تعیین مدل فاصله بهینه عبورگاه‌ها در راه‌های یک خطه دو طرفه مجهز به سیستم‌های حمل و نقل هوشمند

امین میرزا بروجردیان*، استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
علیرضا محبوبیان‌فرد، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Boroujerdian@modares.ac.ir

دریافت: ۹۶/۱۰/۲۰- پذیرش: ۹۷/۰٤/۲۰

صفحه۹۲-۷۷

چکیده

راه‌های روستایی ۸۳ درصد از شبکه راه‌های کشور را تشکیل می‌دهند که هزینه‌های ساخت اولیه و نگهداری بالایی را نیز شامل می‌شوند. بسیاری از این راه‌ها با توجه به موقعیت توپوگرافی خاص منطقه و میزان ترافیک کم (کمتر از ٤۰۰ وسیله نقلیه در روز) نیازی به داشتن دو خط عبور با عرض متداول را ندارند. این گونه راه‌ها می‌توانند با داشتن یک خط عبور با عملکرد دوطرفه که در فواصل مشخص دارای عبورگاه می‌باشند، عملکردی متناسب با شرایط ویژه عبور و مروری خود داشته که مشخصات ترافیکی قابل قبولی نیز دارند. مهمترین شاخص مورد توجه در طرح راه‌های یک خطه دو طرفه، حداقل شدن تاخیرات ناشی از توقف خودروها در عبورگاه‌ها می‌باشد. در این تحقیق برای مدلسازی راه یک خطه‌ی دو طرفه مجهز به سیستم‌های حمل و نقل هوشمند، از شبیه سازی کامپیوتری استفاده شده و قوانین ترافیکی در نرم افزار متلب شبیه‌سازی گردید. به کمک نتایج خروجی از شبه سازی مدل رگرسیونی فاصله بهینه عبورگاه‌ها توسعه یافت و پارامترهای آن مورد آزمون قرار گرفت. کمترین تاخیر به ازای بیشترین ظرفیت، فاصله عبورگاه‌ها، طول کل مسیر، سرعت تردد و ظرفیت عبورگاه‌ها نیز محاسبه گردید. در تمام حالات در نظر گرفته شده، حداقل تاخیر به ازای بیشترین ظرفیت قابل عبور با توجه به توزیع پواسونی تعداد وسایل نقلیه رسیده به مبدا حرکت در سمت چپ و راست در بازه‌های زمانی برابر، کمتر از ۸ دقیقه می‌باشد. براساس نتایج این تحقیق با افزایش فاصله بین عبورگاه‌ها به میزان یک کیلومتر، زمان تاخیر حدود ۱۲ دقیقه کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: راه یک خطه دو طرفه ، عبورگاه، حمل و نقل هوشمند، راه‌های کم تردد

۱- مقدمه

راه‌های روستایی ۸۳ درصد از شبکه‌ی راه‌ها در ایران را تشکیل می‌دهند که توسعه و بهبود روزافزون آنها از لحاظ ترافیکی، ایمنی و زیرساختی جهت توسعه اقتصادی و اجتماعی روستاها ضروری می‌باشد (مقدس‌نژاد، ۱۳۹۵). ساخت اولیه و تعمیر و نگهداری راه‌های روستایی هزینه‌های هنگفتی را بر گردن نهادهای بهره بردار قرار می‌دهند که با توجه به ترافیک عبوری نسبتاً پایین (کمتر از ٤۰۰ وسیله نقلیه در روز) در بسیاری از این راه‌ها، بهسازی مناسبی انجام نمی‌گردد (Oglesby, 1985). در گذر زمان و تخریب روسازی راه‌های دو خطه روستایی و عدم بهسازی مجدد، این راه‌ها عملاً عملکردی یک خطه و دو طرفه پیدا می‌کنند. این راه‌ها به علت عواملی مثل ترافیک بسیار کم (کمتر از ٤۰۰ وسیله نقلیه در روز)، تراکم جمعیت بسیار کم (کمتر از ۱۰۰ خانوار در منطقه)، کمبود اعتبارت عمرانی ملی و استانی در حوزه راه‌های روستایی و غیره به صورت یک خطه و با عملکرد ترافیکی دو طرفه باقی مانده‌اند و با شرایط نا ایمنی

در حال خدمت دهی می‌باشند که بایستی برای استفاده ایمن، دوباره مورد بهسازی یا بازسازی قرار گیرند (Dunphy, 1998). این راه ها شامل راه های واقع در مناطق کم تردد کوهستانی، جاده های منتهی به معدن و راه‌هایی با کاربری تفریحی می‌باشند که معمولاً تثبیت نشده هستند، اما می تواند با رویه آسفالتی نیز باشند. با توجه به آیین‌نامه طرح هندسی راه‌های ایران (نشریه ٤١٥، ١٣٩١)، راه‌های تک خطه جز راههای فرعی درجه ۳ محسوب می‌شوند. نمونه‌ای از راه تک خطه دو طرفه در شکل ۱ قابل مشاهده می‌باشد.

در کشورهای اسکاندیناوی و بریتانیا راه‌های یک خطه دوطرفه در مناطق روستایی کم تردد مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. این راه‌ها کیفیت روسازی مطلوبی را به دلیل نگهداری بهینه تر و کم هزینه تر دارا می‌باشند که دلیل اصلی آن عرض کمتر این راه‌ها می‌باشد.

با توجه به سیستم عملکردی راه‌های یک خطه در خدمت‌دهی به وسایل نقلیه عبوری در دو جهت مخالف، لازم است در هر عبورگاه دید کافی تا عبورگاه مجاور وجود داشته باشد تا رانندگان در مورد توقف یا عبور با توجه به وسیله نقلیه مقابل تصمیم‌گیری نمایند. بنابراین لازم است در فواصل نزدیک (حداکثر ۳۰۰ متر) عبورگاه تعبیه شود. در این تحقیق پیشنهاد شده است تا برای مدیریت بهینه تردد، راه‌های یک خطه مجهز به چراغ راهنمایی و سیستم ترددسنج شوند تا با عبور یک وسیله از یک عبورگاه چراغ برای حرکت از جهت مقابل در عبورگاه بعد قرمز شود. با راه اندازی چنین سیستمی می‌توان تعداد عبورگاه‌های لازم در یک مسیر را کاهش داده و به اقتصاد این پروژه‌ها کمک کرد. با توجه به توسعه سیستم‌های مختلف حمل و نقل هوشمند، استفاده از چنین سیستمی در راه‌های روستایی امکان پذیر می‌باشد.

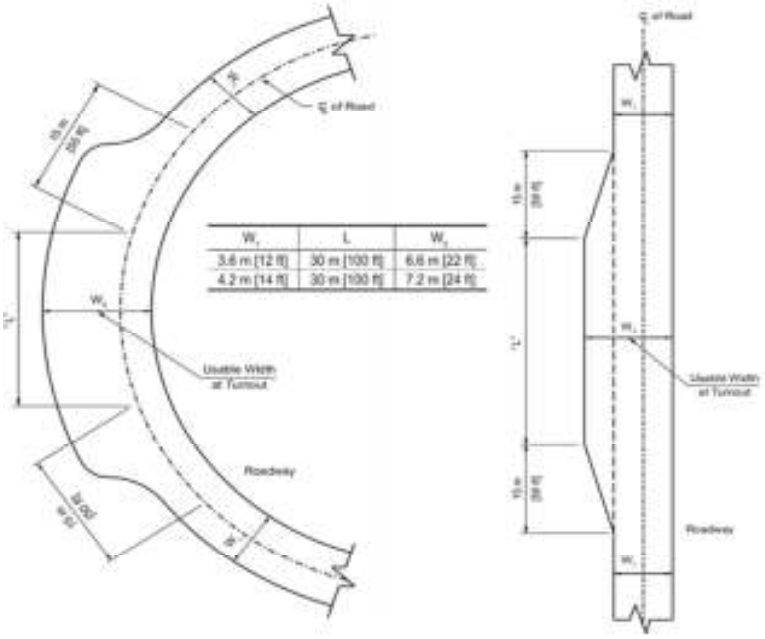
در این تحقیق به دلیل عدم دسترسی به راه تک خطه دوطرفه همراه با عبورگاه مجهز به سیستم چراغ ارهنمایی هوشمند ، از روش‌های کامپیوتری و برنامه نویسی برای شبیه‌سازی عبور و مرور استفاده شد. هرچه مفروضات استفاده شده در شبیه‌سازی به دنیای واقع نزدیک‌تر باشد نتایج حاصل دقیق‌تر خواهد بود (Leviäkangas and Pilli, 1999). هدف اصلی این تحقیق توسعه مدل رگرسیونی برای تخمین بهینه فاصله بین عبورگاه‌ها بود به نحویکه بتوانند با کمترین زمان تاخیر، بیشترین ظرفیت عبور و مرور را داشته باشند. در توسعه مدل‌هایی که هدفشان تخمین متغیر وابسته می‌باشد بایستی از پارامترهای کاربردی و قابل اندازه گیری جهت سهولت در تخمین مدل استفاده نمود. به کمک روش پیشنهادی در این تحقیق می‌توان با در نظر گرفتن شرایط ترافیکی خاص هر منطقه و در صورت توجیه پذیر بودن، از راه‌های تک خطه با عبورگاه در فواصی معین استفاده کرد. عرض مسیر در این تحقیق براساس آیین نامه های مربوطه بین ۳/۰۵ تا ٤/٢٥ متر (USFS, 2014) می باشد که کمتر از عرض سواره‌رو راه‌های دوخطه روستایی (طبق آیین نامه ٤١٥ برابر با ٦/٥ متر) می‌باشد.

