ارائه دستورالعمل نحوه شبیه‌سازی، کالیبراسیون و اعتبارسنجی نرم‌افزار Aimsun

فهرست عناوین

مقدمه ۱
۱ - ساخت شبکه (مدل اولیه) ۲
۱-۱- ساخت شبکه پایه ۳
۱-۲- وارد کردن تقاضا ٦
۱-۳- تعیین نحوه کنترل ۹
۱-٤- حمل و نقل همگانی ۱۲
۱-۵- تعیین سناریوها ۱۳
۲ - کنترل خطاهای مدل ۱٤
۲-۱- بازبینی داده‌های ورودی ۱۵
۲-۲- کنترل با استفاده از خروجی‌های گرافیکی ۱۷
۳- کالیبراسیون ۱۸
۳-۱- تعیین هدف کالیبراسیون ۱۹
۳-۲- انتخاب متغیرهای کالیبراسیون ۲۰
۳-۳- انتخاب شاخص نکویی برازش ۲۱
۳-٤- تعیین تعداد اجراهای نرم‌افزار ۲۳
۳-۵- استراتژی انجام کالیبراسیون ۲۳
۳-۵-۱- گام اول: پیش کالیبراسیون ۳۰
۳-۵-۲- گام دوم: کالیبراسیون ظرفیت ۳۰
۳-۵-۲-۱- جمع‌آوری داده‌های میدانی ظرفیت ۳۰
۳-۵-۲-۲- بدست آوردن تخمین مدل شبیه‌ساز از ظرفیت ۳۱
۳-۵-۲-۳- انتخاب پارامترهای کالیبراسیون ۳۲
۳-۵-۲-٤- تابع هدف کالیبراسیون ۳۳
۳-۵-۳- گام سوم: کالیبراسیون انتخاب مسیر (تخصیص تقاضا) ۳۵
۳-۵-٤- گام چهارم : کالیبراسیون عملکرد ۳۵
۳-٦- حدود قابل قبول شاخص‌های نکویی برازش ۳۸
۳-۷- اعتبارسنجی ۳۹

٤- ورود پارامترهای کالیبره شده به نرم‌افزار AIMSUN ٤٢
٤-١- وارد کردن پارامترهای خودروی معادل به نرم افزار ٤٢
٤-٢- وارد کردن پارامتر فاصله بین وسایل نقلیه به نرم افزار ٤٣
٤-٣- وارد کردن پارامترهای مدل قبول فرصت به نرم افزار ٤٤
٤-٤- وارد کردن پارامترهای مدل تغییر خط به نرم افزار ٤٦
٤-٥- وارد کردن پارامترهای مدل پیروی خودرو به نرم افزار ٤٧
مراجع ٥١

فهرست شکل‌ها

شکل ۱- ساختار دستورالعمل حاضر ۱

شکل ۲- مراحل اصلی ساخت مدل اولیه ۳

شکل ۳- وارد کردن پس‌زمینه‌ها در نرم‌افزار AIMSUN ٤

شکل ٤- منوی اصلاح ویژگی‌های کمان‌ها در نرم‌افزار AIMSUN ٦

شکل ٥- منوی وارد کردن داده‌های تقاضا و مسیر دسترسی به آن در نرم‌افزار AIMSUN ۷

شکل ٦- منوی وارد کردن داده‌های انواع وسایل نقلیه و مسیر دسترسی به آن در نرم‌افزار AIMSUN ۹

شکل ۷- منوی اصلاح ویژگی‌های گره‌ها در نرم‌افزار AIMSUN ۱۰

شکل ۸- منوی وارد کردن داده‌های کنترل تقاطع و مسیر دسترسی به آن در نرم‌افزار AIMSUN ۱۱

شکل ۹- منوی اصلاح ویژگی‌های کنترل تقاطع چراغ دار در نرم‌افزار AIMSUN ۱۲

شکل ۱۰- نحوه ایجاد مسیر خط حمل‌ونقل همگانی و منوی وارد کردن داده‌های مربوط به آن در نرم‌افزار AIMSUN ۱۳

شکل ۱۱- کنترل صحت مدل ۱٤

شکل ۱۲- روند تنظیم پارامترها و کالیبره کردن مدل ۱۹

شکل ۱۳- گام های لازم جهت کالیبراسیون مدل های شبیه ساز خردنگر ۲٤

شکل ۱٤- مراحل کالیبراسیون در حالت کلی ۲٦

شکل ۱٥- بعضی از پارامترهای مورد توجه در هر یک از مراحل کالیبراسیون ۲۷

شکل ۱٦- مراحل کالیبراسیون برای حالت خاص(بدون نیاز به کالیبره کردن تخصیص تقاضا) ۲۹

شکل ۱۷- تعدادی از پارامترهای اصلی جهت کالیبراسیون ظرفیت آزادراه ها ۳۲

شکل ۱۸- تعدادی از پارامترهای اصلی جهت کالیبراسیون ظرفیت تقاطعات چراغدار ۳۳

شکل ۱۹- نحوه کار با منوی خصوصیات وسایل نقلیه در نرم افزار AIMSUN ٤۲

شکل ۲۰- منوی خصوصیات وسایل نقلیه در نرم افزار AIMSUN جهت ورود مقادیر پارامترهای خودروی معادل ٤۳

شکل ۲۱- منوی خصوصیات وسایل نقلیه در نرم افزار AIMSUN جهت ورود مقادیر پارامتر فاصله بین وسایل نقلیه ٤٤

شکل ۲۲- منوی خصوصیات وسایل نقلیه در نرم افزار AIMSUN جهت ورود پارامترهای مدل قبول فرصت ٤٥

شکل ۲۳ - منوی خصوصیات کمان‌ها در نرم افزار AIMSUN جهت ورود پارامترهای مدل تغییر خط ٤٦
شکل ٢٤ منوی خصوصیات وسایل نقلیه در نرم افزار AIMSUN جهت ورود مقادیر پارامتر زمان عکس‌العمل ٤٧٠

فهرست جداول

جدول ۱- مشخصات فنی و فیزیکی وسایل نقلیه سواری تولید داخل ۸
جدول ۲- بعضی از مشهورترین شاخص‌های نکویی برازش ۲۲
جدول ۳- شاخص‌های عملکردی مورد توجه در کالیبراسیون عملکرد ۳٦
جدول ٤- پارامترهای تأثیرگذار برای کالیبره کردن تقاطعات چراغدار در نرم‌افزار AIMSUN ۳۷
جدول ٥- پارامترهای تأثیرگذار به منظور کالیبره کردن تقاطعات بدون چراغ در نرم‌افزار AIMSUN ۳۷
جدول ٦- پارامترهای تأثیرگذار به منظور کالیبره کردن معابر آزادراهی و شریانی های درجه ۱ در نرم‌افزار AIMSUN ۳۷
جدول ۷- پارامترهای تأثیرگذار به منظور کالیبره کردن معابر شریانی درجه ۲ در نرم‌افزار AIMSUN ۳۸
جدول ۸- پارامترهای تأثیرگذار به منظور کالیبره کردن نواحی تغییر خط در نرم‌افزار AIMSUN ۳۸
جدول ۹- معیارهای پذیرش موفقیت عملیات کالیبراسیون در شبیه‌سازی ٤۰
جدول ۱۰- پارامترهای ترافیکی محاسبه شده در تقاطعات شهر تهران ٤۸
جدول ۱۱- مقادیر توصیه شده برای پارامتر زمان راه دادن در نرم‌افزار AIMSUN ٤۸
جدول ۱۲- مشخصات خودروی سواری معادل ٤۸
جدول ۱۳- مشخصات خودروی تاکسی معادل ٤۹
جدول ۱٤- مشخصات مرتبط با موتورسیکلت معادل ٤۹
جدول۱٥- مشخصات فنی و فیزیکی اتوبوس معادل در شهر تهران ٤۹
جدول۱٦- مشخصات وسایل نقلیه سنگین ٥۰
جدول ۱۷- مقادیر زمان‌های ناحیه مسافتی ٥۰

مقدمه

در این مبحث، راهنمایی‌های کلی لازم برای استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز Aimsun ارائه شده است. در ابتدا تذکر این نکته ضروری است که تمامی پیشنهادهای این بخش فقط جنبه راهنمایی دارند و مسئول فرآیند تحلیل یک مسئله ترافیکی (از انتخاب روش تحلیل تا ارائه راهکار مناسب)، مهندسی است که دارای دانش و تجربه کافی در زمینه ترافیک باشد. دستورالعمل فعلی حاصل تطبیق و مقایسه مطالعات، مقاله‌های علمی و دستورالعمل‌های بعضی از کشورهای خارجی با وضعیت موجود در تهران است. این دستورالعمل گرچه وامدار تجربیات پیشین است، اما هر جا که لازم بوده با توجه به مقتضیات شهر تهران رویکرد مستقل و متفاوتی را اتخاذ نموده است.

برای استفاده از نرم‌افزار خردنگر شبیه‌ساز Aimsun، در عمل ابتدا شبکه پایه ساخته می‌شود و پس از آن خطاهای احتمالی در مرحله ساخت شبکه اصلاح می‌شود. پس از اطمینان از صحت اطلاعات ورودی، فرآیند تنظیم پارامترهای مدل آغاز می‌شود که فرآیندی رفت و برگشتی است. از این فرآیند در متون فنی به کالیبراسیون یاد می‌شود. با پایان کالیبراسیون، نرم‌افزار توانایی بازتولید مشاهدات میدانی را دارا خواهد بود. برای اینکه مدل ساخته شده برای حالات گوناگون قابل استفاده باشد لازم است که با داده‌هایی مستقل کنترل شود؛ به این فرآیند در متون فنی اعتبارسنجی گفته می‌شود. در این بخش پیشنهادهایی در چهار بخش برای استفاده از نرم‌افزارهای خردنگر شبیه‌ساز ارائه شده است. این چهار بخش عبارتند از: ساخت شبکه اولیه، کنترل خطاها، کالیبراسیون و اعتبارسنجی (شکل ۱).

شکل ۱ - ساختار دستورالعمل حاضر

۱- ساخت شبکه (مدل اولیه)

در این بخش، روند ساخت مدل اولیه در نرم‌افزار خردنگر شبیه‌ساز Aimsun توضیح داده خواهد شد. روند توضیح داده شده برای همه نرم‌افزارهای خردنگر شبیه‌ساز قابل استفاده است و در مواردی که نکته های اشاره شده مختص به نرم‌افزار Aimsun هستند، به این موضوع صراحتاً در متن اشاره شده است. در این بخش، هدف در واقع ارائه یک سری کنترل ها برای فرآیند ساخت شبکه است.

ساخت شبکه پس از مرحله طرح‌ریزی و در نظر گرفتن تمام جنبه‌های طرح (از جمله هدف مطالعه، محدودیت‌های مالی و زمانی، تعیین داده‌های مورد نیاز و موارد دیگر) شروع می‌شود. با توجه به اینکه اصلاح خطاهای موجود در مرحله ساخت شبکه در مراحل بعدی بسیار وقت گیر و پر هزینه خواهد بود، مراحل ساخت شبکه باید با دقت بالا انجام شود.

برای ساخت مدل لازم است که اولاً داده‌های مورد نیاز برداشت شوند و ثانیاً کسی که مدل‌سازی را بر عهده دارد شخصاً از محل بازدید کند. بدیهی است که هم برداشت اطلاعات و هم بازدید میدانی باید در زمان‌هایی انجام گیرد که ساخت مدل برای آن زمان‌ها مورد نظر است. تعیین اینکه چه داده‌هایی مورد نیاز هستند به اهداف پروژه بستگی دارد.

در آغاز شبیه‌سازی، شبکه به صورت غیر واقعی، خالی و در نتیجه رفتارها به صورت رفتار در جریان آزاد است. در نتیجه زمان آماده سازی[۱] برای شروع بارگذاری شبکه و رساندن آن به وضعیت واقعی، پیش از آغاز زمان اصلی شبیه سازی، استفاده می شود. این زمان به طور کمینه، به اندازه ای بیش از پیمایش کل شبکه توسط وسایل ورودی است. در واقع باید گفت چنانچه مدت زمان شبیه‌سازی مورد نظر دوره یک ساعته باشد، در صورت اجرای شبیه‌سازی، در ابتدای این یک ساعت شبکه شبیه‌سازی شده در محیط نرم‌افزار خالی از هر وسیله نقلیه است که این، با واقعیت حاکم هماهنگی ندارد. برای اصلاح این ایراد، مهندس شبیه‌ساز لازم است متوسط زمان سفر در شبکه را تعیین نموده و زمان آماده سازی را تقریباً به میزان همین متوسط تعیین نماید.

زمان تخلیه، زمانی بدون بار ترافیک ورودی است که پس از پایان زمان اصلی شبیه سازی اضافه می‌شود. این زمان به خودروهایی که در پایان زمان اصلی شبیه‌سازی در میان راه هستند، فرصت می‌دهد تا به مقصد برسند و در نتایج شبیه‌سازی ثبت شوند. برای نمونه در نرم افزار شبیه‌ساز Aimsun، زمان سفر موقعی ثبت می‌شود که خودرو به مقصد رسیده باشد و اگر تعدادی از خودروها به مقصد نرسند، طول سفر (بر حسب وسیله نقلیه - کیلومتر) ثبت

[۱] Warm up

شده از شبیه‌سازی شده کمتر خواهد بود.

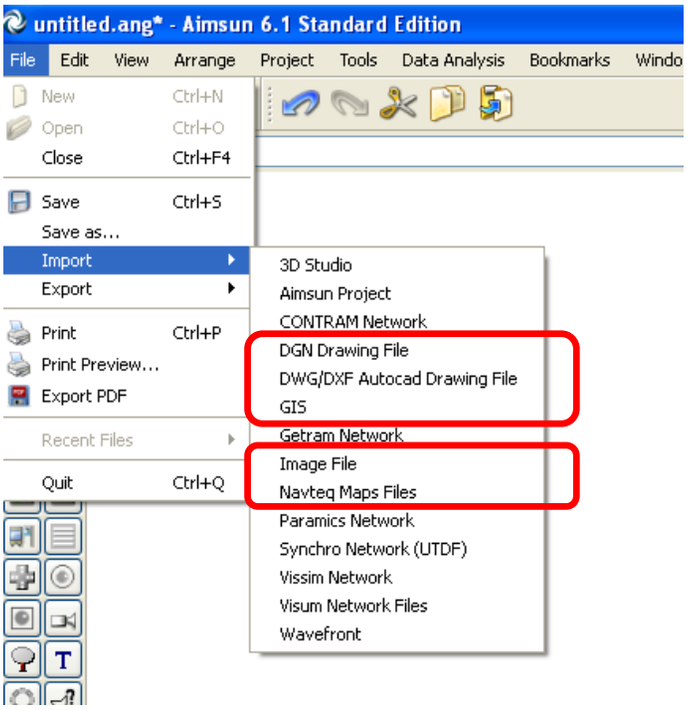
نکته دیگری که باید به آن توجه شود، بازدید میدانی است که اهمیت آن برای ساخت یک مدل مناسب به هیچ‌وجه از گردآوری داده‌های مناسب کمتر نیست. باید توجه داشت که داده‌ها، هر چقدر هم که به دقت برداشت شده باشند، به تنهایی نمی‌توانند اطلاعات لازم برای ساخت یک مدل مناسب را تأمین کنند. تفسیر درست داده‌های موجود و استفاده درست از این داده‌ها برای ساخت مدل، منوط به شناخت کافی از وضعیت محل و رفتارهای خاص آن است و این شناخت جز با بازدید میدانی حاصل نمی‌شود. علاوه بر آن، اطمینان از صحت عکس‌های هوایی و نقشه‌های در دسترس، از مواردی است که پس از بازدید میدانی حاصل می‌شود. بنابراین ضروری است که مدلساز شخصاً از محل بازدید کند و به تمام نکاتی که بعداً در مدل‌سازی مورد نیاز خواهد بود توجه کند.

در ادامه مراحلی برای ساخت مدل اولیه توضیح داده خواهد شد که توجه به آنها در دستیابی به حداکثر کیفیت مدل موثر خواهد بود. شکل (۲) مراحل ساخت مدل اولیه را نشان می دهد.

شکل ۲ - مراحل اصلی ساخت مدل اولیه

۱ -۱ - ساخت شبکه پایه

برای ساخت مدل اولیه، نخستین گام، ترسیم هندسه محدوده مورد مطالعه است. برای این منظور استفاده از عکس‌های هوایی و یا نقشه محدوده مورد مطالعه توصیه می‌شود. در هر یک از این موارد، توجه به قابلیت نرم‌افزار برای وارد کردن عکس یا نقشه (باتوجه به فرمت فایل ورودی) ضروری است. با استفاده از این عکس‌ها و نقشه ها شکل کلی شبکه مورد مطالعه مشخص می شود و بعضی از اطلاعات هندسی مورد نیاز را نیز بسته به دقت عکس‌ها و نقشه ها می توان از آنها به دست آورد. در شکل (۳) منوی وارد کردن اطلاعات خارجی در نرم‌افزار Aimsun نشان داده شده است. محل‌های مربوط به وارد کردن پس‌زمینه‌ها بوسیله کادرهای قرمز رنگ مشخص شده‌اند.



شکل ۳ - وارد کردن پس‌زمینه‌ها در نرم‌افزار Aimsun

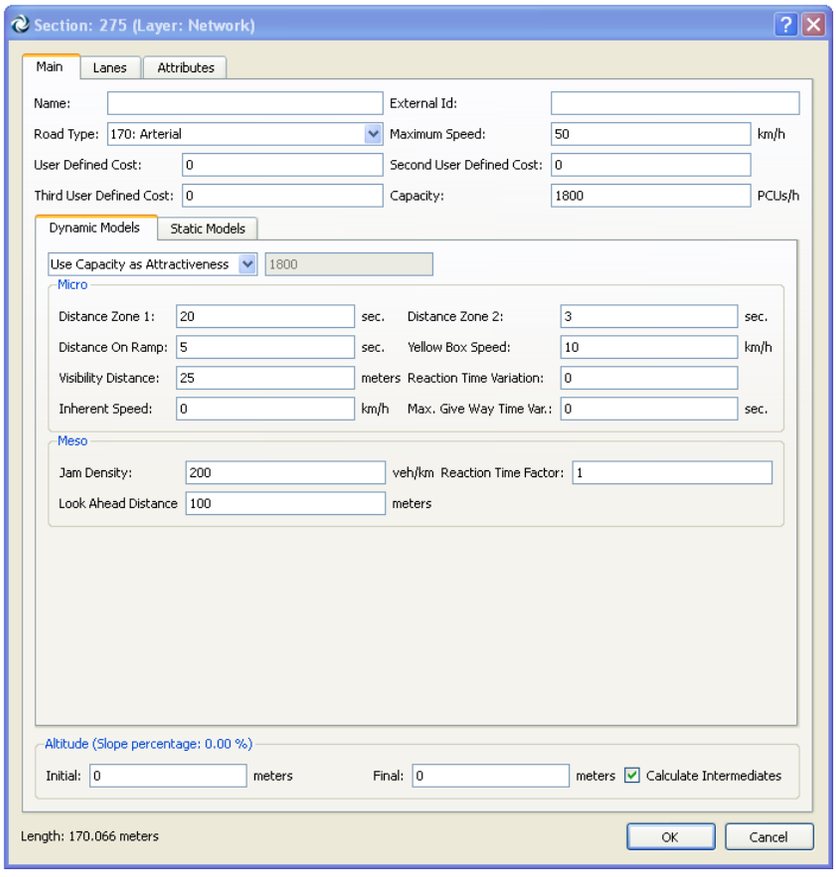
در اغلب نرم‌افزارهای خردنگر شبیه‌ساز دیگر نیز امکان وارد کردن فایل‌های Autocad، عکس های هوایی و نقشه‌های GIS با فرمت های مختلف وجود دارد. پس از وارد کردن فایل مناسب، اولین گام کنترل و تنظیم مقیاس مناسب است. مشخص کردن موقعیت کمان‌ها و گره‌ها اولین گام در ساخت شبکه پایه در نرم‌افزارهای شبیه‌ساز است و در رسم آنها می‌بایست دقت لازم صورت پذیرد. پس از رسم هر کمان خصوصیات آن نظیر تعداد خطوط عبوری، عرض هر خط، نوع خط و غیره مشخص می‌گردد. گره تنها در موقعیت‌هایی که تغییرات فیزیکی در یک کمان وجود دارد تعریف می شود. معمولاً در موارد زیر گره در نظر گرفته می‌شود؛

- تغییر در تعداد خطوط عبوری
- تغییر در نوع استفاده از خطوط عبوری
- تقاطع یا میدان
- محل عبور عابر پیاده

رسم درست و تعریف مشخصات کمان‌ها از اهمیت بسزایی برخوردار است. در زیر فهرستی از مهمترین مشخصات کمان‌ها ارائه می‌شود تا در هنگام ساخت شبکه مورد توجه قرار گیرد.

