

## کالیبره کردن مدل تعقیب خودرو بر اساس دو پارامتر وابسته زمان واکنش و زمان واکنش در توقف (مطالعه موردی: کلان‌شهر اصفهان)

علمی - پژوهشی

احسان صالحی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

امیرمسعود رحیمی\*، دانشیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

آرش مظاهری، دانشجوی دکتری، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: amrahimi@znu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۵

صفحه ۲۱۰-۱۹۵

### چکیده

مدل‌های اساسی جریان ترافیک به رفتار حرکتی خودروها در جریان ترافیک می‌پردازد. این مدل‌ها اساس کار نرم افزارهای شبیه‌ساز به حساب می‌آیند. به طور کلی چهار نوع مدل رفتاری در نرم افزارهای شبیه‌ساز وجود دارد، که شامل مدل تعقیب خودرو، مدل‌های تغییر خط، مدل‌های قبول فرصت، مدل‌های فاصله جانبی است. این مدل‌ها پارامترهای قابل تنظیمی را در اختیار کاربر قرار می‌دهند که توانایی شبیه‌سازها در باز تولید رفتارهای رانندگی و شاخص‌های عملکردی ترافیکی محل مورد مطالعه، به تنظیم درست این پارامترها وابسته است. به بیان ساده‌تر، پیش از آن که نرم افزار شبیه‌ساز بتواند به عنوان ابزار تحلیل ترافیک مورد استفاده قرار گیرد، باید این پارامترها کالیبره شوند. از آن جایی که رفتار رانندگی و عوامل محیطی نیز می‌تواند بر مدل تعقیب خودرو تاثیرگذار باشد از این رو پارامترها برای شهرهای مختلف متفاوت خواهد بود و در ایران پارامترهای مدل تعقیب خودرو فقط برای شهر تهران و قم کالیبره شده است. در این تحقیق برای استفاده بهینه و صحیح از نرم افزار شبیه‌ساز ایمنسان، برای کلان‌شهر اصفهان پارامترهای مدل تعقیب خودرو این نرم افزار کالیبره شد. در این مقاله مراحل مختلف کالیبراسیون مدل تعقیب خودرو تشریح شده است و با استفاده از داده‌های میدانی سه تقاطع شهر اصفهان، مدل تعقیب خودرو برای رانندگان اصفهانی کالیبره شد. از آن جایی که برای کالیبره کردن مدل تعقیب خودرو باید زمان واکنش و زمان واکنش در توقف کالیبره شود؛ بنابراین، این دو پارامتر، با استفاده از داده‌های میدانی تقاطع‌ها کالیبره شدند و مقادیر کالیبره شده آن‌ها به ترتیب ۰/۵ و ۰/۶۵ بدست آمد، لازم به ذکر است که زمان واکنش پیش فرض ۰/۷۵ ثانیه و زمان واکنش در توقف پیش فرض ۱/۳۵ ثانیه در نرم افزار در نظر گرفته شده است. از این رو با جایگزینی زمان‌های کالیبره شده بجای زمان‌های پیش فرض مدل تعقیب خودرو در نرم افزار ایمنسان، مدل تعقیب خودرو برای رانندگان اصفهانی کالیبره شد که خروجی‌های شبیه‌سازی را بهبود داد.

واژه‌های کلیدی: زمان واکنش، زمان واکنش در توقف، کالیبراسیون، مدل تعقیب خودرو

### ۱- مقدمه

سعی در تطبیق وضعیت خود نسبت به وسایل نقلیه جلویی دارند و در نتیجه حرکت مستقیم خودروها در مسیرشان بیش از هر چیز از خودروی جلویی‌شان در همان خط، تأثیر می‌پذیرد. حرکت خودرو به دنبال خودروی جلویی‌اش که از این پس با عبارت "تعقیب خودرو" به آن اشاره می‌شود، از مهم‌ترین

امروزه، رانندگی یکی از رایج‌ترین و پیچیده‌ترین مهارت‌های زندگی 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،

## ۲-۱- مرور مدل‌های تعقیب خودرو

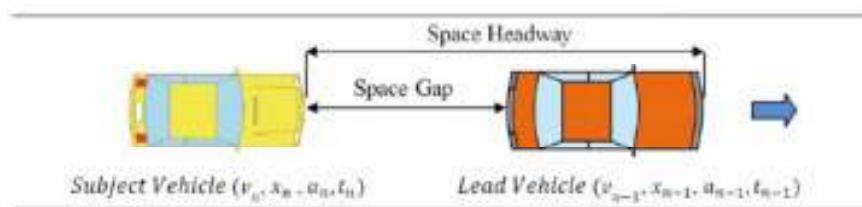
در مدل‌های تعقیب خودرو، وسایل نقلیه توسط متغیرهای  $(x_n, v_n, a_n, t_n)$  توصیف شده‌اند که موقعیت مکانی  $(x_n)$ ، سرعت  $(v_n)$ ، و افزایش شتاب  $(a_n)$  وسیله نقلیه  $n$  ام را در حالی که آن‌ها در طول جاده، درون یک خط حرکت می‌کنند را نشان می‌دهند. یک مدل شامل مجموعه‌ای از قواعد می‌شود تا مقادیر متغیرهای بالا را در سرتاسر زمان  $t_n$  به روز رسانی کند. شکل ۱ فرآیند تعقیب خودرو را برای وسیله نقلیه  $(n)$  و وسیله نقلیه پیرو  $(n-1)$  نشان می‌دهد. وسایل نقلیه از چپ به راست در این شکل حرکت می‌کنند که بزرگی  $X$  از چپ به راست افزایش می‌یابد و وسایل نقلیه از راست به چپ شمرده شده‌اند. از جمله مواردی که در تعقیب خودرو استفاده شده، فاصله سپر جلو تا جلو (یا فضای نسبی  $\Delta x = x_{n-1} - x_n$ ) و سرعت نسبی  $(\Delta v = v_{n-1} - v_n)$  بین وسایل نقلیه  $(n)$  ام و  $(n-1)$  ام هستند که در آن وسیله نقلیه  $(n-1)$ ، وسیله نقلیه‌ای است که بلافاصله در جلوی وسیله نقلیه  $(n)$  ام می‌باشد. مدل‌های تعقیب خودرو موجود به دو گروه اصلی در این مطالعه طبقه‌بندی شده‌اند: مدل‌های کلاسیک و هوش مصنوعی. مدل‌های کلاسیک با استفاده از معادلات ریاضی سعی می‌کنند فرایند تعقیب خود را شبیه سازی کنند، و شامل مدل‌های محرک پاسخ، فاصله ایمن، سرفاصله زمانی مطلوب، و روان‌شناختی می‌شوند. مدل‌های هوش مصنوعی که قاعده مینا هستند و با استفاده از الگوریتم کامپیوتری به پیش بینی حرکات وسیله نقلیه می‌پردازند که شامل مدل‌های منطق فازی و شبکه‌های عصبی، است (Kayvan, Majid, and William, 2015)

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 علمی موجود است (Calibration of Tehran City (Volume II, 2012, in Persian).

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 فاصله بین وسایل نقلیه و سرعت نسبی آنها را مورد توجه قرار می‌دهند، مدل‌های تعقیب خودرو نامیده می‌شوند. در این مقاله، به تشریح کالیبراسیون مدل تعقیب خودرو با استفاده از دو پارامتر وابسته به آن پرداخته شده است. در ادامه با استفاده از داده‌های خرد جریان ترافیک سه تقاطع مهم و پر تردد در کلان‌شهر اصفهان این مدل کالیبره شده است. سایر بخش‌های این مقاله بدین ترتیب خواهد بود، در بخش دوم، مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه زمان عکس‌العمل وسایل نقلیه و مدل تعقیب خودرو انجام می‌شود. سپس در بخش سوم، روش مورد نظر جهت کالیبراسیون زمان واکنش و زمان واکنش در توقف شرح داده شده است. نتایج محاسبه و کالیبراسیون زمان‌های واکنش و واکنش در توقف در بخش چهارم آمده است و در نهایت در بخش پنجم به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری از کل مباحث مطرح در مقاله پرداخته می‌شود.

## ۲- پیشینه تحقیق

در این بخش ابتدا به بررسی چند مدل تعقیب خودرو پرداخته می‌شود و سپس مروری بر انواع مطالعات و تحقیقات در زمینه عکس‌العمل رانندگان انجام می‌گیرد.



