

مدل سازی انتشار و پراکنش آلاینده های هوا به کمک نرم افزار شبیه ساز ترافیکی ایمنسان

مقاله علمی-پژوهشی

*شهریار افندی زاده (نویسنده مسئول)، استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

محمد جواد هدیه لو، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران

حمید بیگدلی راد، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: zargari@iust.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۲۱ - پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۱۰

صفحه ۵۴-۳۵

چکیده

هدف اصلی مطالعه حاضر، بررسی تأثیر شبیه سازی خردنگر ترافیک بر انتشار آلاینده ها و نحوه پراکنش آلودگی هوا است به گونه ای که می توان با این روش در آینده تأثیرات تغییرات در حجم ترافیک و با معابر را بر انتشار و پراکنش آلودگی بررسی نمود. در این پژوهش با استفاده از برداشت اطلاعات احجام وسایل نقلیه و مشخصات هندسی بزرگراه شهید همت حدفاصل بزرگراه شهید حقانی تا بزرگراه شهید صیاد شیرازی، محدوده مورد تحقیق مورد شبیه سازی در نرم افزار ایمنسان قرار گرفته است. بر اساس شبیه سازی در نرم افزار ایمنسان، با توجه به اطلاعات ورودی ترافیکی نظیر احجام عبوری، ابعاد وسایل، سرعت وسایل، پارامترهای فیزیکی مورد بررسی و همچنین ظرفیت عبوری، خروجی های هریک از حالات مورد بررسی تأخیر، سرعت، زمان سفر، مسافت پیموده شده و همچنین شاخص های میزان مصرف سوخت و آلاینده های زیست محیطی استخراج گردیده است. بر اساس نتایج فصل قبل میانگین سرعت وسایل عبوری قبل ۱۷/۳۴ کیلومتر بر ساعت و بعد از اعمال راهکارها ۱۹/۱ کیلومتر بر ساعت است که نشان دهنده افزایش ۱۰ درصد است. بر اساس نتایج فصل قبل سرفاصله زمانی بین وسایل (ثانیه) قبل ۰/۸۳ کیلومتر بر ساعت و بعد از اعمال راهکارها ۰/۶۲ کیلومتر بر ساعت است که نشان دهنده کاهش ۲۵ درصد است و نشان دهنده بهبود عبور و مرور است. با توجه به نتایج شبیه سازی راهکارهای پیشنهادی تحقیق، پس از اعمال راهکارها، میزان تولید CO_2 به میزان ۲۸ درصد کاهش یافته است و میزان تولید PM به میزان ۶۱ درصد کاهش یافته است.

واژه های کلیدی: شبیه سازی ترافیکی، آلاینده های زیست محیطی، زمان سفر، نرم افزار ایمنسان

۱- مقدمه

خانگی و تجاری، تبدیل انرژی (نیروگاه و پالایشگاه)، پایانه های مسافری (فرودگاه مهرآباد، ایستگاه راه آهن و پایانه های اتوبوس درون شهری) و جایگاه های بنزین تقسیم می شوند (Ameri et al., 2021). از این رو، بررسی انتشار و پراکنش آلاینده ها از منابع متحرک بسیار حائز اهمیت است. تراکم ترافیک و تبعات آن، آلودگی (اعم از آلودگی هوا، آلودگی صوتی و ...) و بخصوص تصادفات عمده معضلات حل نشده ترافیک در اکثر

منابع تولید آلاینده های هوا شهر تهران به دو دسته کلی منابع متحرک و منابع ساکن تقسیم می گردد. بر این اساس منابع متحرک شامل وسایل نقلیه در حال تردد در شهر تهران از جمله خودروهای شخصی، تاکسی ها، موتورسیکلت ها، مینی بوس ها، اتوبوس ها و خودروهای باری سبک و سنگین می باشد (Afandizadeh et al., 2023). منابع ساکن تولید آلودگی هوا شهر تهران نیز به پنج دسته اصلی شامل صنایع،

کشورهای جهان و به‌ویژه کشورهای جهان سوم است. در نتیجه، مدیریت تقاضای ترافیک با هدف کاهش میزان انتشار آلاینده‌های ناشی از تردد می‌تواند نقش بسزایی در راستای رسیدن به اهداف توسعه‌ی پایدار شهرها داشته باشد (Afandizadeh and Bigdeli Rad, 2021).

آلاینده‌های هوا بر اساس منبع انتشار آنها به دو دسته تقسیم می‌شوند: آلاینده‌های اولیه که از منابع مشخص طبیعی یا انسان ساخت منتشر می‌شوند و آلاینده‌های ثانویه که دارای منبع انتشار مستقیم نیستند بلکه از فعل و انفعالات آلاینده‌های دیگر تحت نور خورشید تولید می‌گردند مانند ازن و پراکسی‌استیل‌نیترات که از مهمترین آنها هستند (Hajisoleimani et al., 2021). غلظت و توزیع CO از آنجا که اتومبیل‌ها به تنهایی تولیدکننده بزرگترین منبع آلودگی CO می‌باشد (۵۶٪)، مناطق پرجمعیت شهری غلظت بالایی از CO را نشان می‌دهند. درچنین مناطقی غلظت CO بستگی به وضعیت فعالیت‌های روزانه جمعیت دارد. غلظت روزانه CO بستگی کامل به میزان ترافیک دارد. بالاترین میزان تراکم درمحل‌هایی دیده می‌شود که بار سنگین ترافیک دارند و وضعیت روزانه جز در آخر هفته‌ها تفاوت چندانی باهم ندارند. تراکم در روزهای هفته بالاتر از روز جمعه است (Rastogi et al., 2023). بیش از ۸۰ درصد از اکسیدهای گوگرد به دست بشر در جریان احتراق سوخت‌های فسیلی از منابع ثابت آلوده‌کننده تولید می‌شود.

از این مقدار سهم نیروگاه‌های برق در حدود ۸۵ درصد و سهم خودروها تنها ۲ درصد است. حمل و نقل نقش مهمی در توسعه، رفاه اجتماعی و اقتصادی در هر کشور داراست و با توجه به وسعت عمل آن یکی از بخش‌های عمده مصرف‌کننده انرژی در کشور محسوب می‌شود. طبق آمار موجود، حمل و نقل دومین بخش مصرف‌کننده انرژی نهایی بعد از بخش خانگی و تجاری و اولین بخش در مصرف فرآورده‌های نفتی است (Ferreira et al., 2023).

بر اساس آمار مشخص می‌گردد که بخش حمل و نقل با تولید ۴۹/۶ درصد از کل انتشار NO_x ، ۳۲/۴ درصد SO_2 ، ۲۴/۹ درصد NO_2 ، ۳۸/۹ درصد SO_3 ، ۹۶/۹ درصد CO، ۷۸/۷ درصد HC و ۴۸ درصد ذرات معلق دارای بیشترین مقدار آلودگی در میان سایر بخش‌های انرژی کشور می‌باشد (Malekmohammadi and Mirbagheri, 2022). دو سوخت گازوییل و بنزین که عمدتاً در بخش حمل و نقل

مورد استفاده قرار می‌گیرند، بیشترین مقدار تولید آلودگی را دارند. از اجزای اصلی آلودگی ناشی از خودروها، کربن مونواکسید است، به‌گونه‌ای که سه چهارم CO وارد شده به هوا ناشی از موتورهای احتراق داخلی می‌باشد. در اثر فعالیت‌های دیگر مانند احتراق در اجاق گازها، آتش سوزی و فعالیت‌های صنعتی نیز CO تولید می‌شوند اما درصد آن کم است (Zargari and Rad, 2023). بیش‌ترین غلظت CO در شهرهای بزرگ وجود داشته و از وسایل نقلیه موتوری وارد هوا می‌شود. بنابراین بهترین راه کنترل این آلاینده کاهش انتشار و پیش‌بینی پراکنش آن از انواع وسایل نقلیه است (Abdi et al., 2020; Malekmohammadi and Mirbagheri, 2023).

مطالعات بسیاری برای مدیریت ترافیک و منابع متحرک، مدل‌سازی انتشار آلاینده‌های ناشی از حمل و نقل و مدل‌سازی پراکنش آلاینده‌ها انجام شده‌است به‌گونه‌ای که اکثر مطالعات دو مورد از سه مورد شبیه‌سازی ترافیک، انتشار و پراکنش آلاینده‌ها را در نظر گرفته‌اند و کمتر موردی به بررسی هر سه این موارد پرداخته‌اند (Afandizadeh Zargari et al., 2019).

در این راستا، آقای زیدان و همکاران در سال ۲۰۲۱ از مدل CAL3QHC برای تخمین نحوه پراکنش و غلظت مونواکسید کربن تولیدی از خودروهای موجود در تقاطعی در عمان استفاده کرد. مقایسه نتایج مدل‌سازی وی و مقادیر واقعی غلظت CO، سازگاری مناسبی را نشان می‌داد به‌گونه‌ای که بیشترین مقدار غلظت آلاینده در نزدیکی تقاطع بود و با فاصله گرفتن از تقاطع مقدار غلظت خروجی کاهش می‌یافت. همچنین طبق نتایج وی، مقادیر مدل شده کمتر از مقدار استاندارد آلاینده‌ی مورد نظر بود که نشان‌دهنده پایین بودن احتمال آسیب به سلامتی است (Zeydan et al., 2021).

