

## معرفی مشتقات زمان سفر در مدیریت ترافیک

هادی گنجی زهرایی، عضو هیات علمی پژوهشکده مالی و اقتصاد حمل و نقل، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

**E-mail: Hadi.Ganji@bhrc.ac.ir**

### چکیده

مدیریت ترافیک با هدف افزایش کیفیت سفر و کاهش هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم (مشکلات زیست‌محیطی، ایمنی، بهره‌وری نیروی انسانی) معمولاً دنبال می‌شود. در این مقاله، ابزار اختیار معامله زمان سفر برگرفته از مشتقات مالی برای قیمت‌گذاری ترافیک ارائه شده است. به‌طور کلی، کم (زیاد) بودن قیمت مشتقات زمان سفر، می‌تواند شاخصه‌ای برای کم (زیاد) بودن تراکم ترافیک مسیر، در دوره موردنظر باشد. در این روش، علاوه بر سطح ترافیک، تغییرات آن نیز در قیمت‌گذاری مدنظر قرار می‌گیرد. از مزایای این روش، استفاده از مکانیزم بازار برای قیمت، پویا بودن قیمت و کنترل هوشمند ترافیک است. البته، سفته‌بازی می‌تواند حباب قیمتی ایجاد کرده و پیش‌بینی‌های لازم را با اختلال مواجه کند. از الزامات اولیه آن، تعریف مشتق زمان، مدل پیش‌بینی زمان سفر، ارزش‌گذاری اختیار معاملات و در آخر مکانیزم جبرانی است. با پیاده‌سازی، مشتقات زمان سفر برای محور تهران-کرج برای دوره ۱۰ روزه مردادماه با مقدار آستانه‌ای ۲۷ دقیقه مشخص شد که با بالا بودن قیمت اختیار معامله خرید نسبت به فروش، زمان سفر در دوره موردنظر کمتر از مقدار ۲۷ دقیقه پیش‌بینی می‌شود که می‌توان نتیجه گرفت، ترافیک روان‌تر از مقدار آستانه‌ای خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: مشتقات مالی، زمان سفر، قیمت‌گذاری ترافیک

## ۱. مقدمه

ارزش آن از ارزش دارایی دیگری مشتق می‌شود. این ابزار در کلیه بازارهای معاملاتی کالایی و غیر کالایی همچون نرخ برابری ارز، بهره، دمای هوا و... مورد استفاده قرار می‌گیرد. مشتقات زمانی، با همان کاربرد مشتقات مالی، ابزار مدیریت ریسک زمان سفر در دوره موردنظر است. همچون مشتقات مالی، دارنده این اوراق دو اختیار خرید و فروش را دارد. اگر زمان سفر بیشتر از مقدار پیش‌بینی شده باشد، برای دارنده آن، بر اساس تابع از قبل تعیین شده، جبران خسارت می‌شود. در عمل می‌توان برای حالت زمان کمتر، جبرانی را در نظر نگرفت، لیکن از نظر تئوری و کامل بودن، موارد آن قابل پیاده‌سازی است (Alaton, Djehiche and Stillberger, 2002).

حجم خرید (فروش) مشتقات زمان سفر، میزان اعتماد به زمان پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. از این رو، حجم معاملات شاخص های مناسب برای مدیریت ترافیک است. بدین ترتیب که استفاده کنندگان با بررسی قیمت مشتقات زمان سفر، اطمینان سایر استفاده‌کنندگان از زمان پیش‌بینی شده را برآورد می‌کنند. از سویی دیگر، میزان عرضه و تقاضا قیمت را تعیین می‌کند. این مکانیزم، کمک‌حالی برای شرایط بحرانی است. بدین ترتیب که برخلاف روش معمول که در هر شرایطی عوارض ثابت است، مصرف‌کنندگان با رفتار و معاملات خود تعیین‌کننده هزینه و تمایل برای پرداخت را نشان می‌دهند. پوشش ریسک استفاده‌کنندگان از مسیر، با تقابل کسانی که از تأخیر یا تعجیل سود می‌برند انجام می‌شود. در ابزار مشتقه زمان سفر، علاوه بر میانگین حجم ترافیک، تغییرات آن نیز در نظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب، وضعیت کنونی ترافیکی تنها معیار تعیین‌کننده برای ورد به مسیر نیست. بلکه تغییرات حجم ترافیک در بازه زمانی موردنظر نیز، ملاک تصمیم‌گیری است. برای عملیاتی شدن این ابزار لازم است تا در ابتدا مدل پیش‌بینی زمان سفر برآورد و سپس، ارزش‌گذاری زمان سفر صورت گیرد (Wan and Kornhauser, 2016).