شکل ۱. طرح کلی از تعقیب خودرو

## ۱-۱-۲- مدل‌های کلاسیک<sup>۱</sup>

در این نوع از مدل‌های تعقیب خودرو، رفتار وسیله نقلیه اصلی به واکنش وسیله نقلیه جلویی توسط تعدادی از معادلات ریاضی مرتبط شده است. تاریخ این مدل‌ها به سال‌های ۱۹۶۰-۱۹۸۰ میلادی می‌رسد. اگرچه بعضی از آن‌ها بیشتر در سال‌های اخیر اصلاح شده‌اند یا توسعه یافته‌اند. نکته قابل توجه در مورد این مدل‌ها این است که، به علت اینکه مدل‌های کلاسیک با استفاده از معادلات تحلیلی بیان می‌شوند، عموماً در مقایسه با مدل‌های هوش مصنوعی که به برنامه‌ریزی کامپیوتری وابسته‌اند، قابل فهم و درک بیشتری هستند. این نوع از مدل‌ها بطور گسترده‌ای استفاده شده‌اند و زیربنای اساسی شبیه سازهای خردنگر تجاری مانند: ویسیم<sup>۲</sup>، ایمسان<sup>۳</sup> و پارامیکس<sup>۴</sup> را شکل می‌دهند. در زیر به انواع مدل‌های کلاسیک اشاره شده است.

### ۱-۱-۱-۲- مدل‌های محرک-پاسخ<sup>۵</sup>

این نوع از مدل‌ها یکی از اولین مدل‌های تعقیب خودرو کلاسیک توسعه یافته است که رفتارهای رانندگان در حال تعقیب را منعکس می‌کند. چهار زیرگروه اصلی از مدل‌های محرک-پاسخ در زیر، مورد بررسی قرار گرفته است.

#### الف- مدل Gazis-Herman-Rothery

مدل Gazis-Herman-Rothery (مدل GHR) اولین بار توسط چندلر هرمن، و موتورول (۱۹۵۸) در آزمایشگاه‌های تحقیقی جنرال موتورز و در همان زمان در ژاپن توسط کومتانی و ساساکی (۱۹۵۸)، ارائه شده بود. فرمول کلی این مدل به صورت زیر است:

$$a_n = cv_n^m(t) \frac{\Delta v(t-T)}{\Delta x^l(t-T)} \quad (۱)$$

که  $a_n$  افزایش شتاب وسیله نقلیه (n) ام در زمان t است،  $v_n$  سرعت وسیله نقلیه (n) ام است،  $\Delta x = x_{n-1} - x_n$  فضای نسبی بین وسایل نقلیه (n) ام و (n-1) ام است،  $\Delta v = v_{n-1} - v_n$  سرعت‌های نسبی بین وسایل نقلیه (n) ام و (n-1) ام است، T زمان عکس العمل راننده است، و c، m و l پارامترهای کالیبراسیون مدل هستند. پارامترهای کالیبراسیون برای این مدل‌ها توسط نویسندگان زیادی پیشنهاد شده‌اند. چندلر و همکاران (۱۹۵۸) پیشنهاد کردند که m و l مساوی با صفر هستند (Kayvan, Majid, and William, 2015)

## ب- مدل (Helly) خطی

هلی (۱۹۵۹) بعضی از پارامترها را به مدل GHR اضافه کرد تا افزایش شتاب وسیله نقلیه اصلی را با توجه به ترمزگیری وسیله نقلیه پیشرو، انطباق دهد. یک نسخه ساده شده از این مدل به صورت زیر است:

$$a_n(t) = c_1 \Delta v(t-T) + c_2 [\Delta x(t-T) - D_n(t)] \quad (۲)$$

که  $a_n$  افزایش شتاب وسیله نقلیه n ام در زمان t است،  $v_n - v_{n-1} = \Delta v$  سرعت‌های نسبی بین وسایل نقلیه (n) ام و (n-1) ام است،  $x_n - x_{n-1} = \Delta x$  فضای نسبی بین وسایل نقلیه (n) ام و (n-1) ام است، T زمان عکس العمل راننده است،  $c_1$  و  $c_2$  پارامترهای کالیبراسیون مدل هستند و  $D_n(t)$  یک فاصله تعقیب مطلوب می‌باشد که به صورت زیر فرموله شده است:

$$D_n(t) = \alpha + \beta v_n(t-T) + \gamma a_n(t-T) \quad (۳)$$

که  $v_n$  سرعت وسیله نقلیه n ام است؛  $\alpha$ ،  $\beta$ ، و  $\gamma$  پارامترهای کالیبراسیون هستند.

### ج- مدل سرعت بهینه<sup>۶</sup>

در مدل سرعت بهینه عموماً اختلاف بین سرعت بهینه یعنی همان سرعت مطلوب راننده و سرعت فعلی وسیله نقلیه را به عنوان یک محرک برای اعمال راننده، در نظر می‌گیرد. زیر بنا و پایه مدل سرعت بهینه براساس نظر نیوول (۱۹۶۳) پایه‌ریزی شده است. پاسخ راننده توسط افزایش شتاب نشان داده می‌شود که در معادله زیر تعیین شده است:

$$a_n = c[v_n^{desired}(t) - v_n(t)] \quad (۴)$$

که  $a_n$  افزایش شتاب وسیله نقلیه n ام در زمان t است،  $v_n^{desired}$  سرعت مطلوب وسیله نقلیه n ام را نشان می‌دهد،  $v_n$  سرعت وسیله نقلیه n ام است، و c پارامتر کالیبراسیون مدل است (Kometani and Saaki, 1959)

### د- مدل راننده هوشمند<sup>۷</sup>

مدل راننده هوشمند (IDM) توسط تریبر، هنکه، و هلیبگ (۲۰۰۰) توسعه یافتند. سرعت وسیله نقلیه اصلی v، و فضای بین وسیله نقلیه اصلی و پیشرو s، به شتاب آن مربوط شده است. تابع افزایش شتاب IDM به صورت زیر آمده است:

$$a = a_0 \left[ 1 - \left( \frac{v}{v_0} \right)^\delta - \left( \frac{s_*}{s} \right)^2 \right] \quad (۵)$$

مصنوعی عمدتاً براساس منطق فازی و شبکه عصبی (یا ترکیباتشان) هستند که به دلیل محدودیت و عدم ضرورت، در این مقاله به معرفی این مدل‌های پرداخته نشده است (Kayvan, Majid, and William, 2015)

## ۲-۲- مطالعات در زمینه عکس‌العمل

در بسیاری از تحقیقات اولیه، از یک روش مبتنی بر تعیین همبستگی، جهت تخمین زمان عکس‌العمل رانندگان در موقعیت‌های تعقیب خودرو استفاده شده است. در این روش، اختلاف زمانی را که موجب ایجاد بیشترین هم بستگی میان شتاب وسیله نقلیه عقبی و سرعت نسبی دو وسیله نقلیه، می‌گردد، به عنوان زمان عکس‌العمل وسیله نقلیه عقبی انتخاب می‌شود. این روش برای تخمین یک مقدار زمان عکس‌العمل مشخص مناسب بوده اما تأثیرات احتمالی انواع موقعیت‌های رانندگی در تعیین این پارامتر نادیده گرفته می‌شود. مقادیر متفاوتی از ۰/۵ تا ۳/۹ به عنوان زمان عکس‌العمل در این روش بدست آمده است (Kometani and Saaki, 1959; Aghabayk, Sarvi, and Young, 2016). زمان عکس‌العمل را بطور مجزا برای دو حالت افزایش و کاهش سرعت محاسبه و مشخص نمود که زمان عکس‌العمل با فاصله مکانی، سرعت و شتاب وسیله نقلیه جلویی ارتباط دارد (Lee and Jones, 1967). کاستلو اعلام کرد که زمان عکس‌العمل ممکن است با چگالی ترافیک، ارتباط داشته باشد (Castello, Pintado, and Benitz, 1994). گورسینقه یک روش گرافیکی جهت تخمین زمان عکس‌العمل بر اساس خط سیر وسایل نقلیه پیشنهاد داد. این روش، زمان عکس‌العمل را بر اساس تفاوت زمانی میان، نقاط پیک مجاور در نمودار سرعت نسبی - زمان و شتاب وسیله نقلیه عقبی - زمان، تعیین می‌کند (Gurusnglhe, Nakatsuji, Tanaboriboon, Takahashi, and Suzuki, 2001). ژانگ و کیم مدل‌های تعقیب خودرویی پیشنهاد دادند که در آنها زمان عکس‌العمل، به عنوان یک متغیر در نظر گرفته شده بود و رابطی میان زمان عکس‌العمل و فاصله مکانی و شرایط ترافیکی نظیر حالت افزایش و کاهش سرعت، پیشنهاد دادند (Cattin, Leclercq, Pereyron, and Faouz, 2019; Zhang and Kim, 2005) و در نهایت راهنمای نرم افزار ایمسان، روشی برای کالیبره کردن مدل به کار رفته در نرم افزار ایمسان که براساس

