

مدیریت تولید و عملیات، دوره هفتم، شماره (۲)، پیاپی (۱۳)، پاییز و زمستان ۱۳۹۵  
دریافت: ۹۲/۹/۲۸ پذیرش: ۹۳/۱۰/۱۰  
صص: ۸۳-۱۰۴

## یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای مکان‌یابی پارکینگ‌های عمومی غیرحاشیه‌ای (مطالعه موردی: منطقه مرکزی شهر اصفهان)

مهدی اسکندری<sup>۱</sup>، علی شاهنده<sup>۲\*</sup>، نادر شتاب بوشهری<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد- دانشکده مهندسی صنایع - دانشگاه صنعتی اصفهان ° اصفهان - ایران

۲- دانشیار- دانشکده مهندسی صنایع - دانشگاه صنعتی اصفهان ° اصفهان ° ایران

۳- دانشیار- دانشکده مهندسی صنایع - دانشگاه صنعتی اصفهان ° اصفهان ° ایران

### چکیده

با توجه به افزایش جمعیت و رشد ناموزون شهرها از یک طرف و افزایش خودروها از طرف دیگر به منظور کاهش ازدحام ترافیکی در مناطق مرکزی شهرها، احداث پارکینگ‌های غیرحاشیه‌ای به‌عنوان یکی از راهکارهای مؤثر، می‌تواند مدنظر قرار گیرد. احداث این تسهیلات در صورتی که با مدیریت، ترافیک با کاهش حجم پارک حاشیه‌ای همراه شود، سبب افزایش عرض مفید خیابان‌ها و روان‌تر شدن ترافیک خواهد شد. از آنجایی که ایجاد پارکینگ‌های عمومی مستلزم صرف هزینه‌های زیاد است، لذا تعیین مکان بهینه آن‌ها به شیوه‌ای که همه شهروندان به‌نحو مؤثر از آن بهره‌مند شوند، ضروری است. در این مقاله با استفاده از تئوری مکان‌یابی یک مدل ریاضی چندهدفه شامل: بیشینه‌کردن تقاضای پوشش‌یافته، کمینه‌کردن فاصله پیاده‌روی و هزینه‌های مختلف، برای مکان‌یابی پارکینگ‌های غیرحاشیه‌ای عمومی ارائه شد. در این تحقیق فاصله پوشش پارکینگ‌ها به‌صورت غیرقطعی فرض شد و انواع مختلف پارکینگ‌ها مدنظر قرار گرفت. در نهایت، مدل پیشنهادی بر روی دو ناحیه از نواحی ترافیکی محدوده مرکزی شهر اصفهان، پس از برداشت اطلاعات موردنیاز، اجرا شد. سپس به‌منظور حل مدل چندهدفه ارائه شده، از روش محدودیت استفاده شد که جواب‌ها، تأیید کارشناسان حمل‌ونقل شهری را به همراه داشت.

واژه‌های کلیدی: پارکینگ‌های عمومی، تصمیم‌گیری چندهدفه، شهر اصفهان، مکان‌یابی تسهیلات، مدل‌سازی ریاضی.

## مقدمه

رشد شهرنشینی و تمرکز فعالیت های شهری در مراکز شهرها، پویایی بیش از پیش زندگی در شهرهای بزرگ، نیاز شهروندان به جابه جایی سریع و تعدد مبادی و مقاصد در جابه جایی های روزمره و عدم پاسخگویی و کارایی سیستم حمل و نقل عمومی، از جمله عوامل شکل گیری ازدحام ترافیکی در کلان شهرها هستند. همچنین، کاهش ظرفیت معابر به علت پارک حاشیه ای<sup>۱</sup>، حرکت نامنظم و کند خودروهایی که به دنبال فضای مناسب برای پارک هستند و توقف های حاصل از ورود یا خروج یک خودرو به پارک حاشیه خیابان در تشدید کندی ترافیک معابر مؤثر هستند. از جمله راه کارها جهت کاهش ازدحام ترافیکی استفاده از پارکینگ های غیرحاشیه ای<sup>۲</sup> است (مختاری ملک آبادی، ۱۳۸۸).

پارکینگ های غیرحاشیه ای مانند هر تسهیل دیگری نیاز به مکانی برای استقرار دارند که مسلماً با مکان یابی درست و منطقی علاوه بر تأثیر در کاهش ترافیک، می توانند بهره وری هر چه بیشتر این تسهیلات را نیز تضمین کنند.

در مسئله مکان یابی پارکینگ ذی نفعان مختلفی (نظیر دولت یا شهرداری، سرمایه گذاران و مردم یا کاربران پارکینگ ها) وجود دارند که هر یک از آن ها دارای اهداف متفاوتی هستند؛ گاه اهداف این گروه ها همسو نیست، لذا لازم است راه حلی ارائه شود که رضایت نسبی تمام ذی نفعان را فراهم کند.

پارکینگ های غیرحاشیه ای دارای انواع مختلفی نظیر پارکینگ هم سطح، طبقاتی، زیرزمینی، بامی و مکانیکی، هستند (شاهی، ۱۳۹۰) که هزینه استقرار و ظرفیت هر یک از آن ها متفاوت است؛ به همین دلیل

باید در مکان یابی پارکینگ به نوع پارکینگ انتخابی نیز توجه شود. هدف این تحقیق تعیین بهترین مکان ها برای استقرار تعدادی پارکینگ غیرحاشیه ای از بین نقاط کاندید و تعیین نوع بهینه پارکینگ ها، با در نظر گرفتن پارکینگ های موجود، است، به نحوی که بیشترین تقاضای پارکینگ پوشش داده شده و ضمناً هزینه های مترتبه و فاصله پیاده روی نیز کمینه شود.

در ادامه، بعد از مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه مکان یابی پارکینگ های غیرحاشیه ای، فرضیات مسئله مدنظر و روند مدل سازی آن تشریح می شود. در بخش بعدی، میزان کمبود فضای پارکینگ برای نواحی ترافیکی منطقه مرکزی شهر اصفهان مشخص شده، نحوه جمع آوری اطلاعات مورد نیاز، پیاده سازی و نتایج حاصل از مدل برای دو ناحیه از نواحی ذکر شده، آورده شده است. جمع بندی و نتیجه گیری نیز در بخش پنجم ارائه خواهد شد.

## مروری بر ادبیات موضوع

مکان یابی تسهیلات<sup>۳</sup> یکی از زمینه هایی است که پژوهشگران رشته های مختلف به آن توجه کرده اند. یکی از این تسهیلات شهری که به دلیل اهمیت و تأثیرگذاری، بسیار درخور توجه است، پارکینگ های غیرحاشیه ای است. در زمینه مکان یابی تسهیلات پارکینگ غیرحاشیه ای مطالعات متعددی انجام شده که اغلب آن ها بر پایه سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۴</sup> و تحلیل سلسله مراتبی<sup>۵</sup> بوده است.

قنبری و قاضی عسکر نایینی با در نظر گرفتن ۵ معیار فاصله از مراکز جذب سفر، نزدیکی به خیابان های با سطح دسترسی بالا، کاربری مناسب برای پارکینگ، ارزش ملک و تراکم جمعیت ساکن

هدف کمینه کردن هزینه کرایه و کل فاصله وزن دار بین تسهیلات پارکینگ و نقاط تقاضا را دنبال کردند؛ در این پژوهش تعداد تسهیلات پارکینگ نامشخص فرض شده ولی سعی شده است تا با حداقل تعداد تسهیلات، کل تقاضای پارکینگ برآورده شود.

در اغلب مطالعات گذشته از یک تابع هدف استفاده شده است که با توجه به ماهیت مسئله مکان‌یابی پارکینگ‌های عمومی و به دلیل جلب رضایت ذی نفعان مختلف لازم است از تابع هدف چندگانه بهره برده شود. همچنین در مطالعات انجام شده در زمینه مکان‌یابی تسهیلات پارکینگ، اغلب پارامترها قطعی فرض شده‌اند که در واقعیت این‌طور نیست. علاوه بر این به پارکینگ‌های موجود نیز توجه نشده است.

#### تعریف مسئله و مدل‌سازی

در این تحقیق فرض می‌شود بخشی از شبکه حمل و نقل شهری دارای تعدادی نقطه تقاضای پارکینگ (کاربری‌ها و تسهیلاتی که جذب سفر می‌کنند) و نقطه کاندید جهت استقرار پارکینگ است. ضمناً در هر نقطه کاندید هر نوع پارکینگ امکان استقرار دارد که متناسب با هر نوع، نقطه کاندید می‌تواند ظرفیت و هزینه متفاوتی پیدا کند. همچنین فرض می‌شود فاصله پوشش تسهیلات پارکینگ به صورت قطعی نیست. علاوه بر فرضیات مطرح شده، فرض‌های زیر نیز در این تحقیق در نظر گرفته شده‌اند:

- فاصله بین نقاط تقاضا و نقاط کاندید بر مبنای فاصله پیاده روی و براساس فواصل مراکز ثقلی این نقاط محاسبه می‌شود.

