ارزیابی استفاده از انواع تقاطع‌های غیرمتعارف به منظور بهبود جریان ترافیک در راه‌های شریانی برون شهری

امیرمسعود رحیمی، استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
سیدرامتین باقری، دانشجوی دکتری، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران
رضا شهنی دزفولیان، دانشجوی دکتری، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران
آرش مظاهری، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان زنجان، ایران
پست الکترونیکی نویسنده مسئول: amrahimi@znu.ac.ir
دریافت: ۹۵/۰۱/۲۵- پذیرش: ۹۵/۰۶/۲۰

چکیده

نگاهی به تاریخچه حمل و نقل نشان می‌دهد که ایجاد سیستم کارآمد حمل و نقل، یکی از فاکتورهای مهم در جوابگویی به تقاضای روزافزون حمل و نقل می‌باشد یکی از این روش‌های بهبود تردد در معابر ایجاد دوربرگردان می‌باشد. مانور واگرد یکی از پیچیده‌ترین مانورها در هنگام رانندگی با خودرو می‌باشد که مطالعه آن اخیراً مورد استقبال پژوهشگران قرار گرفته است. در این مطالعه محور کرمانشاه – بیستون در محدوده جاده قدیم تهران مورد مطالعه قرار گرفت. برداشت حجم در یک روز با شرایط جوی نرمال با استفاده از تکنیک فیلمبرداری به مدت ۶ ساعت و در سه دوره اوج صبحگاهی، ظهرگاهی و شب‌گاهی انجام گرفت. پس از تحلیل‌های حجم، شبکه پایه در نرم‌افزار شبیه‌ساز خردنگر AIMSUN مدل گردید. با توجه به وضع موجود دوربرگردان در محور مورد مطالعه، ۵ سناریو به منظور یافتن بهترین روش جهت تکمیل مانور واگرد طراحی گردید. هر سناریو ۵ بار و هر بار به مدت ۱ ساعت شبیه‌سازی گردید. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان داد که حذف دوربرگردان وضع موجود و احداث زیرگذر در همان محدوده، سناریوی برترمی‌باشد، به طوری‌که شاخص‌های ترافیکی از جمله تأخیر و زمان سفر شبکه در صورت اجرای این سناریو به طور چشمگیری بهبود می‌یابد. با توجه به برداشت‌های صورت گرفته، اعتبارسنجی بر روی مدل شبیه‌سازی انجام گرفت و نتایج حاصل از آن، درستی و اعتبار مدل را اثبات کرد. این مقاله برگرفته از پروژه پژوهشی با عنوان «مطالعه تعیین مکان مناسب دوربرگردان‌ها در راه‌های اصلی کرمانشاه» است که به کارفرمایی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی انجام شده است.

واژه‌های کلیدی: دوربرگردان، شبیه‌سازی، نرم‌افزار AIMSUN

۱- مقدمه

امروزه معضل ترافیک در بسیاری از شهرهای دنیا، بخش عمده‌ای از وقت و سرمایه شهروندان را تلف می‌کند. با افزایش بی‌رویه تقاضا در نقطه‌ای از شبکه‌های حمل و نقل، طرح‌های ترافیکی اجرا شده جوابگوی تقاضای حمل و نقل شهروندان نمی‌باشد. طرح‌های پرهزینه‌ای مانند افزودن به میزان عرضه شبکه حمل و نقل همچون احداث بزرگراه‌های موازی، تعریض معابر موجود، ایجاد تقاطع‌های غیر همسطح از جمله راهکارهای کاهش معضلات ترافیک امروزی است. معمولاً این نوع راهکارها به دلیل به صرفه نبودن از نظر زمان احداث و همچنین صرف بودجه‌های کلان برای ساخت آن، ترجیحاً نباید به عنوان راهکار اولیه انتخاب شوند. در چنین شرایطی؛ راهکارهای مدیریتی در زمینه عرضه و تقاضا، عموماً با استفاده

* نویسنده مسئول

Archive of SID
www.SID.ir

از راه‌حل‌های موقت برای مشکلات موجود مطرح می‌باشند. یکی از این نوع راهکارها که در میانه عرضی مسیر راه اجرا می‌گردد، ایجاد بریدگی‌های مجزایی برای دورزدن (دوربرگردان‌ها) است. این بریدگی‌ها برای جلوگیری از قطع مستقیم جریان ترافیک یا تغییر مسیر و یا دسترسی به کاربری‌های مجاور سمت دیگر راه طراحی می‌شوند. به‌دلیل تأثیر مثبت میانه در ایمنی و عملکرد راه‌های شریانی به ویژه بزرگراه‌های حومه شهری، استفاده از دوربرگردان‌ها به طور روزافزونی در حال گسترش است. به این ترتیب، دسترسی‌ها در طول مسیر محدود شده و فقط از طریق بریدگی‌هایی انجام می‌شود که به منظور عبور جریان در میانه تعبیه شده است. موقعیت و تعداد آنها باید تابع نیازهای محلی باشد. به درستی نمی‌توان تاریخ ابداع دوربرگردان را مشخص کرد، ولی در کشورهای مختلف و از جمله در کشور ما، ده‌ها سال است که دوربرگردان به کار گرفته شده و مردم نیز کمابیش با این واژه و عملکرد آن آشنا هستند. معمولاً در راه‌های جدا شده‌ای که نیاز به گردش ۱۸۰ درجه‌ای وسایل نقلیه وجود داشته باشد، یک بریدگی در میانه راه ایجاد می‌شود که به آن اصطلاحاً دوربرگردان یا واگرد گفته می‌شود. در خصوص به کارگیری دوربرگردان ، نظرات متناقضی مطرح می‌باشد. در این مقاله سعی می‌شود با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی ترافیکی خردنگر، ارزیابی از وضع موجود یکی از دوربرگردان‌های استان کرمانشاه انجام شود و سپس براساس نیاز منطقه، اقدام به ایجاد سناریو در محدوده مورد مطالعه شده و با توجه به معیارهای کارایی، گزینه برتر انتخاب می‌شود.

