مدل‌سازی جریان ترافیک و کنترل اندازه‌گیری رمپ با استفاده از روش فازی

مقاله علمی – پژوهشی

پدرام مهرابی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد نجف آباد، اصفهان، ایران
امیرحسین پاکشیر، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لنجان، اصفهان، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: pedix.thc@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۷– پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۵
صفحه ۲۸۲-۲۶۷

چکیده

امروزه معضل ترافیک و سختی تردد در خیابان‌های شلوغ و پرازدحام، یکی از مسائل لاینفک زندگی در کلان‌شهرها شده است. ازآنجایی‌که تعداد کاربران جاده‌ای پیوسته افزایش‌یافته و منابع ارایه شده توسط زیرساخت‌های فعلی محدود می‌باشند، کنترل هوشمند ترافیک بسیار بااهمیت خواهد بود. هدف از این تحقیق مدل‌سازی جریان ترافیک و کنترل اندازه‌گیری رمپ با استفاده از روش فازی است؛ برای رسیدن به این هدف از رمپ‌های ترافیکی در ورودی‌ها، برای تنظیم دسترسی به راهرو اصلی بزرگراه یا آزادراه، به‌منظور حفظ جریان نزدیک به ظرفیت بزرگراه استفاده می‌شود. در این پژوهش با ارائه راهکاری جدید، مدل‌سازی جریان ترافیک و کنترل اندازه‌گیری رمپ، با روش هوشمند فازی در محیط نرم‌افزار متلب انجام شده است. جمع‌آوری اطلاعات با استفاده از روش میدانی و در بزرگراه‌های شهر اصفهان انجام گرفته است. این الگوریتم با حفظ سادگی و عدم پیچیدگی‌های محاسباتی، برای هوشمند کردن سیستم کنترل رمپ تلاش می‌کند. باتوجه‌به اطلاعات دریافتی از وسیله نقلیه که در فواصل معین از هر رمپ قرار دارند، طول صف، نرخ ورود خودرو و میزان تقاضای هر رمپ سنجیده شده و سپس کنترل‌کننده باتوجه‌به این اطلاعات حداقل زمان و فاز حرکتی رمپ را مشخص می‌نماید. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده، شدت میانگین فاکتورهای مجموع طول صف در رمپ، زمان توقف در رمپ، دفعات توقف و ازدحام ترافیکی در حالت حلقه باز، بیشتر از حالت حلقه بسته بر اساس الگوریتم روش فازی شده است.

واژه‌های کلیدی: روش فازی، ظرفیت بزرگراه، کنترل اندازه‌گیری رمپ، نرخ ورود خودرو، نرم‌افزار متلب

۱- مقدمه

رشد جمعیت و افزایش تقاضای سفر منجر به تجاوز حجم ترافیک از ظرفیت راه، سطح سرویس نامطلوب و تراکم ترافیک در شبکه‌های آزادراهی و بزرگراهی شهری و بین‌شهری شده است. باتوجه‌به محدودیت‌های منابع مالی، زمین و حریم راه در دسترس و مبانی توسعه پایدار، امروزه به‌جای توسعه زیرساخت‌های جاده‌ای تأکید بر بهینه‌سازی استفاده از امکانات موجود با استفاده از روش‌های مدیریت سیستم‌های حمل‌ونقل از جمله بهره‌گیری از سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند می‌باشد. پیش‌بینی جریان ترافیک به‌صورت دقیق و زنده، پایه و اساس مطالعات کنترل ترافیک و جریان آن است. به‌تازگی، با توسعه سیستم‌های ترافیک هوشمند، پیش‌بینی ترافیک نقش مهمی در مدیریت ترافیک ایفا می‌کند (Gangwani and Gangwani. 2021). هرچند محدودیت‌هایی درباره استفاده از کنترل هوشمند ترافیک وجود دارد، برای مثال اجتناب از راه‌بندان‌های سنگین، هم ازنظر محیطی و هم ازنظر اقتصادی مفید به نظر می‌آید، اما جریان

ترافیکی بهبودیافته نیز می‌تواند منجر به افزایش تقاضا شود. خودروها در ترافیک شهری ممکن است به دلیل تعیین نامناسب فازبندی، زمان‌های سفر طولانی را تجربه کنند (Ledoux. 1997). سیستم کنترل ترافیک، سیستمی غیرخطی و غیرقطعی است و توسط روش‌های قدیمی و کلاسیک نمی‌تواند به‌خوبی کار کند. با گسترش روزافزون فناوری‌های کامپیوتری، پیشرفت چشم‌گیری در زمینه هوش مصنوعی به‌دست‌آمده است. این روش‌ها شامل منطق فازی، شبکه عصبی، الگوریتم‌های تکاملی و یادگیری تقویتی هستند که در علوم مهندسی به کار گرفته می‌شوند. این‌چنین به نظر می‌رسد که می‌توان با نگاه دیگر به روش‌های هوش مصنوعی، به راه‌حل‌های جدیدی در زمینه کنترل ترافیک رسید.

اندازه‌گیری رمپ نمونه‌ای از شیوه‌های ارتباطی است و هدف آن استفاده بهتر از شبکه موجود جاده است. برای رسیدن به این هدف، از رمپ‌های ترافیکی در ورودی‌های رمپ برای تنظیم دسترسی به راهرو اصلی بزرگراه، به‌منظور حفظ جریان نزدیک به ظرفیت بزرگراه استفاده می‌شود (Alexakis et al. 2021). این کار با استفاده از طراحی یک الگوریتم ریاضی اندازه‌گیری هماهنگ با رمپ، بر اساس روش‌های کنترل متناسب با انتگرال صورت می‌پذیرد. براین‌اساس پس از طراحی الگوریتم، رمپ‌های ترافیکی در مسیرهای ورودی بزرگراه‌ها که به‌وسیله کنترل‌گرها اداره می‌شود، دسترسی به مسیرهای اصلی را محدود می‌کند تا مانع افزایش مقادیر حیاتی چگالی ترافیکی در تنگناهای کلیدی شود و بنابراین از ازدحام جلوگیری می‌کند. در این حالت، استراتژی کنترل، تعدیل در رفت‌وآمد وسایل نقلیه از طریق نقاط اتصال بازوی کنترل‌شده با سیگنال که مطابق با رفتار تغییرپذیر با زمان ترافیک ورودی است، می‌باشد (Bogenberger et al. 2001). کنترل رمپ، باعث استفاده از حداکثر ظرفیت عبور بزرگراه می‌شود. علاوه‌برآن، کاهش تراکم عادی و تراکم به وجود آمده در حوادثی نظیر تصادفات را نیز شامل می‌شود. کاهش میانگین سفر، ممانعت از استفاده بزرگراه برای سفرهای کوتاه‌مدت و تشویق برای استفاده از سیستم‌های همپایی یکی دیگر از اثرات کنترل رمپ به شمار می‌آید. استفاده از کنترل رمپ، باعث تنظیم جریان بزرگراه می‌شود و از افزایش تقاضا جلوگیری می‌کند، به‌طوری‌که بعضی از رانندگان، از ورود به رمپ منصرف شده و بعضی، از ساعات دیگر برای تردد استفاده خواهند کرد یا عده‌ای رمپ دیگری را برای ورود به بزرگراه انتخاب می‌کنند. بعضی از رانندگان نیز حمل‌ونقل عمومی را انتخاب می‌کنند. از لحاظ ایمنی نیز کنترل رمپ اثر مثبتی داشته و با آرام‌سازی حرکت در ناحیه ادغام، سبب بهبود آن می‌شود. این سیستم کنترل، ظرفیت اداره کردن رمپ‌های ورودی به بزرگراه را افزایش و ترافیک وسایل نقلیه و زمان ترافیک خودروها را به طور مناسبی بهبود می‌دهد (Taylor and Meldrum. 2000).

ازآنجاکه مدیریت و کنترل رمپ نسبت به گسترش و اصلاح زیرساخت‌های بزرگراه، روشی عملی و اقتصادی است و به بهبود تراکم ترافیک بزرگراه‌ها در ساعت اوج ترافیک می‌انجامد، اجرای آن در ورودی بزرگراه‌ها امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است که اجرای آن همچنان در کشور ما نادیده گرفته می‌شود. هدف اصلی این تحقیق تحلیل و ارزیابی تأثیر کنترل رمپ بر شاخص‌های ترافیکی بزرگراه مانند طول صف، زمان و دفعات توقف و ازدحام ترافیکی بر اساس شبیه‌سازی در محیط نرم‌افزار متلب و بررسی کنترل رمپ با روش فازی و تعیین نرخ ورود خودروها به شبکه فازی بر اساس تابع چگالی احتمال و مقایسه آن با وضعیت موجود (عدم کنترل رمپ) در جدول‌ها و نمودارهای مقایسه‌ای و در انتها تعیین میزان بهبود شاخص‌های ترافیکی برای رمپ‌های موردمطالعه است.

