



## روش مونت کارلو در قیمت گذاری مشتقات زمان سفر

هادی گنجی زهرایی<sup>۱</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۹/۱۲

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۴/۲۹

### چکیده

قیمت گذاری زمان سفر (تراکم ترافیک)، ابزاری برای مدیریت ترافیک است. مدیریت ترافیک باهدف افزایش کیفیت سفر و کاهش هزینه های مستقیم و غیر مستقیم (اتلاف زمان، آلودگی صوتی، آلودگی هوا، تصادفات و...) صورت می گیرد. در این مقاله، با بهره گیری از مفهوم مشتقات مالی، ابزار جدید مشتق زمان سفر، برای قیمت گذاری تراکم ترافیک معرفی شده است. برای قیمت گذاری مشتق زمان سفر نیز از روش مونت کارلو استفاده شده است. به طور کلی، کم (زیاد) بودن قیمت مشتقات زمان سفر، می تواند شاخصه ای برای کم (زیاد) بودن تراکم ترافیک مسیر، در دوره مورد نظر باشد. این روش ابزاری هوشمند و متکی بر رفتار استفاده کنندگان، برای مدیریت غیر مستقیم ترافیک است. همچنین با بهره گیری از مکانیزم بازار، قیمت مشتق زمان سفر، برخلاف روش های معول اخذ عوارض که ثابت هستند، منعطف می باشد. در این روش، علاوه بر سطح ترافیک، تغییرات آن نیز در قیمت گذاری مد نظر قرار می گیرد. روش مونت کارلو نیز نقیصه کمبود اطلاعات زمان سفر را به همراه ناکامل بودن بازار زمان سفر، برطرف می کند. با پیاده سازی، مشتقات زمان سفر برای محور تهران-کرج برای دوره ۱۰ روزه مرداد ماه سال ۹۶ با مقدار آستانه ای ۷۲ دقیقه مشخص شد که، با بالا بودن قیمت اختیار معامله خرید نسبت به فروش، زمان سفر در دوره مورد نظر کمتر از مقدار ۷۲ دقیقه پیش بینی می شود که، می توان نتیجه گرفت، ترافیک روان تر از مقدار آستانه ای خواهد بود. از برداشتهای میدانی و داده های ثبتی زمان سفر مسیر تهران-کرج استفاده شده است.

**واژه های کلیدی:** زمان سفر، مشتقه مالی، فرایند بازگشت به میانگین، روش مونت کارلو، قیمت گذاری ابزار مشتقه.

۱- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ganjihadi@gmail.com

## ۱- مقدمه

تغییرات زمان سفر (تراکم ترافیک)، از جمله ریسک‌ها در ارائه خدمات حمل‌ونقلی است. زمان-سفر نیز ارتباط مستقیمی با حجم ترافیک عبوری دارد. به‌منظور مدیریت زمان‌سفر، روش‌های مختلفی همچون محدودیت تردد و اخذ عوارض استفاده می‌شود. البته در استفاده از هر دو این روش‌ها، بحث‌هایی در خصوص عدالت اجتماعی در دستیابی به کالاهای عمومی مطرح است (Dashti, Fedorova et al. 2013).

افراد با توجه به مطلوبیت و اهمیت گذر از مسیر، نسبت به پرداخت عوارض، تصمیم می‌گیرند. از موضوعات مطرح در پرداخت عوارض، انتخاب مسیری که واجد شرایط دریافت عوارض و چگونگی دریافت آن (ثابت، پویا و بهینه) است (Cheng, Liu et al. 2017). در روش دریافت عوارض ثابت، قیمت مسیر ثابت، در پویا قیمت بر اساس برخی متغیرها از جمله زمان سفر متغیر و در سیستم بهینه، قیمت به منظور دستیابی به هدفی مشخص برای کل شبکه بهینه می‌گردد. مشترکات شیوه دریافت عوارض در این است که، مقدار عوارض ثابت می‌باشد. فقط در عوارض پویا برای دو نقطه زمانی بحرانی و غیر بحرانی مقدار متفاوت است. دیگری عدم ارتباط دریافت مقدار عوارض با حجم ترافیک عبوری است. از این‌رو، به‌کارگیری شیوه‌ای که، ارتباط مستقیمی بین عوارض و کیفیت زمان سفر برقرار کند، مطلوب می‌باشد. در این راستا، از مشتقات زمان سفر که برگرفته از مشتقات مالی است، و این ارتباط را با استفاده از مکانیزم بازار برقرار می‌کند، می‌توان استفاده کرد.

