مقایسه عملکرد ترافیکی، مصرف سوخت، و آلایندگی تقاطع دارای چراغ و دوربرگردان در بزرگراه‌های شش‌خطه

عبدالاحد چوپانی*

استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود

(دریافت: ۹۷/۱/۸، پذیرش: ۹۸/۴/۲۳، نشر آنلاین: ۹۸/۴/۲۳)

چکیده

دوربرگردان، به عنوان ابزاری مهم و غیرمتعارف برای بهبود عملکرد بزرگراه‌ها به کار می‌رود. در برخی شهرهای ایران، دوربرگردان با طرحی متفاوت از انواع مشابه خود، به منظور روانی تردد بزرگراه‌ها، جایگزین چراغ راهنمایی شد. تحقیقات پیشین برای ارزیابی عملکرد دوربرگردان، نتایجی همسو نداشت چون تحلیل‌ها روشمند نبوده، ارزیابی در دوره اوج و غیر اوج انجام نشده، برآیند دو اثر حذف چراغ و پیمودن مسافت اضافه برای دور زدن به صورت هم‌زمان بررسی نشده است. بنابراین، پروژه‌ای مطالعاتی برای ارزیابی عملکرد دوربرگردان تعریف شد. برای مقایسه، از شبیه‌سازی تقاطع چراغ‌دار و مدل‌سازی ریاضی زمان و سرعت سفر حرکات دوربرگردان بهره‌برداری شد. نتایج تحقیق نشان داد در دوره تردد سنگین و متوسط، دوربرگردان باعث کاهش قابل‌توجه زمان سفر، افزایش سرعت سفر، کاهش مصرف سوخت می‌شود. ولی در دوره تردد سبک عملکرد آن منفی هست. در دو تقاطع گلبرگ-باقری و رسالت- باقری (در تهران)، برآیند عملکرد ۲۴ ساعته دوربرگردان از بابت ترافیکی و مصرف سوخت، مثبت ارزیابی می‌شود. تقاطع دارای دوربرگردان، تولید روزانه آلاینده‌های CO و HC را کاهش و تولید NOX را افزایش می‌دهد. از معایب دوربرگردان این است که احتمال برخورد با اجزاء هندسی دوربرگردان بالاست. همچنین، دوربرگردان اثرات منفی (نظیر افزایش مصرف سوخت، مسافت سفر) برای خودروهای معبر فرعی دارد. هرچه نسبت حجم گردشی به حجم مستقیم رو بزرگراه افزایش یابد، دوربرگردان توان بیشتری در افزایش روانی تردد بزرگراه دارد.

کلیدواژه‌ها: تقاطع چراغ‌دار، دوربرگردان، ارزیابی ترافیکی، مصرف سوخت، آلایندگی.

۱- مقدمه

تقاطعات چراغ‌دار شهری واقع در بزرگراه‌ها و شریان‌های پرتردد، تأخیر زیادی به جریان ترافیک عبوری وارد می‌کند و موجب شلوغی (تراکم)،[1] و کاهش سطح سرویس بزرگراه می‌شود. لذا ضرورت دارد مدیریت دسترسی بزرگراه‌ها اجرا شود تا روانی تردد در بزرگراه‌ها در حد مطلوبی باقی بماند و از شلوغی و تراکم، جلوگیری شود. مهندسین ترافیک جهت حل مشکل تراکم با مشکلات ذیل روبرو هستند (Hummer و Boone، ۲۰۱۸).

۱. با سایر بهبودهای مرسوم همانند هماهنگ‌سازی و هوشمندسازی چراغ‌ها امکان کاهش تراکم وجود ندارد.

۲. غیرهمسطح کردن تقاطع بسیار پرهزینه هست و مردم محلی و ادارات در برابر این راه‌کارها مقاومت می‌کنند.

لذا نیاز به راه حل‌های جایگزین و کم‌هزینه برای کاهش تراکم/ تأخیر هست. طرح‌هایی به عنوان «طرح‌های غیرمتعارف»[2] وجود دارند که با کاهش یا حذف تداخل گردش به چپ با جریان مستقیم رو بزرگراه به دنبال دو هدف هستند:

۱- تأخیر وارد بر جریان بزرگراه را کاهش دهند چراکه وظیفه شریانی‌ها فراهم کردن جابه‌جایی[3] هست.

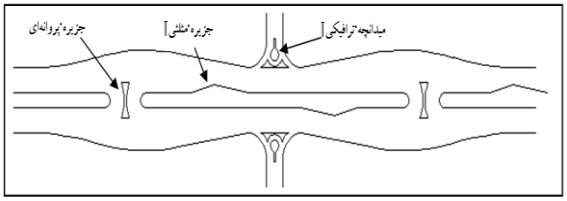
۲- نقاط برخورد[4] را کاهش، و ایمنی را بهبود دهند.

دوربرگردان ابزاری قوی و ساده برای مدیریت دسترسی بزرگراه‌ها است. در برخی شهرهای ایران (از جمله در تهران)، تعدادی تقاطع چراغ‌دار مسدود و به‌جای آن دوربرگردان در بالادست و پایین‌دست تقاطع و در امتداد بزرگراه احداث شدند (بهبهانی و احمدی‌نژاد، ۱۳۸۸).

1. Congestion
2. Unconventional designs
3. Mobility
4. Conflict points

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۹۱۲۷۹۳۹۵۹۹

آدرس ایمیل: ahadchoupani@shahroodut.ac.ir (ع. ا. چوپانی).



شکل ۱- اجزاء هندسی دوربرگردان‌های جایگزین تقاطع چراغ‌دار

این دوربرگردان‌ها، از لحاظ هندسی دارای ۳ جزء اصلی هستند (شکل (۱)):

۱- جزیره پروانه‌ای، ۲- جزیره مثلثی، ۳- میدانچه ترافیکی.

جزیره پروانه‌ای دو جریان دورزننده را از هم تفکیک می‌کند و باعث می‌شود خودروها بدون انتظار برای فرصت عبور[5] مناسب وارد رویکرد دوم شوند. جزیره مثلثی، فضایی به عنوان انباره گردشی فراهم و از برخورد جلو به عقب خودروهای مستقیم رو بزرگراه و گردشی جلوگیری می‌کند. میدانچه ترافیکی به منظور دور زدن وسایل نقلیه و کانالیزه کردن جریان‌های ورودی به/ خروجی از بزرگراه طراحی می‌شود. چون احداث جزیره مثلثی باعث کاهش عرض بزرگراه می‌شود، حد فاصل دوربرگردان تا تقاطع تعریض می‌شود.

این دوربرگردان‌ها با دوربرگردان‌هایی که در سایر کشورها احداث شده، دارای تفاوت‌هایی مهم به شرح ذیل هست:

۱- معمولاً دوربرگردان تنها برای انحراف گردش به چپ هست. اما در ایران با مسدود شدن تقاطع، حرکات مستقیم رو معبر فرعی نیز به دوربرگردان هدایت می‌شوند.

۲- جزیره پروانه‌ای، باعث می‌شود خودروها بدون تداخل و به صورت محافظت‌شده[6]، به بزرگراه بپیوندند. اما در سایر دوربرگردان‌ها، دورزدن محافظت شده نیست.

۳- به‌جای استفاده از فضای رفوژ وسط (میانه)[7]، با احداث جزیره مثلثی، فضایی برای انباره گردشی ایجاد شده است.

جزیره مثلثی، ابعاد کوچکی دارد و ممکن است به دلیل کوتاه بودن طول آن، خودروهای بزرگراه امکان تغییر خط از خطوط سمت چپ به خطوط میانی (یا سمت راست) را پیدا نکنند و با آن برخورد کنند. در صورت زیاد بودن عرض جزیره مثلثی، امکان برخورد بیشتر می‌شود. همچنین در محل جزیره پروانه‌ای، ممکن است مشکلاتی به شرح ذیل پیش بیاید:

۱- سختی دورزدن برای خودروهای سنگین،

۲- امکان برخورد خودروهای بزرگراه با جزیره پروانه‌ای،

۳- کافی نبودن انباره گردشی برای حجم حرکات گردشی.

جدول ۱- مزایا و معایب ترافیکی دوربرگردان‌های (اجرا شده در ایران) را نشان می‌دهد.

بهبهانی و احمدی‌نژاد (۱۳۸۸) با مقایسه عملکرد تقاطع دارای چراغ و دوربرگردان نتیجه گرفتند دوربرگردان باعث کاهش زمان سفر، مصرف سوخت، آلایندگی، تنش رانندگی (ناشی از توقف پشت چراغ) می‌شود. امینی تقاطع دارای دوربرگردان را از هیچ‌کدام از جنبه‌های بررسی شده مثبت ارزیابی نمی‌کند (امینی، ۱۳۸۵؛ امینی، ۱۳۸۴). علل این‌گونه نتیجه‌گیری‌های غیرهمسو، به گمان نویسنده مقاله جاری، به شرح ذیل هست:

۱- اثرات هر دو عامل دورزدن و حذف چراغ به صورت همزمان بررسی نشده است. برخی محققین به استناد حذف چراغ، نتیجه می‌گیرند زمان سفر، مصرف سوخت و آلایندگی خودروها کاهش می‌یابد. گروه دیگری از محققین، به دلیل صرف زمان برای دورزدن، نتیجه می‌گیرند زمان سفر، مصرف سوخت و ... افزایش می‌یابد. اما برای ارزیابی دقیق، ضرورت دارد اثر هر دو عامل به صورت همزمان در نظر گرفته شود و مشخص شود کدام مؤلفه، اثر تعیین کننده‌تری دارد.

۲- مقایسه و ارزیابی، گاهاً براساس محاسبات تقریبی بوده است. به عنوان مثال برای محاسبه تأخیر تقاطع دارای چراغ فرض شده که تأخیر در چراغ به صورت تقریبی برابر نصف چرخه هست. اگر چه این فرض برای تقاطع زیر اشباع صحیح است، اما برای تقاطع فوق اشباع، برقرار نیست و متوسط تأخیر چند برابر طول چرخه چراغ خواهد بود.

۳- کمیت تأثیر دوربرگردان در دوره‌های زمانی با تردد سنگین، متوسط و سبک بر حرکات مختلف معابر اصلی و فرعی متغیر است و ضرورت دارد اثرات به تفکیک دوره‌های زمانی و حرکات بررسی شود.

