بررسی و تحلیل پارامترهای مدل های پایه در نرم افزار شبیه ساز Aimsun

فهرست مطالب

مقدمه ۱
۱- مدل پیروی خودرو ۲
۱-۱- انواع مدل‌های پیروی خودرو ۲
۱-۲- مدل پیروی خودرو در نرم‌افزار AIMSUN ۹
۲- مدل تغییر خط ۱۷
۲-۱- مدل تغییر خط در نرم‌افزار AIMSUN ۱۹
۲-۲- مدل نگاه به جلو در نرم‌افزار AIMSUN ۳۲
۲-۳- مدل تغییر خط در وضعیت ON-RAMP ۳۸
۳- مدل قبول فرصت ۴۲
۳-۱- تعاریف پایه ۴۳
۳-۲- مدل قبول فرصت در نرم‌افزار AIMSUN ۴۷
۴- جمع‌بندی ۵۱
مراجع ۵۲

فهرست شکل‌ها

شکل ۱ - حرکت خودروها به دنبال هم با سرفاصله مکانی ثابت ۳
شکل ۲- نمایش نموداری فرایند پیروی خودرو ۵
شکل ۳- تعریف مکان خودروهای پیشرو و پیرو ٦
شکل ٤- عوامل موثر بر مدل پیروی خودرو ۸
شکل ۵- محاسبه میانگین سرعت در مدل پیروی خودرو دو خطه ١٤
شکل ٦- پارامترهای موثر در رفتار تعقیب خودروی رانندگان در نرم‌افزار AIMSUN ١٦
شکل ۷- پارامترها و زیرمدل های مدل تغییر خط ١٨
شکل ۸- معبر فرضی جهت بررسی فرآیند تعییر خط عبوری در نرم‌افزار AIMSUN ١٩
شکل ۹- درخت تصمیم در مدل تغییر خط GIPPS ٢١
شکل ١٠- نواحی در نظر گرفته شده در مدل تغییر خط AIMSUN جهت تعیین نوع مانور تغییر خط ٢٣
شکل ١١- پارامترهای موثر در مدل تغییر خط عبوری نرم‌افزار AIMSUN ٢٨
شکل ١٢- توزیع سرعت در مقطع بالادست یک شیب راهه خروجی ٢٩
شکل ١٣- توزیع مسافتی ناحیه یک ٢٩
شکل ١٤- مقطع تداخلی بدون در نظر گرفتن مدل نگاه به جلو ٣٣
شکل ١۵- موقعیت شهری بدون در نظر گرفتن مدل نگاه به جلو ٣٤
شکل ١٦- مقطع تداخلی با مدل نگاه به جلو ٣٦
شکل ١٧- مانور های گردشی با استفاده از مدل نگاه به جلو ٣٧
شکل ١٨ - خط عبوری کمکی ON-RAMP ٣٩
شکل ١٩ - خط ON-RAMP طولانی ٣٩
شکل ٢٠- خط عبوری کندرو ٤٠
شکل ٢١- خط سبقت ٤٠
شکل ٢٢- مدل ON-RAMP ٤١
شکل ٢٣- مفاهیم فرصت و اختلاف در تقاطعات بدون چراغ ٤٤
شکل ٢٤- مفاهیم مدل قبول فاصله در نرم‌افزار AIMSUN ٤٩
شکل ٢۵- وسایل نقلیه با اولویت که توسط وسیله نقلیه مسیر فرعی در مدل قبول فاصله در نرم‌افزار AIMSUN ارزیابی می‌شوند. ٤٩
شکل ٢٦- فلوچارت مدل قبول فرصت AIMSUN ۵٠

مقدمه

پیش‌از شروع مطالعه این کتاب لازم است خواننده محترم توجه فرماید کتاب حاضر به بیان مدل‌های پایه ترافیکی در نرم‌افزارهای شبیه‌ساز می‌پردازد. لذا داشتن دانش اولیه از تئوری جریان ترافیک در درک کامل مطالب این کتاب ضروری است.

مدل‌های اساسی جریان ترافیک به رفتار حرکتی خودروها در جریان ترافیک می‌پردازد. این مدل‌ها اساس کار نرم‌افزارهای شبیه‌ساز به حساب می‌آیند. به طور کلی چهار نوع مدل‌های رفتاری در نرم‌افزارهای شبیه‌ساز وجود دارد که عبارتند از:

- مدل‌های پیروی خودرو[۱]
- مدل‌های تغییر خط[۲]
- مدل‌های قبول فرصت[۳]
- مدل‌های فاصله‌ی جانبی[٤]

از میان این چهار دسته مدل‌ها، دسته آخر در نرم‌افزار Aimsun وجود نداشته و لذا در این کتابچه نیز بررسی نخواهد شد. مدل‌های رفتاری رانندگان به آن دسته از مدل‌هایی اطلاق می‌شوند که سعی دارند رفتار رانندگی کاربران شبکه را به صورت روابط شرطی و ریاضی بیان نمایند. این روابط سپس از طریق برنامه نویسی به فرامین قابل اجرایی تبدیل خواهند شد که توسط نرم‌افزارهای شبیه ساز جهت مدلسازی جریان ترافیک و رفتار خردنگر تک‌تک رانندگان مورد استفاده قرار خواهند گرفت. در ادامه این کتابچه در فصل دوم مدل پیروی خودرو، در فصل سوم مدل تغییر خط و در فصل چهارم مدل قبول فرصت مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در انتها نیز جمع‌بندی از مطالب ارائه شده انجام شده است.

---

[۱] Car Following

[۲] Lane Changing

[۳] Gap Acceptance

[٤] Lateral Distance

۱ - مدل پیروی خودرو

امروزه، رانندگی یکی از رایج‌ترین و پیچیده‌ترین مهارت‌های زندگی روزمره است. در حین رانندگی، راننده می‌بایست کارهای مختلفی را به طور همزمان انجام دهد. یکی از این موارد، حرکت به دنبال خودروی جلویی در طول یک خط عبوری است. در یک جریان ترافیک، رانندگان وسایل نقلیه عقب‌تر، سعی در تطبیق وضعیت خود نسبت به وسایل نقلیه‌ی جلویی دارند و در نتیجه حرکت مستقیم خودروها در مسیرشان بیش از هر چیز از خودروی جلویی شان در همان خط، تأثیر می‌پذیرد. حرکت خودرو به دنبال خودروی جلویی‌اش – که از این پس با عبارت "پیروی خودرو" به آن اشاره می‌شود - از مهم‌ترین اعمالی است که راننده در حین رانندگی انجام می‌دهد. علیرغم اهمیت زیاد، این عمل در مقایسه با مجموعه اعمالی که راننده برای کنترل خودرو در حین رانندگی انجام می‌دهد، پیچیدگی کمتری داشته و چندین مدل ریاضی برای توصیف آن در متون فنی موجود است.

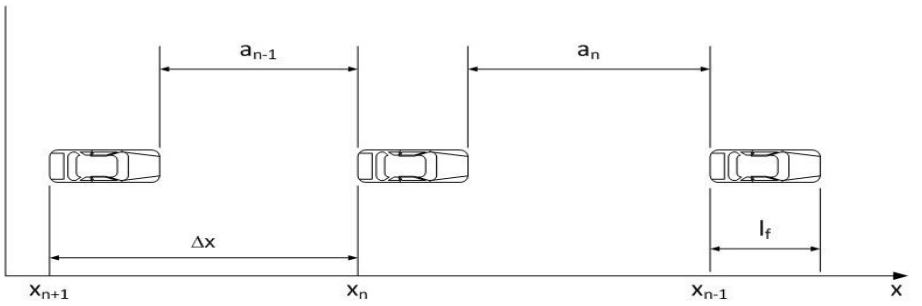
۱ -۱ - انواع مدل‌های پیروی خودرو

مدل‌های پیروی خودرو مدل‌هایی هستند که تغییرات سرعت خودرو را، که ناشی از تعامل آن با دیگر کاربران جاده و نیز با خود جاده است، مشخص می‌کنند. به بیان دیگر، مدل‌هایی که فاصله‌ی بین وسایل نقلیه و سرعت نسبی آنها را مورد توجه قرار می‌دهند، مدل‌های پیروی خودرو نامیده می‌شوند. در این مدل‌ها فرض می‌شود که بین خودروهایی که فاصله‌شان با یکدیگر بین صفر تا حدود ۱۰۰ الی ۱۲۵ متر باشد رابطه‌ای وجود دارد و این رابطه به شکل روابط صریح[۱] ریاضی معرفی می‌شود [۱]. در این مدل‌ها خودرویی که در جلو حرکت می‌کند را خودروی پیشرو و خودرو یا دسته‌ای از خودروها را که به دنبال خودروی پیشرو حرکت می کنند، خودرو(ها)ی پیرو می‌نامند.

ساده‌ترین مدلی که می‌توان برای حرکت خودروها به دنبال هم در نظر گرفت، مدلی است که در آن فاصله بین خودروها ثابت بماند. در این مدل مطابق شکل (۱) فرض می شود که کلیه‌ی خودروها با سرعت V حرکت می‌کنند و فاصله‌ی ثابت a را حفظ می‌کنند. این مدل، به دو دلیل غیر واقعی است. اول اینکه تمام سرعت ها را مساوی هم فرض می‌کند و دلیل مهم‌تر اینکه فاصله را مستقل از سرعت و به صورت ثابت لحاظ می‌کند.

---

[۱].explicit



شکل ۱ - حرکت خودروها به دنبال هم با سرفاصله مکانی ثابت [۲]

یکی از قدیمی‌ترین روابطی که دو پارامتر سرعت و فاصله را به هم مرتبط می‌کند، رابطه (۱) است. این رابطه در نسخه‌ی سال ۱۹۵۰ راهنمای ظرفیت راه (HCM[۱]) ارائه شده است.

$$S = \alpha + \beta V + \gamma V^2 \qquad (۱)$$

که در آن؛

S : سر فاصله بین خودروها (m)؛

V : سرعت خودرو (m/s)؛

α : طول موثر خودرو (m)؛

β : زمان واکنش راننده (s) و

γ : معکوس دو برابر حداکثر شتاب کاهشی خودروی پیرو است.

در رابطه‌ی (۱)، جمله‌ی γV^2 اثر سرعت وسیله‌ی نقلیه را بر فاصله‌ی خودروها، برای در نظر گرفتن تأثیر توقف خودروی جلویی (پیشرو) و فاصله‌ی ایمن خودروی پیرو، در نظر می‌گیرد.

[۱].Highway Capacity Manual

در مدل فوق فرض می‌شود که هر خودرو سرعت دلخواه[۱] را برای خود حفظ می‌کند و همچنین فاصله‌ی بین خودروی پیرو با خودروی پیشرو تغییر نمی‌کند. به بیان دیگر، این مدل حرکت خودروها به دنبال هم را در حالت و وضعیت پایدار[۲] توصیف می‌کند.

این فرض که برای هر سرعتی فاصله‌ی ثابتی بین خودروها وجود دارد (آن طور که رابطه (۱) نشان می‌دهد)، حتی اگر این فاصله به سرعت وابسته باشد فرضی غیر واقعی است. در عالم واقع امکان برآورد دقیق فاصله و یا حفظ نمودن دقیق آن وجود ندارد. واقعیت این است که رانندگان عقب‌تر سعی در تطبیق وضعیت خود نسبت به خودروهای جلویی دارند. این فرایند بر اساس چرخه‌ای از تشخیص سریع و پاسخ به آن استوار است. نوع پاسخ، شتابی افزایشی یا کاهشی است که به اندازه‌ی زمان عکس‌العمل راننده دیرتر رخ می‌دهد.

زمان عکس العمل راننده[۳] که در پاراگراف فوق به آن اشاره شد، مدت زمانی است که طول می‌کشد تا راننده پدیده‌ای را مشاهده کند، تشخیص دهد، متناسب با آن تصمیم بگیرد و واکنش نشان دهد.

در مدل‌های پیروی خودرو دو فرض اساسی صورت می‌گیرد:

الف) راننده سعی می‌کند هماهنگ با خودروی جلویی‌اش حرکت کند و

ب) راننده سعی می‌کند از تصادف اجتناب نماید.

برای لحاظ نمودن این دو شرط، لازم است پارامتر سرعت نسبی وارد مدل پیروی خودرو شود. به این معنی که راننده تلاش می‌کند تا سرعت نسبی بین خودروی خودش و خودروی پیشرو، به طور متوسط حول مقدار کوچکی نگه داشته شود. یعنی در بازه زمانی کوتاه δt ، مقدار سرعت نسبی $\boldsymbol{V_{rel}}$ از رابطه (۲)، مقداری کوچک و نزدیک به صفر باشد.

$$< \boldsymbol{V_{n-1} - V_n} >=< \boldsymbol{V_{rel}} >= \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{\delta t}} \int_{\boldsymbol{t-\delta t/2}}^{\boldsymbol{t+\delta t/2}} \boldsymbol{V_{rel}(t).dt} \qquad (۲)$$

که در آن؛

$\boldsymbol{V_{n-1}}$: سرعت خودروی پیشرو (m/s)؛

$\boldsymbol{V_n}$: سرعت خودروی پیرو (m/s)؛

---

[۱] Desired Speed

[۲].steady state

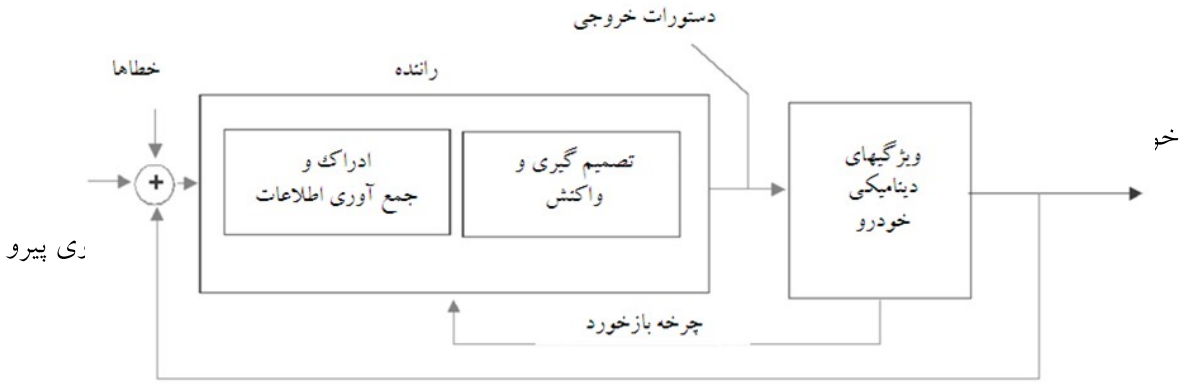
[۳].Reaction Time

$\boldsymbol{V_{rel}}$: سرعت نسبی (m/s)؛

δt : بازه زمانی بسیار کوتاه و

$< \boldsymbol{x} >$: مقدار میانگین متغیر x است.

مقدار δt در رابطه (۲) به هوشیاری راننده، توانایی او در درک پدیده‌ها و تصمیم‌گیری در یک وضعیت خاص وابسته است. برای در نظر گرفتن اثر همه‌ی این موارد، پارامتر زمان واکنش راننده وارد مدل پیروی خودرو می‌شود. با توجه به توضیحات ارائه شده می‌توان فرایند پیروی خودرو را مطابق شکل (۲) در نظر گرفت.



شکل ۲ - نمایش نموداری فرایند پیروی خودرو [۱]

مدل‌های پیروی خودرو انواع مختلفی دارند که می‌توان آنها را به دسته‌های اصلی زیر تقسیم کرد [۳، ٤ و٥].

مدل GHR[۱] **:** در این مدل‌ها رابطه‌ی اصلی بین دو خودروی متوالی، یک نوع تابع"تحریک-پاسخ" است. این مدل‌ها شتاب خودروی عقبی (پیرو) را به صورت تابعی از سرعت آن، اختلاف سرعت دو خودرو و سرفاصله‌ی مکانی بین دو خودرو بیان می‌کنند. بر مبنای شکل(۳)، رابطه‌ی ریاضی کلی این مدل‌ها به صورت رابطه (۳) بیان می‌شود [٤].

$$\boldsymbol{a_n(t) = cv_n^m(t)\frac{\Delta v(t-T)}{\Delta x^1(t-T)}} \qquad (۳)$$

۱.Gazis-Herman-Rothery

که در آن:

$\boldsymbol{a_n(t)}$: شتاب خودروی پیرو (n) در زمان t (m/s^2)؛

$\boldsymbol{v_n(t)}$: سرعت خودروی پیرو(n) در زمان t (m/s)؛

$\boldsymbol{\Delta v(t-T)}$: اختلاف سرعت خودروی پیرو (n) با خودروی پیشروی (n-۱) در زمان (t-T) که با رابطه‌ی (٤) تعریف می‌شود.

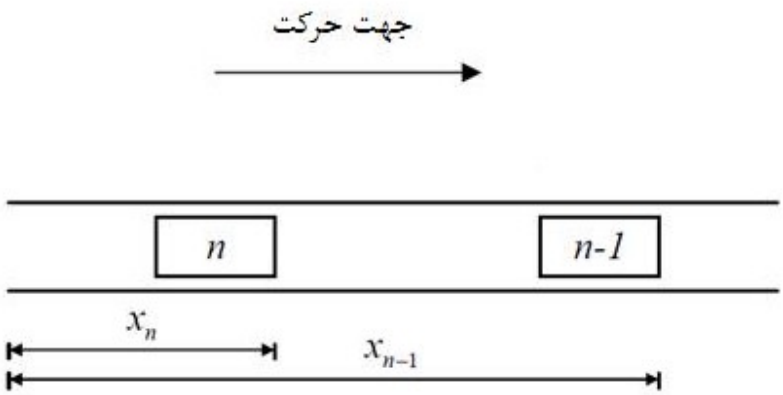
$$\boldsymbol{\Delta V = V_{n-1} - V_n} \qquad (٤)$$

$\boldsymbol{\Delta x(t-T)}$: سرفاصله مکانی بین دو خودروی پیرو (n) و پیشرو (n-۱) در زمان (t-T) بر حسب متر که با رابطه (٥) تعریف می‌شود.

$$\boldsymbol{\Delta x = x_{n-1} - x_n} \qquad (٥)$$

$\boldsymbol{T}$: زمان واکنش راننده بر حسب ثانیه می‌باشد و

c و m و l پارامترهایی هستند که می‌بایست با توجه به شرایط محلی تعیین شوند.



شکل ۳ - تعریف مکان خودروهای پیشرو و پیرو [۵]

مدل‌های GHR ممکن است متقارن یا غیر متقارن باشند. مدل‌های متقارن برای هر دو حالت شتاب مثبت و منفی از پارامترهای یکسانی استفاده می‌کنند اما در مدل‌های غیرمتقارن پارامترهای شتاب مثبت و منفی با هم متفاوت هستند[۳].

