مجله علمی- پژوهشی
«عمـــران مـــدرس»
دوره یازدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۰

استفاده از شاخص *زمان تا تصادف* برای بهبود برازش مدل تعقیب خودروی GHR در حالت شتاب منفی

سید صابر ناصرعلوی[۱*]، محمود صفارزاده[۲]، نوید ندیمی[۳]، امیر رضا ممدوحی[۴]

۱- دانشجوی دکتری راه و ترابری، دانشگاه تربیت مدرس
۲- استاد گروه راه و ترابری و حمل‌ونقل، دانشگاه تربیت مدرس
۳- کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشگاه تربیت مدرس
٤- استادیار گروه حمل ونقل، دانشگاه تربیت مدرس

saber_alavi@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۰/۰۸

چکیده- مدل‌های تعقیب خودرو در مطالعات مختلف از جمله: تحلیل ظرفیت، تحقیقات ایمنی، شبیه‌سازی جریان ترافیک و توسعه سیستم‌های کنترل خودکار خودروها کاربرد دارند. در طول شش دهه اخیر، مدل‌های تعقیب خودرو توسعه زیادی یافته که معروف‌ترین مدل تعقیب خودروی محرک- محور، مدل GHR است. محرک در این مدل، اختلاف سرعت دو خودروی درگیر در فرایند تعقیب خودرو است که در این مقاله، پیشنهاد جایگزینی آن با شاخص ***زمان تا تصادف*** در موقعیت شتاب منفی به‌عنوان عاملی گویاتر ارائه می‌شود. برای مقایسه‌ی مدل پیشنهادی با مدل پایه از داده‌های واقعی جریان ترافیک آزادراه I-80 پروژه NGSIM استفاده می‌شود. انتخاب نمونه مناسب از داده‌های پروژه NGSIM با تعیین زمان واکنش لحظه‌ای برای هر راننده در طول فرایند تعقیب خودرو انجام می‌شود. نتایج مدل‌سازی در دو حالت مختلف حاکی از افزایش ضریب تعیین مدل (R^2) از ۰/۲۳۳ در حالت پایه به ۰/٦۳۱ در مدل پیشنهادی است. هم‌چنین نتیجه تحلیل روندگرای براورد- مشاهده برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی (با ضریب تعیین ۰/۸۸۳) قابل قبول ارزیابی شد. نتایج نشان می‌دهد که در تحلیل رفتار رانندگان در مدل‌های تعقیب خودرو، شاخص ***زمان تا تصادف*** نسبت به متغیر اختلاف سرعت، از توضیح‌دهندگی بیش‌تری دارد.

کلیدواژگان: شاخص ***زمان تا تصادف***، مدل تعقیب خودرو، پرداخت مدل، پروژه NGSIM

۱- مقدمه

مدل‌های تعقیب خودرو به تحلیل اندرکنش میان دو خودروی پشت‌سرهم واقع در خط عبور مشابه و در یک جریان ترافیک نسبتاً متراکم می‌پردازند [۱و۲]. بررسی رفتار رانندگان در فرایند تعقیب خودرو در تحلیل ظرفیت، تحقیقات ایمنی، شبیه‌سازی جریان ترافیک و توسعه سیستم‌های کنترل خودکار خودروها کاربرد فراوان دارد [۳]. تصادفات جلوبه‌عقب با فراوانی تقریبی ۱/۵ میلیون در سال حدود ۲۳ درصد از کل تصادفات خودروها در سطح ایالات متحده را تشکیل می‌دهند [٤]. بررسی و شناسایی

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-13]

رفتار تعقیب خودرو و نحوه تصمیم‌گیری رانندگان، نقش مهمی در توسعه سیستم‌های اجتناب از تصادف پیشرفته و در نهایت، اجتناب از این نوع برخوردها دارد.

در طی ٦٠ سال اخیر، مدل‌های تعقیب خودرو توسعه زیادی پیدا کرده است. به‌طور کلی، این مدل‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند: ١- مدل‌های محرک- محور؛ ٢- مدل‌های مبتنی بر حفظ فاصله ایمن و ٣- مدل‌های روانی- جسمانی [٥]. نخستین مدل محرک- محور با عنوان مدل GM[1] یا GHR[2] در سال ١٩٥٨ توسط Chandler، Herman و Montroll در آزمایشگاه تحقیقاتی جنرال موتورز (GM) ارائه شد [١و٢و٦]. مدل‌های پیچیده تعقیب خودرو نسبت به مدل‌های ساده‌تر لزوماً نتایج قابل قبول‌تری نمی‌دهند؛ بنابراین در عین قدیمی بودن، مدل GHR، همچنان یکی از معروف‌ترین و پرکاربردترین مدل‌هاست که تحلیل‌های مختلفی روی آن انجام می‌شود [٦]. برای مثال، مدل TEXAS[3] برای شبیه‌سازی تعقیب خودرو در تقاطعات و مدل MITSIM[4] برای شبیه‌سازی جریان ترافیک از مدل GHR در مطالعات شبیه‌سازی استفاده می‌کنند [٧].

