فصلنامه مهندسی ترافیک، سال بیست و یکم، شماره ۸۷ زمستان ۱۴۰۰، ص. ۴۹-۳۳

کالیبراسیون نرم‌افزار PTV-VISSIM برای شبیه‌سازی میدان و مقایسه نتایج با نرم‌افزار AIMSUN

محمدعلی شفاعتی، دانشجوی کارشناسی ارشد رشته برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه مهندسی عمران، تهران، ایران

دکتر علی نادران، عضو هیات علمی رشته حمل‌ونقل، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه مهندسی عمران، تهران، ایران

دکتر حسن جوانشیر، عضو هیات علمی رشته مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه مهندسی صنایع، تهران، ایران

چکیده

امروزه با افزایش وسیله نقلیه آماربرداری به‌صورت دستی یکی از معضلات سازمان‌های حمل‌ونقل و محققین شده است. با پیشرفت تکنولوژی در همه زمینه‌ها و مخصوصاً حمل‌ونقل از وسایل الکترونیکی مخصوصاً دوربین‌ها برای آماربرداری و به دست آوردن پارامترهای ترافیکی می‌کنند. حتی این دوربین‌ها سرتاسر خیابان‌ها وجود ندارد. همچنین برای طراحی نرم‌افزارهای متعددی برای به دست آوردن پارامترهای ترافیکی طراحی شده‌اند. ازجمله این نرم‌افزارها می‌توان به ایمسان و ویزیم اشاره کرد. معابر خود به‌تنهایی ایجاد ترافیک نمی‌کنند، این تقاطعات هستند که باعث کند شدن حرکت و ایجاد ترافیک می‌کنند. در این تحقیق میدان ونک به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. نرم‌افزارها برای کشور سازنده خود و با توجه به شرایط آن منطقه طراحی می‌شوند. برای این‌که نتایج طراحی در سایر کشورها دقیق باشد باید نرم‌افزارها کالیبره شوند. در این تحقیق برای شبیه‌سازی از نرم‌افزار ایمسان و ویزیم استفاده شده است. به این منظور این دو نرم‌افزار در دو حالت میدان ونک را شبیه‌سازی می‌کنند. حالت اول بدون کالیبره کردن نرم‌افزار و حالت دوم بعد از کالیبره کردن نرم‌افزار. سپس نتایج این دو نرم‌افزار ابتدا در دو حالت باهم مقایسه می‌شود و میزان خطا نسبت به شرایط واقعی به دست می‌آید. در ادامه نتایج دو نرم‌افزار باهم مقایسه می‌شود تا مشخص شود که کدام‌یک دارای دقت بیش‌تری در شبیه‌سازی ترافیکی هستند.

واژه‌های کلیدی: کالیبراسیون، میدان، شبیه‌سازی ترافیکی، ایمسان، ویزیم

۱. مقدمه

از دیدگاه کلی، معابر مشکل زیادی بر سر راه ترافیک ایجاد نمی‌کنند، بلکه این تقاطع‌ها هستند که به دلیل ایجاد تداخل در جریان پیوسته و تبدیل آن به جریان منقطع، باعث ازدحام در شبکه می‌شوند. با توجه به افزایش روزافزون تعداد وسایل نقلیه در شهرهای کشور، سنگینی بار ترافیک در معابر و تقاطعات شهری بیشتر مشاهده می‌شود. در این راستا معمولاً اولین محل‌هایی که عدم کارایی مناسب خود را در دادن خدمات به تقاضای موجود نشان می‌دهند تقاطع‌ها هستند.

امروزه استفاده از میدان به دلیل هزینه پایین‌تر احداث و نگهداری نسبت به تقاطع‌های چراغ‌دار، علاوه بر مزایا و معایبی که دارد، در سرتاسر دنیا رو به گسترش است. میدان‌ها به لحاظ ترافیکی باعث نظم بخشیدن به جریان عبوری و عدم به وجود آمد گره‌های ترافیکی می‌شوند و از جهتی با کاستن سرعت باعث افزایش ایمنی می‌شوند اما از طرفی باعث افزایش تأخیر و به وجود آمدن صف در زمان‌های اوج ترافیک می‌شوند. امروزه تقریباً اکثر تقاطع هم‌سطح در شهرهای متوسط و کوچک ایران به‌صورت تقاطعات میدانی است. ارزانی برپایی میدان و هزینه نگهداری کم آن نسبت به سایر تقاطعات با چراغ راهنمایی سبب شده است شهرداران، خصوصاً شهرهای کوچک، تمایل زیادی به استفاده از آن داشته باشند. از سوی دیگر، برخلاف سایر تقاطعات چراغ‌دار، میدان‌ها در دوره عملکرد خود نیازی به بازرسی‌های مکرر پلیس ندارند. لازم به ذکر است، ازآنجاکه این شهرداری‌ها اجباری به استفاده از مهندسان مشاور نمی‌بینند، لذا در بیش‌تر مواقع طرحی غیر فنی و به صورتی سنتی پیاده شده یا در مواقعی بدون طرح مصوب و برای رضایت عوام، طرح به‌طور سلیقه‌ای تغییریافته و سپس پیاده می‌شود. طراحی و جانمایی میدان باید به‌گونه‌ای باشد که بتواند زمان تأخیر را کم کند و ترافیک را روان کرده و ایمنی افراد را تأمین کند. برای طراحی میدان و مشاهده نتایج آن می‌توان از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی استفاده کرد. در چند سال گذشته استفاده و گسترش مدل‌های میکروسکوپی در مهندسی و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل سیرتکاملی سریعی داشته است. از طرفی بسیاری از کشورهای جهان مخصوصاً بسیاری از کشورهای آسیایی دارای ترافیک ناهمگن هستند. این ترافیک دارای ترکیبی از وسایل نقلیه با مشخصات گوناگون استاتیکی (طول، عرض و ...) و دینامیکی (شتاب، سرعت و ...) است. یکی دیگر از جنبه‌های این‌گونه ترافیک نبود خط‌کشی‌های استاندارد و عدم رعایت حرکت در بین خطوط مخصوصاً در تقاطع‌ها است مدل‌سازی تحلیلی چنین ترافیکی مخصوصاً در تقاطع‌ها و میادین جای کار و تحقیق بسیاری دارد. به همین دلیل در این پژوهش تمرکز بر روی شبیه‌سازی و مدلسازی میکروسکوپی ترافیک مدنظر خواهد بود. گرچه مدل شبیه‌سازی‌شده قبل از به‌کارگیری باید بر اساس شرایط محلی کالیبره شود. کالیبراسیون مسائلی چون تغییرپذیری رفتاری راننده و وسیله نقلیه و تأثیرات هندسی را در نظر می‌گیرد. محققین و مشاغل مختلف روش‌های زیادی برای کالیبره کردن این‌گونه مدل‌ها ارائه داده‌اند و دامنه وسیعی از پارامترها را برای کالیبره کردن و اعتبارسنجی انتخاب کرده و مدل و پیشنهاد داده‌اند.

امروزه استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی‌شده برای ارزیابی رفتار شبکه‌های ترافیکی شهری تحت تأثیر عوامل مختلف، به دلیل کاهش هزینه‌های آنالیز و هم‌چنین صرفه‌جویی در زمان، رونق بسیار پیدا کرده است. نرم‌افزار شبیه‌سازی ترافیکی ویزیم و ایمسان از نرم‌افزارهای پیشتاز در این زمینه بوده و در چند سال اخیر نیز در کشورمان مورداستفاده قرار گرفته است. به علت غیربومی بودن اکثر نرم‌افزارهای شبیه‌سازی، یکی از عواملی که عمدتاً موجه افزایش خطای شبیه‌سازی با این‌گونه از نرم‌افزارهاست، اختلاف مقادیر برخی پارامترهای شبیه‌سازی در نرم‌افزار نسبت به واقعیت بوده که نیاز به کالیبراسیون مدل‌های شبیه‌سازی را امری مهم گردانیده است.