نسبت به شناسایی مکان‌های مناسب پارکینگ اقدام کرده‌اند.

بر اساس مقایسه زوجی وزن هر یک از این معیارها محاسبه شده است. سپس به دلیل ترکیب لایه‌های اطلاعاتی از سه روش بولین، وزن‌دهی چندگانه و منطق فازی بهره گرفته شده و نقشه مطلوبیت با استفاده از هر کدام از این روش‌ها تهیه گردیده که از بین این روش‌ها منطق فازی بهترین نتایج را فراهم کرده است (قنبری و قاضی‌عسکر ناینی، ۱۳۹۰). سایر تحقیقاتی که بر اساس سیستم اطلاعات جغرافیایی به مکان‌یابی پارکینگ پرداخته‌اند، تنها با تغییر معیارها و روش ترکیب لایه‌ها انجام شده‌اند (متکان و همکاران، ۱۳۸۸ و عباسی کلکانی و سیدحسینی، ۱۳۹۰).

تعدادی از تحقیقات نیز به رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی را توجه کرده‌اند. مینگ وی<sup>۶</sup> (۲۰۰۳) فرض کرده است تقاضای پارکینگ وابسته به زمان است و قرار است  $p$  پارکینگ جدید در زمان‌های از قبل تعیین شده، مستقر شوند، لذا هدف پیدا کردن بهترین مکان برای این پارکینگ‌هاست.

در مطالعه مینگ چیو<sup>۷</sup> (۲۰۰۵)، دو تابع هدف در نظر گرفته شده است: تابع هدف اول، بیشینه کردن تقاضای برآورده شده با تسهیلات (بیشینه کردن بهره‌وری تسهیلات) و تابع دوم هدف هم به دنبال کمینه کردن کل هزینه اجتماعی شامل: هزینه ساخت، هزینه عملیاتی و نگهداری برای اپراتورها، هزینه پیاده‌روی برای کاربران، هزینه کاهش آلودگی هوا و سروصدا برای تمام مردم و هزینه جریمه برای تقاضاهای برآورده نشده، است.

وانگ<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه خود تعیین بهترین مکان‌ها برای تسهیلات پارکینگ عمومی با

**متغیرهای تصمیم:**

$y_{jp}$ : اگر در نقطه کاندید  $j$ ، پارکینگ نوع  $p$  استقرار یابد یک، وگرنه صفر می‌شود.

$x_{ijp}$ : میزان تقاضای پارکینگ در نقطه  $i$  که پارکینگ نوع  $p$  مستقر در نقطه کاندید  $j$  آن را برآورده می‌کند.

$z_i$ : میزان تقاضای برآورده نشده در نقطه  $i$

**۲- توابع هدف**

در این مقاله سه هدف کلی شامل بیشینه کردن پوشش نقاط تقاضا و کمینه کردن فاصله پیاده روی و هزینه‌های مختلف برای مسئله مکان‌یابی پارکینگ در نظر گرفته شده است.

**۱-۲- بیشینه کردن پوشش نقاط تقاضا و کمینه کردن فاصله پیاده روی**

از اهدافی که می‌تواند در مکان‌یابی پارکینگ‌های غیرحاشیه‌ای به آن توجه شود، بیشینه کردن پوشش<sup>۹</sup> است، زیرا موجب بهره‌وری بیشتر این تسهیلات خواهد شد. کمینه کردن فاصله پیاده روی یا نزدیکی به مراکز جذب سفر نیز از دیگر اهدافی است که در مکان‌یابی پارکینگ بسیار درخور توجه قرار گرفته است (قنبری و قاضی‌عسکر نایینی، ۱۳۹۰، وانگ و همکاران، ۲۰۰۸، وی، ۲۰۰۳ و چیو، ۲۰۰۵). در این تحقیق سعی شده این دو هدف با هم در نظر گرفته شوند؛ ضمن آنکه فاصله پوشش غیرقطعی فرض شده است.

بدین منظور، بر اساس فاصله بین نقاط تقاضا و نقاط کاندید، یک معیار مطلوبیت ( $u_{ij}$ ) تعریف شده که عددی بین صفر و یک است. در این تحقیق فرض

- فاصله بین نقاط تقاضا و نقاط کاندید برابر با کوتاه‌ترین مسیر بر روی شبکه در نظر گرفته می‌شود.  
- تعدادی پارکینگ از قبل در منطقه وجود دارد.

**۱- نمادگذاری**

نمادهای به کاررفته در این مسئله به شرح ذیل است:

ورودی‌ها:

$I$ : مجموعه نقاط تقاضای پارکینگ که با اندیس  $i$  مشخص می‌شود.

$J$ : مجموعه نقاط کاندید استقرار پارکینگ که با اندیس  $j$  مشخص می‌شود.

$P$ : مجموعه انواع پارکینگ که با اندیس  $p$  مشخص می‌شود.

$d_{ij}$ : فاصله نقطه تقاضا  $i$  از نقطه کاندید  $j$

$u_{ij}$ : مطلوبیت نقطه کاندید  $j$  برای نقطه تقاضای  $i$

$D_i$ : میزان تقاضای پارکینگ در نقطه  $i$

$b_{jp}$ : ظرفیت نقطه کاندید  $j$  در صورت استقرار

پارکینگ نوع  $p$

$ec_{jp}$ : هزینه کل احداث پارکینگ در نقطه کاندید

$j$  در صورت استقرار پارکینگ نوع  $p$

$oc_p$ : هزینه سالیانه عملیاتی و نگهداری هر واحد

پارکینگ نوع  $p$

$pc$ : هزینه سالیانه جریمه به ازای هر واحد

تقاضای برآورده نشده

$DC_1$ : فاصله پوشش اولیه

$DC_2$ : حداکثر فاصله پوشش

$n$ : تعداد پارکینگ‌های جدید

پیاده‌روی بین نقاط تقاضا و پارکینگ‌ها نیز کمینه می‌شود.

$$\text{Maximize } Z_1 \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{p \in P} u_{ij} x_{ijp} \quad (3)$$

### ۲-۲ کمینه کردن هزینه‌ها

از دیگر اهداف درخور توجه کمینه‌سازی هزینه‌ها است (قنبری و قاضی‌عسکر نایینی، ۱۳۹۰، وانگ و همکاران، ۲۰۰۸ و چو، ۲۰۰۵). این تابع هدف بر اساس رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$\text{Minimize } Z_2 \times \sum_j \sum_{j \in J} \sum_{p \in P} ec_{jp} \times y_{jp} \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{p \in P} oc_p b_{jp} y_{jp} + \sum_{i \in I} pc \times z_i$$

در این رابطه، جزء اول هزینه خرید زمین و احداث پارکینگ، جزء دوم هزینه سالیانه عملیاتی و نگهداری و جزء سوم هزینه جریمه به ازای تقاضاهای برآورده نشده است. به‌منظور هم‌واحد کردن این اجزاء مختلف، هزینه‌ها به‌صورت سالیانه تبدیل شده‌اند. با فرض اینکه هزینه پارکینگ بر اساس قیمت تمام‌شده هر واحد پارکینگ محاسبه می‌شود، لذا با کمینه کردن این معیار، هزینه کرایه نیز حداقل خواهد شد.

