

ارائه مدلی نوین در جهت جانمایی بهینه تسهیلات پارک سوار با به کارگیری الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی: شهر اصفهان)

حمید دهقان بنادکی*، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

مالک تجدد، کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه شهید باهنر کرمان

محمدرضا معتمدی فرد، فارغ التحصیل مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد

مجتبی ترابی میرزایی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - راه و ترابری، دانشگاه پیام نور واحد تهران

* dehghan9914@yahoo.com

تاریخ پذیرش: آبان ۹۱

تاریخ دریافت مقاله: آذر ۹۰

چکیده

از مهم‌ترین اهداف ایجاد یک سیستم حمل و نقل همگانی، بهبود سیستم برای استفاده‌کنندگان از آن و در درجه دوم جذب مسافران حمل و نقل شخصی می‌باشد. لذا یکی از مسائلی که باعث پایین آمدن سطح سرویس و در نتیجه کاهش تقاضا برای حمل و نقل عمومی می‌شود، دسترسی نامناسب وسایل نقلیه شخصی به این سیستم است. بنابراین با توجه به این نکته و همچنین سیاست جدید دولت در خصوص سهمیه‌بندی سوخت و عدم امکان کاربرد وسیله نقلیه برای کل طول سفر در شهرهای بزرگ، یکی از راهکارهای قابل تأمل، بحث تسهیلات پارک سوار برای ترغیب وسایل شخصی در استفاده از حمل و نقل همگانی خواهد بود. اما همواره در طرح و برنامه‌ریزی امکانات پارک سوار، یکی از کلیدی‌ترین موضوع‌ها، موقعیت مناسب آن‌هاست. بنابراین در این تحقیق با هدف بیشترین کاهش ترافیک در شبکه، نسبت به ارائه مدلی برای استقرار تسهیلات پارک سوار اقدام گردیده است. مدل ارائه شده بر اساس نقاط جمعیتی، مکان‌های بالقوه برای استقرار پارک سوار و مراکز متعدد تجاری فرمول‌بندی شده است. در ادامه نیز از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک برای حل مسائل با ابعاد بزرگ استفاده شده و کارایی آن نیز برای انجام چنین مسائلی نشان داده شده است. **کلید واژه:** پارک سوار، مکان‌یابی بهینه، الگوریتم ژنتیک، جذب حداکثری جریان، مدیریت ترافیک.

۱ - مقدمه

به مرکز تجاری شهر^۲ را دارند، می‌توانند با استفاده از تسهیلات پارک سوار سفر راحت‌تری را انجام داده و از پرداخت هزینه‌های سنگین پارک خودرو در مرکز تجاری شهر معاف گردند. کارایی تسهیلات پارک سوار نیز در گرو مکان‌یابی صحیح این تسهیلات است. تسهیلات پارک سوار به عنوان مکملی برای سیستم حمل و نقل عمومی عمل کرده و در فضایی داخل یا پیرامون شهر استقرار می‌یابد. به گونه‌ای که استفاده از آن علاوه بر پراکندگی جمعیت، موجب استفاده بیشتر از وسایل حمل و نقل عمومی می‌گردد. [۲] همچنین اهمیت و مزایای این امکانات را می‌توان در فعالیت‌هایی که کشورهای مختلف از جمله، آمریکا، ژاپن، کره، انگلستان، آلمان، هند و... در مورد اجرای این امکانات انجام داده‌اند، مشاهده کرد. بنابراین در این تحقیق با هدف بیشترین کاهش ترافیک در شبکه، نسبت به ارائه مدلی برای استقرار تسهیلات پارک سوار اقدام گردیده و مدل ارائه شده بر اساس نقاط جمعیتی، مکان‌های بالقوه برای استقرار پارک سوار و مراکز متعدد تجاری فرمول‌بندی شده است. در ادامه نیز از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک برای حل مسائل با ابعاد بزرگ استفاده شده و کارایی آن با انجام مطالعاتی نشان داده شده است.

از مشکلات اصلی که امروزه شهرهای بزرگ با آن رو به رو هستند ازدحام ترافیکی است که ناشی از کمبود پارکینگ، عدم استفاده از سیستم حمل و نقل عمومی، عدم توجیه فرهنگی و استقرار مراکز تجاری در مرکز شهر می‌باشد. همچنین یکی از مهم‌ترین مشکلات برنامه‌ریزان حمل و نقل شهری که ممکن است باعث پایین آمدن سطح خدمت در یک سیستم حمل و نقل عمومی و در نتیجه کاهش تقاضا شود را می‌توان عدم دسترسی مناسب وسایل نقلیه شخصی به این سیستم و مطلوبیت قابل توجه وسایل نقلیه شخصی در مقایسه با حمل و نقل همگانی دانست. از جمله مهم‌ترین راه‌کارها برای حل این مشکلات و ترغیب وسایل شخصی در استفاده از حمل و نقل همگانی استفاده از تسهیلات پارک-سوار می‌باشد که افراد خودرو را در آن پارک کرده و با استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی به سفر خود ادامه دهند. [۱] هدف از ایجاد این گونه تسهیلات عموماً تأمین دسترسی مناسب برای مناطق مرکزی شهرها و مراکز بزرگ تجاری و کاهش حجم ترافیک در مناطق مذکور است. به عبارت دیگر نقش پارک سوار^۱ ایجاد گزینه‌ای برای افرادی است که تمایل دارند تا از وسایل حمل و نقل عمومی استفاده نمایند و در عین حال برای بخشی از سفر خود به خودروی شخصی نیاز دارند. اغلب کسانی که از تسهیلات پارک سوار استفاده می‌نمایند و قصد سفری کاری

1- Park and Ride
2- Central Business District

۲ - پیشینه تحقیق

تاکنون در جهان تحقیقات مختلفی بر روی مکان‌یابی تسهیلات پارک سوار صورت گرفته است. در سال ۱۹۷۶ شنایدر، میلر و فردمن با تعریف یک سری گراف در محیط برنامه اتوکید به مکان‌یابی امکانات پارک سوار برای استفاده در سیستم حمل و نقل اتوبوس داخل شهری در مورد شبکه‌ای بزرگ و پیچیده از خیابان‌های نیمه شمالی شهر سیاتل آمریکا پرداختند، به این صورت که با تعریف یک تابع وزن دهی شده با متغیرهایی از قبیل طول سفر، طولانی‌ترین سفر و تساوی حقوق، به ارزیابی امکانات مکان‌یابی شده پرداختند و با تکرار عملیات فوق برای طرح‌های مختلف مکان‌یابی بهترین مجموعه از سایت‌ها را انتخاب کردند. [۳] محدودیت عمده روش مذکور کاربرد آن بر مبنای روش آزمون و خطاستکه کاربرد آن را زمان‌بر می‌کند. [۴]