۲- پیشینه تحقیق

با توجه به اهمیت اقتصادی پروژه‌های حمل و نقل و عدم توجیه احداث راه‌های دو خطه برای مسیرهای روستایی با تقاضای ترافیکی کم، استفاده از راه‌های یک خطه دو طرفه در این مناطق مورد توجه دستورالعمل‌های طرح هندسی مسیر در کشورهای مختلف قرار گرفته است.

براساس دستورالعل طرح هندسی راه‌ها و خیابان‌ها (AASHTO, 2011) در راه‌های تک خطه دو طرفه برای عبور راحت وسایل نقلیه بایستی از عبورگاه‌هایی در فواصل مشخص استفاده کرد. این عبورگاه‌ها بایستی در محل تمام قوس‌هایی که محدودیت دید داشته فراهم شوند و حداکثر فاصله بین آن‌ها نباید از ۳۰۰ متر بیشتر شود. همچنین این عبورگاه‌ها بایستی از محل عبورگاه‌های مجاور به راحتی دیده شوند. حداقل عرض عبورگاه‌ها برای طول ۱۵ متر برابر ۳ متر بوده و بایستی لچکی به طول ۸ متر در هر انتها داشته باشند. در صورت عبور تعداد زیادی از وسایل نقلیه با ابعاد نامتعارف، معیارهای طرح عبورگاه‌ها باید طوری تنظیم گردد که توانایی عبور این وسایل را داشته باشند. شکل ۲ نمونه‌ای از طرح عبورگاه‌ها را در مسیر مستقیم و منحنی برای راه تک خطه دو طرفه نشان می‌دهد.

شکل۱. نمونه‌ای از یک راه تک خطه دو طرفه



شکل ۲. طرح هندسی عبورگاهها (AASHTO, 2011)

طبق آیین‌نامه‌ی جنگلداری آمریکا (USFS, 2014) در صورتی که راه با دسترسی زیاد است بایستی حتماً عبورگاه‌ها از محل عبورگاه‌های مجاور قابل رویت باشند. در صورتی که این امکان وجود نداشته باشد، بایستی با گذاشتن علائم مناسب رانندگان را از شرایط موجود آگاه کرد. فاصله بین عبورگاه‌ها در راه‌های تک خطه دو طرفه، با اعمال قضاوت مهندسی بر اطلاعات بدست آمده از شکل ۳ و جدول ۱ و نیز معادله ۱ تعیین می‌گردد.

شکل ۳ نشان دهنده‌ی زمان سفر افزایش یافته وسیله نقلیه می‌باشد که ناشی از عبور وسیله نقلیه در جهت مخالف در محل عبورگاه‌ها است که تابعی از تعداد وسایل نقلیه عبوری از کل مسیر در بازه یک ساعته است (توجه: در هنگام تبدیل ADT به VPH، هر روز ۱۰ ساعت فرض می‌شود). جدول ۱ نشان‌دهنده محدودیت‌های عملکردی برای سطوح سرویس G تا J و ملزومات مرتبط با فاصله بین عبورگاه‌ها می‌باشد.

شکل ۳. افزایش زمان سفر برای مقادیر مختلف فواصل عبورگاه‌ها (USFS, 2014)

جدول ۱. فواصل عبورگاه‌ها (USFS, 2014)

سطح سرویس	محدودیت‌های عملکردی	فواصل پهلوگیرها
G	ترافیک: مرکب ظرفیت: حداکثر ۲۵ وسیله در ساعت (VPH)	عبورگاه‌ها از وسط فاصله بین عبورگاه‌های مجاور قابل رویت بوده مگر آنکه محدودیت‌های هزینه یا محیط زیستی بازدارنده باشد. فاصله نزدیکتر ممکن است سبب بهبود کارایی و راحتی گردد. حداکثر فاصله بین عبورگاه‌ها ۳۰۰متر است.
H	ترافیک: مرکب ظرفیت: حداکثر ۲۵ وسیله نقلیه در ساعت (VPH) سرعت طرح: حداکثر ۴۰ کیلومتر بر ساعت تاخیرها: بایستی کمتر از ۳۰ ثانیه در مایل یا کمتر باشد. استفاده از علائم برای هشدار به کاربران غیر بازرگانی برای آگاهی از وجود کاربران بازرگانی در راه. در قطعاتی از راه که پهلوگیرها از وسط فاصله بین عبورگاه‌ها قابل رویت نیستند بایستی علائم گذاری شوند.	عبورگاه‌هایی که از وسط فاصله بین عبورگاه‌های مجاور قابل رویت باشند مطلوب بوده، ولی ممکن است به دلیل محدودیت‌های هزینه یا محیط زیستی این شرایط امکان‌پذیر نباشد. حداکثر فاصله بین عبورگاه‌ها ۳۰۰ متر است.
I	ترافیک: تا حدودی مرکب ظرفیت: حداکثر ۲۰ وسیله نقلیه در ساعت سرعت طرح: حداکثر ۳۰ کیلومتر بر ساعت تاخیرها: حداکثر ۶۰ ثانیه در مایل راه بایستی به گونه‌ای مدیریت شود که از ایجاد برخورد بین کاربران بازرگانی و غیر بازرگانی جلوگیری کند.	تنها زمانی که تاثیرات محیط زیستی اندک و هزینه‌های ساخت و ساز پایین باشد، عبورگاه‌های اضافی ممکن است احداث گردند. حداکثر فاصله بین عبورگاه‌ها ۳۰۰ متر.
J	ترافیک: انتظار استفاده مرکب وجود ندارد ظرفیت: معمولاً ۱۰ وسیله نقلیه در روز یا کمتر سرعت طرح: ۲۵ کیلومتر بر ساعت یا کمتر تاخیرات: حداقل قابل انتظار ۶۰ ثانیه در مایل می‌باشد راه بایستی به گونه‌ای مدیریت شود که از ایجاد برخورد بین کاربران بازرگانی و غیر بازرگانی جلوگیری کند.	معمولاً فقط شامل عبورگاه‌های طبیعی ساخته شده مثل عرض اضافی در لبه‌ها یا دیگر مناطق در دسترس در زمین‌های هموار است.

در آیین نامه جنگلداری آمریکا فاصله بین عبورگاه‌ها به کمک رابطه (۱) محاسبه می‌گردد:

رابطه (۱) $$T = \frac{DS}{36}$$

T= زمان سفر افزایش یافته برای خودروی متوقف شده (٪)

D= زمان تاخیر در هر مایل برای خودروی متوقف شده (s)

و S= سرعت طرح (MPH) است.

روند تعیین فاصله بین عبورگاه‌ها:

۱) حل رابطه (۱) برای تعیین T.

۲) استفاده از گراف شکل ۳ برای تعیین فاصله لازم بین عبورگاه‌ها برای آن‌که بتواند تعداد مشخصی از خودروهای عبوری در هر ساعت (VPH) را عبور دهد.

۳) استفاده از قضاوت مهندسی برای تعیین فاصله بین عبورگاه‌ها با توجه به مطالب ذکر شده در جدول۱.