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 ارزش آن از ارزش دارایی دیگری مشتق می‌شود. این ابزار در کلیه بازارهای معاملاتی کالایی و غیرکالایی همچون نرخ برابری ارز، بهره، دمای هوا و... مورد استفاده قرار می‌گیرد (Bingham and Kiesel 1994, Group and Thirty 2013).

مشتقات زمانی، باهمان کاربرد مشتقات مالی، ابزار مدیریت ریسک زمان سفر در دوره مورد نظر است. همچون مشتقات مالی، دارنده این اوراق با دو اختیار خرید و فروش همراه است. بدین ترتیب که، دارنده اوراق خرید، می‌تواند در زمان سررسید، ادعای خرید مشتق زمان سفر را داشته باشد و در صورت داشتن اختیار معامله زمان سفر فروش، می‌تواند در زمان سررسید اوراق مربوطه را به فروش برساند (Cyr, Eyler et al. 2013, Mamplata, Lo et al. 2014, Jiao and Yao 2015). اگر زمان سفر بیشتر از مقدار پیش‌بینی شده باشد، برای دارنده آن، براساس تابع از قبیل 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. حجم خرید(فروش) مشتقات زمان سفر، میزان اعتماد به زمان پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. از این‌رو، حجم معاملات شاخصه‌ای مناسب برای مدیریت ترافیک است. بدین ترتیب که، استفاده‌کنندگان 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. تقاضای بیشتر برای هر یک از معاملات خرید یا فروش، قیمت بیشتر برای آن را در بازار طلب می‌کند. این مکانیزم، کمک حالی برای شرایط بحرانی است. بدین ترتیب که، در روش‌های معمول، در شرایط بحرانی نیز عوارض ثابت است. حال آن‌که در این روش این خود مصرف‌کننده است که تمایل خود را برای پرداخت نشان می‌دهد. پوشش ریسک استفاده‌کنندگان از مسیر با استفاده از مشتقات مالی، با تقابل کسانی که از تاخیر یا تعجیل سود می‌برند انجام می‌شود. (van den Berg and Verhoef 2014). در ابزار مشتقه زمان سفر، علاوه بر میانگین حجم ترافیک، تغییرات آن نیز در نظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب، این تنها وضعیت کنونی ترافیکی نیست که معیاری تعیین‌کننده برای ورد به مسیر است. بلکه تغییرات حجم ترافیک در بازه زمانی مورد نظر نیز، ملاک تصمیم‌گیری می‌باشد. برای عملیاتی شدن آن باید در ابتدا مدل پیش‌بینی زمان سفر برآورد و در گام بعدی، ارزش‌گذاری زمان سفر صورت گیرد.

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

## ۲- مشتق زمان سفر

همچون سایر مشتقات مالی، مشتقات بر پایه دارایی زمان سفر، تعیین مقدار مشخص زمان سفر در بازه زمانی مورد نظر است(معادله ۱)(Wan and Kornhauser 2017).

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

اگر زمان سفر بیشتر از مقدار آستانه‌ای C باشد، اختیار معامله خرید  $H_i$  و اگر کمتر از مقدار تعیین شده باشد، اختیار معامله فروش  $L_i$  تعریف می‌شود. 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، چرا که افراد تمایل به دراختیار داشتن اختیار معامله فروش را دارند. این موضوع که امری متداول در مشتقات مالی است، در خصوص حمل‌ونقل، پیش‌بینی افراد از زمان سفر واقعی را نشان می‌دهد. 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 دوره زمانی مربوطه داشت. در قسمت بعد فرایند پیش‌بینی زمان سفر ارائه شده است.

