آشنایی با نرم افزارهای شبیه سازی مهندسی ترافیک

(قابلیت‌ها، توانمندی‌ها، نقاط قوت و ضعف، خروجی‌های هر یک از نرم افزارها و ...)

فهرست عناوین

مقدمه ۱

۱- بررسی نقش و کاربرد مدل های شبیه سازی در ارزیابی عملکرد ترافیکی تسهیلات ۳

۲- مقایسه ویژگی های نرم افزارهای ترافیکی مورد استفاده در پروژه های مطالعاتی ٦

۲-۱- نرم افزار Aimsun ۸

۲-۲- نرم افزار VISSIM ۱۰

۲-۳- بسته نرم افزاریSynchro و SimTraffic ۱۳

۲-٤- نرم افزار Paramics ۱٥

۲-٥- نرم افزار CORSIM ۱۷

۲-٦- نرم افزار TransModeler ۲۰

۲-۷- نرم افزار Cube Dynasim ۲۳

۲-۸- مقایسه کلی نرم افزارها ۲٥

۳- شناسایی نرم افزارهای موجود در کشور به منظور انجام شبیه سازی ترافیکی ۲۹

۳-۱- شناسایی ارگان های اصلی و مهم در رابطه با شبیه سازی ترافیکی در کشور ۲۹

۳-۱-۱- سازمان های مسئول در زمینه حمل و نقل و ترافیک ۲۹

۳-۱-۲- شرکت های مشاور (بخش های خصوصی در زمینه حمل و نقل و ترافیک) ۲۹

۳-۱-۳- مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی ۳۰

۳-۲- شناسایی نرم افزارها، میزان و موارد استفاده از آنها در کشور ۳۰

٤- شناسایی پارامتر های تاثیر گذار در اولویت بندی نرم افزار ها جهت شبیه سازی ۳۳

٤-۱- قابلیت های عملکردی و دقت ۳٤

٤-۲- راحتی کار و سهولت استفاده ٤٤

٤-۳- کمک به مدیریت دانش کاربران ٤٦

٤-٤- معیار مربوط به کاربران فعلی ٤٦

٤-٥- خصوصیات شرکت فروشنده ٤۷

٥- شناسایی مطالعات مشابه انجام شده به منظور مقایسه نرم افزار های شبیه ساز و بررسی نتایج حاصل از آنها ٤۸

٥-۱- مطالعات داخلی در زمینه مقایسه نرم افزارهای شبیه ساز ترافیکی ٤۸

۵-۲- مطالعات خارجی در زمینه مقایسه نرم افزارهای شبیه ساز ترافیکی ٤٨
٦- جمع بندی ٥٧
منابع و مآخذ ٥٨

فهرست شکل‌ها

شکل ۱- تفاوت مدل های برنامه ریزی حمل و نقل، تحلیلی و شبیه سازی..... ۲
شکل ۲- نمایش محیط نرم افزار Aimsun..... ۱۰
شکل ۳- نمایش محیط نرم افزار VISSIM..... ۱۲
شکل ٤- نمایش محیط نرم افزار Synchro و SimTraffic..... ۱٤
شکل ٥- نمایش محیط نرم افزارParamics..... ۱۷
شکل ٦- نمایش محیط نرم افزار CORSIM..... ۲۰
شکل ۷- نمایش محیط نرم افزار TransModeler..... ۲۲
شکل ۸- نمایش محیط نرم افزارCube Dynasim..... ۲٥
شکل ۹- شبکه اثرات انتخاب گزینه بهینه به روش تصمیم گیری«فرآیند تحلیل شبکه ای (ANP)»..... ۳٥

فهرست جداول

جدول ۱- مقایسه نرم افزارهای مورد استفاده در مهندسی حمل ونقل از نظر سطح فعالیت ۷
جدول ۲- مقایسه قابلیت های نرم افزارهای شبیه ساز خرد نگر ۲۷
ادامه جدول ۲- مقایسه قابلیت های نرم افزارهای شبیه ساز خرد نگر ۲۸
جدول ۳- زیر معیارهای «قابلیت نرم افزار در مدلسازی طرح هندسی» ۳٦
ادامه جدول ۳- زیر معیارهای «قابلیت نرم افزار در مدلسازی طرح هندسی» ۳۷
ادامه جدول ۳- زیر معیارهای «قابلیت نرم افزار در مدلسازی طرح هندسی» ۳۸
جدول ٤- زیر معیارهای«قابلیت نرم افزار درپوشش گزینه های تقاضا» ۳۹
ادامه جدول ٤- زیر معیارهای«قابلیت نرم افزار درپوشش گزینه های تقاضا» ٤۰
جدول ٥- زیر معیارهای«قابلیت نرم افزار در اعمال کنترل ترافیک» ٤۱
ادامه جدول ٥- زیر معیارهای«قابلیت نرم افزار در اعمال کنترل ترافیک» ٤۲
جدول ٦- زیر معیارهای«قابلیت نرم افزار در مدلسازی حمل و نقل عمومی» ٤۳
جدول ۷- زیر معیارهای«قابلیت نرم افزار در مدلسازی رفتار کاربران» ٤٤
جدول ۸- زیر معیار های هر یک از این معیارهای آیتم «راحتی کار و سهولت استفاده» ٤٥
ادامه جدول ۸- زیر معیار های هر یک از این معیارهای آیتم «راحتی کار و سهولت استفاده» ٤٦
جدول ۹- خلاصه شناسنامه ای از مطالعه پور رضا و همکاران (۱۳۸۸) ٤۸
جدول ۱۰- خلاصه شناسنامه ای از مطالعه شریعت و بابایی (۱۳۸٥) ٤۹
جدول ۱۱- خلاصه شناسنامه ای از مطالعه فنگ و اِلفتِریادو (۲۰۰٥) ٤۹
جدول ۱۲- خلاصه شناسنامه ای از مطالعه راخا و وَن آردِه (۱۹۹٦) ٥۰
جدول ۱۳- خلاصه شناسنامه ای از مطالعه شِئو و همکاران (۲۰۰٥) ٥۱
جدول ۱٤- خلاصه شناسنامه ای از مطالعه بِلومبِرگ و دِیل (۲۰۰۰) ٥۲
جدول ۱٥- خلاصه شناسنامه ای مطالعه تِین (۲۰۰۲) ٥۲
جدول ۱٦- خلاصه شناسنامه ای از مطالعه بوکسیل و یو (۲۰۰۰) ٥۳
جدول ۱۷- خلاصه شناسنامه ای مطالعه جونز و همکاران (۲۰۰٤) ٥٤
جدول ۱۸- خلاصه شناسنامه ای مطالعه شآ و نَم (۲۰۰۲) ٥٥
جدول ۱۹- خلاصه شناسنامه ای مطالعه میدلِتُن و کُنر (۱۹۹۹) ٥٦
جدول ۲۰- خلاصه شناسنامه ای مطالعه پرِودُرِس و لانگ لای (۲۰۰۰) ٥٦

مقدمه

امروزه، پیشرفت‌های زیاد در علوم کامپیوتر و نرم‌افزار سبب شده تا در رشته‌ها و تخصص‌های مختلف استفاده از نرم‌افزارها رشد روز افزونی داشته باشد. به نحوی که در بسیاری موارد، بدون استفاده از کامپیوتر و نرم افزارهای آن، انجام بسیاری از فعالیت‌ها غیر ممکن است. از جمله انواع نرم‌افزارهای مورد استفاده بخصوص در رشته‌های مهندسی، نرم‌افزارهای مدل‌سازی و شبیه‌سازی هستند. در رشته برنامه‌ریزی حمل و نقل و مهندسی ترافیک نیز نرم‌افزارهای مختلفی با کاربردهای متنوع تولید شده است و در زمینه‌های مختلف می توان هر یک از این انواع نرم افزار را بکار برد.

در حمل و نقل بسته به نوع مطالعه و اهداف انجام آن، از انواع متفاوتی از مدل ها استفاده می شود. برای نمونه مطالعات پیش روی برنامه‌ریزان و مهندسان ترافیک از نظر دیدگاه و سطوح جزئیات متفاوت هستند؛ تمرکز برنامه‌ریزان حمل و نقل بر روی ویژگی های کل شبکه، تحلیل عرضه و تقاضا در برهمکنش جریان و ظرفیت شبکه، تاثیر کاربری زمین و غیره است. در حالی که مهندسان ترافیک نیاز دارند بدانند که تغییرات ایجاد شده در طراحی مسیرها، تسهیلات و تجهیزات چه اثراتی بر پارامترهایی مانند ظرفیت، تاخیرها، مشخصات صف و دیگر متغیرهای ارزیابی دارند. در دیدگاه کلاسیک، ظرفیت برای برنامه ریزان حمل و نقل یکی از ورودی ها و برای مهندسین ترافیک یکی از خروجی ها است. شکل (۱) تفاوت مدل های برنامه ریزی حمل و نقل[۱]، تحلیلی[۲] و شبیه سازی[۳]، محدوده مطالعاتی آنها را نشان می دهد.

محدوده مطالعاتی مدل‌های برنامه ریزی حمل و نقل، محدوده های بزرگ جغرافیایی (شبکه بزرگ شامل صدها گره و کمان) است. اهداف این مدل ها در جهت بهبود پارامترهای شبکه بر مبنای الگوی ترافیک در آینده و سیاست‌های توسعه، ارتقا و افزایش ظرفیت شبکه است. این مدل ها که بیانگر ترافیک در مقیاس کلان است مبتنی بر ارتباط بین جریان و ظرفیت هستند. روش های تحلیلی نظیر روش HCM بر روی اجزا و تسهیلات شبکه تمرکز دارد. خروجی اصلی این روش‌ها تعیین سطح سرویس ارائه شده به واسطه ترکیب و ساختار تسهیلات مورد نظر برای جریان ترافیک مشخص است. محدوده مطالعاتی در مدل‌های تحلیلی از یک نقطه معین تا منطقه‌ای کوچک (شبکه کوچک) است. مدل‌های تحلیلی آنهایی هستند که برای ارزیابی وضعیت سیستم مستقیماً از محاسبات ریاضی استفاده می کنند در حالی‌که مدل های شبیه سازی با قواعدی (عمدتاً به صورت معادلات ریاضی) خودروها را یا به

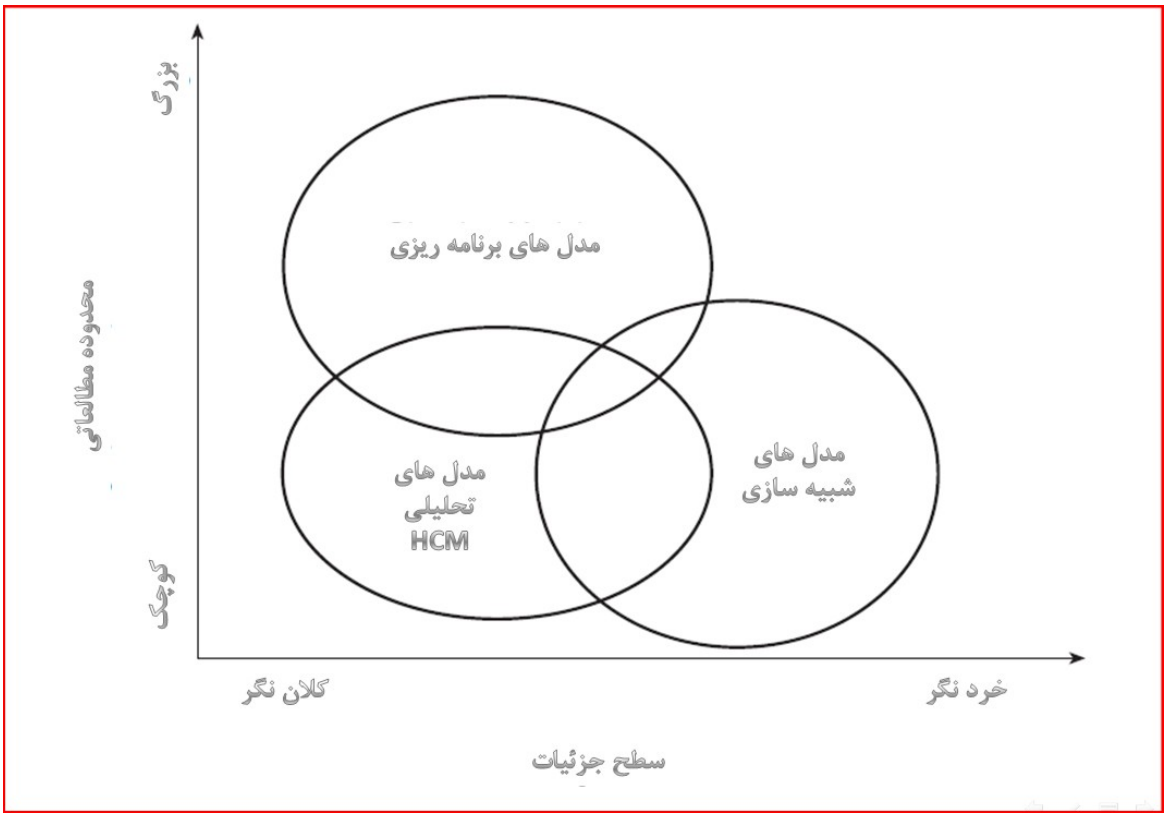
---

[۱].Transportation Planning Model

[۲].Analytical Model

[۳].Simulation Model

تنهایی و یا به شکل گروهی در سیستم حرکت می دهند و با در نظر گرفتن جزئیات سیستم به بررسی آن می پردازند. محدوده مطالعاتی در مدل‌های شبیه سازی مانند مدل های تحلیلی از یک نقطه معین تا منطقه ای کوچک (شبکه کوچک) است، با این تفاوت که در این مدل ها بیشتر به جزئیات پرداخته می شود.



شکل ۱ - تفاوت مدل های برنامه ریزی حمل و نقل، تحلیلی و شبیه سازی [۱]

در ادامه مدل های شبیه سازی و اهمیت این مدل ها تشریح می شود؛ سپس نرم افزارهای شبیه سازی پرکاربرد معرفی و قابلیت های آن بیان می شود و در نهایت قابلیت های آن مقایسه می شود.

۱- بررسی نقش و کاربرد مدل های شبیه سازی در ارزیابی عملکرد ترافیکی تسهیلات

مدل های شبیه سازی ترافیک با استفاده از روش های عددی و به کمک رایانه، چگونگی رفتار ترافیک را در یک دوره زمانی و برای سیستم یا تسهیلات حمل و نقلی معین تشریح می‌کنند. در مقایسه با مدل‌های تجربی[۱] و تحلیلی[۲]، مدل‌های شبیه‌سازی عملکرد سیستم را طی گام‌های زمانی، برای کل دوره زمانی و با ثبت وقایع و وضعیت سیستم پیش‌بینی می‌کند. در حالی که در مدل‌های تجربی پیش‌بینی عملکرد سیستم بر مبنای تجزیه و تحلیل داده‌ها است و روش‌های تحلیلی بر پایه روابط تئوری بین اجزای سیستم بنا شده اند. برای مدل‌های شبیه‌سازی جریان ترافیک می‌توان نقاط قوت و ضعف متعددی برشمرد. در کتاب HCM موارد زیر به عنوان نقاط قوت مدل‌های شبیه‌ساز بیان شده است[۱].

۱) برخی از مطالعات را که نمی توان با استفاده از روش های تحلیلی انجام داد، به کمک روش های شبیه سازی قابل انجام است.
۲) به جای استفاده از روش‌های سعی و خطا، مدل‌های شبیه‌سازی می توانند بدون پیاده‌سازی در محیط واقعی، وضعیت محدوده مطالعاتی را پس از اجرای یک طرح مورد آزمایش و ارزیابی قرار دهند.
۳) شرایط و وضعیت‌های جدیدی را که در واقعیت موجود نیستند را می توانند ارزیابی نماید.
٤) درک بهتر و روشن‌تر از نقش پارامترهای مختلف و نحوه برهمکنش آنها ایجاد می‌کنند.
۵) می‌توانند از اطلاعات زمانی و مکانی و نتایج آنها، تحلیل‌های آماری نظیر میانگین و انحراف معیار ارائه دهند.
٦) می‌توانند بازه‌های زمانی شبیه‌سازی را بطور واقعی، فشرده شده و یا بسط داده شده مطالعه نمایند.
۷) رفتارهای خطرناک را بدون ایجاد هر گونه ریسک برای کاربران سیستم می‌توانند آزمایش کنند.
۸) از آنجا که نرم افزارهای شبیه سازی قابلیت تکرار دارند، می‌توانند وضعیت های مختلف را برای مقایسه و ارزیابی گزینه های مختلف چندین بار آزمایش کنند.
۹) می توانند تأثیر تغییرات صورت گرفته را در عملکرد سیستم بررسی نمایند.
۱۰) می‌توانند فرآیند ایجاد صف را در نظر بگیرند.
۱۱) صفوفی که در یک بازه زمانی خدمت دریافت ننمودند را به بازه زمانی بعدی منتقل می‌نمایند.
۱۲) در طول زمان می توانند از تقاضای متغیر استفاده نمایند.

---

[۱].Empirical Model

[۲].Analytical Model

۱۳) می توانند از الگوهای ورود و خدمت دهی غیر متعارف که در روش های ریاضی سنتی وجود ندارد استفاده نموده و ارزیابی نمایند.

نقاط ضعف مدل‌های شبیه‌سازی، که در کتاب HCM بیان شده‌اند عبارتند از[۱]:

۱) ممکن است روش‌های ساده‌تری برای حل مسئله وجود داشته باشد.
۲) مدل‌های شبیه‌سازی به حجم قابل توجهی از اطلاعات و مشخصات ورودی نیاز دارند که تهیه و تامین این اطلاعات ممکن است مشکل و یا غیر ممکن باشد.
۳) مدل‌های شبیه‌سازی باید بررسی، کالیبره و اعتبار سنجی شوند که بی توجهی به این امر ممکن است مدل را غیر قابل اعتماد و غیر قابل استفاده نماید.
٤) توسعه روش‌های شبیه‌سازی نیازمند شناخت نظام‌های مختلف شامل؛ نظریه جریان ترافیک، استفاده و برنامه‌نویسی کامپیوتر، آمار و احتمال، تصمیم گیری و تحلیل آماری می‌باشد.
٥) برخی از کاربران ممکن است مدل‌های شبیه‌سازی را بکار گیرند، بدون آنکه بدانند چه اطلاعاتی و با چه دقتی ارائه می‌کنند.
٦) برخی از کاربران ممکن است مدل‌های شبیه‌سازی را بکار گیرند بدون آنکه با محدودیت‌ها و فرم‌های مدل آشنا باشند.
۷) ممکن است در هر بار اجرا، نتایج مدل اندکی تغییر کند. (البته در برخی مواقع با در نظر گرفتن واقعیت عملکرد احتمالی شبکه‌های حمل و نقل، این مورد می‌تواند به عنوان یک نقطه قوت تلقی گردد.)

مدل‌های شبیه‌سازی بر پویایی جریان ترافیک تمرکز دارند. این مدل‌ها می‌توانند از یک نوع تسهیلات تا یک شبکه کامل را شبیه‌سازی کنند. یک مسئله فرضی ساده شامل وابستگی بین اجزای ترافیکی (مانند: سرفاصله وسایل نقلیه، الگوی جریان مبدأ- مقصد)، قابلیت‌های فیزیکی اجزا (مانند جریان اشباع، ظرفیت) و فرآیندهای منطقی (مانند زمان‌بندی چراغ) می‌شود. لذا در فرآیند شبیه‌سازی جریان ترافیک، می‌توان اجزا و پارامترهای مختلف ترافیک را بطور همزمان در نظر گرفت و برهمکنش آن‌ها را مطالعه نمود در حالی که در روش‌های دیگر مانند روش‌های تحلیلی بدلیل پیچیدگی روابط اجزا و پارامترها تنها می‌توان تعداد محدودی از آن‌ها را در نظر گرفت. همچنین با توجه به اینکه روابط مورد استفاده در این روش‌ها برای شرایط کلی تعیین شده است، در بسیاری از مطالعات با توجه به شرایط و ملزومات خاص خود، یا استفاده از این روش‌ها امکان پذیر نیست و یا خطای بسیار بالایی دارد.