۲- ادبیات پژوهش

فاصله بریدگی‌ها باید با معیارها یا طبقه‌بندی‌های مدیریت دسترسی سازگار باشد. وقتی الگوی ترافیک نشان می‌دهد که تقریباً تمامی ترافیک از راه مجزا عبور می‌کند و حجم ترافیک به خوبی زیر ظرفیت است، بریدگی میانه با ساده‌ترین و ارزان‌ترین طرح، ممکن است کافی باشد. این نوع بریدگی، حرکت‌های گردشی و عبورعرضی وسایل نقلیه را امکان پذیر می‌کند. اما در جریان این عمل، وسایل نقلیه ممکن است به خطوط مجاور تجاوز کنند و معمولاً فضای محفوظ جدا از جریان‌های دیگر ترافیک در اختیار نخواهند داشت. وقتی الگوی ترافیک، حرکت‌های عرضی و گردشی متنابهی را نشان می‌دهد یا ترافیک عبوری پُرحجم و پُرسرعت وجود دارد، شکل و پهنای بریدگی میانه باید انجام حرکت‌های گردشی را بدون تجاوز به خطوط مجاور و بدون تداخل یا با تداخل جزئی بین حرکات ترافیکی ممکن سازد. طرح بریدگی میانه و دماغه‌های انتهایی باید مبتنی بر حجم‌های ترافیک، خصوصیات شهری یا برون‌شهری، و نوع وسایل نقلیه گردش کننده باشد. ترافیک گذری و گردشی باید با ترافیک عبوری در راه مجزا هماهنگ باشد. طراحی باید براساس حجم و ترکیبی از کلیه حرکت‌های همزمان در ساعت طرح انجام شود. طرح بریدگی میانه شامل درنظر گرفتن جاگیری ترافیک موردنظر، انتخاب خودروی طرح به منظور کنترل هر یک از حرکت‌های گذری و گردشی، بررسی امکان گردش وسایل نقلیه بزرگ‌تر بدون تداخل ناموجه به خطوط مجاور و بالاخره کنترل ظرفیت تقاطع می‌شود. چنانچه تقاضای ترافیک بیش از ظرفیت باشد، احتمالاً باید طرح را به کمک تعریض یا تنظیم عرض‌ها برای حرکت‌های خاص توسعه داد. خصوصیات مناطق شهری یا برون شهری ممکن است پهنای انتخابی میانه را تحت تأثیر قرار دهد. تقاطع‌های مناطق شهری یا حومه با میانه‌های باریک، عملکرد ایمن‌تری دارند، در صورتی‌که تقاطع‌های برون شهری بدون چراغ با میانه‌های پهن‌تر عملکرد ایمن‌تری از خود نشان داده‌اند. به منظور طرح حرکات دوربرگردان به نحو رضایت بخش، عرض راه شامل میانه باید به اندازه‌ای کافی باشد تا وسیله نقلیه طرح بتواند از خط کمکی گردش به چپ در فضای میانه به خط بعد از شانه خارجی یا خط بعد از جدول در معبر خطوط ترافیک مقابل دور بزند. در محل بریدگی، پهنای میانه، محل و طول بریدگی و طرح دماغه آن به منظور تطبیق با حجم و نوع ترافیک عبوری و گردشی بطور توأم مَدِ نظر قرار می‌گیرد. بریدگی‌های میانه باید منعکس کننده طبقه بندی دسترسی معبر باشد.

در آئین نامه ٤١٥ طرح هندسی راه‌های ایران ذکر شده است که طول بریدگی میانه در تقاطع بستگی به عرض راه متقاطع دارد. در این آئین نامه قید شده است که حداقل طول بریدگی میانه در حالتی که راه قطع‌کننده، جدا شده نباشد، برابر با عرض راه قطع کننده (روسازی بعلاوه شانه‌ها) است. در مواردی که راه قطع کننده جدا شده باشد، حداقل طول بریدگی برابر مجموع عرض راه متقاطع به اضافه عرض میانه راه جدا شده است. همچنین تأکید شده که از حداقل طول بریدگی فقط در

Archive of SID

www.SID.ir

تقاطع‌های کم اهمیت استفاده می‌شود.

در گزارش ۳۷۵ موسسه تحقیقات ملی راه‌های آمریکا (NCHRP 375) که توسط هاروود و همکاران به نگارش درآمده، اثرات طول بریدگی میانه در رفتار نامطلوب رانندگان بر سر رقابت بر فضای محدود میانه مورد توجه قرار گرفته و به این نتیجه رسیده است که افزایش طول بریدگی در روستاها سبب افزایش تصادف و در شهرها و حومه شهرها سبب کاهش تصادف می‌شود (Ingrid B. Potts, NCHRP 375). بر اساس دو فاکتور مهم طرح هندسی (متعارف، جهتی و دسته سبویی) و درجه دسترسی (فقط دوربرگردان، دسترسی به یک طرف و دسترسی به دو طرف)، نشریه NCHRP ٥٢٤ بازشدگی میانه را به ۷ دسته طبقه بندی کرده است. این هفت دسته براساس حضور خط گردش به چپ و وجود تورفتگی و نوع حرکات مجاز، خود در مجموع به ۱۷ زیردسته تقسیم می‌شوند.

با توجه به انواع بازشدگی میانه، نشریه NCHRP٥٢٤ تعداد نقاط برخورد مربوط به هر بازشدگی میانه را در جدول ۱ خلاصه کرده است.

جدول ۱. تعداد نقاط برخورد با توجه به نوع بازشدگی میانه

نوع بازشدگی میانه	تعداد نقاط برخورد
بازشدگی میانه متعارف	٤
بازشدگی میانه جهتی	٤
بازشدگی میانه متعارف در یک تقاطع با ۳ رویکرد	۱۱
بازشدگی میانه جهتی در یک تقاطع با ۳ رویکرد	٦
بازشدگی میانه متعارف در یک تقاطع با ٤ رویکرد	۳۲
بازشدگی میانه جهتی در یک تقاطع با ٤ رویکرد	۱۲
دسته سبویی مابین تقاطع	٤

کاربرد دوربرگردان به مثابه یک ابزار ترافیکی در کشورهای گوناگون رایج بوده و در آیین نامه ها و دستورالعمل های مربوطه نیز منعکس است. بررسی این آیین نامه ها نشان می‌دهد که جایگاه کاربردی دوربرگردان عموماً برای انجام حرکت واگرد یا گردش ۱۸۰ درجه‌یی) و یا برای جایگزینی حرکت گردش به چپ در تقاطع‌ها بوده است. در نشریه ی شماره ۱٤٥ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور تحت عنوان ضوابط طراحی تقاطع‌های همسطح شهری در رابطه باکاربرد خطوط واگرد دوربرگردان) چنین آمده است :

در صورت وجود ممنوعیت گردش به چپ در یک تقاطع می‌توان بعد از تقاطع یک خط واگرد برای گردش به چپ غیر مستقیم پیش بینی کرد.

در دستورالعمل طرح هندسی راه‌های کشور آمریکا (AASHTO) موارد کاربرد دوربرگردان در بزرگراه‌ها به شرح زیر بر شمرده شده است:

۱- بعد از تقاطع‌های همسطح یا غیرهمسطح برای آن که رانندگان ناآشنا به تقاطع را قادر سازد تا اشتباه احتمالی خود راجبران کند.

۲- خارج از محدوده تقاطع‌ها برای برقراری امکان دور زدن وسایل نقلیه

۳- قبل از تقاطع‌ها در صورتی که حرکت‌های مستقیم و گردشی با حرکت واگرد تداخل داشته باشد.

٤- در نقاط اتصال راه‌های فرعی که ترافیک مجاز به عبور از بزرگراه نیست ولی نیازمند گردش به چپ است. در این حالت نخست وسایل نقلیه گردش به راست کرده و وارد جریان ترافیک اصلی می‌شوند و سپس دوربرگردان انجام می‌دهند.

٥- در صورتی که در فواصل منظم برای انجام عملیات نگهداری، انتظامات و تعمیر وسایل نقلیه نیاز به بریدگی باشد.

محل ایجاد دوربرگردان بر ایمنی و کارایی آن تأثیر مستقیم دارد. بریدگی میانه در فواصل نزدیک به دسترسی‌های فرعی، مناطق مارپیچی کوچک به وجود می‌آورد که به هیچ وجه مناسب نیست. مکان ایجاد دوربرگردان‌هایی که برای گردش به چپ طراحی می‌شود، توسط طول تداخل مسیر بین تقاطع و بریدگی مسیر تعیین می‌شود. این طول روی الگوی تقاطع و زمان کل سفر برای وسایل نقلیه‌ای که گردش به چپ انجام داده‌اند، افزایش می‌یابد. اگر این طول بسیار کوتاه باشد، برای ایمنی و عملکرد گردش‌های چپ و راست وسایل نقلیه که از سه یا چهار خط عبور با دوربرگردان تقاطع دارند، ایجاد مشکل می‌کند. همچنین این طول با سطح سرویس ترافیک جاده مستقیم و حجم خودروی گردشی ارتباط دارد. همچنین این

Archive of SID

www.SID.ir

طول با سطح سرویس ترافیک جاده مستقیم روبرو و حجم دورزننده رابطه دارد. در صورتی‌که صف از انتهای خط چپگرد فراتر رود، وسایل نقلیه که منتظر دسترسی به بریدگی‌ها هستند، در صف گیر افتاده و قادر به گردش تا به پیش رفتن صف نمی-باشند.

