

## مکان‌یابی مراکز ارائه خدمات رقابتی با هدف کاهش ازدحام ترافیک شهری مطالعه موردی: مکان‌یابی مراکز سلامت در شهر اصفهان

حمید مرادی<sup>۱</sup>، نادر شتاب‌بوشهری<sup>۲\*</sup>، علی کورنک بهشتی<sup>۳</sup>، حسین پورزاهدی<sup>۴</sup>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲- استادیار، دانشکده صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳- دانشجوی دکتری، دانشکده صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۴- استاد، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

### چکیده

توزیع کالا و خدمات در سطح شهرها از اهمیت زیادی برخوردار است. انتخاب مکان‌های مناسب جهت استقرار مراکز ارائه‌ی خدمات در سطح یک شهر هم می‌تواند کمک بزرگی به شهروندان جهت دسترسی راحت و سریع به این خدمات باشد و هم بار ترافیکی ناشی از این‌گونه سفرها در سطح آن شهر را کاهش دهد. متأسفانه نبود برنامه‌ریزی صحیح شهری در گذشته، باعث شده تا ساختار بسیاری از شهرهای جهان، به گونه‌ای نادرست شکل گرفته و مراکز ارائه خدمات در آن‌ها در مکان‌های نامناسبی استقرار یابند. از آنجا که بخش عظیمی از این مراکز توسط بخش خصوصی احداث گشته و جابجایی آن‌ها به دلایل مختلف همچون دلایل قانونی مشکل است، نیاز است که بخش دولتی با احداث مراکز جدید در مکان‌هایی با قابلیت رقابت بالا به جذب مشتریان این مراکز خصوصی بپردازد. در این مقاله، انتخاب مکان‌هایی جهت احداث مراکز ارائه‌ی خدمات جدید مورد بررسی قرار می‌گیرد. این مکان‌ها به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که اهدافی خاص همچون دسترسی سریع و آسان متقاضیان دریافت خدمات به آن‌ها فراهم آمده، و معضلات ترافیکی ناشی از این‌گونه سفرها در سطح شهرها کاهش یابد. در این ارتباط، مدلی برای مکان‌یابی

مراکز با محدودیت ظرفیت، طراحی شده و سپس یک الگوریتم شبیه‌سازی تیریدی موازی برای حل این مدل ارائه گردیده است. در پایان، الگوریتم پیشنهادی برای تعیین مکان‌های مراکز سلامت در شهر اصفهان استفاده گردیده و کارایی آن مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به‌دست آمده نشان از دقت و سرعت الگوریتم یاد شده در تعیین مکان‌های مراکز سلامت در شهر اصفهان دارد.

**واژه های کلیدی:** مکان‌یابی رقابتی، الگوریتم شبیه‌سازی تیریدی موازی، مکان‌یابی مراکز سلامت

## مقدمه

در اکثر کشورهای جهان، تا قبل از انقلاب صنعتی، شهرها به این دلیل مورد توجه بودند که کانون قدرت و جمعیت بوده و برخی از خدمات را برای روستاها تامین می‌کردند. اما بعد از انقلاب صنعتی شهرها فقط جایی برای زندگی فئودال‌ها و تامین‌کنندگان خدمات برای روستاها نبودند، بلکه با پیشرفت تکنولوژی و گذشت زمان بر نقش اقتصادی و اشتغال‌زایی شهرها افزوده شد و به تبع آن خدماتی که در آنها ارائه می‌گشت گسترش یافت. به این ترتیب مردم نیز با مشاهده امکانات و ارائه خدمات ضروری، رفاهی و شغلی در شهرها به این کانون‌ها جذب می‌شدند. در آن زمان‌ها، مکان و ظرفیت کانون‌های ارائه‌ی خدمات معمولاً بر اساس تصمیم‌گیری‌های شخصی یا جمعی تعدادی از سرمایه‌گذاران مشخص می‌شد و مطالعات جامع شهری در این مورد جایگاهی نداشت. با توسعه شهرها و شکل‌گیری بدون برنامه این مراکز، معضلات و مشکلات جانبی فراوانی به وجود آمد. یکی از این مشکلات، توسعه شهرها و باقی ماندن مراکز یاد شده در نقاط شلوغ شهر بود که این موضوع به ازدحام، ترافیک و مشکلات مرتبط به آن منجر می‌گردید. در سال‌های اخیر، این مشکلات نه تنها باعث کاهش رضایتمندی

استفاده‌کنندگان از این خدمات شده، بلکه مسائل زیادی را برای دیگر شهروندان به وجود آورده است. با مشاهده‌ی این مشکلات، نیاز به تعیین مراکز از سوی دولت برای ارائه خدمت‌رسانی بهتر حس می‌شود. مراکز جدید باید از نظر مکانی و ارائه خدمات، قابلیت رقابت با مراکز قبلی را داشته باشند تا به مرور زمان مشتریان مراکز قدیمی را جذب خود کرده و مشکلات و معضلات به وجود آمده در سطح شهرها را کاهش دهند. هدف از این مقاله ساخت مدلی جهت تعیین مکان مراکز یاد شده می‌باشد. لذا در فصل دوم مروری بر ادبیات موضوع و کارهای انجام شده قبلی می‌شود. در فصل سوم، روش تحقیق آورده می‌شود. در این فصل مدل برنامه‌ریزی ریاضی پیشنهادی ارائه می‌گردد که با حل آن مکان‌های مطلوب جهت احداث مراکز ارائه خدمت جدید در شهرها بدست می‌آید. این مکان‌ها به گونه‌ای تعیین می‌گردند که علاوه بر قابلیت رقابت با مراکز قدیمی ارائه خدمت و جذب مشتریان آن‌ها، معضلات ترافیکی ایجاد شده توسط آن‌ها را کاهش دهد. در فصل چهارم، الگوریتمی فرا ابتکاری برای حل مدل یاد شده ارائه می‌گردد. در فصل پنجم، نتایج محاسباتی مدل و الگوریتم یاد شده بر روی یک مسأله‌ی موردی در شهر اصفهان ارائه می‌-

گردد و در نهایت در فصل ششم نتایج پژوهش عنوان می‌گردد.

## ادبیات موضوع

یکی از اولین و اساسی‌ترین مراحل در برنامه‌ریزی جهت ارائه خدمت یا محصول به متقاضیان، تعیین بهترین محل ارائه خدمت یا محصول است. متناسب با شرایط، مدل‌های مکان‌یابی بسیار متنوعی در این راستا توسط پژوهشگران ارائه شده است. تحقیقات انجام گرفته در زمینه مکان‌یابی از گستردگی بسیار زیاد برخوردار بوده و کاربردهای عملی بسیار وسیعی در زمینه‌های مختلف داشته است. از زمانی که مساله کلاسیک ویر در سال ۱۹۰۹ به صورت تعیین موقعیت یک انبار فرمول‌بندی شده، تاکنون نظریه مکان‌یابی بخش فعالی از تحقیقات را در ۳۰ سال گذشته به خود اختصاص داده است. مدل‌های مکان‌یابی دامنه‌ی وسیعی از کاربردها شامل تعیین محل یک تجهیز در کارخانه، محل استقرار یک کارخانه در شهر، محل استقرار مراکز توزیع محصول، مکان‌یابی بیمارستان‌ها، مکان‌یابی مراکز عرضه‌ی سوخت و بسیاری مواردی دیگر را شامل می‌گردد.

مدل‌های مکان‌یابی بر اساس شرایط مساله به دسته‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. هونگ ژونگ جیا و همکارانش هشت فاکتور را که در دسته‌بندی مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات موثر هستند را معرفی کردند. این هشت فاکتور عبارتند از: مشخصات جغرافیایی، خصوصیات تسهیلات، اهداف، روش حل، الگوهای تقاضا، انواع زنجیره عرضه، افق زمانی

و پارامترهای ورودی (هونگ ژونگ جیا و همکاران، ۲۰۰۵).

یکی از این دسته مدل‌ها، مدل‌های مکان‌یابی پوششی است. این مدل‌ها اغلب در مکان‌یابی تجهیزات اضطراری همچون مراکز درمانی، آمبولانس، نیروهای امنیتی، آتش‌نشانی‌ها و سایر موارد مشابه مطرح می‌شوند و هدف نهایی آن‌ها تعیین مراکز ارائه‌ی خدمت در نقاط نامزد است، به گونه‌ای که بیشترین یا بهترین خدمت به مناطق تقاضا داده شود.

تورگاس و همکارانش به جستجوی مکان‌هایی برای مراکز اورژانسی در ایالت نیویورک آمریکا پرداختند. آن‌ها با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی خطی تعداد مراکز مورد نیاز برای پوشش تقاضاهای نواحی مختلف با در نظر گرفتن زمان‌های پوشش متفاوت را به دست آوردند (تورگاس و همکاران، ۱۹۷۱). عادل عالی و جان وایت مساله تعیین مکان‌های بهینه برای احداث مراکز خدمات اورژانسی (مراکز پلیس، ایستگاه‌های آتش‌نشانی، ایستگاه‌های آمبولانس، مراکز سلامت، بیمارستان‌ها، و ماشین‌های پلیس) را در آمریکا مورد بررسی قرار دادند (عادل و جان، ۱۹۷۸). گالوا و همکاران مدل پوشش حداکثر را با استفاده از روش آزاد سازی لاگراژ و تبدیل آن به یک مساله‌ی کوله‌پشتی صفر و یک حل کردند. مسائل مورد آزمون در این تحقیق تا اندازه‌ی ۹۰۰ نقطه تقاضا و ۹۰۰ مکان نامزد بود (گالوا و همکاران، ۲۰۰۰). داسکین و لاتویا، کاربرد سه مدل پایه مکان‌یابی، یعنی مدل پوشش مجموعه‌ها، مدل حداکثر پوشش و مدل P-median را در مراقبت‌های پزشکی

