تحقیقات اقتصادی / دورهٔ ۵۰، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۴ / ص ۷۷۶-۷۵۱

قیمت‌گذاری بهینهٔ پارکینگ‌های عمومی (مطالعهٔ موردی: مناطق ۱ و ۳ شهر اصفهان)

بابک صفاری[۱]، رضا نصر اصفهانی[۲*]، عیسی مرادی[۳]

۱. استادیار گروه اقتصاد دانشگاه اصفهان، **babak.saffari@gmail.com**

۲. استادیار گروه اقتصاد شهری دانشگاه هنر اصفهان، **r.nasr@aui.ac.ir**

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد شهری دانشگاه هنر اصفهان، **eisamoradi66@yahoo.com**

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۳۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۷/۱۴

چکیده

قیمت‌گذاری بهینهٔ پارکینگ‌های عمومی موجب اصلاح مدیریت پارکینگ‌ها می‌شود. این موضوع به روان و سبک‌شدن ترافیک و در نتیجه کاهش هزینه‌های شبکهٔ حمل و نقل منجر می‌شود. در این مطالعه، شبکهٔ حمل و نقلی با تعدادی مبدأ، مقصد و پارکینگ عمومی در نظر گرفته می‌شود. در این شبکه، رانندگانِ خودروهای شخصی ـ با توجه به مدت زمان حرکت بین مبدأ و پارکینگ به صورت سواره؛ پارکینگ و مقصد به صورت پیاده؛ و هزینهٔ (قیمت) پارکینگ ـ طوری رفتار می‌کنند که هزینه‌ها کمتر شود. از طرفی، مدیران شهر در پی کم‌کردن هزینه‌های شبکهٔ حمل و نقل اند. در این شرایط، تابعِ هدف کم‌کردن هزینهٔ شبکه با درنظرگرفتن (قید) رفتار تعادلی رانندگان خودروهای شخصی است؛ در نتیجه، قیمت‌های بهینه برای هر پارکینگ به‌دست می‌آید. در این مطالعه، مدل‌سازی برای مناطق مرکزی شهر اصفهان با ۶ مبدأ، ۵ مقصد و ۱۸ پارکینگ عمومی انجام یافت. بر اساس نتایجِ مدل سازی، محدودهٔ قیمت‌ها از ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ ریال به دست آمد؛ بیشترین قیمت مربوط به پارکینگ فرشادی است. همچنین، تعیین مقدار بهینهٔ فضای اشغالی هر پارکینگ و تعیین الگوی بهینهٔ جریان جستجوی جای پارک از دیگر نتایج این پژوهش است.

طبقه‌بندی JEL: R41, R48, C61

واژه‌های کلیدی: اصفهان، پارکینگ، شبکهٔ حمل و نقل، قیمت‌گذاری بهینه.

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۳۱۳۶۲۶۲۰۱۲

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

رشد سریع جمعیت و افزایش تملک وسایل نقلیهٔ شخصی مشکلات شهری را بـه دنبـال دارد. در چنین شهرهایی سیستم حمل و نقل درون‌شهری اهمیتی ویـژه مـی یابـد و بـه نحوی طراحی می‌شود که در سرویس‌دهی به شهروندان حداکثر کارایی را داشـته باشـد. هرساله بر تعداد وسایل نقلیه در شهرها افزوده می‌شود و این افزایش سبب بروز تـراکم و افزایش آلودگی هوا به‌ویژه در مناطق مرکزی شهر می شود و بر تعداد تصادفات در شبکهٔ راه‌ها افزوده می‌شود (حسینلو و همکاران، ۱۳۹۰). مطالعات نشان می‌دهد هـر خـودرو از کل روز ۲۳ سـاعت در پارکینـگ قـرار دارد و رانـنـدگان هـر هفتـه از چنـدین جاپـارک استفاده می‌کنند (لیتمن[1]، ۲۰۱۱). در واقـع، سـطح بـالای تـراکم در شـهرها ناشـی از ترجیحات کاربران برای استفاده از خودروهای شخصی است(کویین و ریگـارد[2]، ۲۰۱۳). مکان پارکینگ‌ها و قیمت استفاده از آن ها در رفتار رانـنـدگان در انتخـاب وسـیلهٔ نقلیـه بسیار اثرگذار است. از این رو، یکی از مسائل شهری، کـه بـرای مـدیران و برنامـه‌ریـزان حمل و نقل ارجحیت زیادی دارد، تعیین قیمت پارکینـگ‌هـا در شـهر اسـت (بـانرجین، دوفلو و کوینن[3]، ۲۰۱۲) . پارکینگ‌ها در سیستم حمل و نقل و کیفیت زندگی رانندگان نقشی حیاتی ایفا می‌کنند. مطالعات نشان می‌دهد که برای یـک سـفر نـوعی بـا خـودرو شخصی، به طور متوسط، هزینهٔ اسـتفاده از پارکینـگ بـیش از پـنج دلار، یعنـی تقریبـاً هفتاد درصد هزینه‌های سـفر، اسـت (واچـی[4]، ۱۹۹۹). بنـابراین، تعیـین قیمـت بهینـهٔ پارکینگ ها در سیستم حمل و نقل اهمیت زیادی دارد. موجود بودن، در دسترس بـودن و قیمـت پارکینـگ‌هـا سـه عامـل مهـم در مـدیریت و تسـهیلات اسـتفادهٔ کـاربران از پارکینگ‌هاست. این عوامل بر تصمیمات رانندگان در انتخـاب پارکینـگ بسـیار اثرگـذار است. برای برخورداری از مدیریتی کارآمد در ترافیـک و سیسـتم حمـل و نقـل عمـومی قابل تحمل باید این سه عامل بهینه‌سـازی شـود (کـویین و ریگـارد،۲۰۱۳) مسـلماً، بـه سبب کاربری‌های محدود زمین در شهرهای بزرگ، قیمت‌گذاری بهینهٔ پارکینگ‌ها ابـزار

1. Litman
2. Qian & Rajagopal
3. Banerjee, Duflo, & Qian
4. Vuchic

Archive of SID

www.SID.ir

مناسبی برای مدیران و برنامه‌ریزان حمل و نقل عمومی است. از طرف دیگر، قیمت‌گذاری پارکینگ‌ها می‌تواند ابزار اقتصادی کارآمدی برای تعادل در عرضه و تقاضای آن باشد؛ در نتیجه، مدیریت کارآمد پارکینگ‌ها، به‌ویژه در مناطق پُرتراکم و مرکزی شهر، علاوه بر صرفه‌جویی در زمان تلف‌شده برای جست‌وجوی فضای پارک، صرفه‌جویی در مصرف سوخت، کاهش استهلاک وسایل نقلیه و آثار نامطلوب روانی، باعث کاهش حجم اتومبیل‌های سرگردان در جست‌وجوی فضای پارک و در نتیجه کاهش زمان تأخیر در شبکه می‌شود.

پیشینهٔ پژوهش

۱. مطالعات داخلی

درزی رامندی و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی با عنوان «تقاضای پارکینگ‌های کاربری‌های اداری و تجاری» به مدلی پرداخت که با آن بتوان تقاضای پارکینگ کاربری‌های اداری و تجاری را در سطح شهر اصفهان، با در اختیار داشتن پارامترهایی مانند مساحت، تعداد شاغلان و سرانهٔ فضا، پیش‌بینی کرد. بدین منظور، در زمستان ۱۳۸۸ و بهار ۱۳۸۹ تعدادی کاربری اداری و تعدادی کاربری تجاری (با عملکرد فرامنطقه‌ای) آمارگیری شد. در این آمارگیری‌ها، علاوه بر مشخصات کاربری، مانند مساحت و تعداد شاغلان، اطلاعات تقاضای پارکینگ نیز جمع‌آوری شد. با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری‌شدهٔ مدل‌های روندگرای خطی ساخته‌شده، هر یک برآوردی از تقاضای پارکینگ کاربری‌های مورد نظر، بر اساس پارامترهای مختلف (مساحت ناخالص، مساحت خالص، تعداد شاغلان، تعداد واحدهای تجاری و ...) به دست می‌دهند.

در پژوهشی با عنوان «تحلیلی بر برنامه‌ریزی کاربری پارکینگ در شهر اصفهان با استفاده از مدل‌های کاربردی برنامه‌ریزی منطقه‌ای با نگاهی جغرافیایی» وضعیت کاربری پارکینگ در سطح شهر اصفهان با استفاده از سهم کاربری (تغییر سهم، آزمون موازنهٔ سرانه و روش آزمون همبستگی اسپرمن) تجزیه و تحلیل شد. نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌های مذکور نشان می‌دهد که در مناطق ۱، ۳، ۴، ۵ و ۱۰ سرانهٔ کاربری پارکینگ کمتر و در مناطق ۲، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۱ بیش از سرانهٔ شهر اصفهان است (مختاری

Archive of SID

www.SID.ir

ملک‌آبادی، ۱۳۸۸). احمدی و همکاران (۱۳۸۶) در پژوهشی با عنوان «بررسی مسائل و مشکلات مدیریت پارکینگ‌ها و تأثیر آن بر ترافیک شهر مشهد»، بیان کردند که مشهد یکی از کلان‌شهرهای ایران است و با کمبود پارکینگ مواجه است و پارکینگ‌های این شهر با استانداردهای مشخص‌شده بسیار فاصله دارد. پارکینگ‌های بخش تجاری شهر مشهد بیشترین مطابقت را با استانداردهای رعایت‌شده دارد. محققان در پژوهشی با عنوان «بررسی و تحلیل پارکینگ‌های عمومی و مشکلات و کمبودهای آن‌ها» به بررسی و تحلیل پارکینگ‌های عمومی و مشکلات و کمبودهای آن‌ها در شهر اصفهان پرداختند و تعداد پارکینگ‌های عمومی لازم در شهر اصفهان را با توجه به میزان جمعیت، تقاضای سفر و تعداد وسایل نقلیه پیشنهاد دادند (سیدموسوی، ۱۳۸۶).