۲. ضرورت انجام پژوهش

در علم ترافیک بیشتر روش‌های ارزیابی شبکه‌ها از روی مدل‌های ریاضی است. استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی می‌تواند دید وسیعی از پروژه ارائه نماید و نتایج آن در حد واقعیت نشان داده شود. به علت غیربومی بودن اکثر نرم‌افزارهای شبیه‌سازی، یکی از عواملی که عمدتاً موجه افزایش خطای شبیه‌سازی با این‌گونه از نرم‌افزارهاست، اختلاف مقادیر برخی پارامترهای شبیه‌سازی در نرم‌افزار نسبت به واقعیت بوده که نیاز به کالیبراسیون مدل‌های شبیه‌سازی را امری مهم گردانیده است. با توجه به مهم بودن بحث میادین در ترافیک تقاطع‌ها و نقش آن در تقاطعات که دارای خاصیت پخش‌کنندگی ترافیک هست و مطالعات زیادی در مورد شبیه‌سازی میدان با نرم‌افزارهای موجود انجام نگرفته و از طرفی نیز مبحث کالیبره نمودن نرم‌افزارها دارای مطالعات دقیق و جامعی انجام نشده است، در این تحقیق لازم دانستیم که بحث کالیبره کردن نرم‌افزار برای طراحی میادین را بررسی شود.

۳. ادبیات پژوهش

رافائل مایورا و همکاران (۲۰۱٤) در مقاله تحت عنوان کالیبراسیون روابط سرعت و چگالی در بزرگراهی در ایتالیا به یافته‌های زیر دست پیدا کردند. کالیبراسیون پارامترهای مدل به‌منظور تولید یک مدل میکرو شبیه‌سازی با اعتماد به شرایط ترافیکی تجربه‌شده در آزادراه A22، الگوهای ترافیکی و رفتار راننده با استفاده از میکرو شبیه‌ساز ایمسان تکرار شد.

ایمسان نرم‌افزار مدل‌سازی ترافیک است که دارای پارامترهای قابل تنظیم کاربر برای مدل‌های تعقیب خودرو، تغییر خط، ایجاد فاصله، پذیرش رفتار و مدل جریان ترافیک آزادراه است. علاوه بر این، یک فرایند کالیبراسیون به‌منظور ایجاد تطبیق شرایط ترافیکی موجود ایجاد می‌شود. مدل تعقیب خودرو در ایمسان تکامل مدل تجربی پیشنهادشده توسط گیپس است. درواقع، اجرای مدل تعقیب خودرو پس از پیشنهاد گیپس در ایمسان نه‌تنها شامل وسیله نقلیه هدایت آن بلکه تأثیر برخی از وسایل نقلیه کندتر در خط مجاور بر رانندگی وسایل نقلیه دیگر در امتداد یک بخش است. مدل تغییر خط در ایمسان همچنین می‌تواند به‌عنوان یک تکامل بیشتر از مدل تغییر خط گیپس در نظر گرفته شود. تغییر مسیر به‌عنوان یک فرآیند تصمیم‌گیری مورد تجزیه‌وتحلیل تغییر خط، مطلوبیت تغییر خط و شرایط امکان‌پذیری تغییر خط است که نیز بسته به محل خودرو در شبکه جاده است. با توجه به این‌که کالیبراسیون مدل، بسیار مهم است زیرا باید تا حدی اطمینان حاصل شود که مدل قادر به تولید ترافیک محلی و رفتار راننده است، کالیبراسیون مناسب پارامترها به‌جای استفاده از مقادیر پیش‌فرض انجام می‌شود. در فرایند کالیبراسیون سرعت موردنظر (به‌عنوان‌مثال حداکثر سرعت در کیلومتر / ساعت که نوع خاصی از وسیله نقلیه می‌تواند در هر نقطه از شبکه سفر کند) نیز تنظیم شده است. به‌عنوان‌مثال، در ایمسان، نوع خودرو با میانگین سرعت مطلوب ۱۱۰ کیلومتر / ساعت و انحراف ۱۰ کیلومتر در ساعت مشخص می‌شود؛ سرعت موردنظر برای این نوع وسیله نقلیه از یک توزیع نرمال مختلط (۱۱۰، ۱۰) نمونه‌برداری می‌شود.

با توجه به داده‌های تجربی و آنچه گزارش‌شده، سرعت موردنظر برای خط راست کمتر ازآنچه در خط عبور گذارده می‌شود، فرض می‌شود؛ بنابراین، تنظیمات برای میانگین سرعت موردنظر (که در اینجا به‌عنوان متغیر استفاده می‌شود) با مقادیر تقاضای ترافیک، برای هر خط و جاده، به شرح زیر است:

- از ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ [pcu / h]، مقادیر ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت و ۱٤۰ کیلومتر بر ساعت برای خط راست و عبور از خط در نظر گرفته شد، درحالی‌که مقدار ۱۲۵ کیلومتر بر ساعت برای جاده فرض شده بود؛
- برای ۲۰۰۰ [pcu / h]، مقادیر ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت و ۱٤۰ کیلومتر بر ساعت برای خط راست و عبور از خط به ترتیب در نظر گرفته شد درحالی‌که مقدار ۱۱۵ کیلومتر بر ساعت برای جاده فرض شده بود؛

- برای ۲۵۰۰ [pcu / h]، مقادیر ۹۵ کیلومتر بر ساعت و ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت برای خط راست و عبور از خط به ترتیب در نظر گرفته شد درحالی‌که مقدار ۱۱۵ کیلومتر بر ساعت برای جاده فرض شده بود؛
- برای مقادیر> ۳۰۰۰ [pcu / h]، مقادیر ۹۰ کیلومتر بر ساعت و ۱۳۰ کیلومتر بر ساعت برای خط راست و عبور از خط به ترتیب در نظر گرفته شد، درحالی‌که مقدار ۱۱۵ کیلومتر بر ساعت برای جاده فرض شده بود.

دیوید کان و همکاران در سال ۲۰۱۹ در تحقیقی بر روی آزادراه SR99 کالیفرنیای امریکا پارامترهای زیر را به این شکل کالیبره کردند. این مسیر برای کالیبراسیون مدل انتخاب شد. این بخش از آزادراه از بلوار گرو[1] فاصله دارد. در این مسیر اجزای زیر وجود دارد.

- ٤ تبادل شبدری،
- ۳ رمپ ورودی و خروجی،
- و ۲ رمپ تبادل با شریان‌های محلی.

دوره اوج مسیر معمولاً از ساعت ٦:۳۰ صبح شروع می‌شود و حدود ساعت ۱۰:۰۰ صبح به پایان می‌رسد و الگوی تراکم صبح زمانی که تقاضای زیاد برای ساعات حومه شهر تا مرکز شهر در ساعات صبح وجود دارد. در حال حاضر، رمپ‌ها با استفاده از رویکرد ظرفیت تقاضای پاسخگو به ترافیک محلی به‌منظور کنترل جریان ترافیک در رمپ و کاهش تجمع حداکثر ساعت، اندازه‌گیری می‌شوند. درنهایت، تقاضای ترافیک تقریباً به‌طور انحصاری از اتومبیل‌های مسافری تشکیل‌شده که کامیون‌ها تنها ۲٪ از تقاضای کلی را تشکیل می‌دهند. این مقاله دو مدل رفتار رانندگی جایگزین را که قادر به مدل‌سازی بزرگراه‌ها با تنگناهای چندگانه و خطوط اختصاصی در طی یک دوره طولانی با سطوح مختلف تقاضا است، موردبحث قرار می‌دهد. مدل‌ها با استفاده از داده‌های بایگانی‌شده از یک بخش پیچیده ۱۳ مایل از بزرگراه شمالی SR99 در نزدیکی ساکرامنتو، کالیفرنیا، برای یک دوره زمانی ۸ ساعته که در آن ترافیک از جریان آزاد پر شده است، کالیبره شده است. نتایج کالیبراسیون توافق بسیار خوبی بین داده‌های میدانی و پیش‌بینی مدل‌ها را نشان می‌دهد. مدل‌های اعتبارسنجی متقابل و تولید ترافیک مشابهی را انجام داده‌اند. رفتار اصلی که باید برای مدل‌سازی موفقیت‌آمیز چنین مسیری پیچیده تلقی شود، شامل رفتار راننده و تغییر خط در حضور خطوط اختصاصی و تغییرات در مسیر موردنظر در امتداد آزادراه است.

