

ارزیابی رفتار راننده نسبت به شاخص‌های تصمیم‌گیری ذهن راننده در حرکت

تعقیب خودرو مبتنی بر الگوهای رفتاری راننده

ارسلان صالحی کلام، دانشجوی دکتری عمران راه ترابری، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران

علی عبدی کردانی (مسئول مکاتبات)، دانشیار دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران

E-mail: aliabdi@eng.ikiu.ac.ir

پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۷

دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۳۰

چکیده

اولویت بندی متفاوت ذهن راننده در انتخاب شاخص‌های گوناگون در حرکت تعقیب خودرو منجر به تعیین سرعت، کاهش و افزایش شتاب متفاوت مبتنی بر رفتار متفاوت رانندگان می‌گردد. در این تحقیق سه شاخص ایمنی، راحتی و زمان سفر به عنوان شاخص‌های اولویت بندی ذهن راننده انتخاب شده‌اند. همچنین، رفتار راننده در حرکت تعقیب خودرو در آشفتگی جریان ترافیک مبتنی بر مدت تعقیب خودرو رفتاری دسته بندی شده‌اند. با استفاده از یک متدولوژی مسئله چندهدفه حل شده، اولویت بندی ذهن راننده در انتخاب شاخص‌ها و وزن دهی شده‌اند. رفتار عملکرد وزن‌های تعیین شده از مدل با استفاده از شبکه عصبی ارزیابی و آنالیز شده است. نتایج ارزیابی مدل شبکه عصبی راننده پرخاشگر و محتاط رفتار متفاوتی نسبت به اولویت بندی شاخص‌ها در فازهای متفاوت آشفتگی ترافیک ارائه می‌نمایند. راننده پرخاشگر در خصوص اولویت بندی شاخص راحتی در فاز کاهش (افزایش) شتاب مبتنی بر تغییرات وزن دهی اولویت بندی، رفتاری افزایش (افزایش) شتاب را نشان داد. همچنین، در خصوص اولویت بندی شاخص ایمنی مبتنی بر تغییرات وزن دهی اولویت بندی، رفتاری افزایش (افزایش - کاهش) شتاب و شاخص زمان سفر رفتاری افزایش (افزایش) شتاب را ارائه نمود. راننده محتاط در فاز کاهش (افزایش) شتاب در خصوص اولویت بندی شاخص راحتی مبتنی بر تغییرات وزن دهی اولویت بندی، افزایشی - کاهش (افزایش) شتاب رفتاری، همچنین، در خصوص اولویت بندی شاخص ایمنی مبتنی بر تغییرات وزن دهی اولویت بندی، رفتاری افزایش (افزایش) شتاب و شاخص زمان سفر مبتنی بر افزایش (افزایش) شتاب ارائه نمود.

واژه‌های کلیدی: الگوی رفتاری راننده، حرکت تعقیب خودرو، رفتار تعقیب خودرو، شبکه عصبی، مدل چندهدفه

۱. مقدمه

ذهن راننده وسیله نقلیه مبتنی بر رفتار عکس‌العملی خود در یک حرکت تعقیب خودرو معیارهای گوناگونی را به‌عنوان شاخص اصلی رانندگی در ترافیک حرکت - توقف در نظر می‌گیرد. رفتار راننده پیرو مبتنی بر انتخاب معیارهای متفاوت متنوع است که منجر به عکس‌العمل‌های متفاوت بر اساس رفتار ذاتی راننده می‌شود. شناخت اولویت بمدی ذهن رانندگان در هر دو سطح کلی‌نگر (استراتژیک) و جزئی‌نگر (عملیاتی) یک نکته اساسی برای پیشرفت‌های آینده می‌باشد. ادبیات مرتبط نشان می‌دهد که زمان سفر و ایمنی عمده‌ترین نگرانی رانندگان از نظر انتخاب مسیرهای بهینه است [Boyce et al., 1999] و [Bell and Cassir, 2002]. بنابراین ریسک‌پذیری و عدم ریسک‌پذیری دو سبک رانندگی رایج در سطح کلی‌نگر هستند که در طراحی مسئله انتخاب مسیر تأثیرگذار هستند. افزایش ترافیک عبوری در آزادراه‌ها و تغییر ناگهانی در رفتار وسیله نقلیه پیشرو و زنجیره وسایل نقلیه، منجر به افزایش ترافیک توقف - حرکت و ریسک برخورد در حرکت‌های تعقیب خودرو شده است. محققان و مهندسان ترافیک به‌منظور آنالیز و حل نمودن مشکلات ایمنی، تکنیک‌های تداخل ترافیکی را مبتنی بر شاخص‌های ایمنی به‌منظور آنالیز خطر و احتمال برخورد، از داده‌های عبوری وسایل نقلیه به‌عنوان یک رویکرد پیشگیرانه ایمنی در سطح جزئی‌نگر ایجاد نمودند که نشان‌دهنده اهمیت بالای شبیه‌سازی رفتار ترافیکی در آزادراه‌ها با در نظر گرفتن مقوله‌های ایمنی مبتنی بر تکنیک‌های برخورد ترافیکی شده است. همچنین، ترافیک توقف - حرکت منجر به ایجاد احساس عدم راحتی راننده و مسافر در حرکت تعقیب خودرو می‌گردد. این امر، منجر به در نظر گرفتن راحتی در رانندگی به‌عنوان دومین شاخص مهم رفتاری راننده می‌گردد [Vaiana et al. 2014] و [Chakravarty et al. 2013] و [Zhao et al. 2013]. رفتار راحتی در رانندگی با استراتژی‌های گوناگون مانند: استراتژی

میزان تغییر شتاب وسیله نقلیه، jerk بیان شده است [Yi and Chung, 2001] و [Grant and Haycock, 2008] و [Dovgan et al. 2013]. فناوری رانندگی خودکار قادر است رانندگی راحت و ایمن را به‌منظور اجتناب از تصادفات ناشی از خطاهای راننده فراهم کند. محققان اعتقاد دارند که سیستم‌های پیشرفته دستیار راننده مانند ACC systems, AVs, and MTSS باید منطبق با ایجاد سبک رانندگی تولید شوند [Schwarting, Alonso-Mora and Rus, 2018] و [Zheng et al. 2019] و [Vollrath, 2011] و [Schleicher and Gelau, 2011] و [Fu et al. 2019] و [Eilers et al, 2013]. یک شبیه‌سازی دقیق حرکت تعقیب خودرو وسایل نقلیه در ترافیک توقف - حرکت نیازمند شناسایی رفتارها و عکس‌العمل‌ها و شاخص‌های متفاوت ذهن رانندگان مبتنی بر انتخاب معیارهای گوناگون در ترافیک عبوری می‌باشد. هدف این تحقیق ارزیابی و ارزیابی عملکرد رفتار متفاوت راننده در انتخاب شتاب مناسب در ترافیک حرکت - توقف نسبت به سه شاخص ایمنی، راحتی و زمان سفر در حرکت تعقیب خودرو در آشفتنی جریان ترافیک می‌باشد.

۲. مرور بر ادبیات

در رانندگی روزمره، تغییر ناگهانی در رفتار وسیله نقلیه پیشرو منجر به ایجاد ترافیک توقف - حرکت و افزایش خطر ریسک برخورد می‌گردد [Zheng, Ahn and Monsere, 2010] و [Saffarzadeh and Salehikalam, 2016]. رفتار نامتقارن راننده در تنظیم شتاب و سرعت وسیله نقلیه منجر به الگوهای رفتاری متفاوت پرخاشگر و محتاط می‌گردد [Newell, 1962] و [Yeo and Skabardonis, 2009] و [Salehikalam and Kordani, 2019]. شاخص‌های گوناگونی مانند ایمنی، راحتی و زمان سفر را در عملیات کنترلی توسط الگوهای رفتاری متفاوت راننده بهینه می‌گردند. تأمین ایمنی در رانندگی یکی از مهم‌ترین شاخص‌های رفتاری رانندگان می‌باشد که با محدود کردن

کنترل بیان شده است [Zhang and Ioannou, 2006] و []
[Dovgan et al 2012]. تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که مقدار
شتاب راحتی برای هر راننده متفاوت و از یک شخص به شخص
دیگر تغییر می‌کند. او و همکاران مدل تعقیب خودرویی مبتنی
بر ارتباط بین شتاب ترمز گیری و احساس رانندگی ایجاد
نمودند. شتاب راحتی وسیله نقلیه پیرو مبتنی بر فاصله مکانی
بین دو وسیله و تغییرات سرعت وسیله نقلیه پیرو محاسبه گردید.
با تعریف نمودن مقدار شتاب 2 m/s^2 به‌عنوان مقدار شتاب
راحتی را در سه ناحیه راحتی، عدم راحتی و خطرناک تعیین
شدند [Wu, Liu and Pan, 2008]. وان و همکاران
راحتی راننده را مبتنی بر عدم تغییر کنترلی یا نسبتی از تعداد بار
تغییر خط در زنجیره وسایل نقلیه بیان نمود. یک الگوریتم
چندهدفه به‌منظور ارزیابی تعدادی از کنترل‌کننده‌ها نمود. این
الگوریتم مبتنی بر بهینه نمودن شاخص‌های گوناگون مانند
راحتی و سرعت رانندگی در زنجیره وسایل نقلیه عمل می‌کند.
نتایج تحقیق نشان می‌دهد که الگوریتم چندهدفه وی منجر به
افزایش سرعت سفر و افزایش راحتی در مقایسه با مدل‌های
رفتاری تعقیب خودرو هوشمند استفاده‌شده در سیستم کنترل
سیر تطبیقی می‌گردد [Willigen, Haasdijk and
Kester, 2013].

زمان سفر از مبدأ تا مقصد را می‌توان به‌عنوان سومین شاخص
مهم رفتار رانندگی به‌منظور محاسبه هزینه رانندگی معرفی نمود.
ارزیابی عملکرد زمان سفر کاربردهای گوناگونی مانند:
اندازه‌گیری سطح سرویس ازدحام، اندازه‌گیری سطح دسترسی
و غیره دارد. تاکنون تحقیقات زیادی به‌منظور بهینه شدن زمان
سفر تاکنون انجام شده است. در سال‌های اخیر تحقیقات متعددی
به‌منظور بهینه نمودن زمان سفر ارائه شده است [Schrank,
Eisele and Lomax, 2012] و [Geurs and Van
Wee, 2004]. اریک و همکاران یک الگوریتم بهینه‌سازی
چندهدفه به‌منظور مینیمم سازی زمان سفر و مصرف سوخت و
شناسایی استراتژی‌های راننده ایجاد نمودند. الگوریتم آن‌ها مبتنی
بر الگوریتم بهینه‌سازی هوشمند ژنتیک^{۱۳} ایجاد شده است [

