مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (تابستان ۱۳۹۷)
دوره‌ی ۱-۳۴، شماره‌ی ۱/۱، ص. ۶۳-۷۲

Original Article

ارائه‌ی مدل مکان‌یابی ـ تخصیص دوهدفه و برنامه‌ریزی ظرفیت در طراحی شبکه‌ی تسهیلات سلامت

زینب السادات توکلی (دانشجوی کارشناسی ارشد)
فرناز برزین‌پور* (دانشیار)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران
علی بزرگی امیری (استادیار)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

در این مقاله، یک مدل مکان‌یابی ـ تخصیص دو هدفه و برنامه‌ریزی ظرفیت برای طراحی شبکه‌ی تسهیلات سلامت ارائه شده است. در طراحی شبکه‌ی سلامت مکان‌یابی تسهیلات جدید، راه‌اندازی و تعیین ظرفیت خدمات جدید در تسهیلات موجود و جدید، توسعه‌ی ظرفیت خدمات موجود، و تخصیص مراکز جمعیتی به تسهیلات درنظرگرفته شده است. توابع هدف مدل پیشنهادی کمینه‌کردن هزینه‌های طراحی شبکه‌ی تسهیلات و بیشینه‌کردن عدالت در ارائه‌ی خدمات درمانی است که عدالت، دسترسی آسان به خدمات با کیفیت تعریف شده است. همچنین امکان خدمت‌دهی هر بیمارستان به چندین مرکز جمعیتی، امکان خدمت‌گرفتن هر مرکز جمعیتی از چندین بیمارستان، و عدم امکان راه‌اندازی برخی از خدمات در بعضی از بیمارستان‌ها درنظرگرفته شده است. برای اعتبارسنجی، مدل پیشنهادی با استفاده از روش محدودیت اپسیلون توسعه‌یافته بر روی داده‌های واقعی استان اصفهان اجرا و نتایج حاصل از تحلیل حساسیت‌های مختلف گزارش شده است.

واژگان کلیدی: مکان‌یابی ـ تخصیص، تسهیلات سلامت، برنامه‌ریزی ظرفیت، محدودیت اپسیلون توسعه‌یافته.

zs_tavakoli@ind.iust.ac.ir
barzinpour@iust.ac.ir
alibozorgi@ut.ac.ir

۱. مقدمه

بخش سلامت، از جمله حوزه‌هایی است که مسائل مکان‌یابی در آن نقش مهمی را ایفا می‌کند. از آن‌جایی‌که خدمات بهداشتی و درمانی به‌طور مستقیم در تأمین سلامت فرد و جامعه مؤثر هستند، دسترسی آسان به خدمات مطلوب بسیار حائز اهمیت است. استفاده از مفاهیم مکان‌یابی و برنامه‌ریزی ظرفیت در بخش سلامت، سبب می‌شود تا بتوان به‌صورت بهینه از تمام ظرفیت‌های مراکز درمانی، برای ارتقای سطح سلامت جامعه بهره گرفت. در ادامه به مقالاتی که در سال‌های اخیر در زمینه‌ی مکان‌یابی ـ تخصیص تسهیلات سلامت به چاپ رسیده‌اند، اشاره می‌شود.

در سال ۲۰۱۰ سیام و کوته برای مکان‌یابی مراکز درمان آسیب‌های مغزی یک مدل مکان‌یابی و تخصیص ارائه دادند. در این مدل هزینه‌های مربوط به بستری و درمان بیمار، نیروی انسانی و... به‌عنوان هدف کمینه و روش تبرید شبیه‌سازی‌شده برای حل آن انتخاب شد. در ادامه بر روی سه عامل تأثیرگذار بر هدف یعنی جمعیت بیماران، درجه‌ی تمرکز مراکز درمانی، و مسافت بیماران تا مرکز درمانی تحلیل حساسیت انجام گرفت.[۱] سپس آن‌ها مدل خود را با در نظرگرفتن شدت جراحت بیماران، توسعه دادند. در این مدل توسعه‌یافته تعیین می‌شود که هر مرکز درمانی با چه سطحی از ارائه‌ی خدمات، مکان‌یابی و تأسیس شود. هم‌چنین علاوه‌بر هزینه‌های یادشده، جریمه برای پذیرش اضافه هم درنظرگرفته شده است.[۲] مقاله‌یی توسط چارفدین و همکارانش برای بازطراحی شبکه‌ی سلامت منتشر شد. در این پژوهش بیماران و مسئولان حوزه‌ی سلامت، ذی‌نفعان اصلی معرفی شده‌اند و مدل برای دست‌یابی به منافع این دو گروه، به بررسی دو موضوع می‌پردازد: ۱. بازطراحی شبکه‌ی خدمات و کمینه‌کردن هزینه‌ی راه‌اندازی مراکز جدید. ۲. تخصیص بیماران به تسهیلات و کمینه‌کردن هزینه‌های رفت‌وآمد آن‌ها. برای دست‌یابی به جواب، آن‌ها روش فرااِبتکاری کلونی مورچگان را انتخاب کردند.[۳] در سال ۲۰۱۰ کیم و کیم برای مکان‌یابی تسهیلات سلامت بلند مدت در کشور کره یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه کردند. در این مدل کمینه‌سازی بیشینه‌ی تعداد تسهیلات به‌عنوان هدف معرفی و برای حل آن از روش شاخه‌وکران بهره گرفته شد.[۴] پس از آن در سال ۲۰۱۳ ماریک و همکارانش برای حل این مدل یک الگوریتم فرااِبتکاری ترکیبی پیشنهاد کردند. این الگوریتم، ترکیبی از رویکرد تکامل و روش جست‌وجوی

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۴/۱۰/۲۳، اصلاحیه ۱۳۹۵/۴/۱۵، پذیرش ۱۳۹۵/۵/۲۰.
DOI:10.24200/J65.2018.5548

همسایگی متغیر اصلاح شده است.[۵] کیم و کیم با استفاده از مدل پیشین، مدل جدیدی را ارائه دادند. در این مدل بیماران به دوگروه کم‌درآمد و پردرآمد و بیمارستان‌ها به دو نوع دولتی و خصوصی تقسیم شده‌اند. هدف مکان‌یابی تسهیلات دولتی و تخصیص بیماران کم‌درآمد به تسهیلات موجود و جدید است به گونه‌یی که تعداد بیماران کم‌درآمد و پردرآمد تخصیص‌یافته به تسهیلات دولتی بیشینه شود. آن‌ها مدل خود را با استفاده از یک الگوریتم ابتکاری بر اساس روش آزادسازی لاگرانژ و روش‌های بهینه‌سازی تابع گرادیان، حل کردند.[۶] ماهار و همکارانش در مقاله‌یی به برنامه‌ریزی ظرفیت و تجهیز بیمارستان‌های موجود پرداختند. در این تحقیق منظور از تجهیزکردن، راه‌اندازی بخش‌های تخصصی نظیر اِم آر آی، مراقبت‌های ویژه‌ی نوزادان، پیوند اعضا، و... است. آن‌ها یک مدل ریاضی غیرخطی عدد صحیح مختلط ارائه دادند که بررسی می‌کند در یک شبکه‌ی بیمارستانی، کدام‌یک از بیمارستان‌ها برای ارائه‌ی یک بخش تخصصی انتخاب شود و این بخش با چه ظرفیتی راه‌اندازی شود.[۷] شریف و همکارانش در سال ۲۰۱۲، برای تخصیص مراکز درمانی مالزی مدل مکان‌یابی بیشترین پوشش با محدودیت ظرفیت را درنظرگرفتند و آن را به وسیله‌ی الگوریتم ژنتیک اصلاح‌شده حل کردند. هم‌چنین مدل را با درنظرگرفتن مکان‌یابی مراکز درمانی جدید و ارتقای ظرفیت مراکز درمانی توسعه دادند.[۸] برکی و همکارانش برای ارزیابی معیار در دسترس بودن و عدالت بیمارستان‌های چهار ایالت از ایالات متحده امریکا، از مدل بیشینه‌ی پوشش استفاده کردند. در این مدل مسافت میان بیمارستان و محل سکونت بیمار کمینه شده است. آن‌ها برای ارزیابی معیار کارایی این بیمارستان‌ها از مدل پی ـ میانه کمک گرفتند و بیشینه‌سازی افراد تحت پوشش به‌عنوان هدف این مدل درنظرگرفته شده است.[۹] در ادامه بنیان و همکارانش برای نظامیانی که دچار مشکل تنفسی بودند از مدل‌های مکان‌یابی ـ تخصیص به دو صورت تک دوره‌یی و چند دوره‌یی استفاده کردند. در این مدل‌ها علاوه بر راه‌اندازی این خدمت درمانی به‌عنوان تصمیم اصلی، تعیین تعداد تخت مورد نیاز برای هر بیمارستان هم از متغیرهای تصمیم مدل به شمار می‌رود.[۱۰] قادری و جبل‌عاملی در سال ۲۰۱۳ یک مدل چند دوره‌یی مکان‌یابی تسهیلات و طراحی شبکه بدون محدودیت ظرفیت و با ملاحظات محدودیت بودجه ارائه کردند. از آن‌جایی‌که مدل پیشنهادی آن‌ها جزء مسائل Np-hard به شمار می‌رود برای حل آن از دو الگوریتم ابتکاری بهره جستند.[۱۱] متروپولوس و همکارانش در پژوهش خود در سال ۲۰۱۳، مکان‌یابی و تخصیص مراکز سلامت را بر پایه‌ی کارایی این مراکز انجام دادند و برای اندازگیری آن، از روش تحلیل پوششی داده‌ها استفاده کردند.[۱۲]