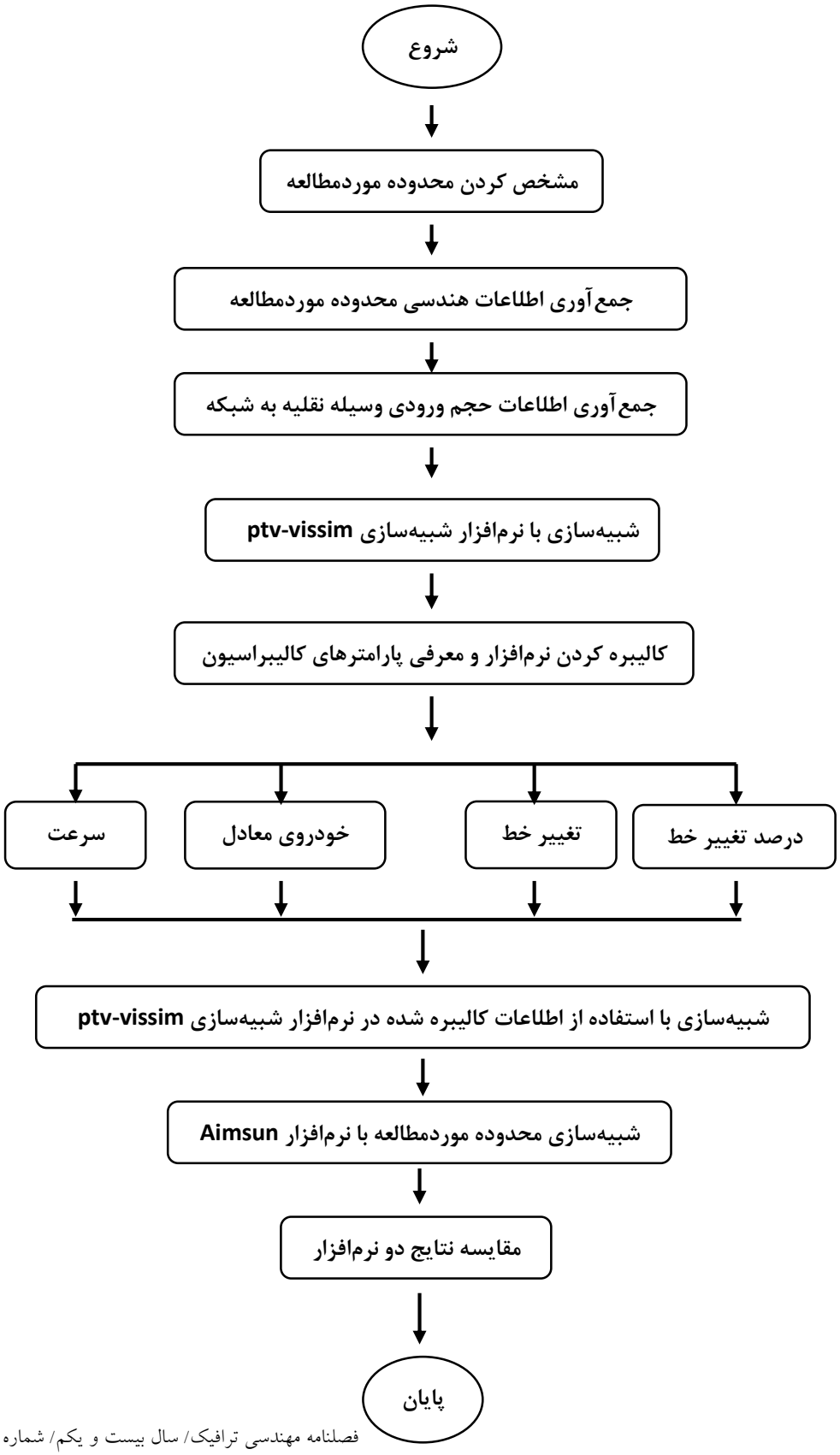
ژنگ و همکاران (۲۰۰۲) برای کالیبره کردن نمونه یک آزادراه، ابتدا پارامترهای سطح کلی و سپس پارامترهای سطح محلی (مؤثر بر قسمت‌های خاص مانند گلوگاه‌ها و تقاطع‌ها) را تنظیم نمودند و پس‌ازآن در یک فرایند تکرارشونده، مقدار پارامترهای انتخاب زمان و مسیر سفر را هم‌زمان با تخمین ماتریس تقاضا تعیین کردند. آنها برای کالیبراسیون پارامترهای سطح کلی از دو شاخص نمودار اساسی سرعت برحسب چگالی و نیم‌رخ جریان (جریان عبوری از یک مکان برحسب زمان) استفاده نمودند.

جانکوانگ و همکاران در سال (۲۰۰۸) در تحقیق خود با استفاده از نرم‌افزار ویزیم به مقایسه پارامترهای تأخیر و طول صف برای حالت‌های گردش در میدان‌ها پرداختند. داده‌های میدانی جهت کالیبراسیون مدل برای شرایط کشور چین از سه تقاطع هم‌سطح در شهر ویهایی[2] که شرایط ترافیکی در آن‌ها نمایانگر متوسط شرایط ترافیکی شهر بود، جمع‌آوری شدند. این داده‌ها شامل مشخصات هندسی تقاطع، نحوه کنترل تقاطع و محل دتکتورها و احجام ترافیکی، تأخیر و طول صف بودند. آمارگیری در ساعات اوج صبحگاهی، ظهر و عصرگاهی انجام گرفت. تقاطع‌های انتخابی به‌صورت چهارراهی متعارف بودند. از داده‌های میدانی جمع‌آوری‌شده از یکی از تقاطع‌ها جهت کالیبراسیون و طراحی دوربرگردان و از داده‌های دو تقاطع دیگر برای کنترل کالیبراسیون استفاده گردید. تقاطعی که برای طراحی دوربرگردان انتخاب گردید دارای حجم گردش‌به‌چپ بالا و سطح سرویس E بود. دو طرح در این تقاطع موردبررسی قرار گرفت. در طرح اول قبل از تقاطع چراغ‌دار مجاور و به‌صورت کنترل نشده و در طرح دوم در تقاطع مجاور و به‌صورت

کنترل‌شده بود. زمان‌بندی چراغ راهنمایی در هر دو تقاطع توسط نرم‌افزار سینکرو انجام شد. پس از تنظیم پارامترهای مدل‌های تعقیب خودرو و تغییر خط نرم‌افزار، از شاخص‌های زمان سفر و تأخیر برای کالیبراسیون استفاده گردید. در این کالیبراسیون، معیار تفاوت کمتر از ۱۰ درصد بین نتایج شبیه‌سازی و مقادیر متناظر مشاهده‌شده واقعی مورداستفاده قرار گرفت. برای هر یک از موارد شبیه‌سازی‌شده مدل ۱۰ مرتبه اجرا شد. نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی نشان دادند که طرح دوم در مقایسه با طرح اول دارای تأخیر و طول صف کمتری است و این پارامترها در هر دوی این حالات نسبت به گردش‌به‌چپ مستقیم عملکرد بهتری از خود نشان دادند.