- مشخصات هندسی
  - تعداد خطوط عبور
  - عرض موثر خطوط
  - شیب طولی (در صورت وجود)
  - قوسهای افقی
- مشخصات عملکردی
  - خطوط ویژه
  - علائم ترافیکی
  - سرعت
  - انسداد خطوط

اغلب این مشخصات را می‌توان از طریق منویی مانند آنچه در شکل (٤) نشان داده شده است و از طریق دوبار کلیک کردن روی هر کمان تعیین نمود.



شکل ۴ - منوی اصلاح ویژگی‌های کمان‌ها در نرم‌افزار Aimsun

۱ -۲ - وارد کردن تقاضا

ورودی‌های مربوط به تقاضا شامل احجام تردد خودروها هستند که باید نسبت حرکات گردشی در تقاطعات، حجم بین هر زوج مبدأ و مقصد و نسبت حجم هر گره را از جمله ورودی‌های تقاضا در نظر گرفت. همچنین ترکیب جریان ترافیک توسط تحلیل‌گر مشخص شده و به صورت درصدی از کل وسایل نقلیه یا به صورت مستقل در مدل شبیه ساز وارد می‌شود.

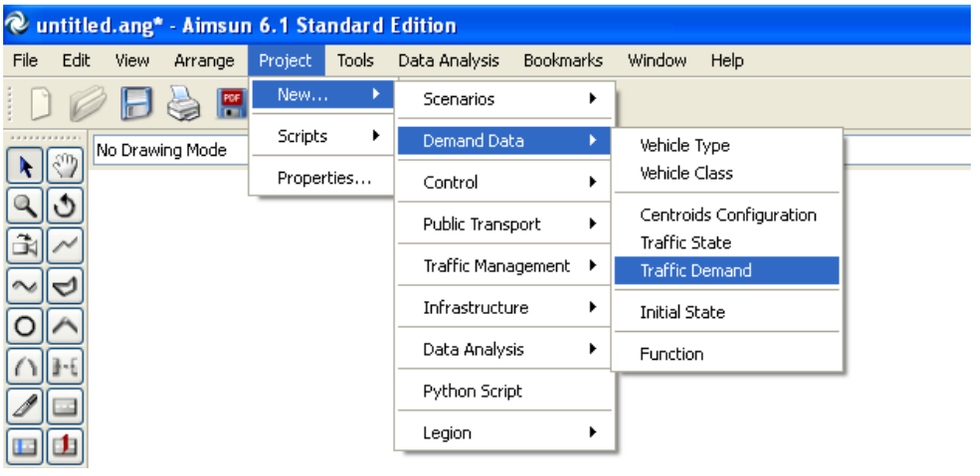
نحوه معرفی ورودی‌های مربوط به تقاضا، بسته به نرم‌افزار مورد استفاده متفاوت است. در نرم‌افزار Aimsun می‌توان داده‌های مربوط به تقاضا را به دو صورت وارد کرد. در یکی از این دو شکل، احجام ورودی در کمانها و

درصد گردش‌ها در تقاطعات وارد شده و در حالت دوم، ماتریس‌های مربوط به حجم تردد بین زوج‌های مبدأ و مقصد وارد نرم‌افزار می‌شوند. انتخاب یکی از این دو نحوه باید قبل از آمارگیری و با توجه به اهداف و امکانات پروژه صورت گرفته باشد تا بتوان آمارگیری را متناسب با آن طرح‌ریزی کرد.

در حالتی که احجام به صورت ماتریسی به شبکه اعمال می شوند، مراکز نواحی[۱]، نقاط شروع و پایان برای حرکت خودروها خواهند بود و در نتیجه زوج نقاط مبداء و مقصد را در ماتریس تقاضا تعیین می‌نمایند. نواحی به وسیله ارتباط دهنده[۲] به کمان‌ها متصل می‌شوند. هر ناحیه با توجه به نوع آن می‌تواند به یک یا چند کمان متصل شود.

❖ **تذکر : در هنگام ساخت شبکه بایستی از اتصال مستقیم نواحی به تقاطعات خودداری شود.**

منوی وارد کردن اطلاعات تقاضا به همراه مسیر دسترسی به آن در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵- منوی وارد کردن داده‌های تقاضا و مسیر دسترسی به آن در نرم‌افزار Aimsun

دسته‌بندی خودروها با توجه به اهداف پروژه و محدوده مورد مطالعه انجام می‌شود و بنا بر دسته‌بندی انجام شده، ممکن است همفزون سازی داده‌های جمع‌آوری شده یا استفاده از بعضی فرض‌های ساده کننده برای ساخت

---

[۱] Zones

[۲] Conector

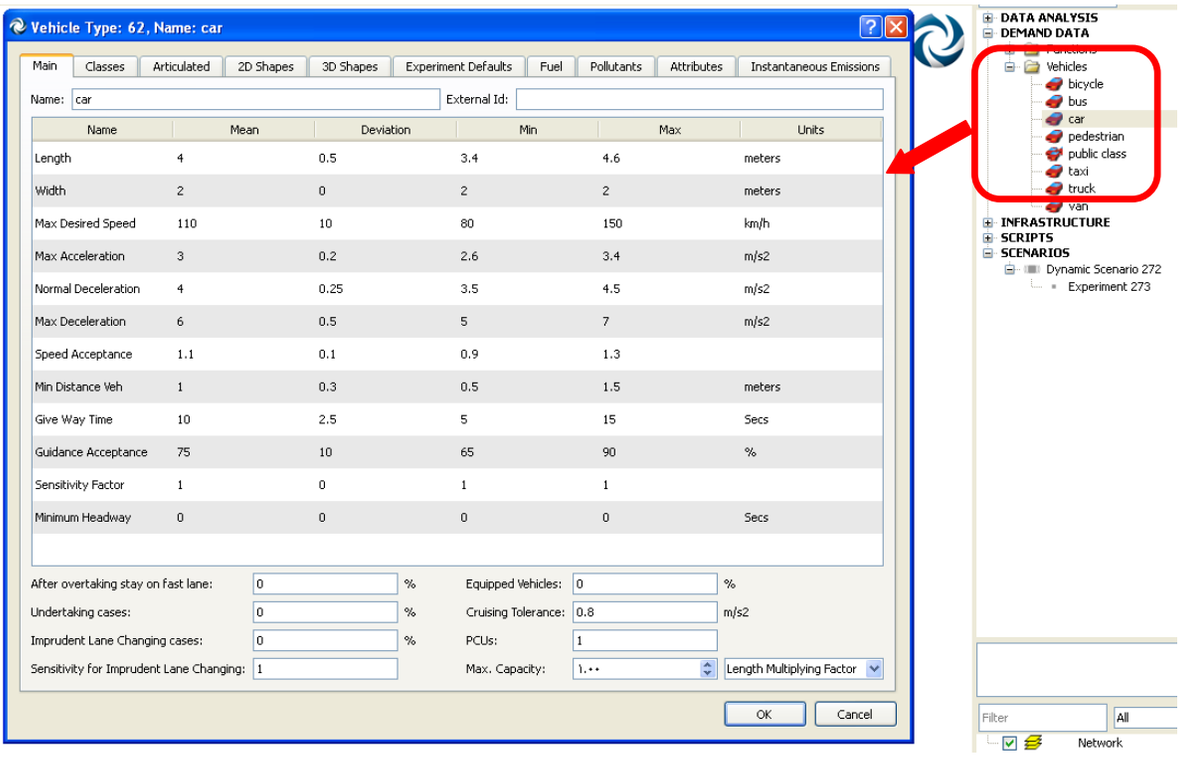
مدل لازم باشد. درصدهای پیش فرض در نرم‌افزارهای شبیه‌ساز معمولاً در اکثر نرم‌افزارهای شبیه‌ساز وجود دارد. اما ترکیب وسایل نقلیه به شدت به موقعیت محدوده مطالعاتی وابسته است و مقادیر پیش فرض اعلام شده برای کل کشور و یا شهر تهران به ندرت برای یک نقطه خاص صادق است. پیشنهاد می‌شود که تحلیل‌گر یک یا چند مطالعه طبقه‌بندی وسایل نقلیه در محدوده مطالعاتی را برای دوره زمانی شبیه‌سازی به دست آورد و یا بر اساس فیلم‌برداری از محدوده، ترکیب ترافیک را مشخص کند. به هرحال، نوع خودروهایی که در نرم‌افزار شبیه‌ساز بایستی مورد استفاده قرار گیرد، حداقل شامل خودرو شخصی، کامیون های دو محوره و اتوبوس است.

به عنوان مثال، در جدول (۱) خصوصیات فنی و فیزیکی مربوط به وسایل نقلیه سواری تولید شده توسط کارخانه‌های خودرو سازی داخلی ارائه شده است. اکثر خصوصیات یاد شده در نرم‌افزار Aimsun قابل کالیبره شدن با شرایط فعلی وسایل نقلیه موجود در شبکه حمل و نقل شهر تهران می‌باشند [۵].

جدول ۱ - مشخصات فنی و فیزیکی وسایل نقلیه سواری تولید داخل

نام خودرو	توان موتور (اسب بخار)	وزن (کیلوگرم)	طول (میلیمتر)	عرض (میلیمتر)	حداکثر سرعت (کیلومتر بر ساعت)	شتاب (مجذور متر بر ثانیه)
پراید	٦٣	٩٣٤	٣٨٩٣	١٦٠٥	١٤٠	١.٤٦
پژو ٢٠٦	٧٥	١٠٢٥	٣٨٣٥	١٦٥٢	١٧٠	١.٩٧
پژو جی ال ایکس	٩٧	١١٠٠	٤٤٠٨	١٦٩٤	١٩٠	٢.٥٢
پژو روآ	٦٤	١٠٩٠	٤٤٠٨	١٦٩٤	١٧٥	٢.١٨
سمند	١٠٠	١٢٢٠	٤٥٠٢	١٧٢٠	١٨٥	٢.٣٣
زانتیا	١١٢	١٢٦٤	٤٥٢٤	١٧٥٥	٢٠٠	٢.٣٣
پژو پارس	١٠٨	١١٨٥	٤٤٩٨	١٧٠٤	١٨٧	١.٩٥
پیکان	٤٨	٩٩٠	٤٣٤٥	١٦٢٠	١٤٠	١.٩٤
ریو	٩٨	١١٠٩	٤٢٤٠	١٦٨٠	١٨٤	١.٩٤
تندر	١٠٥	١١٠٠	٤٤٩٨	١٧٧٧	١٩٥	٢.٧٢

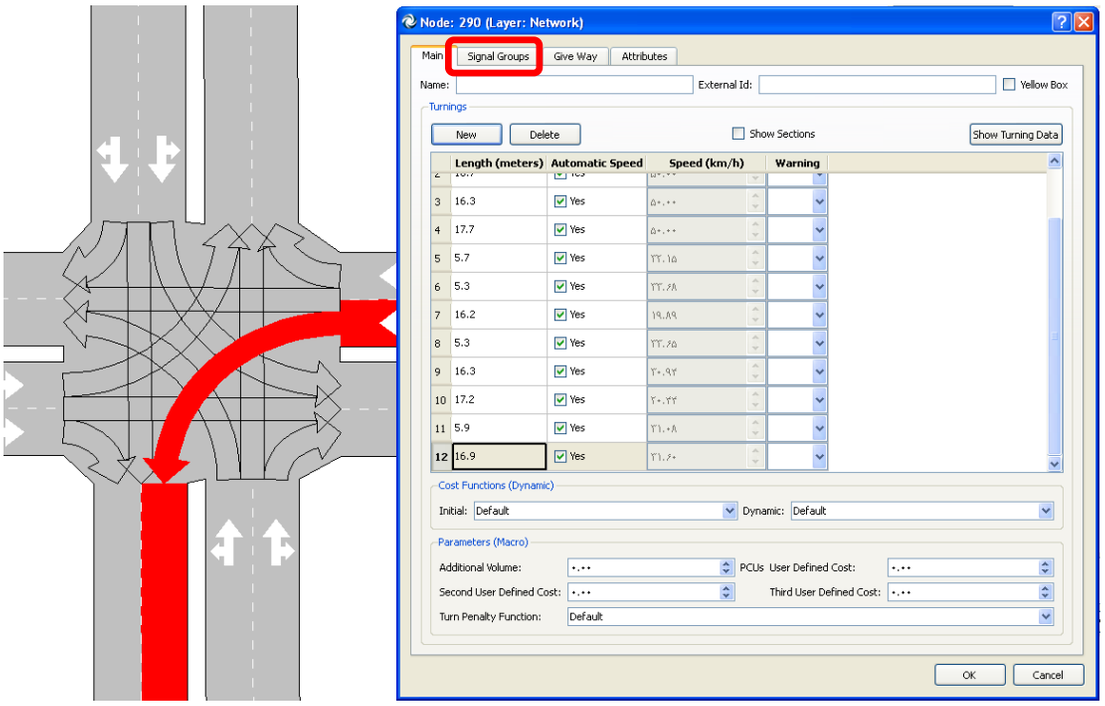
شکل (٦) مسیر دسترسی، انواع وسایل نقلیه تعریف شده در نرم‌افزار Aimsun به صورت پیش فرض و منوی اصلاح و وارد کردن خصوصیات وسایل نقلیه در این نرم‌افزار را نشان می‌دهد.



شکل ۶- منوی وارد کردن داده‌های انواع وسایل نقلیه و مسیر دسترسی به آن در نرم‌افزار Aimsun

۱ -۳ - تعیین نحوه کنترل

پس از رسم تقاطع لازم است کلیه حرکت های گردشی مورد بازبینی قرار گرفته و تعداد خطوط عبوری در دسترس در هر رویکرد بررسی شود. یک نمونه منوی اصلاح خطوط گردشی و ویژگی‌های تقاطع در شکل (۷) ارائه شده است. پس از ساخت فیزیک تقاطع یا گره با دوبار کلیک کردن روی آن می‌توان به این منو دسترسی پیدا کرد.



شکل ۷- منوی اصلاح ویژگی‌های گره‌ها در نرم‌افزار Aimsun

در رسم تقاطعات چراغدار، تقاطعات بدون چراغ و شیبراهه ها کنترل موارد زیر ضروری است؛

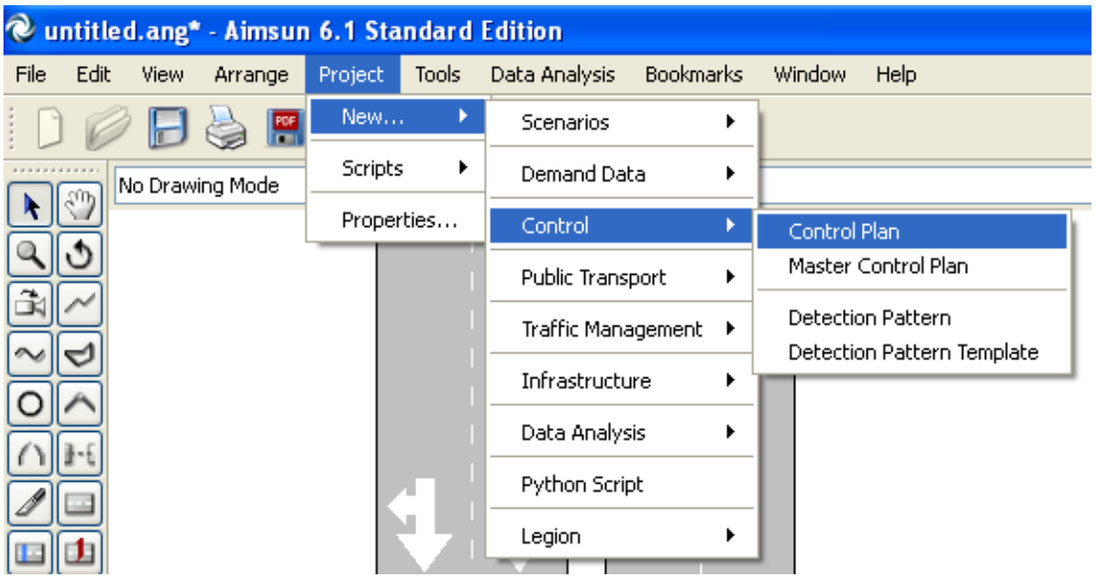
- تقاطع چراغدار
  - نوع چراغ راهنمایی (ثابت، متغیر، نیمه متغیر)،
  - طول چرخه چراغ راهنمایی، تعداد فازها، مدت زمان سبز ، زمان زرد و تمام قرمز هر فاز ،
  - محل خطوط توقف،
  - نحوه گردش ها (مجاز و غیرمجاز و همچنین شعاع و اولویت عبور آنها).
- تقاطع بدون چراغ
  - اولویت های عبور،

- نحوه گردش،
- محل خطوط توقف و محل های واقعی انجام توقف ها.