آن‌ها تعیین مکان و کیفیت تسهیلات به منظور حداکثر کردن سود بود. آن‌ها از موازی سازی الگوریتم‌ها برای حل مساله استفاده کردند (رداندو و همکاران، ۲۰۰۸). بینگ وانگ و چوانگ وانگ یک مدل جدید مکان‌یابی با دو هدف کمینه کردن هزینه و بیشینه کردن پوشش تقاضا ارائه دادند. آن‌ها با استفاده از برنامه‌ریزی اعداد صحیح مختلط تعداد مراکز سوخت‌گیری وسایل نقلیه و مکان آنها را شبکه‌ی جاده‌ای تایوان برای خدمت‌رسانی به فواصل کوتاه و بلند تعیین کردند (وانگ، ۲۰۱۰). کوکایدین و همکاران یک مساله مکان‌یابی رقابتی چند تسهیلاتی در حالت گسسته را در نظر گرفتند. آن‌ها فرض کردند که متقاضیان دریافت خدمت در یک نقطه‌ی تقاضا متناسب با دو پارامتر جذابیت تسهیلات و عکس فاصله‌ی نقاط تقاضا از مکان تسهیلات از تسهیلات جدید استفاده می‌کنند. آن‌ها مساله را به صورت یک مدل غیرخطی عدد صحیح دو سطحی فرمول‌بندی کردند و سپس با تبدیل به مدل یک سطحی معادل، با استفاده از روش GMIN-aBB آن را حل کردند (کوکایدین و همکاران، ۲۰۱۱). مسائل مکان‌یابی تسهیلاتی رقابتی در مطالعات دیگری نیز به‌کار رفته است ((سایز و همکاران، ۲۰۱۰)، (گرانوت و راویو، ۲۰۱۰)، (منگ و چو، ۲۰۰۹) و (پلاستریا، ۲۰۰۸)).

اگر چه تحقیقات زیادی در زمینه مکان‌یابی تسهیلات در سطح شهرها صورت گرفته است، ولی پژوهش‌های انجام‌گرفته در زمینه‌ی مکان‌یابی تسهیلات رقابتی ناچیز است. همچنین هدف تمامی مدل‌های ارائه شده در زمینه‌ی مکان‌یابی تسهیلات

عنوان کردند. همچنین سه هدف عمده در مکان‌یابی مراکز پزشکی یعنی دسترسی<sup>۱</sup>، سازگاری<sup>۲</sup> و سودمندی<sup>۳</sup> را مطرح نمودند (داسکین و لاتویا، ۲۰۰۴). چنگ و همکارانش، برای تعیین مکان‌های مناسب بیمارستان‌های تایوان از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی<sup>۴</sup>، تحلیل حساسیت<sup>۵</sup> و دلفی تعدیل شده<sup>۶</sup> استفاده کردند (چنگ و همکاران، ۲۰۰۷). ملوآ<sup>۷</sup> و همکارانش<sup>۸</sup> یک مدل مکان‌یابی تسهیلات چند کالایی را برای طراحی استراتژیک شبکه‌های زنجیره تامین ارائه دادند. آن‌ها جنبه‌هایی نظیر افق برنامه‌ریزی، ساختار عمومی شبکه زنجیره تامین، توزیع کالاها، موقعیت تسهیلات و محدودیت انبارها را در طراحی مدلشان در نظر گرفتند (لاورانس و همکاران، ۲۰۰۷). بوتیستا و پیرا یک الگوریتم گراسپ<sup>۸</sup> برای حل مساله‌ی مکان‌یابی پوشش مجموعه ارائه کردند. آن‌ها مسائلی با ۵۰۰ نقطه تقاضا و ۵۰۰ مکان نامزد را حل کردند (بوتیستا و پیرا، ۲۰۰۷). آبولین و همکاران مساله‌ی طراحی و مکان‌یابی تسهیلات رقابتی را در نظر گرفتند که هدف آن بهینه‌سازی همزمان مکان‌ها و طراحی تسهیلات جدید در کنار تسهیلات موجود با محدودیت بودجه بود. آن‌ها مساله را به صورت برنامه‌ریزی عدد صحیح با یک تابع هدف غیرخطی مدل کردند (آبولین و همکاران، ۲۰۰۷). رداندو و همکاران مساله مکان‌یابی رقابتی تسهیلات در حالت پیوسته را در نظر گرفتند. هدف

- 
- 1 Accessibility
  - 2 Adaptability
  - 3 Availability
  - 4 Analytic Hierarchy Process
  - 5 Sensitivity Analysis
  - 6 Modified Delphi Method
  - 7 Melloa
  - 8 GRASP Algorithm

الف- مراکز ارائه خدمت به گونه‌ای هستند که خدمات ارائه شده توسط آن‌ها قابل رقابت با خدمات سایر مراکز موجود است. لذا تاسیس مراکز جدید ارائه خدمت در نواحی مناسب، باعث جذب بعضی از متقاضیان خدمات مراکز موجود خواهد شد.

ب- برای متقاضیان خدمات، فاصله تا مراکز ارائه خدمات نقشی اساسی را بازی می‌کند. این بدان معناست که هر چه این مراکز خدماتی به متقاضی خدمت نزدیکتر باشد، احتمال انتخاب آن توسط متقاضی بیشتر خواهد بود. قبل از معرفی مدل‌ها لازم است پارامترهای مدل معرفی شوند. در جدول ۱ پارامترهای مربوطه تعریف شده‌اند.

رقابتی، حداکثر کردن سود و یا بیشینه کردن پوشش تقاضا بوده است. مزیت مدل ارائه شده در این مقاله، مکان‌یابی تسهیلات رقابتی در سطح شهرهاست به- گونه‌ای که با جذب مشتریان دیگر تسهیلات مشابه موجود، معضلاتی همچون ترافیک شهری را کاهش دهد.

### روش تحقیق

در این بخش ابتدا فروض حاکم بر مدل پیشنهادی ارائه شده معرفی گشته و سپس اهدافی که از مکان‌یابی مراکز ارائه خدمت دنبال می‌شود، بیان می‌گردد. سرانجام مسأله مکان‌یابی مراکز ارائه خدمت مدل شده و روش دقیق حل آن ارائه می‌شود.

### ۳-۱- فروض حاکم بر مدل مکان‌یابی

جدول 1- پارامترها و متغیرهای مدل‌های مکان‌یابی

ردیف	نماد	توضیح
۱	$K$	مجموعه‌ای از نواحی می باشد که قرار است در هر کدام از آن‌ها یک مرکز ارائه خدمت تاسیس شود.
۲	$x_{ij}^k(K)$	نشان دهنده تعداد متقاضیانی است که از ناحیه " $i$ " برای گرفتن خدمات به ناحیه " $j$ " می‌روند و با تاسیس مجموعه مراکز " $K$ "، جذب مرکز تاسیس شده واقع در ناحیه " $k$ " ( $k \in K$ ) می‌گردند.
۳	$t_{ij}$	تعداد سفر روزانه از ناحیه " $i$ " به ناحیه " $j$ " است.
۴	$c_{ij}$	زمان سفر از ناحیه " $i$ " به ناحیه " $j$ " است.
۵	$\gamma$	پارامتری است که مقدار آن به رفتار مردم منطقه مورد مطالعه ربط دارد.
۶	$m$	تعداد مکان‌های پیشنهادی برای ایجاد تسهیلات.
۷	$cap_k$	ظرفیت مرکز $k$ ، تعداد متقاضیانی است که مرکز " $k$ " (در صورت تاسیس) توانایی جوابگویی به آن‌ها را در روز داراست.
۸	$\phi$	مجموعه نواحی است که مکان‌های پیشنهادی برای احداث مراکز در آن نواحی قرار دارند.
۹	$\Psi$	مجموعه تمام زیر مجموعه‌های $\phi$ .
۱۰	$p$	تعداد مکان‌هایی که می‌خواهیم انتخاب کنیم.
۱۱	$n K $	تعداد عضوهای مجموعه $K$

رابطه (۱)، مدل ریاضی میزان جذب متقاضی دریافت خدمت توسط مرکز ناحیه " $k$ " ( $k \in K$ )، از متقاضیان ناحیه " $i$ " که به مرکز ارائه خدمت موجود در ناحیه " $j$ " می روند و رفتارشان از مدل رفتاری لوجیت تبعیت کند را نشان می دهد (مک فادن، ۱۹۶۵):

$$x_{ij}^k(K) = \frac{t_{ij} \exp(\gamma c_{ik})}{\exp(\gamma c_{ij}) + \sum_{k \in K} \exp(\gamma c_{ik})} \quad (1)$$

$$i, j = 1, \dots, N \quad k \in K$$

در رابطه (۱)،  $K$ : مجموعه ای از نواحی می باشد که قرار است در هر کدام از آن ها یک مرکز ارائه خدمت تاسیس شود، متغیر  $x_{ij}^k(K)$ : نشان دهنده تعداد متقاضیانی است که از ناحیه " $i$ " برای گرفتن خدمات به ناحیه " $j$ " می روند و با تاسیس مجموعه مراکز " $K$ "، جذب مرکز تاسیس شده واقع در ناحیه " $k$ " ( $k \in K$ )، می گردند.  $t_{ij}$ : تعداد سفر روزانه از ناحیه " $i$ " به ناحیه " $j$ " است،  $c_{ij}$ : زمان سفر از ناحیه " $i$ " به ناحیه " $j$ "، و  $\gamma$ : پارامتر است که مقدار آن به رفتار مردم منطقه مورد مطالعه ربط دارد.

#### اهداف مدل مکان یابی

سیاست گذاران شهری اهداف مختلفی را در ارتباط با مکان یابی مراکز ارائه خدمات در نظر می گیرند. بعضی از این اهداف به شرح زیر می باشد:

در این پژوهش دو نوع رفتار برای شهروندان در ارتباط با انتخاب مرکز ارائه خدمت در نظر گرفته می شود:

#### رفتار انتخاب همه یا هیچ

در این نوع رفتار فرض بر آن است که متقاضیان، مراکزی را انتخاب می کنند که به آن ها نزدیکتر است. در رفتار همه یا هیچ، تمامی مسافران ناحیه " $i$ " که برای گرفتن خدمات به ناحیه " $j$ " می روند، جذب مرکز جدید تاسیس شده در ناحیه " $k$ " می گردد اگر مرکز جدید تاسیس شده در ناحیه " $k$ " نزدیکترین مرکز به ناحیه " $i$ " بوده و زمان سفر از ناحیه " $i$ " به ناحیه " $k$ " کمتر از زمان سفر از ناحیه " $i$ " به ناحیه " $j$ " باشد، در غیر این صورت هیچ سفر که از ناحیه " $i$ " برای گرفتن خدمات به ناحیه " $j$ " می رود، جذب مرکز تاسیس شده در ناحیه " $k$ " نمی گردد.

