مروری بر روند انجام مطالعات کالیبراسیون نرم افزارهای شبیه ساز ترافیک در شهر تهران

فهرست عناوین

۱- اهداف مطالعات بومی سازی نرم افزارهای شبیه ساز ترافیک..... ۱
۱-۱- ارائه لیست نرم افزارها به همراه لیست برخی از مشکلات موجود در مطالعات ساماندهی در شهر تهران..... ۳
۲- برداشت اطلاعات مورد نیاز برای فاز اول مطالعات..... ٦
۲-۱- ارائه طبقه بندی مورد نظر برای تسهیلات ترافیکی مورد مطالعه..... ٦
۲-۲- دریافت و شناسایی جامعه آماری مربوط به هر نوع تسهیلات و انتخاب نمونه اولیه برای مطالعات فاز اول..... ۷
۲-۳- معرفی موارد حائز اهمیت در انتخاب نمونه..... ۱۱
۲-٤- معرفی نمونه های آماری..... ۱۲
۳- تحلیل معابر نمونه با استفاده از برخی نرم افزارهای شبیه سازی ترافیکی..... ۱۵
۳-۱- شبیه سازی (شامل اجرای مدل و کالیبراسیون اولیه) تسهیلات مورد مطالعه با استفاده از نرم افزارهای شبیه سازی موجود شامل Aimsun ، VISSIM و Synchro..... ۱۵
۳-۲- تحلیل و ارزیابی نتایج بدست آمده از اجرای نرم افزارها در شرایط واقعی..... ۱٦
۳-۳- شناسایی پارامترهای تأثیرگذار در اولویت بندی نرم افزار ها جهت شبیه سازی..... ۲۰
۳-٤- اولویت‌بندی و انتخاب نرم افزار برتر جهت شبیه سازی ترافیک در شهر تهران..... ۲۰
٤- تحلیل نتایج و ارائه راهکار..... ۲۲
٤-۱- بررسی میزان خطای نرم افزارها در هر یک از دسته تسهیلات نمونه..... ۲۲
٤-۲- بررسی میزان تأثیر هر یک از عوامل موثر در روند و نتایج شبیه سازی..... ۲٦
٤-۳- اولویت بندی و تعیین پارمترهای اصلی و مهم جهت افزایش دقت کالیبراسیون در شهرتهران..... ۲۸
۵- کالیبراسیون مدل ها و پارامترهای شبیه سازی در نرم‌افزار منتخب..... ۳۲
۵-۱- برداشت اطلاعات و آمار مورد نیاز جهت کالیبراسیون مدل‌ها و پارامترهای نرم‌افزار شبیه ساز Aimsun..... ۳۲
۵-۲- انجام کالیبراسیون مدل های کنترل ترافیک..... ۳٤
٦- اعتبارسنجی نرم افزار منتخب..... ۳۹
٦-۱- برداشت آمار و اطلاعات مورد نیاز جهت اعتبار سنجی نرم افزار..... ۳۹
٦-۲- شبیه سازی نمونه های منتخب و مقایسه و تحلیل خروجی های وضع موجود نرم‌افزار با وضع موجود..... ٤۰
٦-۳- ارائه پیشنهاداتی به منظور توسعه مطالعاتی در آینده..... ٤۳

فهرست شکل‌ها

شکل ۱- اهداف مطالعات کالیبراسیون نرم افزارهای شبیه ساز ترافیکی در شهر تهران ۲
شکل ۲- ارتباط بخش های مختلف بندهای مرحله اول مطالعات شبیه سازی نرم افزارهای ترافیکی ۳
شکل ۳- برخی مشکلات موجود در مطالعات ساماندهی ترافیکی از دیدگاه شبیه سازی ۵
شکل ٤- دسته بندی و طبقه بندی تسهیلات ترافیکی در این مطالعات..... ۷
شکل ۵- موقعیت چراغ های راهنمایی برنامه پذیر (بالا) و هوشمند (پایین) شهر تهران در سال ۱۳۹۰ ..... ۹
شکل ٦- محل تقاطعات بدون چراغ مهم شهر تهران ۱۰
شکل ۷- جامعه آماری معابر شریانی مهم شهر تهران ۱۱
شکل ۸- شبیه سازی تقاطع چراغدار کارگر شمالی– گردآفرید در نرم افزار Aimsun، VISSIM، و Synchro ۱٦
شکل ۹- نمودار مقایسه نتایج نرم افزار Aimsun در برابر مشاهدات میدانی برای معیار بیشینه طول صف در رویکردهای تقاطعات چراغدار در بازه های پانزده دقیقه ای ۱۸
شکل ۱۰- نمودار مقایسه دقت نتایج نرم افزارها در شبیه سازی تقاطعات چراغدار نسبت به پارامتر طول صف بر اساس معیار فرم نرمال شده جذر مربع متوسط خطا..... ۲۰
شکل ۱۱- خطای شبیه سازی نسبت به معیار طول صف در تقاطعات چراغدار در نرم افزار Aimsun ۲۳
شکل ۱۲- نتیجه آزمون آماری تایل نسبت به معیار طول صف در شبیه سازی تقاطعات چراغدار در نرم افزار Aimsun .. ۲۳
شکل ۱۳- نمودار مقایسه نتایج نرم افزار Aimsun در برابر مشاهدات میدانی برای معیار بیشینه طول صف در رویکردهای تقاطعات چراغدار در بازه های پانزده دقیقه ای ۲٤
شکل ۱٤- نتیجه آزمون آماری GEH در شبیه‌سازی تقاطعات بدون چراغ در نرم‌افزار Aimsun نسبت به پارامتر نرخ جریان ۲٤
شکل ۱۵- متوسط خطای شبیه سازی دسته تسهیلات مختلف در نرم افزار Aimsun ۲۵
شکل ۱٦- نتایج آماره تایل در شبیه سازی دسته تسهیلات مختلف در نرم افزار Aimsun..... ۲٦
شکل ۱۷- تغییرات حجم بر حسب زمان عکس العمل در بزرگراه ۲۷
شکل ۱۸- معیار مجموع درصد تغییر و بیشترین درصد تغییر برای پارامتر حجم یا ظرفیت در بزرگراه..... ۲۹
شکل ۱۹- منوی ابزار اعتبار سنجی در نرم افزار Aimsun..... ٤۱

فهرست جداول

جدول ۱- لیست برخی نرم افزارهای مورد استفاده در مهندسی حمل ونقل و ترافیک و سطح فعالیت ها ٤
جدول ۲- میزان تأثیر متغیرهای مورد نظر برای بومی سازی در رفتارهای ترافیکی تسهیلات مختلف ٦
جدول ۳- مشخصات نمونه انتخاب شده تقاطعات چراغدار ۱۲
جدول ٤- مشخصات نمونه انتخاب شده تقاطعات بدون چراغ ۱۲
جدول ٥- مشخصات نمونه انتخاب شده مقاطع بزرگراهی ۱۳
جدول ٦- مشخصات نمونه انتخاب شده معابر شریانی ۱۳
جدول ۷- مشخصات نمونه انتخاب شده مقاطع تداخلی ۱۳
جدول ۸- بیشترین طول صف در بازه‌های ۱۵ دقیقه ای در نتایج خروجی شبیه سازی تقاطع کارگر- گردآفرید ۱۵
جدول ۹- مقایسه نتایج مشاهده و خروجی نرم افزار های شبیه ساز برای متوسط یک ساعته طول صف در تقاطعات چراغدار ۱۷
جدول ۱۰- خطای شبیه سازی بر اساس معیار فرم نرمال شده جذر مربع متوسط خطا در تقاطعات ۱۹
جدول ۱۱- اولویت متغیرهای شبیه سازی برحسب پارامترها و تسهیلات ترافیکی ۳۱
جدول ۱۲- تسهیلات وابسته به هر نوع از مدل‌ها ۳۲
جدول ۱۳- پارامترهای ترافیکی محاسبه شده در تقاطعات شهر تهران ۳٤
جدول ۱٤- مقادیر توصیه شده برای پارامتر زمان راه دادن در نرم‌افزار Aimsun ۳٥
جدول ۱٥- نتایج آزمون‌های آماری روی متغیرهای مدل انتخاب ۳٦
جدول ۱٦- مشخصات خودروی سواری معادل ۳٦
جدول ۱۷- مشخصات خودروی تاکسی معادل ۳۷
جدول ۱۸- مشخصات مرتبط با موتورسیکلت معادل ۳۷
جدول ۱۹- مشخصات فیزیکی اتوبوس معادل در شهر تهران ۳۷
جدول ۲۰- مشخصات وسایل نقلیه سنگین ۳۷
جدول ۲۱- مقادیر کالیبره شده پارامترهای مدل تغییر خط ۳۸
جدول ۲۲- نمونه تسهیلات آماربرداری شده جهت اعتبار سنجی روند کالیبراسیون ۳۹
جدول ۲۳- جمع بندی نتایج اعتبار سنجی ٤۳

مقدمه

مطالعات کالیبره نمودن نرم افزارهای مهندسی ترافیک بر اساس شرایط ترافیکی شهر تهران، توسط آزمایشگاه حمل و نقل و ترافیک دانشگاه علم و صنعت ایران و تحت نظارت سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران (در سال ۱۳۹۱-۱۳۸۹) به انجام رسید. در این بخش مروری اجمالی بر بخش‌های مختلف پروژه، نحوه انجام مطالعه و چگونگی روند کالیبراسیون نرم افزار Aimsun صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است که شرح مفصل‌تری از اجزاء گزارش پروژه مذکور به همراه توضیح دقیق‌تر مبانی و نکات آموزشی پروژه در کتابچه‌های دیگر و با عناوین زیر ارائه شده‌اند:

کتابچه اول: آشنایی با نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مهندسی ترافیک

کتابچه دوم: بررسی و تحلیل پارامترهای مدل‌های پایه در نرم افزار شبیه‌ساز Aimsun

کتابچه سوم: دستورالعمل نحوه شبیه‌سازی، کالیبراسیون و اعتبارسنجی نرم افزار Aimsun

کتابچه چهارم: دستورالعمل نحوه بکارگیری نرم افزارهای شبیه سازی جریان ترافیک در انجام مطالعات ساماندهی ترافیک و روند انتخاب و تعیین خروجی‌های شبیه‌سازی متناسب با تسهیلات متفاوت ترافیکی

در ادامه مروری بر مراحل مختلف انجام مطالعات و روند کلی پروژه کالیبراسیون نرم‌افزار شبیه‌سازی منتخب برای تهران (Aimsun) ارائه می‌گردد.

۱– اهداف مطالعات بومی سازی نرم افزارهای شبیه ساز ترافیک

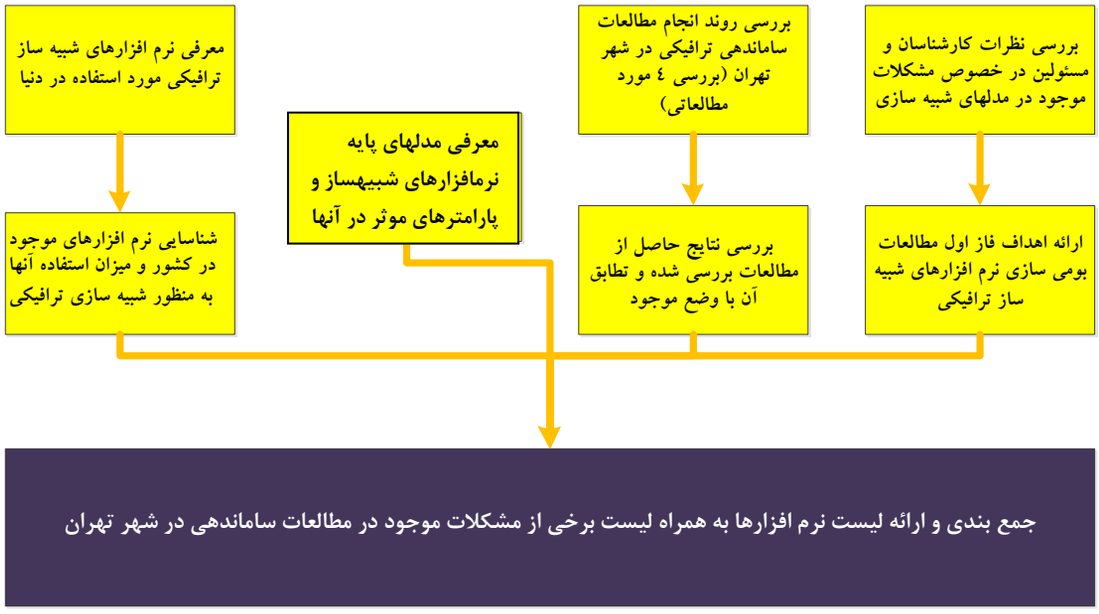
در مطالعات انجام شده در پروژه کالیبراسیون نرم افزارهای شبیهساز، توجه ویژه ای به تعیین اهداف مطالعات صورت گرفته است. بدین منظور در این مطالعات دو رویکرد اصلی برای تعیین اهداف مطالعات در پیش گرفته شد؛ در رویکرد اول اهداف مطالعات بر اساس قضاوت کارشناسی محققین این مطالعات و بر پایه تجربیات آنان در کار با نرم افزارها و کاربردهای محتمل آن بدست آمد. در رویکرد دوم اهداف مطالعات بر پایه مشکلات شناسایی شده توسط پرسشنامه هایی که بدین منظور طراحی شده است، صورت می گیرد. جمع بندی این دو روش، اهداف نهایی مطالعات را تشکیل داد. در نهایت پس از بررسی و جمع بندی این دو دسته اهداف، اهداف این مطالعات مطابق شکل (۱) تعیین شدند.

شکل ۱– اهداف مطالعات کالیبراسیون نرم افزارهای شبیه ساز ترافیکی در شهر تهران

۱–۱– ارائه لیست نرم افزارها به همراه لیست برخی از مشکلات موجود در مطالعات ساماندهی در شهر تهران

از آنجا که در این بخش هدف ارائه خلاصه‌ای از فعالیتهای انجام شده در مرحله اول مطالعات است، تلاش میشود بصورت خلاصه تمامی خروجیهای اصلی هر بخش برای جمع بندی فعالیت های انجام شده مرور شود. مراحل شرح خدمات در مرحله اول با توجه به توالی فعالیتی آنها مطابق شکل (۲) است.

جدول (۱) لیست نرمافزارهای مورد استفاده در مهندسی حمل ونقل و ترافیک را نشان می دهد.