در سال‌های بعد پژوهشگرانی چون کک و لیو برای هر یک از امکانات پارک سوار، حوزه تأثیری به صورت اشکال هندسی دایره یا سهمی تعریف کردند. [۵] همچنین در این راستا می‌توان مطالعات دیگری [۶ و ۷] را نیز نام برد که برای هر یک از امکانات پارک سوار، حوزه تأثیری به صورت سهمی در نظر گرفتند، با این فرض که این گونه حوزه‌های تأثیر نمایانگر محدوده‌ای از حوزه نفوذ هر سایت است، به عبارت دیگر تمایل یک کاربر را در استفاده از این امکانات در جهت سفر نشان می‌دهد. [۷]

طی مطالعات بعدی مشخص شد که مهم‌ترین محدودیت این دسته از تحقیقات که شکل معینی را برای حوزه تأثیر امکانات پارک سوار در نظر می‌گیرند، در نظر گرفتن درجه دسترسی برابر برای دو کاربر با فاصله تئوری مساوی از سایت مورد بررسی است. [۸ و ۹]

روش بعدی توسط سارجیوس و جانارتان در سال ۱۹۸۳ معرفی شد، همانند روش‌های قبلی، حوزه تأثیری برای هر یک از سایت‌ها در نظر می‌گرفت با این تفاوت که در تعریف حوزه تأثیر از مقایسه هزینه‌های سفر شامل ارزش زمان، زمان سفر و هزینه‌های پرداختی در حالت‌های مختلف انتخاب وسیله سفر استفاده کردند. به این ترتیب که کاربری که هزینه سفرش از طریق امکانات پارک سوار از هزینه سفر با وسیله شخصی کمتر باشد، در حوزه تأثیر سایت مورد بررسی قرار می‌گرفت، در غیر این صورت کاربر مذکور از حوزه تأثیر سایت مفروض حذف می‌شد. [۹] محدودیت اساسی که بر این روش وارد است، این است که صرفاً به بحث هزینه سفر پرداخته و جهت سفر کاربران را مد نظر قرار نمی‌دهد. [۶]

در همین راستا روشی معرفی شد که برای هر یک از انواع امکانات پارک سوار شکل و حوزه تأثیری به صورت پیش فرض تعریف کرد، به طوری که از آمار موجود سفرها بر اساس فاصله و زمان سفر آن‌ها تا هر سایت، حوزه تأثیری برای هر یک از انواع امکانات پارک سوار در نظر گرفته می‌شد. [۱۰]

هورنر و گریسیک در سال ۲۰۰۱ یک روش منعطف و مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی^۳ را برای ارزیابی مکان‌های بالقوه قرار گرفتن تسهیل پارک سوار در امتداد خطوط قطار داخل شهری ارائه دادند. [۱۱] فقری، لانگ، حمد و هنک در سال ۲۰۰۲ یک ابزار ترکیبی شامل یک سیستم خبره مبتنی بر دانش و یک

سیستم اطلاعات جغرافیایی را برای تعیین مکان بهینه تسهیلات پارک سوار ارائه کردند. [۱۲] همچنین مطالعه انجام شده توسط وانگ، یانگ و لیندسی در سال ۲۰۰۳ نیز مکان‌یابی بهینه و تعیین هزینه پارک خودرو در پارک سوار را در یک شهر که توزیع جمعیت خطی فرض شده بود، مورد بررسی قرار داد. در این تحقیق ساکنین شهر به طور یکنواخت از مرکز تا محوطه بیرونی شهر توزیع شده‌اند و تمام مسافت‌ها از محل اقامت به مرکز شهر است. مدل با پیشینه کردن مقدار منفعت و کمینه کردن هزینه عمومی، مکان‌یابی بهینه استقرار پارک سوارها را تعیین می‌کند. [۱۳]

در تحقیقی که توسط هورنر و گروز (۲۰۰۷) انجام شده انتخاب مکان بهینه برای تسهیلات پارک سوار بر روی مسیر مترو بررسی گردیده است. آن‌ها با هدف استقرار مناسب پارک سوارها با توجه به مکان‌های بالقوه مدلی جدید ارائه کردند. در این مدل سعی گردید که میزان VMT^4 کاسته شده از شبکه حمل و نقل به بیشترین میزان ممکن افزایش یابد. در این مقاله با توسعه مدل هورنر و گروز، مدلی مناسب برای مکان‌یابی تسهیلات پارک سوار بر روی شبکه حمل و نقل شهری ارائه می‌گردد.

۳ - اهمیت مکان‌یابی امکانات پارک سوار

به دلایل بسیار، موقعیت امکانات پارک سوار از اهمیت زیادی برخوردار است. به عنوان مثال بی میلی یک کاربر معمولی، صرف نظر از مقدار ترافیک را در نظر بگیرید که می‌خواهد قبل از رسیدن به مقصد از اتومبیل شخصی خود پیاده و باقیمانده سفر خود را از طریق امکانات پارک سوار انجام دهد. با فرض این که چنین میلی از طریق ارایه حمل و نقل همگانی سریع و ارزان به وجود آید، آیا باز هم کاربری پیدا خواهد شد که برای دست‌یابی به حمل و نقلی ارزان و سریع تغییر مسیر داده تا به سایت پارک سوار دسترسی یابد. [۱۴] بنابراین اگر امکانات پارک سوار در ابتدای سفر وسایل نقلیه شخصی قرار داده شود، تمایل به کاربرد آن‌ها از بقیه حالات بیشتر است. [۱۵]

موضوع قابل تأمل دیگر تغییر احتمالی الگوهای سفر، به دلیل مکان‌یابی نامناسب امکانات پارک سوار است. [۱۶] به عنوان مثال اگر حجم قابل ملاحظه‌ای از وسایل نقلیه شخصی به هدف دسترسی به امکانات پارک سوار از مسیر سفر خود منحرف شوند، مطمئناً الگوهای سفر جدیدی را به وجود خواهند آورد که به دنبال آن مشکلات ترافیکی محلی و همچنین ترافیک ناخواسته در قسمت‌هایی از شبکه به ویژه در خیابان‌های جمع و پخش کننده جریان پیدا خواهد کرد. با توجه به مطالب ذکر شده موقعیت امکانات پارک سوار بایستی دارای مشخصه‌هایی از قبیل دسترسی مناسب و امکان توسعه در آینده باشد. [۷] و همچنین در موقعیت‌هایی قرار گیرد که زمین وسیع و یا امکان ساخت پارکینگ‌های طبقاتی در آن باشد و حداکثر تداخل با وسایل نقلیه شخصی را داشته باشد. [۸] در این امکانات می‌بایستی دسترسی

3- Geographic Information System
4- Vehicle Miles Traveled

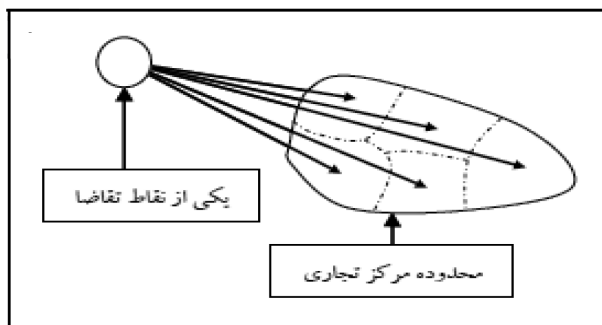
بسیاری در اطراف تسهیلات پارک سوار از بین خواهد رفت.

