

ارزیابی میزان تأثیر مانور واگرد بر کارایی تقاطع‌های چراغ‌دار بر اساس شرایط ترافیکی شهرها (مطالعه موردی: شهر تهران)

مطالعه خصوصیات جریان ترافیک در تقاطع‌ها، یکی از اقدامات مؤثر و ضروری در بالا بردن سطح سرویس خیابان‌ها و شناخت مناسب عملکرد ترافیکی رانندگان می‌باشد. تقاطع‌های همسطح در شهرها، از جمله نقاطی است که ترافیک سنگین و تأخیر در آن بیشتر جلوه می‌کند. از این‌رو، بهینه‌سازی جریان ترافیک در این تقاطع‌ها امری اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد. یکی از مهم‌ترین حرکات گردشی در تقاطع‌ها، مانور واگرد (دوربرگردان) می‌باشد. در این تحقیق تلاش شده تا تأثیر مانور واگرد بر کارایی تقاطع چراغ‌دار بررسی شود. بدین منظور، یک شبکه در شهر تهران در نرم‌افزار سینکرو مدل گردید. برداشت‌های آماری خودروها و عابرین پیاده صورت گرفت و پارامترهای نرم‌افزار تا حد امکان براساس شرایط شهر تهران کالیبره شدند. نتایج تحلیل در نرم‌افزار سینکرو نشان داد که در صورت حذف مانور واگرد از تقاطع، طول صف و تأخیر و درجه اشباع تقاطع به‌طور چشمگیری کاهش پیدا می‌کند. همچنین سطح سرویس تقاطع ارتقاء می‌یابد. به‌منظور اعتبارسنجی، تقاطع دیگری در محدوده شهر تهران شبیه‌سازی شد و نتایج حاصل از آن، بر درستی نتایج مدل اول صحت گذاشت.

واژگان کلیدی: تقاطع چراغ‌دار، مانور واگرد، نرم‌افزار سینکرو، شبیه‌سازی.

آرش مظاهری

کارشناس ارشد مهندسی
عمران - راه و ترابری، دانشگاه
آزاد اسلامی واحد زنجان.
پست الکترونیک:
Mazaheri.arash@znu.ac.ir

امیرمسعود رحیمی*

استادیار، دانشکده فنی مهندسی،
دانشگاه زنجان.
پست الکترونیک:
amrahimi@znu.ac.ir

۱- تعریف و اهمیت موضوع

امروزه معضل تراکم ترافیک در محدوده شهرهای بزرگ دنیا، بخش عمده‌ای از وقت و سرمایه شهروندان را مصروف خود می‌سازد. حمل‌ونقل و معابر شهری و برون‌شهری جزء جدایی‌ناپذیر زندگی روزمره انسان به‌حساب می‌آیند و با افزایش تردد خودروها در معابر، تقاطع‌ها به‌عنوان مهم‌ترین و اساسی‌ترین رکن از یک شبکه حمل‌ونقل، مشکلاتی از قبیل تراکم و جمع‌شدگی، تأخیر، افزایش زمان سفر، کاهش ایمنی تردد و غیره را تجربه می‌نمایند. با افزایش بی‌رویه تقاضا در محدوده شهرها، طرح‌های ترافیکی اجرا شده شهری به‌خصوص در

تقاطع‌ها جوابگوی تقاضای حمل‌ونقل نمی‌باشند. استفاده از دوربرگردان در تقاطع‌های چراغ‌دار با حجم بالا و معبر فرعی با حجم کم تا متوسط، سبب کاهش تصادفات می‌شود. در سال‌های اخیر به‌دلیل استفاده رو به افزایش از بازشدگی جهتی میانه در معابر چندخطه درون و برون‌شهری، تعداد خودروهایی که در تقاطع‌های چراغ‌دار حرکت واگرد انجام می‌دهند، افزایش یافته است. استاندارد خاصی در خصوص مکان انجام مانور واگرد در محدوده تقاطع چراغ‌دار وجود ندارد و ملاحظه می‌شود که حسب سلیقه مدیران، در برخی از تقاطع‌های محدوده شهر تهران مانور واگرد در قبل، بعد و یا در محل تقاطع صورت می‌گیرد. محل ایجاد دوربرگردان بر ایمنی و کارایی آن تأثیر مستقیمی دارد. در این تحقیق، تلاش می‌شود تا با تحلیل یک تقاطع چراغ‌دار با استفاده از نرم‌افزار سینکرو و کالیبراسیون پارامترهای اصلی آن براساس شرایط ترافیکی

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۴/۰۹/۲۰، بازنگری ۱۳۹۵/۱۲/۱۵، پذیرش ۱۳۹۵/۱۲/۱۶.

همچنین یک معیار برای اندازه‌گیری، میزان ناراضی بودن راننده و مصرف سوخت است. نسبت حجم به ظرفیت، درجه اشغال ظرفیت هر فاز توسط گروه خطوط را مشخص می‌کند [۲]. در هر گروه خط، نسبت V/C که به‌صورت درجه اشباع تعریف می‌گردد، از طریق رابطه (۱) بیان می‌شود:

$$x_i = \left(\frac{V}{C} \right) = \frac{V_i}{S_i \left(\frac{g_i}{C} \right)} = \frac{V_i C}{S_i g_i} \quad (1)$$

که x_i نسبت درجه اشباع برای گروه خط i ام است. محدوده موردقبول برای درجه اشباع از یک (هنگامی که شدت جریان مساوی با ظرفیت باشد) تا صفر (هنگامی که شدت جریان مساوی صفر باشد) تغییر می‌کند. در صورتی که این عدد بالاتر از یک باشد، تقاطع موردنظر در حالت فوق اشباع عمل می‌کند. نسبت V/C بحرانی مفهوم دیگری است که در تجزیه و تحلیل تقاطع‌های چراغ‌دار مورد استفاده قرار می‌گیرد. محاسبه نسبت V/C بحرانی برای کل تقاطع، از طریق در نظر گرفتن تنها گروه خط‌هایی که دارای بیشترین نسبت جریان V/S برای هر زمان هستند، صورت می‌گیرد. هر زمان چراغ دارای گروه خطی است که تعیین‌کننده زمان سبز هستند. هنگامی که زمان‌های چراغ همپوشانی داشته باشد، تشخیص گروه‌های خط بحرانی تا حدودی پیچیده‌تر می‌شود. نسبت V/C بحرانی برای یک تقاطع توسط رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$x_c = \sum \left(\frac{V}{S} \right)_{ci} \left(\frac{C}{C - L} \right) \quad (2)$$

