



## کالیبره کردن شبیه‌ساز ترافیکی ماکروسکوپیک با به کارگیری شبیه‌ساز ترافیکی میکروسکوپیک با استفاده از نرم‌افزار AIMSUN

شکوفه امیرخانی<sup>۱</sup>، سینا پرسته<sup>۲</sup>، رضا مؤیدفر<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی ارشد مهندسی عمران، راه و ترابری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، دانشکده فنی و مهندسی

۲- کارشناسی ارشد مهندسی عمران، راه و ترابری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، دانشکده فنی و مهندسی

۳- استادیار، دانشگاه اراک، دانشکده مهندسی عمران

### چکیده

شبیه‌سازی ترافیکی به طور گسترده‌ای در مهندسی حمل و نقل بکار می‌رود. از جمله دلایل استفاده وسیع از این مدل‌ها مواردی مانند بهره‌وری مناسب و مقرون به صرفه، طبیعت ایمن شبیه‌سازی، گستردگی زمینه‌های قابل استفاده نظیر طراحی سیستم‌های حمل و نقل، عملکرد جریان ترافیک و ارزیابی گزینه‌های مدیریت بیان نمود. با توجه به ماهیت فرآیند شبیه‌سازی که براساس تولید عدد تصادفی و تحلیل آماری بر روی نتایج شکل گرفته است، اعتبار مدل‌سازی از نظر آماری باید مورد ارزیابی قرار گیرد.

هدف از این تحقیق کالیبره کردن مدل‌سازی ماکروسکوپیک با استفاده از نتایج مدل‌سازی میکروسکوپیک به منظور رسیدن به نتایج نزدیک به واقعیت و در زمان کمتر می‌باشد. در این تحقیق با در نظرگیری یک مسیر نمونه و آماربرداری اطلاعات ترافیک آن و سپس شبیه‌سازی آن به صورت ماکروسکوپیک و میکروسکوپیک، کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل انجام می‌شود. برای این منظور از نرم‌افزار AIMSUN و آماربرداری میدانی استفاده شده است. براساس مقایسه نتایج حاصل از این دو نوع شبیه‌سازی، در دو حالت میکروسکوپیک و ماکروسکوپیک، کالیبره کردن مدل ماکروسکوپیک انجام گرفته است.

**کلید واژه:** مدل‌سازی، شبیه‌سازی ترافیکی میکروسکوپیک، شبیه‌سازی ترافیکی ماکروسکوپیک، کالیبراسیون

۱- کارشناس ارشد راه و ترابری، پست الکترونیکی Amirkhani.shokoofeh@yahoo.com

۲- کارشناس ارشد راه و ترابری، پست الکترونیکی Sparasteh\_1969@yahoo.com

۳- استادیار دانشگاه اراک، دانشکده مهندسی عمران، پست الکترونیکی R\_moayedfar@yahoo.com



## ۱- مقدمه

تاکنون در زمینه مدل‌سازی ترافیک کارهای بسیار زیادی انجام گرفته است و مدل‌های بسیار گوناگونی توسط ریاضی‌دانان، فیزیک‌دانان و مهندسان برای بیان رفتار ترافیکی ارائه گردیده است. تمامی این مدل‌ها را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم نمود:

۱- میکروسکوپی

۲- ماکروسکوپی

مدل‌های شبیه‌سازی ترافیکی بر اساس سطح جزئیاتی که ارائه می‌کنند، می‌توانند به سه کلاس مدل‌های ماکروسکوپی، مزوسکوپی و میکروسکوپی طبقه‌بندی شوند [۱].

استنباط مدل‌های شبیه‌سازی ماکروسکوپی از دینامیک سیال‌ها می‌باشد. در این مدل‌ها، شبیه‌سازی جریان ترافیک بر روی یک قسمت از جاده انجام می‌گیرد و تعاملات تک تک کاربرهای جاده در نظر گرفته نمی‌شود. بنابراین، این مدل‌ها پارامترهایی مثل حجم ترافیک، سرعت متوسط و چگالی را ارائه می‌کنند. این پارامترها به عنوان متغیرهای پیوسته در زمان یا مکان تعریف می‌شوند. مدل‌های شبیه‌سازی ماکروسکوپی معمولاً جهت تحلیل سطح سرویس، تقاضا و عرضه در طول برنامه‌ریزی منطقه‌ای یا شبکه‌های حمل و نقلی سطح گسترده به کار می‌روند [۲].

مدل‌های شبیه‌سازی میکروسکوپی، رفتار تک تک خودروها در یک سیستم ترافیک با استفاده از زیرمدل‌های تعقیب خودرو، تغییر خط، پذیرش گپ و انتخاب مسیر، شبیه‌سازی می‌کند. زیرمدل‌های تعقیب خودرو افزایش سرعت خودروها را از تعامل آن‌ها با سایر کاربرهای جاده و همچنین با اشیای جاده مشخص می‌کند. زیرمدل‌های تغییر خط به راننده جهت حرکت از یک خط عبور به بقیه خطوط عبور بر اساس شرایط ترافیکی حاکم و اهداف راننده کمک می‌کنند. زیرمدل‌های پذیرش گپ جهت توصیف پیوند خودروها به جریان ترافیک یک مسیر، به کار می‌روند. تشخیص مسیرهایی که راننده‌ها در مدل انجام می‌دهند، با استفاده از زیر مدل‌های انتخاب مسیر انجام می‌شوند. به مدل‌های شبیه‌سازی میکروسکوپی، مدل‌های شبیه‌سازی میکرو نیز گفته می‌شود. پارامترهای این مدل‌ها شامل: سرفاصله مکانی، سرفاصله زمانی، سرعت‌های خودرو، افزایش سرعت‌ها و پارامترهای رفتاری راننده و غیره می‌باشند. میانگین این پارامترها برای استنباط پارامترهای ماکروسکوپی به کار می‌روند. به‌علاوه، در مدل‌های شبیه‌سازی میکروسکوپی متغیرهای فضایی و زمانی هر خودرو دارای اهمیت فراوانی است و آن‌ها در نمودارهای زمان-مکان (نمودار خط سیر)، که به بررسی چگونگی حرکت خودروها و تعاملات آن‌ها با یکدیگر در جریان ترافیک کمک می‌کنند، گزارش می‌شوند. مدل‌های شبیه‌سازی میکرو نسبت به مدل‌های شبیه‌سازی ماکرو، دارای جزئیات بیشتری هستند، بنابراین می‌توانند جهت ارزیابی تأثیرات سطح بهبودهای پیشنهاد شده بر تسهیلات جاده-ای، در درجه بالاتری از دقت مورد استفاده قرار گیرند. با وجود این، به علت طبیعت و گستردگی اطلاعاتی که مدل‌های میکروسکوپی، شبیه‌سازی می‌کنند، آن‌ها در مقایسه با مدل‌های ماکروسکوپی به آهستگی اجرا می‌شوند. از



