فصلنامه مهندسی ترافیک، سال بیست و چهارم، شماره ۹۷، تابستان ۱۴۰۳، ص. ۱۴-۱

بررسی تأثیر اقدامات هوشمند سازی در بهبود عملکرد بزرگراه‌های درون‌شهری (مطالعه موردی بزرگراه همت)

حمیدرضا پرتوی فر (مسئول مکاتبات)، کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

E-mail: ha.partovi@gmail.com

محمد بیدادیان، کارشناسی ارشد راه و ترابری، تهران، ایران

آرش عباسی، دانشجوی دکتری مدیریت ساخت، دانشگاه آزاد ارومیه، ارومیه، ایران

مرجان جوادزاده، کارشناسی ارشد معماری، دانشگاه آزاد زنجان، زنجان، ایران

البرز فیروزی، کارشناسی ارشد مدیریت پروژه و ساخت دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

هدف از انجام این پژوهش بررسی میزان بهبود عملکرد بزرگراه شهید همت غرب به شرق حدفاصل بزرگراه حقانی تا بزرگراه صیاد شیرازی با استفاده از اقدامات هوشمند سازی و طرح هندسی است. ابتدا احجام ترافیکی وسایل عبوری به تفکیک سبک و سنگین برداشت شده است و اطلاعات ترافیکی شامل PHF و ساعت اوج از اطلاعات احجام ترافیکی اخذ شده است. در مرحله بعد سرعت وسایل، تعداد خطوط عبوری و عرض خطوط برداشت شده است. پس از ارزیابی وضع فعلی محدوده موردتحقیق با شاخص‌های تأخیر، سرعت، زمان سفر و مسافت پیموده شده، با ارائه راهکارهای هوشمند سازی و زمان‌بندی رمپ ورودی به بزرگراه همت و همچنین راهکارهای افزایش ایمنی شبکه موردتحقیق ارزیابی و میزان بهبود هریک از شاخص‌ها و همچنین تجمیع شاخص‌های ارزیابی در یک شاخص تجمیعی (ترکیب و وزن دهی به شاخص‌های تأخیر، سرعت و زمان سفر)، میزان اثرپذیری راهکارهای پیشنهادی موردبررسی قرار گرفته است. میزان تغییرات شاخص‌های ارزیابی در مقایسه با وضع فعلی (بدون اعمال راهکارهای هوشمند سازی) سبب کاهش تأخیر به میزان ۲۵ درصد برای سناریو سه و افزایش سرعت به میزان ۷۷ درصد برای سناریو سه شده است. در مقایسه بین سناریوهای مختلف، میزان بهبود برای شاخص‌های تأخیر، سرعت، زمان سفر، مصرف سوخت و انتشار آلاینده‌ها در سناریو سه (افزایش خط و رمپ مترینگ) بهبود بیشتری نسبت به دو گزینه اول داشته است. در حالت بعد از کالیبره نمودن نرم‌افزار که نتایج قابل‌اعتمادتر است، راه‌حل افزایش خط و رمپ مترینگ نتایج بهتری نسبت به راه‌حل افزایش خط دارد و در مقایسه بین سناریوهای یک و دو نتایج راه‌حل دو عملکرد بهتری دارد.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی ترافیکی، هوشمند سازی، بزرگراه همت

۱. مقدمه

تحولات سریع در فن‌آوری و ظهور آن در عصر ارتباطات و اطلاع‌رسانی، تأثیرات چشمگیری بر جوامع گذاشته است. با مروری ساده بر وضعیت حمل‌ونقل کشور طی سالیان اخیر مشخص می‌گردد، علیرغم سرمایه‌گذاری کلان و ساخت راه‌های جدید، همچنان مشکلاتی از قبیل تراکم، تصادف، آلودگی‌های زیست‌محیطی و غیره روبه افزایش است. ترافیک در شهرهای بزرگ به یکی از مشکلات روبه رشد تبدیل شده است و سیستم‌های موجود در بزرگراه‌ها در حال حاضر مشکلات فراوانی دارند که یکی از مهم‌ترین مشکلات آن‌ها ترافیک است بنابراین ضروری است که سیستم‌های هوشمند ارائه شود که بتواند این مشکلات را مدیریت کند. حمل‌ونقل هوشمند سیستمی است که در آن فناوری مدرن در رشته‌های مختلف به‌طور جمعی مورداستفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق به بررسی مدل الویت بندی مجموعه‌ای از اقدامات هوشمند سازی و طرح هندسی در بزرگراه‌های درون‌شهری (مطالعه موردی بزرگراه همت) پرداخته می‌شود.

با توجه به اهمیت مسئله ترافیک در شهرها، لزوم توجه به مشکلات ترافیکی در شهرها که در پی رشد جمعیت شهرنشین و همچنین اندازه شهرها، به یکی از مهم‌ترین معضلات شهرنشینان بدل گشته است؛ بنابراین بکار گیری ابزارهای مدیریت ترافیک به‌منظور بهبود وضعیت ترافیکی ضروری است. سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل در صورت عملکرد صحیح، اعتماد مردم به شبکه حمل‌ونقل را افزایش داده و با بهینه‌سازی مجموعه سیستم حمل‌ونقل شهر و کشور (با توجه به حجم عظیم سفرهای روزانه) سالانه مقدار قابل‌توجهی صرفه‌جویی اقتصادی برای مردم و دولت در بردارد. از طرفی این سیستم‌ها در بسیاری موارد (به‌وسیله اولویت‌دهی به خودروهای خاص) سهولت امدادرسانی در مواقع اضطراری را سبب می‌شوند. در صورت وجود سیستم‌های مختلف، با اهداف و عملکردهای معین، در شبکه حمل‌ونقل ارتباط و هماهنگی بین آن‌ها افزایش بهره‌وری در کل مجموعه را سبب می‌شود و در مقابل عدم ارتباط و هماهنگی آن‌ها مشکلات بسیاری هم فراهم می‌شود.