۲- پیشینه تحقیق

در سال‌های اخیر محققان به طور گسترده پدیده ترافیک را از زوایای گوناگون موردمطالعه قرار داده‌اند و تلاش کردند تا علاوه بر شناسایی ماهیت ترافیک، عوامل مؤثر بر تشدید این پدیده را بررسی کنند. حمزه خانی و فلاح تفتی (۱۳۹۶) در پژوهشی با عنوان بررسی اثرات وسایل نقلیه خودکار بر عملکرد ترافیک در محدوده رمپ ورودی آزادراه‌ها نتیجه گرفتند که ادغام ترافیک مسیر اصلی و رمپ ورودی در آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها منجر به ایجاد تراکم، به‌خصوص در شرایط ترافیکی سنگین می‌شود. این موضوع عمدتاً به دلیل عدم استفاده مناسب از زیرساخت‌های جاده و بهره‌برداری نامناسب از راه است که در آن مانور ادغام توسط رانندگان وسایل نقلیه انجام می‌شود. در این تحقیق یک الگوریتم مناسب برای ادغام وسایل نقلیه، مبتنی بر فضای خالی در مسیر اصلی با همکاری بین وسایل نقلیه و همچنین بین زیرساخت‌های

موجود در محل اتصال رمپ ورودی و مسیر اصلی برای رسیدن به یک جریان ترافیکی بسیار کارآمد، ارائه شده است. برای این منظور سعی شده است تا با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی ترافیک ویزوم و به‌کارگیری یک الگوریتم شبیه‌ساز رفتار ترافیک در شرایط خودکار کدنویسی شده به زبان C^{++}، یک محدوده آزادراهی متشکل از یک رمپ ورودی شبیه‌سازی شده و تأثیر به‌کارگیری بخشی یا تمامی وسایل نقلیه به‌صورت خودکار بر عملکرد ترافیکی این محدوده مورد بررسی قرار گیرد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که خودکار نمودن تمامی وسایل نقلیه، به ترتیب باعث کاهش زمان سفر و تأخیر وسایل نقلیه به میزان ۵۰ و ۹۴ درصد و افزایش حجم گذردهی به میزان ۲۲ درصد، نسبت به حالت کنترل وسایل نقلیه توسط رانندگان می‌شود (Karimi and Falahi. 2017). قبادی (۱۳۹۶) در پژوهشی به بررسی اندازه‌گذاری خطوط انتقال سرعت در رمپ‌های ورودی سواره‌رو و تقاطع جاده‌های حومه شهری پرداخت. جاده‌های حومه شهری و خیابان‌ها، قسمت مهمی از اقتصاد مناطق حومه هستند. شبکه بزرگراه‌ها، جاده‌ها و خیابان‌ها، برنامه‌ریزی ساختار این مناطق را مشخص می‌کنند. پیشرفت این مناطق رابطه مستقیم با پیشرفت شبکه شهری را دارا هستند. این مقاله به تحلیل و ارایه فرم مختصری از یک متد حقیقی و دیدگاه‌هایی دررابطه‌با اختصاص پارامترهای اندازه‌گذاری و شکل‌گیری ورودی یک رمپ در تقاطع‌ها می‌پردازد (Qobadi. 2017).

نبی پور و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی ترافیکی ایمسان به تحلیل و ارزیابی عملکرد کنترل رمپ در بزرگراه شهید همت به بزرگراه شهید چمران پرداختند؛ آن‌ها اثر کنترل رمپ در وضعیت ترافیکی را با در نظرگیری شاخص‌هایی نظیر متوسط سرعت، زمان سفر و تأخیر در محدوده موردمطالعه مورد بررسی قرار دادند. پس از تحلیل نتایج شبیه‌سازی وضع موجود باتوجه‌به سناریوهای ساخته شده بر مبنای ٦ نوبت آمارگیری در محیط نرم‌افزار شبیه‌ساز ایمسان، مشخص شد که حجم تداخلی مسیر اصلی و رمپ، بیش از ظرفیت خروجی پایین‌دست اتصال است و نیاز به کنترل رمپ احساس می‌شود. طبق نتایج شبیه‌سازی شده، اعمال کنترل رمپ بین مسیر شمال به جنوب بزرگراه چمران و مسیر غرب به شرق بزرگراه همت که مجموع نرخ بالادست رمپ بیش از ظرفیت پایین‌دست رمپ است، ازنظر ترافیکی بسیار مفید به نظر می‌رسد و شاخص‌های ترافیکی نظیر متوسط سرعت، زمان سفر و تأخیر را به میزان قابل‌توجهی ارتقا می‌بخشد (Nabipur et al. 2017).

رحیمی و اسدی (۱۳۹٦) در پژوهشی با عنوان مدل‌سازی چگالی محدوده تحت‌تأثیر رمپ‌های خروجی آزادراه زنجان – قزوین با استفاده از اطلاعات محلی نتیجه گرفتند که مقاطع دارای حرکت‌های تداخلی عمدتاً در محل اتصال رمپ‌های ورودی و رمپ‌های خروجی با خطوط اصلی آزادراه واقع هستند. این مقاطع همچنین می‌توانند در نقاط ادغام اصلی یا انشعاب اصلی، در محل‌هایی که راه‌های اصلی به یکدیگر وصل می‌شوند یا از هم جدا می‌شوند، واقع شوند. در این پژوهش، با استفاده از داده‌های محلی روابط موجود در آیین‌نامه کتابچه راهنمای ظرفیت بزرگراه (HCM, 2010)، برای رمپ‌های خروجی آزادراه زنجان – قزوین کالیبره شده است. با استفاده از نرم‌افزار SPSS داده‌ها تحلیل گشته و مدل‌های پیشنهادی ارایه شد و درنهایت نتایج با هر دو مدل (پیشنهادی و HCM) و همچنین با مشاهدات میدانی مقایسه شد. مطابق با نتایج تحقیق آن‌ها، اختلاف ۸ درصد در معادلات وجود دارد، بدین ترتیب که چگالی به‌دست‌آمده از روابط پیشنهادی بیش از چگالی به‌دست‌آمده از مدل‌های HCM بوده و به واقعیت نزدیک‌تر است (Rahimi et al. 2017).

رحیم اف و خدا رحمی (۱۳۹٦) در پژوهشی به تحلیل و ارزیابی عملکرد روش کنترل رمپ در آزادراه‌های شهری با استفاده از نرم‌افزار ایمسان (مطالعه موردی محور پل آیت‌الله صدر حدفاصل خیابان کاوه تا خیابان شریعتی) پرداختند، آن‌ها به تأثیر سیاست کنترل رمپ بر نحوه مدیریت ترافیک آزادراهی اشاره کردند که می‌تواند بر عملکرد شبکه معابر آزادراهی از جمله سرعت وسایل نقلیه، احتمال تصادف، زمان سفر و آلاینده‌های وسایل نقلیه در اثر افزایش مصرف سوخت تأثیرگذار باشد؛ از این روی سیاست کنترل رمپ نقش بسزایی در نحوه مدیریت ترافیک آزادراهی ایفا می‌نماید. بدین منظور، در این مقاله اثرات رویکرد کنترل رمپ در جریان متراکم آزادراهی در محور پل آیت‌الله صدر تحلیل‌شده و با استفاده از شبیه‌سازی خردنگر با نرم‌افزار ایمسان، اقدام به ارزیابی بر مبنای شاخص‌های حجم، چگالی، زمان سفر، زمان تأخیر، تعداد توقف‌ها، سرعت و جریان در ساعات اوج صبحگاهی گردیده است. درنتیجه مشخص شد که در اثر اعمال سیاست

کنترل رمپ ورودی، زمان تأخیر به میزان ۸/۱۱ درصد کاهش، نرخ جریان ۸/۵۰ درصد افزایش، چگالی ۸/۰۵ درصد کاهش، زمان توقف ۱۱/٦۷ درصد کاهش، میزان آلاینده‌ها حدود ۱۲ درصد کاهش و سرعت حدود ۸ درصد افزایش یافته است (Rahimof and Khodarahmi. 2017).

در پژوهش انجام شده توسط تیموری و منجم (۱۳۹۵)، طرح لچکی پایانه رمپ‌های ورودی و خروجی بزرگراه‌های استان تهران و تأثیر آن بر روی سرعت و تردد بزرگراه باهدف جلوگیری از بحران ترافیکی مورد بررسی قرار گرفت؛ آن‌ها بیان داشتند که غالباً همه مانورهای ورودی و خروجی در بزرگراه‌ها، در پایانه رمپ‌ها اتفاق می‌افتند و این پایانه‌ها علت ایجاد بسیاری از بحران‌های ترافیکی در بزرگراه هستند. ازجمله گلوگاه‌ها می‌توان به پایانه رمپ‌ها، خطوط مسدود، باریک شدن عرض خط و غیره اشاره کرد.