۲. مطالعات خارجی

رودایر و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی با عنوان «حمل و نقل مبتنی بر پارکینگ هوشمند» به بررسی پارکینگ‌های هوشمند در محدودهٔ خلیج سانفرانسیسکو پرداختند و نتایج آن بدین شرح است: بیشتر پاسخ‌دهندگان یک تا سه روز در ماه از سیستم پارکینگ هوشمند استفاده می‌کنند. سی‌وهفت درصد از پاسخ‌دهندگان از علائم متغیر پارکینگ هوشمند اطلاع داشتند و فقط ۳۲ درصد از آن‌ها هنگام مشاهدهٔ علائم در ادامهٔ رانندگی یا استفاده از سیستم حمل و نقل سریع‌تر دید داشتند (شای و خاتاک[1]، ۲۰۱۰). (سیمیسویچ و همکاران، ۲۰۱۲) در پژوهشی با عنوان «تعریف قیمت پارکینگ بر اساس نگرش کاربران» به بررسی امکان مدیریت تقاضای پارکینگ‌ها از طریق قیمت‌گذاری پارکینگ‌ها پرداختند. در این پژوهش واکنش کاربران با اهداف متفاوت سفر به افزایش قیمت پارکینگ (یا ادامهٔ سفر به منطقه با خودروی سواری یا با روش‌های جایگزین حمل و نقل) با استفاده از مصاحبهٔ چهره به چهره در ناحیهٔ تجاری مرکزی (CBD) در بلگراد (صربستان) بررسی شد. این نتایج، از طریق ضرایب کشش قیمت اندازه‌گیری و به منظور توسعهٔ یک روش برای تعریف قیمت پارکینگ استفاده شده است. قیمت بهینهٔ پارکینگ عبارت است از: قیمتی که تقاضای پارکینگ را در سطح استفادهٔ مطلوب از تعداد فضاهای

1. Shay & Khattak

Archive of SID

www.SID.ir

پارکینگ پیش‌بینی شده قرار می‌دهد. تقریباً ۵۶ درصد از کاربران فضای پارکینگ در شرایط فعلی اظهار کرده‌اند که آن‌ها بدون در نظر گرفتن قیمت پارکینگ نمی‌خواهند از سفر به ناحیهٔ تجاری مرکزی با ماشین سواری خود منصرف شوند. به هر حال، قیمت تعیین‌شده با این روش، بین عرضه و تقاضا در سطح استفادهٔ ۸۴ و ۹۸ درصدی از پارکینگ تعادلی ایجاد کرد..(سیمیسیوک[1] و همکاران، ۲۰۱۲) لوکادی آسیرنو، ماریانوگالو و برونومونتلا در دانشکدهٔ حمل و نقل دانشگاه ناپلی ایتالیا در سال ۲۰۰۷ به بررسی قیمت‌گذاری پارکینگ‌های شهری پرداختند. در این تحقیق، برای قیمت‌گذاری پارکینگ‌ها به روشی متفاوت با سایر روش‌ها اشاره شده است. معمولاً، در بیشتر روش‌ها، قیمت تعیین شده برای استفاده از پارکینگ بدین صورت است: قیمت ثابتی در کل منطقه یا شهر تعیین شده است یا، در حالت پیشرفته‌تر، قیمت پارکینگ به محل پارک کردن بستگی داشته و در مکان‌های مختلف مقادیر آن متفاوت بوده است؛ به این روش تعیین قیمت «قیمت‌گذاری مقصد - مبنا» گفته می‌شود. در این تحقیق، روشی برای تعیین قیمت ارائه شده است که علاوه بر وابستگی قیمت به محل پارک‌کردن، مبدأ سفر نیز در میزان قیمت مؤثر است. به این روش قیمت‌گذاری مبدأ- مقصد مبنا گفته می‌شود. در این حالت، مبدأ و مقصد سفر به صورت توأم در تعیین قیمت مؤثرند: بدین صورت که برچسبی روی شیشهٔ ماشین نصب می‌شود که مربوط به محل سکونت دارندهٔ خودرو است. در واقع، برای مبدأهای مختلف سفر محدوده‌هایی به عنوان محدودهٔ مجاز تردد و پارک تعیین می‌شود. هنگامی که راننده قصد پارک‌کردن در محلی از شهر را دارد، به کمک این برچسب مشخص می‌شود که این وسیله از کجا به این محل (محل پارک‌کردن) آمده است. اگر سیستم‌های حمل و نقل همگانی یا شیوه‌های دیگر جایگزین برای سفرکردن در این مسیر راحت و در دسترس باشد، قیمت تعیین‌شده برای حق پارک‌کردن زیاد خواهد بود؛ در غیر این صورت، هزینهٔ پارکینگ کمتر خواهد بود. این مبلغ برای زوج‌های مبدأ- مقصد مختلف گوناگون خواهد بود. حتی در برخی از موارد برای مسیرهایی که در آن‌ها سرویس‌های حمل و نقل همگانی بسیار فراوان باشد، قیمت پارک‌کردن تا حدی زیاد خواهد بود که به سبب استفاده از خودرو شخصی در آن مسیر جریمه‌ای محسوب خواهد

1. Simićević

Archive of SID

www.SID.ir

شد. در پژوهشی امکان همزیستی سیستم‌های مدیریت پارکینگ عمومی و خصوصی را (حتی زمانی که همهٔ فضای پارکینگ‌ها در مالکیت بخش عمومی باشد) نشان داد. نتایج نشان داد جمع‌آوری عوارض پارکینگ توسط بنگاه‌های خصوصی کارایی بالاتری نسبت به بخش عمومی دارد به شرطی که بنگاه‌های خصوصی کارآمدتر از دولت باشد. علاوه بر این، دولت برای حداکثرکردن رفاه، فضای پارکینگ‌ها را در اختیار بخش خصوصی قرار دهد.(آرنوت[1]، ۲۰۰۶)(Richard، ۲۰۰۶).

اهداف پژوهش

هدف اصلی این پژوهش اصلاح مدیریت پارکینگ از طریق وضع قیمت‌های بهینه برای پارکینگ‌هاست. علاوه بر این، به دنبال دستیابی به اهداف زیر نیز هستیم:

۱. تعیین مقادیر بهینه برای پارکینگ‌ها؛

۲. تعیین الگوی جریان بهینهٔ جستجوی جای پارک.

مدل پژوهش

۱. شبکهٔ پارکینگ

شبکهٔ پارکینگ شامل سه مجموعه از نقاط است. R مجموعه نقاط مبدأ، S مجموعه نقاط مقصد و $\{1,2,3,\ldots,n\}$، که شامل n پارکینگ مجزاست، مجموعه نقاط پارکینگ است. هر یک از نقاط مبدأ از طریق مسیرهایی که رانندگان می‌توانند رانندگی کنند به نقاط پارکینگ متصل است. از طرفی، هر یک از نقاط پارکینگ از طریق مسیرهایی که رانندگان می‌توانند پیاده‌روی کنند به نقاط مقصد متصل است. زمان رانندگی از یک مبدأ به هر پارکینگ $\left(\tau_{ri}^{o}\right)$ را می‌توان با یافتن حداقل هزینهٔ سفر بین نقطهٔ r و i در شبکهٔ جاده‌ای به‌دست آورد. از طرف دیگر، زمان پیاده‌روی از پارکینگ i به مقصد s، که با τ_{is}^{D} نشان داده می‌شود، تقریباً برابر مسافت بین دو نقطه تقسیم بر متوسط سرعت پیاده‌روی است. هر پارکینگ[2] به یک گاراژ پارکینگ[3] (ساختمان) یا منطقه‌ای از فضای

1 .Arnott
2. the parking lots/ blocks
3. a parking garage

Archive of SID

www.SID.ir

پارک حاشیه‌ای خیابان[1] اشاره می‌کند. این پارکینگ‌ها از طریق رابطه‌ای تک‌جاده‌ای یا مجموعه‌ای از رابط‌های جاده‌ای به شبکه متصل اند. هر پارکینگ دارای ظرفیت K_i و قیمت پارک p_i است. افق زمانی را به T دورهٔ زمانی $\{۱,۲,۳,\ldots,T\}$ تقسیم می‌کنیم. قیمت پارک پویاست و در هر زمان t با $p_i(t)$ نشان داده می‌شود. علاوه بر این، $k_i(t)$ مقدار فضای اشغالی پارکینگ i در زمان t است.

