطح ۲	میزان و نحوه‌ی ارجاع به سطح ۳
فرمانیه	$u_{1,23} = 13350$	$v_{1,23,23} = 37960$	$h_{1,23,23,23} = 58850$
حصار بوعلی	$u_{2,23} = 1270$	$v_{2,23,23} = 2910$	$h_{2,23,23,23} = 3570$
اوبن	$u_{3,3} = 4910$	$v_{3,3,7} = 14010$	$h_{3,3,7,15} = 41330$
درکه	$u_{4,25} = 8730$	$v_{4,25,25} = 26180$	$h_{4,25,25,25} = 41330$
ولنجک	$u_{5,23} = 45280$	$v_{5,23,23} = 125080$	$h_{5,23,23,23} = 141430$
زعفرانیه	$u_{6,6} = 40050$	$v_{6,6,10} = 86490$	$h_{6,6,10,23} = 108120$
محمودیه	$u_{7,25} = 10380$	$v_{7,25,25} = 25270$	$h_{7,25,25,25} = 343360$
کوهسار	$u_{8,8} = 7290$	$v_{8,8,14} = 15540$	$h_{8,8,14,25} = 17880$
امامزاده قاسم	$u_{9,9} = 29340$	$v_{9,9,15} = 83070$	$h_{9,9,15,15} = 102250$
گلابدره	$u_{10,10} = 18650$	$v_{10,10,16} = 51760$	$h_{10,10,16,15} = 67480$
دریند	$u_{11,11} = 1111$	$v_{11,11,17} = 2780$	$h_{10,10,17,25} = 3220$
نیاوران	$u_{12,12} = 17960$	$v_{12,12,18} = 40680$	$h_{12,12,18,15} = 52310$
جماران	$u_{13,13} = 10310$	$v_{13,13,23} = 28060$	$h_{13,13,23,23} = 45690$
دزاشیب	$u_{14,14} = 15990$	$v_{14,14,24} = 38600$	$h_{14,14,24,25} = 43140$
دارآباد	$u_{15,15} = 13670$	$v_{15,15,25} = 27970$	$h_{15,15,25,25} = 37430$
کاشانک	$u_{16,16} = 16480$	$v_{16,16,15} = 43600$	$h_{16,16,15,15} = 6805$
شهرک نفت	$u_{17,17} = 347740$	$v_{17,17,25} = 79820$	$h_{17,17,25,25} = 132600$
شهرک گل‌ها	$u_{18,18} = 4580$	$v_{18,18,15} = 12030$	$h_{18,18,15,15} = 15440$
باغ فردوس	$u_{19,23} = 18820$	$v_{19,19,25} = 39570$	$h_{19,19,25,25} = 3570$
تجریش	$u_{20,23} = 35740$	$v_{20,23,23} = 72600$	$h_{20,23,23,23} = 130120$
قیطریه	$u_{21,25} = 22060$	$v_{21,25,25} = 47990$	$h_{21,25,25,25} = 3570$
حکمت	$u_{22,23} = 63070$	$v_{22,23,23} = 137380$	$h_{22,23,23,23} = 14207$
چیذر	$u_{23,23} = 19380$	$v_{23,23,23} = 50800$	$h_{23,23,23,23} = 70580$
ازگل	$u_{24,24} = 27330$	$v_{24,24,25} = 61310$	$h_{24,24,24,25} = 76410$
اراج	$u_{25,25} = 13190$	$v_{25,25,25} = 38690$	$h_{25,25,25,25} = 53390$
شهید محلاتی	$u_{26,25} = 4625$	$v_{26,25,25} = 107910$	$h_{26,25,25,25} = 121450$
سوهانک	$u_{27,25} = 38490$	$v_{27,25,25} = 79640$	$h_{27,25,25,25} = 95720$