از دیگر ویژگی‌های شبیه‌سازی جریان ترافیک، وارد شدن پارامتر زمان در محاسبات است. این امر به بررسی تغییرات پارامترها در بازه‌های مختلف زمانی کمک می‌کند در حالی که در روش‌های تحلیلی نمی‌توان روند تغییرات

پارامترها را در طول زمان تعیین نمود.

به دلیل قابلیت‌های نرم‌افزارهای شبیه‌ساز که سبب برتری آن‌ها در مقابل دیگر روش‌ها می‌شود، استفاده از این نرم افزارها رو به افزایش است و به سرعت جایگزین روش‌های دیگر شده‌اند. امروزه از شبیه‌سازهای جریان ترافیک در بیشتر مطالعات ترافیکی استفاده می‌شود، چه مطالعاتی که فقط با شبیه‌سازی قابل انجام است و چه مطالعاتی که به روش‌های دیگر نیز قابل انجام است. به همین دلیل تولید و طراحی نرم‌افزارهای شبیه ساز جریان ترافیک رشد قابل توجهی داشته است. عرضه این نرم‌افزارها که از دهه ۸۰ میلادی آغاز شده، امروزه افزایش یافته است و نرم‌افزارهای شبیه‌سازی متنوعی عرضه شده‌اند که برخی از آن‌ها دارای کاربرد عمومی و برخی دیگر برای اهداف خاصی طراحی شده‌اند. در قسمت بعدی تعدادی از مهمترین و پرکاربردترین نرم‌افزارها معرفی می‌شود.

۲ - مقایسه ویژگی‌های نرم افزارهای ترافیکی مورد استفاده در پروژه‌های مطالعاتی

نرم‌افزارهای مورد استفاده در حمل و نقل و ترافیک بسته به مدل‌هایی که استفاده می‌کنند (تحلیلی یا شبیه سازی) و نیز مقیاس عملکرد آنها (خردنگر[۱]، میان‌نگر[۲] یا کلان‌نگر[۳]) متنوع بوده و کارایی متفاوت دارند. لازم به ذکر است که مدل‌ها و نرم‌افزارهای زیادی در زمینه ترافیک و حمل و نقل طراحی شده است که بسیاری از آنها ماهیت تجاری ندارند و تنها برای اهداف خاصی مانند فعالیت‌های پژوهشی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در جدول (۱) تعدادی از پرکاربردترین نرم‌افزارهای مورد استفاده در حمل و نقل و ترافیک آورده شده است.

[۱] Microscopic.

[۲] Mesoscopic.

[۳] Macroscopic.

جدول ۱ - مقایسه نرم‌افزارهای مورد استفاده در مهندسی حمل ونقل از نظر سطح فعالیت

نرم افزار	شبیه سازی			تحلیلی
	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			√	

از میان نرم‌افزارهای جدول (۱)، نرم‌افزارهای Aimsun، VISSIM، Synchro، Paramics، Corsim، TransModeler و Cube Dynasim که به عنوان شبیه ساز خردنگر جریان ترافیک مطرح هستند در ادامه معرفی شده و قابلیت های اصلی آنها بیان می‌گردد. لازم به ذکر است که توضیح ویژگی‌های نرم‌افزارهای مورد بررسی به صورت اجمالی، و در دو قسمت تاریخچه نرم‌افزار و قابلیت‌های کلی هر نرم‌افزار ارائه شده است.

ارزیابی کلی و مقایسه ویژگی‌های نرم‌افزارهای معرفی شده با توجه به تمام معیارهای موثر در مقایسه، در انتهای این بخش و در جدول (۲) انجام شده است. ویژگی‌های مشخص شده در جدول مذکور نشان دهنده نقاط قوت و ضعف در عملکرد نرم‌افزارهای مورد مقایسه است. این مقایسه و بیان ویژگی‌های مثبت و منفی نرم‌افزارهای شبیه‌ساز به تفکیک در زمینه قابلیت‌های شبیه‌سازی شبکه، قابلیت‌های شبیه‌سازی کنترل گره، قابلیت‌های شبیه‌سازی اجزای شبکه ترافیک مانند پارکینگ و حمل و نقل همگانی، و سایر قابلیت‌های شبیه‌سازی مانند خروجی انیمیشنی انجام شده است.

۲ -۱ - نرم افزار Aimsun

الف) تاریخچه نرم افزار

این نرم افزار محصول شرکت TSS اسپانیا است. پیشینه این نرم افزار و شرکت TSS به سال ۱۹۸٦ برمی گردد که با اجرای پروژه ای تحقیقاتی توسط گروهی پژوهشی از دانشگاه صنعتی کاتالونیا[۱] (UPC)، موسوم به LIOS آغاز شد[۲].

پس از آن، بواسطه تعدادی پروژه تحقیقاتی در اسپانیا و اتحادیه اروپا، شبیه ساز خردنگر Aimsun در پوسته و قالبی با نام GETRAM تحت محیط UNIX شکل گرفت. گروه DHV از دانشگاه UPC تصمیم گرفتند، TSS را در سال ۱۹۹۷ تاسیس کنند [۱].

این شرکت منحصراً بر روی توسعه و بازاریابی نرم افزارهای مدلسازی حمل و نقل برای مهندسی ترافیک، مدیریت و بهره برداری ترافیک تمرکز دارد. شرکت TSS با رشد روز افزون خود در سال ۲۰۱۰ نسخه ٦.۱ نرم‌افزار Aimsun را عرضه کرده است که به بیش از ۱٦۵۰ کاربر در ٦۰ کشور خدمات ارائه می‌کند [۲].

ب) قابلیت های کلی نرم افزار

نرم‌افزار Aimsun دارای قابلیت‌های زیادی است که آن را قادر می سازد تا در یک محیط از روش‌های استاتیک و دینامیک استفاده نماید. از ویژگی‌های این نرم‌افزار می‌توان به محیط گرافیکی بسیار کامل، قابلیت کار با بیشتر مدل‌های تقاضای سفر رایج، توانایی ارتباط با ابزار و نرم‌افزارهای کنترل و بهینه سازی چراغ اشاره نمود. علاوه بر این در کاربردهای خاص نظیر اهداف تحقیقاتی و یا فعالیت‌های همزمان، می توان برای برنامه نویسی از script، Python و C++ در این نرم‌افزار بهره گرفت.

[۱].Technical University of Catalonia

از جمله مطالعاتی که Aimsun می‌تواند در بررسی آن‌ها مفید باشند، می‌توان به مواردی مانند سیستم‌های پشتیبان برای مدیریت حمل و نقل عمومی، ارزیابی سیستم‌های هوشمند حمل و نقل(ITS)، تحلیل ایمنی، و عوارض و قیمت گذاری جاده‌ها اشاره کرد[۲].

ساخت مدل در Aimsun با توجه به قابلیت‌های گرافیکی آن به سادگی امکان پذیر است. ابزاری مانند نمایش جداول، فیلتر و جستجو، ویرایش گروهی و امکاناتی مانند Copy/Paste، Undo/Redo و Hyperlinks که بصورت استاندارد در بسیاری از نرم‌افزاها وجود دارند، در این نرم‌افزار نیز وجود دارد. برخی از اهم ابزارها و امکاناتی که Aimsun در ارتباط با پروژه‌های شبیه‌سازی ترافیکی ارائه می دهد عبارتند از[۲]:

- مدلسازی چراغ‌های راهنمایی هوشمند.
- تامین اولویت عبور برای حمل و نقل عمومی.
- تعریف استراتژی‌های پیچیده ترافیکی.
- مدیریت سناریوها در اجرای شبیه‌سازی و تکرار آن‌ها.
- تولید فایل‌های خروجی با فرمت تصویر، فیلم و جدول.

از دیگر قابلیت‌های محیط Aimsun توانایی ارتباط آن با نرم‌افزارهایی همچونCAD، GIS، سایر نرم افزارهای مدلسازی، نرم‌افزارهای بهینه‌سازی چراغ و نرم افزارهای (ابزارهای) کنترل ترافیک است.

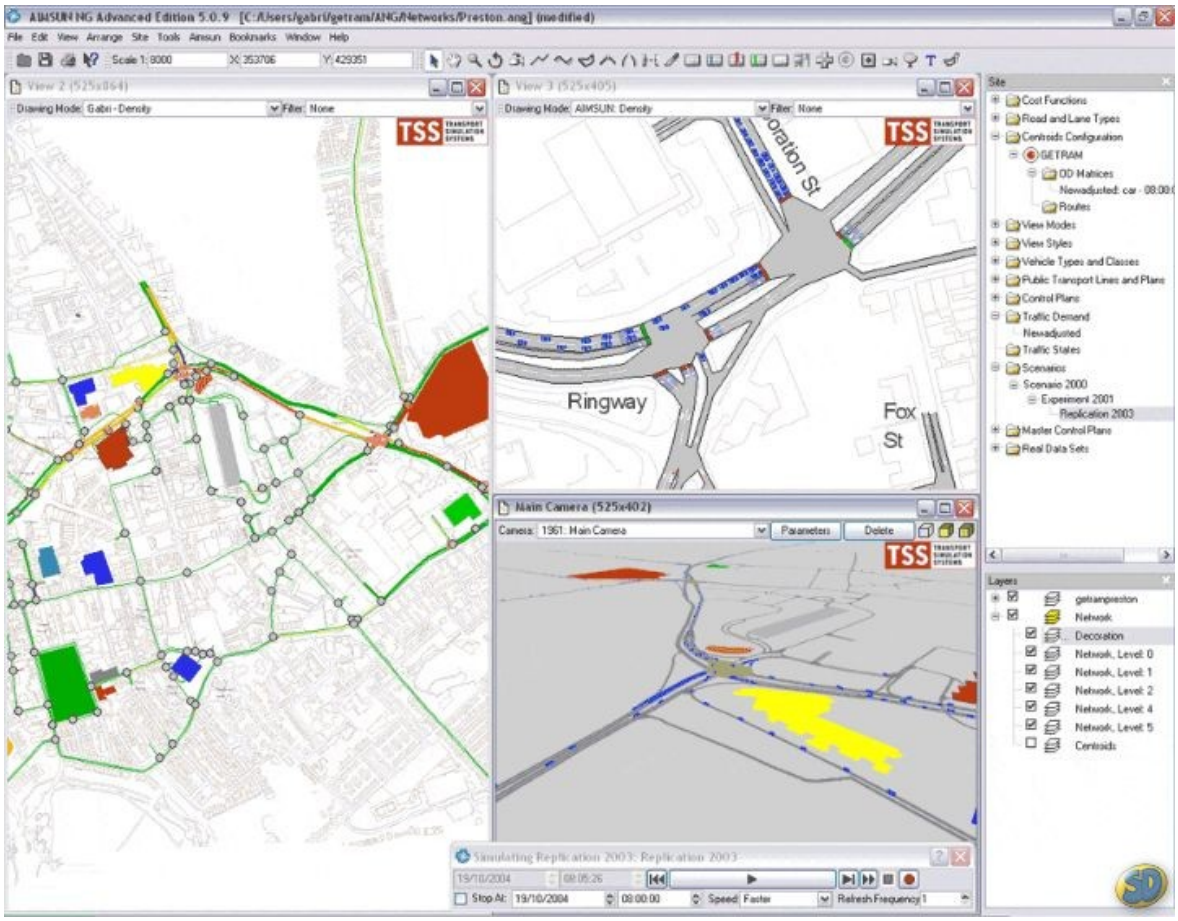
این نرم‌افزار برای مدل‌های شبیه ساز خردنگر از مدل‌های پیروی خودرو[۱] و تغییر خط[۲] و قبول فرصت[۳] استفاده می کند. مدل‌های Aimsun مانند دیگر مدل‌های شبیه‌سازی نیازمند کالیبراسیون است. تمامی پارامترهایی که نیازمند کالیبراسیون هستند، در دنیای واقعی دارای مفهوم هستند. به اعتقاد تولید کنندگان، نرم‌افزار Aimsun پارامترهای کافی برای کالیبراسیون را در اختیار می گذارد تا بتوان مدل را با واقعیت منطبق کرد. با توجه به اینکه در فرآیند کالیبراسیون، مدیریت داده‌ها پیچیده و مشکل است، این نرم افزار برای این هدف، ابزارهایی جهت کمک به کالیبراسیون و کنترل کننده شبکه را در اختیار می‌گذارد. محیط نرم‌افزار Aimsun در شکل (۲) آورده شده است.

---

[۱].Car-Following

[۲].Lane-Changing

[۳].Gap Acceptance



شکل ۲ - نمایش محیط نرم افزار Aimsun

۲ -۲ - نرم افزار VISSIM

الف) تاریخچه نرم افزار

این نرم افزار محصول شرکت PTV می باشد، که از سال ۱۹۷۹ در کشور آلمان تاسیس شد. این شرکت در زمینه توسعه، بازاریابی و فروش نرم افزارهای ترافیکی و حمل و نقلی فعالیت دارد. در سال ۲۰۱۰ بیش از ۱۴۵۰ کاربر در نقاط مختلف دنیا از محصولات این شرکت استفاده می‌کنند.

این شرکت بسته نرم‌افزاری PTV Vision را برای حل مسائل برنامه‌ریزی حمل و نقل، مدلسازی و شبیه سازی ترافیک، پیش‌بینی ترافیک، ایمنی جاده‌ای، مهندسی ترافیک و غیره عرضه نموده است. این بسته نرم-افزاری یک مجموعه کامل شامل مدل‌های برنامه‌ریزی تقاضای سفر و شبیه‌سازی ترافیک برای تمامی مدهای حمل و نقل می‌شود. PTVVision سطوح مختلف شبیه‌سازی (خرد، میانی و کلان) را بصورت پویا گرد هم آورده است. Visum و VISSIM دو نرم‌افزار اصلی این بسته نرم‌افزاری هستند. Visum نرم‌افزاری برای برنامه‌ریزی حمل و نقل و VISSIM نرم‌افزاری برای شبیه سازی خردنگر ترافیک است. آخرین نسخه ارائه شده نرم‌افزار VISSIM نسخه ۵.۳۰ است که در سال ۲۰۱۰ ارائه شده است و در ادامه قابلیت‌های کلی آن بیان می‌شود.

ب) قابلیت های کلی نرم افزار

نرم‌افزار VISSIM، نرم‌افزار شبیه‌سازی جریان ترافیک بصورت چندمدی[۱]است که شامل مدل‌های جریان ترافیک به صورتی که حرکت و مسیر هر وسیله نقلیه را بررسی می‌کند و مدل‌های کنترل چراغ راهنمایی می‌شود. از این نرم‌افزار در پروژه‌های مختلف ترافیک و حمل و نقل می‌توان استفاده کرد. برخی از این پروژه‌ها عبارتند از مطالعات ترافیکی معابر شریانی و آزادراهی، بررسی استراتژی‌های مدیریت آزادراه، مطالعات حمل و نقل همگانی مانند خطوط LRT و BRT، مدل‌سازی عابرین پیاده در محیط‌های مختلف و شبیه‌سازی پارکینگ و پارک حاشیه‌ای.

محیط گرافیکی نرم‌افزار امکانات زیر را در اختیار کاربران قرار می‌دهد[۳]:

- ویرایشگر گرافیکی شبکه برای ورود اطلاعات شبکه معابر، خطوط حمل و نقل همگانی، مسیرها، احجام، شناسگرها، چراغ‌های راهنمایی و غیره.
- تعریف انواع وسایل نقلیه شامل خودروهای شخصی، خودروهای پر سرنشینHOV، کامیون‌ها، اتوبوس ها، ترن‌ها، راه‌آهن سبک (LRT[۲])، دوچرخه، عابر پیاده و غیره.
- تعریف رفتار خاص رانندگان بجای مقادیر پیش‌فرض.
- نمایش دوبعدی و سه بعدی از وضعیت ترافیک.
- ارائه خروجی هایی نظیر میزان تاخیر، طول صف، زمان سفر، میانگین سرعت و غیره در قالب فایل متنی (txt).

این نرم افزار از مدل های پیروی خودرو و تغییر خط و قبول فرصت استفاده می کند. همچنین، مدل جریان

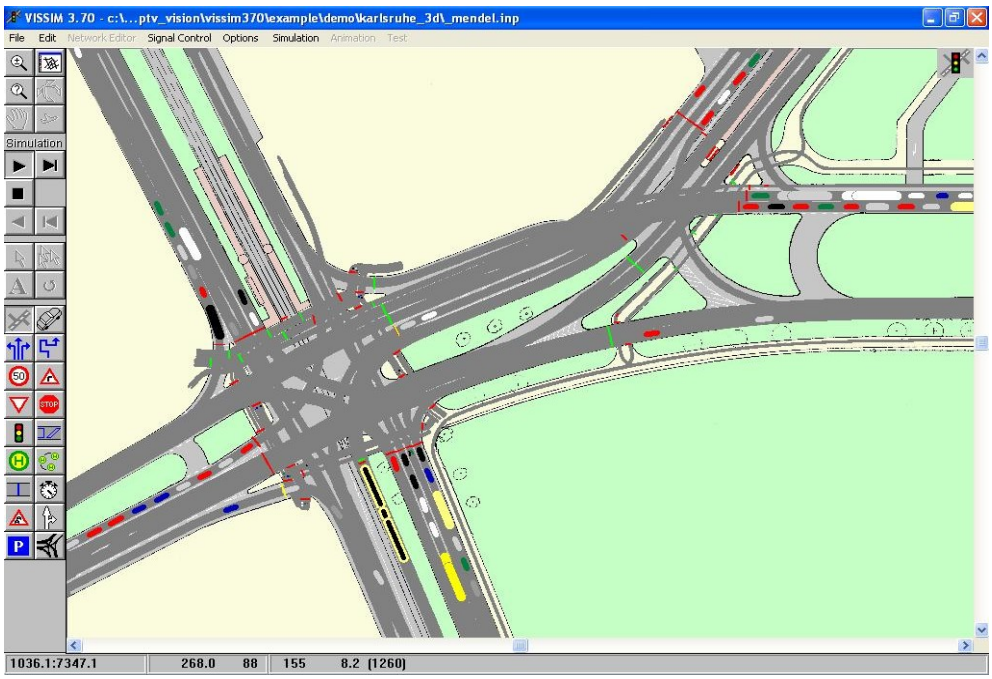
[۱] Multi-Modal

[۲] Light Rail Transit

موازی وسایل نقلیه که امکان حرکت خودرو و موتورسیکلت در یک خط و سبقت خودروها در خطوط عریض را ممکن می سازد بر قابلیت‌های این نرم افزار افزوده است. VISSIM از قواعد اولویت دهی برای مدل‌سازی تقاطع بدون چراغ و حرکت‌های تداخلی استفاده می‌کند. در این نرم‌افزار، تقاطع چراغ‌دار می‌تواند دارای زمان‌بندی ثابت یا هوشمند باشد و با اطلاعات ابزار کنترل ترافیک مانند SCATS، SCOOT و غیره منطبق گردد.

نرم افزار VISSIM قادر به ارائه حجم زیادی از اطلاعات تحلیلی برای هر یک از اجزای مدل می‌باشد، برخی از این اجزا و پارامترهای خروجی آن‌ها عبارتند از تاخیر شبکه، زمان سفر شبکه، چگالی، حجم، سرعت، میانگین طول چرخه و میانگین زمان سبز چراغ راهنمایی[۳].