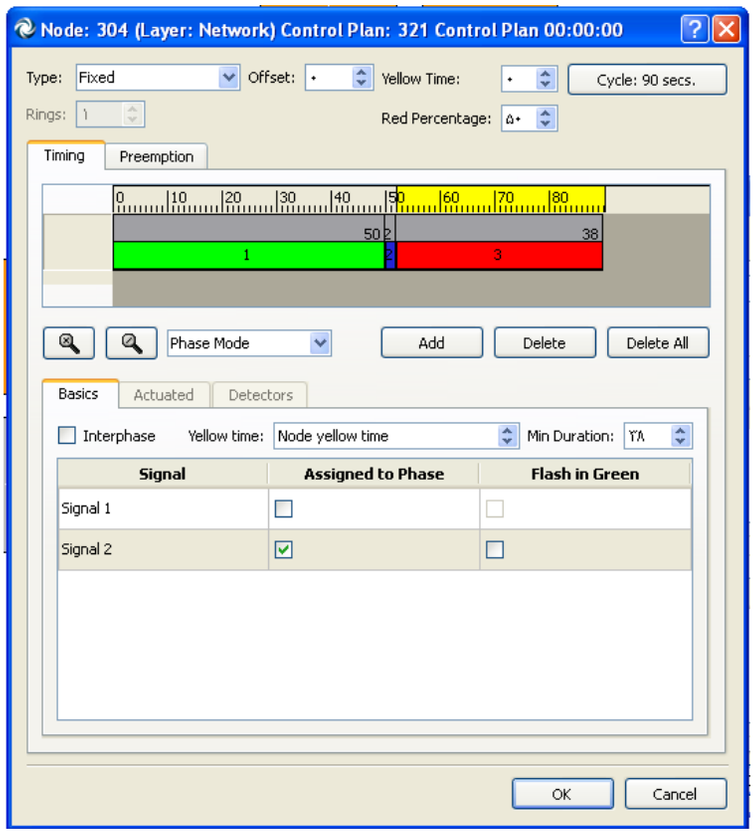
- شیبراهه ها

- نحوه کنترل شیبراهه و پارامترهای مربوط به آن،
- محل توقف،
- محل شناساگر.

پس از ترسیم تقاطع یا شیبراهه ممکن است کنترل به وسیله چراغ روی آنها به عمل آید. برای این‌کار نخست باید حرکاتی را که در یک فاز انجام می‌شوند در یک گروه قرار داد. این کار از طریق زبانه گروه چراغ که در شکل (۷) درون کادر قرمز رنگ قرار گرفته است انجام می‌شود. پس از آن از منویی مطابق شکل (۸) که مسیر دسترسی به آن هم در همان شکل نشان داده شده است، باید چراغ راهنمایی به مدل اضافه شود. تنظیمات چراغ در صفحه‌ای مطابق شکل (۹) انجام می‌شود.



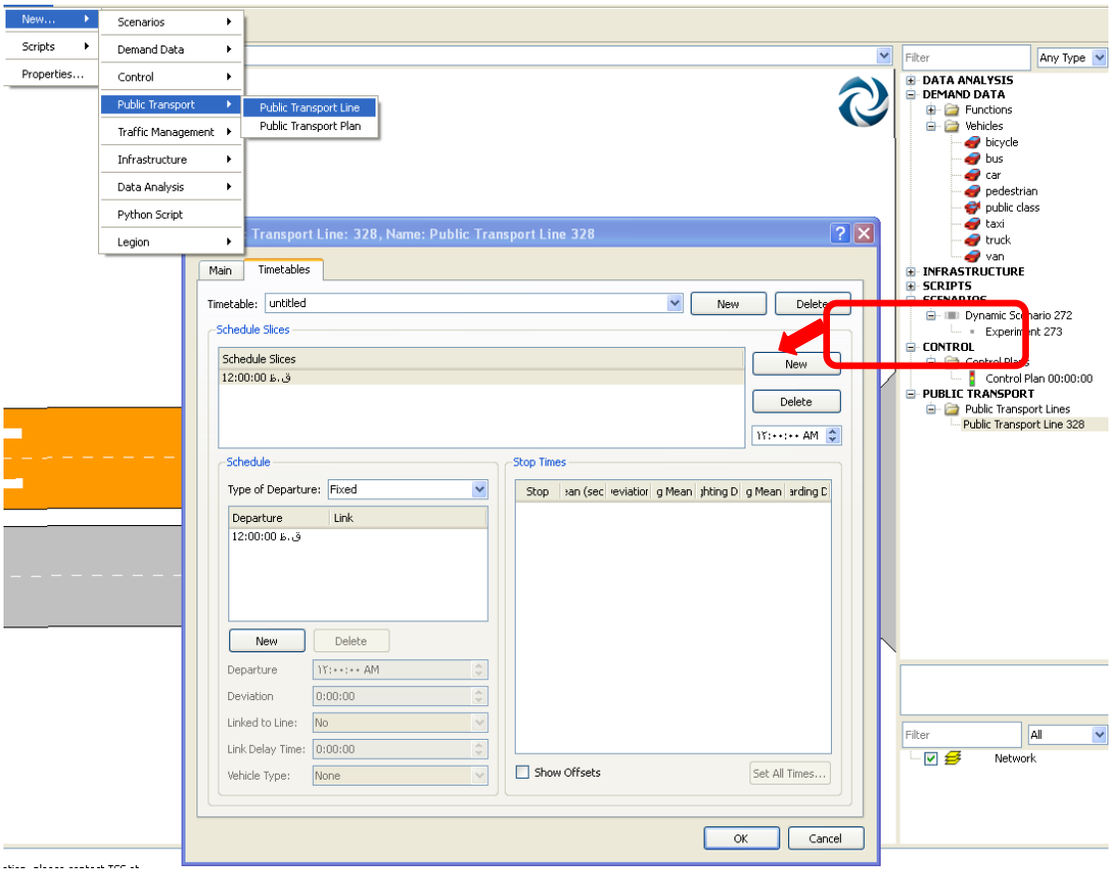
شکل ۸ - منوی وارد کردن داده‌های کنترل تقاطع و مسیر دسترسی به آن در نرم‌افزار Aimsun



شکل ۹- منوی اصلاح ویژگی‌های تقاطع چراغدار در نرم‌افزار Aimsun

۱ -۴- حمل و نقل همگانی

در آخرین گام از ساخت شبکه، ایستگاه ها و مسیرهای حمل ونقل همگانی مشخص می گردد. ویرایش شبکه بعد از این مرحله ممکن است بر روی مسیرهای اتوبوس ها و موقعیت ایستگاه ها تأثیرگذار باشد. شکل (۱۰) نشان می‌دهد چگونه می‌توان در نرم‌افزار Aimsun یک مسیر حمل‌ونقل همگانی ایجاد کرد و جدول زمان‌بندی حرکت وسایل نقلیه در مسیر را چگونه می‌توان تعریف نمود.



شکل ۱۰ - مسیر ایجاد خط حمل‌ونقل همگانی و منوی وارد کردن داده‌های مربوط به آن در نرم‌افزار Aimsun

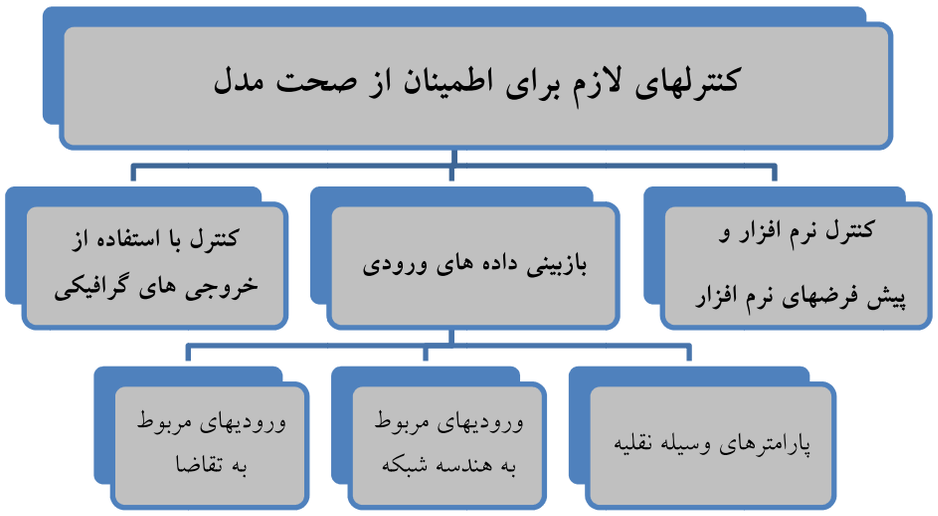
۱ -۵ - تعیین سناریوها

پنجمین مرحله تعیین سناریوها است. در بسیاری از موارد با توجه به هدف شبیه‌سازی لازم است که سناریوهای مختلفی با هم مقایسه شوند و سناریویی که بهترین نتایج را به دست می‌دهد برای اجرا انتخاب شود. علاوه بر آن می‌توان برای بعضی از رویدادهای محتمل اما نادر، از پیش چاره اندیشی کرد. برای مثال برای مدیریت رویدادهایی از قبیل بروز حادثه و انسداد می‌توان وقوع آنها را شبیه‌سازی کرده و راهکاری را برای به حداقل رساندن تبعات آن تهیه کرد.

۲ - کنترل خطاهای مدل

پس از ساخت شبکه، لازم است شبکه ساخته شده مورد بازبینی قرار گیرد تا اشتباه‌های احتمالی در همین مرحله شناسایی و برطرف شوند. برای مثال دقت شود که صف مجازی (غیرواقعی) در ورودی‌ها تشکیل نشود، گردش‌ها به صورت صحیح انجام شود، انسدادهای موضعی و غیرواقعی صورت نگیرد و تعداد خودروهای گمشده[۱] (وسایل نقلیه ای که مسیر خود را از دست می‌دهند) زیاد نباشد.

موفقیت فرآیندهای کالیبراسیون و اعتبارسنجی به کنترل‌هایی که در این مرحله صورت می‌گیرد وابسته است. تذکر این نکته لازم است که فرآیند بازبینی مدل برای شناسایی اشتباه‌های مربوط به مرحله ساخت شبکه در نرم‌افزار بستگی دارد. بررسی خطا شامل بازبینی شبکه ساخته شده، تقاضای وارد شده و مقادیر پیش فرض پارامترها در نرم‌افزار شبیه‌ساز است. به طور کلی می‌توان کنترل‌های لازم را به سه دسته کنترل نرم‌افزار، بازبینی داده‌های ورودی و کنترل با استفاده از خروجی‌های گرافیکی تقسیم کرد. شکل (۱۱) سه دسته مذکور را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱- کنترل صحت مدل

منظور از کنترل خطاهای نرم‌افزار، در نظر گرفتن این واقعیت است که Aimsun نیز مانند هر نرم‌افزار دیگری

[۱] Lost Vehicles

دارای نواقصی است و در مواردی عملکرد مناسبی ندارد. توجه به این امر ضروری است که این نکته راجع به نرم‌افزاری است که با طی روندی منطقی برای مطالعه مورد نظر انتخاب شده است. برای حل این دسته از موارد، با توجه به اینکه شرکت‌های سازنده نرم‌افزار به طور مداوم در حال تلاش برای کاهش نواقص و بهبود عملکرد نرم‌افزارهای خود هستند، توصیه می‌شود که مدلساز به طور منظم به پایگاه اینترنتی شرکت سازنده نرم‌افزار مراجعه نماید و با نماینده شرکت سازنده که ارائه خدمات پشتیبانی را بر عهده دارد در تماس باشد. با مراجعه به پایگاه اینترنتی تولیدکننده نرم‌افزار، کاربر با سوالات مطرح شده توسط دیگر کاربران و توضیحات ارائه شده آشنا می‌شود. همچنین در این پایگاه‌ها در بعضی از مواقع خطاهای شناخته شده نرم‌افزار و نحوه بر طرف کردن آن نیز ارائه شده است. علاوه بر آن، پیش فرض‌های نرم‌افزار باید با توجه به شرایط پروژه کنترل شده و اطمینان حاصل شود که این پیش فرض‌ها به خوبی نمایانگر وضعیت محدوده مورد مدل‌سازی از جمله مشخصات رفتاری رانندگان در آن محدوده باشد.

دو دسته بازبینی داده‌های ورودی و کنترل با استفاده از خروجی‌های گرافیکی نیازمند توضیح بیشتری هستند. در ادامه راجع به این دو مورد توضیحات کامل‌تری ارائه خواهد شد.

۲ -۱ - بازبینی داده‌های ورودی

بازبینی داده‌های ورودی شامل بازبینی پارامترهای وسیله نقلیه، بازبینی هندسه شبکه (شامل تقاطعات و کمان‌ها) و ورودی‌های مربوط به تقاضا است. در ادامه برای هر یک از سرفصل‌های اشاره شده، موارد مهم ذکر شده‌اند و نکاتی برای انجام کنترل پیشنهاد شده است. کنترل هندسه و تقاضای شبکه شامل موارد زیر است :

الف) کنترل هندسه

- کنترل اتصال و پیوستگی در شبکه معابر،
- بازبینی وجود همه تقاطعات و میادین مهم شبکه در مدل،
- بازبینی جهت حرکتی معابر،
- کنترل سرعت مجاز در کل کمان‌ها،
- بازبینی نحوه کنترل تقاطع (چراغدار، بدون چراغ)،
- کنترل تعداد خطوط عبور،
- کنترل شعاع‌های گردش و سرعت‌های گردش،
- کنترل نحوه گردش (خطوط مجاز گردش از ورودی به خروجی در هر تقاطع)،
- محل پارک،

-کنترل خطوط ویژه،
-کنترل نواحی ممنوعیت تغییر خط.

به طور کلی برای اصلاح خطاهای مربوط به هندسه شبکه توصیه می‌شود که همه پیغام‌های نرم‌افزار به دقت مطالعه شوند. برخی از نرم‌افزارها مانند Aimsun ابزارهایی برای کنترل هندسه شبکه مانند برقرار بودن پیوستگی در طول شبکه را دارند که می‌توان از این ابزارها استفاده کرد. توجه به این پیغام‌ها در یافتن محدوده رخ دادن خطا تأثیر بسزایی دارد. در بازبینی هندسه شبکه باید کمان‌ها و گره‌ها نیز مورد بازبینی قرار گیرند. از آنجا که موارد مورد نیاز برای این بازبینی، همان‌هایی هستند که در بخش‌های (۱-۱-۱) و (۱-۱-۳) به آنها اشاره شد، در اینجا برای رعایت اختصار از تکرار مطالب مذکور خودداری می‌شود.

ب) کنترل تقاضا

-کنترل صحت ترکیب خودروهای ورودی و احجام در هر گره یا ناحیه،
-کنترل ترکیب درست حرکات گردشی از کل حجم ورودی،
-کنترل مبدأ و مقصد سفرهای شبکه،
-کنترل اتصال صحیح از مراکز ناحیه‌ای به کمان‌ها،
-اطمینان از ورود احجام به شبکه (عدم وجود صف‌های مجازی)،
-اطمینان از عدم وجود درصد بالای وسایل نقلیه سرگردان یا گمشده،
-اطمینان از تعریف درست مسیرها (برای تخصیص در زمان استفاده از ماتریس تقاضا)،
-کنترل کلی صحت تخصیص در هنگام استفاده از ماتریس تقاضا.

برای کنترل تقاضا، علاوه بر موارد اشاره شده در بالا، بازبینی موارد بخش (۱-۱-۲) نیز ضروری است. در اینجا برای رعایت اختصار از تکرار مطالب مذکور خودداری می‌شود.

ج) بازبینی پارامترهای وسیله نقلیه

پارامترهای وسیله نقلیه شامل ترکیب خودروها، ابعاد خودرو و خصوصیات عملکردی خودروها (مانند حداکثر شتاب کاهشی و غیره) است. نرم‌افزارهای شبیه‌ساز، مقادیر پیش فرضی را برای ترکیب، ابعاد و خصوصیات عملکردی وسایل نقلیه ارائه می‌نمایند. این مقادیر معمولاً با استفاده از اطلاعات موجود در کشور سازنده نرم‌افزار شبیه‌ساز تهیه می‌گردد. نرم‌افزار Aimsun در کشور اسپانیا تولید شده است. ویژگی‌های خودروهای پیش‌فرض در این نرم‌افزار مطابق شرایط کشور اسپانیا و اتحادیه اروپا تعریف شده است که مسلماً با خودروهای موجود در ایران تفاوت چشمگیری دارد، لذا این مقادیر پیش‌فرض می‌بایست مورد بازبینی و اصلاح قرار گیرد. در این مرحله مقادیر

پیش فرض ارائه شده در نرم‌افزار مورد بازبینی قرار گرفته و در صورت لزوم مقادیر پیش فرض مربوط به خودروها با مقادیر واقعی (خودروهای محدوده مورد مطالعه) جایگزین می‌شود. این مقادیر هم شامل ابعاد و دسته‌بندی خودروها و هم شامل مشخصات عملکردی (سرعت، شتاب و غیره) آنها می‌شود.

در شبیه‌سازی باید اطلاعات مرتبط با ناوگان (ترکیب وسایل نقلیه، ابعاد و قابلیت‌های عملکردی) مورد استفاده قرار گیرد. این اطلاعات باید از مراجع ذیصلاح تهیه گردد. همچنین برخی از این اطلاعات را می‌توان از کارخانه‌های خودروسازی بدست آورد.

۲ -۲ - کنترل با استفاده از خروجی‌های گرافیکی

یکی از راه‌های آسان و سریع برای کنترل مدل و پی بردن به خطاهای احتمالی، استفاده از خروجی‌های گرافیکی است. برای مثال در صورتی که حمل‌ونقل همگانی در مدل وجود داشته باشد، می‌توان با نگاه کردن به خروجی‌های گرافیکی از توقف اتوبوس در ایستگاه‌ها مطمئن شد. تعدادی از مهم‌ترین اشکال‌هایی که در خروجی‌های گرافیکی ظاهر می‌شوند عبارتند از:

-عدم حرکت وسایل نقلیه در قسمتی از مسیر،
-عدم توقف اتوبوس‌ها در ایستگاه‌ها،
-عدم وجود وسایل نقلیه سنگین در قسمتی از شبکه،
-حرکات گردشی با شعاع غیرواقعی،
-عدم تغییر خط در مقاطعی که در واقع میزان تغییر خط قابل توجه است.

یکی از فنونی که می‌توان برای کنترل و اصلاح شبکه به کار برد، تعقیب خودروها است. برای این منظور شبیه‌سازی با حجم بسیار اندک اجرا شده و تعدادی خودرو در کل شبکه پایه تعقیب می‌شوند تا موقعیت‌هایی که سرعت خودرو به طور ناگهانی کاهش می‌یابد مشاهده شود. این موقعیت‌ها معمولاً مکان‌هایی هستند که خطاهای کوچک در آنها، باعث ایجاد اختلال در حرکت خودرو در آن معبر یا تقاطع می‌شود. از دیگر قابلیت‌های مرتبط با گرافیک، مشاهده مسیر حرکت یک خودروی مشخص و همچنین تعیین خودروی گمشده در بعضی از نرم‌افزارها است.

