

ارزیابی عملکردی استفاده از حرکت دوربرگردان بازشدگی‌های میانی به جای حرکت گردش به چپ مستقیم در تقاطع‌های چراغدار در احجام مختلف ترافیک گردش به چپ

امیرمسعود رحیمی (نویسنده مسئول)، دانشیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

احمد اکبرزاده، دانش آموخته کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

محمود اکبرزاده، دانش آموخته کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

آرش مظاهری، دانشجوی دکتری راه و ترابری، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

E-mail: amrahimi@znu.ac.ir

پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۸

دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۰۷

چکیده

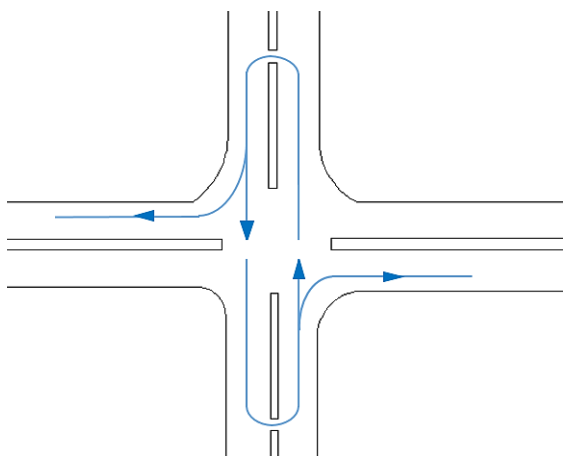
همواره وسایل نقلیه در تقاطع‌های چراغدار با تاخیر زیادی مواجه هستند. تحقیقات نشان داده که حرکات گردش به چپ مستقیم (DLT) در تقاطع‌های چراغدار، تعداد درگیری‌ها را افزایش داده و در نتیجه موجب افزایش زمان انتظار می‌شوند. از این رو برای حل این مشکل، محققان و سازمان‌های حمل و نقلی درصدد حذف این حرکات برآمده و راهکارهای غیرمرسوم را طراحی کرده‌اند. یکی از این راهکارها، استفاده از حرکت دوربرگردان در بازشدگی میانی به جای حرکت DLT است. در این تحقیق، استفاده از راهکار دوربرگردان به علاوه گردش به راست (UTRT) به جای حرکت DLT در سه تقاطع چراغدار درون شهری "تختی، شیخ صدوق و آذر-ملت" در شهر اصفهان و در احجام مختلف ترافیک گردش به چپ مورد مطالعه قرار گرفت. ابتدا از هر یک از تقاطع‌ها در ساعت اوج به مدت یک ساعت (از بازه اوج) فیلمبرداری انجام گرفت. سپس مشخصات هندسی و ترافیکی آن در حالت میدانی و با استفاده از فیلم‌های برداشتی استخراج شد. در ادامه با استفاده از نرم‌افزار سینکرو، سه تقاطع چراغدار ذکرشده در حالت DLT در شش سناریو و در حالت UTRT در هفت سناریو بهینه‌سازی شدند و از بهینه‌سازی چرخه زمان بندی تقاطع‌ها، برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی آن‌ها در نرم‌افزار ایمسان استفاده گردید. نتایج شبیه‌سازی در نرم‌افزار ایمسان نشان داد که استفاده از راهکار UTRT به جای حرکت DLT، عملکرد تقاطع‌های چراغدار را بهبود می‌بخشد. در اثر استفاده از این راهکار، شاخص عملکردی زمان سفر در تقاطع‌های "تختی، شیخ صدوق و آذر-ملت" به ترتیب ۷۶ تا ۸۵، ۳۶ تا ۶۴ و ۶۵ تا ۸۴ درصد کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: حرکت دوربرگردان، حرکت گردش به چپ مستقیم، نرم‌افزار ایمسان.

۱. مقدمه

تقاطع دوربرگردان میانی^۲ (MUTIT) است. این راهکار حذف DLT از راه‌های اصلی یا فرعی در تقاطع‌های کنترل شده با چراغ را شامل می‌شود. دو حالت در این راهکار وجود دارد:

راننده‌هایی که در راه اصلی قرار دارند و تمایل به انجام حرکت DLT دارند، بایستی از تقاطع عبور کنند و یک حرکت دوربرگردان در بازشدگی میانی پایین دست تقاطع انجام دهند و سپس می‌توانند یک گردش به راست در محل تقاطع انجام دهند (راهکار UTRT^۳). شکل ۱ راهکار UTRT را نشان می‌دهد.



شکل ۱. نمایش راهکار UTRT

برای راننده‌های راه‌های فرعی که تمایل دارند به راه اصلی گردش به چپ کنند، ابتدا می‌بایست یک گردش به راست به راه اصلی انجام دهند و سپس حرکت دوربرگردان در محل بازشدگی میانی را به طور کامل انجام دهند و در انتها به حرکت مستقیم خود ادامه دهند و از تقاطع عبور کنند (راهکار RTUT^۴). شکل ۲ راهکار RTUT را نشان می‌دهد [Anonymous, 2006].

خیابان‌ها و به طور کلی معابر شهری، نقش مهم و قابل توجهی در عملکرد شهرها ایفا می‌کنند و سهم به سزایی از فضاهای شهری را به خود اختصاص می‌دهند که بخش مهمی از این معابر مربوط به تقاطع‌های چراغدار است [Khaksari, Naseri and Saffarzadeh, 2015, in Persian]. تراکم ترافیک موجود در تقاطع‌های چراغدار چالشی برای همه شهرهای بزرگ یا شهرهای در حال رشد بوجود آورده است. یکی از دلایل تراکم ترافیک در تقاطع‌های چراغدار، ترافیک گردش به چپ می‌باشد.

در پاسخ به احجام ترافیک گردش به چپ بالا در تقاطع‌های چراغدار، زمان سبز طولانی‌تر برای فازبندی این حرکات اختصاص داده شده است. این واکنش ممکن است موجب اثرات منفی بر روی دیگر حرکات (از قبیل زمان سبز کوتاه‌تر و تاخیرهای بیشتر) شود. بعضی از راهکارهای پیشنهاد شده برای حل این مشکل از قبیل عریض کردن راه‌ها یا تغییر تقاطع‌ها به تبادلهای، به خاطر حق تملک در بیشتر تقاطع‌های چراغدار، پرهزینه هستند و بهتر است کم‌هزینه‌ترین راه‌حل‌ها در نظر گرفته شوند. بنابراین، سازمان‌های حمل و نقلی به دنبال در نظر گرفتن گزینه‌های مختلف برای تقویت ظرفیت پیشروی وسایل نقلیه و نیز بهبود سطح سرویس در تقاطع‌های چراغدار بدون ایجاد تغییرات اصلی بر روی هندسه تقاطع‌های موجود هستند.

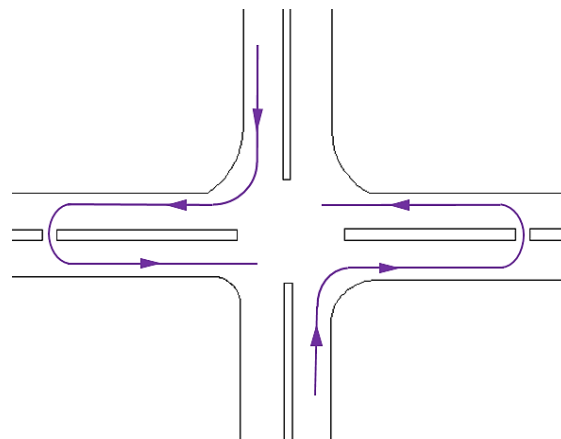
یکی از راهکارهای مهم بکار رفته در جهان، استفاده از حرکت دوربرگردان در بازشدگی میانی به جای حرکت گردش به چپ مستقیم^۱ (DLT) در تقاطع‌های چراغدار است [Taha and Abdelfatah, 2015]. در واقع یک راهکار بالقوه برای مقابله با تراکم و مشکلات ایمنی در تقاطع‌ها، راهکار

چندین تحقیق، اثر عملکردی جایگزین کردن حرکت DLT با حرکت دوربرگردان در بازشدگی میانی را مورد بررسی قرار داده‌اند: دروئی، مالک و نولف^۵ در سال ۱۹۹۷ شاخص‌های عملکردی ترافیک را ارزیابی کردند تا تفاوت‌ها را در عملکرد MUTIT در مقایسه با طراحی‌های مرسوم با خطوط گردش به چپ دوطرفه^۶ (TWLTL) مورد مطالعه قرار دهند. مدل ترف-نت‌سیم^۷ برای شبیه‌سازی این شرایط برای دوره‌های زمانی یک ساعته مورد استفاده قرار گرفت. یافته‌های اساسی تحقیق نشان داد که MUTIT در مقایسه با طراحی TWLTL پنج‌خطه، به طور پیوسته زمان سفر شبکه کمتری را ارائه می‌دهد. همچنین زمانی که ترافیک گردش به چپ ۱۰ و ۲۵ درصد بود، MUTIT با تقاطع‌های جهتی چراغدار، زمان سفر کل گردش به چپ کمتری نسبت به تقاطع‌های مرسوم داشت [Dorothy, Maleck and Nolf, 1997].

گلاک^۸ در سال ۱۹۹۹ تحقیقی پیرامون اثرات جایگزینی حرکت DLT با راهکار RTUT انجام داد. نتایج نشان داد که RTUT زمان سفر و تاخیر کمتری را در احجام ترافیکی متوسط به بالا در راه اصلی نتیجه داد [Gluck, 1999].

در برنامه تحقیقاتی انجمن ملی راه^۹ (NCHRP 420)، یک مدل تحلیلی توسعه یافت و کالیبره شد تا اندوخته‌های زمان سفر در راه‌های برون‌شهری و حومه شهری را تخمین بزند. یافته‌ها نشان داد که وسایل نقلیه DLT تاخیر بیشتری را نسبت به RTUT تجربه می‌کنند، زمانی که احجام در راه اصلی به نسبت بالا هستند و حجم DLT از ۵۰ وسیله نقلیه در ساعت تجاوز می‌کند [NCHRP 420].

رید و هامر^{۱۰} در سال ۱۹۹۹، عملکرد ترافیک در طول یک راه شریانی با MUTIT را با طراحی‌های مرسوم راه‌های شریانی TWLTL در دیتارویت^{۱۱} مقایسه کردند. محققان از کورسیم^{۱۲} برای شبیه‌سازی عملکرد ترافیک و از سینکرو^{۱۳} برای بهینه کردن زمان‌بندی چراغ‌های ترافیکی استفاده کردند. چهار دوره زمانی



شکل ۲. نمایش راهکار RTUT

با توجه به مطالب ذکرشده، سوالاتی مطرح می‌شود: آیا استفاده از راهکار UTRT به جای حرکت DLT در تقاطع‌های چراغدار در احجام مختلف ترافیک گردش به چپ موجب بهبود عملکرد ترافیک تقاطع‌ها می‌شود؟ میزان بهبود یا عدم بهبود در احجام مختلف چقدر است؟

از این رو در تحقیق حاضر برای پاسخ به این سوالات و بررسی دقیق راهکار UTRT، اثر استفاده از این راهکار به جای حرکت DLT در سه تقاطع چراغدار "نختی، شیخ صدوق و آذر-ملت" در شهر اصفهان و در احجام مختلف ترافیک گردش به چپ بررسی می‌شود.

