فصلنامه مهندسی ترافیک، سال بیست و سوم، شماره ۹۴، پاییز ۱۴۰۲، ص. ۲۴-۱۱

کاربرد بهینه سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند در کاهش گره‌های ترافیکی و آرام‌سازی جریان عبوری تقاطع‌های شهری

(مطالعه موردی: کلان‌شهر تهران)

پگاه جعفری حقیقت پور (مسئول مکاتبات)، پسادکترای مهندسی عمران-راه و ترابری، دانشگاه علم و صنعت ایران، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

E-mail: phaghighatpour@gmail.com

شهریار صنعتی رودپشتی، کارشناسی ارشد مهندسی عمران-راه و ترابری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران

محمدحسین معدنچی‌ها، کارشناسی ارشد مهندسی عمران-راه و ترابری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران

چکیده

وجود بار ترافیکی بسیار زیاد در کلان‌شهر تهران و نبود تناسب بین تعداد خودروهای موجود و ظرفیت راه‌های درون‌شهری، برنامه‌ریزی‌ها برای حل معضلات ترافیکی شهر تهران را بیشتر از گذشته به استفاده بهینه از ITS سوق می‌دهد. با ایجاد زیرساخت‌های مناسب و استفاده از فناوری نوین می‌توان به‌سرعت و با صرف هزینه‌ای بسیار پایین‌تر از آن مقداری است که برای روان‌سازی ترافیک نیاز است، مشکلات مختلف تهران را ازجمله ترافیک سنگین، آلودگی‌های زیست‌محیطی، به هدر رفتن انرژی، زمان و هزینه را برطرف کرد. برای رسیدن به این هدف در این پژوهش، پس از انجام مطالعات کتابخانه‌ای، داده‌های موردنیاز (حجم ترافیک عبوری، طول صف، میانگین سرعت مکانی، میانگین زمان تخلیه هر صف و میانگین سرفاصله زمانی) و روش جمع‌آوری آن‌ها مشخص گردید. ارتباط این داده‌ها با یکدیگر به‌وسیله نرم‌افزار SPSS و روش همبستگی ضریب پیرسون انجام شد. جهت شبیه‌سازی و بررسی سناریوهای موردنظر برای هر تقاطع (وضع موجود، بهبود زمان‌بندی چراغ‌ها و بهینه‌سازی) از نرم‌افزار AIMSUN استفاده گردید. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که سرعت خودروهای عبوری به‌طور میانگین ۱,۲۵ تا ۱,۹ برابر سرعت وضع موجود می‌شود، درنتیجه این افزایش سرعت، زمان تأخیر و زمان سفر به ترتیب کاهش حداقلی ۱۴٪ و ۵٪ خواهند داشت و همچنین حداقل کاهش چگالی ۶٪ خواهد بود. میزان آلایندگی و مصرف سوخت نیز به ترتیب کاهش حداقلی ۶٪ و ۵٪ خواهند داشت. سرفاصله زمانی نیز کاهش حداقلی ۱۴٪ را تجربه نموده است.

واژه‌های کلیدی: ترافیک، بهینه یابی، حمل‌ونقل هوشمند، تقاطعات، جریان عبوری

۱. مقدمه و تعریف مسئله

حمل‌ونقل به‌عنوان حلقه اتصال بخش‌های مختلف جامعه همواره موردتوجه بوده است و نحوه به‌کارگیری و گردش اطلاعات در این بخش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است. خصوصاً شهرهای بزرگ، مسئله آمدوشدهای درون‌شهری است. مسائل و مشکلات مربوط به. امروزه با افزایش جمعیت، همچنین افزایش مالکیت اتومبیل و افزایش سفرهای شهری با مشکلات ترافیکی بیشتری به‌ویژه در شهرهای بزرگ کشور روبه‌رو هستیم. بدون شک یکی از مسائل اساسی در شهرها حمل‌ونقل از قبیل تراکم، افزایش زمان‌های تلف‌شده، تصادفات، تخلفات، آلودگی‌های زیست‌محیطی، کاهش منابع انرژی و روند رشد سریع تقاضای حمل‌ونقل باعث شده تا تأمین حمل‌ونقل ایمن و کارا، یکی از مهم‌ترین مسائل پیش روی اغلب کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه شود. استفاده از ملزومات و تکنولوژی‌های روز در هر زمینه امری اجتناب‌ناپذیر است، علم حمل‌ونقل نیز از این امر مستثنا نبوده و فناوری‌ای را تحت عنوان سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند (ITS[1]) در سطح جهانی مطرح و اجرا نموده است. سیستم حمل‌ونقل هوشمند یا Intelligent Transportation Systems (ITS)مجموعه‌ای از دستاوردهای شگفت‌انگیز فناوری اطلاعات در حمل‌ونقل است که از اطلاعات، ارتباطات و فناوری کنترل استفاده می‌کنند تا به اداره شبکه حمل‌ونقل کمک کنند.

ابزارهای این سیستم هوشمند دارای سه ویژگی اطلاعات، ارتباطات، تلفیق و انسجام می‌باشند که به مجریان امر حمل‌ونقل و مسافران کمک می‌کنند تا علاوه بر بهبود مدیریت شبکه حمل‌ونقل، باعث جلوگیری از اتلاف وقت و هزینه گردیده و ضامن جان انسان‌ها شود و بدین‌صورت کیفیت محیط‌زیست و زندگی اجتماعی را بالاتر می‌برد. از یک دیدگاه کلی می‌توان گفت ITS از سه جزء اصلی تشکیل شده است که عبارت‌اند از: راه هوشمند، وسایل نقلیه هوشمند و زیرساخت‌های ارتباطی.

پیاده‌سازی خدمات سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند در هر کشور، بستگی زیادی به شرایط فرهنگی، اجتماعی، اقتصادی و اقلیمی آن دارد؛ لذا به‌منظور بهره‌برداری بهینه از خدمات سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند، لازم است معماری برای هر کشور به‌صورت خاص و با درنظرگرفتن نیازها، محدودیت‌ها و انتظارات آن کشور و با رعایت استانداردهای مربوطه طراحی گردد و این معماری، قابل کپی‌برداری از کشورهای دیگر نیست . سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند به‌عنوان روشی برای افزایش ایمنی و کارایی سیستم حمل‌ونقل، محبوبیت خود را افزایش می‌دهند .در اکثر شهرها ازدحام در حال افزایش است، تقاضای عمومی برای تحرک و افزایش ایمنی در حال افزایش است و ساخت‌وسازهای جدید جاده‌ها با محدود کردن منابع مالی عمومی و مسائل زیست‌محیطی محدود می‌شود .به‌منظور افزایش سطح خدمات در جاده‌ها بدون ایجاد ظرفیت اضافی، مدیریت ترافیک و خدمات مسافرتی برای بهینه‌سازی بهره‌وری از ظرفیت موجود جاده موردنیاز است.

