پیش‌بینی زمان سفر در شبکه با استفاده از سری زمانی
(مطالعه‌ی موردی: ناحیه 1 مشهد)

مهدی جهانگرد، دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
محمدعلی پیرایش، دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
ابوالفضل محمدزاده مقدم، استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
پست الکترونیکی نویسنده مسئول: pirayesh@um.ac.ir
دریافت: 95/04/05- پذیرش: 95/09/18

چکیده

در سیستم‌های خدمات شهری، نیاز به تخمین زمان سفر بین دو نقطه‌ی دلخواه احساس می‌شود. در بسیاری از سیستم‌های مسیریابی وسایل نقلیه، تخمین زمان‌های سفر از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. اگر یک راننده قبل از اینکه سفر را بپیماید، اطلاعات زمان سفر را در دست داشته باشد، در مورد مسیرهای انتخابی می‌تواند بهتر تصمیم‌گیری کند. بنابراین، زمان‌های سفر یال بایستی قبل از اینکه مسیر طی شود، تخمین زده شود. اگرچه امروزه به فراخور شرایط ترافیکی در انواع تقاطع‌ها و معابر شهری، روش‌های مختلفی برای به دست آوردن زمان سفر استفاده می‌شود اما استفاده از داده‌های مکانی برای تعیین زمان سفر نسبت به سایر روش‌ها از عملکرد بهتری برخوردارند. این پژوهش قصد دارد ابتدا با استفاده از رفتار داده‌های حجم ترافیک گذشته، حجم ترافیک در آینده را بر اساس روش مناسب پیش‌بینی کند و سپس با توجه به توابع زمان سفر- حجم و وبستر زمان سفر در کمان و تأخیر در تقاطع را برآورد نماید. این پژوهش به‌طور موردی برای خیابان‌های ناحیه‌ی 1 شهر مشهد، شامل سه نوع خیابان جمع‌شونده، شریانی درجه 1 و شریانی درجه 2 انجام شده است. نتایج آزمون زوجی t نشان می‌دهد تخمین زمان سفر با استفاده از روش مذکور از اعتبار کافی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: زمان سفر، توابع زمان سفر- حجم، پیش‌بینی

1- مقدمه

امروزه یکی از مشکلات شهرهای بزرگ افزایش جمعیت و به‌تبع آن افزایش تعداد وسایل نقلیه به‌منظور جابجایی کالا و مردم است که این امر موجب تراکم و ازدحام در شبکه‌های حمل‌ونقل شهری می‌گردد. بنابراین ازجمله چالش‌های اصلی شبکه‌های ترافیکی، هدایت وسایل نقلیه به مقصدشان بر اساس سیستم‌های مسیریابی در وضعیت پویای ترافیک است. اگر کاربر قبل از حرکت، اطلاعاتی در مورد زمان‌های سفر داشته باشد ممکن است در شرایط تراکم ترافیک از سفرهای غیر ضروری اجتناب و یا مسیرهای بهینه را انتخاب نماید. برای این منظور به اطلاعات زمان سفر برای بازه‌های آینده در شبکه‌ی حمل‌ونقل نیاز است. اطلاعات زمان سفر یک نقش اساسی در چندین زمینه از سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند (ITS)[1]، سیستم‌های مدیریت ترافیک پیشرفته (ATMS)[2]، سیستم اطلاعات سفرکننده پیشرفته (ATIS)[3]، و سیستم مدیریت اورژانس (EMS)[4] دارد. علاوه بر این، پیش‌بینی

زمان سفر (TTP)[5] به سفر کننده، مدیریت ترافیک و عملیات لجستیک کمک می‌کند. دقت تخمین زمان سفر برای سفرکننده و عملیات لجستیک می‌تواند از ازدحام جلوگیری کند تا هزینه‌های حمل‌ونقل کاهش و کیفیت سرویس افزایش یابد.

2- پیشینه تحقیق

تاکنون روش‌هایی مختلفی برای تعیین زمان سفر کمان به کار رفته است. تیلور و همکاران، روش‌های اندازه‌گیری زمان سفر در شبکه معابر را به دو دسته‌ی کلی طبقه‌بندی نمودند. دسته‌ی اول بر اساس گذر خودروها از یک نقطه‌ی مشخص، زمان سفر را تعیین می‌کنند؛ که به روش‌های مکانی[6] معروف هستند. دسته دوم به صورت متحرک در جریان ترافیک، زمان سفر در کمان شبکه را اندازه‌گیری می‌کند که به روش مبتنی بر خودروی شناور[7] معروف‌اند[Taylor MA, Bonsall PW, Young W,2000]. حلقه‌های آشکارساز[8]، SCATS[9] و دوربین‌ها تجهیزات ثابتی‌اند که در روش‌های مکانی به‌منظور اندازه‌گیری زمان سفر در معابر مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این روش، این تجهیزات بر روی مسیر قرار داده می‌شود که توانایی شمارش و ثبت تعداد وسایل عبوری در یک بخش از مسیر را دارد [Spencer, Mark, L N Labell, A D May, 1989]. تکنیک خودروی شناور علاوه بر داده‌های سرعت، داده زمان سفر را نیز جمع‌آوری می‌کند. زمان سفر در این روش این‌گونه تعیین می‌شود که یک خودرو در طول مسیر حرکت می‌کند و زمان ابتدا و انتهای مسیر را ثبت می‌کند. در این روش راننده نبایستی خیلی سریع یا کند حرکت کند در واقع بایستی به همان اندازه از وسایل نقلیه سبقت بگیرد که از او سبقت می‌گیرند. از آنجایی که بایستی یک نفر در خودرو حضور داشته باشد و زمان‌های سفر را در طول مسیر ثبت کند این روش خیلی پرزحمت و دارای خطای انسانی است[Taylor et al. 2000].