یانگ و ژو (۲۰۰٤) در تحقیقی با استفاده از تکنیک شبیه‌سازی در محیط نرم‌افزار ویزیم به مقایسه تأخیر و زمان سفر برای حرکت‌های گردش‌به‌چپ مستقیم و گردش‌به‌چپ غیرمستقیم با استفاده از دوربرگردان برای یک مسیر ورودی قرارگرفته بین دو تقاطع چراغ‌دار در بالادست و پایین‌دست آن پرداختند. داده‌های میدانی شامل مشخصات هندسی، احجام ترافیکی و تأخیر حرکت‌های مختلف از شش سایت برای شبیه‌سازی و کالیبراسیون مدل‌ها جمع‌آوری گردید. این شش سایت به نحوی انتخاب گردیدند که در آن‌ها هم امکان گردش‌به‌چپ مستقیم و هم حرکت گردش‌به‌راست و دوربرگردان وجود داشته باشد. از لوپ دتکتورها برای اندازه‌گیری احجام میدانی و از دوربین برای محاسبه تأخیر استفاده گردید. جمع‌آوری داده‌ها تحت شرایط نرمال آب و هوایی و در ساعات اوج صبح، ظهر و عصر روزهای دوشنبه تا جمعه صورت گرفته و مقادیر میانگین آن‌ها برآورد گردید. پس از شبیه‌سازی سایت‌ها، از تأخیر به‌عنوان شاخص مقایسه مدل با شرایط میدانی و پارامترهایی از قبیل سرعت جریان آزاد، پارامترهای تغییر خط، فاصله عبور مجاز و غیره به‌عنوان پارامترهای کالیبراسیون انتخاب شدند. معیار کالیبراسیون مدل، اختلاف کمتر از ۱۰ درصد مابین تأخیر حاصل از شبیه‌سازی و میدانی در نظر گرفته شد. سپس مدل‌های کالیبره شده تحت احجام ترافیکی مختلف مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج حاصله نشان دادند که با افزایش حجم ترافیک مسیر اصلی، میزان تأخیر برای حرکت گردش‌به‌چپ مستقیم بیشتر از حرکت گردش‌به‌راست و دوربرگردان می‌شود. به‌طورکلی برای کالیبراسیون، پارامترها در محدوده‌ای مناسب تحلیل حساسیت می‌شوند و پارامترهای دارای تأثیر قابل‌توجه مشخص می‌گردند. سپس محدوده قابل‌قبول و دقت لازم در تنظیم هر یک از آنها تعیین می‌شود. پارامترهای مؤثر قابل‌اندازه‌گیری، با برداشت‌های میدانی تعیین مقدار می‌شوند و پس از ساخت نمونه و واردکردن آنها، جست‌وجو برای یافتن مقدار پارامترهای غیرقابل‌اندازه‌گیری که بیشینه کننده شباهت بین نمونه و واقعیت باشد صورت می‌گیرد. این شباهت با استفاده از یک آزمون هم‌خوانی برای یک یا چند شاخص ترافیکی، کمی و اندازه‌گیری می‌شود و درنتیجه تعیین آزمون هم‌خوانی مناسب از مهم‌ترین گام‌های کالیبراسیون است. پس‌ازاین مراحل، با مقایسه شاخص‌های دیگر شبیه‌سازی با واقعیت، کارکرد نمونه اعتبارسنجی می‌شود .به خاطر اینکه تعداد پارامترهای غیرقابل‌اندازه‌گیری شبیه‌سازها معمولاً زیاد است و این پارامترها در اغلب موارد محدوده قابل‌قبول پیوسته و نسبتاً گسترده‌ای دارند و بین آنها اندرکنش وجود دارد؛ جست‌وجوی اشاره‌شده که درواقع حل مسئله بهینه‌سازی غیرخطی چند پارامتری است، با بهره‌گیری از روش‌های بهینه‌سازی انجام می‌گیرد. در مسئله بهینه‌سازی اشاره‌شده، پارامترهای نمونه و مقدار هم‌خوانی به ترتیب متغیرهای مستقل و متغیر وابسته هستند و نرم‌افزار شبیه‌ساز در کنار آزمون همخوانی نقش رابطه این متغیرها را ایفا می‌کنند.

٤. روش پژوهش


شروع
مشخص کردن محدوده موردمطالعه
جمع‌آوری اطلاعات هندسی محدوده موردمطالعه
جمع‌آوری اطلاعات حجم ورودی وسیله نقلیه به شبکه
شبیه‌سازی با نرم‌افزار شبیه‌سازی ptv-vissim
کالیبره کردن نرم‌افزار و معرفی پارامترهای کالیبراسیون
سرعت
خودروی معادل
تغییر خط
درصد تغییر خط
شبیه‌سازی با استفاده از اطلاعات کالیبره شده در نرم‌افزار شبیه‌سازی ptv-vissim
شبیه‌سازی محدوده موردمطالعه با نرم‌افزار Aimsun
مقایسه نتایج دو نرم‌افزار
پایان

٤-١ مشخص کردن محدوده موردمطالعه

میدان ونک، نام میدانی در منطقه ونک واقع در شمال تهران است که در مسیر خیابان ولیعصر قرار دارد. این میدان از سمت شرق با بزرگراه حقانی و از سمت غرب با خیابان‌های ونک، ملاصدرا و برزیل مرتبط است. از سمت شمال میدان ونک در امتداد خیابان ولیعصر به سمت پارک وی و میدان تجریش و از سمت جنوب در امتداد خیابان ولیعصر به میدان ولیعصر مرتبط می‌شود.

شکل ۱. میدان ونک

٤-٢ جمع‌آوری اطلاعات هندسی محدوده موردمطالعه

با توجه به شکل زیر مسیرهای اتوبان حقانی، خیابان ولیعصر، خیابان ونک، خیابان ملاصدرا و خیابان برزیل ورودی و خروجی‌های میدان ونک می‌باشند. اطلاعات این مسیر در جدول زیر نوشته شده است.

شکل ۲. بررسی خیابان‌های ورودی و خروجی میدان ونک

جدول ۱. ویژگی‌های هندسی خیابان‌های ورودی و خروجی میدان ونک

شماره رویکرد		نوع مسیر	عرض مسیر	عرض هر خط	جزیره میانی	تعداد خط	BRT	پارکینگ حاشیه‌ای
١	خیابان ولیعصر (ورودی)	ورودی	١٤	٣,٢٥	ندارد	٤	دارد	دارد
٢	خیابان برزیل	ورودی	١٤,٢	٣,٤	ندارد	٤	ندارد	دارد
٣	خیابان ملاصدرا	خروجی	١٠,٢	٣,٣	ندارد	٣	ندارد	ندارد
٤	خیابان ونک	خروجی	١١,١	٣,٥	ندارد	٣	ندارد	دارد
٥	خیابان ولیعصر (خروجی)	خروجی	١٦,٩	٣,٢	دارد	٥	دارد	دارد
٦	خیابان ولیعصر٢(خروجی)	خروجی	١٣,٦	٣,٢	دارد	٤	دارد	دارد
٧	اتوبان حقانی	ورودی	١٠,٦	٣,٣٥	دارد	٣	دارد	دارد
٨	اتوبان حقانی	خروجی	١١	٣,٤	دارد	٣	دارد	دارد

در جدول ١ ویژگی‌های تمام ورودی و خروجی‌ها آورده شده است که با توجه به آن باید طراحی مسیر در نرم‌افزار صورت گیرد؛ و با استفاده از این ویژگی‌های هندسی، شبیه‌سازی انجام شود.

٤-٣ جمع‌آوری اطلاعات حجم ورودی وسیله نقلیه به شبکه

سه مسیر حقانی، ولیعصر و برزیل به‌عنوان ورودی‌های شبکه موردمطالعه هستند. حجم واردشده به میدان ونک از طریق این سه مسیر وارد می‌شود و توسط مسیرهای دیگر خارج می‌شود.

حجم ورودی در ساعت‌های مختلف شبانه‌روز باهم متفاوت است. این خیابان در دو ساعت بیشترین حجم یعنی شلوغی و ترافیک را تجربه می‌کند. ساعات اوج میدان ونک ظهر و عصر است. در جدول زیر حجم ترافیک مسیرهای ورودی در ساعت اوج و غیر اوج مشخص شده است.

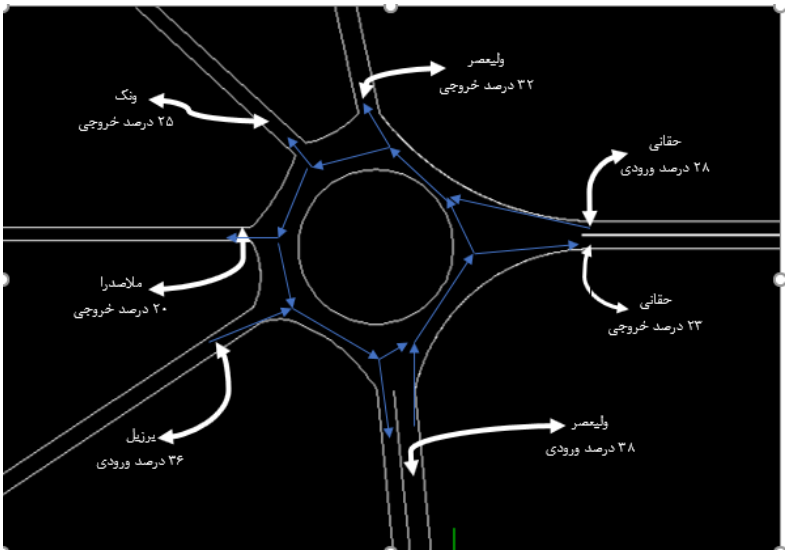
جدول ۲. معرفی ساعت اوج و غیر اوج

	ساعت اوج ظهر	ساعت اوج عصر
ساعت	۱۱ تا ۱۳	۱۸-۲۰
مدت‌زمان	۲ ساعت	۲ ساعت

با توجه به جدول بالا ساعات اوج و مدت‌زمان آن مشخص شده است.