از قابلیت‌های ویژه این نرم‌افزار امکان ارتباط با نرم‌افزار Visum است، با توجه به اینکه این دو نرم‌افزار توسط یک شرکت ارائه شده است، با یکدیگر بخوبی سازگار بوده و می‌توانند از اطلاعات و خروجی‌های یکدیگر استفاده نمایند. همچنین VISSIM می‌تواند فایل‌های GIS و Synchro را فراخوانی نماید. در این نرم‌افزار می‌توان برای انجام فعالیت‌های خاص از برنامه نویسی به زبان‌های VB[۱]، C++ و Python استفاده نمود. محیط نرم‌افزار VISSIM در شکل (۳) آورده شده است.



شکل ۳ - نمایش محیط نرم افزار VISSIM

[۱] Visual Basic

۲ -۳ - بسته نرم‌افزاریSynchro و SimTraffic

الف) تاریخچه نرم افزار

شرکت Trafficware در سال ۱۹۹٤ با هدف توسعه و بازاریابی نرم‌افزار برای مهندسین حمل و نقل تاسیس شد. نرم‌افزارهای Synchro و SimTraffic دو محصول این شرکت هستند که در زمینه بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ و مدلسازی جریان ترافیک از آن‌ها استفاده می‌شود. در ادامه، قابلیت‌های کلی نسخه ۷ نرم‌افزار که آخرین نسخه ارائه شده در سال ۲۰۰٦ است، بیان می‌شود.

ب) قابلیت‌های کلی نرم افزار

نرم‌افزار Synchro از مطرح‌ترین نرم‌افزارها در زمینه طراحی چراغ در تقاطع است. قابلیت اصلی این نرم‌افزار بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ و نیز هماهنگ سازی چراغ‌ها با هم است. در بسته نرم‌افزاری شرکت Trafficware علاوه بر Synchro، دو نرم افزار SimTraffic و ۳DViewer نیز وجود دارد. SimTraffic یک نرم‌افزار شبیه ساز خردنگر است. ۳Dviewer نرم‌افزاری برای نمایش سه بعدی مدل ها است. بنابراین این بسته نرم‌افزاری (SynchroStudio) قادر است در دامنه قابل توجهی از پروژه‌ها و مطالعات حمل و نقل و ترافیک بکار گرفته شود.

SimTraffic به منظور کار با نرم‌افزار بهینه‌سازی چراغ Synchro طراحی شد و بعنوان یک نرم‌افزار شبیه سازی کاربرپسند با قابلیت‌های بصری تولید گردید. اگرچه در ابتدا، تنها نقطه قوت Synchro در مدلسازی تقاطع چراغدار بود اما با توسعه آن و اضافه شدن SimTraffic؛ نرم‌افزاری مناسب برای استفاده در شبیه‌سازی آزادراه‌ها و شبکه‌های بزرگ نیز تبدیل شد. به دلیل اینکه Trafficware در این نرم‌افزار برای مشخصات عملکرد راننده و وسیله‌نقلیه از مشخصات عملکرد راننده و وسیله‌نقلیه FHWA[1] استفاده کرده است.

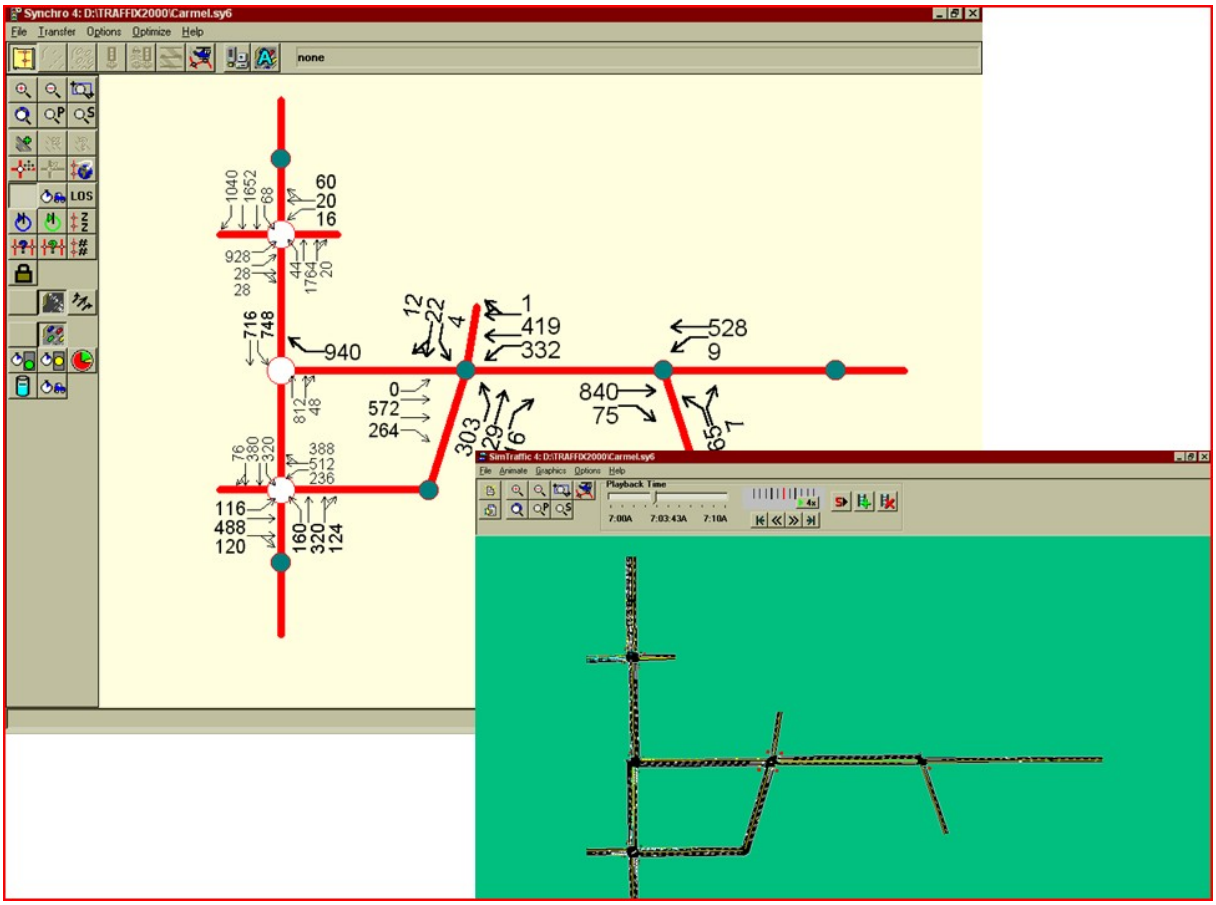
برخی از قابلیت‌های این نرم‌افزار شامل موارد زیر است:

- شبیه سازی۲ و ۳ بعدی جریان ترافیک
- شبیه‌سازی و بهینه سازی فازبندی و زمان‌بندی چراغ کنترل تقاطع‌ها
- استفاده از استانداردها و روابط HCM در Synchro
- استفاده از مشخصات راننده و وسیله نقلیه بر اساس ضوابط FHWA در SimTraffic
- تولید فایل‌های خروجی با فرمت تصویر، فیلم و جدول.

[1] Federal highway administration

از این نرم‌افزار نمی‌توان برای شبیه‌سازی حمل و نقل همگانی، کنترل رمپ[1]، پارک حاشیه‌ای و خطوط HOV استفاده نمود. همچنین این نرم‌افزار برای مدلسازی میادین نیز ضعیف است. نرم افزار Synchro قابلیت محاسبه تاثیر عابر پیاده بر جریان عبوری از تقاطع را دارد. اما نمایش شبیه‌سازی عابر پیاده در SimTraffic ممکن نیست.

محیط نرم‌افزار Synchro و SimTraffic در شکل (٤) آورده شده است.



شکل ۴ - نمایش محیط نرم افزار Synchro و SimTraffic

[1].Ramp Metering

۲ -۴ - نرم‌افزار Paramics

الف) تاریخچه نرم افزار

نرم افزار Paramics ابتدا به عنوان یک پروژه پژوهشی توسط ۲ دانشجو (یک دانشجوی برنامه نویسی و یک دانشجوی رشته ریاضی) در سال۱۹۹۰ در دانشگاه ادینبورگ بریتانیا تولید شد. در اواسط سال ۱۹۹۰ اعضای این گروه شرکت Quadstone را تشکیل دادند و سپس Quadstone و SIAS با هم شریک شدند ولی این شراکت در سال ۱۹۹۸ منحل شد. در سال ۲۰۰۵، PortraitSoftware شرکت ساخت نرم افزار های تخصصی در لندن Quadstone را خریداری نمود. امروزه QuadstoneParamics با ارائه نسخه ٦ این نرم‌افزار، بعنوان یک زیر مجموعه مستقل به کار خود ادامه می‌دهد[٤].

بسته نرم افزاری Paramics مشتمل بر هشت نرم افزار است که هر یک از هشت نرم افزار این مجموعه به صورت مستقل عمل کرده و در عین حال با هم هماهنگی و تبادل اطلاعات می‌کنند. به عبارت دیگر، با وجود اینکه هر یک از آن ها به تنهایی یک نرم افزار کامل محسوب می‌شوند، در کنار یکدیگر مجموعه کاملی را نیز تشکیل می دهند. نرم افزار ParamicsModeler یکی از نرم‌افزارهای این بسته نرم‌افزاری است.

ب) قابلیت های کلی نرم افزار

مدل‌ها در Paramics از گره‌ها، لینک‌ها و اجزای مرتبط با آن‌ها تشکیل شده‌اند. پارامترهای فیزیکی و دینامیکی هر وسیله نقلیه در حین سفر آن از نواحی مبدا[۱] به نواحی مقصد[۲] محاسبه می‌شود. مدل‌هایی که در این نرم‌افزار استفاده می‌شوند مدل‌های پیروی خودرو و تغییر خط و قبول فرصت هستند[٤]. از جمله مواردی که می‌توان در آنها از Paramics استفاده نمود عبارتند از:

- ارزیابی و طراحی معابر و آزادراه‌ها.
- پروژه‌های مهندسی ترافیک.
- ارزیابی و طراحی میادین و تقاطع‌ها.
- ازریابی ایستگاه‌های اخذ عوارض.
- مطالعات سیستم‌های هوشمند حمل و نقل (ITS).
- مطالعات حمل و نقل همگانی.

---

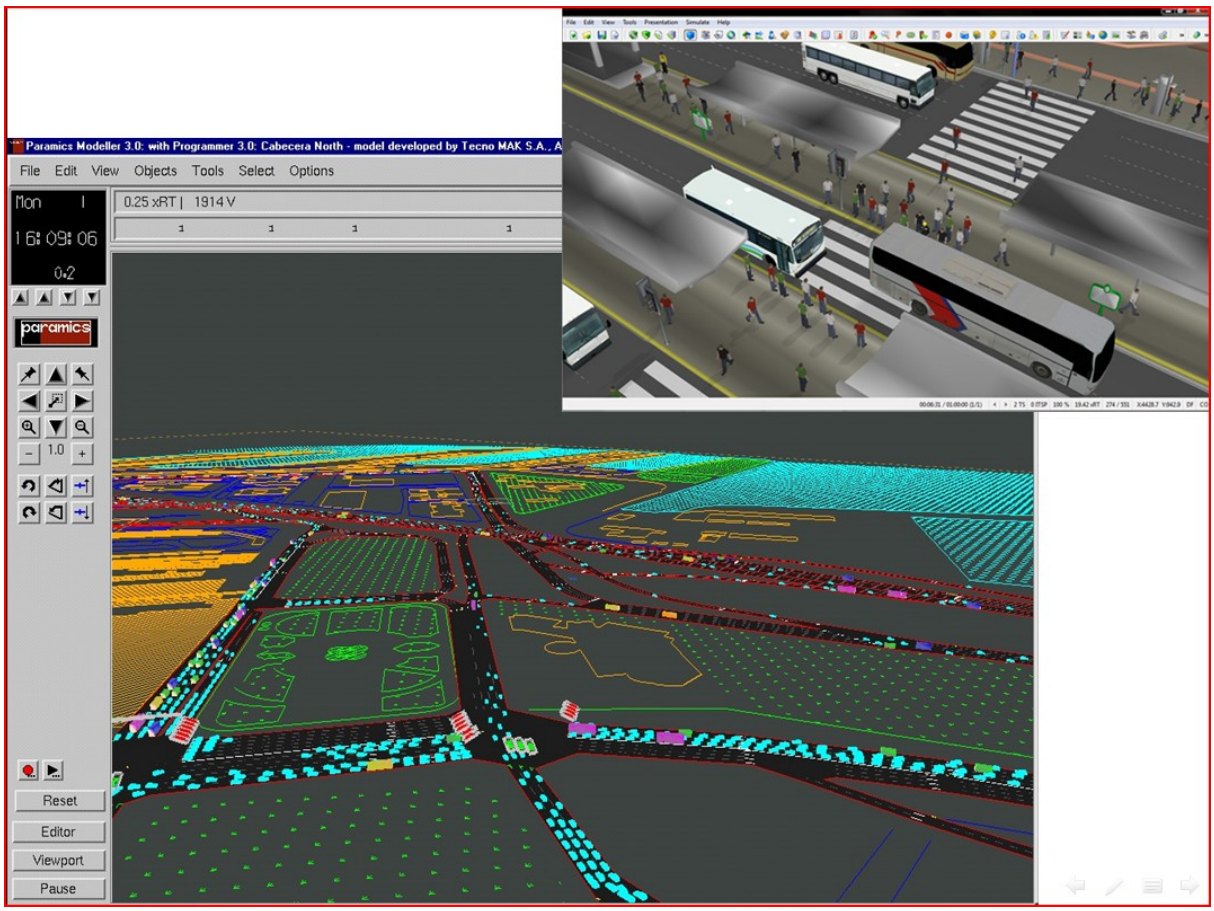
[۱].Origin zone

[۲].Destination zone

- مطالعات اقتصادی و زیست محیطی.

در این نرم افزار می توان تقاطع های بدون چراغ، چراغ دار با زمان بندی ثابت، زمان‌بندی هوشمند و تقاطع های هماهنگ شده را شبیه‌سازی نمود؛ همچنین شبیه‌سازی میادین، کنترل رمپ و اولویت دهی چراغ نیز در این نرم‌افزار امکان پذیر است. از دیگر قابلیت‌های نرم‌افزار Paramics شبیه‌سازی عابر پیاده، پارک حاشیه‌ای و جستجوی فضای پارکینگ است.

در نرم‌افزار Paramics تقاضای سفر باید بصورت ماتریس مبدا - مقصد برای نرم‌افزار تعریف شود. اگرچه معمولا مهندسان ترافیک اطلاعات حجم تقاطع را با برداشت حرکت‌های گردشی بدست می‌آورند اما برای ورود اطلاعات در مدل باید آن را به ماتریس مبدا - مقصد تبدیل کنند که در بسیاری از مطالعات به سادگی میسر نیست. بجز وسایل نقلیه با مسیر ثابت مانند اتوبوس و یا خطوط ریلی، برای سایر انواع وسایل نقلیه در این نرم‌افزار، تخصیص ترافیکی صورت می‌گیرد. هزینه سفر برای تخصیص در هر بازه زمانی بصورت پویا و دینامیک محاسبه و اعمال می‌شود. محیط نرم‌افزار Paramics در شکل (۱-۵) آورده شده است.



شکل ۵- نمایش محیط نرم افزارParamics

۲ -۵ - نرم‌افزار CORSIM

الف) تاریخچه نرم افزار

با توجه به اهمیت و نقش مدلسازی و شبیه‌سازی در رشته برنامه‌ریزی حمل و نقل و ترافیک، اداره راه‌های آمریکا (FHWA) از سال ۱۹۷۰ برخی از پروژه‌های مطالعاتی و تحقیقاتی را به تولید یک نرم افزار شبیه‌ساز ترافیک

تخصیص داد که نتیجه آن طراحی و توسعه نرم‌افزار CORSIM بوده است[۵].

نرم‌افزار CORSIM از دو دسته مدل شبیه ساز خردنگر تشکیل شده است. NETSIM برای شبیه‌سازی ترافیک در خیابان‌های شهری و FRESIM برای شبیه سازی جریان ترافیک در آزادراه‌ها طراحی شده است. برای ساخت مدلی که شامل خیابان‌های شهری و آزادراه می‌شود، دو زیر شبکه تعریف می شود که یکی شامل خیابان‌های شهری بوده و با NETSIM مدل می‌شود و دیگری شبکه آزادراه‌ها می‌باشد که برای شبیه‌سازی آن از FRESIM استفاده می‌شود. آخرین نسخه ارائه شده نرم‌افزار CORSIM نسخه ٦ و در سال ۲۰۰٦ است که در ادامه قابلیت‌ها و توانایی‌های کلی آن بیان می‌شود.

ب) قابلیت های کلی نرم افزار

نرم‌افزار CORSIM نرم‌افزاری است که برای مهندسان ترافیک این امکان را فراهم می‌سازد تا با شبیه‌سازی و تحلیل معابر شهری و آزادراه‌ها، کل اجزای یک شبکه ترافیک (شبکه معابر) را شبیه‌سازی و تحلیل نمایند. این نرم افزار با استفاده از توابع توزیع احتمالی که برگرفته از آمار برداری‌های وسیع در این رابطه است، مشخصات خاص هر خودرو (طول خودرو، نرخ شتاب)، حداقل فرصت قابل قبول، حداکثر سرعت آزادراه و غیره را تعیین کرده و بر اساس آن شبیه‌سازی می‌کند. در نرم افزار CORSIM نیز از مدل‌های پیروی خودرو و تغییر خط و قبول فرصت استفاده می‌شود. اگرچه این مدل‌ها برای شبیه‌سازی رفتار اتومبیل‌ها هستند اما می‌توانند برای شبیه‌سازی اتوبوس و کامیون نیز مورد استفاده قرار گیرند. در نرم‌افزار CORSIM تقاطع چراغدار را می‌توان بصورت چراغ با زمان‌بندی ثابت و یا چراغ‌های هوشمند تعریف نمود.