تخمین زمان سفر به محاسبه‌ی زمان سفر اشاره دارد، قبل از اینکه کاربر مسیر مورد نظر را بپیماید. بسیاری از رویکردها برای پیش‌بینی زمان سفر در دهه اخیر پیشنهاد شده است. بیشتر مطالعات اخیر روی پیش‌بینی زمان‌های سفر در آزادراه با استفاده از روش‌های مختلفی از قبیل مدل‌های سری زمانی [Al-Deek HM et al 1998, B Van Arem et al 1997 , Ahmed MS et al 1979]، شبکه‌های عصبی [Rilett L, Park D, 2001, JZ Zhu, JX Cao, Y Zhu, 2014]، مدل‌های رگرسیون پارامتریک و نا پارامتریک [Rice J, Van Zwet E, 2004, X Zhang, JA Rice, 2003, J Kwon, B Coifman, P Bickel, 2000]، روش ماشین بردار پشتیبان [CH Wu, JM Ho, DT Lee, 2004]، مدل‌های احتمالی [Y Guessous et al 2014,M Aron et al,2014] و مدل‌های شبیه‌سازی [CN Kamga, KC Mouskos, RE Paaswel, 2011] انجام شده است.

ون آرم و همکاران [Van Arem et al. 1997] پیش‌بینی زمان سفر برای هر کمان از مسیر را، بر اساس اختلاف داده‌های حجم ترافیک در نقاط ورودی و خروجی آن کمان با استفاده از مدل ARMA[10] انجام دادند.ژیایان ژانگ و رایس[X Zhang, JA Rice, 2003] برای پیش‌بینی زمان‌های سفر در آزادراه از داده‌های سرعت ثبت شده توسط حسگرهای آزادراه استفاده کرده و بر اساس متوسط سرعت حاصل شده، زمان سفر محاسبه و از روش پیش‌بینی میانگین متحرک استفاده نمودند. وون و همکاران[J Kwon, B Coifman, P Bickel, 2000] از داده‌های حجم ترافیک حاصل شده از حلقه‌های آشکارساز، برای پیش‌بینی زمان سفر در آزادراه استفاده کردند. به‌منظور پیش‌بینی زمان سفر بر اساس زمان شروع حرکت، از داده‌های جمع‌آوری شده در بازه‌ی قبل از شروع حرکت استفاده شد. در نمونه موردی، داده‌های مربوط به بازه‌ی 5، 10، 20، 30 و 60 دقیقه قبل از شروع حرکت برای پیش‌بینی بازه جدید بر اساس مدل رگرسیون خطی مورد بررسی واقع شدند. نتایج محقق نشان داد که داده‌های 30 دقیقه قبل از حرکت، نتایج بهتری را ارائه کرد. چیون هسین وو و همکاران [CH Wu, JM Ho, DT Lee, 2004] از داده‌های متوسط سرعت حاصل شده در

بازه‌های قبل از شروع حرکت، زمان سفر را محاسبه کرده و جهت تخمین زمان سفر در بزرگراه از رگرسیون بردار پشتیبان (SVR)[11] استفاده کردند. یونس ژوزسس و همکاران [Y Guessous, M Aron, N Bhouri, S Cohen, 2014]
مدل‌های احتمالی زمان سفر را با توجه به سطوح سرویس بررسی کردند. برای این منظور ابتدا سطوح سرویس با توجه به داده‌های گذشته‌ی سرعت وسایل نقلیه مشخص شده و تابع توزیع زمان سفر به ازای هر یک از سطوح سرویس مورد آزمون قرار گرفتند. م.آرون و همکاران[Aron M, Bhouri N, Guessous Y,2014] تابع توزیع زمان سفر را به‌منظور تجزیه و تحلیل شاخص‌های قابلیت اطمینان برای یک نمونه‌ی موردی به اندازه 3 کیلومتر از راه، در سه بازه‌ی ساعتی ترافیک روان، اوج ترافیک و پایان اوج ترافیک با استفاده از 6 توزیع آماری (لوگ نرمال، گاما، بیر، وایبول، ترکیب دو توزیع نرمال و ترکیب دو توزیع گاما) مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که در ساعات ترافیک روان، تابع توزیع زمان سفر از ترکیب دو توزیع نرمال و ترکیب دو توزیع گاما پیروی می‌کند. تخمین زمان سفر در شرایط تغییر شبکه از قبیل حوادث غیرقابل پیش‌بینی، برای مدیران ترافیک اهمیت بسیاری دارد. مدل‌های DTA[12] مبتنی بر شبیه‌سازی معمولاً زمانی استفاده می‌شوند که قرار است تأثیر یک حادثه در شبکه بررسی شود تا تدابیر لازم جهت اقدامات پیشگیرانه انجام شود. مدل‌های DTA به‌طور خاص برای مدل‌های حوادث بزرگراه مناسب است زیرا استفاده از مسیرهای جایگزین برای عملکرد جاده و رفتار راننده بحرانی است. در یک مطالعه موردی با در نظر گرفتن اثر زمان حادثه تحت شرایط نرمال روی شبکه حمل‌ونقل، زمان سفر با استفاده از روش شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گردید [CN Kamga, KC Mouskos, RE Paaswel, 2011].