چون دوربرگردان‌های اجرا شده در ایران با انواع مشابه خود در سایر کشورها از نظر هندسی و ترافیکی، تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد و همچنین نتایج مطالعات پیشین روش‌مند، هماهنگ و همسو نبود، بنابراین یک پروژه تحقیقاتی تعریف شد تا با پایه‌گذاری صحیح مراحل، به ارزیابی عملکرد ترافیکی، مصرف سوخت، و آلایندگی تقاطع دارای چراغ و دوربرگردان بپردازد.

ساختار مقاله به این ترتیب هست که در بخش دوم ادبیات موضوع مرور می‌شود. در بخش سوم، روش‌شناسی پژوهش تشریح می‌شود. بخش چهارم به ارائه و تحلیل نتایج می‌پردازد. نتیجه‌گیری، پایان بخش مقاله خواهد بود.

5. Gap
6. Protected
7. Refuge (Median)

جدول ۱- مزایا و معایب ترافیکی دوربرگردان‌های (اجرا شده در ایران)

مزایا	معایب
۱. زمان سفر بزرگراه را در حجم تردد بالا کاهش می‌دهد.	۱. احتمال برخورد با جزایر دوربرگردان بالا هست.
۲. ظرفیت تقاطع را افزایش می‌دهد (Reid و Hummer، ۲۰۰۲).	۲. تردد عابر در محدوده تقاطع مشکل‌تر می‌شود.
۳. نسبت زمان حرکت به زمان سفر بالا هست.	۳. دورزدن خودروهای سنگین به علت کمبود فضا در بازشدگی مشکل هست.
۴. می‌توان حجم چندین معبر فرعی را به یک دوربرگردان هدایت کرد.	۴. مسافت سفر برخی حرکات را افزایش می‌دهد و ممکن هست که مصرف سوخت و آلودگی هوا افزایش یابد.
۵. طول صف تقاطع و پس-زدگی آن را کاهش می‌دهد.	۵. زمان سفر را هنگامی‌که حجم متوسط و سبک هست افزایش می‌دهد.
۶. روانی حرکت را افزایش می-دهد و توقف خودروها را حذف می‌کند.	۶. به دلیل نیاز به تغییر خط‌های متوالی و قرار گرفتن اجزاء هندسی دوربرگردان در امتداد مسیر حرکت، فرآیند رانندگی با احتیاط و دقت بیشتری صورت گیرد.
	۷. امکان کنترل «نرم‌افزاری» تقاطع از بین می‌رود.

۲- مروری بر ادبیات موضوع

آیین‌نامه طرح هندسی راه‌های ایران (۱۳۹۱)، ذکر می‌کند در صورت وجود ممنوعیت گردش به چپ در یک تقاطع می‌توان بعد از تقاطع یک خط دوربرگردان برای گردش به چپ غیرمستقیم پیش‌بینی کرد. AASHTO (۲۰۱۱) موارد کاربرد دوربرگردان را به شرح ذیل می‌داند:

۱- در محل راه‌های فرعی که ترافیک مجاز به عبور از بزرگراه نیست ولی نیازمند به گردش به چپ هست. در این حالت، نخست وسایل گردش به راست کرده، وارد جریان اصلی ترافیک می‌شوند و سپس دوربرگردان انجام می‌دهند[8].

۲- برای آن‌که رانندگان ناآشنا به تقاطع، اشتباه خود را جبران و مسیر خود را تصحیح کنند.

۳- خارج از محدوده تقاطع‌ها برای برقراری امکان دور زدن وسایل نقلیه.

۴- قبل از تقاطع‌ها درصورتی‌که حرکت‌های مستقیم و گردشی با حرکت واگرد تداخل داشته باشد.

۵- درصورتی که در فواصل منظم برای عملیات نگهداری، انتظامات و تعمیر وسایل نقلیه، نیاز به بریدگی باشد.

اغلب مطالعات بر روی دوربرگردان به مقوله تأثیرات دوربرگردان بر ایمنی، عملکرد ترافیکی و ضوابط طرح هندسی دوربرگردان می‌پردازد.

Meel و همکاران، ۲۰۱۷) ایمنی دوربرگردان پایین‌دست تقاطع را در آزادراه‌های چهار خطه شهری براساس تکنیک برخورد، بررسی کردند. این مقایسه در چهار حالت:

۱- بدون هیچ‌گونه خط کمکی،

۲- با خط کمکی برای افزایش شتاب،

۳- با تعریض،

۴- با خط کمکی افزایش شتاب و تعریض انجام گرفت.

در نهایت این نتیجه حاصل شد که حالت ۱ و ۴ دارای کم‌ترین ایمنی هستند و نباید در پروژه‌ها اجرا شوند (Maze و همکاران، ۲۰۱۰). به این نتیجه رسیده است که افزایش طول بریدگی (بازشدگی‌ها) در مناطق برون‌شهری، سبب افزایش تصادف در شهرها و حومه شهرها سبب کاهش تصادف می‌گردد. عزیزی و شیخ الاسلامی (۲۰۱۲) به این نتیجه رسیدند که دوربرگردان‌ها تعداد کل تصادفات را ۱۳/۲ درصد افزایش می‌دهد.

پژوهش‌هایی که برای ارزیابی عملکرد ترافیکی دوربرگردان‌ها صورت گرفتند، از دو روش شبیه‌سازی و مدل‌سازی استفاده نمودند.

Autey و Sayed (۲۰۱۲) سه طرح غیرمتعارف از جمله دوربرگردان را تحت سناریوهای مختلف حجم تردد، شبیه‌سازی و توصیه‌هایی برای استفاده از هریک ارائه کردند. Della و همکاران (۲۰۱۵) دوربرگردان غیرهم‌سطح با دو عرض بازشدگی مختلف را شبیه‌سازی کردند و به این نتیجه رسیدند که زمان سفر و تأخیر هنگامی‌که بازشدگی ورودی از خروجی بیشتر باشد، بسیار کم هست.

رحیمی و همکاران (۱۳۹۵)، ۵ سناریو برای انجام حرکت واگرد در یک بزرگراه برون‌شهری را از نظر ترافیکی شبیه‌سازی و بررسی کرده و پیشنهاد کردند دوربرگردان هم‌سطح موجود، حذف و دوربرگردان زیرگذر به‌جای آن احداث شود. امینی و رحیمی (۱۳۹۲)، اثرات ترافیکی احداث تقاطع‌های غیر هم‌سطح شهری را با مدل دوسیال ارزیابی کردند.

سازمان حمل‌ونقل فلوریدا، پروژه‌های تحقیقاتی متعددی را درزمینه مدل‌سازی ریاضی عملکرد دوربرگردان‌ها تعریف کرد (Lu و همکاران، ۲۰۰۱؛ Lu و همکاران؛ ۲۰۰۴؛ Lu و Liu، ۲۰۰۵). این تحقیقات، ابتدا مدل‌هایی برای زمان سفر و تأخیر حرکات گردش به چپ مستقیم و غیرمستقیم[9] در تقاطعات بدون چراغ ارائه می-کند. سپس مشخص می‌کند در هر شرایط حجمی، کدام استراتژی گردش به چپ مناسب‌تر هست. این دوربرگردان‌ها در بزرگراه‌های چهار و شش خطه قرار دارند.

در کنار مقایسه ترافیکی عملکرد دوربرگردان، Mohapatra و Dey (۲۰۱۵) به بررسی جانمایی عرضی دوربرگردان پرداختند.

8. Right turn followed by u-turn (RTUT)

9. Direct and indirect left turn

(Dash و همکاران، ۲۰۱۷؛ Khan و همکاران، ۲۰۱۵؛ Obaidat و Elayan، ۲۰۱۳) فرصت عبور بحرانی را در بازشدگی‌های میانه (دوربرگردان‌ها) برآورد کردند.

در بخش طرح هندسی، فاصله دوربرگردان مهم‌ترین عامل طراحی هست و به کمک طول تداخل[۱۰] تعیین می‌شود. اگر این فاصله کوتاه باشد، رانندگان مجبور می‌شوند حرکت عرضی ناگهانی انجام دهند و مسیر حرکت خودروهای بزرگراه را مسدود نمایند و باعث راه‌بندان و تصادف می‌شوند. زیاد بودن فاصله دوربرگردان، زمان سفر را افزایش می‌دهد.

مظاهری (۱۳۹۳) فاصله بهینه دوربرگردان از تقاطع چراغ‌دار شهری را تعیین کرد. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که مکان بهینه دوربرگردان از تقاطع چراغ‌دار، ۱۹۰ متر قبل از آن می‌باشد (Lu و همکاران، ۲۰۰۳) حداکثر فاصله دوربرگردان را ۳۳۰ متر (۱۰۰۰ فوت) پیشنهاد کرد. Liu و همکاران (۲۰۰۸) برای راه‌های دو خطه شهری و حومه‌شهری با سرعت ۴۰ تا ۸۰ کیلومتر بر ساعت و حجم تداخلی ۲۶۰۰-۲۰۰، طول تداخل ۲۴۴-۲۱۳ متر را مناسب می‌داند. این طول در راه‌های چند خطه‌ها بایستی به ۴۸۸-۳۶۶ متر برسد.

Xu و همکاران (۲۰۰۳)، روشی برای یافتن فاصله دوربرگردان مابین دو تقاطع چراغ‌دار هماهنگ به منظور کمینه‌کردن تأخیر گردش به چپ فرعی ارائه کردند. خودروهای گردش به چپ معبر فرعی بعد از اتمام کاروان[۱۱] خودروهای رویکرد اول بزرگراه و پراکنده شدن آن‌ها، فرصت پیدا می‌کند گردش به راست کند و خود را به دوربرگردان برساند. سپس در دوربرگردان منتظر می‌ماند تا پس از اتمام کاروان خودروهای رویکرد دوم و پراکنده شدن آن‌ها، به جریان مقابل بپیوندد. زمان اتمام حرکت کاروان خودروها به علاوه زمان رسیدن به دوربرگردان باید برابر زمان رسیدن کاروان خودروهای جریان مقابل به دوربرگردان باشد تا خودرو کمترین زمان انتظار را در دوربرگردان داشته باشد. از مساوی قرار دادن این دو زمان، فاصله بهینه دوربرگردان از تقاطع به‌دست می‌آید. منظور از کاروان خودروها، حرکت دسته جمعی و یک‌باره آن‌ها پس از سبز شدن چراغ هست. بررسی مطالعات قبلی درباره دوربرگردان‌ها نشان می‌دهد دوربرگردان‌هایی که در تهران اجرا شدند، در تقاطع معبر بزرگراهی و شریانی قرار داشتند که معبر شریانی نیز حجم قابل‌توجهی داشت و پس از مسدود شدن تقاطع، تمامی خودروهای معبر شریانی به سمت دوربرگردان هدایت می‌شدند. اما در نمونه‌های مشابه (در سایر کشورها)، تقاطع مسدود نمی‌شود و حرکت مستقیم رو در تقاطع انجام می‌شود و تنها حرکات گردش به چپ، به دوربرگردان پایین‌دست هدایت می‌شوند. با توجه به وجود این تفاوت اصلی، ضرورت دارد عملکرد دوربرگردان‌های تهران، ارزیابی شود.