برادران و همکاران در سال ۱۴۰۰ در پژوهشی به بررسی مدل هوشمند کنترل و پایش وسایل نقلیه پرداختند. در این پژوهش، شش سناریو مبتنی بر حمل‌ونقل هوشمند طراحی و پیاده‌سازی گردید. در سناریو اول؛ فرآیند پایش و کنترل سرعت خودرو تحلیل و پیاده‌سازی گردید. در سناریو دوم و سوم؛ فرآیندهای پایش خودروها در ورود و تردد در محدوده‌های طرح ترافیک و زوج و فرد تحلیل و پیاده‌سازی گردید. در سناریو چهارم؛ فرآیند پایش خودروها در هنگام نقص فنی خودرو و اطلاع‌رسانی هوشمند سیستم امداد خودرو طراحی و پیاده‌سازی شد. در سناریو پنجم؛ سیستم امدادرسانی در حوادث و تصادفات و اطلاع‌رسانی هوشمند به مرکز اورژانس طراحی و پیاده‌سازی گردید و در سناریو ششم؛ سیستم هوشمند پایش خودرو و اطلاع‌رسانی و ارسال پیام به مالک و نیروی انتظامی،

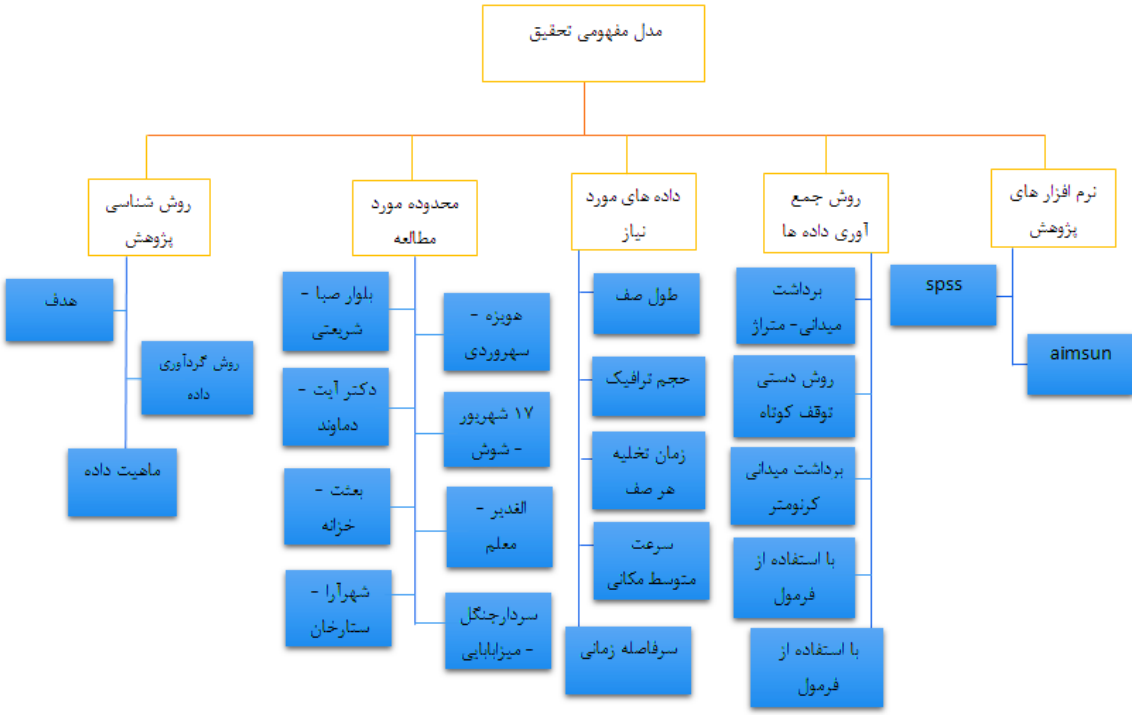
در حین و پس از سرقت خودرو در جهت پیشگیری و مکان یابی خودرو مسروقه طراحی و پیاده‌سازی شد. فرآیند ارسال پیام به‌صورت پوشش کامل در محدوده شهر هوشمند به نحوی پیاده‌سازی گردیده که در صورت لزوم علاوه بر مرکز، کلیه خودروهای موجود در فرآیند حمل‌ونقل هوشمند پیام را دریافت نمایند. بیانسا پتریکا[۲] و همکاران در سال ۲۰۲۱ در پژوهشی به استفاده از چراغ راهنمای اتوماتیک برای سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند پرداختند. عدم تعادل عرضه و تقاضا در شبکه حمل‌ونقل طی سال‌های گذشته منجر به افزایش سطح ترافیک در شهرها شده است. این امر به‌طور مستقیم بر زمان پاسخگویی اضطراری وسایل نقلیه تأثیر گذاشته و مانع سفر سریع وسایل نقلیه عمومی شده است. استفاده از چراغ راهنمایی یکی از موفق‌ترین روش‌هایی است که می‌تواند در تقاطع‌های شلوغ به کار گرفته شود تا با فراهم آوردن چراغ سبز به‌طور خودکار برای ایجاد گذر واضح، زمان کلی سفر گروه‌های خاصی از وسایل نقلیه را کاهش دهد. هدف این مقاله نشان دادن جزئیات و مزایای الگوریتم چراغ راهنمایی با اولویت بر اساس نوع خودرو، طول صف انتظار تقاطع و ارتباطات چند تقاطع است. علاوه بر این، ما کارایی آن را با استفاده از شبیه‌ساز تحرکSim ۲ Carپیاده‌سازی و ارزیابی کردیم. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که زمان سفر وسایل نقلیه اضطراری را می‌توان تا ۲۰ درصد کاهش داد و مدت‌زمان حرکت وسایل نقلیه عمومی ١٤ درصد را کوتاه می‌کند.

محورهای اصلی ساماندهی‌های سنتی در سال‌های اخیر عبارت بوده‌اند از :ساخت آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها، تعریض راه‌های موجود، محدود نمودن ترافیک، افزایش ناوگان حمل‌ونقل عمومی .همچنین سیاست سرمایه‌گذاری حاکم از طرف مدیران و متولیان امر حمل‌ونقل و ترافیک بیش از راهکارهای مبتنی بر توسعه و ساخت شبکه‌های حمل‌ونقل و ترافیک شهری به سمت راهکارهای مدیریت ترافیک مانند مدیریت کاهش تقاضا و توام با آن کنترل ترافیک و داشتن نگرش سیستمی بر این موضوع معطوف گشته است. وجود بار ترافیکی بسیار زیاد در کلان‌شهر تهران و نبود تناسب بین تعداد خودروهای موجود و ظرفیت راه‌های درون‌شهری، برنامه‌ریزی‌ها برای حل معضلات ترافیکی شهر تهران را بیشتر از گذشته به استفاده بهینه از ITS سوق می‌دهد. شهر تهران با جمعیت بیش از ۸ میلیون نفر بزرگ‌ترین کلان‌شهر کشور و خاورمیانه است که با تردد بیش از چهار میلیون خودرو در روز و این شهر جولانگاه حرکت‌های بی‌برنامه و هدایت نشده‌ای است که فرمان مدیریت شهری را از دست برنامه ریزان و تصمیم‌گیرندگان خارج ساخته. در طی ۱۰ سال اخیر با افزایش مالکیت خودرو و افزایش رفاه نسبی، نرخ سفر از ۱۵ سفر سواره به ازاء هر نفر افزون شده است به‌طوری‌که بیش از ۱۵ میلیون سفر سواره در طی روز در شبکه معابر شهر تهران جریان دارد. این تعداد سفر باعث مشکلات عدیده برای شهر تهران ازنظر ترافیکی و محیط زیستی و ... شده است. به‌عنوان‌مثال مصرف بنزین در پایتخت از ۱۲ میلیون لیتر در روز گذشته است که این امر خود باعث افزایش آلودگی محیط‌زیست و درنتیجه تهدیدی برای سلامتی شهروندان است ضمن اینکه افزایش حجم تردد خودروها باعث افزایش حوادث ترافیکی نیز می‌شود. از سوی دیگر ورود سالانه بیش از ٤٠٠ هزار خودرو به خیابان‌های پایتخت با توجه به کاهش سطح معابر شرایط بسیار سختی را برای شهروندان به وجود آورده است. ایجاد سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل یکی از مهم‌ترین این راهکارها برای پایتخت خواهد بود. با ایجاد زیرساخت‌های درست و استفاده از فناوری نوین می‌توان به‌سرعت و با صرف هزینه‌ای بسیار پایین‌تر از آن چیزی که برای روان‌سازی ترافیک نیاز است، مشکلات مختلف تهران را ازجمله ترافیک سنگین، آلودگی‌های زیست‌محیطی، به هدر رفتن انرژی، زمان و هزینه را برطرف کرد. در حال حاضر مشاهده‌ی فعالیت‌هایITS در شهرهای بزرگ دنیا اهمیت این سیستم را به ما نشان می‌دهد. در سیستم‌های هوشمند فناوری‌های متفاوتی استفاده می‌شود، مانند سیستم‌های هدایت