در این مدل، افزایش شتاب آزاد،  $a_0[1 - (v/v_0)^\delta]$ ، توسط حداکثر افزایش شتاب وسیله نقلیه  $(a_0)$ ، سرعت مطلوب  $(v_0)$ ، و سرعت وسیله نقلیه  $(v)$  برآورد می‌شود، در حالی که  $\delta$  استفاده شده برای توصیف حداکثر افزایش شتاب یک وسیله نقلیه با افزایش در سرعتش، می‌باشد. زمانی که یک وسیله نقلیه به خودور پیش‌رو خیلی نزدیک می‌شود، استراتژی کاهش شتاب مدل اعمال خواهد شد و وسیله نقلیه با مقدار  $-a_0[(S^*/S)^2]$ ، کاهش شتاب خواهد داد که در آن،  $S$  فاصله حقیقی بین وسیله نقلیه اصلی و پیش‌رو است و  $S^*$  حداقل فاصله‌ای است که می‌تواند به عنوان یک تابع از  $v$  و  $\Delta v$  شده باشد که توسط رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

$$S^* = S_0 + vT + \frac{v\Delta v}{2\sqrt{a_0 \cdot b}} \quad (6)$$

که  $T$  حداقل سرفاصله زمانی مطلوب راننده،  $S_0$  مسافت راهبندان، و  $b$  کاهش شتاب مطلوب راننده است.

## ۲-۱-۱-۲- مدل‌های فاصله ایمن<sup>۸</sup>

مدل‌های فاصله ایمن یا پرهیز از برخورد، یک فاصله ایمن را با خودرو جلویی اختیار می‌کند که اگر راننده وسیله نقلیه پیش‌رو بطور غیرقابل پیش‌بینی رفتاری را انجام دهد یک برخورد اتفاق خواهد افتاد؛ مگر اینکه راننده وسیله نقلیه اصلی یک فضای بزرگتری را در جلوی وسیله نقلیه در مقایسه با فاصله ایمن در زمان تعقیب کردن دیگر خودرو حفظ کند. این نوع مدل تعقیب خودرو به قواعد پایپس (۱۹۵۳) اشاره می‌کند.

## ۲-۱-۲- مدل‌های هوش مصنوعی<sup>۹</sup>

هر یک از مدل‌های تعقیب خودرو ذکر شده در بالا یک سؤال یا بیشتر را فراهم می‌کنند تا رفتار راننده وسیله نقلیه اصلی را پیش‌بینی کند. این مدل‌ها به علت اتکایشان به بعضی معادلات خاص به راحتی درک و فهمیده می‌شوند. با این وجود، رفتار انسانی پیچیده‌تر از آن است که بتواند توسط این معادلات بیان شود بنابراین ضروری بود تا مدل‌های پیچیده‌تر توسعه یابد تا رفتار انسانی از قبیل فرآیند تعقیب خودرو راننده پیش‌بینی شود. برای انجام آن، چندین مدل هوش مصنوعی در دو دهه اخیر توسعه یافته‌اند و به علت ظهور کامپیوترهای سریع و قدرتمندتر در حال توسعه هستند. مدل‌های هوش

Calibration of Tehran City Volume II, 2012, )  
(in Persian).

مرحله کالیبره کردن ظرفیت شامل دو بخش است، اول کالیبره کردن پارامترهای کلی و دوم تنظیم دقیق پارامترها. در ابتدا کالیبره کردن پارامترهای کلی جهت شناسایی مقادیر کلی مناسب برای شبکه انجام می‌شود. سپس پارامترهای مربوط به هر اتصال (مسیر حرکت) برای تنظیم دقیق مدل جهت بهترین تطابق با شرایط میدانی اندازه‌گیری شده به ویژه در نواحی پرتراکم شبکه، کالیبره می‌گردند. مراحل کالیبره کردن ظرفیت به ترتیب زیر می‌باشد:

- ۱- جمع آوری داده‌های میدانی ظرفیت شبکه
- ۲- انتخاب پارامترهای کالیبره کردن
- ۳- ایجاد تابع هدف کالیبراسیون
- ۴- تحقیق برای رسیدن به مقادیر بهینه
- ۵- تنظیم دقیق کالیبراسیون

به دلیل اینکه از ماتریس مبدا و مقصد استفاده نشده است بنابراین کالیبره کردن مدل انتخاب مسیر، ضرورتی ندارد و در گام سوم سعی می‌شود شاخص‌های عملکردی وابسته به مدل تعقیب خودرو انتخاب شود، تا مقدار اختلاف بین نرم‌افزار و داده‌های میدانی مشخص شوند، در صورتی که این اختلاف از حد مجاز بیشتر بود، لازم به کالیبراسیون مجدد می‌باشد.

#### ۴- داده‌های تحقیق، تحلیل داده‌ها و بررسی نتایج

##### ۴-۱- انتخاب چهار تقاطع در کلان‌شهر اصفهان

در این تحقیق، چهار تقاطع در کلان‌شهر اصفهان، انتخاب شد، که شامل تقاطع شیخ صدوق، تقاطع آذر-ملت، تقاطع تختی، تقاطع پل فلزی-ملت است. داده‌ها در سه مرحله و در بازه‌های زمانی متفاوت در طی چهار سفر به اصفهان جمع آوری شد. قبل از فیلم‌برداری، کروکی کلی از تقاطع مورد نظر و هم‌چنین محل جای‌گذاری دوربین جهت استفاده‌های بعدی کشیده می‌شد که در شکل ۲ نمای فیلم برداری از یکی از تقاطع‌ها آورده شده است. هر چهار تقاطع دارای چراغ ترافیکی بودند. با استفاده از اطلاعات دریافتی مرکز کنترل ترافیک شهرداری اصفهان، ساعت‌های اوج تقاطع‌های مذکور بین ۵:۰۰ تا ۹:۰۰ عصر روزهای کاری تعیین شد. همچنین به منظور حفظ الگوی نرمال جریان ترافیک، تصمیم بر این شد تا در یکی از روزهای میانه هفته فیلم‌برداری صورت گیرد.

مدل Gips پایه‌ریزی شده است را ارائه می‌دهد. بر اساس راهنمای استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز ترافیک (اداره مدیریت راه‌های آمریکا) برای کالیبره کردن مدل‌های شبیه‌سازی سه مرحله ذکر شده است که شامل کالیبره کردن ظرفیت، کالیبره کردن مدل انتخاب مسیر و کالیبره کردن شاخص‌های عملکردی سیستم می‌باشد که در مرحله کالیبراسیون ظرفیت زمان واکنش و زمان واکنش در توقف تعیین و کالیبره می‌شود (Shafiei, Gu, and Saberi, 2018). به دلیل اینکه راهنمای استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز ترافیک اداره راه آمریکا، روشی دقیق است و نگاهی جامع به دو پارامتر زمان واکنش و زمان واکنش در توقف دارد، از این روش در این مقاله استفاده شده است و کالیبراسیون زمان‌های واکنش و زمان واکنش در توقف بر اساس داده‌های خرد جریان ترافیک سه تقاطع در کلان‌شهر اصفهان خواهد بود.

#### ۳- روش کالیبراسیون مدل تعقیب خودرو

##### ۳-۱- مراحل کالیبره کردن مدل‌های ریزنگر شبیه‌ساز ترافیک

بر اساس راهنمای استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز ترافیک (اداره مدیریت راه‌های آمریکا)، برای کالیبره کردن مدل‌های شبیه‌سازی سه مرحله زیر وجود دارد (Calibration of Tehran City Volume II, 2012, in Persian).