همانطور که بیان شد نرم‌افزار CORSIM برای شبیه‌سازی جریان ترافیک معابر درون شهری از مدل شبیه سازی NETSIM استفاده می‌کند. در این مدل با استفاده از پارامترهای زیر وضعیت ترافیک توصیف می-گردد[۵]:

- اجزای ناوگان (اتوبوس‌ها، اتومبیل‌ها، کامیون‌ها و ...)
- ضریب بار (تعداد مسافر در هر وسیله نقلیه)
- حرکت‌های گردشی
- عملکرد خطوط اتوبوس (مسیرها، حجم جابجا شده، ایستگاه‌ها، زمان تاخیر و ...)
- خطوط HOV (اتوبوس، تاکسی و ...)
- نحوه ورود به تقاطع

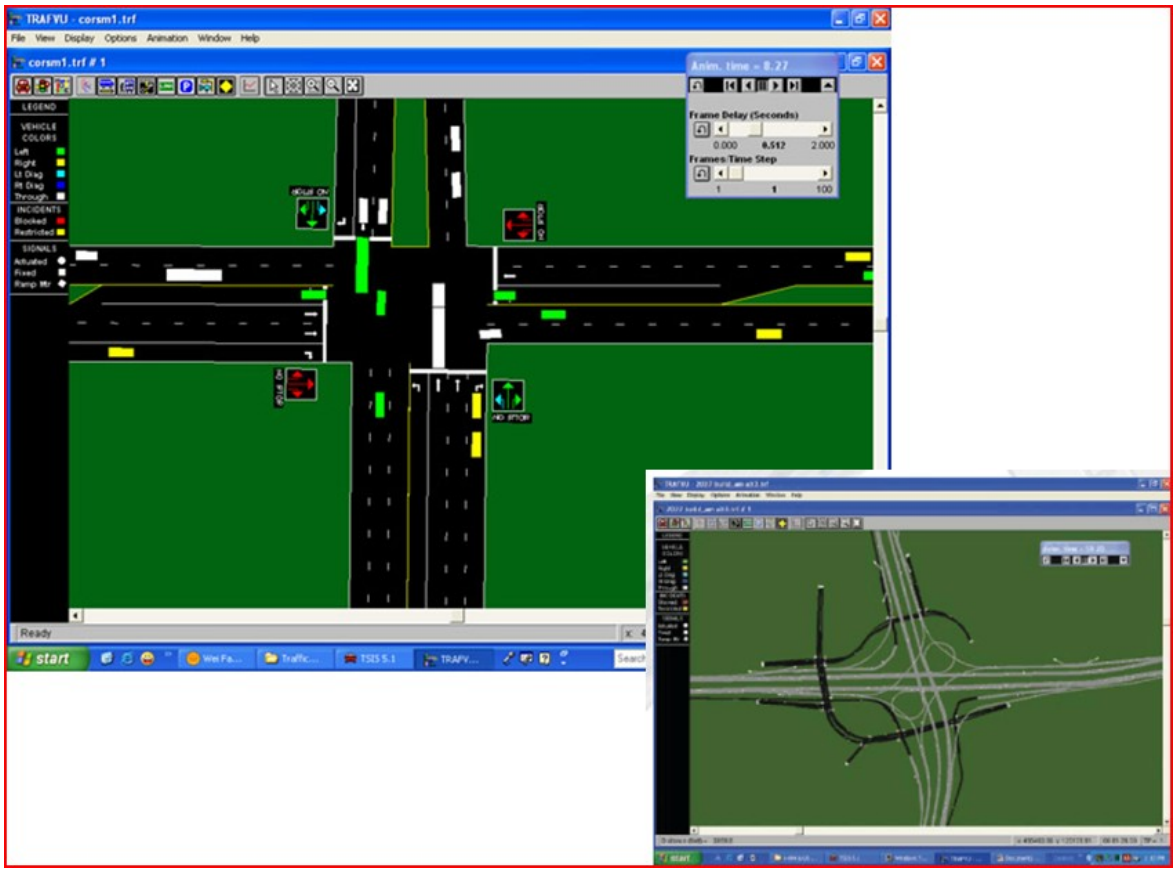
- چراغ‌های با زمان‌بندی ثابت[۱]
- چراغ‌های هماهنگ شده[۲]
- تعداد خطوط دسترسی به تقاطع
- وقایع و حوادث زودگذر[۳]
- مدل شبیه‌سازی FRESIM در برنامه CORSIM برای شبیه‌سازی جریان ترافیک در بزرگراه‌ها و آزادراه‌ها استفاده می‌شود. ویژگی‌های FRESIM عبارتند از[٤]:
- استفاده از یک مدل جامع تغییر خط
- سیستم کنترل رمپ برمبنای زمان و میزان ترافیک
- حرکت وسایل‌نقلیه سنگین که به خطوط مشخصی محدود شده‌اند.
- اختلاف در رفتار رانندگان که شامل ۱۰ نوع راننده از افراد محتاط تا افراد بی‌احتیاط می‌شود.

محیط نرم‌افزار CORSIM در شکل (٦) آورده شده است.

[۱] Pretimed Signal Control (fix signal control)

[۲] Coordinated signal control

[۳] incidents



شکل ۶ - نمایش محیط نرم افزار CORSIM

۲ -۶- نرم‌افزار TransModeler

نرم‌افزار TransModeler یکی از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی جریان ترافیک و محصول شرکت Caliper است. این شرکت در سال ۱۹۸۳ میلادی در آمریکا تاسیس شد و امروزه بعنوان یکی از بزرگترین شرکت‌های خصوصی در زمینه توسعه نرم‌افزارهای برنامه‌ریزی و شبیه‌سازی حمل و نقل و ترافیک به فعالیت می‌پردازد. این شرکت که

محصولات خود را بر مبنای GIS عرضه می‌کند، تا سال ۲۰۱۰ بیش از ده هزار کاربر در حدود ۷۰ کشور دارد[٦]. در ادامه قابلیت‌های کلی نسخه ۲.٦ این نرم‌افزار که آخرین نسخه ارائه شده در سال ۲۰۱۰ است، بیان می‌شود.

- **قابلیت‌های کلی نرم افزار**

نرم‌افزار TransModeler یکی از پر کاربردترین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی ترافیک است که توانایی شبیه‌سازی انواع معابر از آزادراهی تا معابر درون شهری را داراست. با استفاده از این نرم‌افزار می‌توان ترافیک را در محیط دو بعدی یا سه بعدی GIS جهت نمایش جریان ترافیک، عملکرد چراغ راهنمایی و دیگر ویژگی‌های شبکه مدل نمود.

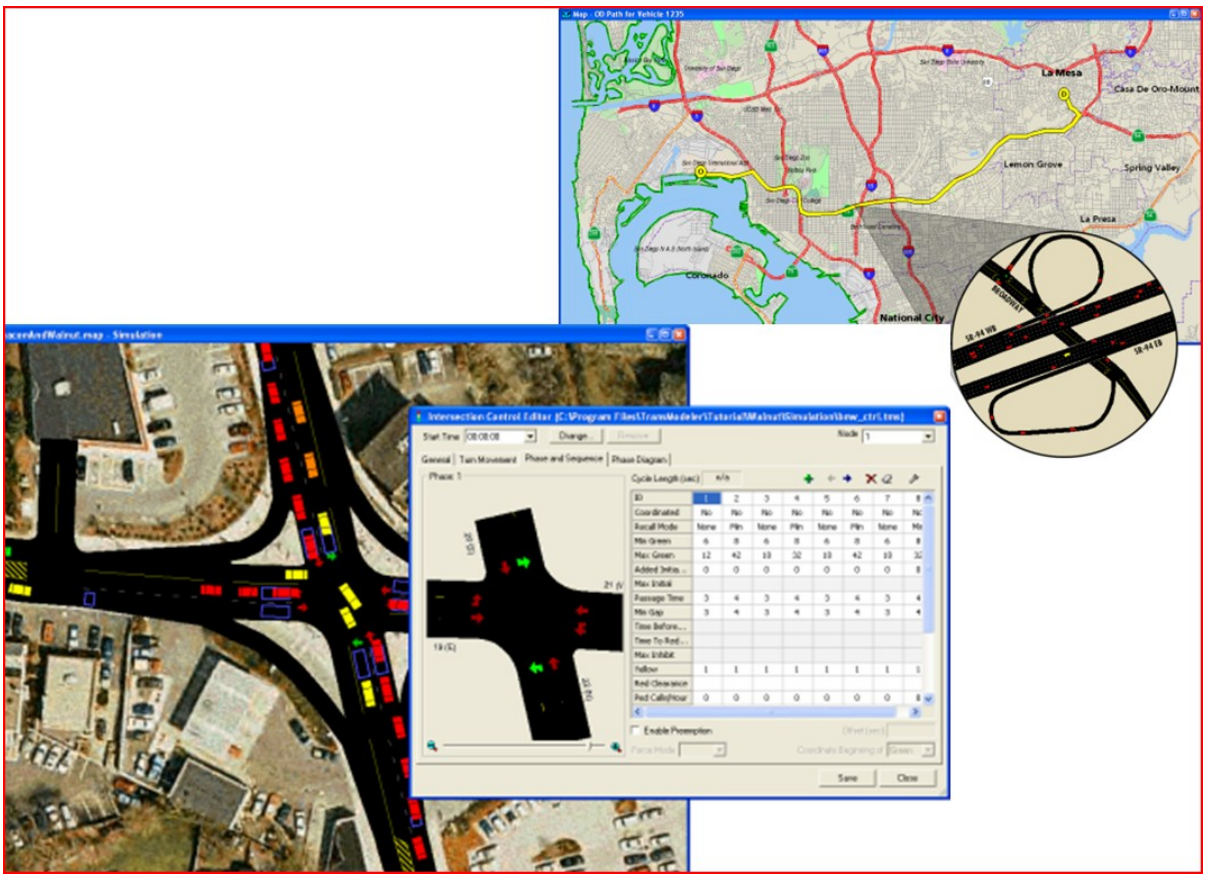
در نرم‌افزار TransModeler این قابلیت منحصر به فرد ایجاد شده که با تجمیع مدل‌های شبیه‌سازی جریان ترافیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی جهانی (GIS)، ذخیره‌سازی، نگهداری و تحلیل داده‌های ترافیکی تسهیل شود. در این نرم‌افزار (با توجه به GIS مبنا بودن) خواص شبکه در جداول مرتبط به نقشه ذخیره می‌شود تا بر این اساس ورود داده‌ها، کار با داده‌ها، نمایش آن‌ها و نیز کنترل خطاها، بسادگی قابل انجام گردد. مقادیر پارامترهای پویا مانند سرعت، چگالی، جریان و غیره که طی شبیه‌سازی تغییر می‌کنند نیز در جداول مربوطه در نرم افزار مرتباً تجدید می شوند[٦]. از جمله مواردی که می‌توان در این نرم‌افزار مدل نمود عبارتند از:

- معابر شهری و آزاد راه‌ها را می‌توان در یک شبکه مدل نمود.
- هر میدان در نرم‌افزار TransModeler یک تقاطع واحد است، که با در نظر گرفتن برهمکنش وسایل نقلیه ورودی و وسایل نقلیه داخل میدان مدل می‌شود.
- خطوط HOV، اتوبوس و ایستگاه‌های اخذ عوارض را می‌توان در نرم‌افزار مدل نمود و تاثیرات آن‌ها را بر ترافیک بصورت پویا مطالعه نمود.
- می توان برنامه‌ها و سناریوهای تخلیه را در مواقع بحرانی و بلایای طبیعی مدل نمود.
- برای مدیریت ترافیک طی انجام پروژه‌های ساخت و نگهداری معابر می‌توان نواحی فعالیت عمرانی را مدلسازی کرد.
- ابزار اخذ عوارض در این نرم‌افزار این امکان را فراهم می‌کند تا بتوان انواع مختلف روش‌های اخذ عوارض را چه در نوع پرداخت و چه در سیاست قیمت گذاری متغیر، مدل نموده و نتایج آن را در اختیار تصمیم‌گیران قرار داد.
- در این نرم‌افزار امکان مدل‌سازی پارک حاشیه‌ای فراهم شده است که می‌توان در آن جستجوی پارک حاشیه‌ای و زوایای مختلف پارک را شبیه‌سازی نمود. امکان مدل‌سازی انواع چراغ‌راهنمایی مانند زمان بندی ثابت، هوشمند، هماهنگ شده، اولویت دهی و غیره در این نرم‌افزار فراهم شده است.

نرم افزار TransModeler یک نرم‌افزار شبیه‌سازی چند مدی است که می‌توان در آن سیستم حمل و نقل عمومی ریلی و اتوبوسرانی را با تمامی اجزا مدل نمود.

- کار ترکیبی با نرم‌افزار TransCad این امکان را برای TransModeler فراهم کرده است تا بتواند مدل های تقاضا و ترافیک را تجمیع نماید. بنابراین نتایج پیش‌بینی تقاضای سفر می‌تواند در TransModeler با جزئیات بیشتری مورد ارزیابی قرار گیرد و نتایج تخصیص سفر در بازه‌های زمانی برای تعیین گلوگاه‌ها، طول صف، ظرفیت اشباع و غیره استفاده شود.

محیط نرم‌افزار TransModeler در شکل (۷) آورده شده است.



شکل ۷- نمایش محیط نرم افزار TransModeler

۲ -۷ - نرم‌افزار Cube Dynasim

الف) تاریخچه نرم افزار

نرم‌افزار CubeDynasim محصول شرکت Citilabs و یکی از ۸ محصول مجموعه Cube است. نسخه ۵ مجموعه Cube، از ۸ نرم‌افزار CubeAnalyst، Cube Avenue، Cube Base، Cube Cargo، Land Cube، Cluster Cube، Cube Dynasim و Cube Voyager تشکیل شده است که هر یک فعالیت خاصی انجام می دهند. نرم‌افزار CubeDynasim یک شبیه‌ساز خرد نگر جریان ترافیک است. Citilabs شرکتی آمریکایی است، این شرکت تا سال ۲۰۱۰ به بیش از ۲۵۰۰ کاربر در بیش از ۷۰ کشور دنیا خدمات داده است[۷].

ب) قابلیت‌های کلی نرم افزار

نرم‌افزار CubeDynasim نرم‌افزار شبیه ساز خردنگر جریان ترافیک است که به مهندسان و برنامه‌ریزان حمل و نقل و ترافیک اجازه می‌دهد، بتوانند تاثیرات هندسی و پارامترهای عملکردی را بر جریان ترافیک شبیه سازی، مشاهده و ارزیابی نمایند. این نرم‌افزار کاربر را قادر می سازد تقریباً هر سیستم حمل و نقل را با هروضعیت هندسی شبکه، نوع وسیله نقلیه، و یا رفتار راننده شبیه‌سازی نماید. در این نرم‌افزار می‌توان هر یک از موارد زیر را مدل نمود[۷]:

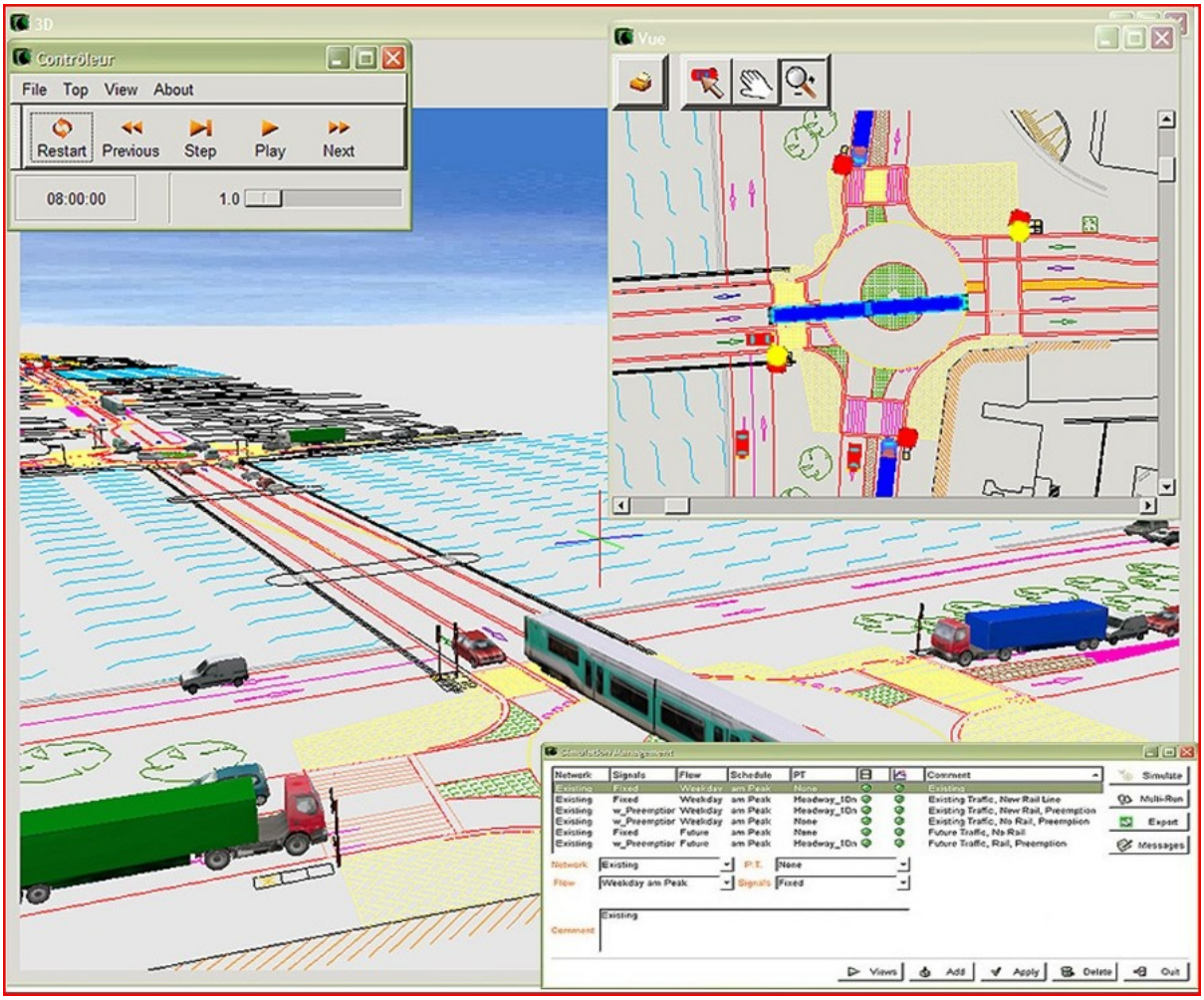
- میادین
- پارکینگ حاشیه‌ای و مانورهای آن
- مراکز حمل و نقل چند مدی
- ایستگاه‌ها و ترمینال‌های اتوبوسرانی و تاکسی
- پارکینگ
- اولویت حمل و نقل عمومی، راه‌آهن و عابر پیاده
- خطوط دوچرخه
- تسهیلات آزادراهی
- مقاطع تداخلی آزادراه‌ها
- خطوط HOV
- تسهیلات و ایستگاه‌های اخذ عوارض
- کنترل رمپ
- تقاطع غیر همسطح

- تقاطع‌های بدون چراغ و چراغ‌دار
- شبکه‌های بزرگ منطقه‌ای
- خطوط گردش به چپ دو طرفه
- فناوری‌های ITS
- وقایع خاص ترافیک
- دور برگردان
- برنامه‌ریزی تخلیه[۱] نواحی شهری در شرایط اضطراری و سوانح غیرمنتظره
- پایانه‌ها و انبارهای کامیون

نرم‌افزار CubeDynasim کاملاً با ساختار Cube هماهنگ بوده و به راحتی با دیگر نرم‌افزارهای مجموعه ارتباط برقرار می‌کند. با توجه به اینکه Cube بر مبنای GIS است می‌توان داده‌های ورودی مانند شبکه را از هر نرم افزار دیگر که خروجی GIS می‌دهد، دریافت نمود. بدین ترتیب، بسادگی می‌توان داده‌ها را از نرم‌افزارهای برآورد تقاضای سفر به این نرم‌افزار وارد کرده و تحلیل‌های جزئی‌تری بر روی آن انجام داد.

از دیگر ویژگی‌های منحصر به فرد این نرم‌افزار، قابلیت‌های تعریف سناریو در آن است، به این ترتیب که بجای ساخت فایل‌های جدید برای هر گزینه می‌توان گزینه‌های مطرح را در داخل یک فایل و در قالب سناریوهای مختلف تعریف نمود. محیط نرم‌افزار CubeDynasim در شکل (۸) نشان داده شده است.

۱. Evacuation plans



شکل ۸ - نمایش محیط نرم افزار Cube Dynasim

۲ -۸ - مقایسه کلی نرم افزارها

امروزه در مطالعات ترافیکی بطور فراگیر از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی استفاده می‌شود و در این راستا نرم افزارهای مختلفی طراحی و به بازار عرضه شده است که می‌توان با توجه به ماهیت مطالعات مورد نظر و نیز قابلیت‌ها و مشخصات هر نرم‌افزار از آن استفاده کرد. در بخش قبل، نرم‌افزارهای Synchro، VISSIM، Aimsun

CubeDynasim و TransModeler ، CORSIM، Paramics، که از پر کاربردترین نرم‌افزارهای موجود می باشند، معرفی و برخی از ویژگی‌ها و قابلیت‌های آن‌ها بیان شد. در این بخش به مقایسه این نرم‌افزارها پرداخته می‌شود.