مقادیر آستانه زمان و مکان تأمین می‌شود. اخیراً محققان با
استفاده از تکنیک‌های تداخل ترافیکی، شاخص‌های ایمنی
گوناگونی به‌منظور آنالیز رفتار ایمن راننده ارائه نموده‌اند. در یک
دسته‌بندی کلی، شاخص‌های ایمنی را می‌توان به شاخص‌های
زمانی و غیر زمانی مانند فاصله، کاهش شتاب و سایر پارامترها
تقسیم‌بندی نمود. شاخص‌های زمانی متنوعی مانند TTC^1 ،
 TET^2 ، TIT^3 ، $MTCC^4$ وجود دارند که مبتنی بر مقادیر
آستانه زمانی تا برخورد تعیین شده‌اند [Mahmud et al.
2017]. همچنین شاخص‌های مکانی زیادی مانند
 $PICUD^5$ ، DSS^6 ، PSD^7 ، UD^8 و شاخص‌های مبتنی بر
شتاب مانند $DRAC^9$ ، CPI^{10} ، CIF^{11} ارائه شده‌اند تا
وضعیت ایمنی در جاده‌ها بدون استفاده از داده‌های تصادف
مشخص شوند [Mahmud et al, 2017] و
[AASHTO, 2010]. هرکدام از این شاخص‌ها مزایا و
معایبی دارند که در انواع ارزیابی مختلف احتمال برخوردها
استفاده می‌گردند. سبحانی و همکاران مطابق مبتنی بر انرژی
برخورد در یک تصادف با استفاده از روابط فیزیک شاخص ایمنی
انرژی جنبشی را ارائه نمود [Sobhani et al, 2011].
و همکاران یک شاخص ایمنی، با عنوان شاخص ریسک مبتنی
بر زمان عکس‌العمل و ماکسیمم کاهش شتاب راننده ایجاد نمود.
تحقیقات وی فقط مبتنی بر در نظر گرفتن شاخص ایمنی در
ترافیک توقف - حرکت در سیستم هوشمند کنترل سیر تطبیقی^{۱۴}
انجام گردید و سایر شاخص‌های دیگر مانند راحتی، زمان سفر
و غیره در نظر گرفته نشدند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که کاهش
زمان عکس‌العمل و افزایش کاهش شتاب منجر به افزایش ایمنی
در حرکت تعقیب خودرو می‌گردد [Li et al. 2017]. ترافیک
توقف - حرکت منجر به ایجاد احساس ناراحتی راننده و مسافر
در حرکت تعقیب خودرو می‌گردد. این امر، منجر به در نظر
گرفتن راحتی در رانندگی به‌عنوان دومین شاخص مهم رفتاری
راننده می‌گردد [Luo et al. 2010]. رفتار راحتی در رانندگی
با استراتژی‌های گوناگون مانند: استراتژی میزان تغییر شتاب
وسيله نقلیه، jerk، و یا استراتژی مکرر بدون تغییر عملیات

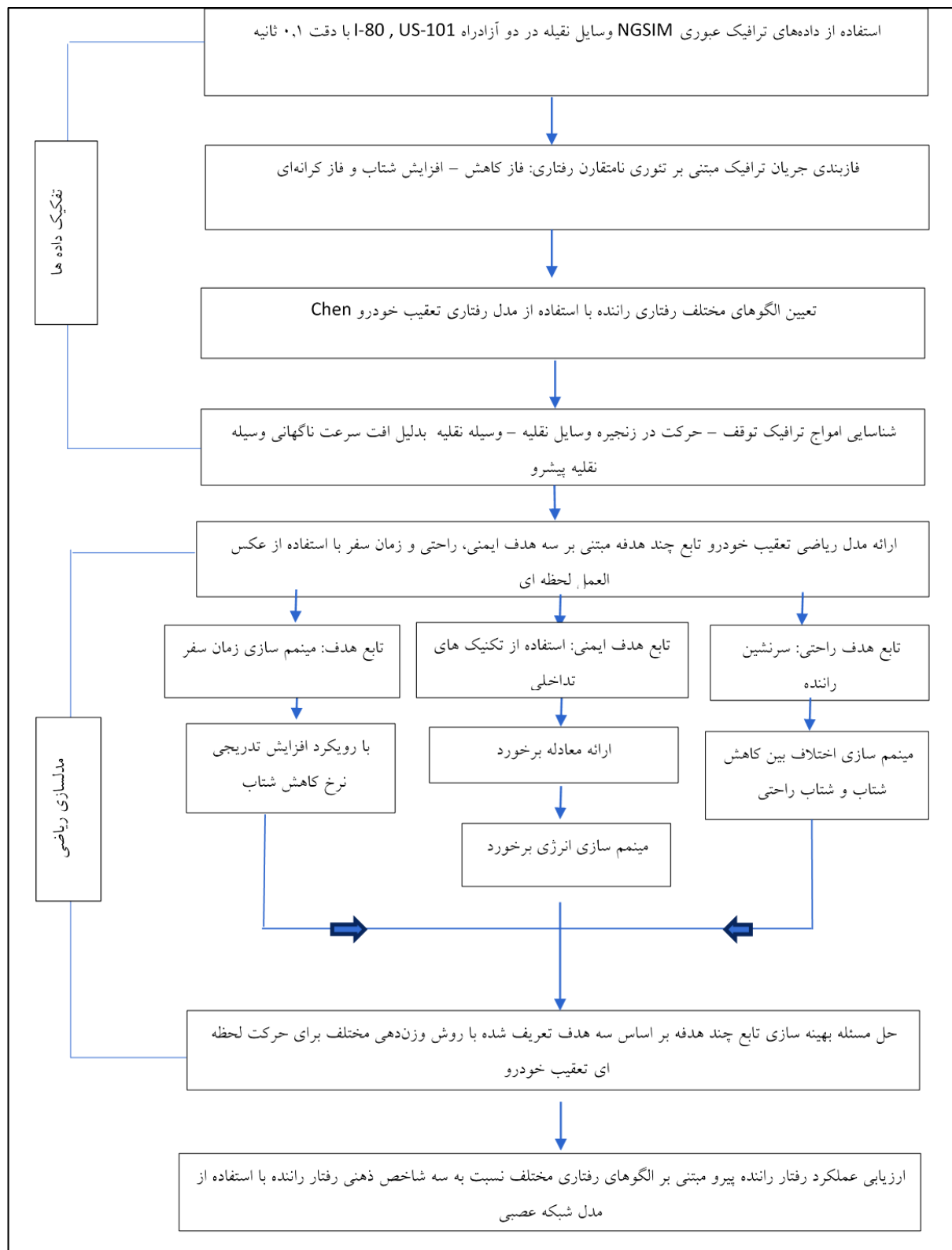
سیستم‌های کنترل تطبیقی با در نظر گرفتن سه تابع هدف ایمنی، راحتی و مصرف سوخت در حرکت تعقیب خودرو ارائه نمود. نتایج الگوریتم وی در سناریوهای مختلف نشان می‌دهد که علاوه بر تأمین ایمنی، شاخص راحتی و مصرف سوخت نیز تأمین شده‌اند [Luo et al. 2010]. ناندی و همکاران به منظور تعیین شتاب بهینه یک استراتژی بهینه رانندگی برای وسایل نقلیه ارائه نمودند. با استفاده از بهینه‌سازی چندهدفه مقدار شتاب بهینه را برای دو هدف شتاب راحتی و مصرف انرژی نسبت به تغییرات سرعت حل نمودند و یک ناحیه بهینه راحتی رانندگی را تعیین نمودند [Nandi, Chakraborty and Vaz, 2015]. وانگ و همکاران یک سیستم ارزیابی رانندگی تقاطع ایجاد نمودند که با استفاده از بهینه‌سازی چندهدفه سه تابع هدف ایمنی، راحتی و بهره‌وری ترافیک را حل نمودند. نتایج تحقیقشان منجر به بهبود هر سه تابع هدف در تقاطع‌ها گردید [Wang et al. 2010].

در این تحقیق، به منظور ارزیابی رفتار راننده در آشفته‌گی ترافیک، یک مدل چندهدفه مبتنی بر شاخص‌های ایمنی، راحتی و زمان سفر ایجاد شده است. شبیه‌سازی رفتار ایمن راننده با استفاده از شاخص ایمنی انرژی جنبشی با اعمال عکس‌العمل‌های لحظه‌ای^{۱۴} راننده با ارائه معادله برخورد انجام گردیده است. همچنین با محدود نمودن شتاب بهینه ایمنی راننده، ارزیابی شاخص راحتی و زمان سفر رفتار راننده نیز تعیین شده است. خروجی مدل وزن‌های اولویت‌بندی ذهن راننده می‌باشند که به‌عنوان ورودی شبکه عصبی انتخاب و عملکرد رفتاری راننده در آشفته‌گی ترافیک آنالیز و بررسی می‌شود.

۳. روش تحقیق

در این تحقیق به منظور ارزیابی دقیق‌تر عملکرد رفتاری راننده از داده‌های عبوری واقعی NGSIM استفاده شده است. مطابق شکل ۱، متدولوژی آماده‌سازی داده‌های عبوری ترافیک و روش حل بهینه‌سازی عملکرد رفتاری راننده پیرو نسبت به سه شاخص ایمنی، راحتی و زمان سفر ارائه شده است.

[Dovgan, Gams, and Filipič, 2011]. اریک و همکاران به منظور بهینه‌سازی کاهش ناراضیاتی، زمان سفر و مصرف سوخت یک الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه دوسطحی ایجاد نمود. به منظور تعیین نمودن، استراتژی بیشتر راحتی راننده از راحتی به‌عنوان یک هدف در الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه استفاده نمودند. الگوریتم دوسطحی در دو سطح پایین و بالا تعیین گردید. الگوریتم سطح پایین مبتنی بر (NSGA-II) ایجاد گردید. سطح پایین استراتژی رانندگی را بهینه می‌کند درحالی‌که سطح بالا بهترین ورودی سطح پایین را بهینه می‌کند. مقایسه نتایج تحقیقات مبتنی بر مقایسه الگوریتم دوسطحی ایجاد شده و الگوریتم بهینه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم دوسطحی منجر به افزایش راحتی می‌گردد درحالی‌که تفاوت معناداری بین زمان سفر و مصرف سوخت مشاهده نگردید [Dovgan et al. 2012]. اریک و همکاران یک الگوریتم کنترلی در ارتباط با ماشین‌های سنگین متفاوت با کنترل تطبیقی استاندارد برای مسیرهای سربالایی و سرازیری جاده باهدف کاهش زمان سفر و مصرف سوخت ایجاد نمود. نتایج تحقیق وی کاهش معناداری در مصرف سوخت در حدود ۳٫۵ درصد در مسیر ۱۲۰ کیلومتر بدون افزایش زمان سفر ایجاد نمود. الگوریتم کنترلی وی نشان می‌دهد که قبل از سرپایینی کاهش شتاب منجر به کاهش مصرف سوخت کاهش می‌یابد و افزایش شتاب قبل از سربالایی منجر به افزایش سرعت در سراسر تپه و کاهش نیاز برای دنده‌های کم‌تر می‌شود. نتایج تجربی تحقیق بیانگر راحتی بیشتر راننده و مسافر بود [Hellström et al. 2000]. راننده در حرکت تعقیب خودرو به دنبال رفتار بهینه چندین هدف به‌طور هم‌زمان می‌باشد. در سال‌های اخیر، تحقیقات گوناگونی به منظور بهینه‌سازی رفتار راننده مبتنی بر الگوریتم‌های تابع چندهدفه مبتنی بر شاخص‌های گوناگونی مانند ایمنی، راحتی، زمان سفر و مصرف سوخت و غیره در سیستم‌های کنترلی هوشمند ایجاد شده‌اند. استفاده از این الگوریتم‌های ترکیبی چندهدفه کنترلی، منجر به شناسایی اولویت‌بندی و نیازهای مختلف راننده در زمان حرکت می‌گردد. لو و همکاران یک الگوریتم برای



شکل ۱. فلوچارت روش تحقیق

داده‌های عبوری NGSIM با دقت ۰,۱ ثانیه در دو آزادراه I-

۳-۱ آماده‌سازی داده‌های واقعی

US-101 , 80 جمع‌آوری شده‌اند [NGSIM, 2018]. امواج

به عبارت دیگر از زمانی که ترافیک توقف - حرکت در زنجیره وسایل نقلیه منتشر می‌گردند از زمانی که شتاب به‌طور پیوسته کم‌تر یا بیشتر از ± 1 باشند به‌عنوان شروع و پایان فاز کاهش و افزایش شتاب برای راننده پیشرو و پیرو در نظر گرفته می‌شوند.

