نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۵، شماره ۷۶، فصل تابستان، سال ۱۴۰۰، صفحات ۲۳۱-۲۱۵

تاریخ دریافت:۱۳۹۹/۰۴/۱۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۰۷/۲۸

شبیه‌سازی رفتار رانندگان در میادین چراغ‌دار با رویکرد مدیریت ترافیک شهری (مطالعه موردی میدان ۱۳ آبان شهر همدان)

محمدرضا الیاسی[۱]
سید فرزین فائزی[۲]
مرتضی پذیره[۳]

چکیده

اهمیت و ضرورت تحقیق: با افزایش روزافزون وسایل‌نقلیه، شاهد تداخل در عملکرد تقاطع‌ها شهری به ویژه میادین هستیم. معابر مشکل زیادی بر سر راه ترافیک ایجاد نمی‌کنند، بلکه این تقاطع‌ها هستند که به دلیل ایجاد تداخل در جریان پیوسته و تبدیل آن به جریان منقطع، باعث ازدحام در شبکه می‌شوند. با توجه به تأثیر عمده‌ای که تقاطع‌های چراغ‌دار با افزایش زمان تاخیر، بر زمان سفر در معابر شهری می‌گذارند، توجه به کاهش زمان تأخیر و بهبود سطح سرویس تقاطع‌های چراغ‌دار امری لازم می‌نماید. از طرفی استفاده از نرم‌افزارها در جهت طراحی و شبیه‌سازی رویکردها نیاز به اطلاعات صحیح و دقیق در خصوص عملکرد کاربران محلی دارد، لذا واکاوی دقیق این رفتارها و اعمال صحیح آنها و تغییر حالت پیش‌فرض و آرمانی نرم‌افزار، عملی ضروری در جهت اجرای صحیح شبیه‌سازی است. شبیه‌سازها درصورت اعمال نکردن دقیق و شفاف اطلاعات ورودی می‌توانند نتیجه‌گیری غلط و هدر رفتن وقت و منابع مالی و در نهایت باعث شکست پروژه شوند. **هدف:** در این تحقیق تلاش شده که با تعیین رفتار رانندگان و اعمال پارامترهای بومی در نرم‌افزار ایمسان، نزدیک‌ترین شبیه‌سازی به واقعیت در قالب مطالعه موردی میدان ۱۳ آبان شهر همدان ارایه شده است.

نوع آوری: با توجه بهره‌برداری بالا از میدان‌های چراغ‌دار در ایران، تاکنون تحقیق جامعی در مورد رفتار راننده در میدان‌های چراغ‌دار و شبیه‌سازی آن انجام نگرفته است و نوع‌آوری تحقیق می‌باشد. **روش تحقیق:** شیوه جمع‌آوری داده‌ها به صورت میدانی و به روش فیلم‌برداری به مدت یک ساعت بدون وقفه در ساعت اوج ظهرگاهی است و نتایج بدون اعمال پارامترهای بومی و یک بار با اعمال پارامترهای بومی مقایسه شده و در نهایت صحت اطلاعات حاصل شده به صورت مشاهدات مستقیم با استفاده از فرمول مبتنی از مدل وبستر و بر اساس مدل مک‌شین مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای شبیه‌سازی از نرم افزارهای ایمسان و سیدرا استفاده شده است همچنین دو سناریو بررسی شد.

نتایج: بعد از اعمال رفتار رانندگان و شبیه‌سازی، نتایج نشان داد تاخیر در سناریوی اول و سرعت در وضعیت موجود و سناریوی دوم کمترین مقدار را نشان داد. همچنین زمان سفر برای حالت وضع موجود ۵۴ درصد افزایش، برای حالت بدون چراغ ۶ درصد کاهش و برای حالت طول سیکل ۸۰ ثانیه‌ای نیز ۵۰ درصد افزایش را نشان داد. پس از تعیین پارامترهای بومی‌سازی شده، اعتبارسنجی انجام شده با تطبیق حدودا ۸۰ درصدی با وضع موجود محاسبه شده از نرم‌افزار همانند عمل مشابه در خصوص تأخیر، میزان صحت محاسبات و درستی مسیر پیموده شده در پروسه بومی‌سازی را نمایش داد

کاربرد نتایج: مطالعه حاضر با لحاظ کردن کلیه پارامترهای هندسی و ترافیکی تأثیرگذار بر میدان، حداقل تأخیر را ارائه داده است و سهم به سزایی در حل مشکلات تراکم ترافیک شهری با حفظ هویت شهری دارد.

واژگان کلیدی: شبیه‌سازی، بومی‌سازی، رفتار رانندگان، میدان چراغ‌دار، زمان‌تاخیر، همدان

۱. استادیار، گروه علمی عمران، دانشگاه ملایر (نویسنده مسئول) Email:elyasi.mr@gmail.com - Tel:۰۹۱۸۸۱۴۳۸۰۳
۲. استادیار، گروه عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۳. کارشناس ارشد، گروه عمران، مؤسسه آموزش عالی عمران و توسعه

مقدمه

امروزه با توجه به روند روز افزون رشد تعداد وسایل‌نقلیه و افزایش میزان جریان ترافیک در معابر، به ویژه تقاطعات، ساماندهی این تقاطعات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است. این موضوع بخصوص در کشور ایران با توجه به رشد بی‌رویه میزان جمعیت، تصادفات، تولید روزافزون خودرو، عدم فرهنگ‌سازی رانندگان در رعایت قوانین، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است(عامری، کرم‌رودی، ۱۳۸۷، امانپور و همکاران، ۱۳۹۵). حال آن که در کشور شاهد ترکیب میدان و چراغ ترافیکی در تقاطع‌های دایره‌ای هستیم، از این رو طراحی مناسب چراغ‌های راهنمایی از اهمیت خاصی برخوردار است. از طرفی رفتار شناسی رانندگان در تقاطع، پیش زمینه اقدامات موفق مدیریت ترافیک(قبل از اجرا) به‌شمار می‌رود(توکلی کاشانی، منصوری کارگر، ۱۳۹۵؛ خوشنویس، اسماعیلی، ۱۳۹۵). بررسی پارامترهای رفتار رانندگان، منجر به شناسایی مجموعه‌ای از عوامل موثر در بروز تصادفات شده است که از طریق ارزیابی این عوامل و با اتخاذ سیاستهای جامع و ارائه راهکارهای مناسب، می‌توان شدت و میزان تصادفات را کاهش داد(مددیان، صوفی، ۱۳۹۷؛ فداکار، ۱۳۹۴). از طرفی با توجه به هزینه‌های سرمایه‌گذاری و به‌منظور ارزیابی و اثرسنجی انجام پروژه‌های مختلف پیش از اجرای آنها از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز به‌منظور ارزیابی شاخص‌های عملکردی قبل و بعد از اجرای طرح‌ها استفاده می‌گردد. استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز محدودیتهایی دارد که با توجه به نوع نرم‌افزار و میزان دقت و گستردگی عوامل ورودی بایستی نرم‌افزاری را که بیشترین همخوانی را با شرایط واقعی داشته باشد، انتخاب نمود. بنابراین بهینه‌سازی میدان موجود با توجه به رفتار رانندگان به کاهش تصادفات و افزایش ظرفیت آن تا حد ممکن، با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز در راستای مدیریت ترافیک شهری و کاهش ریسک‌ها می‌تواند کمک شایان توجه به سیستم مدیریت شهری کشور کند. بنابراین استفاده بی‌قید و شرط و در نظر نگرفتن مسائل بومی منطقه از جمله رفتار رانندگان در طراحی معابر، مدیریت ترافیک غیرعملی است(گوریری[1] و همکاران، ۲۰۱۸؛ ال مسید[2]، ۱۹۹۹؛ سیلوا[3] و همکاران، ۲۰۱۴). در این تحقیق تلاش بر این است که با تعیین پارامترهای بومی در نرم‌افزار ایمسان نزدیک‌ترین شبیه‌سازی به نوع رفتار کاربران راه در ایران در جهت مدیریت ترافیک ارائه شده است. همچنین تأثیر کاربرد چراغ راهنمایی بر خصوصیات میکروسکوپیک جریان ترافیک میدان از قبیل تأخیر، سرعت عبور وسیله‌نقلیه، سطح سرویس دهی، تعداد خودروهای منتظر در صف و زمان سفر با استفاده از نرم‌افزاردر ساعت اوج تعیین شود. با استفاده از پارامترهای بومی محاسبه شده و اعمال این پارامترها در محیط شبیه‌سازی نرم‌افزار ایمسان در قالب دو سناریو نتایج مقایسه شدند. همچنین هدف از انجام پژوهش، پاسخ به دو پرسش زیر است:

۱- نحوه تأثیر عوامل مؤثر بر رفتار رانندگان چگونه است؟

۲- تاثیر بومی‌سازی پارامترهای مختلف نرم‌افزار شبیه‌ساز بر خروجی‌ها چگونه است؟

میدان به‌عنوان یک جایگزین مناسب به‌جای تقاطع‌های سنتی در سراسر جهان، به‌ویژه در اروپا و آمریکای شمالی، پذیرفته شده است. مطالعه‌های متعددی، افزایش سطح خدمات و جریان ترافیک را هنگام تبدیل تقاطع‌های سنتی به میدان‌ها را نشان می‌دهد(فلانری، داتا[4]، ۱۹۹۶، لیندرمن[5]، ۲۰۰۶، استی اوبین[6] و همکاران، ۲۰۱۳، منیج[1] و همکاران، ۲۰۰۳) . همچنین افزایش سطح ایمنی در مطالعه‌هایی که

1- Guerrieri

2- Al-Masaeid

3- Silva

4- Flannery, Datta

5- Lindenmann

6- St-Aubin

قبل و بعد از آن انجام شده ذکر شده است(نجم[۲] و همکاران، ۲۰۱۹، پرسود[۳] و همکاران، ۲۰۰۱، ال رکایبی، ۲۰۰۸). بنابراین، میدان به‌طور فزآینده‌ای به‌عنوان یک روش جایگزین برای مدیریت ترافیک در تقاطع‌ها پیشنهاد شده است(ان اچ سی آر پی[۴]، ۲۰۱۰، الکدار[۵] و همکاران، ۲۰۲۰). این موضوع که هندسه میدان بر رفتار رانندگی و در نتیجه عملکرد کلی آن تأثیر می‌گذارد، پذیرفته شده است(ال صالح و بنداک[۶]، ۲۰۱۲).

شناسایی نحوه تأثیر عوامل مؤثر بر تصادفات میدان‌های چراغ‌دار با توجه به فازبندی، زمان‌بندی و زمان تصادف و نحوه زاویه برخورد توسط رشوندی و همکارانشان (۱۳۹۵) مورد بررسی قرار داده شد. داده‌ها در دو بازه زمانی سال ۹۴ و ۹۵ وضعیت چراغ‌دار و بدون چراغ برداشت شد. نتایج نشان داد تنها سه درصد از تصادفات داخل میدان جرحی است. این موضوع بیان کننده این است که میدان چه در حالت چراغ‌دار و چه در حالت بدون چراغ باعث کاهش سرعت و در نتیجه کاهش تصادف شده است. همچنین میزان تأخیر در میدان پس از چراغ‌دار شدن به شدت افزایش پیدا کرده بود. به طوری‌که افزایش بیش از پنج برابری در مقدار تأخیر مشاهده شده است. این امر می‌تواند موجب افزایش مصرف سوخت و در نهایت انتشار آلودگی شود. تحقیقات نشان داده است رفتار رانندگان در میادین جدید به علت حرکت آرام‌تر، سطح بالاتری از مسئولیت‌پذیری را شامل شده است و از طرفی رانندگان مجبورند تا تمرکز بیشتری را هنگام ورود به این میادین ازخود نشان دهند (آزاد و همکاران، ۱۳۹۵، شیخ‌فرد، حقیقی، ۱۳۹۷). از تحقیقات صورت گرفته از بین روش‌های آنالیز میدان‌ها، روش آنالیز کشور استرالیا به‌دلیل کامل‌تر بودن و در نظر گرفتن عوامل هندسی و رفتار رانندگان در تحلیل میدان‌ها و داشتن قابلیت انتقال آن به ملل دیگر نسبت به روش‌های دیگر ارجح‌تر است (کی‌منش و همکاران، ۱۳۹۸، جانفشان، ۱۳۸۹). نتیجه تحقیقی نشان داده است که با توجه به تفاوت طرح هندسی و رفتار راننده‌ها در ایران و دشواری و پرهزینه بودن روش تجربی، روش فاصله–قبول(قبول فاصله) روش مناسب و قابل قبولی جهت تخمین ظرفیت میادین در ایران است (معروف، ۱۳۸۹). به عقیده بسیاری چنانچه میادین جدید در یک فضای مناسب و با رعایت معیارهای طراحی مناسب، احداث شوند، می‌توانند امن‌ترین نوع حرکت در تقاطع را موجب شوند. این میادین جدید با دو معیار اصلی شناخته می‌شوند: ۱–رعایت حق تقدم در هنگام ورود ۲–پیچش مناسب وسایل‌نقلیه در تمامی نقاط ورودی. با توجه به این‌که در ایران صدها میدان غیراصولی که معیارهای میادین جدید را ندارند، وجود دارند، بنابراین باید روش‌های بهبود کم‌هزینه برای اصلاح این میادین بر اساس استاندارد میادین جدید اتخاذ شود (اسدالهی و همکاران، ۱۳۸۹).

در تحقیقی مدلی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی رفتار راننده انسانی هنگام رانندگی در جریان واقعی ترافیک بر پایه مدلهای نوروفازی خطی–محلی با الگوریتم یادگیری لولیموت[۷] ارائه شده است. از اطلاعات جمع‌آوری شده در جریان واقعی ترافیک به منظور آموزش مدل نوروفازی استفاده شده است. از مدل آموزش دیده به منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی رفتار راننده در چگونگی کنترل سرعت خودرو استفاده شده است. مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل با داده‌های مشاهده شده در جریان واقعی ترافیک، قابلیت اطمینان مدل ارائه شده را تایید می‌کند(غفاری و همکاران، ۱۳۸۷). در مقاله سادات حسینی و همکاران (۱۳۸۷) یک مدل خرد ترافیک برای بررسی رفتار حرکتی

1- Manage

2- Najm

3- Persaud

4- NHCRP

5- AlKheder

6- Al-Saleh, Bendak

7- LOLIMOT

رانندگان در قسمت اصلی آزادراه ارائه شده است. در این مدل مانند مدل‌های سلولی سطح آزادراه به تعدادی سلول تقسیم شده که در هر زمان هر سلول یا خالی است یا توسط یک وسیله‌نقلیه اشغال شده است و حرکت وسایل‌نقلیه با جابجا شدن آنها در سلول‌های آزادراه توصیف می‌شود. در مدل پیشنهادی رفتار حرکتی رانندگان بر مبنای فرآیند بهینه سازی رانندگان جهت کاهش ریسک تصادف و افزایش سرعت توصیف شده است. مقایسه نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی با داده‌های جمع‌آوری شده از شرایط واقعی نشان داد که مدل پیشنهادی برای توصیف رفتار حرکتی رانندگان در آزادراه های ایران معتبر است.

در تحقیقی برای بررسی رفتار حرکتی رانندگان در قسمت اصلی آزادراه‌های تهران، از داده‌های برداشت شده از بزرگراه تهران–کرج در تحقیقات گذشته استفاده شده است. از یک نرم‌افزار شبیه‌ساز خرد ترافیک نیز برای شبیه‌سازی مدل پیشنهادی استفاده شده است. با مقایسه موقعیت وسایل‌نقلیه در شرایط واقعی با مقادیر متناظر آنها در محیط شبیه‌سازی، میزان مطابقت مدل با رفتار حرکتی رانندگان در شرایط واقعی نمایش داده شده است. مقایسه نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی با داده‌های استفاده شده از شرایط واقعی نشان داده که مدل ای ام[1] برای توصیف رفتار حرکتی رانندگان در قسمت اصلی آزادراه‌های تهران مناسب بوده است(سعید منجم، ۱۳۹۰). در تحقیقی، به دنبال تعیین تأثیر پارامترهای رفتار راننده نظیر شتاب کاهنده و شتاب افزاینده خودروها و زمان درک و واکنش رانندگان بر طول ناحیه تردید است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد، هماهنگی خوبی بین شاخص‌های تمرکز و پراکنش در مطالعه جاری و مطالعات پیشین وجود دارد. رانندگان میدان‌های چراغ‌دار در مقایسه با تقاطعات چراغ‌دار، رانندگان محافظه کارتری هستند (نجمی و همکاران، ۱۳۹۶).