در صورتی که نسبت V/C بحرانی کمتر از یک باشد اما تعدادی حرکات به‌صورت فوق اشباع در طول چرخه تقاطع وجود داشته باشند، نسبت V/C بحرانی کمتر از یک باقی می‌ماند، به‌طوری‌که کلیه حرکات تقاطع به‌وسیله اختصاص زمان سبز مناسب بین زمان‌ها در طول

شهر تهران، تأثیر مانور واگرد بر روی کارایی تقاطع چراغ‌دار باتوجه‌به معیارهای کارایی از قبیل سطح سرویس، تأخیر تقاطع و طول صف مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲- مروری بر منابع و تحقیق‌های انجام گرفته

از آنجاکه تقاطع‌ها، اجزای نقطه‌ای در شبکه معابر هستند، معیارهای کارایی متفاوتی نسبت به سایر تسهیلات راه می‌بایست در نظر گرفته شود. برای تحلیل تقاطع‌ها، معیارهای کارایی نظیر تأخیر، طول صف و سطح سرویس به‌کار گرفته می‌شود. لازم به ذکر است که تمامی این متغیرها به یکدیگر مربوط هستند. متداول‌ترین معیار کارایی که برای توضیح چگونگی عملکرد تقاطع به‌کار می‌رود، تأخیر کنترلی است. البته گاهی اوقات طول صف و یا تعداد توقف به‌عنوان معیار ثانویه نیز استفاده می‌شوند. باوجوداینکه امکان اندازه‌گیری تأخیر به‌صورت میدانی وجود دارد، اما به‌دست آوردن آن کمی پیچیده است و مشاهدات گوناگون منجر به نتایج مختلف خواهد شد. به‌همین دلیل، استفاده از یک مدل پیش‌بینی تأخیر بسیار رایج است. البته ممکن است تأخیر از چندین روش مختلف محاسبه شود. انواع متداول تأخیر شامل تأخیر زمان توقف، تأخیر رویکرد، تأخیر زمان در صف، تأخیر زمان سفر و تأخیر کنترل می‌باشد.

مفهوم تأخیر کنترل برای اولین بار در کتاب ظرفیت راه‌ها و تقاطع‌ها ویرایش ۱۹۹۴ (HCM 94) ارائه شد که در ویرایش‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ آن نیز مورد استفاده قرار گرفته است. این تأخیر، حاصل عملکرد وسایل کنترل تقاطع مانند چراغ‌راهنمایی یا تابلوی ایست است. مقدار آن تقریباً با تأخیر زمان در صف به‌علاوه تأخیر کاهش و یا افزایش سرعت برابر است [۱]. در نسخه پنجم کتاب ظرفیت راه‌ها و تقاطع‌ها که در سال ۲۰۱۰ ارائه شد، تأخیر کنترل و نسبت حجم به ظرفیت برای تعیین سطح سرویس در یک گروه خط مشخص می‌شود. تأخیر، افزایش زمان سفر در اثر چراغ‌راهنمایی را نشان می‌دهد.

در مطالعات قبلی، ضریب تعدیل برای حرکات واگرد براساس درصد خودروهایی که مانور واگرد انجام می‌دهند را کالیبره کرده بودند. آن‌ها اطلاعات ترافیکی را در ۱۵ تقاطع محله تامپابی^۵ در ایالت فلوریدا برداشت کردند. تمامی رویکردها دارای میانه بود و در همه تقاطع‌ها از گردش‌به‌چپ غیرمستقیم به‌جای گردش‌به‌چپ مستقیم استفاده می‌شد. تمامی بازشدگی رفوژ نیز از نوع جهتی بود. محققان داده‌ها را با هدف در نظر گرفتن آن به‌عنوان ورودی به نرم‌افزار سینکرو، کالیبره کردن پارامترهای مرتبط با شبیه‌سازی مانور واگرد در دو نرم‌افزار و برای اعتبارسنجی خروجی‌های نرم‌افزار، برداشت کردند. در این تحقیق، تأخیر کنترل به‌عنوان معیار کارایی اعتبارسنجی خروجی نرم‌افزار مورد استفاده قرار گرفت. برای داده‌های ورودی، دو پارامتر مهم نرخ جریان اشباع و سرعت گردش برای مانور واگرد براساس شرایط محیطی کالیبره شد. مقدار پیشنهادی کتاب ظرفیت راه‌ها و تقاطع‌ها برای نرخ جریان اشباع برای گردش‌به‌چپ از یک خط اختصاصی در فاز محافظت‌شده ۱۷۷۰ خودرو در ساعت در هر خط است. براساس مطالعات قبلی محققان، ضریب تعدیل برای حرکات واگرد از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$f_{UT} = \frac{2.14}{0.000033P_U^2 + 0.0033P_U + 2.14} \quad (3)$$

که P_U درصد خودروهای گردش‌دهی در داخل خط چپ‌گرد و f_{UT} ضریب تعدیل برای مانور واگرد است؛ بنابراین باتوجه به شرایط نرخ جریان اشباع برای مانور واگرد، ۱۶۲۸ خودرو در ساعت در هر خط به‌دست آمد. با توجه به توزیع سرعت، رابطه (۴) یک رابطه رگرسیونی برای به‌دست آوردن سرعت گردش باتوجه به شعاع را نشان می‌دهد:

$$S = 16.89e^{\frac{-14.47}{r}} \quad (4)$$

چرخه و زمان‌بندی تعریف‌شده، قادر به داشتن نسبت V/C کمتر از یک خواهند بود [۲].

اگر در هر گروه خط، نسبت حجم به ظرفیت بالاتر از یک باشد، آن گروه در سطح سرویس F قرار می‌گیرد؛ یعنی هر گروه خط تقاطع چراغ‌دار تأخیر میانگین بالای ۸۰ ثانیه به ازای هر وسیله نقلیه خواهد داشت [۲].

سونکاری^۱ در تحقیقی که در سال ۲۰۰۴ میلادی انجام داد، مزایای بهینه‌سازی و زمان‌بندی دوباره چراغ‌های راهنمایی را ارزیابی کرد. او اشاره کرد که یکی از مزایای مستقیم بهینه‌سازی، کاهش تأخیر است. با هماهنگ‌سازی چراغ‌های راهنمایی و بهینه‌سازی آن‌ها، توقف به ازای هر وسیله نقلیه کاهش یافته و مصرف سوخت کم می‌شود. او همچنین از سالم ماندن روسازی، کاهش انتشار گازهای سمی، افزایش ایمنی، افزایش کنترل، کاهش هزینه‌های نگهداری به‌عنوان مزایای غیرمستقیم بهینه‌سازی چراغ‌ها نام برد [۳].

