فصلنامه مهندسی ترافیک، سال بیست و سوم، شماره ۹۴، پاییز ۱۴۰۲، ص. ۹۴-۸۵

بررسی اختلال ترافیکی ناشی از انسداد خط تحت تأثیر ناحیه کارگاهی بر اساس زمان سفر

علی رحمانی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی راه‌وترابری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

امین میرزا بروجردیان (مسئول مکاتبات)، دانشیار گروه مهندسی راه‌وترابری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

E-mail: boroujerdian@modares.ac.ir

امیرحسین صیامی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی راه‌وترابری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

محمد سارنگ، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی راه‌وترابری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

در آزادراه‌ها علاوه بر بررسی موضوع عملکرد ترافیکی در مقطع ورودی رمپ به آزادراه و تأثیر آن بر تاخیرات وسایل نقلیه، گاهی بنا بر نیاز، مقطع آزادراهی به‌طور موقت دچار تغییر عملکردی نسبت به حالت عادی می‌شود. این تغییر در عملکرد، بسته شدن موقتی یک یا چند خط عبوری در آزادراه در طول خاصی از آزادراه می‌تواند باشد که بنا به دلایل مختلفی ازجمله تعمیر و نگهداری آزادراه است. بسته شدن یک یا چند خطوط عبوری آزادراه هنگامی‌که جریان عبوری وسایل نقلیه آزادراه در مقطعی با وسایل نقلیه ورودی از رمپ، همگرایی دارند را نیازمند مطالعه و بررسی ویژه کرده است. در کتاب راهنمای ظرفیت راه‌ها موضوع بررسی تاخیرات ناشی از ناحیه کارگاهی در محل ورودی رمپ به آزادراه دیده نشده بود که در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز ایمسان، به آن پرداخته شده است. در این مطالعه تلاش گردید تا اثر تداخلات ناشی از وجود ناحیه کارگاهی و تعداد خطوط عبوری آزادراه، خطوط مسدود شده آزادراه، خطوط ورودی از رمپ و طول خط افزایش سرعت را بر زمان سفر بسنجد و آن را با راهنمای ظرفیت راه‌ها به‌طور جزئی‌تر مقایسه کند. با توجه به پیکربندی ملاک عمل در راهنمای ظرفیت راه‌ها دیده شد که در حالت همگرایی ۲ خط به ۱ خط اثر متغیرهای حجم جریان ورودی اصلی و حجم جریان ورودی رمپ دارای بیشترین اثر بر تعداد تداخلات و همچنین افزایش زمان سفر بوده است. این در صورتی است که متغیر طول خط افزایش سرعت در این حالت اثر کاهشی بیشتری بر تعداد تداخلات و زمان سفر به نسبت سایر حالت‌ها داشته است.

واژه‌های کلیدی: زمان سفر، خط افزایش سرعت، ناحیه کارگاهی، رمپ ورودی، شبیه‌سازی

۱. مقدمه

ایجاد شدن نواحی کارگاهی (WZ)[1] در بزرگراه‌ها و آزادراه‌ها می‌تواند در اثر اجرای عملیات مختلف نظیر بهسازی مسیر، روسازی و روکش هر خط عبور، ایمن‌سازی کناره‌های راه (تعویض گاردریل‌ها و تجهیزات راه)، تعویض پایه روشنایی راه، اجرای تابلوهای بزرگراهی، تابلوهای پیام متغیر خبری و تجهیزات حمل‌ونقل و هوشمند راه، می‌تواند تعریف شود. حضور توأم جریان ترافیک و ناحیه کارگاهی به‌صورت هم‌زمان، باعث ایجاد پدیده‌های نامطلوب می‌گردد. پدیده‌های نامطلوب می‌تواند به‌صورت کاهش ایمنی جریان ترافیک و یا کاهش ظرفیت آن پدید آید؛ بنابراین دو پیامد اصلی وجود ناحیه کارگاهی؛ کاهش ایمنی در اثر کاهش سرعت به‌یک‌باره وسایل نقلیه هنگام مواجه با تنگ‌شدگی در ناحیه کارگاهی جریان ترافیک و همچنین کاهش ظرفیت ناحیه، ایجاد گلوگاه‌های فیزیکی و گلوگاه‌های پنهان است. با توجه به اینکه راهنمای ظرفیت راه‌ها[2] در آخرین نسخه‌های خود (ویراست ٦ و ٧) مربوط به سال‌های ۲۰۱٦ و۲۰۲۲ در یک فصل مجزا (فصل ٢٤) با توجه به اهمیت کاهش ظرفیت ترافیک راه‌ها اقدام به ارائه روش ارزیابی جریان ترافیک نموده است، بنابراین ارزیابی ترافیکی جریان بالادست و پایین‌دست نواحی کارگاهی باید بیش‌ازپیش موردتوجه قرار گیرد. یکی از پارامترهای مهم در مورد ارزیابی بزرگراه‌ها زمان سفر وسایل نقلیه است؛ که قبل و بعد از ایجاد ناحیه کارگاهی می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد.