این‌رو، محاسبه بر هستند. با توجه به هدف و با سبک و سنگین کردن، انتخاب مدل‌های میکروسکوپی از مدل‌های ماکروسکوپی صورت می‌گیرد. محدودیت اصلی استفاده از مدل‌های میکروسکوپی، پرداخت بسیاری از پارامترهای توصیفی در رفتار رانندگی در این مدل‌ها می‌باشد [۲].

## ۲- تعریف مسأله و اهداف تحقیق

یکی از بهترین راه‌حل‌های مهندسان ترافیک و راه، بررسی مشکلات ترافیکی از طریق شبیه‌سازی وضعیت موجود و راه‌حل‌های ممکن بوده است. به این شکل، تمامی راه‌حل‌های موجود در کمترین زمان و با کمترین امکانات موجود و اقتصادی‌ترین شکل بررسی می‌گردد و بهترین و مناسب‌ترین راه حل انتخاب می‌شود و در واقعیت اجرا می‌گردد. این امر باعث می‌شود، از اجرای گزینه‌های نامناسب که نتیجه آن نه تنها حل مشکلات ترافیکی نمی‌باشد، بلکه از بین رفتن زمان و هزینه‌های هنگفت نیز می‌باشد که به اقتصاد کشورمان ضربه‌های مهلکتی وارد می‌نماید. بنابراین توجه و مطالعه هر چه بیشتر در زمینه ابعاد مختلف شبیه‌سازی ترافیکی از وظایف خطیر مهندسان حمل و نقل و ترافیک و راه می‌باشد. در این تحقیق با در نظرگیری یک مسیر نمونه و آماربرداری اطلاعات ترافیک آن و سپس شبیه‌سازی آن به صورت ماکروسکوپی و میکروسکوپی، کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل‌ها انجام گرفته است. برای این منظور از نرم افزار AIMSUN و آماربرداری میدانی استفاده شده است. براساس مقایسه نتایج حاصل از این شبیه‌سازی‌ها، در دو حالت میکروسکوپی و ماکروسکوپی، کالیبره کردن مدل ماکروسکوپی انجام گرفته است. به منظور جلوگیری از صرف هزینه‌های هنگفت و از دست رفتن زمان با ارزش از طریق اجرای گزینه‌های ناکارآمد جهت حل مشکلات و معضلات ترافیکی، شبیه‌سازی ترافیکی هر روز گسترش بیشتری نسبت به قبل پیدا می‌کند و دقیق‌تر از پیش می‌شود. همچنین در شبیه‌سازی میکروسکوپی ترافیک توسط نرم‌افزارهای موجود علی‌الخصوص AIMSUN حجم و میزان جزئیات اطلاعات ورودی لازم بسیار زیاد است و محاسبات حجیم و زمان‌بر می‌باشد. از طرفی در شبیه‌سازی ماکروسکوپی منطقه بزرگتری را می‌توانیم با حجم اطلاعات و میزان جزئیات کمتر و در زمان کمتری مطالعه نماییم. بنابراین با کالیبره نمودن مدل‌سازی ماکروسکوپی نرم‌افزارها به خصوص نرم افزار AIMSUN که یکی از قدرتمندترین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی ترافیکی موجود می‌باشد و به طور گسترده در دنیا مورد استفاده محققین و مهندسان ترافیک قرار می‌گیرد، در جهت دقیق‌تر نمودن نتایج و خروجی‌های شبیه‌سازی، می‌توانیم بهترین و مناسب‌ترین راهکار را در کمترین زمان ممکن بدست آوریم و ترافیک را به بهترین شکل مدیریت نماییم. هدف از این پژوهش سنجش میزان دقت خروجی شبیه‌سازی ماکروسکوپی می‌باشد. در این راستا ابتدا خروجی‌های شبیه‌سازی میکروسکوپی با داده‌های واقعی مقایسه می‌شود و سپس خروجی‌های شبیه‌سازی ماکروسکوپی با آنها مقایسه می‌گردد و سپس بر مبنای آن کالیبره می‌شود تا هر چه بیشتر بر واقعیت منطبق گردد.



### ۳- ادبیات موضوع

شبیه‌سازی را می‌توان به عنوان فرآیند طراحی یک مدل از یک سیستم واقعی و کاربرد آن به منظور فهم دقیق سیستم یا ارزیابی روش‌های مختلف برای عملکرد سیستم بیان کرد. استفاده از شبیه‌سازی در علم مهندسی ترافیک، مزایا و کاربردهای گسترده‌ای دارد. از جمله این مزایا می‌توان به این نکته اشاره کرد که در شبیه‌سازی، قبل از آنکه در دنیای واقعی مشکلی به خاطر سیاست‌ها، روش‌ها، طراحی‌ها و ... به وجود آید، می‌توان آنها را در دنیای مجازی مورد بررسی قرار داد. به کمک علم شبیه‌سازی، طرح‌های سیستم‌های مختلف حمل و نقل می‌توانند بدون پرداخت هزینه تأسیس یک مدل در دنیای واقعی، در دنیای مجازی آزمایش شوند [۳].