خودرو، سیستم کنترل چراغ‌های راهنمایی، تابلوهای اعلان ترافیک، دوربین سرعت‌سنج و سیستم خودکار شناسایی شماره خودرو یا سیستم‌های پیشرفته و پیچیده‌تری که به‌طور هم‌زمان اطلاعات متفاوتی را از منابع متفاوت یکپارچه می‌کند. اطلاعاتی مانند وضع آب‌وهوا، وضعیت ترافیک، وضعیت جاده. درواقع، ITSامکان یکپارچه‌سازی سیستم حمل‌ونقل را فراهم می‌آورد. بر اساس بررسی‌های به‌عمل‌آمده، بیشترین ترافیک و ازدحام خودروها در تلاقی معابر و تقاطع‌های شهر است. تقاطع‌ها به‌منظور خدمت‌رسانی مطلوب، ایمن و کارا به کاربران می بایست به ابزار کنترل ترافیک و یا به عبارتی ابزاری که بتوان به کمک آن حق تقدم عبور برای تمامی کاربران مشخص باشد، تجهیز شوند. مسئله ایمنی و تأخیر ایجادشده بر کاربران در عبور از تقاطع به اهمیت تصمیم‌گیری در طراحی تقاطع و انتخاب ابزار مناسب می‌افزاید. درنتیجه لازم است طراحان و مهندسان ترافیک شناخت کافی از انواع گزینه‌های کنترل ترافیک و نیز نحوه عملکرد آن‌ها در شرایط مختلف داشته باشند. این مشکلات در شهر تهران سابقه‌ای طولانی دارد که همچنان باعث مشکلات عدیده‌ای شده است. با توجه به پویایی سیستم عرضه و تقاضا در حمل‌ونقل و به‌تبع آن متغیر بودن وضعیت ترافیکی شهرها، کنترل تقاطع‌ها با زمان‌بندی ثابت اقدامی کارآمد نیست. بر این اساس، نیاز به هوشمند سازی کنترل تقاطع‌ها، امری محسوس به نظر می‌رسد. امروزه در شهر تهران از سیستم هوشمند کنترل چراغ (اسکتس) بدین منظور استفاده می‌شود. این پژوهش در راستای انتخاب بهترین و کارآمدترین روش‌های حمل‌ونقل هوشمند و یا اصلاح ناکارآمدی و عدم اجرای مناسب روش‌های اجراشده، در مناطق و تقاطع‌های موردمطالعه انجام می‌گردد. ازجمله سؤالات تحقیق می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: هوشمند سازی حمل‌ونقل بر کاهش بار ترافیکی تقاطع‌ها چه تأثیری دارد؟ بهینه‌سازی سیستم حمل‌ونقل هوشمند بر کاهش بار ترافیکی تقاطع‌ها چه تأثیری دارد؟ هوشمند سازی حمل‌ونقل بر میزان آلایندگی چه تأثیری دارد؟ هوشمند سازی حمل‌ونقل بر مصرف سوخت چه تأثیری دارد؟ از اهداف این پژوهش شامل کاهش بار ترافیکی و آرام‌سازی جریان عبوری که در تقاطع‌های شهری تهران با استفاده از بهینه‌سازی سیستم حمل‌ونقل هوشمند، بررسی تأثیر هوشمند سازی حمل‌ونقل بر میران آلایندگی و مصرف سوخت، تعیین عملکرد تقاطع‌ها با سیستم‌های موجود در شهر تهران است.

۲. روش پژوهش

این پژوهش بنا به ماهیت خود، بنیادی و در بررسی؛ موردی کاربردی است. بر اساس روش گردآوری داده‌ها، پژوهش حاضر از نوع توصیفی – مطالعه موردی است و ازنظر ماهیت داده‌ها از نوع کمی است.



شکل ۱. مدل مفهومی تحقیق

۲-۱ محدوده موردمطالعه و ارتباط معناداری متغیرها از طریق نرم‌افزار spss

مطالعات موردی این پژوهش به روش cordon study در هشت تقاطع در هشت جهت شمال، شمال شرق، شرق، جنوب شرق، جنوب، جنوب غرب، غرب و شمال غرب شهر تهران انجام می‌شود. علت این انتخاب جهت بررسی جامع‌تر ترافیک مناطق مختلف شهر تهران است تا با توجه به محدودیت زمانی موجود جهت انجام این پژوهش، مطالعات به کامل‌ترین صورت موجود انجام پذیرد. تقاطعات انتخابی در شکل ۱ ارائه شده است. متغیرهای ترافیکی اوج صبح و عصر شامل حجم ترافیکی عبوری، میانگین زمان تخلیه هر صف، میانگین سرعت متوسط مکانی، میانگین سرفاصله زمانی در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱. سطح معناداری ترافیکی اوج صبح

Correlations

		QUEUE	DDHV	TIME	SMS	HEADWAY
QUEUE	Pearson Correlation	1	-0.312	.998**	0.179	-.730**
	Sig. (2-tailed)		0.138	0	0.402	0
	N	24	24	24	24	24
DDHV	Pearson Correlation	-0.312	1	-0.31	0.047	-0.044
	Sig. (2-tailed)	0.138		0.14	0.829	0.837
	N	24	24	24	24	24
TIME	Pearson Correlation	.998**	-0.31	1	0.162	-.717**
	Sig. (2-tailed)	0	0.14		0.45	0
	N	24	24	24	24	24
SMS	Pearson Correlation	0.179	0.047	0.162	1	-0.327
	Sig. (2-tailed)	0.402	0.829	0.45		0.118

	N	24	24	24	24	24
HEADWAY	Pearson Correlation	-.730**	-0.044	-.717**	-0.327	1
	Sig. (2-tailed)	0	0.837	0	0.118	
	N	24	24	24	24	24