گام اول- کالیبره کردن ظرفیت

گام دوم- کالیبره کردن مدل انتخاب مسیر

گام سوم- کالیبره کردن شاخص‌های عملکردی سیستم

مراحل فوق به ترتیب باید انجام شده و در هر مرحله تنظیم دقیق پذیرد. حال هر یک از مراحل فوق‌الذکر در ادامه بررسی خواهد شد.

##### ۳-۱- کالیبره کردن ظرفیت

در این مرحله پارامترهای کلی و پارامترهای مربوط به هر اتصال (مسیر حرکت) در مدل شبیه‌سازی شده جهت بهترین تطابق با شرایط محلی تنظیم می‌شوند. هدف در این مرحله یافتن مقادیری مناسب از پارامترهای مؤثر جهت رسیدن به نزدیک‌ترین تطابق با شرایط مشاهده شده میدانی است

در سفر سوم، سرعت خودروها در نزدیکی تقاطع محاسبه شد. نحوه بدست آمدن سرعت‌ها به این شکل بود که یک طول از محور اندازه گرفته می‌شد و ابتدا و انتهای این طول نشانه گذاری می‌شد و هنگامی که خودرو از ابتدای طول عبور می‌کرد و هنگامی که خودرو در انتهای این طول عبور می‌کرد کاربر زمان آن را ثبت می‌کرد، و در پایان با توجه به مسافت و زمان عبوری، سرعت خودرو محاسبه می‌شد. این کار برای هر کدام از رویکردهای ورودی به تقاطع صورت می‌گرفت و معمولاً در فاصله ۷۰ تا ۱۰۰ متری تقاطع داده‌ها برداشت می‌شد. در شکل ۴ نمونه‌ای از برداشت سرعت آورده شده است. در برداشت سوم مدت زمان تمام قرمز هر چراغ راهنما در هر فاز نیز محاسبه شد. همچنین نمای کلی از سه تقاطع مذکور توسط Google Earth برداشت شده که در اشکال ۵ تا ۷ آورده شده است.



شکل ۴. نمونه برداشت سرعت

از این‌رو از تقاطع آذر-ملت در روز دوشنبه ۸ خرداد و در ساعت ۵:۰۰ الی ۶:۰۰ عصر فیلمبرداری صورت گرفت و برای تقاطع فلزی-ملت نیز کار فیلمبرداری در روز سه‌شنبه ۹ خرداد و در ساعت ۷:۰۰ الی ۸:۰۰ عصر انجام شد. شرایط آب و هوایی در روز فیلمبرداری نرمال بود. تصویری از زمان فیلمبرداری از یکی از تقاطع‌های موصوف نیز در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. تصویری از نمای فیلم برداری شده از تقاطع تختی

برداشت طرح هندسی تقاطع‌ها، در یک سفر دو روزه، که شامل برداشت عرض خطوط، عرض میانه، تعداد خطوط، طول و عرض میانه، محل قرار گرفتن ایستگاه‌های اتوبوس‌های بی‌آرتی برداشت شد، در شکل ۳ یکی از مترکشی‌های مربوط به خیابان چهارباغ پایین آورده شده است.



شکل ۳. نمونه از مترکشی



شکل ۵. نمای کلی از تقاطع پل فلزی-ملت

۱، ۱/۵، ۲، ۳، ۳، ۳ و ۵ می‌باشد. در جدول ۱ احجام معادل سواری تمام تقاطع‌های چراغدار به طور خلاصه بیان شده است. در جدول ۲ سرعت‌های برداشت شده از هر تقاطع که روش برداشت آن در بالا توضیح داده شد، آورده شده است، بعد از بدست آوردن سرعت متوسط، بنا به دستور آیین نامه طرح هندسی راه ایران، آیین نامه ۴۱۵، سرعت مجاز معادل سرعت عملکردی است، بنابراین سرعت عملکردی (سرعت ۸۵ درصدی)، محاسبه شد (Rother, 2001). برای شبیه سازی جریان ترافیک، نیاز به زمان بندی چراغ راهنمایی در هر تقاطع هست، بنابراین، با برداشت ۱۵ سیکل از هر چراغ در هر رویکرد، زمان سبز، زرد و تمام قرمز بدست آمد که در جدول ۳ آورده شده است.

#### ۴-۳- انتخاب پارامترهای کالیبراسیون

نرم‌افزار ایسمان دارای سه مدل تعقیب خودرو، تغییر خط و پذیرش فاصله است. در واقع هر کدام از این مدل‌ها تعدادی پارامتر وابسته دارند که موجب بوجود آمدن این مدل‌های می‌شوند. برای کالیبره کردن مدل‌های بالا، باید پارامترهای وابسته به هر کدام از آنها را کالیبره نمود. اگر پارامترها به مقدار میدانی نزدیک شود، مدل جریان مشابه‌تر به حالت میدانی را شبیه‌سازی می‌کند. در انتخاب پارامتر باید به چند نکته توجه شود؛ ابتدا باید نوع تسهیلات ترافیکی مشخص سپس شاخص عملکردی متناسب با آن مشخص شود، و در انتها پارامترهای وابسته به این پارامتر عملکردی مشخص شوند که در جدول ۴ و ۵ به ترتیب شاخص‌های عملکردی و پارامترهای مربوط به آن آورده شده است. در این مقاله باید مدل تعقیب خودرو کالیبره شود، تسهیلات مورد انتخاب هم تسهیلات چراغدار است. همچنین پارامتر متناسب با تقاطع چراغدار، حجم انتخاب شده است و با استفاده از راهنمای دینامیک نرم‌افزار ایسمان، دو پارامتر وابسته و مهم مربوط به مدل تعقیب خودرو که در نرم‌افزار به کار گرفته شده است را معرفی می‌کند که شامل:

۱- زمان واکنش<sup>۱۰</sup>

۲- زمان واکنش در توقف<sup>۱۱</sup>

زمان واکنش: زمانی است که راننده برای عکس‌العمل نسبت به تغییرات سرعت وسیله نقلیه جلویی نیاز دارد.

زمان واکنش در توقف: این زمان عکس‌العمل برای وسائل نقلیه‌ای است که در حالت سکون هستند و برای شتاب‌گیری به واسطه سبز شدن چراغ یا از صف خارج شدن به آن نیاز



شکل ۶. نمای کلی از تقاطع شیخ صدوق



شکل ۷. نمای کلی از تقاطع تختی

#### ۴-۲- جمع‌آوری داده‌های میدانی از ظرفیت شبکه

شناسایی نقاط مورد نظر برای اندازه‌گیری داده‌های ظرفیت شبکه به شرایط ترافیک موجود در فضای مطالعاتی بستگی دارد. احجام هر حرکت جریان ترافیک در تقاطع‌های چراغدار "تختی، آذر-ملت، پل فلزی و شیخ صدوق" به تفکیک وسایل نقلیه از فیلم‌ها برداشت شد و وارد نرم‌افزار اکسل گردید. سپس با استفاده از ضرایب معادل سواری هر وسیله نقلیه در آیین نامه ترافیک شهری، حجم معادل وسیله نقلیه سواری برای همه حرکت‌ها در تقاطع‌های ذکر شده به دست آمد. لازم به ذکر است که ضرایب معادل سواری برای دوچرخه، موتورسیکلت، سواری، ون، وانت، تاکسی، مینی‌بوس، کامیونت، کامیون، اتوبوس غیرواحد و اتوبوس واحد به ترتیب معادل ۰/۳، ۰/۳، ۱،

Analaysis Toolbox Volume III, 2004;  
Calibration of Tehran City Volume III, 2012,  
(in Persian)

دارند. در حالی که زمان عکس العمل معمول، برای وسائل  
تقلیه‌ای است که در حال حرکت می‌باشند. این پارامتر اثر بالایی  
در ایجاد صف دارد که استفاده کننده را قادر می‌سازد بر  
مدل‌سازی صف کنترل لازم را داشته باشد ( Traffic