مطالعات صورت گرفته در سال‌های اخیر بر روی ناحیه کارگاهی در آزادراه، بزرگراه‌ها و راه‌های دوخطه را می‌توان به دو دسته زیر تقسیم نمود: مطالعات دسته اول به بررسی ایمنی ناحیه کارگاهی با استفاده از پارامترهای وسایل نقلیه، هندسه موجود در ناحیه کارگاهی، زمان برخورد و شدت و آمار تصادفات ناحیه و... می‌پردازند. مطالعات دسته دوم به بررسی شرایط ترافیکی ناحیه کارگاهی در سه بخش شامل: جریان ترافیک موازی با طول ناحیه کارگاهی، شرایط جریان ترافیک بالادست و شرایط جریان ترافیک پایین‌دست ناحیه و همچنین بررسی و برآورد ظرفیت این نواحی می‌پردازند.

در مطالعه آندراز تارکو و شیام ونگوپال[3] مدل‌های ریاضی برای پیش‌بینی تعداد مورد انتظار تصادفات در نواحی کارگاهی آزادراه هم در داخل و هم در نزدیکی ناحیه کارگاهی توسعه داده شد که همان‌طور که انتظار می‌رفت حجم ترافیک، طول ناحیه کارگاهی و مدت‌زمان فعالیت کارگاه عامل‌های مهمی بودند. این مطالعه نشان داد که یک ناحیه کارگاهی طولانی و منفرد بهتر از دو ناحیه کارگاهی کوتاه است. همچنین بیان شد که با افزایش مدت‌زمان فعالیت در ناحیه کارگاهی، آشنایی رانندگانی که از بزرگراه استفاده می‌نمایند با گذشت زمان بیش‌تر شده که معمولاً منجر به رانندگی ایمن‌تر و درنتیجه تصادفات کم‌تر می‌شود.

کستل و جرالد[4] در مطالعه‌ای موردی در تگزاس با توجه به آمار تصادفات به این مورد دست یافتند که در نواحی کارگاهی نیاز به توصیه بیش‌تر به رانندگان در نواحی ورودی به رمپ نیاز است و در برخی موارد بهتر است در صورت وجود ناحیه کارگاهی، رمپ ورودی به بزرگراه مسدود شود.

جری و کنتر[5] بیان کردند که در نواحی کارگاهی با توجه به سطح عملیات مورد انجام در کارگاه میزان تصادفات افزایش می‌یابد. همچنین بیان گردید که اکثر تصادفات به‌صورت جلو به عقب صورت گرفته است.

در مطالعه دیگری که یانگ‌لو[6] در سال ۲۰۱۷ با استفاده از نرم‌افزار خرد نگر ویزیم[7] انجام داد به بررسی تأثیر سیستم‌های کنترل محدودیت سرعت (VSL) پرداخت که نشان داد به‌طور مؤثر کاهش سرعت از قسمت بالادست ناحیه کارگاهی به منطقه پرتراکم پایین‌دست، انجام می‌گیرد. افزایش بهره‌وری عملیاتی در منطقه کارگاهی، آزمایش‌های عددی برای سناریوهایی با نرخ انطباق متفاوت نیز اثربخشی عملکرد بازخورد تعبیه‌شده در سیستم را ثابت می‌کنند. به زبان ساده‌تر این مدل کاهش سرعت به‌جای استفاده از سیستم‌های استاتیکی، سبب کاهش میزان تصادفات می‌شود.

در مطالعه دیگری نیز با استناد به این مورد که کاهش سرعت‌ها نیازمند افزایش ایمنی در ناحیه کارگاهی است، از مزایای محدودیت سرعت متغیر بر اساس MPC اشاره شده است محدودیت سرعت متغیر جریان ترافیک یکنواختی بیش‌تری در محدوده کارگاهی ایجاد می‌کند.

جرالد[۸] نیز بیان نمود که اگر تشکیل صف قبل از ناحیه کارگاهی شکل گرفته باشد سبب کاهش میزان تاخیرات و هزینه‌های واردشده به کاربران راه می‌شود. این مورد نسبت به حالتی بررسی شده است که جریان صف در ورودی به ناحیه کارگاهی تشکیل شده باشد.

مطالعه دیگری در سال ۲۰۲۳ با استفاده از نرم‌افزار VISSIM انجام گردید که نشان داد تغییر طول ناحیه کارگاهی، تغییرات معنادار آماری در زمان سفر ایجاد نکرد؛ بنابراین طول منطقه کارگاهی تأثیر ناچیزی دارد. همچنین با فرض ناحیه کارگاهی با ایجاد گلوگاه از ۳ خط عبوری به ۲ خط عبور بیان نمود که عملکرد مسیر بسته‌شده، راست‌ترین خط عبور تقریباً مشابه است. بسته شدن خطوط وسط منجر به افزایش زمان سفر به میزان قابل‌توجهی در مقایسه با بسته شدن خطوط سمت راست و چپ می‌شود.