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

میانگین طول صف		
متغیرها	r	p
حجم ترافیک عبوری	۰,۳۱۲ –	۰,۱۳۸
میانگین زمان تخلیه هر صف	۰,۹۹۸**	۰
میانگین سرعت متوسط مکانی	۰,۱۷۹	۰,٤۰۲
میانگین سرفاصله زمانی	۰,۷۳۰–	۰
**p<0.01		

حجم ترافیک عبوری		
متغیرها	**r**	**p**
میانگین زمان تخلیه هر صف	۰,۳۱۰ –	۰,۱٤
میانگین سرعت متوسط مکانی	۰,۰٤۷	۰,۸۲۹
میانگین سرفاصله زمانی	۰,۰٤٤ –	۰,۸۳۷

میانگین زمان تخلیه هر صف		
متغیرها	r	p
میانگین سرعت متوسط مکانی	۰,۱٦۲	۰,٤٥
میانگین سرفاصله زمانی	۰,۷۱۷**	۰

میانگین سرعت متوسط مکانی		
متغیرها	r	p
میانگین سرفاصله زمانی	۰,۳۲۷ –	۰,۱۱۸

جدول ۲. سطح معناداری ترافیکی اوج عصر

Correlations						
		QUEUE	DDHV	TIME	SMS	HEADWAY
QUEUE	Pearson Correlation	1	-.476*	.987**	-0.255	-0.138
	Sig. (2-tailed)		0.019	0	0.23	0.521
	N	24	24	24	24	24
DDHV	Pearson Correlation	-.476*	1	-.499*	.432*	-0.231

	Sig. (2-tailed)	0.019		0.013	0.035	0.277
	N	24	24	24	24	24
TIME	Pearson Correlation	.987**	-.499*	1	-0.393	-0.013
	Sig. (2-tailed)	0	0.013		0.058	0.951
	N	24	24	24	24	24
SMS	Pearson Correlation	-0.255	.432*	-0.393	1	-.622**
	Sig. (2-tailed)	0.23	0.035	0.058		0.001
	N	24	24	24	24	24
HEADWAY	Pearson Correlation	-0.138	-0.231	-0.013	-.622**	1
	Sig. (2-tailed)	0.521	0.277	0.951	0.001	
	N	24	24	24	24	24
*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).						
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).						

متغیرها	میانگین طول صف	
	r	p
حجم ترافیک عبوری	۰,۴۷۶* –	۰,۱۹
میانگین زمان تخلیه هر صف	۰,۹۸۷**	۰
میانگین سرعت متوسط مکانی	۰,۲۵۵	۰,۲۳
میانگین سرفاصله زمانی	۰,۱۳۸ –	۰,۵۲۱
**p<0.01		

متغیرها	حجم ترافیک عبوری	
	r	p
میانگین زمان تخلیه هر صف	۰,۴۹۹* –	۰,۰۱۳
میانگین سرعت متوسط مکانی	۰,۴۳۲*	۰,۰۳۵
میانگین سرفاصله زمانی	۰,۲۳۱ –	۰,۲۷۷

متغیرها	میانگین زمان تخلیه هر صف	
	r	p
میانگین سرعت متوسط مکانی	۰,۱۶۲	۰,۴۵
میانگین سرفاصله زمانی	۰,۰۷۸	۰,۷۱۹

متغیرها	میانگین سرعت متوسط مکانی	
	r	p
میانگین سرفاصله زمانی	۰,۶۲۲** –	۰,۰۰۱

۳. مدل‌سازی سناریوها با نرم‌افزار ایمسان

سه مدل رفتاری قبول فرصت، تغییر خط و پیروی خودرو در نرم‌افزار AIMSUN موردبررسی قرارگرفته و پارامترهایی به منظور کالیبره کردن این مدل‌ها بر اساس رفتار رانندگان ایرانی ارائه شده است .همچنین خودروهای معادل موجود در شهر تهران جهت ورود آن‌ها در محیط نرم‌افزار AIMSUN تعیین شده است. به‌طور مثال اطلاعات تقاطع دکتر آیت – دماوند در شرق تهران در جداول ۳ تا ۵ ارائه‌شده و تغییرات داده‌ها در هر سناریو در تقاطعات موردمطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است. شرق تهران به دلیل دسترسی به سمت پردیس و دماوند و از طرفی وجود کاربری‌های مهم دارای شلوغی و ترافیک قابل‌توجهی است. مسیر خیابان دکتر آیت و مسیر خیابان دماوند در یک چهارراه به هم می‌رسند و یک تقاطع ایجاد می کنند. بنا به دلایل گفته‌شده و همچنین نزدیکی این تقاطع به دو محله پرتردد نیرو هوایی و هفت‌حوض و نزدیکی به پایانه مسافربری شرق تهران، این تقاطع از مهم‌تری گلوگاه‌های شرق تهران است که در این تقاطع صف‌های طولانی تشکیل می‌شود. این مسیر به‌صورت موجود در نرم‌افزار ایمسان شبیه سازی شده است که این سناریو به‌عنوان وضع موجود است. زمان‌بندی موجود در این مسیر جدول شماره ۳ ارائه شده است. در سناریوی دوم با استفاده از روابط ترافیکی زمان‌بندی جدیدی ارائه‌شده که نتایج شبیه‌سازی با این زمان‌بندی نسبت به وضع موجود بهتر شده است. به‌طور میانگین و تقریبی در سناریوی دوم، زمان تأخیر کاهش ۱٤٪، زمان سفر کاهش ٤٪، چگالی کاهش ٦٪، سرعت افزایش ۱,۲ برابری، میزان آلایندگی کاهش ۵,۵٪، مصرف سوخت کاهش ۵٪ و سرفاصله زمانی کاهش ۱٦٪ را داشته است. در ادامه پس از بهینه‌سازی که سناریو سوم محسوب می‌شود زمان‌بندی جدید ارائه می‌شود که پس از شبیه‌سازی مشخص شد شرایط تقاطع بهتر شده است.

جدول ۳. اطلاعات زمان‌بندی تقاطع دکتر آیت – دماوند

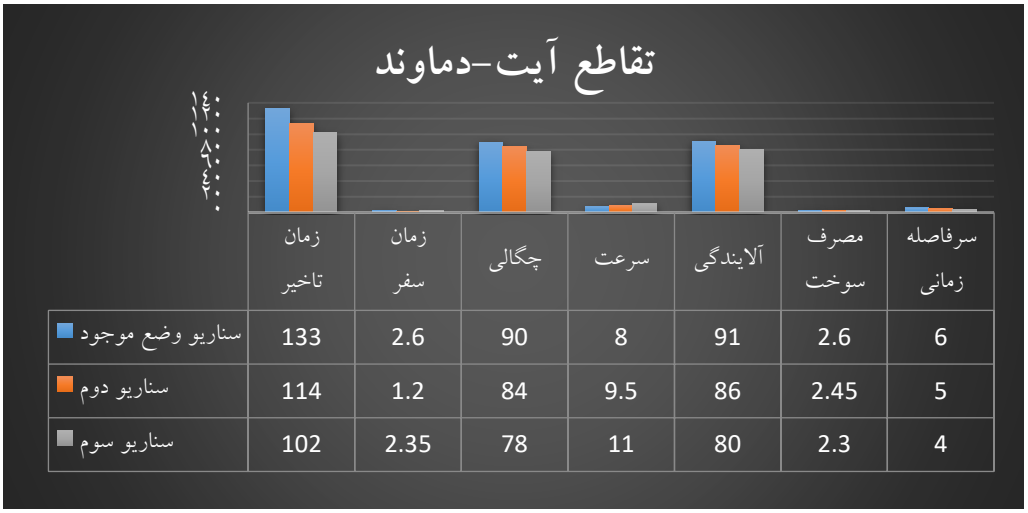
	زمان سبز	زمان قرمز
شمال – جنوب	۷۸	٤٤
شرق –غرب	٤٤	۷۸

