

تعیین سطح خدمت‌دهی تقاطع T-شکل بدون چراغ کنترل شده توسط تابلوی ایست

میلاذ ذکایی آشتیانی^۱، علیرضا طهرانی مؤید^۲.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گرایش راه و ترابری دانشگاه ایالتی ماساچوست دارتموث

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گرایش راه و ترابری دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

تقاطع‌های بدون چراغ به سه دسته‌ی اصلی بدون کنترل، کنترل‌شده توسط تابلوی احتیاط و کنترل شده توسط تابلوی ایست تقسیم می‌گردند. این تقاطع‌ها به دلیل سطح کنترلی پایین‌تر و وابستگی عملکردشان به عوامل انسانی، ترافیکی، جوی، هندسی و دیگر شرایط از پیچیده‌ترین ساختارهای ترافیکی به شمار می‌روند. فاصله‌ی عبوری قابل قبول بحرانی را می‌توان تاثیرگذارترین عامل در تعیین سطح خدمت‌دهی این تقاطع‌ها قلمداد کرد. این فاصله‌ی زمانی بیانگر سرفاصله‌ی به‌وجود آمده در حق تقدم‌های بالاتر برای عبور ایمن و امکان پذیر وسایل نقلیه در حق تقدم‌های پایین‌تر می‌باشد. خصوصیات راننده از قبیل جنس و سن، خصوصیات وسایل نقلیه، شرایط حجمی ترافیک، قابلیت شتاب‌گیری خودروی در انتظار و سرعت وسایل نقلیه در حق تقدم بالاتر از جمله متغیرهای درگیر در مسئله می‌باشند. تلاش‌های زیادی برای مدلسازی و برقراری ارتباط میان این متغیرها با پارامتری واحد (تحت عنوان فاصله‌ی عبوری قابل قبول) انجام گرفته‌است. در مقاله‌ی حاضر از سه روش میانگین زمان سرفاصله‌ی عبوری قبول شده، Raff و مقبولیت تجمعی برای تحلیل داده‌های گردآوری شده‌ی مربوط به سرفاصله‌ی عبوری بحرانی در تقاطعی تحت بررسی استفاده شده‌است. در انتها نیز با به‌کارگیری روش ارائه داده شده در HCM2010 سطح خدمت‌دهی تقاطع تعیین می‌گردد.

واژگان کلیدی: مهندسی ترافیک، حمل و نقل، تقاطع بدون چراغ، فاصله عبور مجاز، سطح خدمت‌دهی.

۱- مقدمه

قوانین حق تقدم اطلاع کامل دارند. این امر بدان معناست که وسایل نقلیه در زمان رسیدن به تقاطع در جهتی که تابلوی ایست نصب شده‌است، پیش از ورود به چهارراه ایست کامل کرده و با رعایت حق تقدم اقدام به انجام حرکت مورد نظر خود می‌کنند. در این میان، تصمیم‌گیری رانندگان در حق تقدم‌های پایین در مورد قبول یا عدم قبول فاصله‌ی به وجود آمده در مسیر با حق تقدم بالاتر نقش کلیدی را در برآورد تاخیر ایفا می‌کند. اندازه‌گیری این متغیر، که می‌تواند برای هر راننده منحصر به فرد باشد، خود وابسته به عوامل متعددی است. سطح تحصیلات راننده، میزان آشنایی راننده با شرایط محل، قابلیت تخمین سرعت وسایل نقلیه‌ی دیگر توسط راننده، شرایط ترافیکی، نوع گپ و گردش مورد نظر، شرایط محیطی، اندازه‌ی صف ایجاد شده در پشت وسیله‌ی نقلیه تنها تعدادی از پارامترهای درگیر در مسئله است [۳].

تقاطع‌ها را می‌توان به‌عنوان پیچیده‌ترین قسمت یک شبکه‌ی حمل و نقل قلمداد کرد [۱]. علاوه بر تاخیرهای زیاد ایجاد شده در اثر تداخل جریان‌های ترافیکی، حرکت‌های گردشی انجام شده توسط رانندگان می‌تواند تاثیر به‌سزایی در عملکرد کل شبکه داشته باشد. تشخیص نوع کنترل تقاطع با استفاده از جمع‌آوری اطلاعات از منابع مختلفی امکان پذیر است. ضمانت‌های چراغ‌دار شدن، تحلیل سطح خدمت‌دهی، اطلاعات تصادفات و شکایات عمومی پایه‌های تصمیم‌گیری در مورد انتخاب چراغ‌دار بودن یا نبودن یک تقاطع است [۲]. تحلیل تقاطع‌های کنترل‌شده توسط تابلوی ایست یا احتیاط نیز دشوارترین حالت جهت برآورد عملکرد یک تقاطع است.

در تحلیل تقاطع‌های بدون چراغ فرض می‌شود که رانندگان از

می‌توان میان تقاطع‌های مختلف مقایسه کرد. این معیار به طور مستقیم با تاخیر ایجاد شده در هر رده‌ی عملکردی نسبت به حالت پایه‌ی آن رابطه دارد. به این ترتیب به دست آوردن تاخیر در راس عملیات محاسباتی قرار می‌گیرد.

در تقاطع‌های بدون چراغ، تاخیر کنترلی به عنوان تاخیر ایجاد شده توسط علائم راهنمایی، مانند تابلوی ایست و چراغ، تعریف می‌شود. این تاخیر به صورت تقریبی برابر با مجموع تاخیر در زمان انتظار در صف و عملیات شتاب‌گیری و کاهش شتاب وسایل نقلیه می‌باشد.

در این میان، تاخیر ایجاد شده در حرکت وسایل نقلیه، توسط معیار فاصله‌ی عبوری قابل قبول بیان می‌شود. این معیار که به عوامل گسترده‌ای وابسته است، حاصل تصمیم‌گیری راننده در مورد عملیات عبور از تقاطع می‌باشد. به همین دلیل این معیار وابستگی ظریفی به خصوصیات رانندگان و فرهنگ غالب در کشور مورد نظر دارد. این پارامتر در HCM توسط مقداری پایه‌ای بیان شده و با ملاحظات آماری و هندسی اصلاح می‌شود.

همچنین متغیر دیگری به نام زمان دنباله‌روی، که بیانگر نحوه‌ی حرکت خودروی واقع در صف وسایل نقلیه جهت انجام گردش مورد نظر است، در روابط HCM وارد می‌گردد. این متغیر کمتر تحت تاثیر عواملی مشابه با معیار فاصله‌ی عبوری بحرانی قرار می‌گیرد. سرعت عکس‌العمل راننده و حفظ فاصله‌ی خود با خودروی جلویی از تاثیرگذارترین فاکتورها به حساب می‌آید. ملاحظات اندازه‌گیری و تخمین این معیار نیز در آمارگیری و محاسبات مورد توجه قرار می‌گیرد.

به علت پیچیدگی مضاعف رفتار رانندگان در کشور ایران و عدم رعایت قوانین حق تقدم، استفاده از مقادیر پیشنهادی در HCM صحیح به نظر نمی‌رسد. به همین دلیل در این مقاله تمرکز اصلی را بر روی یافتن روش‌هایی آماری و محاسباتی جهت تخمین این معیار و تحلیل حساسیت عملکرد تقاطع در اثر تغییرات در پارامتر فاصله‌ی ایجاد شده جهت عبور خواهیم پرداخت. اما آنچه این مهم را نیز دچار پیچیدگی می‌کند، استوار بودن روش‌های آماری مرسوم بر فرض رعایت شدن قوانین حق تقدمی و رانندگی می‌باشد. در نتیجه مسئله به صورت ترکیبی از چگونگی روش آمارگیری و چگونگی تحلیل نتایج حاصل می‌آید. مقایسه‌ی این نتایج در کشور ایران و مقادیر استاندارد آن را می‌توان از منظرهای مختلف مهندسی، اجرایی، فرهنگی و انسانی مورد بررسی قرار داد.

این مقاله به صورت موردی تقاطع T-شکلی واقع در منطقه‌ی شهرک قدس تهران را مورد مطالعه قرار می‌دهد. تمرکز اصلی محتوای آن بر روی نحوه‌ی اندازه‌گیری میدانی و روش‌های محاسبه‌ی فاصله‌ی عبوری قابل قبول بحرانی می‌باشد. حرکت گردش به چپ از خیابان فرعی، به دلیل قرارگیری در پایین‌ترین حق تقدم به عنوان بحرانی‌ترین حرکت در این تقاطع در نظر گرفته می‌شود. راننده‌ی مذکور بایستی جریان‌های تداخلی ترافیکی را در هر دو جهت اصلی مورد توجه قرار داده، فاصله‌ی زمانی-مکانی ایجاد شده را برآورد کند و در نهایت تصمیم به قبول این فاصله نماید.

در نهایت، برای برآورد سطح خدمت‌دهی تقاطع نیاز به در دست داشتن شرایط حجم ترافیکی به تفکیک نوع حرکت و وسیله‌ی نقلیه‌ی سواری و سنگین، تعداد عابرین پیاده به تفکیک نوع حرکت، شرایط هندسی از قبیل عرض باندها و شیب خیابان‌های منتج به تقاطع می‌باشد. برای انجام این آمارگیری از هشت نفر از دانشجویان دانشگاه صنعتی شریف کمک گرفته شد. آمارگیران در فرم‌هایی ورودی‌های حجمی ترافیک را در چهار زمان پانزده دقیقه‌ای یادداشت نمودند.

۲- تعریف مسأله و اهداف تحقیق

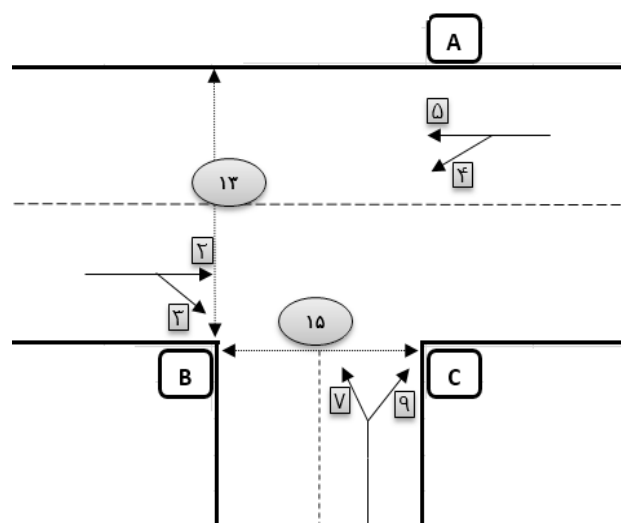
بحث رعایت حق تقدم در تقاطع‌های بدون چراغ از ملزومات عملکردی آن به شمار می‌رود. مفاهیم پایه‌ای در تعیین سطح خدمت‌دهی در این کاربری‌های ترافیکی نیز بر پایه‌ی رعایت مقررات استوار است. شمارش تعداد وسایل نقلیه‌ی عبوری و به دست آوردن جریان در هر شریان مسئله‌ای فارغ از رعایت مقررات رانندگی است. به عنوان مثال، دو تقاطع با شرایط هندسی و ترافیکی مشابه، در زمانی کاملاً مشخص از هفته می‌توانند تنها به دلیل رعایت شدن یا نشدن قوانین دارای سطح عملکردی متفاوتی باشند. به همین دلیل است که کتاب‌های مرجع ترافیکی مانند HCM علاوه بر ارائه‌ی روش‌های تحلیل بخش‌های مختلف ترافیکی، قوانین طرح هندسی و رانندگی افراد را نیز تعیین می‌کنند. در صورتی که فرض اولیه در روابط ارائه‌شده در این کتاب‌های مرجع رعایت نشود، استفاده از آن‌ها بایستی با احتیاط بیشتری انجام پذیرد و حتی در مواردی دچار تحول گردد.