در این مقاله، استفاده از شاخص ***زمان تا تصادف*** به‌جای سرعت نسبی به‌عنوان محرک برای بهبود برازش مدل GHR پیشنهاد می‌شود. بخش ٢ به مرور ادبیات مرتبط با توسعه مدل GHR، سابقه پرداخت مدل و چگونگی استفاده از شاخص ***زمان تا تصادف*** در برخی مدل‌های روانی-جسمانی می‌پردازد. در ادامه، در بخش ٣، روش پرداخت مدل GHR با داده‌های NGSIM[5] و استفاده از مفهوم واکنش لحظه‌ای شرح داده می‌شود؛ سپس در بخش ٤ با استفاده از نتایج رگرسیون مدل پیشنهادی و مدل پایه، در ارتباط با علت بهبود مدل، بحث می‌شود. در نهایت، بخش ٥ به ارائه نتایج و پیشنهادات برای مطالعات مشابه می‌پردازد.

٢- مرور ادبیات

برای نشان‌گذاری، با فرض این‌که خودروی n به‌دنبال خودروی $n-1$ در حرکت باشد (شکل ١)، متغیرهای x، v و a به‌ترتیب معرف مکان، سرعت و شتاب است. برای هر یک از این متغیرها، عدد داخل پرانتز، t یا $t+\Delta t$، نمایانگر زمان و زیرنویس، n یا $n-1$، شماره خودرو را نشان می‌دهد. بنابراین، $a_n(t+\Delta t)$ نمایانگر شتاب خودروی nاُم در زمان $t+\Delta t$ است.

٢-١- مدل GHR

شکل ابتدایی مدل GHR ابتدا در اواخر دهه ١٩٥٠ به‌وسیله‌ی گروهی از محققین آزمایشگاه تحقیقاتی GM طراحی شد و به‌تدریج و در طی پنج مرحله توسعه پیدا کرد. اساس هر مدل به شکل زیر است [١]:

واکنش خودروی تعقیب کننده در زمان $(t+\Delta t)$ =

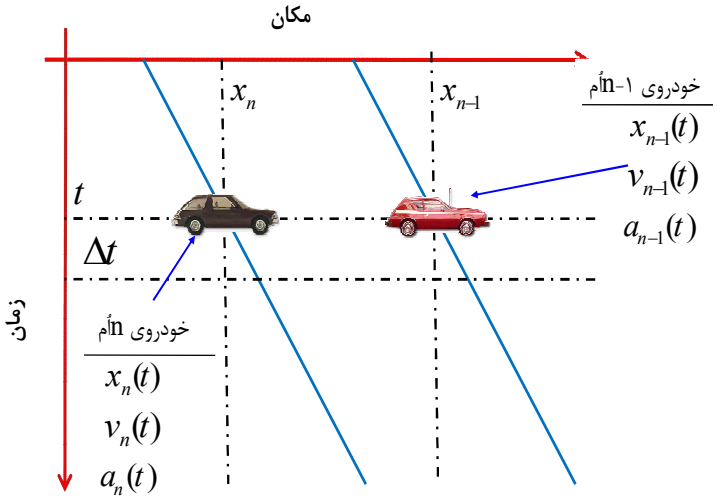
حساسیت راننده خودروی تعقیب کننده* محرک از سوی خودروی جلویی در زمان (t)

در این مدل فرض می‌شود که شتاب خودروی تعقیب‌کننده متناسب با محرک یعنی نرخ نزدیک شدن آن به خودروی جلویی (یا همان اختلاف سرعت) است [١]. رابطه (١) مدل تعقیب خودروی GHR را با پارامتر حساسیت α نشان می‌دهد. در این رابطه، عبارت داخل آکولاد، حساسیت و عبارت داخل کروشه، محرک مدل GHR را نشان می‌دهند [١و٢].

$$a_n(t+\Delta t)=\left\{\frac{\alpha\left(v_n(t+\Delta t)\right)^m}{\left(x_{n-1}(t)-x_n(t)\right)^l}\right\}\left[v_{n-1}(t)-v_n(t)\right] \quad (١)$$

1- General Motors (GM)
2- Gazis- Herman-Rothery (GHR)
3- Traffic Experimental and Analytical Simulation (TEXAS)
4- Microscopic Traffic Simulator (MITSIM)
5- Next Generation Simulation (NGSIM)

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-13]



شکل (۱) نشان‌گذاری حرکت دو خودروی پشت‌سرهم در یک خط عبور

در این رابطه :

a_n = شتاب خودرو عقبی؛

v_n = سرعت خودرو عقبی؛

v_{n-1} = سرعت خودرو جلوئی؛

x_n = مکان خودرو عقبی؛

x_{n-1} = مکان خودرو جلوئی؛

m, l, α = پارامترهای کالیبراسیون مدل و

Δt = زمان عکس‌العمل خودرو عقبی.

