Archive of SID

پژوهشنامه حمل و نقل، سال دهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۲، صفحه ۳۶۵-۳۷۶

ارایه مدل تخمین بهنگام طول صف در خیابان‌های شریانی اشباع شهر تهران

شهریار افندی‌زاده*، دانشیار، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
مریم لطیفی، دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
نازلی دهقانی، دانشجوی دکترا، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۱۰- پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۰۵

چکیده

طول صف یکی از پارامترهای اساسی جریان ترافیک در خیابان‌های شریانی است که معیار تعیین عملکرد و بهینه‌سازی جریان در این معابر قرار می‌گیرد. با این وجود این معیار در خیابان‌های شریانی کمتر مورد توجه و بررسی قرار گرفته است. یکی از دلایل این امر را می‌توان وجود تقاطع‌ها و قطع متناوب جریان دانست که بررسی جریان در خیابان‌های شریانی را پیچیده می‌سازد. از طرفی با اشباع شدن این معابر بررسی جریان ترافیک دشوارتر می‌گردد. در این مقاله طول صف در شریانی‌های اشباع به عنوان یکی از پارامترهای اساسی جریان مورد توجه قرار گرفته است. تخمین این پارامتر با بررسی تغییرات پروفیل اشغال جریان ترافیک با استفاده از داده‌های ثانیه به ثانیه شناساگر صف و همچنین فازبندی چراغ از طریق مدل تخمین بهنگام صورت گرفته است. نقطه تمایز این مطالعه در نظر گرفتن اثر تقاطع بالادست و گروه وسیله نقلیه آزاد شده بر صف تقاطع پایین‌دست می‌باشد که بدین طریق مدل تخمین طول صف بهبود داده شده است. نتایج حاصل از تخمین طول صف با استفاده از داده‌های آماری برداشت شده در دو تقاطع تهران مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. همچنین با استفاده از داده‌های آماری دو پارامتر ورودی مدل شامل زمان عکس‌العمل اولین وسیله صف نسبت به سبز شدن چراغ و نیز تأخیر حرکت وسایل نقلیه در صف نسبت به حرکت وسایل نقلیه جلوی آنها با شرایط تقاطعات تهران کالیبره شده و در اجرای مدل به‌کار گرفته شده است. نتایج حاصل از این ارزیابی بهبود ۱۵ درصدی میانگین خطای تخمین طول صف را نشان داده است.

واژه‌های کلیدی: شریانی اشباع، تخمین طول صف، کالیبره کردن زمان عکس‌العمل

۱- مقدمه

طول صف یکی از معیارهای ارزشمند برای مهندسان ترافیک در زمینه ارزیابی عملکرد تقاطعات کنترل شده به شمار می‌رود که حاوی اطلاعات مهمی در رابطه با تخمین ارزیابی عملکرد مانند تأخیر، زمان سفر و سطح سرویس تقاطع است. همچنین در تقاطعات چراغ دار، طول صف داده ورودی بسیاری از استراتژی‌های بهینه‌سازی چراغ نیز هست (Ma, 2008). بسیاری از محققان سال‌ها به این موضوع پرداخته‌اند و دو نوع مدل تخمین طول صف را مطرح کرده‌اند. اولین مدل بر اساس تحلیل تجمعی ورودی- خروجی ترافیک در یک کمان چراغ‌دار است که در سال ۱۹۵۸ مطرح شد و بعد از آن توسط شماری از محققان بهبود یافت (Sharma, Bullock and Bonneson, 2007; Vigos, Papageorgiou and Wang, 2008). چنین مدل‌هایی معمولاً برای شرح فرایندهای صف‌بندی استفاده شد، اما این تحقیقات برای توزیع مکانی صف در طول زمان کافی نبوده است. به علاوه تکنیک‌های ورودی خروجی تجمعی تنها می‌تواند برای تخمین طول صف زمانی که انتهای صف از شناساگر سرریز

* نویسنده مسئول
E-mail: zargari@iust.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

نکرده است استفاده شود و صف‌های طولانی متجاوز از شناساگر در شرایط اشباع قابل بررسی نیست، بنابراین، کاربرد تکنیک محدود است (Liu et al., 2012).

مدل دوم بر اساس رفتار موج‌های شوکی ترافیک است. این تئوری ابتدا برای جریان پیوسته اثبات شد و سپس برای تقاطعات چراغ‌دار توسعه یافت. اساساً این مدل طول صف را با تعقیب بردار موج شوکی بر اساس تئوری جریان ترافیک پیوسته تخمین می‌زند (Liu et al., 2009). اگرچه تئوری موج شوکی با موفقیت فرایند صف‌بندی پیچیده را در ابعاد مکانی و زمانی شرح می‌دهد، این مدل‌های تئوریک کارا محدودیت‌هایی در کاربردهای عملی دارند به طوری که نیازمند اطلاعات ورودی کامل هستند. به عبارت دیگر این مدل‌ها ورود وسایل نقلیه را معلوم فرض می‌کنند که در بسیاری از موقعیت‌ها برقرار نیست. ورود وسایل نقلیه زمانی که شناساگر اشغال است، نمی‌تواند اندازه‌گیری شود و این شرایط معمولاً در شریانی‌های متراکم وجود دارد. بدون اطلاعات ورود ترافیک، مدل‌های موج شوکی موجود نمی‌توانند برای تخمین طول صف تقاطع استفاده شود. اسکاباردونیس و جرولیمینیس در سال ۲۰۰۸ با استفاده از داده‌های بهنگام ۳۰ ثانیه‌ای و استفاده از تئوری موج شوکی طول صف را در شرایط اشباع تخمین زدند. این محققان ادعا کردند که این روش می‌تواند طول صف طولانی (یعنی صفی که از موقعیت شناساگر بالادست پس می‌زند) را محاسبه کند و در هر موقعیتی قابل اجرا است و به پارامترهای میدانی خاص یا پیش‌بینی کوتاه مدت جریان ترافیک که انتقال آن را به سایر موقعیت‌ها دشوار می‌سازد، بستگی ندارد. اما در این روش به خاطر استفاده از داده‌های تجمعی ۳۰ ثانیه‌ای تغییرات فواصل خالی بین وسایل نقلیه هموار می‌شود و تشخیص انتهای صف از این داده‌ها تنها در صورتی امکان‌پذیر است که جریان ترافیک ورودی کاملاً متفاوت با جریان در حال تخلیه باشد. به علاوه چون تخمین طول صف تنها قسمتی از مدل تخمین زمان سفر این مدل بوده است، هیچ نتایج ارزیابی برای اعتبارسنجی دقت روش تخمین صف در مقاله آنها آورده نشده است (Skabardonis and Geroliminis, 2008). پس از آن لیو و همکارانش مشکل تخمین طول صف را با بررسی فرایند تخلیه صف و مشخصات موج شوکی تقاطع حل کردند. روش لیو و همکارانش به اندازه‌گیری حجم ورودی ترافیک به تقاطع بستگی ندارد و می‌تواند صف‌های طولانی (یعنی طولانی‌تر از مسافت بین خط توقف تقاطع تا موقعیت شناساگر وسیله نقلیه) را نیز تخمین بزند. البته باید توجه داشت که تمرکز این روش، تخمین طول صف ایستا (یعنی وسایلی که بدون حرکت در پشت خط توقف ایستاده‌اند)، است (Liu et al., 2009). پس از آن مطالعاتی برای تخمین طول صف از داده‌های خط سیر وسایل نقلیه کاوشگر برای تعیین موج شوکی استفاده نمودند (Cheng et al., 2011; Jeff Ban, Hao and Sun, 2011). مدل موج شوکی به خاطر اندازه‌گیری اثرات تقاطع‌های بالادست ممکن است در خیابان‌های شریانی کوتاه شهری قابل اجرا نباشد. بعد از آن همین محققان با بررسی پروفیل اشغال شناساگر میانه کمان روشی را برای تخمین طول صف در سال ۲۰۰۹ ارایه نموده و در سال ۲۰۱۲ آن را توسعه دادند. آنها با تغییر تعریف صف برای اداره کردن صف‌های طولانی، به تخمین دقیق‌تری از صف دست یافتند. در این مدل طول صف با بررسی تغییرات فاز چراغ و پروفیل اشغال شناساگر میانه کمان به صورت همزمان در چرخه قبل به صورت بهنگام تخمین زده می‌شود. این روش در اکثر مواقع در شرایط اشباع نیز نتایج خوبی را به‌دست می‌دهد همچنین می‌توان از این روش در تعیین پروفیل طول صف بر حسب زمان استفاده نمود. بنابراین، این مدل یک روش کاربردی و قابل اجرا در مدل‌های تخمین زمان سفر یا تأخیر و یا مدل‌سازی جریان ترافیک در شریانی‌های متراکم نیز خواهد بود. اما در برخی از حالات به دلیل پیوستن گروه وسیله نقلیه به انتهای صف، توانایی تشخیص طول صف را ندارد و باعث ایجاد خطا در تخمین طول صف می‌گردد (Liu and Ma, 2009; Liu et al., 2012). لذا در مطالعه حاضر سعی شده است که با در نظر گرفتن زمان آزاد شدن گروه وسیله نقلیه از تقاطع بالادست در روش لیو و همکاران به تخمین بهنگام دقیق‌تری از طول صف در شرایط متراکم دست یافته شود. همچنین به دلیل وجود برخی پارامترهای رفتاری که در این مدل وجود دارد و با شرایط ایران سازگار نیست، در این مطالعه سعی شده است دو پارامتر ورودی این مدل نیز با استفاده از تحلیل آماری کالیبره گردد.