در مطالعه‌ی موردی این مقاله به یکی از حساس‌ترین کاربری‌های ترافیکی، یعنی تقاطع‌های بدون چراغ و کنترل شده توسط تابلوی ایست در یک جهت تمرکز شده‌است. سطح خدمت‌دهی از فاکتورهای نهایی قلمداد می‌شود که میزان آن را

۳- گردآوری اطلاعات

اولین مرحله در تحلیل‌های ترافیکی جمع‌آوری اطلاعات و آمارگیری می‌باشد. به این منظور گروهی هفت‌نفره شامل دانشجویان کارشناسی ارشد گرایش راه و ترابری دانشگاه صنعتی شریف در محل مورد نظر حاضر شدند. تقاطع در منطقه‌ی شهرک قدس تهران، تقاطع بلوار دریا و خیابان شفق واقع گشته و شکل هندسی آن به صورت سه راه، یا T-شکل، می‌باشد (شکل ۱). افراد در سه موضع A، B و C قرار گرفتند. آمارگیری در مدت زمان یک ساعت و در روز سه‌شنبه در زمان خارج پیک، بین ساعت ۱۱:۳۰ تا ۱۲:۳۰، انجام پذیرفت. آمارگیران به تفکیک پنج دقیقه‌ای شمارش حجم را انجام دادند و در فرم‌هایی اطلاعات را وارد کردند. این حجم‌ها شامل تعداد وسایل نقلیه به تفکیک سنگین و سواری و عابرین پیاده است. از آنجایی که موضوع مطالعه‌ی این مقاله در مورد تقاطع‌های بدون چراغ است، مطالعه‌ی دیگر که مشخص کند آیا این تقاطع بایستی چراغ‌دار باشد یا خیر انجام پذیرفت و فرض بر آن گذاشته شد که تصمیم درستی در راستای بدون چراغ بودن آن اتخاذ شده است.

مشخصات هندسی تقاطع از قبیل شیب خیابانهای موصول به تقاطع، تعداد باندها و عرض هر یک از آنها، نحوه‌ی جدول کشی در نقاط اتصال دو جهت، وجود یا عدم وجود میانه، وجود پارکینگ در محدوده‌ی تقاطع نیز اندازه‌گیری و یادداشت گردید.



شکل ۱: پلان تقاطع مورد بررسی شامل موضع قرارگیری آمارگیران و شماره‌گذاری حرکت خودروها

دشواریترین قسمت آمارگیری مربوط به نحوه‌ی استخراج فاصله‌ی قابل قبول بحرانی و زمان دنباله‌روی می‌باشد. برای مشخص کردن روشی که بتواند با حداکثر صحت داده‌های مربوطه را ارجاع دهد، بایستی به درکی صحیح از این معیارها دست یافت. به دلیل اهمیت موضوع، زیر بخشی جداگانه را به این مهم اختصاص می‌دهیم.

۳-۱- نحوه‌ی تعریف و اندازه‌گیری فاصله‌ی عبوری قابل قبول بحرانی

اندازه‌گیری فاصله‌ی عبوری بحرانی برای یک راننده‌ی خاص غیرممکن است ([۴]، [۵]، [۶]، [۷]). محققین و کتب مرجع مختلف، تعابیر متفاوتی از معیار فاصله‌ی عبوری قابل قبول بحرانی ارائه داده‌اند. تحقیقات Hewitt نشان داد که در بسیاری از تقاطع‌ها، فاصله‌های عبوری مشاهده شده تنها محدوده‌ای را بیان می‌کند که این معیار در آن قرار می‌گیرد، که حد پایین آن طول سرفاصله‌ای است که راننده‌ی مورد نظر رد می‌کند و حد بالای آن مقداری است که وی قبول می‌کند [۷].

در HCM ۱۹۸۵ فاصله‌ی بحرانی به صورت "میانه‌ی سرفاصله‌های زمانی در مسیر اصلی که وسایل نقلیه در حق تقدم پایین‌تر که قصد عبور از تقاطع را دارند آن را قبول می‌کنند" تعریف می‌گردد [۸]. چند سال بعد در HCM ۱۹۹۴ این تعریف دچار تحول شده و به صورت "حداقل سرفاصله‌ی زمانی بین وسایل نقلیه در مسیر اصلی ترافیکی که به وسایل نقلیه در خیابان‌های فرعی متوقف شده پشت تابلوی ایست اجازه می‌دهد تا در شرایط غالب ترافیکی مانور خود را انجام دهند" تعریف گردید [۹]. همچنین HCM ۲۰۰۰ این معیار را "حداقل بازه‌ی زمانی میان وسایل نقلیه‌ی متوالی در مسیر اصلی که خودروهای مسیر فرعی طی آن گردش خود را انجام می‌دهند" می‌نامد [۲]. در آخرین نسخه‌ی ارائه شده، یعنی HCM ۲۰۱۰، فاصله‌ی عبوری بحرانی تحت عنوان "حداقل سرفاصله‌ی زمانی در جریان ترافیکی مسیر اصلی که اجازه‌ی ورود به تقاطع را به یک وسیله‌ی نقلیه در مسیر فرعی می‌دهد" بیان شده است. فرض بر این است که یک راننده‌ی مشخص مقادیر کمتر از فاصله‌ی بحرانی را رد، و فاصله‌ی بیشتر از آن را قبول می‌کند [۱۰].

با وجود اینکه HCM در نسخه‌های مختلف تعابیر دقیقی را از فاصله‌ی بحرانی ارائه می‌دهد، سایر محققان تفسیرهای دیگری را شرح داده‌اند. Hewitt فاصله‌ی بحرانی را "بازه‌ی زمانی میان دو خودروی متوالی در مسیر اصلی که طی آن خودروی منتظر در مسیر فرعی این فاصله را برای انجام حرکت مورد

اندازه‌گیری برگزیند که کمترین خلل در جریان ترافیک و دید رانندگان و همچنین رفتار آن‌ها ایجاد شود. نکته‌ی جالب ذکر در پروسه‌ی انجام آمارگیری، مشاهده‌ی یک تصادف سر به سر خودروی گردش به چپ کننده از مسیر اصلی، و حرکت جلوگیری کننده‌ی آن در مسیر اصلی بود.

مشکلات فراوانی در اندازه‌گیری این معیار در ایران وجود دارد. مسئله‌ی تفهیم رعایت حق تقدم بزرگترین معضلی است که به چشم می‌آید. درصد چشم‌گیری از خودروهای اولویت‌های پایین تر بدون توجه به مقررات در زمان گردش، حرکت خود را بدون توقف کامل انجام می‌دهند. این امر باعث می‌شود انتخاب شروع لحظه‌ی اندازه‌گیری مشخص نباشد. علاوه بر این، بسیاری از رانندگان بدون توجه به ایجاد فاصله‌ی عبوری قابل قبول وارد تقاطع شده و با جلوگیری کردن از حرکت خودروهای با اولویت بالاتر حرکت خود را انجام می‌دهند. این عملکرد مخصوصا در حرکات گردش به راست از مسیر فرعی به چشم می‌آید، چرا که مشاهده گردید هیچ یک از خودروهای این حرکت پیش از ورود به تقاطع ایست نکرده و بی‌درنگ حرکت خود را انجام می‌دهند. این مهم نیز باعث می‌گردد هیچ یک از تعاریف پایه‌ای برای کشور ایران قابل استناد نباشد. این منظر را می‌توان در کلیه رده‌های عملگری نیز دنبال کرد و به این نتیجه رسید که تعداد بسیار بالای تصادفات و مرگ و میر ناشی از آن دلایل قانع کننده‌ای دارد. در نتیجه‌ی این تفاوت در فرضیات اولیه‌ی کتب مرجع و محققان خارجی با آنچه در واقعیت در کشور ما اتفاق می‌افتد، عدم دستیابی به تخمینی صحیح از تاخیر و در نتیجه سطح خدمت‌دهی دور از ذهن نخواهد بود. در هر صورت در آمارگیری سعی شد تا داده‌هایی که تا حد بیشتری با استانداردهای جهانی مطابقت دارد جمع آوری شود و همین امر می‌تواند نتایج را تا حدی تحت تاثیر قرار دهد.

۳-۲- نحوه‌ی تعریف و اندازه‌گیری زمان دنباله‌روی

زمان دنباله‌روی دیگر متغیر تاثیرگذار در تعیین سطح خدمت‌دهی تقاطع است. در HCM۲۰۱۰ این متغیر به صورت "فاصله زمانی بین ترک یک خودرو از خیابان اصلی و زمان ترک خودروی بعدی که از همان فاصله‌ی عبوری بحرانی، در شرایط وجود صف دائمی در خیابان فرعی، جهت عبور استفاده می‌کند" تعریف می‌گردد [۱۰]. این معیار دارای پیچیدگی‌های کمتری نسبت به فاصله‌ی عبور بحرانی می‌باشد. به همین دلیل نیز محققان مختلفی به همین تعریف واحد بسنده کرده‌اند. دو مورد بایستی در این معیار تحقق یابد. یکی ایجاد صف

نظرش ایمن قلمداد می‌کند" تعریف می‌کند [۷]. "فاصله‌ای که تعداد رانندگان قبول کننده‌ی آن برابر با تعداد رانندگان رد کننده‌ی آن باشد" توسط Ashton به عنوان فاصله‌ی عبوری بحرانی تعریف می‌گردد [۱۱]. Raff نیز این معیار را تحت عنوان فاصله‌ای که در آن تعداد فاصله‌های قبولی کوچک‌تر از مقداری مشخص برابر با تعداد فاصله‌های قبول نشده‌ی بزرگتر از آن فاصله باشد تعریف می‌کند [۱۲].