## ۲-۱- فرایند زمان سفر

از جمله الزامات اولیه در تعریف و به‌کارگیری ابزار مشتقه زمان سفر، معرفی مدلی برای پیش‌بینی تغییرات زمان سفر است. برای این منظور مدل می‌تواند از طریق حل معادله تصادفی (معادله ۲) برآورد شود.

$$dT_t = \left\{ \frac{d\widehat{X}_t}{dt} + a(\widehat{X}_t - X_t) \right\} dt + \sigma_t dW_t, t > s \quad 2$$

از پیش‌فرض‌های لازم برای مدل با توجه به پیوسته بودن زمان سفر، وینر استاندارد بودن فرایند  $W_t$  است (Wang, Li et al. 2015). از نکاتی که باید برای این مدل در نظر گرفت، مقدار بازگشت به میانگن زمان سفر است (زمان سفر یک مسیر نمی‌تواند برای مدت زمان طولانی روند صعودی یا نزولی به خود بگیرد) معادله ۳.

$$dX_t = a(\widehat{X}_t - X_t)dt + \sigma_t d\varepsilon_t, t > s \quad 3$$

که در آن a پارامتر سرعت بازگشت به میانگن از زمان s است.  $\widehat{X}_t$  برآورد متوسط زمان سفر در زمان t است. این مدل زمان سفر، فرایند اورشتین-اوهلبنک با در نظر گرفتن خصوصیت بازگشت به میانگن است.

مدل‌های سری زمانی  $^1$  CARIMA نیز روش دیگری برای پیش‌بینی میانگن زمان سفر است (معادله ۴) (Li and Linetsky 2014, Xu and Perron 2014).

$$X_t - \varphi_1 X_{t-1} - \varphi_2 X_{t-2} - \dots - \varphi_p X_{t-p} = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad 4$$

در فرایند مدل‌سازی می‌توان از روش‌های دیگری همچون، برازش تابع توزیع، مدل بازگشت به میانگین، ناطمینانی در واریانس، خانواده ARCH یا مدل‌های چهارگانه نیز استفاده کرد (Wang, Li et al. 2015). تفاوت در دقت مورد نظر و حجم اطلاعات مورد نیاز دو معیار در استفاده از هر یک از این روش‌ها است. درکنار آن، درمدل‌سازی، تعیین شاخصه‌ای که زمان سفر را اندازه‌گیری می‌کند، اهمیت بالایی دارد. به‌طور نمونه، برای این کار می‌توان از متغیر روزهای با حجم ترافیک بالا (پایین) استفاده کرد (Xu and Perron 2014, Taştan and Hayfavi 2017). فرایند ارایه شده برای مسیرهای مورد نظر کالیبره و برای پیش‌بینی زمان سفر مورد استفاده قرار می‌گیرد. البته، امکان ارایه مدلی که برای تمامی مسیرها کاربرد داشته باشد، بسیار پایین است. از این‌رو، مدل زمان سفر هر مسیر منحصر به فرد است.

## ۲-۲- روش مونت کارلو در قیمت‌گذاری مشتقات زمان سفر

روش مونت کارلو در ریاضیات مالی برای محاسبه ارزش اختیار معامله با داشتن چندین منبع ناطمینانی که پیش‌بینی آینده را با تغییرات بالایی همراه می‌کند، استفاده می‌شود. اولین استفاده‌ها به فلیم بویل<sup>۲</sup> در سال ۱۹۷۷ باز می‌گردد (Boyle, Broadie et al. 1997). از نظر تئوری، ارزش-گذاری مونت کارلو برپایه ریسک خنثی<sup>۳</sup> است. در روش ریسک خنثی، قیمت اختیار معامله، تنزیل شده ارزش مشتقه در زمان سررسید است (رابطه ۵) (Tebaldi and Veronesi 2015).