2-1- تخمین زمان سفر در شبکه‌های شهری

تخمین زمان سفر برای شبکه شهری در واقعیت به دلایل پیچیدگی و مسیریابی در شبکه شهری، سخت است. وجود تقاطعات و محدودیت‌های ترافیکی در معابر شبکه‌ی شهری ازجمله این پیچیدگی‌هاست که امکان دسترسی به نقاط مختلف را با بیش از یک مسیر (کمان) میسر می‌کند. از طرفی با وجود لوازم الکترونیکی از قبیل موبایل‌ها، سیستم‌های موقعیت‌یاب مکانی (GPS)[13] در خودروها، بلوتوث یا وای‌فای می‌توان از آن‌ها به‌عنوان روشی برای اندازه‌گیری زمان‌های سفر و سرعت‌های سفر استفاده کرد. این روش در زمان‌های توقف وسایل نقلیه، کارا نمی‌باشد. بنابراین در شبکه شهری به دلیل توقفات وسایل نقلیه در تقاطعات و ترافیک نمی‌توان از این روش استفاده نمود و معمولاً در بزرگراه از آن استفاده می‌شود [JS Wasson, JR Sturdevant, DM Bullock, 2008]. لی و همکاران [Li H et al. 2004] اندازه‌گیری زمان سفر در روزهای مختلف هفته را با استفاده از داده‌های 56 خودرو مجهز به GPS انجام دادند. لی در سال 2003 نشان داد که چنانچه از متوسط 15 دقیقه‌ای زمان سفر برداشت شده از داده‌های GPS به‌منظور تخمین زمان سفر استفاده شود دقت تخمین در حدود 80 درصد خواهد بود [Lee CJ, 2003]. با توجه به اینکه فقط انواع خاصی از وسایل نقلیه عمومی از قبیل کامیون و اتوبوس دارای GPS هستند. لذا داده‌های زمان سفر حاصل شده در این روش معمولاً برای آن نوع از وسایل نقلیه، کارا می‌باشد. در پژوهشی که در تهران به‌منظور محاسبه‌ی زمان سفر کمان در خیابان‌های شریانی انجام شده است، از داده‌های زمان سفر حاصل شده از GPS ناوگان اتوبوس‌رانی استفاده شد[روزبه فروزنده، فرشاد حکیم‌پور، نوید خادمی، 1394]. تخمین زمان سفر در شبکه‌های شهری معمولاً از پارامترهای مختلفی از قبیل سرعت، حجم ترافیک، چگالی و غیره استفاده می‌شود. انتخاب پارامترهای مناسب برای تخمین زمان سفر در شبکه‌ی شهری ضروری است. زیرا زمان سفر معابر شهری با توجه به شرایط ترافیک و تأخیر در تقاطعات تحت تأثیر قرار می‌گیرد. داده‌های سرعت متوسط و سرعت لحظه‌ای با استفاده از حلقه‌های آشکارساز و هم‌چنین تجهیزات محلی از قبیل دوربین‌ها و خودروی