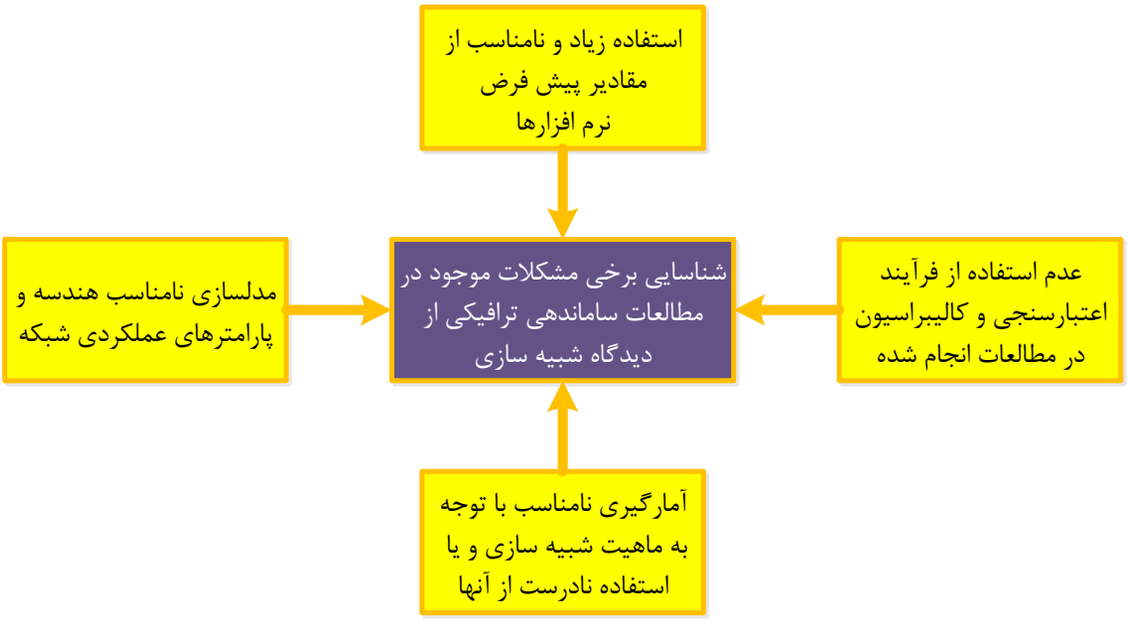


شکل ۲– ارتباط بخش های مختلف بندهای مرحله اول مطالعات شبیه سازی نرم افزارهای ترافیکی

جدول ۱ - لیست برخی نرم افزارهای مورد استفاده در مهندسی حمل ونقل و ترافیک و سطح فعالیت ها

نرم افزار	سطح شبیه سازی			تحلیلی	نرم افزارهای مورد استفاده در کشور
	خرد نگر	میان نگر	کلان نگر		
Aimsun	√	√	√		√
Contram		√			
CORSIM	√				
Cube	√		√		
EMME/۲ & EMME/۳			√		√
HCS ۲۰۰۰				√	√
HiCAP ۲۰۰۰				√	√
OMNITRANS			√		
OSCADY				√	
Paramics	√				
PASSER				√	
Sidra				√	
Synchro/ SimTraffic	√				√
TransCAD			√		
TransModeler	√				
TRANSYT				√	
VISSIM	√				√
VISUM			√		√

در شکل (۳) برخی از مشکلات موجود در خصوص کاربرد نرم‌افزارهای شبیه ساز ترافیکی و همچنین مطالعات ساماندهی ترافیکی نشان داده شده است.



شکل ۳– برخی مشکلات موجود در مطالعات ساماندهی ترافیکی از دیدگاه شبیه سازی

۲ - برداشت اطلاعات مورد نیاز برای فاز اول مطالعات

ارائه دسته بندی مناسب با هدف نگرشی جامع و هدفمند نسبت به مطالعات، در کنار حصول اطمینان از در نظر گرفتن تمامی عوامل مهم و تأثیرگذار در آماربرداری، صورت گرفته است. نتایج و خروجی های این بخش از مطالعات برای تعیین نمونه آماری مورد نظر در بخش بعدی استفاده شد.

۲ -۱ - ارائه طبقه بندی مورد نظر برای تسهیلات ترافیکی مورد مطالعه

در این بخش از مطالعات، روش‌ها و معیارهای مختلفی که می تواند برای دسته بندی تسهیلات حمل ونقل شخصی بکارگرفته شود، معرفی و بررسی شده و در نهایت با توجه به موارد عنوان شده، دسته بندی مورد نظر در این مطالعات ارائه شده است.

در این مطالعات، دسته بندی رفتاری بصورت ترکیبی انجام شده و سعی شد که سلسله مراتب معابر شهری و نوع جریان در دسته‌بندی نهایی لحاظ شود. همچنین تأثیر تراکم و منطقه در قالب نحوه آماربرداری و پراکندگی جغرافیایی نقاط آماربرداری مدنظر قرار داده شده است. از طرف دیگر تلاش شده است تا نمونه‌های آماری در نواحی شمالی، جنوبی، شرقی، غربی و مرکزی شهر پراکنده شوند.

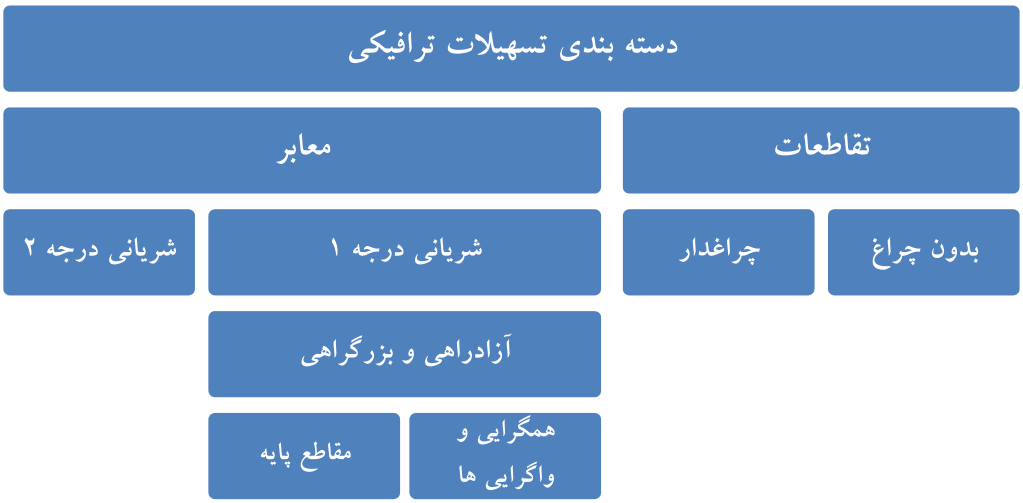
موضوع دیگری که در نظر گرفته شد، تأثیر متغیرهای مدنظر در کالیبراسیون نرم‌افزارها است. در این مطالعات بصورت خاص، برخی موارد کالیبره و بومی سازی شدند. اصلی ترین این موارد مدل‌های تغییر خط، تعقیب خودرو، فاصله قابل قبول، سرفاصله اشباع و زمان از دست رفته ابتدایی است. جدول (۲) نشان دهنده اهمیت این موارد در دسته بندی تسهیلات است.

جدول ۲ - میزان تأثیر متغیرهای مورد نظر برای بومی سازی در رفتارهای ترافیکی تسهیلات مختلف

تسهیلات / متغیر	تقاطعات چراغدار	تقاطعات بدون چراغ	شریانی درجه ۱ (آزاد راه و بزرگراه)		شریانی درجه ۲	جمع و پخش کننده	دسترسی محلی
			واگرایی و همگرایی	مقاطع پایه			
تعقیب خودرو	+	+	++	+++	+++	+	+
فاصله قابل قبول	+	+++	+++	+	+	+	+
تغییر خط	+	+	+++	+++	+++	+	+
سرفاصله اشباع	+++	++	-	-	-	-	-
زمان از دست رفته	+++	-	-	-	-	-	-

مشاهده می‌شود که برخی تسهیلات همانند تقاطعات چراغدار تأثیر بسزایی در مدلسازی برخی خصوصیات همانند سرفاصله اشباع و زمان از دست رفته دارند.

در نتیجه دسته بندی ارائه شده در این مطالعات مطابق شکل (٤) خواهد بود.



شکل۴ - دسته بندی و طبقه بندی تسهیلات ترافیکی در این مطالعات

۲ -۲ - شناسایی جامعه آماری مربوط به هر نوع تسهیلات و انتخاب نمونه اولیه برای مطالعات فاز اول

برای برداشت اطلاعات لازم، بایستی جامعه آماری مورد مطالعه به درستی شناخته شود و سپس بر اساس تئوری‌های آماری، نمونه‌ای که معرف آن جامعه باشد انتخاب شود. جامعه آماری هر یک از دسته‌های پنج‌گانه تسهیلات، به طور جدا از سایر دسته‌ها شناسایی شد و پس از شناسایی جامعه، نمونه‌ای که معرف خصوصیات جامعه باشد انتخاب گردید. بعد نمونه مطابق حداکثر مقدار تعیین شده شرح خدمات، برابر ۵ نمونه برای هر دسته از تسهیلات مورد استفاده قرار گرفت.

شناسایی جامعه آماری هر یک از دسته های تسهیلات ترافیکی مورد مطالعه، نیازمند روشی متناسب با ویژگی‌های آن است. علت این امر آن است که دسته های مذکور یکسان نیستند؛ برای مثال تعداد بزرگراه‌های شهر تهران محدود بوده و کمتر از ۵۰ بزرگراه است و در نتیجه شناخت همه اعضای "مجموعه" بزرگراه‌های تهران

امکان پذیر است. اما در مورد دسته تقاطعات بدون چراغ وضع به گونه دیگری است. با توجه به اینکه نقطه برخورد هر دو معبر با هر جایگاهی در سلسله مراتب معابر (از آزادراه تا معابر محلی) تقاطع به شمار می آید و با در نظر گرفتن تعداد بسیار زیاد معابر محلی، حتی محاسبه "تعداد" اعضای این مجموعه هم عملاً ناممکن است.

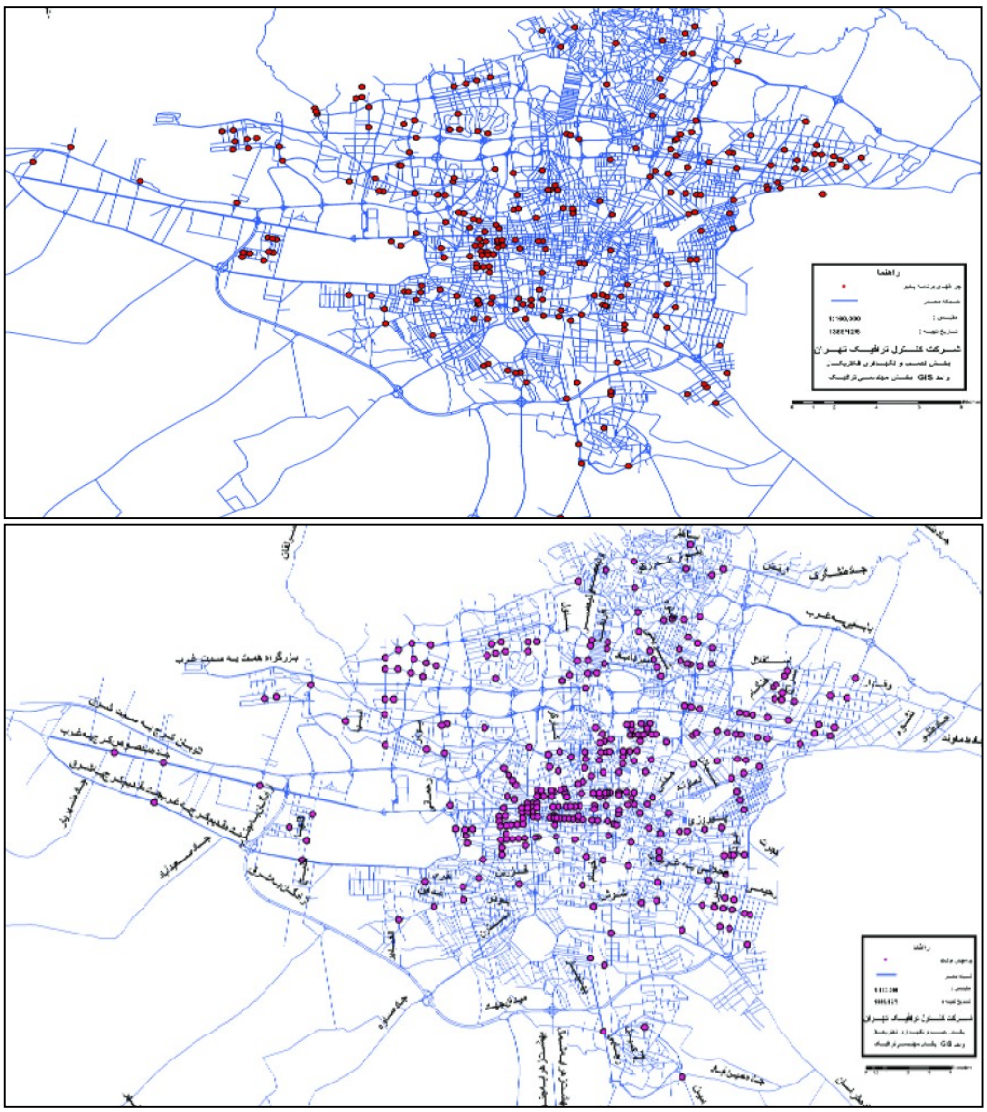
در مورد تسهیلاتی که تعداد اعضای جامعه آنها بسیار زیاد بود و عملاً راه دیگری برای شناخت آن موجود نبود، اطلاعات از سازمان مدیریت حمل و نقل و ترافیک تهران دریافت شد. تسهیلات مورد بحث شامل تقاطعات چراغدار و بدون چراغ و معابر شریانی می شوند.

از سوی دیگر، رویکرد کارشناسی هم در مرحله شناسایی جامعه آماری و هم در مرحله انتخاب نمونه استفاده شد. این رویکرد در مرحله شناسایی جامعه آماری برای تکمیل جامعه معرفی شده توسط کارفرما و اصلاح نواقص آن به کار رفت. مورد دیگری که در این خصوص تأثیرگذار بود، امکان فیلم برداری از محل مورد نظر بوده است. در ادامه نحوه شناسایی و انتخاب نمونه‌های مورد بررسی در مطالعات مرور خواهد شد.

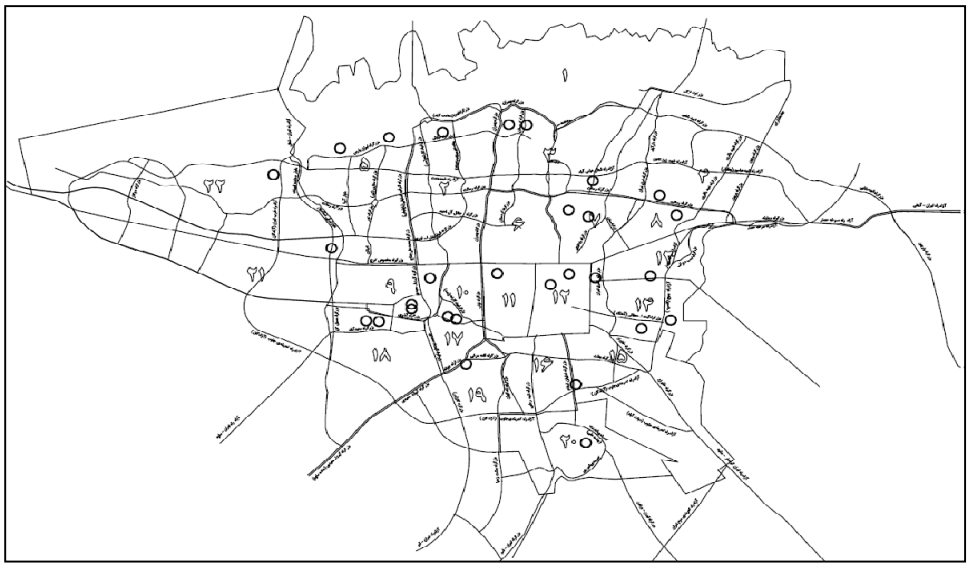
برای شناسایی تقاطعات چراغدار شهر تهران از شرکت کنترل ترافیک استعلام شد. شکل (۵) محل تقاطعات چراغدار را در سطح شهر تهران نشان می دهد.