مدل‌های فاصله‌ی ایمن یا اجتناب از برخورد[۱] (CA): در این مدل‌ها فرض می‌شود که راننده‌ی خودروی پیرو فاصله‌اش را با خودروی پیشرو طوری تنظیم می‌کند که برخوردی اتفاق نیفتد. به بیان دیگر در این مدل‌ها همواره فاصله‌ی ایمن رعایت می‌شود. معادله کلی این مدل‌ها مطابق رابطه‌ی (٦) است[٤].

$$\Delta x(t-T) = \alpha v_{n-1}^2(t-T) + \beta_l v_n^2(t) + \beta v_n(t) + b_0 \qquad (٦)$$

که در آن؛

$\Delta x(t-T)$: فاصله دو خودرو در زمان t-T (m)؛

$v_n(t)$: سرعت خودروی پیرو (n) در زمان t (m/s)؛

$v_{n-1}(t-T)$: سرعت خودروی پیشرو (n-۱) در زمان t-T (m/s)؛

T : زمان واکنش راننده (s)؛

و α و β_l و β و b_0 پارامترهای کالیبراسیون هستند.

مدل‌های روانی- جسمی یا نقطه‌ی کنش[۲] (AP): مدل‌های روانی ـ جسمانی از "آستانه‌ها" و یا نقاط خطر، در مواقعی که راننده رفتار خود را عوض می‌کند، استفاده می‌کنند. آستانه‌ها در حقیقت محدوده‌هایی از فواصل و سرعت‌های نسبی بین دو خودرو هستند که خودروی پیرو نسبت به وقوع تغییرات در سرعت و فاصله نسبی خود بر اساس آنها پاسخ می‌دهند. مزیت این مدل‌ها نسبت به مدل‌های GHR آن است که مدل‌های GHR فرض می‌کنند که خودروی پیرو به طور دلخواه نسبت به تغییرات سرعت نسبی واکنش نشان می‌دهد و این واکنش حتی در صورت وجود فاصله‌ی زیاد بین دو خودرو هم صورت می‌گیرد و به محض اینکه سرعت نسبی صفر شود از بین می‌رود.

مدل‌هایی با منطق فازی: در این روش، منطق فازی را برای تعریف آستانه‌های مدل به کار می‌برند. مثلاً می‌توان با استفاده از منطق فازی، مفهوم "فاصله خیلی نزدیک" را در مدل تعریف کرد. بنابراین در هنگام اجرای

---

۱. Crash Avoidance

۲. Action Point

مدل، حالت "رانندگی اضطراری" که منجر به ترمز راننده می‌شود، درنظر گرفته می‌شود. در مدل‌های قبلی، فرض می‌شود که رانندگان دقیقاً سرعت و فاصله‌ی خود تا سایر وسایل نقلیه را می‌دانند، در حالی که در مدل‌های فازی فرض این است که رانندگان تنها می‌دانند آیا سرعت وسیله‌ی جلویی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و یا خیلی زیاد است.

پارامترهای موثر بر مدل پیروی خودرو بسته به اینکه مدل به کدام یک از دسته‌های چهارگانه فوق تعلق داشته باشد، با هم متفاوت‌اند. همچنین بعضی مدل‌ها از تعداد پارامتر بیشتری استفاده می‌کنند و در بعضی مدل‌ها تعداد پارامترها کمتر است. نتایج بعضی پژوهش‌های انجام گرفته نشان می‌دهد که بین تعداد پارامترها و دقت نتایج مدل لزوماً رابطه مستقیمی وجود ندارد [٦].

متغیرهایی که از زمان معرفی تئوری پیروی خودرو تاکنون مورد استفاده قرار گرفته‌اند؛ فاصله نسبی دو خودرو، سرعت نسبی دو خودرو، زمان واکنش راننده، سرعت خودروی پیشرو و شتاب‌های افزایشی و کاهشی هر دو خودرو بوده‌اند. دیگر متغیرهایی که هر کدام در بعضی از مدل‌های پیروی خودرو استفاده شده‌اند عبارتند از : حداکثر سرعت، طول خودرو، ترمز اتفاقی، حداقل و حداکثر شتاب، و غیره. شکل(٤) پارامترهای بیان شده را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

شکل ۴ - عوامل موثر بر مدل پیروی خودرو

۱ -۲ - مدل پیروی خودرو در نرم‌افزار Aimsun

مدل پیروی خودرو در نرم‌افزار Aimsun بر اساس مدل تجربی گیپس[۱] بوده و جهت استفاده در نرم‌افزار اصلاحاتی بر روی آن صورت گرفته است [۷]. مدل گیپس از دسته مدل‌های اجتناب از برخورد است که در سال ۱۹۸۱ معرفی شد. در مدل گیپس، خودروها به دو دسته خودروهای آزاد (خودروهایی که حرکت‌شان را خودروی جلویی‌شان محدود نمی‌کند) و خودروهای مقید (خودروهایی که حرکت‌شان را خودروی جلویی‌شان محدود می‌کند)، تقسیم می‌شوند. این مدل چنان عمل می‌کند که خودروی آزاد برای رسیدن به سرعت مطلوب خود تلاش کند. سرعت مطلوب سرعتی است که یک خودرو می‌تواند با توجه به خصوصیات فنی خود و مقررات حاکم بر قطعه‌ای از راه که در آن حرکت می‌کند، در غیاب سایر خودروها به دست آورد.

مدل پیروی خودرو در Aimsun دارای پارامترهایی کلی[۲] (غیر محلی) نیست بلکه با کمک پارامترهای محلی[۳] تعریف می‌شود. از جمله این پارامترهای محلی می‌توان به نوع راننده (اینکه راننده تا چه حدی به محدودیت سرعت توجه کند)، هندسه‌ی مقطع (محدودیت سرعت مقطع، محدودیت سرعت گردش و غیره)، اثر خودروهای خط مجاور و غیره اشاره کرد.

این مدل شامل دو مولفه است:

۱) افزایش سرعت

۲) کاهش سرعت

افزایش سرعت (شتاب افزایشی) بیانگر قصد خودرو برای رسیدن به سرعت مطلوب است در حالیکه کاهش سرعت (شتاب کاهشی) ناشی از محدودیت‌هائی است که توسط خودروی جلویی تحمیل می‌شود.

بر اساس مدل ارائه شده توسط گیپس، سرعت خودروی تعقیب کننده از طریق سه شرط کنترل می‌شود. اولین شرط عدم بکارگیری سرعتی بالاتر از سرعت مطلوب را برای راننده تضمین می‌نماید. بر اساس دومین شرط، راننده به منظور رسیدن به سرعت مطلوب خویش شتاب می‌گیرد که این شتاب ابتدا با افزایش سرعت افزایش یافته و همچنان که راننده به سرعت مطلوب خویش نزدیک می‌شود به صفر کاهش می‌یابد. نتیجه ترکیب این دو شرط رابطه (۷) است که نحوه حرکت خودرو را در شرایطی که فاصله‌ی زیادی با خودروی پیش‌روی خویش دارد،

---

۱. Gipps

۲. Global

۳. Local

توصیف می‌نماید [۳۷].

$$v_n(t+\tau) \le v_n(t) + 2.5\, a_n \tau \left[1 - \frac{v_n(t)}{V_n}\right] \sqrt{0.025 + \frac{v_n(t)}{V_n}} \qquad (۷)$$

که در آن:

$v_n(t)$ = سرعت خودروی n در زمان t (m/s) ؛

a_n = حداکثر شتاب مطلوب خودروی n (m/s^2)؛

τ = زمان عکس‌العمل راننده (s) ؛ و

V_n = سرعت مطلوب راننده (m/s) می‌باشد.

شرط سوم در شرایط ترافیک مقید، هنگامی که خودروها نزدیک به یکدیگر در حال حرکت هستند، حاکم شده و رفتار خودرو تعقیب کننده را کنترل می‌نماید. در شرایط متراکم ترافیک، سرعت خودروی تعقیب کننده تحت تأثیر زمان عکس‌العمل، تفاوت سرعت با خودروی پیرو و نرخ شتاب کاهشی دلخواه مورد استفاده توسط راننده بوده و بر اساس رابطه (۸) تعیین می‌شود [۳۷].

$$v_n(t+\tau) \le b_n \tau + \sqrt{(b_n{}^2\tau^2 - b_n(2[x_{n-1}(t) - s_{n-1} - x_n(t)] - v_n(t)\tau - \frac{v_{n-1}{}^2(t)}{b'}))} \qquad (۸)$$

که در آن؛

b_n = حداکثر شتابی که راننده به منظور جلوگیری از تصادف تمایل به بکارگیری آن دارد. (m/s^2)؛

b' = تخمین راننده خودروی تعقیب کننده از حداکثر شتاب کاهشی که راننده خودروی پیشرو بکار می‌گیرد (m/s^2).

s_{n-1} = طول خودروی پیشرو(m)؛

$x_n(t)$ = موقعیت خودروی پیرو (n) در زمان t ؛

$x_{n-1}(t)$ = موقعیت خودروی پیشرو (n-۱) در زمان t و

$v_{n-1}(t)$ = سرعت خودروی پیشرو (m/s) می‌باشد.

پارامترهای مربوط به نرخ شتاب کاهشی (b و b′) برای مدل نمودن فرآیند ترمز گیری بسیار مهم هستند. این پارامترها بر روی سرفاصله مکانی بین خودروی تعقیب کننده و خودروی پیشرو و در نتیجه‌ی ظرفیت خط عبوری موثر می‌باشند. با توجه به سه شرط بیان شده سرعت خودروی n در زمان (t+۱) بر اساس رابطه (۹) قابل محاسبه می‌باشد.

$$v_n(t+\tau) = \min\left(v_n(t) + 2.5\,a_n\tau\left[1-\frac{v_n(t)}{V_n}\right]\sqrt{0.025+\frac{v_n(t)}{V_n}},\right. \qquad (۹)$$

$$\left. b_n\tau + \sqrt{(b_n{}^2\tau^2 - b_n(2[x_{n-1}(t)-s_{n-1}-x_n(t)]-v_n(t)\tau-\frac{v_{n-1}{}^2(t)}{b'})}\right)$$

بر اساس رابطه (۹) در شرایط عدم تراکم که سرفاصله خودروها زیاد و خودروها به راحتی می‌توانند با سرعت مطلوب خویش حرکت نمایند، اولین آرگومان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این موارد خودروی پیرو قادر است بر اساس معادله تجربی دینامیک خودرو برای رسیدن به سرعت مطلوب خویش شتاب بگیرد. در شرایط ترافیک متراکم که سرفاصله ها کوتاه است آرگومان دوم به کار گرفته می‌شود.در چنین مواردی سرعت خودروی پیرو به وسیله عملکرد خودروی پیشرو محدود شده و هر راننده سرعت خویش را برای اجتناب از برخورد با فرض اینکه شتاب کاهشی خودروی پیشرو از b′ تجاوز نخواهد کرد، تنظیم می‌نماید.

در رابطه (۹)، به غیر از شتاب کاهشی تخمین زده شده برای خودروی پیشرو (b')، سایر متغیرها واضح می‌باشد و نیازی به توضیح ندارند. برای تخمین شتاب کاهشی خودرو پیشرو سه مدل در نرم‌افزار Aimsun موجود است که انتخاب مدل مناسب به عهده شبیه ساز است.

الف- مدل شتاب کاهشی خودروی پیشرو[۱]: در این روش (که در نسخه‌های ابتدایی Aimsun مورد استفاده قرار می‌گرفت) فرض می‌شود مطابق رابطه (۱۰) شتاب کاهشی خودروی پیشرو برابر حداکثر مقدار مطلوب شتاب کاهشی آن باشد. به بیان دیگر :

$$b_n = b' \qquad (۱۰)$$

اگر اختلاف بین قابلیت کاهش شتاب دو خودروی پیشرو و پیرو نسبتاً زیاد باشد، این روش در سرعت‌های

[۱].Leader deceleration

زیاد منجر به ناپایداری مدل پیروی خودرو خواهد شد.

ب- مدل میانگین شتاب کاهشی پیرو و پیشرو[۱]: در این روش شتاب کاهشی مطلوب خودروی پیشرو مطابق رابطه (۱۱) به شکل میانگین شتاب‌های کاهشی خودروهای پیشرو و پیرو در نظر گرفته می‌شود.

$$b' = \frac{1}{2}(b_n + b_{n-1}) \qquad (۱۱)$$

در این روش از اینکه خودروها در سرعت بالا به خودرو پیشرو بیش از حد نزدیک شوند جلوگیری می‌شود.

ج- مدل حداقل سر فاصله بعلاوه ضریب حساسیت[۲]: در این روش دو مؤلفه وارد محاسبات کاهش سرعت می‌شوند که عبارتند از: حداقل سر فاصله بین خودرو پیشرو و پیرو، و ضریب حساسیت. حداقل سر فاصله بین خودروهای پیشرو و پیرو قبل از به روز رسانی موقعیت و سرعت خودرو اعمال می‌شود. قید مربوط به کم‌ترین سر فاصله به صورت روابط (۱۲) و (۱۳) تعریف می‌شود.

اگر:

$$\left[x_{n-1}(t+\tau) - s_{n-1}\right] - \left[x_n(t) + v_n(t+\tau)\times\tau\right] \le v_n(t+\tau).MinHW_n \qquad (۱۲)$$

آنگاه:

$$v_n(t+\tau) = \left[x_{n-1}(t+\tau) - s_{n-1} - x_n(t)\right]/(MinHW_n \times \tau) \qquad (۱۳)$$

که در آن؛

$x_n(t)$ = موقعیت خودروی n در زمان t؛

$x_{n-۱}(t)$ = موقعیت خودروی جلویی (n-۱) در زمان t؛

$s_{n-۱}$ = طول موثر خودروی پیشرو n-۱ (m)؛

---

۱. Average of Follower & Leader decelerations

۲. Minimum Headway + Deceleration estimation

$v_n(t+\tau)$ = سرعت خودروی پیرو (n) در زمان t+τ (m/s)؛

τ = زمان عکس‌العمل راننده (s)؛ و

$MinHW_n$ = حداقل سر فاصله زمانی خودروی پیرو (n) نسبت به خودروی پیشروی (n-۱) بر حسب ثانیه است.

مؤلفه دیگر محاسبات کاهش سرعت در روش "ج" ضریب حساسیت است. ضریب حساسیت α برای هر نوع وسیله نقلیه تعریف شده در نظر گرفته می‌شود و شتاب کاهشی خودروی پیشرو به صورت رابطه (۱٤) در می‌آید.

$$b' = \alpha \times b \qquad (۱٤)$$

وقتی α < ۱ است، خودروی پیرو شتاب خودروی پیشرو را کمتر از آنچه هست، تخمین می‌زند و رفتاری با ریسک بیشتر از خود نشان می‌دهد. در نتیجه فاصله بین دو خودرو کاهش می‌یابد.

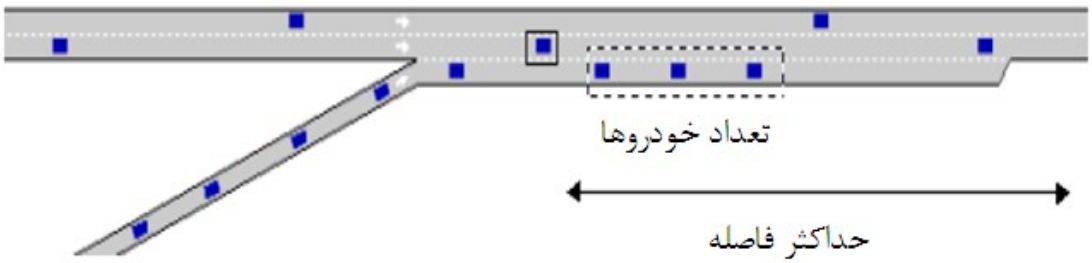
وقتی α > ۱ است، خودروی پیرو شتاب خودروی پیشرو را بیشتر از آنچه هست، برآورد می‌کند، در نتیجه خودرو با احتیاط‌تر عمل می‌کند و فاصله‌اش با خودروی جلویی زیادتر می‌شود.

مدل تعقیب خودروی دیگری که می‌تواند در نرم‌افزار Aimsun مورد استفاده قرار گیرد، مدل تعقیب خودروی دو خطه است. هدف این مدل، لحاظ نمودن اثر خط مجاور در مدل پیروی خودرو است. با استفاده از این مدل، اثر تعداد مشخصی از وسایل نقلیه که با سرعت کمتری در خط مجاور سمت راست حرکت می‌کنند بر خودرویی که در امتداد یک مقطع حرکت می‌کند، در نظر گرفته می‌شود. این مدل، بیشینه سرعت مطلوب خودرو در مقطع را تعیین می‌کند که بعداً در مدل پیروی خودرو مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل، ابتدا میانگین سرعت خودروهایی را که در خط مجاور با سرعت پایین‌تر به سمت پایین دست حرکت می‌کنند، محاسبه می‌کند و سپس بر اساس روابط (۱۵)، (۱٦) و (۱۷) سرعت مطلوب مقطع را محاسبه می‌کند.

میانگین سرعت خودروهای خط مجاور فقط برای خودروهایی محاسبه می‌گردد که تا فاصله مشخصی از خودروی مورد نظر در حرکتند. این فاصله در شکل (۵) با عبارت "حداکثر فاصله[۱]" نشان داده شده است. به علاوه، این میانگین برای تعداد N خودرو محاسبه می‌شود. در شکل (۵)، عدد N با عبارت "تعداد خودروها" معرفی شده است. اگر تعداد خودروهای موجود در مقطع (n) از تعداد مشخص مورد نظر (N) کمتر باشد برای محاسبه میانگین از سرعت مطلوب خودرو در مقطع مورد نظر استفاده می‌شود. به این ترتیب که به اندازه تفاضل تعداد خودروهای

[۱] Maximum Distance

موجود با تعداد مورد نظر (N-n) خودروی مجازی با سرعت آزاد در محاسبه میانگین لحاظ خواهد شد [۸].



شکل ۵- محاسبه میانگین سرعت در مدل پیروی خودرو دو خطه

برای محاسبه سرعت مطلوب دو حالت امکان پذیر است:

الف) خط مورد نظر خط کمکی شیب‌راهه[۱] است.

ب) خط مورد نظر از سایر انواع خطوط به شمار می‌رود.

ابتدا بسته به اینکه خط مورد نظر به کدام یک از حالات الف یا ب تعلق دارد، یکی از دو رابطه‌ی (۱۵) یا (۱۶) انتخاب می‌شوند و سپس با استفاده از حداکثر سرعت محاسبه شده، سرعت مطلوب از رابطه‌ی (۱۷) به دست می‌آید.