۲. ادبیات پژوهش

راهکارهای غیرمرسوم دو هدف را دنبال می‌کنند: اول، تاکید بر روی کاهش تاخیر وسایل نقلیه مستقیم است. در واقع خدمت رسانی به وسایل نقلیه مستقیم، هدف اصلی کلاس طبقه‌بندی راه‌های شریانی است. دوم، راهکارهای غیرمرسوم تلاش می‌کنند تا نقاط برخورد در تقاطع‌ها را کاهش دهند و نقاط برخورد باقی‌مانده را جدا کنند [Pirdavani et al., 2011].

ژوو^{۱۵} و همکاران در سال ۲۰۰۲، در فلوریدا اثرات عملکردی استفاده از انواع کنترل گردش به چپ غیرمرسوم را بررسی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که زمان سفر و تاخیر کاهش می‌یابد [Zhou et al. 2002].

یانگ^{۱۶} و ژوو در سال ۲۰۰۴، عملکردهای اجرایی DLT و RTUT را با استفاده از کورسیم ارزیابی کردند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که DLT عملکرد بهتر در حجم پایین ترافیک مستقیم در راه اصلی دارند. با این وجود، RTUT دارای زمان سفر و تاخیر کمتری در حجم ترافیکی بالا در راه اصلی هستند [Yang and Zhou, 2004].

تاپ^{۱۷} و هامر در سال ۲۰۰۵، تقاطع‌های میانی در راه‌های فرعی را با تقاطع‌های میانی در راه‌های شریانی برای استفاده از MUTIT با استفاده از کورسیم مقایسه کردند. نتایج نشان داد که طراحی MUTIT با حرکت دوربرگردان در راه فرعی در مقایسه با راه اصلی، درصد توقف‌ها، زمان سفر کل و تاخیر را برای بیشتر ترکیبات حجم کاهش داد [Topp and Hummer, 2005].

لیو، ژوو و ساکالو^{۱۸} در سال ۲۰۰۷، حرکت DLT و راهکار RTUT در یک بازشدگی میانی را از مسیر یا راه کناری مورد بررسی قرار دادند. این مطالعه در راه‌های شش یا هشت‌خطه انجام شد و داده‌های مربوط به DLT و RTUT در ۱۰ محل جمع‌آوری شدند. ابتدا به آنالیز عملکردی دو حرکت مورد نظر بر اساس روش مدل تجربی پرداختند. نتایج نشان داد که تاخیر و زمان سفر برای RTUT کمتر از DLT است. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار کورسیم، شبیه‌سازی را در سناریوهای مختلف انجام دادند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نیز نشان داد که تاخیر و زمان سفر برای RTUT کمتر از DLT است [Liu, Zhou and Sokolow, 2007].

پیرداونی^{۱۹} و همکاران در سال ۲۰۱۱، زمان سفر یک نوع متفاوت از تسهیلات دوربرگردان را ارزیابی کرده و سپس آن را

شامل اوج صبح، ظهر، بعدازظهر و عصر در این تحلیل در نظر گرفته شد. MUTIT یک کاهش ۱۷ درصدی را در زمان سفر کل در داخل شبکه مورد نظر در مقایسه با TWLTL نشان داد. متوسط سرعت به اندازه ۲۵ درصد برای MUTIT در مقایسه با TWLTL افزایش یافت. همچنین RTUT در مقایسه با DLT، ۲۵ درصد افزایش در سرعت متوسط و ۱۷ درصد کاهش در زمان سفر کل را دارد و RTUT تعداد توقف بیشتری را نسبت به DLT نشان داد [Reid and Hummer, 1999].

رید و هامر در سال ۲۰۰۱، از کورسیم برای مقایسه شاخص‌های عملکردی جریان ترافیک هفت نوع از طراحی‌های غیرمرسوم راه‌ها استفاده کردند. ساعات اوج، غیراوج و حجم‌های منطبق بر ۵ درصد بیشتر از حجم ساعت اوج آزمایش شدند. نتایج نشان داد MUTIT به طور قابل توجهی متوسط زمان سفر کل کمتری در مقایسه با تقاطع مرسوم دارد. تغییر در زمان سفر کل برای همه حرکت‌ها در طول تقاطع در مقایسه با تقاطع مرسوم بین ۲۱- تا ۶+ درصد در طی شرایط اوج بود. همچنین تغییر کل در تعداد توقف‌ها در مقایسه با تقاطع مرسوم بین ۲- تا ۳۰+ درصد در طی زمان اوج بود [Reid and Hummer, 2001].

بارد و کیسر^{۲۰} در سال ۲۰۰۲، فواید عملکرد ترافیکی دوربرگردان‌های میانی چراغدار در راه چهارخطه معمول در تقاطع با یک راه چهارخطه را با استفاده از کورسیم مطالعه کردند. نتایج نشان داد که ذخیره‌های قابل توجه از زمان سفر برای طراحی دوربرگردان در جریان ورودی بالاتر (بیش از ۶۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت) در مقایسه با تقاطع‌های مرسوم با ۱۰ تا ۲۰ درصد حجم ترافیک گردش به چپ وجود دارد. همچنین به طور متوسط، نسبت توقف وسایل نقلیه در شبکه برای طراحی دوربرگردان کمتر بود. برای حجم گردش به چپ ۱۰ درصد، تفاوت‌ها از ۲۰ تا ۴۰ درصد بود. برای حجم گردش به چپ ۲۰ درصد، کاهشی در درصد توقف‌ها در حدود ۴۵۰۰ وسیله نقلیه شروع شد [Bared and Kaisar, 2002].

با عملکرد تقاطع چراغدار مرسوم مقایسه کردند. نوع متفاوت تسهیلات دوربرگردان مطالعه‌شده، بعضی تفاوت‌های اساسی با دیگر انواع بازشدگی‌های میانی دارد و به طور وسیعی در آسیای میانی به خصوص در ایران و مصر استفاده شده است. عملیات شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار سینکرو انجام گرفت. نتایج نشان داد که زمان سفر گردش به چپ‌ها در راه‌های فرعی در تقریباً همه موارد تحت طراحی دوربرگردان کمتر از طراحی تقاطع چراغدار بود [Pirdavani et al. 2011].

الاساوی و سید^{۲۰} در سال ۲۰۱۱ عملکرد اجرایی تقاطع‌های غیرمرسوم همراه دوربرگردان میانی را با تقاطع‌های مرسوم همراه دوربرگردان میانی در مصر مورد مطالعه قرار دادند. از ویسیم^{۲۱} برای مدل‌کردن این تقاطع‌ها در سناریوهای مختلف استفاده شد. نتایج نشان داد که عملکرد تقاطع‌های غیرمرسوم در مقایسه با تقاطع‌های مرسوم ضعیف هستند [El Esawey and Sayed, 2011].

لو^{۲۲} و همکاران در سال ۲۰۱۲ از نرم‌افزار کورسیم برای مقایسه عملکرد گردش به چپ مستقیم با دو شکل تقاطع غیرمرسوم شامل UTRT و RTUT استفاده کردند. از زمان سفر کل، متوسط سرعت و واریانس سرعت در ارزیابی عملکرد اجرایی سه نوع کنترل تقاطع استفاده شد. نتایج نشان داد که تقاطع‌های غیرمرسوم موثرتر از تقاطع با گردش به چپ مستقیم بودند [Lu et al. 2012].

کیوی^{۲۳} و همکاران در سال ۲۰۱۴ به مطالعه اثرات ایمنی و عملکردی استفاده از بازشدگی‌های میانی جهت به جای بازشدگی‌های میانی کامل در تگراس پرداختند. از داده‌های تصادف و همچنین شبیه‌سازی برای بررسی و آنالیز این نوع بازشدگی‌های میانی استفاده شد. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که از بازشدگی‌های میانی کامل نباید در نواحی تحت تاثیر تقاطع‌های چراغدار استفاده شود. همچنین استفاده از بازشدگی‌های میانی جهت به طور قابل توجهی درگیری‌های

ترافیکی را کاهش می‌دهد، درحالی که باعث افزایش درگیری‌های تغییرخط را در بالادست و پایین‌دست می‌شود [Qi et al. 2014].

ژاو^{۲۴} و همکاران در سال ۲۰۱۴ شش نوع مختلف استفاده از بازشدگی‌های میانی به جای DLT از راه اصلی یا فرعی و حرکت مستقیم از راه فرعی در تقاطع‌های چراغدار را مورد بررسی قرار دادند. نتایج به دست آمده نشان داد که نوع ۱ (ممنوع کردن گردش به چپ از راه‌های اصلی) و نوع ۴ (ممنوع کردن گردش به چپ از راه‌های اصلی و فرعی) می‌توانند وسیع‌ترین کاربردها را با توجه به شرایط ترافیکی داشته باشند. همچنین نوع ۲ (ممنوع کردن گردش به چپ از راه‌های فرعی) ممکن است عملکرد بهتری نسبت به نوع ۱ داشته باشد زمانی که تعداد خطوط رویکرد راه اصلی زیاد و نسبت تعداد گردش به چپ از راه فرعی کم است [Zhao et al., 2014].

طاها و عبدالفتاح^{۲۵} در سال ۲۰۱۵ اثر جایگزین کردن حرکت DLT را با UTRT و RTUT ارزیابی کردند. آن‌ها از نرم‌افزار سینکرو برای ارزیابی چراغ ترافیکی و از نرم‌افزار ویسیم برای شبیه‌سازی حرکات استفاده کردند. نتایج نشان داد که UTRT و RTUT تاخیر کمتر به نسبت DLT دارند و UTRT کمترین زمان سفر را دارد. همچنین UTRT و RTUT کیلومتر^{۲۶} پیموده‌شده بیشتری نسبت به DLT دارند [Taha and Abdelfatah, 2015].

دولیتس^{۲۶}، رحیمی و مظاهری در سال ۲۰۱۷ اثر جایگزینی حرکت DLT را با RTUT در یکی از شلوغ‌ترین تقاطع‌های تهران مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها دو مدل شبیه‌سازی با استفاده از سینکرو و ایسمان^{۲۷} بر پایه داده‌های میدانی ساختند. نتایج آنالیز شبیه‌سازی مقایسه‌ای نشان داد که راهکار RTUT ظرفیت تقاطع را از ۱/۴۹ تا ۰/۹ کاهش می‌دهد. بعلاوه نتایج نشان داد که با راهکار RTUT، تاخیر کل وسایل نقلیه به مقدار ۸۲/۹ درصد کاهش یافت و متوسط سرعت سفر وسایل نقلیه از ۲۴/۵ به ۳۷/۸



شکل ۳. نقشه هوایی از تقاطع تختی



شکل ۴. نقشه هوایی از تقاطع شیخ صدوق



شکل ۵. فیلمبرداری صورت گرفته از تقاطع تختی

کیلومتر بر ساعت رسید. متوسط فاصله سفر به مقدار $21/9$ درصد بخاطر استفاده از راهکار گردش به چپ غیرمستقیم افزایش یافت. با این حال در راهکار RTUT، زمان سفر کل بخاطر افزایش سرعت سفر کاهش یافت [Dulebenets, Rahimi and Mazaheri, 2017].

