قیمت‌گذاری پارکینگ‌های عمومی با استفاده از مفاهیم تئوری صف

سید محمد حجازی*، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه فردوسی مشهد، m.hejazi88@chmail.ir

محمد علی پیرایش، عضو هیئت علمی گروه مهندسی صنایع، دانشگاه فردوسی مشهد، pirayesh@um.ac.ir

چکیده: در این مقاله یک روش قیمت‌گذاری برای پارکینگ‌های عمومی معرفی می‌شود که در آن مراجعه خودروها به پارکینگ تابعی از قیمت پارکینگ است و به دنبال قیمتی هستیم که بیشترین درآمد را برای پارکینگ به دست دهد. جهت تعیین تابع درآمد پارکینگ از مفاهیم تئوری صف استفاده می‌شود؛ در این خصوص سه نوع سیستم M/M/m، M/M/m/m و M/M/m/K برای پارکینگ‌ها پیشنهاد می‌شود که کاربرد هر یک از آن‌ها وابسته به این است که در هنگام پر بودن پارکینگ امکان ایجاد صف وجود دارد یا خیر. در این مقاله قیمت بهینه برای پارکینگی که با سیستم صف M/M/m مطابقت دارد استخراج می‌شود.

کلمات کلیدی: مدیریت درآمد پارکینگ، قیمت‌گذاری، سیستم‌های صف

۱. مقدمه

امروزه نبود فضای پارک کافی با توجه به افزایش جمعیت و تعداد وسایل نقلیه به یک معضل بزرگ در کلان‌شهرها تبدیل شده است که ترافیک سنگین، آلودگی هوا، افزایش مصرف سوخت و نارضایتی عموم شهروندان از اثرات اجتناب ناپذیر آن می‌باشد. این امر مسئولان و برنامه ریزان شهری را به استفاده از روش‌های نوین مدیریت ترافیک سوق داده که استفاده از سیستم‌های PGI [۱] و امکان رزرو اینترنتی پارکینگ [۲] و [۳] از جمله آن‌ها می‌باشد. قیمت‌گذاری شناور پارکینگ‌ها یکی دیگر از اهرم‌های مدیریت ترافیک در محدوده مرکزی کلان‌شهرها و نیز روش موثری برای مدیریت درآمد و افزایش سود صاحبان پارکینگ می‌باشد. یافتن قیمت بهینه‌ای که بیشترین درآمد را برای پارکینگ دربرداشته باشد به عنوان یک مسئله بهینه سازی ریاضی و برنامه ریزی خطی در سال های اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته است [۱] و [۴]. در این مقاله با درنظر گرفتن پارکینگ به عنوان یک سیستم صف، توابعی که با استفاده از آن‌ها قیمت بهینه و حداکثر درآمد برای پارکینگ به دست می‌آید معرفی شده است.

۲. تشریح مسئله

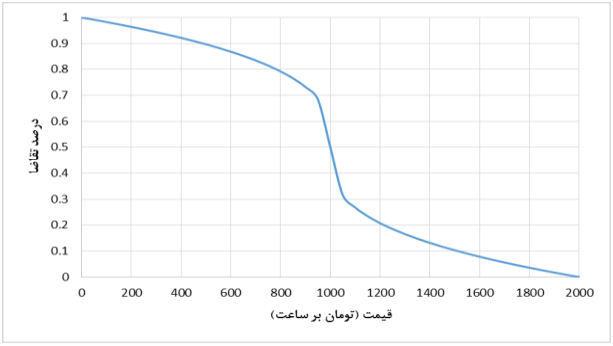
در حالت کلی یک پارکینگ را می‌توان یک سیستم صف در نظر گرفت که در آن ورود خودروها به پارکینگ معادل ورود مشتریان به سیستم صف است و مدت زمان ماندن در پارکینگ معادل مدت زمان خدمت به مشتری است؛ به عبارت دیگر، تعداد فضای پارک خودرو معادل تعداد خدمت‌دهندگان است. در این مقاله فرض می‌شود مراجعه خودروها به پارکینگ بر اساس توزیع پواسون است و مدت زمان ماندن هر خودرو در پارکینگ توزیع نمایی دارد. اگر در هنگام پر بودن پارکینگ امکان ایجاد صف در پشت درب پارکینگ به صورت نامحدود وجود داشته باشد، این پارکینگ با سیستم صف M/M/m مطابقت دارد. اگر امکان ایجاد صف وجود نداشته باشد پارکینگ با سیستم صف M/M/m/m توصیف می‌شود و اگر امکان ایجاد صف به صورت محدود وجود داشته باشد پارکینگ با سیستم صف M/M/m/K مطابقت دارد. در این مقاله فرض می‌شود نرخ مراجعه خودروها تابعی از قیمت است. این تابع را تابع تقاضای پارکینگ می‌نامیم. با توجه به این فرض به دنبال شناسایی تابع درآمد پارکینگ و تعیین قیمت بهینه برای حداکثر کردن درآمد هستیم.

۱.۲ تابع تقاضا

در این قسمت به دنبال شناسایی تابعی هستیم که تغییرات تقاضا در برابر تغییر قیمت پارکینگ را به خوبی توصیف کند. برای مثال اگر بازه تغییرات قیمت برای یک پارکینگ در محدوده مرکزی شهری مانند مشهد را بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ تومان فرض کنیم، بر اساس تعاریف علم اقتصاد می‌توان گفت که تقاضا (نرخ مراجعه خودروها به پارکینگ) در قیمت‌های خیلی کم یا خیلی زیاد، حساسیت چندانی از خود نشان نمی‌دهد؛ به عبارت دیگر کم کشش است. اما در قیمت‌های میانی هرگونه تغییر در قیمت موجب تغییرات نسبتا چشم‌گیری در

*ارائه دهنده

تقاضا می‌گردد. بر این اساس شکل ۱ برای توصیف رفتار تقاضا پیشنهاد می‌شود.