از جمله معایب علم شبیه‌سازی می‌توان به نیاز به آموزش تخصصی برای ساخت مدل مجازی اشاره کرد. از دیگر معایب علم شبیه‌سازی می‌توان به متمایز بودن مدل‌های ساخته شده توسط افراد مختلف، وقت‌گیر و هزینه‌بر بودن، عدم پاسخ مناسب به مواردی که دارای جواب‌های تحلیلی هستند اشاره کرد. در نرم‌افزار شبیه‌ساز تمامی متغیرها به صورت کمیت محور تعریف شده‌اند و تحلیل نتایج و در نظر گرفتن تمامی جنبه‌های طرح بر عهده مدیر طرح است [۴]. امروزه، افزایش نیاز به بهینه‌سازی اندازه‌گیری‌های دقیق و کارایی ترافیک با روش‌های قدرتمند و سریع به منظور شبیه‌سازی ترافیکی مهم و مهم‌تر می‌شود [۵].

انواع شبیه‌سازی ترافیکی به شرح زیر می‌باشد:

۱- شبیه‌سازی میکروسکوپی: مدل‌های شبیه‌سازی میکروسکوپی، رفتار تک‌تک خودروها در یک سامانه ترافیک با استفاده از زیر مدل‌های تعقیب خودرو<sup>۱</sup>، تغییر خط<sup>۲</sup>، پذیرش گپ<sup>۳</sup> و انتخاب مسیر<sup>۴</sup>، شبیه‌سازی می‌کند. زیرمدل‌های تعقیب خودرو افزایش سرعت خودروها را از تعامل آن‌ها با سایر کاربرهای جاده و همچنین با اشیای جاده مشخص می‌کند. زیرمدل‌های تغییر خط به راننده برای حرکت از یک خط عبور به بقیه خطوط عبور بر اساس شرایط ترافیکی حاکم و اهداف راننده کمک می‌کنند. زیرمدل‌های پذیرش گپ برای توصیف پیوند خودروها به جریان ترافیک یک مسیر به کار می‌روند. تشخیص مسیرهایی که راننده‌ها در عمل انتخاب می‌کند با استفاده از زیرمدل‌های انتخاب مسیر انجام می‌شوند [۲].

۲- شبیه‌سازی مزوسکوپی: از آنجا که داده‌های مدل‌های میکروسکوپی فشرده هستند، این واقعیت وجود دارد که کالیبراسیون مدل‌ها برای شبکه‌های بزرگ معمولاً کار آسانی نیست و عدم دستیابی به تخصیص پویای سازگار، در برخی موارد، منجر به این شده است که پژوهشگران حالتی از مدلسازی در نظر بگیرند، که به اصطلاح مدل‌های مزوسکوپی نامیده می‌شوند، که برای پر کردن شکاف بین رویکردهای جمع‌آوری سطح بالا در مدل‌های ماکروسکوپی و در سطح پایین‌تر مدل‌های میکروسکوپی، استفاده می‌شوند. مدل‌های مزوسکوپی، شرح یک

<sup>1</sup> Car-following

<sup>2</sup> Lane-changing

<sup>3</sup> Gap acceptance

<sup>4</sup> Route-choice



راه‌حل ساده شده جریان دینامیکی و اجرای ابتکاری تعادل پویا می‌باشد، که می‌تواند محاسبات تجزیه و تحلیلی شبکه‌های بزرگ را با موفقیت انجام دهد [۶].

۳- شبیه‌سازی ماکروسکوپی: مدل‌های ماکروسکوپی جریان ترافیک را در یک روش هم‌فزون و به عنوان یک جریان سیال در نظر می‌گیرد. این مدل‌ها از متغیرهای متوسط، مثل چگالی ترافیک، حجم ترافیک و متوسط سرعت، برای توصیف حالت‌های جریان ترافیک استفاده می‌کنند [۱].

در سال‌های اخیر نرم‌افزارهای تجاری مانند EMME/2 و TRIPS, VISSIM, VISUM, AIMSUN و DYNASIM برای اجرای این ایده‌ها بکار گرفته شده است. واقعیت این است که هر یک از رویکردها اجرا می‌شوند، و به احتمال بسیار زیاد برای مدت طولانی، نقش خوبی در تحلیل‌های حمل و نقلی خواهند داشت تا آنجا که هر یک از آن‌ها دارای ویژگی‌های منحصر به فرد برای پاسخ به سؤالات خاصی، مناسب است که دیگری نمی‌تواند به خوبی پاسخ دهد. جایا کریشام<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۵، چهار مرحله استاتیکی معمول را، با برنامه‌ریزی بلندمدت استراتژیک، در زمان یک برنامه‌ریزی میان‌مدت دینامیکی، و تجزیه و تحلیل تاکتیکی دینامیکی کوتاه‌مدت و یا، به عبارت دیگر، سطح‌های ماکرو، مزو و میکرووی مربوطه انجام داده است. رابط مناسب بین دو مدل مستلزم آن است که هر دو نماینده شبکه در سطوح ماکروسکوپی و میکروسکوپی با هم سازگار باشند، که همان ماتریس مبدأ-مقصد می-باشد. رویکرد مناسب برای چالش‌های تجزیه و تحلیل‌های حمل و نقل پیش‌روی محققان، یک روش جدید است که نتیجه تکامل سیستم‌های حمل و نقل و فن‌آوری‌های مرتبط با آن می‌باشد که در آن مدل ماکرو، مزو و میکرو باید با هم سازگار کار کنند. این چارچوب، تنها روشی است که با آن می‌توان ترکیبی منسجم از مدل‌سازی ترافیک و کامپیوتر به دست آورد [۶].