۵ - تعریف مسأله

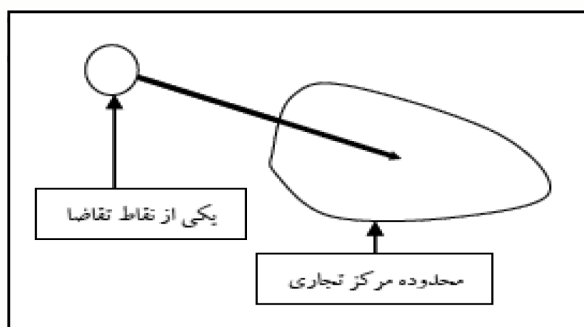
همان طور که بیان شد هورنر و گروز در سال ۲۰۰۶ مدلی برای مکان‌یابی تسهیلات پارک سوار ارائه نمودند که هدف آن بیشینه کردن ترافیک کاسته شده از شبکه بود. معیار ترافیک در این مدل، مجموع مسافت طی شده توسط تمام خودروها در پریود زمانی مشخصی در نظر گرفته شده بود. در ارتباط با مدل هورنر و گروز نکات زیر حائز اهمیت است:

در بسیاری از مواقع مسافت معیار مناسبی برای ارزیابی فاصله بین دو نقطه نمی‌باشد، زیرا این احتمال وجود دارد که یک مسیر کوتاه اما پر ازدحام در مدت زمانی بیش از یک مسیر طولانی که دارای ازدحام کمتری نسبت به مسیر قبلی است، طی شود. لذا مناسب‌تر است که از عامل زمان برای ارزیابی فاصله بین دو نقطه استفاده گردد.

در تحقیق انجام شده تنها یک مرکز تجاری شامل کل محدوده مرکزی تجاری برای شهر در نظر گرفته شده است. همچنین میزان تقاضای سفر از هر یک از نقاط تقاضا به مرکز تجاری برابر با میزان سفر از هر یک از نقاط تقاضا به کل نقاط موجود در محدوده مرکز تجاری فرض شده است. (شکل ۱) به لحاظ اعمال شرایط واقعی در مدل می‌توان با تقسیم محدوده مرکزی تجاری شهر به نواحی کوچک‌تر و منظور نمودن هر یک از آن‌ها به عنوان یک مرکز تجاری و در نظر گرفتن میزان تقاضای سفر از هر یک از نقاط تقاضا به هر یک از این مراکز تجاری نتایج دقیق‌تری به دست آورد.



شکل (۱-الف): در نظر گرفتن یک محدوده تجاری



شکل (۱-ب): تقسیم محدوده تجاری شهر به نواحی کوچک‌تر

مناسب به شبکه راه‌های اصلی وجود داشته باشد. [۷] از آن جا که طرح مکان‌یابی چنین امکاناتی بستگی فراوان به مشخصه‌های اقتصادی، اجتماعی و جغرافیایی دارد از اهمیت بسیاری برخوردار است. [۱۷]

۴- معیارهای مؤثر در مکان‌یابی امکانات پارک سوار [۱۹]

با مرور تجربیات گذشته در مورد به کارگیری امکانات پارک سوار مشاهده می‌شود که یکی از مهم‌ترین عواملی که در روند مکان‌یابی امکانات پارک سوار بایستی به آن پرداخته شود، ضوابط و معیارهای مناسب برای مکان‌یابی این امکانات است. بنابراین در ادامه ضوابط پیشنهادی برای مکان‌یابی امکانات پارک سوار ارائه می‌شود:

۱.۴- پوشش حداکثر تقاضای موجود و تقاضای بالقوه با مد نظر قرار دادن کاهش تمایل افراد در کاربرد امکانات به نسبت افزایش فاصله آن‌ها از امکانات:

با چنین معیاری ضمن این که گزینه مناسبی برای کلیه کاربران برای انجام قسمتی از سفر خود با حمل و نقل همگانی ایجاد کرده‌ایم، همچنین سیستم حمل و نقل عمومی را طوری گسترش داده‌ایم که ساکنین مناطق مسکونی کم جمعیت به راحتی به سیستم حمل و نقل عمومی دسترسی پیدا می‌کنند.

۲.۴- مد نظر داشتن تسهیلات موجود پارک سوار و یا پارکینگ‌هایی که قابلیت پارک سوار شدن را دارند:

در نظر گرفتن این معیار به دلیل حفظ منابع مالی بسیار ناشی از ساخت پارک سوارهای جدید و عدم حذف سایت‌های موجود یا پارکینگ‌های بالقوه برای کاربرد به عنوان پارک سوار می‌باشد.

۳.۴- دسترسی مناسب امکانات نسبت به شریان‌های پرسرعت و فاصله مناسب آن‌ها از مرکز شهر:

محققان بسیاری پیشنهاد می‌کنند که این امکانات بهتر است در کنار شریان‌های اصلی و قبل از ورودی خیابان‌هایی که از ترافیک زیادی برخوردارند و هدف، کاهش مشکلات ترافیک آن محدوده است، قرار گیرند. همچنین سایت‌های نامزد حدود ۶-۴ کیلومتر از مرکز تجاری فاصله داشته باشند.

۴.۴- ظرفیت محدود برای هر سایت:

در اکثر روش‌های قبلی محدودیتی به لحاظ ظرفیت برای سایت‌ها در نظر گرفته نشده بود چرا که در اغلب آن‌ها فرض شده بود که پارک سوارها به ظرفیت خود نمی‌رسند. ولی مطمئناً حالت‌هایی برای شهرهایی مثل مشهد وجود دارد که در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت برای سایت‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است.