توانایی راه در خدمت‌رسانی کارآمد و مؤثر بر ترافیک، تحت‌تأثیر خصوصیات ترافیک و طرح هندسی راه قرار دارد و تعداد کمی از پایانه رمپ‌ها دارای طرح ایده‌آل هستند. اگرچه بیشتر بزرگراه‌های جدید دارای ابعاد کافی در نیمرخ عرضی هستند ولی بسیاری از آن‌ها به لحاظ سرعت طرح، طراحی قسمت‌های ضربدری و طراحی پایانه رابط وضع مطلوبی ندارند. عدم کفایت این ویژگی‌ها منجر به استفاده ناکارآمد از بخش‌های دیگر بزرگراه می‌گردد. درصورتی‌که این پایانه‌ها از لحاظ فرم هندسی درست، طراحی، برنامه‌ریزی و کنترل نشده باشند باعث افزایش خطر تصادف، کاهش توان عملیاتی در بازه‌های زمانی پیک و افزایش گره‌های ترافیکی و غیره می‌شوند. در تحقیق آن‌ها، پارامترهای هندسی و ترافیکی با فیلم‌برداری از ٦۰ سایت مختلف پایانه رمپ واقع در بزرگراه‌های استان تهران در دو مقطع قبل و بعد از پایانه و استخراج اطلاعات از آن به دست آمد. پس از آن با استفاده از نرم‌افزار Spss به ارایه مدل و بررسی رابطه بین سرعت و تردد وسایل نقلیه با پارامترهای هندسی پایانه رمپ پرداختند. نتیجه اجرای مدل نشان می‌دهد که افزایش طول لچکی در میزان تردد وسایل نقلیه تأثیر مثبتی داشته، چون راننده در این طول به سمت مسیر اصلی هدایت (در ورودی‌ها) و یا از مسیر اصلی خارج می‌شود (در خروجی‌ها) و خط نوع لچکی در خروجی‌ها دارای خصوصیات عملکردی بالاتری نسبت به نوع آن در ورودی‌ها است. خطوط کاهش سرعت امن‌تر از خطوط افزایش سرعت هستند و بنابراین افزایش طول در خطوط افزایش سرعت مفیدتر خواهد بود (Teymuri and Monajem. 2016).

مویدفر و پایوند (۱۳۹۵)، در پژوهشی به مدل‌سازی و آنالیز کنترل ترافیک در بزرگراه‌های هوشمند (AHS) پرداختند. در این مقاله، ساختار کنترل ترافیک در بزرگراه‌های هوشمند مورد بررسی قرار گرفته است. در این نوشتار با مشخص نمودن مقصدهای مختلف خودروها و نحوه مانور خودروها در مسیر بزرگراه، کارکرد جریان ترافیک مشخص شده است. کنترل خودروها توسط سیستم بزرگراه‌های هوشمند (AHS) و ارتباط لایه‌های AHS با یکدیگر، از مباحثی است که در این نوشتار مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه عملکرد سیستم AHS مورد آنالیز قرار گرفته و همچنین مدل‌سازی تراکم ترافیک و جابه‌جایی خودروها در سیستم AHS صورت گرفته است. در این بررسی موارد مربوط به سرعت خودروها در AHS، نحوه حرکت جانبی خودروها و مشکلات و مسائل اجرایی مربوط به AHS را آنالیز نموده‌اند. مزیت اساسی این طرح، ممانعت از ایجاد ترافیک‌های زنجیره‌ای در بزرگراه‌های پر رفت‌وآمد است. امیدواریم با اجرای سامانه‌های هوشمند حمل‌ونقل و به‌کارگیری خودروها و جاده‌های هوشمند، زمینه برای پیشرفت صنعت حمل‌ونقل کشور فراهم گردد (Moayedfar and Payvand. 2016).

در پژوهش انجام‌شده توسط احمدی و رحیمی (۱۳۹۰)، نقش روش کنترل رمپ در کاهش تصادفات و تراکم مسیر با بررسی و تحلیل ظرفیت رمپ‌های ورودی و خروجی منتهی به آزادراه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت؛ در این پژوهش، به ازدحام ترافیکی در نواحی اتصال رمپ ورودی و خروجی آزادراه اشاره شده است که می‌تواند موجب تردد سنگین ترافیکی شود و دلیل بروز چنین تراکمی نه به ویژگی رفتاری ترافیک موجود و نه به طرح هندسی نقاط اتصالی بستگی داشته است. در بررسی انجام‌شده توسط آن‌ها، بعضاً ایجاد سرعت‌گیرهای ناگهانی و بدون اطلاع قبلی در نواحی اتصال رمپی منتهی به آزادراه موجب سردرگمی بسیاری از رانندگان در یافتن نقطه‌ای به‌منظور ورود و خروج از بزرگراه و همچنین ترمزهای ناگهانی برای آنان گردیده است؛ درصورتی‌که می‌توان با شناخت مناسب از ظرفیت موجود بر روی این رمپ‌ها تا حد وسیعی از وقوع تراکم ترافیکی و همچنین تصادفات در نواحی اتصالات رمپی کاست. در این تحقیق با درنظرگرفتن

ظرفیت‌های مربوط به رمپ ورودی و رمپ خروجی از آزادراه و بررسی سطح سرویس‌های مطلوب هر یک تخمین مناسبی از ظرفیت مذکور آورده شده و درنهایت سطح سرویس تخمین زده شده با سطح سرویس مطلوب مقایسه شده است (Ahmadi and Rahimi. 2011).

رشیدی و اقبالیان (۱۳۸۸)، در پژوهشی به مطالعه یک رمپ ورودی از بزرگراه صدر به جهت شمال به جنوب بزرگراه مدرس و امکان‌سنجی به‌کارگیری سامانه کنترل رمپ در آن پرداختند. آن‌ها در این تحقیق از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و ترکیب آن با ابزار شبیه‌سازی که از کم‌هزینه‌ترین راه‌های آزمون سیستم‌های جدید و بدیع حمل‌ونقلی است، استفاده کردند تا در رابطه با استفاده یا عدم استفاده از این سامانه و همچنین نوع زمان‌بندی و محدودیت اعمالی به ترافیک (زمان‌بندی ثابت، زمان‌بندی تطبیقی) تصمیم‌گیری کنند. باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده، مشخص شد باوجوداینکه زمان‌بندی تطبیقی منافع بیشتری نسبت به زمان‌بندی ثابت به همراه دارد اما با درنظرگرفتن فاکتور هزینه‌ها، شاخص مطلوبیت کل زمان‌بندی ثابت از تمامی سناریوهای مورد بررسی بیشتر بوده و ارجحیت دارد (Rashidi and Eqbalian. 2009).

گردر و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی به شبیه‌سازی کنترل ترافیک شهری بر اساس شیوه مدل صف پرداخته‌اند. در این مقاله، کنترل متناسب با حجم ترافیکی به کار گرفته شده است که می‌توان آن را نماینده عکس‌العمل ساده در نظر گرفت، به عبارتی سنسورها، محیط را کنترل یا مانیتور نموده و با قواعد عمل شرطی، کنترل سیگنال ترافیک اتفاق بعدی را تعیین می‌کند. چنین کنترلی در عمل کاربرد داشته و درواقع بسط و توسعه ساده‌ای برای کنترل زمان ثابت محسوب می‌گردد. در مقابل، مسافرین به شکل نماینده‌های یادگیری بر مبنای برنامه و تسهیلات سودمند مدل‌سازی شده‌اند که در محیط چند نماینده‌ای، پیوسته، دینامیکی، متوالی، تصادفی و تا حدی قابل‌مشاهده عمل می‌کنند.

حتی اگر مشخصات دقیق نماینده‌های سیگنال ترافیک و مسافر در حد ساده نگه داشته شود، بازهم برهم‌کنش بین نماینده‌ها موجب بروز پیچیدگی‌هایی می‌شود. به‌منظور شبیه‌سازی واکنش‌های متقابل، به مدل جریان ترافیک محاسباتی سریعی نیاز می‌باشد که با وسایل نقلیه به شکل واحدهای اتمی رفتار کرده و کلیه خصوصیات وابسته کنترل سیگنال ترافیک و جریان ترافیک را در نظر داشته باشد (Grether et al. 2012).

فان و همکاران (۲۰۱٤)، در پژوهشی به بررسی ویژگی جریان ترافیک و کنترل رمپ در یک مقطع بدون علامت در چارچوب تئوری بازی پرداختند. در این مقاله، یک مدل شبیه‌سازی مطرح شده است تا تأثیرات این‌گونه رفتارها در یک مقطع بدون علامت بررسی گردد. جابه‌جایی وسایل نقلیه با استفاده از مدل CA شبیه‌سازی شده است. تئوری بازی برای شبیه‌سازی دینامیک مقاطع ارائه شده است. دو نوع راننده در فرایندی بازی شرکت می‌کنند: همکاری‌کننده (C) و فراری (D). راننده C از قوانین ترافیک اطاعت می‌کند، ولی راننده D از قوانین ترافیک اطاعت نمی‌کند؛ بنابراین یک فرایند انتقال ممکن است اتفاق بیفتد، در هنگامی‌که C در پشت یک مقطع انتظار می‌کشد، آستانه این زمان انتظار از توزیع ویبول پیروی می‌کند. نتایج شبیه‌سازی قابلیت کاربردی مدل مطرح شده را نشان می‌دهد و بینش‌ها و دیدگاه‌هایی نسبت به مدیریت مقاطع را معلوم می‌سازد، ازجمله این بینش‌ها می‌توان گفت که وجود Dها برای ظرفیت مقاطع مفید و سودمند می‌باشد، ولی امنیت مقاطع را کاهش می‌دهد و با درنظرگرفتن هر دو نوع راننده در ضوابط طراحی مقاطع و رمپ‌ها و همچنین کنترل میزان اندازه‌گیری رمپ، ما را به رسیدن به نتیجه‌ای نزدیک‌تر به واقعیت کمک می‌کند (Fan et al.2014).