لیژ حداقل طول تداخل ۲۴۴-۲۱۳ متر با حجم تداخلی ۲۰۰-۲۶۰۰ وسیله نقلیه در ساعت و سرعت ۲۵-۵۰ مایل بر ساعت را در راه‌های دو خطه شهری و حومه‌ای مناسب می‌داند. این طول در چند خطه‌ها بایستی به ۳۶۶-۴۸۸ متر برسد. (Liu, P., Chen, Lu, 2008) در برخی از تقاطع‌های چراغدار شهری و حومه شریانی در میشیگان، گردش به چپ در تقاطع ممنوع و فاصله دورزدن در ۲۰۱ متری از تقاطع قرار گرفته است (عزیزی وشیخ‌الاسلامی ، ۱۳۸۸). هندبوک فلوریدا مربوط به میانه، فاصله بهینه از رمپ آزادراه تا بریدگی میانه را ارایه نموده و در خصوص مناطق دو خطه شهری و حومه شهری در سرعت و حجم معمولی، طول تداخل ۲۱۳ – ۲۴۳ متر و در چند خطه ها ۲۶۵ تا ۴۸۷ متر را توصیه می کند(Lu , J. , 2005). لو در مطالعات خود حداقل طول تغییر خط را با توجه به تعداد خط در مقطع بصورت جدول ۲ پیشنهاد می‌کند (Lu , J., Pirinccioglu,,F. Pernia, J,2004,).

جدول ۲. حداقل طول تغییر خط با توجه به تعداد خط (تحقیق لو)

حداقل طول تغییر خط (متر)	تعداد خط در مسیر اصلی
۸۰	۲
۱۱۰	۳
۱۴۰	۴

ژو و همکاران[1] در سال ۲۰۰۴ مدلی را برای یافتن مکان بهینه دوربرگردان براساس کمترین تأخیر برای حرکت دوربرگردان پیشنهاد دادند. ژو متوجه شد که سرعت میانگین خودروها با طول مقطع تغییر خط، رابطه خطی دارد. آنها برای به دست آوردن سرعت میانگین مقاطع تغییر خط براساس طول مقطع، رابطه ۱ را پیشنهاد دادند.

$$S_w = 21.5 + 0.082\,L \qquad (۱)$$

که S_w سرعت میانگین برای مانور RTUT بر حسب کیلومتر در ساعت و L طول مقطع تغییر خط بر حسب متر می‌باشد. ژو دریافت که تأخیر برای حرکت دوربرگردان برای خودروهایی که از خیابان فرعی بالا دست گردش به راست می‌کنند، رابطه قوی با آفست چراغ بالادست و پائین دست، طول مقطع تغییر خط، فاصله بین خیابان فرعی و چراغ بالادست و فاصله بین تقاطع‌ها دارد. او برای یافتن مکان مناسب دوربرگردان در محدوده تقاطع چراغدار، مدلی براساس آفست بین چراغ راهنمایی بالادست و پائین دست، طول کلی مسیر، سرعت مجاز و فاصله خیابان فرعی تا تقاطع چراغدار بالادست پیشنهاد داد.

(۲)

$$L = \frac{\left[-\left(1-0.082\Delta t+\frac{21.5}{v}\right)+\sqrt{\left(1-0.082\Delta t+\frac{21.5}{v}\right)^2+7.05\frac{\Delta t}{v}}\right]}{\frac{0.164}{v}}$$

(۳)

$$\Delta t = \Delta T \times 0.278 + \frac{(l-2L_1)}{v}$$

L: طول مقاطع تغییر خط بهینه. v: سرعت مجاز در خیابان اصلی (Km/hr)،Δt: تابعی از افست بین چراغ راهنمایی بالادست و پائین دست، طول کلی مسیر، فاصله خیابان فرعی تا تقاطع چراغدار بالادست آن و سرعت مجاز، ΔT افست بین تقاطع چراغدار بالادست و پائین دست (ثانیه)،L_1 فاصله بین خیابان فرعی و تقاطع چراغدار بالادست آن بر حسب متر می‌باشد (Zhou, H , Jian , 2004 John Lu).

تارک سید[2] در تحقیقی که در سال ۲۰۱۲ انجام داد، عملکرد مانور دوربرگردان را با کمک نرم‌افزارهای شبیه‌سازی، ارزیابی کرد. او از نرم‌افزار VISSIM برای شبیه‌سازی و ارزیابی سه نوع از دوربرگردان تحت سناریوهای مختلف استفاده کرد. او تأخیر میانگین تقاطع و ظرفیت را به عنوان معیار کارایی در نظر گرفت. از نرم‌افزار Synchro به منظور بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ راهنمایی استفاده شد. در سناریو با حجم متعادل، دوربرگردان غیر متعارف تأخیر کمتری نسبت به سایر سیستم‌ها داشت. اما زودتر از همه گزینه‌ها به حد ظرفیت می‌رسید. ظرفیت دوربرگردان غیر متعارف ۲۷٪ کمتر از دوربرگردان متعارف بود، در حالی‌که ظرفیت دوربرگردان چراغدار به همراه تقاطع چراغدار ۱۰ ٪ و دوربرگردان بدون چراغ به همراه تقاطع

Archive of SID

www.SID.ir

چراغدار حدود ۸ ٪ از تقاطع چراغدار عادی بیشتر بود. همچنین نشان داده شد که با افزایش حجم گردش به چپ، تأخیر تقاطع افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش حجم گردش به چپ از ۲۰٪ به ۳۰٪ ظرفیت تقاطع ۳/۲٪ کاهش پیدا کرد. البته در این تحقیق، سید پارامترهای نرم‌افزار VISSIM را براساس شرایط محیطی مصر کالیبره نکرده و مقادیر پیش فرض را به کار برده است[۱۳]. بوداپاتی[۳] در تحقیقی که در سال ۲۰۰۸ میلادی انجام داد، به مقایسه بین ۲ نوع بازشدگی میانه و مانور دوربرگردان پرداخت. او برای تحقیق از نرم‌افزار VISSIM و HCS استفاده کرد و معیارهای کارایی زمان تأخیر، زمان سفر و سطح سرویس در نظر گرفته شد. خروجی‌های شبیه سازی نشان داد که برای حجم کم در خیابان اصلی، طرح پیشنهادی او بهترین عملکرد را دارد، برای حجم متوسط خیابان اصلی، دوربرگردان از طریق میانه بدون کنترل چراغ و برای حجم بالای خیابان اصلی، دوربرگردان از طریق میانه با کنترل چراغ بهترین عملکرد را دارد (Jarvis Autey , Tarek Sayed , 2010).