۳- روش تحقیق

مطالعه قبل و بعد روشی شناخته‌شده برای ارزیابی پروژه‌ها هست. این تحقیق نیز وضعیتی مشابه مطالعات قبل و بعد دارد که در آن مقایسه‌ای بین وضعیت قبلی (تقاطع چراغ‌دار) و وضعیت فعلی (تقاطع دارای دوربرگردان) به عمل می‌آید. بهتر بود که ارزیابی کاملاً برمبنای برداشت میدانی باشد تا شاخص‌های عملکرد دو گزینه، از مشاهدات و نه تخمین و برآورد به‌دست آیند. چون این پروژه تحقیقاتی، زمانی تعریف شد که احداث دوربرگردان‌های تهران پایان یافته بود، امکان برداشت میدانی شاخص‌های عملکرد وضعیت قبلی تقاطع از بین رفته بود.

به همین دلیل ابتدا تصمیم بر آن شد تا به‌جای برداشت میدانی داده‌ها، از شبیه‌سازی استفاده شود. از این‌رو برای تحلیل عملکرد وضعیت قبلی تقاطع (تقاطع چراغ‌دار) از شبیه‌ساز (Traffic Sim) استفاده شد. اما ارزیابی‌های اولیه از توانایی شبیه‌سازهای در دسترس نگارنده (Traffic Sun, VISSIM, Sim Aim)، نشان داد شبیه‌سازی دوربرگردان با مشکلاتی به شرح ذیل مواجه هست:

۱- کنترل معبر فرعی: تقاطع بدون چراغ، با رعایت حق تقدم یا ایست کنترل می‌شود یا این‌که بدون کنترل می‌باشد. در تمامی این حالات، جریان فرعی باید فرصت عبور مناسب از میان خودروهای جریان اصلی پیدا کند و به جریان اصلی بپیوندد. در دوربرگردان‌ها، خودروهای معبر فرعی به دلیل شعاع گردش به راست نسبتاً زیاد و وجود شانه آسفالتی، بدون هیچ‌گونه تأخیری وارد جریان اصلی می‌شوند. اما در نرم‌افزارها علی‌رغم استفاده از روش‌های کنترل گوناگون (کنترل با توقف، رعایت حق تقدم، و بدون کنترل) و ایجاد تغییراتی در هندسه (کاهش زاویه برخورد معبر فرعی با اصلی، ایجاد خط کمکی) الگوی ورود بدون تأخیر در شبیه‌ساز ممکن نشد.

۲- کنترل دوربرگردان: در بازشدگی دوربرگردان خودروها محافظت شده و بدون توقف و تأخیری وارد جریان مقابل می‌شوند. اما، مدل‌سازی هندسه و کنترل آن برای دورزدن بدون تأخیر (همانند کنترل معبر فرعی)، در شبیه‌ساز میسر نشد.

لذا برای استخراج شاخص‌های وضعیت فعلی تقاطع (تقاطع دارای دوربرگردان) از مدل‌های ریاضی استفاده شد. در نتیجه پروژه مطالعاتی، پس از گردآوری داده‌های مورد نیاز، دارای سه مرحله عمده به شرح ذیل بود (شکل (۲)):

۱۰. Weaving length

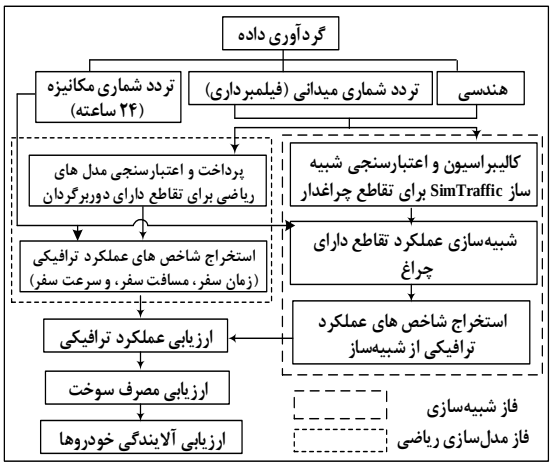
11. Platoon

۱- وضعیت قبلی تقاطع شبیه‌سازی شد. برای اطمینان از انطباق خروجی‌های شبیه‌ساز با شرایط حاکم بر تقاطعات چراغ‌دار ایران، نرم‌افزار پرداخت و اعتبارسنجی شد. برای پرداخت از شاخص‌های سرعت سیر آزاد[12]، سرعت گردش،جریان اشباع پایه، و ضریب سرفاصله [13] استفاده شد. برای اعتبارسنجی از شاخص تأخیر کنترل استفاده شد (چوپانی و شاهی، ۱۳۹۵). نگاه کنید به مستطیل خط‌چین با خط چین‌های بزرگ‌تر در شکل (۲).

۲- به کمک داده‌های میدانی، مدل‌های ریاضی برای عملکرد تقاطع دارای دوربرگردان ساخته، پرداخته و اعتبارسنجی شد (Choupani و Shahi، ۲۰۰۹). برای ساخت و پرداخت مدل‌های ریاضی از دوربرگردان‌های تقاطع باقری- گلبرگ و باقری- رسالت (واقع در شرق تهران) و برای اعتبارسنجی نیز از دوربرگردان واقع در شمال تقاطع ستاری- هجدهم (واقع در غرب تهران) استفاده شد. نگاه کنید به مستطیل خط‌چین با خط‌چین‌های کوچک‌تر در شکل (۲).

۳- بین وضعیت قبل و بعد تقاطع مقایسه به عمل آمد که نتایج آن در این پژوهش ارائه می‌شود.

چون اصلی‌ترین انگیزه احداث دوربرگردان، بهبود عملکرد ترافیکی تقاطعات بزرگراهی بوده، هدف این پروژه تحقیقاتی در اولویت اول تعیین اثرات ترافیکی تقاطع دارای دوربرگردان بر رانندگان هست. مصرف سوخت خودروها نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد. به منظور ارزیابی زیست‌محیطی تقاطع دارای دوربرگردان، میزان تولید آلاینده‌های CO، HC، و NOX در این تحقیق ارزیابی می‌شود، چون این آلاینده‌ها دارای بیشترین هزینه-های اجتماعی هستند (وزارت نیرو، ۱۳۹۴). شکل (۲) روش تحقیق و مراحل آن را نشان می‌دهد.



شکل ۲- روش تحقیق و مراحل آن

۳-۱- مدل‌های ارزیابی عملکرد ترافیکی

۳-۱-۱- مدل شبیه‌ساز

برای شبیه‌سازی از Sim Traffic (نسخه ۸) که واحد شبیه‌ساز Synchro هست، استفاده شد. کارکرد اصلی Synchro مدل‌سازی تقاطع چراغ‌دار و بهینه‌سازی زمان‌بندی آن هست. Sim Traffic شبیه‌سازی هست که از مدل‌های زمان- مبنا[14] برای بیان رفتار رانندگان استفاده می‌کند. برای شبیه‌سازی، ابتدا تقاطع مورد مطالعه باید در Synchro مدل‌سازی گردد و هندسه تقاطع، حجم حرکات گردشی، گروه خطوط[15]، فازبندی، و زمان‌بندی چراغ راهنمایی تعیین شود. سپس به کمک Sim Traffic شبیه‌سازی انجام شود.

۳-۱-۲- مدل‌های ریاضی

۱- مدل‌هایی ریاضی برای توصیف عملکرد حرکات در تقاطع دارای دوربرگردان ساخته و استفاده شدند. برای ساخت مدل‌های ریاضی، ابتدا ضرورت دارد تعیین شود دوربرگردان چه تأثیری بر چه حرکاتی دارد.

جدول (۲) تأثیرات دوربرگردان بر زمان و مسافت سفر حرکات را نشان می‌دهد. تأثیر دوربرگردان بر زمان سفر، برآیند حذف توقف پشت چراغ راهنمایی و هدایت حرکت به سمت دوربرگردان است. اگر حرکتی (نظیر مستقیم رو معبر اصلی)، به سمت دوربرگردان هدایت نشود، حذف توقف پشت چراغ باعث کاهش زمان سفر و بهبود آن می‌شود. اما اگر حرکتی (نظیر مستقیم رو معبر فرعی و گردش به چپ‌ها)، به سمت دوربرگردان هدایت شوند، تأثیر دوربرگردان بر زمان سفر وابسته به حجم تردد حرکات، فاصله دوربرگردان، و عوامل دیگر شده و متغیر خواهد بود. افزایش یا ثابت ماندن مسافت سفر نیز، وابسته به هدایت حرکت به سمت دوربرگردان هست. اگر جریانی به سمت دوربرگردان هدایت نشود، مسافت سفر ثابت می‌ماند. در غیر این‌صورت، مسافت سفر افزایش می‌یابد.