در زیر به برخی از فواید و مضرات شبیه‌سازی میکروسکوپی و هم‌چنین برخی از معیارها و ضوابط کلیدی که باید در تصمیم‌گیری انتخاب روش شبیه‌سازی میکروسکوپی یا ماکروسکوپی به آنها توجه شود، اشاره می‌شود. فواید شبیه‌سازی میکروسکوپی عبارتند از [۷]:

- ۱- قابلیت ارزیابی و جداسازی متغیرها با مدهای حمل و نقلی و هم‌چنین با خطوط ترافیکی
  - ۲- قابلیت ارزیابی تأثیرات و برتری‌های سیستم
  - ۳- قابلیت مدل‌سازی فواید سیستم حمل و نقل هوشمند (ITS) و گسترش تکنولوژی که ممکن است هدف، دسته خاصی از وسایل نقلیه یا شرایط ترافیکی باشد.
  - ۴- قابلیت مدل‌سازی تغییرات حجم یا تراکم و شلوغی ساعات اوج
  - ۵- قابلیت مدل‌سازی تأثیرات هندسی
  - ۶- قابلیت جداسازی نقاط بسته و محدودیت ظرفیت
- برخی از موارد مضر مدل‌سازی شبیه‌سازی میکروسکوپی عبارتند از [۷]:

<sup>1</sup> Jayakrishnam



۱- هزینه بالاتر

۲- زمان بیشتر و طرح زمان‌بندی بالاتر

۳- دشواری ارزیابی و به نمایش گذاشتن طیف وسیعی از متغیرهای متعدد

۴- دشواری جمع‌آوری داده‌ها

از معیارها و ضوابط کلیدی که باید در تصمیم‌گیری انتخاب روش شبیه‌سازی میکروسکوپی یا ماکروسکوپی به آنها توجه شود، عبارتند از [۷]:

۱- هزینه شبیه‌سازی و بودجه در دسترس

۲- زمان مورد نیاز برای جمع‌آوری داده‌ها و شبیه‌سازی و محدودیت‌های طرح زمان‌بندی

۳- نیازمندی‌های مدهای حمل و نقلی

۴- سطح مورد نیاز نمایش خروجی‌ها و تصمیم‌گیری

۵- نیازمندی‌های بصری و عمومی خارج از دسترس

#### ۴- روش تحقیق

روش تحقیق و شبیه‌سازی به صورت گام به گام در زیر بیان شده است:

گام ۱- انتخاب نمونه موردی مناسب جهت مطالعه

گام ۲- گردآوری اطلاعات لازم از طریق آماربرداری و آماده‌سازی آن‌ها، جهت شبیه‌سازی ترافیکی

گام ۳- ساخت مدل میکروسکوپی نمونه موردی مطالعه در نرم‌افزار شبیه‌ساز ترافیکی AIMSUN

گام ۴- ورود اطلاعات به نرم‌افزار شبیه‌ساز ترافیکی AIMSUN

گام ۵- انجام فرآیند شبیه‌سازی میکروسکوپی در نرم‌افزار شبیه‌ساز ترافیکی AIMSUN

گام ۶- استخراج نتایج مورد نیاز جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار شبیه‌ساز ترافیکی AIMSUN

گام ۷- ساخت مدل ماکروسکوپی نمونه موردی مطالعه در نرم‌افزار شبیه‌ساز AIMSUN

گام ۸- ورود اطلاعات به نرم‌افزار شبیه‌ساز ترافیکی AIMSUN

گام ۹- انجام فرآیند شبیه‌سازی ماکروسکوپی در نرم‌افزار شبیه‌ساز ترافیکی AIMSUN

گام ۱۰- استخراج نتایج مورد نیاز جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار شبیه‌ساز ترافیکی AIMSUN

گام ۱۱- اعتبارسنجی و کالیبراسیون مدل شبیه‌سازی میکروسکوپی با واقعیت

گام ۱۲- اعتبارسنجی و کالیبراسیون مدل شبیه‌سازی ماکروسکوپی با میکروسکوپی

در این تحقیق اطلاعات لازم جهت شبیه‌سازی ترافیکی توسط آماربرداری به صورت شمارش خودروهای عبوری از محل جمع‌آوری شده است. محل مورد مطالعه نیز، میدان نماز اسلامشهر می‌باشد. همچنین نرم‌افزار مورد استفاده





در این تحقیق، نرم افزار AIMSUN<sup>۱</sup> می‌باشد که محصولی از شرکت TTS<sup>۲</sup> اسپانیا می‌باشد که فضایی یکپارچه برای شبیه‌سازی ترافیک را فراهم می‌سازد. به ادعای شرکت TSS این نرم‌افزار تنها نرم‌افزار موجود در بازار می‌باشد، که توانایی به کارگیری سه مدل حمل و نقلی تخصیص استاتیک جریان، مدل‌سازی مزوسکوپیک جریان و مدل‌سازی میکروسکوپیک جریان را دارا می‌باشد. نرم‌افزار پیشینه‌ای قوی از نظر دانشگاهی، تجاری و فنی دارد که با کمک هزاران کاربر در اقصی نقاط جهان و در طی بیش از ۲۰ سال تحقیق و پژوهش به دست آمده است. با توجه به شمار زیاد کاربران در ۵۴ کشور مختلف در اقصی نقاط جهان، این نرم‌افزار توانسته است تأثیر مطلوبی بر راه‌ها و شبکه‌های حمل و نقلی در سطح جهان داشته باشد [۸].