شناسایی تقاطعات بدون چراغ به روش پرسشگری از کارشناسان سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران انجام شد. در واقع در این پرسشگری هدف شناسایی مهمترین تقاطعات بدون چراغ در مناطق تهران بوده است. از جمله مهمترین پارامترهای مورد توجه در مورد تقاطعات بدون چراغ با توجه به اهمیت رفتار قبول فرصت در این تقاطعات، می توان به این موارد اشاره کرد : میزان تراکم ترافیک، نحوه کنترل تقاطع، یک طرفه یا دو طرفه بودن معابر، تعداد شاخه های تقاطع، مانور پارک، اثر عبور عابران پیاده و میزان رفتارهایی مثل سوار و پیاده کردن مسافر توسط تاکسی ها.

در شکل (٦) محل تقاطعات بدون چراغ معرفی شده توسط سازمان ترافیک شهر تهران بر روی نقشه شهر تهران نشان داده شده است .



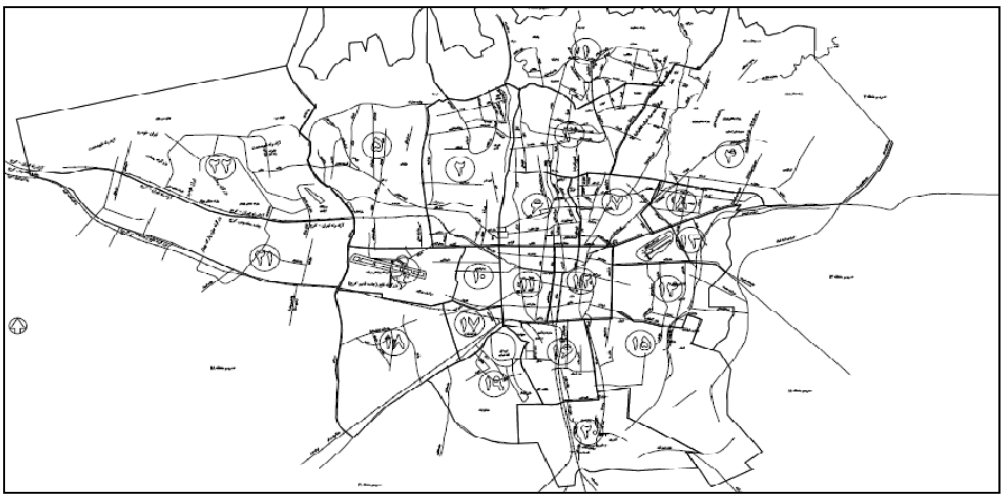
شکل ۵- موقعیت چراغ‌های راهنمایی برنامه پذیر (بالا) و هوشمند (پایین) شهر تهران در سال ۱۳۹۰



شکل ۶ - محل تقاطعات بدون چراغ مهم شهر تهران

از کارشناسان سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران خواسته شد تا معابر شریانی مهم مناطق شهرداری را که با آنها سر و کار دارند معرفی نمایند. مهمترین رفتار قابل مشاهده در معابر شریانی، تغییر خط است. برای لحاظ نمودن عوامل مختلف اثرگذار بر این رفتار، موارد مختلفی مورد توجه قرار گرفت که عبارتند از : میزان تراکم ترافیک، یکطرفه یا دو طرفه بودن معبر، میزان پارک حاشیه ای، مدت پارک حاشیه ای و تعداد دسترسی ها.

شکل (۷) محل معابر شریانی را روی نقشه شهر تهران نشان می‌دهد.



شکل ۷- جامعه آماری معابر شریانی مهم شهر تهران

۲ -۳ - معرفی موارد حائز اهمیت در انتخاب نمونه

در این بخش با در نظر گرفتن هدف نمونه برداری که انجام شبیه سازی است، مواردی که در انتخاب نمونه مناسب برای هر دسته از تسهیلات مهم هستند مورد بررسی قرار گرفت. شناسایی این موارد به انتخاب نمونه مناسب و در نتیجه به دست آوردن نتایج بهتر از شبیه سازی کمک می کند. بعضی ویژگی‌ها در هر پنج دسته مهم است (ویژگی‌های عمومی). از جمله منفرد بودن هر یک از تسهیلات منتخب و همچنین توجه به امکان اندازه‌گیری ورودی‌ها و پارامترهای کنترلی. موارد خاص هر دسته که به ویژگی‌های آن دسته از تسهیلات مربوط هستند نیز در این بخش بررسی شد. برای مثال، سرفاصله اشباع و زمان از دست رفته در این نوع تقاطعات تأثیر بسیار زیادی دارند. نکته مهم در مورد این دو متغیر آن است که تأثیر آنها در دیگر تسهیلات ترافیکی بسیار کمتر است. برای در نظر گرفتن اثر دو عامل فوق لازم است تقاطعاتی انتخاب شده و شبیه سازی شوند که در آنها اثر عوامل جانبی (تردد عابران، پارک حاشیه‌ای، تأثیر تقاطعات مجاور) بر تردد خودروها در حد امکان کم باشد چرا که در غیر این صورت نمی توان مشخص کرد که چه میزان از تفاوت نتایج شبیه سازی با واقعیت به پارامترهای مدل‌های ترافیکی و رفتاری وابسته است.

۲ -۴ - معرفی نمونه های آماری

در این مطالعات، برای دستیابی به داده های ترافیکی مورد نیاز ساخت، کالیبره کردن و اعتبارسنجی مدل، با توجه به قابلیت بازبینی فیلم و استفاده از آن در بخش‌های بعدی مطالعات، تصمیم گرفته شد که از فیلم تردد خودروها استفاده شود. برای این منظور، فیلم‌های مربوط به معابر بزرگراهی، معابر شریانی و مقاطع تداخلی از دوربین‌های شرکت کنترل ترافیک تهران گرفته شده و فیلمبرداری مربوط به تقاطعات نیز انجام شد. نمونه‌های منتخب هر دسته از تسهیلات در این پروژه، در ادامه مختصراً مرور شده‌اند (جدول‌های (۳) تا (۷)).

جدول ۳ - مشخصات نمونه انتخاب شده تقاطعات چراغدار

ردیف	تقاطع	محدوده در شهر تهران
۱	کارگر شمالی - گردآفرید	مرکز
۲	تکاوران - دلواری	شرق
۳	مخبری - شاهین	غرب
٤	سی متری نیروی هوایی - نهاوندی	جنوب
٥	میرداماد - ولیعصر	شمال

جدول ۴ - مشخصات نمونه انتخاب شده تقاطعات بدون چراغ

ردیف	تقاطع	محدوده در شهر تهران
۱	فاطمی - سیندخت	مرکز
۲	گیلان - فرخی	شرق
۳	مخبری – ۱٦ متری	غرب
٤	مالک اشتر - قصرالدشت	جنوب
٥	خدامی – تک شمالی	شمال

جدول ۵- مشخصات نمونه انتخاب شده مقاطع بزرگراهی

ردیف	بزرگراه	محل (حد فاصل)	محدوده در شهر تهران
۱	مدرس	حدفاصل خیابان شهید مطهری و خیابان مشاهیر	مرکز
۲	امام علی (ع)	منطقه لویزان	شرق
۳	بزرگراه نیایش	در محدوده خیابان شهرداری	غرب
٤	نواب	در محدوده خیابان اکبری	جنوب
۵	همت	تقاطع با بزرگراه چمران	شمال

جدول ۶ - مشخصات نمونه انتخاب شده معابر شریانی

ردیف	معبر شریانی	محل (حد فاصل)	محدوده در شهر تهران
۱	شریعتی	حد فاصل خیابان های بهارشیراز و بوشهر	مرکز
۲	نیرو هوایی	محدوه ایستگاه اتوبوس تندرو (پیروزی)	شرق
۳	بلوار پاکنژاد	جنوب بزرگراه نیایش	غرب
٤	رجایی	تقاطع با بزرگراه بعثت	جنوب
۵	شریعتی	حدفاصل بزرگراه رسالت و خیابان خواجه عبدا... انصاری	شمال

جدول ۷- مشخصات نمونه انتخاب شده مقاطع تداخلی

ردیف	بزرگراه	محل (حد فاصل)	محدوده در شهر تهران
۱	مدرس	شمال خیابان شهید مطهری	مرکز
۲	بابایی	تقاطع با بزرگراه امام علی (ع)	شرق
۳	شیخ فضل ا...	تقاطع با جلال آل احمد	غرب
٤	جوانه	تقاطع بزرگراه نواب با خیابان نیروی هوایی	جنوب
۵	نیایش	تقاطع با بزرگراه یادگار امام (ره)	شمال

در ادامه، روش و نتایج آماربرداری از نمونه‌های مربوط به تسهیلات معرفی شده ارائه گردید. برای مثال، در نمونه‌های تقاطعات چراغدار نتایج بدست آمده از آماربردای شامل مشخصات فیزیکی، احجام عبوری و گردشی در رویکردهای مختلف تقاطعات چراغدار و همچنین طول صف در هر رویکرد بودند که برداشت و گزارش شد.

۳- تحلیل معابر نمونه با استفاده از برخی نرم افزارهای شبیه سازی ترافیکی

در این قسمت، شبیه سازی تسهیلات مورد مطالعه در هریک از سه نرم‌افزار Aimsun، VISSIM و Synchro انجام گرفته و نتایج آن در قالب جداول و شکل‌هایی از محیط نرم‌افزار در هنگام شبیه سازی تسهیلات مورد نظر ارائه شد. خروجی‌های ارائه شده در این بخش بر اساس میانگین ۱۰ تکرار[۱] شبیه سازی در هر تسهیلات بوده و خودروهای شبیه‌سازی شده در نرم‌افزارهای Aimsun و VISSIM شامل سواری، اتوبوس و کامیون بوده و در نرم‌افزار Synchro سواری و کامیون هستند.

۳ -۱ - شبیه سازی (شامل اجرای مدل و کالیبراسیون اولیه) تسهیلات مورد مطالعه با استفاده از نرم افزارهای شبیه سازی موجود شامل Aimsun، VISSIM و Synchro

برای مثال، در تقاطعات چراغدار، طول صف تشکیل شده در هر رویکرد به عنوان پارامتر اصلی خروجی در نظر گرفته شده است. در ادامه به عنوان نمونه یکی از تقاطعات چراغدار مورد مطالعه و نتایج حاصل از شبیه‌سازی آن با هر یک از این سه نرم افزار به تفکیک ارائه شده است.

- **کارگر شمالی – گردآفرید**

بیشترین طول صف در بازه های ۱۵ دقیقه ای حاصل از شبیه سازی تقاطع چراغدار کارگر شمالی – گردآفرید در قالب جدول (۸) ارائه شده است. تصاویر مربوط به شبیه سازی این تقاطع در هر یک از نرم افزارهای Aimsun، VISSIM و Synchro درشکل (۸) ارائه شده است .

جدول ۸ - بیشترین طول صف در بازه‌های ۱۵ دقیقه ای در نتایج خروجی شبیه سازی تقاطع کارگر- گردآفرید

کارگر شمالی - گردآفرید									
بازه زمان	بیشترین طول صف در هر رویکرد								
	رویکرد شمالی			رویکرد جنوبی			رویکرد غربی		
	Aimsun	VISSIM	Synchro	Aimsun	VISSIM	Synchro	Aimsun	VISSIM	Synchro
۰-۱۵	٤.٩٣	٨.١٧	٢٨.٨	٣.٩٣	٧	١١.٥٤	٤	٤.٩٨	٩.٨٢
١٥-٣٠	٤.٧٧	٦.٧٤	٢٨.٩٨	٣.٤٣	٥.١٧	١٢.٩	٣.٨	٣.٩١	٩.٦٦
٣٠-٤٥	٤.٥	٦.٣٥	٢٥.٧	٣.٢٣	٤.٩٥	١٣.٣٢	٤.٢	٣.٩٤	٩.٥
٤٥-٦٠	٤.٦٣	٦.٤٥	٢٨.٤٢	٤.٣٣	٥.٩٢	١١.٠٤	٣.٩	٤.٢	١٢.٤٨

[۱] - Replication

شکل ۸ - شبیه سازی تقاطع چراغدار کارگر شمالی– گردآفرید در نرم افزار Aimsun (۱)، VISSIM (۲)، و Synchro (۳)

۳ -۲ - تحلیل و ارزیابی نتایج بدست آمده از اجرای نرم افزارها در شرایط واقعی

در این بخش، میزان دقت نرم افزارها پیش از کالیبراسیون برآورد شده تا امکان سنجش تأثیر کالیبره نمودن نرم‌افزارها بر روی دقت آنها فراهم شود. به علاوه میزان دقت هر نرم افزار به عنوان یک معیار برای اولویت بندی آنها و تعیین نرم افزار برتر نیز استفاده شد. لذا پس از بیان مبانی خطاها در آمار و مدلسازی، مرور مطالعات مشابه انجام شد. در نهایت با بررسی پارامترها و روش های مورد استفاده در دیگر تحقیقات، پارامترهای کنترلی در پروژه کالیبراسیون نرم‌افزارها برای تهران تعیین گردید.

با توجه به آنکه انتخاب تسهیلات منفرد و بررسی همزمان سه نرم افزار یکی از نوآوری‌های این مطالعه بوده است، برای تقاطعات چراغدار معیار طول صف، برای تقاطعات بدون چراغ معیار حجم ترافیک، برای مقاطع آزاد راهی و شریانی از سه معیار سهم استفاده از خطوط، چگالی و متوسط سرعت و برای مقاطع همگرایی و واگرایی

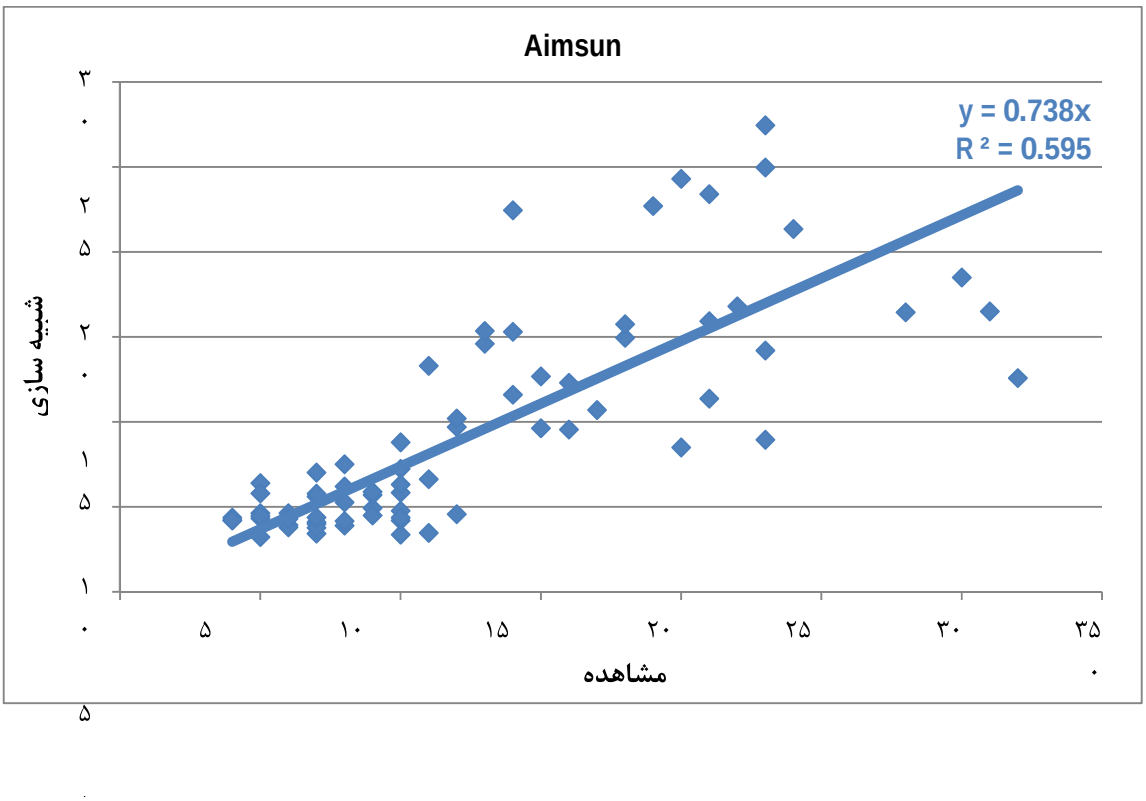
متوسط سرعت و نرخ جریان، به عنوان پارامترهای کنترلی انتخاب شدند.