از ابزارهای مدیریت ترافیک، کنترل حجم سفر است. تغییرات زمان سفر که متأثر از تراکم ترافیک است، از جمله ریسک‌ها در ارائه خدمات حمل‌ونقلی در کنار سایر انواع مخاطرات است. آلودگی‌های زیست‌محیطی، کاهش کیفیت زندگی، کاهش بهره‌وری اقتصادی، ایجاد هزینه‌های خارجی چالش‌های پیش‌رو در مدیریت ترافیک شهری است. تاکنون از روش‌هایی چون محدودیت تردد و اخذ عوارض برای کنترل استفاده شده است (Runhaar, 2001). که البته هر دو روش، به دلیل ایجاد محدودیت در بهره‌برداری از کالای عمومی با مشکلاتی در خصوص عدالت اجتماعی روبرو هستند (Gu et al., 2018).

افراد با توجه به مطلوبیت و اهمیت گذر از مسیر، نسبت به پرداخت عوارض، تصمیم می‌گیرند. از موضوعات مطرح در پرداخت عوارض، شرایط مسیر برای پرداخت عوارض و نوع پرداخت (ثابت یا پویا) است. در این روش‌ها مقدار عوارض برای مدت استفاده ثابت هستند و تنها در این مورد با یکدیگر متفاوت هستند که در روش پویا، عوارض برای دوره پیش‌رو بر اساس متغیر خاصی همچون زمان سفر مشخص می‌گردد و در پاره‌ای موارد بر اساس هدفی خاص بهینه می‌شود. در حقیقت در عوارض پویا برای دو نقطه زمانی بحرانی و غیر بحرانی مقدار متفاوت و ارتباطی بین دریافت مقدار عوارض با حجم ترافیک عبوری وجود ندارد. از این رو، پیدا کردن روشی که بین مطلوبیت سفر و مقدار عوارض ارتباط برقرار کند مطلوب است. از ابزارهای پیشنهادی در این زمینه استفاده از مشتقات زمان سفر که برگرفته از مشتقات مالی است، است. ارتباط موردنظر با توجه به مکانیزم بازار ایجاد می‌شود (Cramton, Geddes and Ockenfels, 2017).

ابزار مشتقه برای مدیریت ریسک استفاده می‌شود. مشتق مالی، ابزار مالی است که ارزش آن وابسته به ارزش دارایی دیگری است (که دارایی پایه نیز نامیده می‌شود). این ابزار به دارنده آن اختیار یا تعهد خرید و یا فروش یک دارایی معین را می‌دهد و

## معرفی مشتقات زمان سفر در مدیریت ترافیک

دوره زمانی مربوطه داشت. در قسمت بعد فرایند پیش‌بینی زمان سفر ارائه شده است.

### ۲-۲ پیش‌بینی زمان سفر

از جمله الزامات اولیه در تعریف و به‌کارگیری ابزار مشتقه زمان سفر، معرفی مدلی پیش‌بینی تغییرات زمان سفر است. قبل از آن، متغیر زمان سفر از اهمیت برخوردار است. برای این کار لازم است تا شاخصه‌ای برای این کار همچون، متوسط تعداد روزهای با بیشترین (کمترین) زمان سفر استفاده کرد. البته این شاخصه به هدف و زمان کاربرد بستگی دارد.