جدول ٤. اطلاعات زمان‌بندی اصلاح‌شده تقاطع دکتر آیت – دماوند

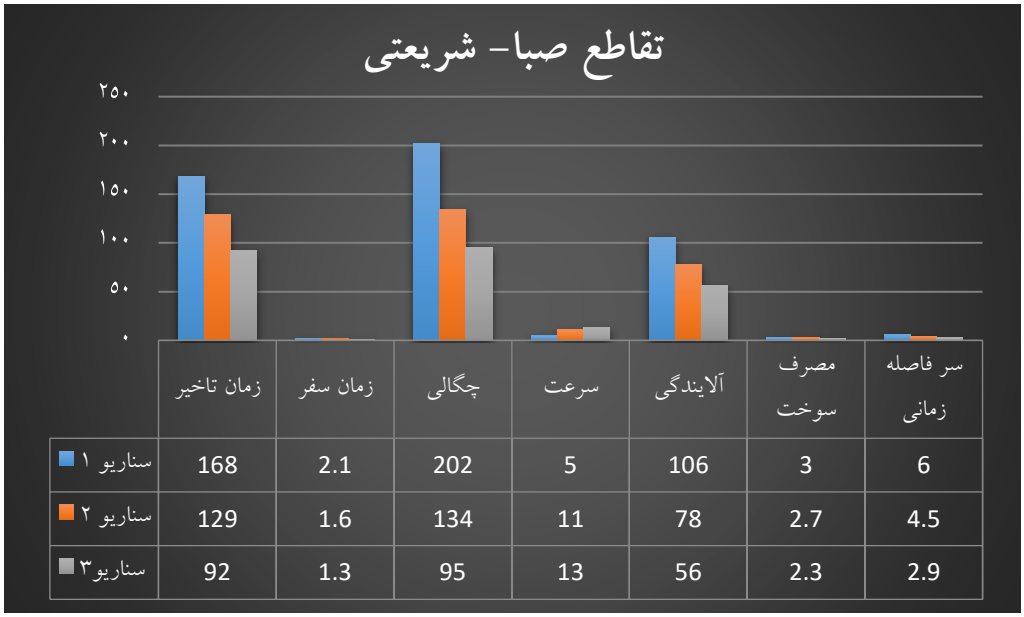
	زمان سبز	زمان قرمز	زمان تمام‌قرمز
شمال – جنوب	٦۸	٤۲	٤
شرق –غرب	٤۰	۷۰	٤

جدول ۵. سناریوهای لحاظ شده در تقاطع دکتر آیت – دماوند

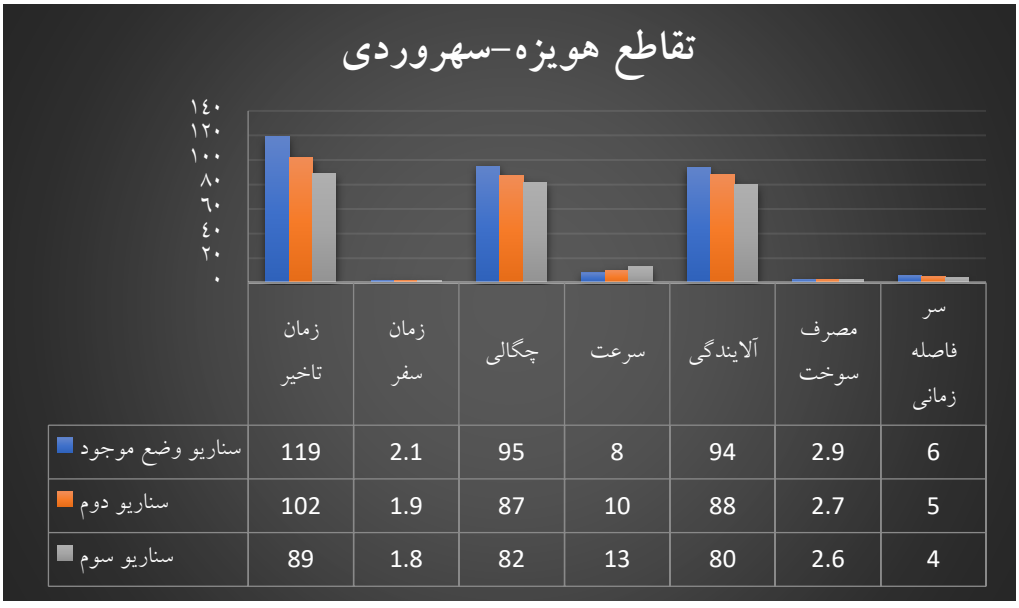
	واحد	سناریو وضع موجود	سناریو دوم	سناریو سوم
زمان تأخیر	ثانیه	۱۳۳	۱۱٤	۱۰۲
زمان سفر	ساعت	۲,٦	۲,۵	۲,۳۵
چگالی	وسیله نقلیه–کیلومتر	۹۰	۸٤	۷۸
سرعت	کیلومتر بر ساعت	۸	۹,۵	۱۱
آلایندگی	گرم	۹۱	۸٦	۸۰
مصرف سوخت	لیتر	۲,٦	۲,٤۵	۲,۳
سرفاصله زمانی	ثانیه	٦	۵	٤



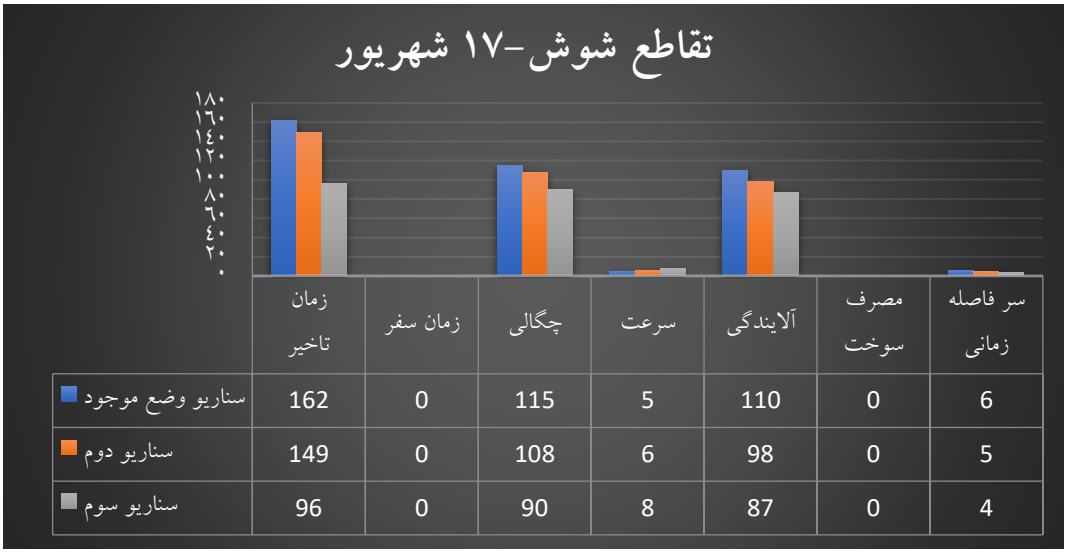
	زمان تاخیر	زمان سفر	چگالی	سرعت	آلایندگی	مصرف سوخت	سرفاصله زمانی
سناریو وضع موجود	133	2.6	90	8	91	2.6	6
سناریو دوم	114	1.2	84	9.5	86	2.45	5
سناریو سوم	102	2.35	78	11	80	2.3	4