آقای جی و همکاران در سال ۲۰۲۳، به بررسی پراکنش آلاینده‌های PM_{10} و CO ناشی از خودروها به کمک نرم‌افزار CALINE3 پرداختند. ایشان مقادیر غلظت ساعتی آلاینده‌های PM_{10} و CO به همراه تعداد و سرعت خودروها را از شرکت کنترل کیفیت هوا و مشخصات هواشناسی لازم را از سایت هواشناسی کشور دریافت نموده‌اند. همچنین ضرایب انتشار خودروها را با توجه به ضرایب پیشنهادی کشور انگلستان در نظر گرفته‌اند. نتایج تحقیقات آنها نشان‌دهنده بیشترین مقدار آلاینده در شرق بزرگراه بود. همچنین مقادیر آلاینده مدل‌شده توسط نرم‌افزار CALINE3 حدود ۵۰٪ کمتر از مقادیر واقعی

اندازه‌گیری شده بود (Ge et al., 2023) آقای آلورز و همکاران در سال ۲۰۱۹، با توجه به داده‌های حجم ترافیک ساعتی، به بررسی گزینه‌های مختلف تردد و وضعیت ترافیک و میزان انتشار آلاینده‌های ناشی از آن در هر دو مسیر شرق به غرب و غرب به شرق پل انساید پرداخته‌اند. وضعیت ترافیک و تردد از پایش اطلاعات ترافیکی و تخمین میزان انتشار آلاینده‌های هوا با استفاده از مدل تخمین انتشار IVE صورت گرفته است. در نهایت، از بین دو سناریوی پیشنهادی، سناریویی که منجر به کمترین حجم ترافیک و بیشترین پایداری جریان و کمترین انتشار آلاینده می‌شود را انتخاب کرده‌اند. (Álvarez et al., 2019). همچنین در مطالعه‌ای مشابه توسط آقای استرابیگ و همکاران در سال ۲۰۱۳، میزان انتشار آلاینده‌های منتشر شده از منابع متحرک در کلان شهرها بررسی شده است. برای نمونه در سال ۲۰۱۸ آلاینده‌های منتشر شده از وسایل نقلیه با استفاده از نرم‌افزار IVE انجام گرفته که نتایج آن از تولید ۲۴۴۴۵ تن در ساعت آلاینده CO حکایت داشته که از این میزان حدود ۲۵ درصد مربوط به انتشار آلاینده زمان استارت بوده است. همچنین ۸۲٪ از مقادیر CO₂ تولید شده توسط وسایل نقلیه سبک منتشر می‌گردد. در نهایت طبق پژوهش ایشان، توسعه حمل و نقل عمومی و کاربری زمین و برنامه ریزی فضایی شهری برای بسیاری از مراکز ناحیه‌های شهر تهران ضروری است. (Striebig et al., 2019)

آقای رومانوف و همکاران در سال ۲۰۲۰، مدل‌سازی پراکنش مونواکسید کربن را با استفاده از مدل GRAL/GRAMM برای نشان دادن نحوه گسترش و رفتار این آلاینده منتشر شده از خودروها انجام داده است. نتایج پژوهش ایشان نشان‌دهنده بیشترین مقدار غلظت آلاینده در تقاطعات پرتردد است که با فاصله گرفتن و همچنین افزایش ارتفاع، از مقدار آن کاسته می‌شود (Romanov et al., 2020). همچنین آقای ون و همکاران در سال ۲۰۱۲، به بررسی اثرات مدیریت سرعت بر آلاینده‌های ترافیکی پرداخته است. برای شبیه‌سازی شرایط رانندگی به لحظه با توجه به شتاب افزایشی و کاهش از نرم‌افزار شبیه‌سازی خردنگر DRACULA که در سال ۱۹۹۳ توسط دانشگاه لیدز توسعه یافته، استفاده شده است. همچنین مدل انتشار لحظه‌ای آلاینده‌های ناشی از منابع متحرک را با توجه به مدل‌های خردنگر ترافیکی ارائه داده‌اند. این مدل تابعی از سرعت و شتاب لحظه‌ای خودروها، حداقل آلاینده‌گی خودرو و ضرایب

ثابت آلودگی با توجه به جدول ارائه شده می‌باشد. لازم به ذکر است که مدل انتشار آلاینده‌گی ایشان تحت عنوان مدل پنیس در نرم‌افزار ایمسان قابل استفاده است. (Van et al., 2012) در زمینه استفاده از نرم‌افزارهای ترافیکی، آقای افندی‌زاده و همکاران به بررسی تأثیر سیاست قیمت‌گذاری بر انتشار آلاینده‌ها در محدوده مرکزی شهر اصفهان پرداختند که در آن ماتریس تقاضای حمل و نقل بر شبکه حمل و نقلی با نرم‌افزار EMME/2 تخصیص داده شده و اثر بخشی قیمت‌گذاری‌های مختلف بر میزان انتشار آلاینده‌ها بررسی شده است (Afandizadeh et al., 2023).

آقای اسمیت و همکاران در سال ۲۰۰۹، با استفاده از داده‌های برداشت شده مربوط به ۵۸ خودرو و بازه زمانی نیم ساعته، از مدل پنیس نرم‌افزار AIMSUN استفاده نموده و مقادیر مدل‌شده را برای هر آلاینده با مقادیر واقعی مقایسه نموده است. نتایج تحقیقات ایشان برای آلاینده‌های CO₂, NO_x (آزادراه) و HC مقادیر بدست‌آمده با اختلاف زیادی کمتر از مقادیر واقعی و برای آلاینده CO₂ (غیرآزادراه) بیشتر از مقادیر واقعی است (Smit et al., 2009). آقای کار و همکاران در سال ۲۰۰۲، برای مدل‌سازی غلظت آلاینده NO₂ برای محدوده‌های به مسافت ۸۳۱ کیلومتر، با توجه به ضرایب انتشار محاسبه شده از مدل انتشار CopCETE و رابطه مدل پراکنش گوسی برای منابع خطی، استفاده نموده و در نهایت نتایج خروجی را با مقادیر برداشت شده از ۲۴۲ نقطه مقایسه نموده است. طبق نتایج ایشان، متوسط خطای نرمال ۲۲٪ در فصل زمستان و ۳۱٪ در تابستان است. همچنین نتایج مدل با مدل پراکنش آلاینده‌گی ADMS و مقادیر استاندارد نیز مقایسه شده که حاکی از قابل قبول بودن نتایج مدل‌سازی است (Carr et al., 2002)

در مطالعه‌ای دیگر، آقای سویدان در سال ۲۰۱۱، از دیتاهای سیستم PEMS برای اعتبار سنجی و کالیبره کردن ضرایب انتشار آلاینده‌های مدل ترافیکی AIMSUN استفاده نموده است. در دو شبیه‌سازی متفاوت، ابتدا ضرایب انتشار مدل AIMSUN کالیبره شده و سپس اعتبارسنجی انجام گرفته است. (Swidan, 2011). در نمونه‌ای از ترکیب سه مدل ترافیکی، انتشار و پراکنش آلاینده‌های ناشی از منابع متحرک، آقای کیم و همکاران در سال ۲۰۲۱، با ادغام مدل ترافیکی خرد نگر PARAMICS، مدل خردنگر انتشار آلاینده CMEM و دو مدل پراکنش آلاینده AERMOD QUIC، آلاینده‌های CO و NO_x ناشی از منابع ترافیکی اوج صبح را در تقاطعی در تورنتو کانادا ارزیابی کرده‌اند.

۲- روش‌شناسی تحقیق

با توجه به موضوع تحقیق در مرحله اول محدوده مورد تحقیق شامل بزرگراه شهید همت غرب به شرق حدفاصل بزرگراه حقانی تا بزرگراه صیاد شیرازی مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا احجام ترافیکی وسایل عبوری به تفکیک سبک و سنگین برداشت شده است و اطلاعات ترافیکی شامل PHF و ساعت اوج از اطلاعات احجام ترافیکی اخذ شده است. در مرحله بعد سرعت وسایل نقلیه، تعداد خطوط عبوری و عرض خطوط برداشت شده است. در مرحله بعد پس از ترسیم شبکه مورد تحقیق، اطلاعات برداشتی شامل احجام معادل سواری، سرعت و ظرفیت در هر ایستگاه وارد نرم‌افزار Aimsun شده است. پس از ارزیابی وضع فعلی محدوده مورد تحقیق با شاخص‌های تأخیر، سرعت، زمان سفر و مسافت پیموده شده، در مرحله بعد کالیبراسیون با استفاده از ضرایب ارائه شده در آیین‌نامه دانشگاه علم و صنعت ایران و طول صف انجام شده است. در این مرحله نتایج برای بعد از کالیبراسیون مقایسه شده است و خروجی‌های ذیل اخذ شده است:

- مصرف سوخت (لیتر)
- میزان تولید آلاینده
- CO₂ (کیلوگرم)
- PM (کیلوگرم)
- NO_x (کیلوگرم)



شکل ۱. روند تحقیق (شبیه‌سازی و خروجی‌های نرم‌افزار Aimsun)

نتایج مطالعات ایشان مبنی بر کمتر بودن مقدار غلظت آلاینده‌های واقعی و مدلسازی شده از مقادیر استاندارد ارائه شده توسط سازمان هواشناسی کانادا است (Kim et al., 2021). در تحقیقی آقای تاملین و همکاران، در سال ۲۰۱۶ با استفاده از مدل انتشار پنیس نرم‌افزار ایمسان و ترکیب مدل‌های متوسط جریان آشفته رینولدز و پراکنش لاگرانژی به مدلسازی آلاینده NO_۲ در نقاط مختلف شهر و بررسی عدم قطعیت و آنالیز حساسیت در ناحیه‌ای در شهر یورک انگلستان پرداخته است. مطالعات ایشان تأثیر ترافیک و صف در معابر را بر نحوه پراکنش آلاینده و همچنین حساسیت پارامترهای هواشناسی را بررسی می‌کند (Tomlin et al., 2016)

در پژوهشی زاپاتا و همکاران در سال ۲۰۲۲، آلاینده NO_۲ را برای شبکه ترافیکی در مونترال کانادا به کمک نرم‌افزار شبیه‌ساز خردنگر ویزیم، مدل انتشار MOVES و مدل‌های پراکنش CALPUFF و SIRANE مدلسازی کرده‌اند. طبق نتایج، مقادیر غلظت آلاینده مدل شده کمتر از مقادیر واقعی بوده که ناشی از در نظر نگرفتن تأثیرات ساختمان‌های اطراف شبکه در مدل گوسی CALPUFF و در نظر نگرفتن تأثیرات مسیرهای اطراف در مدل خیابان باریک بوده است. (Zapata-Marin et al., 2022)

همچنین در پژوهشی آقای ساریچ و همکاران در سال ۲۰۲۳، از ترکیب مدل Fluidity که بر مبنای مدل‌های CFD است، مدل انتشار پانیس و نرم‌افزار شبیه‌ساز خردنگر ویزیم برای مدلسازی تقاطع فرضی استفاده نموده است. در این شبیه‌سازی وسایل نقلیه در مدل Fluidity به عنوان جریان دوم در نظر گرفته شده که همراه با جریان آلودگی هوا مدلسازی شده و با نتایج تلفیق مدل ویزیم و پنیس مقایسه شده‌اند. همچنین تأثیر اتوبوس بر غلظت آلاینده پخش شده و اثرات باد نیز بررسی گردیده است (Šarić et al., 2023).