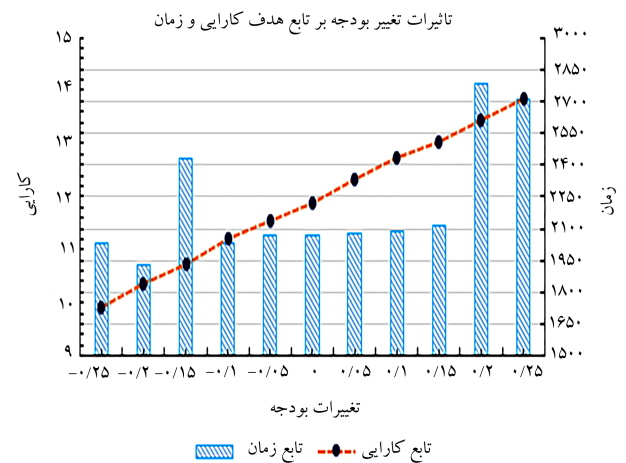
دلایل این امر تغییرات در تعداد تسهیلات بر اساس رابطه‌ی ۱۷ و به دنبال آن تغییر در جریان بیماران بین سطوح بر اساس رابطه‌های ۱۴ تا ۱۶ است و در نتیجه با افزایش جریان بیماران زمان کل نیز تغییر می‌کند. شکل ۷ نیز نشان‌دهنده‌ی تغییر در تعداد تسهیلات ایجاد شده در هر یک از سطوح، به دنبال تغییر بودجه است که در مجموع تعداد کل تسهیلات ایجاد شده با افزایش یا کاهش بودجه، افزایش یا کاهش می‌یابد.

۴.۲.۴. تحلیل حساسیت روی پارامتر ارجاع

در شکل ۸ تأثیرات تغییر پارامتر ارجاع بر توابع هدف نشان داده شده است. چنان‌که مشاهده می‌شود، با افزایش یا کاهش پارامتر ارجاع طبق رابطه‌های ۱۴ تا ۱۶، جریان بیماران بین سطوح افزایش یا کاهش خواهد یافت.

۵.۲.۴. تحلیل حساسیت روی پارامتر ارجاع

در شکل ۸ تأثیرات تغییر پارامتر ارجاع بر توابع هدف نشان داده شده است. چنان‌که مشاهده می‌شود، با افزایش (یا کاهش) پارامتر ارجاع طبق رابطه‌های ۱۴ تا ۱۶، جریان



شکل ۶. تأثیر تغییرات بودجه بر اهداف مسئله.

۳.۴. یافته‌های مدیریتی

مهم‌ترین یافته‌های مدیریتی این مطالعه عبارت‌اند از:

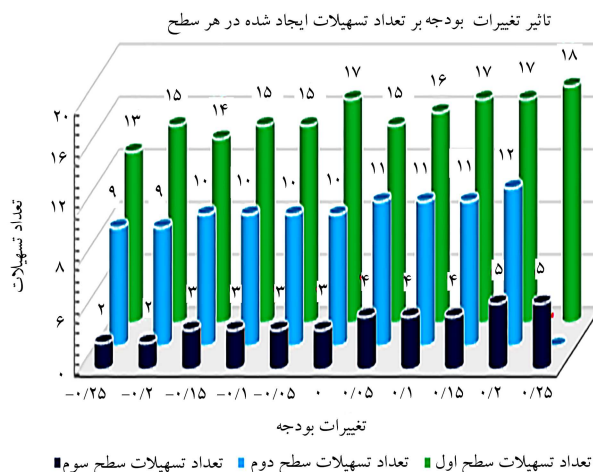
- بر اساس نتایج به دست آمده از اعتبارسنجی مدل، ساختار بهینه‌ی پیشنهادی سبب بهبود کارایی به میزان ۵۹/۴۳٪ و بهبود زمان جابه‌جایی به میزان ۱۶/۴۲٪ شده است. در واقع می‌توان ادعا کرد که در نظر گرفتن کارایی مکان‌ها به عنوان معیار تصمیم‌گیری سبب شده است تا انتخاب مکان‌ها تنها بر اساس روابط میان متغیرها مکان‌یابی و تخصیص نباشد و مکان‌هایی انتخاب شوند که در مجموع وضعیت سیستم را (از نظر اهداف) بهبود دهند.
- تمرکز بر افزایش کارایی سبب می‌شود تا زمان جابه‌جایی در سیستم افزایش یابد. در واقع با تمرکز صرف روی کارایی، مکان‌هایی انتخاب می‌شوند که کارایی بالاتری دارند و سبب می‌شود تا توجه کم‌تری به زمان جابه‌جایی در سیستم معطوف شود؛
- میزان ارجاع‌ها هیچ تأثیری بر تعداد تسهیلات ایجاد شده نخواهد داشت و تنها بر جریان بیمارارن بین سطوح اثر خواهد گذاشت. بنابراین تغییرات این پارامتر تأثیری روی تمرکز زدایی از ساختار شبکه نخواهد داشت؛
- تغییرات بودجه در مجموع سبب می‌شود تا تعداد تسهیلات ایجاد شده در شبکه کاهش پیدا نکند. از این رو، انتظار داریم که در مجموع، میزان کارایی کاهش پیدا نکند. اما الگوی تغییرات نامشخص تعداد تسهیلات ایجاد شده در سطح اول، سبب تغییرات زمان جابه‌جایی با الگوی نامشخص شده است؛
- افزایش میزان ارجاع‌ها، سبب افزایش جریان بیمارارن و در نتیجه افزایش زمان جابه‌جایی در سیستم می‌شود. با تنظیم این پارامتر تا حدود قابل‌توجهی می‌توان از زمان جابه‌جایی در سیستم برای دریافت خدمات کاست.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