۳-۳ رفتار راننده در حرکت تعقیب خودرو

مدل تعقیب خودرو نیویل^{۱۵} نخستین مدل تعقیب خودرو به‌منظور شناسایی رفتار تعقیب خودرو در آشفتگی جریان ترافیک می‌باشد. در مدل تعقیب خودرو نیویل زمانی که راننده پیشرو تغییر شتاب می‌دهد، راننده پیرو تصمیم می‌گیرد که شتاب برای ادامه حرکت کافی است یا نیاز به تغییر شتاب دارد. مبتنی بر مدل تعقیب خودرو نیویل موج توقف - حرکت با دو پارامتر زمانی τ و مکانی S در زنجیره وسایل نقلیه منتشر می‌گردد و بین سرعت و سرفاصله مکانی یک رابطه خطی در نظر گرفته می‌شود [Newell, 2002]. مطابق شکل ۳، در شرایط افت سرعت ناگهانی وسیله نقلیه پیشرو و انتشار موج در زنجیره وسایل نقلیه، وسیله نقلیه پیرو با دو پارامتر τ ، زمان سفر موج و d ، سرفاصله مکانی اشباع از سرعت V به‌سرعت تغییر V' تغییر سرعت می‌دهد. لازم به ذکر است، در این مدل مقادیر d^i ، τ^i مقادیری ثابت برای هر وسیله نقلیه مستقل از سرعت می‌باشند که با رابطه خطی بین سرعت و سرفاصله مکانی $s^i = d^i + \tau^i v$ در نظر گرفته می‌شوند.

در این تحقیق، به‌منظور شناسایی الگوهای رفتاری راننده پیرو، از مدل نامتقارن رفتاری Chen در آشفتگی ترافیک استفاده می‌گردد [Chen et al. 2012]. مبتنی بر این مدل، قبل و بعد از آشفتگی ترافیک رفتار راننده متعادل در نظر گرفته می‌شود و انحراف رفتار راننده در آشفتگی ترافیک نسبت به رفتار راننده نیویل تعیین می‌گردد. رفتار راننده مبتنی بر انحراف رفتار راننده پیرو از مقدار $\eta_i(t)$ به دو الگوی رفتاری پرخاشگر و محتاط دسته‌بندی می‌شود. در این رابطه متغیر $\tau_i(t)$ به‌عنوان زمان سفر موج متعلق به راننده i در زمان t و متغیر τ به‌عنوان مقدار متعادل به‌دست‌آمده از مدل موج کینماتیک [Richards, 1955; Lighthill and Whitham, 1955] در نظر گرفته

فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل / سال سیزدهم / شماره چهارم (۵۳) / تابستان ۱۴۰۱

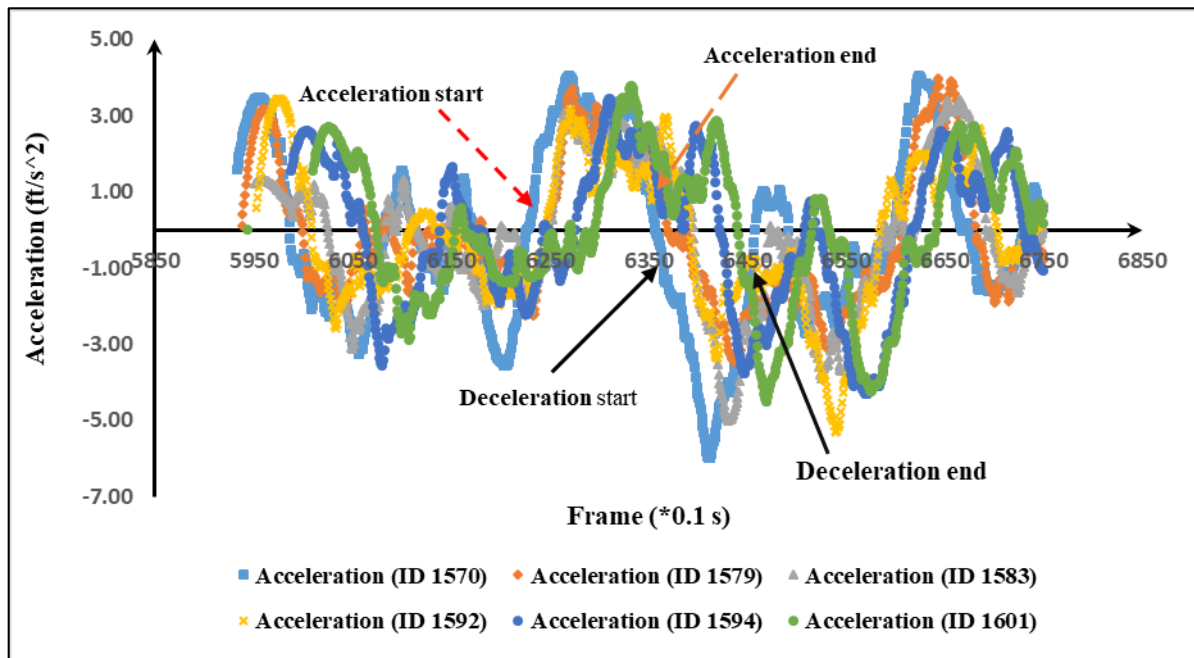
حرکت - توقف در داده‌های عبوری در سطح جزئی‌نگر شناسایی می‌گردند که به دلیل متفاوت بودن امواج حرکت - توقف ایجادشده از مانورهای تغییر خط، امواج ایجادشده از مانورهای تغییر خط از داده‌های عبوری حذف می‌گردند و فقط حرکت تعقیب خودرو وسایل نقلیه‌ای که ۱۲ ثانیه قبل و بعد از حرکت تعقیب خودرو طولی مانور تغییر خط وجود نداشته باشد به‌منظور تحلیل و آنالیز در نظر گرفته می‌شوند. راننده پیرو در زنجیره وسایل نقلیه عکس‌العمل‌های متفاوتی نسبت به امواج منتشرشده از جریان پایین‌دست به سمت بالادست نشان می‌دهد که منجر به رفتارهای متفاوتی می‌گردد. رفتارهای متفاوت رانندگان پیرو منجر به اولویت‌بندی و تصمیم‌گیری‌های متفاوت راننده پیرو مبتنی بر انتخاب شاخص‌ها و انتخاب‌های گوناگون می‌گردد. سه شاخص راحتی، ایمنی و زمان سفر، شاخص‌هایی می‌باشند که در ذهن رانندگان متفاوت می‌باشد. هر راننده پیرو به دنبال بهینه و اولویت‌بندی نمودن شاخص موردنظر و اولویت‌دار خود به‌منظور متفاوت می‌باشد. هر راننده پیرو به دنبال بهینه و اولویت‌بندی نمودن شاخص موردنظر و اولویت‌دار خود به‌منظور حرکت تعقیب خودرو در ترافیک عبوری می‌باشد. در این تحقیق به‌منظور شبیه‌سازی نمودن رفتار راننده پیرو، یک مسئله بهینه‌سازی سه تابع هدف بر اساس سه معیار مذکور حل می‌گردد تا ضرایب وزنی ذهن راننده در ترافیک عبوری در حرکت تعقیب خودرو طولی تعیین و پیچیدگی رفتار ذهن راننده پیرو ارزیابی گردد.

۲-۳ فازبندی جریان ترافیک

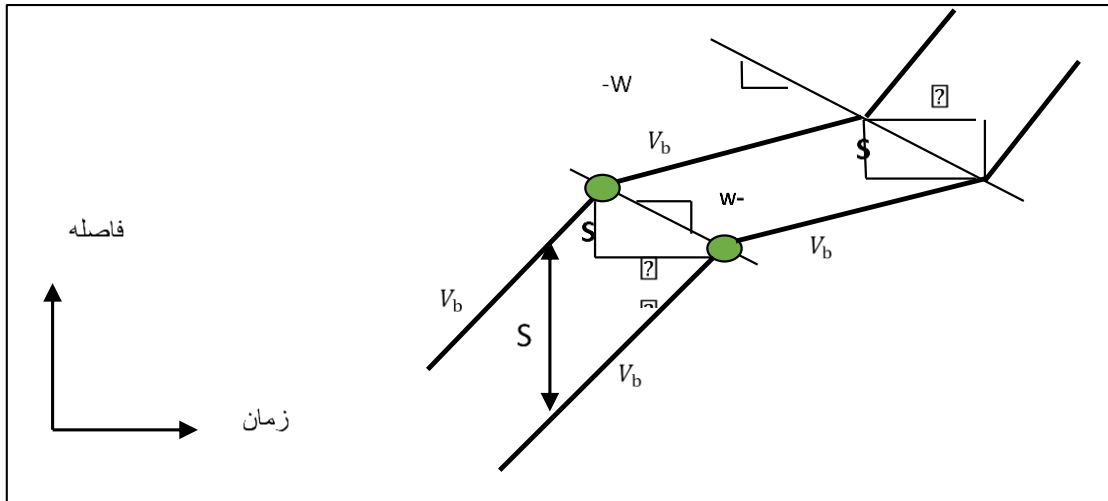
در این تحقیق شناسایی فازهای کاهش شتاب و افزایش شتاب در حرکت تعقیب خودرو بر اساس تئوری نامتقارن رفتاری تعیین می‌گردد [Yeo, 2008]. مطابق شکل ۲، مبتنی بر تئوری نامتقارن رفتاری، فازهای حرکت شتاب‌دار تعقیب خودرو به سه فاز کاهش شتاب (مقدار شتاب کوچک‌تر از -۱) و فاز افزایش شتاب (مقدار شتاب بزرگ‌تر از +۱) و فاز کرانه‌ای (مقدار شتاب بین ± 1) تقسیم‌بندی می‌شوند. فاز کاهش و افزایش شتاب بر اساس کاهش و افزایش شتاب پیوسته در نظر گرفته می‌شود.

می‌گردد. همچنین اگر $\eta_i^0 \sim 1$ باشد راننده پیرو از رفتار نیویل در فاز قبل از آشفتگی پیروی می‌کند. الگوی رفتاری محتاط و پرخاشگر در فاز بعد از آشفتگی از طریق پارامتر η_i^1 و با یک تحلیل مشابه با η_i^0 به منظور شناسایی الگوهای رفتاری راننده پیرو دسته‌بندی می‌شوند. راننده پیرو در آشفتگی جریان ترافیک با تغییر در مقدار $\eta_i(t)$ به سه الگوی عکس‌العمل مقعر، محدب و ثابت تغییر رفتار می‌دهد. دسته‌بندی الگوهای رفتاری متعلق به دسته‌بندی عکس‌العمل رفتاری راننده در فاز غیر تعادل مبتنی بر الگوهای رفتاری در فاز تعادل تعیین می‌شوند [Chen et al, 2012].