۳- کنترل رمپ

این روش، به‌عنوان یکی از راه‌های مؤثر برای جلوگیری از تراکم بزرگراه‌ها تعیین شده است و در آن ترافیک ورودی به بزرگراه از رمپ‌های ورودی، طوری تنظیم می‌شود که جریان در معبر اصلی از ظرفیتش تجاوز نکند (Zhang and Levinson. 2010). این سیستم دو نتیجه اساسی دارد: اول کاهش جریان ترافیک بالادست بزرگراه و یا به تعویق انداختن آن و دوم توزیع چگالی پلاتون خودروهای بر روی رمپ که نقش بسزایی در کاهش تراکم و افزایش ایمنی مسیر اصلی و به‌خصوص ناحیه ادغام ایفا می‌کند. از انتخاب مسیر جایگزین برای برخی رانندگان که مایل به انتظار پشت چراغ رمپ نبوده و از مسیرهای جایگزین استفاده می‌کنند، می‌توان به‌عنوان تأثیر غیرمستقیم کنترل رمپ نام برد که بسته به

موقعیت شبکه مثبت یا منفی ارزیابی می‌شود (Bogenberger et al. 2010). از نکات حائز اهمیت در کنترل رمپ می توان به این موضوع اشاره کرد که وقتی نرخ ورود به بزرگراه کمتر از تقاضای رمپ باشد، صف بر روی رمپ تشکیل می‌شود که احتمال سرریز کردن آن به شبکه شریانی و تقاطع‌های مجاور آن می‌باشد؛ بنابراین با استفاده از شناساگر صف در ابتدای رمپ، درصورتی‌که طول صف به حالت بحرانی برسد، زمان چرخه کوتاه و نرخ ورود خودروها افزایش می‌یابد (Taylor and Meldrum. 1998).

٤- روش تحقیق

روش به کار برده شده در این پژوهش، روش توصیفی تحلیلی است. براین‌اساس با استفاده از منابع کتابخانه‌ای مبانی نظری بیان گردیده و سپس با مطالعات میدانی و ثبت داده‌های برداشتی از محل‌های موردمطالعه در ادامه روش شبیه‌سازی با استفاده از خوشه‌بندی فازی جهت کنترل هوشمند ترافیک ارائه خواهد شد. در این پژوهش از نرم‌افزار متلب برای بررسی اهداف تحقیق بهره‌گیری می‌شود. این نرم‌افزار دارای سیستمی اندرکنشی بوده که در آن تمامی داده‌ها به‌صورت آرایه‌های بدون بعد معین و مشخص ذخیره می‌شود. این خاصیت این امکان را به شما می‌دهد که مسائل محاسباتی بسیاری را با استفاده از فرمول‌های برداری و ماتریسی برای طیف وسیعی از داده‌ها بنویسید. درگذشته کنترل ترافیک با روش‌های مختلفی صورت پذیرفته است. به نظر می‌رسد که می‌توان با نگاه دیگر به روش‌های هوش مصنوعی، به راه‌حل‌های جدیدی در زمینه کنترل ترافیک رسید. بر همین اساس در این پژوهش به ارائه مدلی جهت کنترل ترافیک شهری بر اساس روش فازی پرداخته می‌شود. به‌منظور بررسی کارایی مدل پیشنهادی، بر اساس روش فازی در این پژوهش، بر اساس مفروضات در نظر گرفته شده برای انجام شبیه‌سازی سیستم طراحی شده به‌قرار زیر می‌باشد:

نتایج شبیه‌سازی مدل، تحت دو حالت حلقه باز (بدون کنترل هوشمند) و حلقه بسته (کنترل هوشمند فازی) صورت گرفته است تا بتوان به این صورت به مقایسه دو حالت با یکدیگر و تعیین درصد بهبود هر پارامتر ترافیکی در هر رمپ پرداخت. همچنین سطح فعالیت هر رمپ باتوجه‌به جدول ۱ مشخص شده است. علت انتخاب مقادیر موجود در جدول ۱، بر اساس مشاهدات میدانی از ترافیک موجود در رمپ‌های مورد بررسی است و دسته‌بندی سطح فعالیت نیز بر اساس دسته‌بندی همین اطلاعات میدانی و به‌صورت قراردادی است.

جدول ۱. رابطه بین سطح فعالیت رمپ و حجم ترافیک

سطح فعالیت	کل حجم ترافیک رمپ (برحسب وسیله نقلیه)
نرمال	کمتر از ٤٠
اشباع	٤٠-٦٠
بحرانی	بیش از ٦٠

تمام شبیه‌سازی‌ها در مدت‌زمان ۱۰۰۰ ثانیه صورت گرفته و اطلاعات ترافیکی نیز هر ۲ ثانیه (زمان نمونه‌برداری) ثبت و در شبیه‌سازی مورداستفاده قرار می‌گیرد. باتوجه‌به اطلاعات دریافتی از وسیله نقلیه که در فواصل معین از هر رمپ قرار دارند، طول صف، نرخ ورود خودرو و میزان تقاضای هر رمپ سنجیده شده و سپس کنترل‌کننده باتوجه‌به این اطلاعات حداقل زمان و فاز حرکتی رمپ را مشخص می‌نماید. پس از اتمام حداقل زمان سبز و در صورت ادامه تقاضا برای سرویس‌دهی و باتوجه‌به سطح فعالیت رمپ، زمان سبز فاز جاری به میزان مشخص تمدید می‌شود (این زمان در رمپ یک مقدار گسسته در نظر گرفته شده است).

پس از اتمام زمان تمدید شده، کنترل‌کننده دوباره میزان تقاضا و اطلاعات تردد را بررسی می‌کند و در صورت لزوم زمان سبز دوباره تمدید شده تا بالاخره به حداکثر مقدار مشخص شده برسد، در این لحظه چراغ فاز مذکور ایست و زمان عبور به مسیر دیگر اختصاص می‌نماید و این چرخه به همین ترتیب تکرار می‌شود.

به‌منظور تعیین عملکرد کنترل رمپ در بزرگراه‌های شهر اصفهان، معیارهایی برای ارزیابی طراحی شده و در دو حالت حلقه باز و حلقه بسته، مورد مقایسه قرار می‌گیرند:

طول صف: مجموع طول صف ایجاد شده از نقطه ورود به رمپ تا ۱۵۰ متر بعد از نقطه همگرایی در بزرگراه

زمان توقف: مدت‌زمان توقف در طول مسیر رمپ

دفعات توقف: تعداد توقف خودرو در طول مسیر رمپ

ازدحام ترافیکی: ازدحام ترافیکی ایجاد شده توسط هر خودرو در طول مسیر رمپ

۵- معرفی و نحوه اجرای روش فازی

روش فازی یکی از شاخه‌های یادگیری بدون نظارت و فرایند خودکاری است که در طی آن، نمونه‌ها به دسته‌هایی با اعضای مشابه یکدیگر تقسیم می‌شوند، که به این دسته‌ها خوشه گفته می‌شود. هدف از روش فازی استخراج مدل‌های فازی از داده‌هاست. کاربردهای متعدد روش فازی در تحلیل داده‌ها و تشخیص الگو و نیز زمینه‌های پژوهشی موجود در این زمینه ازجمله استفاده از آن در حل مسائل مسیریابی تخصیص و زمان‌بندی نیاز به مطالعه الگوریتم‌های موجود و بهبود و اصلاح آن‌ها را آشکارتر می‌نماید.

ابتدا مدل ریاضی رفتار ترافیک در یک رمپ را به دست آورده و سپس زمان انتظار و طول صف خودروها در بازوهای مختلف از هر رمپ تعیین می‌شود که معادله ساختاری شبکه مورد بررسی به‌قرار زیر است:

الف) مسیرهای داخل شبکه دارای خیابان فرعی نیستند و امکان تعویض خط برای خودروها وجود ندارد.

ب) طول خودروها یکسان و مشخص در نظر گرفته شده است.

ج) به هر رمپ، یک خیابان وارد می‌شود؛ بنابراین چراغ راهنمایی جز در موارد خاص، تک‌فاز در نظر گرفته می‌شود.

د) نرخ ورود خودروها به شبکه موردنظر بر اساس یک تابع چگالی احتمال ازپیش‌تعیین‌شده است.

ه) خودروها در شبکه به‌صورت مجزا در نظر گرفته می‌شود.

طول صف وسایل نقلیه در یک رمپ یکی از متغیرهای مهم است که حالت و وضعیت ترافیک رمپ را توصیف می‌کند. معادله طول صف در یک رمپ به‌صورت زیر بیان می‌گردد (Li et al. 2007):

$$Q_i(n+1)=Q_i(n)+q_i-d_i(n)S_i(n) \qquad (۱)$$

که i اندیس بازوهای ورودی به رمپ است، n اندیس فواصل زمانی گسسته شده است، $Q_i(n)$ طول صف تشکیل‌شده از تعدادی وسیله نقلیه در i امین صف از شروع فاصله زمانی تا آغاز n امین فاصله زمانی است. $q_i(n)$ نرخ متوسط ورود ترافیک در بازوی i ام در n امین فاصله زمانی در زمان نمونه‌برداری و $d_i(n)$ نرخ متوسط خروج خودروها در بازوی i ام در n امین فاصله زمانی در زمان نمونه‌برداری است. $S_i(n)$ حالت یا وضعیت سیگنال که برابر ۰ (برای توقف) و ۱ (برای حرکت) در i امین بازوی ورودی است.