٤-٤ آمار درصد حرکت‌های گردشی و عبوری

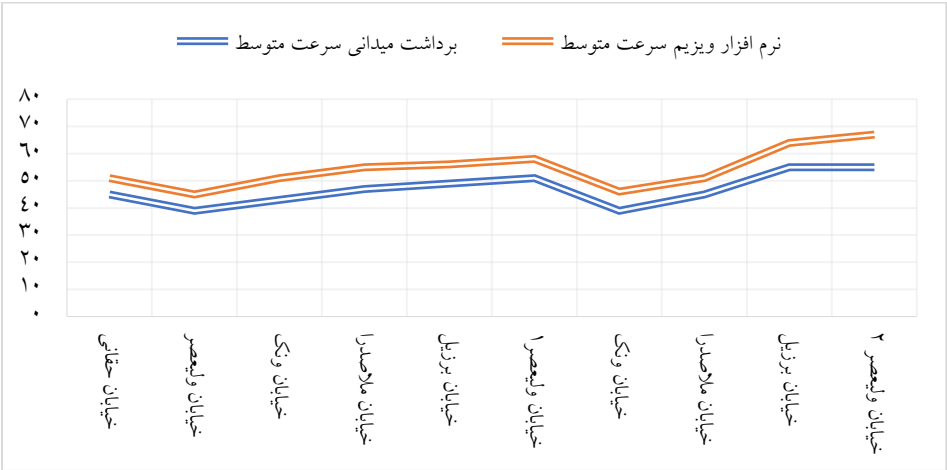
در شکل ۳ میزان ورودی و خروجی‌های میدان ونک به درصد بیان شده است. این کار برای شبیه‌سازی با نرم‌افزار لازم است.



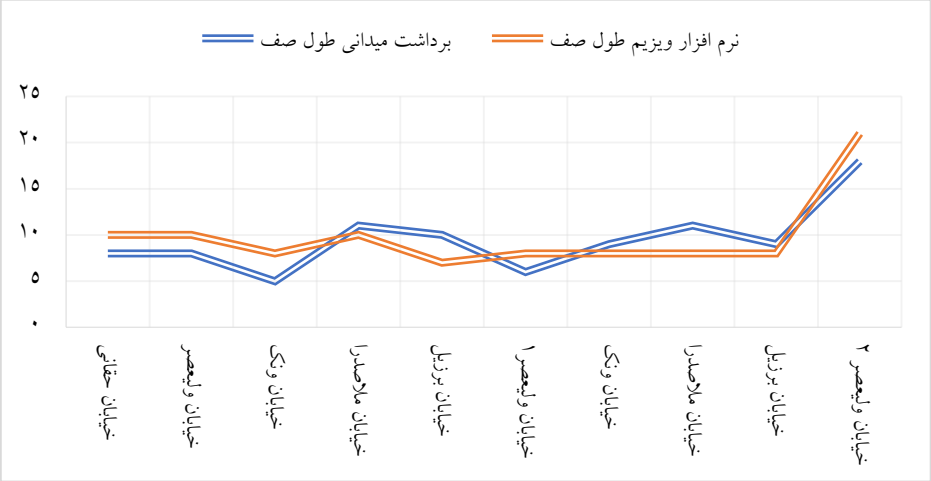
شکل ۳. درصد حرکت‌های گردشی خروجی میدان ونک

این شکل نشان می‌دهد که چند درصد از وسیله نقلیه ورودی از کدام خروجی خارج می‌شود.

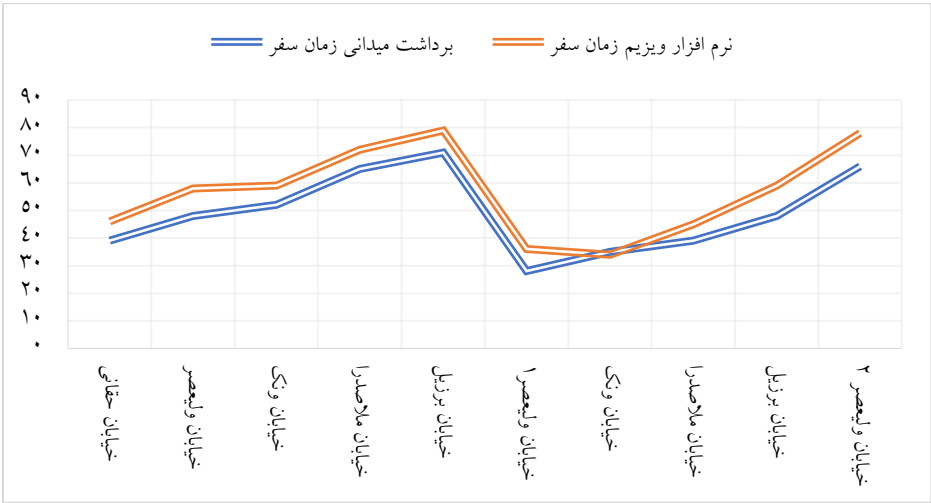
٤-٥ شبیه‌سازی با نرم‌افزار شبیه‌سازی ویزیم



شکل ٤. مقایسه نتایج شبیه‌ساز ایمسان و برداشت میدانی (سرعت متوسط)



شکل ۵. مقایسه نتایج شبیه‌ساز ایمسان و برداشت میدانی (طول صف)



شکل ٦. مقایسه نتایج شبیه‌ساز ایمسان و برداشت میدانی (زمان سفر)

نمودار شکل٤-٥-٦ نشان‌دهنده مقایسه سرعت متوسط، طول صف و زمان سفر به‌دست‌آمده از نرم‌افزار ویزیم بدون کالیبره کردن برای مسیر موردمطالعه با نتایج مشاهدات میدانی است. این نمودار اختلاف بین دو حالت را نشان می‌دهد. همان‌طور که از این نمودارها پیداست بین این دو حالت خطای زیادی وجود دارد. هدف از این تحقیق کاهش اختلاف بین دو نمودار و منطبق کردن دو نمودار بر روی هم است که با کالیبره کردن نرم‌افزار ویزیم برای میدان ونک، می‌تواند این کار عملی شود که در ادامه به آن پرداخته شده است.

٦-٤ خطای اندازه‌گیری

$$PE = \frac{x_i - y_i}{y_i}$$

که در آن x_i مقادیر شبیه‌سازی‌شده و y_i مق یر میدانی و **PE** درصد خطا است.

جدول ۳. درصد خطای نرم‌افزار در حالت بدون کالیبراسیون

			درصد خطا (PE)		
شماره	ورودی	خروجی	سرعت متوسط	طول صف	زمان سفر
۱		خیابان حقانی	۱۳	۲۵	۱۷

			درصد خطا (PE)		
شماره	ورودی	خروجی	سرعت متوسط	طول صف	زمان سفر
۲	خیابان ولیعصر	خیابان ولیعصر	۱۵	۲۵	۲۰
۳		خیابان ونک	۱۸	٤۰	۱۳
٤		خیابان ملاصدرا	۱۷	۹	۱۰
٥		خیابان ولیعصر۱	۱۳	۳۳	۲۸
٦	خیابان حقانی	خیابان ونک	۱۷	-۱۱	-۲
۷		خیابان ملاصدرا	۱۳	-۲۷	۱٥
۸		خیابان ولیعصر ۲	۲۱	۱۱	۱۸

جدول ۳ میزان خطای اندازه‌گیری توسط نرم‌افزار را نشان می‌دهد. اعداد مثبت نشان‌دهنده عددی بالاتر از برداشت میدانی و عدد منفی نشان‌دهنده عددی کم‌تر از برداشت میدانی است. این خطاها به دلیل کالیبره نشدن نرم‌افزار برای مسیر موردمطالعه و کشور ایران است.

٤-۷ کالیبره کردن نرم‌افزار و معرفی پارامترهای کالیبراسیون

کالیبره کردن به‌منظور تغییر پارامترهای کلی نرم‌افزار و مطابقت دادن آن با محیط موردمطالعه است. پارامترهایی که می‌توان در نرم‌افزار تغییر داد به شرح زیر است:

٤-۸ ورود پارامترهای کالیبره شده به نرم‌افزار

٤-۸-۱ واردکردن پارامترهای خودروی معادل به نرم‌افزار

خودروی طرح در نرم‌افزار ویزیم مطابق با استانداردهای کشور سازنده بارگذاری شده است. برای انجام تحقیق و نتیجه‌گیری دقیق در آن باید مشخصات خودروی طرح تغییر یابد. به همین منظور مشخصات خودروی سمند به‌عنوان خودروی ملی ایران وارد نرم‌افزار می‌شود.