جدول ۱. احجام معادل سواری تقاطع‌های مورد مطالعه

نام تقاطع	رویکرد	حرکت مستقیم	گردش به راست	گردش به چپ	دوربرگردان
تقاطع آذر-ملت	آذر	۶۸۳	۴۱۲	۴۴۶	۲
	ملت غربی	۹۳۰	۳۹۵	۳۲۹	۷۶
	ملت شرقی	۱۰۹۴	۴۳۹	۲۲۸	۳۵
	توحید	۱۰۱۳	۳۲۱	۵۹۹	۴۱
تقاطع پل فلزی-ملت	پل فلزی	۸۱۸	۴۳۳	۴۴۷	۲
	ملت غربی	۱۰۸۱	۵۴۸	۴۳۸	۹۶
	سعدی	۷۱۱	۳۱۱	۲۵۴	۸۵
	حکیم نظامی	۸۶۸	۲۸۳	۲۳۰	۲۶
تقاطع شیخ صدوق	سعادت‌آباد غربی	۸۹۲	۱۲۴	۳۶۱	۱۱۷
	سعادت‌آباد شرقی	۶۷۲	۱۱۳	۷۵	۹
	صدوق شمالی	۸۸۳	۵۷۹	۲۰۵	۱۷
	صدوق جنوبی	۴۴۱	۱۷۴	۱۷۹	۱۴
تقاطع تختی	مسجد سید	۹۶۷	۲۰۲	۴۷۲	۴۲
	عبدالرزاق	۱۱۲۸	۵۸۰	۲۳۶	۱۵
	چهارباغ پایین جنوب	۱۱۵۲	۱۸۰	۰	۰
	چهارباغ پایین شمال	۱۱۴۷	۴۷۴	۱۸۴	۶۰

جدول ۲. سرعت‌های برداشت شده در هر رویکرد از تقاطع‌های مورد مطالعه

نام تقاطع	رویکرد	سرعت ۸۵ درصدی (کیلومتر/ساعت)	سرعت متوسط (کیلومتر/ساعت)
تقاطع آذر-ملت	آذر	۴۵/۴	۳۴/۵۳
	ملت غربی	۴۶/۷	۳۵/۲
	ملت شرقی	۴۸/۹۶	۳۴/۴۳
	توحید	۵۵/۶۷	۳۶/۷۲
تقاطع پل فلزی-ملت	پل فلزی	۴۱/۵۴	۳۴/۶۲
	ملت غربی	۴۴/۱	۳۶/۳۳
	سعدی	۴۵	۳۵/۱۵
	حکیم نظامی	۴۵	۳۸/۶۵
تقاطع شیخ صدوق	سعادت‌آباد غربی	۱۹/۷۹	۲۱/۱۸
	سعادت‌آباد شرقی	۲۱/۲۵	۲۳/۱۳



۳۷/۴	۳۴/۷۴	صدوق شمالی	
۳۹/۴۴	۳۴/۸	صدوق جنوبی	
۴۹/۱۹	۳۹/۰۱	مسجد سید	
۵۰/۴	۳۸/۶۵	عبدالرزاق	
۳۳/۶	۳۱/۵۲	چهارباغ پایین جنوب	تقاطع تختی
۳۲/۵۳	۲۹/۵۲	چهارباغ پایین شمال	

جدول ۳. زمان بندی چراغ راهنمایی تقاطع‌های مورد مطالعه

نام تقاطع	رویکرد	زمان سبز(ثانیه)	زمان زرد(ثانیه)	زمان تمام قرمز(ثانیه)	طول سیکل(ثانیه)
تقاطع آذر-ملت	پل آذر-توحید	۴۷	۳	۴	۱۰۵
	ملت غربی- ملت شرقی	۴۴	۳	۴	
تقاطع پل فلزی- ملت	پل فلزی- حکیم نظامی	۳۹	۳	۲	۱۰۰
	ملت غربی-سعدی	۵۱	۳	۲	
تقاطع شیخ صدوق	سعادت آباد شرقی	۱۹	۳	۲	۱۰۰
	سعادت آباد غربی	۳۹	۳	۳	
	شیخ صدوق شمالی- شیخ صدوق جنوبی	۲۶	۳	۲	
	عبدالرزاق- مسجد سید	۴۵	۳	۴	
تقاطع تختی	چهار باغ پایین جنوب-چهار باغ پایین شمال	۳۳	۳	۴	۹۲

#### ۴-۴- کالیبره کردن احجام ترافیکی

مربع خطا (MSE)، مقدار خطای بین حجم مقدار شبیه‌سازی شده و مقدار واقعی محاسبه و در پایان زمان واکنش و زمان واکنش در توقفی که کم‌ترین خطا را نسبت به حالت واقعی را داشت به عنوان، زمان واکنش و زمان واکنش در توقف کالیبره انتخاب شد. در سه تقاطع تختی، آذر-ملت، پل فلزی-ملت زمان واکنش و زمان واکنش در توقف کالیبره شد، که این دو زمان برای هر سه تقاطع مقدار ۰/۵ ثانیه برای زمان واکنش و ۰/۶۵ برای زمان واکنش در توقف دارای کم‌ترین خطا می‌باشند، که نتایج نهایی در جداول ۶ تا ۸ آورده شده است. بعد از بررسی میانگین مربعات خطا و مقایسه زمان واکنش و زمان واکنش در توقف برای هر تقاطع نتیجه گرفته شد که مقدار تابع میانگین مربعات خطا در مقدار زمان واکنش ۰/۵ ثانیه و زمان واکنش در توقف ۰/۶۵ ثانیه، کم‌ترین مقدار را دارد.

هدف در این مرحله رسیدن به احجام ترافیکی منطبق با واقعیت در مکان‌های مورد نظر است. ذکر این نکته ضروری است که حجم در واقع یک پارامتر عملکردی است که متناسب با تسهیلات تقاطع چراغدار می‌باشد، همچنین این پارامتر عملکردی به زمان واکنش و زمان واکنش در توقف وابسته است (Transportation Research Board, 2000)، بنابراین، در این مرحله کالیبراسیون بر اساس این پارامتر عملکردی که با تسهیلات مورد بررسی، سازگاری دارد؛ پرداخته می‌شود. برای کالیبراسیون احجام به این صورت عمل شد که ابتدا زمان واکنش‌ها و زمان واکنش توقف را در بازه‌های زمانی متفاوتی به طور متغیر، وارد نرم افزار شد و در هر بار وارد کردن ده بار نرم افزار اجرا شد. با قرار دادن، شناسگرهایی در ابتدا ورودی هر رویکرد به تقاطع، حجم جریان ورودی به تقاطع برداشت شد، با تشکیل تابع حداقل

جدول ۴. شاخص‌های عملکردی مورد توجه تسهیلات ترافیکی مختلف جهت کالیبراسیون

تقاطع غیر چراغدار	زمان تأخیر، طول صف، حجم
تقاطع چراغدار	زمان تأخیر، طول صف، حجم
شریانی درجه ۱، آزاد راه	حجم، سرعت سفر، درصد استفاده از خطوط
نواحی تغییر خط	حجم، زمان سفر، سرعت
کل شبکه	حجم، زمان سفر

جدول ۵. پارامترهای تأثیر گذار به منظور کالیبره کردن تقاطع چراغدار در نرم افزار AIMSUN

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

جدول ۶. میانگین مربعات خطا مجموع رویکردهای تقاطع آذر-ملت در زمان‌های واکنش ۰/۵ تا ۰/۹ و زمان واکنش در توقف ۰/۵۵ تا ۱/۲