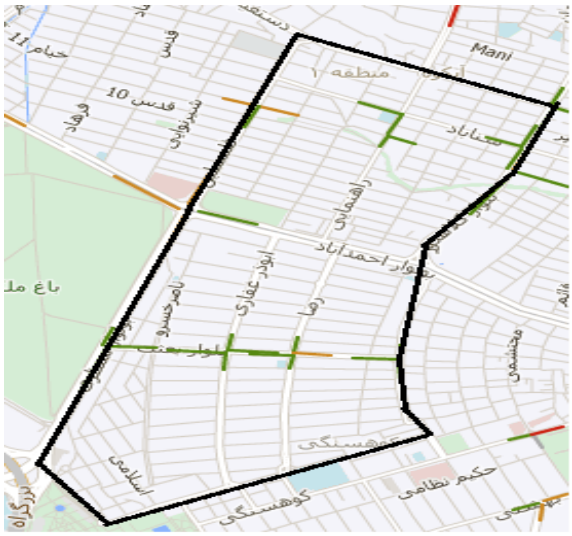
شناور قابل دریافت است. روش‌های تخمین زمان سفر مبتنی بر حجم ترافیک خیلی دقیق‌تر از روش‌های تخمین زمان سفر مبتنی بر سرعت هستند[Van Lint JW, 2006]. حجم ترافیک اغلب بر اساس روش‌های مکانی از قبیل حلقه‌های آشکارساز و دوربین‌ها قابل دریافت است. حجم ترافیک یکی از مهم‌ترین عواملی است که روی زمان سفر اثر می‌گذارد. زمانی که حجم ترافیک به ظرفیت مسیر نزدیک می‌شود به‌طور قابل ملاحظه‌ای سرعت سفر کاهش و زمان سفر افزایش می‌یابد. به‌منظور تخمین زمان سفر با توجه به داده‌های حجم ترافیک، توابع زمان سفر–حجم توسعه داده شده‌اند. این توابع که معمولاً توابع عملکرد خیابان‌ها نامیده می‌شوند، رابطه‌ی بین زمان سفر در خیابان‌ها را با حجم و ترکیب ترافیک نشان می‌دهند. از آنجایی که علاوه بر مشخصات فیزیکی، حجم و ترکیب ترافیک، عوامل دیگری چون چگونگی رفتار رانندگان و شرایط خاص منطقه‌ای بر زمان سفر اثر می‌گذارند، معمولاً در مطالعات جامع هر شهری مطالعه‌ی ویژه‌ای برای ساخت توابع زمان سفر–حجم صورت می‌گیرد. در این زمینه، در مطالعات جامع حمل‌ونقل شهرهای اصفهان و تهران مطالعات ویژه‌ای انجام شده و توابع مختلفی برای انواع خیابان‌ها ارائه شده است. برای شهر مشهد نیز مطالعه‌ی مشابه‌ای انجام شده است. در این مطالعه برای 20 خیابان مختلف در شهر مشهد آمارگیری‌های مورد نیاز برای ساخت این توابع صورت گرفته است[بهنگام سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل شهر مشهد، 1389] .

از آنجایی که ترافیک در شبکه شهری به‌طور پیوسته در حال تغییر است بنابراین زمان سفر یال‌ها در همه‌ی مکان-های شبکه بر اساس زمان تغییر می‌کند. لذا برای دقت تخمین زمان سفر در شبکه‌ی شهری بایستی به ازای بازه‌های زمانی کوچک، زمان سفر تخمین زده شود.

در این مقاله سعی شده است تا یک الگوی مناسب برای داده‌های حجم جریان ترافیک به ازای بازه‌های کوچک (15 دقیقه‌ای) در شبکه شهری (ناحیه‌ی 1 مشهد) شناسایی و سپس بر اساس روش‌های پیش‌بینی مناسب، زمان‌های سفر برای آینده پیش‌بینی شود.

3- جمع‌آوری داده‌ها و معرفی ناحیه‌ی موردی

سازمان ترافیک مشهد داده‌های مربوط به حجم جریان ترافیک عبوری را به وسیله‌ی سیستم کنترل هوشمند ترافیک (SCATS) اندازه‌گیری می‌کند. این داده‌ها به ازای بازه‌های 15 دقیقه‌ای قابل برداشت است بنابراین پویایی تغییرات زمان سفر برای ناحیه‌ی مورد مطالعه به ازای هر 15 دقیقه است. این مطالعه به صورت موردی در ناحیه‌ی 1 مشهد با 22 تقاطع و 48 معبر انجام شد. معابر ناحیه‌ی مورد مطالعه با توجه به طرح هندسی‌شان به 3 دسته‌ی نوع 2 (شریانی درجه 1)، 3 (شریانی درجه 2)و 4 (جمع/ پخش کننده) تقسیم شده‌اند که تعداد خیابان‌ها برای هر یک از نوع آن‌ها به ترتیب 21، 17 و 10 می‌باشد. شکل 1 ناحیه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل 1. ناحیه مورد مطالعه

4- فرضیات تخمین زمان سفر برای ناحیه مورد مطالعه

در پژوهش پیش‌رو به‌منظور تخمین زمان سفر برای ناحیه مورد مطالعه، فرضیات زیر لحاظ شده است:

1. از آنجایی که ترافیک معمولاً در خیابان‌های جمع شونده، شریانی درجه 1 و 2 رخ می‌دهد لذا تخمین زمان سفر برای این نوع از خیابان‌ها انجام شده است.

2. زمان تأخیر ناشی از تقاطع‌ها به کمان منتهی به

تقاطع اضافه شده است.

3. در این پژوهش با توجه به اینکه در بیشتر تقاطع‌ها چراغ راهنمایی تنها یک فاز حرکتی دارد، میزان تأخیر در تقاطع برای تمام جهات حرکت یکسان فرض شده است.