۲. ادبیات پژوهش

رنجبر و ندیمی سال ۱۳۹۶ رتبه‌بندی شیوه‌های هوشمند سازی کنترل و هدایت جریان ترافیک، جهت افزایش ایمنی و کارایی تردد در ایران با استفاده از روش تاپسیس فازی بررسی کردند. سیستم دوربین‌های هوشمند ثبت تردد، سیستم ارتباط بین خودرویی، سیستم‌های دستیار راننده و خودروهای خودکار و نیمه‌خودکار از نمونه‌های سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند بوده که در چند سال اخیر سرمایه‌گذاری‌های گسترده به‌منظور اجرایی نمودن این سیستم‌ها صورت گرفته است.

بانی یونی[1] (۲۰۱۵) در پژوهشی به بررسی الگوریتم برنامه‌ریزی نور چراغ هوشمند از طریق روش سیگنال‌های ترافیکی پرداختند. سیگنال‌های ترافیکی جهت امنیت بیشتر در رانندگی در تقاطع‌های جاده ضروری هستند. آن‌ها باعث کنترل و مدیریت ترافیک به دلیل تأخیر در صف در جریان ترافیک می شود. یک الگوریتم هوشمند کنترل نور ترافیک[2] (را معرفی شد. این الگوریتم ویژگی‌های ترافیکی زمان واقعی هر جریان ترافیکی را که قصد عبور از تقاطع جاده‌ای موردتوجه است را در نظر می‌گیرد، درحالی‌که زمان‌بندی فازهای زمان هر چراغ راهنمایی را برنامه‌ریزی می‌کند. الگوریتم معرفی‌شده با هدف کاهش زمان انتظار از وسایل نقلیه مسافری در تقاطع‌های جاده‌ای سیگنال شده است. هدف آن افزایش تعداد وسایل نقلیه عبور از تقاطع جاده در هر ثانیه است. در مورد عملکرد الگوریتم هوشمند کنترل نور ترافیک گزارش کرده و الگوریتم هوشمند کنترل نور ترافیک را با الگوریتم‌های قبلی در این زمینه برای سناریوهای شبیه‌سازی‌شده مقایسه شده بود. از نتایج تجربی، الگوریتم هوشمند کنترل نور ترافیک تأخیر صفر را کاهش می‌دهد و ترافیکی را ۲۵٪ بیشتر نسبت به برنامه‌های سیگنال قبلی ترافیک افزایش می‌دهد.

روبرتو یوکویاما[۳] و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی به بررسی و برنامه‌ریزی برای مدیریت و کنترل ترافیک از طریق یک سیستم حمل‌ونقل هوشمند پرداختند. حمل‌ونقل مشکلی عظیم در شهرهای بزرگ است. یکی از دلایل اصلی تراکم و ازدحام، افزایش ناگهانی ترافیک خودرو در ساعات پیک است. با توجه به این موضوع، یک سیستم ترافیکی هوشمند به نام CHIMERA را پیشنهاد شد که به‌طورکلی استفاده فضای شبکه‌ی جاده‌ای را بهبود می‌بخشد و هم‌چنین هزینه‌های سفر وسیله نقلیه را کاهش می‌دهد و مشکل ترافیک تااندازه‌ای حل می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که پیشنهاد در پیش‌بینی تراکم و ازدحام بیشتر کاربرد دارد و می‌تواند به‌طور مناسب مسیریابی مسیر را انجام دهد و ترافیک در منطقه مدیریت و کنترل می‌شود.

لی[٤] و همکاران سال ۲۰۱۷ توسعه امنیت سایبری برای مدیریت کارآمدی ترافیک و ایمنی در شهرهای هوشمند را بررسی کردند. ارتقای مفهوم شهرهای هوشمند برای انجام مدیریت هوشمند تراکم ترافیک و کاهش دغدغه‌های امنیت سایبری، نه‌تنها برای کاهش تراکم ترافیک، کارآمدتر خواهد بود، بلکه در زمینه حوادث سایبری، منعطف‌تر است. توسعه و آزمایش یک شبیه‌سازی مورد همکاری برای ارزیابی عملکرد مدیریت ترافیک، تحت شرایط متعدد ترافیک، اعتبارسنجی و نمایش کاربردها در یک سیستم عملیاتی حمل‌ونقل شهری، انتشار نتایج بررسی پیشنهادی در دامنه گسترده‌ای از مخاطبان با کمک جلسات گروهی، نشست‌های آموزشی و همکاری نزدیک با اولیای محلی مدیریت ترافیک انجام شده است.

محمد شهادا و همکاران[٥] (۲۰۱۹) در مقاله‌ای به بررسی تأثیر رمپ مترینگ بر روی زمان سفر از طریق شبیه‌سازی پرداختند. در این مقاله، دو الگوریتم اندازه‌گیری رمپ مشهور، محلی (ALINEA) و یک سیستم گسترده (HERO) با توجه به چندین اقدامات عملکردی، ازجمله قابلیت اطمینان زمان سفر، طول صف و مدت‌زمان تراکم موردبررسی قرار گرفت. قابلیت اطمینان زمان سفر از طریق احتمال تجمعی زمان سفر و شاخص زمان سفر اندازه‌گیری شد. در چارچوب این مطالعه، قابلیت اطمینان زمان سفر برای ارزیابی تأثیر اندازه‌گیری سطح شیب‌دار برای انواع مطالبات مهم است. ارزیابی از طریق شبیه‌سازی در VISSIM یک آزادراه به طول ۸ مایل در شهر کانزاس، کالیفرنیا انجام شد.

الام[٦] و همکاران سال ۲۰۱۹ پیش‌بینی جریان ترافیک با تحلیل رگرسیون را بررسی کردند. در این پژوهش، داده‌های ترافیکی زمان–واقعی را در شهر پورتوی پرتغال جمع‌آوری کرده‌اند و ۵ مدل رگرسیون را به کار گرفته‌اند: رگرسیون خطی، رگرسیون بهینه‌سازی حداقلی ترتیبی(SMO)[۷]، پرسپترون چندلایه و درخت مدل M5P. این کار به‌منظور پیش‌بینی جریان ترافیک شهر پورتو انجام شد. ما عملکرد این مدل‌های رگرسیون را مورد آزمایش قرار داده‌ایم. نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد که درخت رگرسیون M5P بهتر از مدل‌های رگرسیون دیگر است.