در تحقیقی با عنوان کاربرد روش کنترل با چراغ‌راهنمایی در میدان، با استفاده از نرم‌افزار ایمسان و مدل کردن میادین چراغ‌دار با محوریت کنترل تأخیر انجام شده است. نتایج نشان داده است پارامتر تعیین کننده اصلی برای تأخیر متوسط وسایل‌نقلیه در میدان چراغ‌دار زمان چرخه است(لو[2] و همکاران، ۲۰۰۶). لی[3] (۲۰۱۶) در تحقیقاتی به بررسی رفتار حرکتی وسایل‌نقلیه نزدیک رمپهای ورودی و خروجی، قسمتهای اصلی آزادراه و قسمتهای دور از رمپها پرداخته است. وی رانندگان را به دو گروه لاکپشتی و خرگوشی با سرعتهای مطلوب آنها تقسیم‌بندی کرده است. در نهایت برای دو نوع رژیم تک لوله‌ای و دو لوله‌ای، روابطی برای نشان دادن رفتار حرکتی رانندگان ارایه نموده است. ژائو[4] (۲۰۱۹) مدلی برای رانندگی پیشنهاد کرد که شامل رانندگی آزاد، دنباله‌روی وسایل‌نقلیه و رفتار تغییر خط بود. این مدل رفتار رانندگان را با جزییات، در حد وضعیت پدال‌ها و چرخها بررسی کرده است. وی در احتمال مانورهای راننده بر اساس ایمنی این حرکات، تعیین تکلیف کرده است.

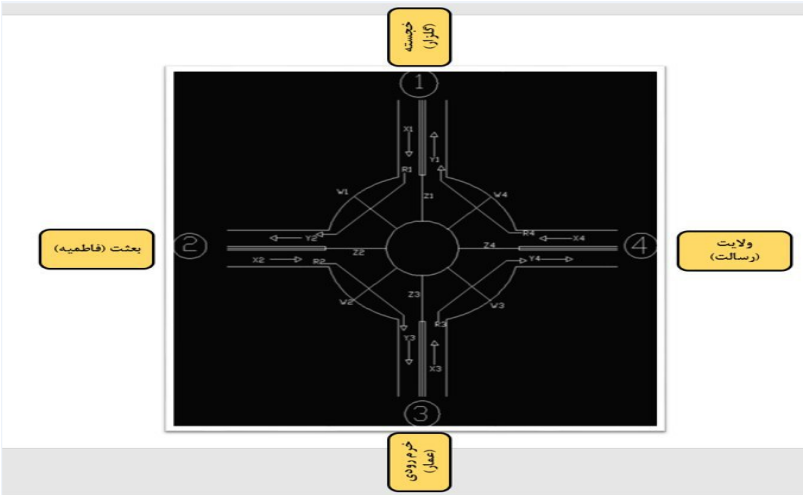
این تحقیق از دو جنبه دارای نوع‌آوری است: مطالعه حاضر با لحاظ کردن کلیه پارامترهای هندسی و ترافیکی تأثیرگذار بر تأخیر میدان در روشهای مختلف چراغ‌دار کردن میدان برای دستیابی به حداقل تأخیر را نشان داده و سهم به سزایی در حل مشکلات ترافیک شهری با حفظ هویت شهری داشته باشند. همچنین با توجه به نوع رفتار رانندگان و شبیه‌سازی آنها در نرم‌افزار ایمسان به روش بومی در داخل کشور تاکنون انجام نشده است.

1- EM

2- Lu

3- Li

4- Zhao



شکل(۱): مدل مفهومی تحقیق

روش تحقیق

قوانین رانندگی و قواعد مطرح شده در مهندسی ترافیک، بر مبنای شناخت رفتار حرکتی وسایل‌نقلیه استوار است. چنان چه رفتار حرکتی وسایل‌نقلیه با آنچه که فرض شده است، تفاوت داشته باشد، راه‌حلهایی که در مهندسی ترافیک پیشنهاد می‌شوند، کارآیی لازم را نخواهند داشت. در این مطالعه به منظور بررسی فازبندی چراغ راهنمایی از نرم‌افزار شبیه‌ساز ترافیکی ایمسان[1] استفاده شده است. نرم‌افزار ایمسان نرم‌افزاری بسیار جامع در حوزه کنترل ترافیک می‌باشد که در سه سطح ابزار تخصیص ترافیک استاتیک، مزوسکوپیک و میکروسکوپیک، مدل‌های حمل‌ونقل را ارائه می‌دهد. یکی از پر کاربردترین موضوعاتی که مهندسان ترافیک با آن روبرو هستند و عمدتا در حوزه‌های شهری بیشتر با آن دست و پنجه نرم می‌کنند، بحث فازبندی چراغ‌های راهنمایی است. برای فازبندی چراغ راهنمایی در کتاب‌های مهندسی ترافیک شیوه‌های محدودی از جمله رابطه معروف وبستر وجود دارد که با استفاده از این روابط به راحتی فازبندی یک تقاطع انجام می‌شود. اما برای محاسبه دقیق‌تر و ارائه موزون‌تر موضوع نرم‌افزارهای متعددی در دسترس قرار دارد که می‌توان نرم‌افزار سینکرو را یکی از مهمترین و دقیق ترین این‌ها نام برد.

بررسی نوع رفتار رانندگان در تقاطعات، پارامترهای ترافیکی با استفاده از مطالعات میدانی انجام شده و بازنگری در پارامترهای میکروسکوپیک به صورت واقعی شبیه‌سازی شده است. شیوه جمع‌آوری داده‌ها به صورت میدانی و به روش فیلم‌برداری به مدت یک ساعت بدون وقفه در ساعت اوج ظهرگاهی است. از مزیت این روش نسبت به ترددشماری می‌توان به محاسبه آمار مبدا مقصد وسایل‌نقلیه اشاره کرد که این مهم، شبیه‌سازی نزدیک به وضعیت موجود بهتری را حاصل می‌کند.

برای صحه گذاشتن به نکات گفته شده نیاز به مطالعه موردی است که بتواند به عنوان یک نمونه از دسته فراوانی میادین سطح کشور باشد از این رو میدان ۱۳آبان همدان به دلیل قرار گرفتن در حلقه اصلی یکی از کلان شهرهای کشور و ورودی ۲تا ۴ خطه و مسیر گردشی ۵ خطه مورد بررسی قرار گرفته شد. در ابتدا برداشت‌های هندسی لازم از محل مورد نظر از جمله عرض ورودی‌ها، عرض خروجی‌ها، شعاع دایره محاطی، شعاع دایره مرکزی و دیگر برجستگی‌های عمرانی برداشت و با دقت نزدیک به واقعیت در نرم‌افزار اعمال شده است. آمار ورودی‌ها در ساعت اوج به‌وسیله فیلمبرداری بدون وقفه به مدت یک ساعت از ساعت ۱۲:۳۰ تا ۱۳:۳۰ از نقطه مرتفع در ضلع شمال غربی رویکرد در روز سه شنبه مصادف با سی‌ام آبان ماه سال ۱۳۹۷ انجام شد. لازم به‌ذکر است فیلم برداری با کسب مجوز از

[1]- Aimsun

سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری همدان انجام گرفته است. پس از تعیین پارامترهای موثر بر ظرفیت میدان همچون تاخیر، زمان سفر، سرعت، چگالی و سطح سرویس دهی برداشت آمار و اطلاعات از نقاط انتخابی صورت پذیرفته و مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفت.

نتایج تحقیق

معرفی محل برداشت اطلاعات

میدان ۱۳آبان شهر همدان به عنوان میدان مورد مطالعه به دلیل ابعاد و ازدحام و همچنین ساختار شهرسازی پویا و در حال رشد انتخاب شده است. این تقاطع دارای یک تقاطع دایره‌ای با چهار ورودی دو خطه می‌باشد. این میدان با قرار گرفتن در مرکز حلقه اصلی تبدیل به شریان پرتردد و همچنین با گسترش شهرنشینی در میانه شهر قرار گرفته است. این تقاطع محل برخورد دو معبر درجه یک، بلوار فاطمیه و بلوار ولایت و همچنین خیابان‌های شهید خجسته و شهید خرم‌رودی به عنوان جمع و پخش‌کننده است. وضع موجود این تقاطع دایره‌ای، در ساعت‌های اوج عبور، چراغ‌دار است که این موضوع حاکی از ترافیک عبوری و ورودی پر حجمش است(شکل ۲).