$$k_i(t) \le K_i \; \forall i \in \{۱,۲,۳,\ldots,n\}, \forall t \in \{۱,۲,۳,\ldots,T\} \quad (۱)$$

در سراسر این پژوهش فرض می‌شود که تقاضای ترافیک[2] از پیش تعیین شده و مشخص است. برای نشان‌دادن تقاضای ترافیک با حرکت از مبدأ r به طرف مقصد s و انتخاب پارکینگ i در زمان حرکت t، به گونه‌ای که:

$$r \in R \;,\; s \in S \;,\; i \in \{۱,۲,۳,\ldots,n\}, t \in \{۱,۲,۳,\ldots,T\} \quad (۲)$$

باشد، از نماد $\lambda_{rs}^{i}(t)$ استفاده می‌کنیم. در اینجا از بردار $\lambda_{rs}^{i}(t)$ با عنوان الگوی جریان جستجوی جای پارک[3] تعبیر می‌شود.

$$\Lambda = \left\{\lambda_{rs}^{i}(t)\right\}_{i,r,s;t} \quad (۳)$$

زمان سفر جاده‌ای، یعنی زمان رانندگی و زمان پیاده‌روی، فرض می‌شود که نسبتاً ثابت است (کویین و ریگارد،۲۰۱۳) شکل ۱ شبکهٔ پارکینگ عمومی را نشان می‌دهد.

۲. هزینهٔ سفر[4]

رانندگان محلی را برای پارک خودروی خود انتخاب می‌کنند که دارای حداقل هزینهٔ سفر باشد. زمان ترکیبی سفر یک راننده[5] τ_{rs}^{i} به صورت مجموع زمان رانندگی سفر از مبدأ r تا پارکینگ i و زمان پیاده‌روی سفر از پارکینگ i تا مقصد s تعریف می‌شود. بنابراین:

$$\tau_{rs}^{i} = \tau_{ri}^{O} + \tau_{is}^{D} \quad (۴)$$

---

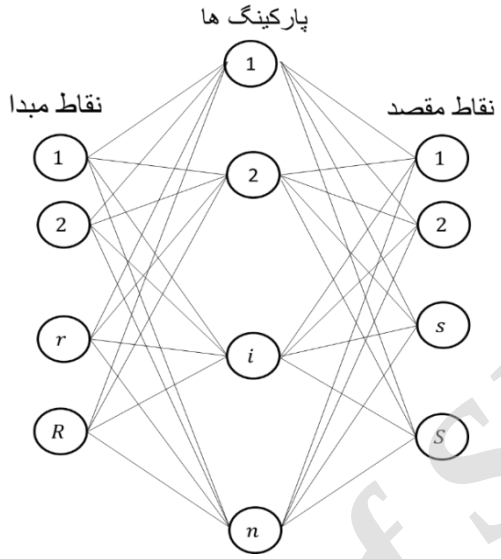
1. a block of on-streetparking spaces

۲. منظور از تقاضای ترافیک، تقاضای استفاده از جاده به وسیلهٔ خودرو شخصی (یا تقاضای سفر) است.

3. parking flow pattern
4. generalized travel cost
5. the composite travel time

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱. شبکهٔ پارکینگ عمومی (کویین و ریگارد،۲۰۱۳)

اگر هیچ قیمتی برای پارکینگ‌ها تعیین نشود و کاربران دربارهٔ فضاهای خالیِ پارکینگ‌ها اطلاعات کافی داشته باشند، واضح است که نزدیک‌ترین پارکینگ به مقصد s مطلوب‌ترین پارکینگ برای رانندگانی است که می‌خواهند به این مقصد سفر کنند. هزینهٔ عمومی سفر رانندگانی که می‌خواهند از مبدأ r به مقصد s با انتخاب پارکینگ i ، که در زمان t وارد پارکینگ می‌شوند، بروند ($t-\tau_{ri}^{o}$ زمان حرکت از مبدأ r است) $c_{rs}^{i}\left(t-\tau_{ri}^{o}\right)$ است و شامل قیمت پارک، هزینهٔ ترکیبی سفر و زمان جست‌وجوی پارک است.

$$c_{rs}^{i}\left(t-\tau_{ri}^{o}\right)=p_{i}\left(t\right)+\alpha\left(\tau_{rs}^{i}+f_{i}\left(k_{i}\left(t\right)\right)\right) \qquad (۵)$$

یا اگر t را زمان حرکت در نظر بگیریم، معادلهٔ ۶ هم‌ارز معادلهٔ ۵ است:

$$c_{rs}^{i}\left(t\right)=p_{i}\left(t+\tau_{rs}^{o}\right)+\alpha\left(\tau_{rs}^{i}+f_{i}\left(k_{i}\left(t+\tau_{rs}^{o}\right)\right)\right) \qquad (۶)$$

که α ارزش متوسط زمان برای رانندگان است. $f_{i}\left(t\right)$ نشان‌دهندهٔ زمان گشت برای پارک در پارکینگ i برای ورود راننده در زمان t است. در حقیقت، زمان گشت به بسیاری از عوامل تصادفی بستگی دارد، مانند محل و موقعیت فضاهای خالی و مسیرهای گشت. بنابراین،

Archive of SID

www.SID.ir

مناسب است که زمان گشت شخصی را یک متغیر تصادفی در نظر بگیریم؛ در حالی که $f_i(t)$ در اینجا زمان گشت متوسط انتظاری است. در حقیقت، این زمان ارتباط نزدیکی با مقدار فضای اشغالی پارکینگ و نوع اطلاعات ارائه‌شده برای کاربران دارد. بعداً دربارهٔ زمان گشت متوسط انتظاری کاملاً بحث خواهیم کرد. در اینجا یک تابع زمانی جست‌وجوی پارک را، که مقداری خاص است، در نظر می‌گیریم. آکسهوزن و همکاران در سال ۱۹۹۴، تابع زمانی جست‌وجوی متوسط پارک را همراه و بدون اطلاعات مربوط به فضای اشغالی پارکینگ‌ها معرفی کردند.

$$f_i\left(k_i(t)\right)=\frac{\epsilon_i \delta}{1-\frac{k_i(t)}{K_i}} \qquad (۷)$$

که ϵ_i زمان متوسط صرف‌شده برای جست‌وجوی یک فضای پارک در پارکینگ خالی i است. $\delta<1$ یک عامل تعدیلی است برای محاسبهٔ اینکه چطور اطلاعات برای رانندگان ارائه می‌شود. فرم تابعی که در آن $\delta=1$ است در این ادبیات مد نظر است (Anderson et al.,2004). آکسهوزن و همکاران داده های زمان جست‌وجو را با استفاده از این تابع برازش کردند که در نتیجهٔ آن ضریب تعیین بسیار معقول ۰/۹۱ به‌دست آمد. این نوع تابع زمانی شهودی است. با فرض آنکه هر فضای پارک در پارکینگ i احتمالاً به طور مساوی خالی است، احتمال اینکه هر فضای پارک خالی باشد $1-\frac{k_i(t)}{K_i}$ است. بنابراین، مقدار انتظاری فضای پارک که جست‌وجو شده است (قبل از اینکه یک فضای خالی مکان‌یابی شود) $1/\left(1-\frac{k_i(t)}{K_i}\right)$ است.

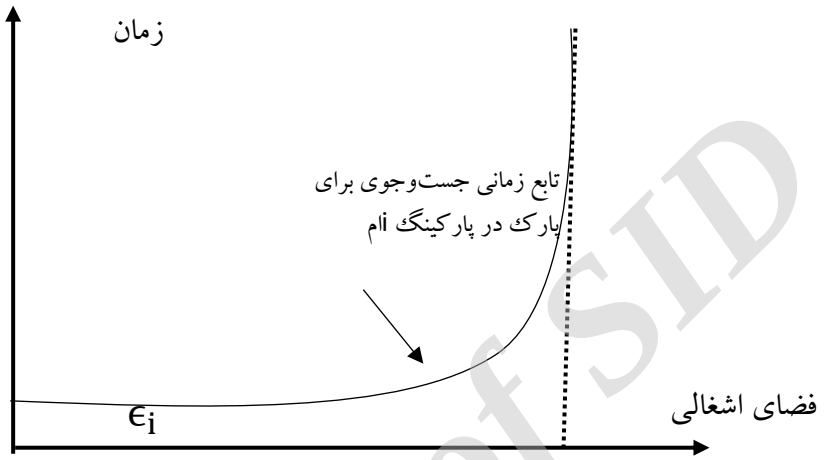
۳. تعادل کاربری

از طریق سیستم آنلاین پارکینگ یا تجارب روزانه، رانندگان از سه نوع اطلاعات در هر لحظه از زمان آگاه اند: مقدار فضای اشغالی لحظه‌ای هر پارکینگ؛ زمان جست‌وجوی انتظاری برای پارک؛ قیمت لحظه‌ای پارکینگ‌ها. با مشخص‌بودن موقعیت، ظرفیت و قیمت همهٔ پارکینگ‌ها، که در زمان‌های مختلف گوناگون است، الگوی جریان احتمالی

Archive of SID

www.SID.ir

به گونه‌ای است که ۱. هزینهٔ کل سفر همهٔ رانندگان یکسان است؛ ۲. هیچ یک از رانندگان به طور یک‌جانبه نمی‌توانند پارکینگ را انتخاب یا زمان حرکت خود را تغییر دهند تا هزینهٔ کل سفر را کاهش دهند.