$$\frac{E_t^Q [P(t+1, T)]}{1+r(t)} = F(t, t+1, T) = P(t, T), \quad t+1 < T \quad 5$$

اندازه ریسک خنثی (که اندازه تعادل یا اندازه مارتینگل برابر نیز نامیده می‌شود) اندازه احتمالی است که، بر مبنای آن، تنزیل انجام می‌پذیرد. علت اصلی در نظر گرفتن روش قیمت‌گذاری ریسک خنثی نداشتن بازار کامل برای زمان سفر می‌باشد (Ban, Ferris et al. 2013, Balter and Pelsser 2015). این به معنی، قیمت‌گذاری زمان سفر با محدودیت غیرقابل معامله بودن است (Balter and Pelsser 2015). از نقاط چالشی دیگر در روش‌های قیمت‌گذاری، بررسی پیش‌فرض‌های اولیه است. برای پوشش برآورد سازگار در قیمت‌گذاری، معمولاً از روش‌های مونت کارلو استفاده می‌شود (Tebaldi and Veronesi 2015).

به منظور پیاده سازی قیمت گذاری به روش مونت کارلو برای مشتقات زمان سفر لازم است تا ۱- ابتدا بانک اطلاعاتی از زمان سفر روزانه برای زمان و مکان مورد نظر تهیه شود، ۲- مدل زمان سفر براساس این اطلاعات برآورد شود و ۳- قیمت گذاری صورت پذیرد. برای قیمت گذاری نیز، ۱- قیمت های تصادفی زیادی از طریق شبیه سازی تولید می شود، ۲- قیمت های سررسید، با استفاده از قیمت های شبیه سازی شده تولید می شود، ۳- میانگین قیمت ها گرفته شده و ۴- به قیمت امروز تنزیل می شود. با فرض، نرمال بودن تابع توزیع زمان سفر، و در نظر گرفتن روش مونت کارلو، قیمت اختیار خرید یا فروش مشتقات زمان سفر در زمان  $s \in [t_1, t_n]$  به قرار معادلات ۶ و ۷ است (Alaton, Djehiche et al. 2002, Baz and Chacko 2004, Bali and Murray 2013).

$$C(t) = e^{-r(t_n-t)}((\mu_n - K)\Phi(-\alpha_n) + \frac{\sigma_n}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{\alpha_n^2}{2}}) \quad 6$$

$$P(t) = e^{-r(t_n-t)}[(K - \mu_n)\left(\Phi(\alpha_n) - \Phi\left(-\frac{\mu_n}{\sigma_n}\right)\right) + \frac{\sigma_n}{\sqrt{2\pi}}(e^{-\frac{\alpha_n^2}{2}} - e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\mu_n}{\sigma_n}\right)^2})] \quad 7$$

به طوری که در آن  $\alpha_n = \frac{K - \mu_n}{\sigma_n}$  و  $\Phi$  تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد، میانگین و واریانس نیز روابط ۸ و ۹ است.

$$\mu_n = K \cdot n + \frac{r\sigma}{a} \sum_{i=1}^n (1 - e^{-a(t_i-s)}) - (T_s - T_s^m) \sum_{i=1}^n e^{-a(t_i-s)} - \sum_{i=1}^n T_{t_i}^m \quad 8$$

$$\sigma_n = \frac{\sigma^2}{2a} \sum_{i=1}^n (1 - e^{-2a(t_i-s)}) + \frac{\sigma^2}{a} \sum_j \sum_{i=1}^n e^{-a(t_i-t_j)} (1 - e^{-2a(t_i-s)}) \quad 9$$

### ۳-۲- بازپرداخت مشتقات زمان سفر

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 می باشد. بازپرداخت برای مشتقات زمان سفر به صورت معادله های ۱۰ و ۱۱ تعریف می شود.

$$F = \alpha \max(H_i - C, 0) \quad 10$$

$$F^* = \alpha \max(L_i - C, 0) \quad 11$$

از جمله ویژگی‌های عنوان شده برای زمان سفر، نداشتن بازار کامل است. بدین ترتیب که، ارزش زمان سفر در بازار مشخص نشده و 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 پیش‌بینی زمان سفر در بازه مورد نظر خود، مقداری است که برای بازپرداخت در نظر گرفته می‌شود. در عمل، برای بسیاری از اختیار معامله‌ها، به منظور کاهش ریسک شرایط بحرانی، سقفی برای بازپرداخت در نظر گرفته می‌شود.