جهت مقایسه نرم‌افزارهای شبیه‌ساز جریان ترافیک، قابلیت‌ها و امکانات شبیه‌سازی به چهار گروه کلی تقسیم شده‌اند که عبارتند از:

الف) قابلیت های شبیه سازی شبکه:

در این گروه از شاخص‌ها توانایی شبیه سازی اجزای شبکه شامل معابر شهری، آزادراه، خطوط HOV و خطوط گردش به چپ دو طرفه[1] ملاک مقایسه است.

ب) قابلیت های شبیه سازی کنترل گره:

شاخص‌های نحوه کنترل انواع گره ها که می تواند توسط نرم افزارهای شبیه ساز مدل شود، در این گروه قرار می‌گیرد. این شاخص ها عبارتند از، تقاطع بدون چراغ، تقاطع هوشمند، چراغ هماهنگ شده، ابزار کنترل چراغ(توانایی ارتباط با ابزارهای کنترل چراغ راهنمایی مانند SCATS، UTOPIA)، میدان، کنترل رمپ و اولویت دهی چراغ.

ج) قابلیت های شبیه سازی دیگر اجزای ترافیک:

این شاخص‌ها شامل اجزا و مواردی می‌باشد که در جریان ترافیک دارای عملکرد و فعالیتی خاص هستند. حمل و نقل همگانی، عابر پیاده، پارکینگ، جستجوی فضای پارکینگ، خودروی پارک شده و اخذ عوارض در این گروه قرار دارند.

د) سایر قابلیت های شبیه سازی:

دیگر اجزای مدل نیز شامل موارد مختلفی مانند حوادث، تقاضای متغیر، تخصیص OD، تخصیص دینامیکی، تابلوهای پیام متغیر، شناسگرها، انیمیشن ۲ بعدی، انیمیشن ۳ بعدی، بهینه سازی چراغ و وضعیت آب و هوایی می شود.

قابلیت های نرم افزارهای معرفی شده بخش قبل در جدول شماره (۱-۲) جهت مقایسه این نرم افزارها آورده شده است. همانطور که در جدول (۲) مشاهده می شود قابلیت های این نرم افزارها بسیار به هم نزدیک است.

[1]. Two-Way Left Turn Lanes (TWLTL)

جدول ۲ - مقایسه قابلیت های نرم افزارهای شبیه ساز خرد نگر

انواع قابلیت ها	نرم افزار / نوع تسهیلات	Aimsun	VISSIM	Synchro/ SimTraffic	Paramics	CORSIM	Cube Dynasim	TransModeler
قابلیت‌های شبیه‌سازی شبکه	معابر شهری	√	√	√	√	√	√	√
	آزادراه	√	√	√	√	√	√	√
	خطوط HOV	√	√	X	√	√	√	√
	خطوط گردش به چپ دوطرفه	X	√	X	X	X	√	X
قابلیت‌های شبیه‌سازی کنترل گره	تقاطع بدون چراغ	√	√	√	√	√	√	√
	تقاطع هوشمند	√	√	√	√	√	√	√
	چراغ هماهنگ شده	√	√	√	√	√	√	√
	میدان	√	√	√	√	√	√	√
	کنترل رمپ	√	√	X	√	√	√	√
	اولویت دهی چراغ	√	√	X	√	√	√	√
قابلیت‌های شبیه‌سازی دیگر اجزای شبکه ترافیک	حمل و نقل همگانی	√	√	X	√	X	√	√
	عابر پیاده	√	√	X	√	√	√	√
	پارکینگ	√	√	X	X	√	√	√
	جستجوی فضای پارکینگ	X	√	X	√	√	√	√
	پارک حاشیه ای	X	√	X	√	√	√	√
	اخذ عوارض	√	X	X	√	X	√	√

ادامه جدول ۲- مقایسه قابلیت های نرم افزارهای شبیه ساز خرد نگر

انواع قابلیت ها	نرم افزار / نوع تسهیلات	Aimsun	VISSIM	Synchro/ SimTraffic	Paramics	CORSIM	Cube Dynasim	TransModeler
سایر قابلیت‌های شبیه‌سازی	حوادث	√	√	√	√	√	√	√
	تقاضای متغیر	√	√	X	√	√	√	√
	تخصیص OD	√	√	X	√	X	√	√
	تخصیص دینامیکی	√	√	X	√	X	X	√
	تابلو پیام متغیر	√	√	X	√	X	√	√
	شناسگر	√	√	X	√	√	√	√
	انیمیشن ۲ بعدی	√	√	√	√	√	√	√
	انیمیشن ۳ بعدی	√	√	√	√	X	√	√
	بهینه سازی چراغ	X	X	√	X	X	X	X
	شرایط جوی	X	X	X	√	X	X	X

۳- شناسایی نرم افزارهای موجود در کشور به منظور انجام شبیه سازی ترافیکی

با توجه به مزیت‌های شبیه‌سازی که پیش از این بیان شد، استفاده جهانی از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی در بسیاری از مطالعات ترافیکی و حمل و نقلی رشد روزافزونی یافته است. از این رو، کشور ما نیز از این امر مُستثنی نبوده و استفاده از نرم افزارهای مختلف در زمینه حمل و نقل و ترافیک (بخصوص نرم‌افزارهای شبیه ساز خردنگر) رو به افزایش است. در حال حاضر در کشور، در اکثر مطالعات ترافیکی (میدانی یا تحقیقاتی) از این دسته نرم‌افزارها استفاده می شود. در این قسمت از مطالعات، ابتدا ارگان‌های اصلی استفاده کننده و مرتبط با شبیه‌سازی جریان ترافیک شناسایی می‌شود و سپس نرم‌افزارها و موارد استفاده از آن‌ها بیان می‌شود.

۳ -۱ - شناسایی ارگان های اصلی و مهم در رابطه با شبیه سازی ترافیکی در کشور

با توجه به اینکه این نرم‌افزارها برای دامنه گسترده‌ای از کاربران شامل محققان، مدیران، برنامه‌ریزان و مهندسان حوزه ترافیک و حمل و نقل طراحی شده است، می‌توان از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی جریان ترافیک در زمینه مدیریت و کنترل ترافیک، برنامه‌ریزی و طراحی اجزای ترافیک، انجام مطالعات و تحقیقات در زمینه‌های مختلف مرتبط با این حوزه و دیگر موارد استفاده نمود. با توجه به گستردگی زمینه‌های استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی ترافیک و کاربران آن می توان استفاده کنندگان اصلی از نرم افزارهای شبیه‌سازی ترافیکی را به ۳ دسته زیر تقسیم نمود:

۳-۱-۱- سازمان‌های مسئول در زمینه حمل و نقل و ترافیک

این سازمان‌ها علاوه بر نقش نظارتی بر بررسی پروژه‌های ترافیکی و حمل و نقلی مانند مطالعات ساماندهی شهرها، در موارد متعددی در زمینه مطالعات مربوط به اقدامات ترافیکی مانند غیر همسطح کردن تقاطعات، تعریض و یکطرفه کردن معابر از این نرم افزارها استفاده می نمایند. معاونت حمل و نقل و ترافیک (سازمان ترافیک) شهرداری شهرها از جمله سازمان هایی هستند که در این دسته قرار می‌گیرند.

از طرفی در مجموعه‌هایی مانند شرکت کنترل ترافیک، با توجه به وجود قابلیت ارتباط بسیاری از نرم افزارهای شبیه‌سازی با ابزار کنترل ترافیک (مانند SCATS) می‌توان جریان ترافیک را بصورت همزمان شبیه سازی نمود و وضعیت ترافیکی را در بازه‌های زمانی آتی پیش‌بینی نمود. به این ترتیب می‌توان زمان وقایع و اتفاقات، وضعیت ترافیک و تاثیرات این وقایع بر دیگر اجزا را پیش‌بینی کرد و برای آن تصمیم گیری نمود.

۳-۱-۲- شرکت‌های مشاور (بخش‌های خصوصی در زمینه حمل و نقل و ترافیک)

بسیاری از مطالعات ترافیکی توسط شرکت‌های مشاور انجام می‌شود. دامنه وسیعی از مطالعات، از

عارضه سنجی ترافیکی کاربری‌های خاص تا مطالعات ساماندهی و تفصیلی شهرها توسط بخش خصوصی و شرکت‌های مشاور انجام می‌شود. در بسیاری از این مطالعات برای تحلیل و ارزیابی وضع موجود و نیز سناریوهای پیشنهادی از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی استفاده می‌شود.

۳-۱-۳- مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی

در جهت انجام پژوهش بر روی موضوعات خاص ترافیکی، انجام پایان نامه دانشجویی و همچنین آموزش به دانشجویان از این نرم افزارها در این مراکز استفاده می شود. در سال های اخیر روند رو به رشدی در بکارگیری این نرم افزارها در این مراکز مشاهده می گردد.

۳ -۲ - شناسایی نرم افزارها، میزان و موارد استفاده از آنها در کشور

از میان نرم‌افزارهای شبیه‌سازی متعدد موجود در دنیا، تنها تعداد اندکی در ایران مورد استفاده قرار می‌گیرند. نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مرسوم در ایران Aimsun، VISSIM و Synchro هستند. اگرچه بسیاری از کاربران این نرم‌افزارها در ایران از نسخه‌های قفل شکسته استفاده می‌کنند، نرم‌افزارهای Aimsun و VISSIM در ایران نمایندگی رسمی دارند. بعلاوه نرم‌افزار Synchro نیز در کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد، با این تفاوت که در کشور با توجه به قابلیت برجسته این نرم‌افزار در زمینه بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ راهنمایی، به این وجه نرم‌افزار توجه زیادی شده و از این نرم‌افزار برای بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ راهنمایی استفاده شده است. اگرچه SimTraffic در بسته نرم‌افزاری Synchro Studio یک برنامه شبیه‌سازی جریان ترافیک است از آن بندرت استفاده می‌شود. سایر نرم‌افزارهای شبیه‌سازی عملاً در ایران مورد استفاده قرار نگرفته است.

بر اساس گروه‌بندی ارائه شده در میان ۳ دسته از ارگان‌های مذکور در بند (۱-۳-۱)، دسته اول سازمان‌هایی هستند که وظیفه نظارت، برنامه‌ریزی، سیاست‌گذاری و تصمیم‌سازی را برعهده دارند. این نهادها در جهت انجام وظیفه نظارتی خود بر مدل‌های شبیه‌سازی ترافیکی در انجام پروژه‌های ترافیکی، در ارتباط نزدیک با این نرم‌افزارها هستند. این گروه عموماً از سه نرم‌افزار Aimsun، VISSIM و Synchro استفاده می‌کنند، شرکت کنترل ترافیک تهران، سازمان‌های حمل و نقل و ترافیک شهر تهران و مشهد نرم‌افزار VISSIM را خریداری کرده‌اند و نرم‌افزار Aimsun توسط سازمان حمل و نقل و ترافیک شهر تهران، سازمان قطار شهری شیراز و حومه و سازمان راهداری و حمل ونقل جاده‌ای و مدیریت راه‌های کشور به صورت رسمی تهیه شده است. براساس تعداد ۱۷ پرسشنامه که توسط کارشناسان و مدیران سازمان حمل و نقل و ترافیک شهر تهران، شرکت مطالعات جامع حمل ونقل و ترافیک شهر تهران و شرکت کنترل ترافیک شهر تهران تکمیل شده است، ۱۵ نفر (۸۸%) از نرم افزار Aimsun، ١٤ نفر (۸۲%) از نرم افزار Synchro، ۷ نفر (٤١%) از نرم افزار VISSIM و یک نفر (٦%) از Corsim استفاده می کنند. در

عمل با توجه به تعداد زیاد شهرهای کشور، حتی در کلانشهرها نیز به ندرت این نرم افزارها مورد استفاده قرار گرفته است و در برخی از شهرها به صورت خیلی محدود نسخه های قفل شکسته نرم افزار Aimsun را در اختیار دارند.

نهادهای خصوصی مانند شرکت‌های مشاور بیش از گروه‌های دیگر از این نرم‌افزارها استفاده می‌کنند. شرکت‌های مشاور در برخی از مطالعات خود مانند عارضه سنجی ترافیکی کاربری‌ها، اصلاح هندسی معابر و تقاطعات، بررسی عملکرد تسهیلات ترافیکی از این نرم‌افزارها استفاده می‌کنند. از این رو نرم‌افزار Aimsun بیش از دیگر نرم‌افزارها استفاده می‌شود و تعداد قابل توجهی از مشاوران در مطالعات ترافیکی از این نرم‌افزار سود می‌برند. همچنین نرم‌افزار Synchro نیز در بهینه‌سازی چراغ راهنمایی توسط مشاوران مورد استفاده قرار می‌گیرد. اکثر مشاوران از نسخه های قفل شکسته نرم افزار Aimsun استفاده می کنند و تنها چهار شرکت مشاور نرم‌افزار Aimsun را به صورت رسمی تهیه نموده‌اند و تنها یک شرکت از نسخه اصلی VISSIM استفاده می‌کند که این شرکت نیز خود نماینده این نرم افزار در کشور است. عدم تمایل بسیاری از مشاورین برای تهیه نرم افزارهای اصلی و عدم اهتمام لازم در بکارگیری نیروهای متخصص در این زمینه نشانگر این است که هنوز اهمیت و لزوم بکارگیری درست از این نرم افزارها مشخص نشده است. از دلایل آن عدم آشنایی لازم کارفرما از محدودیت ها و توانایی های این نرم افزارها است، تعداد کم سازمان های مسئول دارای این نرم افزارها گواه این موضوع است.

اگرچه تعداد دانشگاه‌هایی که در گرایش راه و حمل و نقل دانشجو می پذیرد محدود هستند (۷ دانشگاه در گرایش برنامه‌ریزی حمل و نقل و ۱۲ دانشگاه در گرایش راه و ترابری) و مراکز تحقیقاتی دانشگاهی نیز به مرکز تحقیقات حمل و نقل دانشگاه علم و صنعت و دانشگاه صنعتی شریف محدود می شود. اما برخی از این مراکز تحقیقاتی و دانشگاه‌ها در استفاده از این نرم افزارها در کشور پیشگام بوده اند. در دانشگاه ها و مراکز تحقیقاتی در فرایند انجام تعدادی از پایان‌نامه‌ها، سمینارها و پژوهش‌ها از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز ترافیکی Aimsun، VISSIM، CORSIM، SimTraffic و Synchro استفاده نموده‌اند. استفاده دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی از نرم‌افزارهای شبیه سازی با مقاصد مختلفی انجام می‌شود که به ماهیت پژوهش بستگی دارد، اما بطور کلی بیشترین استفاده از این نرم‌افزارها برای شبیه سازی شرایط خاص ترافیکی و ارزیابی نتایج پژوهش است. دانشگاه های علم و صنعت، تربیت مدرس و یزد نرم افزار VISSIM را در اختیار دارند و دانشگاه های علم و صنعت، صنعتی امیرکبیر، تهران (قطب علمی کنترل و پردازش موازی)، تربیت مدرس، خواجه نصیر الدین طوسی، شیراز و واحدهای علوم تحقیقات، تهران جنوب و پرند دانشگاه آزاد اسلامی نرم افزار Aimsun را به صورت رسمی تهیه کرده اند.

همانطور که بیان شد از میان نرم‌افزارهای شبیه‌ساز جریان ترافیک، نرم‌افزار Aimsun بیش از دیگر نرم‌افزارها

استفاده می‌شود و کاربرانی با دیدگاه های مختلف (شامل برنامه ریزان و تصمیم گیران، مشاوران و محققان) در ایران دارد. نرم افزار VISSIM با توجه به اینکه پس از Aimsun وارد ایران شد دارای کاربرانی کمتر می باشد و در حال حاضر تعداد محدودی از سازمان های دولتی، دانشگاه ها و پژوهشکده ها استفاده کننده اصلی از این نرم‌افزار هستند و تنها یکی از شرکت های مشاور از این نرم افزار استفاده می کند. نرم افزار Synchro دارای کاربران قابل توجهی در هر یک از گروه های استفاده کننده است اما همانطور که بیان شد استفاده این کاربران از این نرم افزار به بهینه سازی چراغ راهنمایی محدود شده و از آن بعنوان شبیه ساز خردنگر جریان ترافیک استفاده نمی‌شود.

اگرچه تنوع نرم‌افزارهای شبیه‌سازی در کشور قابل مقایسه با تنوع نرم‌افزارهای مورد استفاده در دنیا نیست، اما نرم‌افزارهای مورد استفاده در کشور از به روزترین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی جریان ترافیک هستند که استفاده مناسب از آنها می تواند در ارتقای سطح مطالعات ترافیکی در کشور کمک قابل توجهی نماید.

در مدت کوتاهی که از ورود نرم‌افزارهای شبیه‌ساز جریان ترافیک می‌گذرد، میزان استفاده از این نرم‌افزارها رشد قابل توجهی یافته است و تنوع این نرم‌افزارها نیز رو به افزایش است اما فارغ از نوع نرم‌افزار، نحوه استفاده از این نرم‌افزارها و روند استفاده از آن‌ها دارای مراحل مشابهی است.

۴ - شناسایی پارامتر های تاثیر گذار در اولویت بندی نرم‌افزار ها جهت شبیه سازی

پیشرفت صنعت، توسعه شهری و رشد جمعیت در دهه‌های اخیر باعث شده که تراکم و ازدحام در شبکه حمل و نقل شهری به صورت معنی‌داری افزایش یابد. به طوری که، نتایج یک مطالعه جدید نشان می دهد که مجموع میزان تاخیرهای ناشی از تراکم در شبکه‌های حمل و نقل در کشور آمریکا در سال ۲۰۰۳ و نسبت به سال ۱۹۸۲ به میزان ۵۲۸ درصد افزایش یافته است[۸]. افزایش تراکم در شبکه های حمل و نقلی و محدودیت‌های روش‌های سنتی در تحلیل و ارزیابی استراتژی‌های مدیریتی باعث شده که تعداد زیادی از متخصصان حمل و نقلی به استفاده از روش‌های شبیه‌سازی ترافیکی گرایش پیدا کنند[۹]. زیرا، یک درک بهتر از جزئیات و جنبه‌های رفتاری رانندگان و نگاه ریزنگر به تعامل و برهمکنش بین وسایل‌نقلیه می‌تواند در بازگو کردن انتخاب یک سیاست کارا برای رفع مشکلات ترافیکی موثر باشد. در این راستا، امروزه از نرم افزارهای شبیه‌ساز ترافیکی در موارد گوناگونی از جمله طراحی تسهیلات حمل و نقلی، مدیریت جریان ترافیک، ارزیابی سیستم‌های اطلاع رسانی به رانندگان و سیستم‌های حمل و نقل هوشمند استفاده می‌شود.

در این بند، به بررسی فرایند اولویت‌بندی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی با توجه به پارامترهای موثر در مقایسه آنها پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است که هدف از توضیحات ارائه شده در این قسمت (و همچنین بند ۵ که در آن مطالعات مقایسه‌ای نرم‌افزارهای شبیه‌ساز مرور می‌شوند) انتخاب نرم‌افزار شبیه‌ساز برتر برای استفاده در شهر تهران نمی‌باشد. بلکه در واقع پس از مرور اجمالی نرم‌افزارهای شبیه‌ساز خردنگر که پیش از این ارائه شد، روند کلی مقایسه و انتخاب یک نرم‌افزار شبیه‌سازی با توجه به فاکتورهای تاثیرگذار در اولویت‌بندی بیان شده است.

با توجه به هدف کلی متن حاضر که "آشنایی با نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مهندسی ترافیک و قابلیت‌های هرکدام" است، و دانستن این مطلب که مقایسه ویژگی‌های نرم‌افزارها معمولا به منظور انتخاب نرم‌افزار بهینه انجام می‌گیرد، مطالب ارائه شده در بخش‌های آتی در این راستا و به عنوان راهنمای فرایند انتخاب ارائه شده است.