ژو[۸] و همکاران سال ۲۰۲۳ کنترل هوشمند چراغ راهنمایی با هدف کاهش تراکم ترافیک انجام می‌شود. برخی از الگوریتم‌های یادگیری تقویتی عمیق چندعاملی برای پیشنهاد شده‌اند و بیشتر آن‌ها از شبکه‌های عصبی عمیق برای تصمیم‌گیری استفاده می‌کنند. بااین‌حال، پارامترهای فراوان ساختار عمیق منجر به فرآیند آموزش زمان‌بر می‌شود. در این تحقیق یک رویکرد یادگیری تقویتی گسترده برای بهبود کارایی آموزش برای یک عامل پیشنهاد شده است. برخلاف الگوریتم‌های قبلی که از معماری عمیق استفاده می‌کنند، در این تحقیق از یک معماری گسترده استفاده می‌کند. در این مقاله، یک الگوریتم یادگیری تقویت گسترده چندعاملی پیشنهاد شده است. الگوریتم از شبکه گسترده برای پردازش اطلاعات مشترک استفاده می‌کند و پارامترها را با استفاده از رگرسیون به‌روز می‌کند. برای افزایش اثربخشی تعامل بین عوامل، یک مکانیسم تعامل پویا بر اساس مکانیسم توجه طراحی می‌کنیم.

عوامل را قادر می‌سازد تا اطلاعات مربوط به تقاطع‌های خاص را در لحظات مناسب جمع‌آوری کنند.

تومار و همکاران در سال ۲۰۲۲ به بررسی نقش کلیدی فناوری کنترل سیگنال ترافیک در زمان واقعی در مدیریت ازدحام در تقاطع‌های جاده‌ای در شهرهای هوشمند می‌پردازد. علاوه بر این، در این تحقیق یک بحث روشنگر در مورد چندین مقاله تحقیقاتی همگام‌سازی چراغ راهنمایی برای برجسته کردن عملی بودن شبکه‌سازی سیگنال‌های ترافیکی یک منطقه ارائه شده است و مزایای همگام‌سازی سیگنال‌های ترافیکی در مسیرهای پرتردد مختلف برای جریان روان ترافیک در تقاطع‌ها را بررسی می‌کند.

۳. روش پژوهش

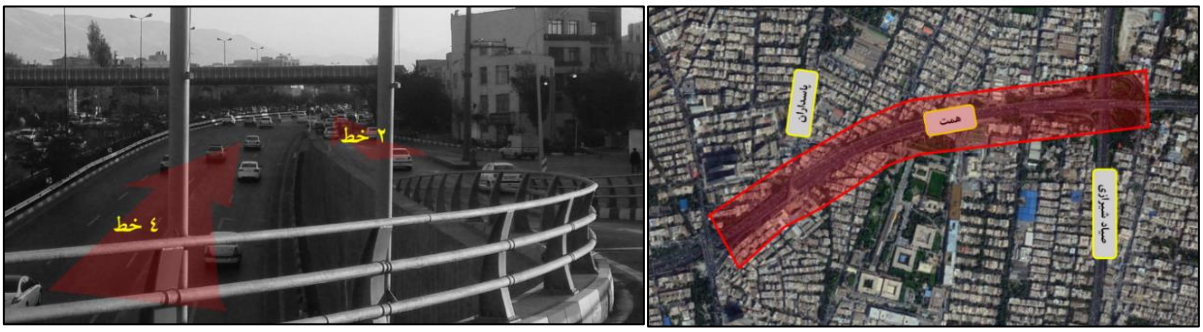
با توجه به موضوع تحقیق در مرحله اول محدوده موردتحقیق شامل بزرگراه شهید همت غرب به شرق حدفاصل بزرگراه حقانی تا بزرگراه صیاد شیرازی موردبررسی قرار گرفته است. ابتدا احجام ترافیکی وسایل عبوری به تفکیک سبک و سنگین برداشت شده است و اطلاعات ترافیکی شامل PHF و ساعت اوج از اطلاعات احجام ترافیکی اخذ شده است. در مرحله بعد سرعت وسایل، تعداد خطوط عبوری و عرض خطوط برداشت شده است. در مرحله بعد پس از ترسیم شبکه موردتحقیق، اطلاعات برداشتی شامل احجام معادل سواری، سرعت و ظرفیت وارد نرم‌افزار Aimsun شده است. پس از ارزیابی وضع فعلی محدوده موردتحقیق با شاخص‌های تأخیر، سرعت، زمان سفر و مسافت پیموده شده، با ارائه راهکارهای هوشمند سازی و زمان‌بندی رمپ ورودی به همت و همچنین راهکارهای افزایش ایمنی شبکه موردتحقیق ارزیابی و میزان بهبود هریک از شاخص‌ها و همچنین تجمیع شاخص‌های ارزیابی در یک شاخص تجمیعی، میزان اثرپذیری راهکارهای پیشنهادی موردبررسی قرار گرفته است. در مرحله بعد کالیبراسیون با استفاده از ضرایب ارائه‌شده در دستورالعمل سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری تهران و طول صف انجام شده است. در این مرحله نتایج برای بعد از کالیبره نمودن مقایسه شده است و خروجی‌های ذیل اخذ شده است:

- تأخیر (ثانیه بر کیلومتر)، سرعت (کیلومتر بر ساعت)، زمان سفر متوسط (ثانیه بر کیلومتر)، کل زمان سفر (ساعت) و مسافت پیموده شده (کیلومتر)
- مصرف سوخت (لیتر)
- میزان تولید آلاینده CO_2 (کیلوگرم)، PM (کیلوگرم)، Nox (کیلوگرم)