۳- کالیبراسیون

نرم‌افزارهای خردنگر شبیه‌ساز، خودروها را با استفاده از مدل‌های پیروی خودرو، تغییر خط، قبول فرصت و رفتار در تقاطع، در شبکه تعریف شده شبیه‌سازی می‌کنند. این مدل‌ها، پارامترهای قابل تنظیمی را در اختیار کاربر قرار می‌دهند. توانایی شبیه سازها در باز تولید رفتارهای رانندگی و شاخص‌های عملکرد ترافیکی محل مورد مطالعه، به تنظیم درست این پارامترها وابسته است. به بیان ساده‌تر، پیش از آن که نرم‌افزار شبیه‌ساز بتواند به عنوان ابزار تحلیل ترافیک مورد استفاده قرار گیرد، باید کالیبره شود. فرآیند تنظیم پارامترها، کالیبراسیون یا پرداخت نامیده می‌شود [۱]. در تمام پروژه‌های شبیه‌سازی، مدلساز برای اطمینان از اینکه مدل به طور صحیحی عملکرد ترافیک را پیش‌بینی می‌کند، ملزم است مرحله‌ای با نام کالیبراسیون را انجام دهد. این قاعده کلی در خصوص نرم‌افزار Aimsun هم بر قرار است.

منظور از کالیبراسیون، "تنظیم پارامترهای مدل است؛ به گونه‌ای که باعث بهبود توانایی مدل در شبیه‌سازی کردن خصوصیات محلی[۱] ترافیک و رفتار رانندگان شود [۲]". کالیبراسیون روی قسمت‌های مختلف مدل اجرا می‌گردد. فرآیند کامل کالیبراسیون نیازمند حل یک مسئله بهینه‌سازی ریاضی است که تابع هدف آن، حداقل کردن اختلاف بین مقادیر مشاهده شده بعضی پارامترها با مقادیر شبیه‌سازی است. برای نوشتن این مسئله و حل آن نیاز به دانش کافی برای انتخاب تابع هدف و محدودیت‌ها و مهم‌تر از هر دوی آنها، روش حل مسئله بهینه‌سازی است. در عین حال لازم است مدلساز در ذهن خود برخی از پارامترهای کنترلی را به مقادیر مشاهده شده تا حد امکان نزدیک نماید.

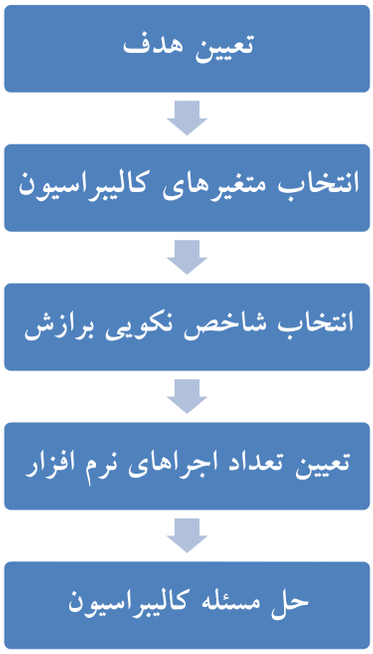
برای کالیبره کردن مدل ساخته شده در یک خردنگر شبیه‌ساز، پیمودن روند گام به گام زیر توصیه می‌شود. گام‌های این روند عبارتند از تعیین هدف، انتخاب پارامترهای کالیبراسیون و محدوده قابل قبول هر یک، انتخاب شاخص نکویی برازش[۲]، تعیین تعداد اجراهای نرم‌افزار و پس از آن ورود به فرآیند تکرار برای تنظیم پارامترهای مدل.

شکل (۱۲) مراحل روش یاد شده را نشان می‌دهد. از این پس هر جا در این متن به "کالیبراسیون" اشاره شود، منظور، گام آخر این روند، یعنی فرآیند تکرار برای تنظیم پارامترهای مدل است.

---

۱. Local

۲ شاخص نکویی برازش به روش‌های ریاضی گفته می‌شود که مقدار خطای شبیه‌سازی را بر اساس اختلاف نتایج مدل و مشاهدات تعیین می‌کند.



شکل ۱۲- روند تنظیم پارامترها و کالیبره کردن مدل

۳ -۱ - تعیین هدف کالیبراسیون

موضوع تعیین اهداف شبیه‌سازی و لزوم توجه جدی به آن از مهم‌ترین مواردی است که قبل از آغاز آمارگیری باید برای کارفرما و تحلیل‌گر به طور واضح مشخص شود. قرار دادن تعیین هدف در گام اول کالیبراسیون برای تأکید دوباره بر اهمیت مشخص بودن اهداف پروژه است. مشخص و واضح بودن هدف مطالعه به گام‌های بعدی جهت می‌دهد و به سهولت انتخاب پارامترها، شاخص‌های نکویی برازش، شاخص‌های عملکردی و غیره کمک می‌کند.

به‌دلیل اینکه هیچ مدلی نمی‌تواند به طور دقیق تمام شرایط ممکن را در شبیه‌سازی لحاظ کند، کالیبراسیون، مرحله بسیار با اهمیت و حساسی است. با وجود آنکه نرم‌افزارهایی وجود دارند که با جزئیات تمام به شبیه‌سازی می‌پردازند، ولی آنها نیز فقط شامل درصدی از شرایط دنیای واقعی هستند.

هر نرم‌افزار شبیه‌ساز ترافیک، مجموعه‌ای از پارامترهای قابل تنظیم توسط کاربر را برای کالیبراسیون مدل نسبت به شرایط محلی در اختیار کاربر قرار می‌دهد. بنابراین هدف کالیبراسیون یافتن مجموعه مقادیر پارامترها است به طوری که به بهترین وضعیت، شرایط ترافیک محل را شبیه‌سازی کند.

برای راحتی کاربر، تولید کنندگان نرم‌افزار مقادیر پیش فرضی را برای پارامترهای مدل پیشنهاد کرده‌اند. اما در شرایط بسیار محدودی می‌توان با این مقادیر شرایط ترافیک محل را شبیه‌سازی کرد. کاربر همواره باید برخی آزمون‌های کالیبراسیون را انجام دهد تا اطمینان حاصل کند که مدل ایجاد شده به درستی وضعیت و رفتار ترافیک محل را شبیه‌سازی می‌کند.

۳ -۲ - انتخاب متغیرهای کالیبراسیون

همان‌طور که پیش از این نیز اشاره شد، کالیبراسیون یک مدل در واقع حل یک مسئله بهینه‌سازی است که در آن، هدف کمینه سازی اختلاف مقادیر مشاهده و برآورد شده یک یا چند متغیر است. لذا، انتخاب متغیرها به منزله شناسایی صورت این مسئله است. متغیرهای یک نرم‌افزار خردنگر شبیه‌ساز را می‌توان به پنج دسته زیر تقسیم نمود.

الف) متغیرهایی که به آسانی و به طور مستقیم می‌توان آنها را اندازه‌گیری کرد؛

ب) متغیرهایی که مقادیر آنها را می‌توان از مطالعات پیشین، که با پروژه مورد نظر شباهت کافی دارند، استخراج کرد؛

ج) متغیرهایی که اثرشان بر خروجی‌های مربوط به پروژه، ناچیز و قابل صرف‌نظر کردن است؛

د) متغیرهایی که با توجه به داده‌های ورودی موجود قابل دسترس و یا مناسب برای تنظیم نیستند؛

ه) متغیرهایی که با کنار گذاشتن چهار دسته بالا از مجموعه متغیرهای شبیه‌ساز باقی می‌مانند.

هر چه تعداد متغیرهای مسئله بیشتر باشند، انتظار می‌رود که جنبه‌های بیشتری از واقعیت پوشش داده شوند. بنابراین توصیه می‌شود که مدلساز تلاش کند که تا جایی که ممکن است تعداد بیشتری از متغیرهای دسته "ه" را در مجموعه متغیرهایی که برای کالیبراسیون در نظر می‌گیرد وارد کند. البته این توصیه به معنای وارد کردن "همه" متغیرهای دسته "ه" در مجموعه متغیرهای مورد نظر نیست. حد بالای تعداد متغیرها را دو نکته معین می‌کند. اول اینکه شخص مدلساز بتواند متغیرها را بررسی کند و دیگر آنکه بتوان محاسبات و تکرارهای لازم برای حل مسئله را انجام دهد، یعنی زمان لازم برای انجام کار خیلی طولانی نشود.

متغیرهای دسته "د" نیازمند توضیح بیشتری هستند که در ادامه با یک مثال به آنها پرداخته خواهد شد. به عنوان مثال، مدل‌سازی مربوط به معبر یا شبکه‌ای باشد که تردد اتوبوس‌ها در آن صورت نمی‌گیرد. در این حالت متغیرهایی مثل حداکثر شتاب اتوبوس در دسته "د" قرار می‌گیرند [۳].

❖ **توجه: در صورتی که تعداد متغیرهای مورد کالیبراسیون کمتر یا مساوی ۳ متغیر**

باشد، انتخاب کالیبراسیون دستی بر کالیبراسیون رایانه‌ای اولویت دارد و در غیر این صورت، بهتر است که کالیبراسیون رایانه‌ای مورد توجه قرار گیرد.

۳ -۳ - انتخاب شاخص نکویی برازش

انتخاب شاخص نکویی برازش از وظایف مدلساز است. این انتخاب باید با توجه به هدف مطالعه و شاخص‌های عملکردی باشد. گرچه در ادامه این دستورالعمل و در ضمن پیشنهاد فرآیند کالیبراسیون به تعدادی از شاخص‌های عملکردی و شاخص‌های نکویی برازش اشاره خواهد شد، اما باید به این نکته توجه داشت که موارد اشاره شده برای حالات معمولی ذکر شده‌اند. نکته مهم‌تر اینکه مدلساز شخصاً مسئول مدلی است که می‌سازد و در نتیجه باید از قضاوت مهندسی و دانش ریاضی خود برای انتخاب شاخص‌های عملکردی و شاخص‌های نکویی برازش استفاده کند.

برای آشنایی بیشتر با شاخص‌های نکویی برازش، شماری از مشهورترین این شاخص‌ها در جدول (۲) معرفی شده‌اند. در این جدول، x نتیجه شبیه‌سازی، y نتیجه اندازه گیری میدانی، i شماره داده و N تعداد داده‌ها هستند. توضیح جزئیات بیشتر راجع به این شاخص‌ها و مزایا و معایب آنها موضوع این دستورالعمل نیست.

جدول ۲ - بعضی از مشهورترین شاخص‌های نکویی برازش

عنوان شاخص	رابطه
درصد خطا	$\mathbf{PE}=\frac{x_i-y_i}{y_i}$
جمع مربع خطا	$\mathbf{SSE}=\sum(x_i-y_i)^2$
خطای متوسط	$\mathbf{ME}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i-y_i)$
جذر متوسط مربع خطا	$RMSE=\sqrt{\frac{\sum(x_i-y_i)^2}{n}}$
فرم نرمال شده جذر متوسط مربع خطا	$\mathbf{NRMSE}=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{x_i-y_i}{x_i}\right)^2}$
درصد متوسط خطای مطلق	$\mathbf{MAPE}=\frac{1}{n}\sum 100\times\left(\frac{\lvert x_i-y_i\rvert}{y_i}\right)$
آماره تایل سوگرایی	$\mathbf{U_m}=\frac{\mathbf{n}(\bar{y}-\bar{x})^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i-x_i)^2}$
آماره تایل نسبت واریانس	$\mathbf{U_s}=\frac{\mathbf{n}(\sigma_y-\sigma_x)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i-x_i)^2}$
آماره تایل نسبت کوواریانس	$\mathbf{U_c}=\frac{2(1-r)n\sigma_y\sigma_x}{\sum_{i=1}^{n}(y_i-x_i)^2}$
آماره تایل ضریب برابری	$\mathbf{U}=\frac{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i-x_i)}}{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}y_i^2}+\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i^2}}$
ضریب همبستگی	$\mathbf{R^2}=\frac{\sum(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{(n-1)\sigma_x\sigma_y}$

۳ -۴- تعیین تعداد اجراهای نرم‌افزار

نرم‌افزارهای خردنگر شبیه‌ساز در هر اجرا خروجی هایی تولید می کنند که با خروجی‌های اجرای دیگر متفاوت است. بنابراین یک بار اجرای نرم‌افزار برای به دست آوردن خروجی‌هایی که خروجی‌های مدل تلقی شوند و میزان انطباق آنها با واقعیت مورد بررسی قرار گیرد، کافی نیست. برای تعیین تعداد اجرای کافی استفاده از رابطه (۱) پیشنهاد می شود.

$$N_R = \left(\frac{S \times t_{\alpha/2}}{\overline{X} \times \varepsilon} \right)^2 \qquad (۱)$$

در این رابطه N_R تعداد تکرار لازم شبیه‌سازی، S انحراف معیار در خطای شاخص دقت شبیه‌سازی، $\overline{X}$ متوسط شاخص بر اساس روش تعیین شده، ε میزان خطای قابل قبول و $t_{\alpha/2}$ مقدار توزیع t در سطح اطمینان α است.

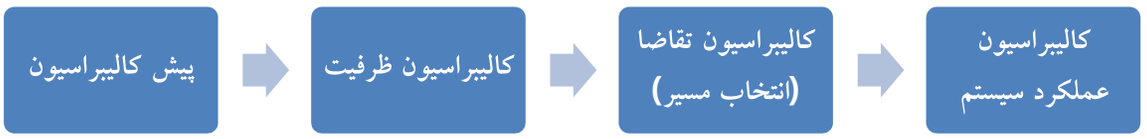
در استفاده از این رابطه باید به سه نکته توجه داشت. نخست اینکه N_R تعداد اجراهای لازم برای یک شاخص عملکردی است و اگر چند شاخص عملکردی مورد توجه باشند باید تعداد تکرار لازم برای هریک از شاخص‌های عملکردی محاسبه شده و بزرگترین مقدار به عنوان تعداد اجراهای مورد نیاز انتخاب شود. نکته دوم اینکه با استفاده از رابطه (۱) اطمینان ایجاد می شود که میانگین یک شاخص عملکردی حاصل از مدل خردنگر شبیه‌ساز با احتمال ۹۵ درصد برابر مقدار مشاهده شده است؛ ولی اگر هدف، مطالعه واریانس یا شاخصی آماری بجز میانگین باشد، این رابطه کمکی نمی‌کند. از طرف دیگر مقادیر میانگین و واریانس پس از چند بار اجرای برنامه قابل برآورد است و مقادیر آنها از قبل مشخص نیست. لذا این رابطه را باید پس از چند بار اجرای نرم‌افزار استفاده کرد و عملاً با استفاده از آن تعداد اجرا را کنترل نمود.

۳ -۵ - استراتژی انجام کالیبراسیون

فرآیند کالیبراسیون شامل بررسی و تنظیم چندین پارامتر است که هر کدام به طریقی روی مدل تأثیر می‌گذارند و وابستگی زیادی نیز می‌توانند با هم داشته باشند، به همین دلیل ممکن است تحلیل‌گر در یک روند زمان‌بر و بی نتیجه‌ای گرفتار شود. برای جلوگیری از این اتفاق، کالیبراسیون از طریق چندین گام منطقی و متوالی انجام می‌پذیرد. جهت کاربردی کردن روند کالیبراسیون، متغیرها در دو گروه به شرح زیر تقسیم می‌شود:

- گروه اول: پارامترهایی که تحلیل‌گر از آنها مطمئن بوده و نمی‌خواهد آنها را تعدیل یا تنظیم نماید.
- گروه دوم: پارامترهایی که به‌دلیل آنکه تحلیل‌گر از آنها مطمئن نیست، باید تعدیل شوند.

پارامترهایی که در گروه دوم قرار می‌گیرند، به دو دسته تقسیم می‌شوند؛ دسته اول پارامترهایی که به طور مستقیم بر ظرفیت اثر می‌گذارند مانند میانگین سرفاصله و دسته دوم پارامترهایی که به طور مستقیم بر روی انتخاب مسیر مانند زمان سفر اثر دارند. روند کالیبراسیون نخست می‌بایست برای پارامترهای دسته اول و سپس برای پارامترهای دسته دوم انجام شود. در یک دسته‌بندی دیگر، پارامترهای کالیبراسیون به دو گروه تقسیم می‌شوند. اول پارامترهایی که در شبیه‌سازی یک تأثیر کلی و جامع دارند و دوم پارامترهایی که بر شبیه‌سازی تأثیر مقطعی و محلی دارند. در ابتدا پارامترهای کلی و پس از آن پارامترهای محلی کالیبره می‌شوند. معمولاً طی کردن چهار گام برای کالیبراسیون توصیه می‌شود. شکل (۱۳) گام‌های لازم جهت کالیبراسیون مدل‌های شبیه‌ساز را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳ - گام های لازم جهت کالیبراسیون مدل های شبیه ساز خردنگر [۲]

در ادامه توضیح مختصر مراحل استراتژی کاربردی جهت انجام کالیبراسیون ارائه می‌گردد:

- گام اول، اصلاح موارد مربوط به طرح هندسی: در این مرحله شبکه با استفاده از احجام واقعی بارگذاری می‌شود. در صورتی که ابعاد شبکه کوچک باشد می‌توان با ایجاد تغییراتی در طرح هندسی (از جمله شعاع‌های گردش یا سرعت حرکت) عملکرد مدل را بهبود داد.

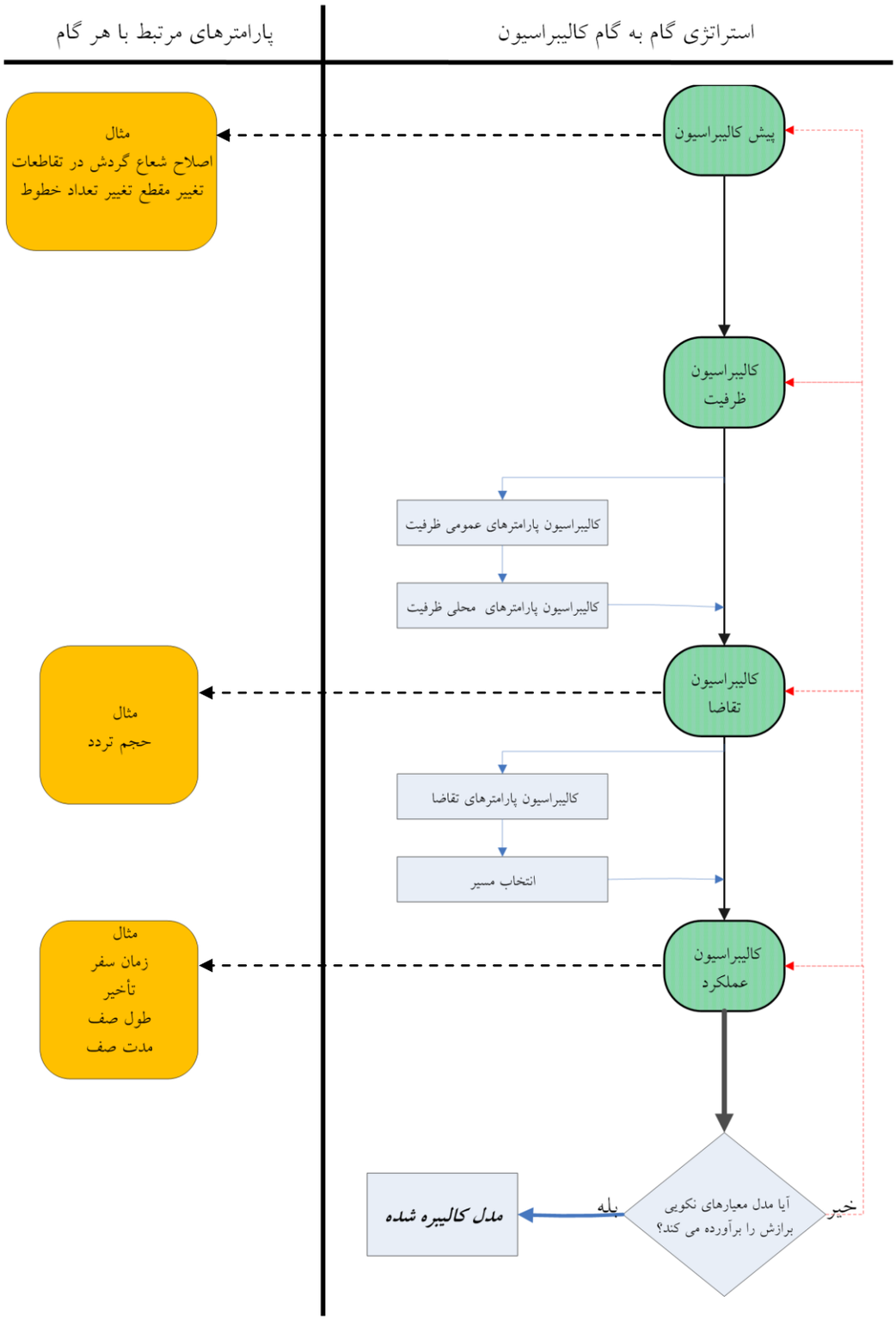
- گام دوم، کالیبراسیون ظرفیت: انجام فرآیند کالیبراسیون مقدماتی جهت شناسایی مقادیر متغیرهای قابل تنظیمی از ظرفیت که باعث می‌شود مدل شبیه‌سازی شده ظرفیت ترافیکی مشاهده شده را بهتر نشان دهد. در این مرحله ابتدا کالیبراسیون عمومی صورت گرفته و به دنبال آن تنظیم متغیرهایی از کمان‌ها که مرتبط با ظرفیت است، صورت می‌پذیرد. در این گام ظرفیت همواره ثابت نگه داشته می‌شود و تنها متغیرهای موثر بر ظرفیت (مثل زمان واکنش) کالیبره می‌شوند.