کارت^۲ و همکاران در سال ۲۰۰۵ میلادی تصادفات مربوط به ۷۸ تقاطع چراغ‌دار را در طول یک بازه سه ساله بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در ۶۵ تقاطع، تصادفی که حرکت واگرد در آن دخیل باشد، رخ نداده است. در ۱۳ تقاطع دیگر، نرخ تصادفاتی که حرکت واگرد در آن دخیل باشد بین ۰/۳۳ تا سه تصادف در سال بود. با توجه به نتایج تحلیل، کارتر نتیجه گرفت که مانور واگرد تأثیر منفی چندانی از لحاظ ایمنی بر روی عملکرد تقاطع‌های چراغ‌دار ندارد [۴].

در تحقیقی که پان لیو^۳ و همکاران در سال ۲۰۰۹ میلادی در دانشگاه فلوریدای جنوبی انجام دادند، تأثیر حرکات واگرد بر روی سطح سرویس تقاطع‌های چراغ‌دار حومه شهری را ارزیابی کردند. آن‌ها بدین منظور از دو نرم‌افزار سینکرو و سیم ترافیک^۴ استفاده کردند. محققان

1- Sunkari

2- Carter

3- Pan liu

4- Sim Traffic

5- Tampa Bay

دوربرگردان ایجاد شده نیاز به کنترل تقاطع با چراغ‌راهنمایی است. پس از اعمال تغییر، شبکه مجدداً توسط نرم‌افزار سیم ترافیک پنج مرتبه و در بازه‌های ۶۰ دقیقه‌ای شبیه‌سازی شد. همچنین زمان سفر با استفاده از روش خودروی ناظر اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در اکثر رویکردها پس از ایجاد دوربرگردان، پیشرفت ملاحظه می‌شود و در سطح سرویس D عمل می‌کند. همچنین بررسی‌ها درخصوص زمان سفر نشان داد که پس از اعمال تغییرات، زمان سفر در جهت شرق به غرب ۲۳٪ و در جهت غرب به شرق ۳۳٪ کاهش داشته است [۸]. دیسانایاکه^۹ و همکاران در سال ۲۰۰۷ میلادی به بررسی ایمنی و عملکردی جایگزینی مانور گردش‌به‌راست و سپس مانور واگرد (RTUT^{۱۰}) با گردش‌به‌چپ مستقیم در معابر ورودی شهرهای ایالت فلوریدا پرداختند. نتایج تحقیق مشخص کرد اگر میانه قبل از تقاطع فراهم باشد، افزایش تأخیر و زمان سفر وجود ندارد؛ اما اگر مانور واگرد در تقاطع انجام شود، نسبت به خودروهایی که گردش‌به‌چپ مستقیم می‌کنند، ۴۵ ثانیه افزایش تأخیر انتظار و حدود ۱ دقیقه افزایش زمان سفر مشاهده می‌شود. همچنین مشاهده شد که افزایش حجم خودروهایی که قصد مانور واگرد دارند، بر روی ظرفیت تقاطع چراغ‌دار تأثیر منفی می‌گذارد. در نهایت پژوهشگران دریافتند که بازشدگی میانه به‌منظور حرکات واگرد قبل از تقاطع چراغ‌دار مزایای بسیاری از لحاظ ایمنی و عملکردی دارد؛ اما به خاطر شرایط هندسی، گاهی اوقات این روش امکان‌پذیر نیست. بنابراین به مهندسين پیشنهاد دادند که در صورت فراهم‌نبودن شرایط هندسی، به فکر ایجاد بازشدگی میانه بعد از تقاطع چراغ‌دار باشند [۹]. رو یینگ^{۱۱} در سال ۲۰۱۱ میلادی، تحقیقی درخصوص ارزیابی مانور واگرد در تقاطع‌های

که S سرعت میانگین خودروهایی که در تقاطع چراغ‌دار قصد مانور واگرد دارند برحسب مایل بر ساعت و τ شعاع گردش برای خودروهایی که قصد مانور واگرد دارند، برحسب فوت است. آن‌ها از این معادلات، برای بهبود مدل خود استفاده کردند. نتایج نشان داد به‌منظور بررسی تأثیر مانور واگرد بر روی سطح سرویس تقاطع‌های چراغ‌دار شهری، هر تقاطع با شرایط مخصوص به خودش می‌بایست تحلیل شود. آن‌ها همچنین به این نتیجه رسیدند که با افزایش خودروهایی که قصد مانور واگرد دارند، تأخیر در تقاطع‌های چراغ‌دار افزایش می‌یابد. در پایان، محققان نتیجه‌گیری کردند که در صورت کالیبره‌شدن مناسب سینکرو و سیم ترافیک، نرم‌افزارها نتایج قابل قبولی درخصوص برآورد تأخیر مانور واگرد در تقاطع‌های چراغ‌دار شهری ارائه می‌کنند [۵].

در تحقیقی که در سال ۲۰۰۹ میلادی با موضوع تأثیر مانور واگرد بر روی سطح سرویس تقاطع چراغ‌دار در حومه فلوریدا آمریکا انجام شد، مشخص شد که تأخیر در تقاطع‌های چراغ‌دار با افزایش خودروهایی که قصد گردش ۱۸۰ درجه‌ای در خط گردش‌به‌چپ دارند، افزایش می‌یابد [۶].

آکچلیک^۶ در سال ۲۰۰۸ میلادی به بررسی رابطه بین رفتار رانندگی و ظرفیت تقاطع پرداخت و به این نتیجه رسید که ظرفیت تقاطع با رفتار راننده رابطه مستقیم دارد [۷]. مارتینز و بارنس^۷، امکان‌سنجی به‌کارگیری دوربرگردان میشیگان در ۱۹ تقاطع در طول بزرگراهی در خارج شهر ویسکانسین^۸ را بررسی کردند. محققان معیار سطح سرویس را به‌عنوان معیار کارایی در نظر گرفته و برای تحلیل تقاطع‌ها از نرم‌افزار سینکرو و سیم ترافیک استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد، برای اینکه تقاطع‌ها در سطح سرویس D عمل کنند و از پس‌زدگی صف جلوگیری شود، در ۱۳ دوربرگردان از ۲۲