شکل ۲. تابع زمانی جست‌وجوی جای پارک با فرض اطلاعات کامل رانندگان (Horni et al., 2012)

تعادل کاربری (UE)، که در اینجا تعریف شد، احتمالاً در دو وضعیت رخ می‌دهد: ۱. بعد از تجارب روزانه، رانندگان از مقدار فضای اشغالی لحظه‌ای و در نتیجه زمان انتظاری جست‌وجو در پارکینگ‌ها مطلع‌اند. در این حالت تعادل کاربری به طور واضح تعادل روزانه[1] است؛ ۲. رانندگان با تهیهٔ اطلاعات فضای اشغالی پارکینگ‌ها زمان جست‌وجو برای پارک در هر پارکینگ را تخمین می‌زنند. هنگامی که انتخاب پارکینگ‌ها کاملاً منطقی و عقلایی است، یعنی رانندگان همیشه پارکینگی را انتخاب می‌کنند که کل هزینه سفر را حداقل کند، تعادل کاربری ممکن است رخ دهد. هرگونه تغییرِ قیمت یا تسهیلات پارکینگ ممکن است به تعادل کاربری جدید منجر شود، اما بعد از ارائهٔ تسهیلات جدید پارکینگ چند روز طول می‌کشد که تعادل جدید کاربری حاصل شود؛ در حالی که به‌نظر می‌رسد تعادل کاربری بلافاصله در حالت‌های بعد دست‌یافتنی باشد. ما به تعادل کاربری دوم بیشتر علاقه‌مندیم، چون این تعادل اساس تجزیه و تحلیل

1. day-to-day experience

Archive of SID

www.SID.ir

پاسخ‌گویی رانندگان به اطلاعات آنلاین پارکینگ است. شرایط تعادل کاربری می‌تواند به صورت معادلهٔ ۸ تعبیر شود. با توجه به الگوی جریان جستجوی جای پارک احتمالی $\left\{\Lambda \geq 0 \,||\, \sum_{i} \lambda_{rs}^{i}(t) = \lambda_{rs}(t)\right\}$ داریم:

$$\begin{aligned} &\lambda_{rs}^{i}(t) > 0 \rightarrow \; c_{rs}^{i}(t) = \pi_{rs}(t) \;\forall r,s,i,t \\ &\lambda_{rs}^{i}(t) = 0 \rightarrow \; c_{rs}^{i}(t) > \pi_{rs}(t) \;\forall r,s,i,t \end{aligned} \qquad (۸)$$

معادلهٔ ۸ نشان می‌دهد که برای هر حرکت رانندگان در زمان t بین مبدأ r و مقصد s اگر پارکینگ i انتخاب شود، هزینهٔ سفر باید برابر با حداقل هزینهٔ همهٔ حرکت رانندگان در زمان t بین مبدأ r و مقصد s (که $\pi_{rs}(t)$ نشان داده می‌شود) باشد. اگر هیچ یک از رانندگان پارکینگ i را انتخاب نکنند، هزینهٔ سفر استفاده از پارکینگ i بیشتر از حداقل هزینهٔ سفر $\pi_{rs}(t)$ است.

برای دیدن انتخاب‌های پارک UE در یک روش محسوس‌تر، در ابتدای زمان رفت‌وآمد، هنگامی که فضای خیلی کمی از پارکینگ‌ها اشغال شده است، رانندگان پارکینگی را انتخاب می‌کنند که ارزان‌تر باشد یا نزدیک‌ترین فاصله را با مقصدشان داشته باشد. با گذشت زمان، زمان انتظاری جست‌وجوی جای پارک برای هر پارکینگ افزایش می‌یابد. این افزایش ممکن است در هر پارکینگ متفاوت باشد و به میزان ورود به هر پارکینگ بستگی دارد. رانندگان ممکن است با توجه به تبادل زمان دسترسی (راحتی) و زمان جست‌وجوی پارک (ازدحام پارکینگ) پارکینگ‌های دیگری را انتخاب کنند. توجه داشته باشید که تغییر در زمان جست وجوی پارک برای هر پارکینگ درنتیجهٔ انتخاب پارک رانندگان قبلی است (کواین[1] و همکاران، ۲۰۱۳).

۴. جریان بهینهٔ پارک و قیمت‌گذاری

تحت فرض تعادل کاربری قیمت‌های متفاوت پارکینگ به الگوی جریان UE متفاوت منجر خواهد شد. در نتیجه، باعث تفاوت در عملکرد شبکه، که ناشی از هزینهٔ کل سفر (هزینه‌های جست‌وجو و هزینهٔ ترکیبی سفر) است، می‌شود. قیمت‌های پارکینگ به عنوان هزینهٔ شبکه

1. Qian

Archive of SID

www.SID.ir

در نظر گرفته نمی‌شود. بیشترین نگرانی و دغدغهٔ ما روش قیمت‌گذاری است که به حداقل‌کردن هزینهٔ کل منجر شود و به آن روش قیمت‌گذاری سیستم بهینه[1] می‌گویند. حاصل الگوی جریان تعادل کاربری با قیمت‌های SO به عنوان الگوی جریان سیستم بهینه تعبیر می‌شود. برای تعیین قیمت‌گذاری پارکینگ SO به دنبال الگوی جریان جستجوی جای پارکی هستیم که هزینهٔ کل را حداقل کند. مسئلهٔ بهینه‌یابی به صورت معادلهٔ ۹ است:

$$\min TC = \alpha \int_{0}^{k_i} f_i(x)dx + \alpha \sum_{r}\sum_{s}\sum_{i=1}^{n}\sum_{t=1}^{T}\left(\tau_{ri}^{O} + \tau_{is}^{D}\right)\lambda_{rs}^{i}(t) \qquad (۹ \text{ ـ الف})$$

$$s.t \qquad \sum_{i=1}^{n}\lambda_{rs}^{i}(t) = \lambda_{rs}(t), \forall t, r, s \qquad (۹ \text{ ـ ب})$$

$$k_i = \sum_{r}\sum_{s}\sum_{t=1}^{T}\lambda_{rs}^{i}(t), \forall i \qquad (۹ \text{ ـ ج})$$

$$k_i \le K_i, \forall i \qquad (۹ \text{ ـ د})$$

$$\lambda_{rs}^{i}(t) \ge 0, \forall r, s, t, i \qquad (۹ \text{ ـ ه})$$

k_i مقدار فضایی است که سرانجام در پارکینگ i اشغال می‌شود؛ که در ادامه آن را فضای اشغالی نهایی می‌نامیم. هزینهٔ کل سیستم برابر با جمع زمان جست‌وجوی کل همهٔ رانندگان و کل زمان ترکیبی سفرشان است. قیمت پارکینگ‌ها به عنوان رفاه اجتماعی در نظر گرفته می‌شود، بنابراین، به عنوان هزینهٔ کل در نظر گرفته نمی‌شود. درآمد پارکینگ‌ها یا با استفاده از دادن یارانه به حمل و نقل عمومی دوباره به مردم برمی‌گردد یا بخشی از منفعت‌های اجتماعی برای متصدیان پارکینگ‌ها در نظر گرفته می‌شود. الگوی جریان جستجوی جای پارک بهینه‌ای (Λ) هزینهٔ کل را حداقل می‌کند. معادلهٔ ۹ ــ ب شرایط جریان ممکن را نشان می‌دهد؛ یعنی جمع جریان جستجوی جای پارک با توجه به هر جفت مبدأ/ مقصد rs برای همهٔ پارکینگ‌ها برابر جمع جریان کل پارک بین r و s در هر زمان حرکت t است. معادلهٔ ۹ ـ ج نشان می‌دهد که جریان باید منفی باشد. معادلهٔ ۹ ــ د معرّف آن است که فضای اشغالی نهایی هر پارکینگ از طریق جمع تقاضای وابسته به زمان