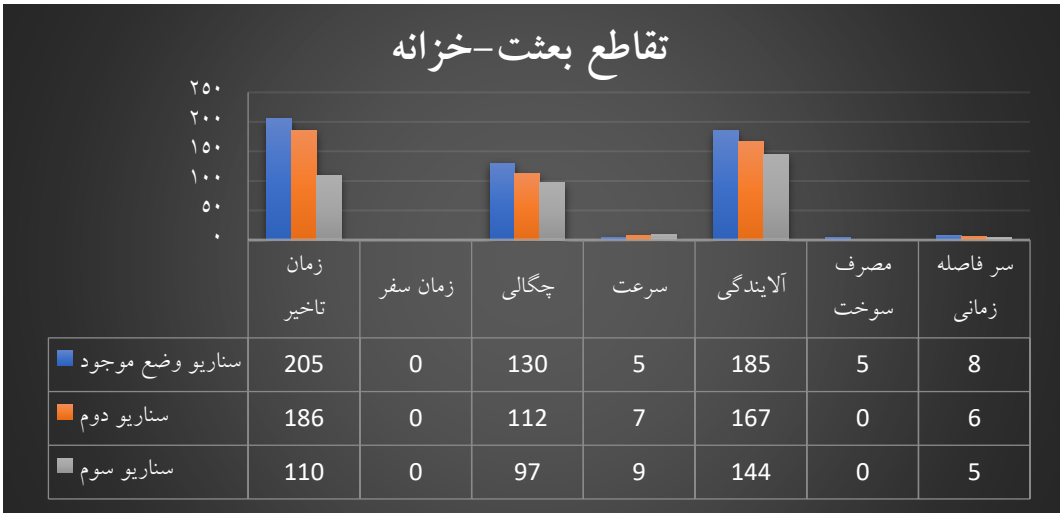
	زمان تاخیر	زمان سفر	چگالی	سرعت	آلایندگی	مصرف سوخت	سر فاصله زمانی
سناریو ۱	168	2.1	202	5	106	3	6
سناریو ۲	129	1.6	134	11	78	2.7	4.5
سناریو۳	92	1.3	95	13	56	2.3	2.9



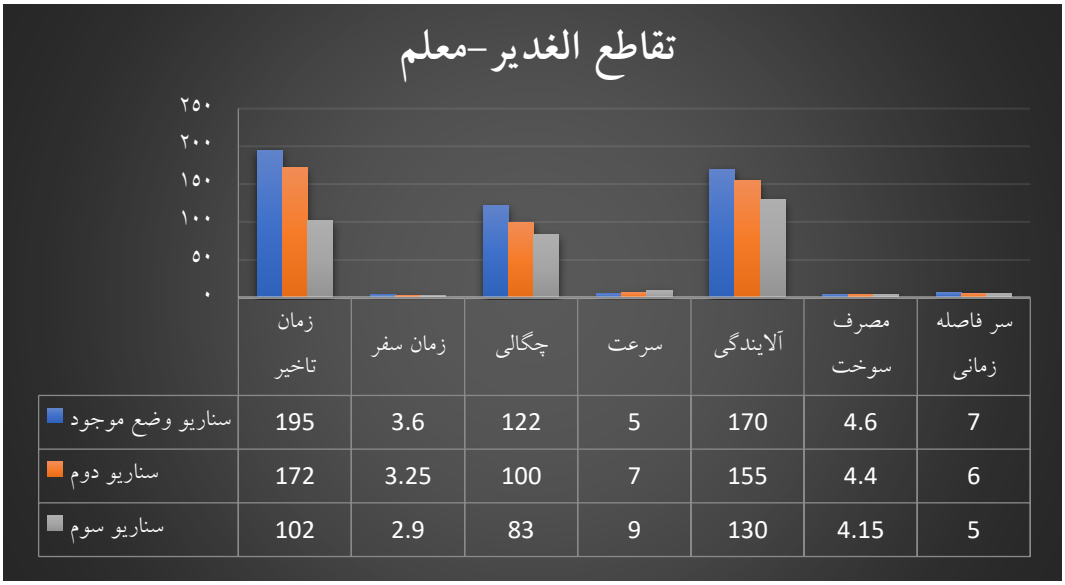
	زمان تاخیر	زمان سفر	چگالی	سرعت	آلایندگی	مصرف سوخت	سر فاصله زمانی
سناریو وضع موجود	119	2.1	95	8	94	2.9	6
سناریو دوم	102	1.9	87	10	88	2.7	5
سناریو سوم	89	1.8	82	13	80	2.6	4



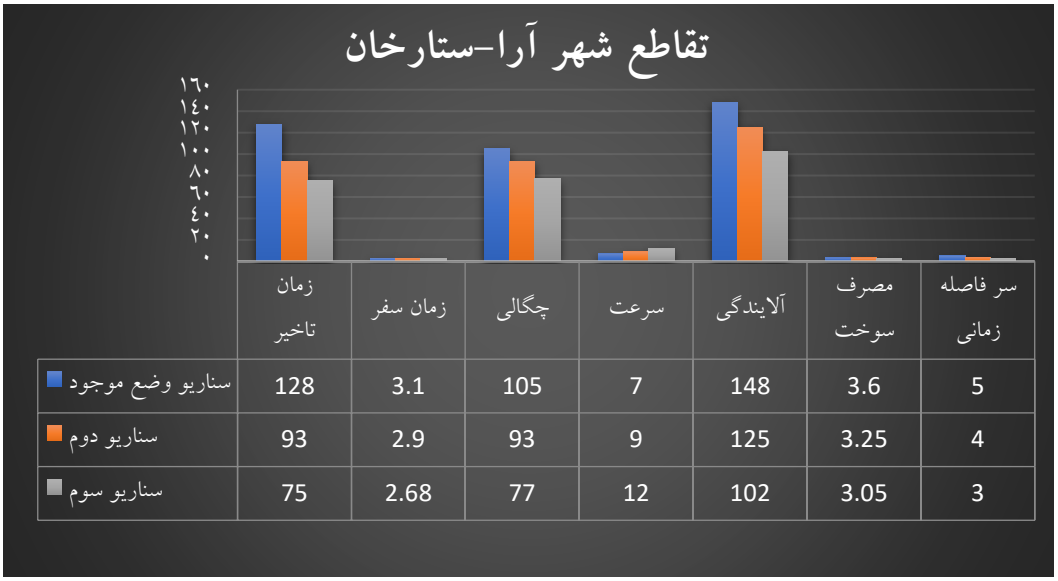
	زمان تاخیر	زمان سفر	چگالی	سرعت	آلایندگی	مصرف سوخت	سر فاصله زمانی
سناریو وضع موجود	162	0	115	5	110	0	6
سناریو دوم	149	0	108	6	98	0	5
سناریو سوم	96	0	90	8	87	0	4