جدول ٤. مشخصات وسایل نقلیه موجود در ایران برای انتخاب خودروی طرح

نام خودرو	توان موتور (اسب بخار)	وزن (کیلوگرم)	طول (میلی‌متر)	عرض (میلی‌متر)	حداکثر سرعت (کیلومتر بر ساعت)	شتاب نرمال (متر بر مجذور ثانیه)
پراید	٦۳	۹۳٤	۳۸۹۳	۱٦۰٥	۱٤۰	۱,٤٦
پژو ۲۰٦	۷٥	۱۰۲٥	۳۸۳٥	۱٦٥۲	۱۷۰	۱,۹۷
پژو GLX	۹۷	۱۱۰۰	٤٤۰۸	۱٦۹٤	۱۹۰	۲,٥۲
پژو رواَ	٦٤	۱۰۹۰	٤٤۰۸	۱٦۹٤	۱۷٥	۲,۱۸
سمند	۱۰۰	۱۲۲۰	٤٥۰۲	۱۷۲۰	۱۸٥	۲,۳۳
زانتیا	۱۱۲	۱۲٦٤	٤٥۲٤	۱۷٥٥	۲۰۰	۲,۳۳

٤-٨-٢ واردکردن پارامتر فاصله بین وسیله نقلیه به نرم‌افزار

زمانی که وسایل نقلیه به هر دلیل در صف قرار بگیرند، به‌طور متوسط فاصله‌ای را از یکدیگر حفظ می‌کنند. این فاصله دلایل مختلفی دارد که به ویژگی‌های رفتاری و فرهنگی رانندگان وابسته است. مقادیر کمینه، بیشینه و انحراف معیار بر اساس مطالعات صورت گرفته در شهر تهران توسط سازمان حمل‌ونقل ترافیک شهرداری تهران تأیید شده است.

جدول ٥. پارامتر فاصله بین وسیله نقلیه برای شهر تهران

	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
Min distance veh	١,٣٩	٠,٦٢	٠,٢٤١	٤,٠٤٧

جدول ٥ میزان کمینه و بیشینه را نشان می‌دهد. این اعداد برای حالت رانندگی در تهران توسط سازمان حمل‌ونقل و ترافیک به دست آمده است تا برای مطالعات شهر تهران از آن استفاده شود.

٤-٨-٣ واردکردن پارامتر مدل تغییر خط به نرم‌افزار

پارامترهای اساسی که در نرم‌افزار بر روی رفتار تغییر خط بیشترین تأثیر را دارند، سه پارامتر زیر می‌باشند:

ناحیه فاصله‌ای یک، ناحیه فاصله‌ای دو، فاصله روی رمپ مقادیر کالیبره شده برای این سه پارامتر، بر اساس آمار برداشت‌شده از سطح شهر تهران به‌صورت متوسط، کمترین، بیشترین و انحراف معیار یادداشت شده است.

جدول ٦. پارامترهای تغییر خط برای شهر تهران

	ناحیه فاصله‌ای یک	ناحیه فاصله‌ای دو
تغییر خط	١٣,٧٤	٤,٤

٤-٨-٤ واردکردن پارامترهای مدل پیروی خودرو به نرم‌افزار

پارامترهای زمان عکس‌العمل در فرآیند کالیبراسیون برای شهر تهران تنظیم‌شده و مقادیر آن وارد محیط نرم‌افزار می‌شود. این پارامترها از ویژگی رفتاری است که مربوط به وسایل نقلیه است.

جدول ٧. پارامترهای تعقیب خودرو برای شهر تهران

probability	Reaction time for first vehicle	reaction time at stope	Reaction time	
1	1.35	1.35	0.9	Reaction time for micro simulation

٤-٨-٥ زمان راه دادن

جدول ٨. مقادیر توصیه‌شده برای پارامتر زمان راه دادن در شهر تهران توسط سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری تهران

پارامترهای مرتبط با بیشترین زمان راه دادن	متوسط	انحراف معیار	کم‌ترین	بیش‌ترین
مقادیر پایه در راه دادن	١٠,٩٥	٢,٥	٥	١٥
اندازه توصیه‌شده در تقاطعات با ترافیک زیاد	٧,١٥	٣,٣	٣	٢٠
اندازه توصیه‌شده در تقاطعات با ترافیک کم	٦,١٣٥	٢,٨٥	٢	١٥

در این قسمت نتایج نهایی حاصل از کالیبراسیون مدل‌ها آورده شده است. مراحل گام‌به‌گام پیموده شده با توجه به پارامترهای انتخاب‌شده برای کالیبراسیون و مقادیر در نظر گرفته‌شده برای آن‌ها ارائه شده است. روند پیموده شده جهت کالیبره کردن مدل‌ها به‌صورت دستی و بدین نحو بوده است که با انتخاب مقادیر مختلف برای هر پارامتر طبق جدول١٠ مقداری که منجر به بهترین تطابق (کمترین خطا) شاخص کالیبراسیون میان مدل و واقعیت در پی ٥ مرتبه اجرای مدل می‌شود، انتخاب‌شده و این روند برای سایر پارامترها تا رسیدن به بهترین تطابق ادامه پیدا می‌کند. از بهترین مقدار هر پارامتر در گام بعدی استفاده شده است.

٤-٩ کالیبراسیون نرم‌افزار با استفاده از اطلاعات مطالعات گذشته

در مطالعات گذشته مقدار اعداد کالیبراسیون محاسبه شده است که در جدول زیر، میانگین اعداد کالیبراسیون برای مطالعات ارائه شده است که می‌توان از آن برای کالیبراسیون استفاده کرد.

جدول ۹. پارامترهای استفاده‌شده جهت کالیبراسیون و مقادیر آن‌ها

پارامتر	محدوده یا مقادیر در نظر گرفته‌شده
متوسط فاصله فرضی بین خودروهای متوقف	۰.۵-۱-۱.۵-۲-۲.۵
ضریب افزاینده در فرمول فاصله ایمن	٤-۳-۲-۱-
ضریب تشدیدکننده در فرمول فاصله ایمن	۵-٤-۳-۲
بیشینه تعداد خودروهای قابل‌بررسی توسط راننده در جلو	۱-۲-۳-٤
سرفاصله کمینه	۰.۵-۱-۱.۵-۲
موقعیت عرضی وسیله نقلیه در حالت جریان آزاد	-
شکل واقعی وسایل نقلیه هنگام تشکیل صف	-
محل آغاز تغییر خط	از این دو پارامتر برای بهبود عملکرد وسایل نقلیه در شرایط لازم استفاده می‌گردد.
محل توقف اضطراری	

جدول ۹ از میانگین ٤ جدول که حاصل کار محققان است، استخراج شده است. از این اعداد نیز برای کالیبراسیون می‌شود استفاده کرد.

٤-۱۰ مشخصات کالیبراسیون میدان ونک

مشخصات کالیبراسیون صورت گرفته برای این تقاطع به‌صورت زیر است.

شاخص کالیبراسیون: میانگین طول صف در ۵ سیکل متوالی برای هر رویکرد تقاطع برحسب تعداد خودروهای در صف (مجموعاً ۳۵ طول صف در طول ساعت اوج)

تابع هدف: میانگین مطلق خطاMAE

$$Mean\ absolute\ normalized\ error(MAE) = {}^{1}/_{n}\sum_{i=1}^{N}(x_i - y_i)$$

تعداد تکرارهای مدل: ۱۰ مرتبه اجرا کردن مدل

شمارنده‌های طول صف ۳ شمارنده

در جدول زیر خلاصه روند پیموده شدن برای کالیبراسیون این تقاطع و جدول بعدی مقادیر طول صف و میانگین مطلق خطا در مرحله نهایی کالیبراسیون این تقاطع و مجموعه نمودارهای فصل میزان تطابق طول صف رویکردهای مختلف را با مقادیر مشاهده‌شده میدانی نشان می‌دهند.