در ادامه ابتدا در قسمت ۲ مدل تخمین طول صف توضیح داده می‌شود، سپس در قسمت ۳ مطالعه موردی انجام شده تشریح می‌گردد. در قسمت ٤ کالیبره کردن پارامترهای ورودی

www.SID.ir

Archive of SID

مدل توضیح داده می‌شود. نتایج به‌دست آمده از مطالعه موردی نیز در قسمت ۵ تشریح می‌گردد. در نهایت جمع‌بندی این تحقیق در قسمت ٦ ارایه می‌گردد.

۲- تشریح کامل مدل تخمین طول صف

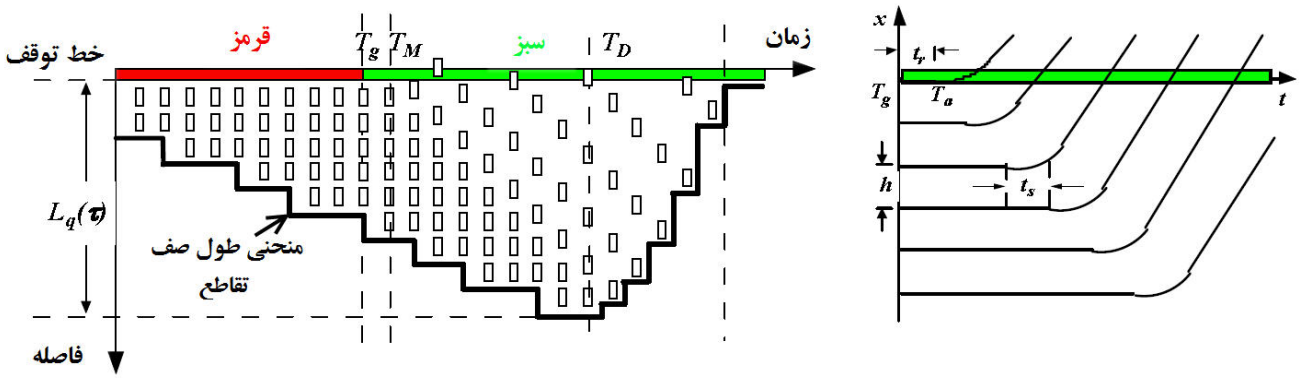
در این قسمت چگونگی تخمین طول صف وابسته به زمان برای هر تقاطع شرح داده می‌شود. باید توجه داشت که حداقل باید یک شناساگر میانه کمان برای تقاطعی که می‌خواهیم طول صف آن را اندازه‌گیری کنیم وجود داشته باشد. الگوریتم تخمین صفی که در این تحقیق با استفاده از زبان برنامه‌نویسی متلب نوشته شده در ادامه توضیح داده شده است. پیش از توضیح این الگوریتم لازم است روند تخلیه صف که در این الگوریتم فرض شده است توضیح داده شود.

۲-۱- روند تخلیه صف

شکل ۱ تخلیه و توسعه یک صف طولانی تک خطه را در دستگاه زمان – مسافت نشان می‌دهد (Liu et al., 2012). فرض می‌شود T_g شروع زمان سبز، t_r زمان عکس‌العمل اولین وسیله نقلیه صف و t_s تفاوت زمان شروع یکنواخت وسایل نقلیه مجاور موجود در صف است.

مطابق شکل ۱- الف تخلیه صف از ابتدا تا انتهای صف انتشار می‌یابد: اولین وسیله در زمان $T_g + t_r$ شروع به حرکت می‌کند، دومین وسیله در زمان $T_g + t_r + t_s$.....، و n اُمین وسیله در صف در زمان $T_g + t_r + (n-1)t_s$ شروع به حرکت می‌کند. طول صف تا زمانی که موج شوکی به انتهای صف برسد افزایش می‌یابد (Liu et al., 2012).

در طول زمان قرمز وسایل نقلیه‌ای که به تقاطع می‌رسند در پشت خط توقف صف می‌بندند و طول صف همراه با زمان افزایش می‌یابد. در نقطه زمانی T_g، چراغ سبز برای این رویکرد روشن می‌شود. پس از زمان عکس‌العمل t_r، اولین وسیله نقلیه صف بسته شروع به حرکت می‌کند و پس از آن وسایل نقلیه با زمان عکس‌العمل t_s حرکت می‌کنند و موج شوکی در زمان T_M به سمت عقب پراکنده می‌شود. در طول فرآیند تخلیه صف، وسایل نقلیه تازه رسیده، به صف می‌پیوندند و طول صف هنوز در حال افزایش است. در زمان T_D آخرین وسیله صف بسته شروع به حرکت می‌کند و طول صف شروع به کاهش می‌کند. زمانی که آخرین وسیله صف بسته از خط توقف عبور کرد، صف تخلیه می‌شود. چگونگی تخلیه صف توسط خط پیوسته مشکی در شکل ۱- ب نشان داده شده است که نقش تعیین کننده‌ای در عملکرد تقاطع دارد (Liu et al., 2012).



شکل ۱. نمایش تخمین صف در تقاطع چراغ دار، الف- تخلیه صف، ب- رشد طول صف

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۲- الگوریتم تخمین طول صف

الگوریتم تخمین صفی که در این تحقیق استفاده شده است، در شکل ۲ نشان داده شده است. قسمتی که در این الگوریتم با خط‌چین مشخص شده، نوآوری تحقیق است که به الگوریتم لیو و همکارانش اضافه گردیده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، الگوریتم مذکور در ابتدا به دریافت پارامترهای ورودی نظیر داده‌های شناسایی و اشغال شناساگر میانه کمان و نیز داده‌های مربوط به تغییرات فازها مثل زمان شروع فاز قرمز، زمان شروع و پایان فاز سبز می‌پردازد. سپس با ترکیب این داده‌ها آنها را تحلیل می‌کند. به طوری که ابتدا داده‌های اشغال شناساگر را از زمان شروع فاز قرمز بررسی می‌کند و به دنبال زمانی می‌گردد که بیش از ۳ ثانیه متوالی درصد اشغال ۱۰۰ درصد باشد. در صورتی که چنین حالتی پیدا نشود در نتیجه صف کوتاه تشکیل شده است، به این معنی که انتهای صف به محل شناساگر نرسیده است، بنابراین، با آنالیز جریان ورودی و خروجی طول صف قابل تعیین است. در وضعیت صف کوتاه جریان ورودی از داده‌های شناسایی وسیله نقلیه که از شناساگر میانه کمان به‌دست می‌آید محاسبه می‌شود و جریان خروجی با فرض نرخ جریان خروجی اشباع و با توجه به روند تخلیه وسایل نقلیه که در قسمت قبل توضیح داده شد محاسبه می‌گردد.