زمان عکس العمل (ثانیه)	زمان عکس العمل در توقف (ثانیه)	خطای مدل شبیه سازی شده (MSE)					
		توحید	ملت غربی	آذر	ملت شرقی	MSE	MSE/10000
۰/۵	۰/۵۵	۸/۲۵۳۲۴۶	۴/۱۳۰۴۱	۱/۱۱۹۲	۲/۱۱۹۷۵	۵/۲۷۹۴۵۵	۹۴۵۵۵/۲۷
۰/۵	۰/۶۵	۱/۱۸۳۱۲۶	۲/۶۲۳۱	۹/۷۳۹	۱/۹۶۰۴	۳/۱۹۹۷۰۱	۹۷۰۱۳/۱۹
۰/۵	۰/۷۵	۷/۲۱۶۴۹۵	۲/۴۷۵۰	۶/۱۴۲۴	۸/۲۴۸۹۵	۳/۲۴۷۵۶۶	۷۵۶۶۳/۲۴
۰/۵	۱	۲/۳۳۹۸۳۶	۵/۱۲۴۰۱	۱/۲۷۶۶	۱/۳۸۷۶۹	۹/۳۹۳۷۷۲	۳۷۷۲۹/۳۹
۰/۶	۰/۶۵	۲/۳۲۶۱۹۸	۸/۳۶۰۵۴	۱/۸۴۴	۳/۱۰۳۸۰	۴/۳۷۳۴۷۷	۳۴۷۷۴/۳۷
۰/۶	۰/۷۵	۷/۴۲۹۸۵۱	۴/۵۱۴۹۹	۵/۷۲۱	۷/۱۳۵۹۵	۳/۴۹۵۶۶۸	۵۶۶۸۳/۴۹
۰/۶	۰/۸۵	۸/۳۲۴۹۰۷	۲/۲۴۷۹۵	۴/۳۸۵۸	۲۷۵۸۱	۴/۳۸۱۱۴۲	۱۱۴۲۴/۳۸
۰/۶	۱	۵/۴۱۹۴۶۲	۷/۳۰۸۴۲	۸/۲۵۰۷	۶/۲۴۵۰۳	۶/۴۷۷۳۱۶	۷۳۱۶۶/۴۷
۰/۷	۰/۷۵	۱۴۵۱	۱۳۹۶	۱۰۰۶	۱۱۱۶	۴۹۶۹	۴۹۶۹/۰
۰/۷	۰/۸۵	۶/۴۳۵۶۳۰	۴/۵۹۸۲۷	۲/۲۸۰۶	۵/۱۵۵۶۲	۷/۵۱۳۸۲۶	۳۸۲۶۷/۵۱
۰/۷	۰/۹۵	۵/۳۸۶۱۵۴	۹/۲۹۸۲۰	۹/۲۷۸۳	۵/۳۷۷۹۹	۸/۴۵۶۵۵۸	۶۵۵۸۸/۴۵
۰/۷	۱	۳/۴۲۵۵۹۴	۵۱۰۱۱	۸/۲۹۲۹۷۷	۹/۱۳۶۱	۷۷۰۹۴۵	۰۹۴۵/۷۷
۰/۸	۰/۸	۶/۱۳۲۸۷۵	۶/۵۲۳۵۷	۸/۹۵۰۹	۲/۱۰۴۹۴	۲/۲۰۵۲۳۷	۵۲۳۷۲/۲۰
۰/۸	۰/۸۵	۳/۱۲۳۹۵۹	۲/۵۶۳۳۶	۱۰۲۵۵	۷/۹۶۰۳	۲/۲۰۰۱۵۴	۰۱۵۴۲/۲۰
۰/۸	۰/۹۵	۵/۱۵۱۱۷۷	۲/۵۵۳۳۰	۹/۸۴۰۸	۹/۱۹۸۷۸	۵/۲۳۴۷۹۵	۴۷۹۵۵/۲۳
۰/۸	۱	۴/۱۵۸۳۶۸	۴/۵۷۴۸۴	۹/۱۱۱۹۷	۶/۳۲۶۸۲	۳/۲۵۹۷۳۳	۹۷۳۳۳/۲۵
۰/۹	۰/۹	۳/۲۰۳۳۳۳	۵۴۲۱۵	۶/۷۶۱۳	۲۷۹۴۳	۹/۲۹۳۱۰۴	۳۱۰۴۹/۲۹
۰/۹	۰/۹۵	۲/۲۰۱۷۰۷	۸/۵۹۷۳۵	۲/۱۳۴۷۶	۸/۱۷۸۲۲	۲۹۲۷۴۲	۲۷۴۲/۲۹
۰/۹	۱/۱	۳/۳۵۳۸۷۷	۵/۲۰۵۱۷	۸/۲۸۶۰	۲۹۷۰۹	۶/۴۰۶۶۶۴	۶۹۶۶۶/۴۰
۰/۹	۲/۱	۶/۴۸۵۳۹۰	۲/۷۶۶۸۲	۶/۱۲۳۲۲	۶/۵۰۸۷۶	۶۲۵۲۷۲	۵۲۷۲/۶۲

جدول ۷. میانگین مربعات خطا مجموع رویکردها تقاطع فلزی-ملت در زمان‌های واکنش ۰/۵ تا ۰/۹ و زمان واکنش درتوقف ۰/۵۵ تا ۱/۲

زمان عکس العمل (ثانیه)	زمان عکس العمل در توقف (ثانیه)	خطای مدل شبیه سازی شده (MSE)					
		مسجد سید	چهار باغ پایین شمال	عبدالرزاق	چهار باغ پایین جنوب	MSE	MSE/10000
۰/۵	۰/۵۵	۴/۲۶۲۳	۱/۱۱۴۶	۱/۴۲۹	۶/۲۴۰۸	۲/۶۶۰۷	۶۶۰۷۲/۰
۰/۵	۰/۶۵	۵/۱۶۰۱	۹/۱۳۹۴	۶/۳۴۳	۹/۲۷۲۸	۹/۶۰۶۸	۶۰۶۸۹/۰
۰/۵	۰/۷۵	۸/۵۲۲۰	۴/۱۸۷۲	۹/۷۶۵	۵/۲۸۱۰	۶/۱۰۶۶۹	۰۶۶۹۶/۱
۰/۵	۱	۶/۹۳۶۰۲	۲/۱۰۷۱۶	۱۱۱۲۳۸	۸/۱۲۰۳۲	۶/۲۲۷۵۸۹	۷۵۸۹۶/۲۲
۰/۶	۰/۶۵	۹/۱۶۶۰۶	۵/۲۲۵۵	۵/۶۷۶	۲/۲۱۷۲	۱/۲۱۷۱۱	۱۷۱۱۱/۲
۰/۶	۰/۷۵	۱/۱۳۹۲۹۳	۸/۷۲۰۷	۴/۶۰۰۵	۱/۸۵۷۱	۴/۱۶۱۰۷۷	۱۰۷۷۴/۱۶
۰/۶	۰/۸۵	۱۱۹۲۹	۷۳۷۶۳	۲/۱۱۰۷۹۱	۳/۱۴۵۸۰	۵/۲۱۱۰۶۳	۱۰۶۳۵/۲۱
۰/۶	۱	۴/۴۲۳۸۶	۹/۲۷۳۱	۹/۱۱۴۲	۵/۱۲۱۹	۷/۴۷۴۸۰	۷۴۸۰۷/۴
۰/۷	۰/۷۵	۱۳۰۶۸۸	۸/۸۴۸	۵/۱۲۰۸	۵/۱۱۲۳	۸/۱۳۳۸۶۸	۳۸۶۸۸/۱۳
۰/۷	۰/۸۵	۴۹۷۸۵	۹۱۴۶۳	۵/۱۴۸۰۰۲	۵/۲۲۴۶۹	۳۱۱۷۲۰	۱۷۲/۳۱
۰/۷	۰/۹۵	۶/۱۹۶۷۰	۴/۱۰۷۸۶۵	۱/۱۵۹۰۳۱	۱۵۵۶۴	۱/۳۰۲۱۳۱	۲۱۳۱۱/۳۰
۰/۷	۱	۶/۵۰۳۴۸	۳/۷۳۳۷۹	۸/۱۲۴۰۶۵	۹۱۸۳	۷/۲۵۶۹۷۶	۶۹۷۶۷/۲۵
۰/۸	۰/۸	۱۲۸۴	۱۴۶۰	۱۰۶۶	۱۲۳۱	۵۰۴۱	۵۰۴۱/۰
۰/۸	۰/۸۵	۹/۶۳۵۸	۱/۱۳۵۴	۱/۱۳۲۶	۴۳۹۲	۱/۱۳۴۳۱	۳۴۳۱۱/۱
۰/۸	۰/۹۵	۱/۱۲۳۳۶۹	۸/۱۰۱۸	۳/۹۸۹	۹/۴۸۸۴	۱/۱۳۰۲۶۲	۰۲۶۲۱/۱۳
۰/۸	۱	۴/۱۳۱۱۶۰	۲/۱۷۳۸	۹/۱۴۷۷	۶/۱۶۰۸۶	۱/۱۵۰۴۶۳	۰۴۶۳۱/۱۵
۰/۹	۰/۹	۳/۱۷۰۷۶۷	۲/۲۳۵۱	۴۳۷	۷۳۵۱	۵/۱۸۰۹۰۶	۰۹۰۶۵/۱۸
۰/۹	۰/۹۵	۸/۱۶۹۳۷۶	۶/۲۳۰۱	۲۱۲۰	۸/۳۰۶۲	۲/۱۷۶۸۶۱	۶۸۶۱۲/۱۷
۰/۹	۱/۱	۸/۱۲۵۰۸۱	۲/۵۶۰۷۱	۵۳۳۶۸	۸/۸۴۶۳۲	۸/۳۱۹۱۵۳	۹۱۵۳۸/۳۱
۰/۹	۲/۱	۵/۱۸۲۹۹۲	۳/۲۰۶۹	۹/۱۱۸۲	۹/۹۸۹۲	۶/۱۹۶۱۳۷	۶۱۳۷۶/۱۹