- گام سوم، کالیبراسیون تخصیص تقاضا (انتخاب مسیر): این مرحله تنها در حالتی مطرح است که از ماتریس برای اختصاص تقاضای ترافیک در شبکه استفاده شود. در این گام، دومین مرحله از فرآیند کالیبراسیون صورت

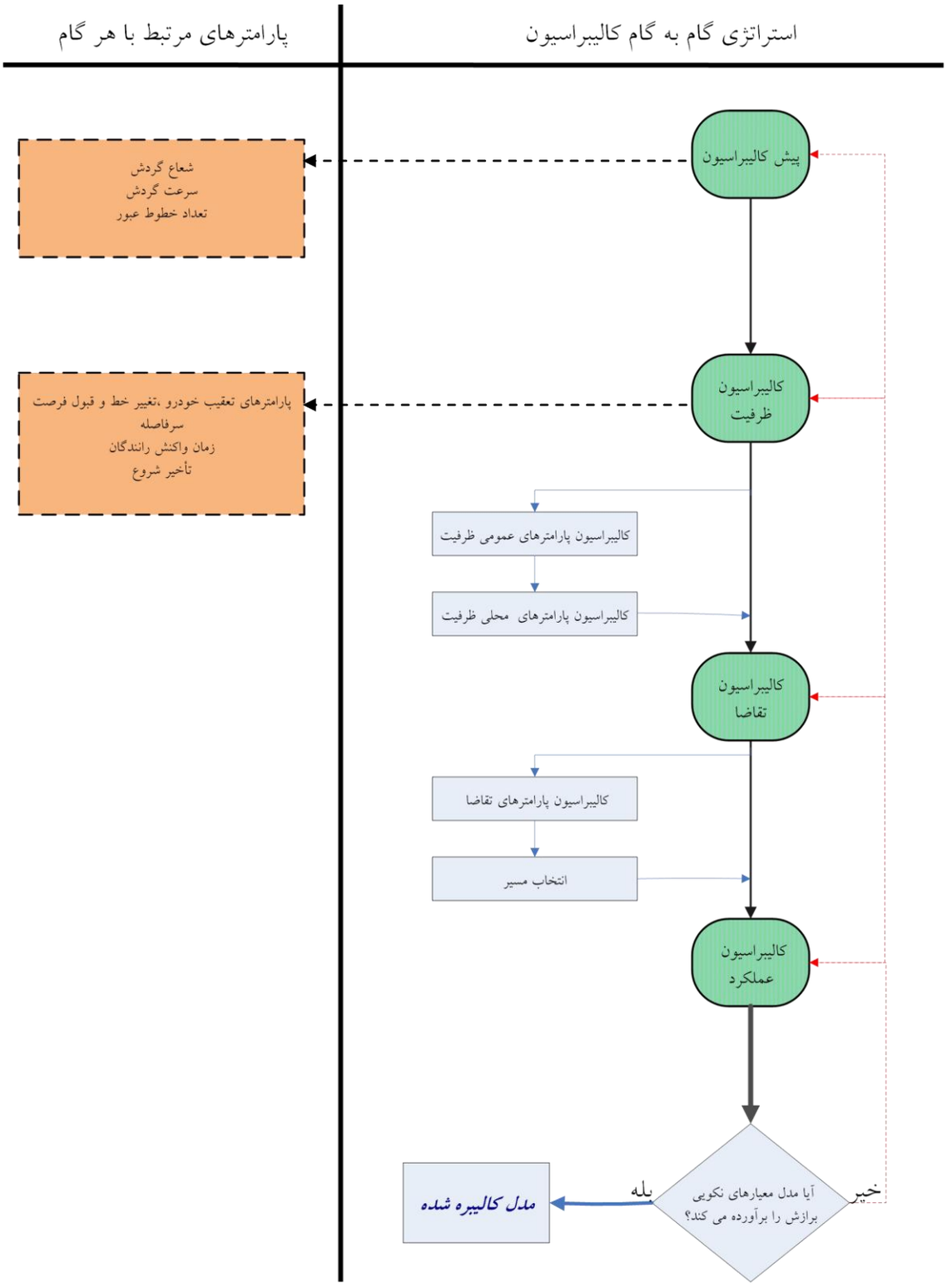
می‌گیرد. با این تفاوت که در این مرحله پارامترهای مربوط به تقاضا و انتخاب مسیر، متغیر در نظر گرفته شده و پارامترهای اصلاح شده در گام قبلی ثابت نگه داشته می‌شوند. در این مرحله تنها آن دسته از پارامترهایی که به‌صورت خاص بر روی تقاضا و انتخاب مسیر موثر هستند، کالیبره می‌شوند. همانند گام قبلی، این گام نیز در دو مرحله صورت می‌گیرد. در مرحله اول پارامترهای عمومی مربوط به انتخاب مسیر و تقاضا و در گام بعدی پارامترهای هر یک از کمان‌ها و گره‌های موثر (مثل هزینه هر کمان) تنظیم می‌شوند.

- گام چهارم، کالیبراسیون عملکرد: در این گام، مروری کلی بر روی نتایج مدل به منظور اطمینان از عملکرد نزدیک به واقعیت مدل شبیه‌سازی شده صورت می‌گیرد.

شکل (١٤) مراحل کالیبراسیون اشاره شده در بالا را نشان می‌دهد، در شکل (١٥) نیز بعضی از پارامترهای مهم که در هر مرحله کالیبره می‌شوند نشان داده شده است.

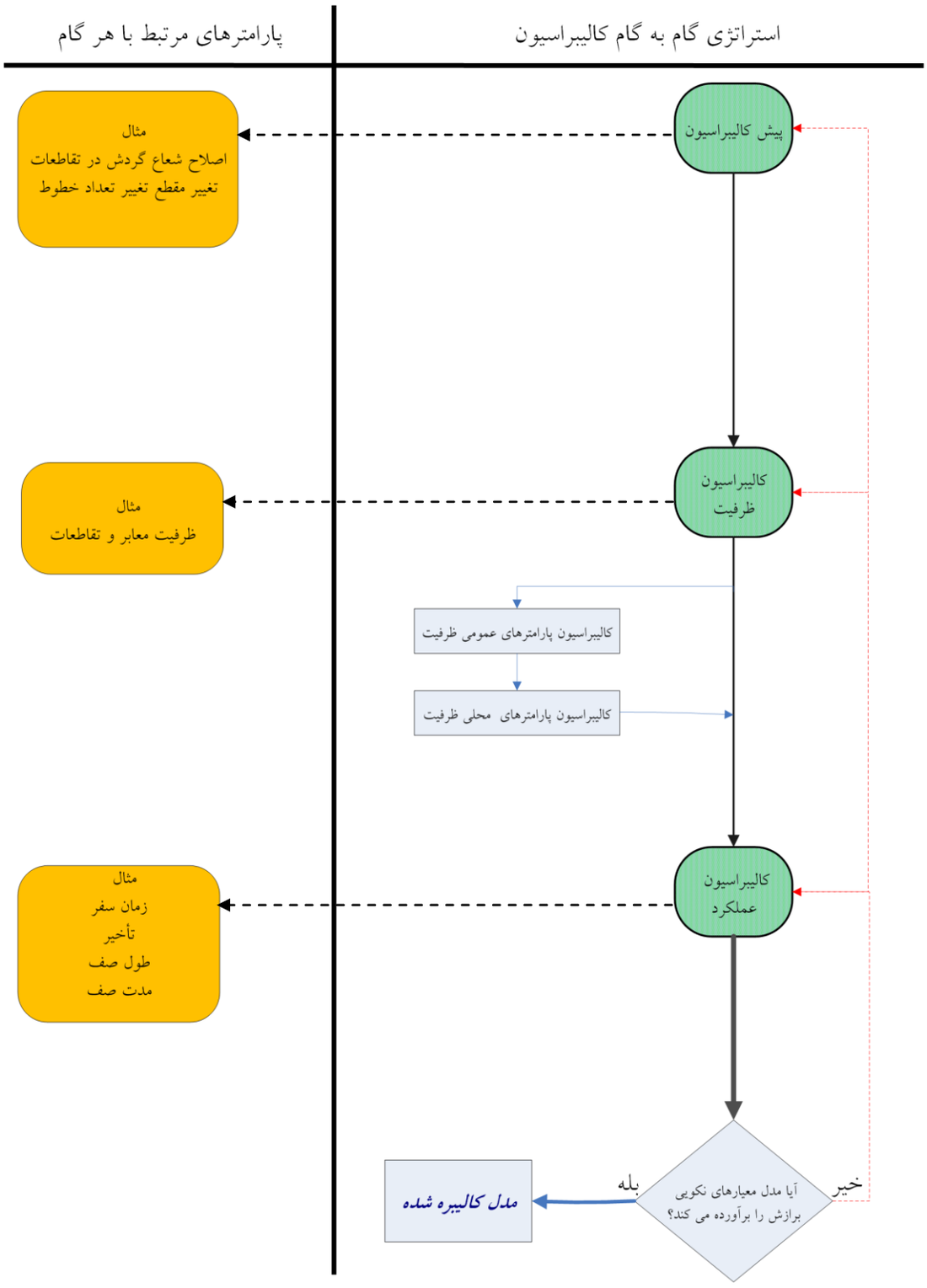


شکل ۱۴– مراحل کالیبراسیون در حالت کلی



شکل ۱۵– بعضی از پارامترهای مورد توجه در هر یک از مراحل کالیبراسیون

از آنجا که ممکن است در بعضی موارد خاص، کالیبراسیون پارامترهای انتخاب مسیر به برآورده شدن هدف پروژه کمکی نکند، برای این حالات خاص، روند جایگزین پیشنهاد شده که در شکل (١٦) نشان داده شده است. تفاوت این دو روند در وجود یا عدم وجود مرحله کالیبراسیون تقاضا خلاصه می‌شود. در ادامه، هر یک از مراحل فوق به صورت تفصیلی مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۱۶– مراحل کالیبراسیون برای حالت خاص(بدون نیاز به کالیبره کردن تخصیص تقاضا)

۳ -۵ -۱ - گام اول: پیش کالیبراسیون

در این مرحله، شبکه با استفاده از احجام واقعی بارگذاری می‌شود. در صورتی که ابعاد شبکه کوچک باشد می‌توان با ایجاد تغییراتی در طرح هندسی، عملکرد مدل را بهبود داد. قابل توجه است که این مرحله از بازبینی شبکه متفاوت است. در بازبینی شبکه درست وارد کردن اطلاعات مربوط به مواردی که راجع به آنها اطمینان وجود دارد، مورد توجه است؛ در حالیکه در پیش کالیبراسیون، تغییراتی در طرح هندسی مدل اعمال می‌شود تا مواردی که راجع به آنها اطمینان کمتری وجود دارد (مانند سرعت عبوراز مقاطع متأثر از مواردی مانند سطح روسازی مسیر و یا شعاع گردش خودروها و متناسب با آن سرعت گردش) اصلاح شود.

۳ -۵ -۲ - گام دوم: کالیبراسیون ظرفیت

در گام دوم فرآیند کالیبراسیون، هدف پیدا کردن مقادیر مناسب برای دسته‌ای از پارامترها است که منجر به نزدیکی هرچه بیشتر مدل شبیه‌سازی شده با برداشت‌های میدانی صورت گرفته از ظرفیت می‌شود (در صورتی که اندازه‌گیری‌های میدانی وجود نداشته باشد HCM می‌تواند به عنوان یک منبع جایگزین مورد استفاده قرار گیرد). این گام برای کالیبراسیون بسیار مهم می‌باشد زیرا ظرفیت نقش مهمی در عملکرد ترافیک دارد.

کالیبراسیون ظرفیت را می توان به دو گام متوالی کالیبراسیون پارامترهای کلی[۱] و محلی[۲] (جزئی) تفکیک کرد. برای کالیبراسیون ظرفیت لازم است که ابتدا داده‌های میدانی مربوط به ظرفیت برای انجام تحلیل‌ها و مقایسه‌ها آماده شوند، سپس تخمین مدل شبیه‌ساز از ظرفیت مشخص شود و بعد از آن از بین پارامترهای کالیبراسیون انتخاب شده پارامترهای مربوط به ظرفیت جدا شوند. با مشخص شدن پارامترهای کالیبراسیون می‌توان مسئله بهینه‌سازی را حل کرد. گام بعد از کالیبره شدن پارامترهای عمومی ظرفیت، کالیبره کردن پارامترهای ظرفیت ویژه کمان‌ها است. در ادامه موارد ذکر شده به طور مفصل توضیح داده می‌شود.

۳ -۵ -۲ -۱ - جمع‌آوری داده‌های میدانی ظرفیت

انتخاب موقعیت‌های لازم جهت جمع‌آوری داده‌های میدانی ظرفیت، وابسته به شرایط ترافیکی معابر در محدوده مطالعاتی است. برای تسهیلات بدون چراغ (آزادراه، بزرگراه و غیره) تحلیل‌گر باید موقعیت‌هایی از محدوده مطالعاتی را که در آن صف حداقل برای یک دوره زمانی ۱۵ دقیقه‌ای تشکیل می‌شود شناسایی نموده و نرخ جریان را در نقطه تخلیه صف اندازه‌گیری نماید. سپس این نرخ جریان برداشت شده به نرخ جریان معادل ساعتی تبدیل

---

[۱]. Global calibration

[۲]. Fine-tuning

شده و به عنوان مقدار میدانی ظرفیت آن تسهیلات در آن نقطه خاص در نظر گرفته می‌شود. لازم به ذکر است برای اندازه‌گیری ظرفیت بایستی چندین اندازه‌گیری انجام شده و مقدار میانگین آن به عنوان ظرفیت آن معبر در نظر گرفته شود. برای تقاطعات چراغدار، تحلیل‌گر باید رویکردهایی از تقاطع که در هریک از خطوط عبوری آن صفی به طول حداقل ۱۰ وسیله نقلیه وجود دارد را شناسایی نموده و نرخ جریان اشباع را چندین مرتبه اندازه‌گیری نموده و میانگین را به عنوان ظرفیت اشباع مد نظر قرار دهد. این نرخ جریان با صرفنظر کردن از ۳ الی ٤ وسیله اول اندازه‌گیری می‌شود. به طور ایده‌آل برای تسهیلات بدون چراغ، ظرفیت معبر حداقل در ۳ تا ٤ موقعیت قابل اندازه‌گیری و برای تقاطعات چراغدار ظرفیت اشباع حداقل در ۳ یا ٤ موقعیت قابل اندازه‌گیری بایستی برداشت گردد. در صورتی که موقعیت‌های کافی در محدوده مطالعاتی برای برداشت ظرفیت وجود نداشته باشد، می‌توان از روش ارائه شده در آیین‌نامه‌های معتبر برای تخمین ظرفیت استفاده نمود. به هر حال استفاده از روش‌های ارائه شده در آیین نامه‌ها در مقایسه با اندازه‌گیری‌های میدانی دقیق نیستند [۳].

۳ -۵ -۲ -۲ - بدست آوردن تخمین مدل شبیه‌ساز از ظرفیت

نرم‌افزارهای شبیه‌ساز خردنگر ترافیک، خروجی به نام ظرفیت را برآورد نکرده و به جای آن تعداد خودروهای عبوری از هر نقطه معین از شبکه را محاسبه می‌کنند. بنابراین تحلیل‌گر باید با دستکاری تقاضای ورودی به مقدار لازم، صفی در جریان بالادست به‌صورت مجازی، در مقطع مورد نظر جهت کالیبره کردن ایجاد نماید.

برای تسهیلات بدون چراغ، صف تشکیل شده در شبیه‌سازی باید برای حداقل یک دوره زمانی ۱۵ دقیقه‌ای در امتداد تمام خطوط عبوری و کمان‌هایی که جریان را به مقطع مورد نظر هدایت می‌کنند، تشکیل شود. در این حال، ظرفیت شبیه‌سازی شده‌ی مقطع مورد نظر، جریانی است که در دوره‌ی زمانی ۱۵ دقیقه‌ای یا بیشتر - که در طول این دوره صف وجود دارد - از آن مقطع عبور کرده است. بنا به تعریف ظرفیت، جریان عبوری مذکور باید به معادل ساعتی تبدیل شده و گزارش شود.

برای تقاطعات چراغدار، تقاضای ورودی باید تا اندازه‌ای که صفی به طول حداقل ۱۰ وسیله‌ی نقلیه در هر خط در ابتدای زمان سبز فاز وجود داشته باشد، افزایش یابد. سپس یک شناساگر در خط توقف به منظور اندازه‌گیری سرفاصله تخلیه ۱۰ خودروی اول موجود در صف که ازخط توقف عبور می‌نمایند، قرار داده می‌شود. از سرفاصله اندازه‌گیری شده میانگین گرفته شده و به نرخ جریان ساعتی تبدیل می‌شود. البته لازم به ذکر است که معمولاً از سه خودروی اول، هم در برداشت میدانی و هم در شبیه‌سازی، صرفنظر می‌شود [۳].