جدول ۱۰. خلاصه روند کالیبراسیون میدان ونک

گام	پارامتر	مقدار	MAE	مقدار بهینه پارامتر
۱	پارامترهای پیش‌فرض	-	٦,۲۵	انتخاب شکل واقعی
۲	موقعیت عرضی در جریان آزاد شکل واقعی وسایل نقلیه هنگام تشکیل صف	موقعیت دلخواه انتخاب	۲,۹	
۵	متوسط فاصله فرضی بین خودروهای متوقف	۰,۵	۲,۲	۱
٦		۱	۲,۱	

گام	پارامتر	مقدار	MAE	مقدار بهینه پارامتر
۷		۱,۵	۲,۵	
۸		۲	۲,۹	
۹		۲,۵	۳,۳	
۱۰	ضریب افزاینده فاصله ایمن	۱	۲,۵	۲
۱۱		۲	۲,۱	
۱۲		۳	۲,۹	
۱۳		٤	۷	
۱٤	ضریب تشدیدکننده فاصله ایمن	۲	۲,٤	۳
۱۵		۳	۲,۱	
۱٦		٤	۲,۵	
۱۷		۵	۲,۹	
۱۸	سرفاصله کمینه	۰,۵	۲,۱	۲
۱۹		۱	۲,٤	
۲۰		۱,۵	۲,٤	
۲۱		۲	۲	
۲۲	بیشینه تعداد خودروهای قابل‌بررسی در جلو	۱	۱,۱	۱
۲۳		۲	۲,۳	
۲٤		۳	۲,٤	
۲۵		٤	۲	

در جدول ۱۰ میزان خطای هر یک از اعدادی که در جدول ۹ ارائه شده است محاسبه گردیده است. عددی که دارای کم‌ترین خطا هست برای شبیه‌سازی می‌تواند انتخاب شود.

جدول ۱۱. مقادیر طول صف و میانگین مطلق خطا در مرحله نهایی کالیبراسیون میدان ونک

شماره بازه اندازه‌گیری	ورودی به میدان ونک	
	میدانی	شبیه‌سازی‌شده
۱	۲۱	۲۱
۲	۲۵	۲٤
۳	۲۱	۲۳
٤	۲۲	۲۲
۵	۳۱	۲۹
میانگین خطای مطلق	۱,۱٤	

جدول ۱۲. مقادیر نهایی پارامترها در کالیبراسیون میدان ونک

پارامتر	مقادیر به‌دست‌آمده پس از کالیبراسیون
متوسط فاصله فرضی بین خودروهای متوقف (متر)	۱
ضریب افزاینده در فرمول فاصله ایمن (متر)	۲
ضریب تشدیدکننده در فرمول فاصله ایمن (متر)	۳
بیشینه تعداد خودروهای قابل‌بررسی توسط راننده در جلو	۱
سرفاصله کمینه (متر)	۲
موقعیت عرضی خودرو در خط خود در حالت جریان آزاد	موقعیت دلخواه

۵. نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر به بررسی میدان ونک پرداخته شد. بدین منظور پارامترهای ترافیکی منطقه بررسی و جمع‌آوری شد. مشخصات هندسی میدان جمع‌آوری گردید و برای شبیه‌سازی وارد نرم‌افزار ویزیم شد. نرم‌افزار ویزیم با پارامترهای پیش‌فرض شبیه‌سازی را انجام داد و نتایج یادداشت شد. سپس پارامترهای جمع‌آوری‌شده از مشاهدات میدانی بررسی شد. سپس داده‌ها و تنظیمات پیش‌فرض نرم‌افزار ویزیم با توجه به مشخصات ناحیه موردمطالعه و وسایل نقلیه کالیبره شده و وارد نرم‌افزار می‌شود. حال با اطلاعات کالیبره شده، نرم‌افزار شروع به شبیه‌سازی می‌کند. نتایج شبیه‌سازی یادداشت می‌شود. حال مشخص می‌شود که نتایج شبیه‌سازی در حالت دوم یعنی حالت کالیبراسیون نرم‌افزار به داده‌های واقعی نزدیک‌تر است. این میزان برای سرعت، طول صف و... متفاوت است و به‌طور میانگین ۱۰ تا ۱۵ درصد است که اعداد دقیق هرکدام برای هر رویکرد در فصل چهار ارائه شده است.

متغیرهای زیر به‌عنوان متغیرهایی هستند که در نرم‌افزار تغییر داده شده‌اند و روش و نتایج آن در فصل چهارم نشان داده شده است.

- واردکردن پارامترهای خودروی معادل به نرم‌افزار
- سرعت مجاز مسیر
- واردکردن پارامتر فاصله بین وسیله نقلیه به نرم‌افزار
- واردکردن پارامتر مدل تغییر خط به نرم‌افزار
- واردکردن پارامترهای مدل پیروی خودرو به نرم‌افزار
- زمان راه دادن

۵-۱ بررسی فرضیه تحقیق

از مهم‌ترین دستاوردهای تحقیق رسیدن به نتیجه ذکرشده در فرضیه تحقیق که نرم‌افزار ویزیم دقت بیشتری در شبیه‌سازی میدان دارد است. با توجه به انجام مطالعه موردی این نتیجه حاصل شد که این فرض درست است.

۵-۲ بررسی اهداف تحقیق

اهداف تحقیق شامل بررسی خطای اندازه‌گیری نرم‌افزارهای شبیه‌سازی، روش‌های کالیبراسیون و پارامترهای مؤثر در کالیبراسیون بود که در تحقیق حاضر بر روی میدان ونک، اهداف تحقیق بررسی و نتایج آن ارائه شد.

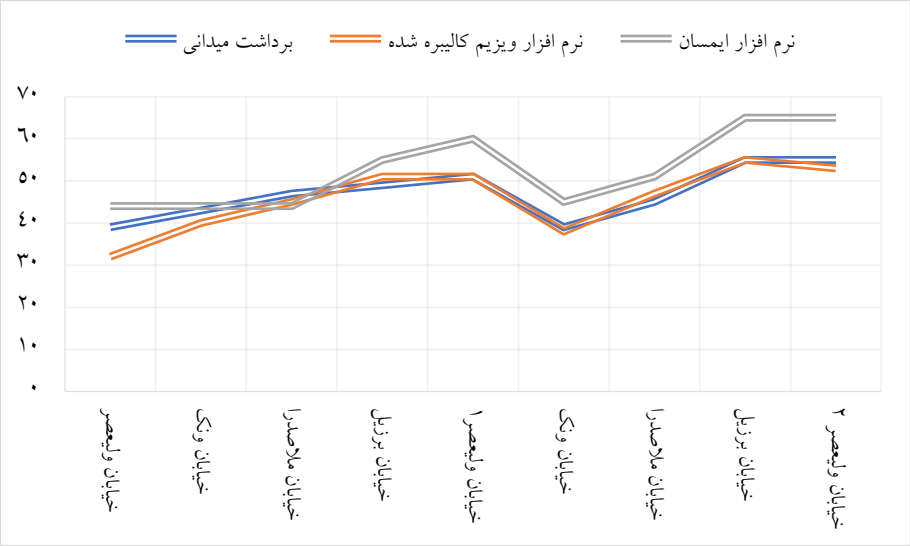
۵-۳ بررسی سؤالات تحقیق

در فصل اول سؤال‌های تحقیق ارائه شد که مهم‌ترین آنها این بود که آیا نرم‌افزارها ترافیکی به کالیبراسیون نیاز دارند و این‌که آیا شبیه‌سازی در حالت کالیبره شده و حالت کالیبره نشده باهم برابر است که با انجام تحقیق حاضر به این سؤالات جواب داده شد و مشخص شد که نرم‌افزارهای شبیه‌سازی برای اینکه دقت بیشتری داشته باشند حتماً باید کالیبره شوند و نتایج نرم‌افزار در دو حالت باهم متفاوت است. نتیجه این تحقیق نشان می‌دهد که یک نرم‌افزار برای این‌که خروجی‌های دقیق دهد، باید با توجه به شرایط محیط کالیبره می‌شود. در ادامه داده‌های جمع‌آوری‌شده وارد نرم‌افزار شبیه‌سازی ایمسان می‌شود. نتایج با اطلاعات وارده شبیه‌سازی می‌شود و نتایج آن یادداشت می‌شود. نتیجه کلی این

تحقیق نشان می‌دهد که برای شبیه‌سازی مسیرهای ترافیکی نرم‌افزار باید کالیبره شود و بعد از کالیبره شدن شبیه‌سازی انجام گیرد. در نرم‌افزار ویزیم نیز بعد از کالیبره کردن نرم‌افزار، نتایج به نتایج واقعی نزدیک‌تر است. نتیجه بعدی مقایسه دو نرم‌افزار ایمسان و ویزیم است که نشان‌دهنده دقت شبیه‌سازی ویزیم نسبت به داده‌های واقعی در مقابل نرم‌افزار ایمسان است.

