

## بررسی رفتار تعقیب خودرو در بزرگراه‌های درون‌شهری

### (مطالعه موردی: بزرگراه مدرس تهران)

#### مقاله علمی - پژوهشی

عباس رمضانی خوانساری، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی علاء الدوله سمنانی،

گرمسار، ایران

سید محمد حسین دهناد\*، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه قم، قم، ایران

سجاد عبدی شیبجانی، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه قم، قم، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.dehnad@qom.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۵

صفحه ۳۱۴-۲۹۹

#### چکیده

شناخت رفتار تعقیب خودرو با ارائه مدل پیش‌بینی رفتار رانندگان، متناسب با رفتارهای اجتماعی یک منطقه و اقلیم می‌تواند در ایجاد فاصله ایمن کمک نموده و موجب عدم وقوع تصادفات جلو به عقب در جریان ترافیک گردد. حداقل فاصله ایمن بین خودروی پیرو که با سرعت مشخص در تعقیب وسیله جلویی خود قرار دارد را می‌توان با ایجاد روابط بین سرعت و سرفاصله مکانی بدست آورد و وابستگی عکس‌العمل خودرو پیرو را به عمل خودرو جلویی پیش‌بینی نمود. در این پژوهش با پردازش اطلاعات ترافیکی خودروهای عبوری از بزرگراه مدرس از طریق فیلم‌برداری خودروهای در تعقیب با استفاده از نرم افزار SPSS، متداول‌ترین روابط خطی، لگاریتمی، نمایی و سهمی با هم مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. نتایج مقایسه نشان داد که بهترین مدل رگرسیون برای سرعت و سرفاصله مکانی، سهمی درجه دو با ضریب تعیین  $R^2$  برابر ۰/۹۴۳ است و بهترین مدل برای سرعت و سرفاصله زمانی نیز سهمی درجه دو بوده که در مقایسه با سرفاصله مکانی، سرعت با سرفاصله زمانی ارتباط کمتری دارد. چراکه مقدار سرفاصله زمانی در اغلب مواقع ثابت بوده و تغییرات کمتری نسبت به سرفاصله مکانی دارد. بررسی روابط سهمی درجه دو سرعت و سرفاصله نشان داد که متغیر سرعت با سرفاصله مکانی رابطه مستقیم داشته و با افزایش سرعت، سرفاصله مکانی نیز افزایش می‌یابد، چراکه رانندگان به منظور افزایش ایمنی در سرعت بالا، فاصله خود را نسبت به خودروی جلویی افزایش می‌دهند. لیکن رابطه سرعت و سرفاصله زمانی با یکدیگر معکوس بوده و با افزایش سرعت رانندگان، سرفاصله زمانی کاهش پیدا می‌کند.

واژه‌های کلیدی: خودروی پیش‌رو، رفتار تعقیب خودرو، سرفاصله زمانی، سرفاصله مکانی، ایمنی ترافیک

#### ۱- مقدمه

است (Ramezani Khansari, A. 2020). مدل‌سازی جریان ترافیک یک ابزار مهم در حل مشکلات ترافیکی و بهبود روند حرکتی در وسایل نقلیه محسوب می‌شود (Poor Arab Moghadam, M. Pahlavani, P. 2017). رفتار راننده جلویی در مدل‌سازی میکروسکوپی به عنوان خودرو پیش‌رو و رفتار راننده خودرو عقب به عنوان خودرو پیرو در نظر گرفته

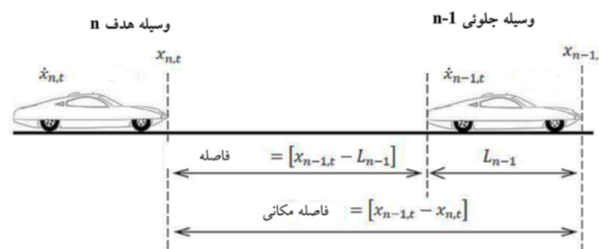
شناخت چگونگی رفتار افراد یک جامعه در مواجهه با شرایط مختلف می‌تواند موجب برنامه‌ریزی و ایجاد امکانات متناسب با شرایط جامعه گردد. اطلاع از رفتار ترافیکی رانندگان یک جامعه نه تنها موجب شناخت وضعیت ترافیکی و سطح خدمت‌دهی امکانات وضع موجود (شامل تقاطع، آزادراه‌ها و پارکینگ‌ها) می‌گردد بلکه در اصلاح قوانین ترافیکی نیز موثر

(شامل رفتار تعقیب خودرو، رفتار تغییر خط و رفتار پذیرش فاصله) وابسته است (Ramezani Khansari, A. 2020) و رفتار تعقیب خودرو نیز جزء یکی از رفتار رایج در رانندگی محسوب می‌گردد (Wang, Z et al. 2022). تحقیقات اولیه در دهه ۱۹۳۰ میلادی توسط آدامز و گرینشیلدز در اداره ترافیکی بزرگراه یل که به بررسی دنباله‌روی یک خودرو به وسیله خودرو دیگر در یک خط عبوری و همچنین، دنباله‌روی یک خودرو بدون سبقت‌گیری از خودرو پیش‌روی پرداخته‌اند (Cao, B. Yang, Z. 2009). در ادامه می‌توان به مطالعات راشل و پاییز به عنوان پیشگامان تئوری رفتار تعقیب خودرو که به بررسی رفتار دینامیکی جریان در هنگام شتاب کاهنده و افزایش پدیده پرداخته‌اند، اشاره نمود (Cao, B. Yang, Z. 2009). اگرچه بیش‌تر مدل‌ها از اندرکنش بین خودروها صرف‌نظر نموده‌اند؛ اما نمی‌توان اثرگذاری خودروها نسبت به یکدیگر را نادیده گرفت (Ramezani Khansari, A. 2020). بنابراین، لنز و همکاران به منظور تکمیل تحقیقات باندر، اثر اندرکنش چند خودرو و رفتار دینامیکی یک خودرو بر روی خودرو پیش‌رو در مدل سرعت لحاظ نمودند (Lenz, H. et al. 1999). می‌توان دو وسیله در حال تعقیب را مطابق شکل ۱ در نظر گرفت که در آن وسیله نقلیه پیرو (وسیله هدف  $n$ ) به طول  $L_{n-1}$  در تعقیب وسیله نقلیه پیش‌رو (وسیله نقلیه جلویی  $n-1$ ) به فاصله مکانی  $x_{n-1,t} - x_{n,t}$  هم قرار دارد. وسیله نقلیه پیش‌رو بر پارامترهای رفتاری وسیله هدف اثر می‌گذارد و پس از گذشت زمان مشخص؛ وسیله هدف نیز به رفتارهای محرک وسیله پیش‌رو واکنش نشان می‌دهد (Ramezani Khansari, A. 2020).