در صورتی که صف طولانی باشد به این معنی که انتهای صف از محل شناساگر پس زده باشد، زمان T_A که برابر با زمان اشغال شناساگر است، تعیین می‌گردد. پس از تعیین T_A زمانی که پس از سبز شدن چراغ، موج شوکی تخلیه به شناساگر می‌رسد و در نتیجه درصد اشغال کمتر از ۱۰۰ درصد می‌شود (T_C) نیز تعیین می‌گردد. بررسی داده‌های درصد اشغال شناساگر پس از زمان T_C ادامه می‌یابد، تا زمانی را بیابد که حداقل ۳ ثانیه متوالی درصد اشغال صفر در جریان به وجود آمده باشد (T_E). این زمان بیانگر زمانی است که انتهای صف از جلوی شناساگر میانه کمان عبور کرده است و سرفاصله اشباع تخلیه که برای صف وجود داشت بعد از عبور آخرین وسیله صف به سرفاصله معمولی تبدیل می‌شود. در صورتی که زمان T_E تا پیش از شروع فاز قرمز قابل تعیین باشد، بیشینه در طول آخرین چرخه طول صف L_q^{Max} با استفاده از حل معادلات ۱ و ۳ قابل محاسبه است (Liu et al., 2012).

در این رابطه فاصله بین شناساگر میانه کمان تا خط توقف با d_1، زمان سفر آخرین وسیله نقلیه برای عبور از شناساگر حلقه‌ای میانه کمان با t_1، سرعت مطلوب وسیله نقلیه با u_f و نرخ شتاب با γ_a نشان داده می‌شود.

به علاوه اندازه صف بیشینه در زمان T_D با $n_q(T_D)$ نشان داده می‌شود و L_q^{Max} از رابطه ۲ محاسبه می‌شود (Liu et al., 2012).

در این مدل فرض می‌شود که تفاوت زمان شروع بین دو وسیله صف بسته مجاور یکنواخت است و رابطه ۳ حاصل می‌گردد (Liu et al., 2012).

$$L_q^{Max} \le \frac{u_f^2}{2\gamma_a} + d_1 \qquad otherwise$$

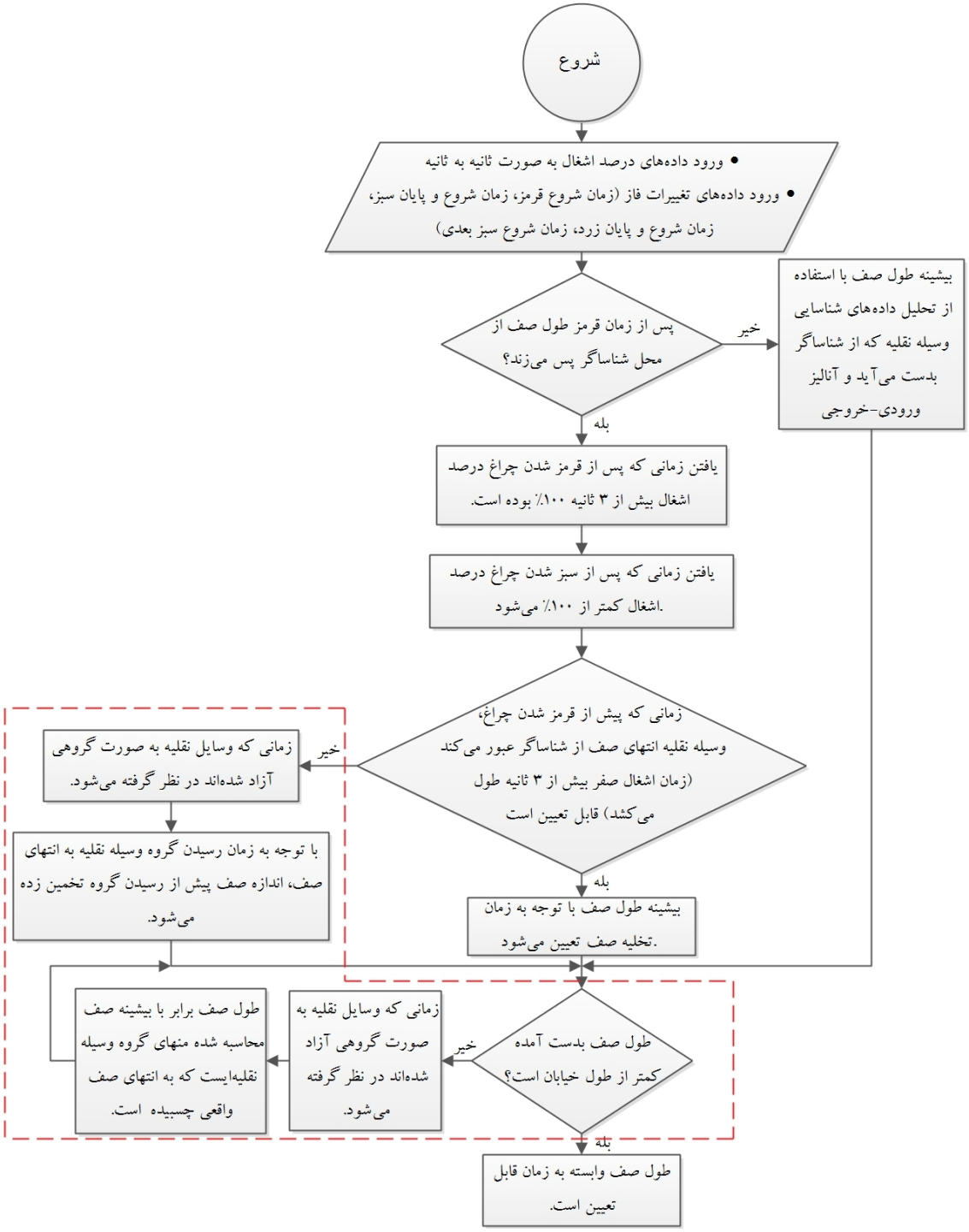
$$L_q^{Max} - d_1 = \begin{cases} \frac{1}{2}\gamma_a t_1^2 \\ u_f t_1 - \frac{u_f^2}{2\gamma_a} \end{cases} \qquad (۱)$$

$$L_q^{Max} = n_q(T_D)h \qquad (۲)$$

$$T_E = T_g + t_r + t_s(n_q(T_D) - 1) + t_1 \qquad (۳)$$

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. الگوریتم تخمین طول صف ارایه شده

با حل این روابط $n_q(\tau)$ که بیانگر تعداد وسیله نقلیه در صف است تعیین می‌شود و با ضرب $n_q(\tau)$ در سرفاصله اشباع h طول صف بر حسب متر به‌دست می‌آید. در صورتی که زمان T_E قابل تعیین نباشد، یعنی درصد اشغال صفر به مدت ۳ ثانیه تا پیش از شروع فاز قرمز وجود نداشته باشد. در این حالت دلیل پیدا نشدن درصد اشغال صفر در واقع اضافه شدن گروه وسیله نقلیه از تقاطع بالادست به انتهای صف در حال حرکت پیش از رسیدن به محل شناساگر است. در نتیجه گروه وسیله نقلیه نیز به دنبال صف با سرفاصله اشباع تخلیه می‌شود و ممکن است پیش از تخلیه گروه وسیله نقلیه فاز سبز تمام شود و انتهای

www.SID.ir

Archive of SID

صف قابل تعیین نباشد. در مطالعه لیو و همکاران در سال ۲۰۱۲ به این مشکل اشاره شده است اما راه حلی برای آن ارایه نگردیده است. در این تحقیق به دلیل اهمیت تخمین طول صف در شرایط اشباع، سعی شده است که اثر اختلاف زمان‌بندی تقاطعات متوالی و آزاد شدن گروه وسیله نقلیه از تقاطع بالادست در این مدل در نظر گرفته شود. تا عملکرد بهتری داشته باشد و بتواند تخمین‌های دقیق‌تری ارایه دهد. در واقع پس از سبز شدن چراغ پایین دست اگر چراغ بالادست سبز شود گروه وسیله نقلیه آزاد شده از تقاطع بالادست به انتهای صف تقاطع پایین دست می‌پیوندند. تعداد وسایل نقلیه‌ای که در این گروه هستند با استفاده از شمارش صف تقاطع بالادست با فرض درصد مشخصی برای گردش قابل تعیین هستند. با در نظرگیری زمان رسیدن گروه وسیله نقلیه بالادست به صف پایین‌دست طول صف پیش از اضافه شدن گروه تخمین زده می‌شود و با اندازه گروه وسیله نقلیه جمع زده می‌شود در نتیجه بیشینه طول صف به‌دست می‌آید.