با ادغام و مجتمع‌سازی طول صف و با رعایت زمان، تأخیر کلی وسایل نقلیه در صف به دست می‌آید. T نشان‌دهنده طول فاصله زمانی گسسته است و اگر T به‌اندازه کافی کوچک باشد، ورود خودروها را می‌توان به‌عنوان یکنواخت در هر بازه زمانی به کار برد و درنتیجه با ادغام در معادله (۳-۱) معادله زیر به دست می‌آید (Grether et al.2012., Li et al. 2007):

(۲)

$$W_i(n+1)=W_i(n)+TQ_i(n)+\frac{1}{2}Tq_i(n)\frac{1}{2}Td_i(n)S_i(n)$$

که در این معادله، $W_i(n)$ تأخیر کلی وسایل نقلیه i امین بازوی ورودی در n امین فاصله زمانی است. تأخیر کلی وسایل نقلیه در صف و طول صف وسایل نقلیه به‌عنوان عملکرد استفاده می‌شود؛ بنابراین هدف بهینه‌کردن توابع زیر است (Grether et al. 2012., Li et al. 2007):

$$\min \{W(N)=\sum_{i=1}^{M} W_i(N)\} \qquad (۳)$$

$$\min \{Q(N)=\sum_{i=1}^{M} Q_i(N)\} \qquad (۴)$$

این معادلات، معادلات فضای حالت هستند که وضعیت ترافیک را در یک رمپ توصیف می‌کنند. برای آسان کردن فهم فرمول‌ها، معادلات فضای حالت و هدف بهینه‌سازی در شکل ماتریسی به‌صورت زیر نوشته می‌شود (Grether et al. 2012., Li et al. 2007):

$$X_{(n)}=[Q_1(n)Q_2(n)\dots Q_M(n)W_1(n)W_2(n)\dots W_M(n)]^T \qquad (۵)$$

$$C_{(n)}=[I_M O_M] \qquad (۶)$$

$$Y_{(n)}=CX(n) \qquad (۷)$$

$$S_{(n)}=[S_1 S_2 \dots S_M]^T \qquad (۸)$$

$$(A,B)=\begin{bmatrix} a_{1,1} & \cdots & i_{1,10} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{30,1} & \cdots & a_{30,10} \end{bmatrix} \begin{matrix} For(i)=1 \dots 10 \\ For(j)=1 \dots 30 \end{matrix} \quad (۹)$$

$$X_{(n+1)}=AX(n)+B(n)S(n)+C(n) \quad (۱۰)$$

در معادلات (۵) تا (۱۰)، $X_{(n)}$ تابعی برای نشان دادن هم‌زمان تأخیر کل و طول صف، $C_{(n)}$ تابعی برای نشان دادن نرخ ورود خودروها به رمپ در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری، $y_{(n)}$ تابعی برای نشان دادن تأثیر هم‌زمان نرخ ورود و تأخیر کل در طول صف، $S_{(n)}$ وضعیت کلی سیگنال به‌صورت صفر و یک و A,B اعداد ثابت در ماتریس بهینه می‌باشند. مدل ترافیکی که در بالا بر اساس معادلات فضای حالت بیان گردیده است، در حقیقت معادله صف و تأخیر کلی وسایل نقلیه در یک رویکرد رمپ در حالت‌های مختلف چراغ راهنمایی (سبز یا قرمز) است.

گام نخست در مدل‌سازی فازی، انتخاب مناسب متغیرها است. در این مدل پیشنهادی متغیرهای ورودی به ترتیب طول صف وسایل نقلیه در رمپ و متوسط نرخ ورود خودروها به رمپ در نظر گرفته شده است. از سوی دیگر، خروجی‌های شبکه و وضعیت سیگنال ترافیکی در رمپ تعیین‌شده است.

گام دوم در مدل‌سازی فازی، تعیین سطح فعالیت هر متغیر یا همان مجموعه‌های فازی است که این مجموعه‌ها توسط متغیرهای زبانی طراحی می‌شود. در مدل پیشنهادی متغیرهای ورودی هرکدام با سه مجموعه فازی مشخص و تعیین شده‌اند.

گام سوم مدل‌سازی، برقراری یک ارتباط منطقی بین ورودی و خروجی‌ها می‌باشد که به آن قواعد فازی می‌گویند. این گام در حقیقت باتوجه‌به اطلاعات به‌دست‌آمده از شبکه ترافیک شهری، یک ارتباط منطقی بر مبنای ساختار «اگر آنگاه» برای ورودی و خروجی‌های مدل برقرار می‌نماید.

مطالعه موردی

در این پژوهش ده رمپ اصلی بزرگراه‌های شهر اصفهان مورد بررسی قرار گرفته است. بزرگراه‌ها و آزادراه‌های مواصلاتی در سطح شهر اصفهان، نقش مهمی در تعدیل ترافیک شهری دارند و همین امر، نیاز به کنترل ترافیک ورودی و خروجی از بزرگراه‌های اصلی شهر را امری اجتناب‌ناپذیر می‌کند. بنابراین بهره‌گیری از کنترل هوشمند ترافیک به‌ویژه در سطح بزرگراه‌ها و آزادراه‌ها نه تنها منطقی بلکه حیاتی به نظر می‌رسد. لازم به ذکر است رمپ‌های موردمطالعه به ترتیب:

رمپ شماره ۱: رمپ ورودی بزرگراه صیاد شیرازی – چهارراه علامه امینی

رمپ شماره ۲: رمپ ورودی بزرگراه همت – خروجی آبشار دوم

رمپ شماره ۳: رمپ ورودی بزرگراه کشوری – از سمت بزرگراه دستجردی

رمپ شماره ٤: رمپ ورودی بزرگراه دستجردی – از سمت اتوبان صفه به دستجردی

رمپ شماره ٥: رمپ ورودی بزرگراه شهید میثمی – از سمت بلوار کشاورز

رمپ شماره ٦: رمپ ورودی بزرگراه خیام – از سمت خیابان وحید و خیابان بوستان سعدی

رمپ شماره ۷: رمپ ورودی بزرگراه خیام – از سمت خیابان مطهری

رمپ شماره ۸: رمپ ورودی بزرگراه خرازی – از سمت بلوار امام خمینی

رمپ شماره ۹: رمپ ورودی بزرگراه شهید ردانی پور (روگذر چمران)– از سمت خیابان کاوه

رمپ شماره ۱۰: رمپ ورودی بزرگراه صیاد شیرازی – از سمت خیابان جی

در این مقاله باتوجه به محدودیت تعداد صفحات تنها موقعیت رمپ شماره ۱۰ (رمپ ورودی بزرگراه صیاد شیرازی – از سمت خیابان جی) نشان داده شده است .

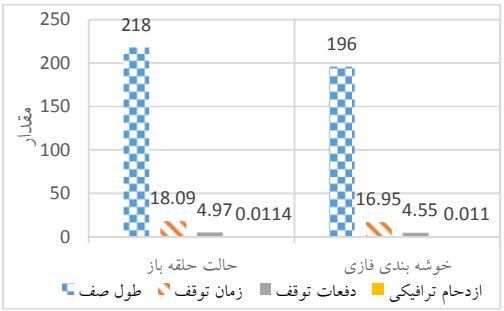
شکل ۱. موقعیت رمپ اول- بزرگراه صیاد شیرازی – چهارراه علامه امینی (Google Earth,2017)

نتایج و بحث

همان‌طور که در جدول (۲) نشان داده شده است، میانگین فاکتورهای مجموع طول صف در رمپ، زمان توقف در رمپ، دفعات توقف و ازدحام ترافیکی برای رمپ اول، در حالت حلقه باز، به ترتیب برابر با ۲۱۸، ۱۸/۰۹۲، ۴/۹۷، ۰/۰۱۱۴۸ و برای روش فازی به ترتیب برابر با ۱۹۶، ۱۶/۹۵۰، ۴/۵۵، ۰/۰۱۱۰۰ شده است.

جدول ۲. مقایسه پارامترهای ترافیکی سیستم در دو وضعیت حلقه باز و حلقه بسته در رمپ اول

سیستم کنترل ترافیک	مجموع طول صف (متر)	زمان توقف (ثانیه)	دفعات توقف	ازدحام ترافیکی
حالت حلقه باز	۲۱۸	۱۸/۰۹۲	۴/۹۷	۰/۰۱۱۴۸
روش فازی	۱۹۶	۱۶/۹۵۰	۴/۵۵	۰/۰۱۱۰۰
درصد بهبود	۱۰/۰۹	۶/۳۱	۸/۴۵	۴/۱۸



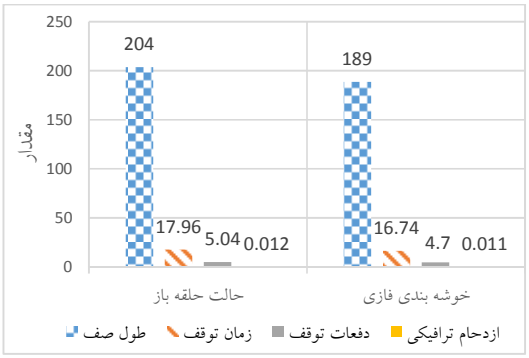
شکل ۲. مقایسه فاکتورهای ترافیکی در رمپ اول

مطابق با جدول (۳)، میانگین فاکتورهای مجموع طول صف در رمپ، زمان توقف در رمپ، دفعات توقف و ازدحام ترافیکی در حالت حلقه باز برای رمپ دوم، به ترتیب برابر با ۲۰۴، ۱۷/۹۶۱، ۵/۰۴، ۰/۰۱۲۲۷ و برای روش فازی به ترتیب برابر با ۱۸۹، ۱۶/۷۴۳، ۴/۷۰، ۰/۰۱۱۹۷ شده است.