در مرحله اول پس از ترسیم شبکه محدوده موردتحقیق شامل معابر و دسترسی‌های منتهی به بزرگراه همت در محدوده موردتحقیق انجام شده است. سپس پس از تعیین جهات حرکتی و مشخصات معابر نظیر سرعت، ظرفیت ساعتی عبوری و عرض، نحوه کنترل گره‌های وضع موجود نظیر کنترل با قوانین راهنمایی و رانندگی نظیر حق تقدم و یا ایست وارد شده است. در مرحله بعد مشخصات وسایل عبوری بر اساس شرایط ایران و کالیبره نمودن وسایل انجام‌شده در آیین‌نامه دانشگاه علم و صنعت ایران، نظیر طول وسایل، عرض وسایل، بیشینه و کمینه سرعت، شتاب وسایل و ... به نرم‌افزار وارد شده است. در مرحله بعد احجام معادل سواری ساعت اوج در قالب ماتریس مبدأ مقصدی و احجام دسترسی‌های ورودی و خروجی همچنین حرکات واگرد وارد شده است. پس از تعیین خروجی‌های موردنیاز سناریوهای دینامیک و میان نگر موردتحقیق تعریف‌شده و بر اساس تعداد اجراهای شبیه‌سازی خروجی‌های عددی و گرافیکی نظیر تأخیر، سرعت هارمونیک، زمان سفر کل و متوسط، همچنین مسافت طی شده و میزان مصرف سوخت و تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی از نرم‌افزار گرفته شده است و با توجه به تعریف سطح سرویس بر اساس آیین‌نامه HCM2016، سطح سرویس معابر به تفکیک مقاطع و همچنین V/C خروجی گرفته شده است. ذکر این نکته ضروری است که ورژن نرم‌افزار Aimsun مورداستفاده نسخه ۸ است. در ذیل روند تحقیق آورده شده است.

محدوده موردتحقیق بزرگراه شهید همت از بزرگراه شهید حقانی تا بزرگراه شهید صیاد شیرازی است. در مسیر غرب به شرق بزرگراه همت بعد از معبر پاسداران، یک رمپ ورودی به بزرگراه با دو خط وجود دارد که حجم زیادی از وسایل نقلیه را به این مقطع از بزرگراه همت وارد می‌کند.

شکل ۱. تداخل حجم بالای مسیر غرب به شرق همت با حجم بالای رمپ ورودی بعد از معبر پاسداران



شکل ۲. نمایی از محل مقطع رمپ ورودی به بزرگراه همت (کاهش خط از شش خط به چهار خط)

با توجه به برداشت‌های انجام‌شده، ساعت ۱۷:۰۰ تا ۱۸:۰۰ به‌عنوان ساعت اوج در بررسی‌ها منظور می‌شود. حجم‌های برداشت‌شده در ایستگاه‌های مختلف در ساعت اوج ذکرشده، در شکل زیر به تصویر کشیده شده است.

شکل ۳. حجم برداشت‌شده در ساعت اوج عصر (۱۷:۰۰ تا ۱۸:۰۰)

در این بخش با توجه به امکان‌سنجی اولیه راهکارها، سناریوهای نهایی ساماندهی و بهبود وضعیت ترافیکی در قالب سه سناریوی زیر مورد شبیه‌سازی و مقایسه نتایج قرار گرفته است.

- **سناریوی اول:** اجرای رمپ میترینگ برای رمپ ورودی به همت
- **سناریوی دوم:** افزودن یک خط به بزرگراه همت در محدوده باغ مهران (از رمپ ورودی بعد از پاسداران تا رمپ خروجی به صیاد شیرازی شمال به جنوب) و افزودن یک خط به بزرگراه همت محدوده در تقاطع صیاد شیرازی (بعد از لوپ خروجی به صیاد جنوب به شمال تا رمپ وردی از صیاد جنوب به شمال)
- **سناریوی سوم:** افزودن یک خط به بزرگراه همت در محدوده باغ مهران (از رمپ ورودی بعد از پاسداران تا رمپ خروجی به صیاد شیرازی شمال به جنوب) و افزودن یک خط به بزرگراه همت محدوده در تقاطع صیاد شیرازی (بعد از لوپ خروجی به صیاد جنوب به شمال تا رمپ وردی از صیاد جنوب به شمال) و اجرای رمپ میترینگ برای رمپ ورودی به همت

٤. تحلیل داده‌ها

با توجه به ورود اطلاعات ضرایب اصلاحی و کنترل طول صف برداشتی و شبیه‌سازی‌شده، نتایج برای وضع موجود و سناریو زمان‌بندی رمپ و همچنین افزایش خط نشان داده شده است.

جدول ۱. نتایج شبیه‌سازی سناریوهای پیشنهادی (شاخص ترافیکی)

شاخص		بعد از کالیبراسیون			
		وضع موجود	راه حل یک تحقیق رمپ مترینگ	راه حل دو تحقیق افزایش خط و تعریض خطوط	راه حل سه تحقیق افزایش خط، تعریض و رمپ‌مترینگ
sec/km	تاخیر	۳۴۳.۸	۲۹۴.۷	۲۹۰.۱	۲۵۷.۷
km/h	سرعت	۱۷.۸	۲۶.۹	۲۲.۰	۳۱.۵
km	مسافت پیموده شده	۱۹۲۸۶.۸	۲۳۶۰۴.۰	۲۰۳۹۱.۷	۲۳۴۵۸.۶
h	مجموع زمان سفر	۱۵۹۵.۰	۱۳۷۹.۸	۱۲۹۱.۹	۱۰۷۰.۴
sec/km	زمان سفر	۳۹۰.۸	۳۴۱.۴	۳۳۵.۲	۳۰۷.۰

جدول ۲. نتایج شبیه‌سازی سناریوهای پیشنهادی (شاخص مصرف سوخت و آلاینده)

شاخص		بعد از کالیبراسیون			
		وضع موجود	راه حل یک تحقیق رمپ مترینگ	راه حل دو تحقیق افزایش خط و تعریض خطوط	راه حل سه تحقیق افزایش خط، تعریض و رمپ‌مترینگ
شاخص های ارزیابی ترافیکی	کل زمان سفر (ساعت)	۱۵۹۵.۰	۱۳۷۹.۸	۱۲۹۱.۹	۱۰۳۵.۸
	مصرف سوخت (لیتر)	۳.۸	۲.۴	۲.۸	۲۴۹۵.۹
	CO۲ (کیلوگرم)	۷۵۱۸.۸	۶۶۱۴.۱	۶۶۶۶.۸	۵۳۹۴.۷
	PM (کیلوگرم)	۱.۸۵۲۳	۱.۲۸۴۲	۱.۵۰۴۹	۰.۷۳۰۲
	Nox (کیلوگرم)	۱۱.۵۶۵	۱۲.۲۸۹	۱۱.۱۷۹	۱۱.۵۴۵