۵.۴- فاصله مناسب سایت‌ها از یکدیگر:

دلیل تعریف چنین معیاری برای اجتناب از تجمع سایت‌ها در یک محدوده می‌باشد. هرچند که در معیار پوشش حداکثر بحث دوری مناسب پارک سوارها از یکدیگر وجود دارد، ولی تعریف یک فاصله استاندارد باعث اطمینان از این مسأله خواهد بود که ترافیک

V : متوسط سرعت وسیله نقلیه عمومی
 $T^{k,s}$: متوسط زمان سفر از نقطه تقاضای k ام به مرکز تجاری s ام (در صورتی که کل این مسیر با استفاده از خودروی شخصی طی شود، به عبارت دیگر از تسهیل پارک سوار استفاده نشود).
 $t^{k,p}$: متوسط زمان سفر از نقطه تقاضای k ام به نقطه بالقوه p ام (این مسیر با استفاده از خودروی شخصی طی می‌شود).
 $t^{p,s}$: متوسط زمان سفر از نقطه بالقوه p ام به مرکز تجاری s ام (این مسیر توسط سیستم حمل و نقل عمومی طی می‌شود).
 بنابراین با توجه به تمام نکات و همچنین فرض ۶ که در صفحه قبل به آن اشاره شد، زمان سفر از تسهیلات پارک سوار به مرکز تجاری از طریق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$t^{p,s} = \left(\frac{\text{distance}^{p,s}}{v} \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

$t^{k-s,p}$: متوسط زمان سفر از نقطه تقاضای k ام به مرکز تجاری s ام، با استفاده از پارک سوار مستقر در نقطه بالقوه p ام که طبق فرض ۶، زمان سفر به مرکز تجاری در صورت استفاده از پارک سوار برابر است با:

$$t^{k-s,p} = t^{k,p} + t^{p,s} \quad \text{رابطه (۲)}$$

با استفاده از روابط (۱) و (۲) خواهیم داشت:

$$t^{k-s,p} = t^{k,p} + \left(\frac{\text{distance}^{p,s}}{v} \right) \quad \text{رابطه (۳)}$$

$\theta^{k,s}$: ضریب رضایت برای سفر از نقطه تقاضای k ام به مرکز تجاری s ام.
 بر مبنای فرض ۴، نقاط بالقوه‌ای که در محدودیت زیر صدق کنند، سفر رضایت بخشی را بین نقطه تقاضای k ام و مرکز تجاری s ام فراهم می‌آورند:

$$\frac{t^{k-s,p}}{t^{k,s}} \leq \theta^{k,s} \quad \text{رابطه (۴)}$$

DC: حداقل فاصله مجاز بین نقاط تقاضا و نقاط بالقوه.
 طبق فرض ۴، شرط لازم برای تخصیص تقاضای سفر نقطه k ام و هریک از مراکز تجاری به نقطه بالقوه p فراهم می‌شود. اگر:

$$\text{distance}^{k,p} \geq DC \quad \text{رابطه (۵)}$$

$At^{k-s,p}$: اگر نقطه بالقوه p ام فرض ۴ را برآورده سازد، آن‌گاه مقدار این متغیر برابر اب ۱ و در غیر این صورت مقدار آن صفر است. به طور کلی هر یک از نقاط بالقوه p که قابلیت این را داشته باشد که تقاضای سفر بین نقطه تقاضای k ام و مرکز تجاری s ام به آن تخصیص داده شود، مقدار $At^{k-s,p}$ آن ۱ و در غیر این صورت مقدار آن صفر است. بنابراین طبق روابط (۴) و (۵) داریم:

$$At^{k-s,p} = \begin{cases} 1: & \frac{t^{k-s,p}}{t^{k,s}} \leq \theta^{k,s}, \text{distance}^{k,p} \geq DC; \forall k, s, p \\ 0: & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

از شاخصه‌های مهم در بررسی سیستم‌های حمل و نقل عمومی و ارائه خدمات به مسافران، میزان رضایت مسافر از زمان و کیفیت سفر می‌باشد که در تحقیق آقایان هورنر و گروز مد نظر قرار نگرفته بود. افراد در صورتی از پارک سوار استفاده می‌نمایند که نسبت زمان سفر از پارک سوار با استفاده از وسیله شخصی و بدون استفاده از پارک سوار، از مقدار معینی بیشتر نباشد.

تجربه نشان داده در صورتی که فاصله میان تسهیلات پارک سوار و نقطه شروع حرکت از حد معینی کمتر باشد، مسافر تمایلی به استفاده از این تسهیلات نخواهد داشت.

در این تحقیق با در نظر گرفتن عامل زمان و رضایت مسافر و تعدد مراکز تجاری مدلی ارائه می‌گردد که مکان‌های مناسب برای استقرار پارک سوار بر روی شبکه حمل و نقل شهری به نحوی تعیین می‌شوند که ترافیک شبکه به بیشترین میزان ممکن کاهش یابد. در ارائه مدل فرض‌های زیر در نظر گرفته شده‌اند:

احداث تمامی پارک سوارها دارای هزینه یکسان می‌باشد.
 پارک سوارها دارای محدودیت ظرفیت نمی‌باشند.
 ارتباط متقابلی بین پارک سوارهای استقرار یافته وجود ندارد.
 در صورت برقراری دو شرط زیر برای هر یک از نقاط بالقوه، قابلیت تخصیص تقاضای میان نقطه تقاضا و مرکز تجاری به آن نقطه بالقوه وجود دارد: الف- نسبت زمان سفر با استفاده از پارک سوار به زمان سفر با خودروی شخصی بیش از مقدار معینی نباشد. ب- فاصله بین نقطه تقاضا و نقطه بالقوه بیش از مقدار تعیین شده باشد.

هزینه سفر با خودروی شخصی بیش از هزینه سفر با استفاده از سیستم حمل و نقل عمومی می‌باشد. از این رو از میان نقاط بالقوه‌ای که پارک سوار در آن‌ها استقرار یافته و امکان تخصیص سفر به آن‌ها وجود دارد، مکان بالقوه‌ای که دارای کمترین زمان سفر با استفاده از خودروی شخصی باشد انتخاب می‌شود.

در صورتی که مسافر از تسهیلات پارک سوار استفاده نماید زمان سفر به مراکز تجاری از جمع زمان سفر از نقطه مبدأ به پارک سوار و زمان سفر از پارک سوار به مرکز تجاری حاصل می‌شود. در این عبارت، زمان سفر از تسهیل پارک سوار به مرکز تجاری، از طریق تقسیم فاصله تسهیلات پارک سوار تا مرکز تجاری بر متوسط سرعت وسیله حمل و نقل عمومی محاسبه می‌شود. فاصله بین دو نقطه برابر با کوتاه‌ترین مسیر بین آن‌ها بر روی شبکه فرض می‌شود.