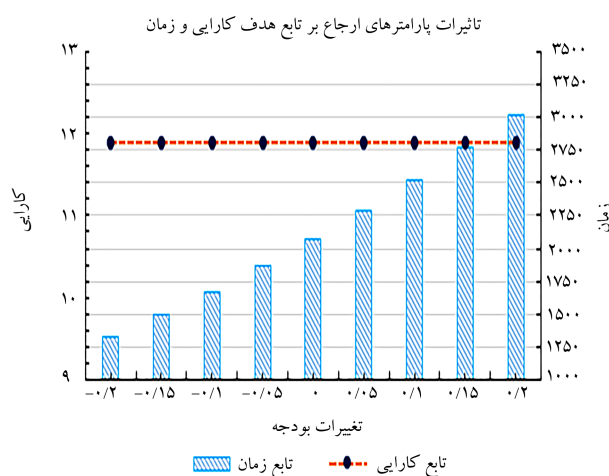
در این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی دوهدفه عدد صحیح مختلط برای مکان‌یابی تسهیلات سلسله‌مراتبی در بخش سلامت شامل مراکز درمان پایه‌یی، درمانگاه‌ها و بیمارستان‌های تخصصی ارائه شده است. هدف اول به دنبال کمینه‌سازی زمان جابه‌جایی در سیستم و هدف دوم به دنبال بیشینه‌سازی کارایی است. برای حل مدل نیز از روش حدی اصلاح شده استفاده شده است. به منظور اعتبارسنجی مدل نیز یک مطالعه‌ی موردی روی منطقه ۱ تهران انجام گرفت و روی پارامترهای بودجه و ارجاع تحلیل حساسیت صورت گرفت.

بر اساس نتایج به دست آمده، ساختار پیشنهادی نسبت به وضعیت موجود، کارایی را به میزان ۵۹/۴۳٪ و زمان جابه‌جایی را به میزان ۱۶/۴۲٪ بهبود بخشیده است. تمرکز بر کارایی سبب افزایش زمان جابه‌جایی می‌شود. از این رو باید تبادل بین این دو هدف در نظر گرفته شود. افزایش میزان ارجاع‌ها، سبب افزایش جریان بیمارارن و در نتیجه افزایش زمان جابه‌جایی در سیستم می‌شود. با تنظیم این پارامتر تا حدود قابل‌توجهی می‌توان از زمان جابه‌جایی در سیستم برای دریافت خدمات کاست.

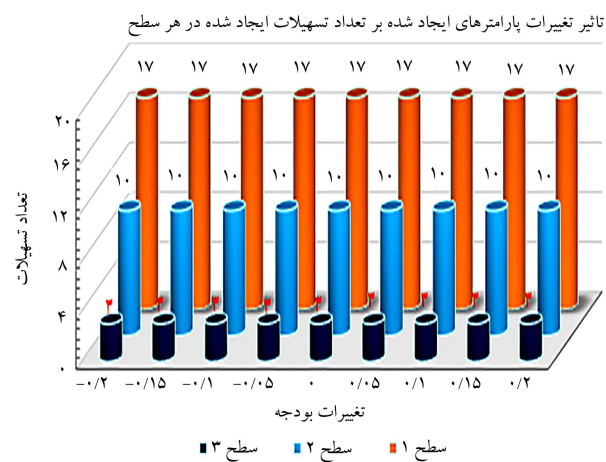
این پژوهش با تعیین محل دقیق استقرار تسهیلات در هر یک از محله‌ها سروکار نداشته است. از این رو، پیشنهاد می‌شود ابتدا از طریق مدل‌های پیوسته مکان دقیق تسهیلات در هر محله مشخص شود و این نقاط به عنوان محل داوطلب برای استقرار تسهیلات در نظر گرفته شود. مسائل مکان‌یابی سلسله‌مراتبی تنها از منظر پژوهشی



شکل ۷. تأثیر تغییرات بودجه بر تعداد تسهیلات ایجاد شده.



شکل ۸. تأثیر تغییرات پارامتر ارجاع بر زمان و کارایی.



شکل ۹. تأثیر تغییرات پارامتر ارجاع بر زمان و کارایی.