جدول ۸. میانگین مربعات خطا مجموع رویکردها تقاطع تختی در زمان‌های واکنش ۰/۵ تا ۰/۹ و زمان واکنش در توقف ۰/۵ تا ۱/۲

زمان عکس العمل (ثانیه)	زمان عکس العمل در توقف (ثانیه)	خطای مدل شبیه سازی شده (MSE)					
		مسجد سید	چهار باغ پایین شمال	عبدالرزاق	چهار باغ پایین جنوب	MSE	MSE/10000
۰/۵	۰/۵۵	۲/۱۹۷۵	۶/۱۰۹۳	۷۷۴۶۸	۲/۱۷۸۳	۸۲۳۲۰	۲۳۲/۸
۰/۵	۰/۶۵	۷/۸۵۵	۶/۲۰۴۷	۶۴۷۶۵	۹/۹۸۷	۶/۶۸۶۵۶	۸۶۵۶۶/۶
۰/۵	۰/۷۵	۹/۱۱۳۳	۸۷۱۵	۶۹۳۶۷۳	۱۳۱۰	۳/۹۶۸۳۳	۶۸۳۳۳/۹
۰/۵	۱	۸/۱۶۴۸	۱/۹۸۱	۴/۱۲۶۹۴۵	۳/۲۴۵۰	۶/۱۳۲۰۲۵	۲۰۲۵۶/۱۳
۰/۶	۰/۶۵	۶/۱۴۹۷	۴/۸۷۲	۸/۱۴۳۱۶	۷/۱۳۲۱	۵/۱۱۸۰۰۸	۸۰۰۸۵/۱۱
۰/۶	۰/۷۵	۷/۱۰۵۰	۷/۱۷۶۶	۲/۱۲۴۳۴۰	۳/۲۳۰۴	۹/۱۲۹۴۶۱	۹۴۶۱۹/۱۲
۰/۶	۰/۸۵	۵/۲۰۳۶	۴/۱۲۶۹	۱/۱۵۴۳۱۲	۴/۱۰۴۵	۴/۱۵۸۵۶۳	۸۵۶۳۴/۱۵
۰/۶	۱	۷/۲۱۲۸	۴/۱۵۹۵	۴/۲۲۴۷۶۲	۵/۹۹۰	۲۲۹۴۷۷	۹۴۷۷/۲۲
۰/۷	۰/۷۵	۶/۹۴۹	۳/۹۶۹	۸/۲۰۷۸۸۱	۱/۱۲۰۳	۸/۲۱۱۰۰۳	۱۰۰۳۸/۲۱
۰/۷	۰/۸۵	۵/۱۳۰۸	۱/۳۲۱۷	۲/۱۱۱۱۰۴	۱/۱۷۲۷	۹/۲۱۷۳۵۶	۷۳۵۶۹/۲۱
۰/۷	۰/۹۵	۱/۸۹۰	۷/۱۹۳۹	۸/۲۶۱۲۴۲	۷/۱۰۹۰	۳/۲۶۵۱۶۳	۵۱۶۳۳/۲۶
۰/۷	۱	۱۱۳۲	۲/۸۳۳	۸/۲۹۲۹۷۷	۹/۱۳۶۱	۹/۲۹۶۳۰۴	۶۳۰۴۹/۲۹
۰/۸	۰/۸	۵۸۶۳۰	۹/۲۲۶۱	۹/۳۹۲۴۰	۱۰۰۵۸	۸/۱۱۰۱۹۰	۰۱۹۰۸/۱۱
۰/۸	۰/۸۵	۳/۶۳۷۳۸	۹/۱۱۴۱	۳/۵۴۸۹۴	۵/۳۷۴۴	۱۲۲۵۱۹	۲۵۱۹/۱۲
۰/۸	۰/۹۵	۲/۶۶۴۲۵	۷/۱۲۴۹	۷/۸۶۵۶۳	۵/۱۷۱۵	۱/۱۵۵۹۵۴	۵۹۵۴۱/۱۵
۰/۸	۱	۸/۷۲۲۷۹	۱/۲۳۰۰	۴/۶۳۷۳۹	۹/۶۴۷	۲/۱۳۸۹۶۷	۸۹۶۷۲/۱۳
۰/۹	۰/۹	۹/۱۱۳۳	۸۷۱۵	۶۹۳۶۷۳	۱۳۱۰	۳/۹۶۸۳۳	۶۸۳۳۳/۹
۰/۹	۰/۹۵	۲/۱۰۰۸۷۶	۱/۱۳۵۱	۸/۷۲۱۲۸	۱/۵۷۳۸	۲/۱۸۰۰۹۴	۰۰۹۴۲/۱۸
۰/۹	۱/۱	۱۱۳۲۲۸	۵/۲۸۹۰	۹۹۲۷۷	۹/۶۵۱	۴/۲۱۶۰۴۷	۶۰۴۷۴/۲۱
۰/۹	۲/۱	۹/۱۲۶۶۸۸	۷/۱۴۲۲	۹/۱۰۵۳۶۶	۴/۱۳۱۵	۹/۲۳۴۷۹۳	۴۷۹۳۹/۲۳

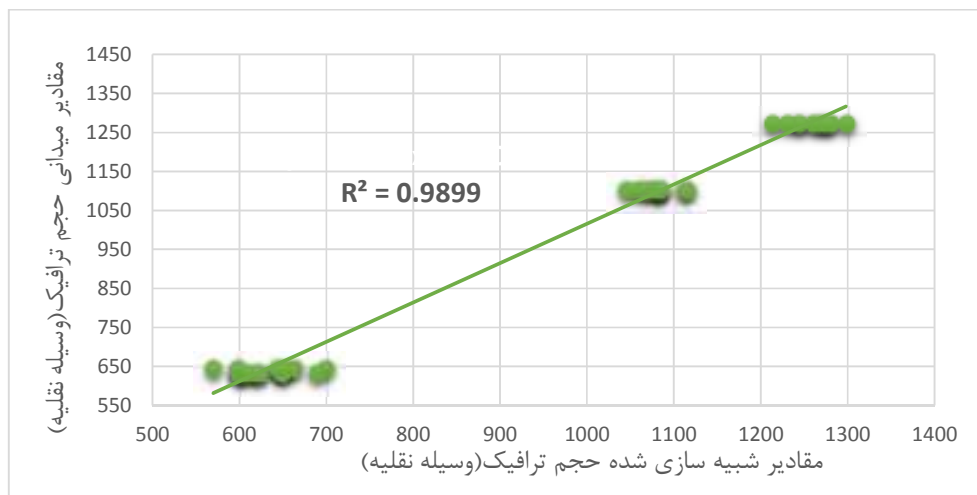
جدول ۹. مقادیر ضریب غیر یکنواختی تیل برای احجام رویکردهای شیخ صدوق

رویکرد	آزمون تیل (U)
شیخ صدوق جنوبی	۰/۰۲۲۳۹۹۹
سعادت آباد غربی	۰/۰۱۱۴۷۲۰۹۵
شیخ صدوق شمالی	۰/۰۱۴۷۰۵۳
سعادت آباد شرقی	۰/۰۲۶۷۶۱۸۴۴

#### ۴-۵- اعتبارسنجی

قبولی قرار داشتند، نتایج در جدول ۹ و شکل ۸ آورده شده است. مقدار  $R^2$  تقریباً برابر یک بود که مقدار بسیار عالی است و همچنین مقادیر آزمون آماری تیل (U) در همه رویکردها از مقدار ۰/۱ کم تر می باشد، بنابراین، این نتایج نشان می دهد که مدل به خوبی کالیبره شده است (Rother, 2001).