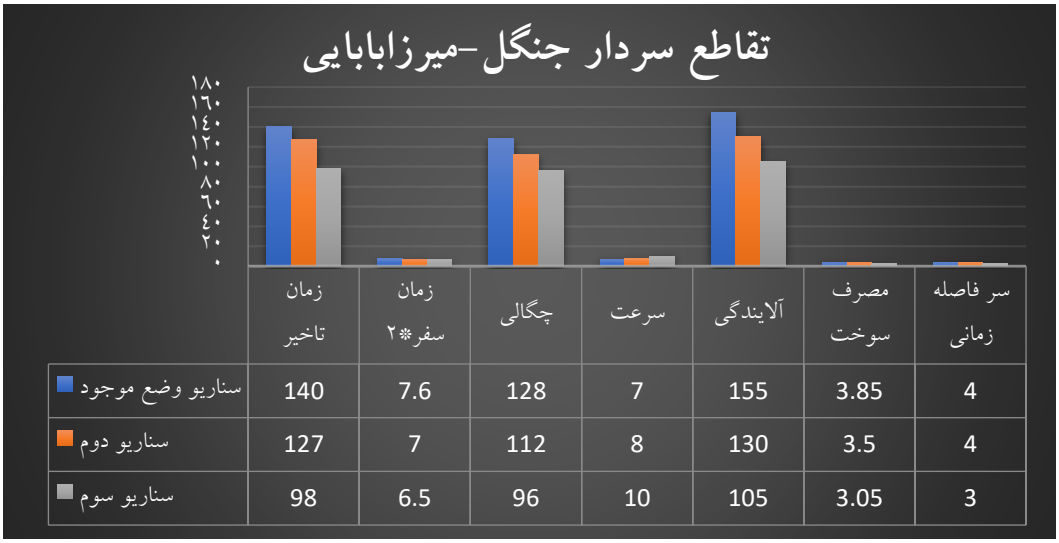
	زمان تاخیر	زمان سفر	چگالی	سرعت	آلایندگی	مصرف سوخت	سر فاصله زمانی
سناریو وضع موجود	205	0	130	5	185	5	8
سناریو دوم	186	0	112	7	167	0	6
سناریو سوم	110	0	97	9	144	0	5



	زمان تاخیر	زمان سفر	چگالی	سرعت	آلایندگی	مصرف سوخت	سر فاصله زمانی
سناریو وضع موجود	195	3.6	122	5	170	4.6	7
سناریو دوم	172	3.25	100	7	155	4.4	6
سناریو سوم	102	2.9	83	9	130	4.15	5



	زمان تاخیر	زمان سفر	چگالی	سرعت	آلایندگی	مصرف سوخت	سر فاصله زمانی
سناریو وضع موجود	128	3.1	105	7	148	3.6	5
سناریو دوم	93	2.9	93	9	125	3.25	4
سناریو سوم	75	2.68	77	12	102	3.05	3



	زمان تاخیر	زمان سفر*۲	چگالی	سرعت	آلایندگی	مصرف سوخت	سر فاصله زمانی
سناریو وضع موجود	140	7.6	128	7	155	3.85	4
سناریو دوم	127	7	112	8	130	3.5	4
سناریو سوم	98	6.5	96	10	105	3.05	3

٤. نتیجه‌گیری

مسیرهای درون‌شهری از جاده، ورودی و خروجی‌ها، میدان‌ها و تقاطعات تشکیل شده‌اند. یکی از دلایل وجود ترافیک گره‌های ترافیکی هستند که تقاطعات یکی از آن‌ها است. چهارراه به‌عنوان راهنما و هدایت مسیر خودروها استفاده می شود. تقاطعات چراغ‌دار از مهم‌ترین بحث‌های ترافیکی در مبحث حمل‌ونقل است. در تحقیق حاضر به بررسی ۸ تقاطع در شهر تهران پرداخته شد. این تقاطعات به نحوی انتخاب شدند که بتوانند همه نقاط تهران را پوشش دهند و از ۸ منطقه در ۸ جت شهر تهران انتخاب شده‌اند. تقاطعات جنوب تهران نسبت به شمال تهران، از پیچیدگی خاصی برخوردار هستند. از مهم‌ترین متغیرهایی که در تحقیق موردبررسی قرار گرفته است زمان انتظار، صف، سرعت حرکت، زمان تأخیر، چگالی و ... است که همه آن‌ها به یکدیگر وابسته‌اند. به‌طوری‌که اگر سرعت حرکت زیاد شود یعنی نرخ جریان، چگالی، زمان تأخیر و ... به دنبال هم بهبود می‌یابند. همچنین اگر خودرویی زمان کمتری در تقاطعات توقف کند آلودگی کمتری نیز ایجاد می کند. تحقیق حاضر از سه سناریو تشکیل‌شده که برای همه تقاطعات بررسی این سه سناریو انجام شده است. تقاطع صبا شریعتی که در شمال تهران قرار دارد با انجام زمان‌بندی چراغ‌ها