## ۵- جمع‌آوری اطلاعات

یکی از اساسی‌ترین داده‌های موردنیاز جهت این تحقیق، شمارش حرکات گردشی است. این شمارش، شامل شمارش تعداد خودروهایی است که در یک دوره زمانی معین (۱۵ دقیقه) حرکت گردشی خاصی را در یک تقاطع انجام می‌دهند و همچنین این شمارش‌ها به تفکیک نوع خودرو صورت می‌گیرد. این داده‌ها جهت ساخت ماتریس مبدأ - مقصد برای شبیه‌سازی ترافیکی و همچنین کالیبراسیون و اعتبارسنجی این مدل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این راستا میدان نماز اسلامشهر برای این آماربرداری انتخاب گردید. شکل زیر محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

<sup>۱</sup> Advanced Interactive Simulator for Urban and non-urban Networks

<sup>۲</sup> Transport Simulation Systems



شکل ۱: نمای کلی میدان نماز اسلامشهر (برگرفته از تصاویر هوایی)

آماربرداری در طول سه روز به صورت شمارش بصری، ۱۵ دقیقه‌ای، در صبح (ساعت ۷ الی ۹) و عصر (ساعت ۱۷ الی ۱۹) انجام گرفت. با توجه به احجام ترافیکی ساعت اوج بدست آمده از تحلیل نتایج آماربرداری‌های میدانی، ماتریس مبدأ - مقصد (O-D Matrix) ساعت اوج ترافیک به شکل زیر ارائه گردیده است.

جدول ۱: ماتریس مبدأ- مقصد (O-D)

ماتریس مبدأ- مقصد	شمال (احمدآباد)	غرب (اسلامشهر)	جنوب (کمربندی اسلامشهر)	شرق ) (تهران)	کل
شمال (احمدآباد مستوفی)	۱۰۱	۲۳۵	۲۰۷	۱۵۹	۷۰۲
غرب (اسلامشهر)	۳۵۵	۱۲۵	۳۳۶	۴۲۵	۱۲۴ ۱
جنوب (کمربندی اسلامشهر)	۳۲۶	۲۵۶	۱۱۲	۱۹۸	۸۹۲
شرق (تهران)	۲۵۶	۳۵۲	۲۴۵	۱۰۳	۹۵۶
کل	۱۰۳۸	۹۶۸	۹۰۰	۸۵	۳۷۹ ۱





## ۶- شبیه‌سازی

برای ساخت مدل شبیه‌سازی ابتدا فایل Autocad و عکس هوایی گرفته شده از Google Earths را به نرم‌افزار Aimsun وارد نموده و مقیاس آنها را تنظیم می‌کنیم. سپس موقعیت پیوندها و گره‌ها را به دقت توسط دستورات موجود در نرم‌افزار ترسیم نموده و پس از رسم هر لینک خصوصیات آنها نظیر تعداد خط عبوری، عرض هر خط، نوع خط، سرعت هر خط و ... مشخص می‌گردد.

گره تنها در موارد که تغییرات فیزیکی در یک پیوند وجود دارد تعریف می‌شود، مانند:

(۱) تغییر در تعداد خطوط عبوری

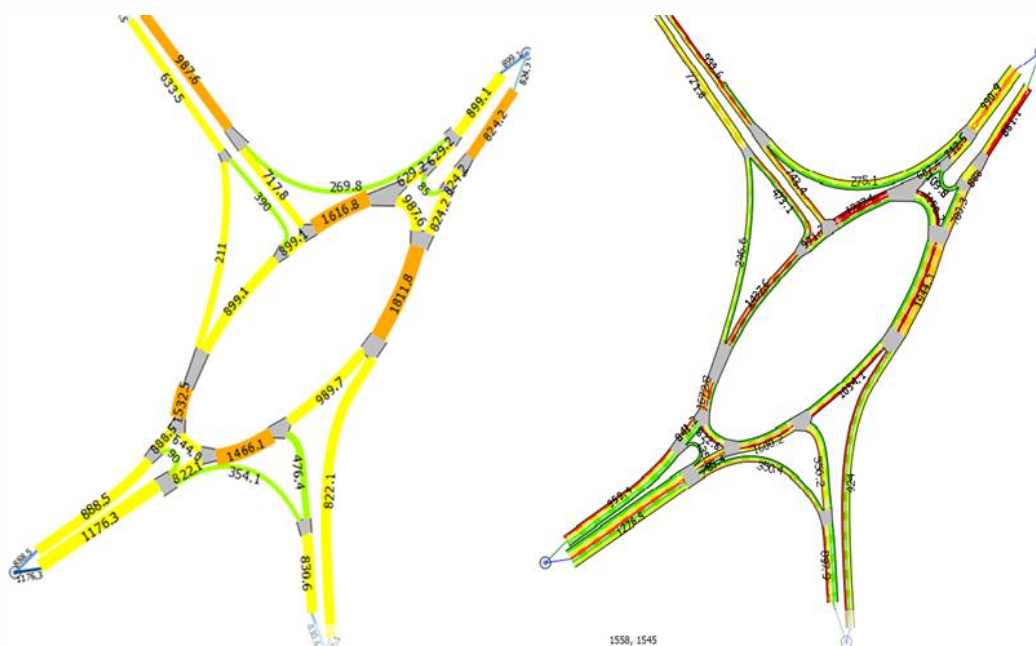
(۲) تغییر در نوع استفاده از خطوط عبوری

(۳) تقاطع

(۴) محل عبور عابر پیاده

در مرحله بعد ماتریس مبدأ- مقصد استخراج شده از نتایج آماربرداری میدانی از محل مورد مطالعه را به نرم‌افزار وارد کرده و درصد وسایل نقلیه سبک و سنگین را با توجه به نتایج آماربرداری مشخص می‌نماییم.

پس از ساخت مدل نمونه مورد مطالعه و ورود ماتریس مبدأ- مقصد به نرم‌افزار، ابتدا مدل میکروسکوپی و سپس مدل ماکروسکوپی شبکه را شبیه‌سازی می‌نماییم. این مدل‌ها را برای ۱، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ تکرار شبیه‌سازی می‌نماییم و نتایج آن‌را ثبت می‌کنیم.



شکل ۲: مدل‌سازی با نرم‌افزار AIMSUN (نرخ جریان)

سمت راست: شبیه‌سازی میکروسکوپی، سمت چپ: شبیه‌سازی ماکروسکوپی



## ۷- کالیبراسیون و اعتبارسنجی

کالیبراسیون تنظیم پارامترهای مدل است، برای افزایش توانایی آن در وانمایی رفتارهای رانندگی محل و مشخصه-های ترافیکی آن. منظور از کالیبراسیون، تنظیم پارامترهای مدل است، به گونه‌ای که باعث بهبود توانایی مدل در شبیه‌سازی کردن خصوصیات محلی ترافیک و رفتار رانندگان شود. کالیبراسیون روی قسمت‌های مختلف مدل اجرا می‌گردد [۹].