شکل ۱. تابع تقاضا

معادله تابع شکل ۱ عبارت است از

$$f(P) = \frac{1}{2}(1 + \sqrt[3]{1 - 0.001P}) \quad (۱)$$

P: قیمت هر ساعت استفاده از پارکینگ.

لذا، تابع تقاضای پارکینگ معادل رابطه ۲ است:

$$\lambda(P) = \lambda . f(P) \quad (۲)$$

λ : نرخ مراجعه خودروها به پارکینگ (خودرو بر ساعت)

۲.۲ درآمد پارکینگ

همانطور که اشاره شد، بسته به امکان ایجاد صف، پارکینگ‌ها را می‌توان با سه نوع سیستم صف زیر توصیف کرد.

- مدل M/M/m :

$$R = \lambda f(p).P.1/\mu \quad (۳)$$

μ : میانگین مدت زمان ماندن هر خودرو در پارکینگ (ساعت)

R : تابع میانگین درآمد پارکینگ در ساعت

- مدل M/M/m/m :

$$R = \lambda . f(P).P.\frac{1}{\mu}.\left(1 - \left(\frac{\lambda(P)}{\mu}\right)^m \frac{1}{m!}\left[\sum_{n=0}^{m}\left(\frac{\lambda(P)}{\mu}\right)^n \frac{1}{n!}\right]^{-1}\right)$$

m: تعداد فضای پارک

- مدل M/M/m/K :

$$R = \lambda . f(P).P.\frac{1}{\mu}.\left(1 - \left[\sum_{n=0}^{m-1}\left(\frac{\lambda(P)}{\mu}\right)^n . \frac{1}{n!} + \left(\frac{\lambda(P)}{\mu}\right)^m \frac{1}{m!}\sum_{n=m}^{k}\left(\frac{\lambda(P)}{m\mu}\right)^{n-m}\right]^{-1} . \left(\frac{\lambda(P)}{\mu}\right)^n . \frac{m^{n-m}}{n!}\right)$$

K: ظرفیت سیستم پارکینگ (شامل صف و فضای پارک)

۳. تحلیل تابع درآمد پارکینگ و نتایج عددی

در این قسمت تابع درآمد برای پارکینگی که با سیستم صف M/M/m مطابقت دارد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و قیمت بهینه پارکینگ محاسبه می‌گردد.

• تحلیل۱: تابع درآمد (رابطه ۳) به ازای مقادیر P<۳۰۰۰ مقعر است. این نتیجه از طریق مشتق دوم تابع درآمد نسبت به قیمت کسب شده است.

• تحلیل۲: جهت پایداری سیستم صف لازم است رابطه زیر بین پارامترها برقرار باشد. این رابطه با کوچک‌تر از یک قرار دادن نسبت نرخ ورود به نرخ خدمت به دست آمده است.

$$\lambda(P) < m\mu \quad (۴)$$

• قیمت بهینه: قیمت بهینه برای پارکینگی که با سیستم M/M/m مطابقت دارد برابر ۹۰۵/۵۵ تومان بر ساعت است. این قیمت با برابر صفر قرار دادن مشتق تابع درآمد نسبت به قیمت حاصل شده است.

نکته قابل توجه در تابع درآمد (رابطه ۳) این است که مقدار بهینه قیمت برای این تابع به پارامترهای نرخ ورود (λ)، نرخ خدمت (μ) و تعداد فضای پارک (m) بستگی ندارد. لازم است اشاره شود که ارتباط بین این پارامترها از طریق شرط پایداری سیستم رابطه (۴) تعیین می‌شود. جدول ۱ مقادیر مجاز برای تعداد فضای پارک را با توجه به مقادیر مختلف نرخ ورود و نرخ خدمت نشان می‌دهد.

جدول۱. ارتباط بین پارامترهای ورودی مدل

λ	μ	m	P^*
25	1	>18.18	905.5487
25	2	>9.09	905.5487
30	1	>21.825	905.5487
30	2	>10.9125	905.5487
35	1	>25.46	905.5487
35	2	>12.73	905.5487

۴. نتیجه گیری

در این مقاله پس از بررسی انواع پارکینگ‌ها از دیدگاه تئوری صف و معرفی تابع درآمد آن‌ها، با در نظر گرفتن پارکینگ به عنوان یک سیستم صف M/M/m به معرفی رابطه‌ای برای رسیدن به قیمت بهینه که بیشترین درآمد را برای پارکینگ به همراه داشته باشد پرداختیم. در مدل بررسی شده قیمت بهینه مستقل از پارامترهایی چون نرخ ورود و نرخ خدمت است، اما اگر تعداد فضای پارک از حد مشخصی کم‌تر باشد سیستم صف پارکینگ ناپایدار می‌شود.

۵. مراجع

[1] Yanfeng Geng, Christos G. Cassandras, “A new “Smart Parking” System Infrastructure and Implementation”, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 54, pp. 1278-1287, (2012)

[2] Dus˘an Teodorovic´, Panta Luc˘ic, “Intelligent parking systems”, European Journal of Operational Research, 3, pp. 1666-1681, (2005)

[3] Mei-Ting Tsai, Chih-Peng Chu, “Evaluating parking reservation policy in urban areas: An environmental perspective”, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2, pp. 145-148 (2012)

[4] Zhen (Sean) Qian, Ram Rajagopal, “Optimal Parking Pricing in General Networks with Provision of Occupancy Information”, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 80, pp. 779-805, (2013)