در ادامه خروجی نرم افزار های شبیه ساز برای ۲۵ تسهیلات ترافیکی شبیه سازی شده در شهر تهران در جداولی ارائه شدند که به عنوان نمونه جدول مربوط به مقایسه خروجی‌های سه نرم افزار برای تقاطعات چراغدار، و همچنین نمودار مقایسه نتایج Aimsun با مشاهدات میدانی برای معیار بیشینه طول صف در جدول (۹) و شکل (۹) قابل مشاهده است.

جدول ۹- مقایسه نتایج مشاهده و خروجی نرم افزار های شبیه ساز برای متوسط یک ساعته طول صف در تقاطعات چراغدار

محل تقاطع	بیشترین طول صف در هر رویکرد															
	رویکرد غربی				رویکرد شرقی				رویکرد جنوبی				رویکرد شمالی			
	Synchro	VISSIM	Aimsun	مشاهده	Synchro	VISSIM	Aimsun	مشاهده	Synchro	VISSIM	Aimsun	مشاهده	Synchro	VISSIM	Aimsun	مشاهده
کارگر شمالی - گرد آفرین	۱۰.۳۷	٤.۲٦	۳.۹۸	٦.۲٥	-	-	-	-	۱۲.۲	٥.۷٦	۳.۷۳	٥.۷٥	۲۷.۹۸	٦.۹۳	٤.۷۱	۸.۲٥
نکاوران - دلواری	۸.۱۸	۱۱.٥	٥.٤٤	۱۰.۲٥	٦.۲٥	٦.۷٥	۳.۸	۹.۷٥	٦.٦	۷.٥	٤.۳۹	٦.۲٥	۸.٥۸	٥	٤.۳۹	٥.٥
مخبری - شاهین	۱٤.۱۲	۱۳.۰٥	۱۲.۲٥	۱۱.۲٥	۲۸.۸۹	۲٤.٥۰	۲٤.۲۲	۱۹	۱٦.٦۱	٦.۹۲	٥.٤٤	۷.٥	۱٤.۱۹	۸.٦۸	۷.۰۸	۷.٥
نیروهوایی - نهاوندی	۲٦.۱۷	۱۸.۰٥	۱۳.۹۷	۱۷.٥	-	-	-	-	۱۹.۲۸	۱۹.۱۹	۱۷.۹۳	۱۸	۱٤.۷۷	۱۲.۱۸	۱۰.۰٥	۱۸.۲٥
میرداماد - ولیعصر	۱۳.۷	۱۰.۹٦	٦.٦۱	۹.۲٥	۱۳.۲	۱۷.٤۹	۹.٦	۱٥.۷٥	۱۸.٤۸	۲۷.۲۹	۱٦.۳۱	۲۳.۲٥	۲۱.٤۸	۲٤.٥۸	۱۷.٦۳	۲۸.٥

سپس مطالعات پیشین در ارتباط با روش‌های کنترل دقت نرم افزارهای شبیه ساز بررسی شده و با تعیین معیارهای مورد نظر و برگزیده برای کنترل دقت شبیه سازی در نرم افزارهای مختلف در پروژه حاضر، اعمال معیارهای منتخب به نتایج حاصل از شبیه سازی صورت گرفت.



شکل ۹- نمودار مقایسه نتایج نرم افزار Aimsun در برابر مشاهدات میدانی برای معیار بیشینه طول صف در رویکردهای تقاطعات چراغدار در بازه های پانزده دقیقه ای

دو معیار فرم نرمال شده جذر مربع متوسط خطا[۱](NRMSE) و درصد متوسط خطای مطلق[۲](MAPE) برای اعمال بر نتایج شبیه سازی ها و تعیین میزان دقت نرم افزار های شبیه ساز در این پروژه انتخاب شد. معیار جذر مربع متوسط خطای نرمال دارای این مزایای مهم است که نرمال و بدون بعد است و به خطاهای بزرگ جریمه

[۱] Normal root mean square error

[۲] Mean absolute percentage error

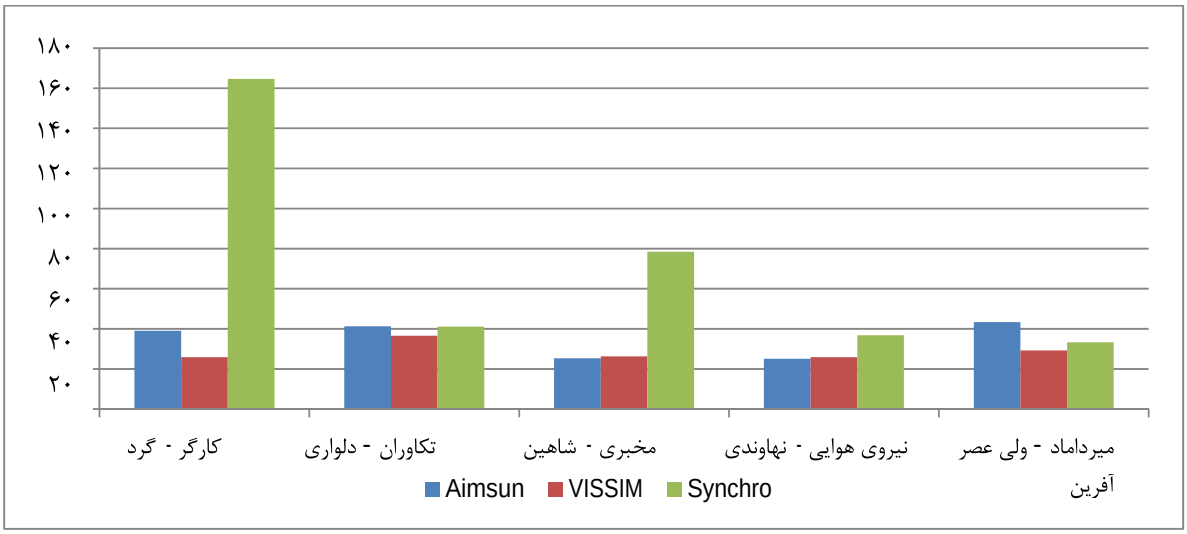
بیشتری در مقابل مقادیر کوچک خطا اعمال می‌کند. درصد متوسط خطای مطلق نیز سنجه‌ای نرمال و بدون بعد است و در مطالعات پیشین در موارد متعددی مورد استفاده قرار گرفته است.

به عنوان نمونه جدول (۱۰) و شکل (۱۰) به ترتیب خطای شبیه سازی بر اساس معیار فرم نرمال شده جذر مربع متوسط خطا در تقاطعات چراغدار و نمودار مقایسه دقت نتایج نرم افزارها در شبیه سازی تقاطعات چراغدار نسبت به پارامتر طول صف بر اساس معیار فرم نرمال شده جذر مربع متوسط خطا را نمایش می‌دهند.

در نهایت نتایج آزمون‌های آماری نشان داد به غیر از نرم افزار Synchro که اصولاً برای تحلیل و مطالعه تقاطعات به نسبت بهتر از سایر تسهیلات است، نتایج دو نرم افزار دیگر از نظر دقت و مشابهت با برداشت‌های میدانی، تقریباً در یک سطح بوده و می‌توان گفت که توسط کاربر ماهر و با صرف زمان کافی جهت شبیه سازی در هر دو نرم افزار می‌توان به سطح مطلوب و قابل قبولی از دقت دست یافت.

جدول ۱۰ - خطای شبیه سازی بر اساس معیار فرم نرمال شده جذر مربع متوسط خطا در تقاطعات

تقاطع	بیشترین طول صف در هر رویکرد		
	Aimsun	VISSIM	Synchro
کارگر – گرد آفرین	۳۹.۰٤	۲٥.۸٥	١٦٤.٦١
تکاوران - دلواری	٤١.۲۹	۳٦.٥٦	٤١.١٥
مخبری - شاهین	۲٥.۳۳	۲٦.۲۳	۷۸.٤٥
نیرو هوایی - نهاوندی	۲٥.١١	۲٥.۸٥	۳٦.۸۲
میرداماد - ولی عصر	٤۳.۳٦	۲۹.۲	۳۳.۳۲



شکل ۱۰ - نمودار مقایسه دقت نتایج نرم افزارها در شبیه سازی تقاطعات چراغدار نسبت به پارامتر طول صف بر اساس معیار فرم نرمال شده جذر مربع متوسط خطا

۳ -۳ - شناسایی پارامترهای تأثیرگذار در اولویت بندی نرم‌افزار ها جهت شبیه‌سازی

شناسایی پارامترهای مهم و تأثیرگذار در اولویت‌بندی نرم‌افزارها برای شبیه‌سازی توسط روش‌های تصمیم‌گیری گروهی، تکنیک های ایده پردازی و استفاده از قضاوت خبرگان[۱] در تعیین ساختار مسأله تصمیم گیری، انجام شد و شرح مختصر هر روش و فاکتورهای موثر در تصمیم‌گیری ارائه شد. سپس شناسایی مطالعات مشابه انجام شده به‌منظور مقایسه نتایج نرم‌افزار های شبیه ساز و بررسی نتایج حاصل از آنها انجام شد. این بررسی‌ها نشان داد که *در ایده‌ال ترین حالت، باید بر اساس نیازهای هر پروژه حمل و نقل، نرم افزار برتر و کاراتر را انتخاب کرد.*

۳ -۴- اولویت‌بندی و انتخاب نرم‌افزار برتر جهت شبیه‌سازی ترافیک در شهر تهران

در این پروژه از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره که قابلیت تعیین وزن گزینه‌ها نسبت به هدف مسأله با در

[۱] Experts Judgement

نظر گیری توأم معیارهای کمی و کیفی و مقایسه این معیارها در شرایطی مطلوب و در بستری مناسب را دارند استفاده شد. فرآیند تحلیل شبکه‌ای[۱] (ANP) که نوع تکامل یافته و کاراتر فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[۲] (AHP) است، در حال حاضر در تحلیل سیستم‌ها جای خود را به خوبی باز نموده است. از آنجا که روش ANP کلیه خصوصیات روش AHP را در خود دارد و شکل جامع تر آن است، در این مطالعات روش ANP توضیح داده شده و استفاده گردید.

سه نرم‌افزار در دو قسمت مجزای هزینه و فایده با هم مقایسه شدند. در خصوص مقایسه نرم‌افزارها بر اساس معیارهای فایده، معیارهایی چون «قابلیت های عملکردی و دقت»، «راحتی کار و سهولت استفاده»، «کمک به مدیریت دانش کاربران»، «معیار مربوط به کاربران فعلی» و «خصوصیات شرکت فروشنده» معیارهای اصلی مسأله تصمیم بودند. نتایج نشان داد که نرم‌افزار VISSIM علیرغم اینکه از لحاظ «قابلیت های عملکردی و دقت» وزن بالاتری را نسبت به سایر نرم‌افزارها کسب نموده است ولی اولاً کار با این نرم‌افزار به سادگی کار با گزینه Aimsun نیست و حتی از برخی از اولین امکانات ساده سازی یک فرآیند مدل سازی نظیر امکان بازگشت (undo) بی‌بهره است. از طرف دیگر در شرایط فعلی و با فعالیت مناسب و شایان توجه نماینده Aimsun در کشور، این نرم‌افزار در خصوص معیارهای «کمک به مدیریت دانش کاربران» و «خصوصیات شرکت فروشنده» وزن بهتری دارد. همچنین با توجه به آنکه آموزش Aimsun در کشور از قدمت بیشتری برخوردار است، لذا این نرم‌افزار نسبت به «معیار مربوط به کاربران فعلی» نیز رتبه بهتری را اخذ می نماید. علاوه بر موارد فوق، وقتی قیمت‌های خرید نیز در نظر گرفته شود، وزن نرم‌افزار VISSIM کاهش بیشتری می‌یابد.

تحلیل حساسیت صورت گرفته نشان داد که اگر چه با تغییراتی در وزن گزینه‌ها نسبت به معیارها، می‌توان نرم‌افزار VISSIM را نرم‌افزار برتر اعلام نمود، ولی به دلیل اینکه این تغییرات باید نسبتاً زیاد و قابل توجه باشد؛ لذا این مسأله تصمیم‌گیری را می‌توان یک مسأله استوار[۳] به حساب آورد که گزینه بهینه (Aimsun) دارای برتری نسبی است.

---

[۱] Analytic network process

[۲] analytic hierarchy process

[۳] Robust

۴ - تحلیل نتایج و ارائه راهکار

در انجام هر مطالعه میدانی و یا شبیه‌سازی، تعیین میزان دقت و درستی نتایج و مشابهت آنها با مشاهدات از اهمیت فراوانی برخوردار است. هدف از مدلسازی و شبیه‌سازی معمولاً سنجش اثر استراتژی‌ها و برنامه‌هایی است که محقق یا برنامه‌ریز سیستم قصد دارد آنها را در واقعیت اجرا نماید، بنابراین برنامه‌ریزی و عمل بر پایه نتایج شبیه‌سازی یا مدلسازی که نتوان به آنها به میزان کافی اعتماد نمود، هدر دادن وقت و هزینه است.

۴- ۱- بررسی میزان خطای نرم افزارها در هر یک از دسته تسهیلات نمونه

کالیبره کردن نرم‌افزار برای محیط مورد استفاده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تعیین میزان اختلاف نتایج و خروجی‌های نرم‌افزار و مشاهده و تشخیص علت و نحوه رفع آنها در روند کالیبراسیون اهمیت بسیاری دارد. در این بخش از پروژه به بررسی میزان خطای شبیه‌سازی در نرم‌افزار منتخب در تسهیلات مورد مطالعه پرداخته شد.

معیارهای سنجش دقت میان نتایج مدل و مشاهده که مورد بررسی قرار گرفتند، ضریب همبستگی پیرسون[۱]، درصد خطا[۲]، خطای متوسط[۳]، مربع متوسط خطا[۴]، جذر متوسط مربع خطا[۵]، درصد متوسط خطای مطلق[۶]، آماره‌های تایل[۷]، و بالاخره آماره GEH[۸] (آماره‌ای خاص مهندسان ترافیک که از آن در بررسی و مدلسازی جریان ترافیک استفاده می‌شود) است.