### ۳- ارزش‌گذاری زمان سفر

از بحث‌های چالشی ارزش‌گذاری ریالی زمان سفر است. روش معمول 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. در این روش‌ها، مطلوبیت افراد بر اساس برخی از مشخصات، از جمله زمان سفر بهینه می‌شود. (Uchida 2014, Zhong, Xiao et al. 2017). در این روش، به دلیل این که روال ثابتی برای ارزش حقوقی افراد وجود ندارد، ارزش زمان سفر، منطقه‌ای خواهد بود و از این رو تغییرات زیادی خواهد داشت. برای نمونه ارزش زمانی افراد سفر کننده با وسیله نقلیه شخصی در تهران ۴۳۷۶۰ ریال برای هر ساعت در سال برآورد شده است (صفا زاده، بابک et al. 1391). در اصفهان، ارزش زمان سفر در پیک صبح برابر ۲۱۰۳۰ ریال برای هر ساعت در سال برآورد شده است (Googerdchian, khoshakhlagh et al. 2014, Googerdchian, khoshakhlagh et al. 2014).

سازمان‌های بین‌المللی برای ارزش‌گذاری زمان افراد، روش‌های دیگری را ارایه داده‌اند که معمولاً، در ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرمول (۲۰۱۲) :

ارزش زمانی وقت تلف شده

12

$$\text{ارزش زمان در منطقه مورد مطالعه} \times \text{متوسط درآمد سالانه خانوار شهری در منطقه مورد مطالعه} \\ = \frac{\text{متوسط افراد خانواده در منطقه مورد مطالعه} \times \text{ساعت کار در ماه} \times \text{تعداد ماه‌ها}}$$

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 تقسیم می شود. 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، ۵۰-۲۵ و ۲۵-۰ است. در کنار این موضوع نیاز است تا درصد هر یک از این سفرها در مسیر مورد مطالعه برآورد شود.

متوسط درآمد خانوار در استان تهران ۵۱۴۲۹۸۰۳۴ ریال برای سال ۱۳۹۵ برآورد شده است (۱۳۹۵). درصد دستمزد متوسط در ساعت برای انواع سفرها مطابق با توضیحات ارائه شده برآورد می شود. از این رو برآورد هر ساعت مسافت در مسیر ۲۷۹۱۴ ریال برآورد می شود. به منظور کسش پذیر بودن ارزش زمان سفر، مبلغ به روز شده حداکثری آن یعنی ۸۸۰۱۷ ریال به عنوان ارزش زمانی هر ساعت استفاده می شود.

#### ۴- مستقات زمان سفر مسیر تهران-کرج

به منظور استفاده از ابزار مشتقه زمان سفر، به طور نمونه مسیر کرج-تهران بررسی شده است. ابزار مشتقه تعریف شده، زمان سفر را برای ۱۰ روز اول مردادماه ۷۲ دقیقه در هر روز برآورد می کند.

گام اول، برازش مدل زمان سفر مسیر تهران-کرج است. بدین منظور از اطلاعات زمان سفر سامانه ۱۴۱ و گوگل استفاده شده است. برای چک کردن زمان سفرهای ثبتي نیز در ایام هفته سفر واقعی صورت گرفته است. زمان سفر هر روز نیز، میانگین بیشترین و کمترین زمان سفر در آن روز است. با توجه به آزمون فرض های صورت گرفته و بررسی نیکویی برازش، مدل زمان سفر مسیر، ARIMA(1,0,1) و با استفاده از نرم افزار STATA، برآورد می شود (فرمول ۱۳).

$$X_t = +69 + .296X_{t-1} + .09\varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t$$

13

الگوریتم قیمت گذاری مونت کارلو (که در قسمت های قبل بدان اشاره شده) با تکرار ۱۰۰ و در نظر گرفتن نرخ بهره ۱۸ درصد پیاده شده است. نتیجه آن در ارائه شده است. بدین ترتیب که پیش بینی زمان سفر برای ۱۰ روز اول مردادماه ۹۶، صدار صورت گرفته است. نتایج در جدول ۱ ارائه شده است.