در سال ۲۰۱۴ برای طراحی یک شبکه‌ی سلامت با قابلیت اطمینان بالا، محمدی و همکاران پژوهشی را انجام دادند که در آن یک مدل چندهدفه، تحت شرایط عدم قطعیت مطرح شد. در این مدل دو پارامتر تعداد بیماران و معیار پوشش خدمت ــ یعنی بیشترین فاصله میان مرکز درمانی و محل سکونت بیمار ــ غیر قطعی درنظرگرفته شده است. دو تابع هدف معرفی‌شده از جنس کمینه‌سازی هزینه‌ی درمان و حمل‌ونقل بیماران و کمینه‌سازی بیشینه‌ی زمان حمل‌ونقل بیماران هستند. همچنین در این پژوهش، ترکیبی از روش برنامه‌ریزی تصادفی، برنامه‌ریزی فازی، نظریه‌ی بازی‌ها و نظریه‌ی صف به‌عنوان روش حل مدل پیشنهادی به کار گرفته شده‌است.[۱۳] مقاله مستر و همکارانش هم در سال ۲۰۱۵، از جمله پژوهش‌هایی است که در این حوزه در شرایط عدم قطعیت به چاپ رسیده است. در این مقاله بیمارستان‌ها در دو نوع مرکزی و منطقه‌یی به‌صورت سلسله مراتبی در نظر گرفته شده‌اند که میان آن‌ها جریان بیماران دو طرفه ــ از بالا به پایین و برعکس ــ است. در ادامه، حل این مدل چند دوره‌یی و چند هدفه، به‌صورت دقیق انجام گرفته است.[۱۴]

با بررسی مقاله‌های پیشین، می‌توان بیان کرد که تحقیقی یافت نشده است که به مسئله‌ی مکان‌یابی ـ تخصیص تسهیلات سلامت با درنظرگرفتن بحث برنامه‌ریزی ظرفیت خدمات موجود و جدید پرداخته باشد. علاوه‌بر این، در مدل‌سازی ریاضی مسائل مکان‌یابی ـ تخصیص سلامت، بحث عدالت در دسترسی به خدمات با توجه به معیار کیفیت خدمات مورد توجه قرار نگرفته است.

در این مقاله، یک مدل جدید دوهدفه برای طراحی شبکه‌ی تسهیلات سلامت ارائه شده است. طراحی شبکه شامل مکان‌یابی تسهیلات سلامت جدید، راه‌اندازی و تعیین ظرفیت خدمات جدید در تسهیلات موجود و جدید، توسعه‌ی ظرفیت خدمات موجود و تخصیص مراکز جمعیتی به همه‌ی تسهیلات سلامت است. توابع هدف مدل پیشنهادی شامل دو هدف: ۱. کمینه‌کردن هزینه‌های طراحی شبکه‌ی تسهیلات، ۲. بیشینه‌کردن عدالت در ارائه‌ی خدمات درمانی است. عدالت در این مسئله به‌صورت دسترسی آسان آحاد جامعه به خدمات درمانی مطلوب و باکیفیت تعریف شده است. امکان خدمت‌دهی هر بیمارستان به چندین مرکز جمعیتی و امکان خدمت‌گرفتن هر مرکز جمعیتی از چندین بیمارستان درنظرگرفته شده است. همچنین هر یک از بیمارستان‌ها خدمات درمانی متنوعی ارائه می‌دهند که نوع، ظرفیت، و کیفیت ارائه‌ی آن‌ها با یکدیگر متفاوت است. حتی ممکن است در بعضی از بیمارستان‌ها امکان راه‌اندازی برخی خدمات درمانی وجود نداشته باشد.

ساختار مقاله به‌صورت زیر تنظیم شده است: در بخش دوم مسئله‌ی پیشنهادی در این تحقیق بیان شده است. مدل‌سازی ریاضی مسئله در بخش سوم و روش حل در بخش چهارم معرفی شده است. مطالعه‌ی موردی و نتایج حل مدل به‌ترتیب در بخش‌های پنجم و ششم ارائه شده است. در بخش هفتم نتایج تحلیل حساسیت و در بخش هشتم نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی بیان شده است.

۲. تشریح مسئله

مسئله‌ی مدنظر یک شبکه‌ی تسهیلات سلامت چندخدمتی شامل بیمارستان‌های موجود، مکان‌های پیشنهادی برای احداث بیمارستان‌های جدید، و مراکز جمعیتی برای دریافت خدمات است. در این مسئله برای طراحی این شبکه موارد زیر درنظرگرفته شده است:

۱. برنامه‌ریزی ظرفیت/راه‌اندازی خدمات درمانی: در برخی موارد لازم است تا یک بیمارستان بسته به تقاضایی که برای آن وجود دارد، ظرفیت خود را برای ارائه‌ی یک نوع خدمت درمانی تغییر دهد یا اگر فاقد خدمت مورد نظر است، آن را راه‌اندازی کند.

۲. مکان‌یابی تسهیلات جدید: در برخی موارد، مدل برای پوشش تقاضای مراکز جمعیتی، به یافتن مکان‌هایی برای احداث بیمارستان‌های جدید و با کیفیت می‌پردازد.

۳. تخصیص: پس از طراحی شبکه، بنابر تقاضای هر مرکز جمعیتی برای هر خدمت درمانی، تخصیص افراد به بیمارستان‌ها انجام می‌شود.

با توجه به شبکه‌ی معرفی‌شده، عمده‌ی مفروضات مسئله عبارت‌اند از:

۱. تعداد و مکان بیمارستان‌های موجود و تعداد و نوع خدمات درمانی شناخته شده است.

۲. مکان بالقوه برای احداث و استقرار بیمارستان‌ها مشخص و قطعی است.

۳. مقدار تقاضای هر مرکز جمعیتی برای هر خدمت درمانی مشخص و قطعی است.

۴. تمام تقاضا و نیازهای درمانی مراکز جمعیتی باید تنها از طریق بیمارستان‌های موجود در شبکه برطرف شود.

۵. ظرفیت خدمات درمانی بیمارستان‌ها تنها به‌وسیله‌ی مراکز جمعیتی موجود در شبکه، اشغال می‌شود.

۶. ظرفیت بخش‌های مختلف بیمارستان‌ها به‌صورت محدود در نظرگرفته شده‌اند.

۷. هر یک از بیمارستان‌ها خدمات درمانی متنوعی را ارائه می‌دهند که نوع، ظرفیت، و کیفیت ارائه‌ی آن‌ها با یکدیگر متفاوت است. خدمات مورد بررسی در این مقاله در دسته‌ی خدمات غیرفوریتی قرار می‌گیرد.

۸. در بعضی از بیمارستان‌ها ممکن است امکان راه‌اندازی برخی خدمات درمانی وجود نداشته باشد.

۹. امکان خدمت‌دهی هر بیمارستان به چندین مرکز جمعیتی و امکان خدمت‌گرفتن هر مرکز جمعیتی از چندین بیمارستان درنظرگرفته شده است.

۱۰. با توجه به این‌که کیفیت خدمات ارائه‌شده و هم‌چنین دسترسی به این خدمات تأثیر بسزایی در میزان رضایت‌مندی بیماران دارد، بنابراین تابع هدف عدالت برپایه‌ی نسبتی از کیفیت ارائه‌ی خدمات بر مسافت آن‌ها تا مراکز جمعیتی درنظرگرفته شده است.

۱۱. کیفیت ارائه‌ی خدمات برپایه‌ی نظر خبرگان مورد ارزیابی واقع می‌شود.

با ارائه‌ی یک مدل ریاضی جدید دو هدفه به مکان‌یابی ـ تخصیص و برنامه‌ریزی ظرفیت در طراحی شبکه‌ی تسهیلات سلامت پرداخته شده است. هدف‌های این مدل کاهش هزینه‌های طراحی شبکه‌ی تسهیلات و بیشینه‌کردن عدالت در ارائه‌ی خدمات درمانی است.