گستره‌ی زیاد تعاریف ذکر شده، نشان از اهمیت و پیچیدگی تعیین این معیار دارد. با جمع‌بندی و هضم این تعاریف، روشی جهت اندازه‌گیری این معیار در محل انتخاب گردید. در این روش، برای سه حرکت گردش به چپ از خیابان اصلی (اولویت دوم حرکت)، گردش به راست از خیابان فرعی (اولویت سوم حرکت) و گردش به چپ از خیابان فرعی (اولویت سوم حرکت) مقدار فاصله‌ی بحرانی مد نظر قرار گرفته‌شد. نحوه‌ی انجام مانورها به این صورت است که خودرویی که به تقاطع رسیده و قصد حرکت گردش دارد، بایستی سرعت خود را کم کرده و توقف کامل انجام دهد. پس از برآورد شخص راننده از شرایط ترافیکی و هندسی دو نوع حرکت قابل پیش‌بینی است. یکی آن‌که راننده فاصله‌ی ایجاد شده در جریان ترافیک را برای انجام حرکت خود مناسب دیده و حرکت خود را انجام می‌دهد. در این حالت اندازه‌گیری زمانی از لحظه‌ای که خودرو به ابتدای محل گردش می‌رسد آغاز می‌شود. اندازه‌گیری این زمان وقتی به پایان می‌رسد که خودرویی در مسیر اصلی (بالاترین حق تقدم) به محل اولیه‌ی خودروی گردش کننده نایل می‌گردد. در حالت دیگر راننده‌ای که قصد گردش دارد فاصله‌ی ایجاد شده در مسیر اصلی را ایمن قلمداد نکرده، و در حالت ایستاده باقی می‌ماند تا فاصله‌ی ایمن تر ایجاد شود. اندازه‌گیری زمان این عکس‌العمل از زمانی آغاز می‌شود که خودروی گردش کننده به تقاطع می‌رسد. زمان پایان این بازه‌ی زمانی نیز مانند حالت قبل لحظه‌ای است که خودروی واقع در مسیر اصلی به سپر جلوی وسیله‌ی نقلیه‌ی منتظر می‌رسد.

در نتیجه دو گروه از داده‌ها برای هر گردش در حق تقدم‌های دوم و سوم حاصل می‌گردد. فواصل زمانی که در آن رانندگان اقدام به عبور از تقاطع کرده‌اند و فواصل زمانی که در آن رانندگان از گذراندن تقاطع امتناع کرده‌اند حاصل این آمارگیری می‌باشد. این آمارگیری از آنجایی که بیش‌تر تابع خصوصیات رفتاری راننده (ریسک‌پذیری) و شرایط هندسی و محیطی تقاطع است در پنج روز و هر روز به مدت یک ساعت انجام پذیرفت. آمارگیر نیز بایستی موقعیتی را در تقاطع جهت

دائمی برای خودروهایی که قصد گردش دارند، و دیگری وجود فاصله عبوری یکسان که هر دو وسیله بتوانند حرکت خود را انجام دهند.

آنچه از مشاهدات ما برآمد حاکی از آن بود که این معیار به هیچ وجه در کشور ایران قابل اندازه گیری نیست. در موارد زیادی دیده شد که خودرویی که در صف وسایل نقلیه ای گردش کننده قرار دارد، حتی زودتر از خودروی جلوتر از خود اقدام به حرکت می کند. این رفتار باعث می گردد که زمان دنباله روی منفی اندازه گیری شود. همچنین در شرایط ایجاد صف، نوعی حرکت گروهی توسط رانندگان گردش کننده ایجاد می گردد که مانع از حرکت خودروها در اولویت بالاتر را سبب می شود و فرض اولیه ای استفاده از فاصله عبوری یکسان را زیر سوال می برد. در این تقاطع خاص همچنین در مدت زمان آمارگیری مشاهده شد که در مسیر فرعی هیچ گاه صفی از وسایل گردش کننده ایجاد نگردید و بدین ترتیب زمان دنباله روی برای این حالت اندازه گیری نشد.

۴- تحلیل داده ها

اولین گروه داده ها مربوط به حجم عبوری وسایل نقلیه و عابرین پیاده در بازه های زمانی پنج دقیقه ای می باشد. حجم های مربوط به وسایل نقلیه توسط فاکتور ساعت اوج برای در نظرگیری ترافیک ساعت اوج توسط رابطه (۱) اصلاح می گردند. در مراحل بعدی از حجم های اصلاحی جهت محاسبات استفاده می شود.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF} \quad (1)$$

که در آن:

v_i : نرخ جریان تقاضا برای حرکت i (veh/h)،

V_i : حجم تقاضا برای حرکت i (veh/h)،

PHF: فاکتور اصلاحی ساعت اوج.

۴-۱- محاسبه حجم های تداخلی

پس از مشخص شدن جریان های اصلاحی برای هر حرکت وسیله نقلیه، بایستی برای هر یک از حرکت های اولویت ۲ و ۳ که شامل گردش به چپ از خیابان اصلی (شماره ۲)، گردش به راست از خیابان فرعی (شماره ۹) و گردش به چپ از خیابان فرعی (شماره ۷)، حجم های تداخلی

محاسبه گردد. این عملیات بر اساس روش HCM ۲۰۱۰ انجام می پذیرد. توجه به این نکته که در تقاطع مورد نظر این مقاله، حرکات گردشی به صورت یک مرحله ای انجام می پذیرد حائز اهمیت است. جزئیات روابط و محاسبات مربوطه در پیوست (الف) ارائه شده است.

۴-۲- محاسبه فاصله عبور قابل قبول بحرانی

مقادیر مربوط به سرفاصله ای عبور بحرانی را به دلیل عدم رعایت استانداردها در کشور ایران نمی توان به طور مستقیم از HCM ۲۰۱۰ به دست آورد. لذا در این بخش چهار روش با محاسباتی ساده را جهت انتخاب این معیار شرح می دهیم.

۴-۲-۱- روش HCM ۲۰۱۰ در محاسبه فاصله ای عبور بحرانی

رابطه (۲) که برگردانی از رابطه ای ارائه شده در HCM ۲۰۱۰ می باشد، جهت محاسبه ای زمان قبول فاصله ای عبور بحرانی مورد استفاده قرار می گیرد. همان طور که دیده می شود ورودی های این رابطه شامل مشخصات هندسی و آمار حجمی وسایل نقلیه است. این ورودی ها که به عنوان ضرائب اصلاحی وارد عمل می شوند، مقدار فاصله ای عبور بحرانی پایه ای را که HCM ۲۰۱۰ آن را از جدولی استخراج می کند، تغییر می دهند. این مقادیر پایه برای حرکت های مختلف و شرایط هندسی مشخص شده ای تعریف گردیده اند و در آن ها باز هم فرض شده است حق تقدم حرکت خودروها رعایت می شود.

$$t_{c,x} = t_{c,base} + t_{c,HV} P_{HV} + t_{c,GG} - t_{\tau,LT} \quad (2)$$

که در آن:

$t_{c,x}$: سرفاصله ای عبوری بحرانی برای حرکت x (ثانیه)،

$t_{c,base}$: سرفاصله ای عبور پایه برای حرکت x (ثانیه)،

$t_{c,HV}$: فاکتور اصلاحی برای وسایل نقلیه سنگین (ثانیه)،

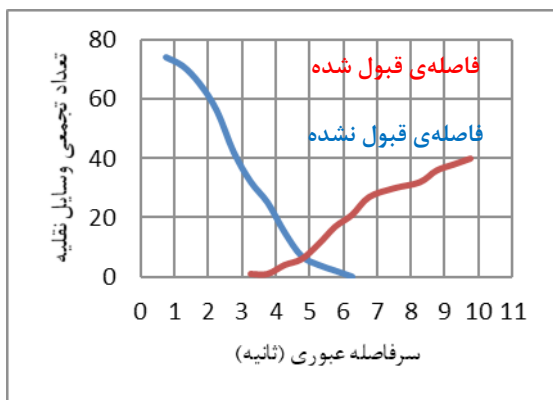
P_{HV} : درصد وسایل نقلیه سنگین،

$t_{c,G}$: فاکتور اصلاحی برای شیب،

G : عدد درصد شیب برای جهت حرکت x ،

t_{LT}, t_{τ} : فاکتور اصلاحی برای هندسه ای تقاطع.

همان طور که مشاهده می شود، هیچ یک از داده های اندازه گیری شده برای سرفاصله ای عبوری مورد استفاده قرار نمی گیرد.



(ب)

شکل ۲: مقادیر فاصله عبوری بحرانی در رویکرد اول؛ الف: حرکت گردش به چپ از خیابان اصلی، ب: حرکت گردش به چپ از خیابان فرعی



(الف)



(ب)

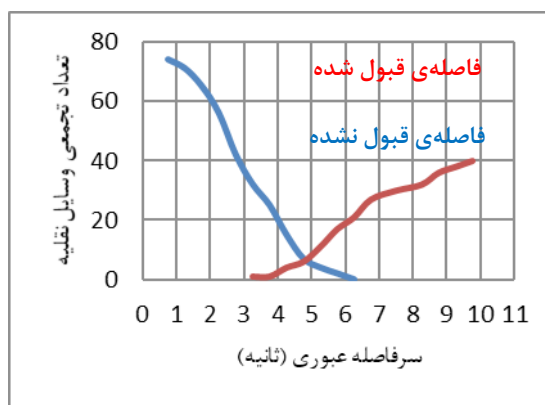
شکل ۳: نمودار فاصله عبوری بحرانی در رویکرد دوم روش Raff؛ الف: حرکت گردش به چپ از خیابان اصلی، ب: حرکت گردش به چپ از خیابان فرعی، ب: حرکت گردش به چپ از خیابان فرعی

۴-۲-۲- روش میانگین سرفاصله‌های عبوری قبول شده

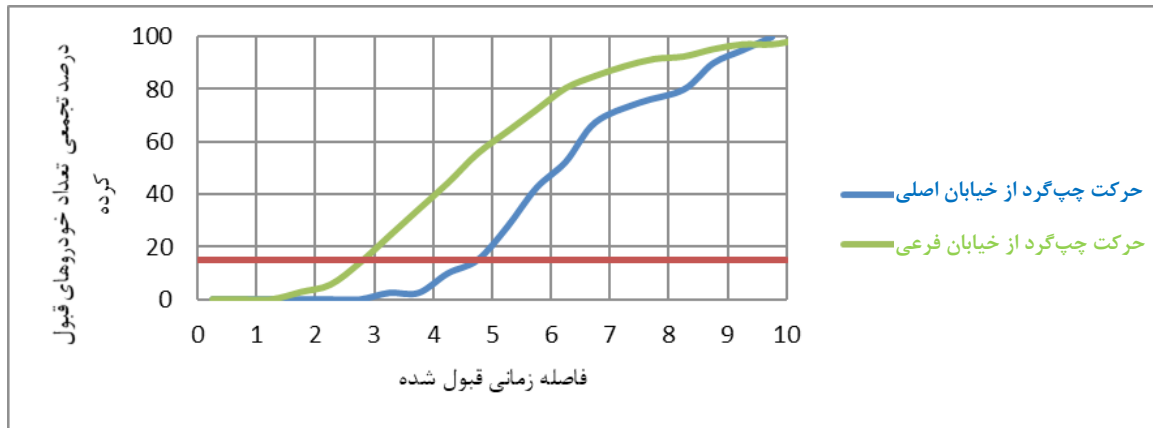
این روش محاسبه ساده‌ترین برآورد از آمار گردآوری شده می‌باشد. برای این منظور میانگین سرفاصله‌هایی که رانندگان آن‌ها را قبول کرده و حرکت خود را انجام داده‌اند محاسبه می‌شود. این معیار برآوردی از مقدار سرفاصله‌ی عبوری بحرانی را در اختیار نمی‌گذارد و تنها استفاده از آن مقایسه‌ی داده‌های دو تقاطع با خصوصیات مختلف می‌باشد. به دلیل سادگی این محاسبه، و تنها استفاده از آن برای زمان‌های سرفاصله‌ی قبول شده، به جامعه‌ی آماری بزرگی برای معنادار بودن این روش نیاز است [۱۳].