در پژوهش حاضر با هدف بررسی رابطه بین جریان ترافیکی در شبکه و میزان انتشار و پراکنش آلاینده‌ها سعی شده از ادغام ابزار مناسب بهره گرفته شود که از نتایج آن در پژوهش‌های آتی برای بررسی تغییرات کوچک در شبکه در مقیاس خردنگر می‌توان استفاده نمود. بدین منظور پس از بررسی‌های فراوان به ادغام نرم‌افزار شبیه‌ساز خردنگر ترافیکی ایمسان، روش محاسبه میزان انتشار سنجش همراه و مدل پراکنش آلاینده‌های AERMOD رسیده و پس از انجام شبیه‌سازی نتایج آن با مقادیر واقعی مقایسه گردیده است.

۱-۲- برداشت اطلاعات مورد نیاز

محدوده مورد تحقیق بزرگراه شهید همت از بزرگراه شهید حقانی تا بزرگراه شهید صیاد شیرازی است. در مسیر غرب به شرق بزرگراه همت بعد از معبر پاسداران، یک رمپ ورودی به بزرگراه با دو خط وجود دارد که حجم زیادی از وسایل نقلیه را به این مقطع از بزرگراه همت وارد می‌کند. این حجم متشکل از احجامی است که از مسیرهای زیر قصد دسترسی به همت غرب به شرق را دارند:

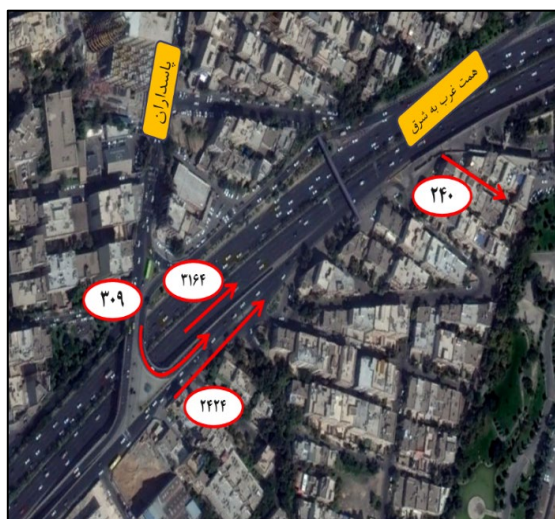
- وسایل نقلیه‌ای که از معبر شریعتی جنوب به شمال قصد ورود به همت غرب به شرق را دارند.
- وسایل نقلیه‌ای که از معبر شریعتی شمال به جنوب قصد ورود به همت غرب به شرق را دارند.
- وسایل نقلیه‌ای که مسیر همت شرق به غرب را طی کرده و از واگرد تازه احداث شده در محل تقاطع همت و پاسداران حرکت واگرد شرق به شرق را انجام می‌دهند.

چهار خط بزرگراه همت در مسیر غرب به شرق با حجم بالا و دو خط ورودی از رمپ ذکر شده با حجم بالا که قصد دارند امتداد مسیر غرب به شرق همت را با چهار خط طی کنند، باعث ایجاد تراکم ترافیکی و ایجاد صف در محدوده نشان داده شده در شکل ۲ می‌شوند.



شکل ۲. تداخل حجم بالای مسیر غرب به شرق همت با حجم بالای رمپ ورودی بعد از معبر پاسداران

با توجه به برداشت‌های انجام شده، ساعت ۱۷:۰۰ تا ۱۸:۰۰ به‌عنوان ساعت اوج در بررسی‌ها منظور می‌شود. حجم‌های برداشت شده در ایستگاه‌های مختلف در ساعت اوج ذکر شده، در شکل ۳ و ۴ به‌تصویر کشیده شده است.

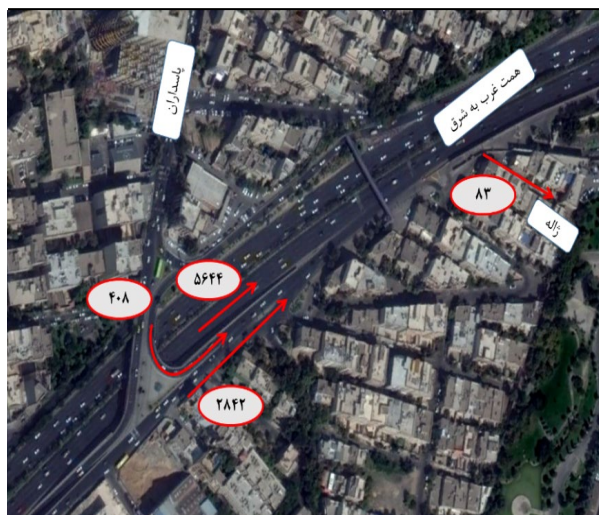


شکل ۳. حجم برداشت شده در ساعت اوج صبح (۷:۱۵ تا ۸:۱۵)

۲-۲- کالیبراسیون نرم افزار Aimsun

در جهت بررسی خروجی‌های سناریوهای پیشنهادی، نرم‌افزار Aimsun به دلیل دقت بالا و همچنین توانایی شبیه‌سازی و مدل‌سازی سبقت در راه‌های دو خطه استفاده شده است. لازم به ذکر است در نسخه آخر نرم‌افزار Aimsun، توانایی شبیه‌سازی سبقت اضافه شده است و از این جهت فرآیند شبیه‌سازی به روز است. جهت دقت و کالیبره نمودن نتایج حاصل از شبیه‌سازی نرم‌افزار ایمنسان جهت کالیبره نمودن نتایج از طول صف استفاده شده است. بدین منظور پارامترهای خروجی کالیبره شده در نرم‌افزار شبیه‌سازی که توسط دانشگاه علم و صنعت به منظور سهولت در انجام کالیبره صورت گرفته، جهت ورود اطلاعات به شبیه‌ساز ایمنسان استفاده می‌شود. قابل ذکر است که کلیه شرکت‌های مطالعات ترافیکی نیز برای کالیبره نمودن اطلاعات خود از نتایج شبیه‌سازی شده در این دانشگاه استفاده می‌نمایند. با توجه به ارائه ضرایب کالیبره شده وسایل در ایران ضرایب کالیبره در نرم‌افزار وارد شده است. در ادامه پارامترهای وارد شده در نرم‌افزار Aimsun جهت کالیبره کردن آورده شده است. پارامترهای مورد بررسی جهت ورود به نرم‌افزار به شرح زیر است:

- طول وسیله
- عرض وسیله
- بیشینه سرعت وسیله
- بیشینه شتاب وسیله
- فاصله بین وسایل نقلیه
- ضریب زمان حرکت وسیله
- پیروی قابل قبول
- سرفاصله بیشینه بین وسایل
- درصد وسایل اشغال شده
- ظرفیت بیشینه وسیله
- زمان عکس‌العمل راننده
- زمان عکس‌العمل راننده در توقف
- زمان عکس‌العمل راننده در شرایط تراکم ترافیک
- مسافت دید ۱ و ۲
- مسافت دید روی رمپ



شکل ۴: حجم برداشت شده در ساعت اوج عصر
(۱۷:۰۰ تا ۱۸:۰۰)

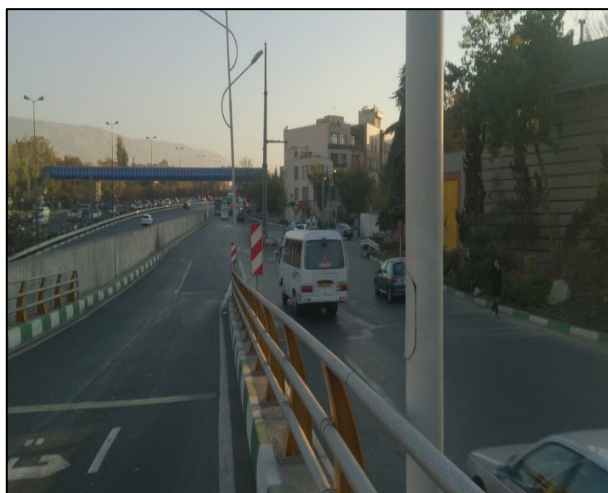
۲-۳- مسأله مورد تحقیق

همان‌گونه که گفته شد، در مسیر غرب به شرق بزرگراه همت بعد از معبر پاسداران، یک رمپ ورودی به بزرگراه با دو خط وجود دارد که حجم زیادی از وسایل نقلیه را به این مقطع از بزرگراه همت وارد می‌کند.

این حجم متشکل از احجامی هست که از مسیرهای زیر قصد دسترسی به همت غرب به شرق را دارند:

- وسایل نقلیه‌ای که از معبر شریعتی جنوب به شمال قصد ورود به همت غرب به شرق را دارند.
- وسایل نقلیه‌ای که از معبر شریعتی شمال به جنوب قصد ورود به همت غرب به شرق را دارند.
- وسایل نقلیه‌ای که مسیر همت شرق به غرب را طی کرده و از واگرد تازه احداث شده در محل تقاطع همت و پاسداران حرکت واگرد شرق به شرق را انجام می‌دهند.

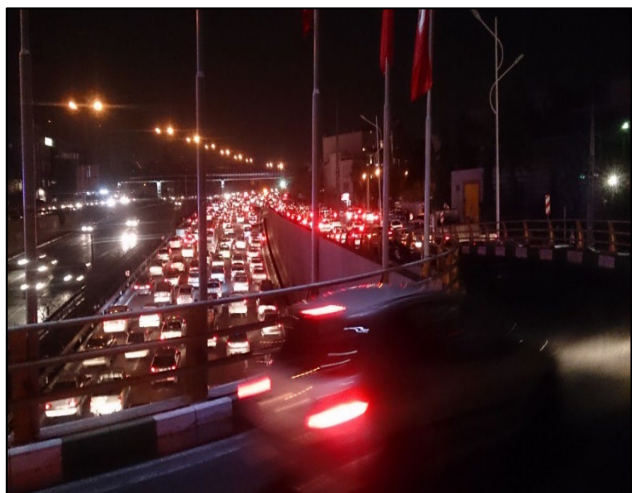
چهار خط بزرگراه همت در مسیر غرب به شرق با حجم بالا و دو خط ورودی از رمپ ذکر شده با حجم بالا که قصد دارند امتداد مسیر غرب به شرق همت را با چهار خط طی کنند، باعث ایجاد تراکم ترافیکی و ایجاد صف در محدوده نشان داده شده در شکل ۵ می‌شوند.