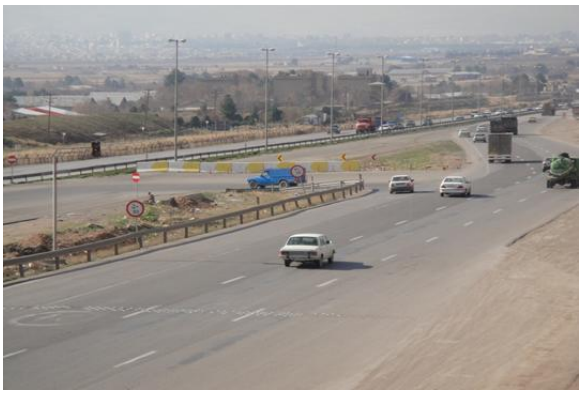
در یک پژوهش ، امیرمسعود رحیمی و همکار به یافتن فاصله بهینه دوربرگردان از تقاطع چراغدار شهری پرداختند. آنها ۲ تقاطع را در شهر تهران انتخاب کردند. برای مدلسازی خرد نگر از نرم‌افزار AIMSUN و برای بهینه سازی زمان‌بندی چراغ راهنمایی از نرم‌افزار SYNCHRO استفاده کردند. آنها در این پژوهش، پارامترهای رفتاری و ترافیکی این ۲ نرم‌افزار را براساس شرایط ترافیکی شهر تهران کالیبره کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که مکان بهینه دوربرگردان از تقاطع چراغدار، ۱۹۰ متر قبل از آن می‌باشد. آنها سپس مدل ایجاد شده را مورد اعتبارسنجی قرار دادند و اعتبارسنجی صورت گرفته، صحت انجام کار را تأیید کرد(رحیمی و مظاهری ، ۱۳۹۳).

۳- معرفی محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش، دوربرگردان موجود در بزرگراه کرمانشاه – بیستون در محدوده جاده قدیم تهران می‌باشد. شکل ۱، عکس هوایی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

شکل ۱. محدوده دوربرگردان محور کرمانشاه – بیستون

www.SID.ir



الف ب

شکل ۲. برداشت آماری و میدانی در محدوده دوربرگردان محور کرمانشاه - بیستون

برداشت میدانی حجم عبور و مرور با استفاده از روش فیلمبرداری جریان ترافیک برای روز اوج که بر اساس سی‌اُمین بیشترین ساعت اوج در سال که در تحلیل وضعیت راه‌های اصلی کرمانشاه براساس اطلاعات گردآوری شده بدست آمده است، انجام گرفت.

احجام عبوری به تفکیک وسایل نقیله که شامل وسیله نقیله سبک، کامیون، اتوبوس شهری و غیر شهری، تریلی و موتورسیکلت ثبت گردید. تهیه آمار مربوط به محدوده مورد مطالعه در تاریخ‌های ۱۳۹۳/۹/۱۳ و ۱۲۹۳/۹/۱٤ با شرایط آب‌وهوایی متعادل با استفاده از دوربین اقدام به فیلمبرداری شد. نمونه‌ای از محل قرارگیری دوربین فیلبرداری و برداشت از مسیرها در تصاویر شکل ۲ نمایش داده است.

شمارش حجم وسایل نقیله به تفکیک وسایل نقیله سبک و سنگین انجام شد. با توجه به شمارش‌ها حجم عبوری، اوج بازه‌ی صبحگاهی ۳۷۷۸ وسیله نقلیه بر ساعت، اوج بازه‌ی ظهرگاهی ٤۱٤٥ وسیله نقلیه برساعت، اوج بازه‌ی عصرگاهی ۳۹۷٥ وسیله نقلیه بر ساعت عبور کردند. درنهایت حجم عبوری در ساعت اوج روز به تفکیک جهات عبوری در شکل ۳ نشان داده شده است.

با جانمایی دوربین‌ها و ثبت سه رقم راست پلاک خوروها و اختلاف زمان عبور سرعت بدست می‌آید. پلاک ٥۰ خودرو و زمان عبور از محل دو دوربین مشخص، ثبت گردید. سپس اختلاف زمان عبور محاسبه و با توجه به فاصله دو دوربین نسبت به محاسبه سرعت نقطه‌ای هر خودرو و نهایتاً محاسبه سرعت متوسط اقدام گردید. میانگین این سرعت‌ها ۹۳ کیلومتربر ساعت مشخص گردید.

٤- طراحی سناریو برای محدوده مورد مطالعه

فاصله دوربرگردان تا ورودی جاده قدیم تهران، ۳٤۲ متر می‌باشد. این فاصله بدان معنی است که خودروهایی که از جاده قدیم تهران، وارد بزرگراه می‌شوند، حدود ۳٤۰ متر فرصت دارند تا چند خط عوض کرده و اقدام به مانور واگرد نمایند. با توجه به توصیه هندبوک فلوریدا و تحقیقات محققان دیگر، به نظر می‌رسد که این فاصله کافی نباشد، بدین منظور چند سناریو به منظور بهبود عملکرد این محور و افزایش ایمنی عبور و مرور در نظر گرفته شد :

۱- سناریو اول: وضع موجود

۲-سناریو دوم: حذف دوربرگردان از محور و ایجاد دسترسی دسته کوزه‌ای به صورت زیرگذر

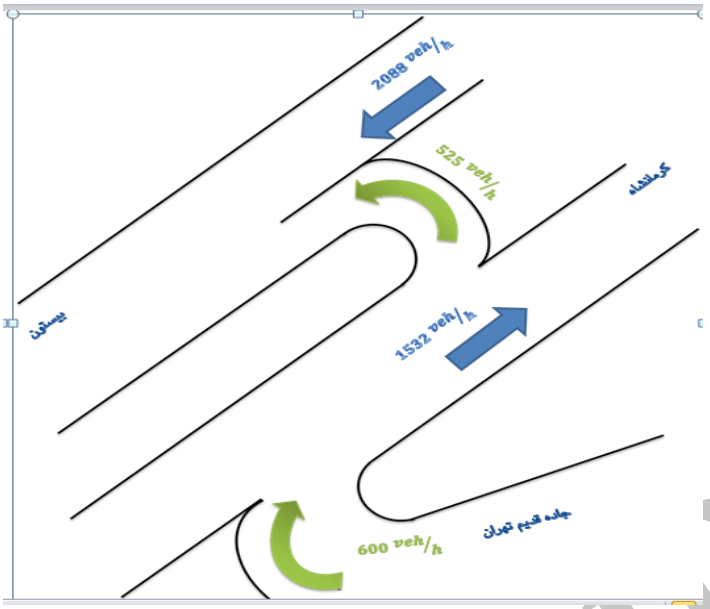
۳- سناریو سوم: جابجا کردن محل ورودی جاده قدیم تهران به بزرگراه و حفظ موقعیت دوربرگردان

٤- سناریو چهارم: جابجا کردن دوربرگردان به میزان ۱۹۰ متر به سمت غرب

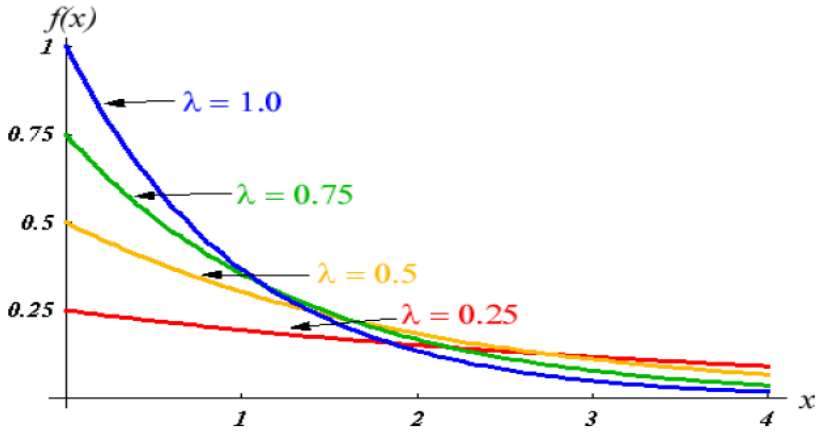
٥- سناریو پنجم: جابجا کردن دوربرگردان به میزان ۳۸۰ متر به سمت غرب

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳. خلاصه برداشت حجم در محور کرمانشاه – بیستون



شکل ٤. توزیع نمایی ورود خودرو به شبکه در نرم افزار AIMSUN

۵- شبیه‌سازی سناریوها

به منظور شبیه‌سازی سناریوها در این مطالعه از نرم‌افزار AIMSUN Advanced محصول شرکت TSS اسپانیا استفاده می‌شود. این نرم‌افزار به منظور مطالعات میکروسکوپیک، ماکروسکوپیک و مزوسکوپیک ترافیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعات هر سناریو ۵ بار و هر بار به مدت ۱ ساعت در نرم‌افزار شبیه‌سازی می‌گردد و برای هر سناریو، شبکه به مدت ۵ ساعت شبیه‌سازی می‌شود. خروجی‌های هر سناریو، میانگین مقدار ۵ بار اجرای نرم‌افزار برای هر سناریو می‌باشد.