1. the System Optimal (SO) pricing schemes

Archive of SID

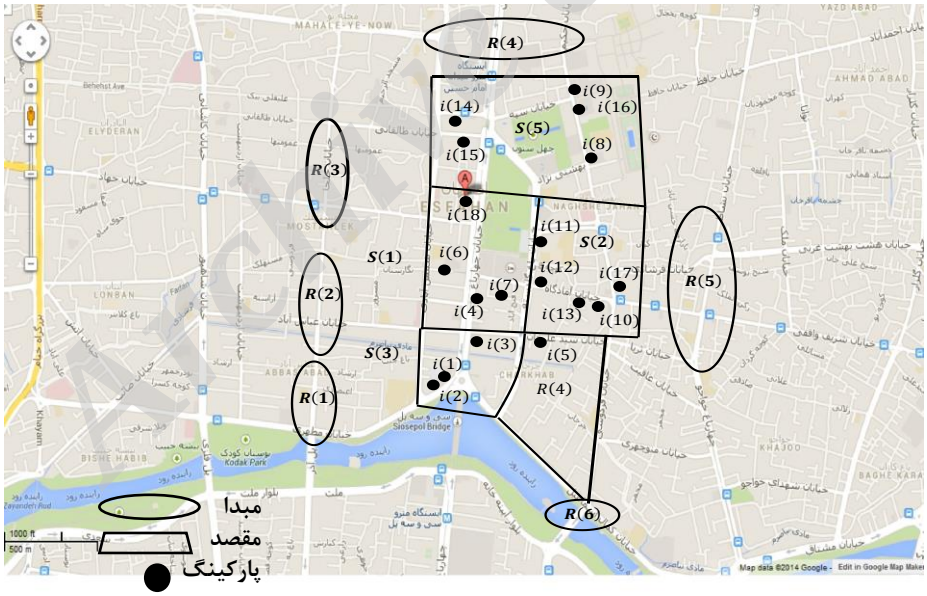
www.SID.ir

در طی زمان محاسبه می‌شود. نامعادلهٔ ۹ ـ ه نشان می‌دهد که فضای اشغالی نهایی هر پارکینگ کمتر مساوی ظرفیت آن پارکینگ است(کویین و ریگارد، ۲۰۱۳).

داده‌ها و اطلاعات پژوهش

۱. نمونهٔ پژوهش

شکل ۳ مدل شبکهٔ جاده‌ای (پارکینگ‌ها، مبدأها و مقصدها) پژوهش را نشان می‌دهد. مثلاً، مبدأ یک $(R(۱))$ را در نظر بگیرید. اگر راننده‌ای بخواهد از محدودهٔ پل آذر تا خیابان عباس‌آباد به سمت یک پارکینگ رانندگی کند، در این صورت، تقریباً زمان یکسانی را سپری می‌کند. این قضیه برای همهٔ پارکینگ‌ها نیز صدق می‌کند. بنابراین، این محدوده به عنوان مبدأ یک در نظر گرفته می‌شود. برای مبدأهای دیگر نیز به همین شکل عمل می‌شود (شکل ۳). از طرف دیگر، فرض می‌شود که رانندگان به طور یکنواخت به هر مقصد سفر می‌کنند، بنابراین، مرکز مقصدها به عنوان نقاط مقصد در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۳. شبکهٔ پارکینگ (منبع: نقشه های گوگل)

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. اطلاعات پارکینگ‌ها در ناحیهٔ مورد مطالعه

ردیف (i)	نام پارکینگ	ظرفیت پارکینگ	نوع پارکینگ	آدرس
۱	انقلاب	۵۰	زیرزمین	میدان انقلاب، جنب سینما آفریقا
۲	سی‌وسه‌پل	۱۵۰	هم‌سطح	میدان انقلاب، جنب سینما آفریقا
۳	مجتمع تجاری چهارباغ	۵۰	زیرزمین	خیابان چهارباغ عباسی، جنب مجتمع تجاری فردوسی
۴	مجتمع تجاری سپاهان	۱۲۰	زیرزمین	میدان انقلاب، جنب مجتمع تجاری سپاهان
۵	پارکینگ سیتی‌سنتر	۹۰	زیرزمین	خیابان سیدعلی‌خان، قبل از خیابان چهارباغ عباسی
۶	مجتمع تجاری عالی‌قاپو	۱۰۰	زیرزمین	خیابان کوالالامپور، زیر مجتمع تجاری عالی‌قاپو
۷	مقابل هتل عباسی	۱۸۰	زیرزمین	خیابان آمادگاه، مقابل هتل عباسی، زیر مجتمع عباسی
۸	فرشادی	۱۲۰	زیرزمین	خیابان استانداری، نبش خیابان نهر فرشادی
۹	حکیم	۶۰۰	زیرزمین	خیابان سپه، خیابان حکیم
۱۰	فلسطین	۵۰	هم‌سطح	خیابان آمادگاه، قبل از چهارراه فلسطین
۱۱	کاخ هشت‌بهشت	۷۰	هم‌سطح	خیابان گلدسته، روبه‌روی دبیرستان بهشت‌آیین
۱۲	گلدیس	۱۰۰	زیرزمین	نبش خیابان آمادگاه و باغ گلدسته
۱۳	ثامن‌السرور	۳۵	هم‌سطح	خیابان آمادگاه، قبل از چهارراه فلسطین
۱۴	جهان‌نما	۱۴۰	زیرزمین	خیابان باب‌الرحمه، طالقانی، میدان امام حسین
۱۵	طبقاتی طالقانی	۴۸۰	طبقاتی	خیابان طالقانی، کوچهٔ شهید ارفعی، روبه‌روی جهان‌نما
۱۶	عالی‌قاپو بانک ملی	۳۵	هم‌سطح	خیابان استانداری، جنب بانک ملی
۱۷	پشت مطبخ	۶۰	هم‌سطح	خیابان استانداری، کوچهٔ پشت مطبخ
۱۸	فردوسی	۳۰	زیرزمین	چهارباغ عباسی، جنب بیمهٔ ایران

منبع: (معاونت پژوهشی و برنامه‌ریزی شهرداری شهر اصفهان)

۴۵ پارکینگ در دو منطقهٔ ۱ و ۳ شهر اصفهان قرار دارد. پارکینگ سعیدی‌پور در خیابان حافظ، جنب کوچهٔ شهید دقیق با ظرفیت ۱۰ جای پارک دارای کمترین ظرفیت پارک و پارکینگ حکیم در خیابان سپه، خیابان حکیم با ظرفیت ۶۰۰ جای پارک دارای بیشترین ظرفیت پارک است. به طور متوسط، هر پارکینگ دارای ظرفیت ۱۳۴ جای پارک است. با توجه به نمونهٔ پژوهش، جدول ۱ پارکینگ‌های موجود را نشان می‌دهد (معاونت پژوهشی و برنامه‌ریزی شهرداری شهر اصفهان).

۲. زمان ترکیبی سفر رانندگان

هر یک از نقاط مبدأ از طریق مسیرهایی که رانندگان می‌توانند رانندگی کنند به نقاط پارکینگ متصل است. رانندگان، با توجه به تجربیات روزانهٔ خود، کوتاه‌ترین مسیر را انتخاب

Archive of SID

www.SID.ir

می‌کنند. به عبارت دیگر، برای رانندگان مسیری مرجح‌تر است که کوتاه‌ترین زمان را برایشان در بر داشته باشد. از طرفی، هر یک از نقاط پارکینگ از طریق مسیرهایی که رانندگان می‌توانند پیاده‌روی کنند به نقاط مقصد متصل است. زمان پیاده‌روی از پارکینگ i به مقصد s، که با τ_{is}^{D} نشان داده می‌شود، تقریباً برابر مسافت بین دو نقطهٔ تقسیم بر متوسط سرعت پیاده‌روی است. زمان ترکیبی سفر (τ_{rs}^{i}) نیز از مجموع زمان رانندگی و زمان پیاده‌روی به دست می‌آید. داده‌های زمان رانندگی از مبدأ r به پارکینگ $i\,(\tau_{ri}^{o})$ و زمان پیاده‌روی از پارکینگ i به مقصد (τ_{is}^{D})sاز نقشه‌های گوگل[1] استخراج شده است. جدول ۲ اطلاعات مسافت از مبدأ r به پارکینگ i بر حسب کیلومتر، زمان رانندگی از مبدأ r به پارکینگ $i\,(\tau_{ri}^{o})$ ، بر حسب دقیقه و جدول ۳ زمان پیاده‌روی از پارکینگ i به مقصد s (τ_{is}^{D}) بر حسب دقیقه را نشان می‌دهد.