دو ضعف اصلی مدل GHR عبارتند از: ۱- استفاده از سرعت نسبی به‌عنوان تنها محرک مدل و ۲- تناقض میان نتایج مطالعات مختلف پرداخت مدل [۳]. تاکنون تحقیقات زیادی با هدف پرداخت و ارزیابی مدل GHR با رویکردهای کلان و خرد و با استفاده از روش‌های متنوعی، از جمله: رگرسیون خطی، رگرسیون غیرخطی، الگوریتم ژنتیک و غیره انجام شده است. جدول ۱ خلاصه مهم‌ترین تحقیقات انجام شده در این باره را نشان می‌دهد. همان‌طور که جدول ۱ نشان می‌دهد، اعداد بسیار متفاوتی برای پارامترهای مدل حاصل شده است.

جدول (۱) پیشینه کالیبراسیون مدل GHR با رویکردهای مختلف

ردیف	مرجع	رویکرد	l*	m*
۱	[۱]	کلان	۲/۸	۰/۸
۲	[۱]	کلان	۲/٤	۰/٦
۳	[۱]	خرد	۰	۰
٤	[۱]	خرد	۱	۰
٥	[۱]	خرد	**۱/٦ ،۲/٥	**۰/۲،۰/۷
٦	[۱]	خرد	**۰/۲ ،۱	**۰/۲،-۰/۹
۷	[۳]	خرد	۱/۰۱	۱/۱۱
۸	[۷]	کلان	**۰/٦ ،۰/٥	**۲/۱ ،۱/۹
۹	[۷]	خرد	**۰/۷ ،۰/۳	**۲/٥ ،۲/۷

*: پارامترهای مدل GHR،

**: پرداخت پارامترها برای دو حالت شتاب مثبت و شتاب منفی انجام شده است.

۲-۲- شاخص *زمان تا تصادف* (TTC)

زمان تا تصادف (TTC)[1] نخستین بار به وسیله‌ی Hayward در سال ۱۹۷۲ به‌عنوان زمان باقیمانده تا برخورد بین دو خودرو در صورتی‌که مسیر و اختلاف سرعت آن‌ها حفظ شود، معرفی شد [۸]. طبیعی است که این شاخص هنگامی

1- Time-to-Collision (TTC)

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-13]

معتبر است که سرعت خودروی تعقیب‌کننده بیش از خودروی جلویی باشد (رابطه ۲):

$$TTC_i = \frac{x_{n-1}(t) - x_n(t) - l_{i-1}}{v_n(t) - v_{n-1}(t)} \qquad \forall v_n(t) > v_{n-1}(t) \quad (۲)$$

در رابطه ۲، l_{i-1} طول خودروی جلویی است و سایر متغیرها مثل قبل تعریف می‌شوند.

شکل۲ به‌صورت شماتیک مفهوم TTC را نشان می‌دهد. در لحظه t_1 سرعت خودرو عقبی بیش‌تر از خودرو جلویی است. چنان‌چه این دو خودرو با همین سرعت به مسیر خود ادامه دهند $t_2 - t_1 = TTC$ ثانیه بعد با هم برخورد می‌کنند.

مرور ادبیات حاکی از اهمیت شاخص TTC در پیش‌بینی رفتار رانندگان در فرایند تعقیب خودرو است و پیش از این در برخی مدل‌های تعقیب خودروی روانی - جسمانی از این شاخص استفاده شده است [۹و۱۰]، شاخص TTC در فرایند تعقیب خودرو عامل مهمی در انتخاب فاصله بین یک خودرو با خودروی جلویی و انجام واکنش مناسب به‌وسیله‌ی راننده است (رابطه ۳)[۱۰]. در رابطه ۳، هرچه TTC_{est} کوچک‌تر باشد، مقدار a_i بزرگ‌تر می‌شود و چنان‌چه مقدار TTC_{est} از عدد مشخصی بیش‌تر شود، a_i صفر می‌شود. رابطه ٤، رابطه میان TTC تخمین زده شده به‌وسیله‌ی راننده و TTC واقعی را نشان می‌دهد. در این رابطه، مقدار پارامترهای e و f، به‌ترتیب، ۱/۰٤ و ۰/۷۲ تخمین زده شد [۱۰].