۳ -۵ -۲ -۳ - انتخاب پارامترهای کالیبراسیون

همانطور که در بخش‌های قبلی اشاره شد، هدف از این گام کالیبراسیون، ساخت ظرفیت میدانی اندازه‌گیری شده در مدل شبیه‌سازی شده است. بنابراین در این گام تنها پارامترهایی که بر روی حداکثر نرخ جریان موثر هستند نظیر پارامترهای تعقیب خودرو، تغییر خط عبوری و قبول فرصت کالیبره می‌شوند. بعضی از متغیرهای مربوط به تعقیب خودرو، تغییر خط و قبول فرصت در نرم‌افزار Aimsun عبارتند از : زمان عکس‌العمل[۱]، درصد سبقت[۲]، درصد بازگشت به خط کندرو[۳]، پذیرش سرعت[٤] و غیره. پارامترهای تأثیرگذار بر روی تقاضا و انتخاب مسیر نظیر نرخ تولید سفر، آشنایی به شبکه، توابع هزینه و غیره در این گام ثابت و بدون تغییر در نظر گرفته می‌شوند.

در این مرحله تنها پارامترهایی از مدل که بر روی ظرفیت اثر دارند کالیبره می‌شوند. تحلیل‌گر با مطالعه راهنمای نرم‌افزار، این پارامترها را شناسایی و تعدادی از آنها را برای کالیبراسیون انتخاب می‌کند. شکل (۱۷) و شکل (۱۸) تعدادی از پارامترهای اصلی جهت کالیبراسیون ظرفیت آزادراه‌ها و تقاطعات چراغدار را نشان می‌دهد.

شکل ۱۷ - تعدادی از پارامترهای اصلی جهت کالیبراسیون ظرفیت آزادراه ها [۱]

[۱] Reaction Time

[۲] Overtake Percentage

[۳] Recover Percentage

[٤] Speed Acceptance

شکل ۱۸ - تعدادی از پارامترهای اصلی جهت کالیبراسیون ظرفیت تقاطعات چراغدار [۱]

۳ -۵ -۲ -۴- تابع هدف کالیبراسیون

در این گام از فرآیند کالیبراسیون بهتر است تحلیل‌گر میانگین مربع خطاها[۳] مابین تخمین مدل از حداکثر نرخ جریان دست یافتنی و اندازه‌گیری‌های میدانی صورت گرفته از ظرفیت را حداقل نماید. میانگین مربع خطا در اصل متوسط مجموع مربع خطاها در چندین تکرار از اجرای مدل می‌باشد. هر مجموعه تکرار شامل یک دسته مقادیر ثابت از پارامترهای مدل (P) به همراه مجموعه اعداد تصادفی متفاوت برای هر تکرار در داخل مجموعه می‌باشد.

تابع هدف مسئله به منظور پیدا کردن مقادیر پارامترها (P) به صورت رابطه (۲) پیشنهاد می‌شود. با توجه به جدول (۲) این تابع از نوع میانگین مربع خطا است. همان‌طور که پیش از این نیز اشاره شد انتخاب تابع هدف مناسب برای کالیبره کردن مدل خردنگر شبیه‌سازی از وظایف و اختیارات مدلساز است. مدلساز باید با توجه به شناختی که از انواع توابع هدف و ویژگی‌های ریاضی آنها دارد تابع هدف مناسب را انتخاب کند. تابع هدف پیشنهاد شده در رابطه (۲) از منبع [۲] نقل شده و تنها جنبه پیشنهادی دارد.

$$Minimize\ MSE = \frac{1}{R}\sum_r \left(M_{ltpr} - F_{tl}\right)^2 \qquad (۲)$$

$$s.t:$$

$$P_m^{min} \le P_m \le P_m^{max} \quad \forall\, m = 1,2,\dots,M$$

---

۱. Start up Last time

۲. Queue discharge hesdway

۳Mean Square Error

که در آن

MSE = میانگین مربع خطا،

M_{ltpr} = تخمین مدل از نرخ جریان تخلیه صف در موقعیت l در زمان t با استفاده از مقادیر پارامترهای p برای تکرار r،

F_{tl} = مقدار اندازه‌گیری میدانی از نرخ جریان تخلیه صف در زمان t در موقعیت l،

R = تعداد تکرارهای مدل با مقادیر ثابت پارامتر P_m و مقادیر متفاوت اعداد تصادفی،

P_m = مقدار پارامتر شماره m،

M = تعداد پارامترهای انتخاب شده برای کالیبراسیون ظرفیت،

P_m^{min} و P_m^{max}= کران پایین و کران بالا برای مقدار پارامتر P_m ، تعیین شده توسط تحلیل گر. این محدودیت ها به منظور اجتناب از راه حل های غیر عادی در نظر گرفته می شود.

- **کالیبراسیون کلی**

تحلیل‌گر باید یک الگوریتم جستجوی مناسب برای شناسایی ترکیب بهینه‌ای از پارامترها (P_m) به منظور حداقل کردن مربع خطاها (MSE) انتخاب نماید. ولی از آنجا که مدل‌های شبیه‌سازی بسیار پیچیده هستند، معمولاً میسر نیست که در قالب یک معادله و تکنیک ریاضی شناخته شده، بتوان به مقادیر مینیمم دست پیدا کرد. برای حل این موضوع بر حسب تعداد پارامترهای در نظر گرفته شده، از یک سری الگوریتم‌های جستجو (الگوریتم جستجوی یک پارامتری نظیر روش نیوتن، روش سکانت و روش مقطع طلایی، الگوریتم ساده جستجوی دو پارامتری نظیر روش ترسیم خطوط بر روی نمودار دو بعدی، الگوریتم‌های جستجوی چند متغیره نظیر انواع روش های ابتکاری و فرا ابتکاری) استفاده می‌شود، که بر عملکردهای مدل شبیه‌ساز تکیه کرده، نتایج خروجی را به صورت نقاط نمایش داده و در بین این نقاط به دنبال نقاط بهینه می‌گردند. تعداد تکرارهای مورد نیاز برای تعیین مربع خطا برای هر دسته از پارامترها (P) توسط تحلیل‌گر و از طریق بررسی واریانس خطا و مقایسه با مقدار اختلاف بین مربع خطای محاسبه شده برای دو مجموعه از پارامترهای مدل تعیین می‌گردد. به‌گونه‌ای که تحلیل‌گر اطمینان حاصل نماید تغییرات در مقدار میانگین مربع خطا ناشی از تغییر در پارامترهای مدل می‌باشد، تا به دلیل تصادفی بودن مدل.

- **کالیبراسیون جزئی**

هنگامی که مقادیر بهینه پارامترهای عمومی ظرفیت در مرحله کالیبراسیون عمومی شناسایی شد، هنوز موقعیت‌هایی در شبکه وجود دارد که عملکرد مدل در آن موقعیت با شرایط میدانی برداشت شده تفاوت زیادی دارد. بنابراین گام بعدی تنظیم دقیق مدل برای تطبیق بیشتر ظرفیت پیش‌بینی شده با مقادیر برداشت شده از ظرفیت

در آن نقاط خاص می‌باشد. برای مثال، سرعت مجاز بسیار تعیین کننده است.

در برخی از موارد در موقعیت‌های خاص، ظرفیت مقطع به دلیل عبور عابر پیاده و مانند آن کمتر از مقادیر در موقعیت‌های مشابه است. در این موارد در نظر گرفتن سرعت واقعی عبور از مقطع می‌تواند موثر باشد. معمولاً در نرم‌افزارها یک سری ضرایب تصحیح کننده ظرفیت و یا سرفاصله وجود دارد که به مسیرهای مورد نظر (که با نتایج کار میدانی تطابق ندارند) اعمال می‌گردد. این فاکتورها جهت کالیبراسیون جزئی مدل استفاده می‌شوند.

۳ -۵ -۳ - گام سوم: کالیبراسیون انتخاب مسیر (تخصیص تقاضا)

بعد از اینکه تحلیل‌گر از اینکه نتایج حاصل از مدل همخوانی خوبی با نتایج ظرفیت حاصل از برداشت میدانی دارد، اطمینان حاصل کرد، نوبت به کالیبراسیون انتخاب مسیر می‌رسد. منظور از کالیبراسیون تقاضا، کالیبره کردن احجام شمرده شده در کمان‌های مختلف شبکه است. مقادیر حاصل از مرحله کالیبراسیون ظرفیت، مجدداً مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حجم‌های پیش‌بینی شده توسط مدل با شمارش‌های میدانی مقایسه می‌شود، و تحلیل‌گر پارامترهای الگوریتم انتخاب مسیر را طوری تنظیم می‌کند که بهترین نتایج تطبیق حجم حاصل شود. بدیهی است در حالاتی که شبیه‌سازی خردنگر بر مبنای احجام ورودی به کمان‌ها است نه ماتریس تقاضا، این مرحله بی معنا بوده و می‌توان از آن صرف نظر کرد. اما در حالت کلی که خردنگر شبیه‌سازی برای شبکه بر مبنای ماتریس تقاضا انجام می‌شود و مسیرها و مقادیر در تخصیص تقاضا مشخص هستند، کالیبراسیون تقاضا لازم می‌باشد.

برای کالیبره کردن تقاضا باید پارامترهای انتخاب مسیر را تغییر داد. در این مرحله، پارامترهای مربوط به تقاضا و انتخاب مسیر متغیر بوده و پارامترهای اصلاح شده در گام قبلی ثابت نگه داشته می‌شوند. در این مرحله تنها آن دسته از پارامترهایی که طور خاص بر روی تقاضا و انتخاب مسیر موثر هستند، کالیبره می‌شوند. این پارامترها به الگوریتم انتخاب مسیر مورد استفاده در نرم‌افزار مربوط‌اند و معمولاً شامل هزینه و زمان سفر مسیرهای مختلف شبکه خواهند بود.

همانند گام قبلی (کالیبراسیون ظرفیت)، کالیبراسیون تقاضا نیز در دو مرحله صورت می‌گیرد. در مرحله اول پارامترهای عمومی مربوط به انتخاب مسیر و تقاضا تنظیم می‌شوند (کالیبراسیون کلی) و در گام بعدی تنظیم پارامترهای هر یک از کمان‌ها و گره‌های موثر صورت می‌گیرد (کالیبراسیون جزئی).

۳ -۵ -۴- گام چهارم : کالیبراسیون عملکرد

در این مرحله پارامترهای عملکرد ترافیک که از مدل استخراج می‌شوند با داده‌های به دست آمده در واقعیت مقایسه می‌شوند. در این مرحله مروری کلی بر روی عملکرد مدل از لحاظ متوسط زمان سفر، طول صف و غیره

صورت می‌گیرد. ظرفیت پارامترها و سرعت‌های جریان آزاد به منظور نزدیکی بیشتر به مقادیر میدانی اندازه‌گیری شده و تنظیم می‌گردند. این مرحله، گام نهایی فرآیند کالیبراسیون است و ممکن است مستلزم فرآیند رفت و برگشتی و مقایسه پارامترهای تنظیم شده در دو گام قبلی باشد. لذا تنظیمات صورت گرفته در این مرحله بایستی با دقت کامل انجام شده و سعی گردد حتی الامکان در پارامترهای تنظیم شده در گام‌های قبلی تغییری ایجاد نگردد. در صورتی که تفاوت بین مدل و واقعیت از مقادیر قابل قبول بیشتر باشد لازم است با تغییر پارامترهای مدل، به مقادیر قابل قبول نزدیک شوند.

در جدول (۳) به بعضی از مهمترین شاخص‌های عملکردی اشاره شده است و مشخص شده که هر شاخص عملکردی در کدام گروه از تسهیلات معنادار و تأثیرگذار است. اگرچه انتخاب پارامترهای موثر بر هر شاخص باید با مطالعه راهنمای نرم‌افزار و استفاده از دانش ترافیکی شخص مدلساز صورت گیرد.

جدول ۳ - شاخص‌های عملکردی مورد توجه در کالیبراسیون عملکرد

تسهیلات	شاخص ها
تقاطع چراغدار	**زمان تأخیر، طول صف، حجم**
تقاطع غیرچراغدار	**زمان تأخیر، طول صف، حجم**
شریانی درجه ۲	**حجم، زمان سفر، سرعت سفر**
شریانی درجه ۱، آزادراه	**حجم، سرعت سفر، درصد استفاده از خطوط**
نواحی تغییر خط	**حجم، زمان سفر، سرعت سفر**
کل شبکه	**حجم، زمان سفر**

در جدول‌های (٤) الی (٨)، پارامترهای تأثیرگذار بر این شاخص‌ها در نرم افزار Aimsun به تفکیک دسته‌های مختلف تسهیلات ترافیکی نشان داده شده‌اند. پارامترهای معرفی شده در این جداول متناسب با نسخه ٦.١ نرم‌افزار مذکور معرفی شده‌اند و در صورت استفاده از نسخه‌های دیگر این نرم‌افزار، استفاده از این جدول‌ها فاقد موضوعیت است.

جدول ۴ - پارامترهای تأثیرگذار به منظور کالیبره کردن تقاطعات چراغدار در نرم‌افزار Aimsun

شاخص	متغیرهای تأثیرگذار به ترتیب اولویت
طول صف	زمان عکس العمل، پذیرش سرعت، زمان عکس العمل در حالت توقف، زمان انتظار، درصد سبقت، حداقل فاصله بین خودروها، درصد تغییر خط های خطرناک
حجم	زمان عکس العمل، پذیرش سرعت، زمان عکس العمل در حالت توقف، پارامتر حساسیت، حداقل فاصله بین خودروها

جدول ۵- پارامترهای تأثیرگذار به منظور کالیبره کردن تقاطعات بدون چراغ در نرم‌افزار Aimsun

شاخص	متغیرهای تأثیرگذار به ترتیب اولویت
طول صف	حداقل فاصله بین خودروها، زمان انتظار، زمان عکس العمل، درصد تغییر خط های خطرناک، پذیرش سرعت
حجم	پذیرش سرعت، زمان عکس العمل، زمان انتظار، پارامتر حساسیت، زمان انتظار، درصد سبقت، حداقل فاصله بین خودروها

جدول ۶ - پارامترهای تأثیرگذار به منظور کالیبره کردن معابر آزادراهی و شریانی های درجه ۱ در نرم‌افزار Aimsun

شاخص	متغیرهای تأثیرگذار به ترتیب اولویت
حجم	زمان عکس العمل، پارامتر حساسیت، پذیرش سرعت
سرعت سفر	پذیرش سرعت، زمان عکس العمل، پارامتر حساسیت، درصد سبقت، درصد ماندن در خط عبوری بعد از تغییر خط
درصد استفاده از خطوط	درصد ماندن در خط عبوری بعد از تغییر خط، زمان عکس العمل، پارامتر حساسیت، درصد سبقت، پذیرش سرعت

جدول ۷- پارامترهای تأثیرگذار به منظور کالیبره کردن معابر شریانی درجه ۲ در نرم‌افزار Aimsun

شاخص	متغیرهای تأثیرگذار به ترتیب اولویت
حجم	زمان عکس العمل
سرعت سفر	پذیرش سرعت، زمان عکس العمل، پارامتر حساسیت، درصد سبقت، درصد ماندن در خط عبوری بعد از تغییر خط
زمان سفر	پذیرش سرعت، زمان عکس العمل، پارامتر حساسیت، درصد سبقت، درصد ماندن در خط عبوری بعد از تغییر خط
درصد استفاده از خطوط	درصد ماندن در خط عبوری بعد از تغییر خط، درصد سبقت، زمان عکس العمل، پذیرش سرعت، پارامتر حساسیت

جدول ۸ - پارامترهای تأثیرگذار به منظور کالیبره کردن نواحی تغییر خط در نرم‌افزار Aimsun

شاخص	متغیرهای تأثیرگذار به ترتیب اولویت
حجم	زمان عکس العمل، فاصله از ناحیه ۲ تغییر خط، پذیرش سرعت، پارامتر حساسیت
سرعت سفر	پذیرش سرعت، زمان عکس العمل، فاصله از ناحیه ۲ تغییر خط، پارامتر حساسیت
زمان سفر	پذیرش سرعت، زمان عکس العمل، فاصله از ناحیه ۲ تغییر خط، پارامتر حساسیت

۳ -۶- حدود قابل قبول شاخص‌های نکویی برازش

پس از انتخاب شاخص مناسب نکویی برازش با توجه به پارامتر مورد نظر، لازم است که مقدار آن در حدی باشد که بتوان مقدار شبیه‌سازی را به مقدار واقعی "نزدیک" دانست. مشخص کردن این مقدار به وضعیت خاص هر پروژه بستگی تام دارد و هیچ قاعده مطلقی بر این انتخاب حاکم نیست. در اینجا برای راهنمایی و فقط در حد پروژه‌های معمول شهری مثل شبیه‌سازی‌های مورد استفاده در مطالعات ساماندهی، مقادیری پیشنهاد شده است. این مقادیر که در جدول (۹) ارائه شده‌اند، از منبع [٤] اقتباس شده‌اند. مقادیر این جدول برای وضعیت فعلی تهران مناسب‌اند اما در آینده لازم است که این مقادیر با توجه به تحولات دانش و نرم‌افزارهای ترافیکی به روز شوند. نکته‌ی مهم دیگر راجع به جدول (۹) این است که مقادیر ارائه شده فقط برای شبیه‌سازی‌های متعارف پیشنهاد

شده‌اند و برای پروژه‌های خاص فاقد اعتبار هستند.

۳ -۷ - اعتبارسنجی

منظور از اعتبارسنجی، بررسی مدل با داده‌هایی است که از داده‌های به کار رفته در کالیبراسیون مستقل باشند. به وسیله اعتبارسنجی بررسی می‌شود که مدل تا چه اندازه در باز تولید واقعیت موفق است. توصیه می‌شود که اعتبارسنجی برای سطح همه مدل و همه زمان انجام شود و همه اهداف مدل را هم در نظر بگیرد [۱].

این مرحله به دنبال فرآیند کالیبراسیون می‌آید و با استفاده از روش‌های مختلف، اعتبار مدل‌های شبیه‌ساز کالیبره شده ارزیابی می‌گردد. نکته حائز اهمیت در فرآیند اعتبارسنجی این است که باید دقت نمود که در آزمون‌های اعتبارسنجی نباید از مجموعه داده‌هایی که در فرآیند کالیبراسیون مورد استفاده قرار گرفته، استفاده شود. همچنین باید تاکید نمود؛ مدل ساخته شده توسط نرم‌افزارهای شبیه‌ساز خردنگر به صورت مطمئن قابل استفاده برای پیش‌بینی آن دسته از معیارهایی هستند که بر اساس آن معیارها کالیبره و اعتبارسنجی شده‌اند.

اعتبارسنجی به دو گونه مشاهده‌ای و آماری انجام می‌شود. در گونه مشاهده‌ای تلاش می‌شود تا به طور کیفی، شباهت پویانمایی حاصل از شبیه‌سازی با واقعیت سنجیده شود. در گونه آماری از توابع ریاضی یا آزمون‌های آماری برای بررسی کمّی شباهت شبیه‌سازی به واقعیت استفاده می‌شود. آزمون‌های آماری مختلفی برای این کار موجود است که در اینجا برای رعایت اختصار از بیان آنها چشم پوشی می‌شود. در منابع مختلف از جمله [۲] و [۳] و [٤] به تعدادی از این آزمون‌ها اشاره شده است و علاقه‌مندان می‌توانند به این منابع مراجعه کنند.