جدول ۲. زمان (دقیقه) رانندگی از مبدأ rام تا پارکینگ i

پارکینگ / مبدأ	انقلاب	سی‌وسه‌پل	چهارباغ	سپاهان	سیتی‌سنتر	عالی‌قاپو	هتل عباسی	فرشادی	حکیم
مبدأ ۱	۳	۳	۴:۸	۸:۱	۳:۳	۴:۲	۵:۴	۶:۹	۸:۱
مبدأ ۲	۳:۹	۳:۹	۴:۵	۴:۲	۶:۳	۲:۴	۶:۳	۶:۶	۷:۲
مبدأ ۳	۶	۶	۶:۳	۵:۴	۹	۴:۵	۷:۲	۹	۴:۲
مبدأ ۴	۱۴	۱۴	۱۱:۹	۸	۹:۲	۹:۲	۹:۲	۹:۲	۳
مبدأ ۵	۹:۳	۹:۳	۴:۵	۶:۹	۴:۲	۶	۵:۴	۳	۴:۸
مبدأ ۶	۳	۳	۳	۶:۳	۴:۲	۵:۴	۴:۸	۵:۷	۶:۳

پارکینگ / مبدأ	فلسطین	هشت‌بهشت	گلدیس	ثامن‌الائمه	جهان‌نما	طبقاتی طالقانی	عالی‌قاپو بانک ملی	پشت مطبخ	فردوسی
مبدأ ۱	۶	۶:۳	۵:۷	۶	۶:۳	۶:۳	۷:۸	۸:۷	۳:۹
مبدأ ۲	۵:۷	۷:۸	۶:۹	۵:۷	۵:۱	۵:۱	۷:۲	۴:۸	۴:۸
مبدأ ۳	۸:۴	۵:۷	۶:۳	۸:۴	۲:۱	۲:۱	۴:۲	۷:۵	۶:۳
مبدأ ۴	۳:۶	۱:۵	۲:۴	۳:۶	۴	۴	۴	۳:۲	۶:۶
مبدأ ۵	۳	۴:۲	۴:۲	۳	۷:۵	۷:۵	۴:۲	۳:۹	۴:۸
مبدأ ۶	۵:۴	۴:۲	۴:۸	۵:۱	۷:۸	۷:۸	۷:۸	۶:۶	۳:۹

منبع: (نقشه های گوگل)

1 Google maps

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳. زمان (دقیقه) پیاده‌روی از پارکینگ i ام به مقصد s

پارکینگ / مقصد	انقلاب	سی‌وسه‌پل	چهارباغ	سپاهان	سیتی‌سنتر	عالی‌قاپو	مقابل هتل عباسی	فرشادی	حکیم
مقصد ۱	۱۰	۱۰	۱۰	۶	۱۴	۸	۱۳	۱۵	۱۵
مقصد ۲	۱۷	۱۷	۱۱	۱۳	۱۰	۱۰	۷	۱۱	۱۶
مقصد ۳	۴	۴	۵	۱۲	۵	۸	۹	۱۵	۲۳
مقصد ۴	۱۳	۱۳	۱۰	۱۷	۹	۹	۱۱	۱۱	۲۶
مقصد ۵	۱۸	۱۸	۱۵	۷	۱۶	۱۳	۱۰	۱۶	۱۰

پارکینگ / مقصد	فلسطین	هشت‌بهشت	گلدیس	ثامن‌الرضا	جهان‌نما	طالقانی طبقاتی	عالی‌قاپو بانک ملی	پشت مطبخ	فردوسی
مقصد ۱	۱۴	۱۳	۱۳	۱۴	۱۲	۱۲	۱۵	۱۳	۸
مقصد ۲	۸	۱۶	۱۴	۸	۱۶	۱۶	۱۲	۹	۱۰
مقصد ۳	۱۳	۱۱	۸	۱۳	۱۶	۱۶	۲۳	۲۰	۸
مقصد ۴	۷	۱۳	۱۰	۷	۲۳	۲۳	۲۲	۱۸	۹
مقصد ۵	۱۴	۸	۱۱	۱۴	۵	۵	۷	۹	۱۵

منبع: (نقشه‌های گوگل)

جدول ۴. (λ_{rs}) تقاضای ترافیک از مبدأ r ام به مقصد s ام

	مبدأ ۱	مبدأ ۲	مبدأ ۳	مبدأ ۴	مبدأ ۵	مبدأ ۶	تقاضای کل هر مقصد
مقصد ۱	۴۲	۲۱	۶۶	۱۰۰	۳۱	۵۴	۳۱۴
مقصد ۲	۱۶	۲۹	۴۵	۹۵	۸۳	۴۱	۳۰۹
مقصد ۳	۵۸	۵	۸	۲۶	۶	۶۲	۱۶۵
مقصد ۴	۷	۹	۱۷	۱۶	۱۲	۲۳	۸۴
مقصد ۵	۱۷۰	۶۳	۱۱۰	۲۸۳	۱۴۴	۱۳۵	۹۰۵
تقاضای کل هر مبدأ	۲۹۳	۱۲۷	۲۴۶	۵۲۰	۲۷۶	۳۱۵	۱۷۷۷

منبع: (یافته‌های پژوهش)

Archive of SID

www.SID.ir

۳. تقاضای سفر

در این پژوهش افق زمانی به یک دورهٔ یک‌ساعته بین ساعت ۷ تا ۸ صبح تقسیم شد. یکی دیگر از داده‌های مورد نیاز در این پژوهش تقاضای سفر از هر مبدأ با هر مقصد (λ_{rs}) است که بر اساس همین افق زمانی تهیه شد. برای دست‌یابی به این داده‌ها از مصاحبه استفاده شد. پژوهشگر، با مراجعه به هر یک از پارکینگ‌های مورد مطالعه و از طریق پرسش از رانندگان، مبدأها و مقاصد سفر آن‌ها را به دست آورده است. جدول ۴ معرّف تقاضای ترافیک (تقاضای سفر) از مبدأ r ام به مقصد s ام است.

۴. پارامتر α

برای به‌دست‌آوردن ارزش پولی زمان (α) از داده‌های درآمد پولی ناخالص خانوار شهر اصفهان استفاده شد. مجموع درآمد پولی و غیرپولی ناخالص هر خانوار در شهر اصفهان ۱۹۷۰۰۵۳۵۵ ریال است. فرض می‌کنیم که جمعیت هر خانوار ۴ نفر است. هر سال ۵۲ هفته است و با احتساب ۴ هفته مرخصی، که هر فرد در سال دارد، بنابراین، هر فرد در یک سال ۴۸ هفته کار می‌کند. تعداد ساعتی که هر فرد در هفته کار می‌کند ۴۸ ساعت است. با توجه به داده‌های مذکور، ارزش پولی زمان برابر با ۱۵۵۴ ریال است؛ در اینجا آن را ۱۵۰ تومان در دقیقه فرض می‌کنیم (بانک مرکزی، مدیریت کل آمارهای اقتصادی، ۱۳۹۲).

۵. الگوی بهینهٔ جریان جستجوی جای پارک و قیمت بهینه

با توجه به تعداد پارکینگ‌ها، ظرفیت آن‌ها، تعداد مبدأها و مقصدها، هزینهٔ سفر استفاده از هر یک از پارکینگ‌ها، تقاضای ترافیک از هر مبدأ به هر مقصد و تعیین پارامترهای $\alpha,\delta,\varepsilon_i$ با جای‌گذاری در معادلات و نامعادلات ۹ مسئله ذیل به‌دست می‌آید.

$$\min TC = ۱۵۰\left\{\int_{۰}^{k_۱}\frac{۱}{\left(۱-\frac{k_۱}{۵۰}\right)}dk_۱+\int_{۰}^{k_۲}\frac{۱}{\left(۱-\frac{k_۲}{۱۵۰}\right)}dk_۲+\int_{۰}^{k_۳}\frac{۱}{\left(۱-\frac{k_۳}{۵۰}\right)}dk_۳+\ldots+\int_{۰}^{k_{۱۸}}\frac{۱}{\left(۱-\frac{k_{۱۸}}{۶۰}\right)}dk_{۱۸}\right\}$$

$$+۵۸\left\{\left(۱۳\lambda_{۱۱}^{۱}+۱۳\lambda_{۱۱}^{۲}+۱۴.۸\lambda_{۱۱}^{۳}+\ldots+۱۸.۹\lambda_{۱۱}^{۱۸}\right)+\left(۲۰\lambda_{۱۲}^{۱}+۲۰\lambda_{۱۲}^{۲}+\ldots+۱۳.۹\lambda_{۱۲}^{۱۸}\right)+\right.$$

$$\left.\ldots+\left(۲۱\lambda_{۶۵}^{۱}+۲۱\lambda_{۶۵}^{۲}+\ldots+۱۸.۹\lambda_{۶۵}^{۱۸}\right)\right\}+\ldots$$

Archive of SID

www.SID.ir

$$s.t$$

$$\begin{Bmatrix} \lambda_{11}^{1}+\lambda_{11}^{2}+\lambda_{11}^{3}+\ldots+\lambda_{11}^{18}=42 \\ \lambda_{12}^{1}+\lambda_{12}^{2}+\lambda_{12}^{3}+\ldots+\lambda_{12}^{18}=16 \\ \vdots \\ \lambda_{64}^{1}+\lambda_{64}^{2}+\lambda_{64}^{3}+\ldots+\lambda_{64}^{18}=23 \\ \lambda_{65}^{1}+\lambda_{65}^{2}+\lambda_{65}^{3}+\ldots+\lambda_{65}^{18}=135 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} k_1=\lambda_{11}^{1}+\lambda_{12}^{1}+\lambda_{13}^{1}+\ldots+\lambda_{64}^{1}+\lambda_{65}^{1} \\ k_2=\lambda_{11}^{2}+\lambda_{12}^{2}+\lambda_{13}^{2}+\ldots+\lambda_{64}^{2}+\lambda_{65}^{2} \\ \vdots \\ k_{18}=\lambda_{11}^{18}+\lambda_{12}^{18}+\lambda_{13}^{18}+\ldots+\lambda_{64}^{18}+\lambda_{65}^{18} \end{Bmatrix}$$

$$\{k_1 \le K_1, k_2 \le K_1, k_3 \le K_2 \ldots, k_{18} \le K_{18}\}$$

$$\begin{Bmatrix} K_1=50 \\ K_2=150 \\ \vdots \\ K_{18}=30 \end{Bmatrix}$$

$$\left\{\lambda_{11}^{1}, \lambda_{11}^{2}, \lambda_{11}^{3}, \ldots, \lambda_{11}^{18}, \lambda_{12}^{1}, \lambda_{12}^{2}, \ldots, , \lambda_{18}^{2}, \ldots, \lambda_{65}^{16}, \lambda_{65}^{17}, \ldots, \lambda_{65}^{18} \ge 0\right\}$$