در تعیین محل عبورگاه‌ها به نکات زیر توجه می‌شود (USFS, 2014) :

- متغیرهایی چون فاصله، نرخ جریان، زمان تاخیر و سرعت طرح بایستی بر حسب اهمیت نسبی‌شان مورد تحلیل قرار گیرند. همچنین ترکیب‌های مختلفی از این متغیرها بایستی برای مشخص شدن تاثیرشان بر ایمنی، هزینه و محیط زیست ارزیابی شوند. هدف نهایی تعیین فاصله‌ای است که بتواند جریان مناسبی از ترافیک را برای سطح سرویس مورد نظر عبور دهد.
- در تعیین محل عبورگاه‌ها به مواردی چون نوع کاربران، ایمنی و هزینه بایستی توجه کرد. مکان‌هایی که برای احداث عبورگاه‌ها مناسب اند عبارتند از:

۱) در بیرون محل‌های خاکبرداری، مثل بیرون قوس در حوالی نقطه‌ای از لبه راه،

۲) در بخش کم عمق خاکریزها، مثل بخش فوقانی قوس‌ها در روبه‌روی مسیل‌ها،

۳) در منقطه بین خاکبرداری و خاکریزی‌های مستقیم و

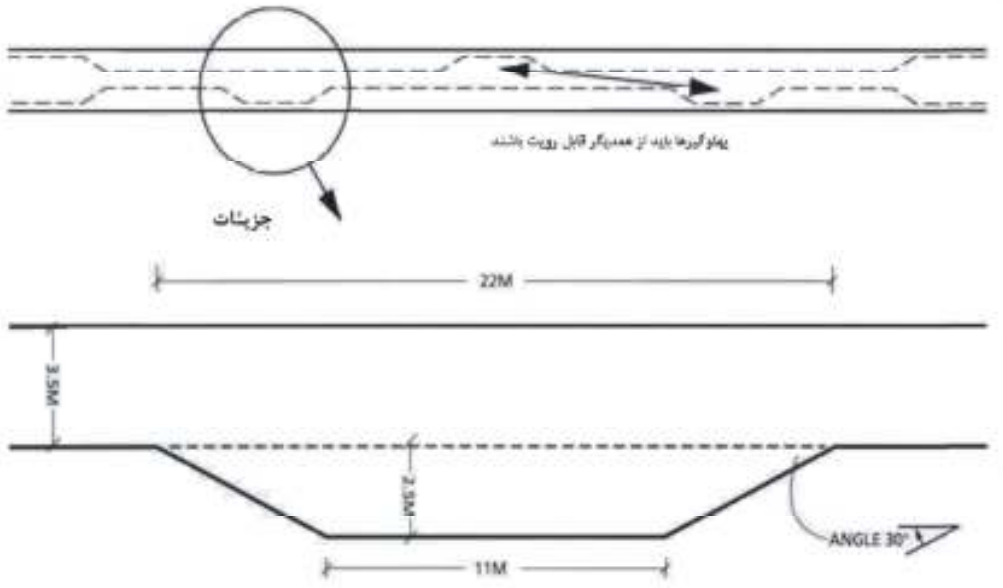
٤) در راه‌هایی که عبور وسایل نقلیه حامل الوار محتمل باشد. بنابراین وسایل نقلیه بارکش تخلیه شده یا دیگر خودروها می توانند از عبورگاه استفاده کنند (تا وسیله نقلیه‌ای که حامل بار است بتواند بدون کاهش سرعت از راه عبور نماید).

- ساخت عبورگاه‌ها نباید فقط به جهت تامین محل‌های قرضه و دپوی پروژه باشد. بلکه ممکن است به دلیل ایجاد مناظر دیدنی باشد.
- استانداردها و مقادیر حداقل برای عرض و طول عبورگاه‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. در صورتی که عبورگاه‌ها در محل قوس‌ها واقع شده باشند بایستی از عرضی بیش از مقادیر ارائه شده در جدول ۲ استفاده کرد.
- در صورتی که در طراحی مسیر نیاز به تعداد بسیار زیادی عبورگاه باشد، بایستی طرح ساخت یک راه دو خطه با در نظر گرفتن مسائل مالی و ایمنی مورد نظر قرار گیرد.

جدول ۲. طول و عرض عبورگاهها (USFS, 2014)

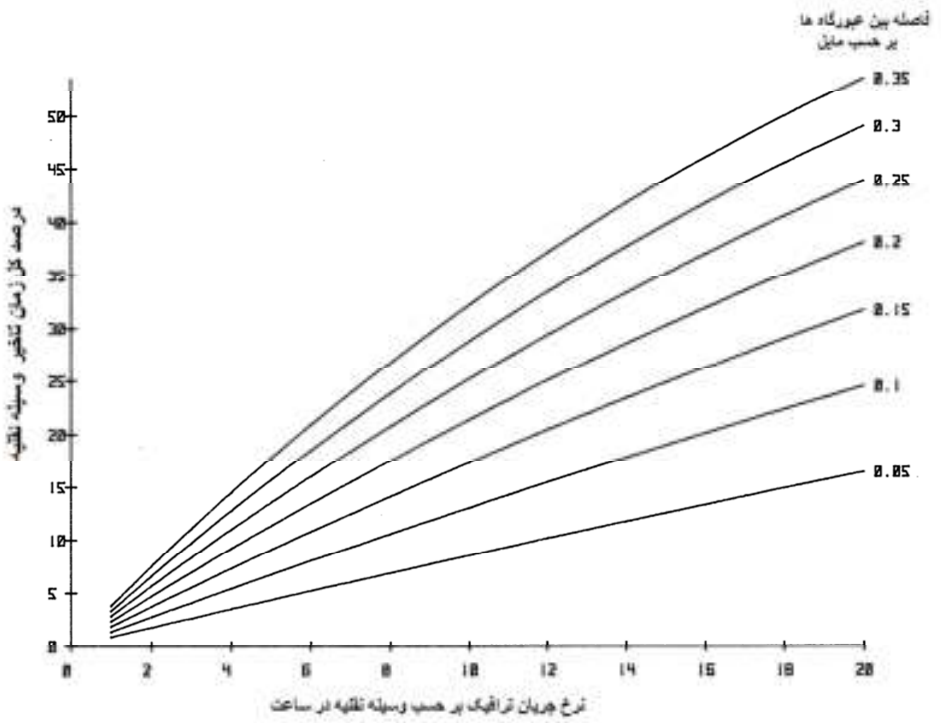
سطح سرویس	طول‌های عبورگاه و لچکی	عرض پهلوگیرها
G	طول خودروی طرح یا حداقل ۲۳ متر (هر کدام بزرگتر است) حداقل ۱۵ متر طول لچکی در هر انتها	۳ متر
H	طول خودروی طرح حداقل ۱۵ متر طول لچکی در هر انتها	۳ متر
I	طول خودروی طرح حداقل ۹ متر طول لچکی در هر انتها	حداقل کل عرض سواره رو و عبورگاه برابر با عرض دو خودروی طرح به اضافه ۱/۲ متر است.
J	طول کامیون در شرایطی که خالی از بار است. حداقل ۹ متر طول لچکی در هر انتها	حداقل کل عرض سواره رو و عبورگاه برابر با عرض دو خودروی طرح به اضافه ۱/۲ متر است.

براساس پیشنهاد کتاب طرح هندسی راه‌های بسیار کم‌تردد محلی (AASHTO, 2001) از راه‌های تک خطه دو طرفه در شرایط و موقعیت‌هایی که محدودیت‌هایی برای ساخت وجود داشته و نیز حجم ترافیک به شدت کم می‌باشد (کمتر از ۱۰۰ وسیله نقلیه در روز) استفاده می‌گردد. سرعت عملکردی در این راه‌ها حداکثر ۵۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. این راه‌ها عموماً بدون روسازی بوده و عرضی برابر با ۳/۵ تا ٤/۰ متر دارند. مقادیر فواصل دید توقف در این راه ها بایستی دو برابر فاصله دید توقف ارائه شده برای راههای دو خطه دو طرفه (یا یک خطه یک طرفه) باشد. برای فراهم آوردن امکان عبور خودروهای واقع در جهات مخالف از عبورگاه‌ها در فواصل مشخصی از هم استفاده می‌شود. براساس راهنمای طرح هندسی راه‌ها و پل‌های بریتانیا (DMRB, 2016) فاصله حداکثر پهلوگیرها را ۱۵۰ متر از هم تعیین نموده است و عبورگاه‌های متوالی بایستی به صورت متناوب در سمت چپ و راست راه قرار گیرند. جزئیات بیشتر این نوع راه در شکل ٤ دیده می‌شود.