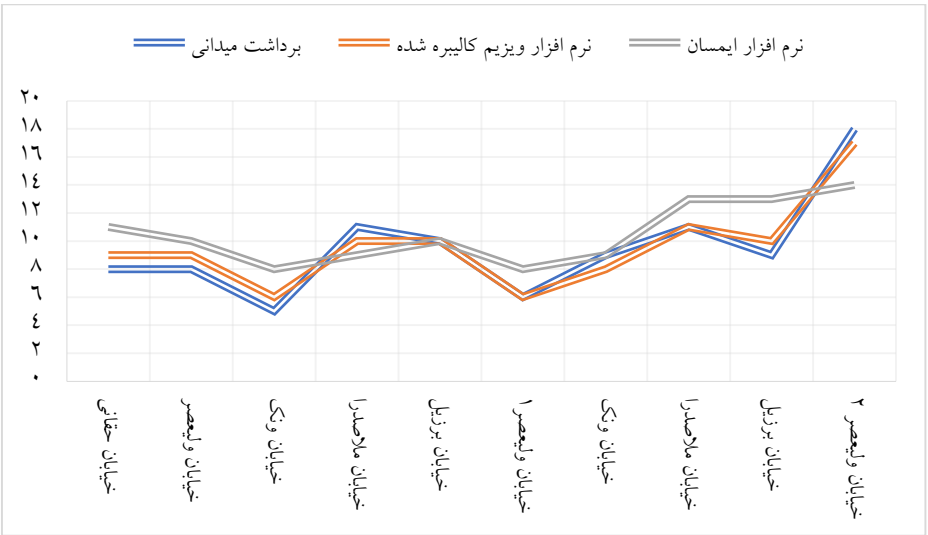
٤-٥ مقایسه نتایج دو نرم‌افزار

در این مرحله از تحقیق به بررسی نتایج حاصله از شبیه‌سازی با نرم‌افزارها پرداخته می‌شود. نتایج مقایسه به شرح زیر است.



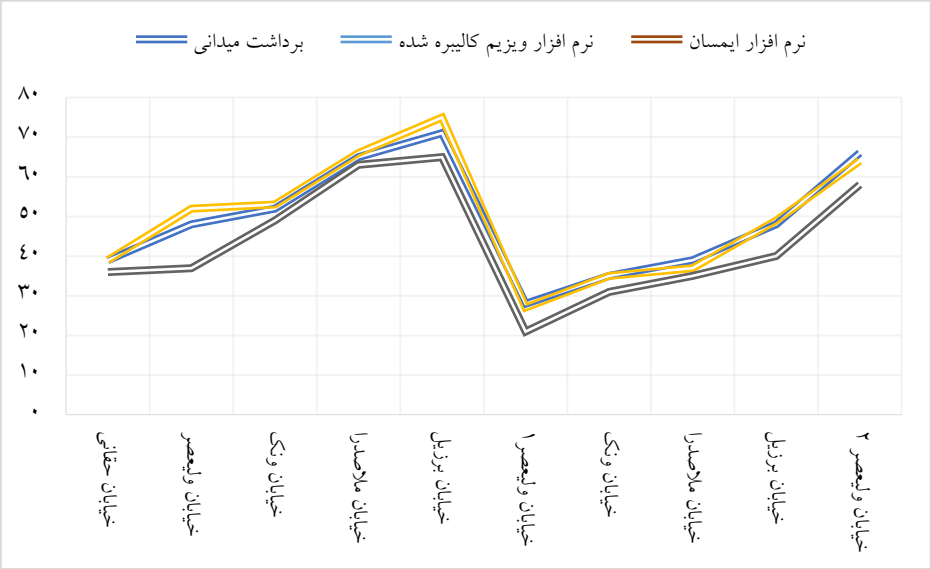
شکل ۷. درصد خطای نرم‌افزارها برای سرعت وسیله نقلیه در مسیرهای موردمطالعه

در نمودار شکل۷ سرعت وسایل نقلیه در سه نرم‌افزار باهم مقایسه شده است. مقایسه سه نرم‌افزار نشان می‌دهد که نرم‌افزار ویزیم وقتی کالیبره می‌شود دارای درصد خطای کم‌تری است و تقریباً منطبق بر روی مشاهدات میدانی است اما در مقابل نرم‌افزار ایمسان دارای خطای بیش‌تری است.



شکل ۸ درصد خطای نرم‌افزارها برای طول صف وسیله نقلیه در مسیرهای موردمطالعه

نمودار شکل ۸ نشان‌دهنده مقایسه دو نرم‌افزار ایمسان و ویزیم با نتایج میدانی است، مقایسه نشان می‌دهد که نتایج نرم‌افزار ویزیم در حالت کالیبره شده به واقعیت و مشاهدات میدانی بسیار نزدیک است.



شکل ۹. درصد خطای نرم‌افزارها برای زمان سفر وسیله نقلیه در مسیرهای موردمطالعه

نمودار شکل ۹ بیانگر تأثیر کالیبره کردن نرم‌افزار ویزیم و مقایسه آن با مشاهدات میدانی و نرم‌افزار ایمسان است. این مقایسه نشان می‌دهد که زمان سفر در نرم‌افزار ویزیم به مشاهدات میدانی نزدیک‌تر از ایمسان است.

٦. پیشنهادات

۱- تحلیل و ارزیابی عملکرد میدان در مقابل چهارراه با استفاده از دو نرم‌افزار ایمسان و ویزیم و مقایسه نتایج آن‌ها

۲- بررسی تأثیر کالیبره کردن نرم‌افزار ویزیم بر میزان نزدیک شدن به نتایج واقعی

۳- بررسی ایمنی یک تقاطع با استفاده از نرم‌افزار ویزیم

۷. پی‌نوشت‌ها

1. Grove
2. Weihai

۸. مراجع

- رئوفی. م، (۱۳۹٤)،"ارائه روشی برای تحلیل حساسیت پارامترهای شبیه‌سازهای ترافیک-مطالعه موردی: مدل گلوگاه آزادراهی در شبیه‌ساز ویسیم"، شانزدهمین کنفرانس بین‌المللی حمل‌ونقل و ترافیک.

- رئوفی. م، (۱۳۹۵)،"روندی برای کالیبراسیون نرم‌افزارهای ریز شبیه‌ساز ترافیک"، شانزدهمین کنفرانس بین‌المللی ترافیک.

- رحیم اف.ک، (۱۳۹٤) ارزیابی عملکرد ترافیک در میادین چراغ‌دار بر اساس شاخص تأخیر کنترلی با استفاده از مدل شبیه‌سازی ایمسان"، پانزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک.

- شفابخش. غ، مصلی نژاد. ع، ریاستیان. م ح، (۹۲)،"اصلاح طرح هندسی تقاطع نمازی شیراز به کمک نرم‌افزار ایمسان"، فصلنامه علمی ترویجی راهور، سال دهم، شماره ۲۲.

- شریعت مهیمنی. ا، (۱۳۹۰)،"امکان‌سنجی به‌کارگیری نرم‌افزار ایمسان و ویسیم در شبیه‌سازی سامانه اتوبوس‌های تندرو"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران

- عدگی. ت، (۱۳۹٤)،" نحوه تأثیر رعایت حق تقدم بر عملکرد میادین شهری"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه یزد.

– کاظمی فرد. ا، (۹۵)"ارائه راهکار بهبود شرایط ترافیکی با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی ایمسان". هفدهمین کنفرانس بین‌المللی حمل‌ونقل و ترافیک.

- Xiang (David (Kon, (2019)," Cross-Comparison and Calibration of Two Microscopic Traffic Simulation Models for Complex Freeway Corridors with Dedicated Lanes",Journal of Advanced Transportation Volume 2019, Article ID 8618476, 14 pages.
- Frank,clara, (2003),"some guidelines for selecting micro-simulation model for interchange traffic operation analysis,transportation research board annual Meeting.
- Goba.L,Block.B, (2014),"AimsunMicro-simulation-Apractical application:Micro-dimulation of the N1 freeway",transportation research.
- Raffaele.M, (2014),"Calibration of Speed-Density Relationships for freeways in