۳- برای حرکات گردش به چپ هر دو معبر و مستقیم رو فرعی که به سمت دوربرگردان هدایت می‌شود، مدل زمان سفر (به شرح روابط (۱) و (۲)) و برای سایر حرکات، مدل سرعت سفر به شرح ذیل ساخته شد (Choupani و Shahi، ۲۰۰۹):

$$TT_{LT}=0.0925WL+0.0027TH+0.0048MV+0.0037DV \quad (۱)$$

$$TT_{MISTH}=0.1WL+0.0024TH+0.0064MV+0.0039DV \quad (۲)$$

$$S_{MASTH}= 0.610\ FFS+0.040\ WL+1.966\ VR \quad (۳)$$

$$S_{NW}=0.389\ FFS + 0.041\ WL + 5.183\ VR \quad (۴)$$

12. Free Flow Speed (FFS)
13. Headway factor
14. Time-based
15. Lane group

که در آن:

TT_{LT}= زمان سفر گردش به چپ اصلی و فرعی (s)

TT_{MISTH}= زمان سفر مستقیم رو فرعی (s)

S_{MASTH}= سرعت سفر مستقیم رو اصلی (km/h)

S_{NW}= سرعت سفر گردش به راست اصلی و فرعی (km/h)

WL= فاصله دوربرگردان یا فاصله تغییر خط (m)

TH= مجموع حجم دو رویکرد معبر اصلی (TH=TH1+TH2) (PCE/h)

جدول ۲- اثرات کیفی تقاطع دارای دوربرگردان بر زمان و مسافت سفر حرکات در مقایسه با تقاطع دارای چراغ

ردیف	معبر	اصلی			فرعی		
	حرکت تأثیر	گردش به چپ	مستقیم رو	گردش به راست	گردش به چپ	مستقیم رو	گردش به راست
۱	هدایت به سمت دوربرگردان	بلی	خیر	خیر	بلی	بلی	خیر
۲	مسافت سفر	افزایش	ثابت	ثابت	افزایش	افزایش	ثابت
۳	زمان سفر	متغیر	کاهش	کاهش	متغیر	متغیر	کاهش

MV= حجم همگرایی یا حجم ورودی از فرعی به بزرگراه (PCE/h)

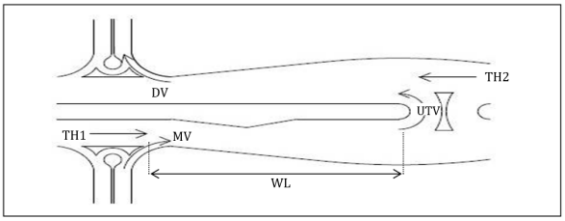
DV= حجم واگرایی یا حجم خروجی از بزرگراه به فرعی (PCE/h)

FFS= سرعت سیر آزاد بزرگراه (km/h)

VR= نسبت حجم گردش به چپ و راست کل تقاطع به مجموع حجم مستقیم رو معبر اصلی.

شکل ۳- نمایش تصویری از متغیرهای به کاررفته در مدل‌سازی عملکرد دوربرگردان را نشان می‌دهد.

چون جریان حرکت در دوربرگردان به صورت غیر منقطع است و خودروها تأخیر توقف (پشت چراغ) ندارند، لذا در تحقیق جاری، تأخیر زمان سفر بررسی نشد و شاخص‌های دیگری نظیر زمان سفر، سرعت سفر، و مسافت سفر ارزیابی می‌شود.

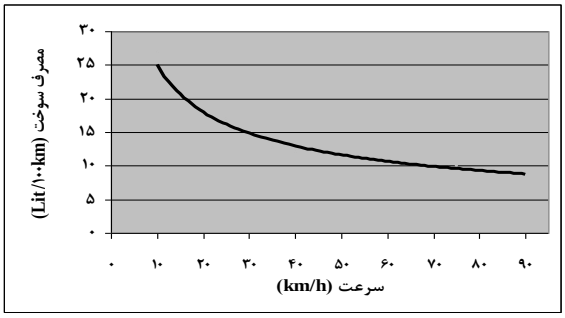


شکل ۳- نمایش تصویری از متغیرهای به کاررفته در مدل‌سازی عملکرد دوربرگردان

۳-۲- مصرف سوخت

شکل (۴) میزان مصرف سوخت خودروها تا سرعت (۹۰km/h) را نشان می‌دهد. با افزایش سرعت، مصرف سوخت کاهش می‌یابد و در سرعت ۹۰km/h به حداقل خود می‌رسد (شکل) و بعد از آن مجددا مصرف سوخت افزایش می‌یابد (حیدریان، ۱۳۹۴).

میزان مصرف سوخت از حاصل‌ضرب مسافت سفر در مصرف سوخت در سرعت حرکت موردنظر به دست می‌آید. سرعت در محدوده دوربرگردان‌های موردمطالعه از ۸۰km/h فراتر نمی‌رود.



شکل ۴- میزان مصرف سوخت خودروها تا سرعت (۹۰ km/h) (حیدریان، ۱۳۹۴)

۳-۳- آلایندگی

شکل (۵) میزان تولید آلاینده‌های HC, CO و NOX را نشان می‌دهند. شکل‌های فوق براساس اطلاعات شرکت کنترل کیفیت هوای تهران به‌دست آمده است. تولید آلاینده در سرعت‌های مختلف برحسب میلی‌گرم در ثانیه صعودی هست. روند افزایش تولید آلاینده NOX کاملاً صعودی و در مورد CO و HC در سرعت-های بالا شیب نمودار کاهش می‌یابد (حاجی‌حسینلو، ۱۳۸۵). میزان تولید آلاینده در تحقیق جاری، به کمک حاصل‌ضرب زمان سفر در مصرف سوخت در سرعت حرکت موردنظر به دست می‌آید.

۳-۴- انتخاب تقاطعات برای مطالعه و جمع‌آوری اطلاعات

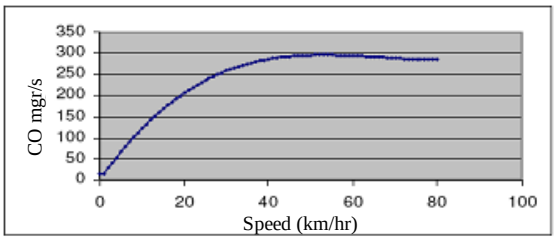
دوربرگردان‌هایی که برای مطالعه انتخاب می‌شوند باید منعکس‌کننده شرایط و ویژگی‌های موارد اجرا شده باشند. دوربرگردان‌ها، دارای شرایط ذیل بودند:

۱- دوربرگردان‌های شهری در امتداد بزرگراه‌های ۶ خطه (سه خط در هر جهت حرکت) قرار داشتند.

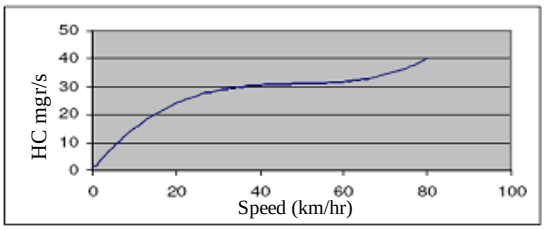
۲- پس از انتخاب یک بزرگراه، در تمامی تقاطع‌های واقع در امتداد آن، دوربرگردان جایگزین چراغ راهنمایی شده است. لذا بزرگراهی باید انتخاب شود که فاقد چراغ راهنمایی باشد یا دوربرگردان تحت تأثیر چراغ راهنمایی نباشد.

۳- به دلیل حجم بالای تردد، طراحان سعی کرده‌اند حداقل فاصله دوربرگردان از تقاطع ۱۵۰ متر باشد. بنابراین فاصله دوربرگردان‌های انتخابی از تقاطع حداقل ۱۵۰ متر هست.

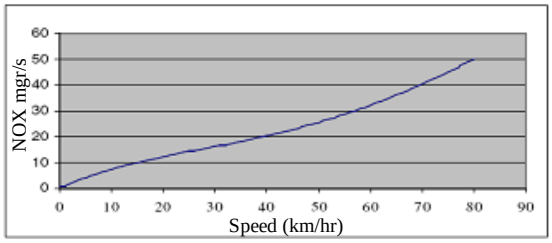
۴- کاهش عرض بزرگراه به دلیل احداث دوربرگردان، جبران شود. بنابراین دو تقاطع باقری- گلبرگ و باقری- رسالت واقع در امتداد بزرگراه سردار باقری در شرق تهران انتخاب شدند. بزرگراه باقری، شمالی- جنوبی و معابر گلبرگ و رسالت، شرقی- غربی هستند. ویژگی‌های دوربرگردان‌های تقاطعات مزبور در جدول (۳) ارائه شده است.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۵- میزان تولیدآلاینده: الف) CO، ب) HC، ج) NOX در سرعت‌های مختلف (حاجی‌حسینلو، ۱۳۸۵)

۳-۵- دوره ارزیابی

برای ارزیابی جامع تسهیلات ترافیکی، ارزیابی آن‌ها در دوره اوج و غیراوج ضروری هست. طرحی که در یک دوره مناسب هست، ممکن است در دوره دیگری نامناسب باشد. برای استخراج حجم تردد ساعتی، بنا به دلایل ذیل، استفاده تنها از ترددشماری مکانیزه (SCATS)[۱۶] میسر نبود:

۱) با احداث دوربرگردان، سیستم SCATS تقاطع جمع‌آوری می‌شود. لذا امکان استخراج مکانیزه حجم تردد در وضع کنونی وجود ندارد.

۲) شمارشگرهای مکانیزه، آمار حجم را به تفکیک حرکات ارائه نمی‌دهند و حجم کل رویکرد را ارائه می‌دهند.

لذا از دو روش تردد شماری میدانی (فیلم‌برداری با دوربین) و مکانیزه (سیستم SCATS) استفاده شد. برای استخراج تغییرات حجم تردد در ۲۴ ساعت شبانه‌روز، ابتدا نسبت حجم تردد هر ساعت به حجم تردد ساعت ۱۰-۹ صبح با استفاده از تردد شماری مکانیزه به‌دست آمد. سپس این نسبت‌ها در حجم تردد مشاهده حرکات (در ساعت ۱۰-۹ صبح)، ضرب شد تا حجم تردد حرکات برای تمامی ساعات شبانه‌روز به‌دست آید. این کار، متضمن این فرض است که درصد حجم حرکات در تمامی ساعات همانند ساعت ۱۰-۹ صبح است. تردد شماری با دوربین فیلم‌برداری، از روی پل‌های عابر پیاده و در ساعت ۹ تا ۱۰ صبح یک روز کاری اردیبهشت ۱۳۹۵ انجام شد (شکل (۷)). با استفاده از تغییرات حجم تردد در ساعات شبانه روز (شکل (۶))، سه دوره زمانی برای مقایسه انتخاب شد که عبارتند از:

۱) از ساعت ۶ صبح تا ۵ بعد از ظهر (حجم تردد سنگین)

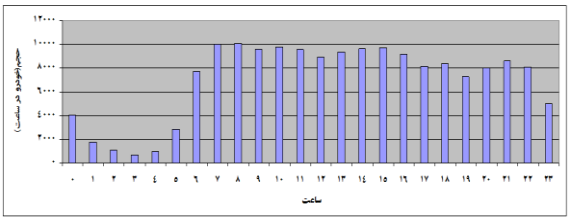
۲) از ساعت ۵ عصر الی ۱۱ شب (حجم تردد متوسط)

۳) از ساعت ۱۱ شب الی ۶ صبح (حجم تردد سبک).