### ۳- مدل پیشنهادی

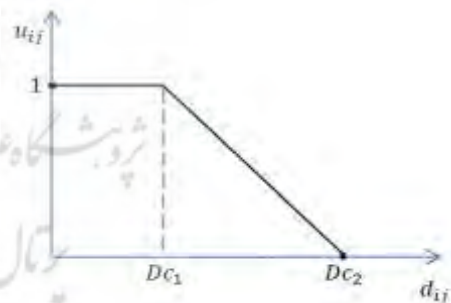
علاوه بر توابع هدف ۳ و ۴ محدودیت‌های زیر در مدل ریاضی پیشنهادی برای مکان‌یابی پارکینگ‌های غیرحاشیه‌ای در نظر گرفته شده‌اند:

شده است که دو فاصله پوشش وجود دارد. در صورتی که فاصله بین نقطه تقاضا و کاندید کمتر از فاصله پوشش اولیه ( $DC_1$ ) باشد، معیار مطلوبیت یک بوده و هرچه فاصله بین این نقاط بیشتر شود، این معیار کاهش می‌یابد. زمانی که فاصله این نقاط از حداکثر فاصله پوشش ( $DC_2$ ) بیشتر شود، معیار  $u_{ij}$  برابر صفر خواهد شد. رابطه (۱) نحوه محاسبه این معیار را نشان می‌دهد.

$$u_{ij} = \begin{cases} 1 & d_{ij} \leq DC_1 \\ f(d_{ij}) & DC_1 < d_{ij} < DC_2 \\ 0 & d_{ij} \geq DC_2 \end{cases} \quad (1)$$

با فرض اینکه  $f(d_{ij})$  بر اساس رابطه (۲) محاسبه شود، شکل (۱)،  $u_{ij}$  را بر اساس فاصله‌های مختلف بین نقاط تقاضا و کاندید نشان می‌دهد.

$$f(d_{ij}) = \frac{DC_2 - d_{ij}}{DC_2 - DC_1} \quad (2)$$



شکل (۱) معیار مطلوبیت بر اساس فاصله بین نقاط تقاضا و کاندید

با توجه به معیار مطلوبیت، تابع هدف پیشنهادی پوشش تقاضا به صورت رابطه (۳) ارائه شده است. در این رابطه علاوه بر اینکه فاصله پوشش پارکینگ‌ها به صورت غیرقطعی فرض شده است، فاصله

$$\text{Maximize } Z_1 \quad \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{p \in P} u_{ij} x_{ijp}$$

$$\text{Minimize } Z_2 \quad \sum_{j \in J} \sum_{p \in P} ec_{jp} y_{jp} + \sum_{j \in J} \sum_{p \in P} oc_p b_{jp} y_{jp} + \sum_{i \in I} pc z_i$$

Subject to:

$$\sum_{j \in J} \sum_{p \in P} x_{ijp} z_i \leq D_i \quad i \in I \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ijp} b_{jp} y_{jp} \leq 1 \quad j \in J, p \in P \quad (6)$$

$$\sum_{p \in P} y_{jp} \leq 1 \quad j \in J \quad (7)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{p \in P} y_{jp} \leq n \quad (8)$$

$$y_{jp} \in \{0,1\} \quad j \in J, p \in P \quad (9)$$

$$x_{ijp} \geq 0 \quad i \in I, j \in J, p \in P \quad (10)$$

$$z_i \geq 0 \quad i \in I \quad (11)$$

موجود به تعداد پارکینگ‌های جدید اضافه شده، و هزینه خرید زمین و احداث برای آن‌ها صفر فرض شود.

#### مطالعه موردی (منطقه مرکزی شهر اصفهان)

شهر تاریخی اصفهان، نظیر دیگر کلان‌شهرهای کشور دارای مشکلات عدیده ترافیکی است. یکی از این مشکلات کمبود فضای پارک در محدوده مرکزی شهر می‌باشد. بر اساس مطالعات جامع حمل‌ونقل اصفهان، کلان‌شهر اصفهان به ۳۲۱ ناحیه ترافیکی تقسیم شده که شامل ۱۸۱ ناحیه ترافیکی داخلی، ۱۳۱ ناحیه ترافیکی اطراف و ۹ ناحیه ترافیکی محورهای ارتباطی است (مرکز مطالعات و تحقیقات حمل‌ونقل (ممتحن)، ۱۳۸۳).

منطقه بررسی شده در این مقاله، نواحی ترافیکی ۱ تا ۱۲ شهر اصفهان است که جزء نواحی ترافیکی داخلی می‌باشند. این نواحی در محدوده رینگ اول ترافیکی و ناحیه مرکز تجاری<sup>۱</sup> شهر قرار گرفته‌اند و به دلیل قرارگرفتن در مرکز شهر و وجود اماکن

رابطه (۵) تضمین می‌کند که میزان تقاضای پارکینگ هر نقطه یا به‌وسیله یکی از پارکینگ‌های جدید تأمین شده یا به عنوان تقاضای برآورده نشده در نظر گرفته می‌شود

محدودیت (۶) کل تقاضای تخصیص داده شده به هر پارکینگ استقرار یافته را مشخص می‌کند و همچنین اطمینان می‌دهد که میزان تقاضای تخصیص یافته به هر نقطه کاندید نباید از میزان ظرفیت آن نقطه بیشتر باشد. محدودیت (۷) مشخص می‌کند که حداکثر یکی از انواع تسهیلات پارکینگ می‌تواند در هر نقطه کاندید ساخته شود. محدودیت (۸) هم تعداد تسهیلات پارکینگ جدید را بیان می‌نماید. روابط (۹) تا (۱۱) متغیرهای تصمیم مدل را نشان می‌دهند.

به منظور لحاظ کردن پارکینگ‌های موجود در مدل پیشنهادی، این پارکینگ‌ها به عنوان نقطه کاندید در نظر گرفته شده‌اند، با این تفاوت که آن‌ها مستقر شده فرض شده‌اند. همچنین لازم است تعداد پارکینگ‌های

زیادی هستند. نمایی از منطقه بررسی شده در شکل ۲ نشان داده شده است.

تاریخی، ساختمان‌های اداری و خدماتی متعدد و بازارهای اصلی شهر، همواره دارای ازدحام ترافیکی



شکل (۲) نواحی ترافیکی ۱ تا ۱۲ شهر اصفهان

#### برآورد میزان کمبود فضای پارک

به منظور برآورد میزان تقاضای پارکینگ در این منطقه، اطلاعات زیر از بانک اطلاعاتی مطالعات جامع حمل و نقل اصفهان که در سال ۱۳۷۹ در محدوده کلان شهر اصفهان به دست آمده، استفاده شد و برای سال ۱۳۹۲ برآورد شد. این اطلاعات شامل ماتریس‌های سفر مبدأ-مقصد ساعتی است که عبارتند از:

- ماتریس سفر "مبدأ خانه" با هدف کار
- ماتریس سفر "مبدأ خانه" با هدف مدرسه
- ماتریس سفر "مبدأ خانه" با هدف خرید
- ماتریس سفر "مبدأ خانه" با هدف کار شخصی (مراجعه به ادارات، موارد پزشکی و سایر)
- ماتریس سفر "مبدأ خانه" با هدف تفریح (دیدار نزدیکان، تفریح و گردش)
- ماتریس سفر "هیچ سرخانه"

- ماتریس سفر "بازگشت به خانه"

در مطالعات جامع حمل و نقل کلان شهر اصفهان، هشت گونه حمل و نقل شامل: خودروی شخصی، تاکسی، اتوبوس واحد، اتوبوس غیر واحد، مینی بوس، دوچرخه، موتورسیکلت و وانت در نظر گرفته شده است (مهندسین مشاور دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۶) که در این تحقیق تنها گونه‌های خودروی شخصی و وانت درخور توجه قرار می‌گیرند. به منظور محاسبه میزان تقاضای پارکینگ، فرض می‌شود که سفرهای با هدف خانه مشکلی جهت تأمین فضای پارک ندارند.

رابطه (۱۲) نحوه محاسبه میزان تقاضای پارکینگ ( $S_i^i$ ) را در ساعت  $t$  و برای ناحیه ترافیکی  $i$  نشان می‌دهد. در این رابطه میزان تقاضای پارکینگ در ساعت  $t$  از مجموع میزان تقاضای پارکینگ در ساعت  $t-1$  و اختلاف تقاضای سفرهای ورودی به منطقه و خروجی از منطقه در ساعت  $t$  به دست می‌آید.

$$(12) \quad S_i^i = S_{i-1}^i + (I_i^i - O_i^i)$$

در این رابطه  $I_i^i$  برابر با میزان جذب سفر در ناحیه ترافیکی  $i$  برای سفرهای (خودروی شخصی و وانت) با هدف غیر از خانه در ساعت  $t$  و  $O_i^i$  برابر با میزان تولید سفر از ناحیه ترافیکی  $i$  برای سفرهای (خودروی شخصی و وانت) هیچ سرخانه و بازگشت به خانه در ساعت  $t$  است.

با محاسبه میزان  $I_i^i$  و  $O_i^i$  برای نواحی ترافیکی و ساعات مختلف و با فرض اینکه میزان تقاضای پارکینگ در ساعت ۱ بامداد برابر صفر است، می‌توان  $S_i^i$  را برای خودرهای شخصی و وانت در نواحی ترافیکی و ساعات مختلف به دست آورد.