الف) اگر سرعت خط مجاور کمتر از سرعت خط کمکی شیب‌راهه باشد؛ آنگاه :

$$S_{\max} = S_{mean} + SD^{R}_{\max} \quad (۱۵)$$

ب) اگر سرعت خط مجاور کمتر از سرعت سایر انواع خطوط باشد؛ آنگاه :

$$S_{\max} = S_{mean} + SD^{O}_{\max} \quad (۱۶)$$

۱.On Ramp

و سرعت مطلوب :

$$S_{Des} = Minimum(v_{\max}(i,s), \theta(i) \times S_{\max}) \quad (۱۷)$$

که در روابط بالا؛

S_{mean} = میانگین سرعت خودروهایی را که در خط مجاور به سمت پایین دست حرکت می‌کنند (m/s)؛

SD_{max}^{o} = حداکثر اختلاف سرعت بین دو خط، برای سایر خطوط (m/s)؛

SD_{max}^{R} = حداکثر اختلاف سرعت بین دو خط برای خط کمکی شیب‌راهه (m/s)؛

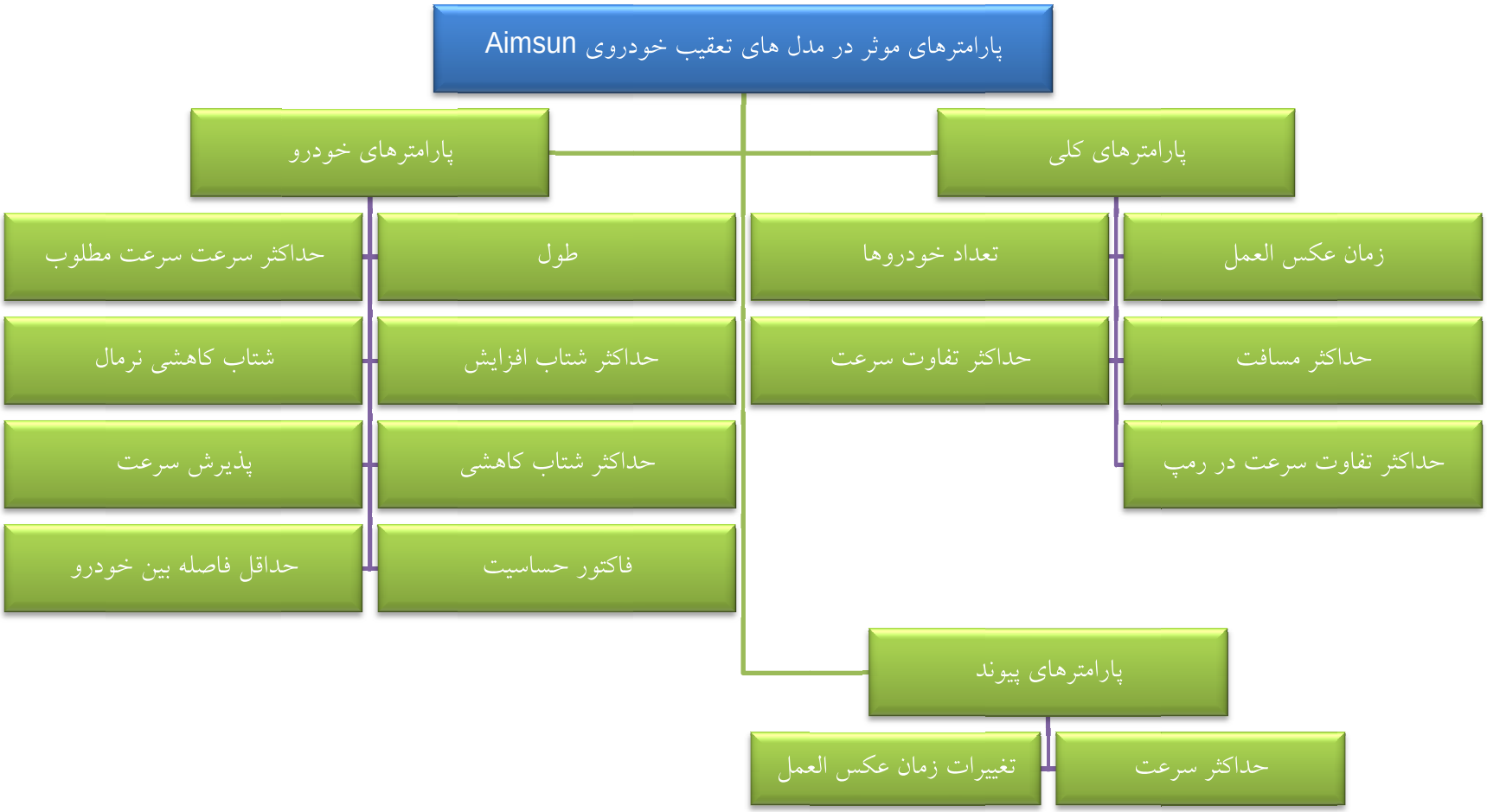
$V_{max}(i,s)$ = حداکثر سرعت مطلوب خودروی i در مقطع s، (m/s)؛

$\theta(i)$ = میزان پذیرش سرعت[۱] خودروی i و

S_{Des} = سرعت مطلوب راننده در مقطع i بر اساس مدل تعقیب خودروی دو خطه است (m/s).

بر اساس موارد عنوان شده در این بخش، شکل (٦) پارامترهای موثر در مدل‌های تعقیب خودروی موجود در نرم‌افزار Aimsun را نشان می‌دهد.

[۱].Speed Acceptance



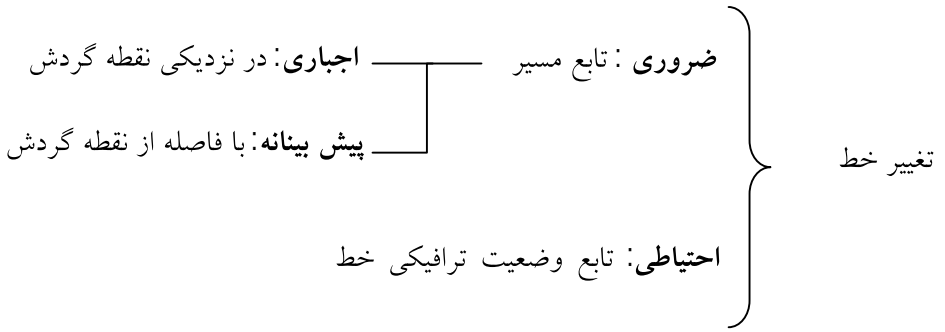
شکل ۶ - پارامترهای موثر در رفتار تعقیب خودروی رانندگان در نرم‌افزار Aimsun

۲ - مدل تغییر خط

تغییر خط به مفهوم حرکت خودرو از یک خط عبوری به خط عبوری دیگر است. این پدیده یا به علت وضعیت جریان ترافیک در خط مبدأ در مقایسه با خط مقصد رخ می‌دهد و یا اینکه مسیر حرکت راننده علت اصلی آن به شمار می‌رود. نوع اول، تغییر خط احتیاطی[۱] و نوع دوم، تغییر خط ضروری نامیده می‌شود.

تغییر خط ضروری وقتی انجام می‌شود که راننده با توجه به مقصد سفر لازم باشد خط حرکتی خود را تغییر دهد تا بتواند از کمان فعلی خارج شود. در این صورت اگر در حال حرکت در خط گردش (منتهی الیه راست یا چپ) نباشد باید خود را به خط گردش برساند. این فرآیند ممکن است شامل یک یا چند تغییر خط باشد. تغییر خط ضروری خود به دو دسته تغییر خط اجباری و تغییر خط پیش بینانه تقسیم می‌شود. تغییر خطی را که راننده در نزدیکی محل گردش انجام می‌دهد، تغییر خط اجباری[۲] می‌نامند. تغییر خطی را که راننده با توجه به مسیر خود و جهتی که در آن قصد حرکت دارد قبل از رسیدن به مقطعی که در آن مجبور به تغییر خط است انجام می‌دهد، را تغییر خط پیش بینانه[۳] می‌نامند.

نوع دیگر تغییر خط، تغییر خط احتیاطی است. این نوع تغییر خط در صورتی انجام می‌شود که وضعیت ترافیکی خطی که راننده در حال حرکت در آن است (خط مبدأ)، برای وی مناسب نباشد. معمولاً سرعت کم حرکت، علت نامطلوب بودن وضعیت خط مبدأ است.



تغییر خط را می‌توان از دو دیدگاه مورد توجه قرار داد. دیدگاه اول بررسی مدل تغییر خط از منظر دینامیک خودرو است. این دیدگاه در این کتابچه مورد توجه قرار نمی‌گیرد، دیدگاه دوم، بررسی روند تصمیم گیری راننده در

---

[۱] Discretionary

[۲] Mandatory Lane Changing

[۳] Predictive

هنگام تغییر خط است. از این دیدگاه مدل تغییر خط یک الگوی تصمیم گیری است که رفتار راننده را در بازه‌های شبیه‌سازی مختلف نشان می‌دهد. به طور کلی در مدل تغییرخط به سه پرسش بایستی پاسخ داده شود. این سه پرسش، پرسش از ضرورت، مطلوبیت و امکان پذیری تغییر خط هستند. ترتیب پاسخ گویی به این سه پرسش و درخت تصمیم گیری در مدل‌های مختلف با هم متفاوت است.

گیپس[٤] (١٩٨٦) یکی از نخستین کسانی بود که مدلی را برای تغییر خط ارائه داد [١٣]. در مدل گیپس که با تصحیحاتی در بعضی نرم‌افزارهای تجاری مثل Aimsun هم به کار می‌رود، به سه پرسش یاد شده اثر چراغ راهنمایی، موانع و وسایل نقلیه‌ی سنگین هم اضافه می‌شود تا مدل بتواند رفتار تغییر خط را در ترافیک شهری بهتر نشان دهد. پارامترهایی که در مدل تغییر خط گیپس مورد توجه قرار گرفته‌اند عبارتند از: امکان پذیری و ایمنی تغییر خط از نظر فیزیکی، محل موانع دائمی، وجود خطوط ویژه حمل‌ونقل همگانی، گردش‌هایی که راننده قصد دارد در آینده انجام دهد و حضور وسایل نقلیه سنگین.

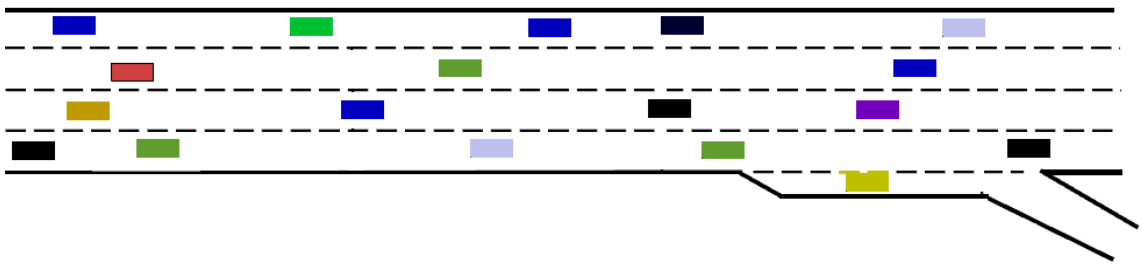
علاوه بر این موارد، پارامترهای مدل پیروی خودرو مثل حداکثر شتاب ایمن خودرو، حداکثر شتاب کاهشی، مکان خودرو در لحظه تصمیم گیری، طول موثر خودرو به طور غیرمستقیم بر مدل تغییر خط اثر می‌گذارند. مدل دیگری که بر مدل تغییر خط اثر می‌گذارد مدل قبول فرصت است که در بخش چهارم این کتابچه به تفصیل مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در شکل (٧) پارامترها و زیرمدل های مدل تغییر خط نشان داده شده اند.

شکل ٧- پارامترها و زیرمدل های مدل تغییر خط

[٤] Gipps

۲ -۱ - مدل تغییر خط در نرم‌افزار Aimsun

همانگونه که در بخش های قبلی به آن اشاره شد، رفتار تغییر خط رانندگان عبوری در نرم‌افزار شبیه ساز ریزنگر Aimsun، بر اساس مدل تغییر خط ارائه شده توسط گیپس در سال ۱۹۸٦، در نظر گرفته می شود. لازم به ذکر است به منظور بهبود عملکرد این مدل، توسعه هایی همانند در نظرگیری تغییر خط همکارانه[۱] در ارتباط با مدل تغییر خط عبوری گیپس صورت گرفته است. تغییر خط همکارانه هنگامی رخ می‌دهد که در آن راننده جهت انجام مانور فرصت مناسب در اختیار ندارد، در چنین شرایطی راننده‌ی خودروی عقب از طریق کاهش سرعت تلاش می‌نماید فرصت مناسب را برای خودروی تغییر خط دهنده فراهم نموده و انجام مانور مورد نظر را تسهیل نماید. در این بخش به منظور روشن تر نمودن فرآیند تصمیم‌گیری راننده در ارتباط با تغییر خط عبوری و همچنین نحوه مدل نمودن این فرآیند و پارامترهای موثر در آن، نحوه تصمیم‌گیری رانندگان جهت انجام مانور تغییر خط در نرم‌افزار Aimsun به صورت مرحله به مرحله شرح داده می شود. فرض کنید مطابق شکل (۸)، راننده خودروی قرمز رنگ در یک معبر چهار خطه در حال حرکت بوده و جهت رسیدن به مقصد خود بایستی از رمپ A خارج شود.



شکل ۸ - معبر فرضی جهت بررسی فرآیند تغییر خط عبوری در نرم‌افزار Aimsun

برای راننده خودروی قرمز رنگ کل فرآیند تصمیم گیری در ارتباط با اجرای مانور تغییر خط در نرم‌افزار Aimsun مطابق باساختار سلسله مراتبی شکل (۹) صورت می گیرد. در ادامه بر اساس شماره گذاری انجام شده این فرآیند مورد بررسی قرار می گیرد.

[۱] Cooperation Lane changing

- **انتخاب خط عبوری**

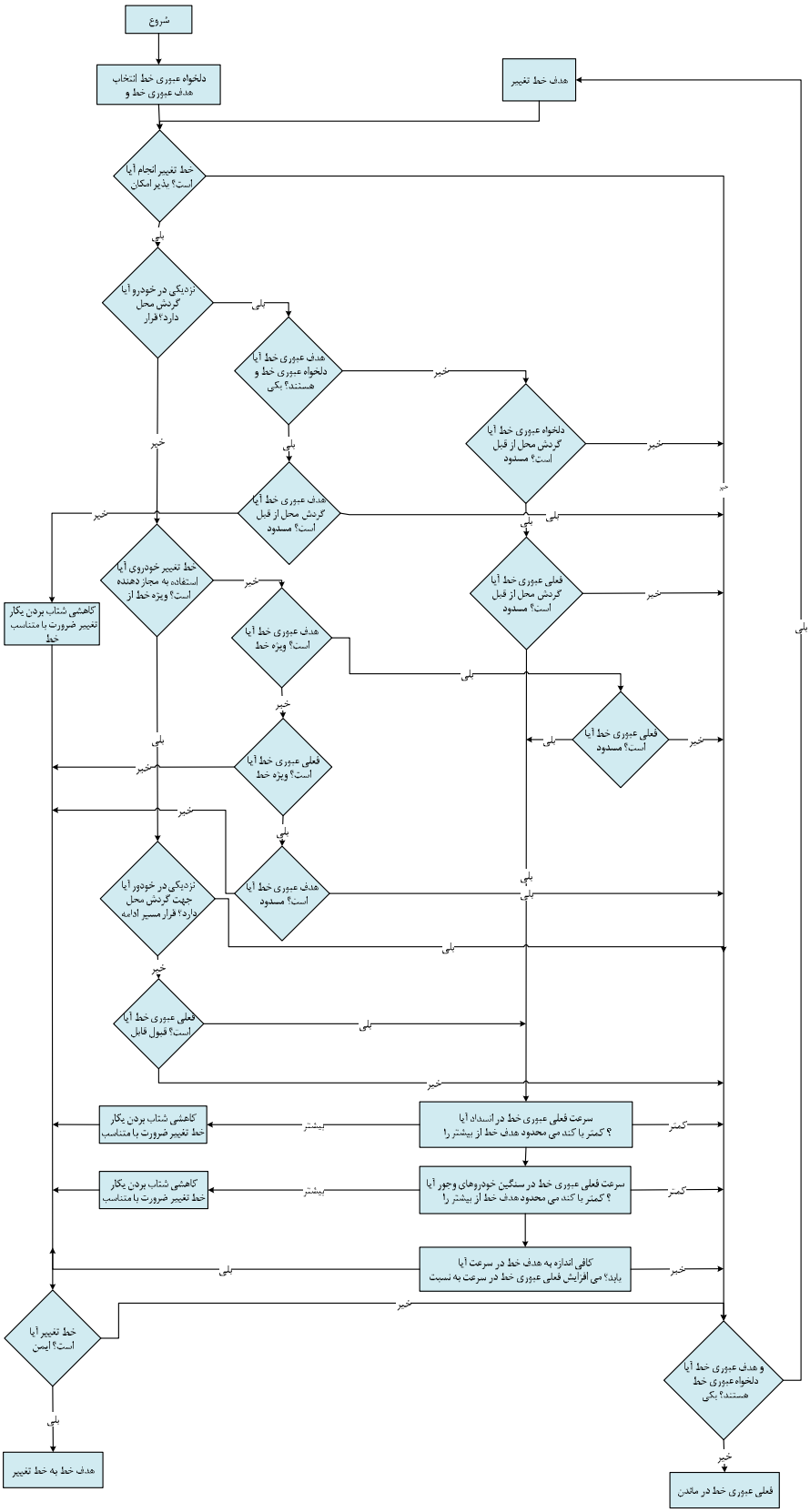
در نرم‌افزار Aimsun خطوط عبوری یک معبر به ترتیب از لبه کناری به میانه شمارگذاری می شود (در این مثال از ۱، خط مجاور لبه، تا ٤، خط عبوری مجاور میانه). سپس برای هر راننده خط عبوری مقدم[۱] (l_p) و خط عبوری هدف[۲] (l_t) بر اساس موقعیت خط عبوری فعلی (l_n) تعیین می شود. خط عبوری مقدم، خط عبوری مجاور با خط عبوری فعلی بوده و در جهتی که در نهایت راننده به منظور ادامه دادن مسیر خویش تمایل به گردش به آن جهت دارد، در نظر گرفته شده و به صورت رابطه (۱۸) تعریف می شود؛

$$l_p = \begin{cases} l_n - 1 & \text{برای رانندگانی که تمایل به گردش به سمت لبه را دارند} \\ l_n + 1 & \text{برای رانندگانی که تمایل به گردش به سمت میانه را دارند} \end{cases} \qquad (۱۸)$$

خط عبوری هدف، به عنوان خط عبوری که در گام زمانی فعلی راننده تمایل به تغییر خط دادن به آن دارد، تعریف می شود. این خط در ابتدا مشابه خط عبوری مقدم در نظر گرفته شده و در صورتی‌که تغییر خط به آن غیر ممکن و یا نامطلوب تشخیص داده شود، خط عبوری مجاور دیگر به عنوان خط عبوری هدف جدید در نظر گرفته می شود. با این توضیحات با توجه به اینکه خودروی قرمز رنگ قصد خروج از معبر اصلی از طریق رمپ را دارد، جهت گردش نهایی به سمت راست بوده و لذا خط عبوری [۲] به عنوان خط عبوری مقدم و همچنین خط عبوری هدف انتخاب می‌شود.