همان‌طور که در جدول (۴)، نشان داده شده است، میانگین فاکتورهای مجموع طول صف در رمپ، زمان توقف در رمپ، دفعات توقف و ازدحام ترافیکی برای رمپ سوم، در حالت حلقه باز، به ترتیب برابر با ۲۳۹، ۱۷/۷۶۶، ۴/۵۷، ۰/۰۱۰۵۰ و برای روش فازی به ترتیب برابر با ۲۲۷، ۱۵/۴۳۰، ۴/۲۰، ۰/۰۱۰۱۱ شده است.

جدول ۳. مقایسه پارامترهای ترافیکی سیستم در دو وضعیت حلقه باز و حلقه بسته در رمپ دوم

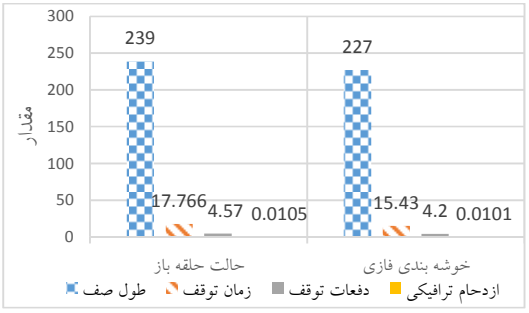
سیستم کنترل ترافیک	مجموع طول صف (متر)	زمان توقف (ثانیه)	دفعات توقف	ازدحام ترافیکی
حالت حلقه باز	۲۰۴	۱۷/۹۶۱	۵/۰۴	۰/۰۱۲۲۷
روش فازی	۱۸۹	۱۶/۷۴۳	۴/۷۰	۰/۰۱۱۹۷
درصد بهبود	۷/۳۵	۶/۷۸	۶/۷۴	۲/۴۴



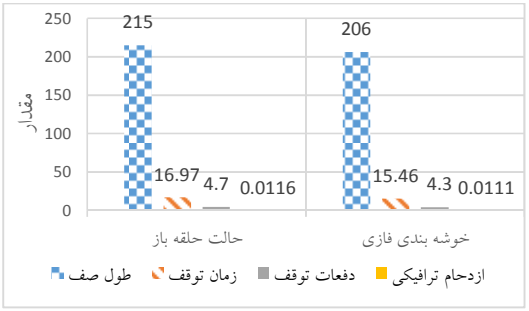
شکل ۳. مقایسه فاکتورهای ترافیکی در رمپ دوم

جدول ۴. مقایسه پارامترهای ترافیکی سیستم در دو وضعیت حلقه باز و حلقه بسته در رمپ سوم

سیستم کنترل ترافیک	مجموع طول صف (متر)	زمان توقف (ثانیه)	دفعات توقف	ازدحام ترافیکی
حالت حلقه باز	۲۳۹	۱۷/۷۶۶	۴/۵۷	۰/۰۱۰۵۰
روش فازی	۲۲۷	۱۵/۴۳۰	۴/۲۰	۰/۰۱۰۱۱
درصد بهبود	۵/۰۲	۱۳/۱۵	۸/۰۹	۳/۷۱



شکل ٤. مقایسه فاکتورهای ترافیکی در رمپ سوم



شکل ٥. مقایسه فاکتورهای ترافیکی در رمپ چهارم

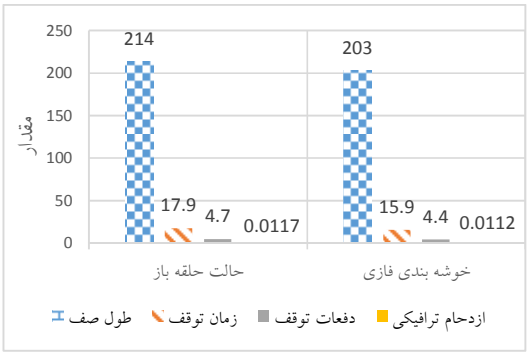
برای رمپ چهارم نیز، مطابق با جدول (٥)، میانگین فاکتورهای مجموع طول صف در رمپ، زمان توقف در رمپ، دفعات توقف و ازدحام ترافیکی، در حالت حلقه باز، به ترتیب برابر با ۲۱۵، ۱٦/۹۷٥، ٤/۷، ۰/۰۱۱٦۲ و برای روش فازی به ترتیب برابر با ۲۰٦، ۱٥/٤٦۱، ٤/۳٥، ۰/۰۱۱۱۲ شده است.

جدول ٥. مقایسه پارامترهای ترافیکی سیستم در دو وضعیت حلقه باز و حلقه بسته در رمپ چهارم

سیستم کنترل ترافیک	مجموع طول صف (متر)	زمان توقف (ثانیه)	دفعات توقف	ازدحام ترافیکی
حالت حلقه باز	۲۱٥	۱٦/۹۷٥	٤/۷	۰/۰۱۱٦۲
روش فازی	۲۰٦	۱٥/٤٦۱	٤/۳٥	۰/۰۱۱۱۲
درصد بهبود	٤/۱۸	۸/۹۲	۷/٤٤	٤/۳۰

جدول ٦. مقایسه پارامترهای ترافیکی سیستم در دو وضعیت حلقه باز و حلقه بسته در رمپ پنجم

سیستم کنترل ترافیک	مجموع طول صف (متر)	زمان توقف (ثانیه)	دفعات توقف	ازدحام ترافیکی
حالت حلقه باز	۲۱٤	۱۷/۹	٤/۷٤	۰/۰۱۱۷۲
روش فازی	۲۰۳	۱٥/۹۲	٤/٤٦	۰/۰۱۱۲۲
درصد بهبود	٥/۱٤	۱۱/۰٦	٥/۹۰	٤/۲٦



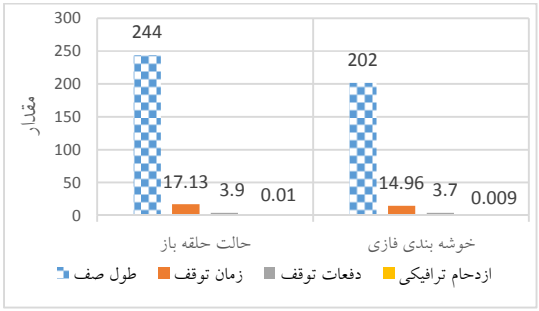
شکل ٦. مقایسه فاکتورهای ترافیکی در رمپ پنجم

میانگین فاکتورهای مجموع طول صف در رمپ، زمان توقف در رمپ، دفعات توقف و ازدحام ترافیکی برای رمپ پنجم، مطابق با جدول (٦) در حالت حلقه باز، به ترتیب برابر با ۲۱٤، ۱۷/۹، ٤/۷٤، ۰/۰۱۱۷۲ و برای روش فازی به ترتیب برابر با ۲۰۳، ۱٥/۹۲، ٤/٤٦، ۰/۰۱۱۲۲ شده است.

مطابق با جدول (۷)، میانگین فاکتورهای مجموع طول صف در رمپ، زمان توقف در رمپ، دفعات توقف و ازدحام ترافیکی برای رمپ ششم، در حالت حلقه باز، به ترتیب برابر با ۲٤٤، ۱۷/۱۳۸، ۳/۹، ۰/۰۱۰۲۳ و برای روش فازی به ترتیب برابر با ۲۰۲، ۱٤/۹٦، ۳/۷۰، ۰/۰۰۹۸٦ شده است.

جدول ۷. مقایسه پارامترهای ترافیکی سیستم در دو وضعیت حلقه باز و حلقه بسته در رمپ ششم

سیستم کنترل ترافیک	مجموع طول صف (متر)	زمان توقف (ثانیه)	دفعات توقف	ازدحام ترافیکی
حالت حلقه باز	۲۴۴	۱۷/۱۳۸	۳/۹	۰/۰۱۰۲۳
روش فازی	۲۰۲	۱۴/۹۶	۳/۷۰	۰/۰۰۹۸۶
درصد بهبود	۱۷/۲۱	۱۲/۷۱	۵/۱۲	۳/۶۲



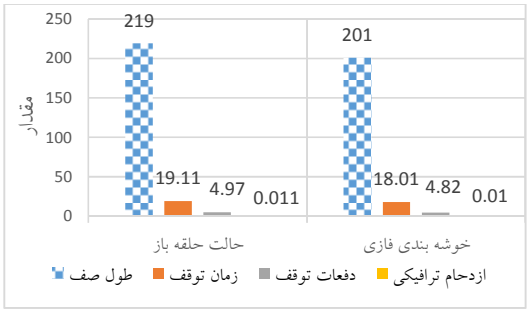
شکل ۷. مقایسه فاکتورهای ترافیکی در رمپ ششم

مطابق با جدول (۸)، میانگین فاکتورهای مجموع طول صف در رمپ، زمان توقف در رمپ، دفعات توقف و ازدحام ترافیکی برای رمپ هفتم، در حالت حلقه باز، به ترتیب برابر با ۲۱۹، ۱۹/۱۱۷، ۴/۹۷، ۰/۰۱۱۴۳ و برای روش فازی به ترتیب برابر با ۲۰۱، ۱۸/۰۱، ۴/۸۲، ۰/۰۱۰۹۲ شده است.