براین اساس کل میزان تقاضای پارکینگ در نواحی ترافیکی و ساعات مختلف مشخص شد. بر مبنای مطالعات مدیریت پارکینگ‌های عمومی شهر اصفهان میزان عرضه پارکینگ به چهار دسته تقسیم و مشخص شده است (مهندسین مشاور طراحان تردد تهران، ۱۳۸۴):

- فضاهای پارک غیر حاشیه‌ای عمومی
- فضاهای پارک غیر حاشیه‌ای خصوصی
- فضاهای پارک حاشیه‌ای در معابر اصلی
- فضاهای پارک حاشیه‌ای در خیابان‌های فرعی و کوچه‌ها

از آنجایی که پارکینگ‌های غیر حاشیه‌ای خصوصی و عمومی ساعات کاری مشخصی دارند، میزان عرضه پارکینگ در ساعات مختلف نیز فرق می‌کند. با تفاضل میزان عرضه پارکینگ از تقاضای آن در منطقه بررسی شده می‌توان میزان کمبود فضای پارک در هر یک از نواحی ترافیکی مد نظر را به تفکیک ساعات مختلف به دست آورد. جدول (۳) و شکل (۳) (واقع در پیوست) میزان این کمبود را در هر یک از نواحی ترافیکی منطقه بررسی شده بر حسب ساعات مختلف نشان می‌دهند. برای مطالعه جزئیات بیشتر درباره نحوه محاسبه پیش‌بینی میزان کمبود فضای پارکینگ به اسکندری (۱۳۹۱) مراجعه شود.

همان‌طور که در شکل (۳) نیز مشخص است، ساعت اوج کمبود فضای پارک برای نواحی مختلف ترافیکی متفاوت است و ناحیه ترافیکی ۱۲ بیشترین میزان کمبود پارکینگ را دارد و به ترتیب نواحی ترافیکی ۶، ۵، ۴ و ۷ در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

در برخی از نواحی، ساعت اوج کمبود در صبح اتفاق می‌افتد و برای برخی دیگر ساعت اوج کمبود پارکینگ مربوط به اوقات عصر است، که این به



- در صورتی که تسهیلات و کاربری‌های مختلف به صورت مربعی (نظیر مجتمع‌های تجاری) قرار گرفته باشند، تمام آن تسهیلات و کاربری‌هایی که در ابعاد ۵۰ متر × ۵۰ متر قرار دارند، یک دسته تقاضا در نظر گرفته می‌شوند.

نمایی از محدوده مطالعاتی و نقاط تقاضای موجود در این محدوده در شکل (۴) (واقع در پیوست) نشان داده شده است. در این محدوده، ۶۵ نقطه تقاضا تعیین شد. با توجه به اطلاعات طرح بازنگاری طرح تفصیلی شهر اصفهان (مهندسین مشاور نقش جهان پارس، ۱۳۸۷) که تعداد پارکینگ مورد نیاز به تفکیک کاربری‌های مختلف را مشخص کرده است، وزن هر یک از این نقاط تقاضا مشخص شد. سپس با در نظر گرفتن ۸۰ درصد میزان تقاضای ساعت اوج برای نواحی ترافیکی ۴ و ۱۲ و وزن این نقاط، میزان تقاضای پارکینگ برای هر یک از نقاط تقاضا در محدوده مطالعاتی تعیین شد.

#### نقاط کاندید و پارکینگ‌های موجود

در این تحقیق براساس نظر کارشناسان حمل‌ونقل ترافیک شهرداری اصفهان تعدادی نقطه به‌منظور استقرار پارکینگ بر مبنای پلاک‌های دارای کاربری پارکینگ در طرح بازنگاری طرح تفصیلی شهر اصفهان انتخاب و تعداد دیگری از این نقاط هم براساس معیارهای زیر از بین پلاک‌های موجود در این نواحی انتخاب شدند:

- ساختمان‌های مخروطی یا قدیمی
- ساختمان‌های ویلابی
- پلاک‌های دارای حداقل مساحت ۴۰۰ متر مربع

ماهیت هر ناحیه ترافیکی بستگی دارد. به‌عنوان مثال از آنجایی که ناحیه ترافیکی ۱۲ بیشتر جنبه تفریحی دارد اغلب در ساعات اولیه شب دارای ترافیک زیادی است ولی در مقابل به دلیل قرارگرفتن بازار اصفهان در ناحیه ترافیکی ۶ ساعت اوج ترافیک و کمبود پارکینگ در این ناحیه در صبح اتفاق می‌افتد. به دلیل هم‌جواری و حجم زیاد کمبود پارکینگ در نواحی ترافیکی ۴ و ۱۲ این نواحی ترافیکی به‌عنوان محدوده مطالعاتی برای مکان‌یابی پارکینگ‌های عمومی انتخاب شدند.

#### جمع‌آوری اطلاعات موردنیاز

به‌منظور اجرای مدل جهت مکان‌یابی پارکینگ در محدوده مطالعاتی، لازم است اطلاعات مورد نیاز از این محدوده گردآوری شود.

#### نقاط تقاضا

جهت مشخص کردن نقاط تقاضا در نواحی ترافیکی مدنظر لازم است تا کاربری‌ها و تسهیلات مختلف شهری دسته‌بندی و هر یک از این دسته‌های تقاضا به‌عنوان یک نقطه تقاضا در نظر گرفته شوند. دسته‌بندی این کاربری‌ها و تسهیلات براساس معیار مسافت و مساحت انجام گرفته است. معیارهای دسته‌بندی به شرح زیر فرض شده‌اند:

- در صورتی که تسهیلات و کاربری‌های مختلف به صورت خطی در کنار هم قرار گرفته باشند، تمام آن تسهیلات و کاربری‌هایی که در یک فاصله حدود ۷۵ متری از هم قرار دارند، یک دسته تقاضا در نظر گرفته می‌شوند.

نظر گرفته شد (مهندسين مشاور طراحان تردد تهران، ۱۳۸۴). همچنين فرض شد كه هزینه سالیانه جريمه به ازای هر واحد تقاضای برآورده نشده (PC) برابر يك ميليون تومان است.

جدول (۳) میزان مساحت مورد نیاز برای هر واحد پارکینگ به ازای انواع مختلف پارکینگ‌ها (مهندسين مشاور طراحان تردد تهران، ۱۳۸۴)

P	نوع پارکینگ	میزان مساحت مورد نیاز (بر حسب مترمربع)
۱	هم سطح	۲۵
۲	طبقاتی	۳۰ - ۳۵
۳	مکانیکی	۲۰ - ۲۵

#### اجرا و حل مدل پیشنهادی

به منظور حل مدل پیشنهادی ابتدا مسائل تک هدفه كه حاصل در نظر گرفتن هریك از توابع هدف به طور جداگانه هستند، با استفاده از الگوریتم بهینه ساز CPLEX نرم افزار GAMS نسخه ۲۲/۱ حل شدند. نتایج حاصل از حل این مسائل در جداول ۴ و ۵ آورده شده است. در این جداول،  $Z_1$  بر حسب تعداد خودرو و  $Z_2$  بر حسب میلیون تومان در سال است. از آنجا كه حل بهینه مسائل تک هدفه ی جواب های یکسانی ندارد، می توان گفت این دو تابع هدف دارای جهت گیری های بهینه یكسانی نیستند. بنابراین به منظور انتخاب جواب برتر لازم است از روش های تصمیم گیری چندهدفه<sup>۱۱</sup> برای حل این مسئله استفاده شود.

سپس ۱۱ نقطه کاندید در این نواحی شناسایی شد. در گام بعد پارکینگ های عمومی موجود در محدوده مطالعاتی شناسایی شدند كه مشخصات این پارکینگ ها در جدول ۲ (واقع در پیوست) مشخص آمده است.

شكل (۵) نقاط کاندید و پارکینگ های موجود در محدوده مطالعاتی را مشخص می کند. شماره های ۱ تا ۱۱ نشان دهنده نقاط کاندید و شماره های ۱۲ تا ۲۱ مربوط به موقعیت پارکینگ های موجود هستند. از بین پارکینگ های موجود سه پارکینگ سی و سه پل، انقلاب و عباس آباد (با شماره های ۱۲، ۱۳ و ۱۴) به دلیل اینکه از نوع هم سطح هستند، فرض شده است می توانند تغییر نوع دهند و در سایر پارکینگ های موجود، نوع پارکینگ نمی تواند تغییر کند.

در این مطالعه سه نوع پارکینگ شامل: هم سطح، طبقاتی و مکانیکی مدنظر قرار گرفته اند كه در هر يك از نقاط کاندید می توان یکی از این نوع پارکینگ ها را مستقر كرد. میزان مساحت مورد نیاز به ازای يك واحد پارکینگ برای هر يك از این نوع پارکینگ ها در جدول (۳) آمده است (مهندسين مشاور طراحان تردد تهران، ۱۳۸۴).

با فرض اینکه تعداد طبقات مجاز برای هر دو نوع پارکینگ های طبقاتی و مکانیکی در منطقه مطالعه شده يکسان و برابر ۵ طبقه باشد، ظرفیت نقاط کاندید به ازای انواع مختلف پارکینگ تعیین شد.

ضمناً هزینه های مختلف انواع پارکینگ ها هم با نظر کارشناسان خبره معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری اصفهان تعیین شد.