[۱] Preferred lane

[۲] Target lane



شکل ۹- درخت تصمیم در مدل تغییر خط Gipps

- **امکان پذیر بودن اجرای مانور تغییر خط**

اولین سوالی که راننده شبیه سازی شده در فرآیند تصمیم گیری جهت اجرای مانور تغییر خط در نظر می گیرد، امکان پذیر بودن و یا غیر ممکن بودن اجرای مانور تغییر خط به خط عبوری هدف است. جهت بررسی امکان‌پذیر بودن چنین مانوری در گام اول به خودروی تغییر خط دهنده شتابی مساوی با دو برابر شتاب کاهشی که راننده در شرایط نرمال مورد استفاده قرار می دهد، اختصاص داده می شود. اگر خودروی جلویی در خط هدف به عنوان خودروی پیش‌رو و خودروی تغییر خط دهنده به عنوان خودروی پیرو در نظر گرفته می شود، بر اساس رابطه مدل شتاب بکار رفته در نرم‌افزار Aimsun در شرایط مقید ترافیکی (شرایطی که راننده تحت تأثیر خودروی جلویی قرار دارد) است، سرعت خودروی تغییر خط دهنده در گام زمانی بعدی محاسبه می شود.

$$v_n(t+\tau) \le b_n\tau + \sqrt{(b_n{}^2\tau^2 - b_n(2[x_{n-1}(t) - s_{n-1} - x_n(t)] - v_n(t)\tau - \frac{v_{n-1}{}^2(t)}{\hat{b}_{n-1}}} \qquad (۱۹)$$

که در آن؛

b_n= حداکثر شتابی که راننده تعقیب کننده (n) به منظور جلوگیری از تصادف تمایل به بکارگیری آن دارد (m/s^2) (در نرم‌افزار شبیه ساز *Aimsun* همان *Normal Deceleration* می باشد)؛

$\hat{b}_{n-1}$ = تخمین راننده خودروی تعقیب کننده از حداکثر شتاب کاهشی که راننده خودروی پیش‌رو بکار می‌گیرد.

s_{n-1} = طول موثر خودروی پیرو (طول خودرو به اضافه یک حاشیه اطمینان)؛

$x_n(t)$ = موقعیت خوروی n در زمان t ؛

$x_{n-1}(t)$ = موقعیت خورو $n-1$ در زمان t ؛

$v_n(t)$ = سرعت خودروی پیرو (m/s)؛ و

$v_{n-1}(t)$ = سرعت خودروی پیشرو (m/s) می باشد.

سپس بر اساس سرعت محاسبه شده از طریق مدل تعقیب خودرو، شتاب کاهشی که بایستی توسط خودروی تغییر خط دهنده به منظور اجتناب از برخورد مورد استفاده قرار گیرد، بر اساس رابطه (۲-۲۰) محاسبه می‌گردد.

(۲۰-۲)

$$\hat{b_n} = \frac{(v_n(t+\tau) - v_n(t))}{\tau}$$

که در آن:

$v_n(t)$ = سرعت خودروی تغییر خط دهنده در گام زمانی t (m/s)؛

$v_{n-1}(t+\tau)$= سرعت خودروی تغییر خط دهنده در گام $t+\tau$ (m/s) و

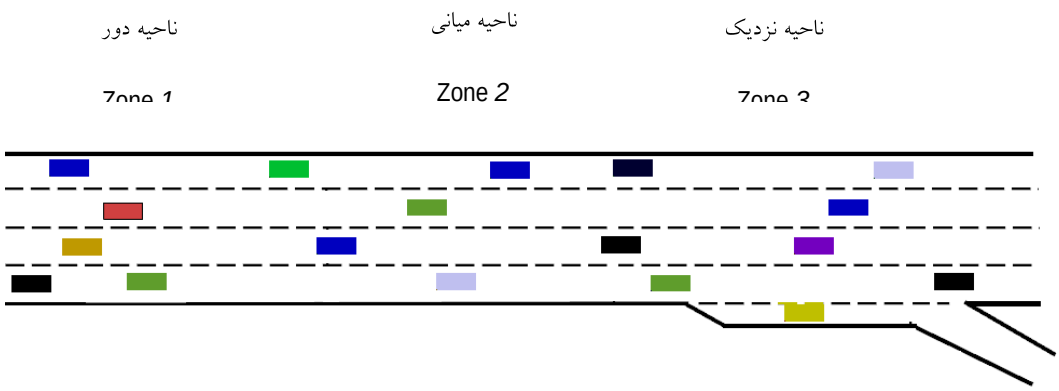
τ = گام زمانی شبیه سازی بر حسب ثانیه می باشد.

شتاب تخمین زده شده با شتاب کاهشی اختصاص داده شده به خودروی تغییر خط دهنده (دو برابر شتاب نرمال خودروی تغییر خط دهنده) مقایسه می شود.

در گام بعدی شتاب کاهشی خودروی تغییر خط دهنده به شتاب نرمال بازگردانده شده و رابطه‌های (۲-۱۹) و (۲-۲۰) در شرایطی که خودروی تغییر خط دهنده به عنوان خودروی پیش‌رو و خودروی عقبی در خط هدف به عنوان خودروی پیرو در نظر گرفته می شود، مورد استفاده قرار می گیرد. سپس شتاب کاهشی محاسبه شده برای خودروی عقبی با شتاب نرمال این خودرو مقایسه می شود و در نهایت در صورت قابل قبول بودن هر دو شتاب، اجرای مانور تغیر خط امکان پذیر در نظر گرفته می شود.

- **رفتار راننده در نزدیکی نقطه گردش**

در صورتی که در مرحله قبل اجرای مانور تغییر خط امکان پذیر باشد. در این مرحله رفتار تغییر خط راننده با توجه به فاصله تا نقطه گردشی تعیین می شود. به این منظور همانگونه که در بخش مروری به ادبیات گذشته به آن اشاره شده با توجه به نقطه گردشی راننده، مطابق شکل (۱۰) سه ناحیه به عنوان نواحی نزدیک، میانی و دور در نظر گرفته می شود.



شکل ۱۰ - نواحی در نظر گرفته شده در مدل تغییر خط Aimsun جهت تعیین نوع مانور تغییر خط

برای تعیین این سه ناحیه در نرم‌افزار Aimsun دو پارامتر؛ فاصله تا ناحیه ۱[۱] و فاصله تا ناحیه ۲[۲] مورد استفاده قرار می گیرد. با تعریف این نواحی در صورتی که راننده در ناحیه دور قرار داشته باشد، نقطه گردشی راننده بر روی رفتار تغییر خط راننده تأثیر نداشته و راننده تنها تغییر خط را به منظور کسب مزیت نظیر افزایش سرعت و یا فرار از قرار گرفتن در پشت وسایل نقلیه سنگین انجام می دهد. در صورتی که راننده در ناحیه میانی قرار داشته باشد، نقطه گردشی راننده بر روی رفتار تغییر خط راننده تأثیر گذار بوده و در این ناحیه، راننده تلاش می‌نماید تا به خط عبوری صحیحی که او را به نقطه گردشی خود متصل می نماید، تغییر خط داده و از تغییر خط دادن به خطوط دیگر اجتناب می‌نماید. در این ناحیه، راننده تغییر خط خویش را بدون تأثیر گذاری بر خودروی عقبی در خط هدف و مجبور نمودن او به توقف و یا کاهش سرعت انجام می دهد.

در ناحیه نزدیک، راننده از هر فرصتی جهت قرار گرفتن در خط عبوری صحیح استفاده می‌نماید. در صورتیکه تراکم ترافیک زیاد باشد و وی فرصت مناسب جهت اجرای مانور تغییر خط را پیدا نکند، به تدریج سرعت خودرو را کاهش داده و توقف می نماید. در این شرایط راننده ممکن است خودروهای پیرو در خط هدف را به منظور ایجاد فرصت جهت اجرای مانور تغییر خط تحت تاثیر قرار داده و آنها را مجبور به کاهش سرعت و حتی توقف نماید.

- **ضرورت تغییر خطوط عبوری**

در صورتی که خودرو در خط عبوری صحیح خود قرار نداشته باشد، همچنان که به خط عبوری متصل به نقطه گردشی خویش نزدیک می گردد، ضرورت اجرای مانور تغییر خط افزایش می یابد. این احساس ضرورت در اجرای مانور تغییر خط در مدل تغییر خط Aimsun به صورت تمایل راننده جهت شدیدتر ترمز نمودن و پذیرش فرصت های کوچکتر منعکس می شود. به این صورت که شتاب کاهشی مورد پذیرش راننده از زمان قرار گرفتن در ناحیه نزدیک تا رسیدن به نقطه گردشی مورد نظر به صورت رابطه (۲۱) تا دو برابر افزایش می یابد.

$$b_n = \left[2 - (D_n - x_n(t))/10V_n\right] b_n^* \qquad (۲۱)$$

که در آن ؛

$X_n(t)$ = موقعیت خودروی n؛

D_n = موقعیت نقطه گردشی؛

V_n = سرعت مطلوب (آزاد) راننده (m/s) و

---

[۱] Distance Zone ۱

[۲] Distance Zone ۲

b_n^* = حداکثر شتاب ممکن برای خودرو (m/s^2)

- **رفتار راننده در فاصله میانی**

در صورتی که راننده در فاصله دوری از نقطه گردشی خود قرار داشته باشد، جهت گردش مورد نظر راننده، تأثیری بر روی رفتار تغییر خط عبوری او نخواهد داشت. اما در صورتی که راننده در فاصله نه دور و نه نزدیک (میانی) از نقطه گردشی خود قرار داشته باشد، جهت نهایی گردش به تدریج شروع به تأثیر گذاری بر روی رفتار راننده می‌نماید. به منظور در نظرگیری این تأثیر، هنگامی که راننده در فاصله میانی از نقطه گردشی خود قرار دارد، خط عبوری هدف در صورتی قابل پذیرش است که با خط عبوری مقدم یکسان بوده و یا خط عبور فعلی، خط عبوری مجاور لبه و یا خط عبوری مجاور میانه باشد. به عبارت دیگر خط هدف در صورتی قابل قبول است که؛

$$(l_p - l_t)(l_n - 1)(l_n - N) = 0 \qquad (۲۲)$$

که در آن؛

l_p = خط عبوری مقدم؛

l_t = خط عبوری هدف؛

l_n = خط عبوری فعلی و

N = تعداد خطوط عبوری یک معبر می باشد.

- **مزیت نسبی خط عبوری هدف و خط عبوری فعلی**

در صورتی که هیچ یک از عوامل در نظر گرفته شده تا این مرحله از فرآیند تصمیم گیری، راننده شبیه سازی شده را مجبور به اتخاذ تصمیم جهت انجام مانور تغییر خط ننماید، راننده وارد مرحله تغییر خط احتیاطی شده و جهت تصمیم گیری در ارتباط با تغییر خط عبوری مزیت های نسبی خط عبوری فعلی و خط عبوری هدف را در نظر می‌گیرد. به این منظور راننده انسدادهای موجود در خط عبوری فعلی و هدف را مورد بررسی قرار داده و خط عبوری که انسداد موجود در آن بر اساس رابطه (۲۲) کمترین تأثیر را بر روی سرعت او دارد، انتخاب می نماید.

- **تأثیر وسایل نقلیه سنگین**

در صورتی که تأثیر انسداد های موجود در خط عبوری هدف و خط عبوری فعلی یکسان بوده و یا خارج از افق دید راننده قرار داشته باشد، بررسی مزیت نسبی خط عبوری فعلی و خط عبوری هدف بر اساس خودروهای سنگین موجود در این خطوط صورت می گیرد. به این صورت که راننده، خودوری سنگین بعد از خود را در خط عبوری هدف و خط عبوری فعلی را به عنوان خودروی پیشرو در مدل تعقیب خودروی نرمال در نظر گرفته و خط

عبوری که سرعت بیشتری برای راننده ممکن می سازد را به عنوان خط عبوری مناسب انتخاب می نماید.

- **تأثیر خودروی پیش‌رو**

در صورتی که راننده شبیه سازی شده به دلیل عدم وجود خودروی سنگین در محیط پیرامونی خویش هنوز در ارتباط با اجرای مانور تغییر خط تصمیم گیری نکرده است، در این بخش، راننده سرعت ممکن در هر خط عبوری را در نظر گرفته و در صورتی که انجام مانور تغییر خط امکان سرعت بیشتری را برای او فراهم نماید، انجام مانور تغییر خط را در نظر می گیرد. مزیت مورد انتظار راننده در این شرایط به خط عبوری فعلی، خط عبوری هدف و نوع خودرو بستگی دارد. برای تعریف این مزیت در نرم‌افزار Aimsun دو پارامتر؛ درصد سبقت[۱] و در صد بازیابی[۲] تعریف می‌شود که درصد سبقت درصدی از سرعت مطلوب وسیله نقلیه پیرو است که چنانچه خودروی پیش‌رو با کمتر از آن سرعت حرکت کند، ممکن است وسیله نقلیه پیرو تصمیم به سبقت گرفتن از پیش‌رو بگیرد. به عبارت دیگر، وقتی وسیله نقلیه پیش‌رو نسبت به درصد سبقت سرعت مطلوب پیرو[۳]، آهسته تر حرکت می کند، وسیله نقلیه پیرو سعی می کند که از آن سبقت بگیرد و درصد بازیابی درصدی از سرعت مطلوب وسیله نقلیه است که چنانچه سرعت خودروی پیرو بیش از آن شود، خودرو ممکن است تصمیم بگیرد به خط آهسته‌تر برگردد. به این معنی که هنگامی که وسیله نقلیه پیش‌رو تندتر از درصد بازیابی سرعت مطلوب پیرو حرکت کند، وسیله نقلیه پیرو تلاش خواهد کرد که به خط سمت راست برگردد.

- **ایمنی**

زمانی که راننده شبیه سازی شده جهت انجام مانور تغییر خط تصمیم گیری نمود، تنها مورد باقیمانده بررسی امکان انجام مانور تغییر خط به صورت ایمن است. بررسی ایمنی مانور تغییر خط در آخرین مرحله به این دلیل است که ایمنی مورد نظر برای رانندگان بسته به دلیل انجام مانور تغییر خط و ضرورت درک شده در ارتباط با این نوع تغییر خط متفاوت می باشد. به عنوان مثال راننده ای که در نزدیکی نقطه گردشی خود قرار داشته و هنوز به خط عبوری مقدم خود نرسیده است، فرصت های کمتری را نسبت به راننده ای که تغییر خط را تنها برای افزایش اندکی در سرعت خویش انجام می دهد، می پذیرد. به این منظور، شتاب کاهشی تحمیل شده به خودروی تغییر خط دهنده توسط خودری پیش‌رو در خط هدف و شتاب کاهی تحمیل شده توسط خودروی تغییر خط دهنده به

---

[۱] Percentage Overtake

[۲] Percentage Recover

[۳] .Percent Overtake of the follower‘s desired speed

خودروی پیرو در خط هدف توسط مدل تعقیب خودرو محاسبه شده و با شتاب کاهشی اختصاص داده شده به آنها مقایسه می شود.

- **تغییر خط عبوری هدف**

در صورتی که راننده انجام مانور تغییر خط به خط عبوری مقدم را نپذیرد، راننده انجام مانور تغییر خط در جهت مخالف را در نظر گرفته و بر اساس آن خط عبوری هدف را تغییر می دهد.

بر اساس توضیحات ارائه شده، شکل (۱۱) پارامترهای اصلی تأثیرگذار در رفتار تغییر خط عبوری رانندگان در نرم‌افزار Aimsun را نشان می دهد. در ادامه هریک از این پارامترها معرفی و چگونگی برآورد آنها بیان می‌شود.

فاصله تا ناحیه ۱ : این فاصله در واقع فاصله زمانی از انتهای ناحیه یک تا نقطه گردشی مورد نظر راننده است. این فاصله بر اساس محدودیت سرعت مقطع و سرعت مطلوب هر خودرو در مقطع در حال حرکت بر اساس رابطه (۲۳) به طول بر حسب متر تبدیل می شود.

$$D_m = D_t \cdot S_{\lim it}(s).\left[\frac{S_{\lim it}(s)}{v_{\max(i,s)}}\right] \qquad (۲۳)$$

که در آن :

D_m = فاصله به متر ؛

D_t = فاصله به ثانیه ؛

$S_{limit}(s)$ = محدودیت سرعت در مقطع s (m/s)؛ و

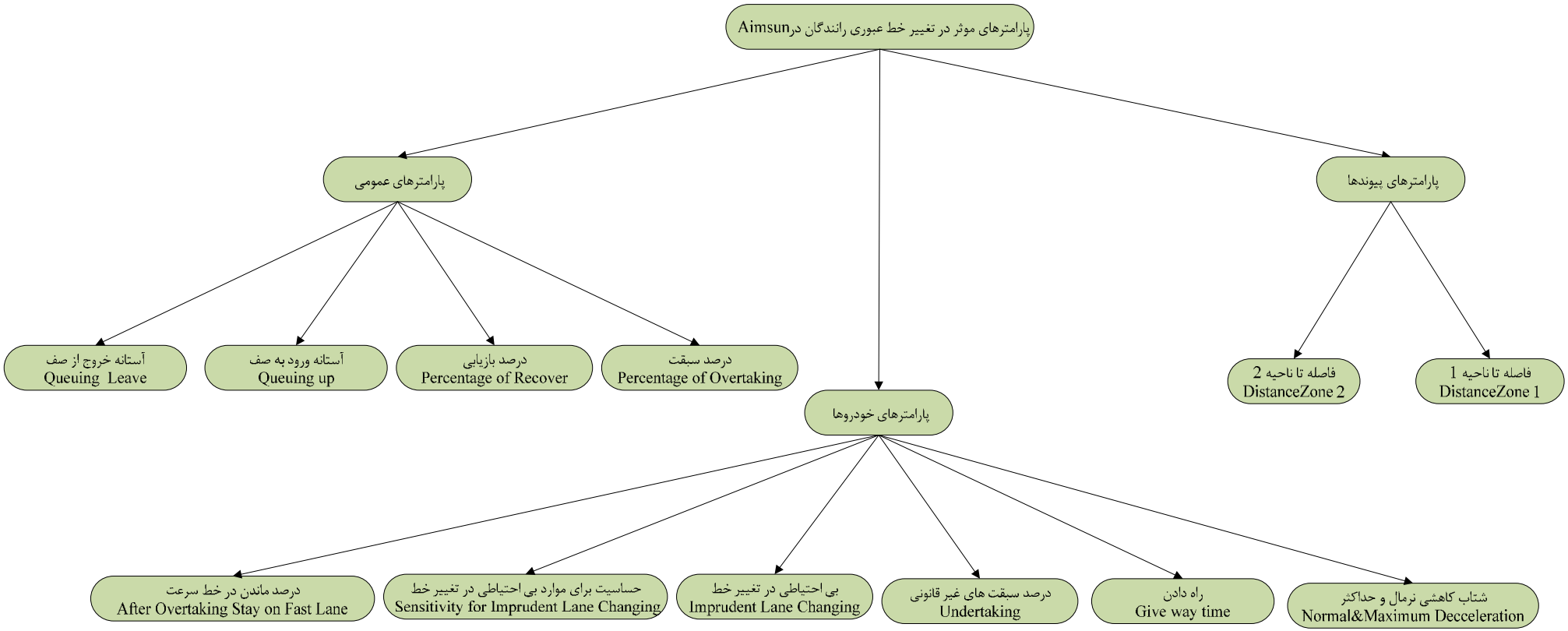
$v_{max}(i,s)$ = سرعت مطلوب (m/s) خودروی i درمقطع یا گردش s می‌باشد که براساس رابطه (۲٤) محاسبه می‌شود.

$$v_{\max(i,s)} = Min\left\{\theta \times S_{\lim it}(s), V_{dn}\right\} \qquad (۲٤)$$

که در آن ؛

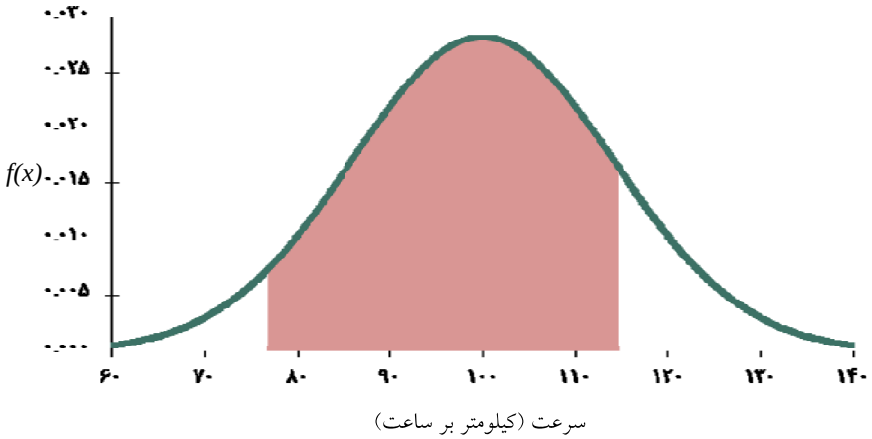
θ = میزان تبعیت رانندگان از محدودیت سرعت ؛ و

V_{dn} = سرعت مطلوب راننده n (m/s) است.