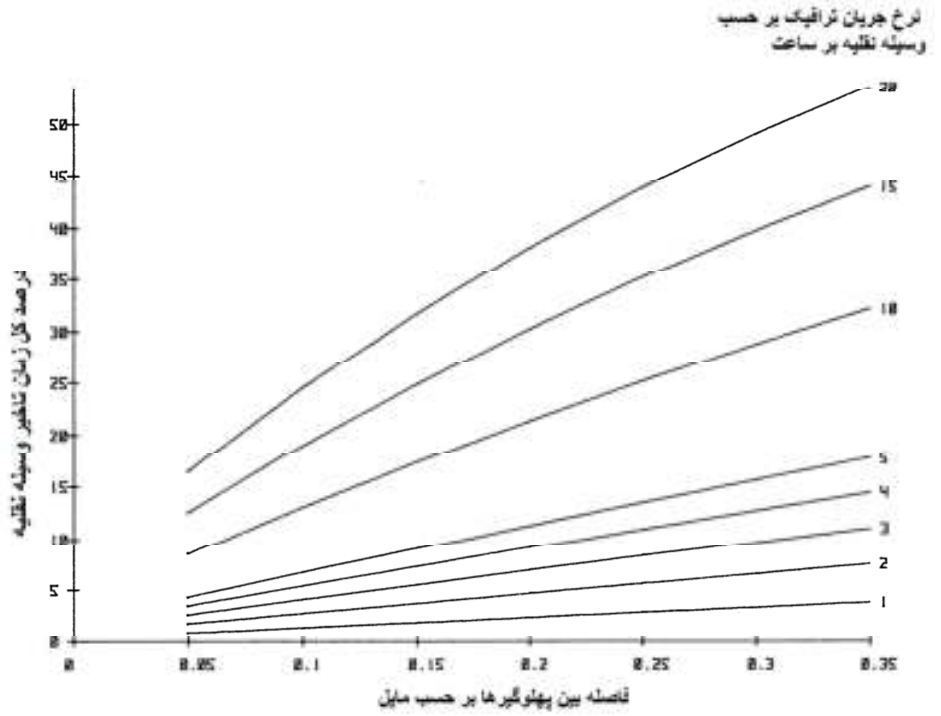


شکل ٤. جزییات راه تک خطه دو طرفه در آیین نامه راه های کم تردد بریتانیا (DMBR, 2016)

در تحقیق دیگری (Anderson, 1980) مدلی برای تعیین فاصله بهینه عبورگاه‌ها برای شرایط خاص و تعیین تاثیر فاصله عبورگاه‌ها در هزینه‌های حمل بارهای جنگلی ارائه شده است. این فاصله بهینه حساسیت زیادی را نسبت به نرخ جریان ترافیک و سرعت وسایل نقلیه باری خالی و حامل بار و حساسیت کمی را نسبت به هزینه ساخت پهلوگیر، عمر مفید راه و هزینه های حمل بارهای جنگلی را نشان داد. این تحقیقات نشان داد که با افزایش ۱۰۰ درصدی جریان ترافیک، فاصله بین عبورگاه‌ها به مقدار حداکثر ۷۰ درصد کاهش می‌یابد که عمده دلیل این رابطه ناشی از تاثیر افزایش جریان ترافیک بر روی تاخیر کل قابل انتظار می‌باشد. در شکل ۵ و٦ به ترتیب نمودار درصد کل زمان تاخیر–نرخ جریان و نمودار درصد کل زمان تاخیر–فاصله بین پهلوگیرها که از نتایج حاصل از این تحقیق می‌باشند ارائه شده است.



۵. نمودار درصد کل زمان تاخیر-نرخ جریان در راه‌های یک خطه دو طرفه (Anderson, 1980)



شکل ٦. نمودار درصد کل زمان تاخیر-فاصله بین پهلوگیرها در راه‌های یک خطه دو طرفه (Anderson, 1980)

تحقیقات انجام شده درباره سرفاصله زمانی بین عبور دو خودروی متوالی در راه‌های با نرخ جریان پایین و راه‌های روستایی نشان می‌دهد که استفاده از توزیعاتی چون توزیع دو جمله‌ای منفی و توزیع پواسون (Wohl and Martin, 1967)، توزیع پیرسون نوع ۳ (Haight, 1960)، توزیع ارلنگ و توزیع پیرسون نوع ۱ و توزیع پواسون (Drew, 1968) منطبق بر خصوصیات ترافیکی این گونه راه‌ها می‌باشد. در تمامی تحقیقات فوق انطباق دسته داده‌های نرخ رسیدن وسایل نقلیه بر توزیعات نام برده انجام گردیده و آزمون‌های برازندگی انجام شده بر روی داده‌ها نتایج مطلوبی را به همرا داشته است. این تحقیقات نشان می‌دهد که درصد انطباق برای توزیع پواسون از دیگر توزیعات بیشتر بوده انطباق بیشتری با خصوصیات ترافیکی راه‌های کم‌تردد دارد. در مطالعه انجام شده دیگری فاصله بهینه عبورگاه‌ها در راه‌های تک خطه دو طرفه به کمک روابط ریاضی و قوانین سینماتیک و انجام فرض‌های ساده کننده محاسبه شده است و متغیرهایی چون سرعت وسایل نقلیه، ترافیک و فواصل دید بشترین تاثیر را در فاصله عبورگاه‌ها داشتند. در این پژوهش تاخیر ایجاد شده با توجه به فاصله عبورگاه‌ها محاسبه نشده است (Porpaczy and Waelti, 1976).

اولین بار ایلین مقدار بحرانی جریان ترافیک که باید تعداد خط از یک خط به دو خط افزایش یابد و نیز فاصله بهینه عبورگاه‌ها را محاسبه کرد. طبق این تحقیق نیاز به دو خطه-سازی راه یک خطه دو طرفه در صورت رسیدن جریان ترافیک عبوری به بیش از ۱۵ وسیله نقلیه در ساعت وجود دارد (Ilin, 1965). در این تحقیق میزان تأخیر ایجاد شده در عبورگاه‌ها محاسبه نشده است. در جدول ۳ خلاصه‌ای از تحقیقات انجام شده در زمینه فاصله بهینه عبورگاه‌ها در راه‌های یک خطه دو طرفه به همراه نتایج حاصله آمده است.

جدول ۳. خلاصه پیشنیه تحقیق

ردیف	نام نویسنده	عنوان مطلب	سال	نتایج و پیشنهادها به صورت خیلی خلاصه
۱	آیین‌نامه جنگلداری آمریکا	راه‌های تک خطه دو طرفه	۲۰۱٤	۱- محاسبه فاصله بین عبورگاه‌ها به کمک نمودار طراحی و فرمو محاسباتی و سطح سرویس. ۲- افزایش تاخیر وسایل نقلیه به ازای افزایش فاصله بین عبورگاه‌ها
۲	طرح هندسی راه‌ها و خیابان‌ها آشتو	فاصله عبورگاه‌ها	۲۰۱۱	۱- فاصله عبورگاه‌ها حداکثر ۳۰۰ متر. ۲- عبورگاه‌های مجاور از همدیگر قابل رویت باشند.
۳	طرح هندسی راه‌های بسیار کم تردد محلی	راه تک خطه دو طرفه	۲۰۰۱	۱- سرعت عملکردی این راه‌ها حداکثر ۵۰ کیلومتر بر ساعت و مناسب برای متوسط ترافیک کمتر از ۱۰۰ وسیله نقلیه در روز.
٤	کتاب طرح هندسی راه‌های کم تردد بریتانیا	راه‌های تک خطه دو طرفه	۱۹۸۱	۱- حداکثر فاصله بین پهلوگیرها ۱۵۰ متر و بستگی به تراکم جمعیتی منطقه دارد.
۵	اندرسون	فاصله بهینه عبورگاه در راه‌های تک خطه برای حمل بارهای جنگلی	۱۹۸۰	۱- ارائه نمودارهای طرح فاصله بهینه عبورگاه‌ها در راههای یک خه دوطرفه جنگلی با توجه به خالی یا پر بودن وسیله نقلیه از بار و تعین تاثیر دیگر پارامترهای موثر بر این فاصله بهینه ۲- افزایش تاخیر وسایل نقلیه به ازای افزایش فاصله بین عبورگاه‌ها
٦	پراتزی و والتی	محاسبه فاصله عبورگاه‌ها در راه-های تک خطه دو طرفه	۱۹۷۵	محاسبه فاصله بهینه عبورگاه‌ها انجام شده ولی تاخیر ایجاد شده با توجه به فاصله بین عبورگاه‌ها محاسبه نشده است.
۷	درو	تئوری جریان ترافیک	۱۹٦۸	استفاده از توزیع ارلنگ و پیرسون نوع ۱ جهت توزیع

ردیف	نام نویسنده	عنوان مطلب	سال	نتایج و پیشنهادها به صورت خیلی خلاصه
				سرفاصله زمانی بین وسایل نقلیه متوالی در راه‌هایی با ترافیک عبوری کم را پیشنهاد می‌کند
۸	ایلین	معیار ترافیکی تبدیل راه یک خطه دو طرفه به دو خطه	۱۹٦۵	محاسبه فاصل بهینه پهلوگیرها انجام شده ولی تاخیرات ناشی از توقف در عبورگاه محاسبه نشده است.
۹	هایت	تئوری‌های ریاضیاتی کنترل ترافیک	۱۹٦۳	استفاده از توزیع پیرسون نوع ۳ جهت توزیع سرفاصله زمانی بین وسایل نقلیه متوالی در راه‌هایی با ترافیک عبوری کم را پیشنهاد می‌کند.