نحوه ورود خودرو به شبکه نرم‌افزار AIMSUN از الگوریتم‌های خاصی پیروی می‌کند. بازه زمانی میان ورود ۲ خودروی متوالی به شبکه (سرفاصله زمانی) با استفاده از یک توزیع تصادفی شکل می‌گیرد. هنگامی که حجم‌ها و یا ماتریس مبدأ – مقصد به شبکه تخصیص داده می‌شود، می‌توان چند مدل سرفاصله مختلف را انتخاب نمود. بهترین مدل سرفاصله، مدل نمایی می‌باشد. در این مدل، بازه زمانی بین ورود ۲ خودروی متوالی (سرفاصله زمانی) در قطعه ورودی شبکه طبق نظریه کوان[٤] از یک توزیع نمایی ناشی می‌شود. جریان ورودی میانگین برحسب خودرو / ثانیه با λ و سرفاصله زمانی میانگین با $1/\lambda$ محاسبه می‌شود. الگوریتم محاسبه سرفاصله زمانی (t) به صورت زیر است:

```
u = random (0, 1)
If (λ> 0.0)
t = ((-1/λ)*ln(u))
Else
t = max_float
```

www.SID.ir

end if

توزیع سرفاصله مذکور، بیانگر زمان ورود هر خودرو به شبکه به صورت تئوری می‌باشد. اماباید بررسی شود آیا امکان ورود خودرو به شبکه به صورت عملی وجود دارد یا خیر؟ فرآیند ورود خودرو به شبکه به صورت الگوریتم زیر می‌باشد:

If (Is There Space) then
Enter a new vehicle
Else
Add Vehicle in the Virtual queue
End if

مطابق سناریوهای طراحی شده، شبکه پایه در نرم‌افزار شبیه‌ساز خردنگر مدل شده و سپس مطابق هر سناریو، تغییرات بر روی شبکه اعمال می‌شود و خروجی‌های هر سناریو در دیتابیس‌هایی ذخیره می‌گردد. در اینجا به طور نمونه، خروجی‌های سناریوی ۲ (ایجاد زیرگذر) ذکر می‌گردد. خروجی‌های شبکه در این سناریو پس از اجرای ۵ بار و گرفتن میانگین از معیارهای کارایی در جدول ۳ نشان داده شده است:

زمان تأخیر شبکه، زمان تأخیر میانگین به ازای هر وسیله نقلیه در هر کیلومتر می‌باشد. این معیار با توجه همه خودروها محاسبه شده و سپس به صورت ثانیه بر کیلومتر تبدیل می‌شود. در نرم‌افزار، این پارامتر با استفاده از فرمول محاسبه می‌شود.

DT_{Sys}: زمان تأخیر میانگین به ازای هر خودرو در هر کیلومتر

DT_{Sys}: تعداد خودرویی که در بازه I از شبکه خارج می‌شوند.

DT: زمان تأخیر میانگین در هر کیلومتر برای وسیله نقلیه I ام (ثانیه)

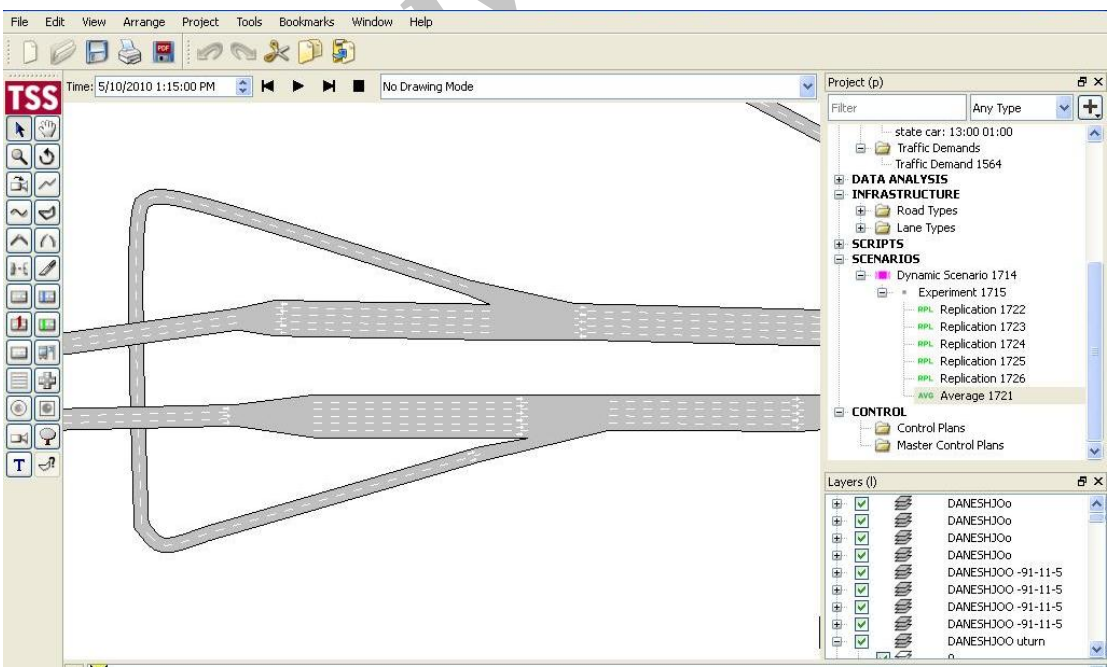
$$DT_{SYS} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{SYS}} DT_i}{N_{SYS}} \quad (۴)$$

$$TotalTravelTime_{SYS} = \sum_{i=1}^{N_{SYS}} TEX_i - TEN_i \quad (۵)$$

زمان سفر مجموع عبارت است از مجموع زمان سفر تجربه شده بر حسب ساعت توسط خودروهایی که در شبکه عبور کرده‌اند. این پارامتر با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد. البته در فرمول براساس ثانیه محاسبه می‌گردد، اما در جدول خروجی بر حسب ساعت ذکر می‌شود.