۳. مدل‌سازی ریاضی

در این بخش مسئله‌ی تشریح‌شده در قسمت قبل به‌صورت ریاضی مدل‌سازی می‌شود.

۱.۳. مجموعه‌ها

I: مجموعه‌ی مراکز جمعیتی؛

S: مجموعه‌ی خدمات درمانی؛

H: مجموعه‌ی کل بیمارستان‌های موجود و احداث نشده؛

$E(s)$: مجموعه‌یی از بیمارستان‌ها که دارای خدمت درمانی s هستند، $E(s) \subset H$؛

$F(s)$: مجموعه‌ی بیمارستان‌های احداث‌نشده و بیمارستان‌های موجود که فاقد خدمت درمانی s هستند، $F(s) \subset H$؛

N: مجموعه‌ی مکان‌های پیشنهادی برای احداث بیمارستان جدید $N \subset F(s)$.

۲.۳. اندیس‌ها

i: مجموعه‌ی اندیس مراکز جمعیتی؛

j: مجموعه‌ی اندیس بیمارستان‌ها؛

s: مجموعه‌ی اندیس خدمات درمانی.

۳.۳. پارامترها

الف) هزینه‌یی

ff_j: هزینه‌ی ثابت برای احداث بیمارستان جدید $j \in N$؛

cf_s: هزینه‌ی راه‌اندازی به‌ازای هر واحد ظرفیت خدمت درمانی s؛

cr_s: هزینه‌ی توسعه به‌ازای هر واحد ظرفیت خدمت درمانی s.

ب) غیرهزینه‌یی

w_{si}: تقاضای مرکز جمعیتی i برای خدمت درمانی s؛

d_{ij}: فاصله‌ی میان مرکز جمعیتی i و بیمارستان $j \in H$؛

cap_{sj}: ظرفیت اولیه‌ی خدمت درمانی s در بیمارستان $j \in E(s)$؛

Q_{sj}: بیشینه‌ی ظرفیت بیمارستان $j \in H$ برای خدمت درمانی s؛

P_{sj}: برابر یک است اگر امکان راه‌اندازی خدمت درمانی s در بیمارستان $j \in H$ وجود داشته باشد در غیر این‌صورت صفر است؛

q_{sj}: کیفیت ارائه‌ی خدمت درمانی s در بیمارستان $j \in H$.

۴.۳. متغیرها

X_{sj}: برابر یک است اگر خدمت درمانی s در بیمارستان $j \in F(s)$ راه‌اندازی شود، در غیر این‌صورت صفر است؛

U_j: برابر یک است اگر بیمارستان جدید در مکان $j \in N$ احداث شود، در غیر این‌صورت صفر است؛

y_{sij}: میزان تخصیص مرکز جمعیتی i برای خدمت درمانی s به بیمارستان $j \in H$؛

EX_{sj}: میزان توسعه‌ی ظرفیت خدمت درمانی s در بیمارستان $j \in H$.

۵.۳. تابع هدف و محدودیت‌ها

$$\text{Min} \sum_{j\in N} ff_j U_j + \sum_{s\in S} cf_s \sum_{j\in F(s)} EX_{sj} + \sum_{s\in S} cr_s \sum_{j\in E(s)} EX_{sj} \quad (۱)$$

$$\text{Max} \sum_{i\in I}\sum_{j\in H}\sum_{s\in S} \frac{q_{sj}}{d_{ij}^{۱/۲}} y_{sij} \quad (۲)$$

$$\sum_{j\in H} y_{sij} = w_{si} \qquad \forall s \in S, \quad \forall i \in I \quad (۳)$$

$$\sum_{i\in I} y_{sij} \le cap_{sj} + EX_{sj} \qquad \forall s \in S, \quad \forall j \in E(s) \quad (۴)$$

$$\sum_{i\in I} y_{sij} \le EX_{sj} \qquad \forall s \in S, \quad \forall j \in F(s) \quad (۵)$$

$$cap_{sj} + EX_{sj} \le Q_{sj} \qquad \forall s \in S, \quad \forall j \in E(s) \quad (۶)$$

$$EX_{sj} \le Q_{sj} X_{sj} \qquad \forall s \in S, \quad \forall j \in F(s) \quad (۷)$$

$$X_{sj} \le p_{sj} \qquad \forall s \in S, \quad \forall j \in F(s) \quad (۸)$$

$$X_{sj} \le \sum_{i\in I} y_{sij} \qquad \forall s \in S, \quad \forall j \in F(s) \quad (۹)$$

$$\sum_{s\in S} X_{sj} \le |S|\, U_j \qquad \forall j \in N \quad (۱۰)$$

$$U_j \le \sum_{s\in S} X_{sj} \qquad \forall j \in N \quad (۱۱)$$

$$X_{sj} \in \{۰, ۱\} \qquad \forall s \in S, \quad \forall j \in F(s) \quad (۱۲)$$

$$U_j \in \{0, 1\} \qquad \forall j \in N \tag{۱۳}$$

$$y_{sij} \geq 0, \text{integer} \quad \forall s \in S, \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in H \tag{۱۴}$$

$$EX_{sj} \geq 0, \text{integer} \quad \forall s \in S, \quad \forall j \in H \tag{۱۵}$$

تابع هدف ۱ کل هزینه‌های ناشی از طراحی شبکه‌ی تسهیلات را کمینه می‌کند که عبارت‌های آن به‌ترتیب بیان‌گر هزینه‌ی احداث تسهیل جدید، هزینه‌ی راه‌اندازی خدمات جدید، و هزینه‌ی توسعه‌ی ظرفیت خدمات درمانی موجود است. تابع هدف ۲ به بیشینه‌سازی عدالت در ارائه‌ی خدمات درمانی می‌پردازد و بیان می‌کند خدمات درمانی در تسهیلاتی ارائه شوندکه علاوه براین‌که ازکیفیت بالایی برخوردارند، فاصله‌ی کم‌تری تا مراکز جمعیتی داشته باشند. محدودیت ۳ مدل را ملزم می‌کند تا همه‌ی تقاضای مراکز جمعیتی پاسخ داده شوند. محدودیت‌های ۴ و ۵ بیان می‌کنند تعداد افرادی که برای دریافت یک خدمت درمانی مشخص، به یک بیمارستان تخصیص داده می‌شوند نباید از ظرفیت آن خدمت در بیمارستان مورد نظر تجاوز کند. این دو محدودیت به‌ترتیب برای دو مجموعه‌ی $j \in E(s)$ و $j \in F(s)$ نوشته شده است. محدودیت‌های ۶ و ۷ بیان‌کننده‌ی رعایت بیشینه‌ی ظرفیت هر خدمت درمانی در هر بیمارستان است که به‌ترتیب برای دو مجموعه‌ی $j \in E(s)$ و $j \in F(s)$ نوشته شده است. محدودیت ۸ بیان می‌کند تنها در صورتی خدمت درمانی s در بیمارستان $j \in F(s)$ می‌تواند راه‌اندازی شود که امکان آن وجود داشته باشد. محدودیت ۹ بیان می‌کند خدمت درمانی جدید s تنها در حالتی راه‌اندازی می‌شود، که برای آن تقاضا وجود داشته باشد. محدودیت ۱۰ نشان‌دهنده‌ی این است که در صورت نیاز، ابتدا باید بیمارستان جدید احداث شود و سپس خدمات درمانی به آن تعلق گیرد. محدودیت ۱۱ بیان می‌کند تنها در صورتی بیمارستان جدید احداث شود که لازم باشد حداقل یک نوع خدمت درمانی در آن راه‌اندازی شود. محدودیت‌های ۱۲ تا ۱۵ نشان دهنده‌ی نوع متغیرها هستند.

۴. روش حل

روش‌های مختلفی برای حل مسائل چندهدفه وجود دارد که یکی از آن‌ها، روش محدودیت اپسیلون است. در این روش یکی از توابع هدف به‌عنوان تابع هدف اصلی درنظرگرفته می‌شود و سایر توابع هدف، به‌صورت محدودیت به مسئله اعمال می‌شوند.

توسعه‌های گوناگونی برای روش محدودیت اپسیلون برای کاراترشدن آن ارائه شده است که از جمله می‌توان به روش محدویت اپسیلون توسعه‌یافته اشاره کرد. مراحل روش محدودیت اپسیلون توسعه یافته عبارت‌اند از:[۱۵]

۱. یکی از توابع هدف به‌عنوان تابع هدف اصلی انتخاب می‌شود.

۲. هر بار با درنظرگرفتن یکی از توابع هدف، مسئله حل می‌شود و بهترین مقدار آن به دست می‌آید.