شکل ۶. رمپ ورودی از شریعتی شمال به جنوب و جنوب به شمال به همت (کاهش عرض از چهار خط به دو خط)



شکل ۷. نمایی از محل مقطع رمپ ورودی به بزرگراه همت (کاهش خط از شش خط به چهار خط)



شکل ۸. تراکم ترافیک مقطع رمپ ورودی به بزرگراه همت



شکل ۵. تداخل حجم بالای مسیر غرب به شرق همت با حجم بالای رمپ ورودی بعد از معبر پاسداران

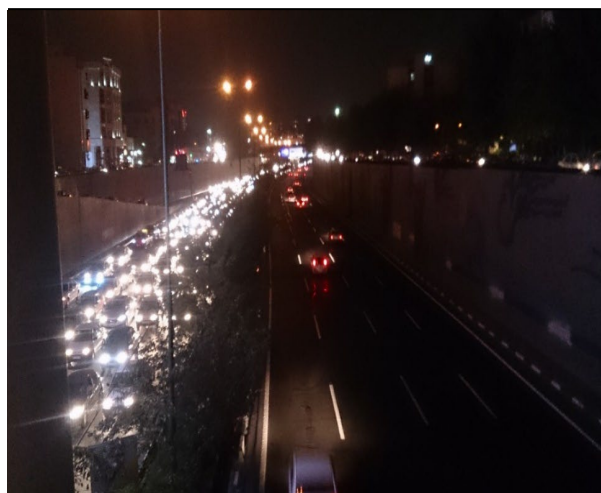


شکل ۱۱. تغییر تعداد خط بزرگراه همت مسیر غرب به شرق در محدوده تقاطع صیاد شیرازی

در ادامه اطلاعات سرعت ورودی به نرم افزار آورده شده است. لازم به ذکر است با توجه به عملکرد بزرگراه شهید همت، سرعت ورودی به نرم افزار Aimsun ۹۰ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است سرعت ۹۰ کیلومتر بر ساعت بر اساس سرعت عملکردی بزرگراه همت و تابلوهای نصب شده در بزرگراه در نظر گرفته شده است.

۴-۲- بررسی فواصل دسترسی ها

با توجه به احجام برداشت شده محدوده تداخلی و همچنین طول تداخلی وضع موجود و بر اساس برداشت های ترافیکی انجام شده، تحلیل ظرفیت محدوده تداخلی با استفاده از نرم افزار HCM-CALC و آخرین ویرایش HCM (سال ۲۰۱۶) انجام شده است. بر اساس خروجی های نرم افزار مذکور، سطح سرویس ناحیه دسترسی ورودی و خروجی در محدوده بحرانی بعد ورودی پاسداران به همت غرب به شرق در محدوده مذکور، F است.



شکل ۹. پس زدگی جریان در بزرگراه همت قبل از رمپ ورودی در جنوب پاسداران (دید شرق به غرب)

عدم رعایت سلسله مراتب دسترسی در طرح شبکه دسترسی از بزرگراه و معابر شریانی درجه ۲ اصلی و فرعی و همچنین معابر محلی نیز سبب افزایش مشکلات عبور و مرور در رمپ ورودی به بزرگراه همت، گردیده است. در مسیر رمپ مذکور، چندین دسترسی به معابر محلی وجود دارد.



شکل ۱۰. دسترسی های محلی به رمپ ورودی همت در محدوده پاسداران

از دیگر مشکلات وضع موجود می توان به تغییر تعداد خط بزرگراه همت در محدوده مورد نظر اشاره کرد. در محدوده بزرگراه همت و صیاد شیرازی یک خط از بزرگراه همت کاسته می شود و به همین دلیل در این مقطع تراکم ترافیک ایجاد می شود.

Mainline
 Segment Type: Multilane Highway
 Number of Lanes: 4
 Demand (veh/h): 9869
 Peak Hour Factor: 0.920
 FFS Adjustment Fact.: 1.000
 Free-Flow Speed (mi/h): 75.0
 Measured
 Interchange Density (int/mi): 2.00

Weave Configuration
 One-Sided
 Short Length (L_S) (ft): 816
 # of Weaving Lanes (N_WL): 2
 Min. Lane Changes Freeway-Ramp (LC_FR): 1
 Min. Lane Changes Ramp-Freeway (LC_RF): 1
 Min. Lane Changes Ramp-Ramp (LC_RR): 0

Heavy Vehicle Factor
 Terrain: Specific Grade
 General Terrain: Level
 Specific Grade: Length (mi): 0.0000, Grade (%): 3.40
 % Single Unit Trucks (SUTs): 1.0
 % Tractor Trailers (TTs): 0.0
 Truck PCE (E_T): 1.00
 f_HV: 1.000

On-Ramp to Freeway
 Demand (veh/h): 699
 % SUTs: 1.0
 % TTs: 0.0
 f_HV: 1.000

Ramp-to-Ramp
 Demand (veh/h): 166

Freeway to Off-Ramp
 Demand (veh/h): 720
 % SUTs: 1.0
 % TTs: 0.0
 f_HV: 1.000

Results
 Calculate Performance Measures and LOS
 v_FF (pc/h): 9945
 v_FR (pc/h): 783
 v_RF (pc/h): 760
 v_RR (pc/h): 180
 Volume Ratio: 0.132
 Maximum Length (ft): 3855
 C_IWL (pc/h/n): 2168
 C_IW (pc/h): 18155
 C_W (veh/h): 8670
 v/c: 1.346
 LC_min (c/h): N/A
 LC_W (c/h): N/A
 I_NW: N/A
 LC_NW (c/h): N/A
 LC_All (c/h): N/A
 Weaving Intensity: N/A
 Non-Weaving Speed (mi/h): N/A
 Weaving Speed (mi/h): N/A
 Avg. Speed (mi/h): N/A
 Density (pc/mi/n): N/A
 LOS: F

شکل ۱۲. سطح سرویس محدوده پس از دسترسی پاسداران به همت غرب به شرق (HCM-CALC)

ریمپ ورودی به همت غرب به شرق بعد از تقاطع پاسداران، در قالب موارد زیر قابل بررسی می‌باشد.

- اجرای ریمپ میتینگ پاسداران: این روش در وضع موجود توسط مأمور راهنمایی و رانندگی در ساعات اوج عصر اعمال می‌شود.

- افزودن یک خط به بزرگراه همت در محدوده باغ مهران (از ریمپ ورودی بعد از پاسداران تا ریمپ خروجی به صیاد شیرازی شمال به جنوب)

- افزودن یک خط به بزرگراه همت محدوده در تقاطع صیاد شیرازی (بعد از لوپ خروجی به صیاد جنوب به شمال تا ریمپ ورودی از صیاد جنوب به شمال)

تصاویر ارائه شده نمایش دهنده وضعیت مورد بررسی هر یک از راهکارهای فوق می‌باشد.

ریمپ میتینگ ورودی از شمال به شرق به صورت زیر توسط Aimsun شبیه‌سازی می‌شود. در ادامه با توجه به سناریو افزایش خط در دو مقطع بزرگراه در مرحله اول در مقطع همت غرب به شرق قبل از خروجی صیاد شیرازی خطوط عملکردی بزرگراه از ۴ خط به ۵ خط افزایش پیدا کرده است و در مقطع بعدی در همت غرب به شرق بعد از خروجی صیاد شیرازی خطوط بزرگراه از سه خط به ۴ خط افزایش پیدا کرده است. در شکل ۱۴ محدوده‌های افزایش خط نشان داده شده است.

با در نظر داشتن نتایج حاصل از برداشت‌های میدانی و بررسی‌های نقشه‌های وضع موجود و مسیرهای دسترسی و آمارها، قابل ذکر است.

- تجمیع تردد سه رویکرد (دوربرگردان شرق به شرق، خروجی شریعتی شمال و خروجی شریعتی جنوب به سمت همت)
 - در ریمپ ورودی به بزرگراه همت و عدم توازن خطوط ورودی و خروجی سبب ایجاد گلوگاه و پس‌زدگی صف در هر سه رویکرد در ساعات اوج به‌ویژه ساعات اوج عصر شده است.

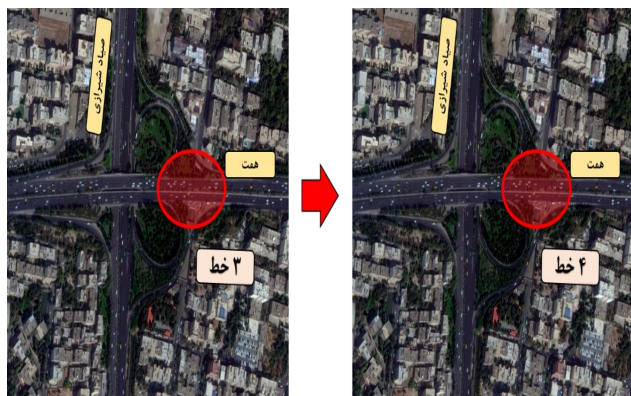
- عدم توازن خطوط ورودی و خروجی در محل ریمپ ورودی به بزرگراه سبب ایجاد گلوگاه و پس‌زدگی صف در بزرگراه همت به‌ویژه ساعات اوج به‌ویژه ساعات اوج عصر شده است.

- تغییر تعداد خطوط در بزرگراه همت در محدوده تقاطع با بزرگراه صیاد شیرازی نیز از دیگر مشکلات موجود در محدوده مورد تحقیق است.