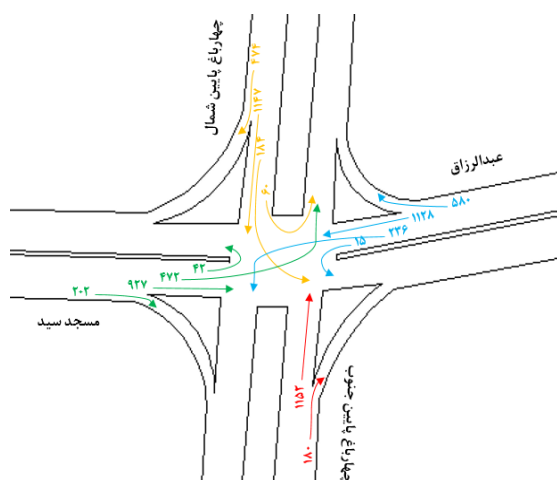
با توجه به بررسی تحقیقات قبلی، مشاهده می‌شود که استفاده از راهکار UTRT به جای حرکت DLT در احجام بالاتر ترافیک گردش به چپ تاکنون بررسی نشده است. همچنین می‌بایست توجه داشت که تأثیر درصدهای مختلف گردش به چپ در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این تحقیق سه تقاطع چراغدار مورد بررسی قرار گرفته و با تعریف هفت سناریو از احجام مختلف ترافیک گردش به چپ در سه تقاطع، به این جای خالی موجود در تحقیقات پیشین پاسخ داده شده است.

۳. معرفی محدوده مورد مطالعه

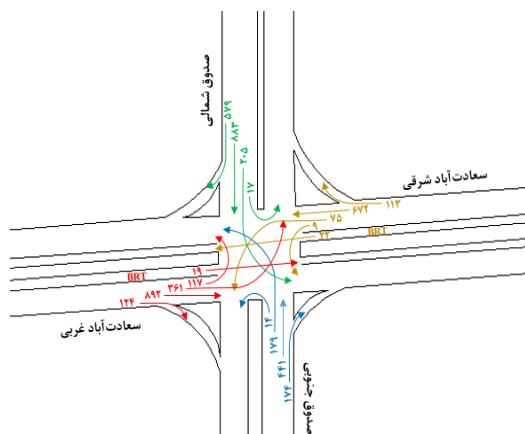
از دو تقاطع چراغدار "تختی و شیخ صدوق" واقع در شهر اصفهان با استفاده از دوربین Handycam SONY مدل PJ340E و از بالای ساختمان‌های مجاور تقاطع‌ها به مدت یک ساعت در ساعت اوج تقاطع‌ها فیلمبرداری شد و مشخصات هندسی این تقاطع‌ها از برداشت میدانی استخراج گردید. لازم به ذکر است که اطلاعات ساعت اوج تقاطع‌ها از مرکز کنترل ترافیک شهر اصفهان به دست آمده بود. فیلمبرداری از تقاطع "تختی" در ساعت $18:30$ تا $19:30$ و از تقاطع "شیخ صدوق" در ساعت 20 تا 21 انجام گرفت.

شکل‌های ۳ و ۴ تصاویر هوایی از تقاطع‌های "تختی و شیخ صدوق" و شکل‌های ۵ و ۶ تصاویر فیلمبرداری شده از تقاطع‌های ذکر شده را نشان می‌دهد.

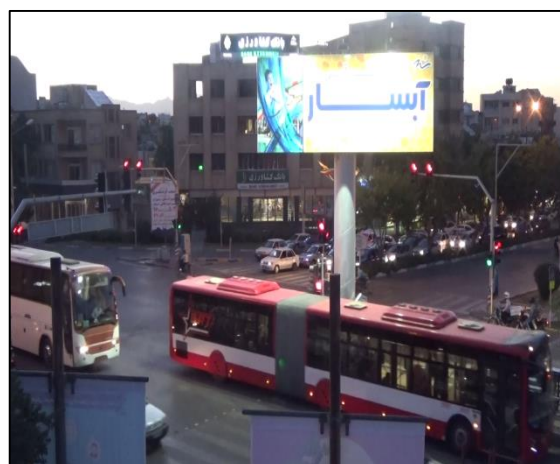
مقاله پژوهشی: ارزیابی عملکردی استفاده از حرکت دوربرگردان بازشدگی‌های میانی به جای حرکت گردش به چپ مستقیم...



شکل ۷. احجام معادل سواری تقاطع تختی (وسیله نقلیه سواری در ساعت)



شکل ۸. احجام معادل سواری تقاطع شیخ صدوق (وسیله نقلیه سواری در ساعت)



شکل ۶. فیلمبرداری صورت گرفته از تقاطع شیخ صدوق

احجام هر حرکت جریان ترافیک در تقاطع‌های "تختی و شیخ صدوق" به تفکیک وسایل نقلیه از فیلم‌ها برداشت شد. سپس با استفاده از ضرایب معادل سواری پیشنهادی توسط شرکت مطالعات جامع شهر تهران، حجم معادل وسیله نقلیه سواری برای همه حرکت‌ها در تقاطع‌های ذکرشده به دست آمد. در شکل‌های ۷ و ۸ احجام معادل سواری تقاطع‌های "تختی و شیخ صدوق" نشان داده شده است. مشخصات هندسی دو تقاطع مدنظر نیز در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصات هندسی تقاطع‌های تختی و شیخ صدوق

تقاطع	رویکرد	تعداد خطوط عبوری	خط انباشت	خط BRT	عرض معبر (متر)	عرض میانه (متر)	ابعاد جزیره گردش (متر)
تختی	عبدالرزاق	۲	-	-	۷	۰/۶	۱۰*۲۰
	مسجدسید	۳	-	-	۹	۰/۶	۱۹/۵*۵۸/۵
	چهارباغ پایین جنوب	۳	-	-	۱۱/۵	۱۱	۱۵*۲۴
	چهارباغ پایین شمال	۳	-	-	۱۱	۱۱	۲۲*۶۰
	شیخ صدوق شمالی	۴	-	-	۱۱,۵	۱/۵	۵*۷/۵
شیخ صدوق	شیخ صدوق جنوبی	۳	-	-	۱۰,۲۵	۴	۷*۹/۵
	سعادت آباد شرقی	۴	-	✓	۱۳	۳	۱۲/۶*۱۶

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال دوازدهم / شماره اول (۴۶) / پاییز ۱۳۹۹

سعدت آباد غربی	۴	-	✓	۱۳	۳	۹/۵*۱۱
----------------	---	---	---	----	---	--------

در تقاطع "تختی" در رویکرد چهارباغ پایین جنوب، از حرکت UTRT به جای حرکت DLT استفاده شده است. به همین دلیل است که حجم حرکت DLT در این رویکرد برابر با صفر است. همچنین علت صفر بودن حجم حرکت دوربرگردان در این رویکرد، انجام حرکت دوربرگردان در بازشدگی میانی قبل از تقاطع است.

ضریب ساعت اوج (PHF) تقاطع "تختی" و "شیخ صدوق" به ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۷۹ محاسبه شد.

سرعت وسایل نقلیه در هر رویکرد از تقاطع‌های "تختی و شیخ صدوق" برداشت شد به این صورت که ۱۰۰ وسیله نقلیه در هر رویکرد هدف قرار گرفتند و در بین دو نقطه با فاصله‌ای معین، زمان عبور آن‌ها ثبت گردید. سپس سرعت متوسط با تقسیم فاصله بین دو نقطه و اختلاف زمان عبور وسایل نقلیه بین آن دو نقطه حاصل شد. در ادامه با استفاده از اطلاعات بدست آمده، سرعت ۸۵ درصد وسایل نقلیه در هر رویکرد از دو تقاطع بدست آمد و سرعت مجاز مورد نیاز در نرم‌افزارها مطابق با آئین‌نامه ۴۱۵ طرح هندسی راه، همان سرعت عملکردی ۸۵ درصد در نظر گرفته شد [Manual 415, in Persian]. در هر دو نرم‌افزار، سرعت مجاز استفاده می‌شود. در جدول ۲ مقادیر سرعت مجاز (سرعت ۸۵ درصد) رویکردهای دو تقاطع مذکور نشان داده شده است. لازم به ذکر است که برای حرکت گردش به راست، گردش به چپ و دوربرگردان به ترتیب سرعت ۱۵، ۲۵ و ۲۵ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شد.

همچنین چراغ ترافیکی در تقاطع‌های "تختی و شیخ صدوق" دارای زمان‌بندی نیمه‌هوشمند و هوشمند بود. بنابراین از فیلم‌های برداشتی، طول چرخه زمان‌بندی، زمان سبز حقیقی و زمان زرد در یک فاز از هر تقاطع مذکور برای ۱۵ چرخه زمان-بندی برداشت شد و از میانگین مقادیر ۱۵ چرخه زمان‌بندی،

مقدار هر یک از پارامترها بدست آمد. همچنین زمان تمام قرمز به صورت میدانی به دست آمد. مقادیر طول چرخه زمان‌بندی برای تقاطع "تختی و شیخ صدوق" در جدول ۲ آمده‌است.

۴. طراحی سناریو

به منظور بررسی استفاده از راهکار UTRT به جای حرکت DLT در طیفی از احجام گردش به چپ، هفت سناریو به صورت زیر تعریف شد:

- ۱- سناریو اول: وضع موجود (حالت میدانی)
- ۲- سناریو دوم: افزایش ۱۰ درصدی از احجام گردش به چپ تمامی رویکردهای منتهی به تقاطع
- ۳- سناریو سوم: افزایش ۲۰ درصدی از احجام گردش به چپ تمامی رویکردهای منتهی به تقاطع
- ۴- سناریو چهارم: افزایش ۳۰ درصدی از احجام گردش به چپ تمامی رویکردهای منتهی به تقاطع
- ۵- سناریو پنجم: کاهش ۱۰ درصدی از احجام گردش به چپ تمامی رویکردهای منتهی به تقاطع
- ۶- سناریو ششم: کاهش ۲۰ درصدی از احجام گردش به چپ تمامی رویکردهای منتهی به تقاطع
- ۷- سناریو هفتم: کاهش ۳۰ درصدی از احجام گردش به چپ تمامی رویکردهای منتهی به تقاطع

لازم به ذکر است که در تعدادی از تحقیقات قبلی نیز سناریوهایی با تغییر احجام گردش به چپ و حرکت مستقیم طراحی شده است. به طور مثال یانگ و ژوو حرکت DLT را

با راهکار RTUT با تغییر احجام گردش به چپ و حرکت مستقیم مقایسه کرده‌اند [Yang and Zhou, 2004].