شناسایی پارامترهای مهم و تاثیرگذار در اولویت‌بندی نرم‌افزارها برای شبیه‌سازی می‌تواند با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری گروهی و بکارگیری تکنیک‌های آفریدن ایده[۱] انجام شود. در پروژه "مطالعات کالیبره نمودن نرم افزارهای مهندسی ترافیک بر اساس شرایط ترافیکی شهر تهران" به منظور تعیین معیارهای مهم و موثر در انتخاب نرم‌افزار بهینه، ساختار روش تصمیم طی جلسات متوالی طوفان فکری، تنظیم و نهایی گردید به این ساختار در اصطلاح«شبکه اثرات[۲]» گویند [۱۰]. شبکه اثرات از شاخه‌های اصلی تشکیل شده است که عبارتند از:

---

[۱] Idea generation techniques

[۲] Impacts Network

- قابلیت های عملکردی و دقت
- راحتی کار و سهولت استفاده
- کمک به مدیریت دانش کاربران
- معیار مربوط به کاربران فعلی
- خصوصیات شرکت فروشنده

شکل (۹) معیارهای فوق و ارتباط آنها با هم را نشان می‌دهد. از آنجا که قرار است این مساله توسط فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)[۱] حل شود، ساختار مساله انتخاب نرم‌افزار برتر بدین روش تصمیم‌گیری در شکل (۹) قابل مشاهده است. در واقع در شکل ارائه شده، «شبکه اثرات» که اصطلاح متداول ساختار مساله ANP است مطرح گردیده است.

هر یک از این شاخه‌ها زیر مجموعه هایی دارند که در ادامه تشریح می گردد.

۴- ۱- قابلیت های عملکردی و دقت

قابلیت های عملکردی و دقت دارای معیار های اصلی و زیر معیارهای جزیی است. معیارهای اصلی در خصوص قابلیت عملکردی یک شبیه ساز ترافیکی در ۵ معیار اصلی زیر خلاصه می شود:

- قابلیت نرم‌افزار در مدلسازی طرح هندسی[۲]
- قابلیت نرم‌افزار درپوشش گزینه های تقاضا[۳]
- قابلیت نرم‌افزار در اعمال کنترل ترافیک[٤]
- قابلیت نرم‌افزار در مدلسازی حمل و نقل عمومی[٥]
- قابلیت نرم‌افزار در مدلسازی رفتار کاربران[٦]

زیر معیارهای «قابلیت نرم‌افزار در مدلسازی طرح هندسی» در جدول (۳) ارائه شده است.

---

[۱] Analytic Network Process

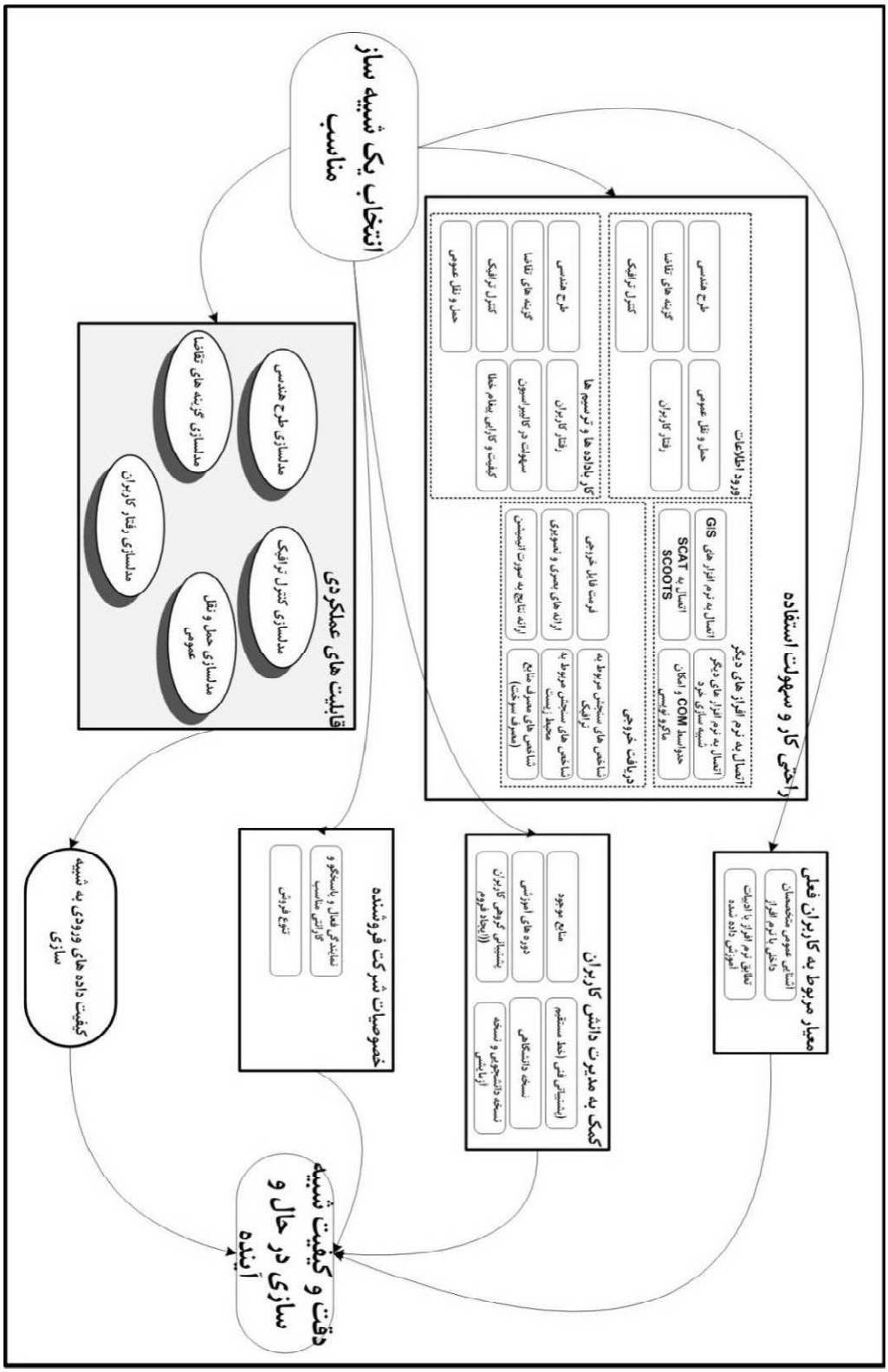
[۲] Geometric design

[۳] Demand options

[٤] Traffic control

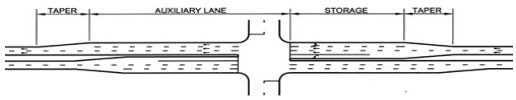
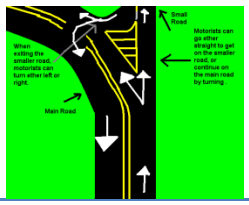
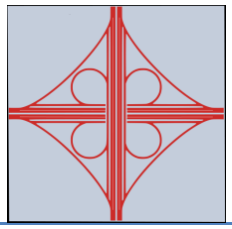
[٥] Transit applications

[٦] Travelers' behavior



شکل ۹- شبکه اثرات انتخاب گزینه بهینه به روش تصمیم گیری «فرآیند تحلیل شبکه ای (ANP)»

جدول ۳ - زیر معیارهای «قابلیت نرم‌افزار در مدلسازی طرح هندسی»

زیر معیار	تشریح
خطوط کمکی (Auxiliary lanes)	خطوطی که در سیستم‌های بزرگراهی و شریان‌های اصلی برای گردش‌ها تعبیه می‌شود تا از تداخل خطوط گردشی با خطوطی که قصد حرکت مستقیم دارند تا حد امکان پرهیز شود (مانند تصویر ارائه شده). 
مقاطع تغییر خط (Weaving area)	در معابر و بخصوص در آزاد راه‌ها و بزرگراه‌ها مقاطعی بین یک ورودی و یک خروجی اصلی را گویند که خودروها در این مقطع وارد معبر اصلی می شوند به خطوط پر سرعت تر می پیوندند یا با تغییر خط از معبر اصلی خارج می شوند.
نواحی انشعاب و سه راهی شدن (Major fork areas)	نقاطی از معابر که ۲ یا چند مسیر فرعی از راه اصلی جدا شده و بخشی از جریان ترافیک تغییر مسیر می‌دهد (مانند تصویر). 
تقاطع شبدری (Cloverleaf interchanges)	تقاطع معابر آزادراهی یا بزرگراهی که در آن حرکات چپگرد توسط لوپ تامین شده است (مانند تصویر). 
تقاطع پل لوزی (Diamond interchanges)	تقاطع مسیرهای آزادراهی با سایر معابر که برای تامین دسترسی از کاهش سطح عملکردی در مسیر منشعب از مسیر اصلی و ایجاد تقاطع همسطح در محل تقاطع با مسیر فرعی استفاده می‌شود (مانند تصویر).

ادامه جدول ۳- زیر معیارهای «قابلیت نرم‌افزار در مدلسازی طرح هندسی»

زیر معیار	تشریح
تقاطع پل تک نقطه ای (Single point interchanges)	**تقاطع معابر بزرگراهی به صورتی که حرکت‌های چپگرد توسط خروجی‌های مجزا از مسیر اصلی منشعب شده و در یک نقطه خاص به مسیر اصلی وارد می‌شوند (مانند تصویر ارائه شده).**
جمع و پخش کننده (Collector-distributor roads)	**خطوطی هستند که طراحی می شوند تا از بین برنده تغییر خطوط در آزاد راه‌ها باشند. این خطوط به موازات خطوط اصلی آزادراهی و بزرگراهی طراحی می شوند (مانند تصویر ارائه شده).**

ادامه جدول ۳- زیر معیارهای «قابلیت نرم‌افزار در مدلسازی طرح هندسی»

زیر معیار	تشریح
میدان (Roundabouts)	تقاطعات شهری که با وجود جزیره مرکزی (معمولا به شکل دایره) در محل برخورد معابر شریانی درجه ۲، دسترسی و محلی مشخص می‌شوند.
دوربرگردان (U-turns)	بریدگی‌هایی در معابر دوطرفه که امکان حرکت واگرد (حرکت در خلاف جهت قبلی و در همان راستا) را به وسایل نقلیه موجود در یک جهت یا هر دوجهت معبر می‌دهد.
حداکثر تعداد خطوط عبوری در یک جهت (Maximum number of lanes)	منظور این است که یک نرم‌افزار چه تعداد خط عبوری در هر جهت را می‌تواند مدل کند.
حداکثر ابعاد و اندازه شبکه (Maximum network size)	منظور این است که یک نرم‌افزار چه ابعاد شبکه‌ای را می‌تواند مدل کند.
مدلسازی تقاطعات خیلی نزدیک بهم (Modeling very close intersections)	اینکه آیا نرم افزار می تواند تقاطعات خیلی نزدیک به هم را مدلسازی نماید.
ترسیم قوس ها (به صورت یک الگوی از پیش آماده) (Designing curves)	یعنی آیا الگو و تمپلیت یک قوس وجود دارد
خطوط گردشی در تقاطعات (Turning lanes in intersections)	آیا نرم افزار قادر به مدلسازی خطوط گردشی در تقاطعات است (بخصوص خط ویژه گردش به راست)
خط ممتد و عدم امکان تغییر خط (Solid line)	خطی که امکان عبور از آن وجود ندارد و مثلاً ابتدای ورودی یک رمپ ترسیم می گردد تا خودرودی ورودی وارد خطوط دیگر آزاد راه نشود و در خط کمکی افزایش سرعت دهد.
ممنوعیت بلوکه کردن تقاطع (Yellow box)	ممنوع بودن ورود وسایل نقلیه به داخل تقاطع در صورت وجود صف در ابتدای مقطع خروجی
پارک حاشیه ای (Curb parking)	امکان شبیه سازی پارک حاشیه ای
تنوع در عرض خطوط (Different lane width)	یعنی آیا نرم افزار می تواند خطوط مختلفی با عرض های مختلفی برای یک معبر ترسیم نماید
شعاع و هندسه گردش (Turning radius and geometry)	یعنی تنظیم مسیر حرکت خودرو در تقاطع بر اساس حرکت واقعی و شعاع گردش آن در مقابل پیش فرض یک حرکت خشک و غیر واقعی خودرو در تقاطع.
شیب قوس قائم (Vertical curve slop)	یعنی بتوان در نرم افزار شیب قوس قائم را نیز وارد نمود
جهت انگلیسی معابر (Inverse direction)	یعنی بتوان معابری داشت که مسیر رفت در سمت چپ و مسیر بازگشت در سمت راست باشد. در شهر تهران چند مورد از این الگوی حرکتی وجود دارد.
توزیع خطوط (Lane distribution)	میزان استفاده از خطوط است. یعنی اینکه با چه نسبتی خودروها خطوط را انتخاب می کنند. مثلاً خط یک ۵۰% خط دو ۳۰% و خط سه ۲۰% حجم ترافیک ورودی را در خود دارد.

همچنین، زیر معیارهای«قابلیت نرم‌افزار درپوشش گزینه های تقاضا» در جدول (٤) ارائه شده است.

جدول ۴ - زیر معیارهای «قابلیت نرم‌افزار درپوشش گزینه های تقاضا»

زیر معیار	تشریح
نرخ جریان و توزیع گردش (Flow rate and turning data)	**یعنی نرم افزار این قابلیت را دارد که برای یک کمان بخصوص مقدار حجم کمان را دریافت نموده و بعد وقتی به تقاطع آن کمان با کمان‌های دیگر رسید، گردش برای تقاطع را توزیع نماید.**
تابع توزیع ورودی (Arrival type)	**یعنی وسایل نقلیه با چه توزیعی از اتصال دهنده[۱] (که به سنترویید[۲] وصل است) وارد کمان بعد از آن می شوند و یا برای ورودی به یک کمان با توجه به نرخ جریان[۳] تعریف شده اولیه، چگونه توزیع می‌شوند (مثلاً با توزیع نرمال با حجم ورودی در هر ساعت ۱۰۰۰ وسیله نقلیه).**
اطلاعات مبدا - مقصد (Origin-destination data)	**یعنی ماتریس مبدا - مقصد را دریافت دارد**
تغذیه تقاضا و اتصال به مدل های ماکرو (Connection to macro models)	**یعنی بتواند به مدل‌های ماکرو متصل شود و حجم تقاضا را در کمان ها و در شبکه از مدل‌های ماکرو بازخوانی کند.**
تکنیک های تخصیص (Assignment techniques)	**یعنی بتواند با توجه با داشتن ماتریس مبدا - مقصد و همچنین شبکه معابر، با روش تخصیص مناسب، حجم ترافیک در هر کمان را مشخص سازد.**
تقاضای عابر پیاده و دوچرخه (Pedestrian and non-motorized demand)	**یعنی بتواند به صورت منطبق با واقعیت، گزینه های سفر غیر موتوری را مدل کند.**
اتصال به بانک داده اطلاعات آنلاین (Linking to online demand data base)	**یعنی بتواند به مرکز دریافت اطلاعات در لحظه متصل شود و حجم تقاضا را به صورت آنلاین دریافت نماید. یعنی نرم افزار به چنین پایگاهی وصل شود و حجم واقعی شبکه را که این پایگاه از شناساگرها[٤] اخذ می کنند را وارد نرم افزار کنند.**

[۱] conector

[۲] centroid

[۳] flow rate

[٤] detector

ادامه جدول ۴- زیر معیارهای«قابلیت نرم‌افزار درپوشش گزینه های تقاضا»

زیر معیار	تشریح
ماتریس های مبدا - مقصد زیر ساعتی (Sub-hour OD matrix)	**بتواند ماتریس های مبدا - مقصد در بازه زمانی کمتر از یک ساعت را مدلسازی نماید (مثلاً ماتریس های ۱۵ دقیقه -۱۵ دقیقه)**
تکه مسیر (Partial route)	**در قسمتی از مسیر اصلی، حکم می کند که برخی از خودروها به‌جای مسیر اصلی از مسیر جایگزین استفاده کنند و پس از طی مسیر موقت دوباره به مسیر اصلی بازگردند**
خصوصات وسیله (خصوصیات دینامیک و استاتیک) (Vehicle properties)	**بتوان خصوصیات وسایل مختلف را تعریف نمود (مثل خصوصیات دینامیک خودرو (چون سرعت، شتاب تند شونده، شتاب کند شونده، ...) و خصوصیات استاتیک خودرو (چون ابعاد، وزن و ...)**
وجود یک تمپلیت آماده برای موتورسیکلت (Motorcycle)	**یعنی ماهیت وسیله ای چون موتورسیکلت در این نرم افزار، با خصوصیاتش از پیش تعیین شده باشد.**
انجام عملیات روی ماتریس ها (Matrix manipulation)	**امکان انجام عملیات جبر ماتریسی بر روی ماتریس های تقاضا**

همچنین، زیر معیارهای«قابلیت نرم‌افزار در اعمال کنترل ترافیک» در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول ۵- زیر معیارهای «قابلیت نرم‌افزار در اعمال کنترل ترافیک»

زیر معیار	تشریح
کنترل چراغ پیش- تنظیم (Pre-timed signal)	**یعنی نرم افزار بتواند پیش تنظیم های صورت گرفته برای زمان بندی چراغ های تقاطع را مدلسازی نماید.**
کنترل های متغیر و نیمه متغیر (با استفاده از چراغ برای معبر، تقاطع و ...) Actuated/Semi-actuated (Adaptive) control	**یعنی نرم افزار بتواند شرایط کنترل کامل (و یا بخشی) تقاطع هایی که تنظیماتشان (زمان‌بندی چراغ های آنها) بر اساس حجم عبوری از تقاطع است را مدلسازی نماید.**
پیاده سازی الگوریتم های کنترل مختلف (برنامه ریزی زمانبندی با حدواسط خارجی) External interface timing plan (coding)	**یعنی بتوان الگوریتم های کنترل تقاطع را به صورت برنامه های نوشته شده و با استفاده از محیط گرافیکی کاربر نرم افزار اعمال نمود. این برنامه ها می تواند الگوریتم های پیچیده ای باشد که امکان پیاده سازی آنها تنها به وسیله خود نرم‌افزار وجود ندارد و نیازمند کد نویسی مجدد و اعمال این کد ها است.**
کنترل همزمان (اتصال به SCATS) Real-time control (connection to Scats)	**اتصال به سیستم SCATS و دریافت اطلاعات کنترل شبکه از طریق SCATS**
میدان چراغدار (Signalized roundabout)	**مدلسازی میادینی که چراغ دار شده‌اند.**
تقاطعات با علائم توقف و احتیاط (Stop/Yield intersection)	**مشخص و بدون نیاز به توضیح**
مکان های دریافت عوارض (Toll plaza)	**یعنی اینکه مدل موقعیت های دروازه های ورودی به مناطق قیمت گذاری شده، به صورت از پیش آماده در نرم‌افزار موجود و قابل استفاده باشد.**
حساسیت به علائم ترافیکی (سوای علائم توقف و تسلیم) Sensitivity to traffic signs (other than stop and yield signs)	**یعنی اینکه خودروها (رانندگان آنها) به علائم نصب شده در معابر (مثلا علامت «حداکثر سرعت ۵۰ کیلومتر») حساس باشند و واکنش مناسب از خود نشان دهند.**
چراغهای هماهنگ شده (Coordinated traffic signals)	**یعنی بتوان چراغ های تنظیم شده هماهنگ (مثلا ایجاد موج سبز برای شریان اصلی) را مدلسازی کرد.**
علائم پیام متغیر و عکس العمل راننده (Variable message signs (VMS) and traveler responds)	**بتوان تابلوهای پیام متغیر را مدلسازی نمود و همچنین واکنش رانندگان به این تابلو ها را نیز پوشش داد.**
هدایت مسیر دینامیک (Dynamic route guidance)	**بتوان سیستم های هوشمند حمل و نقل مثل سیستم های هدایت مسیر (که معمولا در خودرو ها نصب می شود) را در مدلسازی وارد نمود.**
کنترل خروجی رمپ ها به بزرگراه ها (Ramp metering)	**مشخص و بدون نیاز به توضیح**

ادامه جدول ۵ - زیر معیارهای«قابلیت نرم‌افزار در اعمال کنترل ترافیک»

زیر معیار	تشریح
بهینه سازی زمانبندی چراغ ((Optimizing) Signal timing)	**یعنی بتوان توسط نرم‌افزار با توجه به احجام ورودی و خروجی تقاطع، زمان‌بندی بهینه چراغ را برای تقاطع انجام داد.**
مدلسازی قیمت گذاری بر معابر (Modeling road tolls, congestion charging and distance -based pricing)	**بتوان سیاست های مختلف قیمت گذاری بر معابر (مثل محدوده طرح ترافیک، قیمت گذاری بر محدوده مرکزی شهر و مواردی از این دست) را با در نظر گرفتن رفتار رانندگان نسبت به آن مدلسازی نمود.**
خطوط اختصاصی (به خودروی اضطراری، خودرو پرسرنشین و ...) (Reserved lane (emergency, HOV lanes,...))	**بتوان خطوط اختصاصی چون خطوط تخصیص یافته به وسایل حمل و نقل همگانی و یا خودروهای اضطراری را مدلسازی نمود.**
محدودیت سرعت متغیر (Variable speed limit)	**یعنی تغییر محدودیت سرعت مجاز بزرگراه (تغییر حداکثر سرعت مجاز) ممکن باشد**
اولویت حرکت (به حمل و نقل عمومی، خودرو اضطراری و ...) (Preemption (Priority to public transport vehicles, emergency….))	**مشخص و بدون نیاز به توضیح**
نواحی کاهش سرعت (Reduced (speed) area)	**یعنی امکان کاهش سرعت در مقطعی از مسیر وجود داشته باشد.**

همچنین، زیر معیارهای«قابلیت نرم‌افزار در مدلسازی حمل و نقل عمومی» در جدول (٦) ارائه شده است.