پس از محاسبه طول صف از سه حالت ذکر شده مدل بیشینه طول صف را کنترل می‌کند تا طول صف به‌دست آمده بیشتر از طول خیابان نباشد. زیرا در حالت دوم افزوده شدن گروه وسیله نقلیه تقاطع بالادست به انتهای صف تقاطع پایین دست ممکن است باعث شود که بیشینه صف طولانی‌تر از طول خیابان تخمین زده شود. این حالت زمانی رخ می‌دهد که پس از حرکت آخرین وسیله صف، گروه وسیله نقلیه به انتهای صف برسد و با سرفاصله‌ای مشابه تخلیه شود به طوری که قابل تشخیص از صف در حال تخلیه نباشد. در صورتی که زمان سبز کافی برای تخلیه این گروه وسیله‌نقلیه وجود داشته باشد و عبور آخرین وسیله گروه از محل شناساگر به عنوان عبور آخرین وسیله صف تلقی گردد، امکان محاسبه بیشینه طول صف بیش از طول خیابان وجود دارد. در این حالت نیز زمان آزاد شدن گروه وسیله نقلیه در نظر گرفته می‌شود. و در صورتی که گروه وسیله نقلیه آزاد شده زمان کافی برای رسیدن به انتهای صف پایین دست را داشته باشند، اندازه گروه محاسبه می‌گردد و از صف به‌دست آمده کسر می‌شود تا صف واقعی به‌دست آید.

۳-مطالعه موردی

به منظور ارزیابی مدل ارایه شده تصمیم به انجام مطالعه موردی خیابان‌های شریانی اشباع شهر تهران گرفته شد. در این ارزیابی به دلیل سختی برداشت داده‌های ورودی مدل بدون استفاده از شناساگرها و سیستم‌های تحلیل داده‌های پیشرفته، امکان بررسی مدل در تعداد زیادی از تقاطعات فراهم نبود. در نتیجه تصمیم گرفته شد که این مطالعه موردی در دو شریانی اشباع متوالی مورد ارزیابی قرار گیرد. در انتخاب این دو خیابان معیارهای زیر مورد توجه قرار گرفت تا شرایط جانبی پیچیده اثر کمتری بر روی مدل داشته و مدل قابل ارزیابی گردد:

۱- کاهش اثرات پارک حاشیه‌ای و پارک دوبل که در اکثر خیابان‌های شریانی وجود دارد ولی امکان مدل کردن آن در الگوریتم‌ها وجود ندارد.

۲- کم بودن تعداد خطوط عبوری زیرا مدل موجود برای شریانی تک خطه ارایه شده است و اثرات تغییر خط در آن اعمال نشده است.

۳- اشباع بودن شریانی‌ها در ساعات اوج ترافیک.

با توجه به معیارهای در نظر گرفته شده محور غرب به شرق خیابان آزادی که شامل ٤ خط عبوری است در نظر گرفته شد. این ٤ خط عبوری به دو قسمت کندرو و تندرو تقسیم شده است که هر یک شامل دو خط عبوری است. خطوط عبوری تندرو در این مطالعه مد نظر قرار گرفته است زیرا اثر پارک حاشیه‌ای در آن حذف شده است و مدل ارایه شده در این محور به خوبی قابل ارزیابی است. در محور مذکور تقاطعات آزادی - رودکی و آزادی - توحید مورد توجه و بررسی قرار گرفته است.

۳-۱- برداشت اطلاعات

همان‌طور که در قسمت ۱ توضیح داده شد، مدل ارایه شده از داده درصد اشغال شناساگر میانه کمان در هر ثانیه و نیز داده‌های مربوط به چراغ راهنمایی استفاده می‌کند. در محور مشخص شده به دلیل عدم وجود شناساگر میانه کمان برداشت بهنگام چنین داده‌هایی امکان‌پذیر نیست. لذا به منظور ارزیابی مدل ارایه شده، ابتدا موقعیت مناسبی برای محل استقرار شناساگر فرضی انتخاب می‌شود. هر چه شناساگر میانه کمان به انتهای کمان نزدیک‌تر باشد می‌تواند صف‌های طولانی‌تری را به سادگی تشخیص دهد اما از طرفی وجود خروجی‌ها و ورودی‌ها در طول کمان مورد نظر، باعث کاهش دقت تخمین طول صف می‌گردد. بنابراین، محل قرارگیری شناساگر بایستی به صورتی باشد که تا حد امکان به انتهای کمان نزدیک باشد، اما بین محل قرارگیری شناساگر میانه کمان تا خط توقف هیچ ورودی و یا خروجی

www.SID.ir

Archive of SID

قرار نگرفته باشد. با وجود چنین شرایطی معمولاً محل قرارگیری این گونه شناساگرها در فاصله ۸۰ تا ۹۰ متری از سر تقاطع خواهد بود. در مطالعه حاضر محل قرارگیری شناساگر در محور آزادی با فاصله ۹۰ متر از سر تقاطع آزادی- توحید و ۹۵ متر از سر تقاطع آزادی- رودکی فرض شده است و در این موقعیت‌ها اطلاعات مورد نیاز برداشت گردیده است.

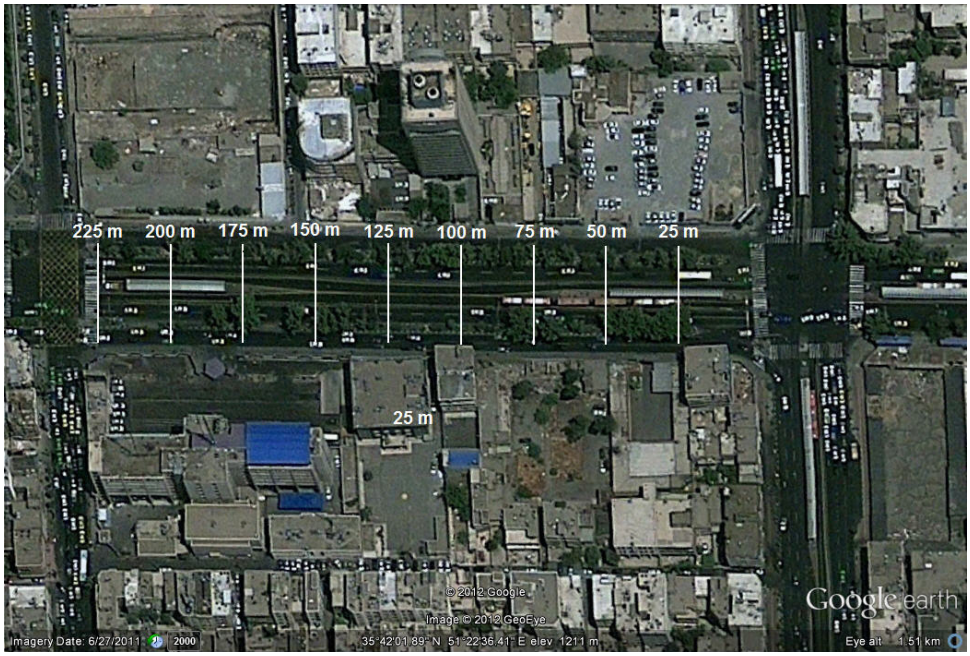
در این مطالعه برای آماربرداری داده‌های ورودی مدل تخمین صف از روش فیلم‌برداری استفاده شده است تا علاوه بر مستند بودن اطلاعات برداشت شده، امکان بازبینی تصحیح آمار برداشت شده فراهم گردد. لذا در موقعیت انتخاب شده، دو دوربین فیلم‌برداری به طور همزمان و به مدت ۱ ساعت از مقطع عرضی خیابان فیلم تهیه می‌کنند. این فیلم‌ها جهت استخراج داده‌های ثانیه به ثانیه ورودی مدل مانند درصد اشغال و حضور وسایل‌نقلیه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