$$a_i = cTTC_{est} + d + \varepsilon \qquad (۳)$$

$$TTC_{est} = eTTC^f \qquad (٤)$$

a_i: شتاب منفی اعمال شده از طرف راننده خودروی تعقیب‌کننده (واکنش) (m/s^2)؛

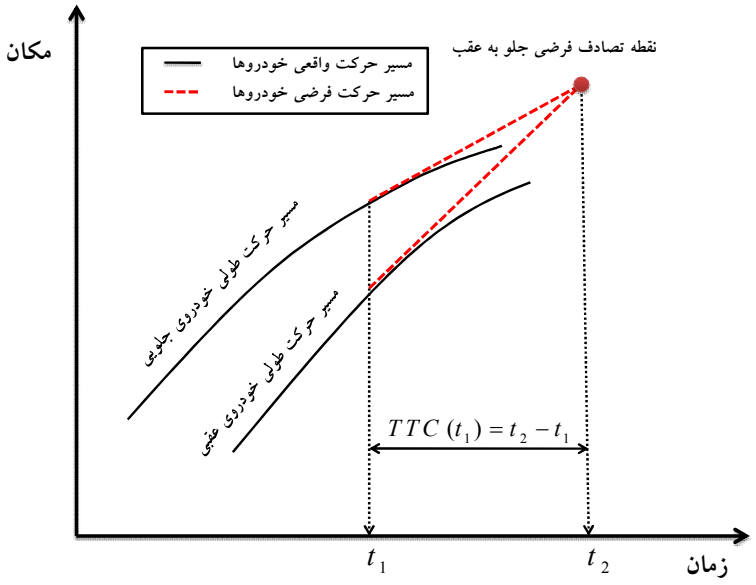
TTC_{est}: زمان تا تصادف تخمین زده شده به‌وسیله‌ی راننده خودروی تعقیب‌کننده (محرک) (sec)؛

TTC: زمان تا تصادف واقعی (محرک) (sec)؛

c: عدد ثابت؛

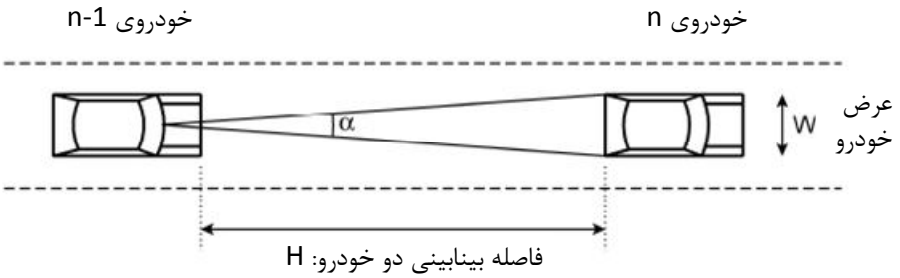
d: عدد ثابت منفی و

ε: خطای اتفاقی.



شکل (۲) نمایش شماتیک TTC

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-13]



شکل (۳) پارامترهای مؤثر در مدل تعقیب خودرو [۹]

۲-۳- جمع‌بندی ادبیات

مدل‌های تعقیب خودرو به تحلیل اندرکنش میان دو خودروی پشت‌سرهم واقع در یک خط عبور می‌پردازند. مبنای مدل‌های محرک-محور در مدل‌های تعقیب خودرو، پاسخ راننده خودروی تعقیب‌کننده (خودروی عقبی) به محرک پاسخ است که محرک در مدل GHR، اختلاف سرعت است. اما در موقعیت‌های ترافیکی واقعی، به‌ویژه در حالت‌های شتاب منفی، راننده‌ها نه تنها به اختلاف سرعت بلکه به ریسک تصادف جلو به عقب درک شده ناشی از اختلاف سرعت پاسخ می‌دهند. به‌عبارت دیگر، خودروی تعقیب‌کننده خودروی جلویی را براساس سطح ریسک درک شده از اختلاف سرعت و فاصله مکانی تعقیب می‌کند. از طرف دیگر، شاخص TTC پارامتر مهمی است که به‌نظر می‌رسد در حالت بیش‌تر بودن سرعت خودروی تعقیب‌کننده از خودروی جلویی، روی رفتار و نحوه تصمیم‌گیری راننده تعقیب‌کننده تأثیر مستقیم می‌گذارد.

۳- روش تحقیق

۳-۱- داده‌های ترافیکی واقعی

داده‌های ترافیکی به‌کاررفته در این تحقیق از وب سایت[1] شبیه‌سازی نسل آینده (NGSIM) به‌دست آمد. برخی خصوصیات NGSIM عبارتند از [۱۱]:

- با حمایت مالی اداره راه ایالات متحده (FHWA)[2]
- با هدف توسعه الگوریتم‌های رفتاری در شبیه‌سازی خرد
- مجموعه داده‌های بسیار دقیق و با جزئیات جمع‌آوری شده از سال ۲۰۰۵ میلادی به بعد
- قابل دسترس همه محققین علاقمند (قابل دانلود رایگان)
- بازبینی و اعتبارسنجی مدل‌های ترافیکی ده‌ها مقاله
- شامل چهار مجموعه داده‌ای از آزادراه‌ها و شریانی‌ها:
- آزادراه I-80 در Emeryville، کالیفرنیا (۳ تا ربع ساعت).
- آزادراه US-101 در لس‌آنجلس، کالیفرنیا (۳ تا ربع ساعت).
- شریانی بلوار Lankershim در لس‌آنجلس، کالیفرنیا (۲ تا ربع ساعت).
- شریانی خیابان Peachtree در آتلانتا، جورجیا (۲ تا ربع ساعت).
- ضبط موقعیت خودروها در هر یک‌دهم ثانیه با استفاده از دوربین‌های با دقت بالا
- علاوه‌بر جزئیات خط‌سیرهای خودروها، دارای داده‌های شناساگر و سایر داده‌های تکمیلی