#### رفتار انتخاب تصادفی

در دنیای واقع این فرض که تنها معیار انتخاب مرکز ارائه خدمت توسط متقاضیان، نزدیکی آن مرکز باشد، درست به نظر نمی رسد. و عواملی دیگر هم انتخاب متقاضی را تحت تاثیر قرار می دهد. به عنوان مثال در امور درمانی، بعضی اشخاص اعتقاد به پزشک خاصی دارند و برای گرفتن خدمات پزشکی حتما باید به آن پزشک مراجعه نمایند. به همین منظور فرض می شود که رفتار متقاضی خدمات برای انتخاب مقصد مورد نظرش از یک مدل انتخاب تصادفی همچون مدل لوجیت تبعیت می کند.

$(m \geq p)$ ، به گونه ای که مثلاً زمان سفر متقاضیان دریافت خدمت در سطح شهر کمینه گردد. این مسئله را می‌توان در دو حالت "مکان یابی بدون محدودیت ظرفیت" و "مکان یابی با محدودیت ظرفیت" طراحی کرد.

مدل ریاضی مکان یابی بدون محدودیت ظرفیت و روش حل دقیق آن

در اول فرض کنید ظرفیت ارائه خدمات مراکز پیشنهادی بسیار بالاست. به صورت دیگر این مراکز محدودیتی در جذب متقاضیان ندارند  $(cap_k = \infty, \forall k)$ . این مسأله "مکان یابی بدون محدودیت ظرفیت"  $(NCLP)$ <sup>۱</sup> نامیده می‌شود. مدل ریاضی مکان‌یابی بدون محدودیت ظرفیت در زیر نشان داده شده است:

مدل  $(NCLP)$

$$Z = \max \sum_{k \in K} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{ij}^k(K) \times (c_{ij} - c_{ik})$$

$$s.t. \begin{cases} n|K| = p \\ K \in \Psi \end{cases}$$

در مدل بالا،  $x_{ij}^k(K)$ : نشان دهنده تعداد متقاضیانی است که از ناحیه "i" برای گرفتن خدمات به ناحیه "j" می‌روند و با تاسیس مجموعه مراکز "K"، جذب مرکز تاسیس شده واقع در ناحیه "k" ( $k \in K$ ) می‌گردند.

در واقع مجموعه K، متغیر تصمیم در مدل مورد نظر است. همچنین N تعداد نواحی منطقه مورد مطالعه است و  $n|K|$ ، تعداد عضوهای مجموعه‌ی K

الف- کمینه کردن زمان سفر متقاضیان خدمات در سطح شهر یا کلان شهر؛

ب- کمینه کردن تعداد سفرهای انجام شده به مراکز ارائه خدمات. سفرهایی که زمان سفر آن‌ها بیشتر از زمان سفر استاندارد می‌باشد؛

ج- کمینه کردن تعداد سفرها به مراکز ارائه خدمات واقع در منطقه تجاری شهر یا نقاط خاص دیگر.

مدل مکان‌یابی مراکز ارائه خدمات

هدف این مقاله، تعیین تعداد محدودی مکان برای احداث مراکز ارائه خدمت در شهرهاست. این مکان‌ها از میان یک مجموعه مکان‌های پیشنهادی انتخاب می‌شوند. ظرفیت هر یک از مکان‌های پیشنهادی، محدود و مشخص است. بنابراین در تعیین مکان مراکز ارائه خدمت، علاوه بر در نظر گرفتن رفتار متقاضیان دریافت خدمت در انتخاب مرکز خدمات مورد نظرشان و همچنین هدف سیاست‌گذاران شهری از احداث این مراکز، محدودیت ظرفیت پذیرش متقاضیان مراکز هم باید در نظر گرفته شود.

فرض کنید که  $\phi$  مجموعه نواحی باشد که مکان‌های پیشنهادی برای احداث مراکز در آن نواحی قرار دارند. همچنین فرض کنید تعداد مکان‌های پیشنهادی، "m" است،  $cap_k$ : ظرفیت مرکز k، تعداد متقاضیانی است که مرکز "k" (در صورت تاسیس) توانایی جوابگویی به آن‌ها را در روز داراستو  $\Psi$ : مجموعه تمام زیر مجموعه‌های  $\phi$  باشد.

حال فرض کنید هدف سیاست‌گذاران شهری، تاسیس P مرکز در m مکان پیشنهادی است

1 - Non capacitated location problem

قاعده همه یا هیچ پیروی کند، می توان از الگوریتم  $AON$  که شرح آن در زیر آمده است، استفاده کرد:

### الگوریتم $AON$ :

قدم یک: قدم های دو و سه این الگوریتم را برای تمامی نواحی مبدا  $i$ ،  $(i = 1, \dots, N)$  انجام دهید.

قدم دو: برای ناحیه مبدا  $i$ ، نزدیکترین مرکز سلامت واقع در مجموعه  $K$  را انتخاب کنید. فرض کنید که این مرکز در ناحیه  $k^*$  واقع است و فاصله مبدا  $i$  از آن  $\bar{c}_i$  است.

قدم سه: برای آن نواحی  $j$ ،  $(j = 1, \dots, N)$  که  $c_{ij} \geq \bar{c}_i$  است، تمامی  $t_{ij}$  (تعداد سفرهای متقاضیان ناحیه  $i$  که خدمت خود را از ناحیه  $j$  دریافت می کنند) را به مرکز واقع در  $k^*$  تخصیص دهید.

### ۳-۲- مدل ریاضی مکان یابی با محدودیت

#### ظرفیت و روش حل دقیق آن

حال فرض کنید ظرفیت مراکز پیشنهادی محدود و معلوم می باشد. در این حالت مسئله مکان یابی مراکز ارائه خدمت، مسئله "مکان یابی با محدودیت ظرفیت"  $(CLP)$  می نامیم. مدل ریاضی مکان یابی با محدودیت ظرفیت در زیر نشان داده شده است. در این مدل نیز مجموعه  $K$ ، متغیر تصمیم است.

مدل  $(CLP)$

$$Z = \max \sum_{k \in K} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{ij}^k(K) \times (c_{ij} - c_{ik})$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{ij}^k \leq cap_k & k \in K \\ n|K| = p \\ K \in \Psi \end{cases}$$

می باشد. در حقیقت تعداد مکان های انتخاب شده  $P$  است.

در مدل بالا، تابع هدف، میزان کاهش (بهبود) در هزینه سفر (کیلومتر پیموده شده) توسط متقاضیان دریافت خدمت را در صورت تاسیس مراکز ارائه خدمت جدید نشان می دهد.

الگوریتم  $NCLPA^1$ ، مدل  $(NCLP)$  را به روش شمارشی حل می کند.

### الگوریتم $NCLPA$ :

قدم صفر: مقدار  $Z^*$  را برابر با صفر و مجموعه  $K^*$  را برابر با مجموعه ای تهی قرار دهید.

قدم یک: یک عضو از مجموعه  $\Psi$  مثلاً  $K$  را انتخاب کنید.

قدم دو: اگر  $p \neq n|K|$ ، (تعداد مکان های انتخاب شده برابر با  $P$  نباشد)، به قدم چهار بروید.

قدم سه: مقادیر  $x_{ij}^k(K)$  را برای مجموعه  $K$  و کلیه مقادیر  $i$  و  $j$  از الگوریتم  $AON$  (شرح این الگوریتم در زیر آمده است) و یا رابطه (۱)، (بسته به رفتار متقاضی خدمات) بدست آورید. سپس به کمک این مقادیر، تابع هدف مدل  $(NCLP)$ ، را محاسبه کنید. اگر  $Z(K)$  بزرگتر از  $Z^*$  بود،  $Z^*$  را برابر  $Z(K)$  و  $K^*$  را برابر مجموعه  $K$  قرار دهید.

قدم چهار:  $\Psi$  را برابر  $\Psi - \{K\}$  قرار بدهید. اگر  $\Psi \neq \{\}$  به قدم یک بروید.

قدم پنج: پایان.

تعیین مقادیر  $x_{ij}^k(K)$  هنگامی که رفتار متقاضیان خدمات پزشکی از مدل لجستیک تبعیت می کند از رابطه (۱) به دست می آید. برای تعیین مقادیر  $x_{ij}^k(K)$  هنگامی که رفتار این متقاضیان از

1 - Non capacitated location problem algorithm  
2 - All or nothing



### روش حل مدل (CLP)

تخصیص داده شده به این مراکز با مقادیر تخصیص داده شده در مراحل قبل جمع می‌شود. حال اگر در مرحله‌ای، کل مقدار تخصیص داده شده به یکی از این مراکز برابر با ظرفیت آن مرکز شد، آن مرکز از مجموعه مراکز ارائه خدمت مورد نظر حذف خواهد گشت. این کار تا جایی ادامه می‌یابد که تمامی مراکز واقع در مجموعه "K" به ظرفیت خود برسند و یا مجموع مقادیر ماتریس‌های جزئی تخصیص داده شده برابر ماتریس "T" گردد.

در الگوریتم بالا، مشخص است که با تخصیص جزء ناچیزی از ماتریس تقاضا، به مراکز در هر مرحله، مقدار تقاضای تخصیص داده شده به مراکز جدید از ظرفیت آن‌ها یا بیشتر نخواهد شد و یا اگر بیشتر شود، میزان این افزایش بسیار ناچیز می‌باشد. الگوریتم CLPA، که شرح آن در ادامه آمده، مدل (CLP) را به کمک الگوریتم IAA و روش شمارشی حل می‌کند.