به طور همزمان با استفاده از دوربین‌های شرکت کنترل ترافیک که در محل مستقر بودند از مقطع طولی هر دو شریانی فیلمی تهیه شده است، تا بتوان با استفاده از این فیلم‌ها طول صف در هر چرخه را بر حسب تعداد وسیله نقلیه و بر حسب فاصله قرارگیری انتهای صف از سر تقاطع استخراج نمود.

برای برداشت اطلاعات مربوط به فازبندی چراغ‌ها نیز همزمان با فیلم‌برداری از محل، از نرم‌افزار SCATS نیز فیلمی تهیه شده است تا زمان دقیق شروع و پایان هر فاز استخراج گردد.

همچنین به منظور کالیبره کردن پارامترهای مربوط به عکس‌العمل رانندگان که در ادامه توضیح داده می‌شود از تقاطعات آزادی- رودکی و آزادی- توحید و نیز تقاطع آزادی- اسکندری به صورتی فیلم تهیه شد که همزمان خط توقف رویکرد مورد نظر و حتی‌الامکان یکی از چراغ‌های راهنمایی در فیلم وجود داشته باشند.

در این مطالعه با توجه به تعریف طول صف بیان شده تعداد وسایل نقلیه‌ای که پس از سبز شدن چراغ تا پیش از رسیدن موج شوکی به آخرین وسیله نقلیه در پشت خط توقف به صورت ساکن قرار گرفته باشند، به عنوان بیشترین طول صف چرخه در نظر گرفته می‌شوند، که با توجه به فیلم‌های گرفته شده از مقطع طولی خیابان قابل شمارش است. همچنین محل قرارگیری انتهای صف نسبت به سر تقاطع با استفاده از این فیلم‌ها و وجود شاخص‌هایی نظیر درخت‌ها، تابلوهای علائم رانندگی، چراغ‌های موجود در معابر و غیره قابل تعیین است. نمونه‌ای از علامت‌گذاری با استفاده از شاخص‌ها و فاصله آنها از سر تقاطع در شکل ۳ نشان داده شده است. در نتیجه انتهای صف در نزدیکی هر کدام از این شاخص‌ها قرار گیرد، طول صف بر حسب متر قابل تعیین است.



شکل ۳. محور آزادی بین تقاطع رودکی و توحید

www.SID.ir

Archive of SID

٤- کالیبره کردن پارامترهای ورودی مدل

مدل ارایه شده چندین پارامتر ورودی دارد که به صورت پیش‌فرض در طول اجرای مدل مورد استفاده قرار می‌گیرند. این پارامترها شامل سرعت آزاد جریان، شتاب افزاینده و کاهنده، عکس‌العمل اولین راننده نسبت به سبز شدن چراغ، تفاوت بین شروع حرکت دو وسیله مجاور در صف و سرفاصله اشباع وسایل نقلیه در خیابان‌های شریانی هستند. همه این پارامترها در محاسبه طول صف و زمان‌سفر تأثیرگذارند. اما دو پارامتری که در این مدل بیش از سایر پارامترها تأثیرگذارند عکس‌العمل اولین راننده نسبت به سبز شدن چراغ یا t_r و تفاوت بین شروع حرکت دو وسیله مجاور در صف یا t_s می‌باشند. بنابراین، در این مطالعه سعی شده است که ابتدا در مطالعه میدانی انجام شده این پارامترها در سه تقاطع شهر تهران برداشت گردد تا اندازه نمونه کافی برای تحلیل‌های آماری در دست باشد. سپس این دو پارامتر با استفاده از تحلیل‌های آماری مناسب محاسبه می‌شوند و در نهایت مدل‌های تخمین طول صف و تخمین زمان سفر بر مبنای این پارامترها اجرا می‌گردند.

استخراج این پارامترها از فیلم‌های برداشت شده از سه تقاطع آزادی- رودکی، آزادی- توحید و آزادی- اسکندری با استفاده از کرنومتر انجام شد، فراوانی داده‌های برداشت شده برای پارامترهای t_r و t_s به ترتیب برابر با ۷۰ و ۱۲۰ داده می‌باشد که برای کالیبره کردن این پارامترها کافی به نظر می‌رسد. میانگین این داده‌ها به صورت زیر محاسبه شده است.

$$\bar{t}_r = 2.63s$$
$$\bar{t}_s = 1.69s$$

انحراف معیار این داده‌ها برای دو پارامتر $\bar{t}_r$ و $\bar{t}_s$ به ترتیب برابر با ۱/۷۳ و ۰/۷۱ به‌دست آمد. واریانس داده‌های برداشت شده نیز برای پارامترهای مورد نظر به ترتیب برابر با ۳ و ۰/۵۱ به‌دست آمده است.

پس از به‌دست آمدن میانگین و انحراف معیار برای این دو پارامتر، توزیعی که داده‌ها از آن پیروی می‌کنند کنترل می‌شود. ابتدا داده‌ها در شرط توزیع نرمال با استفاده از جداول ۱ و ۲ که به ترتیب برای داده t_r و t_s تهیه شده است، کنترل می‌شوند.

جدول ۱. کنترل توزیع نرمال برای داده t_r

	$\mu \pm \sigma$	$\mu \pm 2\sigma$	$\mu \pm 3\sigma$
بین اعداد t_r داده	۲/۹ - ٦/۳٦	۱/۱۷ - ۸/۰۹	-۰/٥٦ - ۹/۸۲
درصد	٦٥ درصد	۹۸ درصد	۱۰۰ درصد

جدول ۲. کنترل توزیع نرمال برای داده t_s

	$\mu \pm \sigma$	$\mu \pm 2\sigma$	$\mu \pm 3\sigma$
بین اعداد t_s داده	۰/۹۸ - ۲/٤	۰/۲۷ - ۳/۱۱	-۰/٤٤ - ۳/۸۲
درصد	۷۲ درصد	۹٤ درصد	۱۰۰ درصد

با توجه به اینکه شرط توزیع نرمال این است که ٦۸ درصد داده‌ها بین $\mu \pm \sigma$ و ۹٦ درصد داده‌ها بین $\mu \pm 2\sigma$ باشند، توزیع‌های مشاهده شده برای t_r و t_s به توزیع نرمال نزدیک هستند. در نتیجه با توجه به نرمال بودن توزیع مشاهده شده، استفاده از میانگین معیار مناسبی برای دلالت بر کل داده‌ها می‌باشد. بنابراین، t_r و t_s به ترتیب به دهم ثانیه گرد می‌شوند و برابر با ۲/٦ و ۱/۷ در نظر گرفته می‌شوند.