جدول ۱- ارزش زمان سفر برای ۱۰ روزه تیرماه ۹۶ با استفاده از دو روش ریسک خنثی و مونت کارلو

ارزش گذاری به روش مونت کارلو	
C(t)	۶۹۸۵۱۴ ریال
P(t)	۱۲۱۲۱۳۴ ریال

### ۵- نتیجه گیری و بحث

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 گنونی پرداخت عوارض، ارتباط مستقیمی بین مقدار عوارض و زمان سفر وجود ندارد. عوارض فقط مجوزی برای استفاده از مسیر می‌باشد. 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 فرام 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 حساب قیمتی ایجاد کرده و خود منجر به انحراف در مدیریت ترافیک شود. لازمه پیاده‌سازی این کار، تعریف ابزار مشتقه زمان سفر، برآورد مدل زمان سفر، مشخص کردن فرمول بازپرداخت و ارزش‌گذاری زمان استفاده‌کنندگان است. تمامی موارد یاد شده برای مسیرها یکتا می‌باشد. با بررسی صورت گرفته مشخص گردید که، مدل زمان سفر، فرایند اورشتین-اوهلبنک با در نظر گرفتن خصوصیت بازگشت به میانگین است. با توجه به کمبود داده‌های زمان سفر و کامل نبودن بازار، از روش مونت کارلو برای قیمت‌گذاری مشتقات زمان سفر می‌توان استفاده کرد. این روش راه‌کاری برای برون رفت برای مسیرهای بحرانی می‌تواند باشد.

با استفاده از الگوریتم ارائه شده، ارزش مشتقات زمان سفر مسیر تهران-کرج محاسبه شده است. مشتقات عبارت از زمان سفر برای ۱۰ روزه اول مرداد ماه است. مدل زمان سفر  $ARIMA(1,0,1)$  است. با این احتساب، قیمت خرید، اختیار معامله فروش ۱,۱۸۶,۳۷۶ ریال و خرید ۷۵۶۷۱۲ ریال برآورد می‌شود. ارزیابی از این دو قیمت حاکی از آن است که پیش‌بینی می‌شود، زمان سفر انتظاری کمتر از مقدار آستانه‌ای ۷۲ دقیقه است. می‌توان نتیجه گرفت در دوره مورد نظر حجم ترافیک کم بوده و استفاده از مسیر دارای کیفیت سفر قابل قبولی است.