می‌شود در مدل نامتقارن رفتاری Chen، راننده پیرو در زمانی که در تعادل است، مقدار $\eta_i(t)$ یک مقدار ثابت می‌باشد اما در شرایط غیر تعادل رفتار راننده نسبت به موج کاهش و افزایش شتاب دریافتی در حرکت تعقیب خودرو تغییر می‌کند و مقدار $\eta_i(t)$ از مقدار ثابت خود منحرف می‌گردد. الگوهای رفتاری محتاط و پرخاشگر در مدل نامتقارن رفتاری Chen از طریق محاسبه مقادیر η_i^0 قبل و η_i^1 بعد از آشفتگی ترافیک به شرح ذیل دسته‌بندی می‌شوند. اگر مقدار $\eta_i^0 \ll 1$ راننده پیرو متمایل به رانندگی در سرفاصله مکانی کم‌تر از راننده نیویل، رفتار پرخاشگر، و اگر $\eta_i^0 \gg 1$ باشد راننده پیرو متمایل به رانندگی در سرفاصله مکانی بیشتر از راننده نیویل، رفتار محتاط،



شکل ۲. فاز افزایش و کاهش شتاب در زنجیره وسایل نقلیه



شکل ۳. مدل تعقیب خودرو Newell

۳-۴ تعیین عکس‌العمل زمان لحظه‌ای

عکس‌العمل زمانی یک پارامتر ضروری به‌منظور شبیه‌سازی دقیق‌تر حرکت تعقیب خودرو در سطح جزئی‌نگر می‌باشد. در اکثر مدل‌های تعقیب خودرو مقدار عکس‌العمل زمانی ثابت در نظر گرفته می‌شود. اخیراً با استفاده از مدل‌های تعقیب خودرو هوشمند مقدار عکس‌العمل زمانی به‌صورت لحظه‌ای در نظر گرفته می‌شود تا رفتار تعقیب خودرو راننده پیرو دقیق‌تر شبیه‌سازی شود [Khodayari et al. 2011]. تحقیقات اوزاکی نشان می‌دهد که ارتباط بالای بین عکس‌العمل زمانی در زمان t و افزایش و کاهش شتاب وسیله نقلیه پیشرو سرفاصله مکانی بین پیشرو و پیرو در زمان t وجود دارد [Ozaki, 1993]. ژنگ و همکاران با مشخص نمودن عکس‌العمل لحظه‌ای از نمودار سرفاصله مکانی و سرعت در مقایسه با مقدار عکس‌العمل لحظه‌ای استخراج‌شده از نمودار شتاب و سرعت نسبی، رفتار تعقیب خودرو راننده پیرو را واقعی‌تر شبیه‌سازی نمود [Zheng et al. 2013]. در این تحقیق، مبتنی بر مدل نامتقارن رفتاری چن و همکاران مقدار عکس‌العمل زمان لحظه‌ای به‌وسیله متغیر $\tau_i(t)$ در فاز کاهش و افزایش شتاب برای هر الگوی رفتاری پرخاشگر و محتاط تعیین می‌گردد. عکس‌العمل زمان لحظه‌ای محاسبه‌شده در مدل تعقیب خودرو تابع چندهدفه در فاز کاهش و افزایش شتاب استفاده می‌گردد تا ارزیابی دقیق‌تری از شاخص‌های رفتار راننده

مبتنی بر الگوهای رفتاری در آشفته‌نگی ترافیک شبیه‌سازی گردد [Chen et al. 2012].

۳-۵ مدل‌سازی ریاضی

در این تحقیق، اولویت‌بندی ذهن راننده در رفتارهای تعقیب خودرو بر اساس یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه به‌عنوان فرایند تصمیم‌گیری راننده با سه عملکرد هدف (به حداقل رساندن خطر تصادف و زمان سفر و حداکثر راحتی)، نمایانگر نگرانی‌های عمده رانندگی پیشنهاد شده است. این مدل تابع چندهدفه با استفاده از روش کلاسیک وزنی^{۱۶} به چند تابع تک هدف در نرم‌افزار GAMS حل شده است. به‌منظور حل و بهینه‌سازی تابع چندهدفه از داده‌های عبوری واقعی تعقیب خودرو استفاده می‌گردد تا به مدل آموزش داده شود تا بهترین سیستم وزن دهی برای سه فاکتور تعیین شود. این مدل با توجه به سیستم وزن دهی مختلف برای هر سه فاکتور حل می‌شود تا مقدار افزایش و کاهش شتاب برای راننده پیرو تعیین می‌گردد.

• معرفی پارامترها و ورودی

- l : وسیله نقلیه پیشرو
- f : وسیله نقلیه پیرو
- t, t' : شاخص‌های زمانی
- T : کل زمان موجود در حرکت تعقیب خودرو

زمان برخورد بین دو وسیله پیشرو و پیرو متنی بر تابع هدف ایمنی	$t_{d,1}, t_{d,2}$	مقادیر حل معادله درج دوم خطر ریسک برخورد	γ, β
انرژی جنبشی برخورد	k_1, k_2, K	شتاب وسیله نقلیه پیشرو در زمان t	$a_{l,t}$
اگر تصادف اتفاق بیفتد $\beta^2 - 4\alpha\gamma > 0$ مقدار متغیر باینری برابر با ۱ در غیر این صورت صفر.	Z_1	سرعت وسیله نقلیه پیشرو در زمان t	$v_{l,t}$
اگر $t_{d,1} \leq 0$ مقدار متغیر باینری برابر با صفر در غیر این صورت یک	Z_2	شتاب وسیله نقلیه پیرو در زمان t	$a_{f,t}$
اگر $t_{d,1} \leq -t_a$ مقدار متغیر باینری برابر با صفر در غیر این صورت یک	Z'_2	سرعت وسیله نقلیه پیرو در زمان t	$v_{f,t}$
اگر $t_{d,2} \leq 0$ مقدار متغیر باینری برابر با صفر در غیر این صورت یک	Z_3	افزایش و کاهش شتاب وسیله نقلیه پیشرو در زمان $t+1$	$a_{l,t'}$
اگر $t_{d,2} \leq -t_a$ مقدار متغیر باینری برابر با صفر در غیر این صورت یک	Z'_3	سرعت وسیله نقلیه پیشرو در زمان $t+1$	$v_{l,t'}$
اگر $Z'_2 + Z'_3 = 0$ مقدار متغیر باینری برابر با صفر در غیر این صورت یک	Z_4	افزایش و کاهش شتاب وسیله نقلیه پیرو در زمان $t+1$ با هدف تأمین تابع هدف راحتی	$a_{f,t}^*$
اگر $k_2 > k_1$ مقدار متغیر باینری برابر با یک در غیر این صورت صفر	Z_5	سرفاصله مکانی بین وسیله پیشرو پیرو در لحظه t	d_t
مقدار باینری صفر است اگر مقدار کاهش شتاب راننده پیرو در محدوده شتاب راحتی نباشد در غیر این صورت یک	Z_6	جرم وسیله نقلیه پیرو	M_f
افزایش و کاهش شتاب راننده پیرو در زمان $t+1$	$a_{f,t'}$	عکس‌العمل وسیله نقلیه پیرو	t_a
مدل پیشنهادی چندهدفه شامل چند مرحله است:		یک مقدار مثبت کوچک	ε
مرحله اول		یک مقدار مثبت بزرگ	M
یک مجموعه حرکت تعقیب خودرو از داده‌ها در بازه زمانی T استخراج می‌شوند و به تیک‌های زمانی T/t_a تقسیم می‌شوند.		مقدار وزن دهی ذهن راننده پیرو نسبت به تابع هدف راحتی	W_1
مرحله دوم		مقدار وزن دهی ذهن راننده پیرو نسبت به تابع هدف زمان سفر	W_2
ورودی‌های مدل مانند $d_t, v_{l,t}, a_{l,t}$ را از تیک‌های زمانی انتخاب می‌کنیم. لازم به ذکر است که متغیر $a_{f,t'}$ مجهول مدل است که به‌عنوان ورودی در مدل انتخاب نمی‌شود.		مقدار وزن دهی ذهن راننده پیرو نسبت به تابع هدف ایمنی	W_3
مرحله سوم		مقدار ایده‌آل تابع هدف راحتی	$f(x)^{ideal}$
		مقدار غیر ایده‌آل تابع هدف راحتی	$f(x)^{nadir}$
		مقدار ایده‌آل تابع هدف زمان سفر	$g(x)^{ideal}$
		مقدار غیر ایده‌آل تابع هدف زمان سفر	$g(x)^{nadir}$
		مقدار ایده‌آل تابع هدف ایمنی	$h(x)^{ideal}$
		مقدار ایده‌آل تابع هدف غیر ایمنی	$h(x)^{nadir}$
		معرفی متغیرهای تصمیم	
		مقدار ثابت یک معادله درجه دو که برای کمی سازی خطر برخورد طراحی شده است	α

$$Z'_2(t_{d,1}+t_a) \geq 0 \quad (14)$$

$$(1 - Z'_2)(t_{d,1} + t_a) \leq 0 \quad (15)$$

$$Z_3(t_{d,2}-\varepsilon) \geq 0 \quad (16)$$

$$(1 - Z_3)(t_{d,2}-\varepsilon) \leq 0 \quad (17)$$

$$Z'_3(t_{d,2}+t_a) \geq 0 \quad (18)$$

$$(1 - Z'_3)(t_{d,2} + t_a) \leq 0 \quad (19)$$

$$Z_4(Z'_2 + Z'_3 - \varepsilon) \geq 0 \quad (20)$$

$$(1 - Z_4)(Z'_2 + Z'_3 - \varepsilon) \leq 0 \quad (21)$$

$$k_1 = \frac{1}{2} M_f Z_1 Z_4 \left[\begin{array}{l} Z_2 Z'_2 (a_{f,t} t_{d,1} + a_{f,t} t_a + v_{f,t})^2 \\ + (1 - Z_2 Z'_2) (a_{f,t} (t_a + t_{d,1}) + v_{f,t})^2 \end{array} \right] \quad (22)$$

$$k_2 = \frac{1}{2} M_f Z_1 Z_4 \left[\begin{array}{l} Z_3 Z'_3 (a_{f,t} t_{d,2} + a_{f,t} t_a + v_{f,t})^2 \\ + (1 - Z_3 Z'_3) (a_{f,t} (t_a + t_{d,2}) + v_{f,t})^2 \end{array} \right] \quad (23)$$

$$Z_5(k_1 - k_2) \leq 0 \quad (24)$$

$$(1 - Z_5)(k_1 - k_2) \geq 0 \quad (25)$$

$$K = Z_5 k_2 + (1 - Z_5) k_1 \quad (26)$$

$$(a_{f,t'} - a_{f,t}^*) (1 - Z_6) \geq 0 \quad (27)$$

$$(a_{f,t'} - a_{f,t}^*) (Z_6) \leq 0 \quad (28)$$

$$|a_{f,t'} - a_{f,t}| \leq \sigma \quad (29)$$

$$Z_1, Z_2, Z'_2, Z_3, Z'_3, Z_4, Z_5, Z_6 \in \{0, 1\} \quad (30)$$

مدل پیشنهاد شده دارای سه تابع هدف دارد که تابع هدف راحتی اولین تابع هدف است. راحتی راننده و مسافر در زمان تعقیب خودرو در آشفتگی ترافیک یکی از فاکتورهای مهم راننده می باشد که تأمین این فاکتور به مقدار انحراف $(a_{f,t'})$ راننده پیرو از مقدار مجاز افزایش یا کاهش شتاب مجاز $(a_{f,t}^*)$ در هر فاز افزایش و کاهش شتاب بستگی دارد.

هدف زمان سفر، دومین تابع هدف است باهدف ماکسیم سازی نرخ افزایش و کاهش شتاب راننده پیرو به منظور کاهش زمان سفر است. اگر راننده پیرو بتواند افزایش شتاب دهد سرعت راننده پیرو افزایش می یابد که منجر به کاهش زمان سفر می گردد. لازم به ذکر است که افزایش یا کاهش شتاب به دلیل ویژگی های وسیله نقلیه دارای محدودیت می باشد که این محدودیت منجر به قرار گرفتن مقادیر قبل و بعد افزایش شتاب $a_{f,t}$ و $a_{f,t'}$ در یک محدوده منطقی σ می گردد.

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال سیزدهم / شماره چهارم (۵۳) / تابستان ۱۴۰۱

مدل ریاضی فراخوانی می شود و به دلیل اینکه مدل ما یک مدل چندهدفه است. ابتدا باید مدل چندهدفه را به یک مدل تک هدف بوسیله روش های وزنی به یک مدل تک هدف مطابق رابطه ۱ تبدیل می گردد.

$$\begin{aligned} \text{Min } U(x) = & W_1 \frac{f(x) - f(x)^{\text{ideal}}}{f(x)^{\text{nadir}} - f(x)^{\text{ideal}}} + \\ & W_2 \frac{f(x) - f(x)^{\text{ideal}}}{f(x)^{\text{nadir}} - f(x)^{\text{ideal}}} + W_3 \frac{f(x) - f(x)^{\text{ideal}}}{f(x)^{\text{nadir}} - f(x)^{\text{ideal}}} \end{aligned} \quad (1)$$

• مرحله چهارم

مدل تک هدف تبدیل شده برای وزن های مختلف حل می شود تا مقدار $a_{f,t'}$ برای هر تابع هدف محاسبه شود. سیستم وزن دهی یک مقدار $a_{f,t'}$ محاسبه می کند که از مقدار واقعی مشاهده شده برای راننده پیرو مینیمم انحراف را دارد که این مقدار وزن های بیانگر بهترین مقادیر اولویت بندی ذهن راننده پیرو است.