جدول ۹ معیارهای پذیرش موفقیت عملیات کالیبراسیون در شبیه‌سازی [۴]

ردیف	معیار	حد قابل قبول (اختلاف/دقت/مقدار)	درصد موارد	توضیح
	جریان ترافیک			
۱	جریان محدوده (cordon)	دقت = ۳ درصد	-	با حداقل ۵ نقطه شمارش حجم
۲	جریان خط برش	دقت = ۵ درصد	-	با حداقل ۵ نقطه شمارش حجم
۳	جریان مجموعه کمان‌های داخل محدوده	اختلاف کمتر از ۲۰ درصد یا ۲۰۰ وسیله نقلیه در ساعت	۹۵ درصد	
٤		اختلاف کمتر از ۱۰ درصد یا ۱۰۰ وسیله نقلیه در ساعت	۹۰	
۵		اختلاف کمتر از ۵ درصد یا ۵۰ وسیله نقلیه در ساعت	۸۰	
٦	جریان در تک تک کمان ها	حداکثر اختلاف: ۱۰۰ وسیله نقلیه در ساعت	حداقل ۸۵ درصد	برای حجم تردد کمتر از ۷۰۰ وسیله نقلیه در ساعت
		حداکثر اختلاف: ۱۵ درصد	حداقل ۸۵ درصد	برای حجم تردد بین ۷۰۰ تا ۲۷۰۰ وسیله نقلیه در ساعت
		حداکثر اختلاف: ٤۰۰ وسیله نقلیه در ساعت	حداقل ۸۵ درصد	برای حجم تردد بیشتر از ۲۷۰۰ وسیله نقلیه در ساعت
۷	مجموع جریان همه کمان ها	دقت = ۵ درصد	-	
	زمان سفر برای مسیر های منتخب			
۸	میانه داده های زمان	اختلاف کمتر از ۱۰ درصد		
۹	ریشه دوم میانگین مربعات مقادیر زمان سفر		همه مسیرهای منتخب	با ۵ بار اجرای نرم‌افزار
	پایستگی مدل			
۱۰	تفاوت مقادیر حداکثر و حداقل در خط برش	حداکثر ۵ درصد		توصیه می شود نرم‌افزار حداقل ۵ بار با Random Seed های متفاوت اجرا شود
۱۱	اختلاف بین حداکثر و حداقل مقادیر جریان در همه کمان های شبکه	به نحوی که تحلیلگر پایستگی مدل را تأیید کند		استفاده از مقادیر ردیفهای ۳ تا ۵ توصیه می شود
	الگوی تراکم			
۱۲	محل تشکیل گلوگاه	به نحوی که تحلیل گر مطابقت با واقع خروجی های گرافیکی را تأیید کند.		
۱۳	الگوی صف			
۱٤	توزیع حجم بین خطوط			

مدل کالیبره شده فقط در همان شرایطی که مورد اعتبارسنجی قرار گرفته باید استفاده شود. برای مثال اگر در اعتبارسنجی انحراف معیار یک پارامتر مورد سنجش قرار نگرفته باشد، نمی‌توان از مدل برای گرفتن توزیع آن پارامتر بهره برد. به‌عنوان نمونه‌ای دیگر، اگر مدلی فقط در زمان جریان آزاد اعتبارسنجی شده باشد، نمی‌تواند برای تحلیل زمان‌های دارای جریان متراکم استفاده شود یا اگر فقط برخی کمان‌های مدل اعتبارسنجی شده باشد، نمی‌تواند برای تحلیل همه کمان‌ها استفاده شود. به عنوان مثالی دیگر، اگر کالیبراسیون بر روی مدل یک میدان انجام شده باشد، نمی‌توان برای بررسی سناریوی تبدیل آن میدان به تقاطع از آن مدل استفاده کرد.

انتخاب شاخص‌های عملکردی برای اعتبارسنجی، مشابه کالیبراسیون است. به این معنی که مدلساز باید شاخص‌های عملکردی مناسبی را انتخاب کند تا مطمئن شود که مدل به خوبی وضعیت ترافیک را بازنمایی می‌کند. بعضی از معمول‌ترین شاخص‌های عملکردی که برای اعتبارسنجی مورد توجه قرار می‌گیرند عبارتند از : حجم تردد، زمان سفر، سرعت، تأخیر و طول صف.

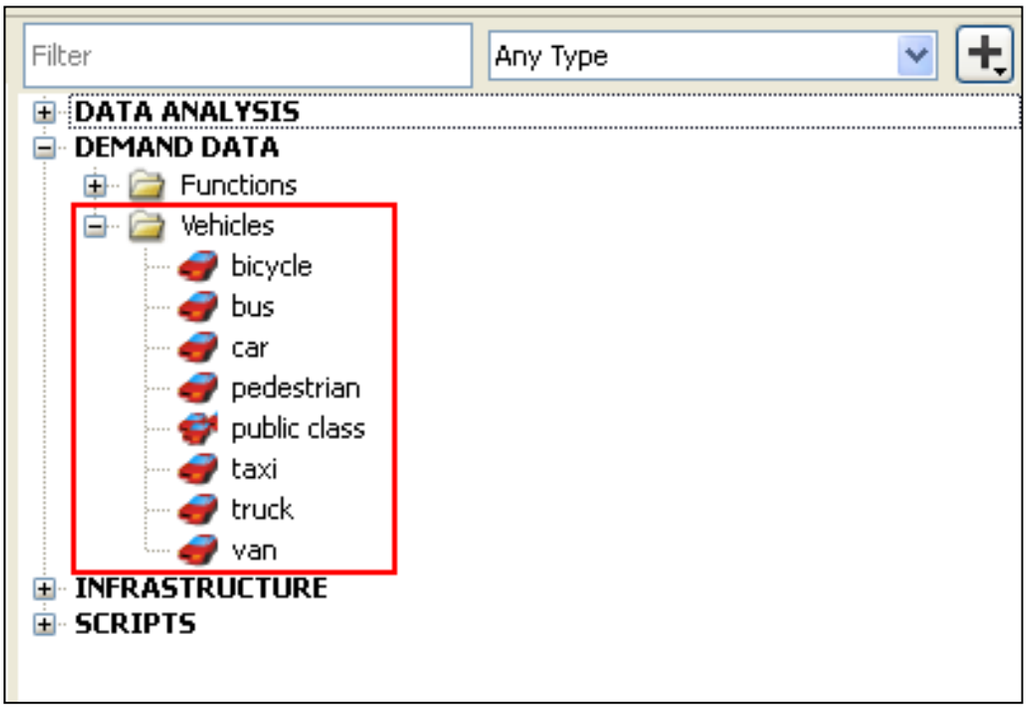
مشابه مرحله کالیبراسیون، مقایسه شاخص‌های عملکردی در مرحله اعتبارسنجی هم با توجه به این واقعیت که هم مشاهدات میدانی و هم خروجی‌های نرم‌افزار خردنگر شبیه‌ساز دارای ماهیت تصادفی هستند، انجام می‌شود. معمولاً فرض می‌شود که داده‌ها دارای توزیع نرمال یا توزیع t هستند و با در نظر گرفتن یک سطح اطمینان مشخص، بازه اطمینانی برای مقادیر میانگین تعیین می‌شود.

۴ - ورود پارامترهای کالیبره شده به نرم‌افزار Aimsun

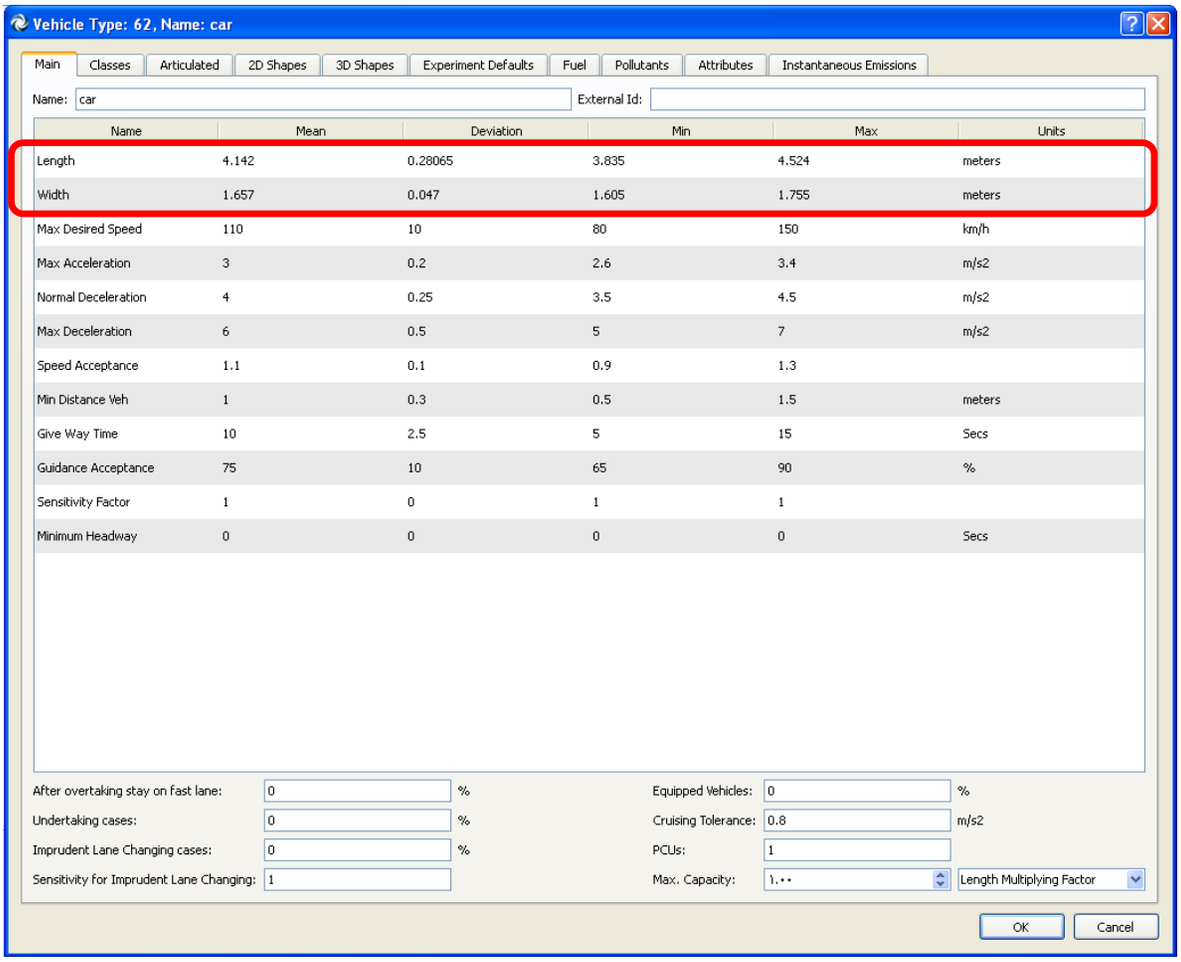
سه مدل رفتاری قبول فرصت، تغییر خط و پیروی خودرو در نرم‌افزار Aimsun مورد بررسی قرار گرفته و مدل‌ها و پارامترهایی به منظور کالیبره کردن این مدل‌ها بر اساس رفتار رانندگان ایرانی ارائه شده است. همچنین خودروهای معادل مطابق خودروهای موجود در شهر تهران جهت ورود آنها در محیط نرم افزار Aimsun تعیین شده است. علاوه بر این، موارد سرفاصله و نرخ جریان اشباع در تقاطعات چراغدار در شهر تهران نیز تعیین شده است. بر این اساس و در این بخش ، نحوه ورود این اطلاعات در محیط نرم افزار ارائه می‌شود.

۴- ۱- وارد کردن پارامترهای خودروی معادل به نرم افزار

ویژگی‌های هر کلاس از وسایل نقلیه که به عنوان خودروی تیپ همان کلاس انتخاب شده‌اند باید در منوی ویژگی‌های خودروی مربوط به خود وارد شود که بر این اساس می‌توان با دو بار کلیک کردن روی نام کلاس خودروی مورد نظر (شکل(۱۹)) منوی مربوط به ویژگی‌های خودرو را مطابق با شکل (۲۰) مشاهده نمود.



شکل ۱۹- نحوه باز نمودن منوی خصوصیات وسایل نقلیه در نرم افزار Aimsun



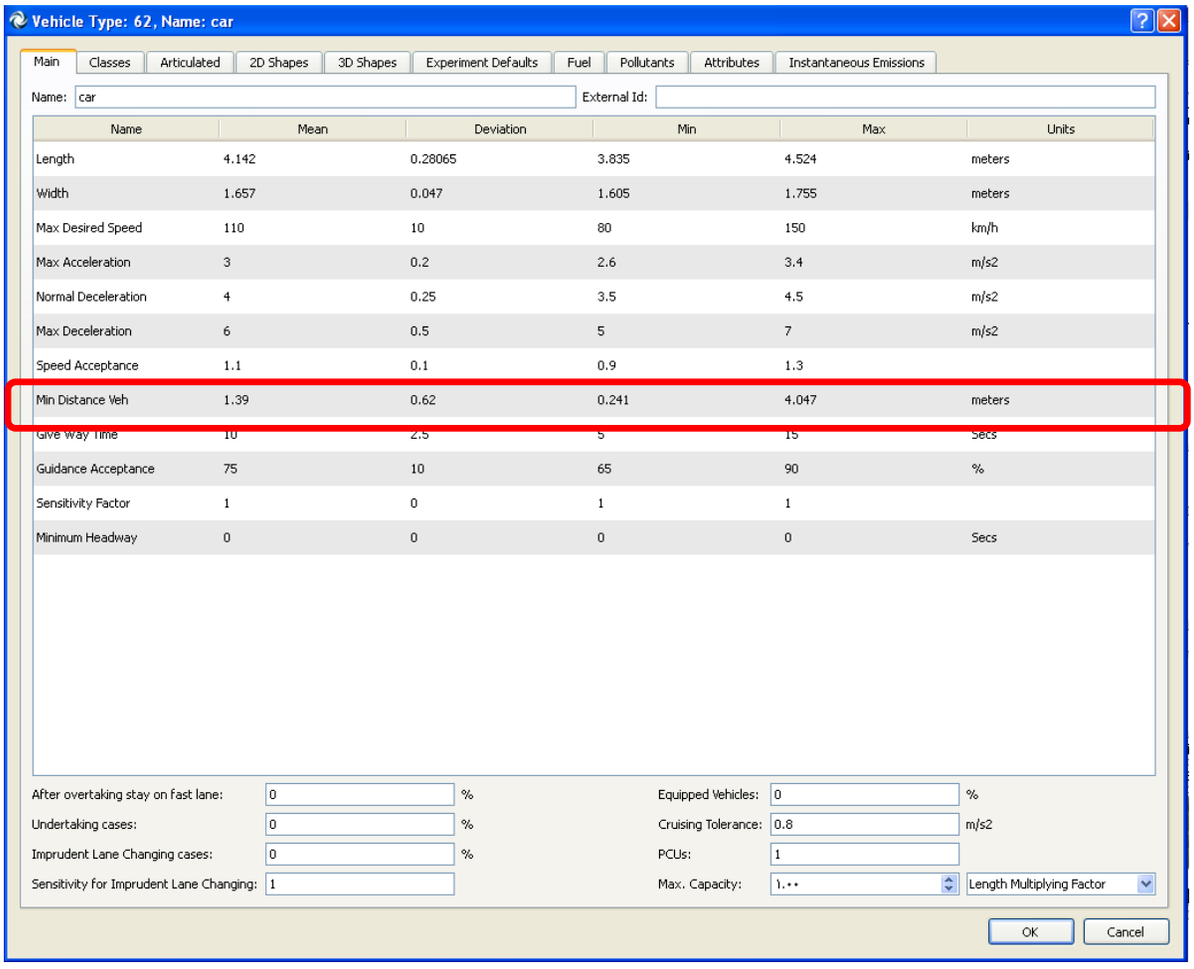
شکل ۲۰ - منوی خصوصیات وسایل نقلیه در نرم افزار Aimsun **جهت ورود مقادیر پارامترهای خودروی معادل**

مقادیر مناسب می‌بایست برای هر کلاس خودرو، در منوی مشابه شکل (۲۰) در محدوده‌ای که با کادر قرمز رنگ مشخص شده است، وارد شوند.

۴- ۲ - وارد کردن پارامتر فاصله بین وسایل نقلیه به نرم افزار

زمانی که وسایل نقلیه به هر دلیل از جمله چراغ راهنمایی در صف قرار بگیرند، به طور متوسط فاصله‌ای را از یکدیگر حفظ می‌کنند. این فاصله دلایل مختلفی دارد که به ویژگی‌های رفتاری و فرهنگی رانندگان وابسته است. مقادیر متوسط، کمینه، بیشینه و انحراف معیار بر اساس مطالعات صورت گرفته در شهر تهران تعیین شده است. محل

مناسب جهت ورود این پارامتر در منوی ویژگی‌های خودروهای شبیه‌سازی شده، در شکل (۲۱) و به کمک یک کادر قرمز رنگ مشخص شده است.