جدول ۲. مقادیر سرعت مجاز وسایل نقلیه و طول چرخه

تقاطع	رویکرد	زمان‌بندی تقاطع‌های تختی و شیخ صدوق	
		سرعت مجاز (کیلومتر بر ساعت)	طول چرخه زمان بندی (ثانیه)
تختی	عبدالرزاق	۵۰/۴	۹۲
	مسجدسید	۴۹/۱۹	
	چهارباغ پایین جنوب	۳۳/۶	
	چهارباغ پایین شمال	۳۲/۵۳	
شیخ صدوق	شیخ صدوق شمالی	۳۷/۴	۱۰۰
	شیخ صدوق جنوبی	۳۹/۴۴	
	سعادت آباد شرقی	۲۳/۱۳	
	سعادت آباد غربی	۲۱/۱۸	

دلیل استفاده از نرم‌افزارهای سینکرو و ایمسان این است که سینکرو نرم‌افزاری قوی برای مدل‌کردن، شبیه‌سازی و بهینه‌کردن زمان‌بندی چراغ‌های ترافیکی می‌باشد. قابلیت اصلی این نرم‌افزار، بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ و هماهنگ‌سازی چراغ‌ها با هم است. علاوه بر سینکرو، نرم‌افزار سیم‌ترافیک^{۲۸} نیز وجود دارد. سیم-ترافیک یک نرم‌افزار شبیه‌ساز خردنگر است و به منظور کار با نرم‌افزار بهینه‌سازی چراغ سینکرو طراحی شده و به دلیل قابلیت بصری آن، برای درک بهتر شرایط ترافیکی استفاده می‌شود. نرم-افزار ایمسان نیز یکی از نرم‌افزارهای شناخته‌شده‌ی شبیه‌ساز ترافیکی است. از ویژگی‌های این نرم‌افزار می‌توان به محیط گرافیکی بسیار کامل، قابلیت کار با بیشتر مدل‌های تقاضای سفر رایج، تعریف استراتژی‌های پیچیده ترافیکی، و مدیریت سناریوها در اجرای شبیه‌سازی و تکرار آن‌ها اشاره نمود. همچنین به اعتقاد تولیدکنندگان، نرم‌افزار ایمسان پارامترهای کافی برای کالیبراسیون را در اختیار می‌گذارد تا بتوان مدل را با واقعیت منطبق کرد. با توجه به اینکه در فرآیند کالیبراسیون، مدیریت داده‌ها پیچیده و مشکل است، این نرم‌افزار ابزارهایی جهت کمک به کالیبراسیون و کنترل‌کننده شبکه را در اختیار می‌گذارد.

در این تحقیق، هدف از شبیه‌سازی سناریوها با نرم‌افزار سینکرو، بهینه‌کردن زمان‌بندی چراغ ترافیکی در تقاطع‌های چراغدار در سناریوهای تعریف‌شده است که نهایتاً از خروجی این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی تقاطع‌ها در نرم‌افزار ایمسان استفاده می‌شود. هدف از شبیه‌سازی سناریوها با نرم‌افزار ایمسان نیز، ارزیابی عملکردی استفاده از راهکار UTRT به جای حرکت DLT در تقاطع‌های مدنظر در سناریوهای تعریف‌شده می‌باشد.

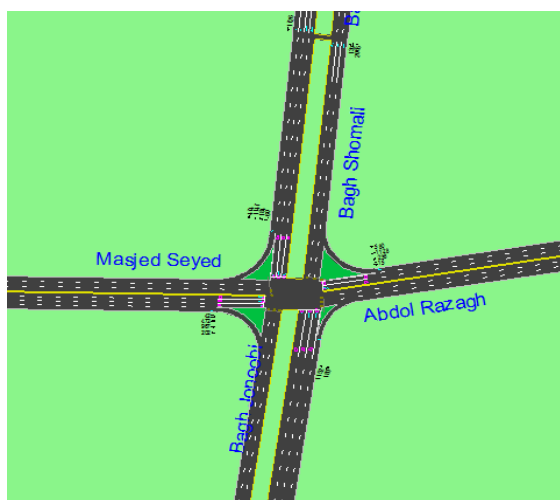
۱-۵ شبیه‌سازی با نرم‌افزار سینکرو و سیم‌ترافیک

به منظور مقایسه حرکت DLT و راهکار UTRT در تقاطع‌های "تختی و شیخ صدوق"، چهار بازشدگی میانی به فاصله ۱۹۰ متر

۵. شبیه‌سازی سناریوها

در دو حالت شبیه‌سازی صورت گرفت:

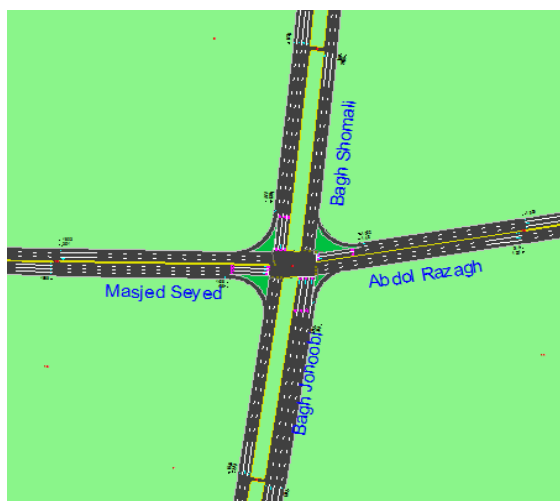
(۱) در حالت DLT، برای سناریوی پایه، زمان‌بندی میدانی چراغ ترافیکی در نرم‌افزارها تعریف شد. در شش سناریوی دیگر، ابتدا در نرم‌افزار سینکرو برای هر سناریو بهینه‌سازی چراغ ترافیکی صورت گرفت و این نتایج بهینه‌سازی چراغ ترافیکی به نرم‌افزار ایمسان نیز انتقال یافت. (۲) در حالت UTRT، نیز به صورت حالت اول عمل شد. با این تفاوت که در هر هفت سناریو با نرم‌افزار سینکرو بهینه‌سازی صورت گرفت، سپس نتایج بهینه‌سازی چراغ ترافیکی به نرم‌افزار ایمسان انتقال یافت.



شکل ۹. مدل ساخته شده از تقاطع تختی در نرم افزار سینکرو در

حالت DLT

در چهار رویکرد تقاطع ها به جای حرکت DLT در نرم افزار سینکرو قرار داده شد. قراردادن بازشدگی های میانی به فاصله ۱۹۰ متر از تقاطع چراغدار بر اساس نتیجه تحقیق مظاهری و رحیمی است. آن ها در تحقیق خود در شهر تهران نشان دادند که فاصله بهینه بازشدگی میانی از تقاطع های چراغدار، ۱۹۰ متر است [Mazaheri and Rahimi, 2017]. ذکر این نکته ضروری است که ایجاد حرکت دوربرگردان در بازشدگی میانی در نرم افزار سینکرو به طور مستقیم امکان پذیر نیست، به همین منظور گره مجازی در سیم ترافیک ایجاد شد که به عنوان حرکت دوربرگردان در بازشدگی میانی عمل می کند. در شکل های ۹ و ۱۰ می توان نمونه ای از مدل ساخته شده تقاطع "تختی" در دو حالت DLT و UTRT را مشاهده کرد.



شکل ۱۰. مدل ساخته شده از تقاطع تختی در نرم افزار سینکرو در

حالت UTRT

نتایج بهینه سازی زمان بندی چراغ ترافیکی دو تقاطع "تختی" و شیخ صدوق" در دو حالت DLT و UTRT در جدول ۳ و نسبت حجم به ظرفیت این دو تقاطع در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۳. طول چرخه زمان بندی بهینه شده در سینکرو برای تقاطع تختی و شیخ صدوق در تمامی سناریوها در دو حالت DLT و UTRT

سناریوی ۷	سناریوی ۶	سناریوی ۵	سناریوی ۴	سناریوی ۳	سناریوی ۲	سناریوی ۱	نوع حرکت	تقاطع
(-۳۰)	(-۲۰)	(-۱۰)	(+۳۰)	(+۲۰)	(+۱۰)	(پایه)		
۸۰	۸۰	۸۰	۷۵	۷۵	۷۵	۹۲	DLT	تختی
۱۱۰	۱۰۰	۱۲۰	۱۰۰	۱۳۰	۹۰	۱۳۰	UTRT	
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۳۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	DLT	شیخ صدوق
۵۰	۵۰	۵۰	۵۵	۵۰	۵۰	۵۰	UTRT	

جدول ۴. نسبت حجم به ظرفیت برای تقاطع تختی و شیخ صدوق در تمامی سناریوها در دو حالت DLT و UTRT

تقاطع	نوع حرکت	سناریوی ۱ (پایه)	سناریوی ۲ (+۱۰)	سناریوی ۳ (+۲۰)	سناریوی ۴ (+۳۰)	سناریوی ۵ (-۱۰)	سناریوی ۶ (-۲۰)	سناریوی ۷ (-۳۰)
تختی	DLT	۷/۹۹	۷/۱۷	۷/۷۷	۸/۳۸	۶/۳۲	۵/۶۷	۵/۰۲
	UTRT	۱/۱۶	۱/۳۰	۱/۳۶	۱/۳۸	۱/۱۲	۱/۱۲	۱/۰۶
شیخ صدوق	DLT	۱/۷۷	۱/۹۲	۲/۱۴	۲/۴۲	۱/۶۲	۱/۵۱	۱/۴۰
	UTRT	۱/۰۵	۱/۰۶	۱/۰۷	۱/۰۹	۱/۰۴	۱/۰۲	۱/۰۲

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که طول چرخه زمان بندی در تقاطع "تختی" در حالت UTRT بیشتر از حالت DLT است ولی در تقاطع "شیخ صدوق" مقدار آن در حالت DLT بیشتر از حالت UTRT است.

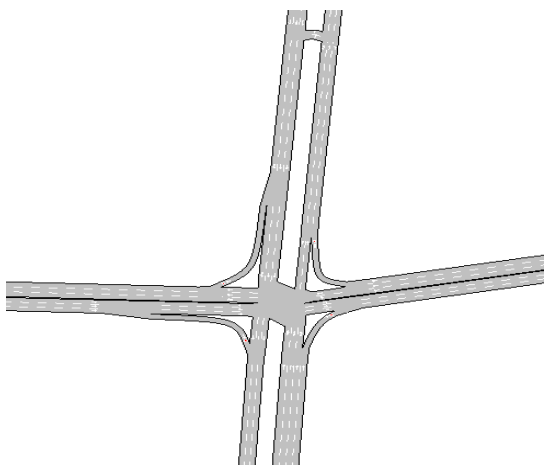
جدول ۴ نشان می‌دهد که تقاطع‌های "تختی و شیخ صدوق" در حالت فوق اشباع قرار دارند، در واقع تراکم ترافیک و درگیری احجام حرکت مستقیم و گردش به چپ زیاد است. همچنین در این جدول می‌توان مشاهده کرد که با افزایش احجام ترافیک گردش به چپ، نسبت حجم به ظرفیت تقاطع افزایش یافته و با کاهش احجام ترافیک گردش به چپ، نسبت حجم به ظرفیت نیز کاهش می‌یابد.