• مرحله ۵

این متدولوژی محاسبه برای تمام داده های ورودی تکرار می شود در غیر این صورت الگوریتم حل خاتمه می یابد. مدل ریاضی پیشنهادی در زیر ارائه شده است، و به دنبال آن اهداف و محدودیت های مدل با جزئیات ارائه شده است:

$$\text{Min } f(x) = (a_{f,t'}^* - a_{f,t'}) Z_6 \quad (2)$$

$$\text{Max } g(x) = a_{f,t'} \quad (3)$$

$$\text{Min } h(x) = K \quad (4)$$

ST:

$$\alpha = \frac{1}{2} (a_{l,t'} - a_{f,t'}) \quad (5)$$

$$\beta = v_{l,t'} - v_{f,t} \quad (6)$$

$$\gamma = d_t + \frac{1}{2} t_a^2 (a_{l,t} - a_{f,t}) + t_a (v_{l,t} - v_{f,t}) \quad (7)$$

$$Z_1(\beta^2 - 4\alpha\gamma) \geq 0 \quad (8)$$

$$(1 - Z_1)(\beta^2 - 4\alpha\gamma) \leq 0 \quad (9)$$

$$t_{d,1} = \frac{-\beta + \sqrt{Z_1(\beta^2 - 4\alpha\gamma)} - M(1 - Z_1)}{2\alpha} \quad (10)$$

$$t_{d,2} = \frac{-\beta - \sqrt{Z_1(\beta^2 - 4\alpha\gamma)} - M(1 - Z_1)}{2\alpha} \quad (11)$$

$$Z_2(t_{d,1} - \varepsilon) \geq 0 \quad (12)$$

$$(1 - Z_2)(t_{d,1} - \varepsilon) \leq 0 \quad (13)$$

$$d_{l,d} = \frac{1}{2} a_{l,t'} \times (t_d)^2 + v_{l,t'} \times t_d \quad (34)$$

$$d_{f,d} = \frac{1}{2} a_{f,t'} \times (t_d)^2 + v_{f,t'} \times t_d \quad (35)$$

با جایگزین کردن روابط ۳۲ تا ۳۵ در رابطه ۳۱، یک معادله درجه دوم (رابطه ۳۶) حاصل می‌گردد که مقدار t_d (زمان برخورد) مجهول رابطه می‌باشد:

$$d_t + \frac{1}{2} [a_{l,t} \times (t_d)^2 + a_{l,t'} \times (t_d)^2] + v_{l,t} \times t_d + v_{l,t'} \times t_d - \frac{1}{2} [a_{f,t} \times (t_d)^2 + a_{f,t'} \times (t_d)^2] - v_{f,t} \times t_d - v_{f,t'} \times t_d = 0 \quad (36)$$

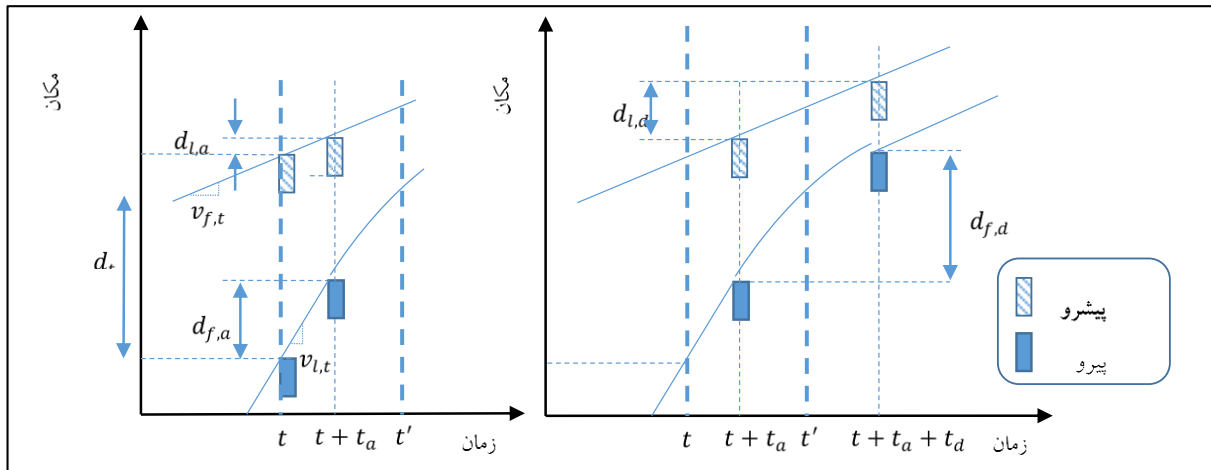
در معادله ۳۶، اگر $(\Delta \geq 0)$ برخورد اتفاق می‌افتد و دو مقدار $(t_{d,1}, t_{d,2})$ زمان برخورد می‌باشند. بنابراین با استفاده از پارامتر باینری (Z_1) به دو مقدار صفر و یک تعیین می‌شود. اگر $(\Delta < 0)$ باشد مقدار $(Z_1 = 0)$ باشد و اگر $(\Delta > 0)$ باشد مقدار $(Z_1 = 1)$ است و مقدار زمان برخورد برابر با:

سومین هدف راننده پیرو، افزایش ایمنی به منظور اجتناب از برخورد در ترافیک توقف - حرکت می‌باشد. مطابق شکل (۴)، زمانی که موج کاهش شتاب در زنجیره وسایل نقلیه منتشر می‌شود، راننده پیرو در زمان (t) ، اطلاعات رفتار حرکت وسیله نقلیه پیشرو را دریافت می‌کند درحالی‌که تا پایان زمان آنالیز $(t+t')$ سرفاصله مکانی بین دو وسیله نقلیه در حال کاهش می‌باشد. به منظور تأمین شدن فاصله ایمن بین وسیله نقلیه پیشرو و وسیله پیرو در هر لحظه در صورت عکس‌العمل راننده پیرو در زمان $(t+t')$ با اعمال مقدار حداکثر شتاب کاهنده، $a'_{2,t}$ ، در شرایط در نظر گرفتن ایمنی وضعیت برخورد دو وسیله مطابق رابطه (۳۱) بررسی نمود:

$$d_t + d_{l,a} + d_{l,d} = d_{f,a} + d_{f,d} \quad (31)$$

$$d_{l,a} = \frac{1}{2} a_{l,t} \times (t_a)^2 + v_{l,t} \times t_a \quad (32)$$

$$d_{f,a} = \frac{1}{2} a_{f,t} \times (t_a)^2 + v_{f,t} \times t_a \quad (33)$$



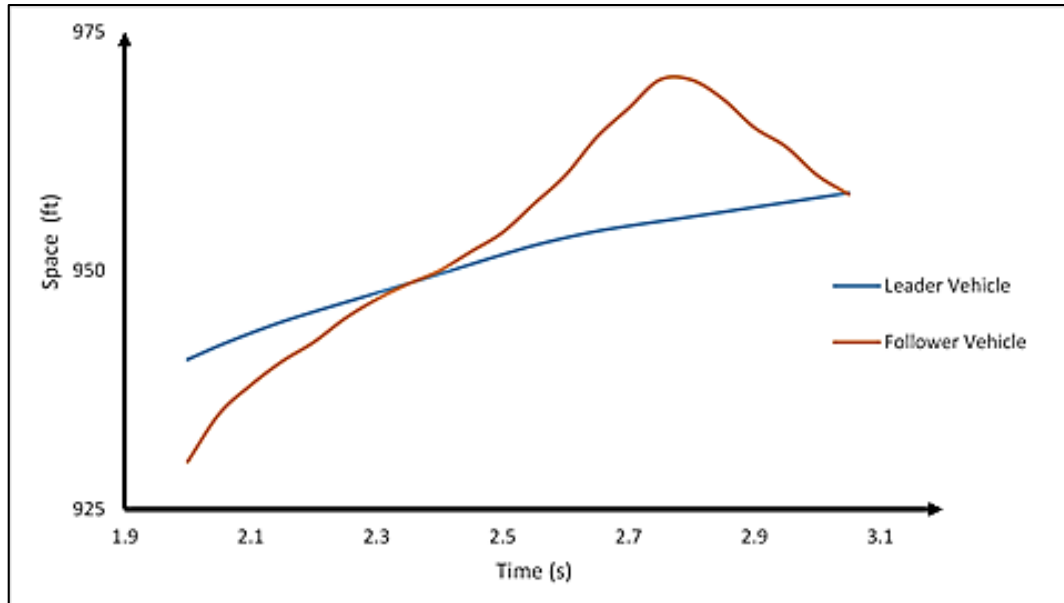
شکل ۴. نگاه شماتیک عکس‌العمل‌های تعقیب خودرو

دارد. به دلیل آنکه مطابق شکل ۵، احتمال برخورد وسیله نقلیه پیرو در زمان تحلیل t_a وجود دارد. بنابراین، انرژی جنبشی برخورد، به عنوان شاخص ایمنی باید در بازه زمانی $t_a \in (-t_a, +\infty)$ محاسبه شود. به منظور حذف پاسخ زمان برخورد در بازه زمانی $(-\infty, -t_a)$ از پاسخ ای معادله درجه دوم برخورد، روابط ۱۲ تا ۲۱ ارائه شده‌اند. این روابط به طور خلاصه بیان می‌کنند که:

$$t_{d,1} = \frac{-\beta + \sqrt{(\beta^2 - 4\alpha\gamma)}}{2\alpha} \quad (37)$$

$$t_{d,2} = \frac{-\beta - \sqrt{(\beta^2 - 4\alpha\gamma)}}{2\alpha} \quad (38)$$

اگر مقدار $(t_{d,1} > 0)$ باشد آنگاه زمان برخورد در بازه زمانی $(0, +\infty)$ قرار دارد و برخورد قطعاً اتفاق می‌افتد. اما، اگر مقدار $(t_{d,2} < 0)$ باشد آنگاه باید بررسی شود که زمان برخورد در کدام بازه منفی یعنی $(-\infty, -t_a)$ یا $(0, -t_a)$ قرار



شکل ۵. برخورد وسیله نقلیه در زمان تحلیل t_a

بازه زمان برخورد	$(-\infty, -t_a)$	$(-t_a, 0)$	$(0, +\infty)$	غیرممکن
پاسخ	غیرقابل قبول	پاسخ	پاسخ	غیرممکن

جدول ۲. تحلیل هم‌زمان هر دو زمان برخورد $(t_{d,2})$

وضعیت	زمان برخورد $t_{d,2}$			
	۱	۲	۳	۴
Z_3	۰	۰	۱	۱
Z'_3	۰	۱	۱	۰

بازه زمان برخورد	$(-\infty, -t_a)$	$(-t_a, 0)$	$(0, +\infty)$	غیرممکن
پاسخ	غیرقابل قبول	پاسخ	پاسخ	غیرممکن

مطابق نتایج جدول ۱ و ۲، در دو وضعیت (۲ و ۳) امکان برخورد برای هر دو زمان برخورد $(t_{d,1}, t_{d,2})$ وجود دارد. در نتیجه رابطه انرژی برخورد باید به گونه‌ای در نظر گرفته شود که به طور هم‌زمان با توجه به شرایط زمان برخورد مقدار انرژی مطابق روابط (۳۹، ۴۰، ۴۱ و ۴۲) برای هر یک از پاسخ‌های $(t_{d,1}, t_{d,2})$ ارائه می‌شود که برای هر پاسخ در هر شرایط زمانی فقط یکی از پاسخ‌ها در نظر گرفته می‌شود.

$$k_{11} = \frac{1}{2} M_2 Z_1 Z_4 [Z_2 Z'_2 (a_{2,t} X_1 + a_{2,t} t_a + v_{2,t})^2] \quad (39)$$

$$k_{12} = \frac{1}{2} M_2 Z_1 Z_4 [(1 - Z_2 Z'_2) (a_{2,t} (t_a + X_1) + v_{2,t})^2] \quad (40)$$