فواصل ارائه شده بیانگر فاصله بین مرکز دو ناحیه مورد نظر می‌باشد.

در توسعه مدل پیشنهادی نمادهای زیر برای پارامترها و متغیرها در نظر گرفته شده است:

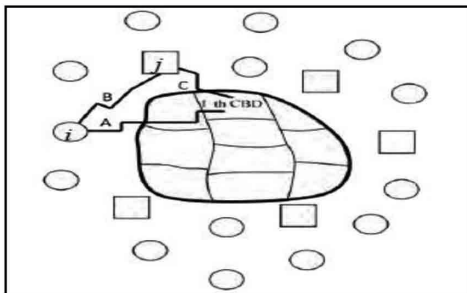
- n : تعداد مراکز تجاری شهر
- m : تعداد نقاط بالقوه برای استقرار تسهیلات پارک سوار
- d : تعداد نقاط تقاضا
- PR: حداکثر تعداد پارک سوارها
- $D^{k,s}$: متوسط تقاضای سفر از نقطه تقاضای k ام به مرکز تجاری s ام
- $\text{distance}^{k,p}$: فاصله بین نقطه تقاضای k ام و نقطه بالقوه p ام
- $\text{distance}^{p,s}$: فاصله بین نقطه بالقوه p ام و مرکز تجاری s ام

تخصیص می‌یابد. تقاضای میان دو نقطه نباید بیش از یک پارک سوار تخصیص داده شود. (محدودیت ۱۶)

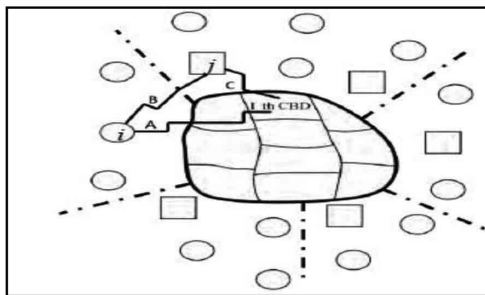
طبق مفروضات بیان شده و از آن جایی که تعداد تسهیلاتی که باید استقرار داده شوند مشخص بوده، نقاط بالقوه دارای هزینه یکسان می‌باشد و تجهیزات دارای محدودیت ظرفیت نمی‌باشند، می‌توان مدل پیشنهادی را در دسته مدل‌های P-Median قرار دارد. از طرف دیگر جذب جریان حمل و نقل توسط مدل پیشنهادی، وجه اشتراک آن با مدل مکان‌یابی جذب کننده جریان می‌باشد. همچنین از آن جایی که در مدل ارائه شده علاوه بر تعیین مکان‌های بهینه برای استقرار، هریک از نقاط تقاضا به تسهیلات پارک سوار نیز تخصیص داده می‌شوند، می‌توان این مدل را در دسته مدل‌های مکان‌یابی - تخصیص قرار داد.

از آن جایی که مدل ارائه شده مربوط به مکان‌یابی تسهیلات پارک سوار بر روی شبکه شهری می‌باشد. بنابراین می‌توان با ارائه دیاگرام مدل، اطلاعات مربوط به موقعیت جغرافیایی نقاط جمعیتی، مراکز تجاری و مکان‌های بالقوه برای استقرار پارک سوار را به روشنی نشان داد.

شکل (۲-الف) را در نظر بگیرید. در این شکل دایره‌ها بیانگر نقاط تقاضا، مربع‌ها بیانگر نقاط بالقوه برای ایجاد تسهیلات پارک سوار و مراکز تجاری، در محدوده مرکزی آن قرار دارند. نقطه تقاضای i ، مکان بالقوه j و مرکز تجاری l توسط سه مسیر A ، B ، C به یکدیگر مرتبط می‌شوند. مسیر A بیانگر مسیر سفر بین نقطه تقاضای i و مرکز تجاری l می‌باشد. زمانی که شخص از پارک سوار استفاده نکند با استفاده از خودروی شخصی این مسیر را طی می‌نماید.



شکل (۲ - الف): شبکه حمل و نقل شهری



شکل (۲ - ب): تقسیم بندی شبکه حمل و نقل شهری

به منظور شناخت و تجزیه و تحلیل بهتر، مدل در راستای ۲ سناریوی زیر بررسی می‌گردد:

سناریو ۱: در این سناریو فرض می‌شود که تسهیلات می‌توانند

همچنین متغیرهای زیر، نیز در این مدل مورد استفاده قرار گرفته‌اند:

y_p : اگر پارک سوار در نقطه بالقوه p ام استقرار داده شود، مقدار آن برابر ۱ و در غیر این صورت مقدار آن برابر ۰ است:

$$y_p \in \{0, 1\}$$

$A^{k-s,p}$: بر اساس فرض ۵ می‌دانیم که تقاضای سفر از نقطه تقاضای k ام به مرکز تجاری s ام به پارک سوار اختصاص می‌یابد که در میان تمامی پارک سوارهایی که امکان تخصیص سفر میان این دو نقطه، نقطه تقاضای k ام و مرکز تجاری s ام، به آن‌ها وجود دارد، دارای کمترین زمان سفر با استفاده از خودروی شخصی باشد. متغیر $A^{k-s,p}$ بیانگر نقطه بالقوه‌ای است که تقاضای سفر از نقطه تقاضای k ام به مرکز تجاری s ام، به آن اختصاص می‌یابد. از این رو در صورتی که میزان تقاضای سفر از نقطه تقاضای k ام به مرکز تجاری s ام، به نقطه بالقوه p ام تخصیص داده شود مقدار آن برابر ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ است.

۱.۵ - ارائه مدل:

بر اساس تعاریف فوق مدل مکان‌یابی تسهیلات پارک سوار به صورت زیر می‌باشد:

$$MAX \quad PI = \frac{\sum_p \sum_k \sum_s A^{k-s,p} (T^{k,s} - t^{k,p}) + D^{k,s}}{\sum_k \sum_s T^{k,s} + D^{k,s}} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$S.T: \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$\sum_p y_p = PR \quad ; \quad y_p \in \{0, 1\} \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$x^{k-s,p} = y_p * A^{k-s,p} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$Z_p = M(1 - y_p) + y_p \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

$$T_{min}^k \leq Z_p * t^{k,p} \quad , \quad \forall p = 1, 2, \dots, m \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$T_{min}^k - t^{k,p} < \delta^{k,p} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$t^{k,p} - T_{min}^k \leq -M(\delta^{k,p} - 1) \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

$$A^{k-s,p} \leq (\delta^{k,p} + x^{k-s,p})/2 \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

$$A^{k-s,p} > \delta^{k,p} + x^{k-s,p} - 2 \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

$$\sum_p A^{k-s,p} \leq 1 \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

$$A^{k-s,p}, \delta^{k,p}, x^{k-s,p} \in \{0, 1\} \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

$$Z_p, T_{min}^k \geq 0 \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

رابطه (۷) تابع هدف و بیانگر نسبت میزان ترافیک کاسته شده از شبکه حمل و نقل می‌باشد. صورت کسر بیانگر زمان کاسته شده از شبکه و مخرج کسر برابر با کل زمان سفر شبکه می‌باشد. در حقیقت این تابع بیان می‌کند که چند درصد از کل زمان سفر در شبکه، توسط پارک سوارهای جدید جذب می‌شوند.