روش‌های گوناگونی برای برآورد زمان سفر از جمله برازش تابع توزیع، مدل بازگشت به میانگین، نا اطمینانی در واریانس، خانواده ARC، مدل CARMA وجود دارد. دو شاخصه مقدار اطلاعات موردنیاز و دیگری دقت روش برآوردی در به‌کارگیری آن‌ها مطرح است (Kurzanskiy and Varaiya, 2014). به‌طور کلی فرایند زمان سفر با استفاده از مدل ورشتین-اوهلینک با در نظر گرفتن خصوصیت بازگشت به میانگین برآورد می‌شود (فرمول ۲).

$$x_t = a(\hat{x}_t - x_t)dt + \sigma_t d\epsilon_t, t > s \quad (2)$$

که در آن،  $a$  پارامتر سرعت بازگشت به میانگین از زمان  $s$  است.  $\hat{x}_t$  برآورد متوسط زمان سفر در زمان  $t$  است. البته به این نکته باید توجه داشت که هر مدل زمان سفر هر مسیر منحصر به‌فرد است.

### ۳-۲ قیمت‌گذاری

از روش‌های معمول در ارزش‌گذاری اختیار معامله استفاده از روش مونت‌کارلو است. این روش بر اساس ریسک خنثی به معنی قیمت اختیار معامله، تنزیل شده ارزش مشتقه در زمان سررسید استفاده می‌شود (Balter and Pelsser, 2019). با استفاده از این روش، اختیار خرید یا فروش زمان سفر به‌قرار روابط ۳ و ۴ خواهد بود.

در این مقاله قیمت‌گذاری زمان سفر (تراکم ترافیک)، با استفاده از ابزار مشتقه مالی ارائه شده است. برای این کار در قسمت اول مشتقات و چگونگی اندازه‌گیری زمان سفر ارائه شده است. در قسمت بعد، مدل پیش‌بینی زمان سفر تبیین شده است. در قسمت سوم، با استفاده از روش قیمت‌گذاری مونت‌کارلو قیمت اختیار معامله خرید و فروش مشتقات زمان سفر ارائه شده است. پس از آن، مشتقات زمان سفر برای مسیر تهران-کرج پیاده و در آخر نتیجه‌گیری از بحث ارائه شده است.

## ۲. مشتقات زمان سفر

مشتقات بر پایه دارایی زمان سفر، تعیین مقدار مشخص زمان سفر در بازه زمانی موردنظر است. به‌منظور بهره‌مندی از این ابزار لازم است تا ابزارهای زیر تعریف شود.

### ۱-۲ تعریف ابزار مشتقه

اولین گام، تعریف مشتقات بر اساس زمان موردنظر است (فرمول ۱).

$$H_i = \max(T_i - C, 0) \cdot L_i \quad (1) \\ = \max(C - T_i, 0)$$

اگر زمان سفر بیشتر از مقدار آستانه‌ای  $C$  باشد، اختیار معامله خرید و اگر کمتر از مقدار تعیین شده باشد، اختیار معامله فروش شود. این ابزار، تمایل افراد برای پرداخت بابت ضمانت زمان سفر پیش‌بینی شده را اندازه‌گیری می‌کند. بدین ترتیب که به‌طور مثال، اگر قیمت اختیار معامله خرید پایین‌تر از فروش باشد، زمان واقعی کمتر از مقدار پیش‌بینی در مشتق زمانی خواهد بود و بالعکس. استفاده‌کنندگان در این صورت پیش‌بینی می‌کنند که تراکم پایین خواهد بود، چراکه افراد تمایل به در اختیار داشتن اختیار معامله فروش را دارند. مقدار آستانه‌ای  $C$  نیز بر اساس، زمان سفر در دوره‌های قبل با مشخصات یکسان زمانی و مکانی، ملاک عمل قرار می‌گیرد. ابزار لازم برای ارزیابی، مدل برآورد پیش‌بینی زمان سفر است. با توجه به حجم معاملات، می‌توان پیش‌بینی رفتاری مسافران و برآوردی از حجم ترافیک مسیر در

$$c(t) = e^{-r(t_n-t)} \left( (\mu_n - K)\Phi(-\alpha_n) + \frac{\sigma_n}{\sqrt{2\pi}} e^{\frac{\alpha_n^2}{2}} \right) \quad (3)$$

$$p(t) = e^{-r(t_n-t)} \left[ (K - \mu_n) \left( \Phi(\alpha_n) - \Phi\left(-\frac{\mu_n}{\sigma_n}\right) \right) + \frac{\sigma_n}{\sqrt{2\pi}} \left( e^{-\frac{\alpha_n^2}{2}} - e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\mu_n}{\sigma_n}\right)^2} \right) \right] \quad (4)$$