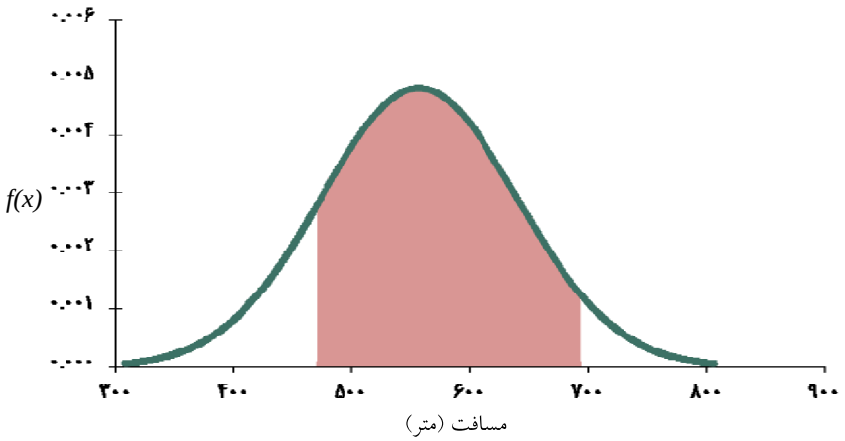
شکل ۱۱- پارامترهای موثر در مدل تغییر خط عبوری نرم‌افزار Aimsun

محاسبه ناحیه مسافتی به این شیوه باعث می شود تا حدودی یک ناهمگنی در رفتار رانندگان در نظر گرفته شده و مانور تغییر خط بر اساس خصوصیات رفتاری راننده در طول گسترده ای توزیع یابد. به عنوان مثال فرض نمایید توزیع سرعت رانندگان در مقطع بالادست یک شیب راهه خروجی به صورت شکل (۱۲) دارای توزیع نرمال با میانگین ۱۰۰ و انحراف معیار ۱٤.۵ باشد.



شکل ۱۲- توزیع سرعت در مقطع بالادست یک شیب راهه خروجی

در صورتی که مقدار پارامتر فاصله تا ناحیه یک برابر ۲۰ ثانیه در نظر گرفته شود، برای رانندگان مختلف، توزیع مسافتی فاصله به صورت شکل (۱۳) با میانگین ۵۵۷ متر و انحراف معیار ۸۳ متر در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱۳ - توزیع مسافتی ناحیه یک

به منظور تعیین این آستانه، متناسب با رفتار ترافیکی رانندگان ایرانی در هنگام اجرای مانور تغییر خط به این صورت عمل شده است که بر اساس مفهوم این آستانه که در واقع تعیین کننده ناحیه دور (با توجه به شکل (۱۰)) در مدل تغییر خط نرم‌افزار Aimsun می‌باشد و با در نظر گرفتن اینکه رانندگان پس از عبور از این آستانه تمایل به تغییر خط دادن به خط عبوری صحیح بدون ایجاد اختلال در حرکت خودروی عقبی در خط عبوری صحیح دارند و تنها در صورت نامناسب تر بودن شرایط ترافیکی در خط عبوری صحیح نسبت به خط عبوری فعلی در خط عبوری فعلی باقی می مانند، لذا در واقعیت در یک معبر با سطح سرویس بالا (A و B) با توجه به یکسان بودن شرایط ترافیکی در تمام خطوط عبوری، رانندگان پس از عبور از این آستانه بلافاصله شروع به اجرای مانور تغییر خط به خط عبوری صحیح می‌نمایند. لذا زمان شروع مانور تغییر خط در سطوح سرویس بالا تا رسیدن به نقطه گردشی، فاصله راننده تا ناحیه یک (شکل (۱۰)) را نشان می‌دهد.

فاصله تا ناحیه ۲ : این فاصله، در واقع فاصله زمانی از انتهای ناحیه دو تا نقطه گردشی مورد نظر راننده در نظر گرفته می شود. سپس این فاصله بر اساس محدودیت سرعت مقطع و سرعت مطلوب هر خودرو در مقطع در حال حرکت بر اساس رابطه (۲-۲۳) به طول بر حسب متر تبدیل می شود.

از لحاظ مفهومی تا قبل از این ناحیه، تلاش های راننده جهت قرار گرفتن در خط عبوری صحیح بدون توقف و ایجاد اختلال در جریان ترافیک در خط عبوری صحیح صورت می پذیرفت. با عبور از این آستانه راننده از هر فرصتی جهت قرار گرفتن در خط عبوری صحیح استفاده نموده و به این منظور شتاب کاهشی بالاتری را می پذیرد و در صورتی که نتواند در خط عبوری صحیح قرار گیرد به تدریج سرعت خویش را کاهش داده و حتی توقف می نماید.

همچنان که در ابتدای این بخش عنوان گردید، به منظور عملکرد بهتر مدل تغییر خط گیپس، اصلاحاتی در ارتباط با این مدل، در نرم‌افزار Aimsun صورت گرفته و پارامترهای جدیدی به مدل اضافه شده که در ادامه به طور اجمالی به آن پرداخته می شود.

- حداکثر زمان راه دادن[۱]: این پارامتر بر اساس نوع کاربرد در مدل های مختلف، منجر به عملکردهای متفاوتی می شود. به عنوان نمونه، در ارتباط با مانور تغییر خط در شرایطی که راننده در نزدیکی نقطه گردشی خود در یک رمپ خروجی قرار داشته و به دلیل تراکم ترافیکی بالا نتواند به خط عبوری صحیح تغییر خط دهد، سرعت خویش را کاهش داده و در نزدیکی نقطه گردشی توقف می نماید. نحوه رفتار

[۱]. این پارامتر که تحت عنوان Maximum Giveway Time شناخته می شود، به صورت حداکثر زمان توقف راننده به منظور بدست آوردن فرصت برای ادامه دادن مسیر خود پیش از بروز رفتار های غیر ایمن تعریف می شود.

راننده در این شرایط به وسیله این پارامتر تعیین می شود به طوری که بعد از سپری شدن این زمان در صورتی که راننده فرصت مناسب جهت اجرای مانور تغییر خط را پیدا ننماید، رفتار عصبی از راننده بروز کرده[۱] (اصطلاحاً پرخاشگر شده) و اقدام به اجرای مانور تغییر خط، حتی در شرایط غیر ایمن می‌نماید. بدین ترتیب احتمال پذیرش فرصت‌های کمتر برای انجام تغییر خط از سوی راننده (به رغم کاهش سطح ایمنی) افزایش می‌یابد.

- موارد بی احتیاطی در مانور تغییر خط[۲]: این پارامتر در واقع درصد مواردی که یک راننده با وجود غیر ایمن بودن فرصت در خط هدف، اقدام به اجرای مانور تغییر خط می نماید را مشخص می‌کند.
- حساسیت برای موارد بی احتیاطی در تغییر خط[۳]: در هنگام اجرای مانور تغییر خط در شرایط غیر ایمن بودن فرصت در خط هدف، فرصت ناایمن توسط این پارامتر تعیین می‌شود.
- درصد ماندن در خط سرعت[٤]: این پارامتر درصد خودروهایی که بعد از مانور سبقت در خط سرعت باقی می‌مانند را تعیین می‌نماید.
- درصد سبقت های غیر قانونی[٥]: این پارامتر درصد مواردی که یک خودرو از قانون تبعیت نکرده و از خط عبوری سمت راست جهت سبقت گرفتن استفاده می‌نماید را تعیین می‌کند.
- آستانه سرعت قرار گرفتن در صف[٦]: این پارامتر جهت تعیین آستانه قرار گرفتن خودروها در صف مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طوری که خودروهایی که دارای سرعت کمتری نسبت به مقدار این پارامتر هستند، به عنوان خودروهای متوقف در نظر گرفته می‌شوند. این پارامتر در مدل تغییر خط جهت تعیین وضعیت توقف خودروها و حداکثر زمان راه دادن مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- آستانه سرعت خروج از صف[۷]: این پارامتر جهت تعیین آستانه خروج خودروها از صف مورد استفاده قرار می‌گیرد به طوری که خودروهایی که دارای سرعتی بیشتر از مقدار این پارامتر باشند به عنوان خودروهای در حال حرکت در نظر گرفته می شود. این پارامتر در مدل تغییر خط جهت تعیین وضعیت توقف

---

[۱] agressiveness

[۲] Imprudent Lane changing Cases

[۳] Sensitivity for Imprudent Lane changing

[٤] After overtaking stay on Fast Lane

[٥] Under taking Cases

[٦] Queuing Up Speed

[۷] Queue Leaving Speed

خودروها و حداکثر زمان راه دادن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲ -۲ - مدل نگاه به جلو[1] در نرم‌افزار Aimsun

بر اساس مدل تغییر خط مورد استفاده در نرم‌افزار Aimsun، خودروی در حال حرکت در یک معبر از نقطه گردشی خود آگاهی داشته و متناسب با فاصله تا آن نقطه گردشی در ارتباط با مانور تغییر خط تصمیم گیری می نماید و زمانی که به انتهای خط می رسد این حرکت گردشی انجام می شود. در شبکه معابر شهری که تقاطعات در نزدیکی یکدیگر قرار داشته و در نتیجه طول معابر میانی کوتاه است و یا در مقاطع آزادراهی با طول تداخلی نسبتاً کوتاه این امکان وجود دارد که تعدادی از خودروها قادر به رسیدن به خط عبوری متصل به نقطه گردشی نباشند، لذا یا در نزدیکی نقطه گردشی به منظور بدست آوردن فرصت جهت انجام مانور تغییر خط توقف نموده و یا نقطه گردشی را از دست داده و به عنوان خودروی گم شده[2] در نظر گرفته می شود. این وضعیت معمولاً در شرایط متراکم ترافیکی و زمانی که راننده تنها اولین نقطه گردشی خود را در تصمیم گیری جهت انجام مانور تغییر خط در نظر می گیرد، اتفاق می افتد.

اگرچه تنظیم برخی پارامترهای زیر مدل های بکار رفته در نرم‌افزار مانند نواحی تغییر خط، گام شبیه سازی، نرخ شتاب و غیره، می تواند اجرای مانور تغییر خط را تسهیل نموده و تعداد خودروهای گمشده در چنین موقعیت هایی را کاهش دهد، اما تنظیم این پارامترها کافی نبوده و به منظور بهبود عملکرد مدل شبیه سازی شده از مدل نگاه به جلو استفاده می شود. این مدل در واقع تعداد نقاط گردشی که راننده در هنگام انتخاب خط عبوری در نظر می گیرد را تعیین می کند. به منظور نشان دادن و روشن‌تر شدن موضوع، این مدل به همراه مثالی شرح داده می شود.

فرض کنید مطابق شکل (١٤) خودروی A در خط عبوری یک از مقطع سه در حال حرکت بوده و جهت رسیدن به مقصد خود بایستی وارد مقطع ٤ شود. در صورت در نظر نگرفتن مدل نگاه به جلو، خودرو A تنها حرکت گردشی بعدی خود را که از مقطع ۳ به مقطع ۲ است در نظر گرفته و از آنجا که انجام این گردش از خط عبوری سمت راست امکان پذیر است، به حرکت خود در این خط عبوری ادامه می دهد. با انجام این گردش و وارد شدن خودرو به مقطع ۲، راننده در می یابد که برای ادامه دادن مسیر بایستی از مقطع ۲ به مقطع ٤ تغییر مسیر دهد. بنابراین به جستجوی فرصت مناسب پرداخته، و تلاش می کند به آخرین خط عبوری سمت چپ تغییر خط دهد.

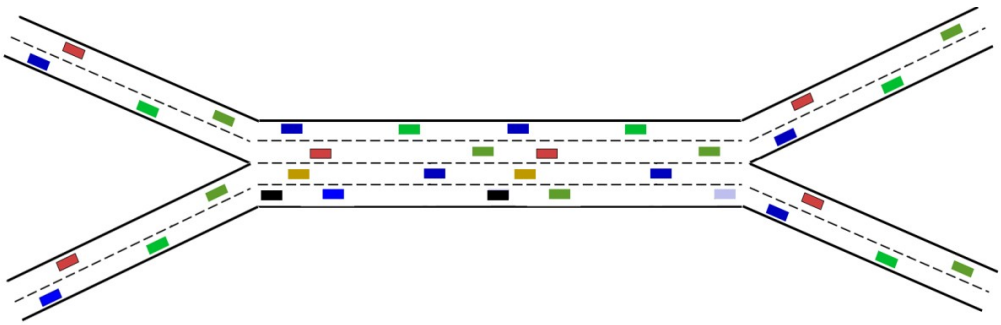
---

[1] Lookahead

[2] Lost Vehicle

این مورد برای خودروB و C هم که مجبورند با انجام حداقل دو مانور تغییر خط خود را به خط عبوری مناسب جهت رسیدن به مقطع ٤ و ٥ برسانند نیز وجود دارد.

لازم به ذکر است مطابق شکل (١٤) ناحیه ٣ از مقطع ٢ در واقع در طولی بیشتر از طول مقطع ٢ گسترش می‌یابد. ممکن است تصور شود که خودروهایی که در مقطع ١ و ٣ در حال حرکت بوده و همچنین در داخل ناحیه ٣ از مقطع ٢ قرار دارند، بایستی بر اساس حرکت گردشی مقطع ٢ به ٤ یا ٥ رفتار نمایند. با این وجود در شرایط عدم در نظر گرفتن مدل نگاه به جلو، چون همه خودروها تنها از گردش اول خود اطلاع دارند، تنها زمانی که وارد مقطع ٢ می شوند، تشخیص می‌دهند که در ناحیه ٣ بوده و در آن نقطه رسیدن به خط گردش مناسب ضروری است.

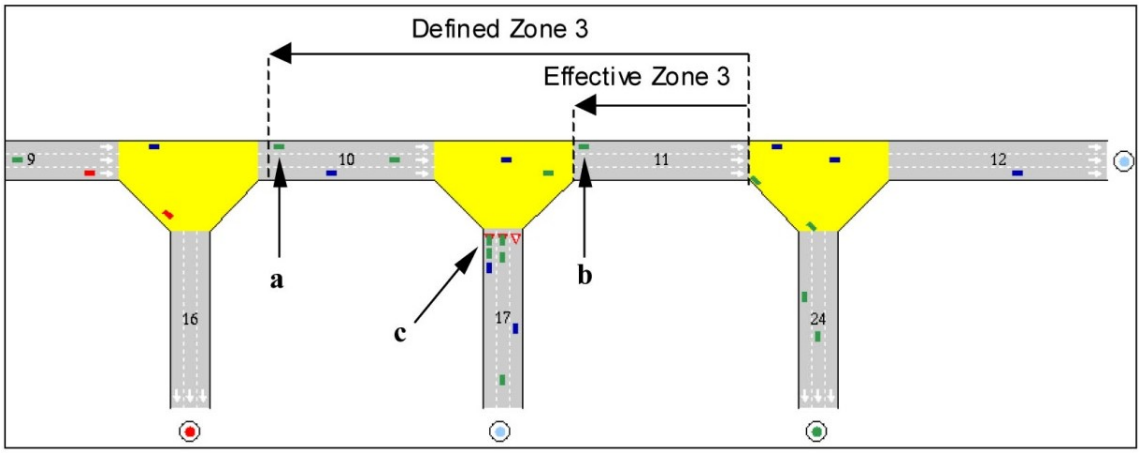


ناحیه تعریف شده ٣

شکل ١٤ - مقطع تداخلی بدون در نظر گرفتن مدل نگاه به جلو

شکل (١٥) شبیه سازی انجام شده برای یک ناحیه شهری که در آن تقاطعات متوالی در فاصله کمی از یکدیگر قرار دارند را نشان می‌دهد. در این مثال خودروها تنها می توانند با استفاده از خط عبوری سمت راست حرکت گردش به راست را انجام دهند. خودرو a در مقطع ١٠ برای رسیدن به مقصد لازم است که در تقاطع دوم به سمت راست گردش نموده و به مقطع ٢٤ که کمتر از ٢٠٠ متر با او فاصله دارد وارد شود در حالی که هنوز در خط عبوری سمت چپ در حال حرکت است. حتی خودرو b که قرار است در تقاطع بعدی به سمت راست گردش نماید، در خط عبوری سمت چپ در حال حرکت است. دلیل چنین رفتاری این است که خودرو b تازه وارد مقطع ١١ شده و زمان کافی برای تغییر خط را نداشته است. همچنین، خودرو c که در خط چپ مقطع ١٧ متوقف شده و

می خواهد به سمت راست گردش نماید برای ادامه دادن مسیر خود بایستی در تقاطع بعدی نیز به سمت راست گردش نماید. با این وجود، به خط سمت چپ مقطع ۱۱ وارد می شود و در موقعیتی شبیه به خودرو b قرار می گیرد. مانند مثال قبل، ناحیه ۳ مقطع ۱۱ تا مقطع ۱۰ گسترش یافته است، اما به دلیل عدم در نظر گیری مدل نگاه به جلو بر تصمیمات تغییر خط راننده در جریان بالادست تأثیری ندارد.



شکل ۱۵- موقعیت شهری بدون در نظر گرفتن مدل نگاه به جلو

این شیوه مدل سازی تصمیم گیری راننده در ارتباط با نقاط گردشی، باعث می شود که خودروها فرصت مناسب جهت قرار گرفتن در خط عبوری صحیح را پیدا نکرده و نقطه گردشی خود را از دست دهند. این امر در هنگام ورود تقاضا با حجم و نسبت گردشی بالا در تقاطعات، منجر به عدم انطباق حجم ورودی و احجام شبیه سازی شده و در هنگام ورود تقاضا از طریق ماتریس وسایل نقلیه منجر به گم شدن خودروها و نرسیدن آنها به مقصدشان می شود.