می‌شود (Li, Y. Sun, D. 2012, Saifuzzaman, M) (Zheng, Z. 2014, Aghabayk et al. 2014). راننده خودرو پشت‌سر همواره در تلاش است تا برای توقف ایمن و بدون حادثه، فاصله خود را نسبت به خودروی جلو حفظ نماید (Ramezani Khansari, A. 2020). اما؛ حرکت ناپایدار خودروی پیش‌رو موجب افزایش احتمال تصادف در خودروی پیرو می‌گردد (Li, Q et al. 2022). مدل‌های مختلفی به منظور پیش‌بینی رفتار رانندگان در جریان تعقیب خودرو ارائه شده است که می‌توان به عنوان تحقیقات تکمیلی مدل رفتاری رانندگان را متناسب با رفتارهای اجتماعی آن منطقه و اقلیم کالیبره نمود (Ramezani Khansari, A. 2020). همچنین، می‌توان از مدل‌های تعقیب خودرو برای درک بهتر پدیده‌های جریان ترافیکی در شرایط بد آب‌وهوایی (شامل مه‌آلود) کمک گرفت (Huang, Yet al. 2022). در این مطالعه جمع‌آوری اطلاعات ترافیکی از خودروهای عبوری از مقطع به طول ۲۴۰ متر بزرگراه مدرس در شهر تهران از طریق پردازش تصاویر ضبط شده از روی پل طبیعت توسط دوربین فیلم‌برداری با نرخ ۳۰ فریم بر ثانیه و کیفیت تصویر ۱۰۸۰ در ۱۹۲۰ پیکسل صورت گرفته است و با رگرسیون‌گیری از روابط متداول ریاضی (شامل رابطه خطی، لگاریتمی، چند جمله‌ای و نمایی) با استفاده از نرم افزارهای آماری به بهترین رابطه بین سرعت و فاصله رسیده است.

## ۲- پیشینه تحقیق

حجم تردد را می‌توان به عنوان یکی اصلی‌ترین اطلاعات طراحی بزرگراه دانست که به پارامترهای رفتاری رانندگان



شکل ۱. تعاریف و علامت گذاری‌های مورد استفاده در مدل تعقیب خودرو

$x_{n-1,t}$ : موقعیت وسیله نقلیه جلویی  $n-1$  در زمان  $t$

$x_{n,t}$ : موقعیت وسیله نقلیه هدف  $n$  در زمان  $t$

$\dot{x}_{n-1,t}$ : سرعت وسیله نقلیه جلویی  $n-1$  در زمان  $t$

$\dot{x}_{n,t}$ : سرعت وسیله هدف  $n$  در زمان  $t$

$L_{n-1}$ : طول وسیله نقلیه جلویی

$[x_{n-1,t} - x_{n,t}]$ : فاصله مکانی بین دو وسیله نقلیه در زمان  $t$

$[x_{n-1,t} - (x_{n,t} - L_{n-1})]$ : فاصله بین دو وسیله نقلیه در زمان  $t$

مدل‌های شناخته شده تعقیب خودرو را می‌توان به ۷ گروه عمومی زیر تقسیم نمود (Ramezani Khansari, A. 2020) که در ادامه به شرح هر یک پرداخته شده است.

-مدل فاصله ایمن - سرفاصله زمانی

-مدل تحریک - پاسخ (GHR)<sup>۱</sup>

-مدل اجتناب از تصادف (CA)<sup>۲</sup>

-مدل خطی Helly

-مدل سرعت بهینه

-مدل تعمیم یافته نیرو (GFM)<sup>۳</sup>

-مدل بر پایه منطق فازی

## ۲-۱- مدل فاصله ایمن با سرفاصله زمانی

عکس‌العمل وسیله هدف به عمل انجام شده توسط وسیله پیش‌رو وابسته است (Olstam J, J. Tapani, A. 2011). کمینه سرفاصله زمانی  $D_{min}$  که توسط پاییز در سال ۱۹۵۳ میلادی ارائه شده است که در آن  $D_{min}$  با زمان عکس‌العمل  $1/36$  ثانیه، مطابق معادله ۱ محاسبه می‌شود (May A, D. 1990). در ادامه فوربس مقدار کمینه سرفاصله زمانی با زمان عکس‌العمل  $1/5$  ثانیه را مطابق معادله ۲ بدست آورده است (Cao, B. Yang, Z. 2009).

$$D_{min} = 1/36\dot{x}_{n+1}(t) \quad (1)$$

$$D_{min} = 1/5\dot{x}_{n+1}(t) + 20 \quad (2)$$

## ۲-۲- مدل‌های تحریک - پاسخ (GHR)

از معروف‌ترین مدل‌های تعقیب خودرو می‌توان به مدل GHR اشاره نمود که در اواخر دهه ۱۹۵۰ و اوایل ۱۹۶۰ میلادی توسط گازیس و همکاران معرفی شده است (Brackstone, Ramezani, A. 2020). به شرح رابطه ۳ نشان داده شده است (Ramezani, A. 2020).

مدل‌های تعقیب خودرو می‌توان به مدل GHR اشاره نمود که در اواخر دهه ۱۹۵۰ و اوایل ۱۹۶۰ میلادی توسط گازیس و همکاران معرفی شده است (Brackstone, Ramezani, A. 2020).

$$d\dot{x}_{n+1}(t + \tau)/dt = \lambda [\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)] \quad (3)$$

$$\lambda = a * (\dot{x}_{n+1}^m(t + \tau)/(x_n - x_{n+1})^l) \quad (4)$$

خلاصه‌ای از این تحقیقات آورده شده است (Cao, B. Yang, Z. 2009).

که  $a$  ضریب تناسب و  $\lambda$  ضریب حساسیت راننده می‌باشد که با جایگذاری معادله ۴ در معادله ۳ می‌توان تغییرات شتاب در زمان  $t$  را بدست آورد. تحقیقات متعدد به منظور یافتن بهترین ترکیب از  $m$  و  $l$  صورت گرفته است که در جدول ۱

جدول ۱. خلاصه‌ای از پارامترهای مدل GHR

L	M	منبع
۰	۰	چندلر و همکاران (۱۹۵۸)
۱	۰	گازیس و همکاران (۱۹۵۹)
۱	۰	هرمان و پاتس (۱۹۵۹)
۲-۱	۲-۰	گازیس (۱۹۶۱)
۲/۸	۰/۸	می و کلر (۱۹۶۷)
۱/۲	-۰/۸	هیس و اشورث (۱۹۷۲)
۲/۴	۰/۶	سدر و می (۱۹۷۶)

### ۲-۳- مدل اجتناب از تصادف (CA)

غیرقابل اجتناب است، نشان داد که مدل آن‌ها نسبت به مدل GHR با تغییراتی در معادلات حرکت نیوتن داشته است (Ramezani Khansari, A. 2020). معادله مدل CA به شرح زیر نشان داده شده است (Brackstone, M. McDonald, M. 1999).

$$\Delta x(t - T) = \alpha \dot{x}_{n-1}^2(t - T) + \beta_1 \dot{x}_n^2(t) + \beta \dot{x}_n(t) + b_0 \quad (5)$$

قبولی ارائه می‌دهد؛ اما امکان مقایسه اطلاعات واقعی توزیع اغتشاش با اطلاعات بدست آمده از شبیه‌سازی به آسانی میسر نمی‌شود (Cao, B. Yang, Z. 2009).