۴-۲-۳- روش Raff

این روش توسط Morton S. Raff در اواخر ۱۹۴۰ میلادی ارائه شد. این روش علاوه بر اینکه روشی مفهومی-منطقی برای محاسبه‌ی فاصله‌ی عبوری بحرانی قابل قبول است، از لحاظ محاسباتی نیز ساده می‌باشد. در این روش داده‌های زمانی گردآوری شده برای فواصل قبول شده و قبول نشده به صورت بازه‌هایی زمانی دسته‌بندی می‌شوند. تعداد داده‌ها برای هر بازه به طور مجزا شمارش می‌گردد. این تعداد برای فاصله‌های زمانی قبول شده به صورت تجمعی از بالا، و برای تعداد فاصله‌های زمانی قبول نشده به صورت تجمعی از پایین محاسبه می‌گردند [۱۲]. حال با دو رویکرد می‌توان به تفسیر نتایج پرداخت. رویکرد اول رسم داده‌های تجمعی سرفاصله‌های قبول شده و قبول نشده‌ی به دست آمده بر حسب میانه‌ی بازه‌های زمانی و سپس به دست آوردن محل تلاقی آن‌ها با یکدیگر می‌باشد. رویکرد دوم بیان این مقادیر تجمعی برای هر بازه‌ی زمانی به صورت درصدی از کل داده‌ها و سپس رسم نمودار گفته‌شده است. محل تلاقی در رویکرد دوم همواره در مقدار پنجاه درصد اتفاق می‌افتد.



(الف)



شکل ۴: نمودار فاصله عبور بحرانی در روش مقبولیت تجمعی

پیش‌تر اعلام شده بود می‌باشد [۱۶]. در این مقاله نیز از نسبت $0/6$ بین سرفاصله‌ی عبوری مورد قبول بحرانی و زمان دنباله‌روی جهت محاسبه‌ی زمان دنباله‌روی استفاده گردیده است.

۴-۴-۴- گزینش زمان فاصله‌ی عبور بحرانی و زمان دنباله‌روی

با توجه به زیربخش‌های ۲ و ۳، چهار مقدار مختلف برای زمان بحرانی قبول فاصله محاسبه گردید. از آنجایی که تعداد داده‌های گردآوری شده در انجام این مقاله به مقدار کافی برای دو روش Raff با رویکرد دوم و مقبولیت تجمعی نبود، و همچنین عدم استفاده از داده‌های گردآوری شده در روش HCM و کارا نبودن روش میانگین سرفاصله‌های قبول شده، روش Raff با رویکرد اول را گزینش کرده و زمان بحرانی قبول فاصله را به دست می‌آوریم. لازم به ذکر است زمان قبول سرفاصله‌ی مربوط به حرکت راست‌گرد از خیابان فرعی نیز به‌صورت درون‌یابی از مقادیر پایه‌ای ذکر شده در HCM 2010 تقریب زده شد. توجیه این امر را امکان‌ناپذیر بودن ثبت این زمان در محل به دلیل عدم رعایت مسئله‌ی توقف پیش از ورود به تقاطع توسط رانندگان می‌دانیم. همچنین همان‌طور که ذکر شد از ضریب $0/6$ برای به دست آوردن تقریبی از زمان دنباله‌روی استفاده می‌کنیم.

۴-۵- محاسبه‌ی زمان تاخیر و سطح خدمت‌دهی

پس از مشخص شدن حجم‌های تداخلی و زمان‌های بحرانی قبول فاصله و زمان دنباله‌روی، گام‌های محاسباتی ذکر شده در HCM 2010 را دنبال می‌کنیم [۱۰]. فرضیاتی که در انجام این مراحل با توجه به شرایط این تقاطع خاص در نظر گرفته شده‌است به منوال زیر می‌باشد:

حال آن‌که رویکرد دوم زمانی دقیق‌تر خواهد بود که تعداد داده‌های گردآوری شده برای سرفاصله‌های قبول شده و قبول نشده نزدیک به یکدیگر باشد. اشکال (۲) و (۳) نمودارهای مربوط به رویکرد اول و دوم برای حرکت‌های گردش به چپ از خیابان اصلی و فرعی برای تقاطع مورد بررسی را نشان می‌دهند.

۴-۲-۴- روش مقبولیت تجمعی

این روش توسط Thomas R. Curiin ارائه شده‌است. نحوه‌ی مشخص نمودن فاصله‌ی عبور بحرانی به گونه‌ای محاسبه می‌گردد که ۸۵ درصد رانندگان سرفاصله‌ی مورد نظر را قبول کنند [۱۴]. برای این منظور نمودارهای تجمعی را بر حسب درصد برای سرفاصله‌های قبول شده رسم می‌کنیم. مقدار سرفاصله‌ی متناسب با ۱۵ درصد همان مقدار تعریف شده می‌باشد. این روش نیز تنها از داده‌های مربوط به سرفاصله‌های قبول شده استفاده می‌نماید، به همین دلیل به جامعه‌ی آماری بزرگتری برای اطمینان از دقت آن نیاز است. شکل (۴) نمونه‌ای از این محاسبات را بر روی نموداری برای حرکت‌های گردش به چپ از خیابان اصلی و فرعی را در تقاطع مورد بررسی به نمایش می‌گذارد.

۴-۳- تعیین زمان دنباله‌روی

به دلیل مشکلات اشاره شده در متن این مقاله، امکان گردآوری داده برای تخمین این کمیت در محل امکان‌پذیر نبود. طی مطالعات انجام شده توسط محققین مختلف عنوان شده‌است که نسبتی برابر با $0/6$ میان زمان دنباله‌روی و زمان بحرانی قبول سرفاصله وجود دارد ([۸] و [۱۵]). این نسبت بعد تر توسط دیگر محققان مورد آزمون قرار گرفت و مشخص گردید این نسبت بین $0/4$ تا $0/9$ متغیر بوده اما تمرکز آن بر مقدار $0/6$ که

جدول ۱: خلاصه‌ی آمارگیری و محاسبات مربوط به زمان تاخیر

| No | Volume (veh/hr) | HV% | PHF | Conflicting Volumes (v_c) | Grade (%) | Critical Headway (t_c) | Follow-up Headway (t_f) | Delay (sec.) | LOS |
|----|-----------------|------|--------|-------------------------------|-----------|----------------------------|-----------------------------|--------------|-----|
| ۲ | ۱۰۷۰ | ۱,۰۳ | ۰,۸۹۴۶ | - | ۳ | - | - | ۲,۳۸ | A |
| ۳ | ۹۲ | ۰ | ۰,۶۹۶۹ | - | ۳ | - | - | ۲,۳۸ | A |
| ۴ | ۱۸۳ | ۰,۵۵ | ۰,۸۱۶۹ | ۱۳۸۲ | ۳- | ۲,۸ | ۱,۶۸ | ۹,۶۸ | A |
| ۵ | ۹۷۸ | ۱,۴۳ | ۰,۸۷۰۱ | - | ۳- | - | - | ۲,۳۸ | A |
| ۷ | ۶۸ | ۲,۹۴ | ۰,۷۳۹۱ | ۲۳۴۸ | ۴,۵ | ۴,۸ | ۲,۸۷۹۸۸ | ۱۶۹ | F |
| ۹ | ۱۹۱ | ۱,۰۵ | ۰,۸۰۹۳ | ۷۱۸ | ۴,۵ | ۴,۶۵ | ۲,۷۸۸۸ | ۱۳,۳۴ | B |

۵- نتیجه‌گیری

تقاطع‌های بدون چراغ از بحرانی‌ترین رده‌های عملکردی ترافیکی به شمار می‌روند. وجود حرکات تداخلی و وابستگی شدید انجام گردش‌ها به تصمیم‌گیری و ریسک‌پذیری رانندگان گردآوری و تحلیل اطلاعات مربوطه را دشوار می‌سازد. با این وجود روش‌هایی میدانی برای اندازه‌گیری متغیرهای اصلی آن توسط محققین و کتب مرجع مختلف ارائه شده است. علاوه بر آمار ساعتی جریان عبوری از تقاطع در ساعت غیر اوج و مشخصات هندسی آن، متغیر سرفاصله‌ی عبوری قابل قبول بحرانی نیز بایستی در محل ثبت شوند. در نهایت با در دست داشتن این داده‌های ورودی، با استفاده از روش HCM۲۰۱۰ در به دست آوردن تاخیر حرکت‌های مختلف وسایل نقلیه توانستیم سطح خدمت‌دهی را برای هر یک محاسبه نماییم.