۳. با استفاده از روش لکسیکوگرافی، بدترین مقدار هر تابع هدف حساب می‌شود، بدین‌صورت که بهینه‌سازی توابع هدف فرعی با درنظرگرفتن محدودیتی که تابع هدف اصلی در بهترین مقدار خود باقی بماند، انجام و بدترین مقدار هر تابع هدف تعیین می‌شود و بازه‌ی بهترین و بدترین هر تابع هدف فرعی مشخص می‌شود.

$$[f_i^{\max}, f_i^{\min}] \tag{۱۶}$$

$$r_i = f_i^{\max} - f_i^{\min} \tag{۱۷}$$

۴. بازه‌ی بین دو مقدار بهینه‌ی توابع فرعی، به تعداد از قبل مشخص‌شده‌یی (q_i) تقسیم شده است و بر اساس رابطه‌ی ۱۸ مقادیر مختلف برای پارامتر اپسیلون به دست می‌آید.

$$\varepsilon_i^k = f_i^{\max} - \frac{r_i}{q_i} * k \qquad k = 0, 1, ..., q_i \tag{۱۸}$$

۵. هر بار با درنظرگرفتن هر یک از مقادیر پارامتر اپسیلون، مسئله با تابع هدف اصلی حل می‌شود. بدین‌صورت‌که محدودیت‌های مربوط به توابع هدف فرعی با استفاده از متغیرهای کمبود یا اضافی به‌صورت محدودیت‌های مساوی تبدیل می‌شود و با درنظرگرفتن ضریب دلتا بین 10^{-3} تا 10^{-6} برای این متغیرهای مازاد یا کمبود، مسئله حل و جواب‌های کارا تولید می‌شود. رابطه‌ی ۱۹ روش محدودیت اپسیلون توسعه‌یافته را نشان می‌دهد.

$$\min \{f_1(x) + \delta * (s_2 + s_2 + ... + s_p)\}$$
$$f_2(x) = \varepsilon_2 + s_2$$
$$f_3(x) = \varepsilon_3 + s_3$$
$$\vdots$$
$$f_p(x) = \varepsilon_p + s_p$$
$$x \in X, \; s_i \in R^+ \tag{۱۹}$$

۶. در نهایت جواب‌های پارتویی یافته‌شده گزارش می‌شود.

۵. مطالعه‌ی موردی

در این بخش، برای نشان‌دادن کاربردپذیری و اعتبارسنجی مدل و روش حل پیشنهادی، مطالعه‌ی موردی از نواحی غربی و جنوب غربی استان اصفهان درنظرگرفته شده و نتایج حل و تحلیل حساسیت ارائه شده است.

استان اصفهان با وسعت ۱۰۷۰۲۹ کیلومترمربع و جمعیت ۴۸۷۹۳۱۲ نفر در مرکز ایران قرار گرفته است. این استان دارای دو دانشگاه علوم پزشکی دولتی مستقل (اصفهان و کاشان) و ۳۱ شهرستان و ۱۱۰ شهر است. شهرستان‌های کاشان و آران و بیدگل از توابع دانشگاه علوم پزشکی کاشان هستند. بیمارستان‌های انتخابی در این مسئله تحت پوشش دانشگاه علوم پزشکی اصفهان‌اند. جمعیت تحت پوشش دانشگاه علوم پزشکی اصفهان در ۲۱ شهرستان (و ۳۳ مرکز بهداشت شهرستان) ۴۱۳۳۳۸۰نفر است. از میان شهرستان‌های استان، دوازده شهرستان: اصفهان، شاهین‌شهر، گلپایگان، خوانسار، داران، فریدون‌شهر، نجف‌آباد، چادگان، تیران و کرون، زرین‌شهر، برخوار، و مبارکه که در قسمت غربی و جنوب غربی استان واقع شده‌اند به‌عنوان مراکز جمعیتی انتخاب شده‌اند. همچنین از میان بیمارستان‌های تحت پوشش دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، ده بیمارستان انتخاب شده است که چهار بیمارستان به نام‌های الزهرا (س)، سیدالشهدا، شهیدبهشتی، و آیت الله‌کاشانی در شهر اصفهان، بیمارستان گلدیس در شاهین‌شهر، بیمارستان امام حسین (ع) در گلپایگان، بیمارستان فاطمیه (س) در خوانسار، بیمارستان شهید رجایی در داران، بیمارستان حضرت رسول (ص) در فریدون‌شهر، و بیمارستان شهیدمنتظری در نجف‌آباد قرار دارند. از میان مکان‌های مختلف، چهار مکان در شهرهای شاهین‌شهر، نجف آباد، گلپایگان، و اصفهان به‌عنوان مکان‌های پیشنهادی برای احداث بیمارستان‌های جدید درنظرگرفته شده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی شهرستان‌های انتخاب‌شده و نقاط

جدول ۱. برآورد تقاضای هر مرکز جمعیتی برای هر خدمت درمانی.

ردیف	منطقه	جمعیت	۱	۲	۳	۴	۵
			NICU	آنکولوژی	دیالیز	اطفال	گوش، حلق و بینی
۱	اصفهان	۱۰۹۲۱۶۱	۸۹۰	۱۲۶۳	۴۸۰	۲۵۱۶	۱۲۰۰
۲	شاهین شهر	۱۸۱۷۱۲	۸۰	۲۱۰	۶۱	۲۱۰	۲۶۰
۳	گلپایگان	۸۰۶۸۸	۳۶	۹۳	۵۰	۱۵۰	۹۰
۴	خوانسار	۳۲۵۵۳	۱۴	۳۸	۹	۹۸	۳۱
۵	داران	۸۴۲۰۸	۳۷	۹۷	۲۸	۱۲۰	۵۳
۶	فریدون شهر	۳۹۹۳۸	۱۸	۴۶	۹	۴۶	۵۴
۷	نجف آباد	۳۰۲۹۷۲	۱۳۳	۳۵۰	۸۵	۳۵۱	۲۴۰
۸	چادگان	۳۵۴۱۶	۱۶	۴۱	۹	۱۰۲	۲۵
۹	تیران و کرون	۶۸۴۲۵	۳۰	۷۹	۰	۲۳۰	۶۰
۱۰	زرین شهر	۲۴۱۶۰۷	۱۰۶	۲۷۹	۰	۴۰۶	۱۴۰
۱۱	برخوار	۱۰۶۶۵۰	۴۷	۱۲۳	۰	۲۴۳	۱۷۵
۱۲	مبارکه	۱۳۲۵۶۹	۵۸	۱۵۳	۰	۳۵۴	۲۰۲

جدول ۲. برآورد بیشینه‌ی ظرفیت هر بیمارستان برای هر خدمت درمانی.

ردیف	بیمارستان	شهرستان	NICU		آنکولوژی		دیالیز		اطفال		گوش، حلق و بینی	
			تخت	افراد	تخت	افراد	تخت	افراد	تخت	افراد	تخت	افراد
۱	الزهرا (س)	اصفهان	۱۷	۸۵۰	۱۰	۵۰۰	۱۲	۱۱۵	۰	۰	۲۰	۱۳۳۲
۲	سیدالشهدا (ع) (امید)	اصفهان	۰	۰	۵۵	۲۷۵۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳	شهید بهشتی	اصفهان	۵	۲۵۰	۰	۰	۶	۵۷	۰	۰	۰	۰
۴	آیت الله کاشانی	اصفهان	۰	۰	۰	۰	۴	۴۲	۰	۰	۲۲	۱۴۶۶
۵	گلدیس	شاهین شهر	۲	۱۰۰	۱۰	۵۰۰	۷	۱۰۶	۶	۶۰۰	۳۲	۲۱۳۲
۶	امام حسین (ع)	گلپایگان	۰	۰	۰	۰	۱۳	۱۳۵	۱۲	۱۲۰۰	۰	۰
۷	فاطمیه (س)	خوانسار	۲	۱۵۰	۰	۰	۱۰	۹۶	۱۵	۱۵۰۰	۰	۰
۸	شهید رجایی	داران	۰	۰	۰	۰	۴	۳۸	۱۰	۱۰۰۰	۰	۰
۹	حضرت رسول (ص)	فریدون‌شهر	۰	۰	۰	۰	۹	۸۵	۱۰	۱۰۰۰	۰	۰
۱۰	شهید منتظری	نجف‌آباد	۰	۰	۱۰	۵۰۰	۲۰	۱۸۶	۲۲	۲۲۰۰	۸	۵۳۲
۱۱	مکان پیشنهادی۱	شاهین‌شهر	۲۰	۱۰۰۰	۲۰	۱۰۰۰	۱۰	۹۶	۲۰	۲۰۰۰	۱۰	۶۶۶
۱۲	مکان پیشنهادی۲	نجف آباد	۱۰	۵۰۰	۳۵	۱۷۵۰	۱۵	۱۴۴	۱۰	۱۰۰۰	۱۵	۱۰۰۰
۱۳	مکان پیشنهادی۳	گلپایگان	۵	۲۵۰	۲۰	۱۰۰۰	۱۰	۹۶	۱۵	۱۵۰۰	۱۵	۱۰۰۰
۱۴	مکان پیشنهادی۴	اصفهان	۱۰	۵۰۰	۴۰	۲۰۰۰	۱۰	۹۶	۲۰	۲۰۰۰	۱۰	۶۶۶