^۹- Dissanayake

^{۱۰}- Right turn followed by U-turn

^{۱۱}- Xu Ruo-ying

^۶- Accelik

^۷- Martínez and Barnes

^۸- Wisconsin

افزایش تراکم می‌شود [۱۲]. محمد العساوی^{۱۶} در تحقیقی که در سال ۲۰۱۱ میلادی انجام داد، عملکرد مانور واگرد را با کمک نرم‌افزارهای شبیه‌سازی، ارزیابی کرد. او از نرم‌افزار ویسیم برای شبیه‌سازی و ارزیابی سه نوع دوربرگردان تحت سناریوهای مختلف استفاده کرد. در آن تحقیق، میانگین تأخیر تقاطع و ظرفیت به‌عنوان معیار کارایی در نظر گرفته شد. سرعت خودروها در شبکه، برابر ۵۰ کیلومتر در ساعت و سرعت گردش برابر ۲۵ کیلومتر در ساعت تعیین شد. از نرم‌افزار سینکرو به‌منظور بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ‌راهنمایی استفاده شد. او در این مقاله سه نوع عملکرد را ارزیابی کرد که عبارتند از:

- ۱- دوربرگردان غیرمتعارف که در این سیستم، چراغ‌راهنمایی به‌کل حذف خواهد شد.
- ۲- دوربرگردان متعارف که در این سیستم چراغ‌راهنمایی وجود دارد و گردش‌به‌چپ از طریق دوربرگردان پائین‌دست تقاطع انجام می‌شود.
- ۳- تقاطع چهارراه متعارف.

نتایج تحلیل‌های او نشان داد که دوربرگردان غیرمتعارف در مقایسه با سایر سیستم‌ها در بسیاری از شرایط، ضعیف‌تر عمل می‌کند. فقط در شرایطی که حجم تقاضای ترافیک و حجم گردش‌به‌چپ کم باشد، می‌شود از دوربرگردان غیرمتعارف استفاده کرد. در سناریو با حجم متعادل، دوربرگردان غیرمتعارف تأخیر کمتری نسبت به سایر سیستم‌ها داشت؛ اما زودتر از همه گزینه‌ها به حد ظرفیت می‌رسید. ظرفیت دوربرگردان غیرمتعارف ۲۷٪ کمتر از دوربرگردان متعارف بود، درحالی‌که ظرفیت دوربرگردان چراغ‌دار به‌همراه تقاطع چراغ‌دار ۱۰٪ و دوربرگردان بدون چراغ به‌همراه تقاطع چراغ‌دار حدود ۸٪ از تقاطع چراغ‌دار عادی بیشتر بود. همچنین نشان داده شد که با افزایش حجم گردش‌به‌چپ، تأخیر تقاطع

چراغ‌دار با استفاده از آنالیز سلسله‌مراتبی^{۱۲} انجام داد. بدین منظور او سه معیار نرخ جریان اشباع خطوط گردش‌به‌چپ، میانگین طول صف و میانگین تأخیر کنترل را در نظر گرفت و از نرم‌افزار ویسیم^{۱۳} برای شبیه‌سازی استفاده کرد. او نتیجه گرفت که اگر مانور واگرد در محل تقاطع چراغ‌دار صورت گیرد، بر روی جریان گردش‌به‌چپ تأثیر منفی می‌گذارد [۱۰]. چون کیانگ^{۱۴} در سال ۲۰۰۸ میلادی، مقاله‌ای با عنوان «تأثیر جریان ترافیک بر دوربرگردان در تقاطع چراغ‌دار» منتشر کرد. بدین منظور از نرم‌افزار ویسیم برای بررسی تفاوت‌های بین گردش‌به‌چپ مستقیم و غیرمستقیم و همچنین کارایی دوربرگردان با احجام مختلف استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که به‌کارگیری دوربرگردان در تقاطع چراغ‌دار در حجم‌های متوسط و بالا و یا درصد بالای خودروهای گردش‌به‌چپ، پیامدهای مثبت و در احجام کم، پیامدهای منفی دارد [۱۱].

ساموئل^{۱۵} و همکاران در سال ۲۰۱۰ میلادی جریان ترافیک در دوربرگردان را مدل‌سازی کردند. آن‌ها از نرم‌افزار NASCH برای مدل‌سازی سرعت خودرو و رفتار رانندگان استفاده کرده‌اند. آن‌ها مدل خود را با شرایط محلی کالیبره و سپس اعتبارسنجی کردند. باتوجه‌به تحقیقات، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که هندسه دوربرگردان، فعل‌وانفعال بین خودروها را بهبود می‌بخشد. مطالعات آماری نشان داد که دوربرگردان باعث کاهش تراکم و افزایش جریان خودرو در مقایسه با گردش‌به‌چپ می‌شود؛ اما نتایج تحقیقات آن‌ها محدود به زمانی است که حجم خودروها کم و مانور تغییر خط کمی مورد نیاز باشد. در نهایت، محققان به این نتیجه رسیده‌اند که دوربرگردان در مناطقی که حجم ترافیک بالا است (مانند حومه شهرها)، به‌جای اینکه شرایط را بهبود بخشد، باعث

¹²- AHP

¹³- VISSIM

¹⁴- Junqiang

¹⁵- Samuel

¹⁶- Mohamed El Esawey

کنترل این تقاطع‌ها در تقاطع اصغری به صورت کنترل با چراغ‌راهنمایی و در تقاطع سرحدی و صنایع فلزی، بدون چراغ است. آماربرداری در روز دوشنبه ۲۷ آبان‌ماه ۱۳۹۲ و در دو نوبت صبح و عصر به وسیله آمارگیر در شرایط جوی، طبیعی و روز کاری عادی صورت گرفته است. آمارگیری در صبح بین ساعت‌های ۷ تا ۱۰ صبح و در عصر بین ساعت‌های ۱۶ تا ۱۹ در بازه‌های ۱۵ دقیقه‌ای صورت گرفته است. برای تبدیل خودروها به همسنگ سواری، از ضرایب معادل پیشنهاد شده توسط شرکت مطالعات جامع تهران استفاده شده است. پس از آماربرداری و تحلیل آن‌ها، زمان ساعت اوج صبحگاهی و عصرگاهی همراه با حجم و ضریب ساعت اوج مربوط به هریک از تقاطع‌ها در جدول ۱ ذکر شده است. همچنین از نتایج تحلیل آمار، تعداد مانورهای پارکینگ و تعداد اتوبوس‌های متوقف در نزدیکی هریک از رویکردهای تقاطع برای ورود به نرم‌افزار مستخرج گردید.

حجم تردد عابرین پیاده نیز برداشت شد و جهت در نظرگرفتن تأثیر آن‌ها بر روی حرکات گردش، در نرم‌افزار وارد گردید. در نرم‌افزار سینکرو، می‌بایست تعداد عابرین پیاده تداخلی با حرکت گردش‌به‌راست در تقاطع وارد شود. این تعداد بر روی نرخ جریان اشباع تأثیرگذار است. با افزایش تعداد عابرین پیاده و دوچرخه‌های تداخلی، نرخ جریان اشباع گردش‌به‌راست و گردش‌به‌چپ که با آن‌ها تداخل دارند، کاهش می‌یابد. جدول ۲، تعداد عابرین پیاده در محدوده مورد مطالعه در ساعت اوج را که از برداشت‌های آماری به دست آمده، نشان می‌دهد. به صورت مشابه، تعداد دوچرخه‌ها و موتورسیکلت‌ها از کاربرگ‌های آماربرداری استخراج گردید.