کنترل دقت نرم افزار توسط دو معیار جذر متوسط مربع خطای نرمال و درصد متوسط خطای مطلق به اضافه آزمون‌های تایل و GEH صورت گرفته است. از آنجا که آماره GEH در مرور ادبیات فقط برای پارامتر حجم توصیه شده است، از این آماره فقط برای کنترل خروجی‌ها در شبیه سازی تقاطعات بدون چراغ استفاده شده است. به علاوه آزمون تایل برای مقایسه تعداد کم داده‌ها معتبر نیست، لذا این آزمون برای مجموع رویکردهای هر تقاطع

---

[۱] Pearson correlation coefficient

[۲] Percentage error

[۳] Mean error

[۴] Mean square error

[۵] Normal root mean square error

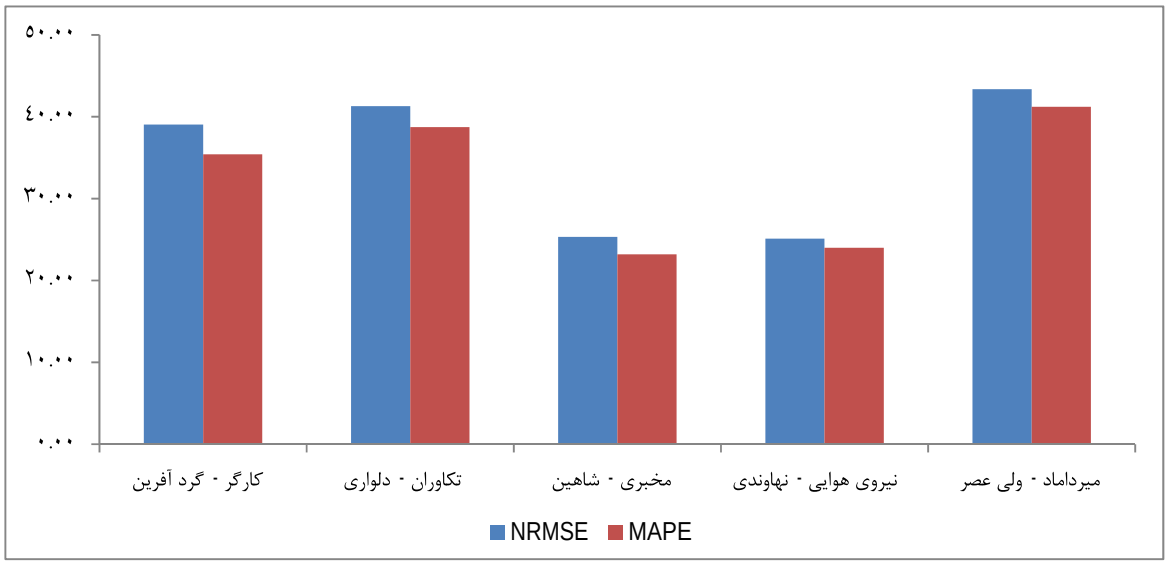
[۶] Mean absolute percentage error

[۷] Theil

[۸] Geoffrey E. Havers

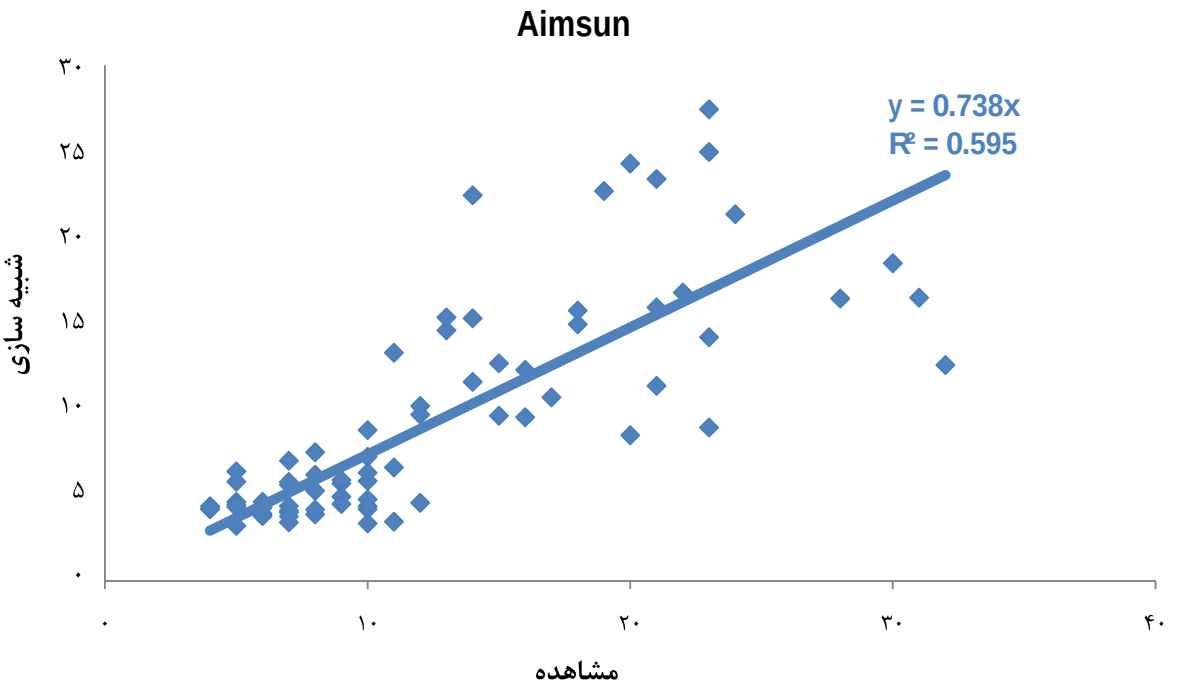
(نه هر رویکرد به تنهایی) در نظر گرفته شد.

نمودارهای ارائه شده در شکل‌های (۱۱) تا (۱۳) نمونه‌ای از نتایج سنجش دقت Aimsun را برای تقاطعات چراغدار نمایش می‌دهند. شکل (۱٤) نیز نتایج آزمون GEH را در تقاطعات بدون چراغ ارائه داده است.

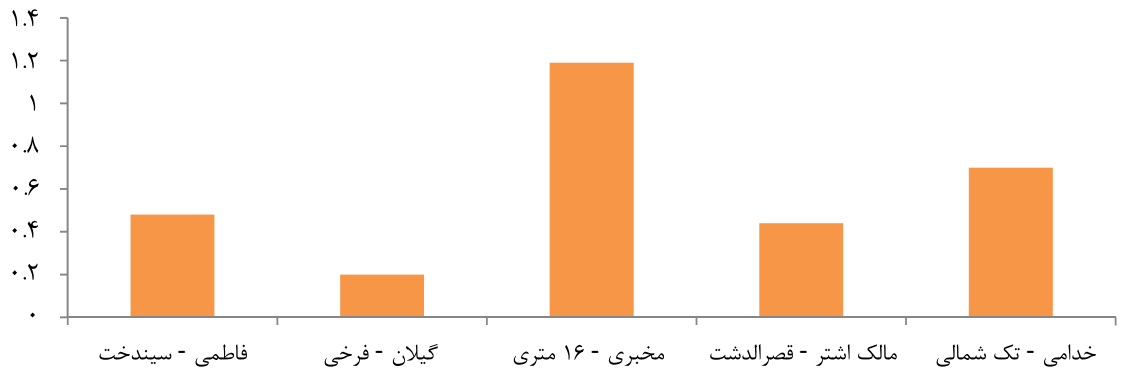


شکل ۱۱- خطای شبیه سازی نسبت به معیار طول صف در تقاطعات چراغدار در نرم افزار Aimsun

شکل ۱۲- نتیجه آزمون آماری تایل نسبت به معیار طول صف در شبیه سازی تقاطعات چراغدار در نرم افزار Aimsun

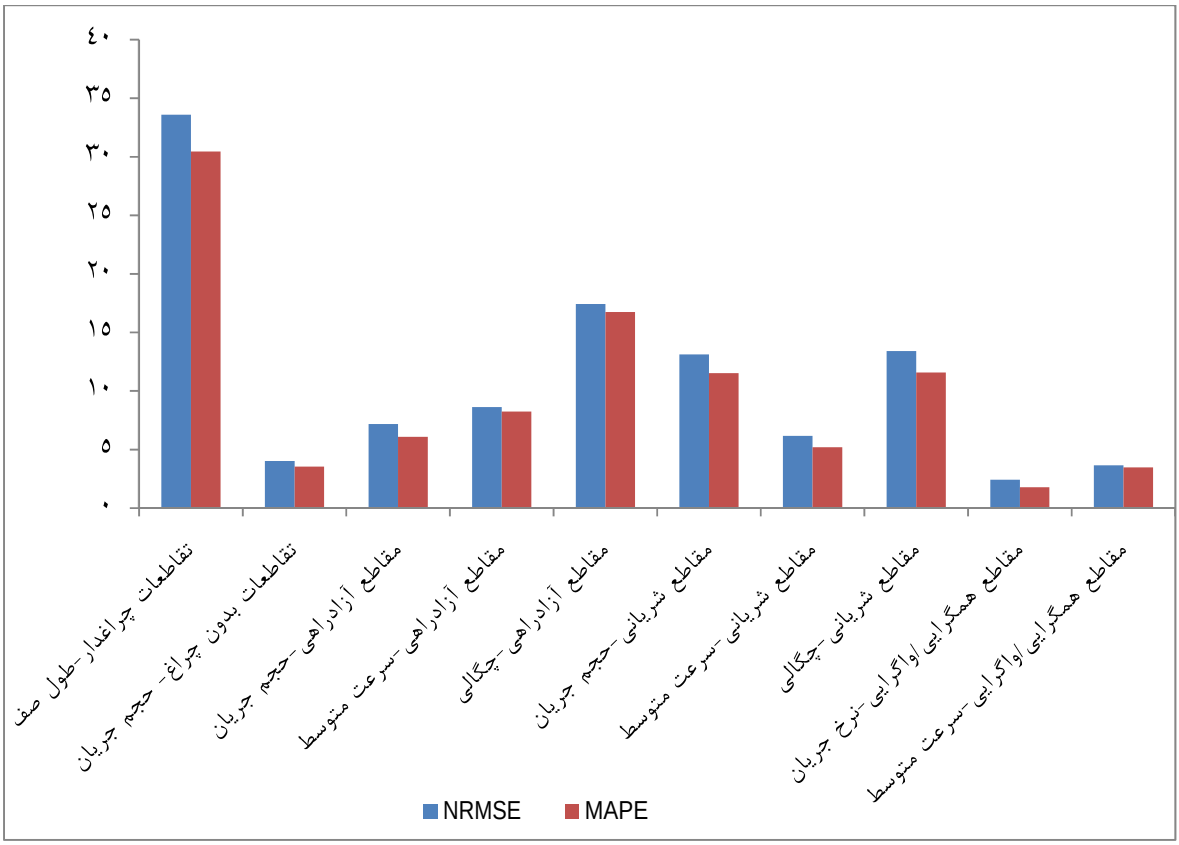


شکل۱۳- نمودار مقایسه نتایج نرم افزار Aimsun در برابر مشاهدات میدانی برای معیار بیشینه طول صف در رویکردهای تقاطعات چراغدار در بازه های پانزده دقیقه ای

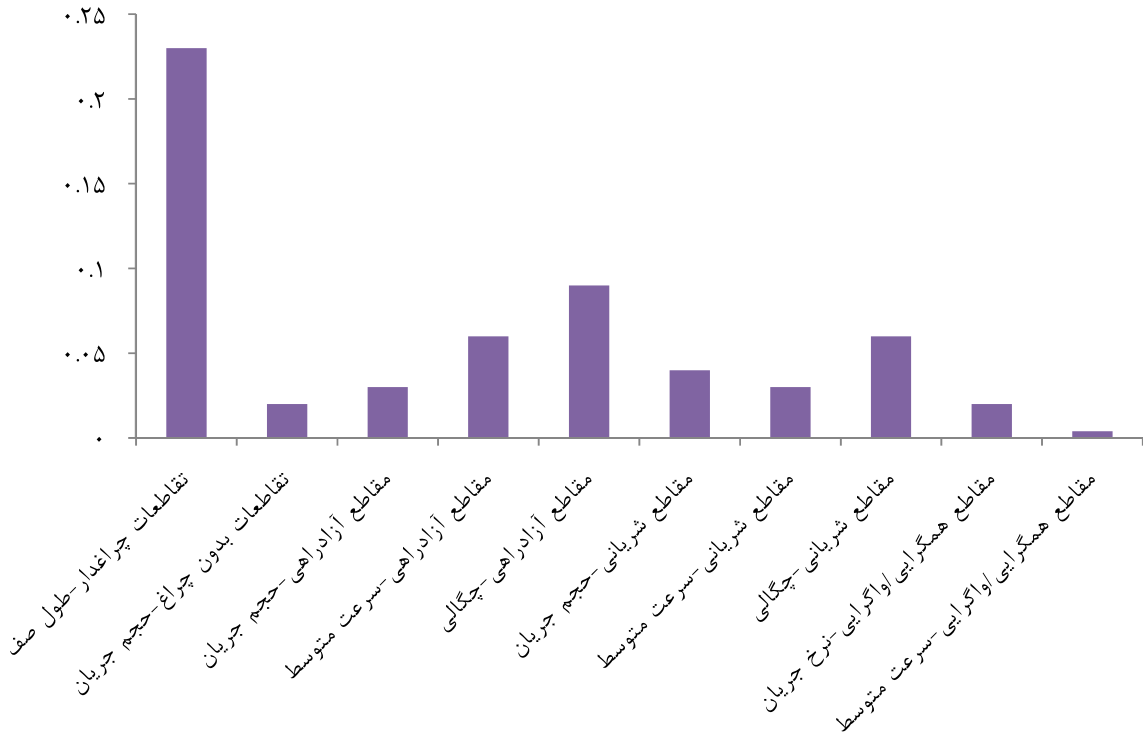


شکل ۱۴ - نتیجه آزمون آماری GEH در شبیه‌سازی تقاطعات بدون چراغ در نرم‌افزار Aimsun نسبت به پارامتر نرخ جریان

در نهایت نمودار شکل (۱۵) متوسط خطای شبیه سازی نرم افزار Aimsun را روی دسته تسهیلات مختلف بر اساس دو معیار درصد خطای مطلق و جذر مربع متوسط خطای نرمال نشان می‌دهد، در نمودار شکل (۱۶) نیز جمع‌بندی نتایج نمودار بر اساس آماره تایل ارائه شده است.



شکل ۱۵- متوسط خطای شبیه سازی دسته تسهیلات مختلف در نرم افزار Aimsun



شکل ۱۶- نتایج آماره تایل در شبیه سازی دسته تسهیلات مختلف در نرم افزار Aimsun

همانگونه که نمودار نشان می دهد، نرم افزار Aimsun بهترین عملکرد را در مقاطع همگرایی/ واگرایی و تقاطعات بدون چراغ، و بدترین عملکرد را در تقاطعات چراغدار داشته است. به علاوه معیار تایل به جز در مورد شبیه‌سازی تقاطعات چراغدار هرگز حتی از نصف مرز تعیین شده (مقدار ۰.۲) تجاوز ننموده است. در مجموع می‌توان عملکرد نرم افزار Aimsun را قابل قبول برآورد نمود. با این وجود با افزایش حجم جریان ترافیک و تداخل وسایل نقلیه به خصوص در حرکات گردشی از دقت نرم افزار کاسته می شود، که این موضوع نشان دهنده اهمیت کالیبراسیون نرم افزار است. در ادامه بررسی‌های انجام شده در این خصوص و نتایج به دست آمده مرور می‌شود.