قسمت اعظم این مقاله به ارائه‌ی روش اندازه‌گیری سرفاصله‌ی قابل قبول بحرانی و سه روش تحلیل و ارزیابی این اطلاعات اختصاص یافت. همانطور که مشاهده شد، مقادیر به دست آمده با آنچه به عنوان استاندارد در HCM۲۰۱۰ ذکر شده بود تفاوت چشم‌گیری دارد. عدم رعایت قوانین راهنمایی و حق تقدم در کشور ایران، پیچیدگی تحلیل را دو چندان می‌کند؛ علاوه بر غیر قابل پیش‌بینی بودن ریسک‌پذیری رانندگان در شرایط استاندارد، عدم رعایت حق تقدم در ایران (شرایط غیر استاندارد) باعث اضافه شدن چندین متغیر تصادفی دیگر به مسئله می‌گردد. اعداد به دست آمده در این تحقیق برای سرفاصله‌ی قابل قبول بحرانی به مقدار زیادی از آنچه به صورت استاندارد از روش HCM۲۰۱۰ به دست می‌آید کمتر است. این امر نشان‌دهنده‌ی ریسک‌پذیری بسیار بالاتر رانندگان در ایران می‌باشد. کمتر بودن این مقدار در محاسبات تاثیر

- تقاطع به صورت منفرد عمل می‌کند، چرا که فاصله‌ی نزدیک‌ترین تقاطع چراغ‌دار با آن بیش از ۴۰۰ متر می‌باشد.
 - نحوه‌ی رسیدن خودروها در مسیر اصلی به تقاطع به صورت اتفاقی می‌باشد.
 - هیچ خودرویی در محل تقاطع حرکت U-شکل انجام نداده است.
 - در خیابان اصلی، مسیر ویژه‌ای برای گردش به چپ وجود ندارد.
 - در خیابان فرعی، حرکت‌های گردش به چپ و راست از دو باند متفاوت استفاده می‌کنند.
 - به دلیل عدم وجود میانه، گردش‌ها به صورت تک مرحله‌ای انجام می‌پذیرند.
 سپس وارد مرحله‌ی محاسبات به ترتیب زیر می‌شویم:

- محاسبه‌ی ظرفیت بالقوه^۱.
- محاسبه‌ی ظرفیت حرکتی^۲ برای اولویت‌های متفاوت.
- محاسبه‌ی تاثیر حرکت اشتراکی گردش به چپ و مستقیم در مسیر اصلی.
- محاسبه‌ی تاخیر کنترلی برای هر یک از حرکت‌ها، هر یک از مسیرها و کل تقاطع.
- محاسبه‌ی طول ۹۵ درصدی صف.

جدول (۱) خلاصه‌ای از آمارگیری و نتایج محاسبات را نشان می‌دهد. جزئیات محاسبات در پیوست (الف) آورده شده است.

1 Potential Capacity

2 Movement Capacity

- 8- Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, 1985, Published by the National Research Council, Washington D.C.
- 9- Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, 1994, Published by the National Research Council, Washington D.C.
- 10- Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, 2010, Published by the National Research Council, Washington D.C.
- 11- Ashton, W. D., 1971, Gap Acceptance Problem at A Traffic Intersection. Applied Statistics, Vol. 20, No.2, pp. 130-138.
- 12- Raff, M. S., Hart, J. W., 1950, A Volume Warrant For Urban Stop Sign. Traffic Engineering and Control, pp. 255-258.
- 13- Tupper, S. M., Knodler, M. A., 2013, Estimating Critical Gap - A Comparison of Methodologies Using A Robust, Real-World Data Set. Prepared for The 92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., U.S.A.
- 14- Currin, Thomas R., 2001, entitled Traffic Engineering: A Manual for Data Collection and Analysis. Canada.
- 15- Brilon, W., 1988, Recent Development for Unsignalized Intersections in West Germany. Intersections without Traffic Signals, Germany, pp. 114.
- 16- Tiang, Zong Z., Troutbeck, R., Kyte, M., Brilon, W., 2000, A Further Investigation on Critical Gap and Follow-Up Time. 4th International Symposium on Highway Capacity, Washington D.C., U.S.A., pp. 397-408.

مثبتی از خود به جای می‌گذارد، اما از دیدگاه ایمنی چنین آماری غیر قابل قبول است. شایان ذکر است، تداخل وسایل نقلیه در ناحیه‌ی میانی تقاطع‌ها در ایران را توسط هیچ‌یک از فاکتورهای اشاره شده در مقالات و کتب مرجع نمی‌توان یافت. بدین ترتیب سطح خدمت‌دهی حقیقی در تقاطع مورد بررسی پایین‌تر از مقداری است که در محاسبات این تحقیق آورده‌شد.

۶- مراجع

- 1- Kittleson, W. K., and Vandehey, M. A., 1991, Delay Effects on Driver Gap Acceptance Characteristics at Two-way Stop Controlled Intersections. Transportation Research Record 1320, Washington D.C., U.S.A., pp. 154-159.
- 2- Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, 2000, Published by the National Research Council, Washington D.C.
- 3- Rene Lord-Attivor, Manoj K. Jha, 2012, Modeling Gap Acceptance and Driver Behavior at Stop Controlled (Priority) Intersections in Developing Countries. 6th WSEAS International Conference on Computer Engineering, Cambridge, MA., U.S.A., pp. 29-38.
- 4- Fitzpatric, K., 1991, Gap Acceptance at Stop-Controlled Intersections,. Transportation Research Record 1303, Washington D.C., U.S.A., pp. 103-112.
- 5- Golias, J. and Kanellaidis, G. C., 1990, Estimation of Driver Behavior Model Parameters. ASCE, Journal of Transportation Engineering, Vol. 116, No. 2.
- 6- Hewitt, R. H., 1985, A Comparison Between Some Methods of Measuring Critical Gap. Traffic Engineering and Control, Vol. No. 1, pp. 13-22.
- 7- Hewitt, R. H., 1983, Measuring Critical Gap. Transportation Science, Vol. 17, No. 1, pp. 87-109.

پیوست "الف"

همچنین در جداول (۲-پ) و (۳-پ) اطلاعات جمع‌آوری شده برای محاسبه‌ی زمان‌های فاصله‌ی عبور بحرانی و زمان دنباله‌روی نمایش داده شده‌است. از این اطلاعات شامل زمان‌های خام اندازه‌گیری شده، مقادیر تجمعی از بالا برای زمان‌های قبول شده و تجمعی از پایین برای زمان‌های قبول نشده، برای رسم نمودارهای نشان‌داده شده در شکل‌های (۲) و (۳) بهره‌جسته‌ایم.

در این بخش به درج جزئیات محاسبات انجام شده توسط روش HCM۲۰۱۰ می‌پردازیم. برای این منظور ابتدا اطلاعات ورودی را در جداول (۱-پ) تا (۳-پ) نشان می‌دهیم. جدول (۱-پ) مربوط به آمار گرفته شده‌ی حجمی برای هر یک از حرکت‌های نشان‌داده شده در شکل (۱) می‌باشد. با استفاده از این اطلاعات فاکتور ساعت اوج (PHF) قابل اندازه‌گیری است.

جدول ۱-پ: جزئیات آمار گرفته شده و محاسبات مربوط به فاکتور ساعت اوج

| شماره حرکت | نوع حجم | زمان (دقیقه) | | | | | |
|------------|----------|--------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | ۵:۰۰-۰:۰۰ | ۱۰:۰۰-۵:۰۰ | ۱۵:۰۰-۱۰:۰۰ | ۲۰:۰۰-۱۵:۰۰ | ۲۵:۰۰-۲۰:۰۰ | ۳۰:۰۰-۲۵:۰۰ |
| ۲ | سواری | ۸۵ | ۹۳ | ۷۵ | ۷۸ | ۸۹ | ۹۰ |
| | درصد | ۰ | ۱ | ۲ | ۱ | ۰ | ۱ |
| | ساعت اوج | ۱۰۲۴ | | | ۱۰۳۶ | | |
| ۳ | سواری | ۶ | ۲ | ۶ | ۶ | ۶ | ۸ |
| | درصد | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| | ساعت اوج | ۵۶ | | | ۸۰ | | |
| ۵ | سواری | ۴۹ | ۶۳ | ۷۵ | ۷۲ | ۹۱ | ۱۱۳ |
| | درصد | ۰ | ۰ | ۳ | ۱ | ۲ | ۲ |
| | ساعت اوج | ۷۶۰ | | | ۱۱۲۴ | | |
| ۴ | سواری | ۲۱ | ۹ | ۱۰ | ۹ | ۱۸ | ۱۸ |
| | درصد | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۰ |
| | ساعت اوج | ۱۶۰ | | | ۱۸۴ | | |
| ۷ | سواری | ۱ | ۳ | ۵ | ۲ | ۷ | ۴ |
| | درصد | ۱ | ۰ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ |
| | ساعت اوج | ۴۰ | | | ۵۶ | | |
| ۹ | سواری | ۱۴ | ۱۷ | ۱۳ | ۱۷ | ۱۱ | ۱۲ |
| | درصد | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| | ساعت اوج | ۱۸۰ | | | ۱۶۰ | | |
| ۱۵ | پیاده | ۲ | ۵ | ۶ | ۳ | ۶ | ۷ |
| ۱۳ | پیاده | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۷ | ۶ |

جدول ۱-پ (ادامه): جزئیات آمار گرفته شده و محاسبات مربوط به فاکتور ساعت اوج

| شماره حرکت | نوع حجم | زمان | | | | | | مجموع ماکسیمم | PHF | % HV |
|------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|-------|-------|
| | | ۳۰:۰۰-۳۵:۰۰ | ۳۵:۰۰-۴۰:۰۰ | ۴۰:۰۰-۴۵:۰۰ | ۴۵:۰۰-۵۰:۰۰ | ۵۰:۰۰-۵۵:۰۰ | ۵۵:۰۰-۶۰:۰۰ | | | |
| ۲ | سواری | ۹۱ | ۸۸ | ۱۱۵ | ۷۰ | ۱۲۲ | ۶۳ | ۱۰۷۰ | ۰,۸۹۴ | ۱,۰۲۸ |
| | درصد | ۴ | ۰ | ۱ | ۱ | ۰ | ۰ | | | |
| | ساعت اوج | ۱۱۹۶ | | | ۱۰۲۴ | | | | | |
| ۳ | سواری | ۱۴ | ۱۲ | ۷ | ۶ | ۷ | ۱۲ | ۹۲ | ۰,۶۹۶ | ۰ |
| | درصد | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | | | |
| | ساعت اوج | ۱۳۲ | | | ۱۰۰ | | | | | |
| ۵ | سواری | ۹۱ | ۸۶ | ۹۰ | ۹۰ | ۷۷ | ۶۷ | ۹۷۸ | ۰,۸۷۰ | ۱,۴۳۱ |
| | درصد | ۲ | ۰ | ۱ | ۰ | ۲ | ۱ | | | |
| | ساعت اوج | ۱۰۸۰ | | | ۹۴۸ | | | | | |
| ۴ | سواری | ۱۳ | ۱۶ | ۱۲ | ۱۹ | ۲۴ | ۱۳ | ۱۸۳ | ۰,۸۱۷ | ۰,۵۴۶ |
| | درصد | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | | | |
| | ساعت اوج | ۱۶۴ | | | ۲۲۴ | | | | | |
| ۷ | سواری | ۴ | ۸ | ۹ | ۶ | ۷ | ۱۰ | ۶۸ | ۰,۷۳۹ | ۲,۹۴۱ |
| | درصد | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | | | |
| | ساعت اوج | ۸۴ | | | ۹۲ | | | | | |
| ۹ | سواری | ۱۴ | ۱۷ | ۱۶ | ۱۴ | ۲۰ | ۲۴ | ۱۹۱ | ۰,۸۰۹ | ۱,۰۴۷ |
| | درصد | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | | | |
| | ساعت اوج | ۱۸۸ | | | ۲۳۶ | | | | | |
| ۱۵ | پیاده | ۲ | ۲ | ۵ | ۴ | ۶ | ۶ | ۵۴ | | |
| ۱۳ | پیاده | ۱ | ۰ | ۴ | ۰ | ۲ | ۲ | ۲۲ | | |

مقادیر بولد شده مربوط به انتخاب بیشینه حجم ساعتی منظور شده می‌باشد.