- روابط ۱۲ و ۱۳ معنی می‌دهند که اگر $t_{d,1} \leq 0$ مقدار $Z_2 = 0$ در غیر این صورت $Z_2 = 1$
- روابط ۱۲ و ۱۳ معنی می‌دهند که اگر $t_{d,1} \leq -t_a$ مقدار $Z'_2 = 0$ در غیر این صورت $Z'_2 = 1$
- روابط ۱۶ و ۱۷ معنی می‌دهند که اگر $t_{d,2} \leq 0$ مقدار $Z_3 = 0$ در غیر این صورت $Z_3 = 1$
- روابط ۱۸ و ۱۹ معنی می‌دهند که اگر $t_{d,2} \leq -t_a$ مقدار $Z'_3 = 0$ در غیر این صورت $Z'_3 = 1$
- روابط ۲۰ و ۲۱ معنی می‌دهند که اگر Z'_2 و Z'_3 برابر با صفر باشند آنگاه مقدار $Z_4 = 0$ در غیر این صورت $Z_4 = 1$

مطابق جدول ۱ و ۲، نتایج زمان برخورد $(t_{d,1}, t_{d,2})$ با استفاده از متغیرهای باینری Z_2, Z'_2, Z_3, Z'_3 در وضعیت‌های مختلف ارائه می‌گردد:

جدول ۱. تحلیل هم‌زمان هر دو زمان برخورد $(t_{d,1})$

وضعیت	زمان برخورد $t_{d,1}$			
	۱	۲	۳	۴
Z_2	۰	۰	۱	۱
Z'_2	۰	۱	۱	۰

ورودی، دولایه پنهان و یک‌لایه خروجی است که هر یک از لایه‌ها شامل نرون‌هایی است که اطلاعات را از لایه‌های قبل دریافت و سپس به سمت لایه‌های بعدی پیش می‌برند و تعداد نرون‌های لایه‌های پنهان از طریق حدس و خطا به‌منظور رسیدن به شرایط ایده‌آل تعیین می‌شوند. عمل نمودن پرسپترون‌های چندلایه به‌عنوان تابع تقریب گر منجر به مزیت آن‌ها نسبت به ساختارهای پیچیده‌تر شبکه‌های عصبی است که با انتخاب درست تابع عملگر می‌توان مستقیم به مدل آماری مرتبط نمود.

جدول ۳. ویژگی‌های ساختاری شبکه عصبی

پارامتر	مقادیر
ورودی‌ها	مقدار اولویت وزنی شاخص ایمنی
	مقدار اولویت وزنی شاخص راحتی
	مقدار اولویت وزنی شاخص زمان سفر
ساختار	Tansig
	شتاب وسیله نقلیه پیرو
روش آموزش	Back - propagation

مطابق جدول ۳، ورودی‌ها و خروجی تابع محرک شبکه عصبی، تابع Tansig در نظر گرفته شده است و متدولوژی آموزش شبکه عصبی بر اساس ثابت در نظر گرفتن وزن‌ها برای همه متغیرها به جزء متغیرهای ورودی ثابت پس از آموزش شبکه عصبی است و همچنین داده‌های عبوری به سه قسمت training (70%), Cross - validation (15 %), testing (15%) تقسیم شده‌اند.

۵. تحلیل نتایج

الگوی رفتاری راننده، شتاب راننده پیرو، در هر دو فاز کاهش و افزایش شتاب در ترافیک حرکت - توقف نسبت به مقادیر بهینه هر یک از اولویت‌های وزنی انتخاب شده توسط راننده شناسایی شده است.

۱-۵ ارزیابی عملکرد شبکه عصبی

به‌منظور ارزیابی عملکرد شبکه عصبی، مطابق روابط ۴۳، ۴۴ و ۴۵ از سه شاخص میانگین خطای مربع، MSE، میانگین خطای مطلق، MAE، و ضریب همبستگی، r ، استفاده شده است. اگر

$$k_{21} = \frac{1}{2} M_2 Z_1 Z_4 [Z_3 Z_3' (a_{2,t} X_2 + a_{2,t} t_a + v_{2,t})^2] \quad (41)$$

$$k_{22} = \frac{1}{2} M_2 Z_1 Z_4 [(1 - Z_3 Z_3') (a_{2,t} (t_a + X_2) + v_{2,t})^2] \quad (42)$$

در نهایت رابطه انرژی کل برای هر یک از پاسخ‌های انرژی برخورد نهایی برابر با ماکسیمم‌گیری کردن بین مقادیر انرژی (k_1, k_2) محاسبه می‌شود تا ریسک‌پذیرترین وضعیت برخورد در زمان‌های برخورد $(t_{d,1}, t_{d,2})$ تعیین می‌گردد و تابع هدف با مینیمم سازی مقدار انرژی برخورد، متغیرهای تصمیم مدل را مبتنی بر معیار ایمنی تعیین می‌کند.

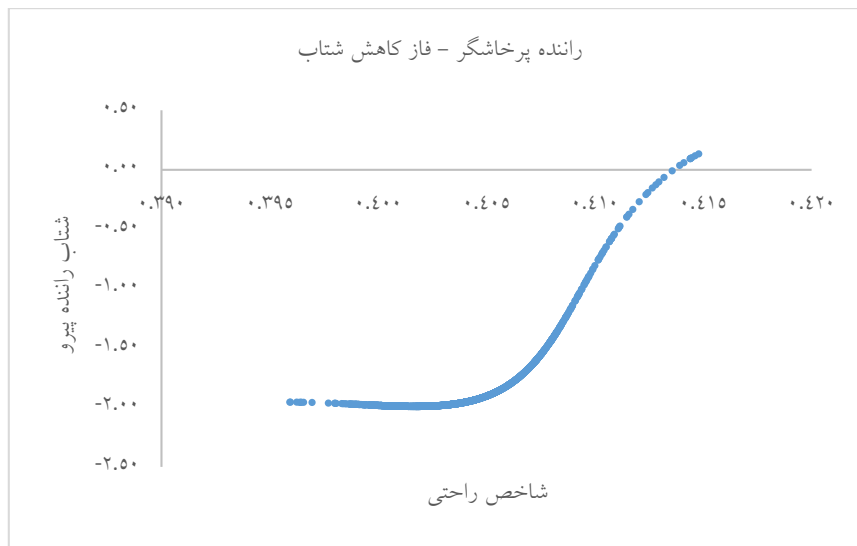
۴. ایجاد مدل شبکه‌های عصبی

به‌منظور شناسایی و تحلیل پارامترهای مؤثر ترافیک حرکت - توقف در سطح جزئی‌نگر به سبب زیادی پارامترها و خطا در داده‌های برداشت شده و به سبب وجود نویز در سنسور دوربین‌های نصب شده و ضرورت نداشتن به تعبیر تابع هدف، از الگوی شبکه عصبی استفاده می‌شود. با استفاده از الگوی شبکه عصبی، عملکرد رفتاری راننده، شتاب وسیله نقلیه پیرو، نسبت به اولویت وزن‌های انتخاب شده ذهن راننده بر اساس الگوهای رفتاری مختلف شناسایی می‌شود. شبکه‌های عصبی، مدل‌های محاسباتی است که با یک فضای بزرگ پارامتری و ساختار منعطف مشخص، با الهام از مطالعات اعصاب زیستی، روشی عملی برای یادگیری توابع گوناگون نظیر توابع با مقادیر حقیقی، توابع با مقادیر گسسته و توابع با مقادیر برداری می‌باشند که بر پایه اتصال به هم پیوسته چندین واحد پردازشی ساخته می‌شوند که شبکه از تعداد دلخواهی سلول یا گره یا واحد یا نرون تشکیل می‌شود که مجموعه ورودی را به خروجی ربط می‌دهند [Principe, Euliano, Lefebvre , 1999]. در این پژوهش از شبکه‌های پرسپترون چندلایه متعلق به شبکه‌های پیش‌خور و بر مبنای قانون یادگیری انتشار خطا عقب‌گرد استفاده می‌شود [Hornik, Stinchcombe and White] و [Karlaftis, 2012]. شبکه عصبی شامل ۴ لایه، یک‌لایه

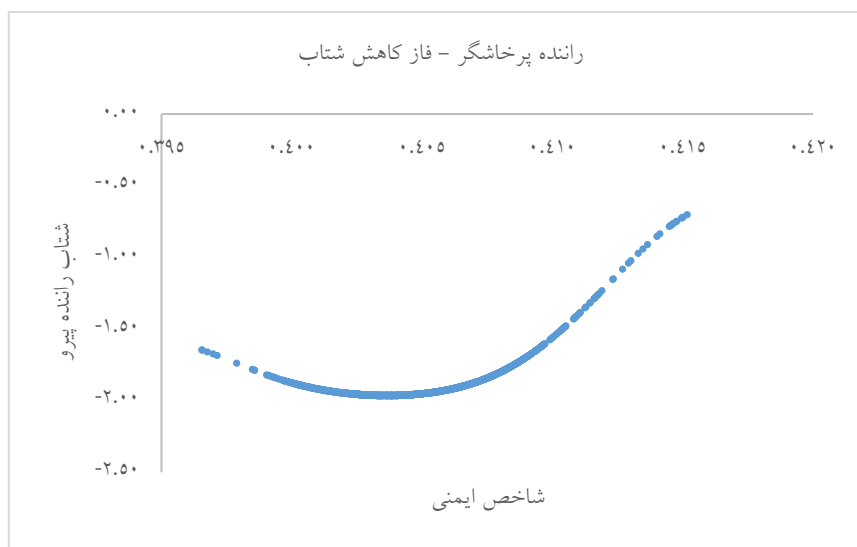
ارزیابی رفتار راننده نسبت به شاخص‌های تصمیم‌گیری ذهن راننده در حرکت تعقیب خودرو مبتنی بر الگوهای رفتاری راننده

شتاب راننده پرخاشگر بیانگر افزایش اهمیت شاخص زمان سفر

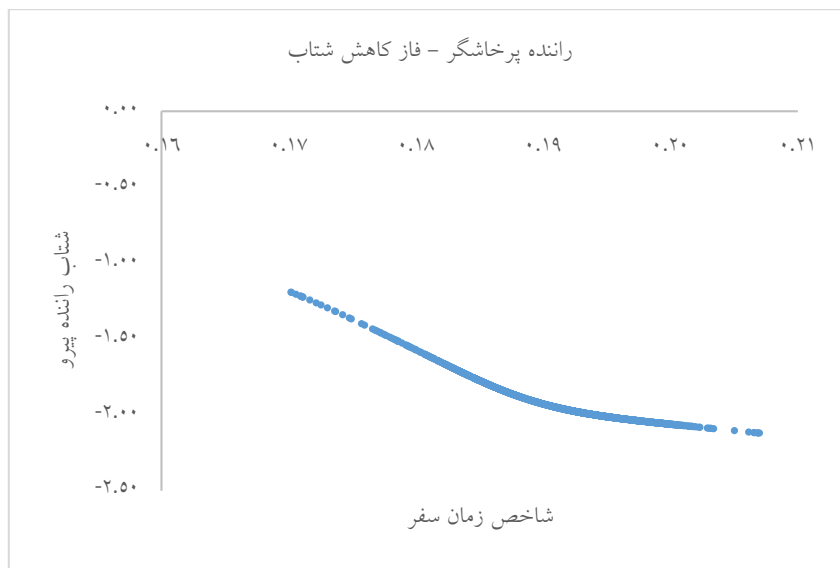
می باشد.