شکل(۲): موقعیت میدان ۱۳ آبان

در این تحقیق شبیه‌سازی‌های انجام شده در وضعیت موجود و دو سناریو در قالب میدان بدون چراغ و میدان چراغ‌دار طراحی انجام شد:

- وضعیت موجود، میدان چراغ‌دار سیکل: ۵۸ ثانیه (شرقی–غربی ۳۰ ثانیه و شمالی–جنوبی ۲۰ ثانیه)
- سناریو اول، میدان بدون چراغ (کنترل بر اساس حق تقدم)
- سناریو دوم، میدان چراغ‌دار با چرخه سیکل:۸۰ ثانیه (شرقی–غربی ۴۱ ثانیه و شمالی–جنوبی ۳۱ ثانیه)که با توجه به بروز رسانی آمار تردد در ساعت اوج توسط نرم‌افزار سیدرا طراحی شد.

وضعیت موجود

میدان ۱۳ آبان در حال حاضر در ساعات عادی روز به صورت بدون چراغ و حق‌تقدمی و در ساعت پیک، به وسیله چراغ‌راهنمایی دوفازه ثابت، کنترل می‌شود(شکل ۳و۴). همچنین پارامترهای تأخیر، سرعت، نسبت حجم به ظرفیت و طول صف در وضع موجود با نرم‌افزار ایمسان محاسبه شد که در ادامه با سناریوهای دیگر مقایسه خواهد شد. اطلاعات حاکی از آن است که میدان در حال حاضر در

ساعات اوج در سطح سرویس‌دهی مطلوبی قراردارد شاخه‌های ورودی میدان در سطح سرویس دهی A تا C و مسیرهای گردشی میدان در سطح B تا D قرار دارند.

شکل(۳): فاز بندی چراغ‌ها در وضع موجود(شمالی-جنوبی: ۲۰ ثانیه)

شکل(٤): فاز بندی چراغ‌ها در وضع موجود(شرقی-غربی: ۳۰ ثانیه)

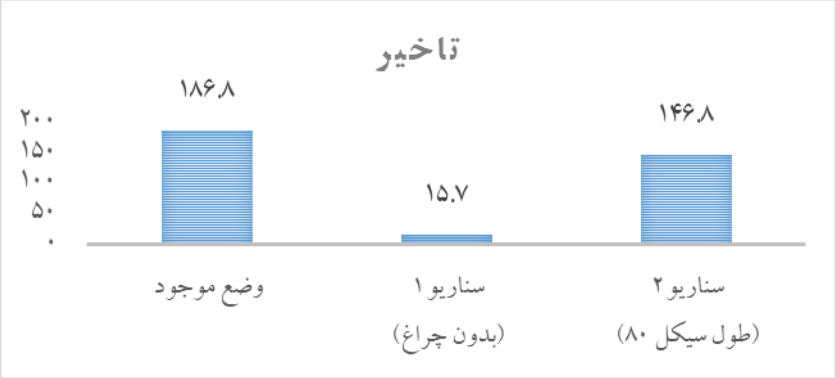
سناریو اول

در این سناریو، میدان حق‌تقدمی شبیه‌سازی شده است. این سناریو از این رو در شبیه‌سازی‌ها قرار دارد شد که مقایسه‌ای کلی در قالب ارایه پارامترهای مشترک بین حالت حق‌تقدمی و چراغ‌دار را نشان دهد. نتایج نشان داد در حالت حق‌تقدمی به دلیل عدم رعایت حق تقدم، سطح سرویس به مراتب بدتری از حالت قبل را نشان می‌دهد. به طوری که در شاخه‌های ورودی سطح سرویس D و حتی F را شاهد هستیم. به دلیل طولانی شدن از بیان خروجی‌های نرم‌افزار صرف نظر شد. با دقت در مدل‌های موفق و ناموفق طراحی‌های میدان حق‌تقدمی در داخل کشور، این نکته برجسته است که، استفاده از میدان‌های حق‌تقدمی تنها در شرایط جریان‌های ترافیک پایین امکان‌پذیر بوده و با افزایش تقاضای ترافیک میدان مشکلاتی مانند افزایش نرخ تصادفات را به همراه دارد. از سویی دیگر نرم‌افزارهای شبیه‌سازی توانایی آنالیز دقیق رفتار رانندگان را ندارند و این نکته در بررسی کلی می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد.

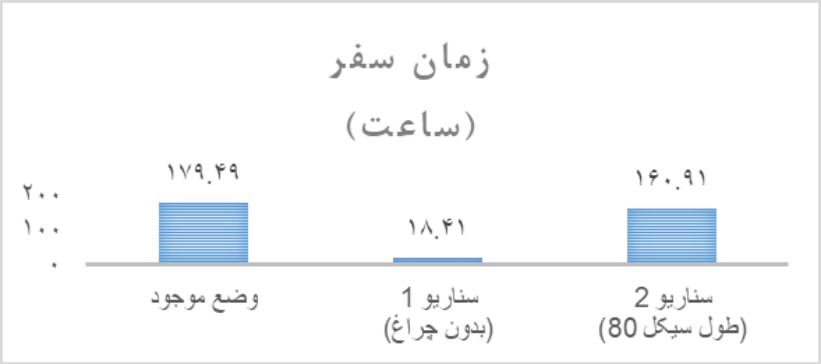
سناریو دوم

ترکیب کردن میدان و تقاطع چراغ‌دار در ساعات اوج به عنوان یک راهکار کم هزینه است. در بین انواع مختلف تقاطع، تقاطع‌های چراغ‌دار از اهمیت خاصی برخوردار هستند. ادغام کردن این نوع از تقاطع با میدان چالشی اساسی در زمینه طراحی و نظارت ترافیکی و مدیریتی است. در سناریوی دوم حالت میدان چراغ‌دار با نرم‌افزار شبیه‌سازی شد که به دلیل طولانی شدن از بیان خروجی‌های نرم‌افزار صرف نظر شد. لازم بذکر است سیکل چراغ با توجه به آماربرداری‌های انجام گرفته و تردد بروزرسانی شده خودروهای عبوری، بر اساس استاندارد HCM 2010 بازطراحی شد.

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، زمان تأخیر در سناریو ۱ (بدون چراغ) بسیار پایین‌تر از حالت‌های چراغ‌دار است. نمودار حاکی از آن است که، با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام شده، میدان در حالت حق‌تقدمی راندمان بهتری به نسبت دو سناریوی دیگر دارد که این موضوع با مشاهدات میدانی مغایرت داشته و با بازبینی‌های مکرر و اقدام به طراحی‌های دوباره، این نتیجه حاصل شد که، علت عملکرد بهتر حالت حق‌تقدمی در شبیه‌سازی این مطلب است که با توجه به آمارهای بالای ورودی‌ها، میدان در حالت به اصطلاح قفل شده قرار می‌گیرد و نمودارهای عرضه شده تا قبل از قرارگیری در این حالت است. این مطلب خود به تنهایی می‌تواند ثمره موفق از یک قضاوت مهندسی باشد، چون مشاهده‌های میدانی در حالت حق‌تقدمی حتی در ساعات نزدیک به اوج، که میدان بدون چراغ عمل می‌کند، به مراتب آمار تأخیر و زمان سفر بیشتری را به نسبت اعداد استخراج شده از نرم‌افزار نشان می‌دهد(شکل ۶ و ۵). در حالت کلی استفاده از سیستم کنترل چراغ‌راهنمایی در میادین شهری با ایجاد نظم ترافیکی بخصوص در ساعت اوج کمک می‌کند، شاخص‌های ایمنی در شرایط ترافیکی اوج بهبود یافته و در مدیریت شهری شرایط حفظ میدان به عنوان مظهری از هویت شهری فراهم شده است.