مدل CA در سال ۱۹۵۹ میلادی توسط ساسکی و کومیتانی معرفی شد (Brackstone, M. McDonald, M. 1999). در این مدل فاصله تعقیب ایمن، تابعی از سرعت خودروی پیرو و پیشرو بوده که به زمان تأخیر راننده وابسته است (Khodayari, A et al. 2012). مطالعه ساسکی و کومیتانی بر روی فاصله ایمن تعقیب خودرو و در حالی که تصادف

که مقادیر  $b_0, \beta, \beta_1, \alpha$  ضرایب ثابتی هستند که بسته به شرایط مختلف (شامل حداکثر سرعت و حداکثر فاصله بین دو خودرو در محدوده مورد مطالعه) تعیین می‌گردد (Pu, Y., and Ren, B. 2013). استفاده از این مدل اگرچه نتایج قابل

### ۲-۴- مدل خطی Helly

مدل شامل فاکتور فاصله پیروی مطلوب می‌باشد (Helly, W. 1959). این مدل در معادله ۶ و ۷ نشان داده شده است (Brackstone, M. McDonald, M. 1999).

مدل خطی Helly در سال ۱۹۵۹ میلادی تعریف شد که شامل پارامترهای اضافی برای تطبیق و تنظیم نمودن شتاب خودرو در مواجهه با ترمز خودرو پیشرو و دو خودروی جلوتر است. این

$$a_n(t) = C_1 \Delta \dot{x}(t-T) + C_2 (\Delta x(t-T) - D_n(t)) \quad (6)$$

$$D_n(t) = \alpha + \beta \dot{x}(t-T) + \gamma a_n(t-T) \quad (7)$$

می‌توان برای مدل Helly، مطابق جدول ۲ برای پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$  از مقادیر ارائه شده در تحقیقات مختلف استفاده نمود (Aron, M. 1988).

جدول ۲. پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$  مدل Helly

$C_2(\Delta \dot{x})$	$C_1(\Delta \dot{x})$	منبع
۰/۱۲۵	۰/۵	هلی (۱۹۵۹)
۰/۰۶	۰/۵	هانکن و راکول (۱۹۶۷)
۱/۶۴	۰/۵	بکی و همکاران (۱۹۷۷)
۰/۰۳ - ۰/۰۳ - ۰/۰۳	۰/۲۹ - ۱/۱ - ۰/۳۶	آرون (۱۹۸۸)
۰/۰۵	۰/۵	زین (۱۹۵۵)

#### ۲-۵- مدل سرعت بهینه

مدل سرعت بهینه توسط باندو در سال ۱۹۹۵ میلادی مطابق معادله ۸ معرفی شده است (Cao, B. Yang, Z. 2009).

$$d\dot{x}_n(t)/dt = k[\dot{x}(\Delta x) - \dot{x}_n(t)] \quad (8)$$

$v(\Delta x)$  سرعت بهینه و  $K$  ضریب حساسیت یا عکس‌العمل می‌باشد.

#### ۲-۶- مدل تعمیم یافته نیرو (GFM)

هلبینگ و تیلچ برای بهبود مدل سرعت بهینه، مدل تعمیم یافته نیرو را بیان نمودند که در معادله ۹ ارائه شده است:

$$d\dot{x}_n(t)/dt = k[\dot{x}(\Delta x) - \dot{x}_n(t)] + \lambda H(-\Delta \dot{x}_n) \Delta \dot{x}_n \quad (9)$$

که تابع سخت  $H$  برای  $X < 0$  برابر صفر بوده و برای  $X > 0$  برابر یک در نظر گرفته می‌شود (Helbing, D. Tilch, B. 1998).

#### ۲-۷- مدل بر پایه منطق فازی

در این مدل می‌توان با استفاده از مجموعه اعداد قطعی، از درجه عضویت برای فاصله، سرعت و شتاب استفاده نمود (Poor Arab Moghadam, M. Pahlavani, P. (2017)). در تحقیق برکاستون و همکاران با استفاده از نتایج میدانی و واقعی، توابع عضویت مدل‌های فازی کالیبره شده است که در جدول ۳ ارائه شده است (Brackstone, M. et al. 1997).

مدل منطق فازی برای اولین بار توسط ککوچی به منظور فازی سازی مدل GHR مورد استفاده قرار گرفت (Kikuchi, S. Chakroborty, P. 1992). در مطالعه علوی و همکاران در سال ۱۳۹۸ با استفاده از معادلات دیفرانسیل، رفتار خودرو پیرو با فرض معلوم بودن رفتار حرکتی خودرو پیش‌رو پیش‌بینی شده است (Naser Alavi, S. et al. 1010). مدل منطق فازی به عنوان آخرین گام در مدل‌سازی رفتار رانندگان، با تقسیم مدل اصلی به تعدادی فاز محدودتر، رفتار رانندگان را توصیف می‌کند (Ramezani, Khansari, A. 2020).

جدول ۳. مجموعه‌های فازی استفاده شده در منطق فازی

سرعت نسبی	فاصله	پاسخ راننده (نرخ شتاب)
افزاینده-با نرخ زیاد	خیلی زیاد	شتاب زیاد
افزاینده	زیاد	شتاب متوسط
تقریباً صفر	مورد قبول	شتاب صفر
کاهنده	نزدیک	ترمز متوسط
کاهنده- با نرخ زیاد	خیلی نزدیک	ترمز شدید

### ۳- روش تحقیق

#### ۳-۱- محدوده مورد مطالعه

تقریبی ۲۴۰ متر بوده است که به دلیل ارتفاع و زاویه مناسب پل نسبت به بزرگراه مدرس، تهیه فیلم و برداشت اطلاعات از روی پل طبیعت صورت گرفته است. در شکل (۲) محدوده مورد مطالعه و موقعیت قرارگیری دوربین نشان داده شده است.