محدودیت (۸) مربوط به تعداد پارک سوارها می‌باشد و روابط (۹) تا (۱۵) بیان می‌کنند که تقاضای میان هریک از نقاط تقاضا و مرکز تجاری، در صورت تخصیص یافتن، به کدام نقطه بالقوه

۶- راهکار فرا ابتکاری (الگوریتم ژنتیک)

هر چند از راهکار بهینه می‌توان برای حل مسائل با ابعاد کوچک و متوسط استفاده نمود، ولی برای حل مسائل بزرگ نیاز به استفاده از رویکردهای ابتکاری یا فرا ابتکاری می‌باشد. الگوریتم ژنتیک (هالند ۱۹۷۵) دارای کاربردهای متفاوتی همچون حل مسائل بهینه‌سازی عددی و ترکیبی، آموزش ماشین و پیش بینی می‌باشد. [۱] به دلیل ویژگی‌های مدل ارائه شده از الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل بزرگ استفاده شده است.

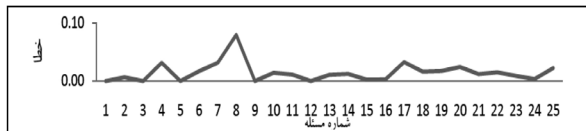
۱-۶. پارامترهای الگوریتم ژنتیک: پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک به کار رفته در این تحقیق مطابق جدول شماره (۲) می‌باشند:

جدول (۲): پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک

پارامترها	نماد	مقدار
جمعیت اولیه	N	تعداد مکان های بالقوه (m)
جهش	φ	۰/۵
ادغام	β	۰/۵
معیار توقف	iteration	$\left \left \frac{m}{2} - i \right - \left \frac{m}{2} \right \right * l ; l = 5$ i: تعداد پارک سوارهایی که باید استقرار یابند.

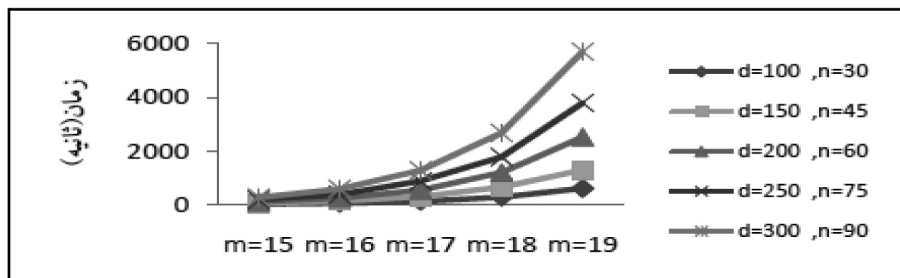
به منظور بررسی کارایی الگوریتم ژنتیک ارائه شده، ۲۵ دسته مسأله با پارامترهای مشخص شده در جدول ۱، توسط روش ارائه شده حل و نتایج آن‌ها بررسی شده است. (شکل ۴)

شکل (۴): درصد خطای مسائل حل شده توسط الگوریتم ژنتیک



جدول (۱): مسائل تعریف شده به همراه پارامترهای آن‌ها

۲۵	۲۴	۲۳	۲۲	۲۱	۲۰	۱۹	۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱		
۱۹					۱۸					۱۷					۱۶					۱۵					m	
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	d
۹۰	۷۵	۶۰	۴۵	۳۰	۹۰	۷۵	۶۰	۴۵	۳۰	۹۰	۷۵	۶۰	۴۵	۳۰	۹۰	۷۵	۶۰	۴۵	۳۰	۹۰	۷۵	۶۰	۴۵	۳۰	n	



شکل (۳): زمان حل مسائل با استفاده از روش بهینه

در هریک از نقاط بالقوه استقرار یابند. طبق این فرض تغییری در مدل به وجود نمی‌آید.

سناریو ۲: در این حالت شبکه شهری به نواحی مختلف تقسیم و فرض می‌شود در هر یک از این نواحی می‌توان حداکثر به تعداد مشخصی پارک سوار مستقر نمود. این محدودیت به صورت رو به رو به مدل اضافه می‌گردد.

$$\sum_{p \in I} y_p \leq q_l$$

در محدودیت فوق q_l بیانگر تعداد نواحی و q_1 بیانگر حد بالای تعداد پارک سوارهایی است که می‌تواند در ناحیه l ام استقرار یابد. عبارت $p \in I$ نیز به معنی نقاطی است که در ناحیه l ام قرار دارند. همچنین مقدار PR باید در رابطه زیر صدق نماید:

$$PR \leq \sum_1 q_l \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

برای سناریو دوم، شکل (۲-ب) را در نظر بگیرید. در این شکل، شبکه شهری به ۵ قسمت تقسیم و در هریک از این قسمت‌ها حداکثر می‌توان یک پارک سوار مستقر نمود. بنابراین می‌توان نوشت:

$$q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = q_5 = 1$$

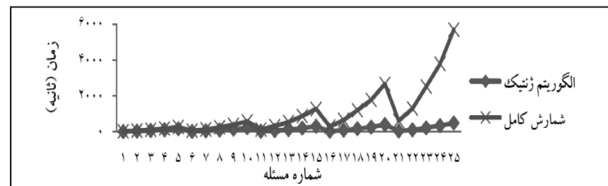
راهکار بهینه برای شناسایی بهترین مکان (یا مکان‌ها) برای استقرار پارک سوار، بررسی تمام حالات و بهترین حالت می‌باشد. روش شمارش کامل اگرچه جواب بهینه مربوط به استقرار پارک سوار را ارائه می‌دهد، اما به دلیل محدودیت زمانی فقط می‌تواند برای حل مسائل با ابعاد کوچک و متوسط مورد استفاده قرار گیرد. شکل (۳) زمان حل مسائل ارائه شده در جدول (۱) را با استفاده از روش شمارش کامل نشان می‌دهد. زمان حل این مسائل نمایی با درجه پیچیدگی (2^n) می‌باشند.