۳- تحلیل نتایج

۳-۱- شناسایی اولیه راهکارها

طی بررسی‌های صورت گرفته و اولویت‌بندی مشکلات وضع موجود راهکارهای ممکن جهت بهبود ترافیک وضع موجود

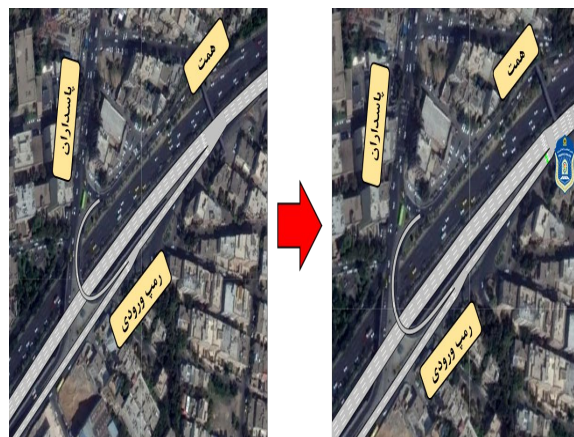


شکل ۱۵. اصلاح هندسی و افزودن یک خط به همت
بعد از خروجی به صیاد شمال به جنوب تا رمپ ورودی
به صیاد جنوب به شمال

با توجه به اینکه در محل رمپ ورودی به همت بعد از تقاطع پاسداران، چهار خط از مسیر غرب به شرق همت با حجم ترافیک بالا با دو خط از رمپ ورودی با حجم ترافیک بالا همزمان می‌خواهند در چهار خط بزرگراه همت قرار گیرند، لذا باعث افزایش تراکم شدید در محدوده می‌شود.

۳-۲- اثرسنجی و ارزیابی ترافیکی

در این بخش با توجه به امکان‌سنجی اولیه راهکارها، سناریوهای نهایی ساماندهی و بهبود وضعیت ترافیکی در قالب سه سناریوی زیر مورد شبیه‌سازی و مقایسه نتایج قرار گرفته است. با توجه به ورود اطلاعات ضرایب اصلاحی و کنترل طول صف برداشتی و شبیه‌سازی شده، نتایج برای وضع موجود و سناریو زمان‌بندی رمپ و همچنین افزایش خط نشان داده شده است.



شکل ۱۳. محدود کردن دسترسی از رمپ ورودی به بزرگراه همت
توسط مأموران راهنمایی و رانندگی (رمپ میترینگ)



شکل ۱۴. اصلاح هندسی و افزودن یک خط به بزرگراه همت
از پاسداران تا صیاد شیرازی

جدول ۲. نتایج شبیه‌سازی سناریوهای پیشنهادی
(شاخص ترافیکی)

شاخص	بعد از کالیبراسیون			
	وضع موجود	راه حل ۱ رمپ میتربینگ	راه حل ۲ افزایش خط و تعریض خط	راه حل ۳ رمپ میتربینگ، افزایش خط و تعریض خط
Sec/km	تأخیر	۳۴۳/۸	۲۹۴/۷	۲۹۰/۱
Km/h	سرعت	۱۷/۸	۲۶/۹	۲۲
Km	مسافت	۱۹۲۸۶/۸	۱۹۳۱۳/۸	۱۹۴۲۱/۹
H	مجموع	۱۵۹۵	۱۳۷۹/۸	۱۲۹۱/۹
	زمان سفر			۱۰۷۰/۴
Sec/km	زمان سفر	۲۹۰/۸	۳۴۱/۴	۳۳۵/۲

جدول ۳. نتایج شبیه‌سازی سناریوهای پیشنهادی
(شاخص مصرف سوخت و آلاینده)

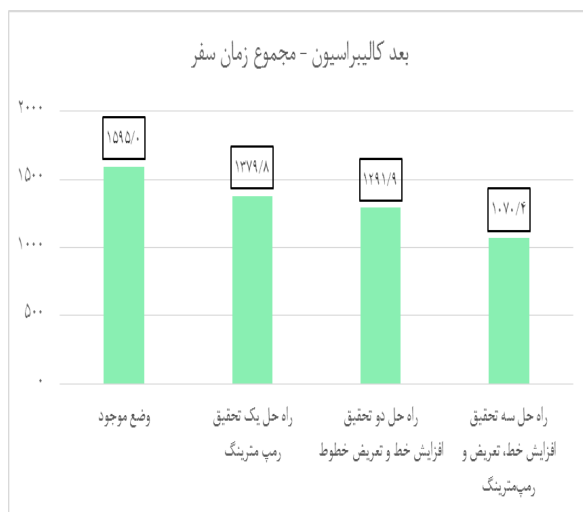
شاخص	بعد از کالیبراسیون			
	وضع موجود	راه حل ۱ رمپ میتربینگ	راه حل ۲ افزایش خط و تعریض خط	راه حل ۳ رمپ میتربینگ، افزایش خط و تعریض خط
h	کل زمان سفر	۱۵۹۵	۱۳۷۹/۸	۱۲۹۱/۹
l	مصرف سوخت	۳/۸	۲/۴	۲/۸
kg	CO2	۷۵۱۸/۸	۶۶۱۴/۱	۶۶۶۶/۸
kg	PM	۱/۸۵۲۳	۱/۲۸۴۲	۱/۵۰۴۹
kg	Nox	۱۱/۵۶۵	۱۲/۲۸۹	۱۱/۱۷۹

در حالت وضع موجود، وضعیت شبکه در محدوده مطابق شکل زیر است. در مسیر همت غرب به شرق قبل از رمپ ورودی تقاطع پاسداران، تراکم ترافیک بسیار بالا است که علت آن همان‌طور که گفته شد، تداخل احجام مسیر اصلی و رمپ ورودی است که قرار است در چهار خط در ادامه مسیر قرار گیرند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در این مقطع گلوگاه ایجاد شده و پس‌زدگی صف به سمت غرب (تا محدوده تقاطع همت-حقانی) روی خواهد داد. در ادامه مسیر و بعد از گلوگاه به‌طور معمول جریان ترافیک روان است. در ادامه مسیر و در تقاطع همت و صیاد شیرازی به علت اینکه در مقطع حدفاصل خروجی به صیاد شیرازی شمال تا ورودی از صیاد شیرازی شمال، تعداد خط بزرگراه همت از چهار خط به سه خط کاهش می‌یابد، مجدد تراکم ترافیک به‌وجود می‌آید. در ادامه اما شرایط مناسب بوده و تراکم ترافیک کاهش می‌یابد. طبق نتایج خروجی شبیه‌سازی اجرای گزینه چهارم، بدلیل رعایت اصل توازن خطوط در طول مسیر (حفظ ۴ خط عبوری در امتداد مسیر بزرگراه و تأمین ۵ خط عبور حدفاصل پاسداران تا صیاد شیرازی) و کاهش حداکثری اثرات گلوگاهی، بهترین شرایط را نتیجه می‌دهد با توجه کاهش اثر گلوگاهی محدوده پل پاسداران و در ادامه تقاطع صیاد در این گزینه، وضعیت جریان از منظر طول صف نیز مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج شبیه‌سازی پیش بینی می‌شود که طول صف به میزان تقریبی یک کیلومتر در طول بزرگراه کاهش می‌یابد. به نحوی که انتهای صف از محدوده تقاطع حقانی به محدوده تقاطع شریعتی (پل ضرابخانه) تقلیل خواهد یافت. با توجه به ۴ خط عبوری بزرگراه همت، این تغییر سبب کاهش قابل توجه و مطلوب صف، در حدود ۴ کیلومتر وسیله نقلیه در سطح شبکه بزرگراهی شرق تهران خواهد گردید.

۳-۳- مقایسه شاخص‌های ترافیکی

در ادامه برای ۵ شاخص اصلی ارزیابی تحقیق مقایسه بین وضع فعلی، راه حل رمپ میتربینگ و همچنین راه حل افزایش خط آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با توجه به نتایج شبیه‌سازی پارامتر تأخیر در سناریو رمپ میتربینگ از ۳۹۳ به ۲۹۴ کاهش پیدا کرده است و بهبود پیدا کرده است و برای راه حل دو و راه حل سه نیز کاهش تأخیر مشاهده می‌شود. لازم به ذکر است پیاده‌سازی راه حل افزایش تعداد خطوط تأخیر را در مقایسه با وضع فعلی کاهش می‌دهد.

قابل مشاهده است که در سناریوی اجرای رمپ میتربینگ شرایط نسبت به حالت وضع موجود بهتر شده است. لکن اجرای این روش راهکاری موقت بوده و سبب پس زدگی صف مسیر دسترسی از سمت خیابان شریعتی و دوربرگردان پاسداران خواهد شد که از معایب آن به شمار می‌آید.

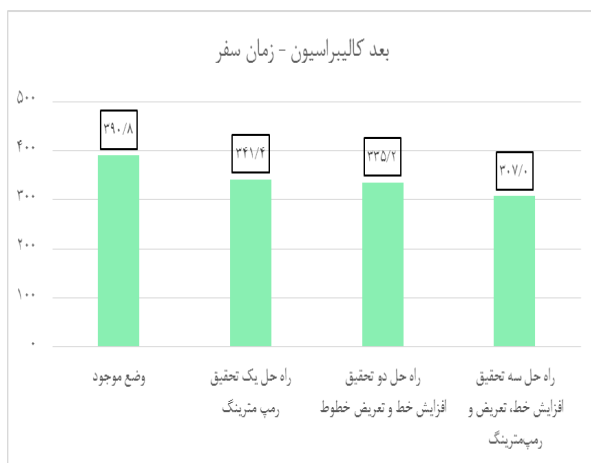


شکل ۱۶. مقایسه شاخص تأخیر - بعد کالیبراسیون

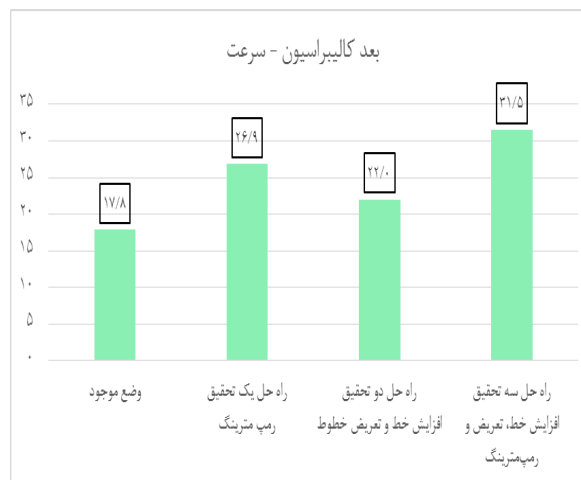
شکل ۱۸. مقایسه شاخص مجموع زمان سفر - بعد کالیبراسیون

با توجه به نتایج زمان سفر، زمان سفر میانگین در تمامی راه حل‌های پیشنهادی یک تا سه، کاهش پیدا می‌کند. لازم به ذکر است میزان کاهش راه حل یک و راه حل دو تقریباً برابر است و ترکیب دو راه حل یک و دو (راه حل سه) بیشتر از راه حل‌های یک و دو به تنهایی است.