برای تحلیل‌ها، از متوسط ساعتی حجم تردد هر دوره استفاده شد. شکل (۶) حجم حرکات و گروه خطوط را برای تقاطع باقری- گلبرگ و باقری- رسالت (در دوره تردد سنگین) نشان می‌دهد.

جدول ۳- ویژگی‌های هندسی دوربرگردان‌های موردمطالعه

معبر اصلی	موقعیت	طول تغییر خط (m)	عرض جزیره پروانه‌ای (m)	سرعت سیر آزاد (km/h)
بزرگراه سردار باقری	شمال گلبرگ	۳۵۰	۱۸	۷۰
	جنوب گلبرگ	۲۱۵	۱۶	۷۵
	شمال رسالت	۱۷۵	۱۳	۶۵
	جنوب رسالت	۱۸۵	۱۸	۷۰



شکل ۶- نمودار میله‌ای حجم تردد هم‌سنگ سواری ۲۴ ساعته برای تقاطع باقری- رسالت

16. Sydney Coordinnated Adaptive Traffic System

(الف)

(ب)

شکل ۷- الف) دوربرگردان شمال گلبرگ، ب) خروجی از گلبرگ شرقی و ورودی به گلبرگ غربی (داخل کادر)

۴- نتایج

۴-۱- مقایسه ترافیکی تقاطع دارای چراغ و دوربرگردان

جداول (۴)، (۵)، و (۶) خلاصه عملکرد تقاطع گلبرگ و رسالت را به‌ترتیب در دوره‌های تردد سنگین، متوسط، و سبک نشان می‌دهد.

۴-۱-۱- سرعت سفر مستقیم رو اصلی

با اجرای دوربرگردان، سرعت سفر مستقیم رو اصلی در دوره تردد سنگین، متوسط، و سبک به‌طور تقریبی به‌ترتیب به میزان ۳۵(km/h)، (km/h) ۳۰، و (km/h) ۵ افزایش می‌یابد. سرعت سفر خودروهای معبر اصلی در تقاطع گلبرگ به‌ترتیب سه دوره به میزان ۲۸، ۲۸، و ۷- (km/h) افزایش می‌یابد. سرعت سفر خودروهای معبر فرعی (در تقاطع گلبرگ) به‌ترتیب سه دوره به میزان ۷، ۱، و ۲۰- (km/h) افزایش می‌یابد. بیشترین بهبود سرعت ناشی از احداث دوربرگردان منحصر به خودروهای مستقیم رو بزرگراه و کل خودروهای بزرگراه است. این مطلب نشان می‌دهد دوربرگردان، هدف روانی تردد در بزرگراه را محقق می‌کند.

با توجه به سرعت سفر معبر فرعی، افزایش سرعت در دوره حجم تردد سنگین و متوسط با کاهش سرعت در دوره سبک خنثی می‌شود. برای کل تقاطع در دوره تردد سنگین و متوسط دوربرگردان سرعت سفر خودروها را در حدود (km/h) ۲۰ افزایش می‌دهد. ولی در دوره تردد سبک، سرعت را (km/h) ۱۰ کاهش می‌دهد. این اعداد، از میان‌گیری وزنی بر اساس حجم تردد هر حرکت به دست آمد.

۴-۱-۲- زمان سفر کل معبر

در حجم تردد سنگین و متوسط، زمان سفر در معابر اصلی و فرعی هر دو تقاطع دارای دوربرگردان کاهش یافته است. ولی تردد سبک، زمان سفر معابر اصلی و فرعی را افزایش می‌دهد. با احداث دوربرگردان در تقاطع گلبرگ زمان سفر در دوره تردد سنگین، متوسط، و سبک به‌ترتیب ۵۴، ۳۲، ۲۹- ثانیه کاهش می‌یابد. این اعداد برای تقاطع رسالت برای همان دوره‌ها به ترتیب برابر ۸۵، ۴۳، و ۱۸- ثانیه هست. احداث دوربرگردان در تقاطع رسالت، کاهش بیشتری در زمان سفر به همراه دارد. زیرا تقاطع گلبرگ دارای حجم کم‌تر و دوربرگردان آن، به فاصله بیشتری از تقاطع واقع شده است.

اثر دوربرگردان بر زمان سفر بزرگراه و فرعی در تمامی دوره‌ها یکسان هست. بدین مفهوم که در هر دوره، اگر دوربرگردان زمان سفر بزرگراه را کاهش دهد، زمان سفر معبر فرعی را نیز کاهش می‌دهد.

۴-۱-۳- زمان سفر حرکات دورزننده

زمان سفر حرکات دورزننده وضعیتی مشابه زمان سفر کل معبر دارد. در تردد سنگین و متوسط، زمان سفر حرکات دورزننده کاهش و در تردد سبک افزایش می‌یابد.

۴-۱-۴- زمان سفر مستقیم‌رو اصلی

در بخش جاری (۴-۱-۴)، نسبت حجم گردشی برابر هست با مجموع حجم حرکت گردش به چپ و راست به حجم مستقیم رو (جدول (۷)). این تعریف برای معبر اصلی به کار می‌رود. در این جدول بیش‌ترین و کم‌ترین میزان نسبت حجم با مقادیر ۸۲ و ۲۶ درصد، متعلق به باقری جنوبی به‌ترتیب در تقاطع رسالت و گلبرگ هست. به همان ترتیب، بیشترین میزان کاهش زمان سفر در تقاطع چراغ‌دار، متعلق به باقری جنوبی در تقاطع رسالت و برابر ۱۰۱ ثانیه و کم‌ترین میزان زمان ذخیره شده متعلق به باقری جنوبی در تقاطع گلبرگ و برابر ۲۳ ثانیه هست.

جدول ۴- خلاصه عملکرد تقاطع گلبرگ و رسالت در دوره تردد سنگین (از ساعت ۶ صبح الی ۵ عصر)

معابر	شاخص	گلبرگ			رسالت		
		تقاطع چراغدار	دوربرگردان	بهبود دوربرگردان	تقاطع چراغدار	دوربرگردان	بهبود دوربرگردان
اصلی	سرعت سفر مستقیم رو اصلی (km/h)	۲۶	۶۰	۳۴	۱۰	۴۶	۳۶
	سرعت سفر کل معبر (km/h)	۲۷	۵۵	۲۸	۱۱	۳۹	۲۸
	زمان سفر کل معبر (s/veh)	۱۱۹	۶۲	۵۷	۱۵۵	۵۸	۹۷
	مصرف سوخت (ltr)	۷۷۰۵	۵۶۴۶	۲۰۵۹	۷۶۹۹	۴۴۰۲	۳۲۹۷
	تولید آلاینده CO (kg)	۱۵۶۹	۹۶۷	۶۰۲	۱۱۸۵	۸۸۷	۲۹۸
	تولید آلاینده HC (kg)	۱۷۵	۱۰۲	۷۳	۱۵۰	۹۸	۵۲
	تولید آلاینده NOX (kg)	۸۵	۹۵	-۱۱	۵۳	۶۵	-۱۳
فرعی	سرعت سفر کل معبر (km/h)	۲۳	۳۰	۷	۲۰	۲۸	۸
	زمان سفر کل معبر (s/veh)	۱۳۵	۸۴	۵۱	۱۴۷	۸۱	۶۶
	زمان سفر حرکات دورزننده (s/veh)	۱۶۴	۹۲	۷۲	۱۸۵	۸۵	۱۰۰
	مصرف سوخت (ltr)	۳۳۰۹	۳۸۳۸	-۵۲۹	۳۹۳۴	۳۶۵۱	۲۸۳
	تولید آلاینده CO (kg)	۵۸۱	۷۱۸	-۱۳۷	۶۶۵	۷۵۰	-۸۵
	تولید آلاینده HC (kg)	۷۰	۷۷	-۶	۷۹	۸۴	-۵
	تولید آلاینده NOX (kg)	۳۰	۶۲	-۳۱	۳۱	۵۴	-۲۳
کل تقاطع	سرعت سفر کل معبر (km/h)	۲۵	۴۶	۲۱	۱۴	۳۵	۲۱
	زمان سفر کل معبر (s/veh)	۱۲۴	۷۰	۵۴	۱۵۲	۶۷	۸۵
	مصرف سوخت (ltr)	۱۱۰۱۴	۹۴۸۳	۱۵۳۱	۱۱۶۳۳	۸۰۵۳	۳۵۸۰
	تولید آلاینده CO (kg)	۲۱۵۰	۱۶۸۵	۴۶۵	۱۸۴۹	۱۶۳۸	۲۱۱
	تولید آلاینده HC (kg)	۲۴۵	۱۷۸	۶۷	۲۲۹	۱۸۲	۴۷
	تولید آلاینده NOX (kg)	۱۱۵	۱۵۷	-۴۲	۸۴	۱۲۰	-۳۶

جدول ۵- خلاصه عملکرد تقاطع گلبرگ و رسالت در دوره تردد متوسط (از ساعت ۵ عصر الی ۱۱ شب)