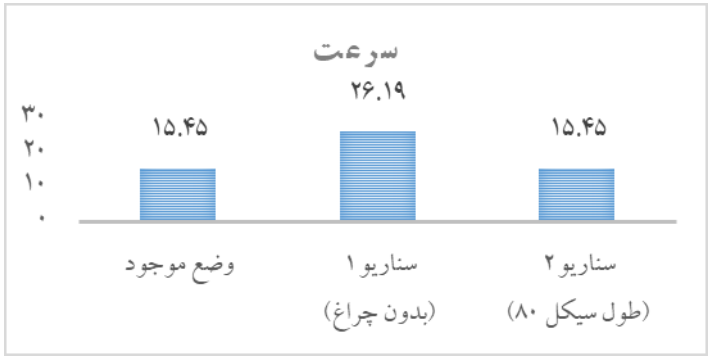
شکل(٥):زمان تأخیر(بر حسب ثانیه بر کیلومتر)



شکل(٦): زمان سفر (بر حسب ساعت)

یکی از مهمترین مسائل ایمنی در طراحی میادین، انحنایی است که در حرکت به وسیله‌نقلیه تحمیل می‌شود که موجب کاهش سرعت وسیله‌نقلیه در طول مسیر، ورودی‌ها و در طول تقاطع است. مطالعه زمان سفر معمولا منتهی به اطلاعاتی در مورد سرعت و تأخیر می‌شود. بالا بودن سرعت در حالت بدون چراغ بازگو کننده این نکته است که هر چه زمان تأخیر کمتر باشد حرکت وسایل‌نقلیه آزادتر و با شتاب افزایشی در تقاطع انجام می‌شود. شکل ۷، یک ارزیابی کلی از سرعت در سناریوهای مختلف را ارائه می‌کند.

بدیهی است که استفاده از میدان چراغ‌دار تنها برای ساعاتی از روز مناسب بوده و این روش برای میادینی قابل توصیه است که در چند ساعت محدود از روز نیاز به کنترل پریودیک دارند. این نکته می‌تواند به عنوان پیش نیاز تبدیل میدان حق‌تقدمی با میدان چراغ‌دار باشد. در نهایت با توجه به بحث‌های مذکور همچنین برداشت و بازدیدهای به‌عمل آمده از تقاطع ۱۳آبان اجرای پریودیک چراغ دو فازه با اصلاح زمان‌بندی(سناریو۲) در ساعات اوج ترافیک پیشنهاد شده است.



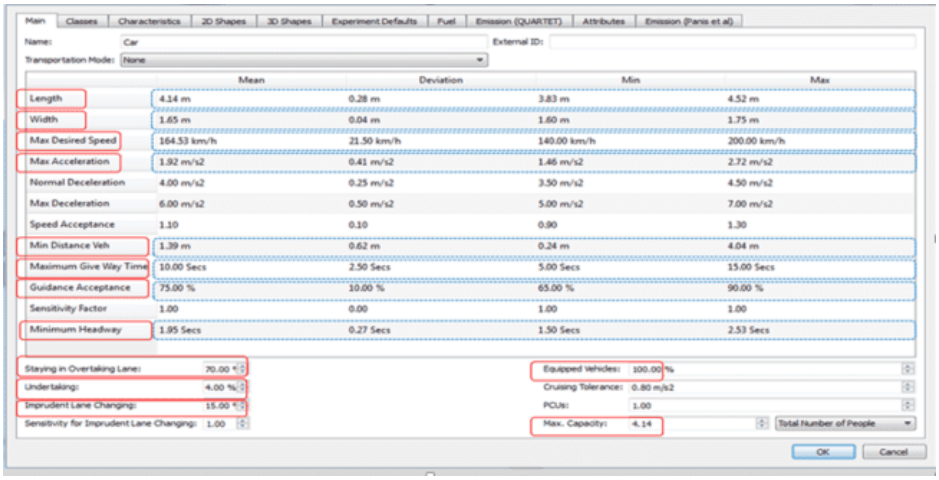
شکل(۷): سرعت متوسط(بر حسب کیلومتر بر ساعت)

بومی‌سازی پارامترهای نرم‌افزار

نرم‌افزار ایمسان به صورت پیش فرض از رفتار و ویژگی‌های محل به وجود آمدن این نرم‌افزار (کشور اسپانیا) تبعیت می‌کند و همان‌گونه که می‌دانیم این رفتار و ویژگی‌ها در دو کشور ایران و اسپانیا متفاوت‌اند، برای آن‌که مدل‌سازی به نتایج منطبق‌تری با آن‌چه در ایران می‌گذرد نزدیک شود، باید پارامترهای این نرم‌افزار را برای کشور ایران بومی‌سازی نمود، تا بتوان به نتایج حاصل از آن اتکا کرده و در عمل از آن استفاده نمود. در روند بومی‌سازی نرم‌افزار، برای شبیه‌سازی یک منطقه، یا یک مسیر خاص، اولین گام برداشت اطلاعات از محل مورد نظر است. پارامترهایی که در این تحقیق تحلیل شده‌اند شامل: الف–گام زمانی به هنگام کردن پارامترها، ب– زمان عکس‌العمل راننده، ج– پارامترهای مختص رفتار رانندگان هنگام سبقت گیری. رفتار رانندگان هنگام سبقت گرفتن با ۳ پارامتر اصلی مشخص شده است (عبارتند از: ۱–درصد ماندن در خط سبقت ۲–سبقت از راست ۳–تغییر خط بی احتیاط)، د– خصوصیات و ویژگی‌های

وسایل‌نقلیه (عبارتند از: ۱-طول وسیله‌نقلیه، ۲-عرض وسیله‌نقلیه، ۳-حداکثر شتاب کاهشی) ه-حداقل فاصله مابین وسایل‌نقلیه، و-مدت زمان رعایت حق تقدم، ز- حداقل سرفاصله

با بازبینی فیلم در بازه زمانی یک ساعته از ۱۲:۳۰ (ساعت نزدیک به اوج) و زیر نظر گرفتن رفتار ۵۰ راننده، زمان واکنش رانندگان به طور میانگین، در نرم‌افزار اعمال شد. لازم به توضیح است این پارامتر از روی زمانی که راننده نسبت به تغییر سرعت راننده جلو، واکنش نشان می‌دهد، به دست می‌آید. در نهایت پارامترهای توضیح داده شده به صورت شکل ۸ و جدول ۱ تعیین شد. برای جلوگیری از طولانی شدن، از توضیح هر پارامتر و روش اندازه‌گیری خودداری شد.



شکل (۸): اعمال بومی‌سازی در نرم‌افزار

جدول(۱): جزییات اعمال بومی‌سازی پارامترهای نرم‌افزار

پارامتر	پارامتر	بومی‌سازی	پیش فرض نرم‌افزار
Simulation Step	گام زمانی به هنگام کردن پارامترها	۰/۷۵	۰/۷۵
Reaction Step	زمان عکس‌العمل راننده	۱/۳۵ و ۱/۵	۰/۷۵
Staying in Overtaking Lane	درصد ماندن در خط سبقت	٪۷۰	صفر
Under taking	سبقت از راست	٪۴	صفر
Imprudent Line changing	تغییر خط بی احتیاط	٪۱۵	صفر
Lenght	طول وسیله‌نقلیه	۴/۱۴	۵
Width	عرض وسیله‌نقلیه	۱/۶۵	۲
Max Accelertion	حداکثر شتاب کاهشی	۶	۴
Min Distance Veh	حداقل فاصله مابین وسایل‌نقلیه	۱/۳۹	۲/۳
Max Give Way Time	مدت زمان رعایت حق تقدم	۱۰	۴۰
Min Headway	حداقل سرفاصله	۱/۹۵	صفر

شبیه‌سازی با پارامترهای بومی و مقایسه پارامترها قبل و بعد از بومی‌سازی

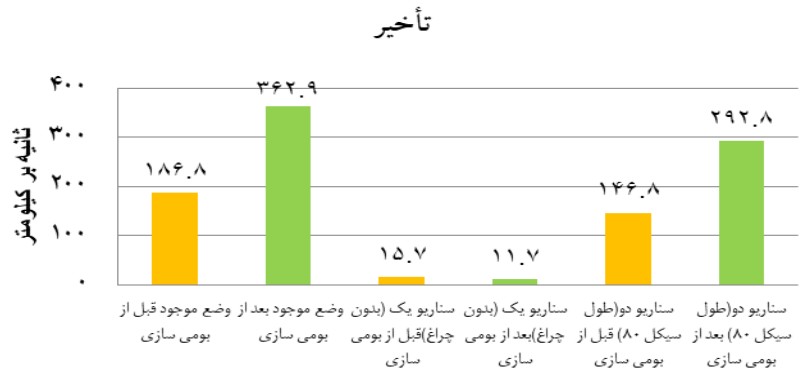
پس از اعمال تغییرات در نحوه رفتار رانندگان و وسایل‌نقلیه، مجدداً شبیه‌سازی (وضع موجود، سناریو۱ و سناریو ۲) انجام شد. پس از اعمال تغییرات مذکور در جهت بومی‌سازی شاخص‌های تاثیرگذار نرم‌افزار خروجی‌های نرم‌افزار به صورت جدول ۲ و نمودارهای ۹ تا ۱۱ آورده شده است. لذا لازم است مقایسه‌ای بین حالت قبل و بعد از بومی‌سازی صورت گرفت.