محدوده مورد مطالعه معبر جنوب به شمال بزرگراه آیت الله مدرس با جریان غیرمقطع ترافیک با سه خط عبوری در اراضی عباس آباد می‌باشد. طول مقطع مورد بررسی، حد فاصل ورودی بزرگراه همت غرب تا پل طبیعت با طول

#### ۳-۲- برداشت اطلاعات

قادر به پوشش تصویری چهار خط یک جهت بزرگراه را داشته است. محل استقرار دوربین بر روی یک سه پایه و از بالاترین نرده‌های پل طبیعت در ارتفاع تقریبی ۴۰ متری از سطح جاده قرار داشته است که در شکل ۳ محل قرارگیری دوربین نشان داده شده است. فرآیند فیلم‌برداری از بزرگراه مدرس در روزهای غیر تعطیل بین ساعات ۱۴ تا ۱۴:۳۰ در وضعیت آب‌وهوای آفتابی صورت گرفته است. وضعیت حجم جریان ترافیک روان بوده است چراکه جمع‌آوری اطلاعات کافی در حجم جریان ترافیکی کم امکان پذیر نبوده و محاسبه سرعت در حجم جریان بسیار زیاد به علت توقف وسایل نقلیه بی معنی می‌باشد. روی سطح زمین در بین عارضه و اجسام مشخص کنار بزرگراه مدرس با استفاده از اسپری نشانه‌گذاری شدند تا بتوان پارامترهای سرعت و فاصله بین خودروها را از طریق پردازش مختصات نقاط عکس به واقعیت بدست آورد که مطابق شکل ۴ فواصل مشخص شده بر روی سطح بزرگراه نشان داده شده است.

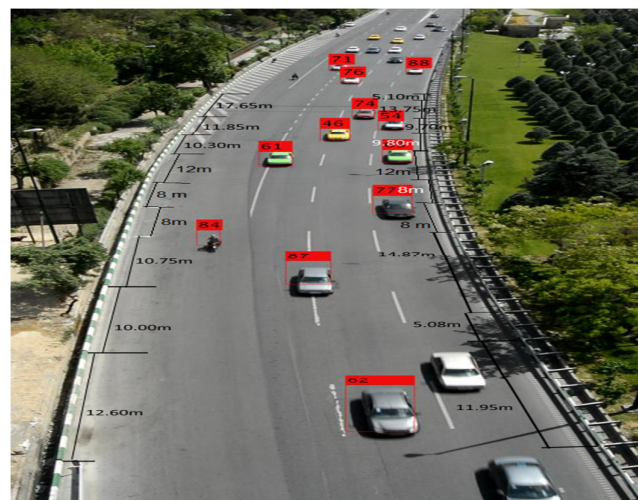
روش‌های مختلفی اطلاعات ترافیکی در مطالعات تعقیب خودرو وجود دارد. چندلر داده‌های مورد نیاز مطالعات خود را از هشت نمونه خودروی متصل با سیم بدست آورده (Spyropoulou, I. 2007)، در حالی که ادی اطلاعات مدل خود را براساس انطباق داده‌های ماکروسکوپی جریان بدست آورده است (Cao, B. Yang, Z. 2009). همچنین، می‌توان از شبیه‌سازهای آزمایشگاهی برای جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز برای مدل‌سازی رفتار تعقیب خودرو استفاده نمود (Chandler, R, E. 1958). از آکی در مطالعات خود نشان داد که می‌توان اطلاعات ترافیکی را از طریق ضبط فیلم از موقعیت بالای سطح جاده بدست آورد (Siuhi, S. Kaseko, M. 2010). یا مطابق مطالعات تریتر و میبرز با گرفتن عکس از درون بالگرد با فاصله زمانی ۰/۱ ثانیه داده‌های ترافیکی را جمع‌آوری نمود (McDonald, M. Wu, J. 1997). در این تحقیق با جمع‌آوری اطلاعات ترافیکی مورد نیاز از طریق دوربین فیلم‌برداری با نرخ ۳۰ فریم بر ثانیه و کیفیت تصویر ۱۰۸۰ در ۱۹۲۰ پیکسل که



شکل ۲. محدوده مورد مطالعه و موقعیت قرارگیری دوربین



شکل ۳. محل قرارگیری دوربین



شکل ۴. فواصل مشخص شده روی سطح بزرگراه

### ۳-۳- برداشت داده‌ها از فیلم‌ها

تحقیقات نیز مورد استفاده قرار گرفته است که این نشان دهنده اعتبار درستی نتایج این نرم‌افزار در انجام کارهای تحقیقاتی می‌باشد (Amini, E et al. 2018). سرفاصله مکانی را می‌توان مطابق شکل ۱ از تطبیق فاصله سپر جلوی خودروی هدف تا سپر خودرو پیشرو در تصویر بر حسب متر بدست آورد. بدین منظور از فواصل مشخص واقعی در بزرگراه استفاده شده است. در نتیجه، می‌توان سرفاصله زمانی  $H$  را با داشتن سرفاصله مکانی  $S$  و سرعت وسیله نقلیه  $V$ ، با استفاده روابط حاکم بر جریان که برگرفته از قوانین سالات است؛ مطابق معادله ۱۰ تخمین زد.

$$H(sec) = S(m)/V(m/sec) \quad (10)$$

برای محاسبه فاصله تأثیرگذار در تعقیب خودرو (آستانه پاسخ) می‌توان به مطالعات هرمان و پوتر در سال ۱۹۵۹ میلادی اشاره نمود که آستانه پاسخ را ۶۱ متر در نظر گرفته است (Brackstone, M. McDonald, M. 1999). آیکین در مطالعات خود این فاصله را ۷۵ متر به دست آورد (Aycin, M, F. 2001). تولدو، عددی ۷۶ متر را به عنوان آستانه آغاز پاسخ راننده در نظر گرفته است (Toledo, T. 2003). خوانساری و همکاران نیز در سال ۲۰۱۶ در تحقیق خود در ایران نشان دادند که اغلب رانندگان سرفاصله زمانی زیر ۱/۵ ثانیه را برای رعایت ایمنی خود انتخاب می‌کنند (Khansari, E, R et al. 2017). در این تحقیق فاصله زمانی ۱/۵ ثانیه معیار سنجش داده‌های ضبط شده از بزرگراه در نظر گرفته شده است و با ضرب فاصله زمانی ۱/۵ ثانیه در سرعت میزان فاصله آستانه پاسخ محاسبه شده است. در نتیجه؛ داده‌های خودروهای که سرفاصله مکانی آن‌ها بیشتر از مقادیر جدول ۴ بوده است، از تحقیق حذف شده است.