معابر	شاخص	گلبرگ			رسالت		
		تقاطع چراغدار	دوربرگردان	بهبود دوربرگردان	تقاطع چراغدار	دوربرگردان	بهبود دوربرگردان
اصلی	سرعت سفر مستقیم رو اصلی (km/h)	۲۷	۵۹	۳۲	۱۶	۴۶	۳۰
	سرعت سفر کل معبر (km/h)	۲۸	۵۶	۲۸	۱۷	۴۱	۲۴
	زمان سفر کل معبر (s/veh)	۱۰۷	۶۱	۴۶	۱۰۲	۵۶	۴۶
	مصرف سوخت (ltr)	۳۳۲۱	۲۴۴۸	۸۷۳	۲۸۷۹	۲۰۱۸	۸۶۱
	تولید آلاینده CO (kg)	۶۴۸	۴۰۹	۲۳۹	۵۰۲	۳۹۸	۱۰۴
	تولید آلاینده HC (kg)	۷۶	۴۴	۳۲	۶۰	۴۳	۱۷
	تولید آلاینده NOX (kg)	۳۷	۴۲	-۵	۲۵	۳۱	-۶
فرعی	سرعت سفر کل معبر (km/h)	۳۱	۳۲	۱	۲۲	۲۹	۷
	زمان سفر کل معبر (s/veh)	۷۷	۷۷	۰	۱۱۶	۷۸	۳۸
	زمان سفر حرکات دورزننده (s/veh)	۹۳	۸۳	۱۰	۱۴۳	۸۱	۶۲
	مصرف سوخت (ltr)	۱۱۴۷	۱۶۱۸	-۴۷۱	۱۸۴۱	۱۶۸۳	۱۵۸
	تولید آلاینده CO (kg)	۲۲۰	۲۹۳	-۷۳	۲۵۶	۳۴۰	-۸۴
	تولید آلاینده HC (kg)	۲۵	۳۱	-۶	۳۳	۳۸	-۵
	تولید آلاینده NOX (kg)	۱۳	۲۷	-۱۴	۱۴	۲۵	-۱۱
کل تقاطع	سرعت سفر کل معبر (km/h)	۲۹	۴۸	۱۹	۱۹	۳۷	۱۸
	زمان سفر کل معبر (s/veh)	۹۹	۶۷	۳۲	۱۰۷	۶۴	۴۳
	مصرف سوخت (ltr)	۴۴۶۹	۴۰۶۶	۴۰۳	۴۷۲۰	۳۷۰۲	۱۰۱۸
	تولید آلاینده CO (kg)	۸۶۸	۷۰۳	۱۶۵	۷۵۹	۷۳۸	۲۱
	تولید آلاینده HC (kg)	۱۰۱	۷۵	۲۶	۹۳	۸۱	۱۲
	تولید آلاینده NOX (kg)	۵۰	۶۸	-۱۸	۳۹	۵۶	-۱۷

جدول ۶- خلاصه عملکرد تقاطع گلبرگ و رسالت در دوره تردد سبک (از ساعت ۱۱ شب الی ۶ صبح)

معابر	شاخص	گلبرگ			رسالت		
		تقاطع چراغ‌دار	دوربرگردان	بهبود دوربرگردان	تقاطع چراغ‌دار	دوربرگردان	بهبود دوربرگردان
اصلی	سرعت سفر مستقیم رو اصلی (km/h)	۶۰	۵۹	-۱	۵۳	۶۲	۹
	سرعت سفر کل معبر (km/h)	۶۲	۵۵	-۷	۵۳	۵۲	-۱
	زمان سفر کل معبر (s/veh)	۳۸	۶۰	-۲۲	۳۱	۴۵	-۱۴
	مصرف سوخت (ltr)	۷۷۳	۸۵۸	-۸۵	۵۱۴	۶۲۲	-۱۰۹
	تولید آلاینده CO (kg)	۱۳۱	۱۴۰	-۹	۹۵	۱۰۷	-۱۱
	تولید آلاینده HC (kg)	۱۴	۱۵	-۱	۱۰	۱۱	-۱
	تولید آلاینده NOX (kg)	۱۳	۱۵	-۲	۸	۱۱	-۲
فرعی	سرعت سفر کل معبر (km/h)	۵۵	۳۵	-۲۰	۴۶	۳۴	-۱۲
	زمان سفر کل معبر (s/veh)	۲۶	۵۹	-۳۳	۳۵	۵۲	-۱۷
	زمان سفر حرکات دورزننده (s/veh)	۲۴	۷۹	-۵۵	۳۷	۶۹	-۳۲
	مصرف سوخت (ltr)	۲۸۱	۵۵۰	-۲۶۹	۳۱۰	۵۱۱	-۲۰۲
	تولید آلاینده CO (kg)	۴۹	۸۸	-۳۹	۶۰	۹۲	-۳۲
	تولید آلاینده HC (kg)	۵	۱۰	-۴	۶	۱۰	-۳
	تولید آلاینده NOX (kg)	۵	۹	-۵	۵	۹	-۴
کل تقاطع	سرعت سفر کل معبر(km/h)	۵۸	۴۸	-۱۰	۵۱	۴۶	-۵
	زمان سفر کل معبر (s/veh)	۳۴	۶۳	-۲۹	۳۳	۵۱	-۱۸
	مصرف سوخت (ltr)	۱۰۵۴	۱۴۰۸	-۳۵۴	۸۲۳	۱۱۳۴	-۳۱۱
	تولید آلاینده CO (kg)	۱۸۰	۲۲۸	-۴۸	۱۵۶	۱۹۹	-۴۳
	تولید آلاینده HC (kg)	۲۰	۲۵	-۵	۱۷	۲۱	-۴
	تولید آلاینده NOX (kg)	۱۸	۲۴	-۶	۱۳	۱۹	-۶

جدول ۷- نسبت حجم گردشی معابر باقری شمالی و جنوبی در تقاطع‌های گلبرگ و رسالت و کاهش زمان سفر آن‌ها

معبر / شاخص / تقاطع	باقری جنوبی		باقری شمالی	
	نسبت حجم (درصد)	کاهش زمان سفر (ثانیه)	نسبت حجم (درصد)	کاهش زمان سفر (ثانیه)
گلبرگ	۲۶	۲۳	۳۶	۸۲
رسالت	۸۲	۱۰۱	۵۵	۸۱

جدول ۸- متوسط مسافت افزوده در هرکدام از رویکردهای تقاطع دارای دوربرگردان (متر)

تقاطع	رویکرد				کل تقاطع
	رو به غرب	رو به شرق	رو به شمال	رو به جنوب	
گلبرگ	۴۱۳	۳۵۵	۶۹	۷۵	۱۷۹
رسالت	۲۴۱	۲۵۳	۱۱۳	۱۱۸	۱۶۴

هر چه نسبت حجم گردشی افزایش یابد، دوربرگردان توان بیشتری در کاهش زمان سفر مستقیم رو اصلی از خود بروز می‌دهد. افزایش حجم حرکات گردشی، سبب کاهش طول فرجه سبز تخصیص یافته به حرکات مستقیم رو و افزایش زمان توقف و سفر می‌شود. پس مزیت دوربرگردان این هست که با هدایت جریان‌های کم‌اهمیت (مخصوصاً گردش به چپ) زمان سفر مستقیم رو اصلی را کاهش می‌دهد.

۴-۲- مقایسه مسافت سفر تقاطع‌های چراغ‌دار و دوربرگردان

در جدول (۸)، افزایش مسافت سفر خودروها در تقاطع گلبرگ و رسالت نشان داده شده است. افزایش مسافت سفر برای معابر فرعی به مراتب بیشتر از معابر اصلی هست. دامنه مقادیر افزایش مسافت سفر از ۶۹ تا ۴۱۳ متر برای هر معبر تغییر می‌کند. به‌طور متوسط هر خودرویی که از تقاطع گلبرگ و رسالت عبور می‌کند، به‌ترتیب مسافت اضافه‌ای معادل ۱۷۹ و ۱۶۴ متر طی می‌کند.

۴-۳- مقایسه مصرف سوخت تقاطع دارای چراغ و دوربرگردان

در تقاطع گلبرگ و رسالت در طی شبانه‌روز، به ترتیب به میزان ۱/۶۲۳ و ۴/۲۴۴ لیتر مصرف سوخت کاهش می‌یابد. این اعداد از جمع کاهش مصرف سوخت در دوره تردد سنگین و متوسط و افزایش مصرف سوخت در دوره تردد سبک برای کل تقاطع به‌دست آمد. مصرف سوخت معابر اصلی در تقاطع دارای دوربرگردان، طی دوره‌های تردد سنگین و متوسط، کاهش و در دوره تردد سبک، افزایش می‌یابد. مصرف سوخت برای خودروهای معبر گلبرگ، در تمامی دوره‌ها افزایش می‌یابد و مقادیر آن در دوره تردد سنگین، متوسط، و سبک به‌ترتیب برابر ۵۲۹،۴۷۱، و ۲۶۹ لیتر می‌باشد. به عبارتی دیگر در هر روز، مصرف بنزین ۱،۲۶۹ لیتر افزایش می‌یابد.

۴-۴- مقایسه آلایندگی تقاطع دارای چراغ و دوربرگردان

تقاطع دارای دوربرگردان، تولید آلاینده‌های CO و HC را در دوره تردد سنگین و متوسط، کاهش و در دوره تردد سبک افزایش می‌دهد. در مجموع در شبانه‌روز، تولید این آلاینده‌ها کاهش می‌یابد. تولید آلاینده CO در تقاطع گلبرگ و رسالت به ترتیب به میزان ۵۸۲ و ۱۸۹ کیلوگرم و تولید آلاینده HC به ترتیب به میزان ۸۸ و ۵۵ کیلوگرم در شبانه‌روز کاهش می‌یابد. این اعداد از جمع کاهش تولید آلاینده CO در دوره تردد

سنگین و متوسط و افزایش آن در دوره تردد سبک برای کل تقاطع به‌دست‌آمد. توجه کنید که براساس شکل (۵) با افزایش سرعت، تولید آلاینده به ازای هر ثانیه سفر افزایش می‌یابد. به عبارتی دیگر در هر ثانیه سفر در دوربرگردان، آلاینده بیشتری وارد هوا می‌شود. اما چون دوربرگردان باعث کاهش زمان سفر می‌شود، در مجموع تولید آلاینده را کاهش می‌دهد. در دو دوره سنگین و متوسط اگرچه با احداث دوربرگردان، تولید آلاینده CO و HC در کل تقاطع کاهش می‌یابد، اما خودروهای معابر فرعی، آلاینده بیشتری تولید می‌کنند. میزان تولید NOX در تمامی ساعات شبانه‌روز و در هر دو تقاطع افزایش می‌یابد. در شبانه‌روز افزایش تولید NOX در تقاطع گلبرگ و رسالت به‌ترتیب برابر ۶۶ و ۵۹ کیلوگرم هست.