ارزش زمانی وقت تلف شده

ارزش زمان در منطقه مورد مطالعه X متوسط درآمد سالانه خانوار شهری در منطقه مورد مطالعه  
متوسط افراد خانواده در منطقه مورد مطالعه X ساعت کار در ماه X تعداد ماهها

(6)

به طوری که  $\Phi$  تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد و  $\mu$  میانگین و  $\sigma$  انحراف معیار است (Tebaldi and Veronesi, 2016).

## ۴-۲ تابع پرداخت

استفاده از این روش نیاز به داشتن اطلاعات بیشتری از جمله، ارزش زمان سفر افراد با توجه به ماهیت سفر آنان دارد. این ارزش گذاری به صورت قضاوتی انجام می شود. تقسیم بندی صورت گرفته سفرهای به سه نوع کار به کار، خانه به خانه و تفریحی است. هر یک از انواع سفرهای نیز درصدی از ارزش دستمزدی فرد را در ارزش کل منظور می دارد. به طور نمونه درصد دستمزد متوسط ساعت در کشورهای در حال توسعه برای سفر کار به کار، خانه به کار و تفریحی به ترتیب ۱۰۰-۵۰، ۵۰-۵۰-۲۵، ۲۵-۰ است. در کنار این موضوع نیاز است تا درصد هر یک از این سفرها در مسیر مورد مطالعه برآورد شود (Adam, 2018).

## ۳. مطالعه موردی

به طور نمونه مسیر کرج-تهران برای تولید مشتقات زمان سفر بررسی شده است. ابزار مشتقه تعریف شده، زمان سفر را برای 10 روز اول مردادماه ۲۷ دقیقه در هر روز برآورد می کند. گام اول، برازش مدل زمان سفر مسیر تهران-کرج است. مدل زمان سفر برازش شده بر اساس داده های موجود عبارت است از:

$$x_t = 69 + 0.96x_{t-1} + 0.09\varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t$$

با استفاده از الگوریتم مونت کارلو در پیش بینی زمان سفر و با استفاده از داده های مربوط به متوسط درآمد خانوار در استان تهران، نتایج برای دو آپشن خرید و فروش در جدول ۱ ارائه شده است.

تعیین تابع بازپرداخت، از دیگر الزامات استفاده از این روش است. دارنده مشتقات زمان سفر، همچون دارنده بیمه نامه ای است که در صورت عدول از شرایط زمان سفر، مستحق دریافت خسارت است. از جمله ویژگی های برای زمان سفر، نداشتن بازار کامل است. بدین ترتیب که امکان خرید و فروش آن در عمل وجود ندارد. با این ویژگی تابع بازپرداخت بر اساس مشتقات زمان سفر، مقدار زمان سفر است؛ بنابراین، ارزش زمان سفر، حاصل ضرب زمان در ارزش ریالی است. مقدار پیش بینی زمان سفر در بازه مورد نظر خود، مقداری است که برای بازپرداخت در نظر گرفته می شود. در عمل، برای بسیاری از اختیار معامله ها، به منظور کاهش ریسک شرایط بحرانی، سقفی برای بازپرداخت در نظر گرفته می شود (فرمول ۵).

$$F = \alpha \max(H_i - C, 0) \quad (5)$$

## ۵-۲ ارزش گذاری زمان سفر

از دیگر چالشی های مشتقات زمان سفر، ارزش گذاری ریالی زمان سفر است. روش معمول در این زمینه استفاده از نرخ دستمزد است. بدین ترتیب، در صورت تلف شدن وقت افراد به دلیل تراکم ترافیک، فرد معادل دستمزد ساعتی خود از نظر مالی زیان خواهد دید. البته به منظور افزایش دقت در برآورد ارزش زمان سفر و همچنین کاهش پذیر بودن حق خرید و فروش آن، لازم است تا ملاحظات نیز منظور شود. برای این کار می توان از روش بین المللی استفاده کرد (فرمول ۶).