استخراج داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار پردازش تصویر که می‌تواند خودروها را در تصویر شناسایی و دنبال‌کننده صورت گرفته است که در آن با تخصیص شماره به جسم که در پس زمینه تصویر در حال حرکت است را شناسایی کرده و شماره جسم را تا خروج آن از تصویر حفظ می‌کند. بنابراین، امکان ثبت موقعیت مکانی وسیله نقلیه در هر فریم از تصویر برای زوج خودرو به صورت جداگانه را خواهد داشت و در نتیجه به محقق کمک می‌کند تا رفتار تعقیب خودرو را بررسی نماید (Ramezani Khansari, A. 2020). این نرم‌افزار پردازش تصویر که توسط محققین دانشگاه امیرکبیر تهیه شده در سایر

با توجه به برداشت فیلم که با کیفیت ۳۰ فریم بر ثانیه صورت گرفته است؛ می‌توان زمان قرارگیری هر وسیله در نشانه‌گذاری مشخص شده در تصویر را با ضرب اختلاف زمان فریم هر دو وسیله نقلیه در فاصله زمانی بین هر فریم که برابر یک سی‌ام است، محاسبه نمود.

تعداد ۱۵۷۷ وسیله نقلیه با سرعت متوسط ۶۲/۹۴ کیلومتر بر ساعت در مدت فیلم‌برداری از محدوده مورد مطالعه عبور کردند و مجموع ۳۱۲۰ خط داده برای تعقیب خودرو بین دو وسیله نقلیه سواری لحاظ شده است. در شمارش از خودرو سواری پیرو که در تعقیب خودرو غیر سواری (وسيله نقلیه سنگین و موتورسیکلت) بوده است، صرف نظر شده است. اگرچه به ازای یک خودرو دو خط داده وجود دارد و انتظار می‌رود تعداد خطوط داده برداشت شده دقیقاً دو برابر تعداد خودروهای موجود در تصویر باشد؛ اما همیشه یک خودرو پیرو که در تعقیب یک خودرو پیش‌رو قرار دارد نمی‌تواند به وسیله خودرو هدف دیگری در حال تعقیب باشد.

جدول ۴. آستانه پاسخ

سرعت (کیلومتر بر ساعت)	آستانه پاسخ (متر)
۴۰	۱۶/۷
۵۰	۲۰/۸
۶۰	۲۵
۷۰	۲۹/۱

برای شاخص سرعت، سرفاصله طولی و زمانی به ترتیب برابر ۰/۶، ۱/۳ و ۱/۱ درصد می‌باشد. کفایت آماری تعداد داده برداشت شده و دقت حاصل از آنها قابل پذیرش است، زیرا این مقدار کم خطا موثر نبوده و قابل صرف نظر کردن است (Hinton, P et al. 2014).

توزیع نرمال داده‌ها شاخص سرعت، سرفاصله مکانی و سرفاصله زمانی با استفاده از آزمون اندرسون-دارلینگ که اصلاح شده آزمون کولموگروف-اسمیرنوف می‌باشد، توسط برنامه XLstat در نرم‌افزار MS Excel مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج توزیع نرمال داده‌ها مطابق شکل (۵)، (۶) و (۷) نشان می‌دهد که مقدار دلنا برای تمام شاخص‌ها کوچکتر از مقدار ۰/۰۰۰۱ بدست آمده است که از مقدار آلفا برابر ۰/۰۵ کم‌تر می‌باشد. در نتیجه توزیع میدانی داده‌ها برای تمام شاخص‌ها از توزیع نرمال پیروی نمی‌کند. چراکه، توزیع شاخص‌های آماری به علت حذف داده‌های که مقدار سرفاصله مکانی آن‌ها از آستانه پاسخ بیشتر بوده است و جزء هیچ یک از خودروهای پیرو و پیش‌رو قرار نمی‌گرفتند، از حالت نرمال خارج شده است.

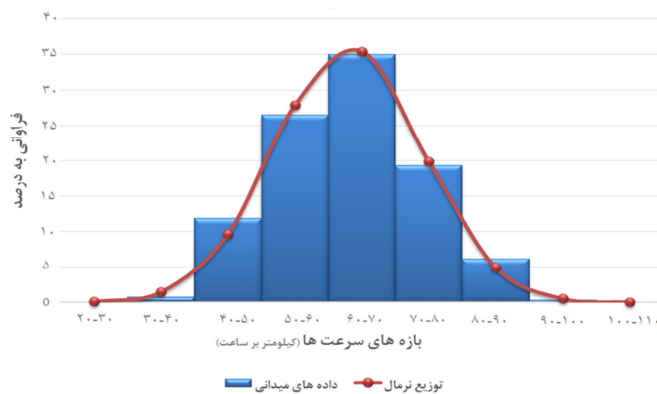
شتاب خودروهای عبوری به علت کوتاه بودن طول برداشت داده‌ها صفر در نظر گرفته شده است که به موجب آن می‌توان سرعت ثابت خودروها را از تقسیم مسافت طی شده خودرو بر زمان حضور آن در تصویر بدست آورد. باتوجه به مطالعه خوانساری و همکاران می‌توان نتیجه گرفت که اگر قدرمطلق تفاسل سرعت دو خودرو متوالی کمتر از ۵ کیلومتر بر ساعت باشد می‌توان آن‌ها را خودروهای در تعقیب در نظر گرفت (Khansari, E, R et al. 2017).

#### ۴- بحث و ارائه یافته‌ها

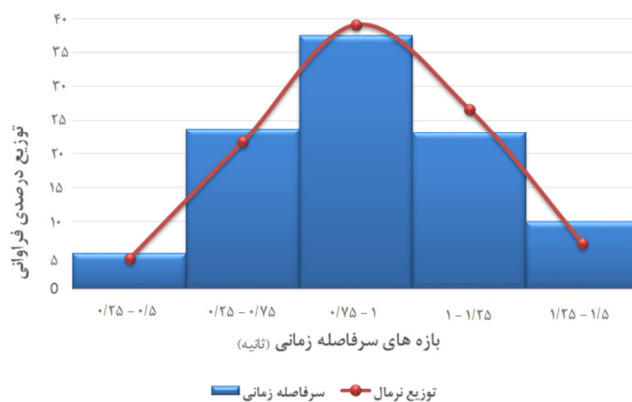
به منظور بررسی کفایت آماری داده‌های بدست آمده از تحلیل تصاویر ضبط شده از آزمون t یک نمونه‌ای در نرم‌افزار SPSS استفاده شده است و میانگین شاخص‌های آماری سرعت، سرفاصله طولی و زمانی مطابق جدول ۵ به ترتیب برابر ۶۲/۹۴ کیلومتر بر ساعت، ۱۵/۶۹ متر و ۰/۹ ثانیه بدست آمده است. اختلاف میانگین جامعه آماری برای حداقل و حداکثر مقدار با سطح اطمینان ۹۵ درصد و میزان خطای ۰/۰۵ درصدی برای شاخص سرعت بین ۶۳/۳ و ۶۲/۵۸، شاخص سرفاصله طولی بین ۱۵/۸۶ و ۱۵/۵۳ و شاخص سرفاصله زمانی بین ۰/۹ و ۰/۸۹ ارزیابی شده است. میزان متوسط خطا