همان‌طور که در جدول (۹)، نشان داده شده است، میانگین فاکتورهای مجموع طول صف در رمپ، زمان توقف در رمپ، دفعات توقف و ازدحام ترافیکی برای رمپ هشتم، در حالت حلقه باز، به ترتیب برابر با ۲۰۶، ۱۸/۱۶۳، ۴/۵۷، ۰/۰۱۲۱۶ و برای روش فازی به ترتیب برابر با ۱۷۵، ۱۷/۲۲، ۴/۴۱، ۰/۰۱۱۲۹ شده است.

جدول ۸. مقایسه پارامترهای ترافیکی سیستم در دو وضعیت حلقه باز و حلقه بسته در رمپ هفتم

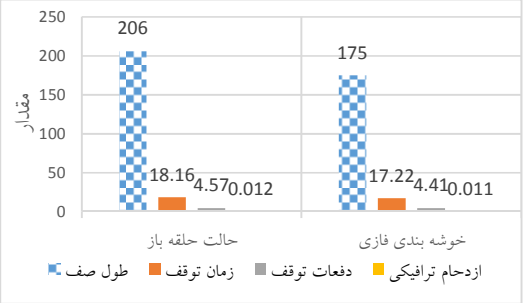
سیستم کنترل ترافیک	مجموع طول صف (متر)	زمان توقف (ثانیه)	دفعات توقف	ازدحام ترافیکی
حالت حلقه باز	۲۱۹	۱۹/۱۱۷	۴/۹۷	۰/۰۱۱۴۳
روش فازی	۲۰۱	۱۸/۰۱	۴/۸۲	۰/۰۱۰۹۲
درصد بهبود	۸/۲۱	۵/۷۹	۳/۰۱	۴/۴۶



شکل ۸. مقایسه فاکتورهای ترافیکی در رمپ هفتم

جدول ۹. مقایسه پارامترهای ترافیکی سیستم در دو وضعیت حلقه باز و حلقه بسته در رمپ هشتم

سیستم کنترل ترافیک	مجموع طول صف (متر)	زمان توقف (ثانیه)	دفعات توقف	ازدحام ترافیکی
حالت حلقه باز	۲۰۶	۱۸/۱۶۳	۴/۵۷	۰/۰۱۲۱۶
روش فازی	۱۷۵	۱۷/۲۲	۴/۴۱	۰/۰۱۱۲۹
درصد بهبود	۱۵/۰۴	۵/۱۹	۳/۵	۷/۱۵

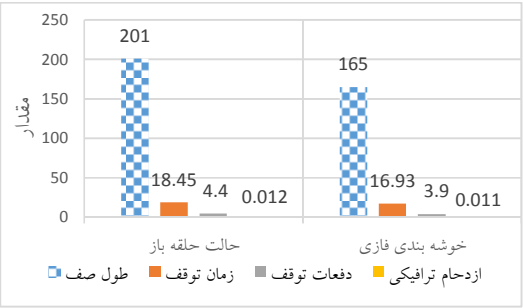


شکل ۹. مقایسه فاکتورهای ترافیکی در رمپ هشتم

میانگین فاکتورهای مجموع طول صف در رمپ، زمان توقف در رمپ، دفعات توقف و ازدحام ترافیکی برای رمپ نهم، مطابق با جدول (۱۰)، در حالت حلقه باز، به ترتیب برابر با ۲۰۱، ۱۸/٤٥٥، ٤/٤، ۰/۰۱۲٤٦ و برای روش فازی به ترتیب برابر با ۱٦٥، ۱٦/۹۳، ۳/۹۷، ۰/۰۱۱۷۳ شده است.

جدول ۱۰. مقایسه پارامترهای ترافیکی سیستم در دو وضعیت حلقه باز و حلقه بسته در رمپ نهم

سیستم کنترل ترافیک	مجموع طول صف (متر)	زمان توقف (ثانیه)	دفعات توقف	ازدحام ترافیکی
حالت حلقه باز	۲۰۱	۱۸/٤٥٥	٤/٤	۰/۰۱۲٤٦
روش فازی	۱٦٥	۱٦/۹۳	۳/۹۷	۰/۰۱۱۷۳
درصد بهبود	۱۷/۹۱	۸/۲٦	۹/۷۷	٥/۸٥

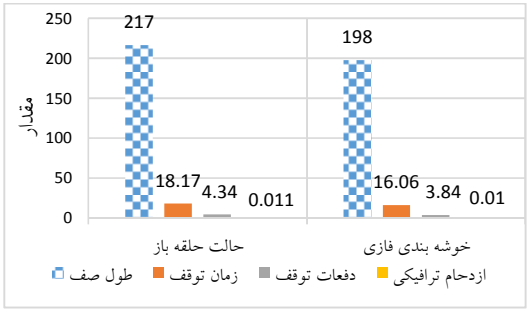


شکل ۱۰. مقایسه فاکتورهای ترافیکی در رمپ نهم

در نهایت برای رمپ دهم نیز، مطابق با جدول (۱۱)، میانگین فاکتورهای مجموع طول صف در رمپ، زمان توقف در رمپ، دفعات توقف و ازدحام ترافیکی برای رمپ دهم، در حالت حلقه باز، به ترتیب برابر با ۲۱۷، ۱۸/۱۷۹، ٤/۳٤، ۰/۰۱۱٥۱ و برای روش فازی به ترتیب برابر با ۱۹۸، ۱٦/۰٦، ۳/۸٤، ۰/۰۱۰۹۳ شده است.

جدول ۱۱. مقایسه پارامترهای ترافیکی سیستم در دو وضعیت حلقه باز و حلقه بسته در رمپ دهم

سیستم کنترل ترافیک	مجموع طول صف (متر)	زمان توقف (ثانیه)	دفعات توقف	ازدحام ترافیکی
حالت حلقه باز	۲۱۷	۱۸/۱۷۹	٤/۳٤	۰/۰۱۱٥۱
روش فازی	۱۹۸	۱٦/۰٦	۳/۸٤	۰/۰۱۰۹۳
درصد بهبود	۸/۷٥	۱۱/٦٦	۱۱/٥۲	٥/۰٤



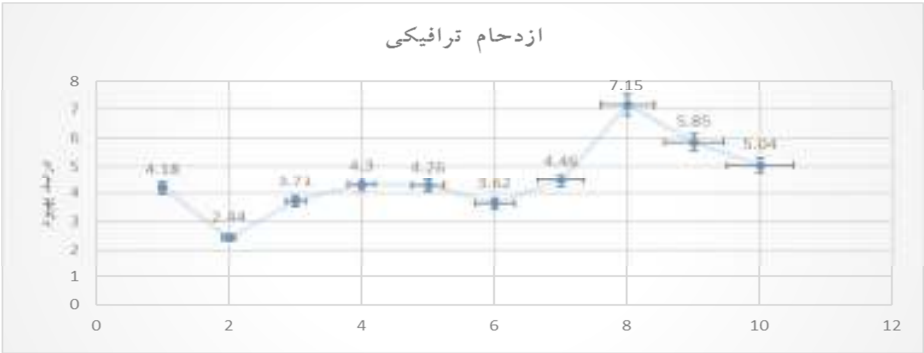
شکل ۱۱. مقایسه فاکتورهای ترافیکی در رمپ دهم

همان‌طور که در شکل‌های (۲) تا (۱۱) نشان داده شده است، هر چهار فاکتور ترافیکی مورد بررسی در حالت کنترل رمپ در وضعیت حلقه بسته نسبت به حالت حلقه باز بهبود یافته است و میانگین فاکتورهای مجموع طول صف در رمپ، زمان توقف در رمپ، دفعات توقف و ازدحام ترافیکی در حالت حلقه باز، بیشتر از حالت حلقه بسته بر اساس الگوریتم روش فازی شده است. بر اساس نتایج حاصل از بررسی کنترل ترافیک در دو روش کنترل حلقه باز و روش فازی، در تمامی رمپ‌هایی که کنترل ترافیک صورت گرفته است، به‌کارگیری روش فازی موجب بهبود طول صف، زمان و دفعات توقف و ازدحام ترافیکی در رمپ نسبت به حالت حلقه باز شده است. نتایج بهبود چهار فاکتورهای مورد بررسی به‌صورت کمّی در شکل‌های (۱۲) تا (۱۵) نشان داده شده است.

شکل ۱۲. درصد بهبود شاخص طول صف، در روش کنترل فازی نسبت به حالت حلقه باز در ۱۰ رمپ مورد بررسی در شهر اصفهان

شکل ۱۳. درصد بهبود شاخص زمان توقف، در روش کنترل فازی نسبت به حالت حلقه باز در ۱۰ رمپ مورد بررسی در شهر اصفهان

شکل ۱٤. درصد بهبود شاخص تعداد دفعات توقف، در روش کنترل فازی نسبت به حالت حلقه باز در ۱۰ رمپ مورد بررسی در شهر اصفهان



شکل ۱۵. درصد بهبود شاخص ازدحام ترافیکی، در روش کنترل فازی نسبت به حالت حلقه باز در ۱۰ رمپ مورد بررسی در شهر اصفهان

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به مدل‌سازی جریان ترافیک و کنترل اندازه‌گیری رمپ، با روش هوشمند فازی در محیط متلب پرداخته شد. خروجی نهایی برنامه متوسط زمان تأخیر خودروهایی است که در حین اجرای کنترل، از رمپ عبور کرده‌اند. این الگوریتم با حفظ سادگی و عدم پیچیدگی‌های محاسباتی، برای هوشمند کردن سیستم کنترل ترافیک و بهبود عملکرد بزرگراه‌ها تلاش می‌کند. بدین منظور، زمان و دفعات توقف، صف ترافیک خودرو و ازدحام ترافیکی مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت. پیش‌تر مدل ریاضی رفتار ترافیک در یک رمپ به دست آورده شده و سپس زمان انتظار و طول صف خودروها در بازوهای مختلف از هر رمپ تعیین شد. در این مدل پیشنهادی متغیرهای ورودی به ترتیب طول صف وسایل نقلیه در رمپ و متوسط نرخ ورود خودروها به رمپ در نظر گرفته شد. از سوی دیگر، خروجی‌های شبکه وضعیت سیگنال ترافیکی در رمپ تعیین‌شده است. در ادامه در مدل پیشنهادی متغیرهای ورودی هرکدام با سه مجموعه فازی مشخص و تعیین شدند. درنهایت، قواعد فازی ایجاد شد و پس از اجرای الگوریتم طراحی شده نتایج و تحلیل آن‌ها ارائه شد. نتایج شبیه‌سازی مدل، تحت دو حالت حلقه باز (بدون کنترل هوشمند) و حلقه بسته (کنترل هوشمند فازی) صورت گرفته و سطح فعالیت هر رمپ مشخص شد.