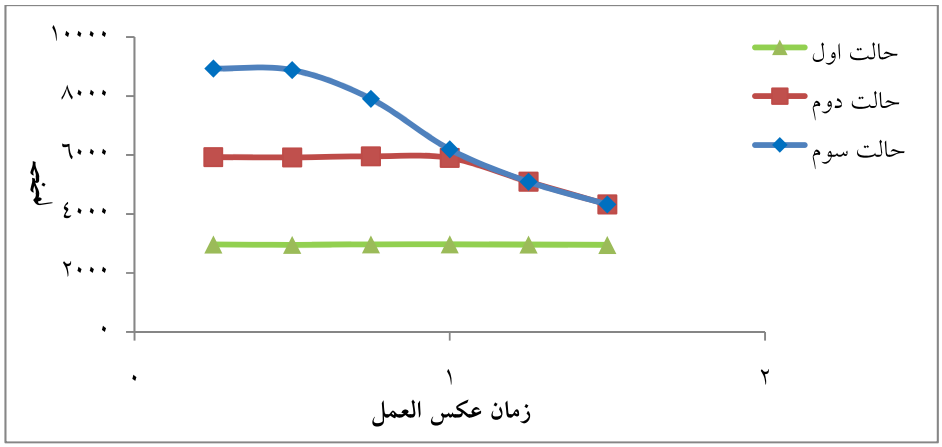
۴- ۲ - بررسی میزان تأثیر هر یک از عوامل موثر در روند و نتایج شبیه سازی

در نرم‌افزار Aimsun پارامترهای موثر بر شبیه‌سازی را می‌توان در سه دسته کلی پارامترهای عمومی[۱]،

[۱] Global Parameters

پارامترهای مقاطع محلی[۱] و پارامترهای خودرو[۲] تقسیم‌بندی نمود. برای هر یک از تسهیلات تعیین شده، نمونه‌ای با ۱۰ تکرار شبیه‌سازی و میانگین ۱۰ شبیه‌سازی به عنوان خروجی ارائه می‌شود و با در نظر گرفتن دو وضعیت حجم ترافیک برای هر نمونه تأثیر هر پارامتر به ازای مقادیر پیش فرض پارامترهای دیگر، بر مقادیر خروجی از شبیه‌سازی تعیین شد.

پارامترهایی که بر تمامی وسایل نقلیه (فارغ از نوع وسیله نقلیه) و در همه جای شبکه معابر (فارغ از نوع معبر) در روند شبیه‌سازی تأثیر یکسانی دارند به عنوان پارامترهای عمومی در نظر گرفته شدند. در این دسته، پارامترهای موثر در شبیه‌سازی، زمان عکس العمل[۳]، زمان عکس العمل در حالت توقف[٤]، درصد سبقت[٥] و درصد بازگشت به خط کندرو[٦] هستند. به عنوان نمونه شکل (۱۷) تأثیر پارامتر زمان عکس العمل را بر حجم عبوری از معبر بزرگراهی نشان می دهد. مشاهده می شود که با افزایش مقدار زمان عکس العمل ظرفیت معبر کم شده و حجم عبوری از معبر کاهش می‌یابد. لذا در بزرگراه ها زمان عکس العمل بر ظرفیت معابر تأثیر گذار است.



شکل ۱۷ - تغییرات حجم بر حسب زمان عکس العمل در بزرگراه

[۱] Local Section Parameters

[۲] Vehicle Parameters

[۳] Reaction Time

[٤] Reaction Time at Stop

[٥] % Overtake

[٦] % Recover

در مجموع در این بخش، عملکرد هر پارامتر بر تسهیلات مختلف (بزرگراه، تداخلی، تقاطع بدون چراغ و تقاطع چراغدار) با در نظر گرفتن سه سطح تقاضا مطالعه شد. نتایج نشان داد که عموماً در تسهیلات ساده مانند بزرگراه روند تغییرات از قاعده مشخصی پیروی نموده و برای بسیاری از پارامترها قابل پیش‌بینی بوده است در حالی که در تسهیلات پیچیده تر مانند تقاطع چراغدار، نحوه تأثیر پارامترها از قاعده خاصی پیروی نمی کند.

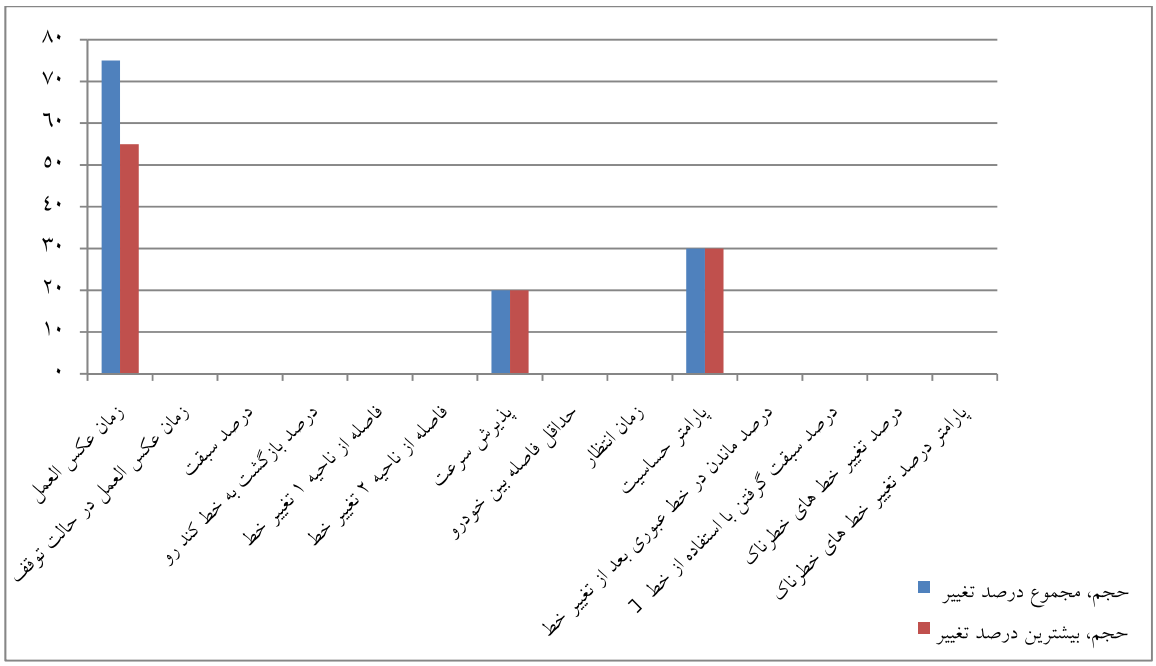
۴ -۳ - اولویت بندی و تعیین پارمترهای اصلی و مهم جهت افزایش دقت کالیبراسیون در شهرتهران

پارامترهای شبیه سازی که بر تعداد بیشتری از پارامترهای ترافیکی تأثیر گذارند از اهمیت و اولویت بیشتری برخوردار هستند. دیگر متغیرها بسته به اهداف شبیه سازی و اهمیت پارامترهای ترافیکی آن شبیه سازی دارای اولویت های متفاوتی هستند.

برای مقایسه میزان تأثیر متغیرها بر پارامترهای ترافیکی معیارهای درصد تغییر، مجموع درصد تغییر و بیشترین درصد تغییر تعریف شده است. معیار مجموع درصد تغییر نشان دهنده میزان تأثیر یک متغیر بر پارامتر ترافیکی در حالات مختلف تقاضا است و معیار بیشترین درصد تغییر نشان دهنده بیشترین تغییر ممکن فارغ از وضعیت ترافیکی شبیه سازی است. برای هریک از تسهیلات مورد مطالعه، این دو معیار مجموع برای هر پارامتر نسبت به متغیرهای معرفی شده تعیین گردید.

به عنوان نمونه شکل (۱۸) معیار مجموع درصد تغییر و بیشترین درصد تغییر را برای پارامتر حجم یا ظرفیت در بزرگراه نشان می دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می شود متغیرهای زمان عکس العمل، پارامتر حساسیت و پذیرش سرعت به ترتیب دارای بیشترین اولویت هستند.

برای پارامتر سرعت در بزرگراه، متغیرهای پذیرش سرعت، زمان عکس العمل، پارامتر حساسیت، درصد سبقت و درصد ماندن در خط عبوری بعد از تغییر خط دارای بیشترین اولویت تأثیر در پارامتر سرعت هستند. به همین ترتیب در مورد تأثیر متغیرها بر پارامتر درصد استفاده از خطوط، به ترتیب متغیرهای زمان عکس العمل، درصد ماندن در خط عبوری بعد از تغییر خط، پارامتر حساسیت، درصد سبقت و پذیرش سرعت بیشترین تأثیر را دارند. همچنین در معیار بیشترین درصد تغییر، درصد ماندن در خط عبوری بعد از تغییر خط، بیشترین مقدار و تأثیر را داراست. در مجموع می توان پارامتر درصد ماندن در خط عبوری بعد از تغییر خط را دارای بیشترین تأثیر دانست.



شکل ۱۸ - معیار مجموع درصد تغییر و بیشترین درصد تغییر برای پارامتر حجم یا ظرفیت در بزرگراه

با بررسی مجموع درصد تغییر و بیشترین درصد تغییر پارامترهای حجم (ظرفیت) و سرعت برحسب متغیرهای شبیه سازی در مقاطع تداخلی، مشخص شد که برای پارامتر حجم، زمان عکس العمل دارای بیشترین تأثیر است در حالی که متغیر پذیرش سرعت بیشترین تأثیر را در پارامتر سرعت دارد.

همچنین پس از محاسبه مقادیر مجموع درصد تغییر و بیشترین درصد تغییر برای تقاطع بدون چراغ، مشاهده شد که برای پارامتر حجم، بیشترین تأثیر را به ترتیب پارامترهای پذیرش سرعت، زمان عکس العمل، زمان انتظار، پارامتر حساسیت و حداقل فاصله بین خودرو دارند. از طرفی متغیرهای زمان عکس العمل، پذیرش سرعت، زمان انتظار، درصد تغییر خط های خطرناک، پارامتر حساسیت و حداقل فاصله بین خودرو به ترتیب دارای بیشترین تأثیر بر پارامتر سرعت در تقاطع‌های بدون چراغ هستند. همچنین متغیرهای حداقل فاصله بین خودرو، زمان انتظار، زمان عکس العمل، درصد تغییرخط های خطرناک و پذیرش سرعت به ترتیب بیشترین تأثیر را بر میانگین صف دارند.

در تقاطعات چراغدار، متغیرهای بیشتری بر پارامترهای ترافیکی موثر است. متغیرهای موثر بر تقاطع‌های

چراغدار عبارتند از: زمان عکس العمل، زمان عکس العمل در حالات توقف، درصد سبقت، پذیرش سرعت، حداقل فاصله بین خودرو، زمان انتظار، پارامتر حساسیت و درصد تغییر خط های خطرناک. در اولویت بندی متغیرها برای پارامتر حجم بیشترین تأثیر را زمان عکس العمل و سپس پذیرش سرعت[1] دارند. اولویت متغیرهای موثر بر پارامتر سرعت به ترتیب، پذیرش سرعت، زمان عکس العمل، زمان انتظار، درصد تغییر خط های خطرناک، زمان عکس العمل در حالت توقف، درصد سبقت، پارامتر حساسیت، و حداقل فاصله بین خودرو است. برای پارامتر میانگین طول صف نیز، متغیرهای زمان عکس العمل، پذیرش سرعت، زمان عکس العمل در حالت توقف، زمان انتظار، درصد سبقت، حداقل فاصله بین خودرو و درصد تغییر خط های خطرناک (به ترتیب اولویت) دارای بیشترین تأثیر در تقاطع‌های چراغدار هستند.

در مجموع، هرچه بر پیچیدگی تسهیلات شبیه سازی شده افزوده شود نحوه تأثیر متغیرها نیز تغییر می کند به عنوان مثال: روند تأثیر متغیرها بر روی معابر بزرگراهی که ساده ترین نوع تسهیلات هستند دارای روندی منظم (صعودی یا نزولی) و قابل پیش‌بینی است در حالی که در تقاطع چراغدار که پیچیدگی بیشتری دارد منحنی های رسم شده تأثیر منظم و قابل پیش‌بینی را نشان نمی دهند. به این ترتیب انتظار می رود در شبیه سازی یک شبکه که شامل ترکیبی از تسهیلات مختلف می شود روند تأثیر پارامترها بسیار پیچیده تر از آنچه تاکنون بیان شد، باشد و پیش‌بینی روند و میزان تأثیر متغیرها بر پارامترهای ترافیکی به سادگی امکان پذیر نباشد.

در اولویت بندی کلی، متغیرهایی که دارای تأثیر فراگیرتری هستند در اولویت بالاتری قرار می گیرند. منظور از فراگیر بودن یک متغیر، تأثیر آن متغیر بر تعداد بیشتری از تسهیلات مسئله و پارامترهای هدف است. همچنین نوع پارامتر (پارامتر عمومی، پارامتر معابر و پارامترهای خودرو) نیز می تواند در این امر در نظر گرفته شود.

جدول (۱۱) اولویت تأثیر هر یک از متغیرها را بر پارامترهای مختلف در هر یک از ٤ نوع تسهیلات بررسی شده نشان می دهد. با توجه به جدول (۱۱) پارامترهای زمان عکس العمل، پذیرش سرعت و حساسیت را می توان به ترتیب در اولویت اول قرار داد، چرا که علاوه بر اینکه این متغیرها بر اکثر متغیرهای دیگر در تسهیلات مختلف موثرند، در بسیاری از پارامترها دارای اولویت اول و دوم هستند. در نتیجه می توان در ابتدا با تغییر این متغیرها پارامتری را که اهمیت بیشتری دارد تنظیم نمود و در مرحله بعدی بسته به تسهیلات و پارامترهای هدف، متغیرهایی انتخاب شوند که دامنه تأثیر کمتری دارند.

[1] Speed acceptance

جدول ۱۱– اولویت متغیرهای شبیه سازی برحسب پارامترها و تسهیلات ترافیکی

پارامترها و تسهیلات ترافیکی	حجم				سرعت				درصد استفاده از خط	میانگین طول صف	
متغیرهای شبیه سازی	بزرگراه	مقطع تداخلی	تقاطع بدون چراغ	تقاطع چراغدار	بزرگراه	مقطع تداخلی	تقاطع بدون چراغ	تقاطع چراغدار	بزرگراه	تقاطع بدون چراغ	تقاطع چراغدار
زمان عکس العمل	۱*	۱	۲	۱	۲	۲	۱	۲	۲	۳	۱
زمان عکس العمل در حالت توقف	–	–	–	۳	–	–	–	۵	–	–	۳
درصد سبقت	–	–	–	۶	۴	–	–	۶	۴	–	۵
درصد بازگشت به خط کند رو	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
فاصله از ناحیه ۱ تغییر خط	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
فاصله از ناحیه ۲ تغییر خط	–	۲	–	–	–	۳	–	–	–	–	–
پذیرش سرعت	۳	۲	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۵	۵	۲
حداقل فاصله بین خودرو	–	–	۱	۷	–	–	۵	۸	–	۱	۶
زمان انتظار	–	–	۳	۵	–	–	۳	۳	–	۲	۴
پارامتر حساسیت	۲	۲	۴	۴	۳	۴	۴	۷	۳	–	–
درصد ماندن در خط عبوری بعد از تغییر	–	–	–	–	۵	–	–	–	۱	–	–
درصد سبقت گرفتن با استفاده از خط	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
پارامتر درصد تغییر خط های خطرناک	–	–	–	۸	–	–	۳	۴	–	۴	۷

* مقدار ۱ بیشترین اولویت و ۸ کمترین اولویت است

** – به معنی فاقد اولویت میباشد

۵ - کالیبراسیون مدل ها و پارامترهای شبیه سازی در نرم‌افزار منتخب

در این بخش از مطالعات، با توجه به آنکه نرم‌افزار شبیه‌ساز Aimsun به‌عنوان نرم‌افزار منتخب شناخته شد، نتایج کالیبراسیون پارامترها و مدل‌های اصلی این نرم‌افزار به همراه بررسی مطالعات پیشین موضوع هر یک از مدل‌ها و تحلیل های انجام شده، ارائه گردید. بر این اساس، بررسی اطلاعات و آمار مورد نیاز به‌منظور استفاده در فرآیند کالیبراسیون انجام شده و در ادامه مدل های کنترل ترافیک شامل نرخ جریان اشباع، سرفاصله، زمان از دست رفته، طول صف و در نهایت قبول فرصت کالیبره شده و در پایان نیز مدل‌های رفتاری رانندگان خودرو شامل مدل‌های پیروی خودرو و تغییر خط کالیبره شده و نتایج آن ارائه شد.