با توجه به شکل ۱۷، سرعت وسایل نقلیه در هر یک از راه حل‌های ارائه شده آورده شده است، در راه حل اول رمپ مترینگ سرعت از ۱۷/۸ به ۲۶/۹ افزایش پیدا می‌کند ولی در مقایسه سرعت فعلی با سرعت راه حل دو میزان افزایش سرعت راه حل دو در مقایسه با راه حل رمپ مترینگ کمتر است و به طور کلی راهکارهای پیشنهادی سرعت را افزایش می‌دهد.



شکل ۱۹. مقایسه شاخص زمان سفر متوسط - بعد کالیبراسیون



شکل ۱۷. مقایسه شاخص سرعت - بعد کالیبراسیون

۴-۳- مقایسه عملکرد وضع فعلی و سناریوهای هوشمندسازی پیشنهادی

با توجه به شبیه‌سازی در Aimsun، شاخص‌های عملکردی برای وضع فعلی محدوده مورد تحقیق و همچنین سناریو رمپ مترینگ و سناریو افزایش تعداد خطوط برای حالت قبل و بعد از کالیبراسیون آورده شده است.

با توجه به مقایسه نتایج زمان سفر برای راه حل‌های پیشنهادی، تمامی راه حل‌های پیشنهادی مجموع زمان سفر وسایل عبوری از محدوده مورد تحقیق را کاهش می‌دهد و سبب بهبود عبور و مرور می‌شود.

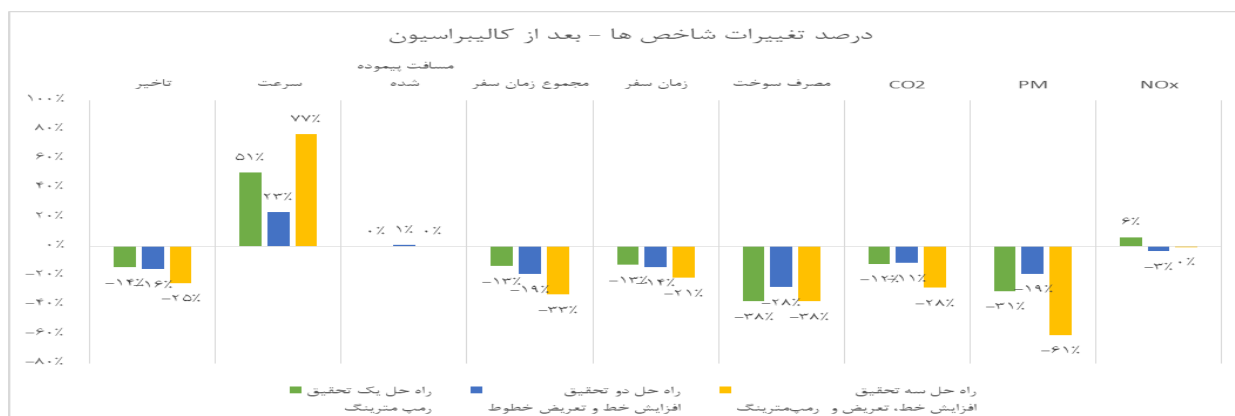
برای بعد از کالیبراسیون

نسبت به دو راه حل اول داشته است. همچنین این میزان بهبود برای شاخص‌های سرعت، زمان سفر، مصرف سوخت، آلاینده‌ها میزان بهبود شاخص تأخیر در راه حل سه (افزایش خط و رمپ مترینگ) بهبود بیشتری نسبت به دو راه حل اول داشته است.

در ادامه در جدول ۴ درصد تغییرات هریک از شاخص‌های مقایسه عملکرد زمان بندی‌ها نسبت به وضع فعلی زمان بندی میدان برای بعد از کالیبراسیون آورده شده است. برای راه‌حل‌های یک تا سه تمامی شاخص‌های تأخیر، سرعت، زمان سفر، مصرف سوخت و آلاینده‌ها بهبود پیدا کرده است و شاخص مسافت پیموده شده تقریباً بدون تغییر بوده است. در مقایسه بین راه‌حل‌های پیشنهادی، میزان بهبود شاخص تأخیر در راه حل سه (افزایش خط و رمپ مترینگ) بهبود بیشتری

جدول ۴. درصد تغییرات نتایج قبل و بعد از کالیبراسیون

شاخص بعد کالیبراسیون	راه حل یک تحقیق رمپ مترینگ	راه حل دو تحقیق افزایش خط و تعریض خطوط	راه حل سه تحقیق افزایش خط، تعریض و رمپ مترینگ
sec/km	تأخیر	۱۶٪-	۲۵٪-
km/h	سرعت	۵۱٪	۷۷٪
km	مسافت پیموده شده	۱٪	۰٪
h	مجموع زمان سفر	۱۹٪-	۲۳٪-
sec/km	زمان سفر	۱۴٪-	۲۱٪-
لیتر	مصرف سوخت	۲۸٪-	۳۸٪-
کیلوگرم	CO ₂	۱۱٪-	۲۸٪-
کیلوگرم	PM	۱۹٪-	۶۱٪-
کیلوگرم	NO _x	۳٪-	۶٪



شکل ۲۰. مقایسه درصد تغییرات شاخص‌ها برای سناریو یک و دو (بعد از کالیبراسیون)

راه حل یک، دو و سه در مقایسه با وضع موجود محاسبه شده است و بین راه حل‌های پیشنهادی، راه حل بهینه با بهترین عملکرد تعیین شده است. (اعداد منفی نشان‌دهنده بهبود عملکرد است). لازم به ذکر است شاخص‌های تأخیر، متوسط زمان سفر، مجموع زمان سفر و مسافت پیموده شده هرچه کمتر باشد نشان‌دهنده بهبود و تنها شاخص سرعت هرچه بیشتر باشد نشان‌دهنده بهبود عملکرد است. در جدول ۵ نحوه محاسبه شاخص کلی بین شاخص‌های خرد با وزن‌دهی نشان داده شده است.

در مقایسه شاخص‌های تأخیر، سرعت، زمان سفر تمامی راهکارهای پیشنهادی سبب بهبود عملکرد محدوده مورد تحقیق می‌شود و تنها پارامتر مسافت پیموده شده به علت نوع مقطع تحقیق و عدم امکان تغییر مسیر تغییر چندانی نداشته است.

۳-۵- مقایسه عملکرد وضع موجود و سناریوها (وزن‌دهی شاخص)

در این مرحله به شاخص‌های مختلف ارزیابی وزن دهی شده و سپس با استفاده از شاخص کلی به دست آمده، درصد تغییرات

جدول ۵. اولویت بندی به تفکیک شاخص

بعد از کالیبراسیون				اولویت بندی به تفکیک شاخص
وضع موجود	راه حل یک تحقیق رمپ مترینگ	راه حل دو تحقیق افزایش خط و تعریض خطوط	راه حل سه تحقیق افزایش خط، تعریض و رمپ مترینگ	
۴	۳	۲	۱	تأخیر
۴	۲	۳	۱	سرعت
۱	۳	۲	۴	مسافت پیموده شده
۴	۳	۲	۱	مجموع زمان سفر
۴	۳	۲	۱	زمان سفر

*اعداد سبز نشان‌دهنده بهبود عملکرد شاخص در مقایسه با وضع فعلی و اعداد قرمز افت شاخص در مقایسه با وضع فعلی است.

**عدد یک دارای بهترین عملکرد و عدد چهار بدترین عملکرد را در شاخص مورد بررسی دارد.

جدول ۶. اولویت بندی (بعد از کالیبراسیون)

بعد از کالیبراسیون			
وضع موجود	راه حل یک تحقیق رمپ مترینگ	راه حل دو تحقیق افزایش خط و تعریض خطوط	راه حل سه تحقیق افزایش خط، تعریض و رمپ مترینگ
۴	۳	۲	۱

**عدد یک دارای بهترین عملکرد و عدد چهار بدترین عملکرد را در شاخص مورد بررسی دارد.

شخص مسافت پیموده شده به علت تغییر جزئی در هر یک از راه حل‌های پیشنهادی، مورد تحلیل قرار نگرفته است.

همانطور که مشاهده می‌شود پارامترهای تأخیر، سرعت، زمان سفر و مجموع زمان سفر برای راه حل سه در مقایسه به سایر راه حل‌های پیشنهادی از اولویت بیشتری برخوردار است و

- میزان تغییرات سرعت و زمان سفر در مقایسه با حالت وضع فعلی (بدون اعمال راهکارهای هوشمندسازی)
- کاهش تأخیر به میزان ۲۵ درصد
- افزایش سرعت به میزان ۷۷ درصد

در ذیل روند کلی سرعت وسایل عبوری از شناساگر در محدوده بزرگراه همت قبل از رمپ ورودی پاسداران در حالت قبل و بعد از استفاده از راهکارهای هوشمندسازی آورده شده است. در ادامه بررسی سرعت، سرفاصله زمانی، اشغال شناساگر و تعداد وسیله عبوری از شناساگر آورده شده است.

همانطور که در شکل ۲۱ مشاهده می شود میانگین سرعت وسایل عبوری قبل ۱۷/۳۴ کیلومتر بر ساعت و بعد از اعمال راهکارها ۱۹/۱ کیلومتر بر ساعت است که نشان‌دهنده افزایش ۱۰ درصد است.



شکل ۲۱. میزان تغییرات سرعت قبل و بعد از اعمال راهکارهای هوشمندسازی

همانطور که در شکل ۲۲ مشاهده می‌شود سرفاصله زمانی بین وسایل (ثانیه) قبل ۰/۸۳ کیلومتر بر ساعت و بعد از اعمال راهکارها ۰/۶۲ کیلومتر بر ساعت است که نشان‌دهنده کاهش ۲۵ درصد است و نشان‌دهنده بهبود عبور و مرور است.