برای کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل، مراحل گام به گام زیر وجود دارد که عبارتند از:

(۱) انتخاب پارامتر ترافیکی مناسب (نرخ جریان)

از آن جا که، نرخ جریان یک پارامتر ترافیکی بسیار مهم برای تمام انواع تسهیلات حمل و نقلی می‌باشد، بنابراین در این مطالعه از نرخ جریان به عنوان پارامتر کنترلی برای کالیبراسیون و اعتبارسنجی استفاده می‌گردد.

(۲) انتخاب شاخص نکویی برازش (ضریب همبستگی پیرسون)

ضریب همبستگی پیرسون، معیاری است که اطلاعاتی در خصوص اختلاف بین مدل و مشاهدات واقعی نمایش می‌دهد. به طور کلی، مقدار ضریب همبستگی، عددی بین صفر تا یک است و هر چقدر این عدد به یک نزدیک‌تر شود، بیان‌گر مطابقت بیشتر بین داده‌های مشاهده و نتایج شبیه‌سازی است. رابطه ۱ نحوه محاسبه آن را نشان می‌دهد:

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}))^2}{(n-1)\sigma_x \sigma_y} \quad (1)$$

در این رابطه  $X_i$  و  $Y_i$  مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده میکروسکوپی یا ماکروسکوپی هستند.  $\bar{x}$  و  $\bar{y}$  متوسط داده‌ها می‌باشد و بالاخره  $\sigma_x$  و  $\sigma_y$  انحراف معیار استاندارد این داده‌ها است [۹]:

(۳) مقایسه نتایج شبیه‌سازی با واقعیت

(۴) فرآیند تکرار شبیه‌سازی جهت انطباق بیشتر پارامتر ترافیکی با واقعیت

(۵) مقایسه نتایج شبیه‌سازی با واقعیت (برای تکرارهای متفاوت)

(۵) بدست آوردن مدل رگرسیون خطی برای هر مقایسه

(۶) تعیین مقدار ضریب همبستگی پیرسون برای هر مقایسه

(۷) تعیین بهترین مقدار ضریب همبستگی و مدل رگرسیون خطی جهت رسیدن به بهترین انطباق با واقعیت

## ۸- تحلیل اطلاعات

با توجه به آماربرداری‌های انجام شده در منطقه مورد مطالعه، برای هر دو حالت شبیه‌سازی میکروسکوپی و ماکروسکوپی، با استفاده از نرم‌افزار Aimsun، مدل‌سازی صورت گرفت.



سپس یک پارامتر کنترلی مناسب برای کالیبراسیون، با توجه به چهار معیار اصلی سادگی در جمع‌آوری، حساسیت به شرایط ترافیکی و زمان برداشت، سازگاری با نحوه محاسبه نرم‌افزار و منطقی بودن انتخاب گردید. این پارامتر نرخ جریان می‌باشد.

خروجی‌های حاصل از این دو نوع شبیه‌سازی (نرخ جریان) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. حالت‌های بررسی شده، عبارتند از:

حالت شماره ۱: بررسی و کالیبراسیون نتایج شبیه‌سازی میکروسکوپی با واقعیت

حالت شماره ۲: بررسی و کالیبراسیون نتایج شبیه‌سازی ماکروسکوپی با شبیه‌سازی میکروسکوپی

با بررسی‌های انجام شده، پارامتر نرخ جریان در هر دو حالت فوق مورد بررسی قرار گرفت و کالیبره گردید.

نتایج بدست آمده از بررسی و کالیبراسیون نتایج شبیه‌سازی میکروسکوپی با واقعیت به صورت جدولی در زیر آمده است:

جدول ۲: مقایسه نتایج شبیه‌سازی میکروسکوپی با واقعیت

فرمول	$R^2$	تعداد تکرار
$y = 0.9606x + 15.446$	۰,۹۷۸۵	۱
$y = 1.0171x - 13.074$	۰,۹۹۵	۵
$y = 0.9885x - 0.9786$	۰,۹۹۵۸	۱۰
$y = 1.0079x + 5.2548$	۰,۹۹۵۹	۱۵
$y = 0.9966x + 12.326$	۰,۹۹۷	۲۰

همان‌طور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود، هر چه تعداد تکرار شبیه‌سازی بیشتر می‌شود، شیب خط برازش (بهترین خط مستقیم گذرنده از نقاط مشاهده شده و شبیه‌سازی) به ۴۵ درجه نزدیک‌تر می‌گردد، که در راستای آن مقدار معیار ضریب همبستگی  $R^2$  به یک نزدیک‌تر می‌شود. از آن‌جا که هر چه مقدار معیار ضریب همبستگی  $R^2$  به یک نزدیک‌تر شود، میزان خطا کاهش می‌یابد و نتایج بهتری خواهیم داشت. بنابراین این بدین معنی است که با تکرار بیشتر شبیه‌سازی، نتایج شبیه‌سازی به واقعیت نزدیک‌تر می‌گردد. همچنین برای ۲۰ تکرار شبیه‌سازی مقدار معیار ضریب همبستگی  $R^2$  برابر ۰,۹۹۷ بدست آمده و فرمول خط برازش نیز  $y = 0.9966x + 12.326$  می‌باشد.