#### الگوریتم CLPA:

**قدم صفر:** مقدار  $Z^*$  را برابر با صفر و مجموعه  $K^*$  را برابر با مجموعه‌ای تهی قرار دهید.

**قدم یک:** یک عضو از مجموعه  $\Psi$  مثلاً  $K$  را انتخاب کنید.

**قدم دو:** اگر  $p \neq |K|$ ، (تعداد مکان‌های انتخاب شده برابر با P نباشد)، به قدم چهار بروید.

**قدم سه:** مقادیر  $x_{ij}^k(K)$  را برای مجموعه  $K$  و کلیه نواحی  $i$  و  $j$  از الگوریتم IAA بدست آورید. سپس به کمک این مقادیر، تابع هدف مدل (CLP)، را محاسبه کنید. اگر  $Z(K)$  بزرگتر از  $Z^*$  بود،  $Z^*$  را برابر  $Z(K)$  و  $K^*$  را برابر مجموعه  $K$  قرار دهید.

حل مدل (CLP) پیچیده می‌باشد. زیرا دیگر نمی‌توان مقدار  $x_{ij}^k(K)$  یعنی تعداد متقاضیانی است که از ناحیه "i" برای گرفتن خدمات به ناحیه "j" می‌روند و با تاسیس مجموعه مراکز  $K$ ، جذب مرکز تاسیس شده در ناحیه "k"، ( $k \in K$ ) می‌گردند را از رابطه **Error! Reference source not found.** یا الگوریتم AON بدست آورد، چرا که ممکن است استفاده از این روابط باعث شود مجموع متقاضیانی که توسط مرکز واقع در ناحیه "k" جذب می‌شوند بیشتر از ظرفیت آن ناحیه شود. لذا برای حل مدل (CLP)، ابتدا یک الگوریتم تحت عنوان الگوریتم تخصیص جزئی IAA معرفی می‌شود که با حل آن مقادیر  $x_{ij}^k(K)$  مشخص می‌شود و در ادامه با استفاده از الگوریتم یاد شده به حل مدل (CLP) می‌پردازیم.

#### الگوریتم تخصیص جزئی (IAA)

اگر "K" مجموعه‌ای از نواحی باشد که قرار است در هر کدام از آن‌ها یک مرکز با ظرفیت محدود تاسیس شود، الگوریتم تخصیص جزئی یک روش ابداعی است برای تعیین میزان جذب متقاضیان از مراکز قدیمی به این مراکز.

اگر فرض شود "T"، ماتریس سفر روزانه (مبدا- مقصد) با هدف گرفتن خدمت مورد نظر باشد، در هر مرحله، درصد ناچیزی (جزئی) از ماتریس "T" را به کمک رابطه **Error! Reference source not found.** یا الگوریتم AON به مجموعه مراکز واقع در مجموعه "K" تخصیص داده و مقادیر جزئی

قدم چهار:  $\Psi$  را برابر  $\{K\} - \Psi$  قرار بدهید. اگر  $\Psi \neq \{\}$  به قدم یک بروید.

قدم پنج: پایان.

### روش حل فراابتکاری

همان طور که مشخص است مسئله (CLP) از نوع مسائل بهینه سازی ترکیبی است، و روش های شمارشی در حل اینگونه مسائل کارا نمی باشند. لذا در این مقاله از الگوریتم شبیه سازی تبریدی موازی<sup>۱</sup> به منظور حل آن استفاده شده است. این الگوریتم، حالت توسعه یافته ی الگوریتم شبیه سازی تبریدی (SA)<sup>۲</sup> است. SA یک روش فراابتکاری است که از کارایی مناسبی برای حل مسائل بهینه سازی ترکیبی برخوردار می باشد. در حقیقت شبیه سازی تبریدی یک روش احتمالی جستجو است که از ذوب فیزیکی مواد جامد برای پیدا کردن جواب مساله بهینه سازی ترکیبی تقلید می کند. در ذوب فیزیکی، ماده ی جامد تا مرحله ذوب شدن گرم می شود و سپس با یک زمان بندی مناسب، ذوب آن سرد می گردد تا به حداقل سطح انرژی برسد (ساهین و ترکیب، ۲۰۰۹).

نقطه ی قوت این الگوریتم در فرار از نقاط بهینه محلی است. در مقابل یکی از موارد ضعف آن، بالا بودن حجم محاسبات کامپیوتری برای رسیدن به جواب های خیلی خوب است. مشکل یاد شده به این دلیل واقع می گردد که الگوریتم یاد شده برخلاف الگوریتم ژنتیک جمعیت گرا نبوده و از یک نقطه از فضای جواب، جستجو را آغاز می کند. یکی از راه های برطرف کردن این مشکل آن است که از چندین

فرآیند شبیه سازی تبریدی به صورت موازی برای جستجوی فضای جواب استفاده شود.

روش های مختلفی برای موازی سازی الگوریتم

شبیه سازی تبریدی وجود دارد. هیرایاسو و همکاران یکی از کاراترین روش های موازی سازی را پیشنهاد داده اند. در روش آن ها فرآیند جستجو از چند نقطه از فضای جواب آغاز شده و پس از چندین قدم از عملگر تقاطع در الگوریتم ژنتیک برای تولید جواب های خوب استفاده می شود (هیرایاسو و همکاران، ۲۰۰۰). در این مقاله نیز از روشی مشابه برای حل مسئله (CLP) استفاده شده است.

نمودار جریان الگوریتم پیشنهادی در مقاله ی حاضر برای حل مساله (CLP) بر طبق شکل است. در این روش  $n$  فرآیند شبیه سازی تبریدی  $(SA_1, \dots, SA_n)$  به طور موازی جستجوی فضای جواب را از جواب های تصادفی آغاز می کنند. این عملیات با یک دمای اولیه ی مشترک برای همه ی فرآیندها آغاز می شود. سپس در هر فرآیند، عملیات جستجو تا رسیدن به حالت تعادل بر طبق الگوریتم شبیه سازی تبریدی انجام می گیرد. این عملیات در هر یک از فرآیندهای موازی به صورت زیر انجام می گیرد: ابتدا یک جواب همسایه از جواب جاری تولید شده و مقدار تابع هدف آن محاسبه می گردد. اگر جواب همسایه از جواب جاری برتر بود، این جواب جایگزین جواب جاری می شود و در غیر این صورت جواب همسایه با احتمال  $p$  بر طبق رابطه ی (۲) پذیرفته می شود. در این رابطه  $\Delta f$  تغییرات تابع هدف و  $T$  دمای جاری فرآیند است.

$$p = e^{-\frac{\Delta f}{T}} \quad (2)$$

1 Parallel Simulated Annealing  
2 Simulated Annealing

۲	۸	۲۰	۱۸	۱۰	۲۴
---	---	----	----	----	----

### تعیین جواب‌های اولیه:

در این روش حل جواب‌های اولیه هر فرآیند به طور تصادفی ایجاد می‌شود. البته در تولید تصادفی جواب‌ها باید دقت شود که در هر جواب مکان‌های تکراری وجود نداشته باشد.

### تعیین دمای اولیه و دمای نهایی:

هدف از این روش ارائه طرحی کلی برای بدست آمدن یک دمای اولیه با توجه به خصوصیات هر مساله بوده است. ایده این روش این است که در ابتدای فرآیند جستجو احتمال پذیرش یک جواب بد برابر با  $\mu$  فرض می‌شود. به این منظور ابتدا یک جواب ممکن اولیه به صورت تصادفی ایجاد می‌شود. سپس به تعداد  $\beta$  جواب همسایه ایجاد شده و میانگین اختلاف مقدار تابع هدف همسایگی‌هایی که بدتر از جواب اولیه هستند را با جواب جاری محاسبه می‌شود. این مقدار  $(\Delta f)$  نشان می‌دهد که به طور متوسط یک همسایگی بدتر چه اختلاف تابع هدفی را با جواب اولیه دارد. پس از آن از حل رابطه‌ی (۳) زیر مقدار دمای اولیه بدست می‌آید.

$$\mu = e^{-\left(\frac{\Delta f}{T_0}\right)} \quad (3)$$

با توجه به این معادله، مقدار  $T_0$  (دمای اولیه) به دست می‌آید. در این مقاله با انجام تست‌های مختلف بر روی مسائل آزمایشی، مقادیر ۰.۹ و ۲۰ برای  $\mu$  و  $\beta$  در نظر گرفته شده است. برای بدست آوردن دمای نهایی نیز از همین روش استفاده شده ولی مقدار  $\mu$  برابر با ۰.۰۵ در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که در ابتدای فرآیند جستجو برای

فرآیند تولید همسایگی تا رسیدن به حالت تعادل

ادامه می‌یابد.

پس از اینکه کلیه‌ی فرآیندهای SA به حالت تعادل رسیدند، جواب‌های جاری فرآیندها را دو به دو با هم تقاطع یک نقطه‌ای داده و به این ترتیب از  $n$  جواب جاری،  $n$  فرزند تولید می‌شوند. سپس از مجموع  $n$  جواب جاری و  $n$  جواب فرزند، تعداد  $n$  جواب بهتر به عنوان جواب‌های جاری در نظر گرفته می‌شوند. سپس فرآیند کاهش دما انجام شده و در صورتی که شرط پایان (رسیدن به دمای نهایی) ارضا نشده باشد فرآیندهای شبیه‌سازی تبرییدی از با شروع از جواب‌های جاری، آغاز به فعالیت می‌کنند. در الگوریتم شبیه‌سازی تبرییدی باید نحوه‌ی کدگذاری جواب‌های مساله، تعیین جواب‌های اولیه، دمای اولیه، دمای نهایی، فرآیند تبرید (کاهش دما)، حال تعادل، تولید همسایگی و نحوه‌ی محاسبه مقدار تابع هدف تعیین گردد. در ادامه نحوه‌ی تعیین هر یک از این موارد آمده است.

### نحوه‌ی کدگذاری جواب‌های مساله:

در این مساله باید در ابتدا تعداد مورد نیاز مراکز ارائه خدمت مشخص شود. پس از تعیین این تعداد، آرایه‌ای که به تعداد مراکز ارائه خدمت عنصر دارد تشکیل می‌گردد. در هر یک از خانه‌های این آرایه مشخص می‌گردد که از چه مکانی (ناحیه‌ای) به عنوان مرکز ارائه خدمت استفاده شود. نمونه‌ای از این آرایه در زیر آمده است. این آرایه نشان می‌دهد که نواحی ۲، ۸، ۲۰، ۱۸، ۱۰ و ۲۴ به عنوان نواحی که مراکز ارائه‌ی خدمت باید در آن‌ها تاسیس شوند، انتخاب شده‌اند.