شکل ۱,۶. شاخص راحتی

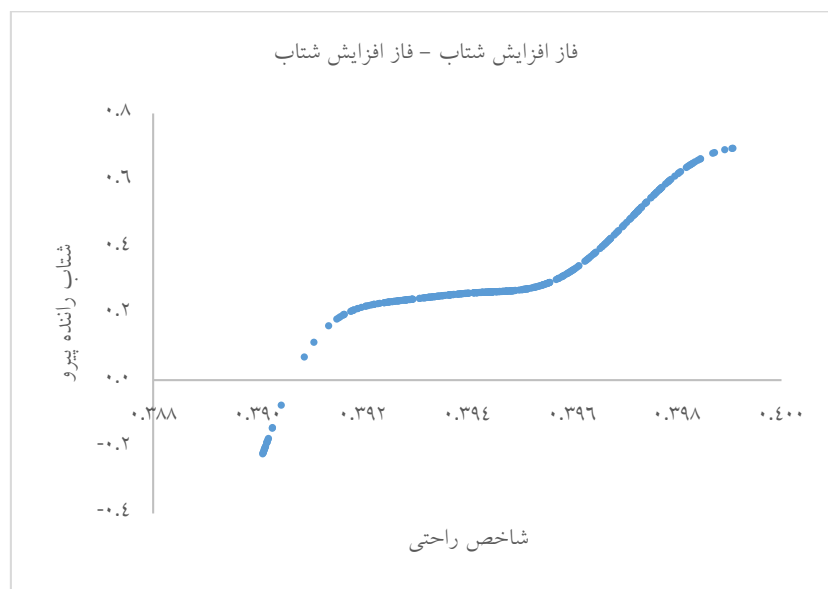


شکل ۲,۶. شاخص ایمنی

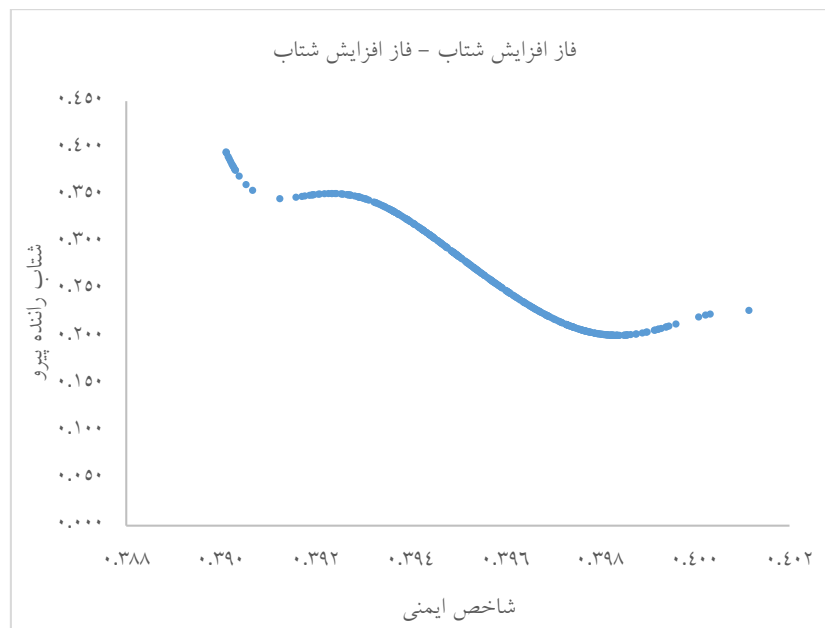


شکل ۳,۶. شاخص زمان سفر

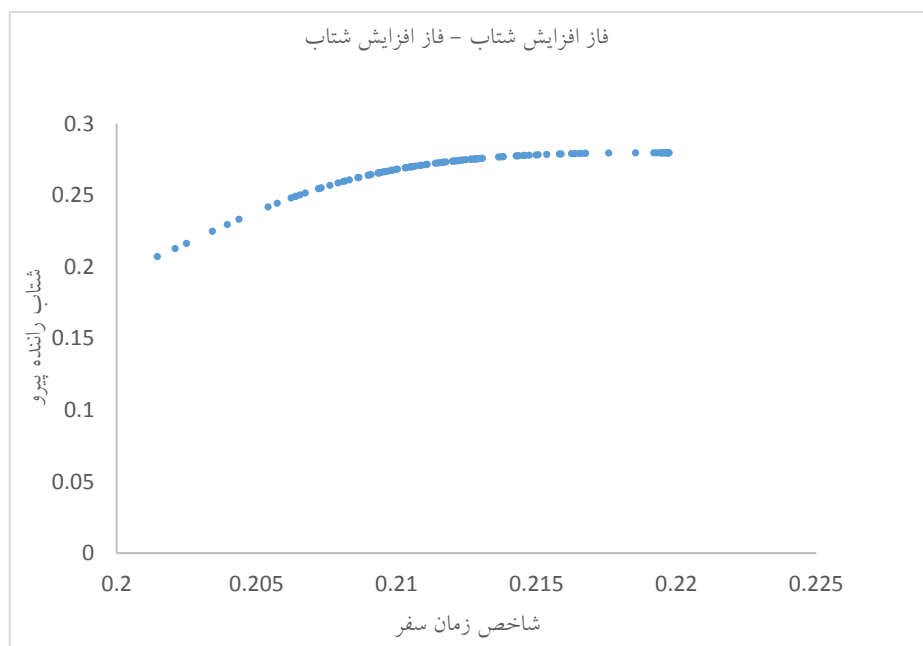
شکل ۶. عملکرد رفتار راننده پرخاشگر نسبت به تغییرات اولویت بندی ذهن راننده در فاز کاهش شتاب



شکل ۱,۷. شاخص راحتی



شکل ۲,۷. شاخص ایمنی



شکل ۳,۷. شاخص زمان سفر

شکل ۷. عملکرد رفتار راننده پرخاشگر نسبت به تغییرات اولویت‌بندی ذهن راننده در فاز افزایش شتاب

۰,۸ $\frac{m^2}{s}$ - منجر به افزایش راحتی راننده می‌شود اما افزایش بیشتر شاخص راحتی در کاهش شتاب بیشتر راننده پیرو تأمین می‌گردد. در فاز کاهش شتاب راننده پیرو به دلیل تمایل به رانندگی در سرفاصله مکانی ایمن بیشتر، تا مقدار مشخصی از شاخص راحتی با تمایل افزایش شتاب تأمین می‌گردد اما به‌منظور تأمین بیشتر شاخص راحتی مجبور به افت شتاب بیشتر

۳-۲-۵ راننده محتاط در فاز کاهش شتاب

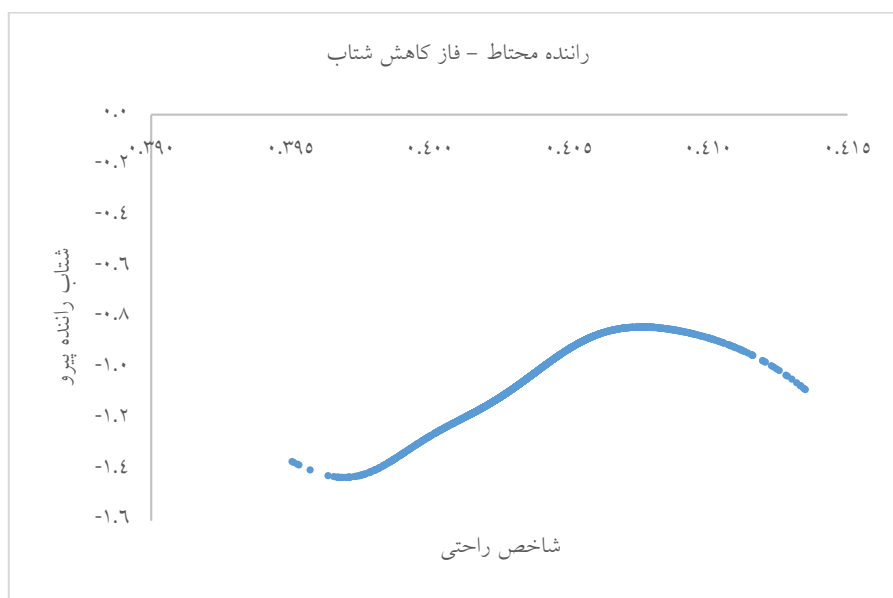
مطابق شکل ۱,۸، تأمین شاخص راحتی راننده پیرو در فاز کاهش شتاب یک رفتار متغیر را در مقدار کاهش شتاب $\frac{m^2}{s}$ ۰,۸- نشان می‌دهد که منجر به افزایش شتاب و سپس کاهش شتاب راننده پیرو می‌گردد. کاهش مقدار کاهش شتاب تا مقدار

افزایش شتاب راننده محتاط در فاز افزایش شتاب، بیانگر افزایش سرفاصله مکانی ایمن و توانایی بیشتر رانندگی راننده محتاط و در نتیجه افزایش شاخص راحتی راننده در رانندگی می باشد. شکل ۲.۹، شاخص ایمنی یک رفتار متغیر افزایشی و سپس کاهشی را نشان می دهد و مقدار $2,05 \frac{m^2}{s}$ + یک مقدار بحرانی تغییر رفتار راننده پیرو می باشد. در محدوده مقادیر کم تر شاخص ایمنی، افزایش شتاب منجر به تأمین ایمنی به دلیل کافی بودن سرفاصله ایمنی می گردد اما با افزایش بیشتر شاخص ایمنی راننده محتاط به منظور تأمین ایمنی بیشتر و تمایل به رانندگی در سرفاصله مکانی ایمن بیشتر مجبور به کاهش شتاب می گردد. شکل ۳.۹، همچنین افزایش شاخص زمان سفر منجر به کاهش و سپس افزایش شتاب راننده محتاط شده است. مقدار شتاب $2.19 \frac{m^2}{s}$ + یک مقدار بحرانی برای تغییر رفتار شاخص زمان سفر می باشد. در مقادیر کم تر از شتاب $2.19 \frac{m^2}{s}$ + کاهش شتاب مثبت راننده پیرو منجر به افزایش اهمیت شاخص زمان سفر می شود اما افزایش شاخص زمان سفر منجر به افزایش شتاب راننده می شود.

می گردد. شکل ۲.۸. ۲، افزایش شاخص ایمنی منجر به افزایش شتاب راننده پیرو می گردد و در مقدار کاهش شتاب $1 \frac{m^2}{s}$ - رفتار ثابتی را نشان می دهد و افزایش شاخص ایمنی در شتاب ثابت $1 \frac{m^2}{s}$ - حاصل می گردد. به عبارت دیگر افزایش شاخص ایمنی راننده محتاط منجر به افزایش قدرت مانور راننده و تأمین شدن سرفاصله مکانی ایمن راننده محتاط در فاز کاهش شتاب و در نتیجه تمایل به افزایش شتاب راننده پیرو می گردد. شکل ۳.۸. ۳، افزایش شاخص زمان سفر راننده پیرو منجر به افزایش شتاب راننده محتاط می گردد. به عبارت دیگر، راننده محتاط تأمین افزایش شاخص زمان سفر بیشتر را با افزایش شتاب راننده محتاط تأمین می نماید.