پرداخت مدل با استفاده از داده‌های پروژه NGSIM، شامل داده‌های خرد جریان ترافیک آزادراه I-80 در Emeryville، ایالت کالیفرنیا انجام می‌گیرد. داده‌های ترافیکی مربوط به

1- http://ngsim.fhwa.dot.gov

2- Federal Highway Administration (FHWA)

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-13]

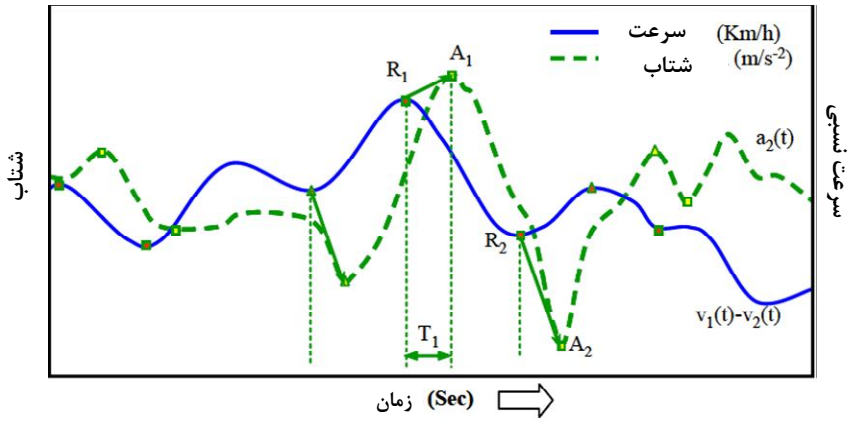
یک ربع ساعت از ساعت ٤:٠٠ تا ٤:١٥ بعد از ظهر بوده و در سال ٢٠٠٥ جمع‌آوری شده است. این داده‌ها مربوط به خط‌سیر عبور ٢٠٥٢ خودرو و شامل حدود ١٣٠٠٠٠٠ رکورد است و هر رکورد حاوی اطلاعات وضعیت حرکتی یک خودرو در یک لحظه مشخص است. از بین کل داده‌ها، نمونه‌ای مناسب برای انجام رگرسیون انتخاب شد. بدین‌ترتیب، دو شرط زیر برای انتخاب سری زمانی تعقیب خودرو مد نظر قرار گرفت: ١- طول مدت زمان تعقیب بیش از ٥٥ ثانیه باشد و ٢- میانگین سرفاصله زمانی حین فرایند تعقیب کمتر از ٣ ثانیه باشد. این نحوه انتخاب سری زمانی تعقیب خودرو براساس [١٢و١٣] است. در نهایت، حدود ٤٨٠٠ رکورد داده مربوط به ٨ سری زمانی تعقیب خودرو (همه خودروی سواری) به‌دست آمد.

٣-٢- پرداخت مدل GHR

به‌علت غیرخطی بودن رابطه تعقیب خودرو GHR، ابتدا از طرفین مدل، (رابطه ١)، لگاریتم گرفته شد. فرم خطی شده رابطه GHR به‌صورت رابطه ٥ است:

$$\log\left(\frac{a_n(t+\Delta t)}{v_{n-1}(t)-v_n(t)}\right)=\log(\alpha)+m\log(v_n(t+\Delta t)) -l\log(x_{n-1}(t)-x_n(t)) \quad (٥)$$

در این پژوهش برای در نظر گرفتن تغییرات رفتاری بین رانندگان، به‌جای استفاده از یک مقدار زمان واکنش ثابت، از زمان واکنش لحظه‌ای رانندگان استفاده شد. برای این منظور، Gurusinghe برای تخمین زمان عکس‌العمل لحظه‌ای، یک روش گرافیکی پیشنهاد می‌دهد [٣و١٤]. ابتدا محرک و پاسخ برای تنها یک سری زمانی فرایند تعقیب خودرو در یک نمودار واحد ترسیم می‌شود که محور افقی نمایانگر زمان و محور عمودی سمت چپ نمایانگر مقادیر محرک و محور عمودی سمت راست نمایانگر مقادیر پاسخ است (شکل ٤). با محاسبه فاصله زمانی میان نقطه اوج نمودار سرعت نسبی و نقطه اوج مجاور در نمودار شتاب، مقدار زمان واکنش در هر بازه به‌دست می‌آید. با به‌دست آمدن مقدار زمان واکنش در هر بازه، سایر پارامترهای مورد نیاز برای پرداخت مدل نیز تعیین می‌شود. با وجود تفاوت در رفتار رانندگان در شرایط شتاب منفی نسبت به شتاب مثبت و اهمیت بررسی فرایند تعقیب خودرو در شرایط شتاب منفی به لحاظ ایمنی، تنها داده‌های مربوط به حالت شتاب منفی و سرعت نسبی منفی برای هر خودرو بررسی شد. با رعایت روند بالا در نهایت تعداد ٢٨١ رکورد داده به‌دست آمد و پرداخت مدل نیز با همین داده‌ها انجام شد.