با توجه به شکل ۴، میزان خطا در این مسائل، ۰/۰۸٪ می‌باشد که از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{خطا} = \frac{\text{جواب الگوریتم ژنتیک} - \text{جواب بهینه}}{\text{جواب الگوریتم ژنتیک}} \times 100$$

زمان حل: طبق شکل (۵)، مسائل بزرگ با استفاده از الگوریتم ژنتیک در زمانی بسیار کوتاه به جواب مناسب دست یافته‌اند.

شکل (۵): زمان حل مسائل

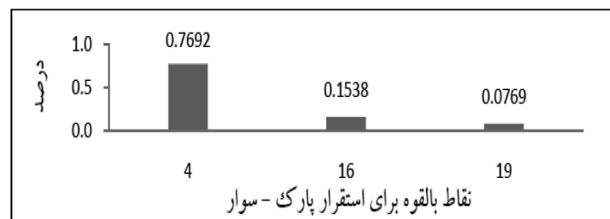


۷- مطالعه موردی

از آن جایی که استقرار صحیح پارک سوار تأثیر به‌سزایی بر کارایی این تسهیلات دارد، این تحقیق به عنوان مطالعه موردی سعی بر مکان‌یابی موثر تسهیلات پارک سوار در سطح شهر اصفهان داشته است. در ارائه مدل و به منظور مکان‌یابی تسهیلات پارک سوار در سطح شهر اصفهان، اطلاعات متعددی از جمله شناسایی مراکز تجاری اصفهان، تعیین نقاط بالقوه برای استقرار پارک سوار، تعیین نقاط تقاضا، تهیه ماتریس تقاضای سفر، تعیین ماتریس زمان سفر از نقاط تقاضا به مراکز تجاری، تهیه ماتریس زمان سفر از نقاط تقاضا به نقاط بالقوه برای استقرار پارک سوار، تعیین ماتریس فاصله میان نقاط تقاضا و نقاط بالقوه برای استقرار پارک سوار، تهیه ماتریس فاصله بین نقاط بالقوه برای استقرار پارک سوار و مراکز تجاری و ... با توجه به مطالعات انجام شده در شهر اصفهان، به دست آمده است.

۱.۷- اجرای مدل و ارائه نتایج حاصله:

مدل به طریق شمارش کامل در محیط Microsoft Visual C #2008 برنامه‌نویسی شده و اجرا شده است. مدل به ازای مقادیر مختلف سرعت وسیله حمل و نقل عمومی حل و نتایج زیر حاصل شده است. بخشی از نتایج حاصل از اجرای مدل در شکل (۶) آمده است. این شکل بیانگر این است که اگر قرار باشد یک پارک سوار استقرار داده شود، نقطه بالقوه شماره ۴ در ۷۶/۹۲٪ موارد به عنوان بهترین گزینه بوده و مکان‌های ۱۶ و ۱۹ بترتیب با ۱۵/۳۸٪ و ۷/۶۹٪ موارد در اولویت بعدی قرار دارند.



شکل (۶): نمایش نتایج حاصل از اجرای مدل

همچنین در جدول (۳) نتایج حاصل از استقرار چند پارک سوار آمده است. این جدول به دلیل کمبود فضا برای احداث تعداد زیادی تسهیلات پارک سوار، فقط چهار نقطه مکان‌های بهینه با احتمال بیشتر برای استقرار ۳ و ۲ پارک سوار را نشان می‌دهد.

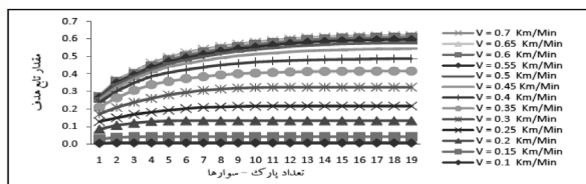
جدول (۳): مکان‌های بهینه استقرار پارک سوارها

پارک ۲ سوار		پارک ۳ سوار		پارک ۴ سوار	
مکان ها	احتمال (%)	مکان ها	احتمال (%)	مکان ها	احتمال (%)
۱۹-۴	۶۹/۲۳	۱۹-۸-۴	۴۶/۱۵	۱۹-۸-۴-۳	۳۸/۴۶
۱۶-۴	۱۵/۳۸	۱۹-۱۱-۴	۱۵/۳۸	۱۶-۹-۵-۴	۱۵/۳۸
۵-۴	۷/۶۹	۹-۵-۴	۷/۶۹	۱۶-۹-۸-۴	۱۵/۳۸
۹-۴	۷/۶۹	۱۶-۵-۴	۷/۶۹	۱۹-۱۱-۸-۴	۱۵/۳۸

همان‌طور که در جدول فوق مشاهده می‌شود، مکان‌های بهینه برای استقرار دو پارک سوار (نقاط ۴ و ۱۹) از اضافه شدن مکان ۱۹ به مکان بهینه در حالت استقرار یک پارک سوار (نقطه ۴) به دست می‌آید. این ویژگی این امکان را فراهم می‌سازد تا بتوان بدون هزینه جا به جایی، گسترش لازم در تسهیلات پارک سوار برای سیستم حمل و نقل را ممکن ساخت. برای مثال اگر قرار باشد که در ابتدا تنها یک پارک سوار در سیستم استقرار یابد و در آینده تصمیم به استقرار دو پارک سوار گرفته شود، آن‌گاه با اضافه نمودن پارک سوار به مکان بالقوه مورد نظر، بهینه‌گی حفظ می‌شود.

۲.۷- تغییرات تابع هدف و تعیین حد بهینه‌گی:

با تغییر سرعت متوسط علاوه بر تغییر در مکان‌های انتخاب شده، مقدار تابع هدف نیز تغییر می‌کند. تغییر در تابع هدف رابطه مستقیم با تغییر سرعت متوسط دارد. شکل (۷) بیانگر تغییرات تابع هدف به ازای مقادیر مختلف سرعت متوسط می‌باشد. همچنین یکی دیگر از تحلیل‌هایی که می‌توان ارائه داد تعیین حد بهینه تعداد پارک سوارها به ازای سرعت معینی می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در این نمودار بعد از مقدار $PB=12$ تغییرات تابع هدف کم و ناچیز می‌باشد.