۲-۵ شبیه‌سازی با نرم‌افزار ایمنسان

به منظور مقایسه حرکت DLT و راهکار UTRT در تقاطع‌های "تختی و شیخ صدوق"، چهار بازشدگی میانی به فاصله ۱۹۰ متر در چهار رویکرد این تقاطع‌ها به جای حرکت DLT در نرم‌افزار ایمنسان قرار داده شد. در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ می‌توان نمونه‌ای از مدل ساخته‌شده از تقاطع تختی در حالت DLT و UTRT را مشاهده کرد

۱-۲-۵ تقاطع تختی

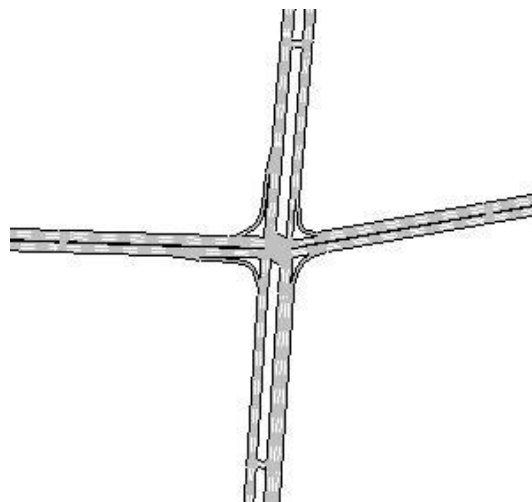
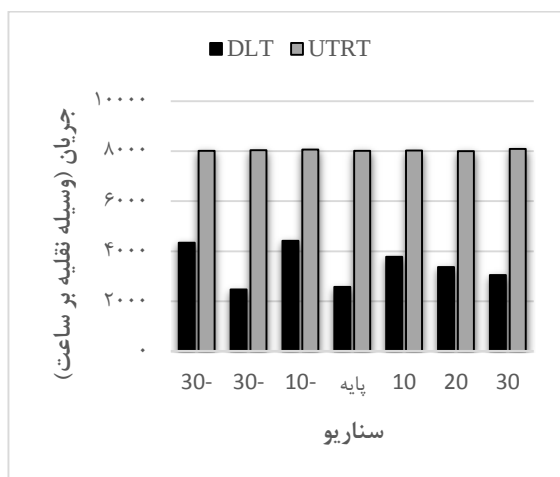
مقایسه شاخص‌های عملکردی حاصل از خروجی نرم‌افزار ایمنسان برای تمامی سناریوها در دو حالت DLT و UTRT در شکل‌های ۱۳ تا ۱۷ نشان داده شده است.



شکل ۱۱. مدل ساخته‌شده از تقاطع تختی در نرم‌افزار ایمنسان در

حالت DLT

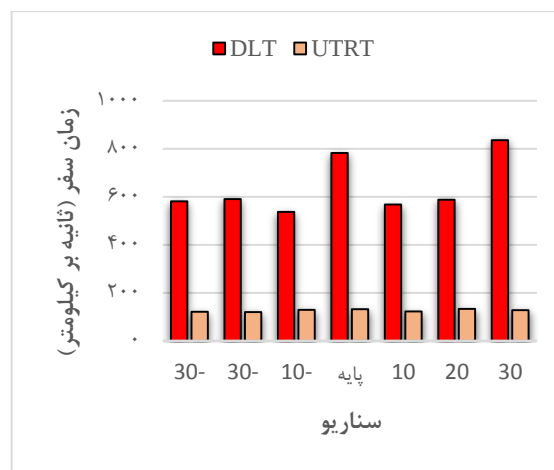
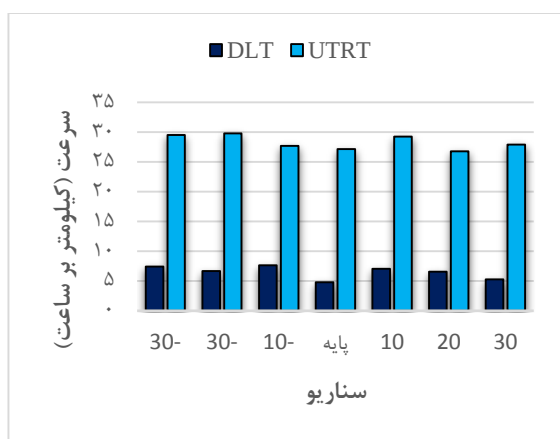
شکل ۱۴. تاخیر در تقاطع تختی در دو حالت DLT و UTRT



شکل ۱۲. مدل ساخته شده از تقاطع تختی در نرم افزار ایمسان در

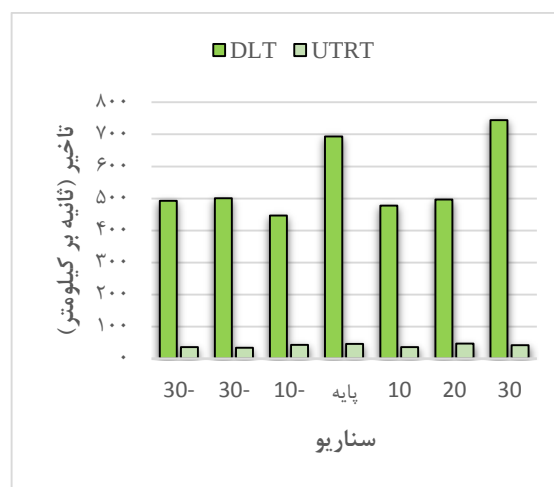
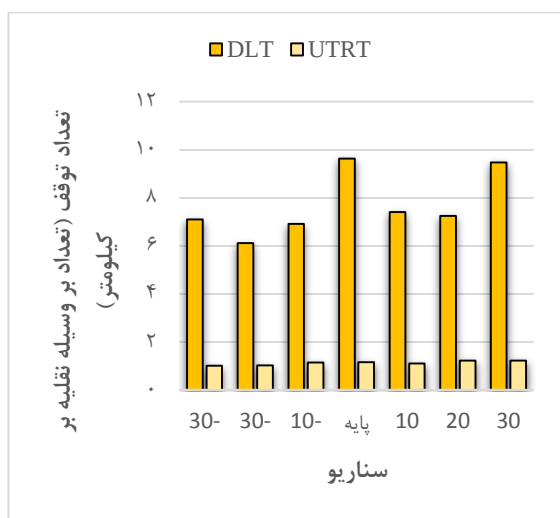
حالت UTRT

شکل ۱۵. جریان در تقاطع تختی در دو حالت DLT و UTRT



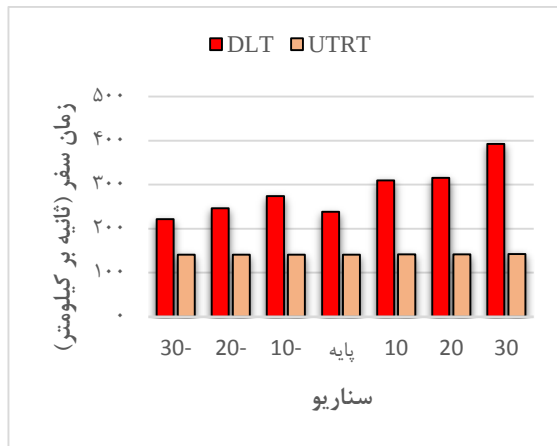
شکل ۱۳. زمان سفر در تقاطع تختی در دو حالت DLT و UTRT

شکل ۱۶. سرعت در تقاطع تختی در دو حالت DLT و UTRT



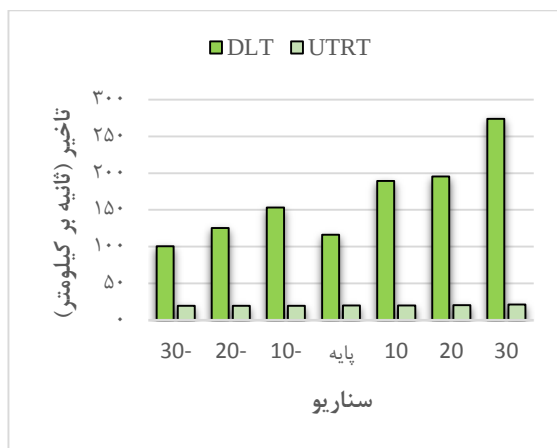
۵-۲-۲ تقاطع شیخ صدوق

مقایسه شاخص‌های عملکردی حاصل از خروجی نرم‌افزار ایسمان برای تمامی سناریوها در دو حالت DLT و UTRT در شکل‌های ۱۸ تا ۲۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۸. زمان سفر در تقاطع شیخ صدوق در دو حالت DLT و UTRT

نتایج نشان می‌دهد زمان سفر در حالت UTRT نسبت به حالت DLT، ۳۶ تا ۶۴ درصد کاهش می‌یابد. با توجه به شکل ۱۸، زمان سفر در حالت UTRT در سناریوهای مختلف مقادیر تقریباً یکسانی را نشان می‌دهد. اما در حالت DLT با افزایش حجم ترافیک گردش به چپ، زمان سفر افزایش می‌یابد.



شکل ۱۷. تعداد توقف در تقاطع تختی در دو حالت DLT و

UTRT

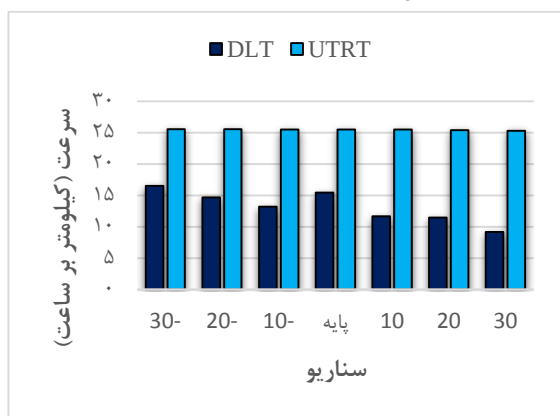
نتایج نشان می‌دهد زمان سفر در حالت UTRT نسبت به حالت DLT، ۷۶ تا ۸۵ درصد کاهش می‌یابد. با توجه به شکل ۱۳، زمان سفر در حالت UTRT به تغییر احجام ترافیک گردش به چپ حساس نیست و تقریباً مقادیر یکسانی را نشان می‌دهد. اما در حالت DLT با افزایش حجم ترافیک گردش به چپ از ۱۰ به ۳۰ درصد، زمان سفر افزایش می‌یابد. علت زیاد بودن مقدار زمان سفر در سناریوی پایه در حالت DLT، بهینه نبودن چراغ ترافیکی در شرایط میدانی است.