## فهرست منابع

- \* نتایج بررسی بودجه خانوار در مناطق شهری ایران. بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، مدیریت کل آمارهای اقتصادی اداره آمار اقتصادی.
- \* صفارزاده، م.، بابک، س.، ا. س. احسان and ش. پ. سعید (۱۳۹۱). "تعیین ارزش زمانی کاربران شبکه راه در معابر قیمت گذاری شده شهری." فصلنامه مهندسی حمل و نقل ۴(۳): ۲۷۵-۲۹۲.
- \* (2012). Approaches to evaluation of social impacts of road projects. T. C. A. R. s. E. a. S. Development, PIARC.
- \* Alaton, P., B. Djehiche and D. Stillberger (2002). "On modelling and pricing weather derivatives." Applied mathematical finance 9(1): 1-20.
- \* Bali, T. G. and S. Murray (2013). "Does risk-neutral skewness predict the cross-section of equity option portfolio returns?" Journal of Financial and Quantitative Analysis 48(4): 1145-1171.
- \* Balter, A. and A. Pelsser (2015). Pricing and hedging in incomplete markets with model ambiguity, SSRN.
- \* Ban, X. J., M. C. Ferris, L. Tang and S. Lu (2013). "Risk-neutral second best toll pricing." Transportation Research Part B: Methodological 48: 67-87.
- \* Baz, J. and G. Chacko (2004). Financial derivatives: pricing, applications, and mathematics, Cambridge University Press.
- \* Bingham, N. H. and R. Kiesel (2013). Risk-neutral valuation: Pricing and hedging of financial derivatives, Springer Science & Business Media.
- \* Boyle, P., M. Broadie and P. Glasserman (1997). "Monte Carlo methods for security pricing." Journal of economic dynamics and control 21(8): 1267-1321.
- \* Cheng, Q., Z. Liu, F. Liu and R. Jia (2017). "Urban dynamic congestion pricing: an overview and emerging research needs." International Journal of Urban Sciences 21(sup1): 3-18.
- \* Cyr, D., R. Eyler and M. Visser (2013). "The Use of Copula Functions in Pricing Weather Contracts for the California Wine Industry."
- \* Dashti, M., A. Fedorova, J. Funston, F. Gaud, R. Lachaize, B. Lepers, V. Quema and M. Roth (2013). Traffic management: a holistic approach to memory placement on NUMA systems. ACM SIGPLAN Notices, ACM.
- \* Googerdchian, M., a. khoshakhlagh and N. Akbari (2014). "Value of Travel Time :Theoretical and Empirical Method." International Journal of Business and Development Studies 6(2): 115-129.
- \* Googerdchian, M., a. khoshakhlagh and N. Akbari (2014). "Value of Travel Time :Theoretical and Empirical Method." International Journal of Business and Development Studies 6(2): 115-129.
- \* Group, G. D. S. and G. o. Thirty (1994). Derivatives: practices and principles, Group of Thirty.
- \* Jiao, D. and K. Yao (2015). "An interest rate model in uncertain environment." Soft Computing 19(3): 775-780.

- \* Li, L. and V. Linetsky (2014). "Time-Changed Ornstein–Uhlenbeck Processes and Their Applications in Commodity Derivative Models." Mathematical Finance **24**(2): 289-330.
- \* Mamplata, J., R. Lo and M. Reyes (2014). "Hedging against foreign exchange risk of peso-dollar rates using futures." Applied Mathematical Sciences **8**(110): 5469-5476.
- \* Taştan, B. and A. Hayfavi (2017). "Modeling Temperature and Pricing Weather Derivatives Based on Temperature." Advances in Meteorology **2017**.
- \* Tebaldi, C. and P. Veronesi (2015). "Risk-Neutral Pricing: Monte Carlo Simulations." Handbook of Fixed-Income Securities: 435-468.
- \* Uchida, K. (2014). "Estimating the value of travel time and of travel time reliability in road networks." Transportation research part B: methodological **66**: 129-147.
- \* van den Berg, V. A. and E. T. Verhoef (2014). "Congestion pricing in a road and rail network with heterogeneous values of time and schedule delay." Transportmetrica A: Transport Science **10**(5): 377-400.
- \* Wan, K. and A. Kornhauser (2017). Road Pricing Through Financial Derivatives Based on Travel Time.
- \* Wang, Z., P. Li, L. Li, C. Huang and M. Liu (2015). "Modeling and forecasting average temperature for weather derivative pricing." Advances in Meteorology **2015**.
- \* Xu, J. and P. Perron (2014). "Forecasting return volatility: Level shifts with varying jump probability and mean reversion." International Journal of Forecasting **30**(3): 449-463.
- \* Zhong, S., X. Xiao, M. Bushell and H. Sun (2017). "Optimal Road Congestion Pricing for Both Traffic Efficiency and Safety under Demand Uncertainty." Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems **143**(4): 04017004.

یادداشت‌ها

---

<sup>1</sup> Continuous Autoregressive Moving Average

<sup>2</sup> Phelim Boyle

<sup>3</sup> Neutral Risk