به منظور اجتناب از این چنین رفتارهایی که در مثال های بالا به آن اشاره شد، در نرم‌افزار Aimsun از مدل نگاه به جلو استفاده می شود که کارکرد اصلی آن کمک به راننده در زودتر رسیدن به خط عبوری صحیح خویش قبل از رسیدن به نقطه گردشی است. ایده اصلی در این مدل این است که راننده علاوه بر نقطه گردشی بعدی از تعدادی از حرکات گردشی بعدی خود که در ادامه مسیر باید انجام دهد نیز اطلاع دارد (این پارامترتوسط کاربر تعیین می شود) و تصمیمات خود را نه تنها بر اساس نقطه گردشی بعدی بلکه بر اساس سایر نقاط گردشی نیز انجام می دهد.

مدل نگاه به جلو موجود در نرم‌افزار شبیه ساز خردنگر Aimsun اساساً به ٤ بخش تقسیم شده است.

۱) در هر زمان، هر خودرو از حرکات گردشی بعدی خود آگاه بوده و بنابراین خودرو از معابر بعدی که بایستی در آنها حرکت نمایید آگاهی کامل داشته و در نتیجه تصمیم گیری در ارتباط با تغییر خط را تحت تأثیر قرار می دهد.
۲) ناحیه تغییر خط ۲ و۳ از هر مقطع به انتهای بالادست مقطع نیز توسعه یافته و در نتیجه جریان بالادست را تحت تأثیر قرار می دهد.
۳) حرکت گردشی بعدی بر روی مانور گردشی (انتخاب خط عبوری در هنگام گردش) موثر بوده و در نتیجه انتخاب خط عبوری مقصد بر اساس گردش بعدی (اول) تعیین می‌شود.
٤) گسترش مانور تغییر خط در یک مسافت طولانی تر از طریق تغییر پذیر بودن نواحی تغییر خط امکان‌پذیر است.

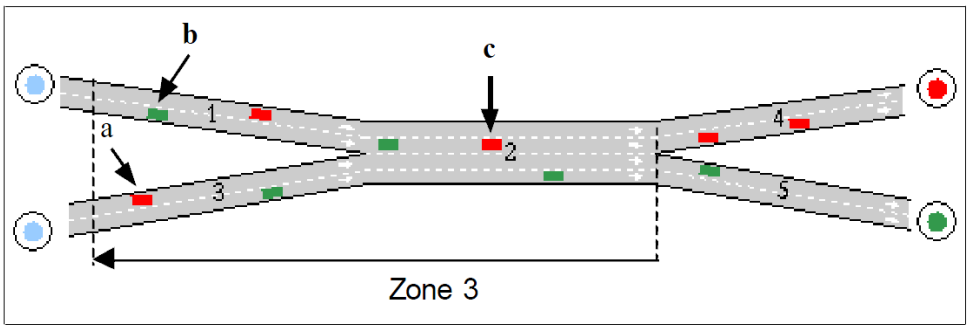
در نرم‌افزار شبیه ساز Aimsun هنگام تولید یک خودرو و ورود آن به داخل شبکه، حداقل دو نقطه گردشی؛ گردش اول و مجموعه گردش های بعد از آن برای این خودرو در نظر گرفته می شود که به این معنی است که راننده از مجموعه معابر متوالی که بایستی برای رسیدن به مقصد از آنها عبور نماید آگاهی کامل دارد. معبر عبوری فعلی، معبر عبوری دوم که به وسیله گردش اول تعیین می شود، سومین معبر که به وسیله معبر دوم و گردش دوم تعیین شده و به همین ترتیب، که این میزان آگهی به پارامتر تعیین شده توسط کاربر بستگی دارد.

هر زمان که خودرو وارد معبر جدیدی می شود گردش جلویی (دوم) به عنوان گردش اول در نظر گرفته شده و یک گردش جلویِ جدید محاسبه می شود. رفتار راننده ای که در ناحیه ۲ یا ۳ از یک مقطع در حال حرکت است عموماً به وسیله اولین گردش پیش‌رو کنترل می شود. بنابراین راننده ابتدا سعی می نماید خود را به خط عبوری که امکان انجام چنین گردشی را فراهم می نماید، برساند. هنگامی که راننده در خط عبوری صحیح خود نسبت به نقطه گردشی قرار گرفت، گردشی های جلویی را مورد توجه قرار داده و در نظر می گیرد. این امر شامل بررسی این موضوع می‌باشد که آیا راننده در ناحیه ۲ و یا ۳ مقطع بعدی که تا این مقطع گسترش داده شده است قرار دارد یا خیر و در صورت قرار داشتن در یکی از این نواحی، راننده تلاش می کند تا بهترین خط عبوری را در مقطع عبوری فعلی به گونه ای پیدا نماید که علاوه بر امکان پذیر بودن گردش اول، منجر به ورود خودرو به خط عبوری صحیح برای گردش‌های جلویی و یا خط عبوری نزدیک به آنها با در نظر گرفتن ملاحظات زیر گردد:

- نگاه به جلو تغییر خط برای اجتناب از خطوط عبوری مسدود
- نگاه به جلو تغییر خط جهت استفاده از خطوط مجاز

- نگاه به جلو تغییر خط برای استفاده از خطوط ویژه اختیاری
- نگاه به جلو تغییر خط برای ایستگاه اتوبوس (این معیار تنها برای خودروهای حمل و نقل عمومی و هنگامی که فاصله خودرو تا ایستگاه کمتر از فاصله تعیین شده بکار می رود).
- نگاه به جلو تغییر خط برای رسیدن به حرکت گردشی جلویی

موارد فوق در مثال ارائه شده در شکل (١٦) نشان داده شده است. در این مثال خودروی a در مقطع ٣ در حال حرکت در خط عبوری سمت چپ جهت ورود به مقطع ٢ است. در این مورد گردش بعدی[١] (اول) از مقطع ٣ به مقطع ٢ و گردش جلویی[٢] (دوم) از ٢ به ٤ در نظر گرفته خواهد شد. بنابر این اگرچه خط عبوری سمت راست نیز خط عبوری مناسبی جهت گردش از مقطع ٢ به ٣ می‌باشد، اما این خط عبوری برای گردش دوم مناسب نیست. رفتار مشابهی نیز در خودروی b دیده می شود که در خودروی b به خط عبوری سمت راست در مقطع یک به منظور آسان‌تر کردن گردش دوم به سمت راست، به خط عبور راست در مقطع ١ تغییر خط می دهد.



شکل ١٦- مقطع تداخلی با مدل نگاه به جلو

- توسعه دادن نواحی ٢و ٣ به عقب

در صورتی که ناحیه ٢ و ٣ از یک مقطع، بزرگتر از طول یک مقطع در نظر گرفته شود، این نواحی به معابر بالادست توسعه می یابند. به منظور عملکرد مناسب مدل نگاه به جلو، تعریف صحیح این مدل ها بسیار حائز اهمیت بوده و در صورتی که نواحی ٢ و ٣ کوچکتر از طول یک مقطع در نظر گرفته شود، مدل نگاه به جلو اجرا نمی شود.

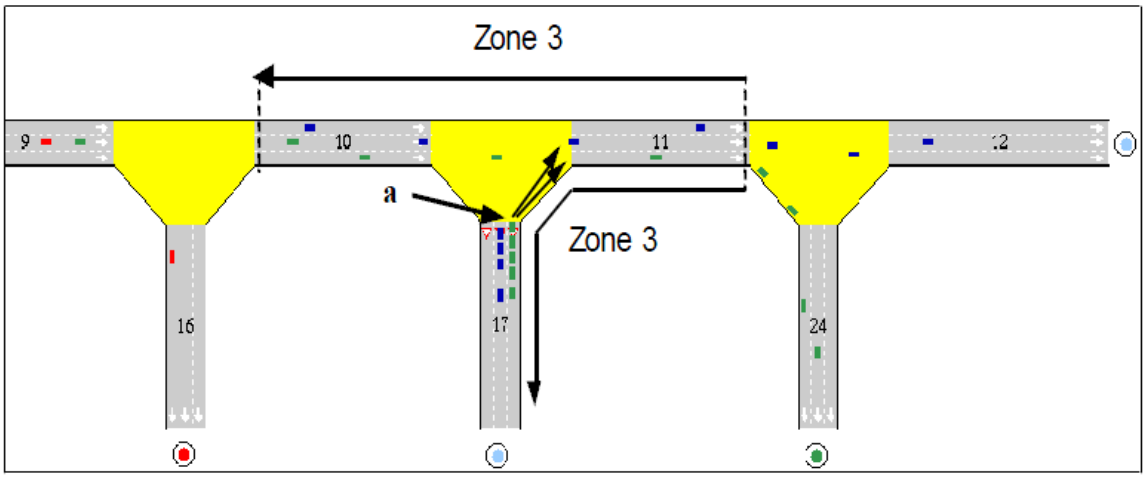
[١] Next turn

[٢] Ahead turn

نحوه توسعه این نواحی در شکل (۱۷) نشان داده شده است.

- مانور های گردشی

هنگام رسیدن خودرو به انتهای یک معبر و وارد شدن به یک تقاطع، ممکن است راننده امکان انتخاب رابط های متفاوتی را داشته باشد. به عنوان مثال در شکل (۱۷) خودروی a قصد گردش به راست از خط عبوری راست مقطع ۱۷ به مقطع ۱۱ را دارد. این راننده می تواند از بین خطوط عبوری مختلف از خط عبوری مقطع بعدی یکی را انتخاب نماید. از آنجا که این خودرو قصد انجام یک گردش به راست در تقاطع بعدی را دارد، خط عبوری سمت راست را جهت ورود به مقطع ۱۱ به جای خط عبوری میانی انتخاب می نماید.



شکل ۱۷ - مانور های گردشی با استفاده از مدل نگاه به جلو

- تغییر پذیری نواحی تغییر خط

هنگامی که یک خودرو از ناحیه ۱ وارد ناحیه ۲ می شود (با توجه به ناحیه‌بندی تعریف شده در شکل (۱۰))، تغییری در رفتار راننده به وجود آمده و گردش بعدی اهمیت می یابد. همچنین حرکت از ناحیه ۲ به ناحیه ۳ همچنان که خودرو به نقطه گردشی خود نزدیک می‌شود، منجر به تغییر تعدادی از قوانین رفتاری شده و انجام تغییر خط ضرورت می یابد. در نرم‌افزار Aimsun به منظور گسترش این تغییرات رفتاری در یک مسافت طولانی‌تر، تغییرپذیری بیشتری برای نواحی تغییر خط در نظر گرفته شده است و این نواحی به طور ویژه برای هر خودرو به

صورت رابطه (۲۵) محاسبه می شود.

$$D_m = D_t . S_{\lim it}(s).\left[\frac{S_{\lim it}(s)}{v_{\max(i,s)}}\right] \qquad (۲۵-۲)$$

که در آن :

D_m = فاصله به متر؛

D_t = فاصله به ثانیه؛

$S_{limit}(s)$ = محدودیت سرعت در مقطع s (واحد m/s)و

$V_{max}(i,s)$ = سرعت مطلوب خودروی i در مقطع یا گردش s می‌باشد (بر حسب m/s) که بر اساس رابطه (۲۶) محاسبه می‌شود.

$$v_{\max(i,s)} = Min\left\{\theta \times S_{\lim it}(s), V_{dn}\right\} \qquad (۲۶)$$

که در آن؛

θ = میزان تبعیت رانندگان از محدودیت سرعت

V_{dn} = سرعت مطلوب راننده n

این روش محاسبه ناحیه مسافتی باعث می شود که تا حدودی یک ناهمگنی در رفتار رانندگان در نظر گرفته شود و خودروهایی که سرعت مطلوب آنها کمتر از محدودیت سرعت مقطع است، نواحی تغییر خط بزرگتری نسبت به خودروهای با سرعت مطلوب بالاتر داشته باشند. این بدان معنی است که به عنوان مثال یک وسیله‌نقلیه سنگین نسبت به یک خودروی سواری، زودتر شروع به مانور تغییر خط جهت رسیدن به خط عبوری صحیح می نماید.

۲ -۳ - مدل تغییر خط در وضعیت On-Ramp

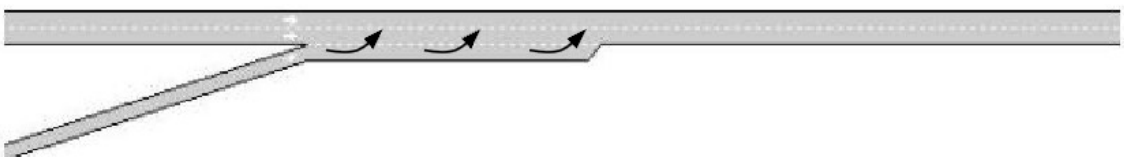
مدل تغییر خط On-Ramp مثال ویژه ای از مدل ساده نواحی ادغام[۱] است. یک مدل تغییر خط خاص برای خودرویی که در خط عبوری On-Ramp در حال حرکت است به منظور مدل نمودن ادغام به جریان بالادست در نظر گرفته می شود. در این شرایط علاوه بر نواحی مسافتی ۱ و ۲ در نظر گرفته شده در مدل تغییر خط که در بخش های قبلی به آن پرداخته شد، می توان یک پارامتر ناحیه ای دیگر تحت عنوان مسافت زمانی On-Ramp برای هر مقطع در نظر گرفت، که به صورت زمان باقیمانده تا رسیدن به انتهای خط عبوری کمکی در ناحیه ادغام تعریف

[۱] Merge Areas

می شود.

خودروهایی که فاصله ای بیشتر از فاصله تعریف شده توسط این پارامتر تا انتهای خط عبوری کمکی را دارند، رفتاری همانند خودروهای قرار گرفته در ناحیه ۱ از یک خط عبوری نرمال را دارند. در صورتیکه این مسافت کمتر از مسافت تعیین شده باشد، خودروی در حال ادغام رفتاری همانند خودروی در حال حرکت در ناحیه ۳ از یک خط نرمال خواهد داشت.

شکل (۱۸) مثالی از ناحیه ادغام به همراه یک خط عبوری کمکی را نشان می دهد که در آن تمام خط عبوری کمکی به صورت On-Ramp در نظر گرفته شده است و لذا خودروها به محض ورود به خط عبوری کمکی برای وارد شدن به جریان اصلی تلاش می کنند. همچنین خودروهای در حال حرکت در جریان اصلی نیز از خط عبوری کمکی به عنوان خط کندرو استفاده نمی نمایند.



شکل ۱۸ -خط عبوری کمکی On-Ramp

از طرف دیگر شکل (۱۹) یک خط عبوری کمکی طولانی در ناحیه ادغام را نشان می دهد که با توجه به طول زیاد این خط عبوری کمکی، همانگونه که در شکل نشان داده شده است تنها بخش انتهایی به عنوان On-Ramp جهت ادغام در نظر گرفته می شود. بخش اول از این خط عبوری به عنوان یک خط عبوری نرمال در نظر گرفته شده و بنابراین خودروهای در حال حرکت در این خط در صورت انجام مانور سبقت ممکن است با جریان اصلی ادغام شوند و یا خودروهای در جریان اصلی ممکن است به منظور استفاده از خط عبوری کمکی به عنوان کندرو وارد این خط شوند. هنگامی که خودرو به فاصله کمتری از فاصله تعریف شده توسط پارامتر مسافت زمانی On-Ramp برسد، راننده تلاش خویش جهت ادغام با جریان اصلی را آغاز می نماید.

شکل ۱۹- خط On-Ramp طولانی

شکل (۲۰) مثال دیگری از خط عبوری کمکی را نشان می دهد که در آن از خط عبوری کمکی به عنوان خط کندرو استفاده می شود. در این شرایط خودروها با فرض کندرو بودن خط عبوری کمکی وارد این خط شده و تا زمان رسیدن به مسافت زمانی On-Ramp از آن استفاده نموده و پس از آن شروع به ادغام با جریان اصلی می‌نمایند.

شکل ۲۰ - خط عبوری کندرو

آخرین مثال ارائه شده در شکل (۲۱) خط عبوری کمکی است که از آن به عنوان خط سبقت استفاده می‌شود. در این حالت در انتهای خط سبقت رفتار ادغام مشابه آنچه که در رمپ جهت ادغام خودرو به جریان اصلی اتفاق می‌افتد، مورد استفاده قرار می گیرد.

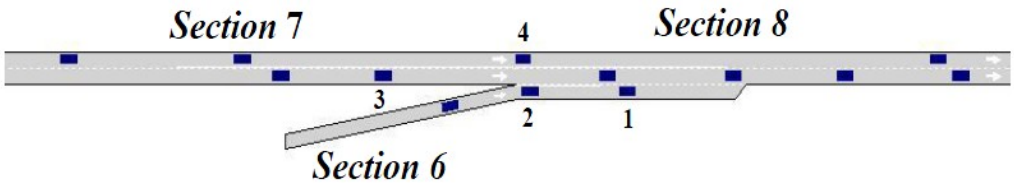
Time Distance on Ramp

شکل ۲۱- خط سبقت

پارامتر دیگری که در مدل On-Ramp مورد استفاده قرار می گیرد، حداکثر زمان راه دادن پیش از عصبی شدن راننده می باشد. هنگامی که خودرو در انتهای خط عبوری کمکی بیشتر از زمان تعیین شده توسط این پارامتر توقف نماید، مدل تغییر خط همانند مواقعی که خودرو در ناحیه ۳ در حال حرکت است، بکار می رود. این امر موجب تأثیرگذاری بر رفتار رانندگان در خط مجاور به منظور فراهم آوردن فرصت مناسب می شود.

به عبارت دیگر یک مدل ویژه برای رانندگانی که در جریان اصلی در حال حرکت بوده و به ناحیه ادغام نزدیک می شوند، مورد استفاده قرار می گیرد. در این شرایط راننده در حال حرکت در ناحیه ۳ از مقطع اصلی که در حال نزدیک شدن به ناحیه ادغام است، ابتدا بررسی می نماید که آیا خودرویی از رمپ در تلاش به ادغام شدن با جریان اصلی می باشد یا خیر. در صورت مثبت بودن پاسخ این سوال، راننده تصمیم می‌گیرد تا به خط عبوری

سمت چپ تغییر خط دهد. نتیجه مدل این است که خودرو برای تغییر خط دادن به خط عبوری خارجی (خط عبوری سمت چپ) جهت تسهیل ورود خوردهای وارد شده از رمپ به ناحیه ادغام تلاش می‌نماید. به عنوان مثال در شکل (۲۲) خودروی شماره ۳ برای تغییر خط دادن به خط عبوری سمت چپ به منظور کمک به خودروهای شماره ۱و ۲ جهت ادغام، تلاش می‌نماید. لازم به ذکر است در این شرایط راننده تنها زمانی به خط عبوری سمت چپ تغییر خط می‌دهد که فرصت مناسب جهت انجام مانور در آن خط وجود داشته باشد.