تاخیر در حالت UTRT نسبت به حالت DLT، ۹۰ تا ۹۴ درصد کاهش می‌یابد. با توجه به شکل ۱۴، تاخیر نیز روندی دقیقاً مشابه با زمان سفر دارد.

جریان در حالت UTRT نسبت به حالت DLT، ۲ تا ۳ برابر افزایش می‌یابد. شکل ۱۵ بیان می‌کند که با افزایش احجام ترافیک گردش به چپ از ۱۰ به ۳۰ درصد، جریان در حالت DLT کاهش می‌یابد، اما مقادیر جریان در همه سناریوها در حالت UTRT تقریباً یکسان است.

سرعت در حالت UTRT نسبت به حالت DLT، ۳ تا ۶ برابر افزایش می‌یابد. شکل ۱۶ کاهشی در سرعت را در حالت DLT در سناریوی پایه نشان می‌دهد که علت آن، بهینه نبودن چراغ ترافیکی در شرایط میدانی است.

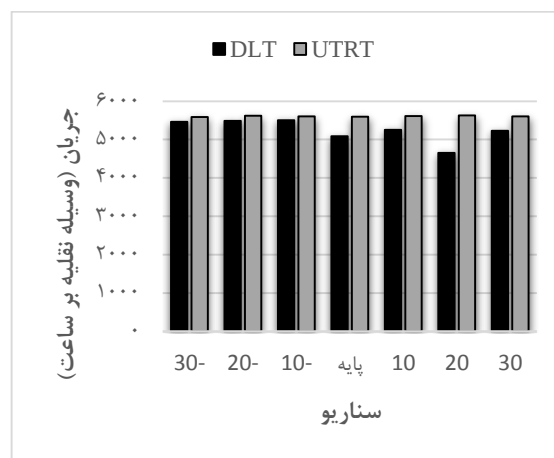
تعداد توقف در حالت UTRT نسبت به حالت DLT، ۸۳ تا ۸۷ درصد کاهش می‌یابد. شکل ۱۷ بیانگر این موضوع است که با افزایش حجم ترافیک گردش به چپ، تعداد توقف در حالت UTRT به مقدار کمی افزایش می‌یابد. همچنین در حالت DLT، در احجام مختلف گردش به چپ شاهد افزایش و کاهش نوسانی در تعداد توقف‌ها هستیم.



شکل ۱۹. تاخیر در تقاطع شیخ صدوق در دو حالت DLT و

UTRT

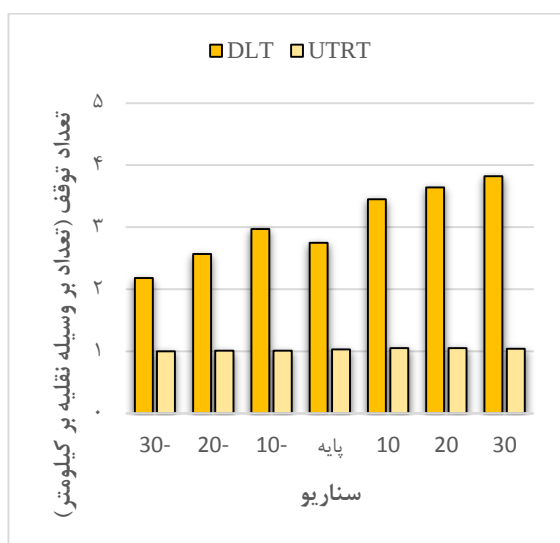
تاخیر در حالت UTRT نسبت به حالت DLT، ۸۱ تا ۹۲ درصد کاهش می‌یابد. با توجه به شکل ۱۹، تاخیر روندی دقیقاً مشابه با زمان سفر دارد.



شکل ۲۰. جریان در تقاطع شیخ صدوق در دو حالت DLT و

UTRT

جریان در حالت UTRT نسبت به حالت DLT، ۳ برابر افزایش می‌یابد. شکل ۲۰ بیان می‌کند که دو نمودار حالت DLT و UTRT در احجام پایین ترافیک گردش به چپ نزدیک به یکدیگر بوده اما با افزایش احجام ترافیک گردش به چپ، جریان در حالت DLT کاهش یافته و از نمودار UTRT فاصله می‌گیرد. مقادیر جریان در همه سناریوها در حالت UTRT تقریباً یکسان است.



شکل ۲۲. تعداد توقف در تقاطع شیخ صدوق در دو حالت DLT و

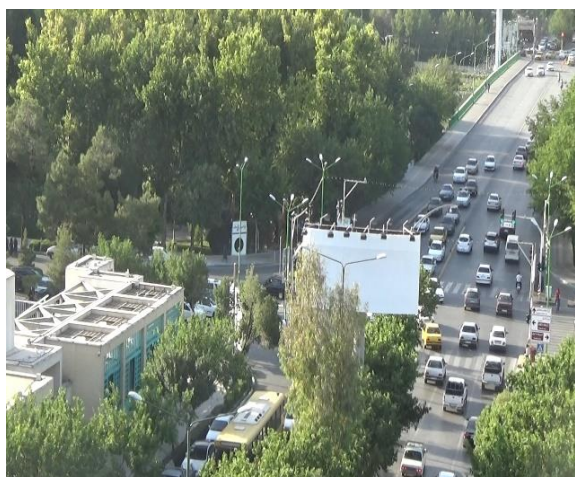
UTRT

تعداد توقف در حالت UTRT نسبت به حالت DLT، ۵۴ تا ۷۳ درصد کاهش می‌یابد. شکل ۲۲ بیانگر این موضوع است که با افزایش حجم ترافیک گردش به چپ، تعداد توقف در حالت DLT افزایش می‌یابد. همچنین مقادیر سرعت در حالت UTRT در سناریوهای مختلف، تقریباً یکسان هستند.

عملکردی مشابه تقاطع تختی از نظر چراغدار بودن، قرار داشتن درون شهر و عملکرد پخش‌کنندگی را دارا است. از طرفی نیز هدف اصلی، ارزیابی اثر استفاده از راهکار UTRT به جای DLT در طیف وسیعی از تقاطع‌ها و سناریوها می‌باشد. از این رو تقاطع "آذر-ملت" یک مورد مناسب برای اعتبارسنجی نتایج است. شکل ۲۳ تصویر هوایی و شکل ۲۴ تصویر فیلمبرداری از تقاطع "آذر-ملت" را نشان می‌دهد.



شکل ۲۳. نقشه هوایی از تقاطع آذر-ملت



شکل ۲۴. تصویر فیلمبرداری صورت گرفته از تقاطع آذر-ملت

از آنجایی که در راهکار UTRT نسبت به حالت DLT، وسایل نقلیه گردش به چپ با وسایل نقلیه حرکت مستقیم رویکرد مقابل درگیری و برخوردی ندارند، تخلیه تقاطع در رویکردها سریع‌تر و بهتر اتفاق می‌افتد. در نتیجه زمان سفر و تاخیر شبکه کاهش می‌یابد، تعداد وسایل نقلیه عبوری از تقاطع در مدت یک ساعت افزایش می‌یابد و سرعت در شبکه نیز به دلیل کاهش تعداد نقاط درگیری بیشتر می‌شود.

اکثر تحقیقات انجام‌شده در مورد ارزیابی استفاده از راهکار RTUT به جای حرکت DLT است و مطالعات کمتری در زمینه ارزیابی استفاده از راهکار UTRT به جای حرکت DLT وجود دارد. با این وجود بررسی مطالعات مرتبط UTRT نشان می‌دهد که نتایج تحقیق حاضر، نتایج دیگر مطالعات را تایید کرده و منطبق بر آن‌ها می‌باشد. به عنوان نمونه ال‌اساوی و سید (۲۰۱۱) و طاه‌ها و عبدالفتاح (۲۰۱۵) در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که استفاده از UTRT به جای حرکت DLT در احجام پایین گردش به چپ و حرکت مستقیم تاثیر چندانی بر عملکرد تقاطع ندارد اما هر چه حجم حرکت گردش به چپ و حرکت مستقیم افزایش می‌یابد، استفاده از این راهکار شاخص‌های عملکردی تقاطع را به مقدار قابل توجهی بهبود می‌بخشد. در تحقیق حاضر نیز مشاهده شد که در تقاطع‌های "تختی و شیخ صدوق" که تراکم ترافیک تقاطع ناشی از احجام حرکت مستقیم و گردش به چپ زیاد است، استفاده از این راهکار به طور قابل توجهی عملکرد تقاطع را بهبود می‌بخشد.

۶. اعتبارسنجی

تقاطع چراغدار "آذر-ملت" به منظور اعتبارسنجی نتایج به دست آمده از تقاطع "تختی و شیخ صدوق" انتخاب شد. با وجود اینکه این تقاطع تفاوت‌های طبیعی همچون طرح هندسی و احجام ترافیکی با تقاطع "تختی و شیخ صدوق" دارد اما به طور کلی

ضریب ساعت اوج (PHF) تقاطع "آذر-ملت" مقدار ۰/۸۲ محاسبه شد. سرعت وسایل نقلیه در هر رویکرد از این تقاطع به صورت میدانی برداشت شد که در جدول ۵ مقادیر سرعت مجاز محاسبه شده ارائه شده است. همچنین پارامترهای چراغ ترافیکی این تقاطع از فیلم‌ها و برداشت میدانی تهیه شد که در جدول ۶ مقدار طول چرخه زمان‌بندی چراغ آمده است.

جدول ۶. مقادیر سرعت مجاز وسایل نقلیه و طول چرخه زمان-

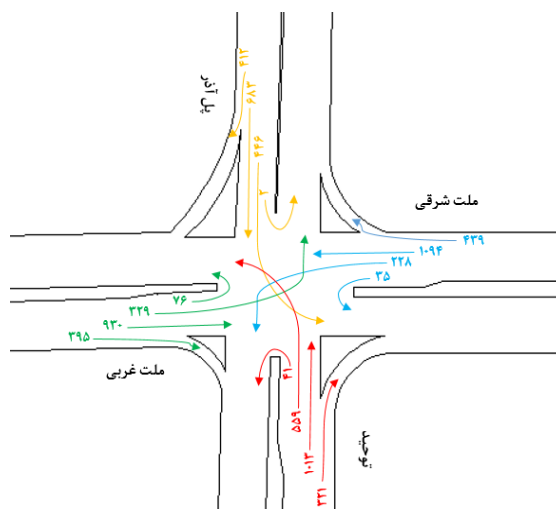
بندی تقاطع آذر-ملت		
رویکرد	سرعت مجاز (کیلومتر بر ساعت)	چرخه زمان- بندی (ثانیه)
پل آذر	۴۵/۴	۱۰۵
توحید	۵۵/۶۷	
ملت شرقی	۴۸/۹۶	
ملت غربی	۴۶/۷	

۶-۱ شبیه‌سازی با نرم‌افزار سینکرو و سیم‌ترافیک

نتایج بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ ترافیکی تقاطع "آذر-ملت" در دو حالت DLT و UTRT در جدول ۷ نشان داده شده است. جدول ۷ نشان می‌دهد که طول چرخه زمان‌بندی در این تقاطع در حالت UTRT بیشتر از حالت DLT است.