www.SID.ir

Archive of SID

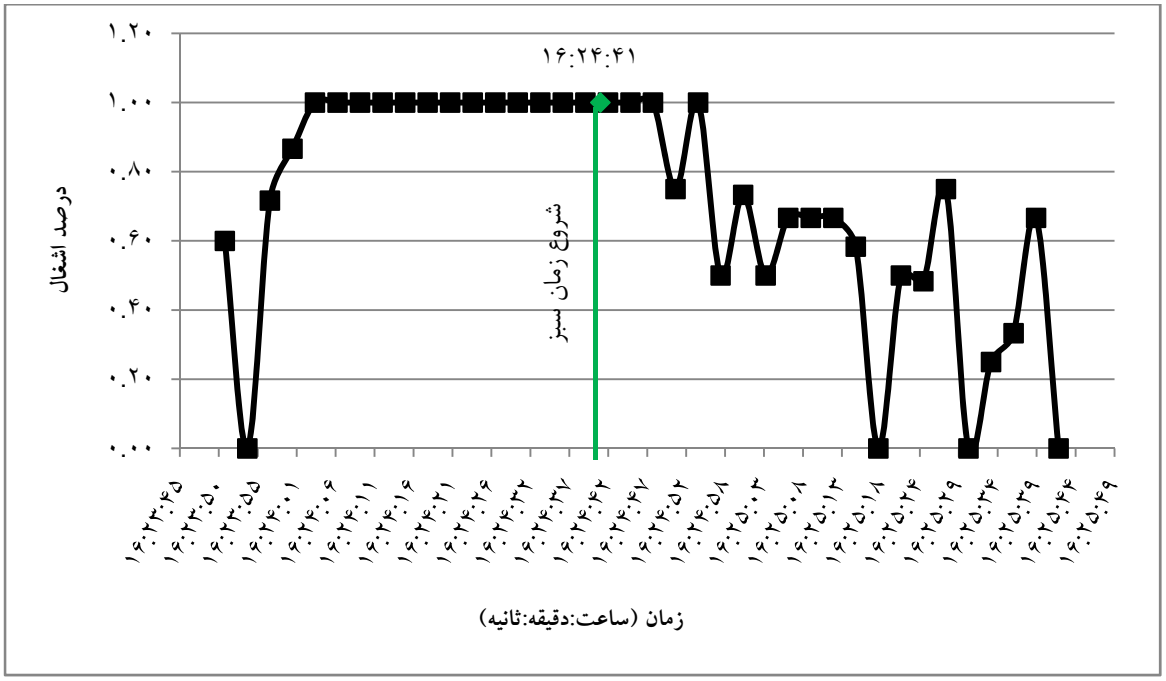
۵- نتایج مطالعه موردی

۵-۱- بررسی پروفیل اشغال شناساگر در یک سیکل

شکل ٤ پروفیل اشغال ۳ ثانیه‌ای چرخه‌ای شناساگر میانه کمان را در رویکرد غرب به شرق تقاطع آزادی-توحید نشان می‌دهد. چرخه با شروع زمان قرمز این رویکرد در زمان ۱٦:۲۳:۵۱ آغاز می‌شود. شروع زمان سبز در زمان ۱٦:۲٤:٤۱ است. طول چرخه ۱۱۵ ثانیه است و مدت زمان قرمز و سبز به ترتیب ۵۰ ثانیه و ٦۵ ثانیه است (زمان زرد به عنوان قسمتی از فاز سبز در نظر گرفته شده است).

با توجه به شکل ٤ دیده می‌شود که پروفیل اشغال در ابتدای زمان قرمز نوسان دارد که بیانگر فرآیند صف‌بندی پیش از رسیدن صف به شناساگر است. در زمان ۱٦:۲٤:۰۳ صف به شناساگر می‌رسد و میزان اشغال به مقدار ثابت ۱ می‌رسد. با شروع زمان سبز صف شروع به تخلیه شدن از خط توقف می‌کند. موج تخلیه پس از ۱۰ ثانیه در زمان ۱٦:۲٤:۵۱ به شناساگر می‌رسد و پروفیل اشغال با نوسان در درصد اشغال‌های بالا همراه می‌گردد تا این‌که انتهای صف در زمان ۱٦:۲۵:۱۸ از شناساگر عبور می‌کند و نقطه T_E که قبلاً بحث شد تشخیص داده می‌شود. نوساناتی که پس از نقطه T_E در نمودار مشاهده می‌شود ناشی از رسیدن گروه‌های وسیله نقلیه است. در صورتی که این گروه‌ها با فاصله کمی از انتهای صف وارد شوند انتهای صف از روی پروفیل اشغال قابل تشخیص نخواهد بود.

تشخیص نقاط زمانی تغییر وضعیت ترافیک در مدل از اهمیت بسزایی برخوردار است. بنابراین، سه نقطه زمانی کلیدی مدل که عبارتند از: زمان رسیدن صف به شناساگر (T_A)، زمان رسیدن موج شوکی تخلیه به شناساگر (T_C) و زمان عبور آخرین وسیله صف از شناساگر (T_E) با استفاده از نمودار اشغال ۲۱ چرخه تقاطع مورد نظر که صف‌های طولانی شکل گرفته بودند مورد بررسی قرار گرفت و با واقعیت مقایسه گردید. در تعیین نقاط T_A و T_C در ۹٤ درصد موارد با خطای کمتر از ۱۰ ثانیه، در ۸۹ درصد موارد خطای کمتر از ۵ ثانیه و در ۸۲ درصد، درصد موارد خطای کمتر از ۳ ثانیه مشاهده شد. در تعیین نقطه T_E در ۸۵ درصد موارد خطای کمتر از ۱۰ ثانیه، در ۸۱ درصد موارد خطای کمتر از ۵ ثانیه و در ۷۸ درصد موارد خطایی کمتر از ۳ ثانیه مشاهده گردید.



شکل ٤. پروفیل اشغال ۳ ثانیه‌ای شناساگر بالاتر از تقاطع در یک چرخه

www.SID.ir

Archive of SID

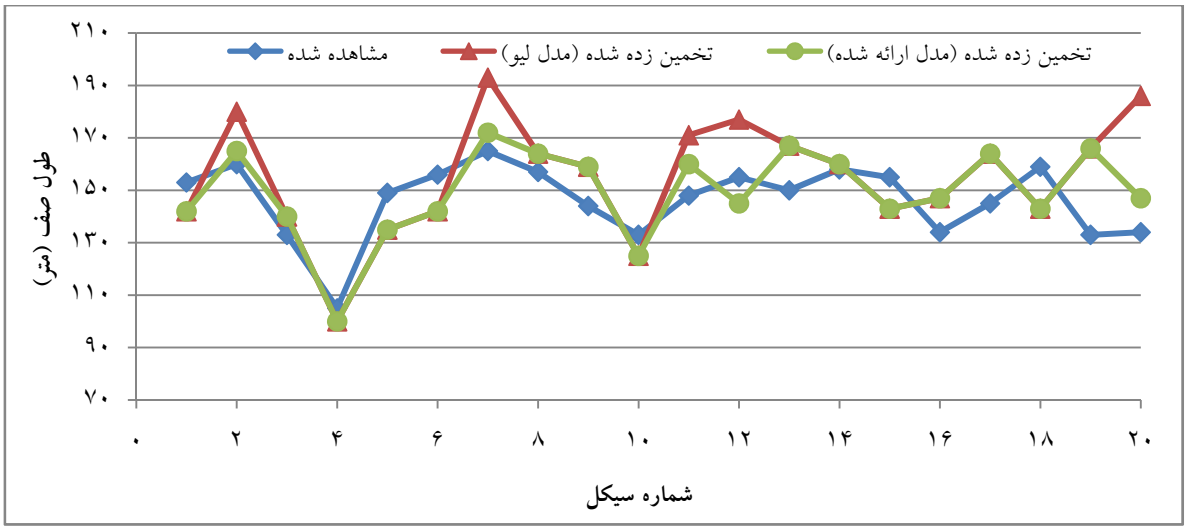
۵-۲ تحلیل نتایج حاصل از اجرای مدل

مقادیر پارامترهای ورودی مدل تخمین طول صف و زمان سفر شریانی از منابع معتبری نظیر مؤسسه مهندسین حمل و نقل (Traffic Engineering Handbook, 1999) و یا آمارهای جمع‌آوری شده به‌دست آمده است. همان‌طور که در مقدمه بیان شد، سرعت مطلوب یا u_f برابر با ٦٥ km/h، نرخ افزایش شتاب یا γ_a برابر با ۱/۱ m/s^2، نرخ کاهش شتاب یا γ_d برابر با ۳ m/s^2، سرفاصله اشباع یا h برابر با ۷/۵ m در نظر گرفته شده است. همچنین دو پارامتر زمان عکس‌العمل اولین راننده یا t_r و اختلاف زمان شروع دو وسیله‌نقلیه صف بسته مجاور یا t_s همان طور که از قسمت قبل به‌دست آمد به ترتیب برابر با ۲/٦ و ۱/۷ s در نظر گرفته شده‌اند. همچنین گام زمانی دنبال کردن وسیله نقلیه یا Δt برابر با ۱ ثانیه در نظر گرفته شده است.