استراتژی‌های کنترل ادغام زودهنگام و ادغام دیرهنگام معمولاً استراتژی‌هایی هستند که برای مدیریت ترافیک برای تعطیلی دیرهنگام ناحیه کارگاهی استفاده می‌شوند. استراتژی کنترل ادغام اولیه تکنیکی است که در مناطق کاری مورداستفاده قرار می‌گیرد که در آن وسایل نقلیه تشویق می‌شوند تا در مسیرهای باز جلوتر از محل بسته شدن خط با علائم هشداردهنده قبلی ادغام شوند. این پیکربندی به رانندگانی که به یک ناحیه کارگاهی نزدیک می شوند اطلاعات پیشرفته‌ای در مورد اینکه کدام خط بسته است و زمان کافی برای ادغام در خط (های) باز می‌دهد. از سوی دیگر، استراتژی کنترل ترافیک ادغام دیرهنگام یا ادغام زیپ یک سناریوی ادغام است که در آن رانندگانی که در حال نزدیک شدن به یک ناحیه کارگاهی هستند از تمام خطوط سفر تا نقطه شروع قسمت مخروطی ناحیه کارگاهی استفاده می‌کنند. به‌این‌ترتیب می‌توان از فضای جاده تا نقطه ادغام ناحیه کارگاهی استفاده کرد و درنتیجه کارایی عملیاتی راه را افزایش داد.

چندین مطالعه رفتارهای راننده را در حضور مناطق کارگاهی بررسی کردند. برخی از مطالعات نشان می‌دهد که رانندگان معمولاً از محدودیت سرعت موقت در مناطق کاری تبعیت نمی‌کنند و فقط زمانی سرعت را کاهش می‌دهند که عرض خط کاهش یابد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، هیچ‌کدام از مطالعات و گزارشات فنی که در مطالعات پیشین موردبررسی قرارگرفته، ارزیابی اثر توأم رمپ ورودی به ناحیه کارگاهی را موردبحث قرار نمی‌دهند. همچنین راهنمای ظرفیت راه‌ها (در فصل ۲۴) نیز برای ارزیابی جریان ترافیک در این حالت، سناریوها را به‌صورت عددی کوچک‌تر از یک (سهم رمپ ورودی از کاهش ظرفیت با استفاده از پارامتر طول تخلیه صف) ارزیابی می‌کند و به‌صورت مستقیم اثر تأثیر حجم ورودی رمپ در حضور ناحیه کارگاهی را بر مشخصه جریان ترافیک اصلی آزادراه یا بزرگراه در نظر نمی گیرد. به همین منظور در این مطالعه با هدف ارزیابی یکی از مهم ترین مشخصات جریان ترافیک (زمان سفر وسایل نقلیه)، پیکربندی هندسی خطوط عبور ناحیه کارگاهی با استفاده تکنیک شبیه‌سازی نرم‌افزاری (شبیه‌ساز ایمسان[۹]) موردمطالعه قرار می گیرد.

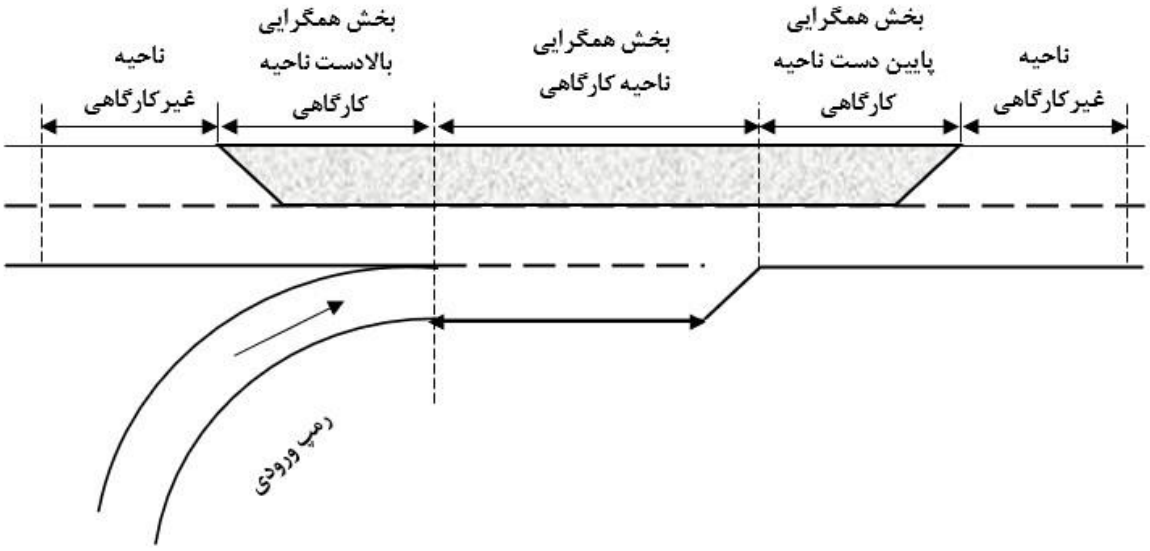
۲. روش پژوهش

در این قسمت، روش انجام تحقیق در دو بخش: ۱) تعریف پیکربندی و ساخت ناحیه کارگاهی و ۲) روش انجام شبیه‌سازی و همچنین معرفی سناریوهای تعریف‌شده انجام‌شده است. در بخش اول مشخصات هندسی مربوط به ناحیه کارگاهی موردمطالعه، معرفی شده است. در بخش دوم سناریوهای تعریف شده بر اساس تغییرات هندسی مسیر و احجام مختلف ورودی در نرم‌افزار ایمسان ارائه‌شده است. همچنین در این بخش نحوه

انجام کالیبراسیون نرم‌افزار برای پیش‌بینی دقیق نتایج ارائه‌شده است.