4. میزان حجم ماشین که از خیابان‌های شریانی به خیابان‌های محلی وارد یا خارج می‌شوند روی زمان سفر تأثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد. به عبارت دیگر حجم ورودی و خروجی در کمان‌ها یکسان فرض شده است.

5. تأخیر ناشی از وقایعی مانند تصادف، برهم زدن نظم ترافیک توسط رانندگان غیر منضبط و غیره در نظر گرفته نشده است.

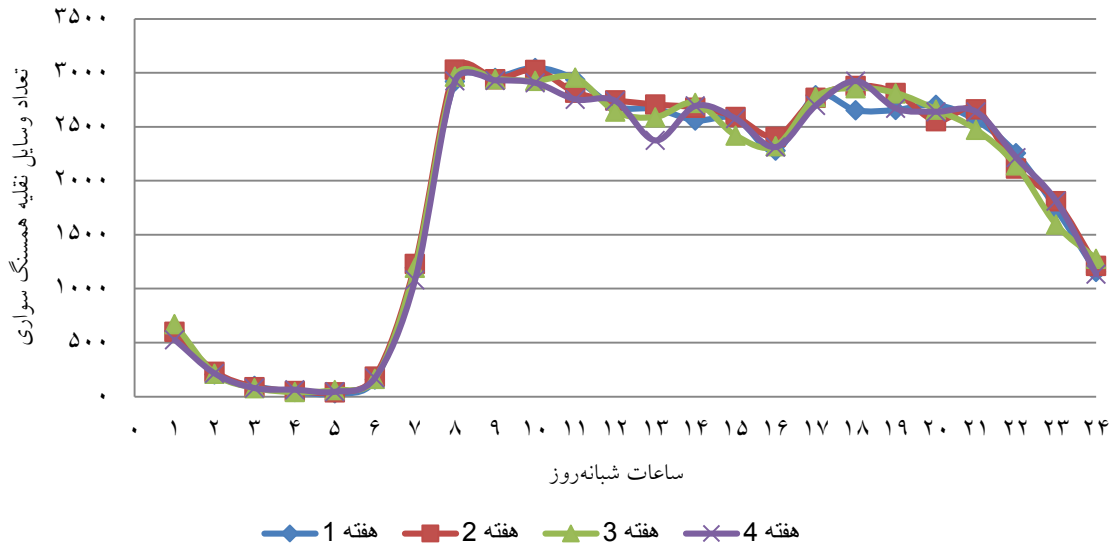
6. دور برگردان‌های موجود بین کمان‌ها در نظر گرفته نشده‌اند.

5- متدولوژی

5-1- پیش‌بینی حجم جریان ترافیک

برای پیش‌بینی آینده بر اساس اطلاعات گذشته روش‌های مختلفی وجود دارد. که می‌توان به روش‌های میانگین متحرک ساده، میانگین متحرک وزن‌دار، روش هموارسازی نمایی، روش تعیین روند و غیره اشاره کرد. در روش میانگین متحرک ساده به آمار و ارقام گذشته ارزش مساوی داده می‌شود. در حالی‌که در روش میانگین متحرک وزن‌دار به آمار گذشته ارزش‌های متفاوتی داده می‌شود. در روش هموارسازی نمایی وزن آمار گذشته تابعی از تصاعد هندسی نزولی است بدین معنی که اطلاعات جدیدتر به طریق تصاعد هندسی دارای وزن بیشتری نسبت به آمار دوره‌های قبل خود می‌باشند. روش تعیین روند نیز، زمانی کاربرد دارد که داده‌ها معمولاً دارای یک روند افزایشی و یا کاهشی باشد [GE Box, M Gwilym, GC Reinsel, 2008]. به‌منظور انتخاب روش مناسب برای پیش‌بینی، ابتدا بایستی الگوی مناسب برای داده‌های سری زمانی ساخته شود.

داده‌های گذشته حجم جریان ترافیک برای یک روز مشخص از هفته‌های متفاوت نشان می‌دهد که رفتار حجم ترافیک تقریباً ثابت است. به‌عنوان نمونه شکل 2 هم‌پوشانی حجم جریان ترافیک در طول ساعات شبانه‌روز به ازای هفته‌های متفاوت از روز دوشنبه را نشان می‌دهد. لذا برای پیش‌بینی حجم جریان ترافیک یک بازه در یک روز خاص از هفته، از الگوی سری زمانی حجم جریان ترافیک به ازای آن بازه از هفته‌های متفاوت استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال برای پیش‌بینی حجم ترافیک در ساعت 9 الی 9:15 روز دوشنبه از داده‌های حجم ترافیک ساعت 9 الی 9:15 روز دوشنبه هفته‌های قبل استفاده می‌شود.