به منظور محاسبه معیار مطلوبیت و براساس طرح بازنگری طرح تفصیلی شهر اصفهان حداکثر فاصله پوشش ۳۰۰ متر و فاصله پوشش اولیه ۱۵۰ متر در



شکل (۵) نقاط کاندید و پارکینگ‌های موجود در محدوده مطالعاتی

جدول (۴) حل بهینه مسئله تک هدفه با هدف بیشینه کردن تقاضای پوشش یافته به ازای  $n$  های مختلف

$n$	$Z_1^*$	$Z_2$
۰	۲,۰۸۳	۵,۳۴۹
۱	۲,۳۸۳	۵,۸۲۴
۲	۲,۶۴۴	۷,۲۱۲
۳	۲,۸۸۸	۸,۰۱۰
۴	۳,۰۶۳	۸,۲۴۳
۵	۳,۲۷۵	۸,۷۸۹
۶	۳,۴۳۴	۹,۱۴۹
۷	۳,۶۱۳	۹,۵۸۲
۸	۳,۷۴۱	۱۰,۱۵۰
۹	۳,۷۶۶	۱۰,۳۳۰
۱۰	۳,۷۳۱	۸,۹۷۴
۱۱	۳,۸۲۴	۹,۵۵۳

جدول (۵) حل بهینه مسئله تک هدفه با هدف کمینه کردن هزینه های مختلف به ازای  $n$  های مختلف

$n$	$Z_1^*$	$Z_2$
۰	۳۹۳	۳,۰۳۱
۱	۱۰۷	۳,۱۶۱
۲	۱۳۶	۳,۳۴۲
۳	۱۹۶	۳,۵۷۴
۴	۲۱۵	۳,۸۲۰
۵	۲۴۲	۴,۰۶۶
۶	۱۳۰	۴,۳۲۷
۷	۱۸۰	۴,۶۰۲
۸	۳۵۶	۴,۸۸۴
۹	۲۰۲	۵,۲۲۴
۱۰	۹۸	۵,۷۴۶
۱۱	۱۶۷	۶,۳۳۹

#### روش ۴- محدودیت

از جمله روش‌های حل مسائل چندهدفه، روش محدودیت<sup>۱۲</sup> است که در این مطالعه استفاده شده است. هایمس و همکاران با حفظ تنها یک تابع هدف و انتقال سایر توابع هدف به مجموعه محدودیت‌ها با مقادیر سمت راست تعریف‌پذیر توسط کاربر، روش حل جدیدی برای مسئله چندهدفه ارائه کردند که روش محدودیت نامیده شده است (صحرائیان و طاهری مقدم، ۱۳۹۳). اثبات شده که جواب منحصر به فرد حاصل از این روش جواب کارا<sup>۱۳</sup> است (نصوحی و حجازی، ۲۰۱۱).

به منظور اجرای این روش، تابع هدف اول (بیشینه کردن میزان پوشش) انتخاب و تابع هدف دوم به محدودیت‌ها اضافه شد. دلیل انتخاب هدف اول به عنوان تابع هدف اصلی وزن بیشتر این هدف بنا بر نظر سنجی انجام شده، است (بر اساس نظر سنجی از ده نفر از خبرگان، وزن هدف اول و دوم به ترتیب ۵۳٪ و ۴۷٪ برآورد شد). رابطه (۱۳) نحوه اجرای روش محدودیت را برای مدل پیشنهادی نشان می‌دهد.

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } Z_1 \\ & \text{St:} \end{aligned} \quad (13)$$

$Z_2 \leq \varepsilon$

$x \in X$

برای  $n \geq 0$  و با استفاده از الگوریتم بهینه‌ساز CPLEX نرم‌افزار GAMS برای مقادیر مختلف ده جواب کارا بدست آمد. نتایج حاصل از حل مدل در جدول (۶) (واقع در پیوست) آمده است.

در این جدول مقادیر توابع هدف، ها و راه‌حل‌های کارا برای هر یک از این جواب‌های کارا،

نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود هیچ پارکینگ جدیدی پیشنهاد نشده است و تنها نوع پارکینگ‌های موجود در جواب‌های کارای مختلف، متفاوت است.

جدول (۶) مانند یک ماتریس تصمیم‌گیری است که سطرها گزینه‌ها و ستون‌های دوم و سوم شاخص‌های مختلف هستند. هریک از درایه‌های ماتریس تصمیم‌گیری فوق  $r_{ij}$  نامیده شده است. روش بی‌مقیاس‌سازی فازی برای یک شاخص با جنبه مثبت (مانند تابع هدف اول) به صورت رابطه (۱۴) و برای یک شاخص با جنبه منفی (مانند تابع هدف دوم) به شکل رابطه (۱۵) است. مقیاس اندازه‌گیری در این بی‌مقیاس‌سازی دقیقاً بین صفر و یک خواهد بود، به طوری که صفر برای بدترین نتیجه و یک برای بهترین نتیجه است (اصغرپور، ۱۳۹۲). نتیجه این بی‌مقیاس‌سازی در جدول ۷ (واقع در پیوست) منعکس شده است.

$$n_{ij}: \text{درایه نرمال شده } r_{ij}$$

$$n_{ij} = \frac{r_{ij} - \min_i r_{ij}}{\max_i r_{ij} - \min_i r_{ij}} \quad (14)$$

$$n_{ij} = \frac{\max_i r_{ij} - r_{ij}}{\max_i r_{ij} - \min_i r_{ij}} \quad (15)$$

برای انتخاب جواب برتر<sup>۱۴</sup> از بین جواب‌های کارا از AHP گروهی مطابق شکل (۶) (واقع در پیوست) استفاده شد. با وارد کردن ماتریس تصمیم‌گیری بی‌مقیاس شده و ماتریس اوزان شاخص‌ها در نرم‌افزار Expert Choice وزن هر یک از جواب‌های کارا نسبت به مکان‌یابی پارکینگ‌های غیرحاشیه‌ای حاصل شد. با توجه به جدول (۸) (واقع در پیوست) جواب کارای سوم به عنوان راه‌حل برتر شناخته شد.

همان گونه که مشاهده می شود براساس نتایج به دست آمده در جدول (۹) اولویت احداث پارکینگ ها مشخص شده است؛ بدین معنی که اگر بخواهیم تنها یک پارکینگ جدید مستقر شود، مدل نقطه ۱۰ را پیشنهاد می دهد و اگر نیاز به احداث ۲ پارکینگ باشد، مدل نقاط ۱۰ و ۱۱ را پیشنهاد خواهد داد. به عبارت دیگر در این روش لازم نیست از قبل تعداد پارکینگ جدید مشخص باشد که این ویژگی برای مدیران شهری بسیار مفید خواهد بود.

با انجام همین روند برای سایر مقادیر  $n$  (11, ..., 1) می توان جواب های برتر را به ازای تعداد مختلف پارکینگ های جدید به دست آورد. در جدول (۹) جواب های برتر انتخاب شده به ازای مقادیر مختلف  $n$  نشان داده شده اند.

به دلیل اینکه پارکینگ های هم سطح از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست و پارکینگ های مکانیکی هم هزینه احداث نسبتاً زیادی دارند، نسبت به پارکینگ های طبقاتی کمتر به آن ها توجه می شود.