شکل (۷): نمایش نتایج حاصل از اجرای مدل

از نمودار موجود در شکل (۷) می‌توان به نتایج زیر رسید: مقدار تابع هدف به ازای مقادیر پایین سرعت متوسط، یعنی $V=0.1$ $0.15 \text{ km}/\text{min}$ بسیار اندک است و در صورتی که سرعت متوسط وسایل نقلیه عمومی برابر با این مقادیر باشد باید اقدام به افزایش سرعت متوسط این وسایل نمود. از جمله راهکارهای افزایش سرعت ای‌جاد خطوط BRT و ... می‌باشد. رشد تابع هدف، به ازای تغییر سرعت متوسط از $V=0.2$ تا

4. Horner, Ark W. and Groves, Sarah (2007), "Network flow-based strategies for identifying rail park-and-ride facility locations" Socio-Economic Planning Sciences. Article in press, Available at www.elsevier.com/locate/seps.

5. Keck, C.A. and Liou, P.S. (1976) "Forecasting demand for peripheral park-and-ride service", Transportation Research Record, 563, pp.63-74.

6. Christiansen, D., Bullard, D., and Peterson, R. (1981) "Houston park-and-ride facilities: an analysis of survey data", Texas Transportation Institute.

7. Turnbull, K. F. (1995) "Effective use of park-and-ride facilities. Transportation Research Board". National Cooperative Research Program Synthesis 213.

8. Farhan, Bilal, and Murray, Alan, T., (2007) "Siting park - and - ride facilities using a multi - objective spatial optimization model", Computers & Operations Research. Article in press, Available at www.elsevier.com

9. Sargious, M.A. and Janarthanan, N. (1983) "Forecasting demand for the park-and-ride mode and determining the optimal location of stations", Canadian Journal of Civil Engineering; 10: pp.695-702.

10. Allen, D. (1979) "Estimating the service area for park-and-ride operations", North Central Texas Council of Governments.

11. Horner, M. and T. Grubescic. A Gis-Based Planning Approach to Locating Urban Rail 3 Terminals. Transportation, Vol. 28, No. 1, 2001, pp. 55-77.

12. Faghri, A., Lang, A., Hamad, K. and Henck, H., "Integrated Knowledge-Based Geographic Information System for Determining Optimal Location of Park-and-Ride Facilities", Urban Planning and Development, Vol. 128, No. 1, pp. 18-41, 2002.

13. Judith Y.T. Wang, Hai Yang, Robin Lindsey. Locating and pricing park-and-ride facilities in a linear monocentric city with deterministic mode choice. Transportation Research Part B 38 (2004) 709-731.

14. Taaffe, E.J., Gauthier, H.L. and O'Kelly, M.E. (1996) "Geography of transportation". N.J.: Prentice Hall, Inc.

15. Burns, E.N. (1979) "Priority rating of potential park-and-ride sites". ITE Journal; 4; pp.9:29-31.

16. Parkhurst G. (1995) "Park-and-ride: could it lead to an increase in car traffic?" pp.15-23

17. Spillar, R. (1997) "Park-and-ride planning and design guidelines", New York: Parsons Brinkerhoff Quade and Douglas.

18. Dickins, I. S. J. (1991) "Park and ride facilities on light rail transit systems", pp.23-36.

۱۹. سعیدیان، م، رحمانی، م، (۱۳۸۷)، "مکان‌یابی امکانات پارک سوار"، هشتمین کنفرانس حمل و نقل تهران، هتل المپیک.

۲۰. خاکباز، ا، شاهنده، ع، (۱۳۸۸)، "مکان‌یابی تسهیلات پارک سوار بر روی شبکه حمل و نقل شهری"، هشتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی اصفهان.

$V=0.45$ بسیار زیاد است و با اعمال تغییراتی اندک در سرعت متوسط می‌توان افزایش قابل توجهی را در مقدار تابع هدف شاهد بود. همچنین نوسان تابع در $V=0.5$ به بعد اندک است و تقریباً تابع به مقدار ثابتی میل می‌کند.

۸- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

مدل ارائه شده در این تحقیق، مکان‌های بهینه برای استقرار پارک سوارها را به نحوی انتخاب می‌کند که میزان ترافیک کاسته شده از شبکه بیشینه گردد. در تمامی تحقیقات صورت گرفته برای مکان‌یابی پارک سوار، تنها یک مرکز تجاری برای شهر در نظر گرفته شده که شامل کل محدوده مرکز تجاری است و فرض شده که تمامی سفرها به سمت این ناحیه (مرکز تجاری) باشد. همچنین میزان تقاضای سفر از هر یک از نقاط تقاضا به مرکز تجاری برابر با میزان سفر از هر یک از نقاط تقاضا به کل نقاط موجود در محدوده مرکز تجاری در نظر گرفته شده است. مدل ارائه شده در این تحقیق، با تقسیم محدوده مرکز تجاری به نواحی کوچک‌تر و لحاظ هر یک از آن‌ها به عنوان یک مرکز تجاری، و در نظر گرفتن میزان تقاضای سفر از هر یک از نقاط تقاضا به هر یک از مراکز تجاری نتایج دقیق‌تری را به دست می‌آورد. پس از ارائه مدل و حل آن با استفاده از روش شمارش کامل، برای حل مسائل با ابعاد بزرگ یک الگوریتم فرا ابتکاری ارائه و تعدادی مسئله نمونه حل گردید.

نتایج حل بیانگر کارایی این الگوریتم بودند. بر اساس کاربرد الگوریتم ژنتیک در این تحقیق و تعداد محدودی از مطالعات گذشته می‌توان نتیجه گرفت که قدرت الگوریتم ژنتیک در مباحث بهینه‌یابی، در مقایسه با روش‌های دیگر بسیار زیاد بوده و نتایج بسیار دقیق‌تری می‌دهد، به طوری که با اطمینان کامل می‌توان بهینه سراسری را در فضای جستجو پیدا کرد، در صورتی که در اغلب روش‌های پیشین از جمله روش‌های جستجوی همسایه، شبیه‌سازی ائل ینگ، نیبرهود سرچ و ... در اکثر حالات به سمت بهینه‌های محلی همگرا می‌شود. در نهایت نیز می‌توان موضوعاتی با محوریت، محدودیت ظرفیت برای هر یک از پارک‌سوارها، محاسبه هزینه استقرار هر پارک سوار و در نظر گرفتن این هزینه‌ها در استقرار پارک سوار را به عنوان موضوعی برای تحقیقات آینده پیشنهاد کرد.

۹- مراجع:

1. Erik T. Verhoef, "Time, speeds, flows and densities in static models of road traffic congestion and congestion pricing", Regional Science and Urban Economics, Vol. 29, pp. 341-369, 1999.

2. http://www.calgarytransit.com/html/park_n_ride_policy.html

3. Schneider, J., Miller, D. and Friedman T. (1976), "Locating and sizing park-ride lots with interactive computer graphics". Journal of Transportation; 5: pp.389-406.