با توجه به اهمیت شاخص‌های مورد بررسی در تحقیق و ضرایب وزنی هر کدام از شاخص‌های مورد بررسی رابطه ۱ ارائه شده است. لازم به ذکر است ضریب اهمیت هریک از شاخص‌ها باتوجه به تجربیات پژوهشگر در سایر تحقیقات مورد بررسی آورده شده است.

$$\text{شاخص کلی} = 3 \times \text{سرعت} - 4 \times \text{تأخیر} + 2 \times \text{مسافت پیموده شده} + 2 \times \text{متوسط زمان سفر} + \text{مجموع زمان سفر}$$

جدول ۷. شاخص تجمیعی (بعد از کالیبراسیون)

سناریو یک رمپ مترینگ بعد کالیبراسیون	سناریو دو افزایش تعداد خط بعد کالیبراسیون	سناریو سه افزایش تعداد خط و مترینگ قبل کالیبراسیون
- ۲/۰	- ۱/۷	- ۳/۶

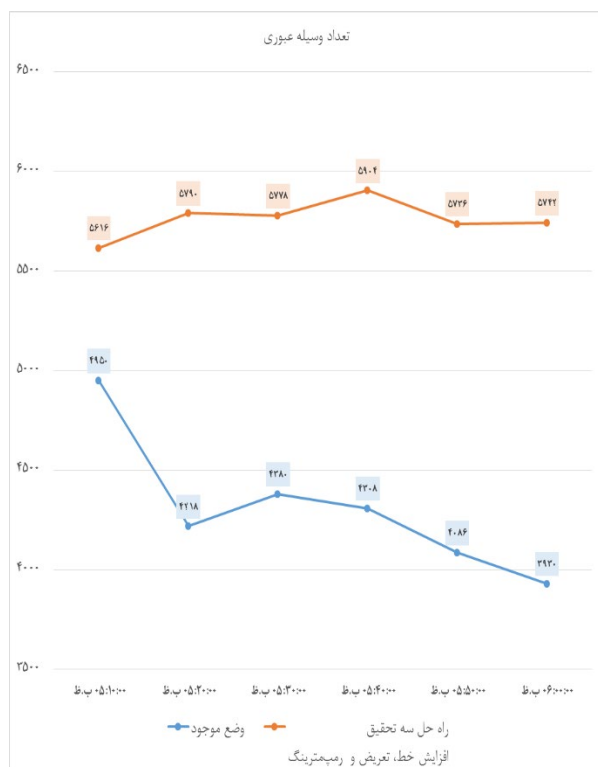
*اعداد منفی تر نشان‌دهنده بهبود عملکرد است.

برای حالت بعد از کالیبراسیون نرم‌افزار، عملکرد راه حل سه نسبت به راه حل یک و همچنین راه حل یک نسبت به راه حل دو عملکرد بهتری دارد. در حالت بعد از کالیبراسیون نرم‌افزار که نتایج قابل اعتمادتر است، راه حل سه (افزایش خط و رمپ مترینگ) نتایج بهتری نسبت به راه حل دو (افزایش خط) دارد و در مقایسه بین راه حل یک و دو نتایج راه حل دو عملکرد بهتری دارد. با توجه به شبیه‌سازی وضع فعلی محدوده مورد مطالعه و همچنین سناریو شبیه‌سازی راهکارهای هوشمندسازی (نظیر رمپ مترینگ) و افزایش تعداد خطوط در مقاطع بحرانی، در ادامه برای هریک از مقاطع شبکه مورد مطالعه مقایسه‌ای برای شاخص‌های V/C و همچنین تأخیر آورده شده است. با توجه به نتایج شبیه‌سازی راهکارهای پیشنهادی تحقیق، پس از اعمال راهکارهای هوشمندسازی، موارد زیر در مقایسه قبل و بعد اعمال راهکارها مشاهده می‌شود.

ایمنی

کاهش تعداد تغییر خط و در نتیجه کاهش احتمال وقوع برخورد و افزایش سطح ایمنی در محدوده تداخلی تندرو به کندرو و بالعکس (در نتیجه کاهش ۷ درصدی تعداد تغییر خط در محدوده کندرو به تندرو، سطح ایمنی افزایش می‌یابد).

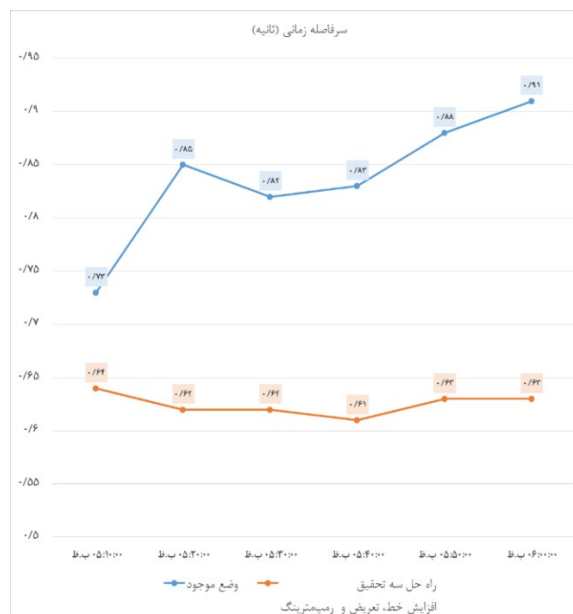
و نشان‌دهنده بهبود عبور و مرور و میزان گذردهی وسایل از شناساگر و بزرگراه همت است.



شکل ۲۴. میزان تغییرات تعداد وسیله عبوری از شناساگر قبل و بعد از اعمال راهکارهای هوشمندسازی

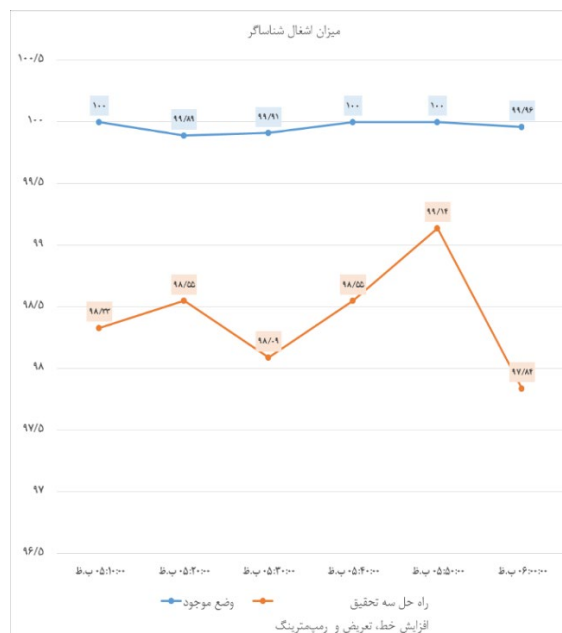
۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با هدف بررسی رابطه بین جریان ترافیکی در شبکه و میزان انتشار و پراکنش آلاینده‌ها سعی شد از ادغام ابزار مناسب بهره گرفته شود که از نتایج آن در پژوهش‌های آتی برای بررسی تغییرات کوچک در شبکه در مقیاس خردنگر می‌توان استفاده نمود. بدین منظور پس از بررسی‌های فراوان به ادغام نرم‌افزار شبیه‌ساز خردنگر ترافیکی ایمسان، روش محاسبه میزان انتشار سنجش همراه و مدل پراکنش آلاینده‌ها AERMOD که ترکیب نو در این زمینه به حساب می‌آید، رسیده و پس از انجام شبیه‌سازی نتایج آن با مقادیر واقعی مقایسه گردیده است. در این تحقیق جهت تعیین و برآورد میزان آلاینده‌های هوا بر نحوه عبور و مرور شبکه معابر و همچنین میزان تأخیرات، طول سفر، زمان سفر، میزان آلاینده‌های زیست محیطی و میزان مصرف سوخت از شبیه‌سازی سناریوهای مختلف عبور و مرور



شکل ۲۲. میزان تغییرات سرفاصله زمانی قبل و بعد از اعمال راهکارهای هوشمندسازی

همانطور که در شکل ۲۳ مشاهده می‌شود درصد اشغال شناساگر (درصد) قبل ۹۹/۹۶ درصد و بعد از اعمال راهکارها ۹۸/۴۲ درصد است که نشان‌دهنده کاهش ۲ درصد است و نشان‌دهنده بهبود عبور و مرور است.



شکل ۲۳. میزان تغییرات اشغال شناساگر قبل و بعد از اعمال راهکارهای هوشمندسازی

همانطور که در شکل ۲۴ مشاهده می‌شود تعداد وسایل عبوری از شناساگر قبل ۴۳۱۲ درصد و بعد از اعمال راهکارها ۵۷۶۱ درصد است که نشان‌دهنده افزایش ۳۴ درصد است

وسایل نقلیه استفاده خواهد شد. در ادامه به طور خلاصه نتایج پژوهش آورده شده است.

زمان سفر

کاهش مجموع زمان سفر (ساعت) به میزان ۳۳ درصد و کاهش میانگین زمان سفر (ثانیه بر کیلومتر) به میزان ۲۱ درصد

مصرف سوخت و آلاینده‌ها

- کاهش مصرف سوخت به میزان ۳۸ درصد
- کاهش میزان تولید CO₂ به میزان ۲۸ درصد
- کاهش میزان تولید PM به میزان ۶۱ درصد

حجم به ظرفیت عبوری

- با توجه به بررسی انجام شده، در سه مقطع حذف‌فاصل حقانی تا پاسداران، پاسداران تا صیادشیرازی و صیادشیرازی تا انتها شرقی محدوده تغییرات V/C برای قبل و بعد ارائه راهکارهای هوشمندسازی ارائه شده است.

- میانگین V/C از ۱/۵۵ به ۰/۸۹ کاهش پیدا کرده است و نشان‌دهنده تغییر شبکه از حالت قفل شدگی به حالت عبور با حداکثر ظرفیت است.