مشخص‌شده در آن، بیمارستان‌های این شهرستان‌ها را نشان می‌دهد. با نظر خبرگان این حوزه، از میان خدمات درمانی گوناگونی که بیمارستان‌ها ارائه می‌دهند، پنج خدمت درمانی با عنوان‌های بخش مراقبت ویژه‌ی نوزادان[1]، بخش آنکولوژی، بخش دیالیز، بخش اطفال، و بخش گوش، حلق و بینی انتخاب شده‌اند. جدول ۱ مقدار تقاضای هر مرکز جمعیتی را برای هر خدمت درمانی نشان می‌دهد. جدول‌های ۲ و ۳ به‌ترتیب بیشینه‌ی ظرفیت و ظرفیت اولیه را براساس تعداد افراد تحت پوشش در هر بیمارستان و برای هر خدمت درمانی در بازه‌ی زمانی یک ساله نشان می‌دهد. جدول ۴ بیانگر برآورد هزینه‌ی راه‌اندازی و هزینه‌ی توسعه‌ی هر واحد ظرفیت خدمت درمانی است و جدول ۵ هزینه‌ی احداث بیمارستان در هریک از مکان‌های پیشنهادی را نشان می‌دهد. فاصله‌ی جاده‌یی هریک از مراکز جمعیتی تا هر بیمارستان برحسب کیلومتر محاسبه شده و در جدول ۶ آورده شده است. در جدول ۷ بیمارستان‌هایی که امکان راه‌اندازی خدمت درمانی برای آن‌ها وجود دارد، با عدد یک مشخص شده است.

شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهرستان‌های استان اصفهان و بیمارستان‌های انتخاب شده.

جدول ۳. برآورد ظرفیت اولیه‌ی هر بیمارستان برای هرخدمت درمانی.

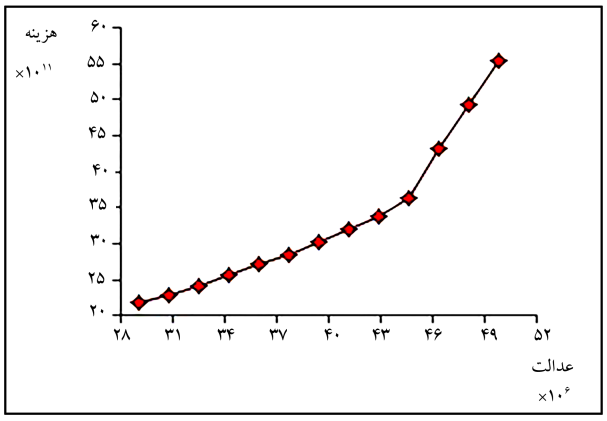
بیمارستان	شهرستان	NICU		آنکولوژی		دیالیز		اطفال		گوش، حلق و بینی	
		تخت	افراد	تخت	افراد	تخت	افراد	تخت	افراد	تخت	افراد
الزهرا (س)	اصفهان	۱۷	۸۵۰	۷	۳۵۰	۸	۷۷	۰	۰	۱۶	۱۰۶۶
سیدالشهدا (ع) (امید)	اصفهان	۰	۰	۳۵	۱۷۵۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
شهید بهشتی	اصفهان	۵	۲۵۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
آیت الله کاشانی	اصفهان	۰	۰	۰	۰	۴	۴۲	۰	۰	۲۲	۱۴۶۶
گلدیس	شاهین شهر	۲	۱۰۰	۰	۰	۱۰	۱۰۶	۰	۰	۰	۰
امام حسین (ع)	گلپایگان	۰	۰	۰	۰	۴	۳۷	۷	۷۰۰	۰	۰
فاطمیه (س)	خوانسار	۰	۰	۰	۰	۵	۴۸	۱۰	۱۰۰۰	۰	۰
شهید رجایی	داران	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۸	۸۰۰	۰	۰
حضرت رسول (ص)	فریدون شهر	۰	۰	۰	۰	۷	۷۲	۰	۰	۰	۰
شهید منتظری	نجف آباد	۰	۰	۰	۰	۱۴	۱۲۸	۱۸	۱۸۰۰	۰	۰

جدول ۴. برآورد هزینه‌ی های راه‌اندازی و توسعه‌ی هر واحد ظرفیت خدمت درمانی.

خدمت بیمارستان	NICU	آنکولوژی	دیالیز	اطفال	گوش، حلق و بینی
هزینه‌ی راه اندازی	۳۰	۱۶	۱۲٫۵	۱۱	۱۰٫۵
هزینه‌ی توسعه	۱۵	۸	۹٫۵	۵	۴

جدول ۵. برآورد هزینه‌ی احداث بیمارستان در هر یک از مکان‌های پیشنهادی.

مکان پیشنهادی	۱	۲	۳	۴
هزینه	۸۰۰	۸۰۰	۸۵۰	۱۱۰۰



شکل ۲. تعارض میان دوتابع هدف هزینه و عدالت.

۶. نتایج حل و یافته‌ها

در این بخش، مدل ریاضی ارائه‌شده با استفاده از روش محدودیت اپسیلون توسعه‌یافته بر روی داده‌های مطالعه‌ی موردی اجرا و حل می‌شود. این کار به وسیله‌ی نرم‌افزار GAMS ۲۳.۰.۲، سالور CPLEX بر روی رایانه‌یی با مشخصات Intel Core i۷ ۴۷۰۲MQ ۲٫۲۰GHz up to ۳٫۲۰GHz and ۶GB RAMDDR۳ under Win Seven انجام می‌گیرد. برای حل این مسئله در روش محدودیت اپسیلون توسعه‌یافته، تابع هدف هزینه به‌عنوان اولویت اول و تابع هدف عدالت به‌عنوان اولویت دوم درنظرگرفته می‌شود. جدول ۸ بهترین و بدترین مقدار توابع هدف را نشان می‌دهد. فاصله‌ی میان بدترین و بهترین مقدار تابع هدف دوم به سیزده قسمت تقسیم شده است. شکل ۲ تعارض میان دو تابع هدف هزینه و عدالت را نمایش می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، از آن‌جایی‌که تابع هدف هزینه از نوع کمینه‌سازی و تابع هدف عدالت از نوع بیشینه‌سازی است، شیب مثبت نمودار حاکی از وجود تعارض و فضای پارتویی قوی میان این دو تابع هدف است. در ادامه برای بررسی نتایج حل مدل، از میان مجموعه‌ی جواب‌های پارتویی، به مقایسه‌ی پاسخ‌ها در حالت دو و سیزده پرداخته شده است. نتایج حاصل از حل مسئله، در جدول‌های ۹ و ۱۰ نمایش داده شده‌اند.

همان‌طور که جدول ۹ نشان می‌دهد، از آن‌جا که در حالت ۲ تابع هدف هزینه از اهمیت بیش‌تری نسبت به تابع هدف عدالت برخوردار است، سعی شده است تا جایی‌که ممکن است برای پوشش کامل تقاضای مراکز جمعیتی، به جای راه‌اندازی خدمات جدید در بیمارستان‌هایی که فاقد آن هستند، از بیشینه‌ی ظرفیت خدمات موجود استفاده شود و در صورت نیاز ظرفیت خدمات موجود افزایش یابد؛ به‌همین‌دلیل در این حالت تنها یک بیمارستان جدید به شبکه اضافه شده است. حال آن‌که در حالت ۱۳ که تابع هدف عدالت مهم‌تر از تابع هدف هزینه درنظرگرفته می‌شود، تلاش می‌شود برای ارائه‌ی خدمات با کیفیت بالاتر و دسترسی آسان‌تر، خدمات جدید راه‌اندازی و در صورت نیاز حتی بیمارستان‌های جدید نیز احداث شوند. هرچند که این عمل شبکه را متحمل هزینه‌ی بالاتری می‌کند. بنابراین در این حالت از میان چهار مکان پیشنهادی، سه مکان برای احداث بیمارستان‌های جدید انتخاب شده است.

جدول ۶. فاصله‌ی جاده‌یی هریک از مراکز جمعیتی تا هر بیمارستان.