۴- تحلیل منطقه مورد مطالعه

پس از برداشت اطلاعات هندسی منطقه و پالایش و محاسبه پارامترهای ترافیکی مورد نیاز نرم‌افزار، مدل‌سازی شبکه صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است که هیچ‌یک از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی ترافیک برای شرایط ایران ساخته

افزایش می‌یابد. با افزایش حجم گردش‌به‌چپ از ۲۰٪ به ۳۰٪ ظرفیت تقاطع ۳/۲٪ کاهش پیدا کرد [۱۳].

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تحقیقات نشان می‌دهد که در اکثر موارد، مانور واگرد بر روی عملکرد تقاطع چراغ‌دار تأثیر منفی می‌گذارد. البته در اکثر مطالب، ذکر شده است که باتوجه به تفاوت‌های رفتاری رانندگان در کشورهای مختلف، بهتر است که عملکرد این مانور در هر محل، به صورت جداگانه بررسی شود.

در این تحقیق تلاش می‌شود باتوجه به کالیبره کردن پارامترهای رفتاری رانندگان (نظیر زمان عکس‌العمل راننده به چراغ و زمان از دست‌رفته اولیه در تقاطع)، پارامترهای مرتبط با چراغ‌راهنمایی (نظیر نرخ جریان اشباع و سرفاصله و فاصله بین خودروها) و همچنین پارامترهای خودروی نقلیه (نظیر طول و عرض خودروها) براساس شرایط شهر تهران، تأثیر مانور واگرد بر روی عملکرد تقاطع چراغ‌دار مورد ارزیابی قرار گیرد.

۳- معرفی محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در این تحقیق، معبر ۱۷ شهریور واقع در منطقه ۱۸ شهر تهران می‌باشد. برای اهداف تحقیق، مسیری به طول ۲/۴ کیلومتر در نظر گرفته شد که شامل سه تقاطع است. تقاطع خیابان ۱۷ شهریور با خیابان صنایع فلزی، تقاطع خیابان ۱۷ شهریور با خیابان سرحدی و تقاطع خیابان ۱۷ شهریور با خیابان برادران اصغری در این محدوده واقع می‌باشند. شکل ۱، محدوده مدل شده در نرم‌افزار را نشان می‌دهد.



شکل ۱- شبکه مدل شده در نرم‌افزار سیم ترافیک.

نرم‌افزار سینکرو سرعت شبکه است که به صورت پیش‌فرض ۵۰ کیلومتر در ساعت تعیین شده است. برای محاسبه سرعت در محدوده مورد مطالعه در ساعت اوج، از روش خودروی شناور استفاده گردید. باتوجه به این روش، سرعت شبکه ۳۰ کیلومتر در ساعت تعیین شد.

نشده‌اند. بنابراین تحلیل با مقادیر پیش‌فرض می‌تواند منجر به خطاهای بزرگ شود. از این‌رو، می‌بایست تا آنجا که ممکن است شرایط نرم‌افزار را به محدوده مورد مطالعه نزدیک کرد و آن را برای شرایط شهر تهران کالیبره نمود. یکی از پارامترهای مهم در محاسبه ظرفیت تقاطع در

جدول ۱- ساعت اوج صبحگاهی، عصرگاهی و ضریب ساعت اوج در تقاطع‌ها

نام تقاطع	ساعت اوج صبح	حجم ساعت اوج صبح	ضریب ساعت اوج صبح (PHF)	ساعت اوج عصر	حجم ساعت اوج عصر	ضریب ساعت اوج عصر (PHF)
۱۷ شهریور- صنایع فلزی	۸:۳۰-۹:۳۰	۲۱۹۰	۰/۸۳	۱۶:۰۰-۱۷:۰۰	۱۸۴۲	۰/۷۶
۱۷ شهریور- اصغری	۷:۱۵-۸:۱۵	۲۲۲۳	۰/۸۴	۱۶:۳۰-۱۷:۳۰	۲۶۲۶	۰/۹۵
۱۷ شهریور- سرحدی	۷:۴۵-۸:۴۵	۱۷۴۸	۰/۹۴	۱۶:۳۰-۱۷:۳۰	۲۱۰۹	۰/۹۲

جدول ۲- تعداد عابرین پیاده در ساعات اوج در محدوده مورد مطالعه

نام تقاطع	تعداد عابرین پیاده در ساعت اوج (عابر / ساعت)			
	رویکرد شمالی	رویکرد جنوبی	رویکرد غربی	رویکرد شرقی
۱۷ شهریور- سرحدی	۲۲۳	۲۰۴	۲۳۲	۲۱۴
۱۷ شهریور- برادران اصغری	۱۵۱	۱۶۴	۱۹۷	۲۷۸

به صورت مشابه و با استفاده از تکنیک‌های فیلم‌برداری و برداشت‌های میدانی، پارامترهای نظیر نرخ جریان اشباع ایده‌آل، نوع و کلاس وسیله نقلیه (۹ کلاس)، فاصله بین وسایل نقلیه، سرفاصله زمانی اشباع، زمان عکس‌العمل راننده در تقاطع و زمان از دست‌رفته اولیه براساس شرایط شهر تهران کالیبره و در این پژوهش، استفاده گردید [۱۴].

پس از ویرایش و تحلیل آمارهای برداشت‌شده، پارامترهای ضریب ساعت اوج، درصد وسایل نقلیه سنگین، حجم گردش عابرین پیاده، تعداد موتورسیکلت و دوچرخه در هر تقاطع و برای هر حرکت به صورت جداگانه محاسبه شد. جدول ۳ پارامترهای کالیبره‌شده برای تقاطع‌های شهر تهران و جدول ۴، مشخصات خودروهای واردشده در نرم‌افزار را نشان می‌دهند.