۳- روش تحقیق

برای انجام این تحقیق به دلیل عدم دسترسی به یک راه تک خطه دو طرفه که مجهز به سیستم‌های حمل و نقلی هوشمند باشند، از شبیه‌سازی این راه به کمک نرم افزار متلب در قالب برنامه نویسی ریاضیاتی هوشمند حرکت وسایل نقلیه در آن با در نظر گرفتن قیدهای لازم برای تامین ایمنی عبور و مرور استفاده شده است.

با توجه به مرور ادبیات تحقیق در این زمینه، متغیرهایی که بیشترین تاثیر را در میزان متوسط تاخیر وسایل نقلیه در این گونه راه‌ها دارند عبارتند از فاصله بین عبورگاه‌ها، طول کل مسیر، ظرفیت عبورگاه‌ها و ظرفیت کل عبور وسایل نقلیه از دو طرف مسیر که از همه آن‌ها در شبیه‌سازی استفاده گردید و مدل نهایی بر اساس این متغیرها به کمک نرم افزار STATA 13 توسعه یافت.

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها و اطلاعات از روش رگرسیون چند متغیره استفاده شده است. در این پژوهش از روش حداقل مربعات معمولی OLS که یکی از رایج‌ترین روشهای برآورد آماری است، استفاده میشود. روش OLS یکی از مشهورترین و قویترین روش‌های تحلیل رگرسیون است. مدلسازی رگرسیون در این پژوهش براساس متغیر وابسته متوسط تاخیر وسایل نقلیه و متغیرهای مستقل فاصله بین عبورگاه‌ها، طول کل مسیر، ظرفیت عبورگاه‌ها و ظرفیت کل عبور وسایل نقلیه از دو طرف مسیر خواهد بود. هدف اصلی این روش به طور خیلی ساده و در رگرسیون پنج متغیره، برآورد ضرایب β_0 و β_1 و β_2 و β_3 و β_4 و β_5 در رابطه (۲) است:

$$Delay_i = \beta_0 + \beta_1 L_i + \beta_2 TS_i + \beta_3 SPEEd_i + \beta_4 TCAP_i + \beta_5 RCAP_i + u_i \qquad (۲)$$

که در آن:

$Delay_i$ = متوسط تاخیر ایجاد شده در حرکت کل وسایل نقلیه عبوری که ناشی از توقف در عبورگاه‌ها می‌باشد،

L_i = طول کل مسیر بر حسب کیلومتر،

TS_i= فاصله بین عبورگاه‌ها بر حسب کیلومتر (۰/۲ تا ۲/۵) که برابر فرض شده است،

$Speed_i$= سرعت بر حسب کیلومتر بر ساعت که برای کلیه وسایل نقلیه برابر و ثابت (۳۰، ٤۰، ۵۰، ٦۰، ۷۰) فرض شده است،

$TCAP_i$ = ظرفیت عبورگاه‌ها که برابر با ۲ یا ۳ فرض شده است،

$RCAP_i$ = ظرفیت کل راه در دو جهت (مجموع) بر حسب وسیله نقلیه بر ساعت (محاسبه شده در ۲٤ ساعت) و

u_i = متغیر پنهان مدل است که دارای امید ریاضی صفر، عدم همبستگی و واریانس ثابت است که دربرگیرندهٔ اثرات سایر متغیرهای لحاظ نشده در مدل (به علت دراختیارنبودن اطلاعات آنها، هزینه بربودن دستیابی به اطلاعات آنها، عدم اطلاع از وجود آنها و غیره) و نیز ماهیت تصادفی متغیر $Delay_i$ می‌باشد؛

در رابطه (۲)، Delay متغیر وابسته بوده که قرار است نحوهٔ تأثیر متغیرهای مستقل بر روی آن اندازه-گیری شود؛ ضرایب β_1 تا β_5 چگونگی تأثیر متغیر مستقل مربوطه را بر روی متغیر وابسته Delay نشان خواهند

داد. β_0 عرض از مبدأ مدل (ارزش Delay را در زمانی که ارزش متغیر های مستقل برابر صفر است) تعریف می‌کند. اندیس i نشان دهندهٔ هریک ازاعضای جامعهٔ مورد بررسی است.

رابطه (۳) در یک نمونهٔ تصادفی از جامعهٔ مورد بررسی که رگرسیون آن، به صورت زیر بیان می‌شود:

$$Delay_{i1} = \beta_0 + \beta_1 L_{i1} + \beta_2 TS_{i1} + \beta_3 SPEED_{i1} + \beta_4 TCAP_{i1} + \beta_5 RCAP_{i1} + e_i \qquad (۳)$$

در رابطه (۳)، e_i متغیر پنهان در معادلهٔ مربوط به نمونه است و اندیس i بر هریک از اعضای نمونه دلالت دارد. روش حداقل مربعات معمولی همانطور که از نامش پیداست، از طریق حداقل کردن مربع باقیمانده‌ها، ضرایب β_0 تا β_5 را محاسبه می‌کند؛ زیرا هر قدر این باقیمانده‌ها کوچکتر باشند، مقادیر تاخیر تخمینی به مقادیر تاخیر واقعی جامعه نزدیکتر بوده و درنتیجه، مدل نتایج بهتری را به دست می‌دهد. بنابراین شرط مطلوبیت رابطه (۲) را می‌توان به صورت رابطه (٤) بازنویسی کرد:

$$Min \sum e_i^2 = \sum \left(Y_i - \hat{Y}_i\right)^2 \qquad (٤)$$

۳-۱- قوانین کلی و فرضیات اولیه مورد استفاده در شبیه‌سازی

قوانین کلی و فرضیات اولیه مورد استفاده در شبیه‌سازی تردد که در برنامه نویسی رایانه‌ای راه‌های تک خطه دو طرفه استفاده گردیده است به شرح زیر می‌باشد:

۱- اولین خودروی سمت چپ و اولین خودوی سمت راست هر عبورگاه را از نظر فاصله زمانی (که به دلیل سرعت ثابت و برابر کلیه خودروها با فاصله مکانی برابر است) تا عبورگاه با هم مقایسه کرده و هرکدام که زمان کمتری برای رسیدن به عبورگاه نیاز داشت را وارد عبورگاه کن. در ادامه به طور مشابه اولین خودروی سمت چپ و راست که در دو طرف عبورگاه باقی مانده‌اند را با هم از نظر فاصله زمانی مقایسه کن.

۲- اگر حالتی رخ داد که دو خودرو از نظر فاصله زمانی تا عبورگاه برابر بودند، خودرویی را وارد عبورگاه کرده که زمان بیشتری را از لحظه شروع حرکتش سپری کرده است. اگر هر دو خودروی چپ و راست عبورگاه علاوه بر فاصله زمانی یکسان تا عبورگاه، زمان کل سپری شده یکسانی نیز از مبدا حرکتشان داشته باشند نیز به طور اختیاری یکی از دو خودرو وارد عبورگاه می‌گردد.

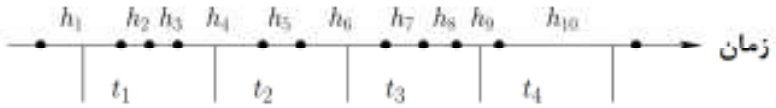
۳- اگر طبق شرایط پیش آمده در شبیه‌سازی به خودروهایی که وارد عبورگاه شده‌اند اجازه خروج و ادامه حرکت داده شود، باید به هر تعداد خودرویی که از یک جهت (مثلاً از جهت چپ به راست) وارد عبورگاه شده‌اند این اجازه داده شود. مثلاً اگر ظرفیت عبورگاه سه خودرو بوده و دو خودرو از سمت چپ به راست وارد پهلوگیر شده و یک خودرو از سمت راست به چپ، حال زمانی که شرایط عبورگاه و قطعه کناری به نحوی بود که اجازه ادامه حرکت به خودروهایی که از سمت چپ به راست وارد عبورگاه شده اند داده می‌شود، بایستی این اجازه به هر دو خودرو داده شود.