جدول(۲):جزییات کلی خروجی نرم‌افزار

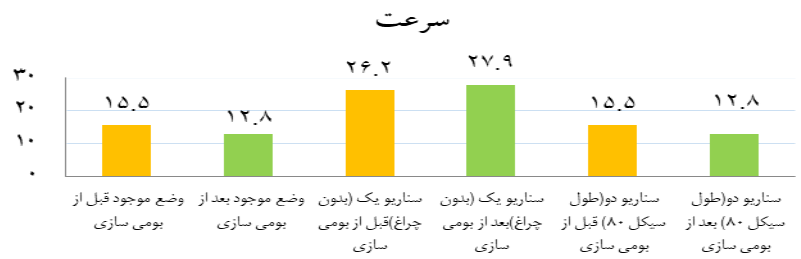
شاخص		وضع موجود		سناریو۱ (بدون چراغ)		سناریو ۲ (طول سیکل ۸۰)	
		قبل از بومی‌سازی	بعد از بومی‌سازی	قبل از بومی‌سازی	بعد از بومی‌سازی	قبل از بومی‌سازی	بعد از بومی‌سازی
تأخیر	Sec/Km	۱۸۶٫۸	۳۶۲٫۹	۱۵٫۷	۱۱٫۷	۱۴۶٫۸	۲۹۲٫۸
سرعت	Km/hr	۱۵٫۵	۱۲٫۸	۲۶٫۲	۲۷٫۹	۱۵٫۵	۱۲٫۸
زمان سفر	hr	۱۷۹٫۵	۲۷۰٫۴	۱۸٫۴	۱۱٫۳	۱۶۰٫۹	۲۳۵٫۸
زمان سفر (متوسط)	Sec/Km	۳۱۶٫۸	۴۹۲٫۷	۱۳۷٫۹	۱۲۹٫۳	۲۷۷٫۲	۴۲۳

با توجه شکلهای ۸ تا ۱۱، نمودار کلی تأخیر قبل و بعد از بومی‌سازی بیانگر تفاوت بسیار زیاد عددهای خروجی از نرم‌افزار است، در حالت وضع موجود نزدیک به ۹۲درصد، در حالت بدون چراغ ۱۴درصد و در حالت طول سیکل ۸۰ ثانیه‌ای ۹۶ درصد افزایش در نرخ تأخیر را مشاهده شد. در مورد سرعت نیز عددها متفاوت هستند، برای حالت وضع موجود ۱۳ درصد کاهش، برای حالت بدون چراغ ۷/۷ درصد افزایش و برای حالت طول سیکل ۸۰ ثانیه‌ای نیز ۱۳ درصد کاهش را نشان داد.

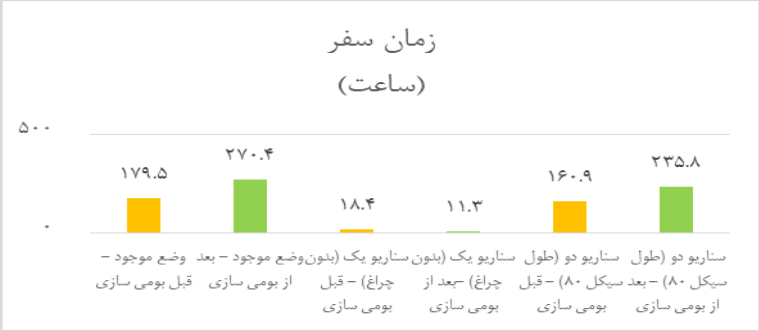
زمان سفر یکی از معیارهای مورد استفاده جهت بررسی ویژگی‌های جریان ترافیک در معابر و تقاطع‌ها است. زمان سفر وسایل‌نقلیه بیانگر خصوصیاتی همچون زمان تأخیر، طول صف، سرعت جریان و سطح سرویس شبکه است. انتظار تغییر در نمودارهای زمان سفر با افزایش تأخیر و کاهش سرعت دور از ذهن نیست، برای حالت وضع موجود ۵۴ درصد افزایش، برای حالت بدون چراغ ۶ درصد کاهش و برای حالت طول سیکل ۸۰ ثانیه‌ای نیز ۵۰ درصد افزایش را شاهد هستیم.



شکل(۹): نمودار کلی تأخیر قبل و بعد از بومی‌سازی



شکل(۱۰):نمودار کلی سرعت متوسط قبل و بعد از بومی‌سازی(بر حسب کیلومتر بر ساعت)



شکل (۱۱): نمودار کلی زمان سفر (بر حسب ساعت) قبل و بعد از بومی‌سازی

اعتبارسنجی

برای بررسی میزان تاثیر بومی‌سازی پارامترهای مختلف نرم‌افزار بر خروجی‌ها و بررسی تطابق نتایج مدل‌سازی با واقعیت، می‌توان با مقایسه کردن تفاوت نتایج خروجی نرم‌افزار در دو حالت قبل و بعد از بومی‌سازی با نتایج برداشت شده در محل به میزان تاثیر و درصد صحت پروسه بومی‌سازی پی برد. پارامترهای تأخیر و میانگین زمان سفر به عنوان مهم‌ترین و متداول‌ترین پارامترها در تقاطع‌های چراغ‌دار در سوی اعتبارسنجی شبیه‌سازی‌های انجام شده انتخاب شدند. بدین ترتیب رویکرد یاد شده دوباره مورد بررسی قرار گرفت.

با توجه به تعاریف مختلف از تأخیر تاکنون روش‌های زیادی برای محاسبه تأخیر توسط متخصصان ارائه شده است که با مطالعه این مدل‌ها با توجه به چراغ‌دار بودن میدان مورد مطالعه، روش محاسبه تأخیر مبتنی بر مدل وبستر ارائه شد. فرمول ارایه شده زمان تأخیر را به دو بخش، تأخیر یکنواخت و تأخیر در حالت اشباع تقسیم می‌کند(فائزی، ۱۳۹۵)(رابطه ۱).

$$d = \left(i_s \times \frac{\sum V_{Iq}}{V_T}\right) \times 0.90 \cdot \left(\frac{g}{c} \times S \times W\right)^{V} \quad (۱)$$

I_S : بازه زمانی بین شمارش‌های زمان در صف (S).

$\sum V_{Iq}$:مجموع کل وسایل‌نقلیه در صف بر حسب (Veh).

V_T: مجموع کل وسایل‌نقلیه‌ای که در مدت زمان مطالعه وارد رویکرد شدند بر حسب وسیله‌نقلیه (Veh).

c: طول دوره تناوب سیکل چراغ (s).

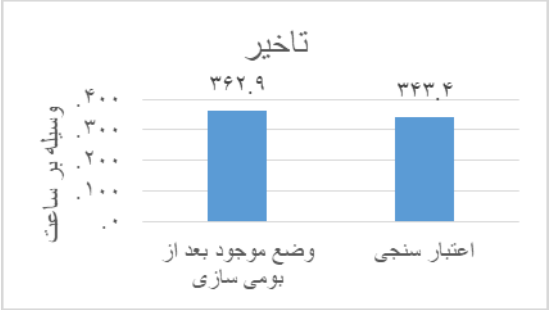
g: طول چراغ سبز (s).

V: کل حجم ترافیک ورودی معبر (Veh).

W: عرض خیابان ورودی (m).

S: نرخ تخلیه در هر متر عرض خیابان (Veh/h).

محاسبه تأخیر به صورت میدانی به دلیل وابسته بودن به زمان و پیچیدگی‌های محاسبه و تحلیل صف فرایندی دشوار و پیچیده است، همچنین قضاوت‌های مشاهده کنندگان و ناظران به این پیچیدگی می‌افزاید. به همین دلیل برداشت‌ها به صورت فیلم برداری از مکان مرتفع است. شکل ۱۲ مقایسه عددی است که اعتبارسنجی با دو حالت وضع موجود و سناریو دوم در نرم‌افزار ایمسان را نشان می‌دهد.