جدول ۲-پ: زمان‌های ثبت شده برای محاسبه‌ی فاصله‌ی بحرانی در حرکت گردش به چپ از خیابان فرعی

| گردش به چپ از خیابان فرعی | | | | | |
|---------------------------|-------|------------------------|------|------|------|
| زمان قبول شده (ثانیه) | | زمان قبول نشده (ثانیه) | | | |
| ۳,۱۲ | ۶,۷۲ | ۰,۶۵ | ۲,۳۴ | ۳,۳۳ | ۴,۸۹ |
| ۴,۲۲ | ۶,۸۵ | ۱ | ۲,۳۵ | ۳,۴ | ۵,۰۸ |
| ۴,۴۴ | ۶,۹ | ۱ | ۲,۳۵ | ۳,۴۲ | ۵,۳۳ |
| ۴,۴۶ | ۶,۹۱ | ۱,۰۱ | ۲,۳۶ | ۳,۵۱ | ۵,۶۵ |
| ۴,۶۵ | ۷,۷ | ۱,۰۶ | ۲,۳۹ | ۳,۶۳ | ۵,۹۱ |
| ۴,۹۸ | ۷,۷۴ | ۱,۱۸ | ۲,۳۹ | ۳,۶۶ | ۷,۱۲ |
| ۵,۰۶ | ۸ | ۱,۲۳ | ۲,۴۵ | ۳,۷۱ | ۷,۲ |
| ۵,۱ | ۸,۰۷ | ۱,۲۶ | ۲,۴۶ | ۳,۸۳ | |
| ۵,۱۶ | ۸,۳۸ | ۱,۳۲ | ۲,۴۶ | ۳,۸۴ | |
| ۵,۲۳ | ۸,۵۸ | ۱,۵۳ | ۲,۵ | ۳,۸۷ | |
| ۵,۳۸ | ۸,۵۸ | ۱,۵۷ | ۲,۵۱ | ۳,۸۸ | |
| ۵,۵۳ | ۸,۶ | ۱,۶ | ۲,۵۳ | ۳,۸۹ | |
| ۵,۵۸ | ۸,۸۲ | ۱,۶۶ | ۲,۶۸ | ۳,۹۱ | |
| ۵,۶ | ۹,۲ | ۱,۸۴ | ۲,۷۹ | ۴,۰۲ | |
| ۵,۶۵ | ۹,۲۲ | ۱,۸۸ | ۲,۸۱ | ۴,۰۶ | |
| ۵,۹۵ | ۹,۶۱ | ۱,۹ | ۲,۸۲ | ۴,۰۶ | |
| ۵,۹۸ | ۱۰ | ۱,۹۴ | ۲,۸۵ | ۴,۱۱ | |
| ۶,۱ | ۱۰,۳۳ | ۱,۹۵ | ۲,۹۲ | ۴,۲۲ | |
| ۶,۱۶ | ۱۱,۰۲ | ۲,۰۳ | ۲,۹۶ | ۴,۲۳ | |
| ۶,۲۷ | ۱۱,۴ | ۲,۱۷ | ۳ | ۴,۳۲ | |
| ۶,۳۷ | ۱۲,۲۵ | ۲,۲۲ | ۳,۱۸ | ۴,۴۳ | |
| ۶,۶۶ | ۱۲,۷۸ | ۲,۲۴ | ۳,۲ | ۴,۵۷ | |
| ۶,۶۷ | ۱۳,۳۹ | ۲,۲۷ | ۳,۲۲ | ۴,۶۴ | |
| میانگین (ثانیه) | | | | | |
| ۷,۲۹ | | | | | |

فرعی، برای آنکه تخمینی از زمان‌های کلیدی این حرکت داشته باشیم از درون‌یابی و مقایسه‌ی اعداد پایه‌ی HCM برای حرکات گردش به چپ و راست از خیابان فرعی استفاده کردیم. به این صورت که با استفاده از t_{cb} ‌های اندازه‌گیری شده، مقادیر t_{cb} مربوطه را محاسبه کردیم. با مقایسه‌ی این مقادیر پایه توانستیم تخمین مورد نظر را انجام دهیم. در انجام محاسبات HCM، از رابطه‌ی (۲) بهره جستیم.

نتایج نهایی محاسبات مربوط به زمان‌های عبور بحرانی بر اساس آنچه در بدنه‌ی اصلی مقاله آمده‌است را به‌صورت خلاصه در جدول (۴-پ) وارد نموده‌ایم. همان‌طور که گفته شد مقادیر محاسبه‌شده در روش Raff با رویکرد اول به عنوان تخمین نهایی از پارامتر کلیدی فاصله‌ی عبور بحرانی انتخاب گردید. علاوه بر این ذکر این مهم لازم است که به دلیل عدم امکان ثبت زمان‌های مربوط به حرکت گردش به راست از خیابان

جدول ۳-پ: زمان‌های ثبت شده برای محاسبه‌ی فاصله‌ی بحرانی در حرکت گردش به چپ از خیابان فرعی

| گردش به چپ از خیابان اصلی | | | | | | | | |
|---------------------------|------|------|------|------|-----------------------|------|------|------|
| زمان قبول نشده (ثانیه) | | | | | زمان قبول شده (ثانیه) | | | |
| ۱,۶۳ | ۳,۳۴ | ۴,۴ | ۵,۵ | ۷ | ۰,۶ | ۱,۳۳ | ۱,۹۷ | ۳,۸ |
| ۱,۹۳ | ۳,۳۵ | ۴,۴ | ۵,۶ | ۷,۱۱ | ۰,۶ | ۱,۳۴ | ۱,۹۸ | ۳,۹۱ |
| ۱,۹۵ | ۳,۴ | ۴,۵ | ۵,۷ | ۷,۱۷ | ۰,۶۷ | ۱,۳۵ | ۲ | ۴,۱ |
| ۲,۱۱ | ۳,۵ | ۴,۵۶ | ۵,۷۱ | ۷,۲ | ۰,۷ | ۱,۴ | ۲ | |
| ۲,۱۴ | ۳,۵۴ | ۴,۵۷ | ۵,۸ | ۷,۵ | ۰,۷۹ | ۱,۴ | ۲,۲ | |
| ۲,۴ | ۳,۶ | ۴,۷ | ۵,۸۳ | ۷,۵ | ۰,۸ | ۱,۴ | ۲,۲ | |
| ۲,۵۵ | ۳,۶۵ | ۴,۷ | ۵,۸۶ | ۷,۷ | ۰,۸۵ | ۱,۴۵ | ۲,۲ | |
| ۲,۶ | ۳,۷ | ۴,۷ | ۵,۸۶ | ۸,۲۵ | ۰,۸۶ | ۱,۴۷ | ۲,۳ | |
| ۲,۶۴ | ۳,۸ | ۴,۷۱ | ۵,۹ | ۸,۶ | ۰,۹ | ۱,۴۷ | ۲,۴ | |
| ۲,۶۵ | ۳,۸۲ | ۴,۷۳ | ۶ | ۸,۹ | ۰,۹ | ۱,۵ | ۲,۴ | |
| ۲,۷ | ۳,۸۶ | ۴,۷۶ | ۶ | ۸,۹۱ | ۰,۹ | ۱,۵ | ۲,۶ | |
| ۲,۷۶ | ۳,۹ | ۴,۸ | ۶,۰۴ | ۹,۱ | ۰,۹۶ | ۱,۵ | ۲,۶ | |
| ۲,۸ | ۳,۹ | ۴,۸ | ۶,۱ | ۹,۳ | ۰,۹۹ | ۱,۵ | ۲,۷ | |
| ۲,۹۴ | ۳,۹۱ | ۴,۹ | ۶,۱ | ۱۰,۳ | ۱ | ۱,۵ | ۲,۷ | |
| ۲,۹۵ | ۴ | ۵ | ۶,۲ | ۱۰,۳ | ۱ | ۱,۵ | ۲,۷ | |
| ۳ | ۴ | ۵ | ۶,۲۴ | ۱۰,۶ | ۱ | ۱,۵۳ | ۳ | |
| ۳,۲ | ۴ | ۵ | ۶,۲۶ | ۱۱ | ۱,۰۷ | ۱,۷ | ۳,۲ | |
| ۳,۲ | ۴,۰۷ | ۵ | ۶,۴۸ | - | ۱,۱ | ۱,۷۱ | ۳,۲ | |
| ۳,۲ | ۴,۱ | ۵ | ۶,۵ | - | ۱,۱۲ | ۱,۸ | ۳,۳ | |
| ۳,۲۸ | ۴,۲ | ۵,۲ | ۶,۷ | - | ۱,۱۶ | ۱,۸ | ۳,۵ | |
| ۳,۳ | ۴,۲ | ۵,۳ | ۷ | - | ۱,۲ | ۱,۸ | ۳,۵ | |
| ۳,۳ | ۴,۳ | ۵,۳ | ۷ | - | ۱,۲ | ۱,۸۴ | ۳,۵ | |
| ۳,۳۲ | ۴,۳ | ۵,۳۱ | ۷ | - | ۱,۲ | ۱,۹۱ | ۳,۷ | |
| میانگین (ثانیه) | | | | | | | | |
| ۵,۰۴۸ | | | | | | | | |

شکل (۱-پ) نیز برگردانی از شکل (۱) می‌باشد تا با استفاده از آن بتوانیم جزئیات اولویت‌بندی را پیش از انجام محاسبات به همراه شماره حرکات آن‌ها ذکر کنیم:

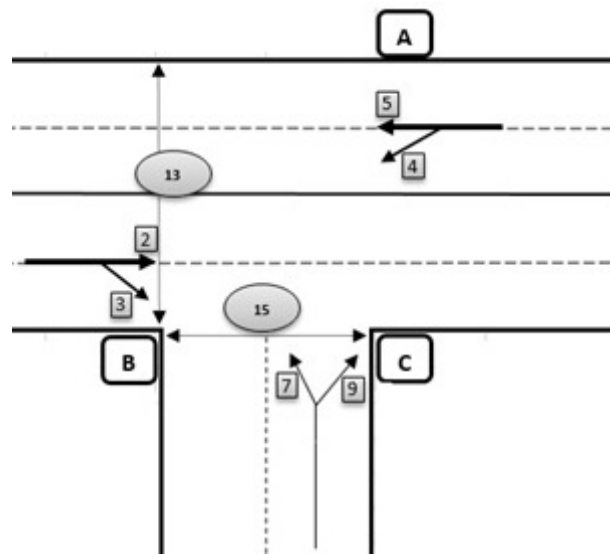
همچنین در جدول (۵-پ) مشخصات هندسی اندازه‌گیری شده در تقاطع را وارد نموده‌ایم. از آنجایی که در محاسبات زمان بحرانی در روش HCM و به دست آوردن مقادیر پایه‌ای (بر اساس رابطه‌ی (۲)) نیاز به مشخصاتی چون شیب مسیرهای منتهی به تقاطع است، به بیان آن توجه کردیم.