مدلسازی رسیدن وسایل نقلیه به مبدا دو طرف راست و چپ راه تک خطه دو طرفه را می‌توان به دو روش مختلف که به هم نیز مرتبط می‌باشند انجام داد. روش اول مدلسازی تعداد وسایل نقلیه رسیده به مبدا دو طرف در یک بازه زمانی معین (توزیع گسسته) و روش دوم مدلسازی بازه‌های زمانی رسیدن بین خودروهای متوالی رسیده به مبدا در دو طرف راست و چپ (توزیع پیوسته) می‌باشد.

در این تحقیق از توزیع گسسته پواسون برای مدلسازی فرآیند تصادفیِ تعداد وسایل نقلیه رسیده در یک بازه زمانی معین استفاده شده است. علت عدم استفاده از توزیع پیوسته سرفاصله زمانی بین وسایل نقلیه متوالی، راحت بودن فرآیند مدلسازی در روش اول و نیز وابستگی این دو روش به هم می‌باشد که نتایج تقریباً یکسانی را نشان می‌دهند (Mathew, 2014).

در شکل ۷ تصویر شماتیک رسیدن وسایل نقلیه در یک مقطع مکانی معین به صورت نقاطی روی محور زمان مشخص گردیده است. h_1 و h_2 و ... نشان دهنده سرفاصله

زمانی بین خودروهای متوالی رسیده به مبدا حرکت و t_1 ، t_2 و ... فواصل زمانی برابر می‌باشند که تعداد وسایل نقلیه رسیده در هر بازه زمانی مقداری صحیح می‌باشد. به طور مثال ۳، ۲، ۳ و ۱ وسیله نقلیه به ترتیب در بازه‌های زمانی t_1 ، t_2، t_3 و t_4 به مبدا حرکت رسیده‌اند که با توزیع پواسون این فرآیند تصادفی در تحقیق حاضر مدلسازی شده است.



شکل ۷. تصویر شماتیک مدل رسیدن وسایل نقلیه به مبدا مسیر در هر دو طرف راه تک خطه

۳-۲- جمع آوری اطلاعات

برای ارائه مدل برای تعیین فاصله بهینه با توجه به حداقل نمودن متوسط تاخیر کل وسایل نقلیه، ۵۳۲ راه تک خطه دو طرفه مختلف که طول کل، ظرفیت عبورگاه، فاصله بین عبورگاه‌ها و سرعت متفاوتی داشتند با استفاده از نرم افزار متلب و با در نظر گرفتن قوانین کلی تردد در این راه‌ها که در قسمت قبل تشریح شد شبیه‌سازی شدند. در هر حالت متوسط تاخیر وسایل نقلیه و نیز ظرفیت در هر کدام از این راه‌ها محاسبه گردید. به کمک متغیرهای فوق و انجام فرآیند مدلسازی مدل نهایی به صورت رابطه (۵) توسعه یافت:

$$Delay = 73 + 7.4L - 11.96TS - 1.04SPEED + 17.38TCAP - 8.11RCAP \quad (۵)$$

۳-۳- آزمون ضرایب مدل و اعتبار سنجی آماری

با توجه به مقادیر P-value بدست آمده برای مدل رگرسیون، کلیه ضرایب متغیرهای وابسته و نیز ضریب ثابت مدل در سطح معناداری ۵ درصد معنادار بوده که به معنای تاثیرگذاری پارامترهای محاسبه شده مدل و نیز بسیار نزدیک بودن ضرایب مدل رگرسیون بدست آمده از نمونه‌ها به ضرایب مدل واقعی جامعه می‌باشد. در جدول ٤ آماره‌های آزمون ارائه گردیده است.

جدول ٤. آماره‌های آزمون متغیرهای مدل

```
. regress delay l ts speed tcap arrived
```

Source	SS	df	MS		
Model	696656.658	5	139331.332	Number of obs	= 532
Residual	235585.801	526	447.881752	F(5, 526)	= 311.09
				Prob > F	= 0.0000
				R-squared	= 0.7473
				Adj R-squared	= 0.7449
Total	932242.459	531	1755.63552	Root MSE	= 21.163

delay	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
l	7.411672	.4597409	16.12	0.038	6.508518	8.314825
ts	-11.96601	1.947065	-6.15	0.051	-15.79098	-8.141026
speed	-1.042748	.0831713	-12.54	0.043	-1.206136	-.8793592
tcap	17.38134	1.885903	9.22	0.047	13.67651	21.08616
rcap	-8.107578	.4881431	-16.61	0.037	-9.066527	-7.148628
_cons	73.02904	6.004567	12.16	0.044	61.23316	84.82491

در جدول ٤، l معادل طول کل مسیر، ts معادل فاصله بین عبورگاه‌ها، speed معادل سرعت وسایل نقلیه، tcap معادل ظرفیت عبورگاه، rcap معادل ظرفیت راه و cons معادل ثابت مدل می‌باشد. در مدل ارائه شده میزان R^2 مطلوب بوده و برابر با ۷۵ درصد است که نشان می‌دهد متغیرهای جمع آوری شده برای این مطالعه تا حدود خیلی زیادی مناسب بوده (انتخاب صحیح متغیرهایی با قدرت توضیح دهندگی بالا) و متغیرهای موثر بسیار کمی وجود داشته که یا آنها مشاهده نشده یا مورد اندازه‌گیری واقع نشده‌اند. بنابراین مدل ساخته شده هم برای اثرسنجی تاثیر متغیر های مستقل بر روی متغیر وابسته مناسب بوده و هم برای پیش بینی به دلیل تعداد کم متغیرهای مستقل قابلیت استفاده را دارد. به دلیل مقادیر بالای t-vale پارامترهای مدل، هیچ کدام از متغیرها از مدل حذف نشده و نشان دهنده تاثیرگذاری بالای آن‌ها در مدل می‌باشند. برای بررسی تاثیر همزمان متغیرهای مستقل در مدل بایستی به رابطه همبستگی بین متغیرهای مستقل توجه نمود که برای متغیرهای طول کل مسیر- فاصله بین عبورگاه‌ها، طول کل مسیر- ظرفیت راه و فاصله بین عبورگاه‌ها و سرعت به ترتیب برابر با ۰/٤۳، ۰/٤۵- و ۰/٤۳ می‌باشد (جدول ۵). البته چون ضریب همبستگیشان از ۰/۸ کمتر (شرط لازم ولی ناکافی) است، احتمالاً مشکل چند خطی در صورت استفاده همزمان و دو به دو و حتی سه به سه از این متغیرها جدی نخواهد بود (نتایج تست F نشان داد که پدیده چندخطی در مدل رخ نمی‌دهد).

جدول ۵. همبستگی بین متغیرهای مستقل و وابسته

	delay	roadle~h	turnsp~e	maxspeed	turncap	roadcap
delay	1.0000					
roadlength	0.4804	1.0000				
turnspace	0.0461	0.4309	1.0000			
maxspeed	-0.4032	0.3334	0.4284	1.0000		
turncap	0.1402	-0.0326	0.1170	0.0022	1.0000	
roadcap	-0.7217	-0.4523	-0.3113	0.2321	0.0597	1.0000

به منظور اطمینان از عدم در نظر گیری متغیرهای مرتبط و یا فرم‌های دیگر از متغیرها در مدل تست Ramsey RESET انجام گرفت.

فرضیه صفر: مدل هیچ متغیر حذف شده‌ای ندارد؛ فرضیه جایگزین : مدل دارای متغیر حذف شده است.