بیماران بین سطوح افزایش (یا کاهش) خواهد یافت. در نتیجه، طبق رابطه‌ی ۱۲، زمان جابه‌جایی کل در سیستم افزایش (یا کاهش) می‌یابد. از سوی دیگر تغییر این پارامتر روی کارایی تأثیرگذار نیست، چرا که تغییرات این پارامتر تأثیری بر تعداد تسهیلات ایجاد شده ندارد. این بیان در شکل ۹ نمایش داده شده است.

ظرفیت، بودجه، پارامتر ارجاع و زمان جابه‌جایی بین مکان‌ها وجود دارد، استفاده از رویکردهای عدم قطعیت مانند: نظریه‌ی فازی، برنامه‌ریزی استوار یا ترکیب این دو پیشنهاد می‌شود. برای نمونه می‌توان زمان جابه‌جایی را با توجه به وجود مسیرهای مختلف بین مکان‌ها به صورت فازی و پارامترهای دیگر را به صورت استوار در نظر گرفت.

و مدل‌سازی، بلکه از نظر ابعادی و الگوریتم حل نیز یک حوزه‌ی پژوهشی جذاب به حساب می‌آیند.

چون در ابعاد بالا، زمان حل به شدت افزایش می‌یابد، توسعه‌ی الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری برای حل مدل پیشنهادی را می‌توان در پژوهش‌های آتی مد نظر قرار داد. با توجه به عدم قطعیت ذاتی که در برخی از پارامترها مانند:

پانویس‌ها

1. Artificial Bee Colony
2. Robust Possibilistic Programming
3. Data Envelopment Unit
4. Data Oriented
5. Decision Making Units
6. Charnes-Cooper-Rhodes
7. Undesirable
8. Desirable
9. Intensity Variables
10. Surplus Variables
11. Slack Variables
12. Lexicographic Optimization
13. Bypass Coefficient

منابع (References)

1. Brandeau, M.L., Sainfort, F. and Pierskalla, W.P. "Health care delivery: Current problems and future challenges", In *Operations Research and Health Care*: Springer, pp. 1-14 (2005).
2. Farahani, R.Z. and Hekmatfar, M., *Facility Location: Concepts, Models, Algorithms And Case Studies*. Springer (2009).
3. Schweikhart, S.B. and Smith-Daniels, V.L. "Location and service mix decisions for a managed health care network", *Socio-Economic Planning Sciences*, **27**(4), pp. 289-302 (1993).
4. Dökmeci, V. "A multiobjective model for regional planning of health facilities", *Environment and Planning A*, **11** (5), pp. 517-525 (1979).
5. Şahin, G. and Süral, H. "A review of hierarchical facility location models", *Computers & Operations Research*, **34**(8), pp. 2310-2331 (2007).
6. Zarrinpoor, N., Fallahnezhad, M.S. and Pishvae, M.S. "The design of a reliable and robust hierarchical health service network using an accelerated benders decomposition algorithm", *European Journal of Operational Research*, **265**(3), pp. 1013-1032 (2018).
7. Mwabu, G.M. "Referral systems and health care seeking behavior of patients: An economic analysis", *World Development*, **17**(1), pp. 85-91 (1989).
8. Janati, A., Amini, A., Adham, D. and et al. "Referral system in Iran's health sector and world's leading countries", *Research Journal of Pharmacy and Technology*, **10**(6), pp. 1597-1602 (2017).
9. Graber-Naidich, A., Carter, M.W. and Verter, V. "Primary care network development: The regulator's perspective", *Journal of the Operational Research Society*, **66**(9), pp. 1519-1532 (2015).
10. Starfield, B., Shi, L. and Macinko, J. "Contribution of primary care to health systems and health", *The Milbank Quarterly*, **83**(3), pp. 457-502 (2005).
11. Pahlavani, A. and Mehrabad, M.S. "A fuzzy multi-objective programming for optimization of hierarchical service centre locations", *Journal of Uncertain Systems*, **5**(3), pp. 202-226 (2011).
12. Farahani, R.Z., Hassani, A., Mousavi, S.M. and et al. "A hybrid artificial bee colony for disruption in a hierarchical maximal covering location problem", *Computers & Industrial Engineering*, **75**, pp. 129-141 (2014).
13. Mestre, A.M., Oliveira, M.D. and Barbosa-Póvoa, A.P. "Location-allocation approaches for hospital network planning under uncertainty", *European Journal of Operational Research*, **240**(3), pp. 791-806 (2015).
14. Hajipour, V., Fattahi, P., Tavana, M. and et al. "Multi-objective multi-layer congested facility location-allocation problem optimization with pareto-based meta-heuristics", *Applied Mathematical Modelling*, **40**, (7-8), pp. 4948-4969 (2016).
15. Zarrinpoor, N., Fallahnezhad, M.S. and Pishvae, 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**, pp. 130-150 (2017).
16. Rastaghi, M.M., Barzinpoor, F. and Pishvae, M.S. "A fuzzy optimization approach to hierarchical healthcare facilities network design considering human resource constraint: A case study", *Journal of Industrial and Systems Engineering*, **11**(4), pp. 74-95 (2018).
17. Radman, M. and Eshghi, K. "Designing a multi-service healthcare network based on the impact of patients' flow among medical services", *OR Spectrum*, **40**(3), pp. 637-678 (2018).
18. Mousazadeh, M., Torabi, S.A., Pishvae, M.S. and et al. "Health service network design: A robust possibilistic approach", *International Transactions in Operational Research*, **25**(1), pp. 337-373 (2018).