منطقه	بیمارستان											
	الزهرا (س)	سیدالشهدا (ع) (امید)	شهید بهشتی	آیت‌الله کاشانی	گلدیس	امام حسین (ع)	فاطمیه (س)	شهید رجایی	حضرت رسول (ص)	شهید منتظری	مکان پیشنهادی ۱	مکان پیشنهادی ۲	مکان پیشنهادی ۳	مکان پیشنهادی ۴
اصفهان	۰	۰	۰	۰	۲۹٫۷	۳۱	۱۷۴	۱۵۱	۱۸۹	۳۰٫۱	۲۸٫۷	۲۹٫۱	۲۱۰٫۵	۱
شاهین شهر	۲۹٫۷	۲۹٫۷	۲۹٫۷	۲۹٫۷	۰	۱۸۸	۱۷۵	۱۵۱	۱۹۱	۴۶٫۲	۰٫۵	۴۵٫۲	۱۸۸٫۵	۳۰٫۷
گلپایگان	۲۱	۲۱	۲۱	۲۱	۱۸۸	۰	۲۶٫۶	۶۹٫۹	۸۲٫۷	۱۵۶	۱۸۷٫۵	۱۵۵	۰٫۵	۳۱۱
خوانسار	۱۷۴	۱۷۴	۱۷۴	۱۷۴	۱۷۵	۲۶٫۶	۰	۵۴٫۴	۵۸٫۷	۱۳۲	۱۷۴	۱۳۱	۲۷٫۱	۱۷۵
داران	۱۵۱	۱۵۱	۱۵۱	۱۵۱	۱۵۱	۶۹٫۹	۴۵٫۴	۰	۳۸	۱۰۸	۱۵۰	۱۰۷	۷۰٫۴	۱۵۲
فریدون‌شهر	۱۸۹	۱۸۹	۱۸۹	۱۸۹	۱۸۹	۸۲٫۷	۵۸٫۷	۳۸٫۴	۰	۱۴۶	۱۸۸	۱۴۵	۸۳٫۲	۱۹۰
نجف‌آباد	۳۰٫۱	۳۰٫۱	۳۰٫۱	۳۰٫۱	۴۶٫۲	۱۵۶	۱۳۲	۱۰۸	۱۴۶	۰	۴۵٫۲	۰	۱۵۶٫۵	۳۱٫۱
چادگان	۱۲۸	۱۲۸	۱۲۸	۱۲۸	۱۲۸	۱۰۱	۷۸	۳۴٫۴	۷۰٫۶	۸۹٫۱	۱۲۷	۸۸٫۱	۱۰۱٫۵	۱۲۹
تیران و کرون	۶۴٫۵	۶۴٫۵	۶۴٫۵	۶۴٫۵	۶۴٫۹	۲۵٫۸	۱۱۰	۸۵٫۸	۱۲۴	۲۵٫۸	۶۳٫۹	۲۴٫۸	۲۶٫۳	۶۵٫۵
زرین‌شهر	۴۶	۴۶	۴۶	۴۶	۷۴٫۴	۱۸۲	۱۵۸	۱۳۴	۱۷۲	۳۳	۷۳	۳۲	۱۸۲٫۵	۴۷
برخوار	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۷۳	۱۶۰	۱۳۶	۱۷۴	۳۱	۱۴	۳۰	۱۷۳٫۵	۱۶
مبارکه	۵۹٫۹	۵۹٫۹	۵۹٫۹	۵۹٫۹	۸۸٫۸	۱۹۳	۱۶۹	۱۴۵	۱۸۳	۴۳٫۹	۸۷٫۸	۴۲٫۹	۱۹۳٫۵	۶۰٫۹

جدول ۷. امکان راه‌اندازی خدمات درمانی برای بیمارستان‌ها.

بیمارستان	شهرستان	خدمات				
		NICU	آنکولوژی	دیالیز	اطفال	گوش، حلق و بینی
الزهرا (س)	اصفهان	۰	۰	۰	۰	۱
سیدالشهدا (ع) (امید)	اصفهان	۰	۰	۰	۰	۰
شهید بهشتی	اصفهان	۰	۰	۱	۰	۰
آیت الله کاشانی	اصفهان	۰	۰	۰	۰	۱
گلدیس	شاهین‌شهر	۱	۱	۰	۰	۱
امام حسین (ع)	گلپایگان	۰	۰	۰	۱	۰
فاطمیه (س)	خوانسار	۱	۰	۰	۱	۰
شهید رجایی	داران	۰	۰	۱	۱	۰
حضرت رسول (ص)	فریدون‌شهر	۰	۰	۰	۱	۰
شهید منتظری	نجف‌آباد	۰	۱	۰	۰	۰
مکان پیشنهادی۱	شاهین‌شهر	۱	۱	۱	۱	۱
مکان پیشنهادی۲	نجف‌آباد	۱	۱	۱	۱	۱
مکان پیشنهادی۳	گلپایگان	۱	۱	۱	۱	۱
مکان پیشنهادی۴	اصفهان	۱	۱	۱	۱	۱

جدول ۸. جدول بده ـ بستان میان توابع هدف.

	تابع هزینه	تابع عدالت
بهترین مقدار تابع هزینه	۲۹۰۹۲۰۰۰	۲۱۸۲۲
بهترین مقدار تابع عدالت	۴۹۸۱۸۰۰۰	۵۵۳۶۰

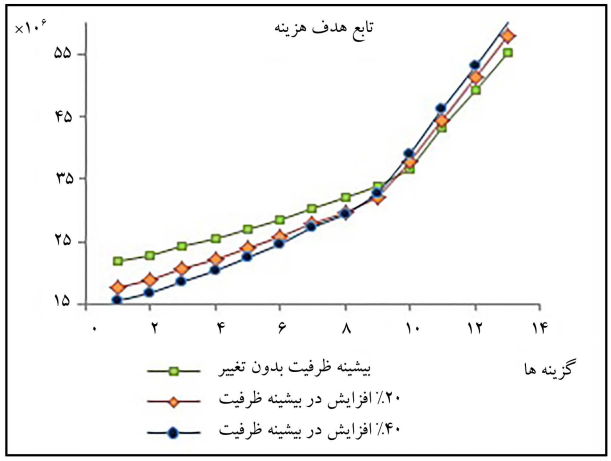
همان‌گونه که در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود، برای ارتقای عدالت در شبکه‌ی بیمارستانی، در حالت ۱۳ نسبت به حالت ۲ خدمات و بیمارستان‌های جدید بیشتری راه‌اندازی و احداث شده است؛ بنابراین هنگام تخصیص بیماران به بیمارستان‌ها، در حالت ۲ سعی می‌شود تا جایی‌که ممکن است بیماران به خدمات و بیمارستان‌های موجود تخصیص یابند تا هزینه کمینه شود. درصورتی‌که در حالت ۱۳، با تخصیص درصد بیشتری از بیماران به خدمات و بیمارستان‌های جدید، تلاش می‌شود تا کیفیت بالا و دسترسی آسان برای بیماران فراهم شود و در نتیجه عدالت در شبکه ارتقا یابد.

۷. تحلیل حساسیت

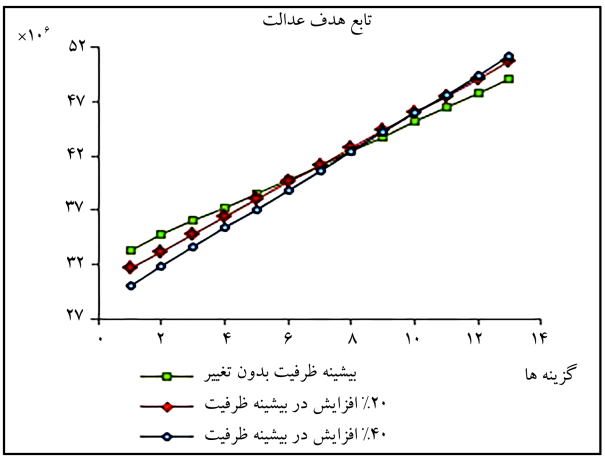
حق انتخاب دادن به مدیران و تصمیم‌گیران مزیت بزرگی است که روش محدودیت اپسیلون توسعه‌یافته آن را فراهم می‌کند. در واقع هر یک از حالاتی که روش محدودیت اپسیلون توسعه‌یافته به‌عنوان خروجی ارائه می‌دهد (در این‌جا سیزده حالت)، می‌تواند گزینه‌یی باشد تا مدیر بنابر شرایط حاکم بر سیستم، آن را به‌عنوان راهکار برای بهبود شبکه‌ی بیمارستانی انتخاب کند.

جدول ۹. مقدار متغیرهای راه‌اندازی خدمت جدید و توسعه‌ی ظرفیت.