۶. روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

مدل ارائه‌شده در این پژوهش بر اساس برنامه‌ریزی ریاضی است. در مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی تابع هدف بر اساس یک سری از قیود حداقل (حداکثر) می‌شود. برای حل کردن مسئلهٔ برنامه‌ریزی این پژوهش و تجزیه و تحلیل آن از نرم‌افزار متلب[1] استفاده شد. برای حل کردن مدل، از برنامه‌نویسی (کُدنویسی) در محیط نرم‌افزار متلب استفاده شد. الگوریتم

1 . *Matlab*

Archive of SID

www.SID.ir

حل مسئله بدین صورت است: هدف مدیران حمل و نقل و ترافیک حداقل‌کردن هزینهٔ شبکه است. به عبارتی، ما به دنبال قیمت و الگوی جریان جستجوی جای پارکی (در نتیجه حجمی از فضای اشغالی برای هر یک از پارکینگ‌ها) هستیم که هزینهٔ شبکه را حداقل کند. از طرف دیگر، بر اساس شرایط تعادل کاربری، رانندگان با علم به قیمت پارکینگ‌ها و هزینهٔ زمانی سفر به هر پارکینگ، همیشه، پارکینگی را انتخاب می‌کنند که حداقل هزینهٔ کل سفر را برایشان در بر داشته باشد. بنابراین، قیمت‌های گوناگون برای پارکینگ‌ها شرایط تعادل کاربری و در نتیجه الگوی جریان جستجوی جای پارک را تغییر می‌دهد. الگوریتم حل مسئله به این صورت است: آن قدر قیمت پارک را برای پارکینگ‌ها تغییر می‌دهیم تا به حداقل هزینهٔ کل شبکه نائل شویم. قیمت‌های پارک و الگوی جریان جستجوی جای پارک متناظر با حداقل هزینهٔ شبکه به‌ترتیب قیمت‌های بهینهٔ سیستمی و الگوی جریان جستجوی جای پارک بهینهٔ سیستمی‌اند.

نتیجه‌گیری

۱. قیمت‌های بهینه و مقدار بهینهٔ فضای اشغالی برای هر پارکینگ

جدول ۵ قیمت‌های بهینه و مقدار بهینهٔ فضای اشغالی برای هر پارکینگ را نشان می‌دهد.

شکل ۴ نمودار قیمت‌های موجود و قیمت‌های بهینه برای هر پارکینگ را نشان می‌دهد. بر طبق این نمودار، به‌خوبی می‌توان وضعیت قیمت‌های موجود و قیمت‌های بهینهٔ هر پارکینگ را مقایسه کرد. قیمت‌های مصوّب هر پارکینگ ۵۰۰ تومان است. بر اساس مدل قیمت‌های بهینه تعیین شد. با توجه به ارزش پولی ۱۵۰ تومان در هر دقیقه برای رانندگان، پارکینگ کاخ هشت‌بهشت با قیمت پارک ۱۰۰ تومان حداقل قیمت را بین پارکینگ‌ها داراست. همچنین، پارکینگ فرشادی با قیمت ۱۰۰۰ تومان بیشترین قیمت را در بین پارکینگ‌ها دارد. بیشترین شکاف بین قیمت بهینهٔ پارک و قیمت فعلی مربوط به پارکینگ فرشادی (با شکاف ۵۰۰ تومان) و کمترین شکاف بین قیمت بهینهٔ پارک و قیمت فعلی مربوط به پارکینگ مجتمع تجاری سپاهان و مجتمع تجاری عالی‌قاپو (با شکاف صفر) است. شکل ۵ نمودار شکاف بین مقدار فضای اشغالی موجود و مقدار بهینهٔ فضای اشغالی پارکینگ‌ها را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار، به‌خوبی می‌توان وضعیت مقدار فضای

Archive of SID

www.SID.ir

اشغالی موجود و مقدار بهینهٔ فضای اشغالی هر پارکینگ را مقایسه کرد. کمترین مقدار بهینهٔ فضای اشغالی مربوط به پارکینگ سیتی‌سنتر با یک راننده ورودی و بیشترین مقدار بهینه مربوط به پارکینگ طبقاتی طالقانی با ۴۲۴ راننده ورودی است. پارکینگ سی‌وسه‌پل (با شکاف یک) کمترین شکاف را بین مقدار فضای اشغالی و مقدار بهینهٔ فضای اشغالی پارکینگ‌ها و پارکینگ حکیم (با شکاف ۱۲۰) بیشترین شکاف را بین مقدار فضای اشغالی و مقدار بهینهٔ فضای اشغالی پارکینگ‌ها داراست.

جدول ۵. قیمت‌های بهینه، مقدار فضای اشغالی بهینه و الگوی بهینهٔ جریان جستجوی جای پارک

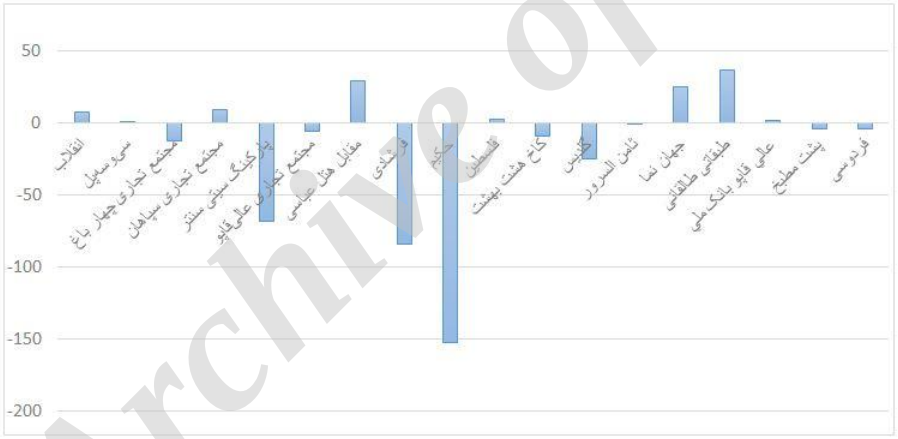
ردیف (i)	نام پارکینگ	ظرفیت پارکینگ (خودرو)	قیمت بهینه (واحد: تومان)	مقدار بهینهٔ فضای اشغالی (خودرو)
۱	انقلاب	۵۰	۷۰۰	۳۴
۲	سی‌وسه‌پل	۱۵۰	۸۰۰	۹۰
۳	مجتمع تجاری چهارباغ	۵۰	۷۰۰	۲۵
۴	مجتمع تجاری سپاهان	۱۲۰	۵۰۰	۹۴
۵	پارکینگ سیتی‌سنتر	۹۰	۹۰۰	۱
۶	مجتمع تجاری عالی‌قاپو	۱۰۰	۵۰۰	۷۲
۷	مقابل هتل عباسی	۱۸۰	۳۵۰	۱۴۷
۸	فرشادی	۱۲۰	۱۰۰۰	۳۱
۹	حکیم	۶۰۰	۶۰۰	۲۶۰
۱۰	فلسطین	۵۰	۷۵۰	۳۸
۱۱	کاخ هشت‌بهشت	۷۰	۱۰۰	۵۷
۱۲	گلدیس	۱۰۰	۱۵۰	۵۸
۱۳	ثامن‌السرور	۳۵	۷۵۰	۲۷
۱۴	جهان‌نما	۱۴۰	۱۵۰	۱۲۷
۱۵	طبقاتی طالقانی	۴۸۰	۴۵۰	۴۲۴
۱۶	عالی‌قاپو بانک ملی	۳۵	۱۵۰	۳۰
۱۷	پشت مطبخ	۶۰	۳۰۰	۴۹
۱۸	فردوسی	۳۰	۷۰۰	۲۰

منبع: (یافته‌های پژوهش)

Archive of SID

www.SID.ir

شکل ۴. نمودار قیمت‌های موجود و قیمت‌های بهینهٔ پارکینگ‌ها (یافته‌های پژوهش)



شکل ۵. نمودار شکاف بین مقدار فضای اشغالی بهینه و مقدار فضای اشغالی موجود (یافته‌های پژوهش)

۲. الگوی بهینهٔ جریان جستجوی جای پارک

ماتریس الگوی جریان جستجوی جای پارک ماتریسی است که تعداد راننده‌هایی را که از مبدأ r به مقصد s می‌روند و پارکینگ i را انتخاب می‌کنند نشان می‌دهد. مثلاً، عنصر λ_{11}^{6} این ماتریس برابر با ۴۱ است؛ یعنی ۴۱ راننده که از مبدأ یک به مقصد یک می‌روند

Archive of SID

www.SID.ir

خودروی خود را در پارکینگ هجده پارک می‌کنند. ماتریس الگوی بهینهٔ جریـان جسـتجوی جای پارک به شرح زیر است:

$$\lambda_{rs}^{i} = \begin{bmatrix}
۱ & 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 & 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 & 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 & 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 & 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 & 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 & 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 & 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 & 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 & 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 & 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 & 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 & 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 & 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 & 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 & 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 & 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 & 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 & 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 & 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 & ۰ \\
۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰
\end{bmatrix}$$

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

۱. احمدی، سیده‌زهره و حسینی، اکرم (۱۳۸۶). بررسی مسائل و مشکلات مدیریت پارکینگ‌ها و تأثیر آن بر ترافیک شهر مشهد، شرکت پژوهشی- فرهنگی اندیشه‌سازان پویای سعادت، مشهد.