شکل(٤) تخمین واکنش لحظه‌ای با استفاده از نمودار سرعت نسبی و شتاب [٣]

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-13]

۳-۳- مدل پیشنهادی تعقیب خودرو

در این پژوهش از شاخص TTC به‌عنوان محرک، به‌جای محرک سرعت نسبی در مدل GHR، استفاده شده است. بنابراین، مدل پیشنهادی تعقیب خودرو تنها برای حالت شتاب منفی به‌شکل رابطه ٦ ارائه می‌شود:

$$a_n(t+\Delta t) = \left\{\beta\left(v_n(t+\Delta t)\right)^r\right\}\left[\frac{1}{TTC}\right]^k \qquad (٦)$$

که β، r و k ثابت‌های پرداخت مدل است.

فرم خطی شده رابطه ٦، برای آماده‌سازی مدل برای پرداخت به‌وسیله رگرسیون خطی، پس از لگاریتم‌گیری از طرفین آن، به‌شکل رابطه ۷ است:

$$\log(a_n(t+\Delta t)) = \log(\beta) + r\log(v_n(t+\Delta t)) - k\log(TTC) \qquad (۷)$$

با استفاده از همان داده‌های مهیا شده برای پرداخت مدل GHR، مدل پیشنهادی رابطه ۷ با روش Gurusinghe [١٤] (توضیح در قسمت ۳-۲) پرداخت می‌شود.

۴- نتایج پرداخت و مقایسه

این بخش به بررسی نتایج پرداخت مدل تعقیب خودرو GHR و مدل تعقیب خودرو پیشنهادی با استفاده از داده‌های موجود می‌پردازد. در نهایت براساس نتایج حاصل، مقایسه میان این دومدل تعقیب خودرو انجام می‌شود.

۴-۱- نتایج پرداخت مدل GHR

هدف از پرداخت مدل GHR، به‌دست آوردن پارامترهای نامعلوم مدل، یعنی m، l و α است. نتایج پرداخت فرم خطی مدل GHR، (رابطه ۸)، با رگرسیون خطی و به‌وسیله نرم‌افزار SPSS مطابق جدول ۲ است. داده‌های این پرداخت شامل اطلاعات شتاب و سرعت نسبی منفی خودروهای تعقیب‌کننده و جلویی است.

با توجه به نتایج پرداخت مدل، (جدول ۲)، مقادیر m، l و α به‌ترتیب برابر ۰/۷۲٦، ۰/٦۱ و ۰/۷۷۸ محاسبه می‌شوند. بنابراین، فرم پرداخت شده مدل GHR، برای وضعیت محرک منفی (خودروی تعقیب‌کننده در حال نزدیک شدن به خودروی جلویی باشد)، به‌شکل رابطه ۸ است:

$$a_n(t+\Delta t) = \left\{\frac{۰/۷۷۸\left(v_n(t+\Delta t)\right)^{۰/۷۲۶}}{\left(x_{n-۱}(t)-x_n(t)\right)^{۰/۶۱}}\right\}\left[v_{n-۱}(t)-v_n(t)\right] \qquad (۸)$$

۴-۲- نتایج پرداخت مدل پیشنهادی تعقیب خودرو

هدف از پرداخت مدل پیشنهادی تعقیب خودرو، (رابطه ٦)، به‌دست آوردن پارامترهای مدل، یعنی k، r و β است. نتایج پرداخت فرم خطی مدل پیشنهادی تعقیب خودرو، (رابطه ۷)، با رگرسیون خطی مطابق جدول ۳ است. داده‌های این پرداخت نیز شامل اطلاعات شتاب و سرعت نسبی منفی خودروهای تعقیب‌کننده و جلویی است.

جدول (۲) نتایج پرداخت فرم خطی مدل GHR، با استفاده از داده‌های شتاب و سرعت نسبی منفی

	m	−l	log(α)	ضریب تعیین (R^2)	F-stat	تعداد مشاهدات
مقدار پارامتر	۰/۷۲٦	−۰/٦۱	−۰/۱۰۹	۰/۲۳۳	٤۲/۱۲۵	۲۸۱
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۵٤۸			
t-stat	۷/۲۱۵	−٦/۹۷	−۰/٦۰۱			

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-13]

جدول (۳) نتایج رگرسیون مدل پیشنهادی تعقیب خودرو، با استفاده از داده‌های شتاب و سرعت نسبی منفی

	r	−k	log(β)	ضریب تعیین (R^2)	F-stat	تعداد داده‌ها
مقدار پارامتر	۰/۳۸۱	−۰/۷٤٤	۰/٦۷۰	۰/٦۳۱	۲۳۷/۹	۲۸۱
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰			
t-stat	۳/۳٤۱	−۱۹/۷۳۰	٤/۸۸٦			