میزان توسعه‌ی ظرفیت				راه‌اندازی خدمت جدید			
حالت ۱۳		حالت ۲		حالت ۱۳		حالت ۲	
مقدار	EX(s.j)	مقدار	EX(s.j)	مقدار	X(s.j)	مقدار	X(s.j)
۱۴	EX(۱.۷)	۸۰	EX(۱.۵)	۱	X(۱.۷)	۱	X(۱.۵)
۱۲۷	EX(۱.۱۱)	۱۴	EX(۱.۷)	۱	X(۱.۱۱)	۱	X(۱.۷)
۲۲۴	EX(۱.۱۲)	۲۷۱	EX(۱.۱۲)	۱	X(۱.۱۲)	۱	X(۱.۱۲)
۱۱۲	EX(۲.۱)	۱۵۰	EX(۲.۱)	۱	X(۲.۱۱)	۱	X(۲.۱۲)
۲۱۰	EX(۲.۱۱)	۵۱۹	EX(۲.۲)	۱	X(۲.۱۲)	۱	X(۳.۳)
۳۵	EX(۲.۱۲)	۲	EX(۲.۱۲)	۱	X(۳.۳)	۱	X(۳.۸)
۳۸	EX(۳.۱)	۳۸	EX(۳.۱)	۱	X(۳.۸)	۱	X(۴.۵)
۵۷	EX(۳.۳)	۵۷	EX(۳.۳)	۱	X(۳.۱۱)	۱	X(۴.۹)
۱۳	EX(۳.۶)	۱۳	EX(۳.۶)	۱	X(۳.۱۴)		
۲۸	EX(۳.۸)	۱۴	EX(۳.۷)	۱	X(۴.۹)		
۶۱	EX(۳.۱۱)	۲۷	EX(۳.۸)	۱	X(۴.۱۱)		
۲۴	EX(۳.۱۴)	۱۳	EX(۳.۹)	۱	X(۴.۱۲)		
۴۶	EX(۴.۹)	۵۸	EX(۳.۱۰)	۱	X(۴.۱۴)		
۲۱۰	EX(۴.۱۱)	۸۰	EX(۴.۵)	۱	X(۵.۱۱)		
۳۵۱	EX(۴.۱۲)	۴۶	EX(۴.۹)	۱	X(۵.۱۲)		
۱۵۷۵	EX(۴.۱۴)	۴۰۰	EX(۴.۱۰)				
۲۶۰	EX(۵.۱۱)						
۲۴۰	EX(۵.۱۲)						



شکل ۳. تحلیل حساسیت تابع هدف هزینه به‌ازای مقادیر متفاوت بیشینه‌ی ظرفیت.



شکل ۴. تحلیل حساسیت تابع هدف عدالت به‌ازای مقادیر متفاوت بیشینه‌ی ظرفیت.

در این بخش، از میان پارامترهای مدل، پارامتر بیشینه‌ی ظرفیت هر بیمارستان برای هر خدمت درمانی (Q_{sj}) به‌عنوان یکی از پارامترهای تأثیرگذار در تصمیمات مدیریتی انتخاب و بر روی آن تحلیل حساسیت انجام گرفته است. در نمودارهای حاصل از این تحلیل نشان داده می‌شود که در صورتی‌که مدیر مقدار پارامتر Q_{sj} را تغییر دهد، هر یک از توابع هدف نسبت به حالتی که این پارامتر بدون تغییر بماند، چگونه تغییر خواهند کرد. برای شفافیت بیشتر تحلیل، پارامتر Q_{sj} در سه گام به میزان ۰٪، ۲۰٪ و ۴۰٪ افزایش یافته و تأثیر هریک بر توابع هدف عدالت و هزینه بررسی شده که به‌ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ قابل مشاهده است. مدیر تصمیم‌گیرنده می‌تواند با بهره‌گیری از این نمودارها دریابد اگر بخواهد هزینه‌های شبکه‌ی بیمارستانی را کاهش یا عدالت را در سطح این شبکه ارتقا دهد باید به چه میزان پارامتر Q_{sj} را تغییر دهد و از سویی درمی‌یابد اگر درصدد تغییر این پارامتر برآید، هریک از توابع هدف هزینه و عدالت تا چه مقدار تحت تأثیر قرار می‌گیرند. مثلاً، اگر مدیر تصمیم‌گیرنده راهکار سوم را برگزیند افزایش بیشینه‌ی ظرفیت به اندازه‌ی ۴۰٪، تصمیم مناسبی نخواهد بود زیرا فقط موجب افزایش هزینه می‌شود و نتیجه‌ی مثبتی در ارتقای عدالت شبکه نخواهد داشت. حال آن‌که اگر راهکار دوازدهم را انتخاب و افزایش ۴۰٪ در بیشینه‌ی ظرفیت را اعمال کند، این اقدام، عدالت شبکه را در عین ثابت ماندن هزینه‌ها، افزایش خواهد داد.

جدول ۱۰. مقادیر تخصیص بیماران به بیمارستان‌ها.

تخصیص بیماران به بیمارستان												
حالت ۱۳		حالت ۲		حالت ۱۳		حالت ۲		حالت ۱۳		حالت ۲		
مقدار	Y(s.i.j)	مقدار	Y(s.i.j)	مقدار	Y(s.i.j)	مقدار	Y(s.i.j)	مقدار	Y(s.i.j)	مقدار	Y(s.i.j)	
۱۰۲	Y(۴.۸.۸)	۱۰۲	Y(۴.۸.۸)	۱۲۳	Y(۲.۱۱.۲)	۱۲۳	Y(۲.۱۱.۲)	۸۵۰	Y(۱.۱.۱)	۸۵۰	Y(۱.۱.۱)	
۱۹	Y(۴.۹.۸)	۲۳۰	Y(۴.۹.۶)	۱۵۳	Y(۲.۱۲.۲)	۱۵۳	Y(۲.۱۲.۲)	۴۰	Y(۱.۱.۳)	۴۰	Y(۱.۱.۳)	
۱۰۲	Y(۴.۹.۱۰)	۴۰۶	Y(۴.۱۰.۸)	۱۱۵	Y(۳.۱.۱)	۱۱۵	Y(۳.۱.۱)	۸۰	Y(۱.۲.۱۱)	۸۰	Y(۱.۲.۵)	
۴۰۶	Y(۴.۱۰.۸)	۷۱	Y(۴.۱۱.۶)	۵۷	Y(۳.۱.۳)	۵۷	Y(۳.۱.۳)	۳۶	Y(۱.۳.۳)	۳۶	Y(۱.۳.۳)	
۲۴۳	Y(۴.۱۱.۱۰)	۱۷۲	Y(۴.۱۱.۸)	۴۲	Y(۳.۱.۴)	۴۲	Y(۳.۱.۴)	۱۴	Y(۱.۴.۷)	۱۴	Y(۱.۴.۷)	
۳۵۴	Y(۴.۱۲.۸)	۱۱۹	Y(۴.۱۲.۶)	۱۰۶	Y(۳.۱.۵)	۴۵	Y(۳.۱.۵)	۳۷	Y(۱.۵.۳)	۳۷	Y(۱.۵.۳)	
–	Y(۴.۱۲.۷)	۲۳۵	Y(۴.۱۲.۷)	۳۹	Y(۳.۱.۷)	۵۳	Y(۳.۱.۷)	۱۸	Y(۱.۶.۳)	۱۸	Y(۱.۶.۳)	
۱۲۰۰	Y(۵.۱.۴)	۱۲۰۰	Y(۵.۱.۴)	۵۴	Y(۳.۱.۹)	۶۷	Y(۳.۱.۹)	۱۳۳	Y(۱.۷.۱۲)	۱۳۳	Y(۱.۷.۱۲)	
۲۶۰	Y(۵.۲.۱۱)	۱۶۹	Y(۵.۲.۱)	۴۳	Y(۳.۱.۱۰)	۱۰۱	Y(۳.۱.۱۰)	۱۶	Y(۱.۸.۳)	۱۶	Y(۱.۸.۳)	
–	Y(۵.۲.۴)	۹۱	Y(۵.۲.۴)	24	Y(۳.۱.۱۴)	–	Y(۳.۱.۱۴)	۳۰	Y(۱.۹.۱۲)	۳۰	Y(۱.۹.۱۲)	
۹۰	Y(۵.۳.۱)	۹۰	Y(۵.۳.۱)	۶۱	Y(۳.۲.۱۱)	۶۱	Y(۳.۲.۵)	۴۵	Y(۱.۱۰.۳)	۱۰۶	Y(۱.۱۰.۱۲)	
۳۱	Y(۵.۴.۱)	۳۱	Y(۵.۴.۱)	۵۰	Y(۳.۳.۶)	۵۰	Y(۳.۳.۶)	۶۱	Y(۱.۱۰.۱۲)	۴۷	Y(۱.۱۱.۳)	
۵۳	Y(۵.۵.۱)	۵۳	Y(۵.۵.۱)	۹	Y(۳.۴.۷)	۹	Y(۳.۴.۷)	۴۷	Y(۱.۱۱.۳)	۵۶	Y(۱.۱۲.۳)	
۵۴	Y(۵.۶.۱)	۵۴	Y(۵.۶.۱)	۲۸	Y(۳.۵.۸)	۲۸	Y(۳.۵.۸)	۵۸	Y(۱.۱۲.۳)	۲	Y(۱.۱۲.۱۲)	
۲۴۰	Y(۵.۷.۱۲)	۲۴۰	Y(۵.۷.۱)	۹	Y(۳.۶.۹)	۹	Y(۳.۶.۹)	۴۶۲	Y(۲.۱.۱)	۵۰۰	Y(۲.۱.۱)	
۲۵	Y(۵.۸.۱)	۲۵	Y(۵.۸.۱)	۸۵	Y(۳.۷.۱۰)	۸۵	Y(۳.۷.۱۰)	۸۰۲	Y(۲.۱.۲)	۷۶۳	Y(۲.۱.۲)	
۶۰	Y(۵.۹.۱)	۶۰	Y(۵.۹.۱)	۹	Y(۳.۸.۹)	۹	Y(۳.۸.۹)	۲۱۰	Y(۲.۲.۱۱)	۲۱۰	Y(۲.۲.۲)	
۴۹	Y(۵.۱۰.۱)	۱۴۰	Y(۵.۱۰.۱)	۶۶۷	Y(۴.۱.۷)	۹۴۱	Y(۴.۱.۱۰)	۹۳	Y(۲.۳.۲)	۹۳	Y(۲.۳.۲)	
۹۱	Y(۵.۱۰.۴)	–	Y(۵.۱۰.۴)	۱۸۴۹	Y(۴.۱.۱۰)	۱۵۷۵	Y(۴.۱.۱۴)	۳۸	Y(۲.۴.۲)	۳۸	Y(۲.۴.۲)	
۱۷۵	Y(۵.۱۱.۴)	۱۷۵	Y(۵.۱۱.۴)	۸۰	Y(۴.۲.۵)	۸۰	Y(۴.۲.۱۱)	۹۷	Y(۲.۵.۲)	۹۷	Y(۲.۵.۲)	
۲۰۲	Y(۵.۱۲.۱)	۲۰۲	Y(۵.۱۲.۱)	۱۳۰	Y(۴.۲.۶)	–	Y(۴.۲.۶)	۴۶	Y(۲.۶.۲)	۴۶	Y(۲.۶.۲)	
				۱۵۰	Y(۴.۳.۶)	۱۵۰	Y(۴.۳.۶)	–	Y(۲.۷.۲)	۳۴۷	Y(۲.۷.۲)	
				۹۸	Y(۴.۴.۷)	۹۸	Y(۴.۴.۷)	۳۵۰	Y(۲.۷.۱۲)	۲	Y(۲.۷.۱۲)	
				۱۲۰	Y(۴.۵.۸)	۱۲۰	Y(۴.۵.۸)	۴۱	Y(۲.۸.۲)	۴۱	Y(۲.۸.۲)	
				۴۶	Y(۴.۶.۹)	۴۶	Y(۴.۶.۹)	۷۹	Y(۲.۹.۲)	۷۹	Y(۲.۹.۲)	
				۳۵۱	Y(۴.۷.۱۰)	۳۵۱	Y(۴.۷.۱۰)	۲۷۹	Y(۲.۱۰.۲)	۲۷۹	Y(۲.۱۰.۲)	