۲-۱ تعریف و ساخت سناریوهای پیکربندی هندسی ناحیه کارگاهی

راهنمای ظرفیت راه‌ها، تعریف مشخصات هندسی و جریان ترافیک ناحیه کارگاهی را در ترکیب با رمپ ورودی آزادراه، به‌صورت (شکل ۱) پیشنهاد می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می گردد، این ناحیه، شامل ٦ بخش است. دو بخش با نام ناحیه غیر کارگاهی (Non-WZ)، دو بخش همگرایی بالادست و پایین‌دست جریان ترافیک ناحیه همگرایی و بخش همگرایی ناحیه کارگاهی (بخش اصلی) و طول خط افزایش سرعت در رمپ می‌باشند.



شکل ۱. پیکربندی هندسی رمپ ورودی همگرا در ناحیه کارگاهی برای موردنظر در آیین‌نامه HCM 2016و HCM 2022

در (

جدول ۱) مقادیر پیشنهادی راهنمای ظرفیت راه‌ها برای افزایش طول سرعت رمپ ورودی در ناحیه کارگاهی نشان داده شده است. در این پیکربندی خطوط عبور ناحیه کارگاهی در سه بخش دو خط عبور تبدیل به یک خط عبور، سه خط عبور تبدیل به دو خط عبور، چهار خط عبور تبدیل به سه خط عبور در احجام مختلف ورودی از رمپ و در طول‌های مختلف افزایشی سرعت موردبررسی قرار گرفته است.

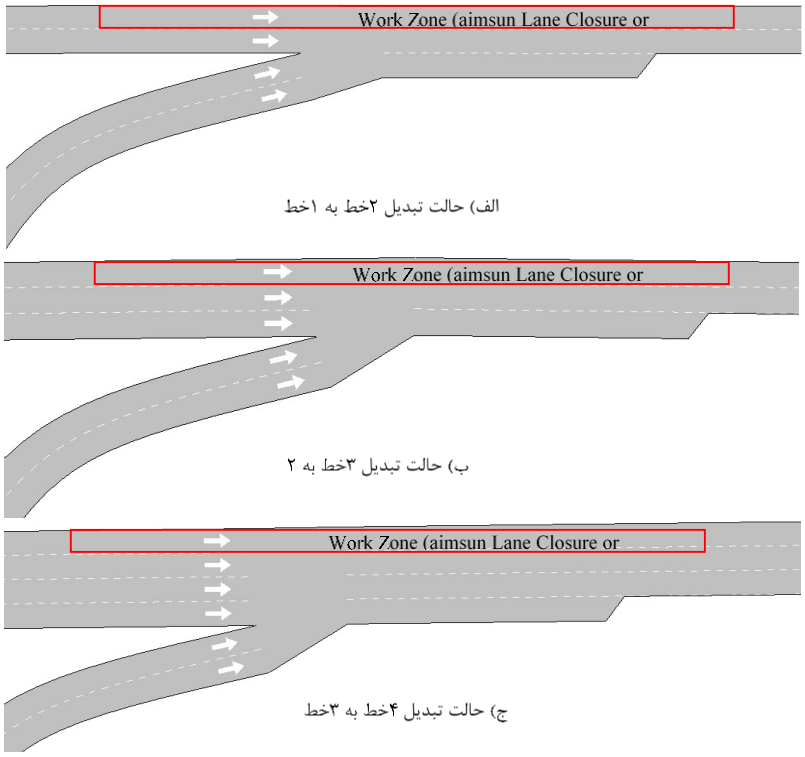
جدول ۱. مقادیر پیشنهادی راهنمای ظرفیت راه‌ها (فصل ٢٤) برای طول افزایش سرعت رمپ ورودی در ناحیه کارگاهی

طول خط افزایش سرعت (فوت)	حجم تقاضای رمپ ورودی (وسیله سواری بر ساعت)	پیکربندی خطوط عبور ناحیه کارگاهی (WZ)
۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۷۰۰، ۹۰۰، ۱۱۰۰، ۱۳۰۰، ۱۵۰۰	برای تمامی حالات پیکربندی هندسی حجم‌های ورودی از رمپ مقادیر زیر می‌باشند: ۰ و ۲۵۰ و ۵۰۰ و ۷۵۰ و ۱۰۰۰	حالت ۱-۲ (دو خط عبور تبدیل به یک خط عبور) حالت ۲-۳ (سه خط عبور تبدیل به دو خط عبور) حالت ۳-٤ (چهار خط عبور تبدیل به سه خط عبور)

۲-۲ مشخصات شبیه‌سازی انجام‌شده

در این قسمت برای ساخت شبکه راه‌های موردمطالعه، راهنمای ظرفیت راه‌ها صرفاً به‌صورت شماتیک حالت ۲ خط به ۱ خط را