شکل 2. حجم جریان ترافیک در طول ساعات شبانه‌روز به ازای هفته‌های متفاوت از روز دوشنبه

بهترین روش برای پیش‌بینی، استفاده از روش میانگین متحرک ساده می‌باشد. ساده‌ترین روش محاسبه میانگین متحرک آن است که آمار واقعی در آخرین دوره را برای دوره‌ی بعد در نظر گرفته شود. یکی از اشکالات انتخاب یک دوره، در محاسبه میانگین متحرک آن است که تمامی عوامل مؤثر در تعیین آمار واقعی دوره قبل در دوره بعد منعکس می‌شود و این امر ممکن است همواره صحیح نباشد. برای جلوگیری از این مشکل در محاسبه میانگین متحرک اغلب به جای یک دوره از آمار و اطلاعات واقعی چند دوره برای پیش‌بینی آینده استفاده می‌شود. برای انتخاب دوره مناسب در میانگین متحرک معمولاً میانگین خطای پیش‌بینی دوره‌های مختلف را محاسبه، و دوره‌ای که دارای میانگین خطای کمتری باشد انتخاب می‌شود. برای این منظور خطای مربوط به هر بازه 15 دقیقه‌ای را با توجه به اندازه دوره محاسبه کرده و میانگین خطای 96 بازه (تعداد بازه در طول شبانه‌روز) به‌عنوان معیار انتخاب دوره پیش‌بینی به ازای آن روز در نظر گرفته می‌شود. در این صورت ممکن است انتخاب دوره به ازای روزهای مختلف هفته متفاوت باشد. نتایج مقادیر میانگین خطا به ازای دوره‌ها و روزهای مختلف و هم‌چنین میانگین خطای کل هفته در جدول 1 آمده است که دوره با اندازه 4 کم‌ترین میانگین خطا به ازای هر یک از روزها و در مجموع را در بردارد. در واقع می‌توان از روش پیش‌بینی میانگین متحرک با اندازه دوره 4 به ازای همه‌ی روزها استفاده کرد.

2-5- تخمین زمان سفر

پس از پیش‌بینی حجم جریان ترافیک از تابع زمان سفر- حجم BPR[14] برای تخمین زمان سفر یال و از مدل وبستر به‌منظور تخمین تأخیر در تقاطع استفاده می‌شود. تابع BPR و مدل وبستر به ترتیب به صورت رابطه 1 و 2 تعریف می‌شود.

$$T=t_0\,[1+a(V/Q)^b] \qquad (15)$$

T: متوسط زمان سفر برای طی یک کیلومتر از طول راه (برحسب دقیقه)

t_0: متوسط زمان سفر آزاد برای طی یک کیلومتر از طول راه (برحسب دقیقه)

V: حجم جریان ترافیک (برحسب وسیله نقلیه همسنگ سواری برای یک متر عرض عبور در ساعت)

Q: ظرفیت عملی (برحسب وسیله نقلیه همسنگ سواری برای یک متر عرض عبور در ساعت)

a و b: پارامترهای مدل

معمولاً پارامترهای a و b مستقل از نوع راه فرض می‌شوند. در اکثر مطالعات انجام یافته در نقاط مختلف جهان و ایران a=0/15 و b=4 پیشنهاد شده است [بهنگام سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل شهر مشهد، 1389].

جدول 1. میانگین خطا برای تعیین دوره

اندازه دوره	درصد میانگین خطا							
	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه	کل هفته
1	15	16	15	14	15	15	15	15
2	11	11	12	12	12	11	12	12
3	13	13	12	13	12	12	13	13
4	11	9	10	11	9	11	10	10

با توجه به اینکه هر یال شامل تقاطع چراغ‌دار است لذا ضروری است مقدار تأخیر چراغ به زمان سفر یال افزوده شود. مدل‌های ریاضی مختلفی برای تابع زمان تأخیر در تقاطع‌های با چراغ راهنمایی پیشنهاد شده است که در این پژوهش از مدل وبستر[15] استفاده می‌شود زیرا زمان فازبندی چراغ‌ها در ناحیه مورد مطالعه بر اساس این مدل تعیین می‌گردد[مطالعات جامع حمل‌ونقل مشهد، 1375].

$$d = \frac{(c-g)^2}{2c(1-\frac{V}{s})} + \frac{R^2}{2V(1-R)} - 0.65(\frac{c}{V^2})^{1/3} R^{2+5(\frac{c}{g})} \quad (2)$$

که در آن:

d: متوسط زمان تأخیر برای عبور از تقاطع در خیابان مورد نظر ورودی به تقاطع (ثانیه).

V: حجم جریان ترافیک در خیابان مورد نظر ورودی به تقاطع (بر حسب وسیله نقلیه همسنگ سواری برای یک متر عرض عبور در ساعت).

s: نرخ تخلیه در حالت اشباع (برحسب وسیله نقلیه همسنگ سواری برای یک متر عرض عبور در ساعت).

g: مدت زمان سبز چراغ در جهت خیابان مورد نظر (ثانیه).

c: مدت دوره تناوب چراغ در تقاطع (ثانیه).