با توجه به نتایج پرداخت مدل، (جدول ۳)، مقادیر k، r و β به‌ترتیب برابر ۰/۷٤٤، ۰/۳۸۱ و ٤/٦۷۸ محاسبه می‌شوند. بنابراین، فرم پرداخت شده مدل تعقیب خودروی پیشنهادی، برای وضعیت محرک منفی (خودروی تعقیب‌کننده در حال نزدیک شدن به خودروی جلویی باشد)، به‌شکل (رابطه ۹) است:

$$a_n(t+\Delta t)=\left\{۴/۶۷۸\left(v_n(t+\Delta t)\right)^{۰/۳۸۱}\right\}\left[\frac{۱}{TTC}\right]^{۰/۷۴۴} \quad (۹)$$

جدول ٤ نتایج تحلیل روندگرای براورد- مشاهده شتاب مدل تعقیب خودروی پیشنهادی را نشان می‌دهد. کارایی مدل تعقیب خودروی پیشنهادی در تحلیل روندگرای براورد- مشاهده، قابل قبول (ضریب تعیین ۰/۸۸۳) ارزیابی می‌شود.

جدول (٤) تحلیل روندگرای برآورد- مشاهده شتاب مدل تعقیب خودروی پیشنهادی

$a_{pred}=\alpha'$ $a_{obs}+\beta'$	α′	β′	ضریب تعیین (R^2)	F-stat	تعداد داده‌ها
مقدار پارامتر	۰/۷۵۵	−۰/۳۷۹	۰/۸۸۳	۳E۲/۱۱٤	۲۸۱
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰			
t-stat	٤۵/۹۸۲	−۸/۸۲۰			

۴-۳- بحث و مقایسه

نتایج مدل پرداخت شده GHR، جدول۲، نشان می‌دهد که پارامترهای m و l معنی‌دارند ولی پارامتر α معنی‌دار نیست (چون log(α) دارای سطح معنی‌داری ۰/۵٤۸ است). کارایی این مدل با ضریب تعیین ۰/۲۳۳قابل قبول نیست و نشان می‌دهد که این مدل نمی‌تواند فرایند تعقیب را، در حالت نزدیک شدن دو خودرو به هم به‌خوبی توصیف کند. در مقابل، مدل پرداخت شده تعقیب خودروی پیشنهادی، (جدول ۳)، نشان می‌دهد که همه پارامترهای k، r و β نسبتاً معنی‌دار هستند. کارایی این مدل با ضریب تعیین ۰/٦۳۱ قابل قبول است و نشان می‌دهد که این مدل نسبت به مدل GHR قابلیت واقعیت‌بینی بیش‌تری دارد و بهتر واقعیت را توصیف می‌کند. هم‌چنین در تحلیل روندگرای براورد-مشاهده شتاب مدل تعقیب خودروی پیشنهادی، کارایی این مدل (ضریب تعیین ۰/۸۸۳) تأیید می‌شود.

لازم به‌ذکر است محرک در مدل GHR، که مبنای تصمیم‌گیری خودروی تعقیب‌کننده است، در حالت نزدیک شدن خودروی تعقیب‌کننده به خودروی جلویی، تنها اختلاف سرعت بین خودروهاست؛ در حالی‌که راننده در عمل، علاوه بر اختلاف سرعت به اختلاف فاصله هم توجه ویژه‌ای دارد؛ به همین دلیل است که مدل تعقیب خودروی پیشنهادی، با در نظر گرفتن آثار توأم اختلاف سرعت و اختلاف فاصله به‌عنوان محرک (پارامتر زمان تا تصادف)، کارایی بهتری نسبت به مدل GHR دارد.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بررسی مدل‌های تعقیب خودرو روانی - جسمانی و برخی مطالعات مرتبط نشان می‌دهد که تغییر شتاب در فرایند تعقیب خودرو تنها تابع اختلاف سرعت دو خودرو و یا فاصله آن‌ها از یکدیگر نیست. بلکه رانندگان در شرایط

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-13]