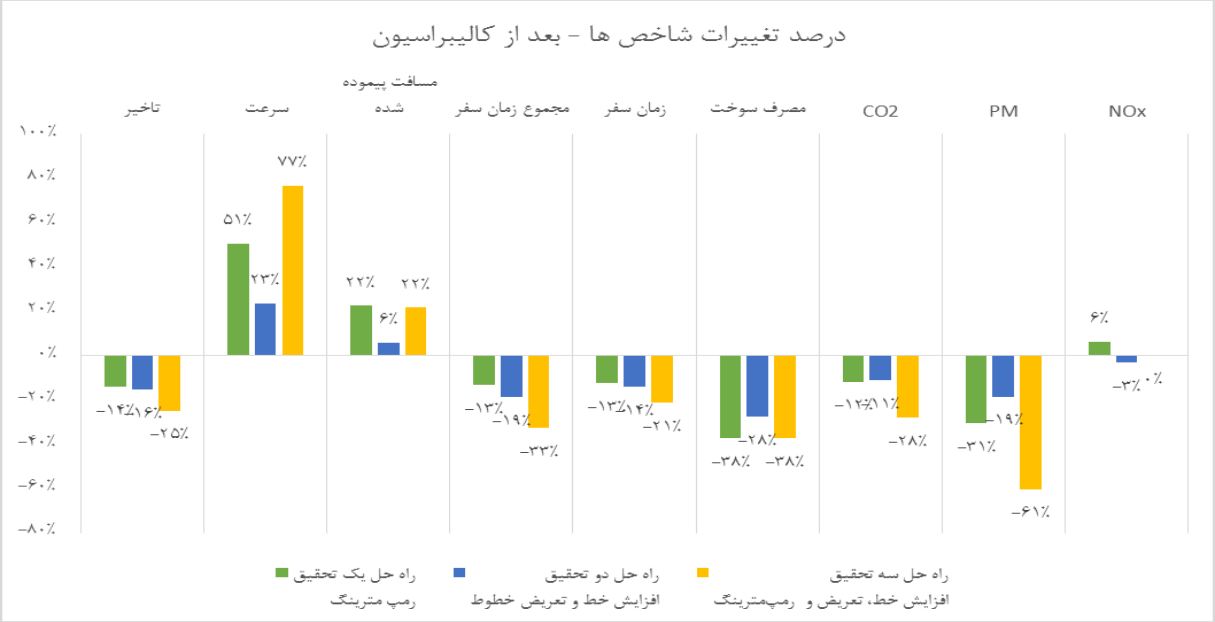
شکل ٤. شاخص گرافیکی تأخیر (راه‌حل افزایش خط و رمپ مترینگ) – بعد کالیبره نمودن

شکل ۵. مقایسه شاخص تأخیر و سرعت- بعد کالیبره نمودن

در ادامه درصد تغییرات هریک از شاخص‌های مقایسه عملکرد برای بعد از کالیبره نمودن آورده شده است:

جدول ۳. درصد تغییرات نتایج قبل و بعد از کالیبره نمودن

شاخص بعد کالیبره نمودن		راه‌حل یک تحقیق رمپ مترینگ	راه‌حل دو تحقیق افزایش خط و تعریض خطوط	راه‌حل سه تحقیق افزایش خط، تعریض و رمپ‌مترینگ
sec/km	تأخیر	٪۱٤-	٪۱٦-	٪۲۵-
km/h	سرعت	٪۵۱	٪۲۳	٪۷۷
km	مسافت پیموده شده	٪۲۲	٪٦	٪۲۲
h	مجموع زمان سفر	٪۱۳-	٪۱۹-	٪۳۳-
sec/km	زمان سفر	٪۱۳-	٪۱٤-	٪۲۱-
لیتر	مصرف سوخت	٪۳۸-	٪۲۸-	٪۳۸-
کیلوگرم	CO_2	٪۱۲-	٪۱۱-	٪۲۸-
کیلوگرم	PM	٪۳۱-	٪۱۹-	٪٦۱-
کیلوگرم	NOx	٪٦	٪۳-	٪۰



شکل ٦. مقایسه درصد تغییرات شاخص‌ها برای سناریو یک و دو (بعد از کالیبره نمودن)

برای راه‌حل‌های یک تا سه تمامی شاخص‌های تأخیر، سرعت، زمان سفر، مصرف سوخت و آلاینده‌ها بهبود پیدا کرده است ولی شاخص مسافت پیموده شده در شبکه افزایش پیدا کرده است و عملکرد ضعیف‌تر شده است. در مقایسه بین راه‌حل‌های پیشنهادی، میزان بهبود شاخص تأخیر در راه‌حل سه (افزایش خط و رمپ مترینگ) بهبود بیشتری نسبت به دو راه‌حل اول داشته است. همچنین این میزان بهبود برای شاخص‌های سرعت، زمان سفر، مصرف سوخت، آلاینده‌ها میزان بهبود شاخص تأخیر در راه‌حل سه (افزایش خط و رمپ مترینگ) بهبود بیشتری نسبت به دو راه‌حل اول داشته است. برای حالت قبل از کالیبره نمودن نرم‌افزار، عملکرد راه‌حل یک نسبت به راه‌حل دو و همچنین راه‌حل دو نسبت به راه‌حل سه عملکرد بهتری دارد. در حالت بعد از کالیبره نمودن نرم‌افزار که نتایج قابل‌اعتمادتر است، راه‌حل سه (افزایش خط و رمپ مترینگ) نتایج بهتری نسبت به راه‌حل دو (افزایش خط) دارد و در مقایسه بین راه‌حل یک و دو نتایج راه‌حل دو عملکرد بهتری دارد. در ادامه شاخص کلی تعریف شده است.

$$\text{شاخص کلی} = \text{تأخیر} \times ٤ - \text{سرعت} \times ٣ + \text{متوسط زمان سفر} \times ٢ + \text{مسافت پیموده شده} \times ٢ + \text{مجموع زمان سفر} \times ٢$$

جدول ٤. شاخص تجمیعی (بعد از کالیبره نمودن)

سناریو یک	سناریو دو	سناریو سه
رمپ مترینگ	افزایش تعداد خط	افزایش تعداد خط و مترینگ
بعد کالیبره نمودن	بعد کالیبره نمودن	قبل کالیبره نمودن
- ٢/٠	- ١/٧	- ٣/٦

*اعداد منفی‌تر نشان‌دهنده بهبود عملکرد است.