۵- نتیجه‌گیری

برای سه دوره تردد سنگین، متوسط، و سبک و به کمک شاخص‌های مختلفی، بین تقاطع دارای چراغ و دوربرگردان مقایسه به‌عمل آمد. عملکرد ترافیکی تقاطع دارای چراغ و دوربرگردان، به‌ترتیب به کمک شبیه‌سازی و مدل‌سازی ریاضی به‌دست‌آمد. دوربرگردان‌های موردمطالعه در امتداد بزرگراه شش خطه شهری قرار داشتند و تمامی چراغ‌های راهنمایی آن با دوربرگردان جایگزین شد. با اجرای دوربرگردان، سرعت سفر مستقیم رو اصلی در دوره تردد سنگین، متوسط، و سبک به‌طور تقریبی به ترتیب به میزان (km/h)۳۵، (km/h) ۳۰، و (km/h) ۵ افزایش می‌یابد. بیشترین بهبود سرعت ناشی از احداث دوربرگردان منحصر به خودروهای مستقیم رو اصلی هست. دوربرگردان، هدف روانی تردد در بزرگراه را محقق می‌کند.

احداث دوربرگردان در تقاطع رسالت، کاهش بیشتری در زمان سفر به همراه دارد، زیرا تقاطع رسالت دارای حجم تردد بیشتر و دوربرگردان آن، به فاصله کم‌تری از تقاطع واقع شده است. هر چه نسبت حجم حرکات گردشی به حرکات مستقیم رو بزرگراه، افزایش یابد، دوربرگردان از توانایی بالاتری در کاهش زمان سفر و روانی تردد از خود بروز می‌دهد.

از معایب دوربرگردان، افزایش مسافت سفر هست. به‌طور متوسط هر خودرویی که از تقاطع گلبرگ و رسالت عبور می‌کند، به ترتیب مسافت اضافه‌ای معادل با ۱۷۹ و ۱۶۴ متر طی می‌کنند که باعث افزایش استهلاک خودروها می‌شود.

مقایسه مصرف سوخت تقاطع دارای چراغ و دوربرگردان نشان داد که به دلیل افزایش سرعت حرکت و کاهش مصرف سوخت در سرعت بالاتر، در تقاطع دارای دوربرگردان گلبرگ و رسالت، به ترتیب به میزان ۱۶۲۳ و ۴۲۴۴ لیتر مصرف سوخت در طی شبانه روز کاهش می‌یابد. البته، لازم به ذکر هست که مصرف سوخت معبر فرعی تقاطع رسالت در تمامی دوره‌ها افزایش می‌یابد.

در شبانه‌روز، تولید آلاینده‌های CO و HC کاهش و تولید آلاینده NOX افزایش می‌یابد. اگرچه با افزایش سرعت، تولید آلاینده به ازای هر ثانیه سفر در دوربرگردان افزایش می‌یابد، اما چون دوربرگردان باعث کاهش زمان سفر می‌شود، در مجموع تولید آلاینده را کاهش می‌دهد.

در یک نگاه کلی می‌توان گفت تقاطع دارای دوربرگردان، در دوره تردد سنگین و متوسط دارای عملکرد ترافیکی بهتری هست ولی در دوره تردد سبک عملکرد آن منفی هست.

ارزیابی تقاطع دارای دوربرگردان و چراغ با استفاده از شاخص‌های متعدد، نشان می‌دهد اجرای دوربرگردان برای برخی دوره‌ها، حرکات، یا معابر مناسب و برای دیگر دوره‌ها، حرکات، یا معابر نامناسب است. شاید این‌گونه به نظر برسد که به یک نتیجه و جمع‌بندی واحد و مشخصی در مورد مناسب بودن استفاده از دوربرگردان نمی‌توان رسید. دراین‌باره باید گفت طبیعی است که هر طرحی مزایا و معایب خود را داشته باشد. در نهایت این یک مسئله انتخاب و تصمیم‌گیری است که با توجه به مزایا و معایب، چه طرحی برای اجرا انتخاب شود. به عنوان مثال دوربرگردان، در دوره تردد سنگین و متوسط، عملکرد ترافیکی خوبی دارد اما در دوره تردد سبک عملکرد خوبی ندارد. لذا براساس این‌که در یک

روز چند ساعت، تردد سنگین، متوسط، یا سبک است، و میزان کاهش یا افزایش زمان سفر در این دوره‌ها چقدر است، طراح باید انتخاب کند که اجرای دوربرگردان منطقی است یا نه.

در این تحقیق، در دو تقاطع گلبرگ- باقری و رسالت-باقری (در تهران)، برآیند عملکرد ۲۴ ساعته دوربرگردان از بابت ترافیکی و مصرف سوخت، مثبت ارزیابی می‌شود، اگرچه در برخی موارد ممکن است دوربرگردان اثرات منفی (نظیر افزایش مصرف سوخت، افزایش مسافت سفر) بر خودروهای معبر فرعی داشته باشد.

تحلیل هندسی دوربرگردان نشان داد که احتمال برخورد با جزایر و اجزاء هندسی دوربرگردان بالاست و در مشاهدات میدانی، اثرات برخورد خودروها با جزیره‌ها (خرده شیشه چراغ‌های خودرو و...) معمولاً دیده می‌شد. این تحلیل مطابق با مطالعات پیشین است که بیان می‌دارد تعداد کل تصادفات در دوربرگردان‌ها ۱۳/۲ درصد افزایش می‌یابد.

در این تحقیق، عملکرد دوربرگردان‌های واقع در امتداد بزرگراه‌ها بررسی شد. پیشنهاد می‌شود عملکرد دوربرگردان‌های واقع در امتداد معابر شریانی با کاربری‌های تجاری نیز بررسی شود. همچنین پیشنهاد می‌شود تحلیل هزینه-فایده و ارزیابی اقتصادی با لحاظ تمامی شاخص‌های ترافیکی، آلایندگی، مصرف سوخت، ایمنی، و هزینه‌های ساخت بر روی دوربرگردان انجام گیرد.

۶- مراجع

امینی ب، "نقدی بر پدیده دوربرگردان"، صنعت حمل‌ونقل، ۱۳۸۵، ۲۵۲ (۱)، ۱۸-۱۶.

امینی ب، "ارزیابی فنی و اقتصادی دوربرگردان"، ماهنامه شهر و ساختمان، ۱۳۸۴، ۱۵ و ۱۶.

امینی ب، رحیمی ب، "سنجش اثرات ترافیکی احداث تقاطع‌های ناهمسطح شهری در شبکه معابر و تقاطع‌های پیرامونی"، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز، ۱۳۹۲، ۴۳ (۱)، ۴۹-۴۱.

بهبهانی ح، احمدی‌نژاد م، "نقش تقاطعات دارای دوربرگردان در کاهش مصرف سوخت و آلاینده"، مجله فنی و مهندسی تربیت مدرس، ویژه‌نامه مهندسی عمران، ۱۳۸۸، ۳۶، ۳۱-۲۳.

چوپانی ع ا، شاهی ج، "کالیبراسیون شبیه‌ساز خردنگرSim Traffic در تقاطع‌های چراغ‌دار"، مجموعه مقالات نهمین کنگره ملّی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۲-۲۱ اردیبهشت، ۱۳۹۵.

حاجی‌حسینلو م، "تحلیل و بررسی اثرات ترافیکی و زیست‌محیطی چراغ‌های هوشمند ثابت و غیرهوشمند در تقاطع‌ها"، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۳۸۵، ۲۸ (۱)، ۶۴-۵۴.

حیدریان پ، "بررسی نقش تسهیل جریان ترافیک در کاهش مصرف انرژی و صرفه‌جویی آن در حمل و نقل"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۹۴.

رحیمی ا م، باقری س ر، شهنی دزفولیان ر، مظاهری ا، "ارزیابی استفاده از انواع تقاطع‌های غیرمتعارف به منظور بهبود جریان ترافیک در راه‌های شریانی برون شهری"، پژوهشنامه حمل-ونقل، تابستان ۱۳۹۵، ۱۳ (۲)، ۱۲۸-۱۱۵.

سازمان برنامه و بودجه، معاونت نظام راهبردی، امور نظام فنی، "نشریه شماره ۴۱۵: آیین‌نامه طرح هندسی راه‌های ایران"، ۱۳۹۱.

مظاهری ا، "تعیین مکان مناسب دوربرگردان در محدوده تقاطع شهری"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زنجان، ۱۳۹۳.

وزارت نیرو، "ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۴"، ۱۳۹۴.

AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) "A policy on geomtric design of highways and streets", Washington, D.C., 2011.

Autey J, Sayed T, El Esawey M, "Guidelines for the use of some unconventional intersection designs", 4th International Symposium on Highway Geometric Design, Valencia, Spain, 2-5 June, 2012.

Azizi L, Sheikholeslami AR, "Safety effect of u-turn conversions in Tehran: Empirical bayes observational before-and-after study and crash prediction models", Journal of Transportation Engineering, 2012, 139 (1), 101-108.

Choupani AA, Shahi J, "Modeling the operational effects of unconventional u-turns at a highway intersection", Transportmetrica, 2009, 5 (3), 173-191.

Dash S, Mohapatra SS, Dey P, "Estimation of critical gap of u-turns at uncontrolled median openings", Transportation Letters, 2019, 11 (5), 229-240.

Della RH, Hanafiah, Arliansyah J, Artiansyah R, "Traffic performance analysis of u-turn and fly over u-turn scenario: A case study at Soekarno Hatta road, Palembang, Indonesia", Procedia Engineering, 2015, 125, 461-466.

Hummer JE, Boone JL, "Travel time evaluation of synchronized and Milwaukee B as new interchange designs", Journal of Transportation Engineering, 2018, 144 (2), 1-8.

Khan MR, Chalumuri RS, Senapathi V, "Modelling of the gap pohenomena at u-turn provisions on the median openings of inter-urban highway corridors", Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2015, 11, 1842-1856.

Liu P, Lu J, Chen H, Sokolow G, "Impacts of separation distance between driveway exit and downstream u-turn locations on the safety performance of right-turns followed by u-turns", TRB 87th Annual Meeting Compendium of Papers CD-ROM, Washington, D.C., 13-17 January, 2008.

Lu J, Dissanayake S, Zhou H, Yang XK, "Operational

evaluation of right turns followed by u-turns as an alternative to direct left turns", Florida Department of Transportation, 2001.

Lu J, Liu P, Fan J, Pernia J, "Operational evaluation of right turns followed by u-turns at signalized intersections (6 or more lanes) as an alternative to direct left turns", Florida Department of Transportation, 2004.