همان‌طور که در مقدمه بیان شد، به منظور مقایسه بهتر ابتدا مدل لیو و همکارانش در سال ۲۰۱۲ با استفاده از داده‌های آماربرداری شده اجرا شده است، و نتایج تخمین طول صف ارایه شده با واقعیت مقایسه گردیده است، سپس مدل بهبود یافته در این مطالعه با استفاده از همان داده‌ها اجرا شده و مجدداً با واقعیت مقایسه شده است. در نتیجه معیار قابل قیاسی برای مدل ارایه شده به‌وجود آمده است.

نمودار نشان داده شده در شکل ۵ طول صف تخمین زده شده بر حسب متر توسط مدل پیشنهادی و مدل لیو و همکارانش را با طول صف واقعی مقایسه کرده است. خطوط آبی داده‌های مشاهده شده از فیلم‌های آماربرداری و خطوط قرمز نتایج تخمین زده شده توسط مدل لیو می‌باشد. خطوط سبز رنگ نیز نتایج حاصل از اجرای مدل پیشنهادی را نشان می‌دهد. نتایج حاصل بیانگر آن است که متوسط خطای تخمین بیشینه طول صف با استفاده از اجرای مدل لیو و همکارانش در شرایط ایران ۱٦/۹ متر بوده حال آنکه این خطا در اجرای مدل پیشنهادی در شرایط ایران به ۱۲ متر کاهش یافته است. همچنین در مدل لیو و همکارانش ۷۵ درصد و در مدل پیشنهادی ۹۰ درصد از طول صف‌های بیشینه تخمین زده شده نسبت به واقعیت حدود ۱۰ درصد خطا دارند و در نتیجه با اجرای مدل پیشنهادی ۱۵ درصد از طول صف‌های تخمین زده شده توسط مدل لیو و همکارانش بهبود یافتند.

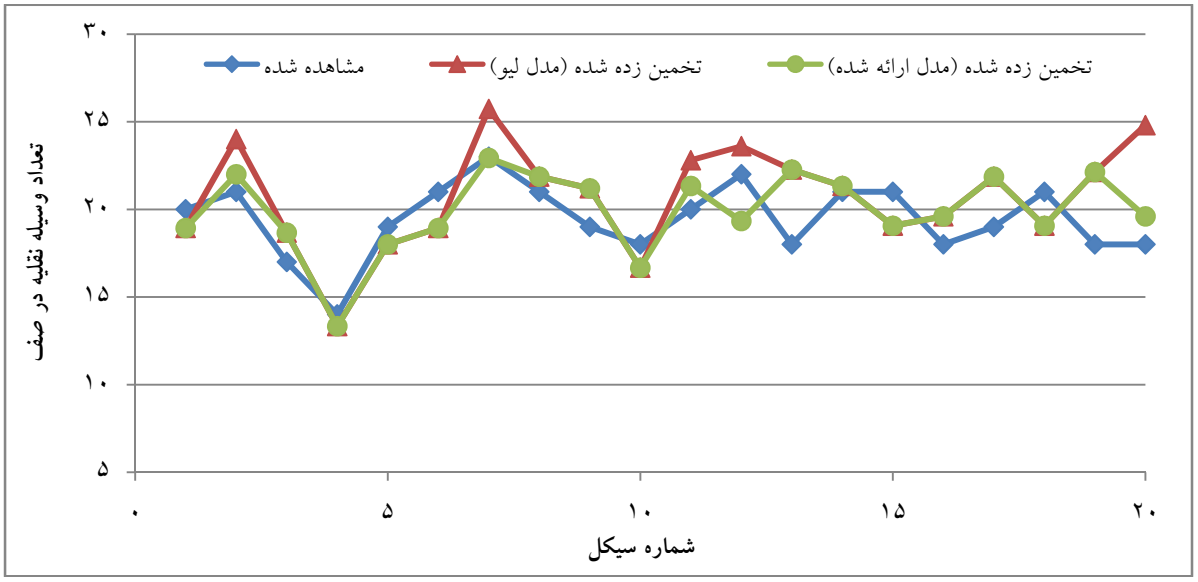
شکل ٦ نیز تخمین اندازه بیشینه صف بر حسب وسیله نقلیه توسط مدل لیو و مدل پیشنهادی را در کنار نتایج حاصل از مشاهده این پارامتر نشان می‌دهد. خطوط آبی داده‌های مشاهده شده از فیلم‌های آماربرداری و خطوط قرمز نتایج تخمین زده شده از مدل لیو می‌باشد. خطوط سبز نیز نتایج تخمین زده شده توسط مدل ارایه شده را نشان می‌دهد. نتایج حاصل بیانگر آن است که متوسط خطای تخمین بیشینه طول صف در مدل لیو ۲/۲ وسیله نقلیه بوده است و این مقدار در مدل پیشنهادی به ۱/۷ وسیله نقلیه کاهش یافته است. همچنین در مدل لیو ۷۰ درصد و در مدل پیشنهادی ۸۰ درصد از اندازه‌های بیشینه صف تخمین زده شده حدود ۱۰ درصد خطا دارند.



شکل ۵. مقایسه طول صف مشاهده شده و تخمین زده شده توسط مدل لیو و مدل پیشنهادی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٦. مقایسه تعداد وسیله نقلیه در صف مشاهده شده و تخمین زده شده توسط مدل لیو و مدل پیشنهادی

٦- نتیجه‌گیری

در این تحقیق مدل تخمین بهنگام طول صف لیو و همکارانش در سال ۲۰۱۲ با در نظرگیری اختلاف زمان‌بندی تقاطعات متوالی و اضافه شدن گروه وسیله نقلیه از تقاطع بالادست که نوآوری این تحقیق محسوب می‌شود، بهبود داده شده است. از طرفی دو پارامتر ورودی این مدل شامل عکس‌العمل اولین راننده نسبت به سبز شدن چراغ و تفاوت بین شروع حرکت دو وسیله مجاور در صف با استفاده از داده‌های آماری برداشت شده در تقاطعات تهران کالیبره شده‌اند. نتایج حاصل از مطالعه میدانی و اعتبارسنجی مدل بیانگر بهبود ۱۵ درصدی میانگین خطای تخمین طول صف بر حسب متر و بهبود ۱۰ درصدی میانگین خطای تخمین طول صف بر حسب وسیله نقلیه نسبت به مدل لیو و همکارانش در سال ۲۰۱۲ را در شرایط تقاطعات تهران نشان می‌دهد. این بهبود در سیکل‌هایی که تعیین انتهای صف با استفاده از پروفیل اشغال در مدل لیو امکان‌پذیر نبود صورت گرفته است. مدل بهبود داده شده در این مقاله می‌تواند به صورت کاربردی با استفاده از اطلاعات سیستم SCATS مورد استفاده قرار گیرد.