جدول ۴-پ: خلاصه نتایج مربوط به مقادیر فاصله‌ی عبوری بحرانی قابل قبول

| فاصله‌ی عبوری بحرانی قابل قبول شده (t_c) بر حسب ثانیه | | | |
|---|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| روش محاسبه | گردش به چپ از خیابان اصلی | گردش به چپ از خیابان فرعی | گردش به راست از خیابان فرعی |
| HCM | ۴.۱۱ | ۷.۷۵۸ | ۷.۳۷۱ |
| Raff رویکرد اول | ۲.۸ | ۴.۸ | ۴.۶۵ |
| Raff رویکرد دوم | ۲.۶ | ۴.۹ | - |
| مقبولیت تجمعی | ۲.۸ | ۲.۷۵ | - |

جدول ۵-پ: مشخصات هندسی تقاطع

| Approach | Width(ft) | Grade | Lanes |
|------------|-----------|-------|-------|
| Major(E-W) | ۴۳ | -۳% | ۲ |
| Major(W-E) | ۴۳ | ۳% | ۲ |
| Minor | ۳۶ | ۴.۵۰% | ۱ |



شکل ۱-پ: برگردان شکل (۱) مربوط به پلان تقاطع و شماره‌ی حرکات

در ادامه به روند انجام محاسبات مربوط به تاخیر کنترلی و تعیین سطح خدمت‌دهی به وسیله‌ی روش HCM ۲۰۱۰ خواهیم پرداخت.

پ-۱- محاسبه‌ی جریان‌های تداخلی

از دیگر پارامترهای درگیر در محاسبه‌ی تاخیر کنترلی حجم‌های تداخلی با حرکات با اولویت‌های دوم و سوم (حرکات شماره‌ی ۴، ۷ و ۹) می‌باشد. طبق روابط ذکر شده، این مقادیر را محاسبه می‌نماییم.

اولویت اول؛ شامل حرکت‌های مستقیم در مسیر اصلی (شماره‌های ۲ و ۵)، گردش به راست از خیابان اصلی (شماره‌ی ۳) و حرکت عابرین پیاده از خیابان فرعی (شماره‌ی ۱۵) می‌باشد.

اولویت دوم؛ شامل حرکت گردش به چپ از مسیر اصلی (شماره‌ی ۴)، گردش به راست از خیابان فرعی (شماره‌ی ۹) و حرکت عابرین پیاده از خیابان اصلی (شماره‌ی ۱۳) می‌باشد.

اولویت سوم؛ شامل حرکت گردش به چپ از خیابان فرعی (شماره‌ی ۷) می‌باشد.

حرکات رتبه‌ی ۱ (مربوط به مسیر مستقیم در راه اصلی) دچار هیچ گونه ممانعت نمی‌گردند. همچنین فرض گردیده است که تاثیر عابر پیاده قابل صرف نظر کردن است، چرا که خودروها می‌توانند با انجام مانور از درگیری با عابر پیاده جلوگیری کنند. در نتیجه خواهیم داشت:

برای حرکت گردش به چپ از خیابان اصلی و فرعی (شماره‌ی ۴ و ۹) ظرفیت حرکتی برابر با ظرفیت بالقوه می‌باشد.

(پ-۵)

$$c_{m,j} = c_{p,j}$$

که در آن:

$c_{m,j}$: ظرفیت حرکتی برای حرکت (p.c/hr) (j).

در حالی که برای حرکت گردش به چپ از خیابان فرعی (شماره‌ی ۷) بایستی حاصل ضرب احتمالاتی که جریان‌های تداخلی اولویت ۲ در شرایط بدون صف قرار بگیرند را مد نظر قرار داد. در حالت تقاطع T-شکل جریان چپ‌گرد از خیابان فرعی، که آن را با حرکت شماره‌ی ۷ نمایش دادیم، تنها تحت تاثیر احتمال فوق‌الذکر توسط حرکت تداخلی گردش به چپ از خیابان اصلی، یعنی حرکت شماره‌ی ۴، قرار می‌گیرد.

$$p_{,4} = 1 - \frac{v_{4}}{c_{m,4}} \quad (\text{پ-۶})$$

که در آن:

$p_{,4}$: احتمال آنکه حرکت شماره‌ی ۴ در حالت بدون صف گردش خود را انجام دهد.

به این ترتیب می‌توان ظرفیت حرکتی را برای حرکت شماره‌ی ۷ به صورت رابطه‌ی (پ-۷) بیان کرد.

$$c_{m,7} = c_{p,7} p_{,4} \quad (\text{پ-۷})$$

با انجام فرضیات معقول و متناسب با طرح هندسی تقاطع، در بخش بعدی وارد محاسبات مربوط به تاخیر کنترلی می‌گردیم. این فرضیات به شرح زیر هستند:

- به دلیل وجود یک باند عریض در مسیر فرعی، عملاً وسایل نقلیه‌ی گردش به راست و چپ در آن به صورت جداگانه حرکات خود را انجام می‌دهند.

- گشادشدگی در نقاط پیوند تقاطع وجود ندارد.

$$v_{c,4} = v_2 + v_3 + v_{15} \quad (\text{پ-۱})$$

$$v_{c,7} = 2(v_1 + v_4) + v_2 + 0.5(v_3 + v_5) + v_{15} + v_{13} \quad (\text{پ-۲})$$

$$v_{c,9} = v_2 + 0.5v_3 + v_{14} + v_{15} \quad (\text{پ-۳})$$

که در آن‌ها:

v_i : جریان حرکت (p.c/hr) (i)،

$v_{c,x}$: جریان تداخلی با حرکت شماره‌ی (p.c/hr) (x).

لازم است ذکر شود به دلیل عدم وجود میانه در مسیر اصلی، حرکات گردش به صورت یک مرحله‌ای انجام پذیرفتند. نتایج محاسبات در جدول نهایی قابل مشاهده خواهد بود. طبق آنچه در HCM گفته شده است، در حرکات یک مرحله‌ای، روابط مربوط به هر یک از مراحل حرکت (Stage I و Stage II) بایستی با یکدیگر اداکام شوند. رابطه‌ی (پ-۲) نتیجه‌ی این اداکام می‌باشد.

پ-۲- محاسبه‌ی ظرفیت بالقوه

ظرفیت بالقوه با در نظرگیری دو فرض اساسی که هر یک از حرکات با اولویت ۲ و ۳ گردش خود را به صورت اختصاصی انجام داده و توسط حرکت‌های با اولویت بالاتر مورد ممانعت قرار نمی‌گیرند محاسبه شده و در مراحل بعدی توسط روابطی تصحیح می‌گردند. رابطه‌ی (پ-۴) محاسبه‌گر این پارامتر است.

$$c_{p,x} = v_{c,x} \frac{e^{-v_{c,x} t_{c,x} / 3600}}{1 - e^{-v_{c,x} t_{f,x} / 3600}} \quad (\text{پ-۴})$$

که در آن:

$c_{p,x}$: ظرفیت بالقوه برای حرکت (p.c/hr) (x)،

$t_{c,x}$: مقدار فاصله‌ی بحرانی برای حرکت x (ثانیه)،

$t_{f,x}$: مقدار زمان دنباله‌روی برای حرکت x (ثانیه).

مقادیر ورودی در این رابطه همگی پیشتر تعریف شده‌اند. تنها به ذکر این نکته بسنده می‌کنیم که مقدار زمان دنباله‌روی همانطور که در بدنه‌ی اصلی مقاله نیز گفته شد، برابر با ۰/۶ مقدار زمان بحرانی عبور در نظر گرفته شد.

پ-۳- محاسبه‌ی ظرفیت حرکتی

برای تصحیح دو فرض ذکر شده در محاسبه‌ی ظرفیت بالقوه، در این قسمت پارامتر دیگری با نام ظرفیت حرکتی (Movement Capacity) معرفی می‌شود. در HCM ۲۰۱۰ فرض شده است

پ-۴- محاسبه‌ی تاخیر

معیاری که با آن سطح خدمت‌دهی سنجیده می‌شود تاخیر کنترلی است. تاخیر کنترلی مجموع مقادیر تاخیر تشکیل صف و عملیات شتاب‌گیری/کاهش شتاب وسایل نقلیه است. این معیار برای حرکات با اولویت ۲ و ۳ توسط رابطه‌ی (۸-پ) محاسبه می‌شود.

(۸-پ)

$$d = \frac{3600}{c_{m,x}} + 900 \cdot T \left[\frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{c_{m,x}} \right) \left(\frac{v_x}{c_{m,x}} \right)}{45 \cdot T}} \right] + 5$$

که در آن:

d : تاخیر کنترلی برای اولویت‌های ۲ و ۳ (s/veh)،

T : دوره‌ی زمانی تحلیل (برابر ۰/۲۵ برای تحلیل یک ساعته‌ی انجام گرفته) (ساعت).