نسبت حجم به ظرفیت تقاطع "آذر-ملت" در جدول ۸ نشان داده شده است. جدول ۸ بیان می‌کند که با افزایش احجام ترافیک گردش به چپ، نسبت حجم به ظرفیت تقاطع افزایش یافته و با کاهش احجام ترافیک گردش به چپ، نسبت حجم به ظرفیت نیز کاهش می‌یابد. نسبت حجم به ظرفیت تقاطع "آذر-ملت" نشان می‌دهد که این تقاطع در حالت فوق اشباع قرار دارد.

همانند تقاطع‌های "نختی و شیخ صدوق"، احجام معادل سواری هر حرکت جریان ترافیک در تقاطع "آذر-ملت" از فیلم‌ها به دست آمد که در شکل ۲۵ مقادیر آن نشان داده شده است. در جدول ۵ مشخصات هندسی این تقاطع ذکر شده است.



شکل ۲۵. احجام معادل سواری تقاطع آذر-ملت (وسیله نقلیه سواری در ساعت)

جدول ۵. مشخصات هندسی تقاطع آذر-ملت

تعداد	عرض	عرض	خط	رویکرد
خطوط عبوری	معبور	میان	انباشت	خطوط عبوری
(متر)	(متر)	(متر)		
۲	۸/۲۶	۰/۲۵	-	پل آذر
۳	۹	۱/۷	✓	توحید
۳	۱۲	۰/۶	✓	ملت
۳	۹/۵	۰/۶	✓	ملت

جدول ۷. طول چرخه زمان‌بندی بهینه‌شده در نرم‌افزار سینکرو برای تقاطع آذر-ملت در تمامی سناریوها در دو حالت DLT و UTRT

نوع حرکت	سناریوی ۱ (پایه)	سناریوی ۲ (+۱۰)	سناریوی ۳ (+۲۰)	سناریوی ۴ (+۳۰)	سناریوی ۵ (-۱۰)	سناریوی ۶ (-۲۰)	سناریوی ۷ (-۳۰)
DLT	۱۰۵	۸۰	۸۰	۷۰	۸۰	۸۰	۸۰
UTRT	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۴۰

جدول ۸. نسبت حجم به ظرفیت برای تقاطع آذر-ملت در تمامی سناریوها در دو حالت DLT و UTRT

نوع حرکت	سناریوی ۱ (پایه)	سناریوی ۲ (+۱۰)	سناریوی ۳ (+۲۰)	سناریوی ۴ (+۳۰)	سناریوی ۵ (-۱۰)	سناریوی ۶ (-۲۰)	سناریوی ۷ (-۳۰)
DLT	۷/۰۶	۷/۸۸	۸/۱۷	۹/۱۹	۵/۰۶	۴/۱۱	۳/۵۹
UTRT	۱/۴۳	۱/۴۹	۱/۵۵	۱/۶۱	۱/۳۶	۱/۳۱	۱/۲۷

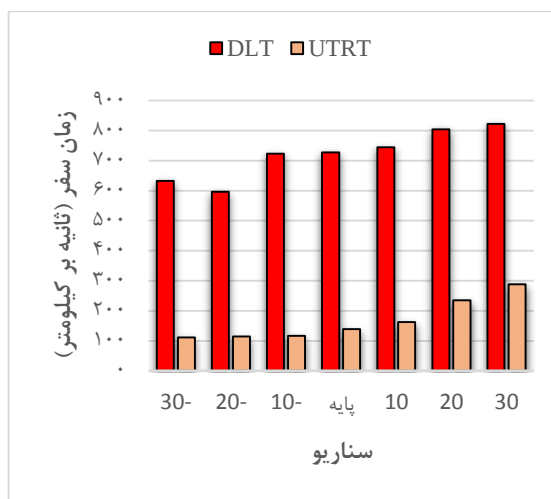
۲-۶ شبیه‌سازی با نرم‌افزار ایمنسان

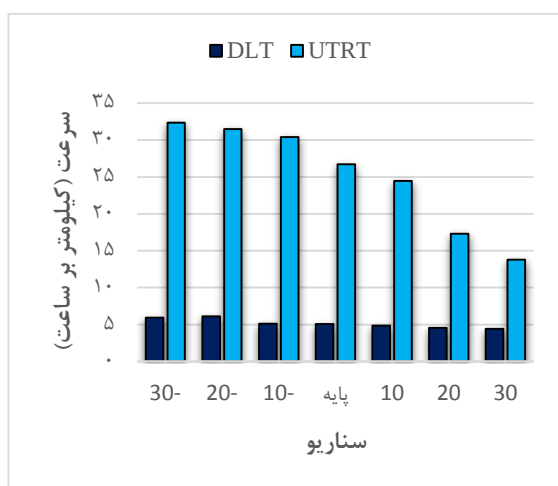
مقایسه شاخص‌های عملکردی حاصل از خروجی نرم‌افزار ایمنسان برای تمامی سناریوها در دو حالت DLT و UTRT در شکل‌های ۲۶ تا ۳۰ نشان داده شده است.

شکل ۲۶. زمان سفر در تقاطع آذر-ملت در دو حالت DLT و

UTRT

نتایج نشان می‌دهد زمان سفر در حالت UTRT نسبت به حالت DLT، ۶۵ تا ۸۴ درصد کاهش می‌یابد. با توجه شکل ۲۶، زمان سفر با افزایش حجم ترافیک گردش به چپ در حالت UTRT و DLT، روند صعودی داشته و افزایش می‌یابد.

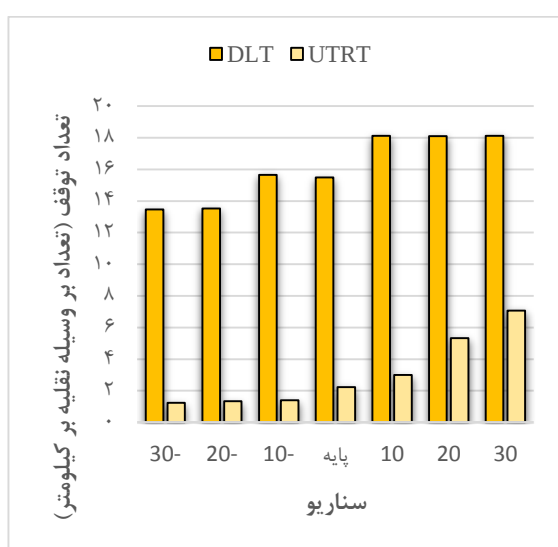




شکل ۲۹. سرعت در تقاطع آذر-ملت در دو حالت DLT و

UTRT

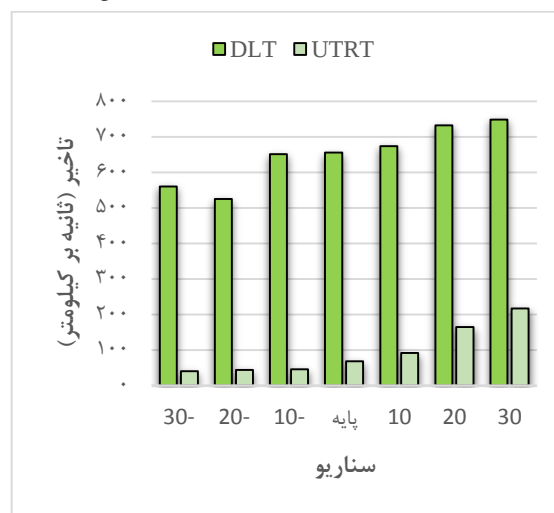
سرعت در حالت UTRT نسبت به حالت DLT، ۳ تا ۶ برابر افزایش می‌یابد. شکل ۲۹ نشان دهنده روند کاهش سرعت با افزایش حجم ترافیک گردش به چپ در حالت UTRT است. با افزایش حجم ترافیک گردش به چپ در حالت DLT، سرعت با شیب بسیار کمی کاهش می‌یابد. همچنین در احجام بالای ترافیک گردش به چپ، شیب کاهش سرعت در حالت UTRT بیشتر می‌شود.



شکل ۳۰. تعداد توقف در تقاطع آذر-ملت در دو حالت DLT و

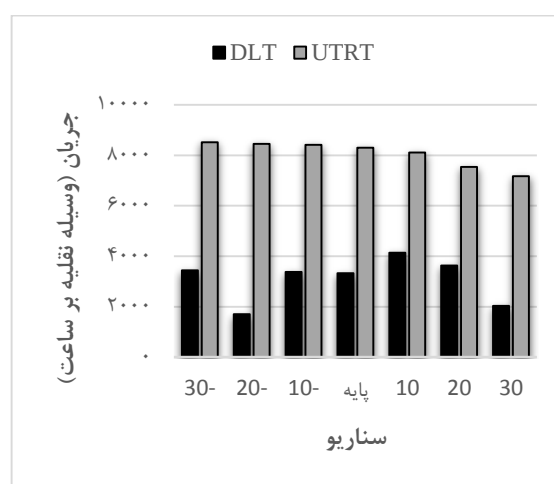
UTRT

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال دوازدهم / شماره اول (۴۶) / پاییز ۱۳۹۹



شکل ۲۷. تاخیر در تقاطع آذر-ملت در دو حالت DLT و

تاخیر در حالت UTRT نسبت به حالت DLT، ۷۱ تا ۹۳ درصد کاهش می‌یابد. شکل ۲۷ بیان می‌کند که تاخیر نیز در دو حالت UTRT و DLT با افزایش حجم ترافیک گردش به چپ افزایش می‌یابد.



شکل ۲۸. جریان در تقاطع آذر-ملت در دو حالت DLT و

UTRT

جریان در حالت UTRT نسبت به حالت DLT، ۲ تا ۵ برابر افزایش می‌یابد. شکل ۲۸ بیان می‌کند که با افزایش احجام ترافیک گردش به چپ، جریان در حالت UTRT و DLT روند کاهشی دارد.

و متعاقب آن شاخص‌های عملکردی تقاطع‌های چراغدار بهبود پیدا می‌کند.

در اثر استفاده از این راهکار در سه تقاطع مذکور، شاخص‌های عملکردی زمان سفر، تأخیر و تعداد توقف کاهش یافته و شاخص‌های جریان و سرعت افزایش می‌یابند. به طوری که میزان بهبود این شاخص‌ها برای هر یک از تقاطع‌ها به صورت زیر حاصل شد:

در تقاطع تختی، زمان سفر ۷۶ تا ۸۵ درصد، تأخیر ۹۰ تا ۹۴ درصد، جریان ۸۳ تا ۲۲۵ درصد، سرعت ۲۶۲ تا ۴۶۷ درصد و تعداد توقف ۸۳ تا ۸۷ درصد بهبود می‌یابند.