مطابق با نتایج به دست آمده، هر چهار فاکتور ترافیکی مورد بررسی در حالت کنترل رمپ در وضعیت حلقه بسته نسبت به حالت حلقه باز بهبود یافته است و میانگین فاکتورهای مجموع طول صف در رمپ، زمان توقف در رمپ، دفعات توقف و ازدحام ترافیکی در حالت حلقه باز، بیشتر از حالت حلقه بسته بر اساس الگوریتم روش فازی شده است؛ بنابراین بر اساس نتایج به‌دست آمده، کنترل ترافیک بر اساس روش فازی بهینه شده حدوداً ۱۰ درصد موجب کاهش طول صف در رمپ، ۹ درصد موجب کاهش زمان توقف در رمپ، ۷ درصد موجب کاهش تعداد توقفات و ۵ درصد موجب کاهش شاخص ازدحام ترافیکی رمپ‌ها در بزرگراه‌های شهر اصفهان شده است؛ بنابراین کارایی روش ارائه شده مورد تأیید قرارگرفته است.

٦- مراجع

-احمدی، ا. رحیمی، ه.، (۱۳۹۰)، "بررسی و تحلیل ظرفیت رمپ‌های ورودی و خروجی منتهی به آزادراه‌ها با ارزیابی نقش روش کنترل رمپ در کاهش تصادفات و تراکم مسیر"، شانزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک، تهران، معاونت و سازمان حمل‌ونقل ترافیک

-تیموری، م. منجم، م.، (۱۳۹۵)، "مقایسه و ارزیابی هندسی طرح لچکی پایانه رمپ‌های ورودی و خروجی بر روی سرعت و تردد بزرگراه باهدف جلوگیری از بحران ترافیکی"، مطالعه موردی بزرگراه‌های استان تهران، هشتمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران، تهران، دبیرخانه دائمی کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران.

-رحیم اف، ک. خدا رحمی، ا.، (۱۳۹٦)، "تحلیل و ارزیابی عملکرد روش کنترل رمپ در آزادراه‌های شهری با استفاده از نرم‌افزارAimsun". مطالعه موردی محور پل آیت‌الله صدر حدفاصل خیابان کاوه تا خیابان شریعتی، اولین کنفرانس ملی توسعه پایدار در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، تهران، مرکز بین‌المللی همایش‌ها و سمینارهای توسعه پایدار علوم جهان اسلام.

-رشیدی، ی. اقبالیان، ع.، (۱۳۸۸). "اثر سنجی به‌کارگیری سامانه کنترل رمپ در رمپ ورودی از بزرگراه صدر به بزرگراه مدرس با استفاده از شبیه‌سازی"، فصلنامه مطالعات مدیریت ترافیک/شماره۱۱.

-قبادی، م.، (۱۳۹٦)، "اندازه‌گذاری خطوط انتقال سرعت در رمپ‌های ورودی سواره‌رو و تقاطع جاده‌های حومه شهری"، دوازدهمین سمپوزیوم پیشرفت‌های علوم و تکنولوژی کمیسیون چهارم، سرزمین پایدار یافته‌های نوین در مهندسی عمران و محیط زیست، مشهد، موسسه آموزش عالی خاوران.

-کریمی حمزه خانی، ع. فلاح تفتی، م.، (۱۳۹٦)، "بررسی اثرات وسایل نقلیه خودکار بر عملکرد ترافیک در محدوده رمپ ورودی آزادراه‌ها"، دومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، معماری و مدیریت بحران، تهران، دانشگاه علامه مجلسی.

-مؤید فر، ر. پای وند، م.، (۱۳۹۵)، "مدل‌سازی و آنالیز کنترل ترافیک بزرگراه‌های هوشمند (AHS)، کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، تهران، دبیرخانه دائمی کنفرانس.

-نبی‌پور، س. کرمانشاهی، ش. دیواندری، ح.، (۱۳۹۶)، "تحلیل و ارزیابی عملکرد کنترل رمپ در بزرگراه شهید همت به بزرگراه شهید چمران با نرم‌افزار شبیه‌سازی ترافیکیAIMSUN"، اولین کنفرانس بین‌المللی پیشرفت‌های نوین در مهندسی عمران، آمل، دانشگاه شمال –معاونت فرهنگی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری.

-رحیمی، ا. اسدی، م. بیات، ف.، (۱۳۹۶)، "مدل‌سازی چگالی محدوده تحت تأثیر رمپ‌های خروجی آزادراه زنجان–قزوین"، با استفاده از اطلاعات محلی، هفدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران، معاونت و سازمان حمل‌ونقل ترافیک.

-Alexakis, T., Peppes, N., Adamopoulou, E., & Demestichas, K., (2021), "An Artificial Intelligence-Based Approach for the Controlled Access Ramp Metering Problem", Vehicles, 3(1), pp.63-83.

-Bogenberger, K., Keller, H., & Ritchie, S. G., (2001), "Adaptive fuzzy systems for traffic responsive and coordinated ramp metering".

-Fan, H., Jia, B., Tian, J., & Yun, L., (2014), "Characteristics of traffic flow at a non-signalized intersection in the framework of game theory. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications", pp.415, 172-180.

-Gangwani, D., & Gangwani, P., (2021), "Applications of Machine Learning and Artificial Intelligence in Intelligent Transportation System: A Review", Applications of Artificial Intelligence and Machine Learning, pp.203-216.

-Grether, D., Neumann, A., & Nagel, K., (2012), "Simulation of urban traffic control: A queue model approach", Procedia Computer Science, 10, pp.808-814.

-"Google Earth", Google. Retrieved, Satellite map (2017 Nov 11).

-Ledoux, C., (1997), "An urban traffic flow model integrating neural networks", "Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 5(5), pp.287-300.

-Li, J., Pan, X., & Wang, X., (2007), "State-space equations and the first-phase algorithm for signal control of single intersections", Tsinghua Science and Technology, 12(2), pp.231-235.

-Taylor, C., Meldrum, D., & Jacobson, L., (1998), "Fuzzy ramp metering: Design overview and simulation results", Transportation Research Record, 1634(1), pp.10-18.

-Taylor, C. E., & Meldrum, D. R., (2000), "Evaluation of a fuzzy logic ramp metering algorithm: a comparative study among three ramp metering algorithms used in the greater Seattle area (No. WA-RD 481.2,)", Washington State Department of Transportation.

-Zhang, L., & Levinson, D., (2010), "Ramp metering and freeway bottleneck capacity", Transportation Research Part A: Policy and Practice, 44(4), pp.218-235.

Macroscopic Traffic Flow Modeling and Ramp Metering Control Using Fuzzy Method

Pedram Mehrabi, M.Sc., Grad., Civil Engineering, Islamic Azad University of Najafabad Branch, Isfahan, Iran.

Amir Hossein Pakshir, Assistant Professor, Civil engineering, Civil faculty, Islamic Azad University of Lenjan, Isfahan, Iran.

E-mail: pedix.thc@gmail.com

Received: July 2022- Accepted: November 2022

ABSTRACT

These days, the problem of traffic and traffic congestion on crowded streets has become an integral part of life in metropolitan areas. Intelligent traffic control will be crucial as the number of continuous road users increases and the resources provided by the current infrastructure are limited. The purpose of this study is to model traffic flow and control ramp measurement using fuzzy method; to achieve this goal, traffic ramps at the entrances are used to regulate access to the main corridor of the highway or freeway, in order to maintain the flow close to the capacity of the highway. In this research, by presenting a new solution, modeling traffic flow and controlling ramp measurement has been done by fuzzy intelligent method in MATLAB software environment. Data collection was performed using field method and on the highways of Isfahan. This algorithm tries to make the ramp control system intelligent by maintaining simplicity and non-computational complexity. According to the information received from the vehicle, which are located at certain distances from each ramp, the queue length, vehicle entry rate and demand level of each ramp are measured, and then the controller determines the minimum time and phase of the ramp according to this information. According to the obtained results, the average intensity of the factors of total queue length in the ramp, stop time in the ramp, stopping times and traffic congestion in the open loop mode is higher than the closed loop mode based on the fuzzy method algorithm.

Keywords: Fuzzy Method, Highway Capacity, Ramp Measurement Control, Vehicle Entry Rate, MATLAB Software