TEX_i: زمان خروج وسیله نقلیه I ام از شبکه (ثانیه)

TEN_i: زمان ورود وسیله نقلیه I ام به شبکه (ثانیه)



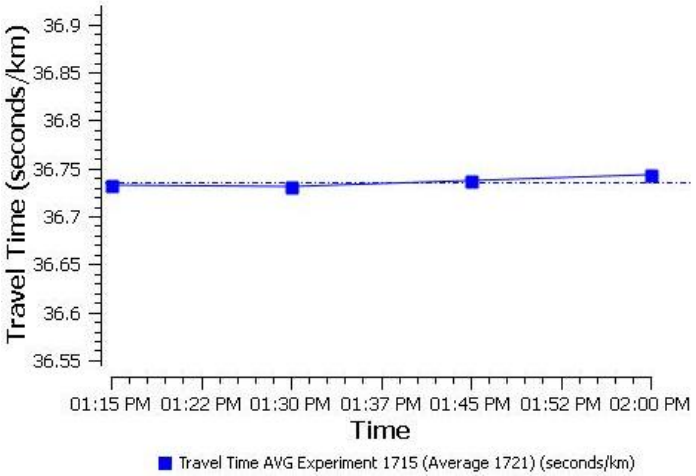
شکل ۵. سناریو ۲. ایجاد زیرگذر در محل دوربرگردان در محور کرمانشاه – بیستون

Archive of SID

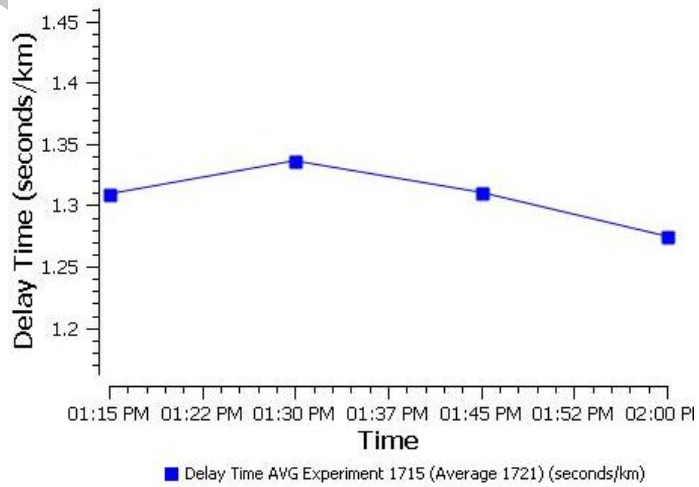
www.SID.ir

جدول ۲. خروجی نرم افزار برای سناریو ۲ در محور کرمانشاه – بیستون

معیار کارایی	مقدار	انحراف معیار	واحد
زمان تأخیر شبکه	۱/۳۰۸	۰/۰۲۶۰	ثانیه/کیلومتر
چگالی شبکه	۵/۶۰۴	–	خودرو / کیلومتر
جریان شبکه	٤۲۳٦	–	خودرو / ساعت
مصرف سوخت شبکه	۲۷۹/۰٤۲	–	لیتر
سرعت هماهنگ شبکه	۹۷/۹۹۳	۰/۰۹۲۷	کیلومتر بر ساعت
سرعت شبکه	۹۸/٦۳۵	۰/۰۹۲۱	کیلومتر بر ساعت
زمان توقف	۰/۰۰۰٦	۰/۰۰۱	ثانیه / کیلومتر
تعداد توقف	۰/۰۰۰۱	–	عدد/خودرو/کیلومتر
مسافت طی شده شبکه	٤۵۹٦/۲۹	–	کیلومتر
زمان سفر مجموع شبکه	٤۷/۱۱۵۲	–	ساعت
زمان سفر شبکه	۳٦/۷۳۷۱	۰/۰۳٤	ثانیه / کیلومتر

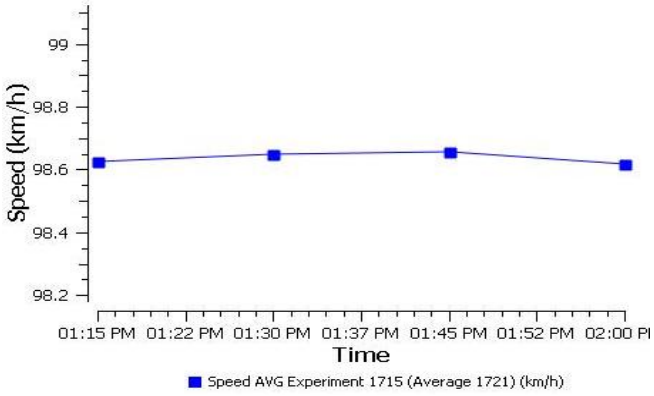


شکل ٦. تأخیر در شبکه پس از اجرای سناریو۲ (بازه ۱۵ دقیقه‌ای) در محور کرمانشاه – بیستون



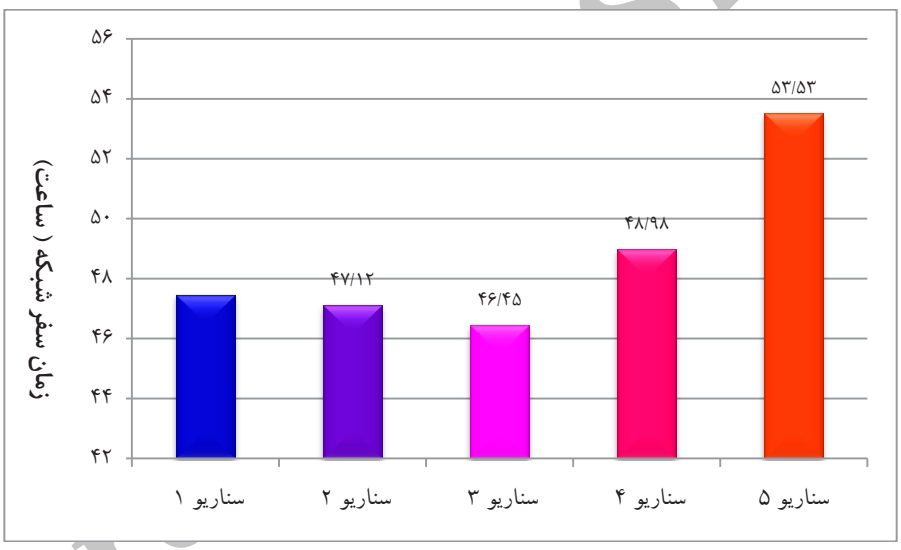
شکل ۷. سرعت در شبکه پس از اجرای سناریو ۲ (بازه ۱۵ دقیقه ای) در محور کرمانشاه – بیستون

www.SID.ir

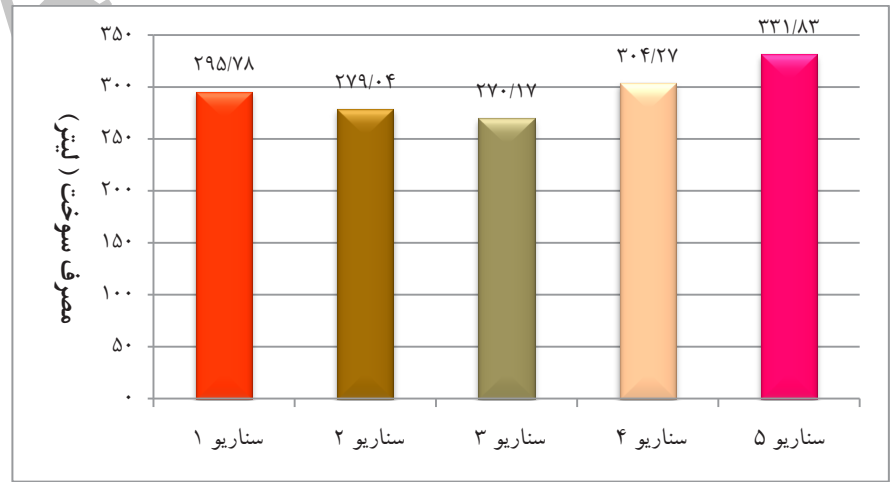


شکل ۸. زمان سفر در شبکه پس از اجرای سناریو ۲ (بازه ۱۵ دقیقه ای) در محور کرمانشاه – بیستون

با توجه به نتایج خروجی‌های به دست آمده از نرم‌افزار، به منظور ارزیابی گزینه‌ها و انتخاب گزینه برتر، نمودارهای شکل ۹ تا ۱۳ با توجه به خروجی گزینه‌ها ایجاد می‌شود.