جدول ۵. خروجی شاخص‌های آماری در نرم‌افزار SPSS

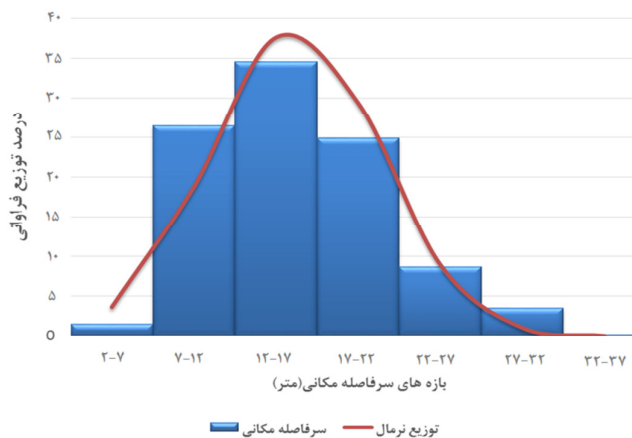
شاخص آماری	میانگین	انحراف معیار	میانگین با فاصله اطمینان ۹۵	
			حداکثر	حداقل
سرعت (کیلومتر بر ساعت)	۶۲/۹۴	۱۱/۰۶	۶۳/۳	۶۲/۵۸
فاصله مکانی (متر)	۱۵/۶۹	۵/۱۷	۱۵/۸۶	۱۵/۵۲
فاصله زمانی (ثانیه)	۰/۹	۰/۲۵	۰/۹	۰/۸۹



شکل ۵. مقایسه توزیع داده های سرعت با توزیع نرمال



شکل ۶. مقایسه توزیع داده های سرفاصله مکانی با توزیع نرمال



شکل ۷. مقایسه توزیع داده های سرفاصله زمانی با توزیع نرمال

#### ۴-۱- رابطه سرعت و سرفاصله مکانی

تحقیقات آقاییک و همکاران، داده‌ها را در بازه ۵ کیلومتر بر ساعت تقسیم کرده و سپس نمودارها رگرسیون را براساس سرعت و میانگین سرفاصله مکانی داده‌ها ترسیم نمود تا بدین وسیله رگرسیون‌گیری با کیفیت بهتری انجام شود (Aghabayk, K et al. 2014). در جدول ۶ نتایج بدست آمده از رگرسیون‌های مختلف نشان داده شده است.

برای ایجاد رابطه بین متغیر وابسته سرفاصله مکانی و متغیر مستقل سرعت می‌توان از متداول‌ترین روابط (شامل رابطه خطی، لگاریتمی، چند جمله‌ای و نمایی) استفاده نمود و نتایج تمامی مدل‌های رگرسیون باهم مقایسه شده است. به منظور کاهش پراکندگی داده‌ها و عدم نرمال بودن توزیع آن که موجب پرت و دور افتاده بودن داده‌ها شده است می‌توان مطابق

جدول ۶. رگرسیون‌های رابطه سرعت و سرفاصله مکانی

معادله	RMSE	R	نوع رگرسیون
$T = -0.0022 * \dot{x} + 1.0296$	0.05	0.435	رگرسیون خطی
$T = -0.122 \ln(\dot{x}) + 1.3943$	0.048	0.407	رگرسیون لگاریتمی
$T = -2E-05 * \dot{x}^2 - 0.0002 * \dot{x} + 0.97$	0.05	0.441	رگرسیون سهمی
$T = 1.0416e^{-0.002 \dot{x}}$	0.05	0.433	رگرسیون نمایی

#### ۴-۲- رابطه سرعت و سرفاصله زمانی

نتایج مدل‌های ساخته شده از داده‌های سرعت و سرفاصله زمانی نشان می‌دهد که در مقایسه با سرفاصله مکانی، سرعت با سرفاصله زمانی ارتباط کمتری دارد. چراکه مقدار سرفاصله زمانی در اغلب مواقع ثابت بوده و تغییرات کمتری نسبت به سرفاصله مکانی دارد. مقادیر جذر میانگین مجذور خطای داده نمودار نسبت به مدل ساخته شده در محدوده قابل قبول قرار دارد (Roy, K. Roy, P. 2008). اما مقدار ضریب تعیین  $R^2$  مطابق جدول ۷ برای تمامی مدل‌های رگرسیون کم‌تر از ۰/۸ است که نشان‌دهنده وابستگی کم سرفاصله زمانی به سرعت می‌باشد (Kasuya, E. 2019).

سطح معناداری مدل‌های ساخته شده برای سرفاصله زمانی مطابق بخش قبل با استفاده از آزمون تحلیل واریانس یک طرفه مورد سنجش قرار گرفته است و مقادیر سطح معناداری متغیر مستقل سرفاصله برای تمام مدل‌ها کمتر از ۰/۰۵ بدست آمده است که نشان دهنده قابل پذیرش بودن مدل‌های ساخته شده می‌باشد (Khansari, E, R et al. 2017). در این بخش نیز همانند بخش سرفاصله مکانی بهترین مدل رگرسیون بین سرعت و سرفاصله زمانی، رگرسیون سهمی درجه دو می‌باشد.

مقدار ضریب تعیین  $R^2$  برای تمامی مدل‌های رگرسیون بالای ۰/۸ بدست آمده است که این امر نزدیکی مقدار برازش داده‌های میدانی با مدل‌های رگرسیون را نشان می‌دهد (Kasuya, E. 2019) و مقادیر جذر میانگین مجذور خطا داده نمودار نسبت به مدل ساخته شده در محدوده قابل قبول قرار دارد (Roy, K. Roy, P. 2008) و بهترین مدل رگرسیون بین سرعت و سرفاصله مکانی، رگرسیون سهمی درجه دو می‌باشد. برای بررسی سطح معناداری مدل‌های ساخته شده در نرم‌افزار SPSS و با استفاده از آزمون تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) کمک گرفته شده است و مقادیر سطح معناداری برای تمام مدل متغیر مستقل سرفاصله دارای P-value کمتر از ۰/۰۵ بدست آمده است که نشان دهنده قابل پذیرش بودن مدل‌های ساخته شده می‌باشد (Hinton, P et al. 2014). نتایج مدل‌های ساخته شده نشان می‌دهد که با افزایش سرعت، سرفاصله مکانی نیز افزایش می‌یابد، چراکه با افزایش سرعت رانندگان فاصله خود را نسبت به خودرو جلوی خود افزایش می‌دهند تا احساس ایمنی بیشتری را برای خود ایجاد کنند.