جدول ۶ - زیر معیارهای«قابلیت نرم‌افزار در مدلسازی حمل و نقل عمومی»

زیر معیار	تشریح
مسیر اتوبوس (Bus routes)	**مشخص و بدون نیاز به توضیح**
ایستگاه های اتوبوس (Bus stops)	**مشخص و بدون نیاز به توضیح**
توزیع زمان توقف اتوبوس (Stop times distribution)	**یعنی امکان استفاده از توابع زمان توقف اتوبوس در ایستگاه‌ها وجود داشته باشد.**
محاسبه زمان توقف بر اساس نرخ سوار و پیاده شدن (Stop times calculation based on boarding-alighting)	**نحوه محاسبه مدت زمان توقف اتوبوس در ایستگاه است.**
استفاده از شانه (Shoulder use applications)	**شرایطی که در مدلسازی بتوان استفاده ناوگان اتوبوسرانی را از شانه خطوط معابر مدلسازی نمود.**
جدول زمانبندی خطوط اتوبوس (Transit line time tables)	**مشخص و بدون نیاز به توضیح**
اتصال بین عابرپیاده و حمل و نقل عمومی (Connection between transit and pedestrian)	**مشخص و بدون نیاز به توضیح**
خصوصیات ناوگان حمل و نقل عمومی (دینامیک و استاتیک) Vehicle properties (vehicle dynamic (max speed, acceleration., deceleration.), vehicle static (dimension, weight, …))	**یعنی بتوان خصوصیات مختلف استاتیک و دینامیک ناوگان حمل و نقل عمومی را اعمال نمود.**

همچنین، زیر معیارهای«قابلیت نرم‌افزار در مدلسازی رفتار کاربران» در جدول (۷) ارائه شده است.

جدول ۷- زیر معیارهای «قابلیت نرم‌افزار در مدلسازی رفتار کاربران»

زیر معیار	تشریح
حذف محدودیت حرکت بین خطوط (lane dicipline)	**یعنی خودرو ها بتوانند حتی در بین خطوط (مشابه آنچه در شرایط واقعی در کشورمان رخ می دهد) هم رانندگی کنند.**
استفاده از جهت مقابل (در شریانی ها) (use of the opposite direction)	**یعنی در خیابانهای محلی و شریانی (معمولا یک خط در هر جهت) خودرو ها برای سبقت از هم بتوانند از جهت مخالف هم استفاده کنند.**
کاهش ظرفیت و بسته شدن خطوط (مدیریت سوانح) (Capacity reduction & Lane blocking)	**مثلا طبق آمار، یک لینک خاص با فراوانی مشخصی (از توزیع مشخص با پارامترهای معین)، ظرفیتش کم و یا بسته می شود. حال می خواهیم ببینیم که آیا نرم‌افزار این قابلیت را دارد که این امر را مدلسازی نماید.**
منطق پیروی خودروها (Car following logic)	**مشخص و بدون نیاز به توضیح**
منطق تغییر خط (Lane changing logic)	**مشخص و بدون نیاز به توضیح**
حساسیت راننده به فاصله جانبی (مثلا تغییر عرض خطوط) (Sensitivity of driver to lateral distance (e.g. different introduced widths of a lane))	**یعنی راننده بر اساس عرض خط، سرعت و مانور های خود را تنظیم کند.**
رفتار عابر و دوچرخه سوار (Pedestrian and non-motorised behaviour)	**مشخص و بدون نیاز به توضیح**

۴- ۲ - راحتی کار و سهولت استفاده

معیار راحتی کار و سهولت استفاده شامل زیر معیار های اصلی زیر است:

- سهولت استفاده از نرم‌افزار در ورود اطلاعات
- سهولت استفاده از نرم‌افزار در کار باداده ها و ترسیم ها
- سهولت استفاده از نرم‌افزار در اتصال به نرم افراز های دیگر
- سهولت استفاده از نرم‌افزار در دریافت خروجی

زیر معیار های هر یک از این معیارها به قرار جدول (۸) است.

جدول ۸ - زیر معیار های هر یک از این معیارهای آیتم« راحتی کار و سهولت استفاده»

ورود اطلاعات Data entry (import options)	راحتی در ترسیم طرح هندسی (Geometric design)
	راحتی کار برای پیاده سازی داده های تقاضا (Demand options)
	راحتی در پیاده سازی ابزارهای کنترل ترافیک (Traffic control)
	راحتی پیاده سازی حمل و نقل عمومی (Transit applications)
	راحتی در وارد نمودن پارامترهای رفتاری مسافران (User behavior parameters)
کار باداده ها و ترسیم ها (پارامترهای پیش‌فرض، راحتی در یکپارچه سازی، ممزوج کردن شبکه ها، داشتن امکان undo، داشتن نوار ابزار پیوسته و جامع، فرمت های نقشه های پشت صحنه) Data editing and object drawing (default parameters provided,easy integration with a database,Network merge (Copy and paste capability), Undo option, integrated toolbar & menu, Background mapping formats)	راحتی در ترسیم طرح هندسی (Geometric design)
	راحتی کار برای پیاده سازی داده های تقاضا (Demand options)
	راحتی در پیاده سازی کنترل ترافیک (Traffic control)
	راحتی پیاده سازی حمل و نقل عمومی (Transit applications)
	راحتی در وارد نمودن خصوصیات کاربر (User behavior)
	سهولت در کالیبراسیون (Easy calibration)
	کیفیت و کارایی پیغام خطا (Error message effectiveness)
اتصال به نرم افراز های دیگر (Connection to other software)	اتصال به نرم افزار های GIS مبنا (GIS software)
	اتصال به SCAT و SCOOTS (Connection to SCAT SCOOTS)
	اتصال به نرم افزار های دیگر شبیه سازی خرد (Connection to other micro-simulation software)
	حدواسط COM و امکان ماکرو نویسی (Programming (Com interface, API, Batch mode, Sdk…))

ادامه جدول ۸- زیر معیار های هر یک از این معیارهای آیتم« راحتی کار و سهولت استفاده»

دریافت خروجی (Output characteristics and export options)	فرمت فایل خروجی (Output file formats)
	ارائه های بصری و تصویری (Visual presentation)
	ارائه نتایج به صورت انیمیشن (Animation of results)
	شاخص های سنجش مربوط به ترافیک (Traffic related MOE's)
	شاخص های مصرف منابع (مصرف سوخت) (Use of resources (GAS, LNG, CNG…) MOE's)
	شاخص های سنجش مربوط به محیط زیست (Environmental MOE's)

۴- ۳- کمک به مدیریت دانش کاربران

معیار« کمک به مدیریت دانش کاربران »شامل زیر معیارهایی است که عبارتند از:

- منابع موجود (یعنی خود نرم‌افزار چه گزینه های اجرا شده ای را به عنوان مثال در اختیار کاربر قرار می‌دهد و راهنمای نرم افزار چقدر جامع و کامل است)
- دوره های آموزشی
- پشتیبانی گروهی کاربران (ایجاد فروم)
- پشتیبانی فنی (خط مستقیم)
- نسخه دانشگاهی
- نسخه دانشجویی و نسخه آزمایشی

۴- ۴ - معیار مربوط به کاربران فعلی

«معیار مربوط به کاربران فعلی»شامل زیر معیارهایی است که عبارتند از:

- آشنایی عمومی متخصصان داخلی (مانند متخصصان شرکت کنترل ترافیک و شهرداری تهران) با

نرم‌افراز

- تطابق نرم افراز با ادبیات ترافیکی آموزش داده شده در دانشگاه های کشور

۴- ۵- خصوصیات شرکت فروشنده

معیار «خصوصیات شرکت فروشنده »شامل زیر معیارهایی است که عبارتند از:

- نمایندگی فعال و پاسخگو و گارانتی مناسب
- تنوع فروش

۵ - شناسایی مطالعات مشابه انجام شده به‌منظور مقایسه نرم‌افزار های شبیه ساز و بررسی نتایج حاصل از آنها

با توجه به گسترش استفاده از نرم افزارهای شبیه‌ساز ترافیکی و توسعه آن‌ها در زمینه‌های مختلف، لزوم بررسی و تحقیق در مورد نقاط قوت و ضعف این نرم افزارها محسوس به نظر می‌رسد تا بر اساس این نقاط ضعف و قوت، نرم‌افزار برتر یا ترکیبی از این نرم افزارها برای انجام مطالعات ترافیکی استفاده شود. در این راستا، تاکنون مطالعات گوناگونی در سراسر دنیا صورت گرفته است که هدف این بخش، مروری اجمالی بر این مطالعات است. لذا در این بخش، ابتدا مطالعات داخلی و سپس مطالعات خارجی تبیین و تشریح می‌گردند.

۵ -۱ - مطالعات داخلی در زمینه مقایسه نرم افزارهای شبیه ساز ترافیکی

بکارگیری نرم افزارهای شبیه‌ساز ترافیکی در مطالعات و پروژه‌های حمل و نقلی داخلی محدود به سال‌های اخیر است. لذا، تحقیقات و مطالعات محدودی در زمینه نرم افزارهای شبیه ساز ترافیکی در ایران صورت گرفته است. جداول (۹) و (۱۰)، به صورت اجمالی، تعدادی از مطالعات داخلی در این زمینه را مرور می‌نمایند.

۵ -۲ - مطالعات خارجی در زمینه مقایسه نرم افزارهای شبیه ساز ترافیکی

تا کنون مطالعات گوناگونی در زمینه مقایسه نرم‌افزارهای شبیه‌ساز ترافیکی و انتخاب نرم‌افزار برتر در کشورهای مختلف انجام شده است. این بخش از گزارش به تشریح این تحقیقات اختصاص دارد. جداول (۱۱) تا (۲۰)، به صورت اجمالی، تعدادی از مطالعات خارجی در این زمینه را مرور می‌نمایند.

جدول ۹- خلاصه شناسنامه‌ای از مطالعه پور رضا و همکاران (۱۳۸۸)[۱۱]

نرم افزارهای مقایسه شده	CORSIM، VISSIM، PARAMICS، AIMSUN و INTEGRATION
نوع تسهیلات شبیه سازی شده	شبیه سازی صورت نگرفته است.
معیارهای و ملاک‌های مقایسه	زمینه‌های کاربرد قابلیت پرداخت مناسب پیشینه کاربرد نرم افزار میزان حمایت و پشتیبانی فنی پس از فروش هزینه توان گرافیکی
خلاصه مطالعه و دستاوردهای آن	در این مطالعه، پس از تعریف و تشریح مبانی اولیه شبیه سازی، لزوم بکارگیری نرم افزار شبیه‌ساز ترافیکی مناسب برای تحلیل و ارزیابی‌های حمل و نقلی بیان می‌گردد. در ادامه، به بررسی معیارهای انتخاب نرم افزار برتر پرداخته می‌شود و در نهایت، هر یک از نرم افزارها بر اساس هر یک از معیارهای فوق الذکر رتبه بندی می‌شوند. نتایج این مطالعه، نرم افزار CORSIM را به عنوان نرم افزار برتر و نرم افزار VISSIM را به عنوان گزینه دوم، معرفی می‌نماید.

جدول ۱۰ - خلاصه شناسنامه‌ای از مطالعه شریعت و بابایی (۱۳۸۵)[۱۲]

نرم افزارهای مقایسه شده	AIMSUN و VISSIM
نوع تسهیلات شبیه سازی شده	شبیه سازی صورت نگرفته است.
معیارهای و ملاک‌های مقایسه	مدل تعقیب خودرو[۱]
خلاصه مطالعه و دستاوردهای آن	هدف این مطالعه، بررسی و مقایسه مدل‌های تعقیب خودرو در نرم افزارهای AIMSUN و VISSIM است. در این مطالعه، ابتدا، مدل‌های تعقیب خودرو ارائه شده در مطالعات پیشین تبیین می‌گردد. سپس مدل تعقیب خودرو گیپس (۱۹۸۱) [۱۳] (به کار رفته در نرم افزار AIMSUN) و مدل ویدمَن و ریتِر (۱۹۹۲) [۱٤] (به کار رفته در نرم افزار VISSIM) تشریح می گردد. در ادامه، نویسندگان مقاله، به بحث درباره این دو مدل می‌پردازند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مدل تعقیب خودرو بکار رفته در نرم افزار AIMSUN، ساده تر و پردازش آن سریعتر از مدل تعقیب خودرو بکار رفته در نرم افزار VISSIM است.

جدول ۱۱- خلاصه شناسنامه‌ای از مطالعه فنگ و اِلفتریادو (۲۰۰۵) [۱۵]

نرم افزارهای مقایسه شده	AIMSUN، CORSIM و VISSIM
نوع تسهیلات شبیه سازی شده	تقاطع غیر همسطح
معیارهای و ملاک‌های مقایسه	توانایی در نمایش و مدل کردن اجزای هندسی شبکه توانایی در شبیه سازی طرح‌های کنترل چراغ های راهنمایی دقت نرم افزار در مقایسه با نتایج میدانی توانایی در ارائه خروجی انواع معیارهای سنجش عملکرد
خلاصه مطالعه و دستاوردهای آن	هدف این مقاله، مشخص کردن امکانات و تسهیلاتی است که باید یک نرم افزار شبیه سازی ترافیکی داشته باشد تا بتواند سناریوهای مختلف در تقاطعات غیر همسطح را ارزیابی نماید. برای این منظور، دو تقاطع غیر همسطح در ایالات آریزونا آمریکا انتخاب شده است. سپس این دو تقاطع غیر همسطح در سه نرم افزار AIMSUN، CORSIM و VISSIM شبیه سازی شده اند. طبق نتایج این مطالعه، اختلاف بین خروجی‌های نرم افزار AIMSUN و داده‌های میدانی برداشت شده، کمتر از دو نرم افزار دیگر است.

[۱] Car Following

جدول ۱۲- خلاصه شناسنامه‌ای از مطالعه راخا و وَن آردِه (۱۹۹۶) [۱۶]

نرم افزارهای مقایسه شده	TRANSYT و INTEGRATION
نوع تسهیلات شبیه سازی شده	شبکه ساده با دو تقاطع چراغدار که با یک شریانی دو طرفه به هم متصل شده‌اند.
معیارهای و ملاک‌های مقایسه	دقت و توانایی نرم افزار در شبیه سازی تقاطعات چراغدار
خلاصه مطالعه و دستاوردهای آن	این مطالعه به بررسی قابلیت‌های دو نرم افزار TRANSYT و INTEGRATION در شبیه سازی تقاطعات چراغدار می‌پردازد. نتایج این مطالعه گواه بر آن است که نرم افزار INTEGRATION نسبت به نرم افزار TRANSYT، قابلیت‌های بیشتری برای شبیه سازی تقاطعات چراغدار دارد. به طوری که این نرم افزار می‌تواند سناریوهای زمان بندی‌های دینامیک چراغ‌های راهنمایی را نیز مدل نماید. با این وجود، در شرایطی که زمان‌بندی چراغ راهنمایی استاتیک باشد، هر دو نرم افزار فوق با دقت‌های مشابه، تقاطعات چراغدار را شبیه‌سازی می‌نمایند.

جدول ۱۳ - خلاصه شناسنامه‌ای از مطالعه شِئو و همکاران (۲۰۰۵) [۱۷]

نرم افزارهای مقایسه شده	AIMSUN و VISSIM
نوع تسهیلات شبیه سازی شده	بخشی از آزاد راه
معیارها و ملاک‌های مقایسه	معیارهای مقایسه در این مطالعه به دو دسته معیارهای کمی و کیفی دسته بندی شده است. که عبارتند از: معیارهای کیفی: توانایی‌ها و قابلیت‌های عملکردی نرم افزار، مانند: توانایی در ایجاد و مدل کردن اجزای هندسی شبکه توانایی در در نظر گرفتن مشخصات تقاضا توانایی در مدل‌سازی وسایل کنترل ترافیک توانایی در در مدل‌سازی حمل و نقل همگانی و مدیریت تصادفات کیفیت خدمات ارائه شده توسط شرکت سازنده، مانند: برگزاری دوره‌های آموزشی پشتیبانی فنی از نرم افزار پشتیبانی گروه‌های کاربر آسانی و سهولت کار کردن با نرم افزار، مانند: راحتی در یادگیری و مدت زمان یادگیری نرم افزار میزان تلاش برای ورود داده ها به نرم افزار (توانایی در دریافت ورودی) ابزارهای در دسترس و محیط نرم افزار ویژگی‌ها و مشخصات ورودی و خروجی نرم افزار، مانند: انیمیشن سازی نتایج فرمت فایل‌های ورودی و خروجی معیارهای کمی: دقت نرم افزار مدت زمان انجام یک شبیه سازی
خلاصه مطالعه و دستاوردهای آن	در این گزارش، یک روش جامع برای انتخاب یک نرم افزار شبیه‌ساز ترافیکی از بین چندین گزینه ارائه شده است. در روش ارائه شده، معیارهای انتخاب به دو دسته کمی و کیفی تقسیم شده‌اند. در راستای پیاده‌سازی روش ارائه شده، دو نرم افزار AIMSUM و VISSIM به عنوان گزینه های انتخاب در نظر گرفته شده‌اند و از دو دسته کاربر خواسته شده است که ابتدا، اهمیت بین معیارهای انتخاب را تعیین نمایند. سپس، با توجه به معیارهای انتخاب، به هر یک از نرم افزارها مقداری بین ۱ تا ۱۰ بدهند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که دقت دو نرم‌افزار فوق در مقایسه با داده‌های میدانی، تقریباً برابر است. علاوه بر این، کاربران گوناگون بر اساس نیازهایشان، نرم افزارهای متفاوتی را انتخاب می‌کنند. زیرا، وزن‌های متفاوتی به معیارهای انتخاب می‌دهند. به عبارت دیگر، نیازهای کاربران بر مقادیر وزن‌ها تاثیر می‌گذارد. برای مثال در این مطالعه، دسته اول کاربران، نرم افزار AIMSUN و دسته دوم، نرم افزار VISSIM را انتخاب کردند.