### نحوه‌ی محاسبه مقدار تابع هدف:

به منظور محاسبه‌ی مقدار تابع هدف مربوط به یک جواب، نیاز به مقادیر  $x_{ij}^k(K)$  مربوط به آن جواب می باشد. برای محاسبه این مقادیر از روش تخصیص جزئی IAA استفاده گردید.

### مطالعه موردی

در این بخش یک مطالعه موردی آورده می شود و نتایج حاصل از آن ارائه و مورد ارزیابی قرار می گیرد. این مطالعه موردی مربوط به تعیین مراکز سلامت در شهر اصفهان است.

یکی از خدماتی که نقش بسزایی در تامین سلامت افراد یک شهر دارد، خدمات درمانی است. انتخاب مکان های مناسب جهت استقرار مراکز سلامت در سطح یک شهر هم می تواند کمک بزرگی به شهروندان جهت دسترسی راحت و سریع به این خدمات باشد و هم بار ترافیکی ناشی از این گونه سفرها در سطح آن شهر را کاهش دهد. منظور از مراکز سلامت، مراکزی است که در آن خدمات درمانی تخصصی ارائه می شود. ضمناً در این نوع مراکز امکانات و تجهیزات جانبی همچون آزمایشگاه، داروخانه و ... موجود می باشد.

شهر اصفهان به عنوان یکی از کلان شهرهای ایران دارای مشکل تراکم پزشک و مراکز پزشکی در مرکز شهر است.

افزایش گوناگونی فضای جستجو باید احتمال پذیرفتن یک جواب بد بالا و در انتهای فرآیند جستجو این احتمال کم باشد.

### حالت تعادل:

در مقاله‌ی حاضر عدم تغییر بهترین جواب در N تولید همسایگی متوالی در هر دما به معنای رسیدن فرآیند به حالت تعادل است. برای تنظیم مناسب N، مقادیر ۱۰، ۲۰ و ۲۵ برای N در نظر گرفته شد. این تنظیم پارامتر در بخش ۵ توضیح داده شده است.

### فرآیند تبرید (کاهش دما):

در فرآیند کاهش دما از رابطه‌ی (۴) استفاده شده است (لندی و میس، ۱۹۸۶).

$$T_c = \frac{T_{c-1}}{1 + \beta T_{c-1}} \quad (4)$$

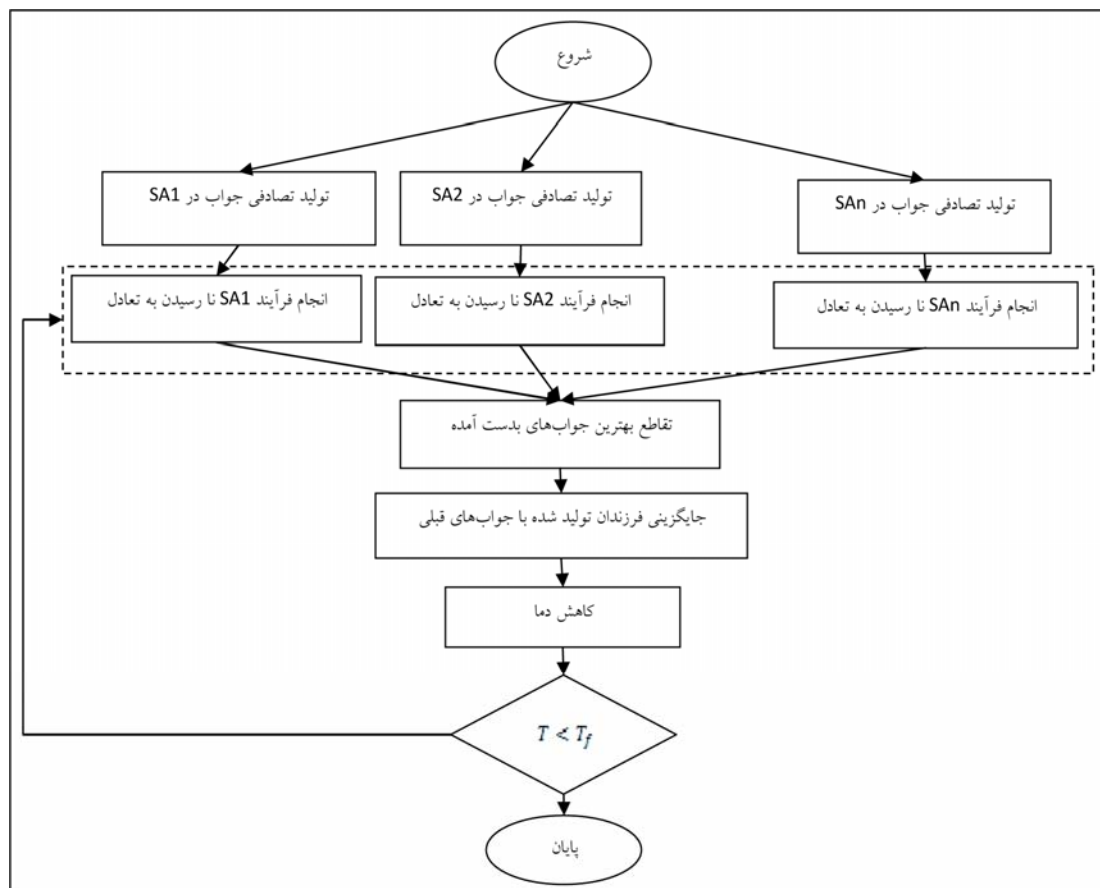
در این رابطه  $T_c$ : دما در مرحله‌ی c، و  $\beta$ : ضریب ثابت که مقدار آن از رابطه‌ی (۵) بدست می آید.

$$\beta = \frac{T_o - T_f}{N \times T_o \times T_f} \quad (5)$$

در رابطه‌ی (۵) N، تعداد تکرار در هر دما است.

### تولید همسایگی:

به منظور تولید همسایگی یکی از عناصر آرایه‌ی جواب را به صورت تصادفی انتخاب کرده و مقدار آن تصادفی تغییر داده می شود. البته در صورتی مقدار تصادفی جدید قابل قبول است که مقدار آن در آرایه جواب تکراری نباشد. اگر تکراری بود جواب قابل قبول نبوده و این کار تکرار می گردد تا یک جواب امکان پذیر تولید شود.



شکل ۱- نمودار جریان الگوریتم شبیه سازی تیریدی موازی

تاسیس مراکز سلامت در شهر اصفهان لازم است؛ مکان‌هایی که علاوه بر داشتن امکانات کافی پزشکی، قابلیت دسترسی سریع به آن‌ها برای بیماران وجود داشته باشد.

مطالعه موردی این مقاله بر مکان‌یابی مراکز سلامت در شهر اصفهان متمرکز شده است. منظور از مراکز سلامت، مراکزی است که در آن خدمات درمانی تخصصی ارائه می‌شود. ضمناً در این نوع مراکز امکانات و تجهیزات جانبی همچون آزمایشگاه،

این موضوع باعث شده است تا شهروندان اصفهانی برای تحصیل خدمات پزشکی با مشکل روبرو شوند. در واقع بار ترافیکی ایجاد شده در اثر سفرهای پزشکی باعث ازدحام در مرکز شهر شده و همین موضوع نه تنها خدمت‌رسانی سریع به بیماران را مغشوش نموده است، بلکه وضعیت سفرهای درون شهری دیگر شهروندان اصفهانی را با مشکل روبرو کرده است. به همین دلیل به نظر می‌رسد که انتخاب مکان یا مکان‌های مناسب برای

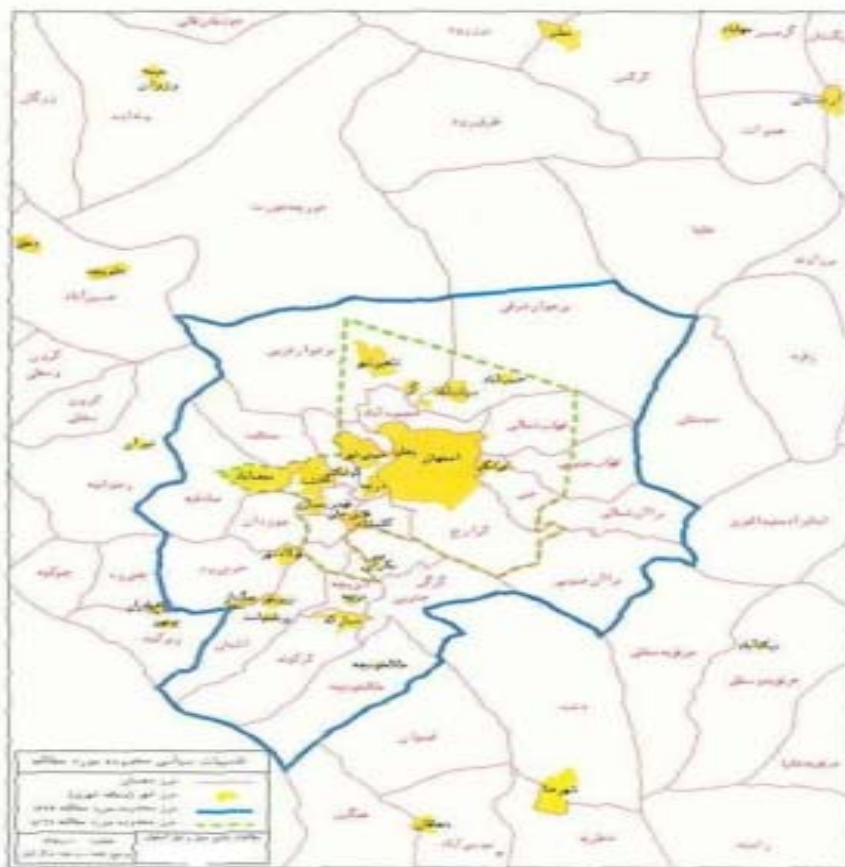
داروخانه، و ... موجود می باشد. در این مطالعه موردی با در نظر گرفتن عوامل و معیارهای موثر، سعی در انتخاب مکان‌های مناسب این‌گونه مراکز در سطح شهر اصفهان است. بدین ترتیب که از میان مجموعه‌ای از مکان‌های پیشنهادی، با لحاظ کردن تقاضا برای خدمات پزشکی در نواحی مختلف شهر اصفهان، نقاطی را برای احداث مراکز سلامت انتخاب می کند. این نقاط به گونه‌ای انتخاب می شوند که اهدافی خاص همچون دسترسی سریع و آسان متقاضیان خدمات پزشکی به آن‌ها فراهم آمده و یا معضلات ترافیکی ناشی از سفرهای پزشکی به مرکز شهر کاهش یابد.