جدول ۷. رگرسیون‌های رابطه سرعت و سرفاصله زمانی

معادله	RMSE	R	نوع رگرسیون
$T = -0.0022 * \dot{x} + 1.0296$	0.05	0.435	رگرسیون خطی
$T = -0.122 \ln(\dot{x}) + 1.3943$	0.048	0.407	رگرسیون لگاریتمی
$T = -2E-05 * \dot{x}^2 - 0.0002 * \dot{x} + 0.97$	0.05	0.441	رگرسیون سهمی
$T = 1.0416 e^{-0.001 \dot{x}}$	0.05	0.433	رگرسیون نمایی

## ۵- نتیجه‌گیری

۳۱۲۰ نمونه داده بدست آمده از تحلیل تصاویر ضبط شده از آزمون t یک نمونه‌ای در نرم‌افزار SPSS استفاده شده است و میانگین شاخص‌های آماری سرعت، سرفاصله طولی و زمانی به ترتیب برابر ۶۲/۹۴ کیلومتر بر ساعت، ۱۵/۶۹ متر و ۰/۹ ثانیه بدست آمده است. اختلاف میانگین جامع آماری برای حداقل و حداکثر مقدار با سطح اطمینان ۹۵ درصد و میزان خطای ۰/۰۵ درصدی برای شاخص سرعت بین ۶۳/۳ و ۶۲/۵۸، شاخص سرفاصله طولی بین ۱۵/۸۶ و ۱۵/۵۳ و شاخص سرفاصله زمانی بین ۰/۹ و ۰/۸۹ است. میزان متوسط خطا برای شاخص سرعت، سرفاصله طولی و زمانی به ترتیب برابر ۰/۶، ۱/۳ و ۱/۱ درصد می‌باشد. کفایت آماری تعداد داده جمع‌آوری شده از دقت قابل قبولی برخوردار بوده است. بهترین مدل رگرسیون برای سرعت و سرفاصله مکانی از بین رگرسیون خطی، لگاریتمی، چند جمله‌ای و نمایی، می‌توان به رگرسیون سهمی درجه دو با ضریب تعیین  $R^2$  برابر ۰/۹۴۳ اشاره نمود که در آن متغیر سرعت با سرفاصله مکانی رابطه مستقیم دارد. در نتیجه رانندگان با افزایش سرعت، فاصله خود را نسبت به خودرو جلوی خود افزایش می‌دهند تا احساس ایمنی بیشتری را برای خود ایجاد کنند. نتایج مدل‌های ساخته شده از داده‌های سرعت و سرفاصله زمانی نشان می‌دهد که در مقایسه با سرفاصله مکانی، سرعت با سرفاصله زمانی ارتباط کمتری دارد. چراکه مقدار سرفاصله زمانی در اغلب مواقع ثابت بوده و تغییرات کمتری نسبت به سرفاصله مکانی دارد. بهترین مدل رگرسیون برای سرعت و سرفاصله زمانی از بین رگرسیون‌های مورد بررسی می‌توان به رگرسیون سهمی درجه دو با بیش‌ترین ضریب تعیین  $R^2$  در بین مدل‌های دیگر اشاره نمود که در آن سرعت با سرفاصله زمانی رابطه عکس داشته و با افزایش سرعت رانندگان، سرفاصله زمانی کاهش پیدا می‌کند.

حفظ سرفاصله ایمن برای خودروی پیرو که در تعقیب خودرو پیش‌روی خود قرار دارد می‌تواند موجب کنترل خودرو در هنگام وقوع حادثه بدون وقوع تصادف گردد. یکی از شایع‌ترین عوامل تصادفات زنجیره‌ای در بزرگراه‌ها و آزادراه‌ها عدم رعایت سرفاصله ایمن بین خودروهای در تعقیب است. رابطه سرفاصله و سرعت اگرچه در بسیاری از تحقیقات مورد بررسی قرار گرفته است؛ اما رفتارهای اجتماعی افراد ساکن یک جامعه در تعقیب خودروها با یکدیگر متفاوت است. این تحقیق با پردازش تصاویر ضبط شده به بررسی رابطه بین سرعت با سرفاصله مکانی و زمانی پرداخته است و برآزش داده‌های جمع‌آوری شده از متداول‌ترین روابط (شامل رابطه خطی، لگاریتمی، چند جمله‌ای و نمایی) صورت گرفته است و به منظور دست‌یابی به بهترین رابطه، نتایج مدل‌های ساخته شده با هم مقایسه شده‌اند. محدوده مورد مطالعه معبر جنوب به شمال بزرگراه آیت الله مدرس با جریان غیرمنقطع ترافیک در اراضی عباس آباد می‌باشد. طول مقطع مورد بررسی، حداقل ورودی بزرگراه همت غرب تا پل طبیعت با طول تقریبی ۲۴۰ متر بوده است که به دلیل ارتفاع و زاویه مناسب پل نسبت به بزرگراه مدرس، تهیه فیلم و برداشت اطلاعات از طریق دوربین با کیفیت تصویر ۱۰۸۰ در ۱۹۲۰ پیکسل توسط فیلم‌برداری با نرخ ۳۰ فریم بر ثانیه انجام شده است. توزیع نرمال داده‌ها شاخص سرعت، سرفاصله مکانی و سرفاصله زمانی با استفاده از آزمون اندرسون-دارلینگ توسط نرم افزار MS Excel صورت گرفته و نتایج نشان داده است که مقدار دل‌تا برای تمام شاخص‌ها کم‌تر از مقدار آلفای ۰/۰۵ بدست آمده است و به علت حذف داده‌های سرفاصله مکانی خودروهای در حال عبوری که بیشتر از آستانه پاسخ بوده‌اند، توزیع میدانی داده‌ها برای تمام شاخص‌ها آماری نرمال نبوده است. کفایت آماری

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1-Gazis-Herman\_Rothery (GHR)
- 2- Collision Avoidance (CA)
- 3- Generalized Force Model (GFM)