مقدار P-value=0.29 گردید و بنابراین در سطح ۱ درصد و ۵ درصد و ۱۰ درصد فرض صفر رد نمی‌شود. با توجه به P-value به احتمال ۷۱ درصد متغیر حذف شده‌ای در مدل وجود ندارد.

```
. estat ovtest

Ramsey RESET test using powers of the fitted values of bwghtlbs
       Ho:  model has no omitted variables
                 F(3, 1180) =      1.00
                   Prob > F =      0.2935
```

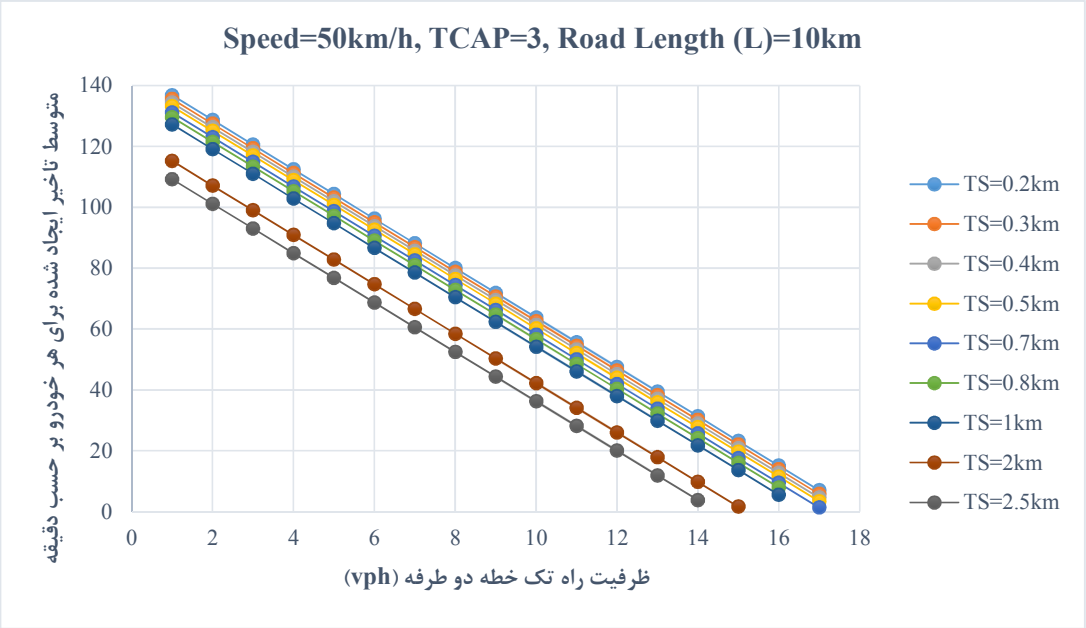
۳-٤- تجزیه و تحلیل مدل

به کمک مدل ارائه شده در رابطه ٤-٤ تخمینی از متوسط تاخیر کل وسایل نقلیه در یک راه تک خطه با داشتن سرعت، ظرفیت عبورگاه و طول کل مسیر و ظرفیت راه محاسبه می‌گردد. برای آشنایی با نحوه استفاده از این رابطه، جدول٦ و اشکال ٥ و ٦ با فرض سرعت ٥٠ کیلومتر بر ساعت، ظرفیت عبورگاه ٣ و طول کل ١٠ کیلومتر به عنوان نمونه محاسبه گردیده است. سلول‌های هاشور خورده در جدول ٦ حداقل تاخیر ممکن به ازای بیشترین ظرفیت قابل عبور در راه یک خطه دو طرفه را به ازای سرعت، ظرفیت عبورگاه و طول کل مذکور ارائه می‌دهد.

طبق جدول ٦ که به صورت نمونه به کمک رابطه (٥) محاسبه گردیده و در صورت انجام محاسبات مشابه برای دیگر حالات با سرعت، فاصله بین عبورگاه‌ها، ظرفیت عبورگاه‌ها و طول‌های کل مختلف مشاهده گردید که حداکثر تاخیر مشاهده شده در بیشترین ظرفیت ممکن ٨ دقیقه (قسمت هاشور زده شده) می‌باشد. به کمک جدول ٦ می‌توان تحت شرایط دلخواه کمترین تاخیر در بیشترین ظرفیت را محاسبه کرده که نشان دهنده طول بهینه عبورگاه‌ها در راه‌های تک خطه دو طرفه مجهز به سیستم حمل و نقل هوشمند می‌باشد.

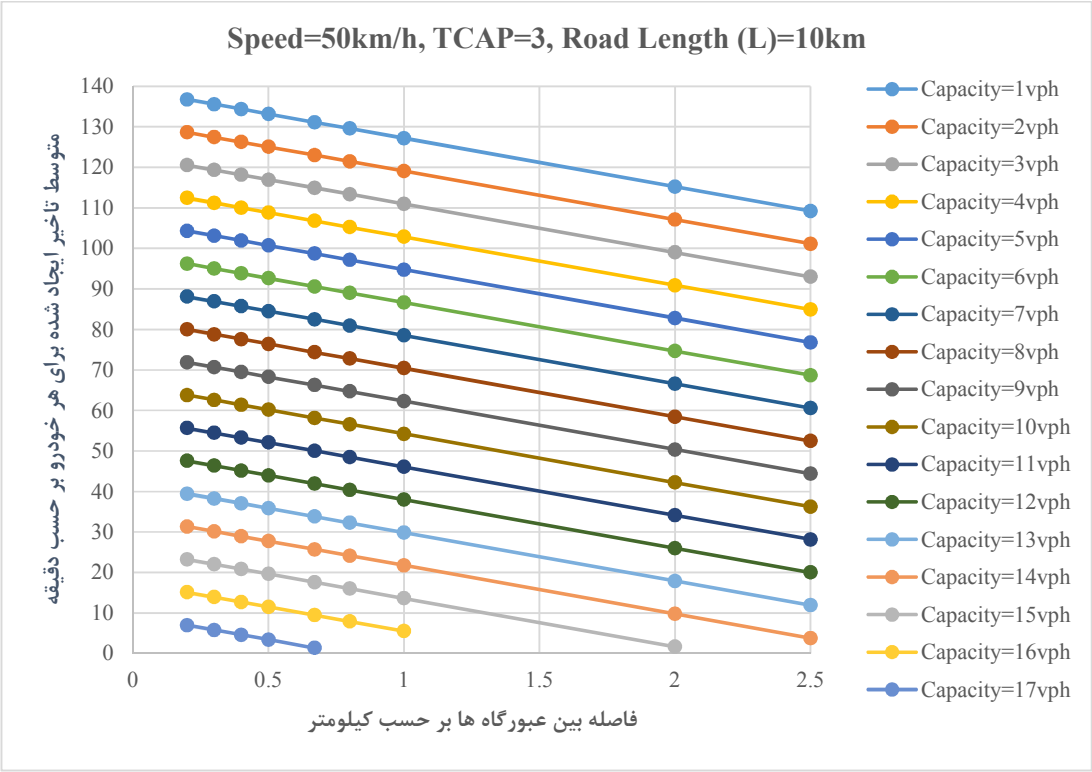
جدول ٦. تخمینی از متوسط تاخیر کل وسایل نقلیه در یک راه تک خطه دو طرفه با L=١٠km ،TCAP=٣ ،V=٥٠ km/h

	متوسط تاخیر وسایل نقلیه (دقیقه)								
	فاصله بین عبورگاه‌ها(کیلومتر)								
ظرفیت کل مسیر (vph)	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۷	۰/۸	۱	۲	۲/۵
۱	۱۳۶/۷	۱۳۵/۶	۱۳۴/۴	۱۳۳/۲	۱۳۱/۱	۱۲۹/۶	۱۲۷/۲	۱۱۵/۲	۱۰۹/۲
۲	۱۲۸/۶	۱۲۷/۵	۱۲۶/۳	۱۲۵/۱	۱۲۳	۱۲۱/۵	۱۱۹/۱	۱۰۷/۱	۱۰۱/۱
۳	۱۲۰/۵	۱۱۹/۳	۱۱۸/۱	۱۱۶/۹	۱۱۴/۹	۱۳۱/۴	۱۱۰	۹۹	۹۳
۴	۱۱۲/۴	۱۱۱/۲	۱۱۰	۱۰۸/۸	۱۰۶/۸	۱۰۵/۳	۱۰۲/۹	۹۰/۹	۸۴/۹
۵	۱۰۴/۳	۱۰۳/۱	۱۰۱/۹	۱۰۰/۷	۹۸/۷	۹۷/۱	۹۴/۸	۸۲/۸	۷۶/۸
۶	۹۶/۲	۹۵	۹۳/۸	۹۲/۶	۹۰/۶	۸۹	۸۶/۶	۷۴/۷	۶۸/۷
۷	۸۸/۱	۸۷	۸۵/۷	۸۴/۵	۸۲/۵	۸۰/۹	۷۸/۵	۶۶/۶	۶۰/۶
۸	۸۰	۷۸/۸	۷۷/۶	۷۶/۴	۷۴/۴	۷۲/۸	۷۰/۴	۵۸/۵	۵۲/۵
۹	۷۱/۸	۷۰/۷	۶۹/۵	۶۸/۳	۶۶/۳	۶۴/۷	۶۲/۳	۵۰/۳	۴۴/۴
۱۰	۶۳/۷	۶۲/۶	۶۱/۴	۶۰/۲	۵۸/۲	۵۶/۶	۵۴/۲	۴۲/۲	۳۶/۲
۱۱	۵۵/۶	۵۴/۵	۵۳/۳	۵۲/۱	۵۰	۴۸/۵	۴۶/۱	۳۴/۱	۲۸/۱
۱۲	۴۷/۵	۴۶/۴	۴۵/۲	۴۴	۴۱/۹	۴۰/۴	۳۸	۲۶	۲۰
۱۳	۳۹/۴	۳۸/۲	۳۷/۱	۳۵/۹	۳۳/۸	۳۲/۳	۲۹/۹	۱۷/۹	۱۱/۹
۱۴	۳۱/۳	۳۰/۱	۲۸/۹	۲۷/۷	۲۵/۷	۲۴/۲	۲۱/۸	۹/۸	۳/۸
۱۵	۲۳/۲	۲۲	۲۰/۸	۱۹/۶	۱۷/۶	۱۶	۱۳/۷	۱/۷	
۱۶	۱۵/۱	۱۳/۹	۱۲/۷	۱۱/۵	۹/۵	۷/۹	۵/۵		
۱۷	۷	۵/۸	۴/۶	۳/۴	۱/۴				