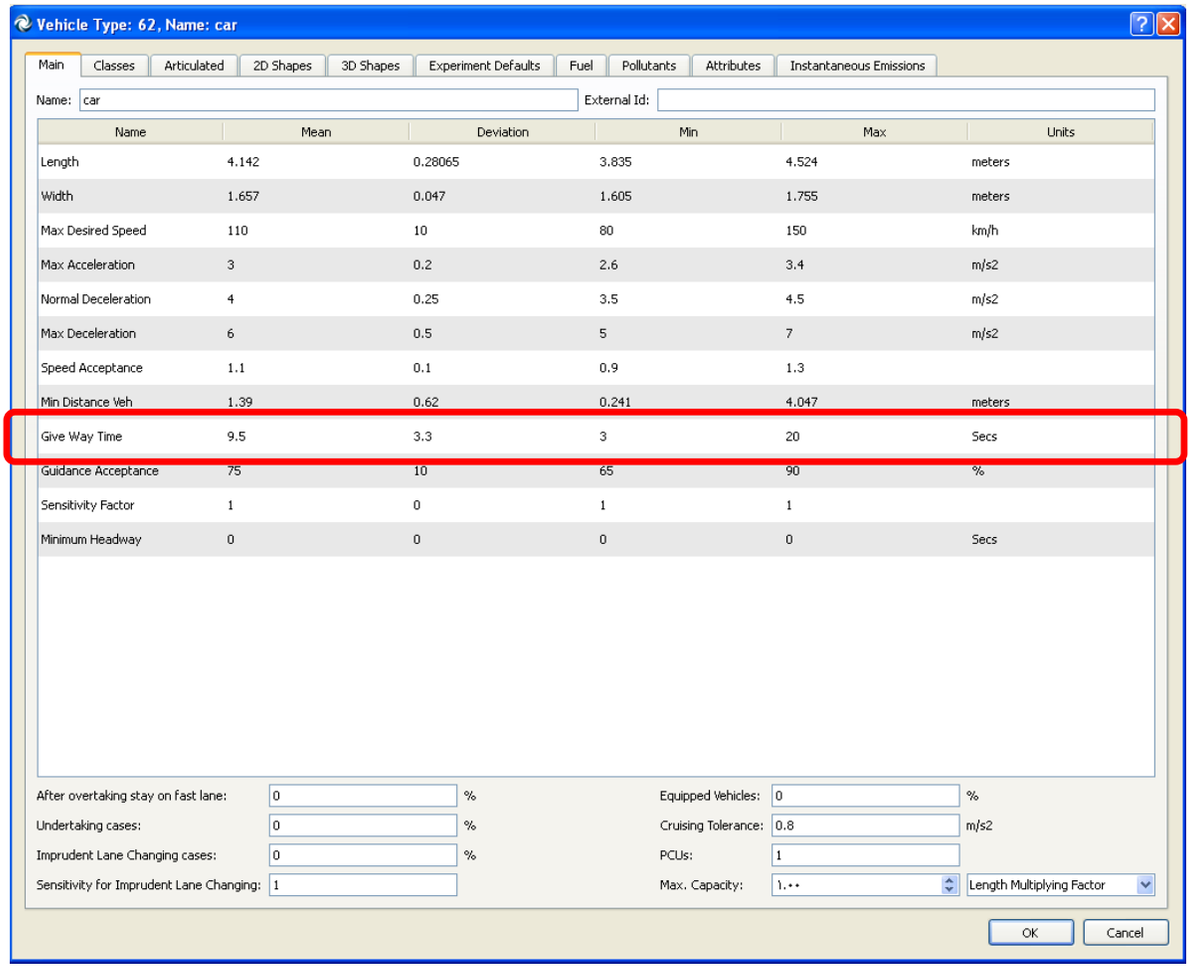
شکل ۲۱- منوی خصوصیات وسایل نقلیه در نرم افزار Aimsun جهت ورود مقادیر پارامتر فاصله بین وسایل نقلیه

۴- ۳- وارد کردن پارامترهای مدل قبول فرصت به نرم افزار

جهت شبیه‌سازی دقیق یک تقاطع چراغدار و به‌منظور کسب نتایج صحیح و قابل اعتماد، لازم است تا مدل و پارامترهای قبول فرصت به درستی وارد محیط نرم افزار شود. که در این راستا لازم است تا موارد زیر در این خصوص مورد توجه قرار گیرد:

۱) تأکید می‌شود سازمان یا شرکت مشاوری که قصد اجرای فرآیند شبیه سازی برای تقاطع بدون چراغ را دارد، تلاش نماید پارامترهای مدل را برای تقاطع مورد نظر استخراج نموده و اعداد خاص همان تقاطع را برای پارامترهای مدل قبول فرصت استفاده نماید.

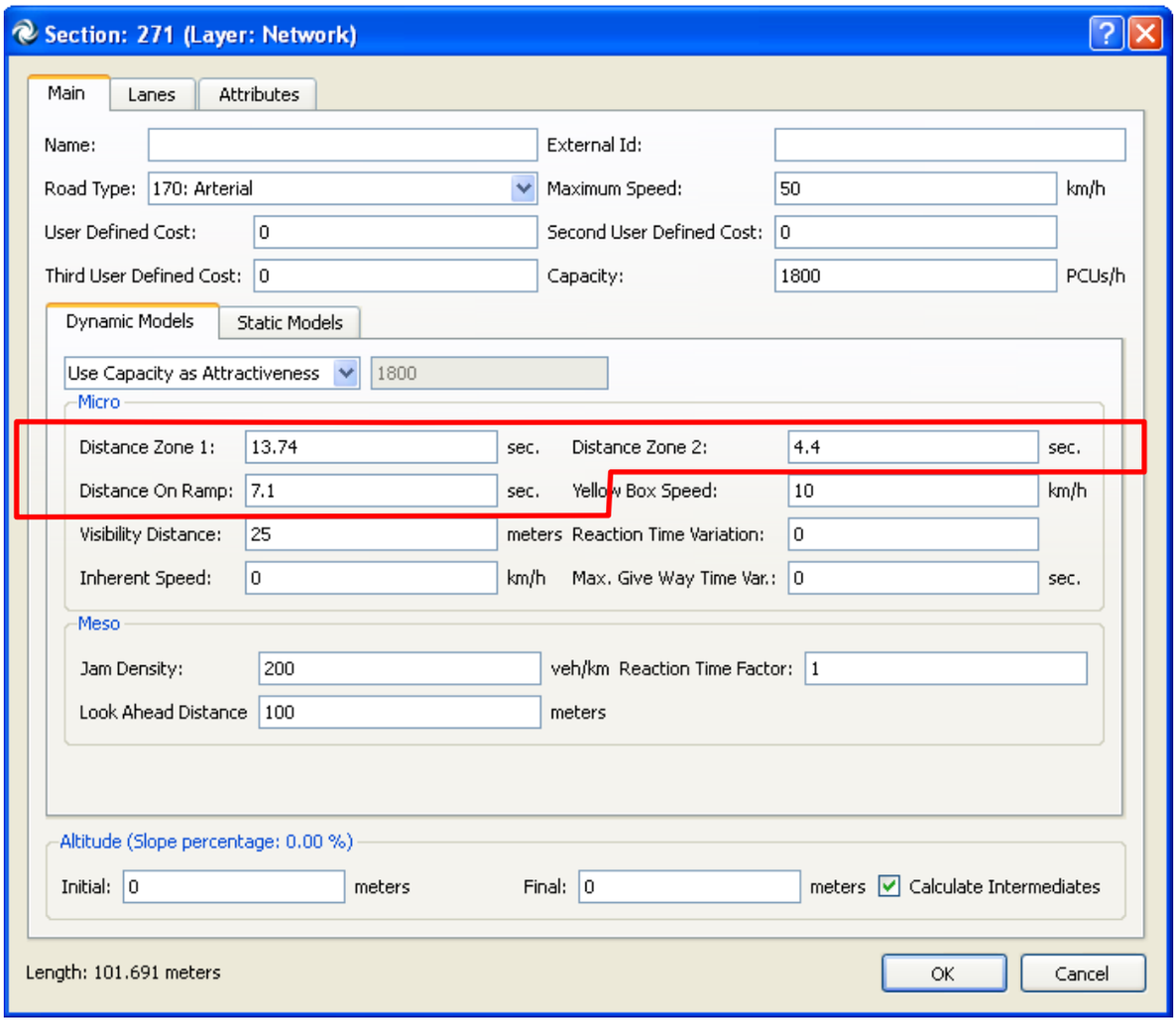
۲) در صورتی که برداشت اطلاعات میدانی در محدوده مورد نظر، مطابق با موارد عنوان شده در بند فوق‌الذکر، امکان‌پذیر نباشد، توصیه می‌شود مقادیر پارامتر زمان راه دادن مطابق با نتایج پروژه کالیبراسیون از طریق منوی ویژگی‌های وسایل نقلیه و مطابق با شکل (۲۲) وارد نرم افزار شود.



شکل ۲۲ - منوی خصوصیات وسایل نقلیه در نرم افزار Aimsun جهت ورود پارامترهای مدل قبول فرصت

۴- ۴ - وارد کردن پارامترهای مدل تغییر خط به نرم افزار

پارامترهای اساسی در نرم‌افزار که بر روی رفتار تغییر خط بیشترین تأثیر را دارند، سه پارامتر ناحیه فاصله‌ای[۱] یک و دو و فاصله روی رمپ می‌باشند. مقادیر کالیبره شده برای این سه پارامتر بر اساس آمار برداشت شده در سطح شهر تهران به صورت متوسط، کمترین، بیشترین و انحراف معیار تعیین شده‌اند. این سه پارامتر وابسته به کمان‌های شبکه هستند و با دو بار کلیک کردن روی هر کمان، می‌توان منوی ویرایش ویژگی‌های همان کمان را مشاهده کرد. این منو در شکل (۲۳) نشان داده شده و محل وارد کردن مقادیر سه پارامتر فوق‌الذکر در آن با یک کادر قرمز رنگ مشخص شده است.

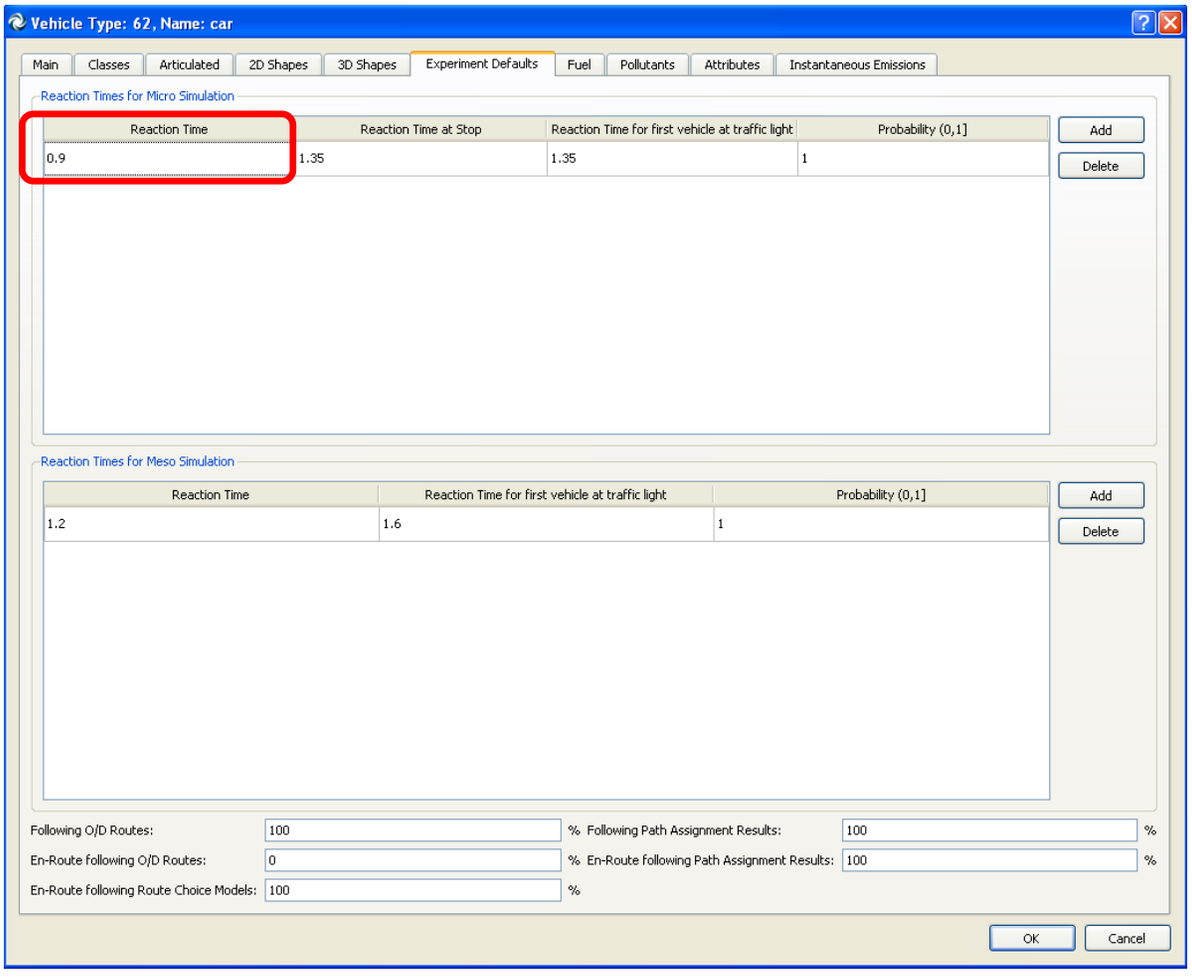


شکل ۲۳ - منوی خصوصیات کمان‌ها در نرم افزار Aimsun جهت ورود پارامترهای مدل تغییر خط

[۱] *Distance Zone*

۴- ۵- وارد کردن پارامترهای مدل پیروی خودرو به نرم افزار

پارامتر زمان عکس‌العمل در فرآیند کالیبراسیون می‌بایست برای شهر تهران تنظیم و مقادیر آن وارد محیط نرم‌افزار شود که کالیبراسیون این پارامتر در فصل یاد شده، صورت گرفته است. این پارامتر، از ویژگی‌های رفتاری است که در زیر منوی ویژگی‌های وسایل نقلیه قرار دارد. زمان عکس‌العمل در زبانه پیش فرض‌های آزمایش می‌بایست وارد شود که در شکل (۲٤) محل ورود این پارامتر با یک کادر قرمز رنگ نشان داده شده است.



شکل ۲۴ منوی خصوصیات وسایل نقلیه در نرم افزار Aimsun جهت ورود مقادیر پارامتر زمان عکس‌العمل

جدول‌های (۱۰) تا (۱۷) مقادیری را که پیشنهاد می‌شود به عنوان مقادیر پایه در فرآیند کالیبراسیون مطابق وضعیت شهر تهران در نرم‌افزار Aimsun وارد شود، نشان می‌دهد.

جدول ۱۰ - پارامترهای ترافیکی محاسبه شده در تقاطعات شهر تهران

نام تقاطع	واحد	میانگین	کمینه	بیشینه	انحراف معیار
نرخ جریان اشباع	وسیله نقلیه در ساعت	۱۸٤٥.٦	۱٤۲۳	۲٤۰۰	۲٥۷.٤
سرفاصله زمانی اشباع	ثانیه	۱.۹٥	۱.٥	۲.٥۳	۰.۲۷
زمان از دست رفته	ثانیه	٥.۰۲۷	۲.۳۲	۹.٥۲	۱.۸۸
فاصله بین وسایل نقلیه	متر	۱.۳۹	۰.۲٤۱	٤.۰٤۷	۰.٦۲

جدول ۱۱- مقادیر توصیه شده برای پارامتر زمان راه دادن[1] در نرم‌افزار Aimsun

پارامترهای مرتبط با بیشترین زمان راه دادن	متوسط	انحراف معیار	کمترین	بیشترین
مقادیر پایه در نرم‌افزار	۱۰.۰۰ ثانیه	۲.٥۰ثانیه	٥.۰۰ ثانیه	۱٥.۰۰ ثانیه
اندازه توصیه شده در تقاطعات با حجم جریان ترافیک زیاد	۹.٥۰ ثانیه	۳.۳۰ ثانیه	۳.۰۰ ثانیه	۲۰.۰۰ ثانیه
اندازه توصیه شده در تقاطعات با حجم جریان ترافیک کم	۷.۱٥ ثانیه	۲.۸٥ ثانیه	۲.۰۰ ثانیه	۱٥.۰۰ ثانیه

جدول ۱۲- مشخصات خودروی سواری معادل

پارامتر	وزن (کیلوگرم)	طول (میلیمتر)	عرض (میلیمتر)	بیشینه سرعت (کیلومتر بر ساعت)	بیشینه شتاب (مجذور متر بر ثانیه)
میانگین	۱۰٤٤.٥٥	٤۱٤۱.۸۲	۱٦٥٦.۸٥	۱٦٤.٥۳	۱.۹۲۷
کمینه	۹۳٤	۳۸۳٥	۱٦۰٥	۱٤۰	۱.٤٦
بیشینه	۱۲٦٤	٤٥۲٤	۱۷٥٥	۲۰۰	۲.۷۲
انحراف معیار	۱۰٤.۱۲۲	۲۸۰.٦٥	٤۷.۰۱	۲۱.٥	۰.٤۱
ضریب تغییرات	۲۹.۳	۱٤.۷٦	۳٥.۲	۷.٦٥	٤.۷

[1] Give way Time

جدول ۱۳ - مشخصات خودروی تاکسی معادل

پارامتر	وزن (کیلوگرم)	طول (میلیمتر)	عرض (میلیمتر)	حداکثر سرعت (کیلومتر بر ساعت)	شتاب (مجذور متر بر ثانیه)
میانگین	۱۰۹۰	٤۳٦۰	۱٦۷۷	۱۷۰	۲.۱۲
کمینه	۹۹۰	۳۸۹۳	۱٦۰۵	۱٤۰	۱.٤٦
بیشینه	۱۲۲۰	٤۵۰۲	۱۷۲۰	۱۸۵	۲.۳۳
انحراف معیار	۹٦.۵٦	۱۸۱.۹	٤۲.۸	۱۹.۸	۰.۲۸
ضریب تغییرات	۱۱.۳	۲۳.۹	۳۹.۲	۸.٦	۷.۵۷

جدول ۱۴- مشخصات مرتبط با موتورسیکلت معادل

حجم سیلندر (سی سی)	وزن (کیلوگرم)	طول (میلیمتر)	عرض (میلیمتر)	حداکثر سرعت (کیلومتر بر ساعت)
۱۲٤	۱۰۲	۱۹۰۰	۷٤۵	۱۲۰

جدول۱۵ - مشخصات فنی و فیزیکی اتوبوس معادل در شهر تهران

پارامتر	طول (میلیمتر)	عرض (میلیمتر)
میانگین	۱۱۷٤۵.۳	۲٤۹٦.۵
کمینه	۷۹۵۰	۱۹۲۰
بیشینه	۱٤۵۵۰	۲۵۵۰
انحراف معیار	۷۹٦.۷	٦۷.۹
ضریب تغییرات	۱٤.۷٤	۳٦.۷

جدول۱۶ - مشخصات وسایل نقلیه سنگین

وسایل نقلیه سنگین	حجم سیلندر (سی سی)	وزن (کیلوگرم)	طول (میلیمتر)	عرض (میلیمتر)	حداکثر سرعت (کیلومتر بر ساعت)
خاور ٢٦٢٤	١١٥٨٠	٨٩٢٠	٧٦٠٥	٢٩٩٥	٨٨
کامیون زامیاد AT-٧٢٠T٤٢TH	١٢٨٨٠	١٠١٠٠	٦٨٤٤	٢٥٥٠	١١٠

جدول ۱۷ - مقادیر زمان‌های ناحیه مسافتی

	مقدار متوسط
ناحیه‌ی فاصله‌ای یک	١٣.٧٤ ثانیه
ناحیه‌ی فاصله‌ای دو	٤.٤ ثانیه
فاصله روی رومپ	٧.١ ثانیه

مراجع

۱. محمود رئوفی، "ارائه روشی برای کالیبراسیون ریزشبیه ساز ترافیک VISSIM برای آزادراه ها"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، رشته مهندسی عمران، گرایش مهندسی برنامه ریزی حمل و نقل، تهران (۱۳۹۰).

۲. Federal Highway Administration (FHWA), "Traffic analysis toolbox, Volume III:Guidelines for applying traffic microsimulation modeling software", Publication NO. FHWA-HRT-۰٤ ۰٤۰., (۲۰۰٤).

۳. Hollander, Y. & Liu, R., “The principles of calibrating traffic microsimulation models”, Transportation ۳٥, pp. ۳٤۷-۳٦۲, (۲۰۰۸).

٤. Austroads, “The use and application of microsimulation traffic models”, Austroads Publication No. AP–R۲۸٦/۰٦, (۲۰۰٦).

۵. دانشگاه علم و صنعت ایران، "مطالعات کالیبره نمودن نرم افزارهای مهندسی ترافیک بر اساس شرایط ترافیکی شهر تهران"، ۱۳۹۱.

This document was created with Win2PDF available at http://www.daneprairie.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.