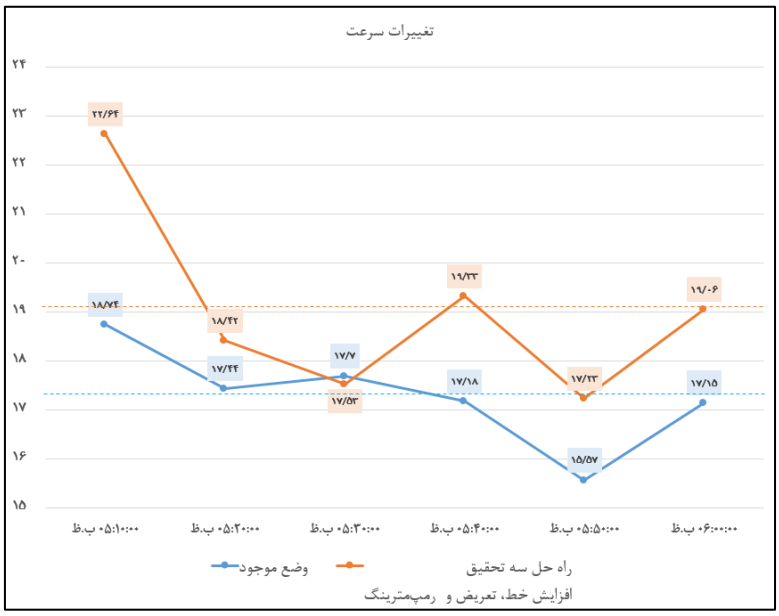
در حالت بعد از کالیبره نمودن نرم‌افزار که نتایج قابل‌اعتمادتر است، راه‌حل سه (افزایش خط و رمپ مترینگ) نتایج بهتری نسبت به راه‌حل دو (افزایش خط) دارد و در مقایسه بین راه‌حل یک و دو نتایج راه‌حل دو عملکرد بهتری دارد.

در ذیل روند کلی سرعت وسایل عبوری از شناساگر در محدوده بزرگراه همت قبل از رمپ ورودی پاسداران در حالت

قبل و بعد از استفاده از راهکارهای هوشمند سازی آورده شده است. در ادامه بررسی سرعت، سرفاصله زمانی، اشغال شناساگر (Occupancy) و تعداد وسیله عبوری از شناساگر نشان داده در شکل آورده شده است.

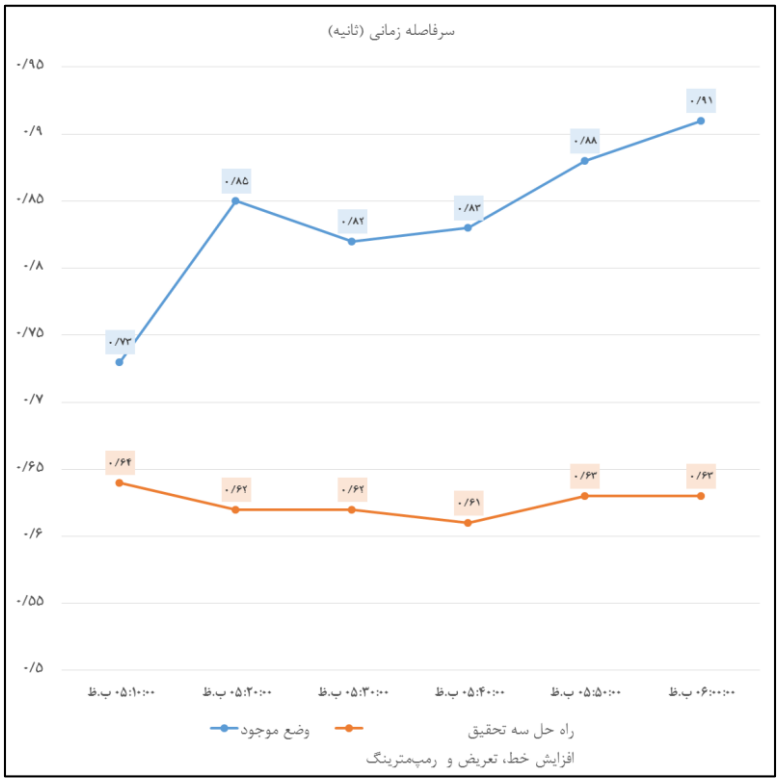
شکل ۷. موقعیت شناساگر (همت غرب به شرق قبل از رمپ پاسداران)

همان‌طور که مشاهده می‌شود میانگین سرعت وسایل عبوری قبل ۱۷/۳٤ کیلومتر بر ساعت و بعد از اعمال راهکارها ۱۹/۱ کیلومتر بر ساعت است که نشان‌دهنده افزایش ۱۰ درصد است.