جدول (۹): جواب های برتر انتخاب شده به ازای  $n$  های مختلف

n	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	راه حل های برتر														
			موقعیت و نوع پارکینگ های جدید							نوع پارکینگ های موجود							
۰	۱.۹۹۲	۴.۴۴۵												(۱۲.۲)	(۱۳.۲)	(۱۴.۳)	
۱	۲.۲۷۰	۵.۰۶۹	(۱۰.۳)												(۱۲.۲)	(۱۳.۲)	(۱۴.۳)
۲	۲.۴۷۰	۵.۷۱۷	(۱۰.۳)	(۱۱.۳)											(۱۲.۳)	(۱۳.۱)	(۱۴.۳)
۳	۲.۶۸۸	۶.۲۴۳	(۱۰.۳)	(۱۱.۳)	(۴.۳)										(۱۲.۳)	(۱۳.۱)	(۱۴.۳)
۴	۲.۸۸۹	۶.۷۴۸	(۱۰.۳)	(۱۱.۳)	(۴.۳)	(۲.۳)									(۱۲.۳)	(۱۳.۱)	(۱۴.۳)
۵	۲.۹۶۶	۶.۸۵۵	(۱۰.۲)	(۱۱.۳)	(۴.۳)	(۲.۳)	(۶.۳)								(۱۲.۳)	(۱۳.۱)	(۱۴.۳)
۶	۲.۹۸۰	۶.۷۹۴	(۱۰.۲)	(۱۱.۳)	(۴.۲)	(۲.۲)	(۶.۳)	(۹.۲)							(۱۲.۳)	(۱۳.۱)	(۱۴.۳)
۷	۳.۰۸۴	۷.۰۲۰	(۱۰.۲)	(۱۱.۲)	(۴.۲)	(۲.۲)	(۶.۳)	(۹.۲)	(۳.۳)						(۱۲.۳)	(۱۳.۱)	(۱۴.۳)
۸	۳.۰۹۶	۶.۹۷۴	(۱۰.۲)	(۱۱.۲)	(۴.۲)	(۲.۲)	(۶.۲)	(۹.۲)	(۳.۲)	(۷.۲)					(۱۲.۳)	(۱۳.۱)	(۱۴.۳)
۹	۳.۲۱۳	۷.۳۱۰	(۱۰.۲)	(۱۱.۲)	(۴.۲)	(۲.۲)	(۶.۲)	(۹.۲)	(۳.۲)	(۷.۲)	(۱.۳)				(۱۲.۳)	(۱۳.۱)	(۱۴.۳)
۱۰	۳.۲۵۶	۷.۳۴۲	(۱۰.۲)	(۱۱.۲)	(۴.۲)	(۲.۲)	(۶.۲)	(۹.۲)	(۳.۲)	(۷.۲)	(۱.۲)	(۵.۱)			(۱۲.۳)	(۱۳.۱)	(۱۴.۳)
۱۱	۳.۲۵۵	۷.۷۲۰	(۱۰.۲)	(۱۱.۲)	(۴.۲)	(۲.۲)	(۶.۲)	(۹.۱)	(۳.۲)	(۷.۲)	(۱.۲)	(۵.۱)	(۸.۱)		(۱۲.۳)	(۱۳.۱)	(۱۴.۳)

همان گونه که مشاهده می شود هرچه مقدار  $pc$  افزایش می یابد، مقدار تابع هدف اول کاهش پیدا کرده است و نقاط کاندیدی که کوچک تر هستند و ظرفیت کمتری دارند انتخاب می شوند. از طرف دیگر زمانی که مقدار  $pc$  کم است در اغلب موارد پارکینگ های مکانیکی انتخاب می شوند؛ ولی با افزایش  $pc$  پارکینگ های طبقاتی که در مجموع هزینه کمتری دارند، جایگزین پارکینگ های مکانیکی می شوند. تمام این ها به این دلیل است که چون مقدار

### تحلیل حساسیت

از آنجایی که مقدار هزینه سالیانه جریمه به ازای هر واحد تقاضای برآورده نشده برابر یک میلیون تومان در نظر گرفته شده است، نیاز بود تا با تغییر در این مقدار، تغییر در جواب برتر تحلیل شود. بدین منظور به ازای  $n = 5$  و با ثابت فرض کردن  $\epsilon$  جواب برتر (7300  $\epsilon$ )، جواب های حاصل از مقادیر مختلف  $pc$  در جدول ۱۰ (واقع در پیوست) آورده شده است.

به منظور حل مدل چندهدفه پیشنهادی، از روش محدودیت استفاده شد و بر اساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی و نظرات خبرگان از بین جواب‌های کارای ایجادشده، جواب‌های برتر انتخاب شدند. بر اساس نتایج به دست آمده از اجرای مدل، موقعیت و نوع بهینه پارکینگ‌های جدید و نوع مناسب پارکینگ‌های موجود و میزان تقاضای برآورده شده، مشخص شد.

استفاده از روش پیشنهادی این تحقیق می‌تواند متصدیان حمل و نقل و ترافیک شهرداری‌های کشور را در مدیریت پارکینگ‌ها و استقرار بهتر پارکینگ‌های عمومی غیرحاشیه‌ای جدید یاری کند. با این روش بهره‌وری پارکینگ‌ها افزایش و اتلاف وقت رانندگان کاهش خواهد یافت. همچنین میزان تقاضای پوشش یافته به وسیله هر یک از پارکینگ‌ها و هزینه احداث یا تغییر نوع پارکینگ قابل محاسبه می‌شود. این اطلاعات برای استفاده مدیران شهری در تصمیم‌گیری‌ها از جمله تحلیل‌های امکان‌سنجی، تسهیلات بسیار مفیدی خواهد بود. به عبارت دیگر با این روش می‌توان قبل از احداث پارکینگ اثرات ایجادشده را پیش‌بینی و تحلیل کرد.

لازم به ذکر است که استفاده بهینه از پارکینگ‌های موجود یکی از پیشنهاد‌های اصلی این تحقیق است؛ زیرا به دلیل قیمت گران زمین جهت احداث پارکینگ در ابتدا باید به بهینه‌سازی ظرفیت پارکینگ‌های موجود پرداخته شود که این امر در مدل پیشنهادی در نظر گرفته شده است.

همچنین با توجه به اینکه مدل پیشنهادی، اولویت‌بندی احداث پارکینگ‌های جدید را نیز مشخص می‌کند، برای استفاده مدیران شهری بسیار مناسب خواهد بود زیرا در صورت فراهم شدن

تابع هدف دوم با افزایش  $pc$  نمی‌تواند زیاد شود، با این تغییرات سایر هزینه‌ها را کاهش می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق با بهره‌گیری از تئوری مکان‌یابی به مسئله مکان‌یابی پارکینگ پرداخته شد و به منظور وجود ذی‌نفعان مختلف از مدل چندهدفه استفاده شد. اهداف مدنظر در این پژوهش شامل: بیشینه کردن پوشش تقاضا، کمینه کردن فاصله پیاده‌روی و کمینه کردن هزینه‌های مترتبه است. در هدف بیشینه کردن تقاضای پوشش یافته فاصله پوشش غیرقطعی فرض شده و با کمینه کردن فاصله پیاده‌روی ترکیب شد.

از آنجایی که هر نوع پارکینگ می‌تواند هزینه استقرار و ظرفیت مختلفی داشته باشد، در این مقاله انواع پارکینگ‌ها مدنظر قرار گرفتند.

به دلیل آنکه مدل پیشنهادی مکان‌یابی پارکینگ بر اساس برنامه‌ریزی ریاضی است، نقاط پارکینگ پیشنهادی برخلاف سایر روش‌ها (نظیر GIS و AHP) به صورت دقیق پیشنهاد می‌شوند. با اجرای این مدل علاوه بر تعیین مکان بهینه پارکینگ، نوع پارکینگ مناسب نیز تعیین می‌شود.

به منظور ارزیابی مدل سعی شد عملکرد آن در منطقه مرکزی شهر اصفهان بررسی شود. با استفاده از پیش‌بینی میزان کمبود فضای پارک در سال ۹۲ برای نواحی ترافیکی ۱ تا ۱۲ شهر اصفهان، ۲ ناحیه ترافیکی که بیشترین میزان کمبود فضای پارک را داشتند، به عنوان محدوده مطالعاتی جهت اجرای مدل انتخاب و سپس اطلاعات مورد نیاز مدل در این نواحی گردآوری گد.

اصغرپور، محمدجواد. (۱۳۹۲). تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ یازدهم.

شاهی، جلیل. (۱۳۹۰). مهندسی ترافیک، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ یازدهم.

صحرائیان، راشد و طاهری‌مقدم، علیرضا. (۱۳۹۳). ارائه یک مدل CLSC غیرقطعی با رویکرد ترکیبی الگوریتم ژنتیک و Constraint-ε، مدیریت تولید و عملیات، ۵(۱۸)، ۲۱-۳۸.

عباسی کلکانی، فرح و سیدحسینی، سید محمد. (۱۳۹۰). "گسترش روش مکان‌یابی پارکینگ‌های عمومی با استفاده از GIS در کلان‌شهرها (مطالعه موردی منطقه ۳ کلانشهر کرج)"، هویت شهر، ۸(۵)، ۴۷-۵۷.

قنبری، سیروس و قاضی‌عسکر نایینی، آرمان. (۱۳۹۰). "ارزیابی روش‌های مختلف مکان‌یابی در مدیریت احداث پارکینگ‌های عمومی در مرکز تجاری شهر اصفهان با استفاده از GIS"، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۲(۲)، ۴۲-۴۲، ۱۸۳-۱۹۸.

متکان، علی‌اکبر؛ شکیبا، علیرضا؛ پورعلی، سید حسین و عبادی، عیسی. (۱۳۸۸). تصمیم‌گیری قطعی و فازی در مکان‌یابی پارکینگ‌های عمومی طبقاتی"، علوم محیطی، ۶(۳)، ۲۰۷-۲۲۲.

مختاری ملک‌آبادی، رضا. (۱۳۸۸). "تحلیلی بر برنامه ریزی کاربری پارکینگ در شهر اصفهان با استفاده از مدل‌های کاربردی برنامه‌ریزی منطقه‌ای"، مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، ۱(۳)، ۱۱۵-۱۳۴.