سرعت نسبی منفی (سرعت خودروی عقبی بیش‌تر از جلویی) با توجه به پارامتر TTC با خودروی جلویی، از خود واکنش نشان می‌دهند. با استفاده از سرعت نسبی، به‌عنوان محرک در مدل تعقیب خودرو GHR، تطابق نسبتاً پایینی میان رفتار پیش‌بینی شده به‌وسیله‌ی مدل و رفتار واقعی جریان ترافیک مشاهده می‌شود؛ چرا که پرداخت مدل با استفاده از داده‌های خرد جریان واقعی ترافیک پروژه NGSIM در [آزادراه I-80] نشان می‌دهد ضریب تعیین مدل حدود ۰/۲۳ است. در این پژوهش برای بهبود مدل GHR از شاخص TTC به‌عنوان محرک در مدل استفاده شد. مقایسه نتایج حاصل از پرداخت مدل پیشنهادی و مدل GHR نشان می‌دهد که با تغییر عامل محرک، مدل توانایی بیش‌تری در پیش‌بینی رفتار واقعی جریان ترافیک در فرایند تعقیب خودرو دارد. شاخص TTC در شرایط سرعت نسبی مثبت قابل تعریف نیست و مدل پیشنهادی تنها در شرایط اعمال شتاب منفی قادر به پیش‌بینی رفتار رانندگان خواهد بود. از آن‌جا که در شرایط شتاب مثبت ایمنی چندان مطرح نخواهد بود، رانندگان در انتخاب شتاب به سایر عوامل توجه بیش‌تری دارند. نقش مدل‌های تعقیب خودرو به‌ویژه در توسعه مدل‌های شبیه‌سازی جریان ترافیک و سیستم‌های کنترل خودکار خودرو و تغییرات رفتار رانندگان در کشورهای مختلف، متفاوت است؛ از این رو برای افزایش کارایی مدل‌های تعقیب خودرو، واجب است هر مدل ابتدا با توجه به شرایط محلی پرداخت شود. تهیه داده‌های خرد جریان ترافیک برخی آزادراه‌های کشور می‌تواند گام مهمی برای شناخت رفتار حرکتی رانندگان، پرداخت و توسعه مدل‌های تعقیب خودرو، کاهش تصادفات جلو به عقب و در نهایت افزایش ایمنی راه‌های کشور شود.

۷- مراجع

[1] M. Brackstone and M. McDonald, "Car-following: a Historical Review," Transportation Research F, vol. 2, pp. 181–196, 1999.

[2] P. Chakroborty and S. Kikuchi, "Evaluation of the General Motors based car-following models and a proposed fuzzy inference model," Transportation Research Part C-Emerging Technologies, vol. 7, pp. 209-235, Aug 1999.

[3] P. Ranjitkar, T. Nakatsuji, and A. Kawamura, "Experimental analysis of car-following dynamics and traffic stability," Transportation Research Record, pp. 22-32, 2005.

[4] J. Jeffrey and R. Gray, "Comparison of driver brake reaction times to multimodal rear-end collision warninig," in Proceedings of the fourth International driving Symposium on human factors in driver assessment, Training and Vehicle design, 2005.

[5] J. Wang, R. H. Liu, and F. Montgomery, "Car-following model for motorway traffic," Transportation Research Record, pp. 33-42, 2005.

[6] S. Ossen and S. P. Hoogendoorn, "Car-following behavior analysis from microscopic trajectory data," in Transportation Research Record, 2005, pp. 13-21.

[7] M. Aycin and R. Benekohal, "Performance of the generalized car-following model obtained from macroscopic flow relationships in simulating field data," in TRB Annual Meeting Washington, DC, 2004.

[8] J. C. Hayward, "Near miss determination through use of a scale of danger," in Highway Research Board (traffic records 384) Washington, DC., 1972.

[9] L. A. Pipes and C. K. Wojcik, "A contribution to theory of traffic flow," in SAE Conference Proceedings Analysis and Control of Traffic Flow Symposium, 1968, pp. 53-60.

[10] W. Winsum, "The human element in car following models," Transportation Research Part F, vol. 2, pp. 207-211, 1999.

[11] NGSIM, http://ngsim.fhwa.dot.gov: Next generation simulation, June 5, 2009.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-13]

[12] M. Brackstone, B. Waterson, and M. McDonald, "Determinants of following headway in congested traffic," Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour, vol. 12, pp. 131-142, Mar 2009.

[13] C. Oh, S. Park, and S. G. Ritchie, "A method for identifying rear-end collision risks using inductive loop detectors," Accident Analysis and Prevention, vol. 38, pp. 295-301, Mar 2006.

[14] G. Gurusinghe and T. Nakatsuji, "Estimation of car following model parameters," Asian Institute of Technology, School of Civil Engineering 1998.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-13]

Applying Time-to-Collision to Enhance the Coefficient of Determination for GHR Car-Following Model in Deceleration Mode

S.S. Naseralavi[1*], M. Saffarzadeh[2], N. Nadimi[3], A.R. Mamdoohi[4]

1- Ph.D. Candidate, Department of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2- Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares Uiversity, Tehran, Iran
3- Research Associate, Department of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
4- Assistant Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

saber_alavi@modares.ac.ir

Abstract:
Car-Following models are integral parts of capacity analysis, safety research, traffic simulation, and developing advanced vehicle control systems. During the past six decades, various car following models have been developed. GHR is the most well-known stimulus based model, in which the stimulus is the relative velocity of vehicles. In this research, time-to- collision (TTC), as the stimulus, is proposed as a substitute for relative velocity in the GHR model. GHR model is calibrated based on the comprehensive and detailed data gathered in the NGSIM project on I-80 freeway. The Results of GHR model calibration based on the data obtained for the two stimuli indicated that coefficient of determination (R_2) increased from 0.233 in the base model to 0.638 in the proposed model. In all, the results indicated that the application of TTC as the stimulus in the GHR model would improve the model's outcome.

Keywords: Time-to-collision indicator, Car-following model, NGSIM project, GHR model, Model calibration

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-13]