نشان می‌دهد (شکل ۱) اما در جداول راهنمای ظرفیت راه‌ها حالات پیش‌بینی ظرفیت حالات ۳ خط به ۲ خط و ٤ خط به ۳ خط نیز تعریف شده است. در کلیه این حالات یک خط عبور به‌عنوان ناحیه کارگاهی در نظر گرفته شده است. همچنین طول خط افزایش سرعت رمپ ورودی در این آئین‌نامه از ۳۰ متر تا ۵۰۰ متر تعریف شده است. به همین منظور در این مطالعه طول های ۱۰۰، ۳۰، ۱٦۷، ۲۳٤، ۳۰۰، ۳٦۷، ٤۳٤ و ۵۰۰ متر مدل‌سازی شد. برای هر یک از این سناریوها حجم‌های ورودی رمپ‌ها ۰، ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ خودرو بر ساعت مطابق با آئین‌نامه ظرفیت راه‌ها درنظرگرفته شد و حجم آزادراه نیز به ترتیب با احجام ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰ و۲۵۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت تعریف گردید (شکل ۲). به‌طورکلی در این مطالعه ٤۸۰ سناریو شبیه‌سازی تعریف گردید. برای اینکه در نرم‌افزار ایمسان بتوان ناحیه کارگاهی را به‌درستی تعریف نمود، از منوی Traffic management، گزینه Incident و یا Lane Closure گزینه‌های خوبی به شمار می‌روند که در شکل ۲ با حاشیه قرمزرنگ نمایش داده شده‌اند. برای کالیبراسیون نرم‌افزار از کتاب کالیبراسیون نرم‌افزار ایمسان مربوط به معاونت برنامه‌ریزی شهرداری تهران استفاده شد. تعداد تکرار شبیه‌سازی مطابق با این دستورالعمل از آزمون کفایت داده‌ها استخراج شد و عدد ۱۲ در نظر گرفته شد. همچنین سرفاصله زمانی حرکت وسایل نقلیه موجود در کشور ایران برای آن‌ها تعریف گردید. برای کالیبره بهتر Giveway و Distance Zone ها نیز در نرم‌افزار کالیبره شدند.



شکل ۲. حالات تبدیل بررسی‌شده

۳. تحلیل داده‌ها

بعد از انجام شبیه‌سازی، نتایج خروجی‌ها به‌صورت (جدول ۲) به دست آمد. مقادیر این جدول از بین ٤۸۰ سناریو ساخته‌شده شبیه‌سازی، در حالات مختلف حجم ورودی رمپ، حجم ورودی جریان اصلی آزادراهی، در سه حالت مختلف پیکربندی هندسی ناحیه کارگاهی، مقدار طول بهینه خط افزایش سرعت رمپ ورودی را انتخاب و خلاصه می‌نماید که کم‌ترین میزان از زمان سفر وسایل نقلیه در شبکه موردمطالعه، به دست آید. همان‌طور مشاهده می‌شود در حالت ۲ خط به ۱ خط تغییرات

طول بسیار معنادار است. به‌طوری‌که در حجم اصلی ۱۰۰۰ سواری بر ساعت و جریان ورودی رمپ با مقدار صفر (بسته‌شده) مقدار طول بهینه ۳۰ متر (مقدار کمینه انتخابی) خواهد بود درحالی‌که با افزایش حجم رمپ ورودی این مقدار به ۳٦۷ متر خواهد رسید و با مقدار پیشنهادی راهنمای ظرفیت راه‌ها (طول ۵۰۰ متر) متفاوت است. نتایج نشان می‌دهد طول ۳٦۷ تا ۵۰۰ متر تفاوتی در زمان سفر نخواهد داشت. نتایج سایر سناریو ها نیز در این جدول آورده شده است. در حالت ۳ خط به ۲ خط، در تمامی حالات حجمی طول ۳۰ متر به لحاظ زمان سفر مقدار بهینه است. همچنین همین مقدار برای حالت ٤ خط به ۳ خط در مقدار ۳۰ متر اکتفا نموده است.