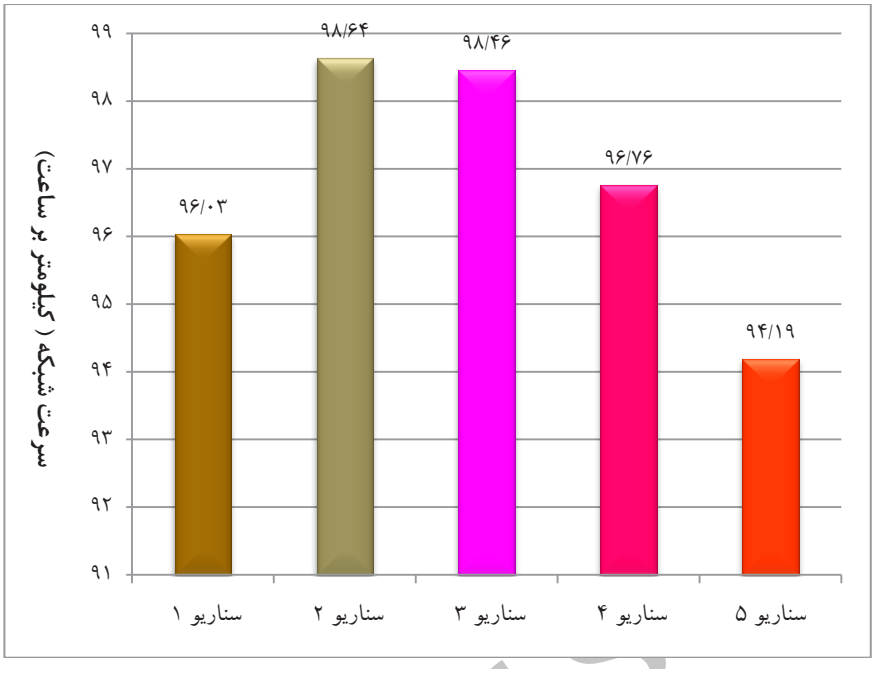


شکل ۹. مقایسه زمان سفر شبکه برای سناریوهای مختلف در محور کرمانشاه– بیستون

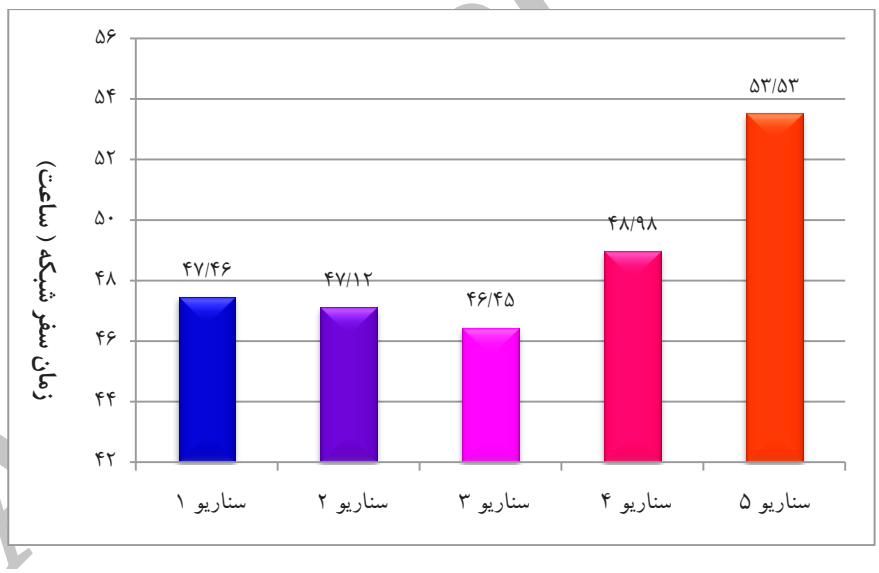


شکل ۱۰ . مقایسه مصرف سوخت شبکه برای سناریوهای مختلف در محور کرمانشاه– بیستون

www.SID.ir

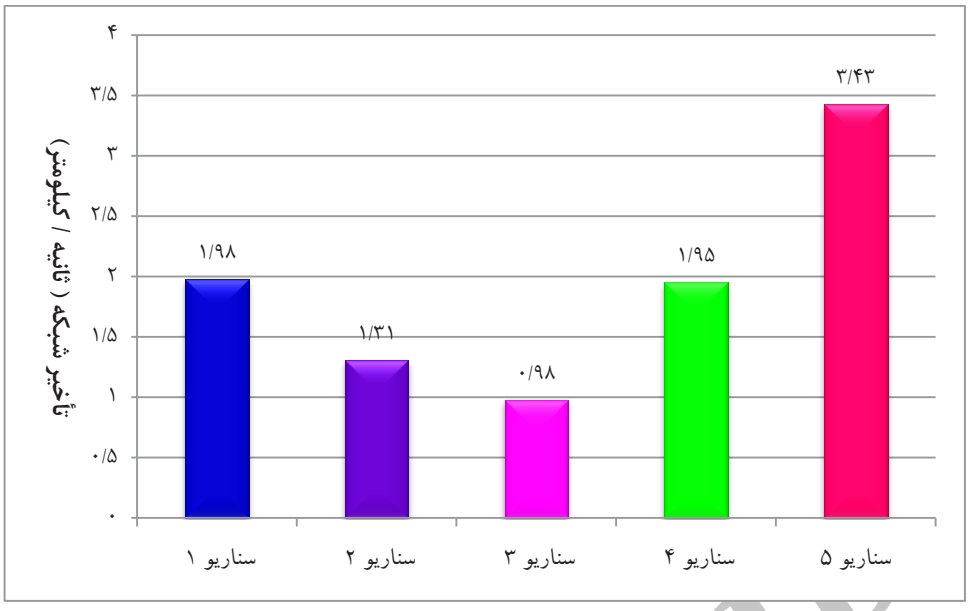


شکل ۱۱. مقایسه سرعت شبکه برای سناریوهای مختلف در محور کرمانشاه- بیستون



شکل ۱۲ . مقایسه زمان سفر به ازای خودروی موجود در شبکه برای سناریوهای مختلف در محور کرمانشاه- بیستون

www.SID.ir



شکل ۱۳ . مقایسه زمان تأخیر شبکه برای سناریوهای مختلف در محور کرمانشاه–بیستون

با توجه به نتایج بـه دسـت آمـده و بررسـی خروجـی‌هـای نرم‌افزار از ۵ سناریو، مشخص می‌شـود کـه سـناریو ۲ و ۳، سناریوهای برگزیده مطالعات در این محور می‌باشـند. البتـه شاخص‌ها و معیارهای کارایی در سـناریو ۳ قـدری بهتـر از سناریو ۲ می‌باشد. به دلیل اینکه که به لحاظ اجرایی، امکـان پیاده کردن گزینه ۳ در محل مشکل می‌باشد، لـذا سـناریو ۲ سناریو برگزیده در این محور می‌باشد.