در ادامه مراحل انجام این مطالعه موردی توضیح داده می شود.

### جمع آوری اطلاعات

اطلاعات مورد نیاز در این مطالعه موردی عبارتند از: ماتریس زمان سفر بین نواحی مختلف کلان شهر اصفهان در سال ۱۳۹۰، ماتریس مبدا- مقصد سفرهای پزشکی روزانه بین نواحی مختلف کلان شهر اصفهان در سال ۱۳۹۰، نواحی مستعد احداث مراکز سلامت در شهر اصفهان و ظرفیت آن‌ها.

شکل ۲ محدوده کلان شهر اصفهان و همچنین منطقه شهر اصفهان را نشان می دهد. کلیه اطلاعات ترافیکی مورد نیاز در این مقاله از بانک اطلاعاتی مطالعات جامع حمل و نقل اصفهان که از سال ۱۳۷۹ در محدوده کلان شهر اصفهان به اجرا در آمد، استخراج گردیده است (ممتحن، ۱۳۸۳). در آن مطالعه، محدوده کلان شهر اصفهان به ۳۲۱ ناحیه ترافیکی تقسیم شده و اطلاعات اقتصادی، اجتماعی، و ترافیکی مربوط به آن نواحی، جمع آوری گشته و در یک بانک اطلاعاتی ذخیره گردید. این اطلاعات شامل ماتریس مبدا- مقصد سفرهای روزانه پزشکی انجام شده در سطح محدوده کلان شهر اصفهان و همچنین ماتریس زمان سفر بین این مبدا- مقصدها برای سال ۱۳۷۹ می باشد. همچنین مدل های پیش-بینی ماتریس های یاد شده از گزارش فرآیند مدل-ساز برای برآورد تقاضای سفر آینده شهر اصفهان استخراج گردید. (مهندسین مشاور دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۶). مدیریت طرح تفضیلی شهر اصفهان هم هر ده سال یکبار کاربری های مختلف زمین در این شهر را برنامه ریزی و اعلام می نماید. اطلاعات کاربری زمین مورد نیاز این مطالعه هم از بانک اطلاعاتی این مدیریت برداشت شده است.



شکل ۲- کلان شهر اصفهان در سال ۲۰۰۰ (محدوده با خط پررنگ مشخص شده است)

### ایجاد اطلاعات مورد نیاز

از جمله اطلاعات مورد نیاز در این مطالعه، ماتریس مبدا- مقصد سفرهای پزشکی برای سال های آتی، و ماتریس میانگین زمان سفر پزشکی روزانه بین مبدا- مقصدهای مختلف می باشد. تعیین نواحی که پتانسیل تاسیس مراکز سلامتی را دارا بوده و برآورد ظرفیت این مراکز از دیگر اطلاعات مورد نیاز می باشد.

پیش بینی ماتریس مبدا- مقصد سفرهای پزشکی برای سال های آینده

از آنجایی که ماتریس مبدا- مقصد سفرهای پزشکی که از بانک اطلاعاتی مطالعات حمل و نقل شهر اصفهان بدست آمده است، مربوط به سال ۱۳۷۹ می باشد و اطلاعات مربوط به آن با گذر زمان و تغییرات اقتصادی- اجتماعی در حال تغییر می باشد، نیاز به مدلی برای پیش بینی ماتریس یاد شده برای سال های آینده است. مدل بکار گرفته شده در این رابطه از نوع مدل های رگرسیون می باشد، که از آوردن جزئیات مربوط به ساخت آن در این مقاله چشم پوشی می شود. (مهندسین مشاور دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۶)

## تعیین میانگین زمان سفر های پزشکی روزانه بین نواحی مختلف

ماتریس میانگین زمان سفرهای پزشکی روزانه بین نواحی مختلف در شهر اصفهان، یک میانگین وزنی از ماتریس های زمان سفر ساعتی از روز است که بیشترین سفرهای پزشکی در آن ساعات انجام گرفته است. و از رابطه (۷) محاسبه می شود:

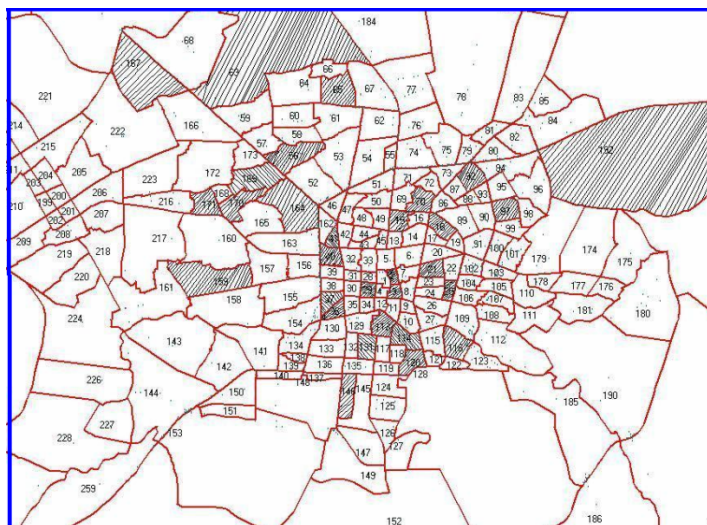
$$c_{ij} = \sum_{t \in \Omega} w^t c'_{ij} \quad (7)$$

در این رابطه  $c_{ij}$ : میانگین زمان سفر پزشکی روزانه بین نواحی  $i$  و  $j$  می باشد،  $w^t$ : سهمی از سفر پزشکی انجام گرفته در ساعت  $t$  از روز است ( $\Omega$  مجموعه ای از ساعات روز است که بیشترین سفرهای پزشکی در آن ساعات انجام گرفته است)، و  $c'_{ij}$ : زمان سفر بین نواحی  $i$  و  $j$  در ساعت  $t$  می باشد که از تخصیص تقاضای سفر ساعت  $t$  به شبکه خیابانی شهر اصفهان و به کمک نرم افزار

ترافیکی *emme/2* (راهنمای نرم افزار، ۱۹۹۶) به دست آمده است.

## تعیین ناحیه هایی که پتانسیل تاسیس مراکز سلامت را دارا می باشند

برای تعیین مکان هایی که از نظر وسعت برای احداث مراکز سلامت مناسب به نظر می آیند و همچنین ظرفیت آن ها از اطلاعات به دست آمده از گزارش طرح بازنگری طرح تفصیلی شهر اصفهان که از سازمان مسکن و شهرسازی اصفهان دریافت گردید، کمک گرفته شد و در نهایت ۳۰ مکان مستعد جهت احداث مراکز سلامت مشخص و پیشنهاد گردید (طرح بازنگری طرح تفصیلی شهر اصفهان، ۱۳۸۶). شکل ۳ نواحی مستعد جهت احداث مراکز سلامت را نشان می دهد (مرادی، ۱۳۸۶). اطلاعات مربوط به اسامی نواحی در گزارش "محدوده ی مورد مطالعه و ناحیه بندی آن" آمده است (ممتحن، ۱۳۸۰).



شکل ۳- نواحی مستعد پیشنهادی برای احداث مراکز درمانی و پزشکی



## نتایج

شد. همانطور که در بخش قبل عنوان شد، در مقاله‌ی حاضر عدم تغییر بهترین جواب در  $N$  تولید همسایگی متوالی در هر دما به معنای رسیدن فرآیند به حالت تعادل است که مقدار  $N$  باید تنظیم شود. همچنین تعداد نقطه‌ی شروع ( $M$ ) (تعداد الگوریتم شبیه‌سازی تبریدی به صورت موازی) باید تعیین شود. در جدول ۲ مقادیر  $N$  و  $M$  آمده‌است.

پس از جمع‌آوری و ایجاد اطلاعات مورد نیاز، به منظور تعیین مکان‌های مراکز سلامت در کلان شهر اصفهان در سال ۱۳۹۰، از مدل ( $CLP$ ) استفاده شد. مقادیر پارامترها در عملکرد و کارایی الگوریتم-های فراابتکاری تأثیر چشمگیری دارد. در این مقاله از طراحی آزمایش‌ها به منظور تنظیم پارامترها استفاده

جدول ۲- سطوح پارامترهای الگوریتم ترکیبی پیشنهادی

پارامتر	مقادیر
N	۱۰، ۲۰ و ۲۵
M	۴، ۸ و ۱۲

$tt3$ : میزان بهبود در تعداد سفرها به منطقه تجاری شهر یا نقاط خاص دیگر (تابع هدف شماره ۳) است.

همچنین برای بررسی کارایی الگوریتم شبیه‌سازی تبریدی موازی، نتایج به دست آمده از آن با نتایج بدست آمده از روش شمارش کامل مقایسه گردید. لازم به ذکر است که روش شمارش کامل تنها توانست تا مکان‌یابی ۵ مرکز سلامت را در زمانی منطقی (برای کلان شهر اصفهان) حل کند. در جدول ۴ نتایج حاصل از روش شمارش کامل آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود جواب‌های حاصل از دو روش، یکسان و الگوریتم شبیه‌سازی تبریدی موازی در تمام مسائل به جواب بهینه رسیده است. این نشان از کارایی الگوریتم یاد شده دارد.