در تقاطع شیخ صدوق، زمان سفر ۳۶ تا ۶۴ درصد، تأخیر ۸۱ تا ۹۲ درصد، جریان ۲ تا ۲۱ درصد، سرعت ۵۵ تا ۱۷۶ درصد و تعداد توقف ۵۴ تا ۷۳ درصد بهبود می‌یابند.

در تقاطع آذر-ملت، زمان سفر ۶۵ تا ۸۴ درصد، تأخیر ۷۱ تا ۹۳ درصد، جریان ۹۶ تا ۲۵۲ درصد، سرعت ۱۸۹ تا ۴۹۲ درصد و تعداد توقف ۶۱ تا ۹۱ درصد بهبود می‌یابند.

به طور کلی در تقاطع‌های چراغدار که به دلیل حجم بالای وسایل نقلیه حرکت مستقیم و گردش به چپ، تراکم ترافیک بسیار زیاد می‌باشد و وسایل نقلیه تأخیر زیادی را متحمل می‌شوند، می‌توان در صورت امکان با ایجاد بازشدگی‌های میانی در چهار بازوی تقاطع از راهکار UTRT به جای حرکت DLT استفاده نمود تا عملکرد تقاطع چراغدار به مقدار قابل توجهی بهبود یابد.

۸. پی‌نوشت‌ها

1. Direct Left Turn
2. Median U-Turn Intersection Treatment
3. U-Turn followed by Right Turn

تعداد توقف در حالت UTRT نسبت به حالت DLT، ۶۱ تا ۹۱ درصد کاهش می‌یابد. شکل ۳۰ بیانگر این مطلب است که با افزایش حجم ترافیک گردش به چپ، تعداد توقف در حالت UTRT و DLT افزایش می‌یابد. در احجام بالای ترافیک گردش به چپ، شاهد افزایش شیب تعداد توقف در حالت UTRT هستیم.

نتایج به دست آمده از تقاطع "آذر-ملت"، نتایج حاصل از دو تقاطع دیگر را تایید می‌کند و نشان می‌دهد که استفاده از راهکار UTRT، عملکرد تقاطع را نسبت به حالت DLT از نظر شاخص‌های مورد بررسی بهبود می‌بخشد. تفاوت درصد بهبود به دست آمده در تقاطع‌ها می‌تواند ناشی از تفاوت‌های موجود در طرح هندسی و احجام هریک از تقاطع‌ها باشد.

۷. نتیجه‌گیری

هدف این تحقیق، ارزیابی استفاده از راهکار UTRT به جای حرکت DLT در هر چهار رویکرد تقاطع‌های چراغدار است. از آنجایی که عملکرد این راهکار در احجام بالاتر ترافیک گردش به چپ بررسی نشده است، از این رو در تحقیق حاضر با تعریف سناریوهای مختلف از احجام ترافیک گردش به چپ در سه تقاطع چراغدار "تختی، شیخ صدوق و آذر-ملت"، استفاده از این راهکار مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی سه تقاطع "تختی، شیخ صدوق و آذر-ملت" در نرم‌افزار ایمنسان نشان داد که استفاده از راهکار UTRT به جای DLT عملکرد تقاطع‌ها را بهبود می‌بخشد و این نتیجه در احجام بالاتر و پایین‌تر گردش به چپ نیز صادق است. علت نتیجه به دست آمده می‌تواند این باشد که در زمان استفاده از راهکار UTRT، وسایل نقلیه گردش به چپ با وسایل نقلیه حرکت مستقیم رویکرد مقابل درگیری ندارند، در نتیجه تخلیه تقاطع در رویکردها سریع‌تر اتفاق می‌افتد.

-خاکساری، علی،. ناصری، الناز و صفارزاده، محمود. (۱۳۹۳)
"امکان‌سنجی و اجرای طرح خیابان کامل در ایران برای دست-
یابی به توسعه پایدار محله محور (نمونه موردی: خیابان ایران
زمین، محله شهرک قدس، منطقه دو شهرداری تهران)"، فصلنامه
مهندسی حمل و نقل، سال ششم، شماره دوم، ص. ۲۷۱-۲۸۷.

-Anonymous. (2006) "Synthesis of the median
u-turn intersection treatment, safety, and
operational benefits", FHWA-HRT-07-033.

-Bared, J.G. and Kaisar, E.I. (2002) "Median U-
Turn Design as an Alternative Treatment for
Left Turns at Signalized Intersections", ITE
Journal, Vol. 72, No. 2, pp. 50-54.

-Dorothy, P.W., Maleck, T.L. and Nolf, S.E.
(1997) "Operational Aspects of Michigan
Design for Divided Highways", Transportation
Research Record: Journal of the Transportation
Research Board, Vol. 1579, No.1, pp. 18-26.

-Dulebenets, M.A., Rahimi, A.M. and
Mazaheri, A. (2017) "Assessing the effects of
indirect left turn on a signalized intersection
performance: A Case Study for the Tehran
Metropolitan Area", Open Journal of Applied
Sciences, Vol. 7, No. 11, pp. 617-634.

-El Esawey, M. and Sayed, T. (2011)
"Operational performance analysis of the
unconventional median U-turn intersection
design", NRC Research Press, Vol. 38, No. 11,
pp. 1249-1261.

-Gluck, J. (1999) "Impacts of access
management techniques". NCHRP Rep. 420,
National Cooperative Highway Research
Program, Washington, D.C.

-Liu, P., Zhou, H. and Sokolow, G. (2007)
"Operational effects of U-turns as alternatives
to direct left-turns". Journal of transportation
engineering, Vol. 133, No, 5. pp. 327-334.

4. Right Turn followed by U-Turn

5. Dorothy, Maleck and Nolf

6. Two-Way Left-Turn Lanes

7. TRAF-NETSIM

8. Gluck

9. National Cooperative Highway Research
Program

10. Reid and Hummer

11. Detroit

12. CORSIM

13. Synchro

14. Bared and Kaisar

15. Zhou

16. Yang

17. Topp

18. Liu, Zhou and Sokolow

19. Pirdavani

20. El Esawey and Sayed

21. VISSIM

22. Lu

23. Qi

24. Zhao

25. Taha and Abdelfatah

26. Dulebenets

27. Aimsun

28. SimTraffic

۹. مراجع

-آئین‌نامه طرح هندسی راه‌های ایران، نشریه شماره ۴۱۵،
(۱۳۹۱)، معاونت نظام راهبردی، امور نظام فنی.

Journal of the Transportation Research Board,
Vol. 1678, No. 1, pp. 208-215.

-Reid, J. D. and Hummer, J. E. (2001) "Travel time comparisons between seven unconventional arterial intersection designs", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board Vol. 1751, No. 1, pp. 56-66.

-Taha, M. A. and Abdelfatah, A. S. (2015) "Impact of U-turns as alternatives to direct left-turns on the operation of signalized intersections", Journal of Traffic and Logistics Engineering, Vol. 3, No. 1, pp. 12-17.

-Topp, A. and Hummer, J. E. (2005) "Comparison of two median U-Turn design alternatives using microscopic simulation", 3rd International Symposium on Highway Geometric Design.

-Yang, X.K. and Zhou, H.G. (2004) "CORSIM-based simulation approach to evaluation of direct left turn versus right turn plus U-turn from driveways", Journal of Transportation Engineering, Vol. 130, No. 1, pp. 68-75.

-Zhao, J., Ma, K.W., Head, L. and Yang, X. (2014) "Optimal intersection operation with median U-Turn, lane-based approach", Transportation Research Record, Vol. 2439, No. 1, pp. 71-82.

-Zhou, H., Lu, J. J., Yang, X. K., Dissanayake, S. and Williams, K.M. (2002) "Operational effects of U-turns as alternatives to direct left turns from driveways", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 1796, No. 1, pp. 72-79.

-Lu, L., Wei, D., Lu, J.J. and Li, Zh. (2012) "Analysis of signalized intersection U-turn design based on the Micro-Simulation Study", in CICTP 2012: Multimodal Transportation Systems Convenient, Safe, Cost-Effective, Efficient, The Twelfth COTA International Conference of Transportation Professionals, pp. 2266-2277.

-Mazaheri, A. and Rahimi. A. M. (2017) "Determining a suitable position for U-turns near signal-controlled road junctions", in Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport. Thomas Telford Ltd.

-NCHRP report 420 "Impacts of Access Management Techniques", National Research Council: Transportation Research Board.

-Pirdavani, A., Brijs, T., Bellemans, T. and Wets, G. (2011) "Travel time evaluation of a U-turn facility: comparison with a conventional signalized intersection", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2223, No. 1, pp. 26-33.

-Qi, Y., Chen, X., Liu, G. and Wang, Y. (2014) "Operational and safety impacts of directional median opening on urban roadways: A Case Study in Houston, TX" 93rd. Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington DC.

-Reid, J. and Hummer, J. (1999) "Analyzing system travel time in arterial corridors with unconventional designs using microscopic simulation", Transportation Research Record:

امیرمسعود رحیمی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۷۶ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران گرایش مهندسی و برنامه‌ریزی حمل و نقل در سال ۱۳۷۸ را از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. همچنین در سال ۱۳۸۷ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران گرایش مهندسی و برنامه‌ریزی حمل و نقل از دانشگاه علم و صنعت ایران گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان مدل‌سازی حمل و نقل، شبیه‌سازی جریان ترافیک، ایمنی ترافیک و حل مسأله مسیریابی وسیله نقلیه بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه دانشیار در گروه عمران دانشگاه زنجان است.



احمد اکبرزاده، درجه کاردانی در رشته عمران-کارهای عمومی ساختمان را در سال ۱۳۹۱ از دانشگاه تربت حیدریه، درجه کارشناسی ناپیوسته در رشته عمران را در سال ۱۳۹۳ از دانشگاه تبریز، و درجه کارشناسی ارشد در رشته راه و ترابری را در سال ۱۳۹۶ از دانشگاه زنجان اخذ نمود.



محمود اکبرزاده، درجه کاردانی در رشته عمران-کارهای عمومی ساختمان را در سال ۱۳۹۱ از دانشگاه تربت حیدریه، درجه کارشناسی ناپیوسته در رشته عمران را در سال ۱۳۹۳ از دانشگاه تبریز، و درجه کارشناسی ارشد در رشته راه و ترابری را در سال ۱۳۹۶ از دانشگاه زنجان اخذ نمود.



آرشد مظاهری، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۸۸ از دانشگاه آزاد اسلامی و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران گرایش راه و ترابری را هم در سال ۱۳۹۳ از دانشگاه آزاد اسلامی اخذ نمود. او در سال ۱۳۹۴ تحصیل در مقطع دکتری تخصصی رشته مهندسی عمران گرایش راه و ترابری در دانشگاه زنجان را آغاز کرد. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان شبیه سازی ترافیک، رفتارهای رانندگان، خودروهای هوشمند و ایمنی ترافیک بوده و در حال حاضر مراحل پایانی تحصیل خود در رشته راه و ترابری در مقطع دکتری را طی می‌کند.