۲. بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران (۱۳۹۲). مدیریت کل آمارهای اقتصادی، ادارهٔ آمار اقتصادی، دایرهٔ بررسی بودجهٔ خانوار.

۳. سیدموسوی، سیدجلال (۱۳۸۶). تحلیل جغرافیایی مسائل و مشکلات عمومی پارکینگ‌های عمومی در شهر اصفهان، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه اصفهان.

۴. دلاوری، شهرزاد (۱۳۹۰). مکان‌یابی پارکینگ طبقاتی به کمک GIS در مناطق ۴ و ۱۲ ترافیکی شهر اصفهان، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه هنر اصفهان.

۵. درزی رامندی علیرضا و همکاران (۱۳۹۰). تقاضای پارکینگ‌های کاربری‌های اداری و تجاری، یازدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.

۶. دبیرخانهٔ شورای عالی هماهنگی ترافیک شهرهای کشور (۱۳۷۴). معاونت عمرانی دفتر حمل و نقل کشور.

۷. قاضی عسکری نائینی، آرمان و ورشوساز، مسعود (۱۳۸۳). «ارائهٔ روش مناسب برای مکان‌یابی پارکینگ‌های عمومی با استفاده از GIS»، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد دانشکدهٔ علوم زمینی، دانشگاه شهید بهشتی.

۸. محمدی، فریبرز (۱۳۹۰). «بررسی عوامل اقتصادی مؤثر بر تصادفات جاده‌ای»، گروه اقتصاد و برنامه‌ریزی، دانشگاه بوعلی‌سینا همدان.

Archive of SID

www.SID.ir

۹. مختاری ملک‌آبادی، رضا (۱۳۸۹). تحلیلی بر برنامه‌ریزی کاربری پارکینگ در شهر اصفهان با استفاده از مدل‌های کاربردی برنامه‌ریزی منطقه‌ای، مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای.

۱۰. متکان، علی‌اکبر، شکیبا، علیرضا و پورعلی، سیدحسین (۱۳۸۵). کاربرد GIS در مکان‌یابی پارکینگ‌های عمومی طبقاتی به روش OWA، همایش شهر و شهرسازی.

11. Ahmadi Azari, K. et al. (2013). Modelling Demand under Parking and Cordon Pricing Policy, Transport Policy, 25, 1-9.

12. Álvaro, C., Cecília, R. & Sandra, M. (2014). Parking Management Policies and the Effectiveness of Public Policy Solutions, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Transportation: Can we do more with less resources? – 16th Meeting of the Euro Working Group on Transportation – Porto, 965-973.

13. Arnott, R. (2006). Spatial Competition between Parking Garages and Downtown Parking Policy, Transport Policy, 13(6), 458-469.

14. Arnott, R., de Palma, A. & Lindsey, R. (1991). A temporal and spatial equilibrium analysis of commuter parking, Journal of Public Economics, 45, 301-335.

15. Arnott, R. & Inci, E. (2006). An integrated model of downtown parking and traffic congestion, Journal of Public Economics, 45, 418-442.

16. Arnott, R., Palma, A. & Lindsey, R. (1990). Departure time and route choice for the morning commute, Transportation Research Part B, 24, 209-228.

17. Arnott, R. & Rowse, J. (1991). Modeling Parking, Journal of Urban Economics, 45(1), 97-124.

18. Arnott, R. & Rowse, J. (2009). Downtown Parking in Auto City, Regional Science and Urban Economics, 39(1), 1-14.

19. Axhausen, K., Polak, J., Boltze, M. & Puzicha, J. (1994). Effectiveness of the parking guidance information system in Frankfurt/main, Trac Engineering and Control, 35(5), 304-309.

20. Banerjee, A., Duflo, E., & Qian, N. (2012). On the road: Access to transportation infrastructure and economic growth in China: National Bureau of Economic Research.

Archive of SID

www.SID.ir

21. BAO, D., DENG, W. & GU, S. (2010). Impact of Parking Rates on Resident Travel Behavior, Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 10(3), 80-85.

22. Benenson, I., Martens, K. & Birfir, S. (2008). PARKAGENT: An Agent-Based Model of Parking in the City, Computers, Environment and Urban Systems, 32(6), 431-439.

23. Bifulco, G.N. (1993). A stochastic user equilibrium assignment model for the evaluation of parking policies, European Journal of Operational Research,71, 269-287.

24. Burden, R. & Faires, D. (1985). 0.2.1 the Bisection Algorithm, Numerical Analysis (3rd ed.), PWS Publishers, ISBN 0-87150-857-5.

25. Caicedo, F. & Diaz, A. (2013). Case Analysis of Simultaneous Concessions of Parking Meters and Underground Parking Facilities, Transportation Research Part A: Policy and Practice, 49, 358-378.

26. Calthrop, E., Proost, S. & Van Dender, K. (2000). Parking policies and road pricing, Urban Studies, 37(1), 63-76.

27. D'Acierno, L., Gallo, M. & Montella, B. (2006). Optimization Models for the Urban Parking Pricing Problem, Transport Policy, 13(1), 34-48.

28. Duanmu, J. et al. (2012). Buffering in Evacuation Management for Optimal Traffic Demand Distribution, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 48(3), 684-700.

29. Gallo, M., D'Acierno, A. & Montella, B. (2011). A Multilayer Model to Simulate Cruising for Parking in Urban Areas, Transport Policy, 18(5), 735-744.

30. Guo, L., Huang, S. & Sadek, A. (2013). A Novel Agent-Based Transportation Model of a University Campus with Application to Quantifying the Environmental Cost of Parking Search, Transportation Research Part A: Policy and Practice, 50, 86-104.

31. Jelena, Simićević et al. (2012). Defining Parking Price Based on Users' Attitudes, Transport Policy, 23, 70-78.

32. Litman, T. (2011). Evaluating public transit benefits and costs. *Victoria Transport Policy Institute, 65*.

33. Moeinaddini, M. et al. (2013). A Practical Method for Evaluating Parking Area Level of Service, Land Use Policy, 33, 1-10.

Archive of SID

www.SID.ir

34. Qian, Z. S., & Rajagopal, R. (2013). Optimal parking pricing in general networks with provision of occupancy information. *Procedia-Social and Behavioral Sciences, 80*, 779-805.

35. Qian, Z. & Rajagopal, R. (2014). Optimal Dynamic Parking Pricing for Morning Commute Considering Expected Cruising Time, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 48, 468-490, doi:10.1016/j.trc.2014.08.020.

36. Richard Arnott (2006). Spatial competition between parking garages and downtown parking policy, Transport Policy Volume 13, Issue 6, November 2006, Pages 458–469

37. Scaini, C., Folch, A., Bolić, T. & Castelli, L. (2014). A GIS-Based Tool to Support Air Traffic Management during Explosive Volcanic Eruptions, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 49, 19-31.

38. Shay, E., & Khattak, A. J. (2010). Toward sustainable transport: Conventional and disruptive approaches in the US context. *International journal of sustainable transportation, 4*(1), 14-40.

39. Simićević, J., Milosavljević, N., Maletić, G., & Kaplanović, S. (2012). Defining parking price based on users' attitudes. *Transport Policy, 23*, 70-78.

40. Tiexin, C., Miaomiao, T. & Ze, M. (2012). The Model of Parking Demand Forecast for the Urban CCD, Energy Procedia 16, Part B, 1393-1400.

41. Tsai, J. & Chu, C. (2005). Economic Analysis of Collecting Parking Fees by a Private Firm, Transportation Research Part A: Policy and Practice, 40(8), 690-697.

42. Tsai, M. & Chu, C. (2011). Evaluating Parking Reservation Policy in Urban Areas: An Environmental Perspective, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 17(2), 145-148.

43. Vuchic, V. R. (1999). Transportation for livable cities

44. ZHOU, J. & ZHU, Z. (2007). Hierarchy Analysis and Strategies on the Imbalance between Supply and Demand of Urban Traffic, Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 7(4), 24-29.

Archive of SID

www.SID.ir