مرکز مطالعات و تحقیقات حمل‌ونقل (ممتحن). (۱۳۸۳). "شناخت وضع موجود و فرآیند

بودجه، امکان اضافه‌کردن پارکینگ‌ها وجود خواهد داشت و نیازی نیست که از ابتدا تعداد پارکینگ‌های جدید مشخص باشد.

در این تحقیق فرض شد که مطلوبیت هر نقطه کاندید استقرار از دید نقاط تقاضا تنها براساس فاصله بین این نقاط است، در صورتی که این مطلوبیت می‌تواند به موارد دیگری چون میزان تقاضای نقاط، میزان ظرفیت نقاط کاندید، هزینه پارکینگ و... نیز بستگی داشته باشد. با شناسایی عوامل تأثیرگذار بر روی این معیار، می‌توان میزان واقعی مطلوبیت را به صورت دقیق‌تری به دست آورد. از دیگر زمینه‌های توسعه تحقیق حاضر و در جهت واقعی‌تر ساختن مسئله، می‌توان فاصله پوشش غیریکسان براساس اهداف سفر مختلف و غیرقطعی فرض کردن پارامترهای استفاده‌شده در مسئله را مدنظر قرار داد.

### سپاسگزاری

در پایان لازم است از همکاری معاونت محترم حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری اصفهان و به‌ویژه آقای مهندس افتخاری، مدیر وقت مطالعات و برنامه‌ریزی این معاونت در انجام این پژوهش صمیمانه قدردانی کنیم.

### منابع

اسکندری، مهدی. (۱۳۹۱). مکان‌یابی پارکینگ‌های غیرحاشیه‌ای بر روی شبکه حمل‌ونقل شهری با اهداف چندگانه (مطالعه موردی: منطقه مرکزی شهر اصفهان)، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد.



Chiu, H. M. (2005). "A Location Model for the Allocation of the Off-Street Parking Facilities". *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 1344-1353.

Niiiii I, Hjjmm n(iiiii i rrr e °°ti-objective approach to simultaneous determination of spare part numbers and rr.. ttive rplccmmtt timss.. *Applied Mathematical Modelling*, 35 (3), 1157° 1166.

Wang, Z., Tan, Z. & Xu, H. (2008). "Location Model and Algorithm of Public parking Facilities". *International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, 598-602.

Wey, W. M. (2003). "Dynamic Parking Facility Location with Time-Dependent Demands: the Progressive P-median Problem", *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 4, 461-469.

مدل‌سازی عرضه و تقاضای حمل‌ونقل در اصفهان"، مطالعات جامع حمل‌ونقل اصفهان، دانشگاه صنعتی شریف: پژوهشکده حمل‌ونقل شریف، گزارش شماره ۱۰-۸۳.

مهندسین مشاور دانشگاه صنعتی اصفهان. (۱۳۸۶). "فرآیند مدل‌سازی برای برآورد تقاضای سفر آینده شهر اصفهان"، زمستان ۱۳۸۶.

مهندسین مشاور طراحان تردد تهران. (۱۳۸۴). "مطالعات مدیریت پارکینگ‌های عمومی شهر اصفهان"، گزارش نهائی، بهمن ۱۳۸۴.

مهندسین مشاور نقش جهان پارس. (۱۳۸۷). "طرح بازنگری طرح تفصیلی شهر اصفهان، ضوابط و مقررات شهرسازی و ساختمانی"، ویرایش اول، تابستان ۱۳۸۷.

پی‌نوشت

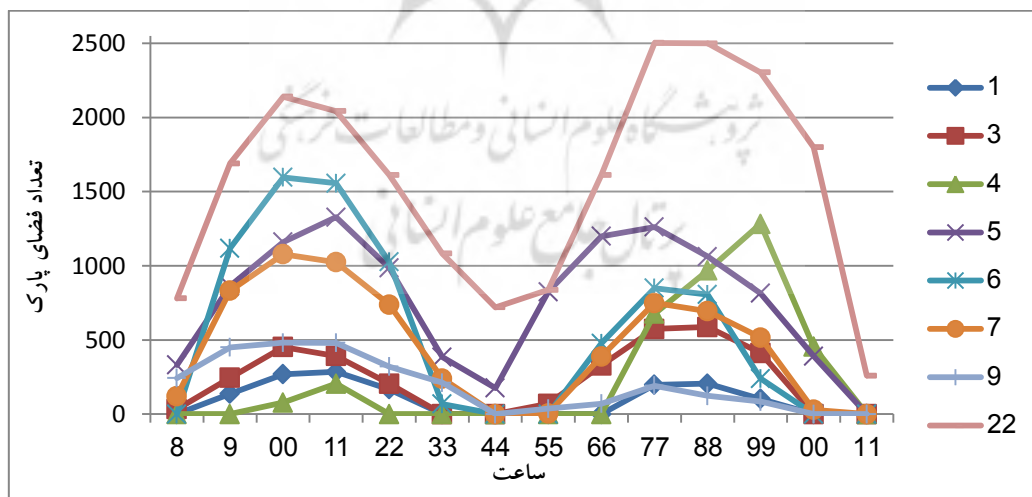
- 1 On-Street parking
- 2 Off-Street parking
- 3 Facilities location
- 4 Geographical Information Systems (GIS)
- 5 Analytic Hierarchy Process (AHP)
- 6 Ming Wey
- 7 Ming Chiu
- 8 Wang
- 9 Maximal Covering
- 10 Central Business District (CBD)
- 11 Multi Objective Decision Making (MODM)
- 12 -Constraint
- 13 Efficient Solution
- 14 Preferred Solution

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

پیوست:

جدول (۱) پیش‌بینی میزان کمبود فضای پارک در منطقه بررسی شده به تفکیک نواحی ترافیکی و ساعات مختلف در سال ۹۲

ساعت	نواحی ترافیکی											
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۸	۰	۰	۳۳	۰	۳۳۱	۰	۱۲۱	۰	۲۴۳	۰	۰	۷۸۰
۹	۱۳۷	۰	۲۴۵	۰	۸۶۳	۱۱۱۸	۸۳۲	۰	۴۵۰	۰	۰	۱۶۹۰
۱۰	۲۶۹	۰	۴۵۲	۷۸	۱۱۶۰	۱۵۹۶	۱۰۷۸	۰	۴۸۱	۰	۰	۲۱۴۰
۱۱	۲۸۵	۰	۳۹۲	۲۰۵	۱۳۲۸	۱۵۵۶	۱۰۲۴	۰	۴۸۰	۰	۰	۲۰۴۳
۱۲	۱۶۷	۰	۲۰۵	۰	۹۸۶	۱۰۲۶	۷۳۸	۰	۳۲۰	۰	۰	۱۶۱۳
۱۳	۰	۰	۰	۰	۳۸۴	۶۸	۲۴۰	۰	۲۱۱	۰	۰	۱۰۸۲
۱۴	۰	۰	۰	۰	۱۷۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۷۲۰
۱۵	۰	۰	۶۹	۰	۸۲۵	۰	۴	۰	۳۷	۰	۰	۸۳۸
۱۶	۰	۰	۳۲۸	۰	۱۱۹۹	۴۷۷	۳۸۸	۰	۷۰	۰	۰	۱۶۱۳
۱۷	۱۹۷	۰	۵۷۴	۶۷۷	۱۲۶۲	۸۴۹	۷۴۹	۰	۱۹۱	۰	۰	۲۵۰۳
۱۸	۲۰۵	۰	۵۸۷	۹۶۸	۱۰۶۲	۸۰۶	۶۹۴	۰	۱۲۳	۰	۰	۲۵۰۰
۱۹	۱۰۲	۰	۴۱۲	۱۲۸۲	۸۱۵	۲۴۰	۵۱۶	۰	۸۴	۰	۰	۲۳۰۴
۲۰	۰	۰	۰	۴۵۴	۳۹۱	۰	۲۹	۰	۰	۰	۰	۱۷۹۹



شکل (۳) پیش‌بینی میزان کمبود فضای پارک در منطقه بررسی شده به تفکیک نواحی ترافیکی و ساعات مختلف در سال ۹۲