۸. نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

در این مقاله یک مدل جدید برنامه‌ریزی ریاضی خطی عدد صحیح مختلط برای مسئله‌ی طراحی شبکه‌ی تسهیلات سلامت معرفی شده است. این مدل ریاضی به‌صورت دوهدفه و با اهداف کمینه‌کردن هزینه‌های طراحی شبکه‌ی تسهیلات و بیشینه‌کردن عدالت در ارائه‌ی خدمات درمانی تعریف شده است. نوآوری این مقاله نسبت به مطالعات پیشین این است که مسئله‌ی مکان‌یابی ـ تخصیص تسهیلات سلامت با درنظرگرفتن بحث برنامه‌ریزی ظرفیت خدمات موجود و جدید انجام شده است و طراحی شبکه شامل مکان‌یابی تسهیلات سلامت جدید، راه‌اندازی و تعیین ظرفیت خدمات جدید در تسهیلات موجود و جدید، توسعه‌ی ظرفیت خدمات موجود، و تخصیص مراکز جمعیتی به تسهیلات سلامت است. علاوه بر آن، در مدل‌سازی ریاضی مسائل مکان‌یابی ـ تخصیص سلامت، تاکنون بحث عدالت در دسترسی به خدمات درمانی با توجه به معیارکیفیت این خدمات مورد توجه قرار نگرفته است. تسهیلات به صورت چند خدمتی درنظرگرفته شده است. به‌بیان ساده‌تر، هر یک از تسهیلات خدمات درمانی متنوعی را ارائه می‌دهند که نوع، ظرفیت، و کیفیت ارائه‌ی آن‌ها با یکدیگر متفاوت است و حتی ممکن است در بعضی از تسهیلات امکان راه‌اندازی برخی خدمات درمانی وجود نداشته باشد. همچنین امکان خدمت‌دهی هریک از تسهیلات به چندین مرکز جمعیتی و امکان خدمت‌گرفتن هر مرکز جمعیتی از تسهیلات متنوع وجود دارد. در ادامه به‌منظور اعتبارسنجی و نشان‌دادن کاربردپذیری مدل پیشنهادی، مدل با استفاده از روش محدودیت اپسیلون توسعه‌یافته بر روی بخش غربی و جنوب غربی استان اصفهان اجرا و حل شد و تحلیل حساسیت انجام گرفت.

برای تحقیقات آتی می‌توان موارد زیر را پیشنهاد کرد:

۱. درنظرگرفتن نیروی انسانی (ارائه‌کنندگان خدمات درمانی) به‌عنوان یکی از عوامل مهم در سیستم‌های سلامت؛

۲. درنظرگرفتن توابع هدف دیگری از جمله زمان دریافت خدمت برای بیماران اورژانسی؛

۳. ارائه‌ی رویکردهای هوشمند و کارا برای حل مسائل بزرگ‌تر در سطح کلان و کشوری.

پانوشت

1. neonatal intensive care unit (NICU)

منابع (References)

1. Syam, S.S. and Côté, M.J. "A location–allocation model for service providers with application to not-for-profit health care organizations", *Omega*, **38**, pp. 157-166 (2010).
2. Syam, S.S. and Côté, M.J. "A comprehensive location-allocation method for specialized healthcare services", *Operations Research for Health Care*, **1**, pp. 73-83 (2012).
3. Charfeddine, M., Augusto, V. and Montreuil, B. "Specialized healthcare network redeployment maximizing multiple stakeholders satisfaction using ant colony optimization", Health Care Management (WHCM), 2010 IEEE Workshop on, pp. 1-6 (2010).
4. Kim, D.G. and Kim, Y.D. "A branch and bound algorithm for determining locations of long-term care facilities", *European Journal of Operational Research,* **206**, pp. 168-177 (2010).
5. Marić, M., Stanimirović, Z. and Božović, S. "Hybrid metaheuristic method for determining locations for long-term health care facilities", *Annals of Operations Research,* **227**, pp. 3-23 (2013).
6. Kim, D.G. and Kim, Y.D. "A Lagrangian heuristic algorithm for a public healthcare facility location problem", *Annals of Operations Research*, **206**, pp. 221-240 (2013).
7. Mahar, S., Bretthauer, K.M. and Salzarulo, P.A. "Locating specialized service capacity in a multi-hospital network", *European Journal of Operational Research*, **212**, pp. 596-605 (2011).
8. Shariff, S.R., Moin, N.H. and Omar, M. "Location allocation modeling for healthcare facility planning in Malaysia", *Computers & Industrial Engineering*, **62**, pp. 1000-1010 (2012).
9. Burkey, M.L., Bhadury, J. and Eiselt, H.A. "A location-based comparison of health care services in four US states with efficiency and equity", *Socio-Economic Planning Sciences,* **46**, pp. 157-163 (2012).
10. Benneyan, J.C., Musdal, H., Ceyhan, M.E., Shiner, B. and Watts, B.V. "Specialty care single and multi-period location–allocation models within the Veterans Health Administration", *Socio-Economic Planning Sciences*, **46**, pp. 136-148 (2012).
11. Ghaderi, A. and Jabalameli, M.S. "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*, **57**, pp. 382-400 (2013).
12. 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**, pp. 2241-2250 (2013).
13. Mohammadi, M., Dehbari, S. and 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**, pp. 15-41 (2014).
14. 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**, pp. 791-806 (2015).
15. Mavrotas, G. "Effective implementation of the ε-constraint method in multi-objective mathematical programming problems", *Applied Mathematics and Computation,* **213**, pp. 455-465 (2009).