۷- مراجع

- following. *Oper. Res.*, Vol. 6, No. 2, 165–184.
- Helbing, D. Tilch, B. (1998). Generalized Force Model of Traffic Dynamics. *Phys. Rev. E*. Vol. 58, No. 1, 133–138.
- Helly, W. (1959). Simulation of bottlenecks in single-lane traffic flow. *Proceedings of the Symposium on Theory of Traffic Flow*, 207-238.
- Huang, Y., Yan, X., Li, X., Duan, K., Rakotonirainy, A., & Gao, Z. (2022). Improving the car-following model to capture unobserved driver heterogeneity and following distance features in fog conditions. *Transportmetrica A: Transport Science*, 1-24.
- Kasuya, E. (2019). On the use of R and R squared in correlation and regression, Hoboken, USA. *John Wiley & Sons, Inc.* Vol. 34, No. 1, 235-236.
- Khansari, E, R. Tabibi, M. Moghadas Nejad, F. (2017). Lane-based car-following behavior based on inductive loops. in *Proceedings of the Institution of Civil Engineers–Transport*, Vol. 170, No. 1, 38–45.
- Khodayari, A. Ghaffari, A. Kazemi, R. Brauningl, R. (2012). A modified car-following model based on a neural network model of the human driver effects. *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. A Syst. Humans*, Vol. 42, No. 6, 1440–1449.
- Kikuchi, S. Chakroborty, P. (1992). Car-following model based on fuzzy inference system. *Transp. Res. Rec.*, Vol. 1365, No. 1365, 82–91.
- Li, Q., Yao, H., & Li, X. (2022). A matched case-control method to model car-following safety. *Transportmetrica A. Transport Science*, 1-19.
- Lenz, H. Wagner, C. K. Sollacher, R. (1999). Multi-anticipative car-following model. *Eur. Phys. J. B-Condensed Matter Complex Syst.*, Vol. 7, No. 2, 331–335.
- Aghabayk, K. Sarvi, M. Forouzideh, N. Young, W. (2014). Modelling heavy vehicle car following behavior in congested traffic conditions. *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 48, No. 8. 1017-1029.
- Aghabayk, K. Sarvi, M. Forouzideh, N. Young, W. (2014). Modelling heavy vehicle car-following behavior in congested traffic conditions. *J. Adv. Transp.*, Vol. 48, No. 8, 1017–1029.
- Amini, E. Tabibi, M. Khansari E, R. Abhari, M. (2018). A vehicle type-based approach to model car-following behaviors in simulation programs (case study: Car-motorcycle following behavior). *IATSS Res.*
- Aron, M. (1988). Car following in an urban network: simulation and experiments. *Plan. Transp. Res. Comput.*
- Aycin, M, F. (2001). Development of a car-following model to simulate driver and autonomous intelligent cruise controlled vehicular traffic flow. *The University of Illinois at Urbana-Champaign*.
- Brackstone, M. McDonald, M. (1999). Car-following: a historical review. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2(4), 181-196.
- Cao, B. Yang, Z. (2009). Car-Following Models Study Progress. in *2009 Second International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling*, Vol. 3, 190–193.
- Chandler, R, E. Herman, R. Montroll, E, W. (1958). Traffic dynamics: studies in car

- Master's thesis, *Technical Engineering Department*, Alaodoleh Semnani Institute of Higher Education.
- Roy, P. Roy, K. (2008). On some aspects of variable selection for partial least squares regression models. *QSAR & Combinatorial Science*, 27(3), 302-313.
- Saifuzzaman, M Zheng, Z. (2014). Incorporating human factors in car-following models: a review of recent developments and research needs. *Transportation research part C: Emerging Technologies*, Vol. 48, 379-403.
- Siuhi, S. Kaseko, M. (2010). Parametric study of stimulus-response behavior for car-following models. *Transp. Res. Board*, Vol. 10, 1-19.
- Spyropoulou, I. (2007). Simulation Using Gipps' Car-Following Model—An In-Depth Analysis. *Transportmetrica*, Vol. 3, No. 3, 231-245.
- Toledo, T. (2003). Integrating driving behavior modeling. *Massachusetts Institute of Technology*.
- Wang, Z., Huang, H., Tang, J., Meng, X., & Hu, L. (2022). Velocity control in car-following behavior with autonomous vehicles using reinforcement learning. *Accident Analysis & Prevention*, 174, 106729.
- Li, Y. Sun, D. (2012) Microscopic car-following model for the traffic flow: the state of the art. *Journal of Control Theory and Applications*, Vol. 10, No. 2, 133-43.
- McDonald, M. Wu, J. Brackstone, M. (1997). Development of a fuzzy logic-based microscopic motorway simulation model. *in Intelligent Transportation System, ITSC'97.*, IEEE Conference on, 82-87.
- Naser Alavi, S. Saffarzadeh, M. Nadimi, N. (2010). Estimation of vehicle tracking behavior using the basics of differential equations. *Journal of Transportation*, 7 (3 (24 consecutive)), 261-274.
- Olstam J, J. Tapani, A. (2011). Comparison of car-following models. *Swedish National Road and Transport Research Institute*. Publication Number: VTI Meddelande 960A, 2004. 2011.
- Poor Arab Moghadam, M. Pahlavani, P. (2017). Car Following Modeling Based on Multi-Variate Adaptive Regression Spline, Study Area: A Highway Zone, *Journal of Transportation Engineering*, 8(2), 273-290.
- Pu, Y., and Ren, B. (2013). Safe distance car-following model including backward-looking and its stability analysis. *The European Physical Journal B*, Vol. 86, No. 3, 1-11.
- Ramezani Khansari, A. (2020). Studying the Car Following Behavior of Vehicles in Urban Highways (Case Study: Modarres Highway).

# Studying the Car Following Behavior of Vehicles in Urban Highways (Case Study: Tehran's Modares Highway)

*Abbas Ramezani Khansari, M.Sc., Student, Department of Civil Engineering,  
Alaodoleh Semnani Education Institute of Semnan, Garmsar, Iran.*

*Mohammad Hosein Dehnad, Assistant Professor, Department of Civil Engineering,  
University of Qom, Qom, Iran.*

*Sajad Abdi Shijani, M.Sc., Student, Department of Civil Engineering, University of Qom,  
Qom, Iran.*

*E-mail: m.dehnad@qom.ac.ir*

Received: February 2024- Accepted: June 2024

## **ABSTRACT**

Understanding car following behavior is essential for predicting driver behavior and ensuring road safety. By developing a model that considers the social behavior of a specific region and climate conditions, we can establish a safe distance between vehicles and reduce the risk of front-rear collisions in traffic. The minimum safe distance between the following vehicle and the vehicle in front can be determined by establishing a relationship between their speeds and spacing interval and predicting how the following vehicle's reaction depends on the behavior of the vehicle in front. In this study, we compared the most common linear, logarithmic, exponential, and parametric relationships by analyzing the traffic data of vehicles on Modares highway. We used SPSS software to process and analyze the data. The comparison results showed that the best regression model for speed and spacing interval is a quadratic parabola with a determination coefficient  $R^2$  equal to 0.943. The best model for speed and headway is also a quadratic parabola, which is less dependent on the spacing interval than on speed. This is because the value of the headway generally remains constant in most cases and undergoes fewer changes compared to the spacing interval. Investigating the quadratic relationship between speed and spacing reveals that the speed variable has a direct relationship with the spacing interval. As the speed increases, the spacing also increases. This is because drivers increase their distance from the car in front to enhance safety at high speeds. The relationship between speed and headway is inversely proportional, meaning that as the speed of vehicles increases, the headway decreases.

**Keywords:** Car Following, Leading Vehicle, Time Headway, Spacing, Traffic