جدول ۲. مقادیر طول بهینه به‌دست‌آمده بین ٤۸۰ سناریو بر اساس کم‌ترین زمان سفر

پارامترهای تقاضا		حالت ۲ خط به ۱ خط		حالت ۳ خط به ۲ خط		حالت خط٤ به ۳ خط	
حجم جریان اصلی (سواری بر ساعت)	حجم جریان ورودی رمپ (سواری بر ساعت)	طول خط افزایش سرعت (متر)	زمان سفر (ثانیه)	طول خط افزایش سرعت (متر)	زمان سفر (ثانیه)	طول خط افزایش سرعت (متر)	زمان سفر (ثانیه)
۱۰۰۰	۰	۳۰	٦٦,٤١٦	۳۰	٦٦,۷۲٤	۳۰	٦٦,۳۹۲
۱۰۰۰	۲۵۰	۳۰۰	٦۷,۹۲۳	۳۰	٦٦,۹۵٤	۳۰	٦٦,٦۲۸
۱۰۰۰	۵۰۰	۳٦۷	٦۷,۹۰۹	۳۰	٦۷,۳۱٤	۳۰	٦۷,۰۰٦
۱۰۰۰	۷۵۰	۳٦۷	٦۸,٤۱۱	۳۰	٦۷,۵۱۲	۳۰	٦۷,۱۹٦
۱۰۰۰	۱۰۰۰	۳٦۷	٦۸,۸۵٤	۳۰	٦۷,۸	۳۰	٦۰,٦۳۹
۱۵۰۰	۰	۳۰	٦۹,۷۳۹	۳۰	٦۷,۰۲۸۷	۳۰	٦٦,٦۹۳
۱۵۰۰	۲۵۰	۱۰۰	٦۹,۹۹	۳۰	٦٦,۹٤۵	۳۰	٦٦,۹۳٦
۱۵۰۰	۵۰۰	۳۰۰	٦۹,٤۳	۳۰	٦۷,٦۲۸	۳۰	٦۷,۲۳۹
۱۵۰۰	۷۵۰	۳۰۰	٦۹,٦۲۵	۳۰	٦۷,۹۳٤	۳۰	٦۷,٤۵۲
۱۵۰۰	۱۰۰۰	۳٦۷	٦۹,۹۵	۳۰	٦۸,۵۸۱	۳۰	٦۷,۹٤۲
۲۰۰۰	۰	۳٦۷	۷۱,۸۹	۳۰	٦۷,۷۰۲	۳۰	٦٦,۷۸٤
۲۰۰۰	۲۵۰	۳۰۰	۷۱,۸۸	۳۰	٦۷,۹۱۱	۳۰	٦۷,۰۵۳
۲۰۰۰	۵۰۰	۳۰۰	۷۱,۹۸۲	۳۰	٦۸,۲۸۱	۳۰	٦۷,٤۰۸
۲۰۰۰	۷۵۰	۳۰۰	۷۲,۱٦۸	۳۰	٦۸,٦۹	۳۰	٦۷,٦٦۷
۲۰۰۰	۱۰۰۰	۳۰۰	۷۲,٦۷۵	۳۰	٦۹,۱۹۹	۳۰	٦۸,۲٤٦
۲۵۰۰	۰	۱٦۷	۱٦۱,۰۵٦	۳۰	٦۸,٤۰٤	۳۰	٦۷,۲۸۷
۲۵۰۰	۲۵۰	۳۰۰	۱۵۲,۹٤۹	۳۰	٦۸,٦۹۳	۳۰	٦۷,۵٤
۲۵۰۰	۵۰۰	۳۰۰	۱٤۵,۵٦۲	۳۰	٦۹,۰٦۵	۳۰	٦۷,۹۲
۲۵۰۰	۷۵۰	۳۰۰	۱٤۱,۷۹۷	۳۰	٦۹,۷۵۱	۳۰	٦۸,۲۱۵
۲۵۰۰	۱۰۰۰	۳۰۰	۱۳۷,۱۰٤	۳۰	۷۰,۷۲۵	۳۰	٦۸,۹۵۹

مدل‌های به‌دست‌آمده برای محاسبه زمان سفر وسایل نقلیه، بر اساس حجم عبور جریان اصلی، جریان ترافیک رمپ ورودی و طول خط افزایش سرعت به‌صورت زیر است:

برای پیکربندی هندسی در حالت ۲ خط عبور به ۱ خط عبور (یک خط عبور ناحیه کارگاهی):

(۱) Travel Time (s)= 0.07(Main Flow)+0.04(Ramp Flow) -0.11(Acceleration Length)-3.249 , R^2=.611

Main Flow: حجم جریان اصلی (سواری بر ساعت)

Ramp Flow: حجم جریان ورودی از رمپ (سواری بر ساعت)

Acceleration Length: طول خط افزایش سرعت (متر)

برای پیکربندی هندسی در حالت ۳ خط عبور به ۲ خط عبور (یک خط عبور ناحیه کارگاهی):

(۲) Travel Time (s)= 0.001(Main Flow)+0.001(Ramp Flow) -0.001(Acceleration Length)+65.632 , R^2=.918

برای پیکربندی هندسی در حالت ٤ خط عبور به ۳ خط عبور (یک خط عبور ناحیه کارگاهی):

(۳) Travel Time (s)= 0.0006(Main Flow)+0.008(Ramp Flow) -0.001(Acceleration Length)+65.551 , R^2=.42

برای بررسی دقت و صحت مدل‌های بالا علاوه بر بررسی مقدار ضریب تعیین (R^2) آزمون‌های ANOVA (آزمون F و آزمون t) انجام گرفت. نتایج این تست‌ها در (جدول ۳ و جدول ٤) نشان داده شده است. این تست‌ها برای سطح اطمینان ۹۵٪ تنظیم شدند. نتایج تست‌های معناداری، با توجه به مقدار P-Value، اعتبار لازم آماری مدل‌ها را نشان می‌دهد ($P<0.05$).

جدول ۳. نتایج آزمون F برای مدل‌های مربوط به هر سه حالت اساسی پیکربندی ناحیه کارگاهی

	پارامترها	*df*	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
حالت ۲-۱	Regression	۳	۳۳۷٤۸۷٫۳	۱۱۲٤۹۵٫۸	۸۱٫۷۳۹۱۷۸٦۳	۰٫۰۰
	Residual	۱۵٦	۲۱٤٦۹۹٫۳	۱۳۷٦٫۲۷۷		
	Total	۱۵۹	۵۵۲۱۸٦٫٦			
حالت ۳-۲	Regression	۳	۸۸٫۳٦۳۲٦	۲۹٫٤۵٤٤۲	۵۸۳٫۱۸۷٦	۰٫۰۰
	Residual	۱۵٦	۷٫۸۷۸۹۲۱	۰٫۰۵۰۵۰٦		
	Total	۱۵۹	۹٦٫۲٤۲۱۸			
حالت ٤-۳	Regression	۳	۳۵٫٤۹۰۹۸	۱۱٫۸۳۰۳۳	۳۷٫۷۷٤۱۹	۰٫۰۰
	Residual	۱۵٦	٤۸٫۸۵٦۹۳	۰٫۳۱۳۱۸۵		
	Total	۱۵۹	۸٤٫۳٤۷۹۱			