شکل ۲۲ - مدل On-Ramp

۳ - مدل قبول فرصت

اصولاً مفهوم قبول فرصت زمانی معنی می‌یابد که خودروها در دو جریان ترافیک در نقطه‌ای با یکدیگر تلاقی داشته باشند و این تلاقی به وسیله‌ی چراغ راهنمایی کنترل نشود. نمونه‌های این تلاقی را می‌توان در تقاطعات بدون چراغ (با و بدون تابلوی ایست)، مقاطع همگرایی و حتی در خطوط حرکتی یک مسیر، زمانی که خودرویی قصد انجام مانور تغییر خط را دارد مشاهده نمود. در چنین شرایطی عامل یا فرآیند خارجی که وسایل نقلیه را در عبور از محل تلاقی راهنمایی کند، وجود ندارد و رانندگان خود می‌بایست تصمیم بگیرند در چه زمان می‌توانند به صورتی ایمن مانور مورد نظر خود را انجام دهند. زمان و نحوه‌ی مانور به زمانی ارتباط دارد که نقطه‌ی تلاقی بین دو خودروی متوالی در مسیر مقابل خالی از جریان ترافیک بوده و امکان عبور فراهم می‌شود.

به طور معمول بر اساس سلسله مراتب عملکردی و یا حجم جریان ترافیک، مسیرهای متقاطع به اصلی و فرعی تقسیم می‌شوند. خودروها در مسیر اصلی معمولاً به صورت پیوسته در حرکت‌اند و این وظیفه‌ی خودروهای مسیر فرعی است تا فاصله‌ی کافی برای عبور از جریان اصلی یا پیوستن به آن را به دست آورند. این رفتار رانندگان در اصطلاح مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک قبول فرصت نامیده می‌شود. مفهوم فرصت یا فاصله‌ی در اختیار برای رانندگان مسیرها بر حسب زمان سنجیده می‌شود و در حقیقت برابر با همان سرفاصله‌ی زمانی[۱] بین دو خودروی متوالی در مسیر متقابل است. در برآورد و بررسی موضوع قبول فرصت دو پارامتر اصلی و اساسی وجود دارد. پارامتر نخست به نام فرصت بحرانی[۲] شناخته می‌شود و تعاریف گوناگونی دارد که بعداً بحث خواهد شد و به صورت ساده برابر با کوچکترین فرصت ممکنی است که فرض می‌شود بیشتر رانندگان مسیر فرعی در ارزیابی خود برای ورود به تقاطع، بتوانند آن را قبول نمایند. پارامتر دیگر عبارت است از فرصتی که فاصله‌ی زمانی بین دو خودرو در مسیر اصلی به قدری طولانی شود که دو یا تعداد بیشتر وسیله‌ی نقلیه از مسیر فرعی، طی آن فرصت موفق به عبور از نقطه‌ی تلاقی شوند که این مفهوم تحت عنوان زمان دنباله‌روی[۳] شناخته می‌شود. علاوه بر دو پارامتر فوق‌الذکر، سنجش فرصت مورد قبول به محدوده‌ی وسیعی از پارامترها وابستگی دارد. این پارامترها را می‌توان به گروه پارامترهای مربوط به سفر[٤]، پارامترهای مربوط به راننده[٥]، پارامترهای مربوط به وسیله‌ی نقلیه[٦]،

---

[۱] Headway

[۲] Critical Gap

[۳] Follow-up Time

[٤] Trip Parameters

[٥] In Vehicle Parameters (Driver Parameters)

[٦] Vehicle Parameters

پارامترهای مربوط به محل[۱]، پارامترهای مربوط به جریان ترافیک[۲] در هر دو مسیر متلاقی و بالاخره پارامترهایی که متاثر از شرایط[۳] هستند، تقسیم نمود.

مرور ادبیات موضوع قبول فرصت، مدل‌های متنوعی را جهت تخمین رفتار رانندگان در نقاط تلاقی و نحوه قبول فرصت توسط آنان نشان می‌دهد. مدل‌های قبول فرصت به منظور دو هدف اساسی توسعه داده می‌شوند. یکی فراهم آوردن امکانی جهت تخمین ظرفیت در تقاطعات و مقاطع همگرایی و دیگری تحلیل و بررسی ایمنی محل است. نرم‌افزار Aimsun یک نرم‌افزار شبیه‌سازی خردنگر است که به تعیین ظرفیت و پارامترهایی از قبیل زمان سفر و تأخیر بر اساس آن می‌پردازد. لذا در این فصل آنچه مورد نظر است و بررسی خواهد شد کاربرد مدل‌های قبول فرصت در تعیین ظرفیت مقاطع تلاقی جریان ترافیک می‌باشد.

۳ -۱ - تعاریف پایه

رفتار رانندگان در تقاطعات بدون چراغ که در آنها مسئله‌ی حق تقدم مطرح است و ممکن است با، یا بدون تابلو باشند، در حقیقت یک روند تصمیم گیری محسوب می‌شود. اولین کلید در تحلیل مسئله‌ی قبول فرصت، فهم نحوه‌ی اتخاذ این تصمیم است. نیل به این آگاهی نیازمند شناخت پارامترهایی است که تصمیم‌گیر و شرایط تصمیم‌گیری را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

زمانی که راننده در مسیر فرعی به محل تقاطع می‌رسد، پیش از هر چیز با یک اختلاف[٤] روبرو می‌شود. اختلاف از مفاهیم پایه در مسئله‌ی قبول فرصت است و به صورت "فاصله‌ی زمانی رسیدن خودروی مسیر فرعی و خودروی مسیر اصلی به نقطه‌ی تلاقی" تعریف می‌شود. در این زمان، راننده باید تصمیمی در رابطه با قبول یا رد اختلاف که اولین فرصت وی جهت عبور از تقاطع محسوب می‌شود اتخاذ نماید. چنانچه راننده تصمیم به عبور بگیرد فرآیند قبول فرصت در همین نقطه خاتمه می‌یابد. در غیر اینصورت راننده باید سرفاصله‌ی بین خودروها در مسیر اصلی را به دنبال سرفاصله‌ی مناسب جهت عبور از تقاطع ارزیابی نماید، تا نهایتاً موفق به یافتن فاصله‌ای شود که امکان انجام مانور و عبور ایمن او از تقاطع را فراهم آورد. شکل (۲۳) مفاهیم فرصت و اختلاف را نشان می دهد.

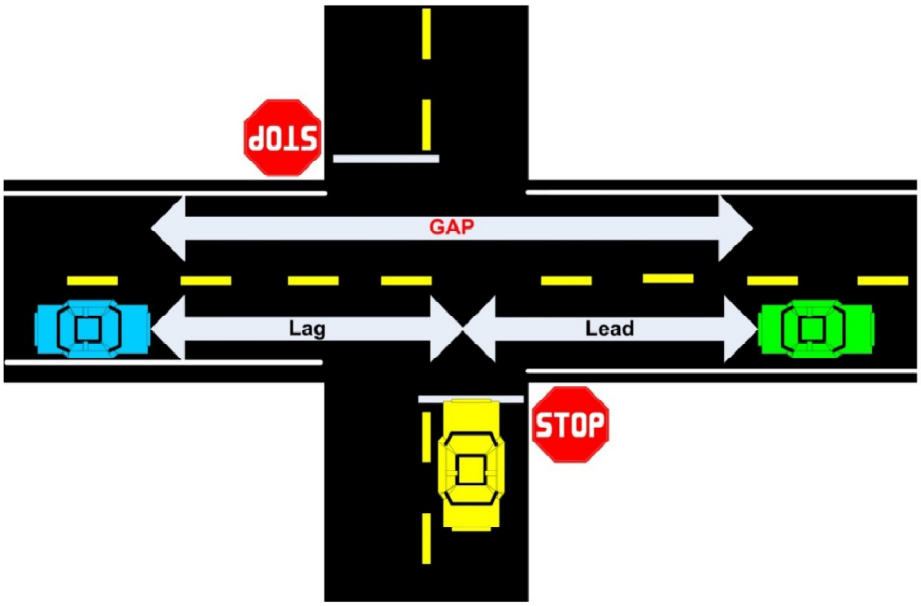
---

[۱] Location Parameters

[۲] Traffic Stream Parameters

[۳] Situation Parameters

[٤] Lag



شکل ۲۳ - مفاهیم فرصت و اختلاف در تقاطعات بدون چراغ

با وجود آنکه عمده‌ترین مفاهیمِ مسئله قبول فرصت در سطور فوق‌الذکر تشریح شد، اما به جهت روشن کردن دقیق مفاهیم، تعاریف کلاسیک آنها در ذیل به اجمال بیان شده است. این مفاهیم در طی این بخش مکرراً مورد استفاده قرار خواهند گرفت. لذا تشریح آنها در ابتدای فصل به خواننده در درک بهتر مسئله کمک خواهد نمود.

فرصت[۱]: به فاصله‌ی زمانی عبور دو خودروی متوالی در مسیر اصلی از یک نقطه‌ی فرضی در مسیر حرکت، فرصت گفته می‌شود [۱۳و۱٤] . تعریف اخیر فرصت را مستقل از جهت و خط حرکت وسایل نقلیه در مسیر اصلی در نظر می‌گیرد. چین[۲] در سال ۱۹۸۵ [۱۵]، رابرتسون[۳] در سال ۱۹۹٤ [۱٦] و آکلیک[٤] در سال ۱۹۹٦ [۱۷]، در مطالعات خود، تعریف موثرتری از مفهوم فرصت ارائه دادند. آنها فرصت را اختلاف زمانی عبور سپر عقب یک خودرو و سپر جلوی خودروی تعقیب کننده آن از نقطه‌ی تلاقی جریان دو مسیر اصلی و فرعی تعریف نموده‌اند.

---

[۱] Gap

[۲] Chin

[۳] Robertson

[٤] Akcelik

اختلاف[1]**:** فاصله‌ی زمانی بین لحظه‌ای که خودروی مسیر فرعی به خط توقف آن مسیر رسیده و آماده اتخاذ تصمیم جهت انجام مانور عبور از تقاطع می‌شود، تا لحظه‌ای که سپر جلوی اولین خودرو در مسیر اصلی به نقطه تلاقی دو مسیر خواهد رسید [۱۳و۱٤و۱٦].

پیش‌افت[2]: تفاضل دو پارامتر اختلاف و فرصت تحت عنوان پیش‌افت شناخته می‌شود.

فرصت بحرانی: مفهوم فرصت بحرانی در موضوع قبول فرصت، مسئله‌ی چالش برانگیزی به حساب آمده و نمی‌توان تعریف واحدی که محققان مختلف روی آن اتفاق نظر داشته باشند در این مورد یافت. مرور ادبیات دو تعریف را که مقبول‌ترین تعاریف در میان محققان مختلف است نشان می‌دهد. نخستین تعریف فرصت بحرانی را فاصله‌ی زمانی بین دو خودروی متوالی در مسیر اصلی در نظر می‌گیرد که راننده‌ی مسیر فرعی آنرا جهت اجرای مانور و عبور ایمن از تقاطع کافی و مناسب ارزیابی می‌کند [۱۸]. مطابق تعریف دوم، فرصتی بحرانی، فرصتی است که توسط تعداد مساوی از رانندگان قبول و رد می‌شود [۱۹و۲۰و۲۱و۲۲]. تعریف دوم را برای نخستین بار راف[3] در سال ۱۹۵۰ ارائه نمود [۲۳و۲٤]. کتاب راهنمای ظرفیت راه‌ها فرصت بحرانی را به اینصورت تعریف نموده است: حداقل فاصله زمانی بین خودروهای متوالی در مسیر اصلی که به یک وسیله‌ی نقلیه در مسیر فرعی تقاطع بدون چراغ اولویت‌دار اجازه‌ی ورود و عبور از تقاطع را می‌دهد [۲۵].

قبول یا رد فرصت و اختلاف: چنانچه راننده مسیر فرعی از فرصت یا اختلاف جهت انجام مانور حرکتی خود و عبور از تقاطع استفاده نماید آنرا قبول کرده و در غیر اینصورت رد نموده است [۱۹].

رفتار قبول فرصت[4]**:** روند تصمیم‌گیری خودروی مسیر فرعی که از اولویت پایین‌تری جهت ورود به تقاطع برخوردار است، برای انجام مانور ورود به تقاطع و عبور از آن [۲۲].

تابع قبول فرصت[5]**:** تابعی که احتمال تصادفی قبول یک فرصت را توسط یک راننده بخصوص ارائه می‌کند [۲٦].

---

[1] Lag

[2] Lead

[3] Raff

[4] Gap Acceptance Behavior

[5] Gap Acceptance Function

تئوری قبول فرصت[1]: نظریه‌ای که رفتار قبول فرصت رانندگان را بیان می‌کند و خود دو جزء اصلی دارد:

۱- سنجش کارایی فرصتی به طول **t** ثانیه برای ورود خودروهای مسیر فرعی به تقاطع، بر اساس پارامترهای قبول فرصت از قبیل فرصت بحرانی و زمان دنباله‌روی.

۲- تخمین تناوب فرصت‌های قابل قبول برای وسایل نقلیه در مسیر فرعی [۲۷].

تئوری انتخاب[2]: مجموعه روش‌هایی که به تعریف تصمیم‌گیر، گزینه‌های انتخاب ممکن، ویژگی‌های گزینه‌های انتخاب و قواعد تصمیم‌گیری، می‌پردازند. منظور از قواعد تصمیم‌گیری مکانیزمی است که تصمیمات ذهنی افراد را به صورت معادل ریاضیاتی آن بیان می‌کند [۲۸].

قبول صف[3]: فرآیندی که طی آن حداقل دو وسیله‌ی نقلیه که در مسیر فرعی صف تشکیل داده‌اند، فرصت مناسبی در مسیر اصلی به دست آورده و وارد تقاطع می‌شوند [۲۹].

ظرفیت مسیر فرعی[4]: در زمینه‌ی مسئله‌ی قبول فرصت، منظور از ظرفیت مسیر فرعی یک نرخ جریان یکنواخت و قابل انتظار از وسایل نقلیه در مسیر فرعی است که در صورت وجود یک صف بی‌نهایت در این مسیر موفق به ورود و گذر از تقاطع می‌شوند [۱۶].

زمان حرکت به جلو[5]: مدت زمانی که به طول می‌انجامد تا دومین وسیله‌ی نقلیه در مسیر فرعی جابجایی لازم را انجام داده و جانشین خودرویی شود که موفق به ورود به تقاطع شده است [۳۳]. این پارامتر از آن جهت حائز اهمیت است که بر اساس آن تعداد خودروی مسیر فرعی که می‌توانند از زمان دنباله‌روی استفاده نمایند تعیین می‌شود. در نتیجه می‌توان ظرفیت تقاطع و تأخیر آن را محاسبه نمود. این پارامتر در هر دو وضعیت حرکت پیوسته و حرکت همراه با توقف در مرور ادبیات با همین نام ذکر شده است.

زمان دنباله‌روی: فرصت زمانی بین دو خودروی متوالی در مسیر اصلی که برای عبور حداقل دو وسیله نقلیه متوالی مسیر فرعی از تقاطع کافی باشد.

---

[1] Gap Acceptance Theory

[2] Theory of Choice

[3] Queue Acceptance

[4] Minor Road Capacity

[5] Move-up Time

۳ -۲ - مدل قبول فرصت در نرم‌افزار Aimsun

مدل قبول فرصت در نرم‌افزار Aimsun تعیین کننده‌ی امکان و نحوه ورود یک خودرو از مسیر فرعی به مسیر اصلی است. منطق این مدل بر اساس فواصل خودروها در دو مسیر اصلی و فرعی از یک نقطه برخورد فرضی می‌باشد. سه عامل اصلی در این مدل، فاصله هر یک از دو خودرو تا نقطه برخورد فرضی، سرعت آنها و بیشترین شتاب افزایشی آنها می‌باشد. مدل بر اساس سطح ریسک‌پذیری رانندگان، فواصل، سرعت‌ها و شتاب‌ها، مدت زمان لازم برای هر یک از دو خودرو و جهت ورود به تقاطع، عبور از نقطه برخورد فرضی و تخلیه کامل تقاطع را محاسبه نموده و معین می‌کند کدام یک از دو خودرو می‌تواند زودتر وارد تقاطع شود. عوامل مختلفی از قبیل: شتاب افزایشی، سرعت مطلوب[۱]، بیشترین سرعت و زمان راه‌دادن[۲] فاصله‌ی دید در تقاطع و سرعت و زمان مورد نیاز جهت گردش، روی رفتار قبول فرصت موثرند. در میان این پارامترها مدل نرم‌افزار Aimsun به سه پارامتر شتاب افزایشی، بیشترین زمان راه- دادن و فاصله‌ی دید وابسته است. شتاب خودرو، اثر مستقیمی روی رفتار قبول فرصت دارد، چرا که مشخص می‌کند خودرو چه زمان اطمینانی در ورود و خروج از تقاطع، با افزایش سرعت از طریق شتاب می‌تواند به دست آورد. بیشترین زمان راه‌دادن پارامتری است که مشخص می‌نماید راننده چه مدت به دلیل پیدا نکردن فرصت مناسب منتظر بوده و در نتیجه رفته رفته بی‌صبر و در نتیجه ریسک پذیرتر شده است. به بیان دیگر این پارامتر آستانه‌ای را تعیین می‌کند که اگر طی آن راننده موفق به ورود به تقاطع نشود، اقدام به اتخاذ تصمیمات خطرناک‌تری نموده و فرصت‌های کوچک‌تری را قبول می‌کند. بر اساس مدل نرم‌افزار Aimsun، چنانچه راننده طی بیشترین زمان راه‌دادن تعریف شده نتواند وارد تقاطع شود، زمان حاشیه اطمینان تعریف شده که مساوی با دو برابر گام زمانی شبیه سازی است به نصف یعنی یک برابر گام زمانی شبیه سازی تقلیل می‌یابد. الگوریتم زیر روند بررسی امکان ورود یک خودرو از مسیر فرعی به تقاطع را در مدل قبول فرصت نرم‌افزار Aimsun و مطابق با مفاهیم ارائه شده در شکل (۲٤)، به صورت خلاصه بیان می‌کند. الگوریتم زیر در حالتی که تقاطع به وسیله تابلوهای ایست یا احتیاط کنترل شود و یا هیچ کنترلی بر آن اعمال نشود، اجرا خواهد شد. در حالتی که تقاطع با تابلو کنترل می‌شود منظور از خودروی اصلی و فرعی و مسیر اصلی و فرعی همان شرایط اعمال شده بوسیله تابلو است و در حالت بدون کنترل منظور از وسیله فرعی، خودرویی است که برای ورود به تقاطع باید به دنبال فرصت مناسب بگردد و خودرو یا خودروهای مقابل آن اصلی در نظر گرفته شده‌اند. به علاوه مسیری که خودروی فرعی در آن در حرکت است تحت عنوان مسیر فرعی و مسیر متلاقی با آن تحت عنوان مسیر اصلی تعریف شده است.

---

[۱] Desired Speed

[۲] Giveway Time

گام نخست: نقطه برخورد فرضی (TCP) بین اولین خودروی مسیرهای فرعی (VEHY) و اصلی (VEHP) روی محوطه تقاطع تعیین می‌شود.

گام دوم: زمان‌های تخمینی لازم برای خودروی مسیر اصلی جهت رسیدن به نقطه برخورد فرضی (ETP۱) و زمان تخمینی جهت تخلیه تقاطع توسط این خودرو (ETP۲) محاسبه می‌شوند.