سرعت عبور در تقاطعات از پارامترهای دیگری است که بایستی حتماً مدنظر قرار داده شود و به شرایط واقعی نزدیک‌تر گردد. از آنجاکه عملاً در تقاطعات، سرعت عبور بسیار پایین است و حضور تعداد بسیار زیاد عابرین پیاده، عبور نابهنگام موتورسواران و عوامل بسیار زیاد دیگری باعث می‌گردد که سرعت تردد در تقاطعات، بسیار پایین‌تر آید و امکان تردد با سرعت بالاتر وجود نداشته باشد، این عامل بایستی باتوجه به شرایط تقاطعات ایران بومی‌سازی شود و مقدار واقعی‌تری برای آن به دست آید. باتوجه به مشاهدات و آزمایش‌های میدانی در این تقاطعات، این مقدار به طور میانگین در ساعات اوج ترافیک برای گردش به راست برابر با مقدار ۱۵ کیلومتر بر ساعت و برای گردش به چپ برابر با مقدار ۲۵ کیلومتر بر ساعت تعیین گردید.

جدول ۳- پارامترهای کالیبره‌شده برای تقاطع‌های تهران

پارامتر	مقدار (میانگین)	واحد
نرخ جریان اشباع	۱۸۴۵/۶	وسیله نقلیه در هر ساعت در هر ساعت زمان سبز
سرفاصله زمانی اشباع	۱/۹۵	ثانیه
زمان از دست‌رفته	۵/۰۲۷	ثانیه
فاصله بین وسایل نقلیه	۱/۳۹	متر
زمان عکس‌العمل راننده در تقاطع	۰/۹	ثانیه

جدول ۴- مشخصات خودروی واردشده در نرم‌افزار

نام خودرو	کلاس	طول (متر)	عرض (متر)
سواری شخصی	سواری	۴/۱۴	۱/۶۶
تاکسی	سواری	۴/۳۶	۱/۶۷
ون	سواری	۵/۱	۱/۷
وانت	سواری	۴/۶۹	۱/۶۹
مینی‌بوس	سنگین	۵/۶۵	۲
اتوبوس واحد	سنگین	۱۱/۷۴	۲/۴۹
اتوبوس غیر واحد	سنگین	۱۲	۲/۴۹
کامیون خاور ۲۶۲۴	سنگین	۷/۶۱	۲/۹۹
کامیونت زامیاد	سنگین	۶/۸۴	۲/۵۵

درصد تغییرات پس از ممنوع کردن مانور واگرد در محل تقاطع را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در نتایج تحلیل‌ها مشخص شد، در حرکت شرق به غرب تقاطع اصغری به دلیل وجود حرکت واگرد در نقطه صفر تقاطع، تأخیر زیادی ملاحظه می‌شود و این بشدت بر روی سطح سرویس تقاطع اثر منفی دارد. در ضمن لازم به ذکر است که حجم خودروهایی که قصد انجام حرکت واگرد در تقاطع را دارند، نزدیک به ۲۵٪ احجام خودروها در این رویکرد است. باتوجه به اینکه رویکرد اصلی در این شبکه، شرقی- غربی است، مشاهده می‌شود که پس از حذف حرکت واگرد در تقاطع، بهبود چشمگیری در معیارهای کارایی اصلی شبکه مشاهده می‌شود. به طوری که تأخیر تقاطع از ۲۸۱ ثانیه به حدود ۵۹/۲ ثانیه کاهش پیدا می‌کند و طول صف ۵۰ درصد در رویکرد شرقی از ۳۱۵ متر به ۱۳۴ متر کاهش پیدا می‌کند. همچنین خروجی‌های نرم‌افزار سیم ترافیک نشان می‌دهد که پس از ممنوع کردن مانور واگرد در محل

به‌منظور تأثیر مانور واگرد بر روی کارایی تقاطع چراغ‌دار، مطالعه قبل- بعد صورت می‌گیرد. به این ترتیب که ابتدا شبکه مورد مطالعه در حالت وضع موجود در نرم‌افزار مدل می‌گردد. به علت اینکه تقاطع ۱۷ شهریور- برادران اصغری تنها تقاطع چراغ‌دار این محدوده است و مانور واگرد در محل این تقاطع انجام می‌گیرد، لذا خروجی‌های مربوط به این تقاطع از نرم‌افزار سینکرو استخراج می‌گردد. سپس باتوجه به هدف مقاله، مانور واگرد را از مدل تقاطع حذف کرده و حجم خودروهای گردشی و درصد وسایل نقلیه سنگین در جهت بدبینانه و محافظه‌کارانه به رویکرد مستقیم تخصیص داده می‌شود. بلافاصله پس از اعمال این تغییرات، ملاحظه می‌شود که با همان مشخصات هندسی و زمان‌بندی چراغ‌راهنمایی، عملکرد تقاطع بهبود می‌یابد. جدول ۵، مقایسه نتایج تحلیل تقاطع برای دو سناریو را نشان می‌دهد. همچنین جدول ۶، نتایج به‌دست آمده از نرم‌افزار سیم ترافیک و

حدود ۶٪ افزایش یافته است که خود نشان‌دهنده بهبود شبکه می‌باشد. همچنین از لحاظ زیست‌محیطی، ملاحظه می‌شود که ممنوع کردن این مانور، باعث کاهش گازهای آلاینده می‌شود [۱۵].

تقاطع، تأخیر مجموع ۳۰٪، زمان سفر ۲۶٪ و میزان سوخت مصرفی ۲۰٪ کاهش یافت، ضمن اینکه سرعت متوسط شبکه حدود ۱۳٪ افزایش یافت. همچنین ملاحظه می‌شود که تعداد خودروی ورودی و خروجی به شبکه

جدول ۵- مقایسه معیارهای کارایی بین مدل پایه و سناریوی اول

واحد	سناریوی اول (حذف مانور واگرد)				سناریوی پایه				مقایسه
	جنوبی	شمالی	غربی	شرقی	جنوبی	شمالی	غربی	شرقی	رویکرد
ثانیه	۱۹/۹	۲۸/۱	۲۳/۵	۹۶/۴	۱۶/۷	۲۸/۱	۳۴/۷	۶۳۳/۲	تأخیر رویکرد
متر	۱۰/۴	۳۷/۸	۵۳/۱	۱۳۴/۱	۸/۳	۳۷/۸	۵۹/۷	۳۱۵	طول صف ۵۰ درصد
-	۰/۳۴	۰/۷۱	۰/۷۲	۱/۱۴	۰/۳۲	۰/۷۱	۰/۸۸	۲/۳۵	درجه اشباع رویکرد
-	B	C	C	F	B	C	C	F	سطح سرویس رویکرد
-	۱/۱۴				۲/۳۵				درجه اشباع تقاطع
ثانیه	۵۹/۲				۲۸۰/۹				تأخیر تقاطع
-	E				F				سطح سرویس تقاطع

جدول ۶- مقایسه معیارهای کارایی بین مدل پایه و سناریوی اول در نرم‌افزار سیم ترافیک