جدول ٤. نتایج آزمون t برای مدل‌های مربوط به هر سه حالت اساسی پیکربندی ناحیه کارگاهی

	پارامترها	*Coefficients*	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*
حالت ۱-۲	Intercept	-۳٫۲٤۹٤۳۹٦۳۱	۱۱٫٦٦۳٦۹	-۰٫۲۷۸۵۹	۰٫۷۸۰۹۲۵۰۲۸
	Main Flow	۰٫۰۷۰۹۵۷۳۹	۰٫۰۰۵۲٤٦	۱۳٫۵۲٤۷٦	۰٫۰۰
	Ramp Flow	۰٫۰٤۱۵٦٤۲۸۸	۰٫۰۰۸۲۹۵	۵٫۰۱۰۵۱۵	۰٫۰۰
	Accelerationn Length	-۰٫۱۱٦۵۵۰٦۵۳	۰٫۰۱۹۱۱۱	-٦٫۰۹۸٦۱	۰٫۰۰
حالت ۲-۳	Intercept	٦۵٫٦۳۲٦۱۷۰۳	۰٫۰۷۰٦۵۷	۹۲۸٫۸۹۲۸	۰٫۰۰
	Main Flow	۰٫۰۰۱۱۱۲۱	-۳٫۱۸E-۰۵	۳٤٫۹۹۱۱۱	۰٫۰۰
	Ramp Flow	۰٫۰۰۱۰۱۰۳۰٤	-۵٫۰۳E-۰۵	۲۰٫۱۰٤٦۲	۰٫۰۰

	پارامترها	*Coefficients*	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*
	Accelerationn Length	-۰,۰۰۱۲۷۳٤۲۹	۰,۰۰۰۱۱٦	-۱۰,۹۹۹۵	۰,۰۰
حالت ۳-٤	Intercept	٦۵,۵۵۱٤۷۰۱٦	۰,۱۷۵۹٤۷۷۹۵	۳۷۲,۵٦۲۰٤٤۲	۰,۰۰
	Main Flow	۰,۰۰۰٦٦۳۵۸٦	-۷,۹۱٤۳٦E-۰۵	۸,۳۸٤۵۷٦۰۵۳	۰,۰۰
	Ramp Flow	۰,۰۰۰۸۱۸۰۱۸	۰,۰۰۰۱۲۵۱۳۷	٦,۵۳٦۹۷٤۸۰۵	۰,۰۰
	Accelerationn Length	-۰,۰۰۰۱۵۵۰۹۵	۰,۰۰۰۲۸۸۲۹۱	-۰,۵۳۷۹۸۱۳٦۸	۰,۵۹

٤. نتیجه‌گیری

با توجه به ضرایب سه مدل توسعه داده‌شده برای حالت‌های ۲ خط به ۱ خط، ۳ خط به ۲ خط و ٤ خط به ۳ خط، متغیر مستقل حجم جریان ترافیک اصلی و حجم جریان ترافیک رمپ رابطه مستقیمی با افزایش تداخلات در ناحیه کارگاهی دارند که با افزایش این دو متغیر مستقل، تداخلات در ناحیه کارگاهی افزایش پیدا می‌کند. با عطف به این‌که زمان سفر با تداخلات رابطه مستقیمی دارد پس زمان سفر نیز با افزایش حجم جریان اصلی آزادراه و رمپ افزایش پیدا می‌کند.

متغیر مستقل طول خط افزایش دارای رابطه معکوس با زمان سفر است، زیرا هرچه طول این خط بیش‌تر شود، اختلاف سرعت همگرایی در جریان ورودی از رمپ و آزادراهی کم‌تر و تداخلات صورت گرفته با شدت کم‌تری زمان سفر را افزایش می‌دهند. این موضوع می‌تواند به این دلیل باشد که رانندگانی که از رمپ وارد جریان اصلی می‌شوند به دلیل طول مناسب خط افزایش سرعت زمان کافی برای نزدیک کردن سرعت خود با سرعت جریان اصلی را دارند و این موضوع موجب کاهش ایجاد اختلال در جریان اصلی شده و زمان سفر وسایل نقلیه کاهش می‌یابد.