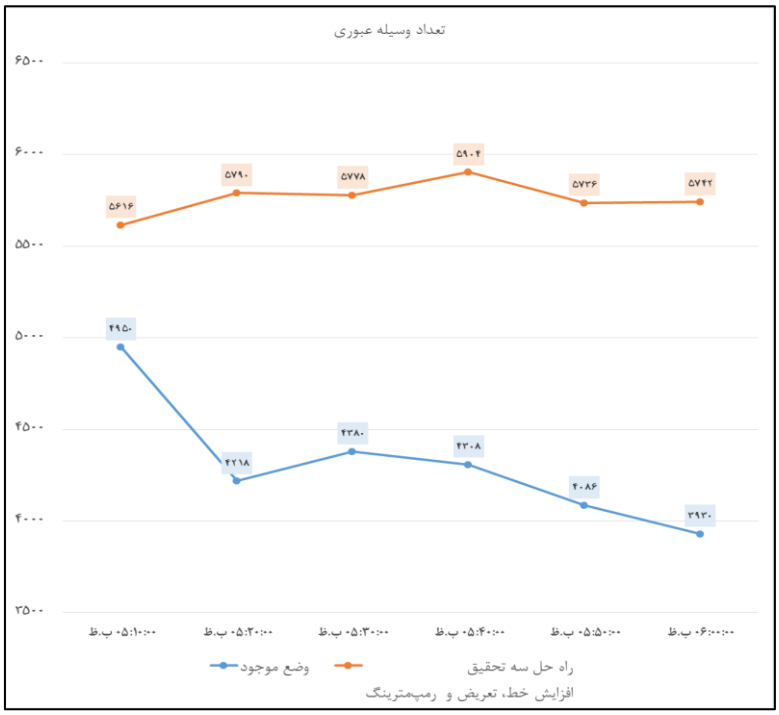
شکل ۸. میزان تغییرات سرعت قبل و بعد از اعمال راهکارهای هوشمند سازی

همان‌طور که مشاهده می‌شود سرفاصله زمانی بین وسایل (ثانیه) قبل ۰/۸۳ کیلومتر بر ساعت و بعد از اعمال راهکارها ۰/٦۲ کیلومتر بر ساعت است که نشان‌دهنده کاهش ۲۵ درصد است و نشان‌دهنده بهبود عبور و مرور است.



شکل ۹. میزان تغییرات سرفاصله زمانی قبل و بعد از اعمال راهکارهای هوشمند سازی

همان‌طور که مشاهده می‌شود تعداد وسایل عبوری از شناساگر قبل ٤٣١٢ وسیله در ساعت و بعد از اعمال راهکارها ٥٧٦١ وسیله در ساعت است که نشان‌دهنده افزایش ٣٤ درصد است و نشان‌دهنده بهبود عبور و مرور و میزان گذردهی وسایل از شناساگر و بزرگراه همت است.



شکل ۱۰. میزان تغییرات تعداد وسیله عبوری از شناساگر قبل و بعد از اعمال راهکارهای هوشمند سازی

۵. نتیجه‌گیری

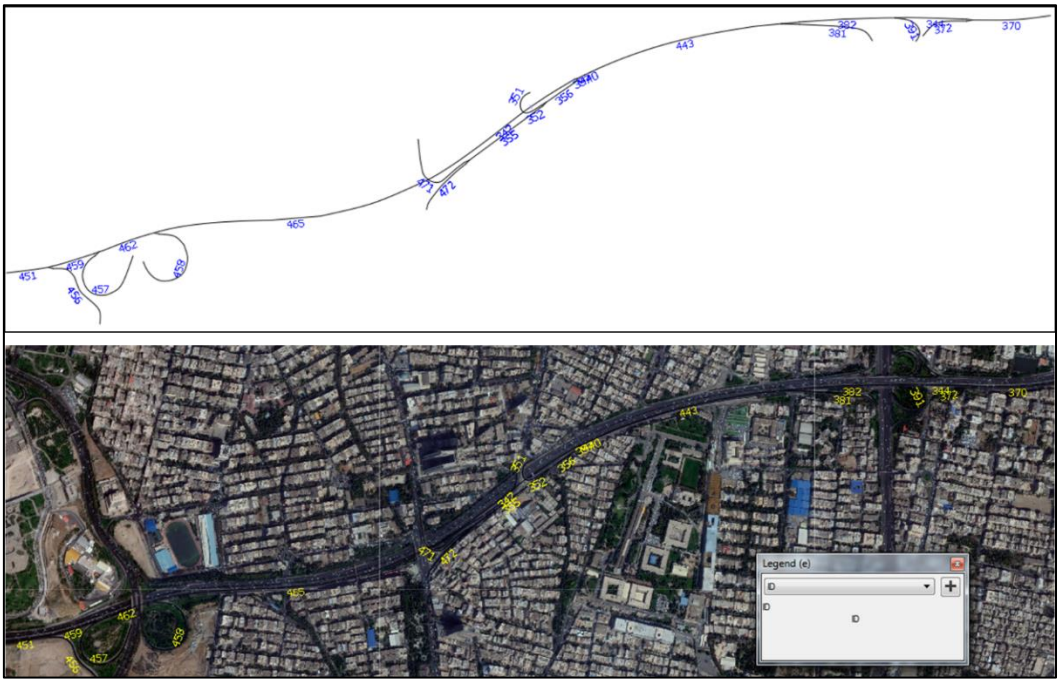
با توجه به نتایج شبیه‌سازی راهکارهای پیشنهادی تحقیق، پس از اعمال راهکارهای هوشمند سازی، موارد زیر در مقایسه قبل و بعد اعمال راهکارها مشاهده می‌شود:

- میزان تغییرات سرعت و زمان سفر در مقایسه با حالت وضع فعلی (بدون اعمال راهکارهای هوشمند سازی)
  - کاهش تأخیر به میزان ۲۵ درصد
  - افزایش سرعت به میزان ۷۷ درصد
  - کاهش مجموع زمان سفر (ساعت) به میزان ۳۳ درصد و کاهش میانگین زمان سفر (ثانیه بر کیلومتر) به میزان ۲۱ درصد
- مصرف سوخت و آلاینده‌ها
  - کاهش مصرف سوخت به میزان ۳۸ درصد
  - کاهش میزان تولید CO_2 به میزان ۲۸ درصد
  - کاهش میزان تولید PM به میزان ٦١ درصد

با توجه به تحقیق موردبررسی، در حالات ذیل پیشنهاد ایجاد زمان‌بندی رمپ و همچنین افزایش تعداد خطوط عبوری مسیر اصلی داده می‌شود. لازم به ذکر است علت پیشنهاد استفاده از رمپ مترینگ در مقاطع بحرانی افزایش ظرفیت عبور دهی مسیر اصلی است.