(2002) "On modelling and pricing weather derivatives," *Applied Mathematical Finance*, 9(1), pp. 1–20.

- Balter, A. G. and Pelsser, A. (2019) "Pricing and hedging in incomplete markets with model uncertainty," *European Journal of Operational Research*.

- Cramton, P., Geddes, R. and Ockenfels, A. (2017) "Markets for Road Use—Eliminating Congestion through Scheduling, Routing, and Real-Time Road Pricing."

- Gu, Z. et al. (2018) "Congestion pricing practices and public acceptance: A review of evidence," *Case Studies on Transport Policy*, 6(1), pp. 94–101.

- Kurzhanskiy, A. A. and Varaiya, P. (2014) *Traffic Management: An Outlook*.

- Li, L. et al. (2015) "Trend modeling for traffic time series analysis: An integrated study," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(6), pp. 3430–3439.

- Runhaar, H. (2001) *Efficient Pricing in Transport The Gap between Theory and Practice*.

- Tebaldi, C. and Veronesi, P. (2016) "Risk-Neutral Pricing: Monte Carlo Simulations," in *Handbook of Fixed-Income Securities*. John Wiley & Sons, Inc, pp. 435–468.

- Wan, K. and Kornhauser, A. (2016) *Road Pricing Through Financial Derivatives Based On Travel Time*.

جدول ۱. ارزش زمان سفر مسیر کرج-تهران

ارزش اختیار معامله زمان سفر	
C(t)	۸۳۸۲۱۶
P(t)	۱۴۵۴۵۶۰

#### ۴. نتیجه گیری

تراکم ترافیک از مواردی است که کاهش کیفیت زندگی را به همراه دارد. از راه‌های کنترل آن، استفاده از ابزار اخذ عوارض (مستقیم و غیرمستقیم) است. افراد در قبال پرداخت تصمیم به استفاده از مسیر می‌کنند. در روش‌های کنونی پرداخت عوارض، ارتباط مستقیمی بین مقدار عوارض و زمان سفر وجود ندارد. عوارض فقط مجوزی برای استفاده از مسیر است. در این مقاله با استفاده از مفهوم مشتق مالی، ابزارهای مشتقه زمان سفر ارائه شده است. این ابزار با استفاده از مکانیزم بازار، برای دارنده آن، امکانی را فراهم می‌کند که در صورت عدول از زمان پیش‌بینی شده برای سفر، جبران مالی برای وی روی دهد. از این رو در زمان بحران، می‌تواند قیمتی متفاوت‌تر نسبت به شرایط عادی داشته باشد. از نکات دیگر این است که قیمت توسط نهاد دیگری تعیین نشده و استفاده‌کنندگان با توجه به مطلوبیت خود نسبت به خرید مشتقات زمان سفر اقدام می‌کنند. البته رونق کاذب در خرید و فروش، می‌تواند حباب قیمتی ایجاد کرده و خود منجر به انحراف در مدیریت ترافیک شود. از دیگر نکات آن، قیمت اولیه آن است که باید جذابیت لازم را نیز داشته باشد.

از ابزارهای اولیه پیاده‌سازی این مکانیزم، برآورد مدل زمان سفر، ارزش‌گذاری و تابع جبران خسارت است. تمامی موارد یادشده برای مسیرها یکتا هستند. با استفاده از الگوریتم ارائه‌شده، ارزش مشتقات زمان سفر مسیر تهران-کرج محاسبه شده است.

#### ۵. مراجع

- Adam, B. (2018) "The Value of Time in Transport," in *Transport Policy and Research What Future?* Routledge, pp. 130–143.

- Alaton, P., Djehiche, B. and Stillberger, D.

فصلنامه مهندسی ترافیک / سال بیست و یکم / شماره ۸۵ / تابستان ۱۴۰۰