مقدار R در تابع وبستر به صورت رابطه 3 تعریف می‌شود:

$$R=(V/s)/(g/c) \quad (3)$$

6- اعتبار سنجی

به‌منظور اعتبارسنجی روش تخمین زمان سفر، نتایج بدست آمده از روش بـا دنیـای واقعی مقایسه می‌شود. زمان سفر واقعی این‌گونه اندازه‌گیری می‌شود که با استفاده از یک خودرو در طول یال حرکت کرده و زمان‌های ورود و خروج از یال با استفاده از کرنومتر ثبت می‌شود. تفاضل زمان‌های خروج و ورود یال بیانگر زمان سفر یال است. زمان سفر واقعی برای کل خیابان‌های ناحیه مورد مطالعه برای یک بازه 15 دقیقه‌ای اندازه‌گیری گردید برای اینکه دقت اندازه‌گیری بیشتر باشد به ازای هر یال 5 بار زمان سفر محاسبه و میانگین 5 بار به‌عنوان زمان سفر واقعی یال یادداشت شده است.

تخمین زمان سفر از ترکیب خطی تابع BPR و وبستر حاصل می‌شود.

$$T=\alpha B + \beta V \quad (4)$$

که در آن:

B: مقدار تأخیر یال

V: مقدار تأخیر چراغ

α و β: ضرایب خطی سازی

هستند. با استفاده از مدل رگرسیون کمترین مربعات خطا، ضرایب α و β برای هر یک از معابر در جدول 2 آورده شده است.

جدول 26. مقادیر ضرایب خطی زمان سفر به ازای هر یک از نوع معابر

نوع معبر	α	β	R^2
معبر 2	0/95	1/13	0/95
معبر 3	0/90	1/08	0/93
معبر 4	0/90	1/08	0/93

برای تعیین اعتبار روش، آزمون زوجی t در فاصله اطمینان 95 مورد آزمون قرار گرفت. فرض صفر در این آزمون بیان می‌کند که اختلاف معناداری بین مقادیر تخمینی و واقعی وجود ندارد و فرض مخالف صفر اختلاف بین دو مقادیر را نشان می‌دهد. نتایج آزمون در جدول 3 آمده است. حدود بالا و پایین در این جدول، ناحیه پذیرش برای آزمون فرض صفر را در فاصله اطمینان 95 درصد نشان می‌دهد. با توجه به اینکه مقادیر آماره آزمون (t-value) در ناحیه پذیرش قرار می‌گیرد و همچنین مقدار p-value بیشتر از 0/05 شده است لذا فرض صفر را نمی‌توان رد کرد. در واقع می‌توان گفت نتایج حاصل از تخمین، قابل قبول می‌باشد.

جدول 6. نتایج آزمون زوجی t برای مقادیر تخمینی و واقعی

نوع معبر	حد بالا (95٪)	حد پایین (95٪)	t-value	p-value
معبر 2	0/51	-5/52	-1/74	0/098
معبر 3	1/79	-4/13	-0/84	0/413
معبر 4	6/86	-3/82	0/64	0/536

7- نتیجه‌گیری

تخمین زمان سفر در چندین زمینه ازجمله لجستیک، مدیریت ترافیک و غیره کاربرد دارد. در این مقاله با استفاده از داده‌های حجم جریان ترافیک در شبکه‌ی حمل‌ونقل شهری ابتدا الگوی مناسبی برای رفتار ترافیک شناسایی، و با توجه به الگوی رفتاری ترافیک، روش میانگین متحرک با دوره 4 برای پیش‌بینی حجم جریان ترافیک در آینده انتخاب شد. در نهایت با توجه به مقادیر پیش‌بینی شده برای حجم جریان ترافیک، با استفاده از توابع زمان سفر- حجم کمان و وبستر، زمان سفر برای بازه‌های 15 دقیقه‌ای در آینده برآورد گردید. نتایج آزمون زوجی t نتایج نشان داد که مقادیر پیش‌بینی زمان سفر برای ناحیه مورد مطالعه از اعتبار کافی برخوردار است.

8- پی‌نوشت‌ها

1. Intelligent Transportation System
2. Advanced Traffic Management Systems
3. Advanced Traveler Information System
4. Emergency Management System
5. Travel Time Prediction
6. Site Base
7. Floating Car
8. Loop Detector
9. Sydney Coordinated Adaptive Traffic System
10. Autoregressive Moving Average
11. Support Vector Regression
12. Dynamic Traffic Assignment
13. Global Positioning System
14. Bureau of Public Roads
15. Webster