شکل ۷. نمودار ظرفیت- تاخیر برای طرح هندسی مشخص راه تک خطه دو طرفه با فاصله عبورگاه ثابت

در شکل ۷ نمودار ظرفیت- تاخیر برای طرح هندسی مشخص راه تک خطه دو طرفه با فاصله عبورگاه ثابت برای یک حالت خاص ترسیم شده است. ملاحظه می‌گردد با ظرفیت برابر، با افزایش فاصله بین پهلوگیرهای متوالی میزان تاخیر متوسط وسایل نقلیه کاهش می‌یابد.



شکل ۸ نمودار فاصله بین عبورگاه‌ها- تاخیر برای طرح هندسی مشخص راه تک خطه دو طرفه با ظرفیت ثابت

در شکل ۸ نمودار فاصله بین عبورگاه‌ها- تاخیر برای طرح هندسی مشخص راه تک خطه دو طرفه با ظرفیت ثابت برای یک حالت خاص ترسیم گردیده است. ملاحظه می‌گردد با فاصله بین عبورگاه‌های برابر، با افزایش ظرفیت راه، متوسط تاخیر کل وسایل نقلیه در اثر توقف در عبورگاه کاهش می‌یابد. در این شکل capacity همان ظرفیت راه می‌باشد.

٤- نتیجه‌گیری

به دلیل ترافیک کمتر از ٤۰۰ وسیله نقلیه در بخش وسیعی از راه‌های روستایی، می‌توان راه‌های تک خطه دو طرفه را با عرض سواره‌روی کمتری نسبت به راه‌های دو خطه مورد بهره‌برداری قرار داد. این عرض کمتر باعث کاهش هزینه‌های ساخت اولیه و نیز تعمیر و نگهداری این قبیل راه‌ها می‌گردد که به نوبه خود می‌تواند مورد توجه ویژه نهادهای بهره بردار قرار گیرد.

در این تحقیق به منظور تعیین فاصله بهینه عبورگاه‌ها با توجه به حداقل کردن تاخیردر راه‌های یک خطه دو طرفه که به سیستم چراغ راهنمایی هوشمند نیز مجهزاند، از مدلسازی رگرسیونی استفاده گردید. در این مدلسازی با توجه به مرور پژوهش‌های پیشین از متغیرهای مستقل فاصله بین عبورگاه‌ها، طول کل مسیر، ظرفیت عبورگاه‌ها و ظرفیت کل عبور وسایل نقلیه و متغیر وابسته متوسط تاخیر وسایل نقلیه مورد استفاده قرار گردید و تاثیر هر کدام از متغیرهای مستقل بر روی متغیر وابسته محاسبه گردید.

در این تحقیق به دلیل عدم دسترسی به نمونه واقعی راه تک خطه‌ی دو طرفه مجهز به سیستم‌های حمل و نقل هوشمند، از شبیه سازی کامپیوتری برای مدل کردن این نوع راه و اعمال قوانین ترافیکی مربوطه استفاده گردید. به کمک نتایج خروجی از شبه سازی مدل رگرسیونی فاصله بهینه عبورگاه‌ها توسعه یافت و پارامترهای آن مورد آزمون قرار گرفت که از نظر آماری کاملاً رضایت بخش بود و انطباق خوبی با داده‌های جامعه داشت. در این تحقیق کمترین تاخیر به ازای بیشترین ظرفیت، فاصله عبورگاه‌ها، طول کل مسیر، سرعت تردد و ظرفیت عبورگاه‌ها نیز محاسبه گردید. مهمترین نتایج حاصل از این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

۱- در تمام حالات در نظر گرفته شده حداقل تاخیر به ازای بیشترین ظرفیت قابل عبور با توجه به توزیع پواسونی تعداد وسایل نقلیه رسیده به مبدا حرکت در سمت چپ و راست در بازه‌های زمانی برابر کمتر از ۸ دقیقه می‌باشد.

۲- با افزایش فاصله بین عبورگاه‌ها به میزان یک کیلومتر، زمان تاخیر حدود ۱۲ دقیقه کاهش می‌یابد.

۳- در نمودارهای ظرفیت-تاخیر برای طرح هندسی مشخص راه تک خطه دو طرفه با فاصله عبورگاه ثابت ملاحظه گردید با ظرفیت برابر، با افزایش فاصله بین پهلوگیرهای متوالی میزان تاخیر متوسط وسایل نقلیه کاهش می‌یابد.

٤- در نمودارهای فاصله بین عبورگاه‌ها-تاخیر برای طرح هندسی مشخص راه تک خطه دو طرفه با ظرفیت ثابت ملاحظه گردید با فاصله بین عبورگاه‌های برابر، با افزایش ظرفیت راه، متوسط تاخیر کل وسایل نقلیه در اثر توقف در عبورگاه‌ها کاهش می‌یابد.

۵- در راه‌های تک خطه دو طرفه همراه با عبورگاه که به سیستم حمل و نقلی هوشمند مجهز باشند، می‌بایست هر عبورگاه از عبورگاه مجاور قابل دید باشد. اما با تجهیز این گونه راه‌ها به سیستم‌های حمل و نقلی هوشمند می‌توان بدون توجه به این محدودیت و بلکه توجه به دیگر متغیرهای تاثیرگذار مثل متوسط تاخیر کل قابل قبول برای وسایل نقلیه، فاصله دلخواه بین عبورگاه‌ها را محاسبه نمود.

۵- مراجع

- آیین‌نامه طرح هندسی راههای ایران- (۱۳۹۱)- نشریه شماره ٤۱۵-معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری.

- Anderson, D. I. (1980), “Optimum turnout spacing on forest haul roads (Doctoral dissertation”, University of British Columbia).

- Book, G. (2004), “A policy on geometric design of highways and streets”. AASHTO, 5th Edition, ISBN, 49, pp.1-56051.

- Book, G. (2001), “Guidelines for Geometric Design of Very Low-Volume Local Roads (ADT less than 400)”, AASHTO, Edition 2002.

-Book, Mathew, T.V, (2014), “Transportation system engineering, Chapter 13”, Vehicle arrival models: Count, IIT Bombay.

- Design Manual for Roads and Bridges, (2016), http://www.standardsforhighways.co.uk/ha/standards/dmrb.

-Drew, D. R. (1968), “Traffic flow theory and control (No. 467 pp)”.

-Dunphy, R. (1998), “Widening the roads: Data gaps and philosophical problems”. Transportation research circular, (481), pp.16-20.

- Haight, F. A. (1960), "Mathematical theories of road traffic". Institute of Transportation and Traffic Engineering, University of California.

- Leviäkangas, P., & Pilli-Sihvola, Y. (1999), “Small-scale intelligent transport system applications for low-volume roads: some experiments and experiences from the North European Viking project”. Transportation Research ecord: Journal of the Transportation Research Board, (1652), pp.97-100.

-Oglesby, C. H., (1985), “Consistency in design for low-volume rural roads”. Journal of Transportation Engineering, 111(5), pp.510-519.

- Porpaczy, L. J., & Waelti, H. (1976), “How to select forest road standards”. Canadian Forest Industries.

- “United States Forest Service”, (2014), Road Preconstruction Handbook Publication FSH, 7709.56_40. U.S. Department of Agriculture.

- Wohl, M., & Martin, B. V. (1967), “Traffic system analysis for engineers and planners”.