- در مقطع حذف‌فاصل حقانی تا پاسداران V/C از ۱/۵۳ به ۰/۹۵ کاهش پیدا کرده است و نشان‌دهنده بهبود عملکرد شبکه و تبدیل از حالت قفل شدگی به حالت عبور با حداکثر ظرفیت است.

- در مقطع حذف‌فاصل پاسداران تا صیادشیرازی V/C از ۱/۴۵ به ۱/۱۴ کاهش پیدا کرده است و نشان‌دهنده بهبود عملکرد شبکه و تبدیل از حالت قفل شدگی به حالت عبور با حداکثر ظرفیت است.

- در مقطع صیادشیرازی تا انتها شرقی V/C از ۱/۶۹ به ۰/۵۴ کاهش پیدا کرده است و نشان‌دهنده بهبود عملکرد شبکه و تبدیل از حالت قفل شدگی به حالت عبور با حداکثر ظرفیت است.

- فواصل بین دو دسترسی ورودی پشت سر هم و یا دو دسترسی خروجی پشت سر هم از عدد ۲۵۰ متر کمتر باشد.

لازم به ذکر است در صورت موارد مشابه ایجاد سیستم مدیریت رمپ مترینگ در دسترسی با بیشترین حجم عبوری در ساعت و همچنین فاصله چراغ ورودی به تندرو با فاصله ۱۰ متری

(دو وسیله سواری) پیشنهاد می‌شود. مزایای استفاده از سیستم رمپ مترینگ در بخش قبلی آورده شده است. همچنین ذکر این نکته ضروری است که در صورت بازگشایی گره در محدوده مورد تحقیق با استفاده از راهکارهای بیان شده، امکان انتقال نقطه بحرانی در شبکه کلان به محدوده فرادست محدوده مورد تحقیق را دارا است و در صورت استفاده از راهکارهای پیشنهادی بایستی شبکه فرادست نیز مورد بررسی قرار گیرد. در مقایسه هر یک از لینک‌های شبکه برای شاخص‌های سطح سرویس، V/C و تأخیر هریک از لینک‌ها، مشاهده می‌شود که در حالت وضع فعلی ۱۴ لینک دارای سطح سرویس F و در حالت بعد از اعمال راهکارهای هوشمندسازی ۶ لینک دارای سطح سرویس F است و نشان‌دهنده بهبود عملکرد است. همچنین در حالت وضع فعلی ۱۴ لینک دارای V/C بالاتر از یک و در حالت بعد از اعمال راهکارهای هوشمندسازی ۶ لینک دارای V/C بالاتر از یک است و نشان‌دهنده بهبود عملکرد شبکه کلی است. تغییرات تأخیر هریک از لینک‌های شبکه برای حال وضع فعلی و بعد از اعمال راهکارهای هوشمندسازی نشان‌دهنده کاهش تأخیر در ۱۵ لینک از ۲۳ لینک است.

۵- مراجع

- Abdi, A., Mosadeq, Z., & Bigdeli Rad, H. (2020). Prioritization of factors affecting suburban road safety by fuzzy hierarchical analysis. *Journal of Transportation Research*.
- Afandizadeh Zargari, S., Bigdeli Rad, H., & Shaker, H. (2019). Using optimization and metaheuristic method to reduce the bus headway (Case study: Qazvin Bus Routes). *Quarterly Journal of Transportation Engineering*, 10(4), 833-849.
- Afandizadeh, S., & Bigdeli Rad, H. (2021). Developing a model to determine the number of vehicles lane changing on freeways by Brownian motion method. *Nonlinear Engineering*, 10(1), 450-460.
- Afandizadeh, S., Aziz Jalali, D., & Bigdeli Rad, H. (2023). Optimal routing for shared autonomous vehicles feeder services in urban networks. *Journal of Transportation Research*.
- Afandizadeh, S., Ourmazdi Khoramshahi, S., & Bigdeli Rad, H. (2023). Evaluation of road diet strategy as one of the methods of demand management for non-motorized vehicles and pedestrians in the cities center. *Road*.

- Romanov, A. A., Gusev, B. A., Leonenko, E. V., Tamarovskaya, A. N., Vasiliev, A. S., Zaytcev, N. E., & Philippov, I. K. (2020). Graz Lagrangian Model (GRAL) for pollutants tracking and estimating sources partial contributions to atmospheric pollution in highly urbanized areas. *Atmosphere*, 11(12), 1375.
- Šarić, A., Sulejmanović, S., Albinović, S., Pozder, M., & Ljevo, Ž. (2023). The Role of Intersection Geometry in Urban Air Pollution Management. *Sustainability*, 15(6), 5234.
- Smit, R., Smokers, R., & Rabé, E. (2007). A new modelling approach for road traffic emissions: VERSIT+. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12(6), 414-422.
- Striebig, B., Smitts, E., & Morton, S. (2019). Impact of transportation on carbon dioxide emissions from locally vs. non-locally sourced food. *Emerging Science Journal*, 3(4), 222-234.
- Swidan, H. (2011). Integrating AIMSUN Micro Simulation Model with Portable Emissions Measurement System (PEMS): *Calibration and Validation Case Study*.
- Tomlin, A. S., Ziehn, T., Goodman, P., Tate, J. E., & Dixon, N. S. (2016). The treatment of uncertainties in reactive pollution dispersion models at urban scales. *Faraday Discussions*, 189, 567-587.
- Van Poppel, M., Panis, L. I., Govarts, E., Van Houtte, J., & Maenhaut, W. (2012). A comparative study of traffic related air pollution next to a motorway and a motorway flyover. *Atmospheric Environment*, 60, 132-141.
- Zapata-Marin, S., Schmidt, A. M., Crouse, D., Ho, V., Labrèche, F., Lavigne, E. & Goldberg, M. S. (2022). Spatial modeling of ambient concentrations of volatile organic compounds in Montreal, Canada. *Environmental Epidemiology*, 6(5).
- Zargari, S. A., & Rad, H. B. (2023). Development of a gray box system identification model to estimate the parameters affecting traffic accidents. *Nonlinear Engineering*, 12(1), 20220218.
- Zeydan, Ö., & Öztürk, E. (2021). Modeling of PM 10 emissions from motor vehicles at signalized intersections and cumulative model validation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 1-17.
- Álvarez Narváez, V. M., Á Aldegunde, J. A., Quiñones Bolaños, E., Saba, M., & Herrera Atencio, C. (2019). Estimation of the vehicle emission factor in different areas of Cartagena de Indias. *Revista de Ciencias*, 23(2), 53-73.
- Ameri, A., Bigdeli Rad, H., Shaker, H., & Ameri, M. (2021). Cellular Transmission and Optimization Model Development to Determine the Distances between Variable Message Signs. *Journal of Transportation Infrastructure Engineering*, 7(1), 1-16.
- Carr, D., Von Ehrenstein, O., Weiland, S., Wagner, C., Wellie, O., Nicolai, T., & von Mutius, E. (2002). Modeling annual benzene, toluene, NO₂, and soot concentrations on the basis of road traffic characteristics. *Environmental Research*, 90(2), 111-118.
- Ferreira, E., Macedo, E., Fernandes, P., & Coelho, M. C. (2023). A combined framework of Biplots and Machine Learning for real-world driving volatility and emissions data interpretation. *Sustainable Cities and Society*, 104945.
- Ge, X., Zhang, J., Wen, Y., Yu, Q., Liu, M., Huang, Y. & Duan, L. (2023). Carbon Sequestration Potential of Biomass Production along Highways in China. *Environmental Science & Technology*.
- Hajisoleimani, M. M., Abdi, A., & Bigdeli Rad, H. (2021). Intermodal Non-Motorized Transportation Mode Choice; Case Study: Qazvin City. *Space Ontology International Journal*, 10(3), 31-46.
- Kim, D., Liu, H., Xu, X., Lu, H., Wayson, R., Rodgers, M. O., & Guensler, R. (2021). Distributed computing for region-wide line source dispersion modeling. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 36(3), 331-345.
- Malekmohammadi, S., & Mirbagheri, S. A. (2022). Optimization of an artificial neural network topology using response surface methodology for microbial fuel cell power prediction. *Biotechnology Progress*, 38(4), e3258.
- Malekmohammadi, S., & Mirbagheri, S. A. (2023). Scale-up single chamber of microbial fuel cell using agitator and sponge biocarriers. *Environmental Technology*, 1-9.
- Rastogi, N., Frey, H. C., & Wei, T. (2023). Identifying emissions hotspots and strategies to reduce real-world fuel use and emissions for passenger rail: A spatially resolved approach. *Science of the Total Environment*, 896, 165110.

Modeling the Release and Distribution of Air Pollutants Using Aimsun Traffic Simulator Software

*Shahriar Afandizadeh, Professor, School of Civil Engineering,
Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.*

*Mohammad Javad Hedelylou, M.Sc., Student, Islamic Azad University,
South Tehran Branch, Tehran, Iran.*

*Hamid Bigdeli Rad, Ph.D., Candidate, School of Civil Engineering,
Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.*

E-mail: zargari@iust.ac.ir

Received: March 2026- Accepted: August 2026

ABSTRACT

In this study, improvement of the operation of the Hemmat Exp-east, between the Haqhani Exp and Sayad Shirazi Exp, was investigated using the smartization implementation and geometric designing. The traffic volumes of passing vehicles through light and heavy detachment were collected and traffic information involved the PHF and the peak hour, were extracted from them. The speed of the vehicles, the number of transmission lanes and width of the lanes were taken and the improvement of delay indices, speed, travel time and distance traveled, fuel consumption and pollutant emissions, and were investigated by providing solutions in three scenarios. The first scenario was implemented on ramp metering. In the second scenario, two lanes were added to the Hemmat Exp and both of the scenarios were implemented in the third scenario. CO₂ production was decreased by 28% and PM was decreased by 61% in scenario3. Delay index was decreased by 22% in scenario1. In the third scenario, the speed indicator increased by 77%. In comparison to different scenarios, the improvement rate for delay indices, speed, travel time, fuel consumption and pollutant emissions in scenario 3 had more improvement than the other two scenarios. In the case after the software calibration, in which the results are more reliable, scenario 3 showed better results than first and second solutions again.

Keywords: Traffic simulation, Air Pollutants, Travel Time, Traffic Emissions