همچنین نتایج بدست آمده از بررسی و کالیبراسیون نتایج شبیه‌سازی ماکروسکوپی با شبیه‌سازی میکروسکوپی به صورت جدول ۳ آمده است:



همان‌طور که در جدول ۳ ملاحظه می‌شود، هر چه تعداد تکرار شبیه‌سازی بیشتر می‌شود، شیب خط برازش (بهترین خط مستقیم گذرنده از نقاط مشاهده شده و شبیه‌سازی) به ۴۵ درجه نزدیک‌تر می‌گردد، که در راستای آن مقدار معیار ضریب همبستگی  $R^2$  به یک نزدیک‌تر می‌شود. از آن‌جا که هر چه مقدار معیار ضریب همبستگی  $R^2$  به یک نزدیک‌تر شود، میزان خطا کاهش می‌یابد و نتایج بهتری خواهیم داشت.

جدول ۳- مقایسه نتایج شبیه‌سازی ماکروسکوپیک با شبیه‌سازی ماکروسکوپیک

فرمول	$R^2$	تعداد تکرار
$y = 1.1065x + 7.4232$	۰,۹۲۷۸	۱
$y = 1.1789x - 12.095$	۰,۹۵۴۴	۵
$y = 1.1492x + 0.4378$	۰,۹۴۷۲	۱۰
$y = 1.1734x + 3.1884$	۰,۹۴۶	۱۵
$y = 1.1322x + 15.549$	۰,۹۵۲۴	۲۰

بنابراین این بدین معنی است که با تکرار بیشتر شبیه‌سازی، نتایج شبیه‌سازی به واقعیت نزدیک‌تر می‌گردد. همچنین برای ۲۰ تکرار شبیه‌سازی مقدار معیار ضریب همبستگی  $R^2$  برابر ۰,۹۵۲۴ بدست آمده و فرمول خط برازش نیز  $y = 1.1322x + 15.549$  می‌باشد.

از آنجا که در این مطالعه، قابلیت اطمینان ۹۵٪ و میزان خطای قابل قبول ۵٪ در نظر گرفته شده است، بنابراین نتایج فوق صحیح و قابل اعتماد می‌باشد.

## ۹- نتیجه گیری

مطالعات و بررسی‌های انجام شده در این تحقیق نشان می‌دهد که نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های ترافیکی به طور کامل منطبق بر واقعیت نمی‌باشد. بنابراین نرم‌افزارهای ترافیکی مختلف باید برای هر منطقه با توجه به شرایط عملکردی ترافیک و رفتار رانندگان آن منطقه کالیبره گردد. همچنین باید فرآیند آمارگیری با دقت بسیار زیاد انجام شود تا داده‌های دقیق‌تری از منطقه جهت شبیه‌سازی بدست آید. فرآیند کالیبراسیون باید برای تمامی پارامترهای ترافیکی مؤثر بر نتایج ترافیکی با توجه به نوع تسهیلات و نرم‌افزار و ... انجام شود. همچنین شبیه‌سازی ماکروسکوپیک به علت اینکه قابلیت شبیه‌سازی شبکه‌های بزرگ و پیچیده را با سرعت بسیار بالا دارد، باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد و کالیبراسیون این نوع شبیه‌سازی هم مورد توجه کارشناسان ترافیکی قرار گیرد. با توجه به تجزیه و تحلیل داده‌های خروجی حاصل از شبیه‌سازی‌های میکروسکوپیک و ماکروسکوپیک انجام شده، نتایج زیر به دست آمد:



(۱) نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های ترافیکی با اطلاعات واقعی تطابق ندارند، بنابراین باید برای بالا بردن دقت خروجی‌های نرم‌افزار اعمالی انجام شود، تا این اطلاعات در دنیای واقعی قابل استفاده و استناد باشند. برخی از این اعمال عبارتند از:

(۱-۱) گردآوری هر چه دقیق‌تر اطلاعات میدانی در واقعیت

بدیهی است هر چه اطلاعات گردآوری شده از منطقه مورد مطالعه دقیق‌تر و با جزئیات بیشتری باشد، نتایج شبیه‌سازی بهتری خواهیم داشت. از طرفی میزان داده‌های گردآوری شده نیز باید به حد کفایت باشد.

(۲-۱) مدلسازی نمونه، با دقت زیادی انجام گیرد.

هر چه مدلسازی نمونه با دقت بیشتری انجام شود و تمام مشخصات هندسی مسیر شبیه‌سازی شده مطابق با واقعیت باشد، نتایج حاصل از شبیه‌سازی دقت بیشتری خواهد داشت. بنابراین پیشنهاد می‌گردد، پس از اتمام ساخت مدل، یک بار دیگر مدل را بررسی نمایید تا اصلاحات لازم در مدل انجام شود.

(۳-۱) هنگام شبیه‌سازی نمونه مورد مطالعه باید تمامی اطلاعات ترافیکی ورودی، به دقت و درست وارد نرم‌افزار گردد، تا از بروز اشتباه در شبیه‌سازی جلوگیری به عمل آید. می‌توان پس از اتمام مرحله شبیه‌سازی، به وسیله خود نرم‌افزار شبکه را چک کرد تا از صحت آن اطمینان به عمل آید.

(۲) هر چه تعداد تکرار شبیه‌سازی بیشتر باشد، نتایج بهتر و واقعی‌تری بدست می‌آید. بنابراین پیشنهاد می‌گردد، با توجه به اهمیت پروژه، تعداد ۱۰ بار تکرار یا ۲۰ بار تکرار و یا حتی برای پروژه‌های با اهمیت خیلی زیاد ۳۰ بار تکرار برای شبیه‌سازی در نظر بگیرید، تا نتایج قابل قبول‌تری بدست آید.

(۳) دقت داده‌های خروجی بررسی شود تا خطای داده‌ها مشخص گردد و اطمینان بالای ۹۵٪ حاصل شود.

(۴) با توجه به تجزیه و تحلیل‌های انجام شده در این تحقیق فرمولی برای کالیبراسیون پارامتر ترافیکی نرخ جریان برای هر دو حالت میکروسکوپی و ماکروسکوپی ارائه شده است.