٦- اعتبارسنجی

به منظور اعتبارسنجی مدلسازی، اقدام بـه کارگذاشـتن دیتکتـور (شناسگر) در مسیرهای وضع موجود مـی‌کنـیم. شناسـگرهـا در نرم‌افزار اقدام به شمارش خودرو، درصد اشـغال، تفکیـک نـوع وسیله نقلیه، سرفاصله زمانی و چگـالی در محـور مـی‌کننـد. در سـناریوی وضـع موجـود، مـا ٦ شناسـگر در محورهـا تعریـف می‌کنیم که محل نصب شناسگرها به ترتیب زیر است:

شماره ۱: محور شرق به غرب قبل از جاده قدیم تهران

شماره ۲: جاده قدیم تهران قبل از الحاق به مسیر شرق به غرب

شماره ۳: محور شرق به غرب بعد از جاده قدیم تهران

شماره ٤: در میانه دوربرگردان

شماره ٥: محور غرب به شرق قبل از دوربرگردان

شـماره ٦: محـور غـرب بـه شـرق بعـد از الحـاق دوربرگـردان به جریان.

جدول ۳. خروجی شناسگرها برای حالت وضع موجود در محور کرمانشاه - بیستون

شناسگر	حجم خودروی عبوری	اشغال (٪)	چگالی (veh/km)	سرفاصله زمانی(sec)	حجم در روز برداشت آمار	درصد تغییر حجم نسبت به واقعیت
۱	۱۵۱۸	۱۲/۳۲	۱٤/۲۱	۲/۳۷	۱۵۳۲	-٪۰/۹
۲	۵۹۸	۸/۲۰	۹/٤۸	۵/۹۷	٦۰۰	-٪۰/۳
۳	۲۱۰۹	۱۷/٦۵	۲۰/۳۸	۱/۷۱	۲۱۳۲	-٪۱
٤	۵۲۷	۱٤/۰۵	۱٦/۲٦	٦/۸۰	۵۲۵	+٪۰/۳
۵	۲۱۳۰	۱٦/۸۹	۱۹/٤۹	۱/٦۹	۲۰۸۸	+٪۲
٦	۲٦۵۱	۲۲/٦۹	۲٦/۲۱	۱/۳٦	۲٦۱۳	+٪۱/٤

Archive of SID

www.SID.ir

یکی از پنج سناریوی وضع موجود اجرا شده و اطلاعات از شناسگرها استخراج می‌شود. براین اساس، اطلاعات به دست آمده از شناسگرها در جداول زیر ذکر شده است.

همانطور که ملاحظه می‌شود، حجم‌های شمرده شده توسط شناسگرها با درصد بسیار بالایی (بالای ۹۸٪ بصورت میانگین) با حجم‌های برداشت شده در روز آماربرداری همخوانی دارد. حجم‌های ورودی به نرم‌افزار مطابق آمارهای برداشت شده ٤٢٢٠ خودرو در ساعت می‌باشد که خروجی نرم‌افزار ٤٢٥٢ خودرو در ساعت می‌باشد. این بدان معنا است که معیارهای کارایی به دست آمده، حالت بدبینانه‌تر و محافظه کارانه‌تری به دلیل تعداد خودروی موجود بیشتر در شبکه دارد. همچنین سرعت برداشت شده در این محور ۹۳ کیلومتر بر ساعت بوده است که خروجی نرم‌افزار ۹٤/۹۳۹ کیلومتر بر ساعت می‌باشد که با سرعت برداشت شده همخوانی خوبی دارد.

۷- نتیجه‌گیری

در این پژوهش تلاش گردید تا با توجه به تقاضای موجود خودروهای گردشی در محور بزرگراهی کرمانشاه – بیستون در استان کرمانشاه، شیوه بهینه به منظور حرکت واگرد تعیین گردد. بدین منظور محدوده مورد مطالعه به مدت ٦ ساعت در یک روز با شرایط جوی نرمال آماربرداری شد. تحلیل‌های حجم صورت گرفت و شبکه پایه در نرم‌افزار شبیه ساز خردنگر AIMSUN مدل گردید.به منظور یافتن شیوه بهینه به منظور تکمیل مانور واگرد، ۵ سناریو در نرم‌افزار طراحی گردید. هر سناریو ۵ بار و هر بار به مدت ۱ ساعت در نرم‌افزار شبیه‌سازی گردید. پس از اجرای شبیه‌سازی، خروجی‌های نرم‌افزار مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این ارزیابی نشان داد در صورتی‌که در محدوده مورد مطالعه به جای دوربرگردان، زیرگذر به منظور تکمیل حرکات واگرد احداث گردد، نسبت به سناریوهای دیگر معیارهای ترافیکی شبکه از جمله زمان سفر، تأخیر و سرعت هماهنگ شبکه بهبود می‌یابد، به طوری‌که زمان تأخیر شبکه و زمان سفر شبکه به ترتیب ۳۵٪ و ۳٪ کاهش می‌یابد، همچنین سرعت شبکه به میزان ٤٪ بهبود می‌یابد. با توجه به برداشت‌های صورت گرفته در این محدوده، اعتبارسنجی انجام شد که نتایج حاصل شده، صحت مدلسازی را تأیید کرد.

۸-پی‌نوشت‌ها

1. Zhou et al.
2. Tarek Sayed
3. Boddapati
4. Cowan

۹- مراجع

-AASHTO Green book, "A Policy on Design of Urban Highway and Arterial Streets", 6th edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, 2011.

-Boddapati P (2008), “Comparative study of type 2 median crossovers and median U-turns” University of Missouri – Columbia.

-Huaguo Zhou, Jian John Lu, (2003) “Optimal Location of U-turn Median Openings on Roadways” Transportation Research Board 82nd Annual Meeting.

-Jarvis Autey , Tarek Sayed,(2012) “Guidelines for the Use of Some Unconventional Intersection Designs” , 4th International Symposium on Highway Geometric Design , Valencia, Spain.

-j.Lu, (2005) "determination of the offset distance between driveway exit and downstream U-turn locations for vehicle making right turn followed by U-turns”, university of south Florida.

-Lu, J.J et al (2004), “ Safety Evaluation of Right-Turns followed by U-turns at Signalized Intersection (six or more lanes) as an Alternative to Direct Left Turns Conflict Data Analysis” Florida Department of Transportation.

-Ingrid B. Potts, “Median Intersection Design, NCHRP report 375” Transportation research board, National research council, Washington, D.C.

-Florida Department of Transportation (1997), “Median Handbook”, Tallahassee, FL.

-Liu, P. et al (2008)" Impact of the separation distances between driveway exits and downstream U-turn locations on the safety performance of right-turns followed by U-turns", Transportation Research Board.

-Ingrid B. Potts (2004) “Safety of U-Turns at Signalized Median Openings, NCHRP report 524” Transportation research board, National research

Archive of SID

www.SID.ir

council, Washington, D.C. 2004.

- آئین‌نامه طرح هندسی راه‌های ایران، نشریه شماره ٤١٥، (۱۳۹۱) معاونت نظام راهبردی، امور نظام فنی.

- تقاطع‌های همسطح شهری (۱۳۷٦)، معاونت امورفنی، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور،نشریه ١٤٥، جلد دوم.

- صفارزاده، م.، و همکاران، (۱۳۸۷) طرح هندسی راه‌ها و خیابان‌ها، پژوهشکده حمل و نقل، چاپ اول.

- عزیزی، ل.، (۱۳۸۸) تحلیل و ارزیابی دوربرگردان‌های اجرا شده در شهر تهران ، پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران.

- مظاهری، الف.، (۱۳۹۳) "تعیین مکان مناسب دوربرگردان در محدوده تقاطع‌های چراغدار شهری"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زنجان.

Archive of SID

www.SID.ir