۷- مراجع

- Cheng, Y., Qin, X., Jin, J., Ran, B. and Anderson, J. (2011) "Cycle-by-cycle queue length estimation for signalized intersections using sampled trajectory data". Transportation Research Record (2257), pp. 87-94.
- Institute of Transportation Engineers (1999). "Traffic Engineering Handbook". Washington D.C.
- Jeff Ban, X., Hao, P. and Sun, Z. (2011) "Real time queue length estimation for signalized intersections using travel times from mobile sensors". Transportation Research Part C: Emerging Technologies 19 (6), pp. 1133-1156.
- Liu, H. X. and Ma, W. (2009) "A virtual vehicle probe model for time-dependent travel time estimation on signalized arterials", Transportation Research Part C: Emerging Technologies 17 (1) , pp. 11-26.
- Liu, H. X., Ma, W., Wu, X. and Hu, H. (2012) "Real time estimation of arterial travel time under congested conditions, transportmetrica", Vol. 8, Issue 2, pp. 87-104.
- Liu, H. X., Wu, X., Ma, W. and Hu, H. (2009) "Real-time queue length estimation for congested

www.SID.ir

Archive of SID

signalized intersections". Transportation Research Part C: Emerging Technologies 17 (4), pp. 412-427.

- Ma, W. (2008) "A real-time performance measurement system for arterial traffic signals". PhD thesis, Submitted to The Faculty of The Graduate School of The University of Minnesota.
- Sharma, A., Bullock, D. and Bonneson, J. (2007) "Input-Output and Hybrid techniques for Real-Time prediction of delay and maximum queue length at signalized intersections". Transportation Research Board, No. 2035, pp. 69-80.
- Skabardonis, A. and Geroliminis, N. (2008) "Real-time monitoring and control on signalized arterials". Journal of Intelligent Transportation Systems. 12 (2), pp. 64–74.
- Vigos, G., Papageorgiou, M. and Wang, Y. (2008) "Real-time estimation of vehicle-count within signalized links". Transportation Research Part C 16, pp. 18–35.

www.SID.ir

Archive of SID

Real-Time Queue Length Estimation for Congested Arterials in Tehran

Sh. Afandizadeh, Associated Professor, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

M. Latifi, M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

N. Dehghani, Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

E-mail: zargari@iust.ac.ir

Received: October 2013 - Accepted: February 2014

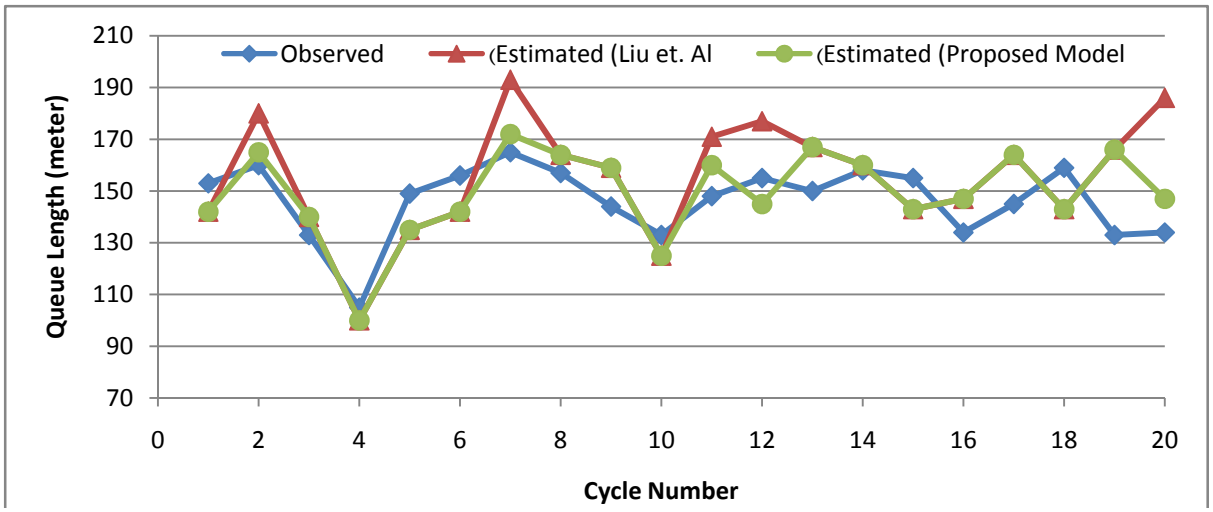
ABSTRACT

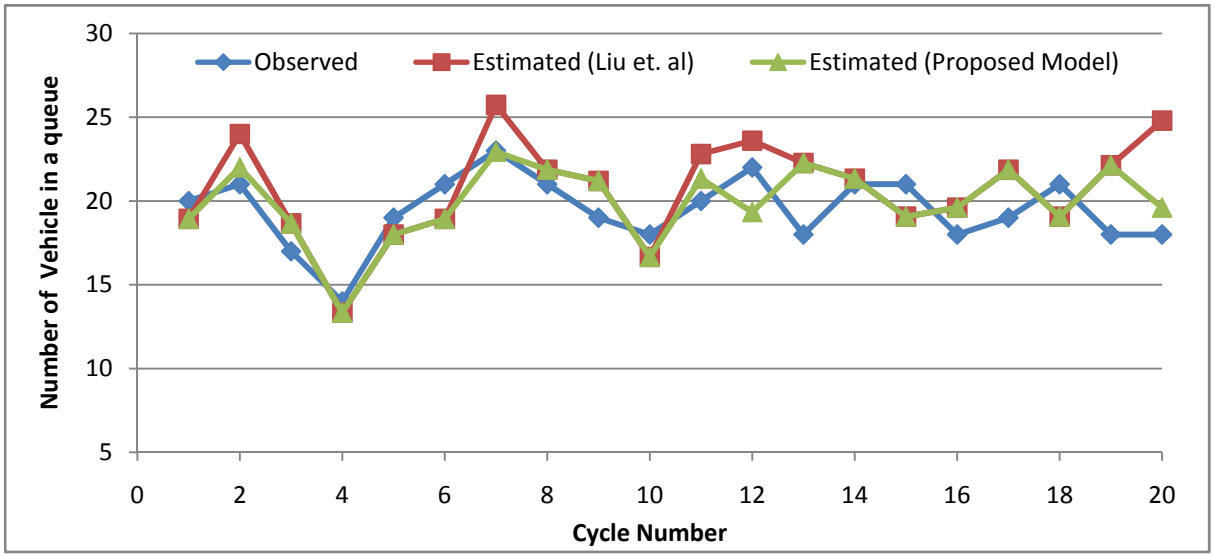
Queue length is one of the fundamental parameters of traffic flow on arterial streets that is the performance and flow optimization criteria However this measure of arterials less attention and has been investigated. This could be caused by periodic disruption on traffic flow by signal lights that make difficult evaluation of traffic flow on arterials. On the other hand the problem gets even more difficult when signal links are congested. In this paper, queue length on congested arterials is considered as one of the fundamental traffic parameters. This parameter estimated by investigating occupancy profile changes using real-time second-by-second advance detector data and signal timing. It has improved queue estimation model by considering the effects of upstream intersection and released platoon on the downstream queue in this paper. The result of the improved queue length estimation model is demonstrated through a field study at two intersections in Tehran. It has been also calibrated input parameters of Tehran intersections include the reaction time of the first queued vehicle (t_r) and the uniform starting time difference between two adjacent queued vehicles (t_s) using statistical analysis and used in model. This two parameters gathered by recording at 3 intersections and data frequencies for t_r and t_s are 70 and 120 respectively. After testing Data for Normal distribution, median of this two parameters $\bar{t}_r = 2.6s$ and $\bar{t}_s = 1.7s$ are used in model.

Liu (et al) model and improved model of this article were run with field gathered data and compared with field results of Queue length shown in two following diagrams.

www.SID.ir

Archive of SID





The results of this evaluation are shown 15% improvement in error average of queue length estimation in terms of meters and 10% improvement in error average of queue length estimation in terms of number of vehicles.

Keywords: Congested Arterials, Queue Length Estimation, Reaction Time Calibration

www.SID.ir