لازم به ذکر است در صورت موارد مشابه ایجاد سیستم مدیریت رمپ مترینگ در دسترسی با بیشترین حجم عبوری در ساعت و همچنین فاصله چراغ ورودی به تندرو با فاصله ۱۰ متری (دو وسیله سواری) پیشنهاد می‌شود. مزایا استفاده از سیستم رمپ مترینگ در بخش قبلی آورده شده است. همچنین ذکر این نکته ضروری است که در صورت بازگشایی گره در محدوده موردتحقیق با استفاده از راهکارهای بیان‌شده، امکان انتقال نقطه بحرانی در شبکه کلان به محدوده فرادست محدوده موردتحقیق را دارا است و در صورت استفاده از راهکارهای پیشنهادی بایستی شبکه فرادست نیز موردبررسی قرار گیرد.

با توجه به نتایج در مقایسه هر یک از لینک‌های شبکه برای شاخص‌های سطح سرویس، V/C و تأخیر هریک از لینک‌ها، مشاهده می‌شود که در حالت وضع فعلی ١٤ لینک دارای سطح سرویس F و در حالت بعد از اعمال راهکارهای هوشمند سازی ٦ لینک دارای سطح سرویس F است و نشان‌دهنده بهبود عملکرد است.



شکل ۱۱. موقعیت هریک از لینک‌های موردتحقیق برای مقایسه شاخص

در حالت وضع فعلی ١٤ لینک دارای V/C بالاتر از یک و در حالت بعد اعمال راهکارهای هوشمند سازی ٦ لینک دارای V/C بالاتر از یک است و نشان‌دهنده بهبود عملکرد شبکه کلی است. تغییرات تأخیر هریک از لینک‌های شبکه برای حال وضع فعلی و بعد از اعمال راهکارهای هوشمند سازی نشان‌دهنده کاهش تأخیر در ١٥ لینک از ٢٣ لینک است.

با توجه به نتایج تحقیق در صورت تعدد دسترسی‌ها در مقاطع بزرگراه‌های شهرهای بزرگ، در صورت عدم امکان حذف دسترسی‌ها، ایجاد رمپ مترینگ باعث بهتر عملکرد معبر اصلی خواهد شد و نتایج نشان‌دهنده بهبود عبور و مرور، کاهش تأخیر، افزایش حجم عبوری از بزرگراه و افزایش سرعت‌ها خواهد شد و همچنین در فواصل دسترسی کمتر از ٢٥٠ متر کاربرد خواهد داشت و از قفل‌شدگی شبکه و پس‌زدگی صف وسایل در معبر اصلی و همچنین دسترسی‌های منتهی، در ساعات اوج ترافیک جلوگیری خواهد کرد.

٦. پی‌نوشت‌ها

1. Bani Younes,
2. ITLC- Intelligent traffic light control
3. Allan M.de souza, Roberto s. Yokoyama, Guilheme Maia, Antonio Loureiro, leandro Villas
4. Li, Z.
5. Mohammad K. H. Shehada and Alexandra Kondyli
6. Alam, I
7. Sequential Minimal Optimisation (SMO) Regression
8. Ruijie Zhu

٧. مراجع

– کالیبره نمودن نرم‌افزارهای مهندسی ترافیک، جلد سوم، ارائه دستورالعمل نحوه شبیه‌سازی، کالیبره نمودن و اعتبارسنجی نرم‌افزار Aimsun، معاونت و سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری تهران، ١٣٩١.

- Alam, I., Farid, D. M., & Rossetti, R. J. (2019). The Prediction of Traffic Flow with Regression Analysis. In Emerging Technologies in Data Mining and Information Security (pp. 661-671). Springer, Singapore.

- Wang, X., Ning, Z., Hu, X., Ngai, E. C. H., Wang, L., Hu, B., & Kwok, R. Y. (2018). A City-Wide Real-Time Traffic Management System: Enabling Crowdsensing in Social Internet of Vehicles. IEEE Communications Magazine, 56(9), 19-25.

- Li, Z., & Shahidehpour, M. (2017). Deployment of cybersecurity for managing traffic efficiency and safety in smart cities. The Electricity Journal, 30(4), 52-61.

- Bani Younes, 2015, An Intelligent traffic light scheduling algorithm through vanets.

- Djahel, S., Doolan, R., Muntean, G. M., & Murphy, J. (2016). A communications-oriented perspective on traffic management systems for smart cities: Challenges and innovative approaches. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17.

- Barkham, R., Bokhari, S., & Saiz, A. (2018). Urban Big Data: City Management and Real Estate Markets.

- Zhu, R., Li, L., Wu, S., Lv, P., Li, Y., & Xu, M. (2023). Multi-agent broad reinforcement learning for intelligent traffic light control. Information Sciences, 619, 509-525.

- Tomar, I., Sreedevi, I., & Pandey, N. (2022). State-of-art review of traffic light synchronization for intelligent vehicles: Current status, challenges, and emerging trends. Electronics, 11(3), 465.

- Allan M.de souza, Roberto s. Yokoyama, Guilheme Maia, Antonio Loureiro, leandro Villas, 2016, Real-time path planning to

prevent traffic jam through an intelligent transportation system.

- Han, ru li, (2016), Study on Green Transportation System of International Metropolises.

- Bifulco, F., Tregua, M., Amitrano, C.C. and D'Auria, A. (2016), "ICT and sustainability in smart cities management", International Journal of Public Sector Management, Vol. 29 No. 2, pp. 132-147.

- Jamshidnejad, A., Papamichail, I., Papageorgiou, M., & De Schutter, B. (2018). Sustainable model-predictive control in urban traffic networks: Efficient solution based on general smoothening methods. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 26(3), 813-827.

- Shehada, M. K., & Kondyli, A. (2019). Evaluation of ramp metering impacts on travel time reliability and traffic operations through simulation. Journal of Advanced Transportation, 2019.
-Highway Capacity Manual, Washington, D.C. 2016.