بعد از کالیبراسیون دو پارامتر، لازم است مقادیر پارامترها را اعتبارسنجی شود، تا از صحت داده ها اطمینان حاصل گردد. برای اعتبارسنجی از سه آزمون آماری تیل، جذر مربعات خطا، و  $R^2$  بر روی داده های حجم انجام استفاده شد و در دو آزمون، که محدوده مجاز برای آن وجود داشت؛ داده ها در بازه قابل



شکل ۸. نمودار برازش خطی حجم ترافیک رویکردها بعد از مراحل کالیبراسیون

#### ۵- نتیجه گیری

بعد از کالیبراسیون مقدار زمان تأخیر کاهش پیدا کرده است، از آنجایی که مقدار زمان واکنش نرم افزار در حالت پیش فرض از مقدار زمان واکنش، کالیبره شده بیشتر است، بنابراین، می توان گفت با کاهش زمان واکنش مقدار زمان تأخیر کاهش پیدا می کند.

با کالیبره شدن مقدار زمان واکنش، مقدار چگالی کاهش پیدا کرد و تأثیر این کالیبراسیون بر روی چگالی، تأثیر چشمگیری داشت، دلیل این کاهش به علت کاهش حجم است.

زمان سفر بعد از کالیبراسیون کاهش پیدا کرد، که با توجه به کاهش زمان واکنش و زمان واکنش در توقف، کاهش زمان سفر امری منطقی می باشد.

مقادیر کالیبره شده در این تحقیق به مهندسان ترافیک بویژه در مدیریت ترافیک کلان شهر اصفهان کمک می کند، تا نتایج خروجی شبیه سازی از نرم افزار دقیق تر و به واقعیت نزدیک تری داشته باشند.

برای رسیدن به هدف این پژوهش که کالیبره کردن مدل های تعقیب خودرو است، لازم بود که دو پارامتر زمان واکنش و زمان واکنش در توقف برای رانندگان اصفهانی کالیبره شود. یکی از محدودیت های این تحقیق، نبود دیتابیس لازم برای داده های مورد نیاز بود. بنابراین، لازم بود تمام داده ها به صورت میدانی برداشت شود که این موضوع زمان بر و دارای مشکلات زیادی بود، همچنین محدودیت هایی از جنبه قوانین شهری برای فیلم برداری از تقاطع ها و همچنین واکنش های مردم عادی وجود داشت، که زمان برداشت داده ها را طولانی تر و سخت تر می کرد.

از این رو داده های میدانی حجم از سه تقاطع فلزی-ملت، تخته، آذر-ملت برداشت شد و بعد از کالیبراسیون زمان واکنش به ۰.۵ ثانیه و زمان واکنش در توقف به ۰.۶۵ ثانیه تغییر کرد و این داده ها با استفاده از تقاطع شیخ صدوق اعتبارسنجی شد، که در نهایت بر اساس نتایج تحلیل ها نتایج به دست آمد.

## ۶- پی‌نوشت‌ها

-Lee, J., and Jones, J.H., (1967), "Traffic Dynamics: Visual Angle Car Following Models", Traffic Engineering and Control, November, pp. 348-350, 1967.

-Castello, J.M.D, Pintado, P., Benitz, F.G., (1994), "The Reaction Time of Drivers and the Stability of Traffic Flow", Transportation Research B, Vol. 28, No. 1, pp. 35-60.

-Gurusnglhe, G., Nakatsuji, T., Tanaboriboon, Y., Takahashi, K., and Suzuki, J., (2001), "A Car Following Model Incorporating Excess Critical Speed Concept", Journal of Eastern Asia Societ for Transportation Studies, Vol. 4, No. 2, pp. 171-184.

-Cattin, J., Leclercq, L., Pereyron, F., and Faouz, NE. El., (2019), "Calibration of Gipps' car-following model for trucks and the impacts on fuel consumption estimation", Vol. 13, No. 2, pp. 367-375.

-Zhang, H.M., and Kim, T., (2005), "A Car-Following Theory for multiphase Vehicular Traffic Flow", Transportation Research, Part B, Vol. 39, No. 5, pp. 385-399.

-Shafiei, S., Gu, Z., Saberi, M., (2018), "Calibration and validation of a simulation-based dynamic traffic assignment model for a large-scale congested network", Simulation Modelling Practice and Theory, Vol. 86, pp. 169-186.

-Rother. R.W., (2001), "Car Following Models", Traffic Flow Theory: A state-of-the-Art Report Organized by the Committee on Traffic Flow Theory and Characteristics (AHB45).

-Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation modeling Software, (2004), FHWA, Report, Report No: FHWA-HRT-04-040.

-Transportation Research Board, (2000), Highway Capacity Manual, National Research Council Washington DC.

1. Classic Models
2. Vissim
3. Aimsun
4. Paramics
5. Stimulus-Response Models
6. Optimal Velocity Model
7. Intelligent Driver Model
8. Safe-Distance Models
9. Artificial Intelligence Models
10. Reaction Time
11. Reaction Time at Stop

## ۷- مراجع

- "مطالعات کالیبره نمودن نرم‌افزارهای مهندسی ترافیک بر اساس شرایط ترافیکی شهر تهران"، (۱۳۹۱)، جلد دوم، انتشارات دانشگاه علم و صنعت.

- "مطالعات کالیبره نمودن نرم‌افزارهای مهندسی ترافیک بر اساس شرایط ترافیکی شهر تهران"، (۱۳۹۱)، جلد سوم، انتشارات دانشگاه علم و صنعت.

-Kayvan, A., Majid, S., and William, Y., (2015), "A State-of-the-Art Review of Car-following Models with Particular Considerations of Heavy Vehicles", Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal, pp. 1-26.

-Kometani, E., and Saaki, T., (1959), "Dynamic Behavior of Traffic with Nonlinear Spacing-Speed Relationship, on the Stability of Traffic Flow", Proceedings of Symposium on the Traffic Flow, General Motors Research Laboratories, pp. 105-119.

-Aghabayk, K., Sarvi, M., and Young, W., (2016), "Including heavy vehicles in car-following model: modeling calibrating and validating", J. Adv. Transp., Vol. 50, No. 7, pp. 1432-1446.

# Calibration of Car Following Model Based on Two Parameters Related To Reaction Time and Reaction Time at Stop (Case Study: Isfahan Metropolitan)

*Ehsan Salehi, M.Sc., Grad., Civil Engineering Department, Faculty of Engineering,  
University of Zanjan, Zanjan, Iran.*

*Amir Masoud Rahimi, Associate Professor, Civil Engineering Department,  
Faculty of Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran.*

*Arash Mazaheri, Ph.D. Student, Civil Engineering Department, Faculty of Engineering,  
University of Zanjan, Zanjan, Iran.*

*E-mail: amrahimi@znu.ac.ir*

Received: July 2022-Accepted: July 2022

## ABSTRACT

Basic traffic flow models deal with the movement behavior of vehicles in traffic flow. These models are the basis of the work of simulation software. In general, there are four types of behavioral models in simulation software, which include car following model, lane change model, opportunity acceptance model, and lateral distance model. These models provide user-adjustable parameters that the ability of simulators to reproduce driving behaviors and traffic performance indicators of the study site, depends on the correct adjustment of these parameters. Simply put, these parameters must be calibrated before the simulator software can be used as a traffic analysis tool. Since driving behavior and environmental factors can also affect the car chase model, so the parameters will be different for different cities and in Iran, the car following model parameters have been done only for Tehran and Qom, in this study to use Optimal and correct of Aimsun simulator software, for Isfahan city, the parameters of the car following model of this software were calibrated. Calibrated Since in order to calibrate the car tracking model, the reaction time and the reaction time in stopping must be calibrated, so these two parameters were calibrated using the field data of the intersections and their calibrated values were 0.5 and 0.65, respectively. It should be noted that the default reaction time is 0.75 seconds and the reaction time at the default stop is 1.35 seconds in the software. Therefore, by replacing the calibrated times instead of the default times of the car tracking model in Aimsun software, the car tracking model was calibrated for Isfahanian drivers.

**Keywords:** Car Following Model, Reaction Time, Reaction Time in Stopping, Aimsun