در شکل نمودار زمان حل مسئله موردی اصفهان توسط روش شمارش کامل با تابع هدف سوم بر اساس تعداد مکان انتخابی برای مراکز

با توجه به سطوح پارامترها در جدول ۲، ۹ حالت مختلف برای روش حل تشکیل می‌شود. برای آزمون این ۹ حالت، از مطالعه‌ی موردی، استفاده شد. همچنین تعداد تکرار برای هر مساله، ۵ بار در نظر گرفته شده‌است. در نتیجه ۴۵ بار هر مساله حل شد. در پایان با توجه به میانگین مقادیر تابع هدف و زمان حل، حالت  $N=20$  و  $M=8$  انتخاب گردید.

نتایج روش حل پیشنهادی پس از تنظیم پارامترها در جدول ۳ آمده است. در این جدول:

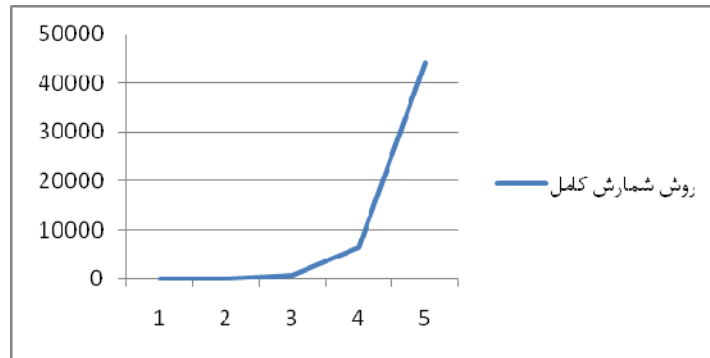
$p$ : تعداد مکان‌های مراکز سلامت

$tt1$ : میزان بهبود در زمان سفر در سطح شهر یا کلان شهر اصفهان (تابع هدف شماره ۱)؛

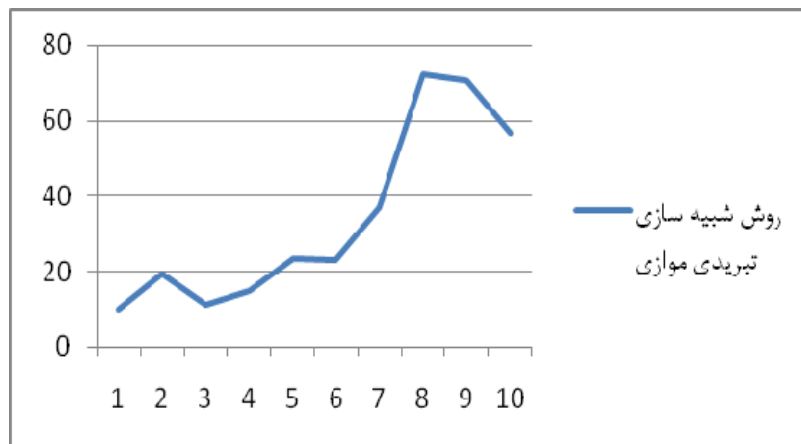
$tt2$ : میزان بهبود در تعداد سفرهای با زمان سفر بالاتر از زمان سفر استاندارد (تابع هدف شماره ۲)؛

این نشان از کارایی این الگوریتم نسبت به روش شمارش کامل است. از دیگر موارد مورد بحث در شکل ۵ کاهش زمان حل با افزایش ابعاد مساله در بعضی موارد است. این به این دلیل است که زمان حل الگوریتم شبیه‌سازی تبریدی وابسته به عوامل مختلفی از جمله پیچیدگی فضای جستجو و همچنین پارامترهایی مثل  $N$  (شاخص تعادل) است. مثلاً به طور میانگین در حالت  $P=10$  رسیدن به تعادل در هر دما زودتر از حالت  $P=9$  اتفاق افتاده است.

سلامت آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود در روش شمارش کامل با افزایش ابعاد مساله، زمان حل به صورت نمایی بالا می‌رود. روش شمارش کامل فقط توانست تا مکان‌یابی ۵ مرکز سلامت را در زمان منطقی انجام دهد. در شکل نمودار زمان حل مسائل توسط الگوریتم شبیه‌سازی تبریدی موازی با تابع هدف سوم آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود الگوریتم شبیه‌سازی تبریدی موازی مسائل مکان‌یابی ۱۰ مکان در زمان ۵۶.۸۳ ثانیه انجام داد و



شکل ۴- نمودار زمان اجرای الگوریتم شمارش کامل



شکل ۵- نمودار زمان اجرای الگوریتم شبیه‌سازی تبریدی موازی

جدول ۳- نتایج محاسباتی حل مدل (CLP) با الگوریتم شبیه سازی تیریدی موازی برای سه تابع هدف  $tt1$  ،  $tt2$

و  $tt3$  در مطالعه موردی کلان شهر اصفهان

$p$	$(tt1)$	زمان حل (ثانیه)	نواحی انتخاب شده	$(tt2)$	زمان حل (ثانیه)	نواحی انتخاب شده	$(tt3)$	زمان حل (ثانیه)	نواحی انتخاب شده
۱	۸۹۲۱۴.۳۱۷	۴.۷۷	۱۵	۳۹۶۴.۴۰	۴.۷۱	۱۵	۹۶۹۵.۸۹۳	۱۰.۰۸	۱۴۶
۲	۱۷۵۷۷۷.۷۱۹	۲۰.۰۲	۱۴۶ و ۱۵	۶۵۳۲.۱۰	۲۴.۰۵	۴۰ و ۱۵	۱۷۹۲۸.۶۱۳	۱۹.۵۵	۱۴۶ و ۱۹۲
۳	۲۵۹۲۵۵.۳۵۹	۱۱	۱۵ ، ۴۰ و ۱۴۶	۸۷۲۲.۴۴	۱۷.۳	۱۵ ، ۴۰ و ۱۹۲	۲۲۶۲۵.۲۵۵	۱۱.۳۶	۱۹۲ و ۱۴۶ ، ۶۳
۴	۳۴۰۹۹۴.۸۴۴	۱۶.۸۸	۱۵ ، ۴۰ ، ۱۴۶ و ۱۹۲	۱۰۸۹۳.۵۱	۱۷.۱۱	۱۵ ، ۴۰ ، ۶۳ و ۱۹۲	۲۶۹۳۴.۵۱۴	۱۵.۱۸	۱۹۲ ، ۱۴۶ ، ۶۳ و ۱۶۴
۵	۴۱۷۰۲۳.۲۸۶	۱۸.۲۵	۱۵ ، ۴۰ ، ۱۴۶ ، ۶۳ و ۱۹۲	۱۳۰۱۵.۴۲	۲۳.۳۱	۱۵ ، ۴۰ ، ۱۴۶ ، ۶۳ و ۱۹۲	۳۰۱۵۷.۸۸۷	۲۳.۶۲	۱۹۲ ، ۱۴۶ ، ۶۳ ، ۱۱۶ و ۱۶۴
۶	۴۸۶۲۳۸.۹۵۴	۱۹.۹۱	۱۵ ، ۴۰ ، ۱۴۶ ، ۶۳ ، ۱۹۲ و ۱۳۱	۱۴۵۶۶.۰۴	۱۸.۵	۱۵ ، ۴۰ ، ۱۴۶ ، ۶۳ ، ۱۹۲ و ۱۶۴	۳۳۲۳۸.۵۲۵	۲۳.۰۹	۱۴۶ ، ۱۶۴ ، ۶۳ ، ۱۱۶ و ۱۹۲ ، ۹۷
۷	۵۵۱۶۵۱.۶۲۷	۷۵.۳	۱۳۱ ، ۶۳ ، ۱۹۲ ، ۱۵ ، ۱۴۶ ، ۶۳ و ۴۰	۱۶۰۴۹.۴۵	۴۷.۰۷	۱۳۱ ، ۶۳ ، ۱۹۲ ، ۱۵ ، ۱۴۶ ، ۶۳ و ۴۰	۳۶۱۷۷.۴۴۰	۳۶.۹۹	۱۶۴ ، ۱۱۶ ، ۹۷ ، ۶۵ ، ۱۹۲ ، ۱۴۶ و ۶۳
۸	۶۰۷۷۴۶.۳۶۹	۸۳.۵۷	۱۹۲ ، ۱۴۶ ، ۶۳ ، ۱۵ ، ۱۴۶ ، ۶۳ و ۴۰	۱۷۰۴۵.۸۵	۱۰۵.۴۱	۱۹۲ ، ۱۴۶ ، ۶۳ ، ۱۵ ، ۴۱ ، ۴۰ و ۶۳	۳۸۹۵۱.۵۳۵	۷۲.۳۱	۱۴۶ ، ۹۷ ، ۹۲ ، ۷۰ ، ۱۶۴ ، ۱۷۱ و ۶۳ ، ۱۹۲
۹	۶۳۴۷۰۴.۴۴۹	۵۷.۳۹	۵۶ ، ۶۳ ، ۱۹۲ ، ۱۵ ، ۱۴۶ ، ۶۵ و ۱۳۱	۱۷۹۰۹.۳۰	۴۶.۱۵	۱۳۱ ، ۴۰ ، ۱۳۱ ، ۱۶۷ ، ۱۴۶ ، ۶۳ و ۱۹۲ ، ۶۵	۴۰۷۲۸.۱۹۲	۷۰.۵۳	۱۶۴ ، ۵۶ ، ۱۹۲ ، ۱۱۶ ، ۶۵ ، ۱۴۶ ، ۹۷ و ۹۲ ، ۶۳
۱۰	۶۵۹۰۳۴.۴۵۱	۸۱.۱۴	۲۱ ، ۱۴۶ ، ۱۹۲ ، ۱۵ ، ۱۶۷ ، ۱۶۴ ، ۱۳۱ ، ۶۵ و ۴۰	۱۸۲۹۶.۶۵	۸۲.۲۱	۱۶۴ ، ۱۴۶ ، ۶۵ ، ۱۵ ، ۱۹۳ ، ۴۰ ، ۱۳۱ ، ۱۶۷ ، ۶۳ و ۱۱۴	۴۲۴۲۳.۸۳۵	۵۶.۸۳	۱۹۲ ، ۱۶۴ ، ۶۳ ، ۱۱۶ ، ۵۶ ، ۱۴۶ و ۶۵