جدول ۱۴- خلاصه شناسنامه‌ای از مطالعه بِلومبِرگ و دیل (۲۰۰۰) [۱۸]

نرم افزارهای مقایسه شده	VISSIM و CORSIM
نوع تسهیلات شبیه سازی شده	شبکه کوچک
معیارهای و ملاک‌های مقایسه	سطح سرویس در تقاطعات قابلیت اطمینان زمان سفر زمان سفر در لینک‌های شبکه حجم ترافیک در لینک‌های شبکه
خلاصه مطالعه و دستاوردهای آن	در این مقاله، ابتدا دو نرم افزار VISSIM و CORSIM معرفی می‌گردند. سپس، تفاوت های عمده بین دو نرم افزار فوق بیان می‌گردد. در ادامه نویسندگان این مطالعه سعی می‌کنند که به بررسی اثرات همفزون شده این تفاوت‌ها بر نتایج خروجی نرم افزارها بپردازند. در راستای این هدف، یک شبکه در هر دو نرم افزار شبیه سازی می‌شود و خروجی‌های دو نرم افزار مقایسه می‌گردند. نتایج این مقایسات نشان می‌دهد که با وجود تفاوت‌های موجود بین دو نرم افزار VISSIM و CORSIM، اختلاف بین خروجی‌های این دو نرم افزار اندک است و خروجی‌های دو نرم افزار، کاربران را به تصمیم‌گیری‌ها و سیاستگذاری‌های متفاوتی رهنمون نمی‌نماید.

جدول ۱۵ - خلاصه شناسنامه‌ای مطالعه تِین (۲۰۰۲) [۱۹]

نرم افزارهای مقایسه شده	CORSIM، SimTraffic و VISSIM
نوع تسهیلات شبیه سازی شده	تقاطع چراغدار
معیارهای و ملاک‌های مقایسه	میزان اختلاف و تغییر در نتایج هر بار اجرای شبیه سازی
خلاصه مطالعه و دستاوردهای آن	ماهیت احتمالی نرم‌افزارهای شبیه ساز ترافیک باعث می‌گردد که نتایج هر بار اجرای یک شبیه سازی با اجرای بار دیگر متفاوت باشد. در این راستا و برای حل این مشکل، میانگین نتایج چندین بار اجرای یک شبیه سازی به عنوان خروجی نرم افزار در نظر گرفته می‌شود. هدف از مطالعه تِین و همکاران [۱۹]، بررسی و مقایسه میزان تغییرپذیری نتایج خروجی سه نرم‌افزار فوق الذکر است. در این مطالعه، تغییرپذیری دو پارامتر تاخیر و ظرفیت در تقاطعات چراغدار مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که خروجی‌های نرم افزار CORSIM کمترین تغییرات و نرم افزار SimTraffic بیشترین تغییرات را دارد.

جدول ۱۶- خلاصه شناسنامه‌ای از مطالعه بوکسیل و یو (۲۰۰۰) [۲۰]

نرم افزارهای مقایسه شده	٦٥ نرم افزار شبیه ساز ترافیکی
نوع تسهیلات شبیه سازی شده	شبیه سازی صورت نگرفته است.
معیارهای و ملاک‌های مقایسه	نرم افزار شبیه ساز باید بتواند تجهیزات ترافیکی مانند چراغ‌های رانندگی را مدل نماید. نرم افزار شبیه ساز باید رفتار رانندگان و برهم‌کنش بین وسایل نقلیه را به خوبی مدل نماید. نرم افزار شبیه ساز باید بتواند شرایط مختلف ترافیکی (متراکم[1]، غیر متراکم[2] و تصادفات) را با جزئیات بالا مدل نماید. نرم افزار شبیه ساز باید بتواند تغییرپذیری در تقاضای ترافیک را شبیه سازی نماید. نرم افزار شبیه ساز باید بتواند استراتژی‌های مختلف کنترل ترافیک را ارزیابی نماید. نرم افزار شبیه ساز باید شرایط ترافیک در شبکه را به درستی برآورد نماید. نرم افزار شبیه ساز باید بتواند الگوی جریان ترافیک را با توجه به استراتژی‌های اطلاع رسانی به مسافران پیش‌بینی نماید. نرم افزار شبیه ساز باید بتواند ترافیک آزادراهی و شریانی را مدل نماید. قابل دسترس برای همگان باشد. نرم افزار و قابلیت‌هایش به خوبی مستند شده باشد.
خلاصه مطالعه و دستاوردهای آن	هدف از این مطالعه، ارزیابی توانایی‌ها و قابلیت‌های نرم افزارهای شبیه ساز ترافیکی در زمینه حمل و نقل هوشمند است. بدین منظور، نویسندگان این مقاله، ٦٥ نرم افزار شبیه ساز ترافیکی را انتخاب کردند و با توجه به معیارهای فوق الذکر، ۹ نرم افزار AIMSUN، CONTRAM، CORFLO، CORSIM، FLEXYT، HUTSIM، INTEGRATION، PARAMICS و VISSIM را در مرحله اول انتخاب کردند. در مرحله بعد، قابلیت‌های ۹ نرم افزار فوق در زمینه حمل و نقل هوشمند مورد بحث و بررسی قرار گرفته است و مزیت‌ها و ضعف‌های هر یک از نرم افزارهای فوق بیان شده است. در انتها، نویسندگان این مقاله، دو نرم افزار CORSIM و INTEGRATION را به عنوان گزینه‌های برتر معرفی نموده‌اند.

[1] Congested

[2] Uncongested

جدول ۱۷ - خلاصه شناسنامه‌ای مطالعه جونز و همکاران (۲۰۰۴) [۲۱]

نرم افزارهای مقایسه شده	CORSIM، SimTraffic و AIMSUN
نوع تسهیلات شبیه سازی شده	جمع کننده شهری، شریانی اصلی چراغ‌دار و کریدورهای بین شهری
معیارهای و ملاک‌های مقایسه	نیازهای سخت‌افزاری و نرم افزاری راحتی مدل سازی شبکه حمل و نقل در نرم افزار نیازهای داده‌ای نرم افزار و مناسب بودن پیش‌فرض‌های نرم افزار دقت نرم افزار در مقایسه با داده‌های میدانی توانایی ارتباط با نرم افزارهای دیگر توسعه پذیری و داشتن قابلیت‌ها و امکانات گوناگون مانند داشتن امکاناتی برای مدیریت تصادفات و حمل و نقل هوشمند.
خلاصه مطالعه و دستاوردهای آن	هدف این مقاله ارزیابی سه نرم افزار شبیه ساز CORSIM، SimTraffic و AIMSUN بر اساس معیارهای فوق الذکر است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که هر سه نرم افزار فوق، نتایج قابل قبولی را برای شبیه سازی ترافیکی ارائه می دهند. لذا، در نهایت هیچ رتبه بندی برای انتخاب بهترین نرم افزار ارائه نشده است و اذعان شده که هر کدام از نرم افزارهای فوق دارای نقاط قوت و ضعفی هستند. لذا نویسندگان این مطالعه توصیه می‌کنند که نوع نرم افزار بر اساس نیازها و ویژگی های پروژه تعیین گردد. به عبارت دیگر، نویسندگان این مطالعه بر این باورند که بکارگیری ترکیبی از نرم‌افزارهای فوق می‌تواند گزینه مناسب‌تری باشد. همچنین در زمینه سهولت کار با نرم افزار، نرم افزار شبیه ساز SimTraffic به عنوان نرم برتر معرفی شده است.

جدول ۱۸ - خلاصه شناسنامه‌ای مطالعه شآ و نَم (۲۰۰۲) [۲۲]

نرم افزارهای مقایسه شده	CORSIM، VISSIM و PARAMICS
نوع تسهیلات شبیه سازی شده	شبکه آزادراهی
معیارهای و ملاک‌های مقایسه	توانایی‌های نرم افزار؛ مانند: محدودیت در اندازه شبکه، انیمیشن، سه بعدی سازی تصاویر سهولت کار با نرم افزار نیازهای خاص پروژه‌ای که در این مقاله مطرح شده است؛ مانند: توانایی نرم افزار در مباحثی همچون حمل و نقل همگانی و مدیریت تصادفات مشخصه‌ها دیگر؛ مانند: دقت نرم افزار در مقایسه با داده‌های میدانی پشتیبانی فنی و هزینه نرم افزار
خلاصه مطالعه و دستاوردهای آن	در سال ۱۹۹۹ پروژه‌ای به نام«ارزیابی عملکردی سیستم آزادراهی جنوب شرقی ایالت ویسکانسین[۱]» در ایالات متحده آمریکا آغاز شد. هدف و تمرکز اصلی این پروژه، بررسی ایمنی و کارایی عملکردی سیستم آزادراهی کلان شهر میلواکی[۲] واقع در ایالت ویسکانسین بود. در ابتدا، نرم افزار شبیه ساز CORSIM برای پروژه فوق انتخاب شد، ولی با توجه به محدودیت های آن نسخه از نرم افزار، تیم پروژه تصمیم گرفتند که یکی از دو نرم افزار VISSIM یا PARAMICS را برای پروژه فوق الذکر انتخاب کنند. نتایج این مطالعه نشان داد که هر دو نرم افزار شبیه ساز VISSIM و PARAMICS نسبت به CORSIM مزیت‌های قابل توجهی دارند. همچنین پس از بررسی‌های انجام شده، در نهایت PARAMICS به عنوان گزینه برتر انتخاب گردید.

[۱] Wisconsin

[۲] Milwaukee

جدول ۱۹ - خلاصه شناسنامه‌ای مطالعه میدلتِن و کُنر (۱۹۹۹) [۲۳]

نرم افزارهای مقایسه شده	CORSIM، FREQ و INTEGRATION
نوع تسهیلات شبیه سازی شده	بخشی از آزادراه
معیارهای و ملاک‌های مقایسه	در این مطالعه، از ملاک‌های زیر برای انتخاب سه نرم افزار CORSIM، FREQ و INTEGRATION از بین نرم افزارهای موجود استفاده شده است و معیار مقایسه سه نرم افزار فوق، دقت نتایج خروجی نرم افزار در مقایسه با داده‌های میدانی است. نرم افزار باید قادر به شبیه سازی ترافیک در آزاد راه‌ها باشد. نرم افزار باید قادر به شبیه سازی عملکرد وسیله نقلیه در خطوط اصلی و رمپ‌ها باشد. نرم افزار برای ارزیابی شبکه‌های متراکم، مناسب و کارار باشد. نرم افزار باید به صورت گسترده در پروژه‌های مختلف استفاده شده باشد و کتب و مدارک کافی در زمینه نرم افزار منتشر شده باشد. نرم افزار به صورت مداوم توسعه داده شده باشد و پشتیبانی فنی مطلوبی داشته باشد.
خلاصه مطالعه و دستاوردهای آن	توسعه شهری و رشد جمعیت در مناطق شهری ایالت تگزاس باعث ازدحام و تراکم در شبکه بزرگراهی این ایالت شده است به طوری که سطح سرویس در آزاد راه‌های شهری کاهش یافته است. در راستای بررسی و ارزیابی استراتژی‌ها و اقدامات بهبود دهنده و به منظور کاهش تراکم در شبکه‌های شهری این ایالت، پروژه‌ای تعریف شده که یکی از اهداف آن، انتخاب یک نرم افزار مناسب برای شبیه سازی شبکه های حمل و نقلی با تراکم بالا است. در این راستا، از بین نرم افزارهای موجود و با توجه به معیارهای فوق الذکر، نرم افزارهای CORSIM، FREQ و INTEGRATION برای مقایسه نهایی انتخاب شدند. در ادامه، نرم افزارهای فوق کالیبره و اعتبار سنجی شدند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که هر سه نرم افزار فوق الذکر برای شبیه سازی شرایط غیر متراکم مناسب هستند ولی برای شبیه سازی شرایط متراکم، هیچ کدام از نرم افزارهای فوق، کاملاً راضی کننده نیستند و از میان نرم افزارهای بیان شده، CORSIM نتایج بهتری را ارائه می‌دهد.

جدول ۲۰ - خلاصه شناسنامه‌ای مطالعه پرِودُرس و لانگ لای (۲۰۰۰) [۲۴]

نرم افزارهای مقایسه شده	INTEGRATION، KRONOS و KWaves
نوع تسهیلات شبیه سازی شده	بخشی از آزاد راه
معیارهای و ملاک‌های مقایسه	دقت نرم افزار (اختلاف بین خروجی نرم افزار و داده‌های میدانی)
خلاصه مطالعه و دستاوردهای آن	در این مطالعه، توانایی سه نرم افزار فوق، در زمینه شبیه‌سازی عملکرد آزاد راه در حالتی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که نرم افزارهای INTEGRATION و KRONOS نسبت به KWaves، خروجی‌های دقیق‌تری را ارائه می‌دهند. طبق این مطالعه، INTEGRATION نتایج قابل قبولی را در شرایط مختلف ترافیکی ارائه می‌دهد ولی مدل تغییر خط این نرم افزار واقع‌گرایانه نیست. همچنین پارامترهای پیش فرض KRONOS، کمترین اصلاح را برای رسیدن به نتایج قابل قبول نیاز دارند. به طوری که اختلاف بین خروجی نرم افزار بر اساس پارامترهای پیش‌فرض و داده‌های میدانی، کم تر از دو نرم افزار دیگر است.

۶ - جمع بندی

گسترش و تنوع نرم افزارهای شبیه ساز ترافیکی باعث شده که مطالعات گوناگونی در زمینه تعیین نرم افزار برتر صورت گیرد. در هر یک از این مطالعات، با توجه به نیازهای پروژه، نرم افزارهای مختلفی منتخب شده‌اند. در حقیقت، هر یک از نرم افزارهای شبیه ساز ترافیکی دارای نقاط ضعف و قوت مربوط به خود هستند (جدول ۲). لذا، می توان نتیجه گرفت که در ایده‌آل‌ترین حالت، باید بر اساس نیازهای هر پروژه حمل و نقل، نرم افزار برتر و کاراتر را انتخاب کرد.

در این کتابچه پس از معرفی کلی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی خردنگر مطرح در دنیا و مقایسه ویژگی‌های مثبت و منفی آنها، روند کلی اولویت‌بندی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی بر حسب پارامترهای تاثیرگذار در ارزیابی آنها انجام شده است. در نتیجه مورد استفاده اصلی این مجموعه، حاصل شدن شناخت اولیه نسبت به نرم‌افزارهای موجود شبیه‌سازی و همچنین آشنایی با فرآیند انتخاب نرم‌افزار مناسب برای استفاده در مطالعات مختلف است. همچنین مرور مطالعاتی که تا کنون به بررسی ویژگی‌های نرم‌افزارهای شبیه‌سازی و مقایسه قابلیت‌های گوناگون آنها پرداخته‌اند در متن حاضر به صورت اجمالی انجام شده است تا با ارائه دید کلی، راهنمایی برای تحقیق بیشتر پژوهشگران و مطالعه علاقه‌مندان در این زمینه باشد.

منابع و مآخذ

[۱] Transportation Research Board, "Highway Capacity Manual", National Research Council, Washington DC, (۲۰۰۰).

[۲] http://www.aimsun.com , visited: ۲۵ Dec. ۲۰۱۰.

[۳]VISSIM ۵.۳, Brochure, PTV AG, (۲۰۰۹).

[٤] http://en.wikipedia.org/wiki/Quadstone_Paramics , visited: ۲۵ Dec. ۲۰۱۰.

[۵] CORSIM User's Guide, Federal Highway Administration, (۲۰۰٦).

[٦] http://www.caliper.com/transmodeler/default.htm , visited: ۲۵ Dec. ۲۰۱۰.

[۷] http://www.citilabs.com/cube_dynasim.html , visited: ۲۵ Dec. ۲۰۱۰.

[۸]F. C. Fang and L. Elefteriadou, "Some guidelines for selecting microsimulation models for interchange traffic operational analysis," Journal of transportation engineering, vol. ۱۳۱, p. ۵۳۵, .۲۰۰۵

[۹] H. A. Rakha and M. W. Van Aerde, "Comparison of simulation modules of TRANSYT and INTEGRATION models," Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, vol. ۱۵٦٦, pp. ۷-۱, .۱۹۹٦

[۱۰] H. Xiao, et al., "Methodology for selecting microscopic simulators: Comparative evaluation of AIMSUN and VISSIM," .۲۰۰۵

[۱۱] پوررضا،م و همکاران، " بررسی مدل های شبیه سازی حمل و نقلی و انتخاب نرم افزار برتر جهت کاربردهای ترافیکی "، نهمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران ، ۱۳۸۸.

[۱۲] شریعت، ا.، بابایی،م.، " ارزیابی مدل های شبیه سازی حرکت خودرو در نرم افزارهای شبیه ساز "، هفتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، ۱۳۸۵.

[۱۳] P. G. Gipps, "A behavioural car-following model for computer simulation," Transportation Research Part B, vol. ۱۵, pp. ۱۱۱-۱۰۵, .۱۹۸۱

[۱٤] Wiedemann R and Reiter U, "Microscopic traffic simulation: the simulation system: The simulation system Mission,background and actual state. In: CEC project ICARUS (V۱۰۵۲) final report, vol ۲, Appendix A. Brussels, CEC," .۱۹۹۲

[۱۵] F. C. Fang and L. Elefteriadou, "Some guidelines for selecting microsimulation models for interchange traffic operational analysis," Journal of transportation engineering, vol. ۱۳۱, p. ۵۳۵, .۲۰۰۵

[١٦] H. A. Rakha and M. W. Van Aerde, "Comparison of simulation modules of TRANSYT and INTEGRATION models," Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, vol. ١٥٦٦, pp. ٧-١, .١٩٩٦

[١٧] H. Xiao, et al., "Methodology for selecting microscopic simulators: Comparative evaluation of AIMSUN and VISSIM," .٢٠٠٥

[١٨] L. Bloomberg and J. Dale" ,Comparison of VISSIM and CORSIM traffic simulation models on a congested network," Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, vol. ١٧٢٧, pp. ٦٠-٥٢, .٢٠٠٠

[١٩] Z. Z. Tian, et al., "Variations in capacity and delay estimates from microscopic traffic simulation models," Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, vol. ١٨٠٢, pp. .٢٠٠٢ ,٣١-٢٣

[٢٠] S. A. Boxill and L. Yu, "An evaluation of traffic simulation models for supporting ITS development," Center for Transportation Training and Research, Texas Southern University.٢٠٠٠

[٢١] S.L.Jones, et al., "Traffic simulation software comparison study," University of Alabama at Birmingham.٢٠٠٤

[٢٢] J.W. Shaw and H. Nam, "Microsimulation, freeway system operational assessment, and project selection in southeastern Wisconsin: Expanding the vision," presented at the TRB Annual Meeting, Washington, DC, .٢٠٠٢

[٢٣] M. D. Middleton, et al., "Evaluation of Simulation Models for Congested Dallas Freeways," Texas Transportation Institute, Texas A & M University System.١٩٩٩

[٢٤] P. D. Prevedouros and H. Li, "Comparison of Freeway Simulation with INTEGRATION, KRONOS, and KWaves," in Fourth International Symposium on Highway Capacity, Maui, Hawaii, ٢٠٠٠, pp. ٩٦–.١٠٧

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.