واحد	درصد تغییرات	بعد از ممنوع کردن واگرد در محل تقاطع	وضع موجود	معیار کارایی
ساعت	-۳۰٪	۱۸۵۵/۷	۲۶۳۴/۸	تأخیر مجموع
ساعت	-۲۶٪	۲۱۴۴/۷	۲۸۹۶/۸	زمان سفر
ثانیه	-۳۳/۵٪	۶۰۰/۷	۹۰۲/۳	تأخیر به ازای هر وسیله نقلیه
عدد	+۶٪	۱۱۲۷۴	۱۰۶۳۳	تعداد خودروی وارد شده به شبکه
عدد	+۵/۶٪	۱۰۹۷۹	۱۰۳۹۱	تعداد خودروی خارج شده از شبکه
کیلومتر	+۷/۱۶٪	۸۴۱۵/۶	۷۸۱۸/۸	مسافت سفر
	+۸۲٪	۱۹۳۱۳	۱۰۵۹۸	تعداد توقف‌ها
لیتر	-۲۰٪	۲۳۳۳/۷	۲۹۰۰/۹	سوخت مصرف شده
کیلومتر بر ساعت	+۱۲/۳٪	۱۴/۶	۱۳	سرعت متوسط شبکه
گرم	-۷/۱۵٪	۱۰۳۹۸	۱۱۲۲۶	انتشار گاز HC
گرم	-۷٪	۱۷۲۷۳۳	۱۸۵۶۷۷	انتشار گاز CO
گرم	+۱۰٪	۱۸۳۳۱	۱۶۵۵۹	انتشار گاز NO _x

خلیج فارس در همان منطقه در نظر گرفته شد. آماربرداری در ۶ ساعت از روز به همان کیفیت قبل انجام گرفته که سه ساعت در صبح (۷-۱۰) و سه ساعت در عصر (۱۹-۱۶) بوده است. پس از آماربرداری و ویرایش داده‌ها، ساعت اوج صبح ۹:۱۵-۸:۱۵ و ساعت اوج عصر ۱۹:۳۰-۱۸:۳۰ مشخص شد. باتوجه به داده‌ها، ساعت اوج روز

نکته‌ای که کاملاً مشهود است، تأثیر منفی حرکت واگرد در نقطه صفر تقاطع بر عملکرد آن است. بنابراین می‌بایست در محل انجام مانور واگرد بازنگری شود.

۵- اعتبارسنجی

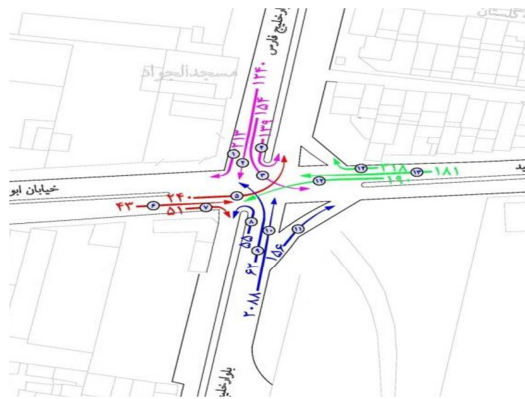
برای اعتبارسنجی مدل نیز تقاطع ابوسعید و بلوار

به طوری که در رویکرد جنوبی، حجم خودروهای حرکتی جنوب به جنوب ۵۵ وسیله نقلیه در ساعت و در رویکرد شمالی، حجم خودروهای شمال به شمال ۱۳۹ وسیله نقلیه در ساعت است.

مشابه شبکه اولیه، ابتدا وضع موجود تقاطع در نرم‌افزار سینکرو مدل می‌گردد. سپس حرکت واگرد در رویکرد شمالی که نسبت به رویکرد جنوبی حجم بیشتری دارد، حذف می‌شود. در جهت بدبینانه، حجم خودروهای گردش و درصد وسایل نقلیه سنگین به رویکرد مستقیم اضافه می‌شود و تقاطع در این شرایط تحلیل می‌گردد. جدول ۷، نتایج مطالعه قبل- بعد را برای شبکه تحلیل شده در نرم‌افزار نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که پس از حذف حرکت واگرد، درجه اشباع تقاطع حدود ۰.۴۴٪ و تأخیر تقاطع حدود ۱۶٪ کاهش پیدا می‌کند. بنابراین مانور واگرد بر روی این تقاطع نیز اثر منفی داشته که پس از حذف این مانور و تحلیل تقاطع تحت این شرایط، وضع تقاطع بهبود می‌یابد.

خروجی‌های نرم‌افزار سیم‌ترافیک مجدداً نشان می‌دهد که پس از حذف حرکت واگرد از تقاطع چراغ‌دار کارایی شبکه بهبود می‌یابد. به نحوی که زمان سفر و تأخیر حدود ۱۳٪، مصرف سوخت حدود ۱۲/۲٪ کاهش و سرعت متوسط شبکه حدود ۳۰٪ افزایش می‌یابد. همچنین تعداد خودروی ورودی و خروجی به شبکه نیز حدود ۸٪ افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده بهبود شبکه می‌باشد. بر اثر بهبود شبکه، انتشار گازهای آلاینده نیز کاهش می‌یابد.

۹:۱۵- ۸:۱۵ و حجم اوج ۵۰۴۰ معادل خودروی سواری و ضریب ساعت اوج آن ۰/۸۹ مشخص گردید. همچنین حجم عابر پیاده نیز برداشت شد. شکل ۲، نشان‌دهنده نوع حرکت‌ها و حجم عبوری خودروها در تقاطع فوق‌الذکر است و شکل ۳ تقاطع ایجاد شده در نرم‌افزار را نشان می‌دهد.



شکل ۲- تقاطع ابوسعید- خلیج فارس و حجم‌های حرکتی



شکل ۳- مدل تقاطع ابوسعید- خلیج فارس در نرم‌افزار سینکرو در این تقاطع، رویکرد شمالی- جنوبی، رویکرد شرقی است و هم در رویکرد شمالی و هم در رویکرد جنوبی، مانور واگرد در محل تقاطع صورت می‌پذیرد،

جدول ۷- مقایسه معیارهای کارایی نرم‌افزار سینکرو در تقاطع خلیج فارس

مقایسه	سناریوی پایه	سناریوی اول	واحد
درجه اشباع تقاطع	۴/۳۳	۲/۴۵	-
تأخیر تقاطع	۳۰۷/۱	۲۵۲/۴	ثابته
سطح سرویس تقاطع	F	F	-

۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش تلاش گردید تا تأثیر مانور واگرد بر روی کارایی تقاطع‌های چراغ‌دار براساس شرایط ترافیکی شهر تهران ارزیابی شود. بدین منظور، یک تقاطع در قسمت منتهی به حومه شهر تهران در نظر گرفته شد. آماربرداری و برداشت میدانی صورت پذیرفت، داده‌های به‌دست‌آمده، مورد پالایش قرار گرفت و ساعت اوج، احجام و سایر پارامترهای ترافیکی مورد نیاز نرم‌افزار، محاسبه گردید. سپس شبکه به‌منظور تحقق هدف تحقیق در نرم‌افزار سینکرو مدل گردید و پارامترهای آن براساس شرایط ترافیکی منطقه کالیبره گردید. به‌منظور اعتبارسنجی نیز، تقاطع دیگری در حومه شهر تهران با شرایط ترافیکی متفاوت انتخاب و در نرم‌افزار مدل گردید.