جدول ۴- نتایج محاسباتی حل مدل (CLP) با استفاده از روش شمارش کامل

$p$	$(tt1)$	$(tt2)$	$(tt3)$	زمان حل (ثانیه)
۱	۸۹۲۱۴.۳۱۷	۳۹۶۴.۴۰۰	۹۶۹۵.۸۹۳	۲
۲	۱۷۵۷۷۷.۷۱۹	۶۵۳۲.۱۰۹	۱۷۹۲۸.۶۱۳	۵۳
۳	۲۵۹۲۵۵.۳۵۹	۸۷۲۲.۴۴۵	۲۲۶۲۵.۲۵۵	۷۵۸
۴	۳۴۰۹۹۴.۸۴۴	۱۰۸۹۳.۵۱۳	۲۶۹۳۴.۵۱۴	۶۳۷۲
۵	۴۱۷۰۲۳.۲۸۶	۱۳۰۱۵.۴۲۷	۳۰۱۵۷.۸۸۷	۴۴۱۷۶

## نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات برای پژوهش‌های آینده

انتخاب مکان‌های مناسب جهت استقرار مراکز ارائه خدمت در سطح یک شهر می‌تواند کمک بزرگی به شهروندان جهت دسترسی راحت و سریع به این خدمات باشد و بار ترافیکی ناشی از این‌گونه سفرها در سطح آن شهر را کاهش دهد. به دلیل نبود برنامه ریزی صحیح شهری در گذشته، مراکز ارائه خدمات شهری در مکان‌های نامناسبی استقرار یافته، و با توسعه شهرها معضلات فراوانی را بر شهر تحمیل کرده اند. یکی از این معضلات، شلوغی و ازدحام ترافیک شهری است. با توجه به قرار گرفتن بعضی از مراکز ارائه خدمت در مکان‌های شلوغ شهر و مراجعه مشتریان به آن‌ها، وضعیت ترافیکی بسیاری از شهرها دچار نابسامانی گشته است. یکی از روش‌های کاهش اثرات ترافیکی این پدیده، آن است که بخش دولتی با احداث مراکز ارائه خدمت جدید در مکان‌هایی مناسب، به رقابت با مراکز قدیمی پرداخته و مشتریان آن‌ها را جذب نماید.

هدف از انجام این پژوهش، انجام فعالیتی علمی در جهت مدل‌سازی و حل مساله مکان‌یابی چنین مراکزی در سطح شهرها بوده است. مراکز جدیدی که از نظر مکانی و ارائه خدمات، قابلیت رقابت با مراکز قبلی را داشته باشند و به مرور زمان مشتریان مراکز قدیمی را جذب خود کرده و مشکلات و معضلات ترافیکی به وجود آمده در سطح شهرها را کاهش دهند. در این مقاله، مدل برنامه‌ریزی ریاضی (CLP) ارائه گردید. این مدل برای مکان‌یابی مراکزی با محدودیت ظرفیت ارائه خدمت

طراحی شده است. حل این مدل، مکان‌هایی را جهت احداث مراکز ارائه خدمت در شهرها ارائه می‌کند که علاوه بر قابلیت رقابت با مراکز قدیمی و جذب مشتریان آن‌ها، معضلات ترافیکی ایجاد شده توسط آن‌ها را به میزان زیادی کاهش دهند. مسأله (CLP) از نوع مسائل بهینه‌سازی ترکیبی است، و روش‌های شمارشی در حل اینگونه مسائل کارا نمی‌باشند. لذا در این مقاله از الگوریتم شبیه‌سازی تبریدی موازی به منظور حل آن استفاده شده است. این الگوریتم، حالت توسعه‌یافته‌ی الگوریتم شبیه‌سازی تبریدی (SA) است که از چندین فرآیند شبیه‌سازی تبریدی به صورت موازی برای جستجوی فضای جواب استفاده می‌کند. در فصل پنجم، نتایج حل مدل (CLP) با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبریدی موازی برای تعیین مکان‌یابی مراکز سلامت در شهر اصفهان ارائه گشته است. نتایج بدست آمده حاکی از دقت و سرعت الگوریتم شبیه‌سازی تبریدی موازی، در حل مدل (CLP) برای مطالعه موردی شهر اصفهان است.

در ادامه پیشنهاد می‌شود:

- روش آورده شده در این مقاله برای مکان‌یابی تسهیلات خدماتی دیگر در شهرها مورد بررسی و استفاده قرار گیرد.
- در این مقاله با اعمال فروضی بر رفتار متقاضیان خدمات پزشکی در صورت تاسیس مراکز سلامت، به ساده‌سازی مدل پرداخته شد. پیشنهاد می‌شود، تلاش‌هایی بیشتری جهت آزادسازی مدل از این فروض انجام گیرد.

Adel, A. A., John, A. W. (1978). Probabilistic Formulation of the Emergency Service Location Problem. *Operational Research Society*, 1167-1179.

Bautista, J., Pereira J. (2007). A GRASP algorithm to solve the unicast set covering problem. *Computers & Operation research* 34, 3162-3173.

Cheng R. W., C. T. L., Huang C. C., . (2007). Optimal selection of location for Taiwanese hospitals to ensure a competitive advantage by using the analytic hierarchy process and sensitivity analysis. *Building and Environment*, 1431-1444.

Daniel Granot, F. G., Tal Raviv. (2010). On competitive sequential location in a network with a decreasing demand intensity. *European Journal of Operational Research*, 205 301-312.

EMME/2, 1996, User's manual, Software Release 8, Montreal, Canada.

Frank Plastria, L. V. (2008). Discrete models for competitive location with foresight. *Computers & Operations Research* 35, 683 - 700.

Galvao, R., et al. (2000). A comparison of Lagrangean and surrogate relaxations for the maximal covering location problem. *European Journal Of Operation Research* 124, 377-389.

Hande Küçükaydin, N. A., I. Kuban Altinel. (2011). Competitive facility location problem with attractiveness adjustment of the follower: A bilevel programming model and its solution. *European Journal of Operational Research*, 208, 206-220.

HIROYASU, T., MIKI, M., OGURA, M. (2000, November 6-9). Parallel Simulated Annealing using Genetic Crossover. Paper presented at the Proceedings of the IASTED International Conference PARALLEL AND DISTRIBUTED COMPUTING AND SYSTMTEMS Las Vegas, Nevada USA.

Honggzong, J., Fernando, O., Maged, D. (2005). A Modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies. [www.illposed.usc.edu](http://www.illposed.usc.edu).

Lawrence, V. S., Marks, D., Chung, P.T. (2007). The stochastic location model with risk pooling. *European Journal Of Operation Research* 179(3), 1221-1238.

• در مطالعه موردی این مقاله هیچگونه اشاره‌ای به چگونگی جذب پزشکان به مراکز سلامت تازه تاسیس، نشده است. پیشنهاد می‌شود در ارتباط با ارائه سیاست‌هایی در این مورد فکر شود.

## مراجع

ممتحن، (۱۳۸۳)، خلاصه گزارش: شناخت وضع موجود و فرآیند مدل‌سازی عرضه و تقاضای حمل و نقل در اصفهان، مطالعات جامع حمل و نقل اصفهان، گزارش شماره ۱۰-۸۳ مرکز مطالعات و تحقیقات حمل و نقل، دانشگاه صنعتی شریف.

مهندسین مشاور دانشگاه صنعتی اصفهان، (۱۳۸۶)، فرآیند مدل‌سازی برای برآورد تقاضای سفر آینده شهر اصفهان، مطالعات جامع حمل و نقل اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان.

مشاورین نقش جهان پارس، (۱۳۸۶)، شارستان، شهر و خانه، باوند، سراوند و آتک، "طرح بازنگری طرح تفصیلی شهر اصفهان"، کارفرما: حوزه معاونت شهرسازی.

ممتحن، (۱۳۸۰)، محدوده‌ی مورد مطالعه و ناحیه‌بندی آن، مطالعات جامع حمل و نقل اصفهان، گزارش شماره ۰۱-۸۰، پژوهشکده حمل و نقل شریف، مرکز مطالعات و تحقیقات حمل و نقل (ممتحن)، دانشگاه صنعتی شریف.

مرادی، ح، (۱۳۸۶)، مکان‌یابی مراکز سلامت در شهر اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده صنایع و سیستم‌ها.

Aboolian, R., Berman, O., Krass, D. (2007). Competitive facility location and design problem. *European Journal of Operational Research* 182, 40-62.

- Lundy, M., and A. Mees (1986). Convergence of an annealing algorithm. *Mathematical Programming*, 34, 111–124.
- M. Elena Sáiz , E. M. T. H., Blas Pelegrín (2010). On Nash equilibria of a competitive location-design problem. *European Journal of Operational Research* xxx xxx–xxx.
- Mark S. D., L. K. D. (2004). *A Handbook of OR/MS in Health Care: Health Care Facilities*: Northwestern University.
- McFadden D. (1965). Disaggregate behavioral travel demand's RUM side a 30-year retrospective.  
<http://citeeseer.ist.psu.edu/mcfadden00disaggregate.html>.
- Qiang Meng, Y. H., Ruy Long Cheu. (2009). Competitive facility location on decentralized supply chains. *European Journal of Operational Research* 196, 487–499.
- Redondo, J., Fernándezb, J.,Garcíaa, I., Ortigosaa, P. (2008). Parallel algorithms for continuous competitive location problems. *Optimization Methods and Software*, 23, 779–791.
- Şahin, A., Türkbey, O. (2009). A simulated annealing algorithm to find approximate Pareto optimal solutions for the multi-objective facility layout problem. *Int J Adv Manuf Technol* 41, 1003–1018.
- Toregas, c., Sawain, R., Reville, C., Bergman, L. (1971). The location of emergency service facility. *Operations Research*, 1363-1373.
- Wang, Y., Wang, C. (2010). Locating passenger vehicle refueling stations. *Transportation Research Part E* xxx, xxx, xxx–xxx.