شکل(۱۲): اعتبارسنجی با دو حالت وضع موجود و سناریو دوم (مقایسه تأخیر)

وضع حال حاضر میدان ۱۳ آبان و اعتبارسنجی انجام شده به صورت میدانی تنها ۵/۷ درصد اختلاف دارند. این اختلاف جزیی دلیلی بر انسجام بومی‌سازی انجام شده در نرم‌افزار است. لازم به ذکر است که، بر اساس جدول‌های ارائه شده پارامتر تأخیر، تأثیر مستقیم در دیگر پارامترهای یک تقاطع دارد. در همین راستا برای پارامتر زمان سفر نیز اعتبارسنجی، هم سو با پارامتر تأخیر انجام شده است و از روش از وسیله‌نقلیه آزمون استفاده شد. برای جلوگیری از طولانی شدن مطلب، از ذکر جداول آن خودداری شد. نتایج نشان داد که اعتبارسنجی انجام شده با تطبیق حدودا ۸۰ درصدی با وضع موجود محاسبه شده از نرم‌افزار همانند عمل مشابه در خصوص تأخیر، میزان صحت محاسبات و درستی مسیر پیموده شده در پروسه بومی‌سازی را نمایش می‌دهد.

بحث

نداشتن شناخت درست از رفتار حرکتی وسایل‌نقلیه باعث نادرست شدن تحلیل‌های ترافیکی خواهد شد و این مطلب حیاتی بودن چنین تحقیقاتی را به وضوح نمایان کرده است. در این مقاله سعی شده تا با بررسی رفتار حرکتی وسایل‌نقلیه، شناخت لازم برای ارایه راه‌حلهای ترافیکی فراهم شود. از طرفی چراغدار کردن میدان به عنوان یکی از گزینه‌های مدیریت بومی ترافیک شهری، قابلیتها و توانایی‌ها و معیارهای اعتمادپذیری میدان از قبیل تأخیر کنترل شده را تحت شرایط و روش‌های مختلف کنترل چراغدار ارتقاء بخشیده و بنابراین تأثیرگذاری بر متوسط تأخیر نیز قابل انتظار است. از خصوصیات تبدیل نکردن این نوع میادین با تقاطع‌ها همسطح می‌توان به تردد روان‌تر با تأخیر کمتر و کاهش آثار روانی راننده‌گان در ساعات عادی روز همچنین حفظ سیما و منظر زیباتر، رضایت ساکنین رویکرد به حفظ هویت و نوع دسترسی آسان‌تر اشاره کرد که این نتیجه در تحقیق جانفشان(۱۳۸۹) و لو[1](۲۰۰۶) ، اسدالهی و همکاران (۱۳۸۹) و رشوندی و همکاران(۱۳۹۵) اشاره شده است. بهینه‌سازی و شبیه‌سازی زمان‌بندی چراغ‌های ترافیکی می‌تواند تأثیر به سزایی در افزایش ظرفیت داشته باشد. همچنین با بررسی آثار سوء مدل‌سازی و بدون در نظر گرفتن عوامل بومی و نوع رفتار و حرکات کاربران راه، نتایج عکسی حاصل شده است. که این نتیجه در تحقیق منیجر[2] و همکاران(۲۰۰۳)، نجم[3] و همکاران(۲۰۱۹)، آکسلیک[4](۲۰۰۸)، لیندنمن(۲۰۰۶)،الکدر و همکاران(۲۰۲۰)، سیلوا و همکاران(۲۰۱۴)، می‌توان مشاهده کرد. مقایسه نتایج پژوهش حاضر با نتایج مطالعات

[1]- Lu

[2]- Manage

[3]- Najm

[4]- Akcelik

صورت گرفته در سایر کشورها، می‌توان چگونگی نقش رفتار رانندگان در شبیه‌سازی نزدیک به واقعیت را بهتر ترسیم کرد. این موضوع پیشتر در تحقیقات ال روکبی[1] و همکاران (۲۰۰۸)، گوریری[2] و همکاران(۲۰۱۸)، گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

میدان‌ها یکی از انواع تقاطع‌ها هم‌سطح شهری هستند که نقش مهمی در هدایت ترافیک بر عهده دارند. میادین به علت شکل خاص و نحوه‌ی کنترل ترافیک و واقع شدن در تقاطع‌ها، بخش مهمی در شبکه حمل‌ونقل شهری را بر عهده دارند.

با گذشت زمان و افزایش تقاضای حمل‌ونقل درون شهری به نسبت حجم عبوری، ظرفیت میدان کاسته شده و سطح سرویس میدان با توجه به ثابت ماندن طرح و جانمایی میدان افت پیدا می‌کند. با توجه به آن‌که تعداد میدان‌ها در سطح کشور زیاد و هزینه احداث جایگزین میدان بسیار زیاد بوده و امکان‌سنجی طرح یک تقاطع غیر هم‌سطح تنها در نقاط خاصی انجام پذیر است، در عمل بهینه‌سازی میدان موجود به افزایش ظرفیت آن تا حد ممکن، با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز در راستای کاهش ریسک‌ها و خطاهای احتمالی و همچنین قضاوت مهندسی صحیح می‌تواند با حفظ سرمایه‌های ملی و عملکرد بهتر از قبل کمک شایان توجه به سیستم شهرسازی کشور کند. از طرفی بومی‌سازی پارامترهایی نظیر عوامل ترافیکی همچون متوسط تأخیر، طول صف، زمان سفر و عرض مسیر گردشی در شبیه‌سازی جریان ترافیک و میزان سطح سرویس میدان بر عملکرد میدان تأثیرگذار است. به زبان ساده‌تر استفاده بی‌قید و شرط و در نظر نگرفتن مسائل بومی منطقه از جمله رفتار رانندگان، طراحی معابر و حتی میزان سطح سواد و اطلاعات آیین نامه‌ای کاربران راه‌ها، نتایج عکس به همراه خواهد داشت. لذا سعی بر آن است که در مورد چراغ‌دار کردن میادین به‌عنوان یک پارامتر بومی‌سازی شده نگاه دقیق-تری صورت گیرد تا بتوان با کمک گرفتن از شبیه‌سازی‌های موجود معایب و محاسن آن را مورد بررسی قرار داد، همچنین با بررسی موشکافانه در رفتار رانندگان سعی بر بومی‌سازی پارامترهای پیش‌فرض نرم‌افزار در جهت دقیق‌تر شدن تحلیل‌های به‌عمل آمده شده است.

1-Al-Rukaibi

2- Guerrieri

منابع

- اسدالهی، رضا، حسن‌پور، شهاب، اسدی، محمد باقر، (۱۳۸۹) بررسی روش‌های بهبود کم‌هزینه برای اصلاح میادین ترافیکی به میادین جدید. همایش ملی عمران و توسعه پایدار، استهبان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان.
- امانپور، سعید، حجازی، سید جعفر، کریمی آرپناهی، پدرام (۱۳۹۵) تحلیل پارامترهای مؤثر بر کیفیت سرویس‌دهی میادین به منظور روان-سازی میادین. دومین همایش ملی، پژوهش‌های مهندسی عمران، ۲۸ مرداد، تهران، سالن همایش‌های دانشگاه شهید بهشتی.
- آزاد، پریسا، حلوانی، غلامحسین، نجیمی، محمدرضا، کوهنورد، بهرام، (۱۳۹۴)، بررسی نقش عوامل رفتاری در حوادث غیرمرگبار رانندگان برون شهری و درون شهری، *فصلنامه بهداشت و ایمنی کار*، جلد ۵، شماره ۳، صص ۱۳-۲۰.
- توکلی کاشانی، علی؛ منصوری کارگر، حمزه؛ (۱۳۹۵)، تأثیر رفتار رانندگان اتوبوسهای شرکت واحد تهران بزرگ بر تصادفات درون شهری، *مطالعات پژوهشی راهور*، سال پنجم، شماره ۱۶،صص ۳۹ تا ۶۲.
- جانفشان، نیما، (۱۳۸۹) روش‌های مختلف آنالیز عملکرد و ظرفیت میدان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی تهران- جنوب.
- خوشنویس، الهه، اسماعیلی، علیرضا؛ (۱۳۹۵)، تعیین سهم ادراک خطر بر اساس مولفه‌های رفتار رانندگی در رانندگان پرخطر در شهر تهران، *طب انتظامی*، سال پنجم، شماره ۵، صص ۳۲۲ تا ۳۲۹.
- رشوندی، محمد، عبدالرزاقی، علیرضا، یوسفی مقدم، مژگان، (۱۳۹۵) تأثیرگذاری پارامترهای زمان‌بندی و فازبندی بر عملکرد ترافیکی و شدت تصادفات درون شهری در میادین چراغ‌دار: مطالعه موردی (شهر قزوین)، سومین کنفرانس بین‌المللی، معماری و شهرسازی پایدار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد امارات.
- سادات حسینی، سیدمحمد، وزیری، منوچهر، جوادیان، رسول (۱۳۸۷)، شبیه‌سازی رفتار حرکتی رانندگان با استفاده از مدل بهینه‌سازی رانندگان، *پژوهشنامه حمل‌ونقل*، سال ششم، شماره ۱، ۱-۲۹.
- سعیدمنجم، محمد، سادات حسینی، سیدمحمد، جمشیدنژادتوسرامندانی، امیر (۱۳۹۰)، شبیه سازی رفتار رانندگان با استفاده از مدل بارهای الکتریکی (مطالعه موردی: بزرگراه تهران- کرج)، *پژوهشنامه حمل‌ونقل*، دوره ۸ , شماره ۴، صفحه ۴۰۳ - ۴۱۳ .
- شیخ‌فرد، عباس، حقیقی، فرشیدرضا، (۱۳۹۷)، مدل‌سازی رفتاری رانندگان به هنگام مواجهه با عابرین پیاده با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک، *مهندسی حمل‌ونقل*، دوره ۹، شماره ۴، صص ۶۹۲-۶۷۵
- عامری، محمود، کرم‌رودی، محمود، (۱۳۸۷)، بررسی رفتار رانندگان در پذیرش فواصل عبوری قابل قبول بحرانی در تقاطعهای بدون چراغ راهنمایی در ایران و تأثیر آن در میزان تاخیر این تقاطعات به روش پیشنهادی HCM ۲۰۰۰ ، *پژوهشنامه حمل‌ونقل*، سال پنجم، شماره اول، صص ۱-۱۳