جدول (۲) پارکینگ‌های موجود در محدوده مطالعاتی

ردیف	نام پارکینگ	منطقه شهرداری	ناحیه ترافیکی	آدرس پارکینگ	نوع	ظرفیت
۱	سی‌وسه‌پل	۱	۱۲	میدان انقلاب، جنب سینما ساحل	هم‌سطح	۱۴۰
۲	انقلاب	۱	۱۲	خیابان شمس‌آبادی، جنب ام‌آر‌آی	هم‌سطح	۱۷۰
۳	عباس‌آباد	۱	۴	خیابان چهارباغ عباسی، ابتدای خیابان عباس‌آباد	هم‌سطح	۳۰
۴	مجتمع عالی‌قاپو	۱	۴	خیابان کوالامپور، زیر مجتمع تجاری عالی‌قاپو	زیرزمینی	۱۰۰
۵	افتخار	۱	۴	خیابان شمس‌آبادی، کوی عالم‌آرا، جنب پاساژ افتخار	طبقاتی	۳۲۰
۶	مجتمع تجاری سپاهان	۳	۱۲	میدان انقلاب، زیر مجتمع تجاری سپاهان	زیرزمینی	۸۰
۷	مجتمع سیتی‌سنتر	۳	۱۲	ابتدای خیابان سیدعلی‌خان، زیر مجتمع سیتی‌سنتر	زیرزمینی	۹۰
۸	مجتمع تجاری چهارباغ	۳	۴	آمادگاه، کوچه سوره، زیر مجتمع تجاری چهارباغ	زیرزمینی	۴۰
۹	مجموعه عباسی	۳	۴	آمادگاه، مقابل هتل عباسی، کوچه سوره، زیر مجتمع عباسی	زیرزمینی	۱۰۰
۱۰	مجتمع تجاری فردوسی	۳	۴	خیابان چهارباغ عباسی، زیر مجتمع تجاری فردوسی	زیرزمینی	۳۵



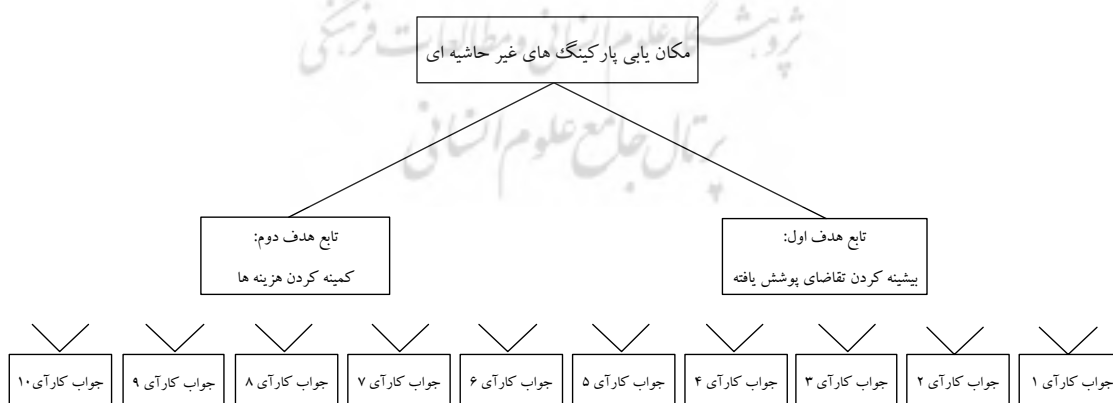
شکل (۴) نقاط تقاضای پارکینگ در محدوده مطالعاتی

جدول (۶) جواب‌های کارای به دست آمده از روش  $\epsilon$ -محدودیت به ازای  $n = 0$

جواب کارا	$Z_1$	$Z_2$	$\epsilon$	راه‌حل‌های کار (نوع پارکینگ‌های موجود)		
۱	۲,۰۸۳	۵,۳۴۹	۱۲,۰۰۰	(۱۲,۳)	(۱۳,۳)	(۱۴,۳)
۲	۲,۰۸۱	۴,۸۵۰	۵,۰۰۰	(۱۲,۲)	(۱۳,۳)	(۱۴,۳)
۳	۱,۹۹۲	۴,۴۴۵	۴,۷۰۰	(۱۲,۲)	(۱۳,۲)	(۱۴,۳)
۴	۱,۸۱۹	۴,۱۱۴	۴,۴۰۰	(۱۲,۳)	(۱۳,۱)	(۱۴,۳)
۵	۱,۶۱۲	۳,۷۷۱	۴,۰۰۰	(۱۲,۲)	(۱۳,۱)	(۱۴,۳)
۶	۱,۴۹۷	۳,۵۹۶	۳,۶۰۰	(۱۲,۲)	(۱۳,۱)	(۱۴,۱)
۷	۱,۲۲۰	۳,۲۰۶	۳,۴۰۰	(۱۲,۱)	(۱۳,۱)	(۱۴,۳)
۸	۱,۱۰۵	۳,۰۳۱	۳,۲۰۰	(۱۲,۱)	(۱۳,۱)	(۱۴,۱)
۹	۱,۴۹۷	۳,۵۹۶	۳,۷۰۰	(۱۲,۲)	(۱۳,۱)	(۱۴,۱)
۱۰	۲,۰۷۷	۴,۷۸۸	۴,۸۰۰	(۱۲,۳)	(۱۳,۲)	(۱۴,۳)

جدول (۷) ماتریس تصمیم‌گیری بی‌مقیاس شده به ازای  $n=0$

جواب کارا	$Z_1$	$Z_2$	جواب کارا	$Z_1$	$Z_2$
۱	۱	۰	۶	۰/۴۰۱	۰/۷۵۶
۲	۰/۹۹۸	۰/۲۱۵	۷	۰/۱۱۸	۰/۹۲۵
۳	۰/۹۰۷	۰/۳۹۰	۸	۰	۱
۴	۰/۷۳۰	۰/۵۳۳	۹	۰/۴۰۱	۰/۷۵۶
۵	۰/۵۱۸	۰/۶۸۱	۱۰	۰/۹۹۴	۰/۲۴۲



شکل (۶) ساختار سلسله‌مراتبی

جدول (۸) وزن هر یک از جواب‌های کارا نسبت به مکان‌یابی پارکینگ به‌ازای  $n_0$

هدف	جواب‌های کارا									
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
مکان‌یابی پارکینگ	۰/۰۹۱	۰/۱۰۹	۰/۱۱۵	۰/۱۱۰	۰/۱۰۳	۰/۰۹۸	۰/۰۸۶	۰/۰۸۱	۰/۰۹۸	۰/۱۱۰

جدول (۱۰) جواب‌های برتر به‌ازای  $n = 5$  به‌ازای مقادیر مختلف  $pc$

$pc$ (برحسب تومان در سال)	$Z_1$	$Z_2$	راه‌حل‌های برتر							
			موقعیت و نوع پارکینگ‌های جدید					نوع پارکینگ‌های موجود		
۰	۳،۰۸۷	۶،۹۹۶	(۱،۱)	(۲،۳)	(۴،۳)	(۱۰،۳)	(۱۱،۳)	(۱۲،۲)	(۱۳،۳)	(۱۴،۳)
۲۵۰،۰۰۰	۳،۰۷۷	۶،۴۴۵	(۲،۳)	(۴،۳)	(۶،۳)	(۱۰،۳)	(۱۱،۳)	(۱۲،۳)	(۱۳،۱)	(۱۴،۳)
۵۰۰،۰۰۰	۳،۰۷۷	۶،۶۹۷	(۲،۳)	(۴،۳)	(۶،۳)	(۱۰،۳)	(۱۱،۳)	(۱۲،۳)	(۱۳،۱)	(۱۴،۳)
۷۵۰،۰۰۰	۳،۰۷۷	۶،۹۹۴	(۲،۳)	(۴،۳)	(۶،۳)	(۱۰،۳)	(۱۱،۳)	(۱۲،۳)	(۱۳،۱)	(۱۴،۳)
۱،۰۰۰،۰۰۰	۲،۹۶۶	۶،۸۵۵	(۲،۳)	(۴،۳)	(۶،۳)	(۱۰،۲)	(۱۱،۳)	(۱۲،۳)	(۱۳،۱)	(۱۴،۳)
۱،۲۵۰،۰۰۰	۲،۸۴۹	۶،۸۳۳	(۲،۳)	(۴،۲)	(۹،۲)	(۱۰،۲)	(۱۱،۳)	(۱۲،۳)	(۱۳،۱)	(۱۴،۳)
۱،۵۰۰،۰۰۰	۲،۷۵۸	۶،۹۳۱	(۲،۲)	(۳،۳)	(۴،۲)	(۱۰،۲)	(۱۱،۲)	(۱۲،۳)	(۱۳،۱)	(۱۴،۳)
۱،۷۵۰،۰۰۰	۲،۷۱۲	۷،۱۵۹	(۲،۲)	(۴،۲)	(۹،۲)	(۱۰،۲)	(۱۱،۲)	(۱۲،۳)	(۱۳،۱)	(۱۴،۳)
۲،۰۰۰،۰۰۰	۲،۴۰۹	۷،۱۳۱	(۳،۲)	(۵،۲)	(۶،۲)	(۷،۲)	(۹،۲)	(۱۲،۳)	(۱۳،۱)	(۱۴،۳)
۲،۲۵۰،۰۰۰	جواب موجه ندارد									