9- مراجع

- بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل شهر مشهد، (1389)، "ساخت، پرداخت مدل‌های تابع زمان سفر- حجم برای معابر اصلی"، سازمان حمل‌ونقل و ترافیک مشهد، گزارش شماره 38-300 ویرایش 01، اردیبهشت ماه 1389.
- فروزنده، ر.، حکیم‌پور، ف.، خادمی، ن.، (1394)، "محاسبه زمان سفر در کمان‌های شریانی با استفاده از داده‌های خودروها کاوشگر"، علمی-ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دوره 6، شماره 4، آذرماه.
- مطالعات جامع حمل‌ونقل مشهد، "تابع زمان تأخیر در تقاطع‌های چراغدار مشهد"، (1375)، گزارش شماره 05-75، دانشگاه صنعتی شریف، دی ماه.
- Ahmed MS, Cook AR, (1979), "Analysis of freeway traffic time-series data by using Box-Jenkins techniques", Transportation Research Record 722, pp.1-9.
- Al-Deek HM, D'Angelo MP, Wang MC, (1998), "Travel time prediction with non-linear time series", In Fifth International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering.
- Aron M, Bhouri N, Guessous Y, (2014), "Estimating travel time distribution for reliability analysis", Transportation Research Arena, paper, 19638.
- B Van Arem, MJM Van Der Vlist, MR Muste, Smulders SA, (1997), "Travel time estimation in the GERDIEN project", International Journal of Forecasting 13, pp.73–85.
- CH Wu, JM Ho, DT Lee, (2004), "Travel-Time Prediction with support vector regression", Intelligent Transportation Systems, vol. 5, no. 4.
- CN Kamga, KC Mouskos, RE Paaswel, (2011), "A methodology to estimate travel time using dynamic traffic assignment (DTA) under

Transportation Systems, 5(3):200-7.

- Rilett L, Park D, (2001), "Direct forecasting of freeway corridor travel times using spectral basis neural networks", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (1752): pp.140-7.
- Spencer, Mark, L N Labell, A D May, (1989), "Detectors for Freeway Surveillance and Control", no.UCB-ITS-WP-89-9.
- Taylor MA, Bonsall PW, Young W, (2000), "Data on travel times In, Understanding Traffic Systems: Data, Analysis and Presentation", Ashgate Publishing Ltd, pp.197-206.
- Taylor, M. A. P., J. E. Woolley and R. Zito, (2000), "Integration of the Global Positioning System and Geographical Information Systems for Traffic Congestion Studies", Transportation Research Part C, Vol. 8, pp. 257-285.
- Van Lint JW, (2006), "Reliable real-time framework for short-term freeway travel time prediction", Journal of transportation engineering, 132(12): pp.921-32.
- X Zhang, JA Rice, (2003), "Short-term travel time prediction", Transportation Research Part C11, 187–210.
- Y Guessous, M Aron, N Bhouri, S Cohen, (2014), "Estimating travel time distribution under different traffic conditions", Transportation Research Procedia 3, pp.339 – 348.

incident conditions", Transportation Research Part C 19, pp.1215–1224.

- G.E. Box, M. Gwilym, G.C. Reinsel, (2008), "Time series analysis for casting and control", John Wiley & Sons, 4th.
- J Kwon, B Coifman, P Bickel, (2000), "Day-to-day travel-time trends and travel time prediction from loop detector data", Transport Res. Rec, 1717, pp.120–129.
- JS Wasson, JR Sturtevant, DM Bullock, (2008), "Real-time travel time estimates using media access control address matching", Institute of Transportation Engineers.
- JZ Zhu, JX Cao, Y Zhu, (2014), "Traffic volume forecasting based on radial basis function neural network with the consideration of traffic flows at the adjacent intersections", Transportation Research Part C 47, pp.139–154.
- Lee CJ, (2003), "Transportation information based on personal communication services base station data", master dissertation, Seoul National University.
- Li H, Guensler R, Ogle J, Wang J, (2004), "Using GPS data to understand the day-to-day dynamics of the morning commute behavior", 83th TRB Annual Meeting, Washington DC, USA.
- Rice J, Van Zwet E, (2004), "A simple and effective method for predicting travel times on freeways", IEEE Transactions on Intelligent

Travel Time Prediction on the Network Using Time Series (Case study: zone 1 in Mashhad)

M. Jahangard, M.Sc. Student, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
M.A. Pirayesh, Associate Professor, Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
A. Mohammadzadeh Moqhaddam, Assistant Professor, Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

E-mail: pirayesh@um.ac.ir

Received: June 2016-Accepted: Sep. 2016

ABSTRACT
In urban service systems, the lack of travel time between two different destinations could be felt. The main factor in many systems, which are based on routing vehicles, is travel time estimation. If a driver had travel time information before the trip was set about, he could make a good decision about his alternative routes. So, it needs to estimate travel times for routes, before routes traversed. According to traffic conditions at intersections and routes of the urban center, several methods are employed to obtain travel time. But among them, the role of spatial data to define the travel time has better performance compared to other ones. This paper intends to predict future traffic volume by using traffic volume pattern which obtained in the past and then, estimate travel time in the arc and delay in intersection with travel time-volume and Webster functions. This report is done for streets of zone 1 Mashhad including three types of retractable and arterial Grade 1 and 2. The results of the paired T-Test, by using the mentioned method, show that travel time estimation is acceptable.

Keywords: Travel Time, Travel Time-Volume Functions, Prediction