- علیزاده اقدم، محمد باقر، صالحی، ذاکر، (۱۳۹۱)، سبک زندگی فرهنگی رانندگان؛ ابزاری برای تبیین رفتار ترافیکی آنها(مورد مطالعه: رانندگان درون شهری تبریز)، سال اول، شماره ۱، صص ۱۱-۳۰.
- غفاری، علی، زرین قلم، رضا، عبداله زاده، مجید (۱۳۸۷)، شبیه‌سازی رفتار راننده در جریان واقعی ترافیک بر پایه مدلهای نوروفازی خطی-محلی، شانزدهیمن کنفرانس مهندسی برق ایران، تهران، دانشگاه تربیت مدرس.
- فائزی، سیدفرزین، کوهیان، مهدی (۱۳۹۵)، ***مهندسی ترافیک پیشرفته***، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران
- فداکار گیلو، پرویز؛ یونسی، جلیل؛ موسوی پناه، سیدمسلم؛ صادقی، میثم (۱۳۹۴)، نقش واسطه‌ای سلامت عمومی، پرخاشگری و خطرپذیری در پیش‌بینی رفتار رانندگی، *مطالعات پژوهشی راهور*، شماره ۱۲، صص ۵۵ تا ۷۶.
- کی‌منش، محمودرضا، نصراله تبارآهنگ، علی، ارقند، الناز، (۱۳۹۸)، تحلیل و ارزیابی تأثیر خشم راننده بر شدت تصادفات، دوره ۱۱، شماره ۲، صص ۳۳۱-۳۵۴
- مددیان، کامران، صوفی، صلاح، (۱۳۹۷)، پیش‌بینی رفتارهای پرخطر رانندگی بر اساس درک خطر رانندگی و باورهای غیرمنطقی رانندگان وسایل‌نقلیهٔ عمومی، *راهور*، سال هفتم، شماره ۲۷، صص ۱۶۵ تا ۱۹۲
- معروف، حامد، (۱۳۸۹)، تخمین ظرفیت میادین با استفاده از روش فاصله- قبول فناوری حمل‌ونقل، شماره ۱۴.
- نجمی اترآباد، احمد، آقایان، ایمان(استاد راهنما)، چوپانی، عبداللاحد (استاد راهنما)، محمدی، عباس (استاد مشاور)، مطالعه ناحیه تردید در میدان‌های چراغ‌دار، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود
- نیک‌نژاد،سعید،حسینی، سیدمصطفی(۱۳۹۳) راهکارهای افزایش کارائی میدان‌های شهری با استفاده از متد شبیه‌سازی ترافیک، کنفرانس ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار ایران.
- Akcelik, R. (2008), The relationship between capacity and driver behavior. the National Roundabout Conference,Transportation Research Board, Kansas City,MO,USA.
- AlKheder,S, Al-Rukaibi, F, Al-Faresi, A (2020), Driver behavior at Kuwait roundabouts and its performance evaluation, IATSS Research, https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2020.03.004.
- Al-Masaeid, H. R. (1999). Capacity and performance of roundabouts. Canadian Journal of Civil Engineering, 26(5), 597-605.
- Al-Rukaibi, F. Ali, M.A. Aljassar, A. Al-Abdulmuhsen, E.L (2008) A study of driver behavior with regard to traffic control devices Efficient Transportation and Pavement Systems: Characterization, Mechanisms, Simulation and Modeling, pp.73-91.
- Al-Saleh, K. Bendak, S. (2012) Drivers' behaviour at roundabouts in Riyadh Int. J. Inj. Control Saf. Promot. 19 (1): 19-25.
- Elkosantini S, Darmoul, S, (2018) A new framework for the computer modelling and simulation of car driver behavior, SIMULATION, 94(12): 1081-1097
- Flannery, A., Datta, T.K. (1996). Modern Roundabouts and Traffic Crash Experience in United States, In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, NO 1553, pp. 103–109.
- Guerrieri, M. Mauro, R. Parla,G. Tollazzi, T (2018) Analysis of Kinematic Parameters and Driver Behavior at Turbo Roundabouts, Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, Volume 144, No. 6
- Li, Y.; Liu, Y.; Su, Y.; Hua, G.; Zheng, N. (2016) Three-dimensional traffic scenes simulation from road image sequences. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst, 17, 1121–1134

- Lindenmann, H.P. (2006). Capacity of Small Roundabouts with Two-Lane Entries. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, N1988, pp. 119–126.
- Lu, h., Shi, Q.,Masato, I.,A (2006) Study on Traffic Characteristics at Signalized Intersection in Beijing and Tokyo, Tsinghua University, Proceedings of EASTS.
- Manage, S., Nakamura, H., & Suzuki, K. (2003). Performance analysis of roundabouts as an alternative for intersection control in Japan. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 5, 871-883.
- Michaels,J, Chaumillon R, Nguyen-Tri D, Watanabe D, Hirsch P, Bellavance F, Giraudet G, Bernardin D, Faubert J, (2017) Driving simulator scenarios and measures to faithfully evaluate risky driving behavior: A comparative study of different driver age groups, PLOS ONE
- Najm, A, Choupani, A, Aghyan,I (2019), Characterizing driver behavior in dilemma zones at signalized roundabouts, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Volume 63, Pages 204-215. https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.04.007.
- NHCRP (2010). Roundabouts: An Informational Guide, Report 672. Washigton D. C., USA.
- Persaud, B.N., Retting, R.A., Garder, P.E., Lord, D. (2001). Safety Effect of Roundabout Conversions in the United States: Empirical Bayes Observation Before-After Study, In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, NO 1751, pp. 1–8.
- Silva, A.B. Santos,S. Vasconcelos, L. Seco,A. Silva. J.P (2014) Driver behavior characterization in roundabout crossings, Transportation Research Procedia 3, pp. 80-89.
- St-Aubin, P., Saunier, N., Miranda-Moreno, L.F., Ismail, K. (2013). Detailed Driver Behaviour Analysis and Trajectory Interpretation at Roundabouts Using Computer Vision Data, In Transportation Research Board - 92nd Annual Meeting. Washigton D. C., USA.
- Wang,W, Xi, J, Chen, H (2014) Modeling and Recognizing Driver Behavior Based on Driving Data: A Survey, Mathematical Problems in Engineering, . 12 (1): 22-34.
- Zhao, D, Li Y, Liu Y (2019) Simulating Dynamic Driving Behavior in Simulation Test for Unmanned Vehicles via Multi-Sensor Data, Sensors, 19(7), 1670; doi:10.3390/s19071670
- Zhao, D, Liu, Y.; Zhang, C.; Li, Y. (2015) Autonomous Driving Simulation for Unmanned Vehicles. In Proceedings of the 2015 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision, Waikoloa, HI, USA: 185–190