۵ -۱ - برداشت اطلاعات و آمار مورد نیاز جهت کالیبراسیون مدل‌ها و پارامترهای نرم‌افزار شبیه ساز Aimsun

در این بخش و به‌منظور برداشت اطلاعات و آمار مورد نیاز برای کالیبراسیون مدل‌ها و پارامترهای نرم‌افزار منتخب، پارامترهای هدف در پنج گروه دسته‌بندی شدند:

۱) پارامترهای مربوط به تعیین سرفاصله اشباع
۲) پارامترهای مربوط به تعیین خودروی تیپ
۳) پارامترهای مربوط به کالیبراسیون مدل قبول فرصت
٤) پارامترهای مربوط به کالیبراسیون مدل پیروی خودرو
۵) پارامترهای مربوط به کالیبراسیون مدل تغییر خط

هدف از برداشت این اطلاعات، آماده‌سازی آمار و داده‌های خام و اولیه جهت ساخت مدل‌ها و ارائه پارامترهای کالیبره شده جهت ورود به نرم‌افزار منتخب بود. هر یک از مدل‌های مورد نظر در نوع خاصی از تسهیلات ترافیکی (مطابق با جدول (۱۲)) قابل برداشت است.

جدول ۱۲- تسهیلات وابسته به هر نوع از مدل‌ها

نوع تسهیلات	تقاطعات چراغدار	تقاطعات بدون چراغ	مقاطع شریانی	مقاطع همگرایی/واگرایی	مقاطع بزرگراهی
مدل مربوطه	سرفاصله اشباع تعیین خودروی تیپ	مدل قبول فرصت تعیین خودروی تیپ	تعیین خودروی تیپ	مدل تغییر خط تعیین خودروی تیپ	مدل خودرو به‌دنبال هم تعیین خودروی تیپ

برای ارزیابی پارامترهای ترافیکی در تقاطعات چراغدار شهر تهران، با انجام مطالعات میدانی بر روی تقاطعات مورد نظر و انجام فیلم برداری‌های مورد نیاز و با استفاده از روش عنوان شده در آیین نامه ظرفیت راه‌ها، اقدام به برآورد این پارامترها در تقاطع‌های چراغدار در سطح شهر تهران شده است.

به منظور کالیبراسیون مدل پیروی خودرو پارامترهای اصلی که می‌بایست مقادیر کالیبره شده برای آن‌ها بر اساس رفتار رانندگان در شهر تهران تعیین شود، با استفاده از برداشت‌های میدانی صورت پذیرفت. عملیات آماربرداری جهت اندازه گیری پارامترهای مدل پیروی خودرو در بزرگراه نیایش حدفاصل بلوار فرحزادی و بلوار پاکنژاد و در باند جنوبی به روش فیلم‌برداری و به کمک ٤ دوربین حرفه‌ای سونی سری Z انجام شده است. همچنین با استفاده از دوربین‌های فیلم‌برداری فوق‌الذکر که دارای لنز عریض هستند می توان بیشترین مسافت ممکن را پوشش داد. برداشت پارامترهای مورد نیاز در موقعیتی معنی‌دار است که رانندگان در شرایطی قرار گیرند تا با توجه به خودرویی که در تعقیب آن هستند، سرعت خودرو را تنظیم نمایند. برای دستیابی به برآوردی قابل اطمینان از سرعت و شتاب خودروهای در حال تردد در گام‌های زمانی[۱] زیر یک ثانیه، لازم بود تا شبکه شطرنجی ایجاد گردد تا با استفاده از آن، موقعیت خودروهای عبوری و به تبع آن پارامترهای مورد نیاز قابل محاسبه باشند. این امر از طریق نشانه‌گذاری‌های دقیق در فواصل یکسان ۲ متری بر روی ترانشه جنوبی بزرگراه و گاردریل جنوبی باند شمالی مسیر مورد نظر امکان‌پذیر گردید. به منظور تأمین اطلاعات مورد در این مطالعه، عملیات فیلم برداری توسط یک تیم حرفه‌ای آشنا به موضوع و از ترانشه‌های موجود در ضلع شمالی بزرگراه نیایش صورت گرفت. به علاوه محل استقرار دوربین‌ها به گونه‌ای انتخاب شد که بتوان چهار دوربین فیلم برداری را به صورتی نصب کرد که هرکدام مسافت ۱۰۰ متر را به گونه‌ای فیلم‌برداری نمایند که فیلم‌های برداشت شده توسط آن‌ها در امتداد یکدیگر بوده و دارای تصاویر همپوشان باشند تا بتوان به‌دلیل وجود اعوجاج در فیلم‌ها، در مرحله تدوین از قسمت‌های همپوشانی برای کاهش اعوجاج استفاده نمود که در نهایت مسافتی در حدود ۳۲۰ متر از این بزرگراه فیلم برداری شد.

رفتار قبول فرصت رانندگان به پارامترهای رفتاری مختلفی از جمله سرعت تقرب رانندگان به تقاطع، فاصله‌ای که هر راننده از خودروی جلویی حفظ می‌کند، مدت زمانی که هر راننده به منظور پیدا کردن فرصت مناسب جهت ورود به تقاطع منتظر می‌ماند، و میزان ریسک پذیری راننده وابسته است. پارامترهای مذکور در چند تقاطع به کمک فیلم برداری و برداشت اطلاعات از روی فیلم و با چندین بار بازبینی فیلم‌ها تهیه شده است.

[۱] Time step

در این بخش همچنین به بررسی انواع وسایل نقلیه موجود در شبکه حمل و نقل شهر تهران و خصوصیات فنی و فیزیکی هریک پرداخته شد. در برداشت‌های میدانی انجام شده در معابر مورد مطالعه، بالغ بر ۸۸۰۰ وسیله نقلیه به تفکیک نوع خودرو آماربرداری گردید. از طرفی آمار وسایل نقلیه تاکسی و اتوبوس در شبکه حمل و نقل شهر تهران از مراجع ذیربط، استعلام گردید.

۵ -۲ - انجام کالیبراسیون مدل های کنترل ترافیک

در این بخش به مطالعه خصوصیات جریان ترافیک در تقاطعات شهر تهران پرداخته شده و با انجام مطالعات میدانی برروی این تقاطعات به ارزیابی و تحلیل این خصوصیات پرداخته شد. از جمله خصوصیاتی که در این بخش مورد بررسی قرار گرفته‌اند می‌توان به نرخ جریان اشباع[۱]، سرفاصله زمانی اشباع[۲]، زمان از دست رفته اولیه[۳] و فاصله وسایل نقلیه در حالت توقف[٤] اشاره نمود.

به عنوان نمونه در بررسی نرخ جریان اشباع تقاطعات چراغدار و سرفاصله زمانی اشباع، عوامل بسیار زیادی تأثیرگذار می‌باشند. از جمله این عوامل می‌توان به مواردی همچون وسایل نقلیه سنگین، فراوانی موتور سیکلت‌ها و وجود عابرین پیاده اشاره نمود که وجود هریک از موارد ذکر شده می‌تواند تأثیر قابل توجهی برروی عملکرد تقاطع داشته باشد. **در** جدول (۱۳) نتیجه بررسی پارامترهای ترافیکی تقاطعات بررسی در شهر تهران قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۱۳ - پارامترهای ترافیکی محاسبه شده در تقاطعات شهر تهران

پارامتر	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

[۱] Saturation Flow Rate

[۲] Saturation Headway

[۳] Start up Lost Time

[٤] Stand Still Distance

در ادامه، نخست مقادیری برای پارامتر زمان راه دادن[۱] در نرم‌افزار Aimsun و مطابق با جدول (۱٤) ارائه گردید. سپس با استفاده از روش حداکثر مطلوبیت، مدلی مطابق با روابط (۱) الی (۳) برای مدل قبول فرصت در شهر تهران توسعه یافت. مقادیر پارامترها و ضرایب مدل ارائه شده برای قبول فرصت در شهر تهران در جدول (۱۵) قابل مشاهده است.

جدول ۱۴- مقادیر توصیه شده برای پارامتر زمان راه دادن در نرم‌افزار Aimsun

پارامترهای مرتبط با بیشترین زمان راه دادن	متوسط	انحراف معیار	کمترین	بیشترین
مقادیر پایه در نرم‌افزار	۱۰.۰۰ ثانیه	۲.۵۰ثانیه	۵.۰۰ ثانیه	۱۵.۰۰ ثانیه
اندازه توصیه شده در تقاطعات با حجم جریان ترافیک زیاد	۹.۵۰ ثانیه	۳.۳۰ ثانیه	۳.۰۰ ثانیه	۲۰.۰۰ ثانیه
اندازه توصیه شده در تقاطعات با حجم جریان ترافیک کم	۷.۱۵ ثانیه	۲.۸۵ ثانیه	۲.۰۰ ثانیه	۱۵.۰۰ ثانیه

$$U_A = 1.52 + 3.66 \times A_Gap + 4.8 \times WT \quad (۱)$$

که در آن :

U_A : مطلوبیت قبول یک فرصت

A_Gap : اندازه آن فرصت

WT : مدت زمان انتظار راننده پیش از قبول فرصت

$$U_R = 0 \quad (۲)$$

$$P_A = \frac{e^{U_A}}{1+e^{U_A}} \quad (۳)$$

[۱] Giveway time

جدول ۱۵ - نتایج آزمون‌های آماری روی متغیرهای مدل انتخاب

پارامتر	مقدار پارامتر
عدد ثابت مدل	۱.۵۲
ضریب A_Gap	۳.٦٦
ضریب WT	٤.۸

در گام بعدی، تابع توزیع سرفاصله وسایل نقلیه ورودی در شهر تهران مورد بررسی قرار گرفت که بر اساس آن، تابع توزیع سرفاصله در تسهیلات تقاطعات بدون چراغ و شریانی از تابع توزیع حد نهایی تعمیم یافته پیروی می کند و در تسهیلات بزرگراهی توزیع Pearson V (پیرسون نوع ۵) بهترین توصیف را در خصوص سرفاصله وسایل نقلیه در این تسهیلات ارائه می‌دهد.

همچنین مشخصات فنی و فیزیکی وسایل نقلیه عبوری در شهر تهران به تفکیک سواری شخصی، تاکسی، موتورسیکلت، اتوبوس و سنگین به ترتیب مطابق با جداول (١٦) الی (٢٠) ارائه گردید.

جدول ۱۶- مشخصات خودروی سواری معادل

پارامتر	وزن (کیلوگرم)	طول (میلیمتر)	عرض (میلیمتر)	بیشینه سرعت (کیلومتر بر ساعت)	بیشینه شتاب (مجذور متر بر ثانیه)
میانگین	۱۰٤٤.۵۵	٤۱٤۱.۸۲	۱٦۵٦.۸۵	۱٦٤.۵۳	**۱.۹۲۷**
کمینه	۹۳٤	۳۸۳۵	۱٦۰۵	۱٤۰	**۱.٤٦**
بیشینه	۱۲٦٤	٤۵۲٤	۱۷۵۵	۲۰۰	**۲.۷۲**
انحراف معیار	۱۰٤.۱۲۲	۲۸۰.٦۵	٤۷.۰۱	۲۱.۵	**۰.٤۱**
ضریب تغییرات	۲۹.۳	۱٤.۷٦	۳۵.۲	۷.٦۵	**٤.۷**

جدول ۱۷ - 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	۱٦۰٥	۱٤۰	**۱.٤٦**
بیشینه	۱۲۲۰	٤٥۰۲	۱۷۲۰	۱۸٥	**۲.۳۳**
انحراف معیار	۹٦.٥٦	۱۸۱.۹	٤۲.۸	۱۹.۸	**۰.۲۸**
ضریب تغییرات	۱۱.۳	۲۳.۹	۳۹.۲	۸.٦	**۷.٥۷**

جدول ۱۸ - مشخصات مرتبط با موتورسیکلت معادل

حجم سیلندر (سی سی)	وزن (کیلوگرم)	طول (میلیمتر)	عرض (میلیمتر)	حداکثر سرعت (کیلومتر بر ساعت)
۱۲٤	۱۰۲	۱۹۰۰	۷٤٥	۱۲۰

جدول ۱۹ - مشخصات فیزیکی اتوبوس معادل در شهر تهران

پارامتر	طول (میلیمتر)	عرض (میلیمتر)
میانگین	۱۱۷٤٥.۳	**۲٤۹٦.٥**
کمینه	۷۹٥۰	**۱۹۲۰**
بیشینه	۱٤٥٥۰	**۲٥٥۰**
انحراف معیار	۷۹٦.۷	**٦۷.۹**
ضریب تغییرات	۱٤.۷٤	**۳٦.۷**

جدول ۲۰ - مشخصات وسایل نقلیه سنگین

وسایل نقلیه سنگین	حجم سیلندر (سی سی)	وزن (کیلوگرم)	طول (میلیمتر)	عرض (میلیمتر)	حداکثر سرعت (کیلومتر بر ساعت)
خاور ۲٦۲٤	۱۱٥۸۰	۸۹۲۰	۷٦۰٥	۲۹۹٥	۸۸
AT-۷۲۰T٤۲TH کامیون زامیاد	۱۲۸۸۰	۱۰۱۰۰	٦۸٤٤	۲٥٥۰	۱۱۰

همچنین در پروژه کالیبراسیون مدل پیروی خودرو نیز بصورت تفصیلی مورد بررسی قرار گرفت. زمان عکس‌العمل رانندگان بعنوان یکی از پارامترهای موثر در مدل‌های رفتاری نرم‌افزار Aimsun برابر با ۰.۹ ثانیه پیشنهاد شد.

در نهایت انواع مدل های تغییر خط و سپس مدل تغییر خط در نرم‌افزار Aimsun مورد بررسی قرار گرفت و سپس مقادیر پارامترهای این مدل در نرم‌افزار یاد شده بر اساس اطلاعات میدانی برداشت شده به شرح جدول (۲۱) کالیبره گردید.

جدول ۲۱- مقادیر کالیبره شده پارامترهای مدل تغییر خط

پارمترهای مدل تغییر خط	مقدار متوسط
ناحیه فاصله‌ای یک	۱۳.۷٤ ثانیه
ناحیه فاصله‌ای دو	٤.٤ ثانیه
فاصله روی رومپ	۷.۱ ثانیه

۶ -اعتبارسنجی نرم افزار منتخب

در بخش پایانی این مطالعات، نتایج بدست آمده از کالیبراسیون پارامترهای مختلف نرم‌افزار Aimsun بر اساس برداشت‌های میدانی از تسهیلات مختلف حمل‌ونقل در شهر تهران، در شبیه‌سازی نمونه‌های دیگری از تسهیلات این شهر، مورد سنجش قرار گرفته و نتایج آن ارائه شد.