به‌صورت علمی و جدید و با استفاده از روابط ترافیکی شرایط بهتری پیدا کرد، به‌طوری‌که زمان تأخیر و صف در آن به مقدار ۱۸٪ بهبودیافته. همچنین با اجرای چراغ هوشمند و زمان‌بندی متغیر، زمان تأخیر و سرفاصله و صف نسبت به سناریوی دوم ۲۰٪ و نسبت به سناریوی اول ۲۵٪ بهبود عملکرد داشته‌اند. تقاطع هویزه سهروردی که در شمال شرق تهران قرار دارد با انجام اصلاح زمان‌بندی چراغ‌ها با استفاده از روابط ترافیکی شرایط مناسب‌تری پیدا کرد، زمان تأخیر و صف در این تقاطع به مقدار ۱۵٪ بهبودیافته. همچنین با اجرای چراغ هوشمند و زمان‌بندی متغیر، زمان تأخیر و سرفاصله و صف نسبت به سناریوی دوم ۲۵٪ و نسبت به سناریوی اول ۳۲٪ بهبود عملکرد داشته‌اند. تقاطع آیت دماوند که در شرق تهران قرار دارد در سناریو دوم بهبود شرایط ترافیکی مناسبی داشت، زمان تأخیر و صف در آن به مقدار ۱۲٪ بهبودیافته. همچنین با اجرای سناریوی سوم، زمان تأخیر و سرفاصله و صف نسبت به سناریوی دوم ۱۸٪ و نسبت به سناریوی اول ۲٤٪ بهبود عملکرد داشته‌اند. تقاطع شوش ۱۷ شهریور واقع در جنوب شرق تهران نیز با اجرای سناریوی دوم که زمان تأخیر و صف در آن به مقدار ۱۵٪ بهبودیافته. همچنین با اجرای سناریوی سوم، زمان تأخیر و سرفاصله و صف نسبت به سناریوی دوم ۲۰٪ و نسبت به سناریوی اول ۲۵٪ بهبود عملکرد داشته‌اند. تقاطع بعثت خزانه در جنوب تهران در سناریو دوم بهبود شرایط ترافیکی مناسبی داشت، زمان تأخیر و صف در آن به مقدار ۱۵٪ بهبودیافته. همچنین با اجرای سناریوی سوم، زمان تأخیر و سرفاصله و صف نسبت به سناریوی دوم ۲۰٪ و نسبت به سناریوی اول ۲۵٪ بهبود عملکرد داشته‌اند. تقاطع الغدیر معلم واقع در جنوب غرب تهران با انجام اصلاح زمان‌بندی چراغ‌ها با استفاده از روابط ترافیکی شرایط مناسب‌تری پیدا کرد، زمان تأخیر و صف در این تقاطع به مقدار ۱۹٪ بهبودیافته. همچنین با اجرای چراغ هوشمند و زمان‌بندی متغیر، زمان تأخیر و سرفاصله و صف نسبت به سناریوی دوم ۲٦٪ و نسبت به سناریوی اول ۳۰٪ بهبود عملکرد داشته‌اند. تقاطع شهرآرا ستارخان واقع در غرب تهران با انجام سناریو دوم شرایط مناسب‌تری پیدا کرد، زمان تأخیر و صف در این تقاطع به مقدار ۲۰٪ بهبودیافته. همچنین با اجرای چراغ هوشمند و زمان‌بندی متغیر، زمان تأخیر و سرفاصله و صف نسبت به سناریوی دوم ۲۰٪ و نسبت به سناریوی اول ۳۰٪ بهبود عملکرد داشته‌اند. تقاطع سردار جنگل میرزابابایی که در شمال غرب تهران قرار دارد، شرایط ترافیکی در سناریو دوم بهبود مناسبی داشت، زمان تأخیر و صف در آن به مقدار ۱۲٪ بهبودیافته. همچنین با اجرای سناریوی سوم، زمان تأخیر و سرفاصله و صف نسبت به سناریوی دوم ۲۰٪ و نسبت به سناریوی اول ۲۸٪ بهبود عملکرد داشته‌اند. با توجه به مطالب ارائه‌شده مشخص می‌شود که به‌طور میانگین با ارائه زمان‌بندی جدید با توجه به ترافیک حال حاضر در محدوده موردمطالعه، شرایط ترافیکی تا حدود ۱۵٪ و با استفاده از زمان‌بندی بهینه تا میزان ۲۸٪، عملکرد بهتری خواهد داشت.

۵. پی‌نوشت‌ها

1. Intelligent Transportation Systems
2. Petrică, B. G.

٦. مراجع

– مهری، عبدالکریم و ابراهیمی دهکردی، امین،۱۳۹٦، برنامه‌ریزی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند (ITS) شهری با تأکید بر پارکینگ‌های طبقاتی شهرهای ساحلی، سومین کنفرانس سالانه پژوهش‌های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری، شیراز.

– ابوالحسن پور، امیر، ۱۳۸۷، بررسی تأثیر به‌کارگیری سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند I.T.S در روان‌سازی ترافیک شهر اصفهان.

– یوسف زاده فرد، میکائیل و حسین اسکندانی، آرمان، ۱۳۸۸، حمل‌ونقل هوشمند و سیستمهای مدرن کنترلی، اولین کنفرانس ملی تصادفات و سوانح جاده‌ای و ریلی، زنجان.

– پورحیدر، مینا،۱۳۸۸، مروری بر به‌کارگیری سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل در مدیریت ترافیک شهری، دومین کنفرانس بین‌المللی شهرداری الکترونیکی، تهران.

– تاجفر، امیر هوشنگ و سبحانی، میثم،۱٤۰۰، تأثیر سیستم حمل‌ونقل هوشمند (ITS) بر حمل‌ونقل عمومی شهر تهران، دومین کنفرانس بین‌المللی چالش‌ها و راهکارهای نوین در مهندسی صنایع و مدیریت و حسابداری، دامغان.

– برادران، محمد و افشار کاظمی، محمدعلی و طلوعی اشلقی، عباس و معتدل، محمدرضا،۱٤۰۰، مدل هوشمند کنترل و پایش وسایل نقلیه.

– مجاهدینی، م. ۱۳۹٦. شاخص‌های حمل‌ونقل پایدار شهری با رویکرد رشد هوشمند، هفدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک، تهران، معاونت و سازمان حمل‌ونقل ترافیک.

– دریاباری، سیدجمال‌الدین و حلاجیان، علیرضا، بررسی اثربخشی شیوه‌های کاهش ترافیک در کلان‌شهر تهران و ارائه راهکارهای مناسب جهت کاهش ترافیک (مطالعه موردی منطقه ۲ تهران).

– زراعتگر، جمیل، ۱۳۹۹، بررسی اقتصادی میزان ظرفیت سیستم ترافیک جاده‌ای در مقابل شبکه شهری هوشمند، اولین کنفرانس بین‌المللی معماری، عمران، محیط‌زیست و کشاورزی.

Petrică, B. G., Ciobanu, R. I., & Dobre, C. (2021, July). Automatic Traffic Light Preemption for Intelligent Transportation Systems. In 2021 20th International Symposium on Parallel and Distributed Computing (ISPDC) (pp. 1-8). IEEE.

Optimal Use of Intelligent Transportation Systems in Reducing Traffic Nodes and Calming the Flow of Urban Intersections
Case Study: Tehran Metropolis

Pegah Jafari Haghighatpour*, Post-doctoral in Civil-Road and Transportation Engineering, Iran University of Science and Technology, Assistant Professor, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran
Shahriar Sanati Rudpashti, MS in Civil-Road and Transportation Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran
Mohammad Hossein Madanchiha, MS in Civil-Road and Transportation Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran

E-mail: phaghighatpour@gmail.com

Abstract
The presence of heavy traffic in Tehran metropolis and the lack of proportionality between the number of existing cars and the capacity of inner-city roads lead the plans to solve the traffic problems of Tehran city to the optimal use of ITS more than in the past. By creating suitable infrastructures and using new technology, it is possible to quickly and by spending much lower costs than the amount needed for smoothing the traffic, to solve the various problems of Tehran, including heavy traffic, environmental pollution. Energy, time and cost. To achieve this goal in this research, after conducting library studies, the required data (passing traffic volume, queue length, average spatial speed, average emptying time of each queue and average time interval) and the method of their collection was specified. The correlation of these data with each other was done by SPSS software and Pearson coefficient correlation method. AIMSUN software was used to simulate and check the desired scenarios for each intersection (current situation, improvement of timing of lights and optimization). The results of this research showed that the average speed of passing vehicles will be 1.25 to 1.9 times the existing speed, as a result of this increase in speed, delay time and travel time will decrease by 14% and 5%, respectively, and also decrease the density by 6% will be. The amount of pollution and fuel consumption will also have a minimum reduction of 6% and 5%, respectively. It has experienced a minimum decrease of 14% over time.

Keyword: traffic, optimization, intelligent transportation, intersections, passing flow