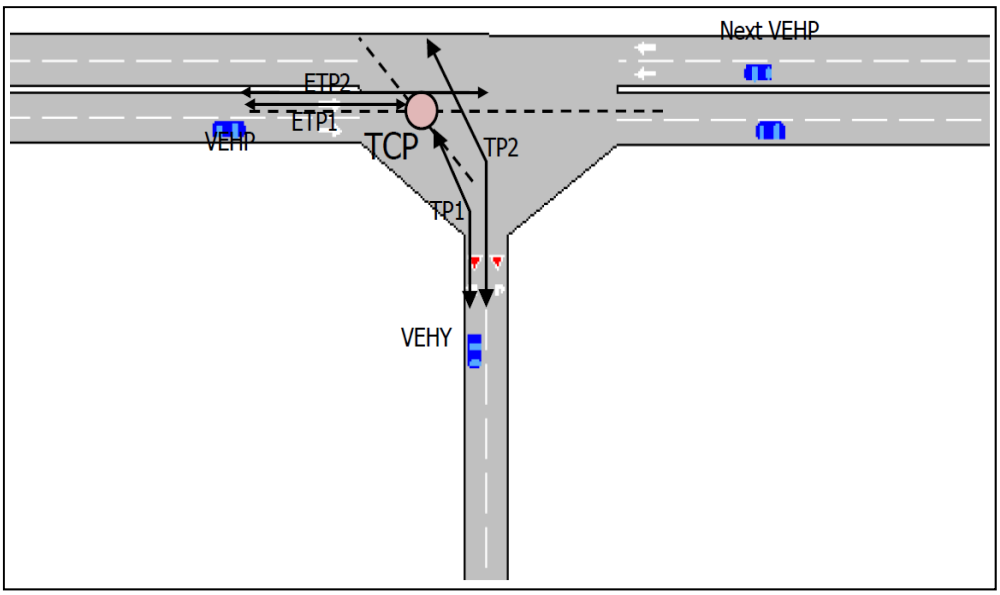
گام سوم: زمان‌های رسیدن خودروی مسیر فرعی به نقطه برخورد فرضی (TP۱) و زمان لازم جهت تخلیه تقاطع توسط این خودرو (TP۲) محاسبه می‌شوند.

گام چهارم: اگر TP۲ به اضافه زمان حاشیه‌ی اطمینان (دو برابر یک گام زمانی شبیه‌سازی TS) از ETP۱ کمتر باشد، وسیله نقلیه مسیر فرعی زمان کافی جهت عبور از تقاطع را در اختیار دارد. بنابراین با افزایش شتاب اقدام به عبور از تقاطع می‌نماید.

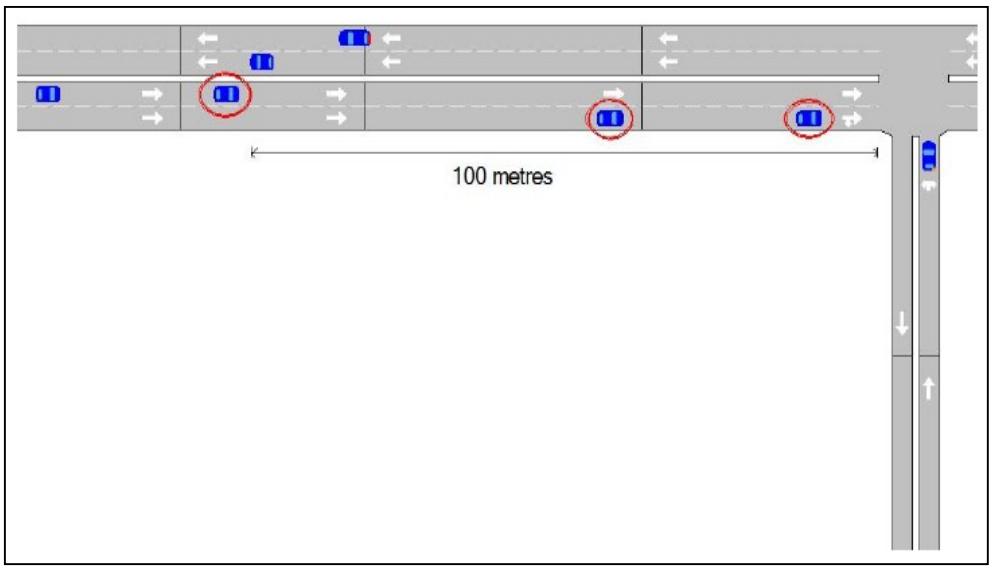
گام پنجم: در غیر اینصورت اگر ETP۲ به اضافه زمان حاشیه اطمینان کمتر از TP۱ باشد، در آن‌صورت وسیله نقلیه مسیر اصلی، قبل از رسیدن خودروی مسیر فرعی به نقطه برخورد فرضی از این نقطه عبور نموده و در نتیجه وسیله نقلیه مسیر فرعی باید شتاب خود را کاهش داده، پشت خط توقف تقاطع، ایست کامل نموده و به دنبال فرصت مناسبی برای ورود بر اساس گام چهارم باشد. در صورتی که مدت زمان ایست از زمان آستانه تحمل راننده تجاوز نماید حاشیه اطمینان به صورت خطی و در هر مرحله برابر با یک گام زمانی در هر بار تکرار الگوریتم کاهش می‌یابد

گام ششم: در صورت منفی بودن پاسخ شرط گام پنجم خودروی مسیر فرعی می‌تواند وارد تقاطع شود.

همان‌گونه که شکل شماره (۲۵) نشان می‌دهد، وسیله نقلیه مسیر فرعی تنها خودروهایی از مسیر اصلی را در نظر گرفته و رفتار قبول فرصت خود را با آنها انطباق می‌دهد که در فاصله دید او یا کمتر، از خط توقف مسیر اصلی قرار گرفته باشند.

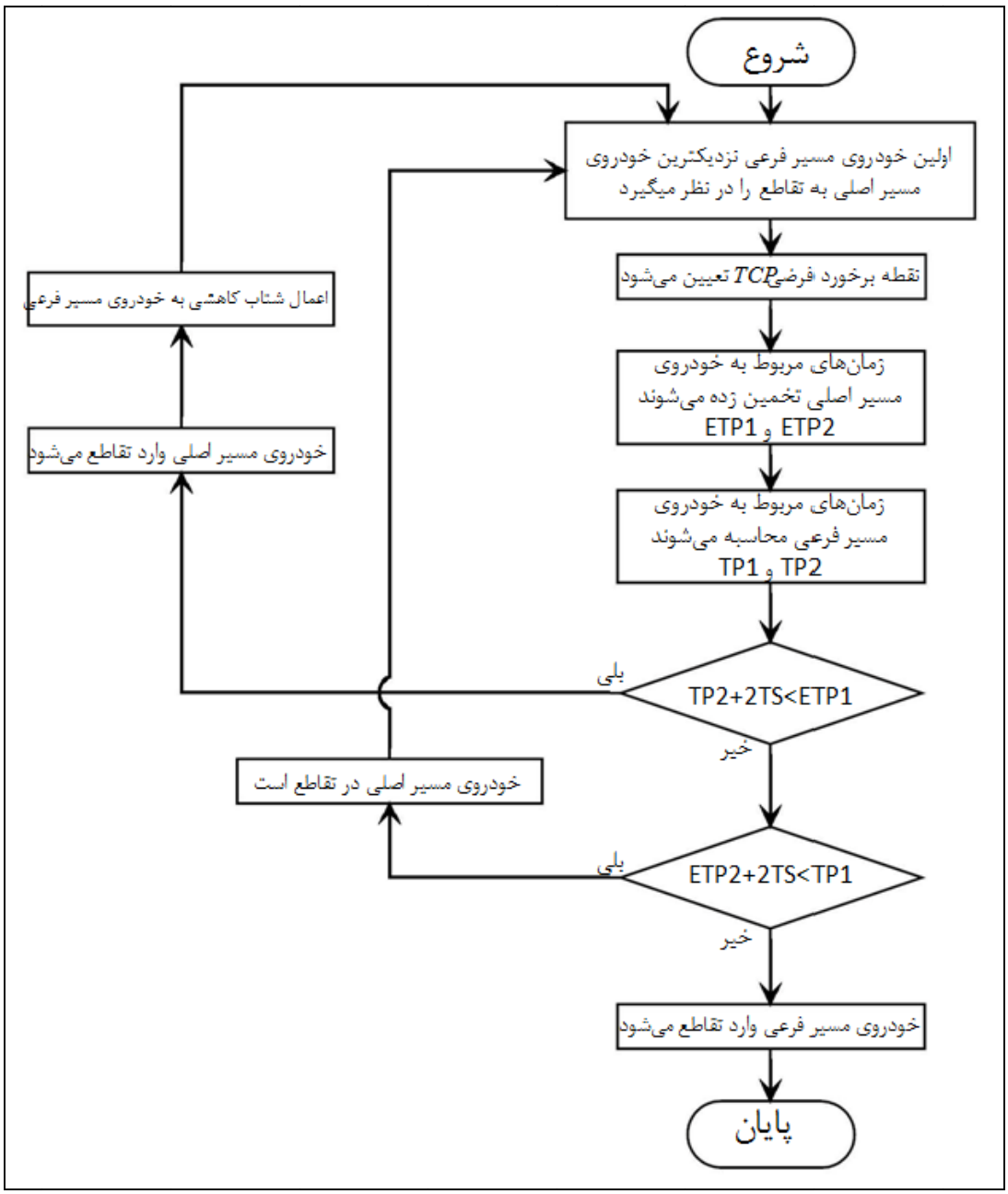


شکل ۲۴ - مفاهیم مدل قبول فاصله در نرم‌افزار Aimsun .



شکل ۲۵- وسایل نقلیه با اولویت که توسط وسیله نقلیه مسیر فرعی در مدل قبول فاصله در نرم‌افزار Aimsun ارزیابی می‌شوند.

الگوریتمی که تشریح شد به صورت یک فلوچارت و در قالب شکل (۲۶) نشان داده شده است.



شکل ۲۶ - فلوچارت مدل قبول فرصت Aimsun.

۴ - جمع‌بندی

همان‌گونه که در ابتدای این کتابچه بیان شد، مدل‌های اساسی شبیه‌سازی ترافیک، چهار دسته مدل‌های پیروی خودرو، تغییر خط، قبول فرصت و فاصله‌ی جانبی می‌باشند که رفتار خرد نگر یک خودرو در جریان ترافیک را در نرم‌افزارها شبیه‌سازی می‌کنند. با توجه به این واقعیت که دسته چهارم مدل‌ها یعنی مدل‌های فاصله جانبی در نرم‌افزار Aimsun وجود ندارند و تمرکز این کتابچه نیز بر مدل‌های نرم‌افزار Aimsun است، این دسته مدل‌ها در این کتابچه مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. در این کتابچه ابتدا در مورد هر یک از سه مدل دیگر مرور ادبیات و بیان مفاهیم کلیدی توضیح داده شده است و در مرحله بعد تاکید روی نرم‌افزار Aismun بوده است. مدل‌های سه‌گانه مشروح در این کتابچه در حقیقت رفتار جزئی هر خودرو در نرم‌افزار Aimsun را در هر شرایط خاص که ممکن است خودرو در آن قرار گیرد شبیه‌سازی می‌کنند. شناخت دقیق این مدل‌ها به مهندس شبیه‌ساز و کارشناس ترافیک این امکان را می‌دهد تا بتواند نتایج حاصل از شبیه‌سازی را کنترل نماید. در حقیقت زمانی که مهندس شبیه‌ساز این مدل‌ها را به درستی بشناسد این امکان را دارد تا با پیگیری رفتار خودروها در هر نوع از تسهیلات در صورت وقوع مشکل در روند یا نتایج شبیه‌سازی تا حد قابل قبولی بتواند ریشه خطا را شناسایی کند. به علاوه شناخت این مدل‌ها به کارشناس توانایی تفسیر نتایج را داده و او را قادر می‌سازد تا ماهیت آنچه در نرم‌افزار می‌بیند را به درستی شناخته و گزارشی عالمانه‌تر تهیه نماید.

مراجع

۱- Rothery, R.W. ”Car Following Models”, in : ”Traffic FlowTheory: A State-of-the-Art Report” Organized by the Committee on Traffic Flow Theory and Characteristics (AHB٤٥), (۲۰۰۱).

۲- ویلهلم لویتسباخ، "تئوری جریان ترافیک"، ترجمه دکتر جلیل شاهی، تهران، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران،(۱۳۷۱).

۳- افشین شریعت مهیمنی، محسن بابایی، "ارزیابی مدلهای شبیه سازی حرکت خودرو(Car Following) در نرم افزارهای VISSIM و AIMSUN"، هفتمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۸۵).

٤- Brackstone, M. and McDonald,M., ”Car-following: a historical review”, Transportation Research Part F ۲ ,pp.۱۸۱-۱۹٦,(۱۹۹۹).

٥- Janson Olstam, J. and Tapani,A., “Comparison of Car-Follwing Models”, Swedish National Road and Transport Research Institute, (۲۰۰٤).

٦- Brockfeld, E., Kühne,R.D. and Wagner,P., “Calibration and Validation of Microscopic Traffic Flow Models”, Transportation Research Record, No.۱۸۷٦, pp.٦۲-۷۰, (۲۰۰٤).

۷- Aimsun v ٦.۱ User’s Manual, TSS-Transport Simulation System, (۲۰۱۰).

۸- Wiedemann, R., Reiter, U., “Microscopic traffic simulation: the simulation system MISSION, background and actual state”. In: CEC project ICARUS (V۱۰٥۲) final report, vol ۲, Appendix A. Brussels, CEC, (۱۹۹۲).

۹- Fritzsche, H.T., “A Model for Traffic Simulation”, Traffic Engineering and Control, pp. ۳۱۷–۳۲۱, (۱۹۹٤).

۱۰- Duncan, G., “Paramics Technical Report: Car-Following, Lane-Changing and Junction Modelling”.

۱۱- سید صابر ناصر علوی، بهروز شیرگیر، صدرالدین علی پور، حسین محسنی، "بررسی و مقایسه مدلهای تغییر خط در شبیه سازی خرد ترافیک"، نهمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران،(۱۳۸۷).

۱۲- Koppa, J.R., “Human Factors” in : ”Traffic FlowTheory: A State-of-the-Art Report” Organized by the Committee on Traffic Flow Theory and Characteristics (AHB٤٥), (۲۰۰۱).

۱۳- Adebisi, O. (۱۹۸۲). “Driver gap acceptance phenomena”. *Journal of Transportation Engineering*, ASCE, Vol. ۱۰۸, No. ٦, pp. ٦۷٦–٦۸۸.

۱٤- Neudorff, L. G. (۱۹۸۳). Candidate signal warrants from gap data. Washington, D.C.: Federal Highway Administration, Traffic Systems Division .

۱٥- Davis, G. A. and Swenson, T. (۲۰۰٤). *Field study of gap acceptance by left-turning drivers*, TRR ۱۸۹۹, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., pp.۷۱–۷٥.

۱٦- Pant, P. D., and Balakrishnan, P. (۱۹۹٤), "Neural Network for Gap Acceptance at Stop-Controlled Intersections", ASCE, Journal of Transportation Engineering, VOl. ۱۲۰, Nov. ۳, May/June.

١٧- Hwang, S.Y., Park, C.H., (٢٠٠٥), Modeling of the gap acceptance behavior at a merging section of urban freeway. In: Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, pp. ١٦٤١–١٦٥٦.

١٨- Ragland, D. R., Sofia, A., Shladover, S. E., and Misener, J. A., (٢٠٠٦), "Gap Acceptance for Vehicles Turning Left across On-Coming Traffic: Implications for Intersection Decision Support Design," Transportation Research Board Annual Meeting, January.

١٩- Akçelik R. (١٩٩٧). Lane-by-lane modelling of unequal lane use and flares at roundabouts and signalised intersections: the SIDRA solution.Traffic Engineering and Control, ٣٨ (٧/٨), ٣٨٨-٣٩٩.

٢٠- Hancock, P. A., Wulf, G., Thom, D. and Fassnacht, P., (١٩٩٠). Driver workload during differing driver maneuvers. Accident Analysis & Prevention, ٢٢: ٢٨١–٢٩٠.

٢١- Madanat, S. M., Cassidy, M J., and Wang, M. H. (١٩٩٤), "Probabilistics Delay Model at Stop-Controlled Intersections", ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol. ١٢٠, No. ١, pp. ٢١-٣٦, Jan/Feb.

٢٢- Ashton, W. D. (١٩٧١). “Gap acceptance problems at a traffic intersection.” Appl. Stat., ٢٠(٢), ١٣٠–١٣٨.

٢٣- Hewitt, R. H. (١٩٨٥). “A comparison between some methods of measuring critical gap.” *Traffic Engineering and Control*, Vol. ٢٦, No. ١, pp. ١٣–٢٢.

٢٤- Darzentas, J. (١٩٨٩), "Gap Acceptance: Myth and Reality", Proceedings of the ٨th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, pp. ١٧٤-١٩٧.

٢٥- Raff, M. S. and Hart, J. W. (١٩٥٠). *A volume warrant for urban stop signs*, Eno Foundation for Highway Traffic Control, Saugatuck, Connecticut.

٢٦- Polus, A. (١٩٨٣). “gap acceptance characteristics at unsignalised urban intersections.” *Traffic Engineering & Contro*l, Vol. ٢٤, No. ٥, pp. ٢٥٥–٢٥٨.

٢٧- HCM (٢٠١٠). *Highway capacity manual, SR ٢٠٩*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C.

٢٨- Golias, J. and Kanellaidis, G C. (١٩٩٠), "Estimation of Driver Behavior Model Parameters"' ASCE, Journal of Transportation Engineering, Vol. ١١٦, No. ٢, March/April.

٢٩- Troutbeck, R. J. (١٩٩٣). *Effect of heavy vehicles at australian traffic circles and unsignalised intersections*, TRR ١٣٩٨, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., pp. ٥٤–٦٠.

٣٠- Pollatschek M.A., Polus A., (٢٠٠٥), Proceedings of The ١٦th International Symposium On

Transportation and Traffic Theory (ISTTT١٦), pp. ٢٦٧-٢٧٩.

٣١- Ashalatha, R., Satish Chandra, and Prasanth, K. (٢٠٠٥). “Critical gap at uncontrolled intersections using maximum likelihood technique”. *Indian Highways*, Vol. ٣٣, No. ١٠, Indian Roads Congress, New Delhi, pp. ٦٧–٧٤.

٣٢- Hancock, P. A., Wulf, G., Thom, D. and Fassnacht, P. (١٩٩٠). Driver workload during differing driver maneuvers.. Accident Analysis & Prevention, ٢٢: ٢٨١–٢٩٠.

٣٣- Brilon, W., Koeniga, R., Troutbeck, R.J., (١٩٩٩), Useful estimation procedures for critical gaps. Transportation Research Part A ٣٣, ١٦١–١٨٦.

٣٤- Leung, S., Starmer, G., (٢٠٠٥), Gap Acceptance and Risk-Taking by Young and Mature Drivers, both Sober and Alcohol-Intoxicated, in a Simulated Driving Task. Accident Analysis & Prevention ٣٧, ١٠٥٦–١٠٦٥.

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.