بر این اساس، نخست تسهیلات حمل‌ونقلی که داده‌های ترافیکی آن برداشت شده است، معرفی شده و سپس مقادیر داده‌های برداشت شده در هر یک از تسهیلات فوق‌الذکر، ارائه گردید. در ادامه روش ورود مقادیر پارامترهای مختلف نرم‌افزار Aimsun (که در این مطالعات کالیبره شده)، ارائه شده است. نتایج شبیه‌سازی تسهیلات معرفی شده با استفاده از نرم‌افزار Aimsun و بر اساس مقادیر کالیبره شده نیز در این بخش ارائه شده است. در نهایت در راستای انجام مطالعات آتی در خصوص موضوع مطالعات، پیشنهاداتی ارائه شده و مورد بررسی قرار گرفته است.

۶- ۱ - برداشت آمار و اطلاعات مورد نیاز جهت اعتبار سنجی نرم افزار

در این مطالعات، برای دستیابی به داده‌های ترافیکی مورد نیاز جهت اعتبارسنجی مدل، دو روش مورد توجه قرار گرفته است؛ در روش اول، آمارگیری بصورت دستی و شمارش احجام تردد توسط افراد آمارگیر برای یک شبکه صورت گرفته است و در روش دوم با استفاده از فیلم تردد خودروها در هر یک از تسهیلات مورد نظر، اطلاعات مورد نیاز استخراج شده است. با توجه به رویکرد مذکور، محدودیت دیگری به انتخاب نمونه آماری اضافه شد؛ به این صورت که در انتخاب هر محل، وجود ساختمان‌های مناسب برای فیلم‌برداری (به طوری که اولاً اجازه فیلم‌برداری توسط مالکان فراهم شده باشد و ثانیاً زاویه مناسبی برای فیلم‌برداری موجود باشد) مورد توجه قرار گرفت. به این ترتیب نمونه‌هایی مطابق جدول (۲۲) جهت اعتبارسنجی روند کالیبراسیون برداشت شدند.

جدول ۲۲ - نمونه تسهیلات آماربرداری شده جهت اعتبار سنجی روند کالیبراسیون

ردیف	تسهیلات	نمونه
۱	تقاطع چراغدار	تقاطع چراغدار سرو - بلوار شهید پاکنژاد
۲	تقاطع بدون چراغ	تقاطع خیابان‌های خرمشهر - نوبخت
۳	مقطع بزرگراهی	مسیر غرب به شرق و شرق به غرب بزرگراه نیایش حدفاصل بلوار فرهنگ و سعادت‌آباد
٤	معبر شریانی	مسیر غرب به شرق خیابان آزادی مقابل دانشگاه شریف
٥	مقاطع همگرایی و واگرایی	تقاطع غیر همسطح بزرگراه چمران - بزرگراه نیایش
٦	شبکه معابر	خیابان شهید مطهری از قبل از تقاطع با خیابان قائم مقام تا بعد از تقاطع با خیابان میرعماد به طول بیش از ٦٥٠ متر

۶- ۲- شبیه‌سازی نمونه‌های منتخب و مقایسه و تحلیل خروجی‌های وضع موجود نرم‌افزار با وضع موجود

برای هر یک از تسهیلات مطالعه شده در این مطالعات، مراحل چهارگانه‌ای شامل ساخت شبکه، کنترل خطاها، کالیبراسیون و اعتبار سنجی انجام گرفته است. برای ساخت شبکه پایه، استفاده از عکس‌های پس زمینه مناسب، تعریف نواحی، ترسیم کمان‌ها، اعمال کنترل تقاطع‌ها، وارد کردن صحیح و با دقت اطلاعات مربوط به تقاضای ترافیک و تعریف و ترسیم صحیح حمل‌ونقل همگانی، شامل مسیرها و ایستگاه‌ها صورت گرفته است. نقشه‌های پس زمینه در شبیه‌سازی‌های این بخش از عکس‌های ماهواره‌ای گرفته شده از نرم افزار Google Earth تهیه شده‌اند.

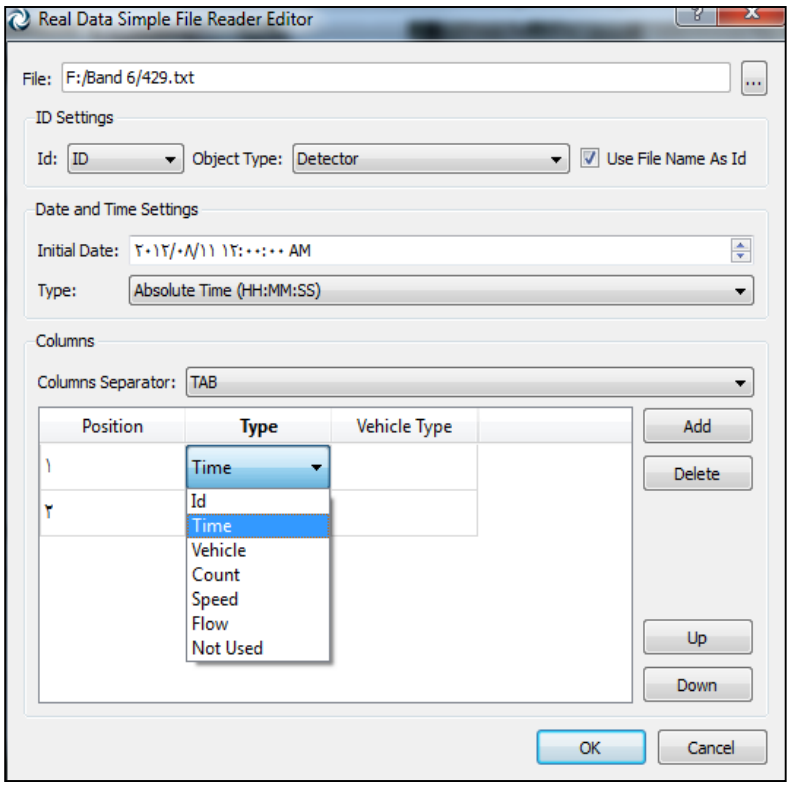
خودروهای شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار Aimsun شامل سواری، تاکسی، موتور سیکلت، اتوبوس و کامیون بوده و همچنین زمان آماده‌سازی[۱] در کلیه شبیه‌سازی‌ها برابر با ۱۵ دقیقه منظور گردیده است. از اطلاعات حاصل از شبیه‌سازی این تسهیلات در ادامه برای مقایسه و تحلیل خروجی‌های نرم افزار منتخب در وضعیت پایه (مقادیر پیش‌فرض نرم افزار Aimsun برای پارامترهای مختلف مطرح شده) و شبیه‌سازی‌های کالیبره شده و به عبارتی برای کنترل خطاها استفاده شده است.

بررسی و کنترل صحت شبکه ساخته شده پس از اتمام مراحل ساخت و پیش از شروع فرآیند کالیبراسیون و اعتبارسنجی، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. این امر در حقیقت نخستین قدم از روند کنترل خطاها و سنجش دقت عملکرد نرم‌افزار شبیه‌ساز است. این عملیات شامل کنترل صحت جهات حرکتی، کنترل اتصال اجزاء شبکه در تمامی نقاط، بازبینی تعداد خطوط گردشی و شعاع گردش‌ها و موارد از این دست می‌باشد. بازبینی داده‌های ورودی نیز باید در همین مرحله و پیش از سنجش دقت مدل و به کمک روش‌های تشریح شده در گزارش کامل این مطالعات به عمل آید. در این مرحله باید نحوه کنترل تقاطعات و داده‌های تقاضا نیز دقیقاً کنترل شوند.

در بخش ٤، انواع روش‌های سنجش میزان دقت و خطا در نرم‌افزارهای شبیه‌ساز ارائه شد. بر این اساس، مقایسه نتایج مشاهده و شبیه‌سازی بر اساس روش و پارامترهای کنترلی یاد شده صورت گرفته است. در این مطالعه، حجم جریان ترافیک به عنوان یک پارامتر کنترلی ضروری برای همه انواع تسهیلات در نظر گرفته شده است. به عبارتی در هر نوع از تسهیلات مورد مطالعه، حجم جریان و حداقل یک معیار کنترلی دیگر جهت سنجش میزان دقت نرم‌افزار و اختلاف بین نتایج مشاهدات میدانی و خروجی مدل، بررسی شده‌اند. برای هر نوع از تسهیلات مورد مطالعه، سنجش میزان دقت و خطا در شبیه‌سازی تا آنجا که امکان‌پذیر باشد، به کمک ویژگی داخلی خود

[۱] Warm-Up

نرم افزار Aimsun که با عنوان مجموعه اطلاعات واقعی[۱] و به منظور اعتبارسنجی شبیه‌سازی فراهم آمده، انجام شده است. نرم‌افزار به صورت داخلی قابلیت محاسبه خطا و دقت در شبیه‌سازی را بر اساس معیارهای درصد خطا، آماره همبستگی پیرسون و تست آماری تایل دارا است و در مورد احجام می‌تواند آزمون آماری GEH را نیز انجام دهد. در شکل (۱۹) منوی وارد کردن اطلاعات در ابزار اعتبارسنجی نرم‌افزار Aimsun نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود، این ابزار تنها برای اطلاعاتی که از شناساگرها[۲] قابل برداشت باشد مناسب و قابل استفاده است که این اطلاعات عبارتند از: حجم، سرعت و نرخ جریان.



شکل ۱۹- منوی ابزار اعتبار سنجی در نرم افزار Aimsun

[۱] Real Dataset

[۲] Detector

خروجی‌های ارائه شده بر اساس میانگین حاصل از چندین بار تکرار شبیه سازی در هر یک از تسهیلات به دست آمده است. تعداد تکرارها بر اساس توصیه‌های ارائه شده در بخش تحلیل معابر نمونه مطالعات کالیبراسیون و از رابطه (٤) و برای هر یک از تسهیلات مورد مطالعه بطور جداگانه محاسبه می‌شود. پارامترهای رابطه (٤) بر اساس خروجی‌های شبیه‌سازی سنجش اختلاف میان حجم جریان مشاهده شده و مدل‌سازی شده و بر مبنای نتایج حاصل از روش سنجش دقت جذر مربع متوسط خطای نرمال (NRMSE) تعیین شده‌اند.

$$N_R = \left(\frac{S \times t_{\alpha/2}}{\bar{x} \times \varepsilon} \right)^2 \qquad (٤)$$

در این رابطه N_R تعداد تکرار لازم شبیه سازی، S انحراف معیار در خطای شاخص دقت شبیه سازی حجم جریان بر اساس روش NRMSE، $\bar{x}$ متوسط شاخص بر اساس روش تعیین شده، ε میزان خطای قابل قبول و $t_{\alpha/2}$ مقدار توزیع t در سطح اطمینان α است. تعداد تکرارها نیز بر اساس کالیبراسیون تقاضا (حجم عبوری) و همچنین بر اساس معیار یا معیارهای ثانویه برای هر یک از تسهیلات تعیین شده و سپس مقدار بیشتر انتخاب شده است. در نهایت و در آخرین گام، مدل‌های کالیبره شده، اعتبارسنجی شده است.

جدول (۲۳) به صورت خلاصه دقت نرم‌افزار کالیبره شده روی تسهیلات مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۲۳ - جمع بندی نتایج اعتبار سنجی

تسهیلات	دقت عملکرد نرم افزار بر اساس هر معیار (درصد)				
	حجم جریان	بیشترین طول صف	تاخیر رویکرد	متوسط سرعت هر خط حرکتی	متوسط زمان سفر
تقاطع چراغدار	۸٦.۷	۷۵.۵	-	-	-
تقاطع بدون چراغ	۹۰.۳	-	۷۹.۲	-	-
آزادراه	۹۳	-	-	۹۰.۹	-
شریانی	۹۵.۵	-	-	۹۲.۳	-
همگرایی	۹۱.۹	-	-	۹۱.۵	-
واگرایی	۹۲.۸	-	-	۹۳.۵	-
شبکه	۹۰.٤	۸۷.۵	-	-	۹۲

۶- ۳- ارائه پیشنهاداتی به منظور توسعه مطالعاتی در آینده

در پایان این مطالعه و با توجه به روش‌شناسی‌ها، جمع آوری داده‌ها و تحلیل‌های ارائه شده برای پارامترهای مختلف نرم افزار Aimsun که در بخش‌های مختلف ارائه شد، در این بخش پیشنهاداتی با هدف توسعه و تکمیل این مطالعه ارائه شده است.

- تسهیلات پایه‌ای همچون "میدان و تسهیلات "عابر پیاده" در این مطالعه مورد بررسی قرار نگرفته‌اند، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی به موضوعات مورد بررسی اضافه شوند.
- پیشنهاد می‌شود تسهیلات مرتبط با سیستم حمل و نقل هوشمند از قبیل: دوربین‌های کنترل سرعت، تابلوهای پیام متغیر، کنترل شیبراهه[۱]، محل‌های اخذ عوارض[۲] در مطالعات بعدی مورد بررسی قرار گیرند.
- در گام بعدی پیشنهاد می‌شود که مدل‌های رفتاری کالیبره شده در این مطالعه برای شرایط ترافیکی مختلف (شرایط غیر اشباع و اشباع) و همچنین شرایط آب و هوایی مختلف (مانند آفتابی، ابری و بارانی) توسعه یابند.

[۱] - Ramp Metering

[۲] - Toll Pricing

- پیشنهاد می‌شود که در اولین اولویت مدل انتخاب مسیر[1] نرم‌افزار Aimsun کالیبره شود و در گام بعدی و همانند مدل‌های سه‌گانه یاد شده، مدلی مختص به شهر تهران تهیه و جایگزین مدل پیش فرض نرم‌افزار شود.
- همچنین پیشنهاد می‌شود نرم‌افزار بر اساس پارامترهای اقتصادی و زیست محیطی موجود در آن از قبیل میزان انتشار آلاینده‌های هوا و میزان مصرف سوخت وسایل نقلیه نیز مطالعه و کالیبره شود.
- پیشنهاد می‌شود توجه به ماژول‌های نرم افزار Aimsun، برنامه‌ای تهیه نمود تا بر اساس شاخص‌های تعریف شده (به عنوان معیار کالیبراسیون)، پارامترهای این نرم‌افزار را با انجام گام‌های تکرار شونده و با کمترین خطا، کالیبره نماید.
- یکی دیگر از پیشنهادات قابل طرح در خصوص موضوع این مطالعات، آن است که با توجه به قابلیت‌های نرم‌افزار VISSIM و توجه به این موضوع که برخی قابلیت‌های این نرم‌افزار در نرم‌افزار Aimsun وجود ندارد (مانند درنظر نگرفتن خطوط عبوری[2] و شبیه‌سازی پارک وسایل نقلیه)، این نرم‌افزار را برای شرایط ترافیکی شهر تهران کالیبره نمود.
- در نهایت و در یک افق بلند مدت نیز پیشنهاد می‌شود تا مطالعاتی جهت تهیه یک نرم‌افزار شبیه‌ساز ترافیکی خردنگر و بر اساس ویژگی‌های عملکردی و رفتاری رانندگان در داخل کشور تهیه شود.

[1] - Route Choice Model

[2] -None Lane Base

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.