19. Fauzan, M. and Hisjam, M. "Assessing the coverage of health care facilities in surakarta using the hierarchical maximal covering model: Case study", *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, **495**(1), p. 012082 (2019).
20. Mitropoulos, P., Mitropoulos, I. and Giannikos, I. "Combining DEA with location analysis for the effective consolidation of services in the health sector", *Computers & Operations Research*, **40**(9), pp. 2241-2250 (2013).
21. Hong, J.-D. and Jeong, K.-Y. "Combining data envelopment analysis and multi-objective model for the efficient facility location-allocation decision", *Journal of Industrial Engineering International*, **15**(2), pp. 315-331 (2019).
22. Ahmadi-Javid, A. and Ramshe, N. "A stochastic location model for designing primary healthcare networks integrated with workforce cross-training", *Operations Research For Health Care*, **24**, p. 100226 (2020).
23. Zhang, S., Song, X., Wei, Y. and et al. "Spatial equity of multilevel healthcare in the metropolis of chengdu, china: A new assessment approach", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **16**(3), p. 493 (2019).
24. Taymaz, S., Iyigun, C., Bayindir, Z. and et al. "A healthcare facility location problem for a multi-disease, multi-service environment under risk aversion", *Socio-Economic Planning Sciences*, **71**, p. 100755 (2020).
25. Chouksey, A., Agrawal, A.K. and Tanksale, A.N. "A hierarchical capacitated facility location-allocation model for planning maternal healthcare facilities in India", *Computers & Industrial Engineering*, p. 107991 (2022).
26. Charnes, A., Cooper, W.W. and Rhodes, E. "Measuring the efficiency of decision making units", *European Journal of Operational Research*, **2**(6), pp. 429-444 (1978).
27. Banker, R.D., Charnes, A. and Cooper, W.W. "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis", *Management Science*, **30**(9), pp. 1078-1092 (1984).
28. Seiford, L.M. and Zhu, J. "Modeling undesirable factors in efficiency evaluation", *European Journal of Operational Research*, **142**(1), pp. 16-20 (2002).
29. Tone, K. "Dealing with undesirable outputs in DEA: A slacks-based measure (SBM) approach", *GRIPS Research Report Series*, **2003**, (2003).
30. Toloo, M., Barat, M. and Masoumzadeh, A. "Selective measures in data envelopment analysis", *Annals of Operations Research*, **226**(1), pp. 623-642 (2015).
31. Cooper, W.W., Seiford, L.M. and Tone, K., *Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses: With DEA-Solver Software and References*, Springer Science & Business Media, (2006).
32. Sueyoshi, T. and Goto, M. "Measurement of returns to scale and damages to scale for DEA-based operational and environmental assessment: How to manage desirable (good) and undesirable (bad) outputs", *European Journal of Operational Research*, **211** (1), pp. 76-89 (2011).
33. Mavrotas, G. and Florios, K. "An improved version of the augmented ϵ - constraint method (AUGMECON2) for finding the exact pareto set in multi-objective integer programming problems", *Applied Mathematics and Computation*, **219**(18), pp. 9652-9669 (2013).
34. Mousazadeh, M., Torabi, S.A., Pishvae, M. and et al. "Accessible, stable, and equitable health service network redesign: A robust mixed possibilistic-flexible approach", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **111**, pp. 113-129 (2018).
35. Mavrotas, G. "Effective implementation of the ϵ -constraint method in multi-objective mathematical programming problems", *Applied mathematics and computation*, **213**(2), pp. 455-465 (2009).