- مدل رگرسیون حالت۲ خط به ۱ خط نشان‌دهنده آن است که تمامی متغیرهای مستقل دارای معناداری ($P < 0.05$) می‌باشند و تأثیر حجم جریان اصلی، حجم جریان رمپ رابطه مستقیم و طول خط افزایش سرعت رابطه معکوس با زمان سفر دارند. این تأثیرات به این صورت است که با هر افزایش یک واحدی در حجم جریان اصلی و حجم جریان رمپ، تداخلات صورت گرفته به ترتیب مه میزان ۰,۰۷ و ۰,۰٤ ثانیه به زمان سفر اضافه می‌کنند. در این مدل هم‌چنین افزایش هر یک متر طول خط افزایش سرعت منجر به کاهش ۰,۱۱ ثانیه‌ای زمان سفر خواهد شد.
- در مدل مربوط به حالت۳ خط به ۲ خط، روابط متغیرهای مستقل به متغیر وابسته به شکل مدل سایر حالات است ولی در این مدل، تأثیر افزایشی حجم جریان اصلی و رمپ بر روی زمان سفر، کم‌تر از حالت۲ خط به ۱ خط است. به‌طوری‌که در این مدل، این تأثیرات به این صورت است که با هر افزایش یک واحدی در حجم جریان اصلی و حجم جریان رمپ، تداخلات صورت گرفته به ترتیب مه میزان ۰,۰۰۱ و ۰,۰۰۱ ثانیه به زمان سفر اضافه می‌کنند. در این مدل هم‌چنین افزایش هر یک متر طول خط افزایش سرعت منجر به کاهش ۰,۰۰۱ ثانیه‌ای زمان سفر خواهد شد.
- در مدل رگرسیون مربوط به حالت ٤ به ۳، متغیر مستقل طول خط افزایش سرعت، به دلیل اینکه $P > .05$ این متغیر معنادار نبوده ولی متغیرهای حجم جریان اصلی و رمپ معنادار و دارای اثر افزایشی بر زمان سفر می‌باشند. مقدار افزایش زمان سفر به ازای افزایش یک واحدی حجم جریان آزادراهی و ورودی از رمپ به ترتیب، ۰,۰۰۰٦ و ۰,۰۰۸ ثانیه است.

۵. پی‌نوشت‌ها

1. Work Zone (WZ)
2. HCM=Highway Capacity Manual
3. Shyam Venugopal, Andrzej Tarko
4. David B. Castel and Gerald L. Ullman
5. Jerry G. PIigman and Kenneth R. Agent
6. Yang Lu

7. Vissim
8. Gerald L. Ullman
9. AIMSUN

٦. مراجع

– تهران، س.ح.و.ن.و.ت.ش. کالیبره نمودن نرم‌افزارهای مهندسی ترافیک. ارائه دستورالعمل نحوه شبیه‌سازی کالیبراسیون و اعتبارسنجی نرم‌افزار .aimsun دانشگاه علم و صنعت.

– Venugopal, S. and A. Tarko, Safety Models for Rural Freeway Work Zones. Transportation Research Record, 2000. 1715(1): p. 1-9.

– Casteel, D.B. and G.L. Ullman, Accidents at entrance ramps in long-term construction work zones. Transportation research record, 1992(1352).

– Pigman, J.G. and K.R. Agent, Highway accidents in construction and maintenance work zones. Transportation Research Record, 1990(1270).

– Yang, X., Y. Lu, and Y. Lin, Optimal Variable Speed Limit Control System for Freeway Work Zone Operations. Journal of Computing in Civil Engineering, 2017. 31(1): p. 04016044.

– Kejun, L. and C.U.o.S.a.T. School of Traffic & Transportation, Changsha, China, Model predictive control for variable speed limit in freeway work zone. IEEEXPLORE, 2008.

– Ullman, G.L., Queuing and Natural Diversion at Short-Term Freeway Work Zone Lane Closures. Transportation Research Record, 1996. 1529(1): p. 19-26.

– chy, A.B.M.T.U., Quantifying Operational Impacts of Variations in Work Zone Setups, Traffic Demand, and Traffic Composition: A Case Study. journal of transportation technologies, 2023.

– Chy, A.T.U., Quantifying Operational Impacts of Various Work Zone Setups, Traffic Composition, and Driving Behaviors. 2020, The University of Alabama at Birmingham.

– Paolo, P. and D. Sar, Driving speed behaviour approaching road work zones on two-lane rural roads. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2012. 53: p. 672-681.

Investigation of Traffic Disruption due to the Blockage of the Line Affected by the Work Zone Area Based on Travel Time

Ali Rahmani, Master's student in Civil Engineering, Transportation, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
Amin Mirza Boroujerdian*, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Transportation, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
Amir Hossein Siami, Master's student in Civil Engineering, Transportation, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
Mohammad Sarang, Master's student in Civil Engineering, Transportation, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

E-mail: boroujerdian@modares.ac.ir

Abstract

In freeways, in addition to assessing the traffic performance at the entrance ramp section to the freeway and its impact on vehicle delays, temporary functional changes may be necessary in certain freeway sections. Such changes could involve the temporary closure of one or several lanes along a specific stretch of the freeway for various reasons, including maintenance and repairs. The closure of one or several freeway lanes, when the flow of freeway traffic converges with the traffic from the entrance ramp, requires specific study and examination for various considerations. The Guide to Road Capacity did not previously address the examination of delays caused by the work zone area at the entrance ramp to the freeway. This study addresses this gap using the simulation software Aimsun. The study aims to measure the effects of interferences caused by the presence of the Work Zone area, the number of freeway lanes, the blocked freeway lanes, the entrance ramp lanes, and the length of the acceleration lane on travel time, comparing it with the Guide to Road Capacity in more detail. Considering the criteria in the Guide to Road Capacity, it was observed that in the convergence of 2 lanes to 1 lane, the main input flow volume and the entrance ramp flow volume had the most significant impact on the number of interferences and travel time. The variable of the acceleration lane length in this case had a more significant reduction effect on the number of interferences and travel time compared to other scenarios.

Keywords: Travel time, acceleration lane, Work Zone area, entrance ramp, simulation