جدول ۴: نتایج حاصل از تحقیق

فرمول	R <sup>2</sup>	تعداد تکرار	حالت
$y = 0.9966x + 12.326$	۰,۹۹۷	۲۰	کالیبراسیون شبیه‌سازی میکروسکوپی با واقعیت
$y = 1.1322x + 15.549$	۰,۹۵۲۴	۲۰	کالیبراسیون شبیه‌سازی ماکروسکوپی با میکروسکوپی





## ۱۰- پیشنهادات تحقیق برای آینده

با توجه به نتایج تحقیق می‌توان موارد زیر را برای تحقیق در آینده پیشنهاد نمود:

- بررسی و کالیبره کردن نرم‌افزار با در نظر گرفتن عابر پیاده در تسهیلات مختلف حمل و نقلی
- بررسی و کالیبره کردن نرم‌افزار با در نظر گرفتن خطوط اتوبوس‌رانی سریع (BRT)
- بررسی سایر فاکتورهای ترافیکی و کالیبره کردن آن‌ها در نرم‌افزار
- بررسی تأثیر دوربین‌های کنترل سرعت در نتایج کالیبراسیون نرم‌افزار
- بررسی تأثیر محل اخذ عوارض در نتایج کالیبراسیون نرم‌افزار
- بررسی تأثیر تابلوهای پیام متغیر (VMS) در نتایج کالیبراسیون نرم‌افزار
- بررسی تأثیر شرایط آب و هوایی مختلف (اعم از آفتابی، ابری، بارانی، برفی و ...) در نتایج کالیبراسیون نرم‌افزار
- بررسی و کالیبراسیون پارامترهای مختلف زیست محیطی (مانند میزان انتشار آلاینده‌های هوا و میزان مصرف سوخت وسایل نقلیه) که در این نرم‌افزار قابل اندازه‌گیری هستند، با مقادیر آن‌ها در واقعیت. با توجه به گسترش روزافزون مباحث توسعه پایدار در پروژه‌های حمل و نقلی، تعیین شاخص‌های زیست محیطی هر چه نزدیک‌تر به واقعیت جهت انتخاب گزینه مناسب‌تر، بسیار با اهمیت می‌باشد.
- کالیبره کردن نرم‌افزارهای شبیه‌ساز ترافیک دیگر مانند VISSIM، .....
- تهیه برنامه‌ای بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق و تحقیقات انجام شده در گذشته و آینده، جهت کالیبراسیون پارامترهای ترافیکی نرم‌افزار شبیه‌ساز AIMSUN به صورت خودکار و ارائه نتایج هر چه نزدیک‌تر به واقعیت.
- در نهایت تهیه و ارائه یک نرم‌افزار شبیه‌ساز ترافیکی (هم به صورت میکروسکوپی و هم به صورت ماکروسکوپی) بر اساس ویژگی‌های عملکردی و رفتاری رانندگان کشور عزیزمان ایران.

## ۱۱- مراجع

- 1- Highway Capacity Manual (HCM), Transportation Research Board of the National Academies of Science in the United States, 2000.
- ۲- فصلنامه علمی- ترویجی راهور، سال هشتم، ۱۳۹۰، نوید ندیمی، شبیه سازی و کاربرد آن در مطالعات ترافیک- مدل تعقیب خودرو، صابر ناصر علوی، محمود صفارزاده، امیررضا ممدوحی، شماره ۱۵.
- ۳- شرکت سیمارون. [www.simaron.com](http://www.simaron.com). ۱۳۹۴.
- ۴- فصلنامه علمی - ترویجی راهور، سال دهم، تابستان ۱۳۹۲، اصلاح طرح هندسی تقاطع نمازی شیراز به کمک نرم افزار شبیه‌ساز ایمسان، سید محمدحسین ریاستیان، غلامعلی شفابخش، علی مصلی نژاد، شماره ۲۲، صفحات ۹۵ تا ۱۱۱.
- 5- Drik Helbing, Martin Treiber .Numerical Simulation of Macroscopic Traffic Equations . Computing in Science & Engineering Journal. 1999.
- 6- Perarnau, J. Barceló, J. Casa, D. García, J. METHODOLOGICAL NOTES ON COMBINING MACRO, MESO AND MICRO MODELS FOR TRANSPORTATION ANALYSIS. Modeling and Simulation Workshop, Sedona. 2005.
- 7- Macro versus Micro Simulation Modeling Tools . Science Direct. 2012.
- ۸- کاربرد کامپیوتر در مهندسی ترافیک، ۱۳۹۱، علیرضا نوری، محمد حسین دهنداد. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.
- ۹- مطالعات کالیبره نمودن نرم افزارهای مهندسی ترافیک بر اساس شرایط ترافیکی شهر تهران، ۱۳۹۱، معاونت سازمان حمل و نقل و ترافیک تهران.



## Using the Microscopic Traffic Simulation to Calibrate the Macroscopic Traffic Simulation Using AIMSUN Software

Shokoofeh Amirkhani<sup>1</sup>, Sina Parasteh<sup>2</sup>, Reza Moayed far<sup>3</sup>

1. Msc. Civil Engineering, Road and Transportation, Islamic Azad University, South Tehran.

2. Msc. Civil Engineering, Road and Transportation, Islamic Azad University, South Tehran.

3. Assistant Professor, Faculty of Engineering, Arak University

### Abstract

Traffic simulation is generally used in transportation engineering. Among the reasons for the widespread use of these models include convenient and cost-efficient, safety simulate nature, extent applicable areas such as the design of transportation and evaluation of the traffic flow management options expressed. Due to the nature of the simulation based on random number generation and statistical analysis based on the results, statistically validated model should be evaluated. The purpose of this study is to calibrate the model using macroscopic and microscopic modeling results in order to achieve results close to reality in less time. In this study, a sample selected and the traffic information recorded and macroscopic and microscopic simulation, calibration and validation of the model is done. For this purpose the software AIMSUN is used. Based on the results of these two types of simulation, microscopic and macroscopic both, macroscopic model has been calibrated.

**Keywords:** *Modeling, Microscopic traffic simulation, Macroscopic traffic simulation, Calibration*