شایان ذکر است مقدار تاخیر برای حرکات‌های اولویت ۱ برابر با صفر فرض می‌شود. این در حالی است که HCM۲۰۱۰ رابطه‌ای به صورت (۹-پ) را برای محاسبه‌ی میانگین تاخیر برای کلیه حرکات‌های اولویت ۱ نیز بیان می‌کند. این تاخیر از ایجاد صف توسط خودروهای گردش به چپ کننده از مسیر اصلی (شماره‌ی ۴) به دلیل عدم وجود باند اختصاصی گردش به چپ ناشی می‌شود. این پروسه بر روی تمام حرکات اولویت ۱ و حتی اولویت‌های پایین‌تر تاثیر می‌گذارد و به صورت میانگینی از تاخیر برای کل حرکات اولویت ۱ محاسبه می‌گردد.

$$d_{RANK1} = \frac{(1 - p_{i,j}^*) d_{M,LT} \left(\frac{v_{i,1}}{N} \right)}{v_{i,1} + v_{i,2}} \quad (9-پ)$$

که در آن:

d_{RANK1} : تاخیر میانگین برای حرکات اولویت ۱ (s/veh)،

N : تعداد باندهای مسیر اصلی در یک جهت،

d_{MLT} : تاخیر مربوط به حرکت گردش به چپ از مسیر اصلی با استفاده از رابطه‌ی (۸-پ) (s/veh)،

v_i : جریان حرکت مستقیم به چپ در باند مشترک مسیر اصلی (p.c/hr)،

v_i : جریان حرکت گردش در باند مشترک مسیر اصلی (p.c/hr)،

$p_{i,j}^*$: نسبتی از خودروهای اولویت ۱ که دچار ممانعت نمی‌شوند.

در یک راه چندخطه، فقط حجم‌های مربوط به باندهای ممکن است ممانعت در آن رخ دهد در مورد مقادیر $v_{i,1}$ و $v_{i,2}$ در نظر گرفته می‌شود. در مورد تقاطع مورد نظر این مقاله، فرضی منطقی برای این منظور تقسیم حجم عبوری مسیر مستقیم شماره‌ی ۲ بر تعداد خطوط (که دو خط است)، یا به عبارتی $v_{i,1} = v_i/2$ می‌باشد.

اما برای محاسبه‌ی پارامتر $p_{i,j}^*$ از رابطه‌ی (۱۰-پ) استفاده می‌نماییم:

$$p_{i,j}^* = 1 - \frac{1 - p_{i,j}}{1 - x_{i,1+2}} \quad (10-پ)$$

که در آن:

۱ و ۴ (حرکات گردش از مسیر اصلی)،

$x_{i,1+2}$: درجه‌ی اشباع تلفیقی برای جریان راست‌گرد و مستقیم در مسیر اصلی که توسط رابطه‌ی (۱۱-پ) محاسبه می‌شود.

$$x_{i,1+2} = \frac{v_{i1}}{s_{i1}} + \frac{v_{i2}}{s_{i2}} \quad (11-پ)$$

که در آن:

۱: ۲ و ۵ (حرکات مستقیم در مسیر اصلی)،

۲: ۳ و ۶ (حرکات گردش به راست از خیابان اصلی)،

s_{i1} : نرخ جریان اشباع برای حرکات مستقیم مسیر اصلی (به طور پیش‌فرض ۱۸۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت)،

s_{i2} : نرخ جریان اشباع برای حرکات گردش به راست از مسیر اصلی (به طور پیش‌فرض ۱۵۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت)،

v_{i1} : جریان حرکت مستقیم در مسیر اصلی (p.c/hr)،

v_{i2} : جریان گردش به راست از مسیر اصلی (p.c/hr).

در مورد خاص مورد بررسی، مقادیر $i1$ ، j و $i2$ به ترتیب برابر با ۴، ۵ و ۶ می‌باشند.

حال با در دست داشتن مقادیر تاخیر برای هر گروه باند، می‌توان به عنوان تخمینی از تاخیر برای هر یک از جهت‌های حرکت و همچنین کل تقاطع مقدار میانگین وزنی تاخیر را مطابق با روابط (۱۲-پ) و (۱۳-پ) محاسبه کرد.

$$d_A = \frac{d_r v_r + d_t v_t + d_l v_l}{v_r + v_t + v_l} \quad (12-پ)$$

می‌آورد. تمام متغیرهای این رابطه در روابط قبلی آورده شده‌اند و تنها به بیان این رابطه بسنده کرده و در جدول نهایی محاسبات وارد می‌نماییم.

(۱۴-پ)

$$Q_{95} = 900 \cdot T \left[\frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{c_{m,x}} \right) \left(\frac{v_x}{c_{m,x}} \right)}{15 \cdot T}} \right] \left(\frac{c_{m,x}}{3600} \right)$$

پ-۵- نتایج نهایی و تشخیص سطح خدمت‌دهی

در بخش آخر نیز با استفاده از جدول (۶-پ)، که برگردانی از جدول مربوط به تعیین سطح خدمت‌دهی در HCM۲۰۱۰ است، و با در دست داشتن تاخیرهای کنترلی این معیار را معین می‌نماییم. خلاصه‌ی تمام محاسبات در جدول (۷-پ) آورده شده‌است.

جدول تنها برای تاخیر در باندها قابل استفاده است و از آن برای تعیین سطح خدمت‌دهی برای کل تقاطع یا مسیرهای مختلف آن نمی‌توان بهره جست.

جدول ۶-پ: محدوده‌های تعیین سطح خدمت‌دهی

| تأخیر کنترلی (s/veh) | سطح خدمت‌دهی بر اساس نسبت حجم به ظرفیت | |
|----------------------|--|----------------|
| | $v/c \leq 1,0$ | $v/c \geq 1,0$ |
| ۰-۱۰ | A | F |
| >۱۰-۱۵ | B | F |
| >۱۵-۲۵ | C | F |
| >۲۵-۳۵ | D | F |
| >۳۵-۵۰ | E | F |
| >۵۰ | F | F |

جدول ۷-پ: خلاصه‌ی داده‌ها و محاسبات انجام شده برای به‌دست آوردن تاخیر کنترلی و سطح خدمت‌دهی

| شماره حرکت | حجم (veh/hr) | HV% | PHF | جریان پیک (مورد نظر v_p) | جریان‌های (تداخلي v_c) | فاصله‌ی بحرانی عبور (t_c) | زمان دنباله‌روی (t_f) |
|------------|--------------|------|--------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| ۲ | ۱۰۷۰ | ۱,۰۳ | ۰,۸۹۴۶ | ۱۱۹۶ | - | - | - |
| ۳ | ۹۲ | ۰ | ۰,۶۹۶۹ | ۱۳۲ | - | - | - |
| ۴ | ۱۸۳ | ۰,۵۵ | ۰,۸۱۶۹ | ۲۲۴ | ۱۳۸۲ | ۲,۸ | ۱,۶۸ |
| ۵ | ۹۷۸ | ۱,۴۳ | ۰,۸۷۰۱ | ۱۱۲۴ | - | - | - |
| ۷ | ۶۸ | ۲,۹۴ | ۰,۷۳۹۱ | ۹۲ | ۲۳۴۸ | ۴,۸ | ۲,۸۷۹ |
| ۹ | ۱۹۱ | ۱,۰۵ | ۰,۸۰۹۳ | ۲۳۶ | ۷۱۸ | ۴,۶۵ | ۲,۷۸۸۸ |

$$d_I = \frac{\sum_1^4 d_{A,i} v_{A,i}}{\sum_1^4 v_{A,i}} \quad (13-p)$$

که در آن‌ها:

d_A : تاخیر در مسیر مورد نظر (s/veh)،

d_i : تاخیر تقاطع (s/veh)،

d_1, d_2, d_3 : تاخیر محاسبه شده به ترتیب برای حرکات راست‌گرد، مستقیم و چپ‌گرد (s/veh)،

v_1, v_2, v_3 : تاخیر محاسبه شده به ترتیب برای حرکات راست‌گرد، مستقیم و چپ‌گرد (s/veh)،

$d_{A,i}$: تاخیر کنترلی برای مسیر i (s/veh)،

$v_{A,i}$: جریان حرکت برای مسیر i (p.c/hr).

یکی دیگر از پارامترهایی که غالباً در کنار تاخیر کنترلی ذکر می‌شود، طول صف ایجاد شده است. این طول توسط رابطه‌ی (۱۴-پ) محاسبه شده و طول صف ۹۵ درصدی را به‌دست

جدول ۷-پ (ادامه): خلاصه‌ی داده‌ها و محاسبات انجام شده برای به‌دست آوردن تاخیر کنترلی و سطح خدمت‌دهی

| شماره حرکت | cp | cm | p _{0,j} | x _{i,1+2} | p* _{0,j} | تاخیر (s/veh) | Q _{۹۵} | سطح خدمت‌دهی | تاخیر مسیر (s/veh) | تاخیر تقاطع (s/veh) |
|------------|--------|--------|------------------|--------------------|-------------------|---------------|-----------------|--------------|--------------------|---------------------|
| ۲ | - | - | - | - | - | ۲,۳۸ | - | A | ۲,۳۸ | ۸,۹۴ |
| ۳ | - | - | - | - | ۲,۳۸۳ | ۲,۳۸ | - | A | | |
| ۴ | ۹۹۲,۴۷ | ۹۹۲,۴۷ | ۰,۷۷۴ | ۰,۶۲۴ | ۰,۳۹۹ | ۹,۶۸ | ۰,۸۷ | A | ۳,۶۹ | |
| ۵ | - | - | - | - | - | ۲,۳۸ | - | A | | |
| ۷ | ۱۲۱,۱۰ | ۹۳,۷۷ | - | - | - | ۱۶۹,۴۰ | ۱۱,۳ | F | ۵۷,۱۱ | |
| ۹ | ۶۶۶,۰۱ | ۶۶۶,۰۱ | ۰,۶۴۵ | - | - | ۱۳,۳۴ | ۱,۶۳ | B | | |

Determination of the Critical Gap Acceptance and Its Associated Level of Service in an Uncontrolled T-Intersection: A Case Study

Milad Zokaei Ashtiani, Alireza Tehrani Moayyed

1-Graduate Student, University of Massachusetts Dartmouth

2-Graduate Student, Sharif University of Technology

Abstract

Unsignalized intersections could be divided into three main categories, namely uncontrolled, controlled with yield signs, and controlled with stop signs. High dependency on drivers' behavior, traffic characteristics, environmental conditions, road geometry, etc. makes the operation of unsignalized intersections to be one of the most sophisticated amongst all other types. Driver's critical gap acceptance plays a key role in the estimation of level of service in aforementioned intersections. Gap acceptance is a time interval in which vehicles in lower priority would consider an available gap in higher priority appropriate to make a safe and perfect maneuver. Driver's characteristic like gender and age, traffic volume conditions, acceleration capability of awaiting vehicles in lower priorities, and speed of vehicles in higher priority can dramatically affect the performance of intersection. There has been a great effort to figure out a connection between critical gap acceptance and its effective parameters to come up with a comprehensive model. In this manner, three simple methods, to be specific, Average Accepted Gap Method, Cumulative Acceptance Method, and Raff Method, have been utilized to analyze gap acceptance time data and conclude with a single representative number. The resulted critical gap acceptance time is then applied to Highway Capacity Manual (HCM) formulas in order to run several analysis regarding the sensitivity of level of service on different factors.

keyword: traffic engineering, transportation, Intersection without lights, distance of light passing, level of service