نتایج تحلیل در نرم‌افزار نشان داد که مانور واگرد در صورتی که در محل تقاطع چراغ‌دار در حومه شهرها صورت گیرد، تأثیر منفی بر روی کارایی تقاطع چراغ‌دار می‌گذارد. به‌نحوی که پس از حذف مانور واگرد از تقاطع و تحلیل آن در نرم‌افزار سینکرو، درجه اشباع و تأخیر تقاطع کاهش و سطح سرویس تقاطع نیز بهبود می‌یابد. ملاحظه شد در رویکردی که مانور واگرد قرار دارد، پس از حذف آن طول صف از ۳۱۵ متر به ۱۳۵ متر کاهش پیدا می‌کند. همچنین تأخیر تقاطع به میزان ۷۸٪ و درجه اشباع تقاطع از ۲/۳۵ به ۱/۱۴ کاهش پیدا کرد. همچنین مشخص گردید که باتوجه‌به تأثیر منفی مانور واگرد بر کارایی تقاطع چراغ‌دار در صورتی که در محل تقاطع انجام گیرد، می‌بایست در محل انجام آن بازنگری صورت گیرد.

مراجع

- [1] Roess, R.P., Prassas, E.S., & McShane, W.R. (2011). Traffic engineering. 4th edition, Upper Saddle River, N.J, USA.
- [2] Manual, H.C. (2010) Highway Capacity Manual. 5th edition, TRB, National Research Council, Washington.
- [3] Sunkari, S. (2004). "The benefits of retiming traffic signals", *Institute of Transportation Engineers. ITE Journal*, 74(4), 26.
- [4] Carter, D., Hummer, J., Foyle, R., & Phillips, S. (2005). "Operational and safety effects of U-turns at signalized intersections", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1912), 11-18.
- [5] Zheng, C., Liu, P., Lu, J.J., & Chen, H. (2009). "Evaluating the effect effects of U-turns on level of service of signalized intersections using synchro and SimTraffic", *In Intelligent Vehicles Symposium, 2009 IEEE*, 971-976.
- [6] Potts, I., Harwood, D., Torbic, D.J., Richard, K.R., Gluck, J.S., Levinson, H.S., & Ghebrial, R.S. (2004). Safety of U-Turns at Unsignalized Median Openings NCHRP Report 524. Transportation Research Board, Washington D.D.
- [7] Akçelik, R. (2008). "The relationship between capacity and driver behaviour", *In Paper presented at the TRB National Roundabout Conference*, 18, 21.
- [8] Martinez, C.J., & Barnes, B.G. (2009). "Feasibility Analysis of Median U-turn Intersection Treatments On Wisconsin's Busiest Arterial Highway", *In ITE 2009 Technical Conference and Exhibit*.
- [9] Liu, P., Lu, J.J., Pirinccioglu, F., Dissanayake, S., & Sokolow, G. (2007). "Should direct left-turns from driveways be replaced by right-turns followed by U-Turns? The safety and operational comparison in Florida", *In 3rd Urban Street Symposium: Uptown, Downtown, or Small Town: Designing Urban Streets That Work*.
- [10] Kong, L.Z., Xu, R.Y., & Qin, L.J. (2011). "Research of efficiency evaluation of U-turn lanes at Signalized Intersections", *In Research and Development (SCORed), 2011 IEEE Student Conference on*, 436-441.
- [11] Leng, J., Zhang, Y., & Zhao, H. (2008). "Research on the Impact of Traffic Volume on U-turn at Intersection", *In Modelling, Simulation and Optimization, 2008. WMSO'08. International Workshop on*, 368-371.

[12] Combinido, J.S.L., & Lim, M.T. (2010). "Modeling U-turn traffic flow". *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 389(17), 3640-3647.

[13] El Esawey, M., & Sayed, T. (2011). "Operational performance analysis of the unconventional median U-turn intersection design", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 38(11), 1249-1261.

[14] Mazaheri, A. (2014) "Determination appropriate Location of U-turn at urban signalized intersection" A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for The Degree of M.Sc. in Civil Engineering, Faculty Of Engineering- Department of civil engineering, Islamic Azad university, Zanjan Branch, Iran (In Persian).

[۱۵] مظاهری، آ. رحیمی، الف. م. (۱۳۹۳). "ارزیابی مانور واگرد در محل تقاطع چراغ‌دار بر روی شبکه با استفاده از شبیه‌سازی خردنگر"، دومین همایش ملی پژوهش‌های کاربردی در عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران، دانشگاه جامع علمی کاربردی.

A. Mazaheri

M.Sc. Graduated in Highway
and Transportation
Engineering, Faculty of
Engineering, Zanjan Branch,
Islamic Azad University

e-mail: Mazaheri.arash@znu.ac.ir

A. M. Rahimi*

Assistant Professor of
Transportation Engineering,
Faculty of Engineering,
University of Zanjan.

e-mail: amrahimi@znu.ac.ir

Evaluation of U-Turn Maneuvers on Suburban Signalized Intersection's Performances in Urban Traffic Condition (Case Study: Tehran)

The study of the characteristics of traffic flows at intersections is one of the effective measures to improve the street's levels of services and properly understand the drivers' traffic performance.

Urban signalized intersections are among the spots with heavy traffic and flow. Therefore, traffic flow optimization in such spots is an inevitable action.

One of the most important rotational movements in intersection is U-turn maneuvers. The aim of the present study is to analyze the effect of U-turn maneuvers on urban Signalized intersection's performance. For this purpose, a network which located in Tehran was modeled and simulated with Synchro. Software's parameters were calibrated to the extent possible under the circumstances of Tehran. The results show that if U-turn maneuver eliminated from urban signalized intersection, intersection's Measure of effectiveness such as queue length, V/C ratio and delays will be reduced, also intersection's level of service will be improved. Simulation results on the second urban signalized intersection also confirmed the accuracy of the work.

Keywords: Signalized intersection, U-turn, Synchro, Simulation, Sim Traffic.

*Corresponding author