Lu JJ, Liu P, "Operational evaluation of right turns followed by u-turns (4-lane arterials) as an alternative to direct left turns", Florida Department of Transportation, 2005.

Maze TH, Hotchinson JL, Souleyrette, RR, Preston H, Storm R, "NCHRP report 650: Median intersection design for rural high-speed divideed highways", Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2010.

Meel IP, Brannolte U, Satirasetthavee D, Kanitpong K, "Safety impact of application of auxiliary lanes at downstream locations of Thai u-turns", IATSS Research, 2017, 41 (1), 1-11.

Mohapatra SS, Dey PP, "Lateral placement of u-turns at median openings on six-lane divided urban roads", Transportation Letters, 2015, 7 (3), 252-263.

Obaidat T, Elayan MS, "Gap acceptance behavior at u-turn median openings: Case study in Jordan", Jordan Journal of Civil Engineering, 2013, 7 (3), 332-341.

Reid J, Hummer JE, "Travel time comparisons between seven unconventional arterial intersection designs", Transportation Research Record, 2002, 1751, 56-66.

Sun W, Wu X, Yunpeng W, Yu G, "A continuous-flow-intersection-lite design and traffic control for oversaturated bottleneck intersections", Transportation Research Part C: Emerging Technologies,2015, 56, 18-33.

Wood JD, Eric T, "Safety evaluation of continuous green t intersections: A propensity scores-genetic matching-potential outcomes approach", Accident Analysis & Prevention, 2016, 93, 1-13.

Xu L, Yang X, Chang GL, "Computing the minimal u-turn offset for an unsignalized superstreet", Transportation Research Record, 2017, 2618, 48-57.

Zhou H, Hsu P, Lu J, Wright JE, "Optimal location of u-turn median openings on roadways", Transportation Research Record, 2003, 1847, 36-41.

University of Tabriz

Journal of Civil and Environmental Engineering
Volume 50 (2021), Issue 4 (Winter), 11-23

EXTENDED ABSTRACT

Evaluation of Operations, Fuel Consumption, and Emission at Signalized Intersections Replaced by U-Turns along Six-Lane Highways

Abdoul-Ahad Choupani *

Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Received: 29 March 2018; **Accepted:** 15 July 2019

Keywords:
Signalized intersections, Mid-Block median u-turns, Operational evaluation, Fuel consumption, Emission.

1. Introduction

U-Turns are important and unconventional tools for the improvement of highway mobility. In some cities of Iran, signalized intersections were replaced by mid-block median u-turns which have different functions and configurations from foreign counterparts as the followings:

1. Generally, only left turns are diverted to u-turn. However, in Iran, even minor street through is directed to u-turns because the intersection has been blocked.
2. Vehicles of the minor street do not wait to merge into highway flow due to the provision of a relatively large turning radius and shoulder lane,
3. U-turning vehicles do not incur a delay to merge into opposing highway flow due to the wide island provided at the median opening that allows vehicles to merge protectively,

Local studies on the performance of u-turns led to controversial results since they did not apply a systematic approach for accurate evaluation, studies were not conducted for peak and nonpeak periods, and the resultant effects of eliminating delays at the intersection and spending more time for making a u-turn were not considered simultaneously. Therefore a research project was conducted to evaluate performance of u-turns. Since the main objective of constructing u-turns was to enhance the mobility and operations of a highway, this study focuses mainly on the operational evaluation of the u-turns. The impacts of u-turns on fuel consumption and emission were also studied.

2. Methodology

Recent studies have applied micro-simulation or operational models to assess the mid-block u-turns. In this study, the previous state of the intersection was micro-simulated using SimTraffic. For micro-simulation, the intersection geometry, volumes, lane group, signal phasing, and timing were defined in Synchro (Fig. 1).

Also, operational models were deployed to model the effects of u-turns on different movements at two highway intersections (Chouapni and Shahi, 2009). Travel time models were used for vehicles that were directed toward u-turns. Travel speed models were employed to extract the speed of the rest of the vehicles (non-weaving vehicles). The models are as the followings:

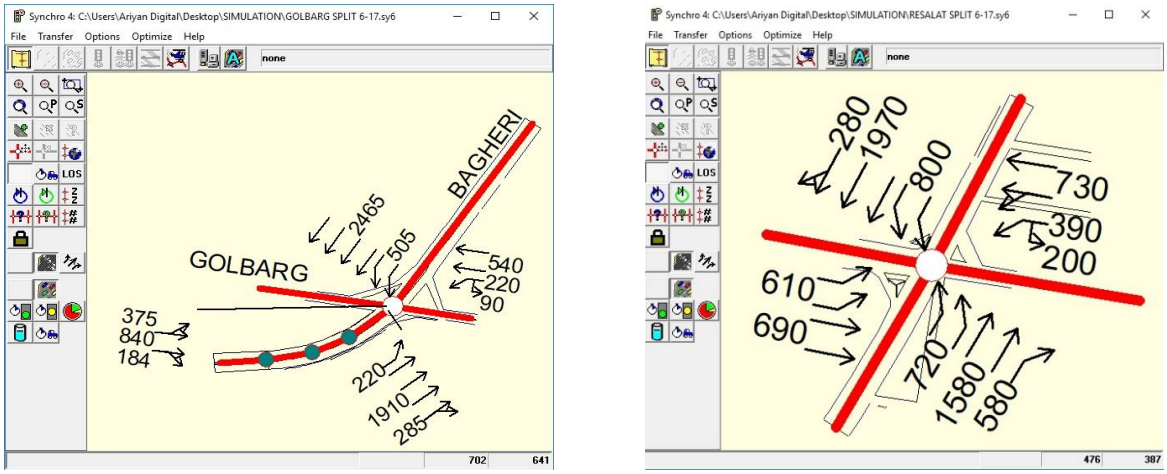
$$TT_{LT}=0.0925WL+0.0027TH+0.0048MV+0.0037DV \quad (1)$$

$$TT_{MISTH}=0.1WL+0.0024TH+0.0064MV+0.0039DV \quad (2)$$

$$S_{MASTH}= 0.610\ FFS+0.040\ WL+1.966\ VR \quad (3)$$

$$S_{NW}=0.389\ FFS + 0.041\ WL + 5.183\ VR \quad (4)$$

* Corresponding Author
E-mail addresses: ahadchoupani@shahroodut.ac.ir (Abdoul-Ahad Choupani).



(a) (b)

Fig. 1. Average hourly volume of movements (at high-volume period) and lane groups in: a) Bagheri-Golbarg, b) Bagheri-Resalat intersections (in a work day in May, 2016)

Where
TT_{LT}= average travel time of left turns (s)
TT_{MISTH}= average travel time of minor street through (s)
S_{MASTH}= average travel speed of major street through (kmph)
S_{NW}= average travel speed of non-weaving flows (kmph)
WL= weaving length (m)
TH= the total flow rate of vehicles approaching the minor street from left-side and the median opening from right side (TH=TH1+TH2) (vph)
MV= the flow rate of vehicles that exit from the minor street and merge into the highway (vph)
DV= the flow rate of vehicles that diverge from highway and enter the minor street (vph)
FFS=free flow speed (kmph)
VR= volume ratio (flow rate of vehicles which can move freely in every lane to the flow rate of vehicles that are subject to access specific lanes).

Three periods of time with high, medium, and low volumes were assessed. U-turns of Golbarg and Resalat intersections located along Bagheri six-lane highway (in Tehran, Iran) where the cases of this study.

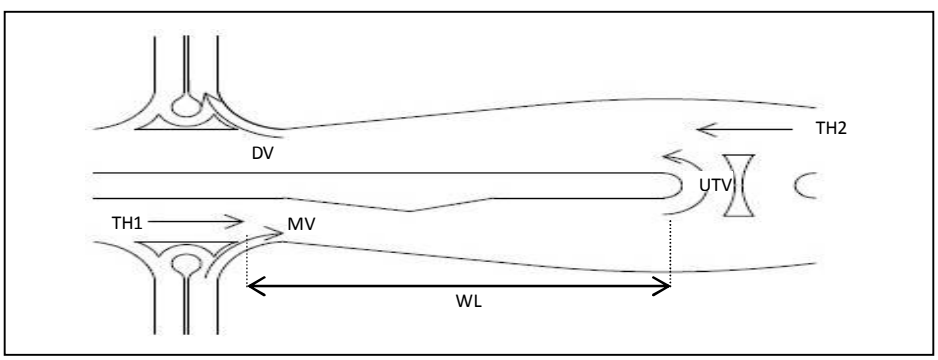


Fig. 2. A graphical representation of variables applied for operational modeling of u-turns

3. Results and discussion

The highway through travel speed rises by 35 (kmph), 30 (kmph), and 5 (kmph) at high, medium, and low volumes, respectively. U-Turns installation enhances highway mobility at all hours of day. If all vehicles crossing the intersection are considered, u-turns increase the travel speed of vehicles by 20 (kmph) at high and medium volumes and decrease speed by 10 (kmph) at low volumes. Our results demonstrate that as the volume ratio of turning vehicles to the highway through vehicles rises, u-turns ability to improve highway mobility rises.

At Bagheri-Golbarg and Bagheri-Resalt intersections, fuel consumption declines by 1,623 and 4,244 liters per day, though fuel consumption of vehicles travelling in Golbarg Street grows by 529, 471, and 269 liters at high, medium, and low volumes, respectively. Collectively, daily consumption rises by 1,269 liters (in Golbarg Street).

CO and HC emissions drop at high and medium volume. The amounts of CO and HC emissions per each second of travel increase at higher speeds. Hence, vehicles traveling in u-turns will produce more air pollutants per each second of their travel. However, u-turns reduce the total travel times of vehicles and emissions. The emissions of CO and HC at low volume and emission of NOX at whole levels of volume ascend.

4. Conclusions

In brief, when operations, fuel consumption, and emission at u-turns are regarded, u-turns have a strong performance at high and medium volumes and poor performance at low volumes while they may have some negative impacts (like further fuel consumption) on minor street vehicles. Furthermore, the geometric analysis of u-turns demonstrates that there is a high risk of collision with islands and geometric elements of u-turns. This result is in concordance with recent studies that state the total amount of crashes increase by 13.2 percent at u-turns.

5. References

Choupani AA, Shahi J, “Modeling the operational effects of unconventional u-turns at a highway intersection”, Transportmetrica, September 2009, 5 (3), 173-191.