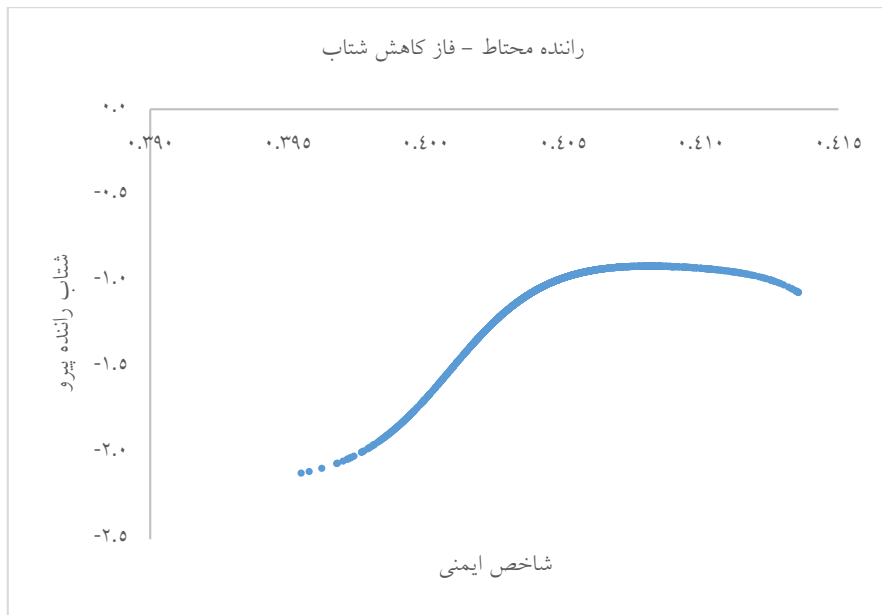
۴-۲-۵ راننده محتاط در فاز افزایش شتاب

مطابق شکل ۱.۹. ۱، افزایش شاخص راحتی منجر به افزایش شتاب وسیله نقلیه پیرو می گردد. به عبارت دیگر، افزایش قدرت مانور راننده محتاط در حین افزایش شتاب منجر به افزایش راحتی راننده در فاز افزایش شتاب می گردد. به عبارت دیگر،

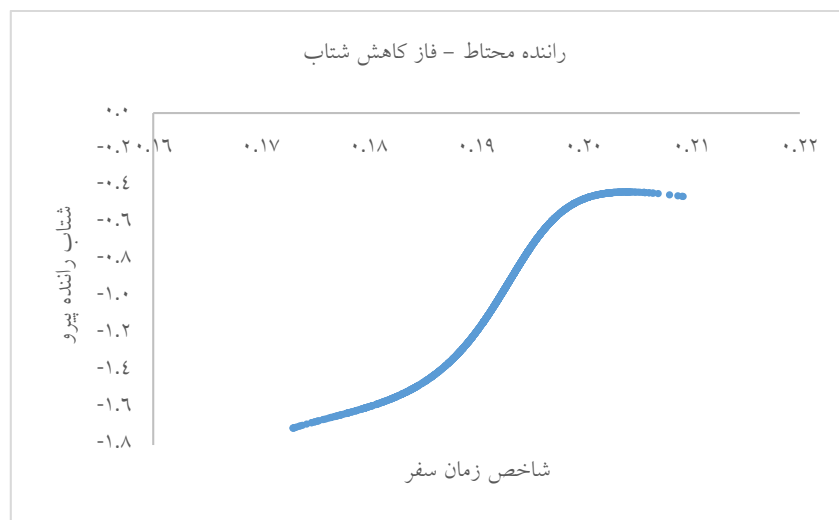


شکل ۱.۸. شاخص راحتی

ارزیابی رفتار راننده نسبت به شاخص‌های تصمیم‌گیری ذهن راننده در حرکت تعقیب خودرو مبتنی بر الگوهای رفتاری راننده

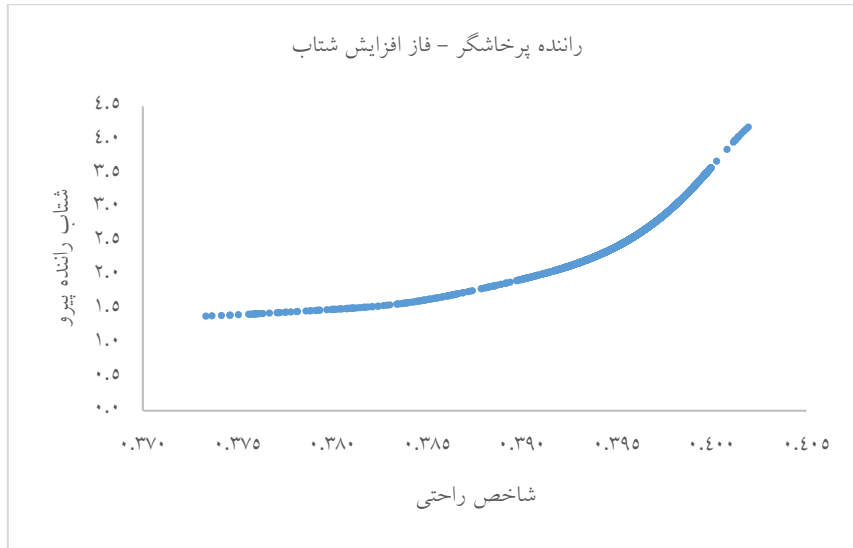


شکل ۲.۸. شاخص ایمنی

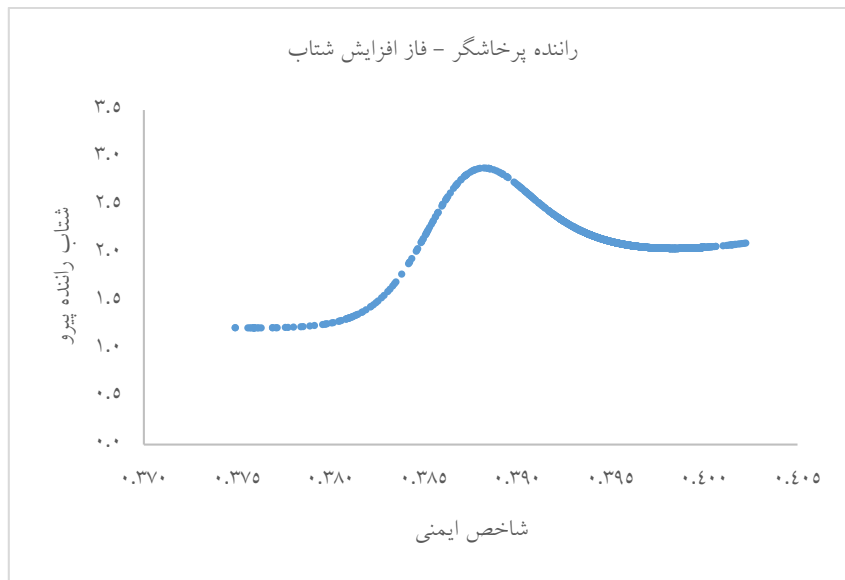


شکل ۳.۸. شاخص زمان سفر

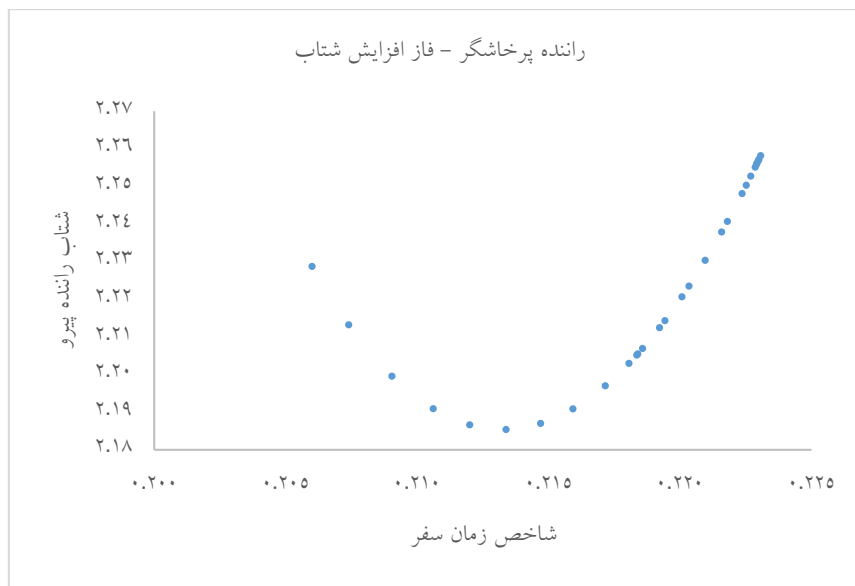
شکل ۸. عملکرد رفتار راننده محتاط نسبت به تغییرات اولویت‌بندی ذهن راننده در فاز کاهش شتاب



شکل ۱,۹. شاخص راحتی



شکل ۲,۹. شاخص ایمنی



شکل ۹. شاخص زمان سفر

شکل ۹. عملکرد رفتار راننده محتاط نسبت به تغییرات اولویت‌بندی ذهن راننده در فاز افزایش شتاب

افزایش شتاب و همچنین افزایش شاخص زمان سفر منجر به کاهش شتاب بیشتر رفتار راننده پرخاشگر در حرکت تعقیب خودرو شده است.

- راننده پرخاشگر در فاز افزایش شتاب به دلیل تمایل راننده پرخاشگر به رانندگی به عملکرد سریع‌تر، افزایش شاخص راحتی راننده منجر به افزایش شتاب راننده به دلیل تمایل راننده پرخاشگر به رانندگی به عملکرد سریع‌تر و افزایش شاخص ایمنی منجر به کاهش شتاب بیشتر و افزایش شاخص زمان سفر راننده پرخاشگر با تأمین افزایش شتاب بیشتر راننده پرخاشگر تأمین می‌گردد.

- راننده محتاط در فاز کاهش شتاب شاخص راحتی راننده پیرو در فاز کاهش شتاب بیانگر یک رفتار متغیر افزایشی - کاهش شتاب راننده پیرو است. همچنین، افزایش شاخص ایمنی و شاخص زمان سفر راننده محتاط منجر به افزایش قدرت مانور راننده و تأمین شدن سرفاصله مکانی ایمن راننده محتاط در فاز کاهش شتاب و در نتیجه تمایل به افزایش شتاب راننده پیرو می‌گردد.

- راننده محتاط در فاز افزایش شتاب

۶. نتیجه‌گیری

رانندگان وسیله نقلیه رفتارهای متفاوتی در آشفتگی جریان ترافیک نشان می‌دهند که منجر به اولویت‌بندی‌های متفاوت شاخص‌های گوناگون مانند ایمنی، راحتی و زمان سفر مبتنی بر الگوهای رفتاری متفاوت پرخاشگر و محتاط می‌گردد. در این تحقیق، یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه مبتنی بر فرایند تصمیم‌گیری راننده با سه عملکرد هدف (به حداقل رساندن خطر تصادف و زمان سفر و حداکثر راحتی)، ارائه شده است تا سیستم وزن دهی برای سه فاکتور تعیین شود. همچنین، با ایجاد نمودن شبکه عصبی، رفتار راننده پیرو مبتنی بر تغییرات وزن‌های تعیین شده از مدل بهینه‌سازی نسبت به تغییرات شتاب در چهار سناریو متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. مقایسه نتایج برای هر چهار سناریو تعقیب خودرو در این تحقیق نشان می‌دهد:

- راننده پرخاشگر در فاز کاهش شتاب راننده پرخاشگر به دلیل تمایل به رانندگی در سرفاصله مکانی کم و خروج از ازدحام ترافیک در فاز کاهش شتاب، منجر به افزایش شاخص راحتی راننده پیرو منجر به افزایش شتاب و افزایش شاخص ایمنی یک رفتار متغیر کاهش شتاب و سپس

- Abdi, A., Saffarzadeh, M., & Salehikalam, A. (2016) "Identifying and analyzing stop and go traffic based on asymmetric theory of driving behavior in acceleration and deceleration", *International journal of transportation engineering*. Vol.3.No4.pp. 237-251.

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2010) "Highway safety manual" Washington, DC.

- Bell, M.G. and Cassir, C. (2002) "Risk-averse user equilibrium traffic assignment: an application of game theory", *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol.36. No.8, pp.671-681.

- "Considering travelers' risk – taking behavior in dynamic traffic assignment", *In Transportation Networks: Recent Methodological Advances. Selected Proceedings of the 4th EURO Transportation Meeting Association of European Operational Research Societies* , pp. 67-81. TRB.

- Chakravarty, T.; Ghose, A.; Bhaumik, C. (2013).

- "Chowdhury, A. Mobi DriveScore A system for mobile sensor based driving analysis: A risk assessment model for improving one's driving", *In Proceedings of the 2013 7th International Conference on Sensing Technology*, Wellington, New Zealand, pp. 338–344.

- Chen, D., Laval, J., Zheng, Z., & Ahn, S. (2012) "A behavioral car-following model that captures traffic oscillations", *Transportation research part B: methodological*. Vol.46.No.6. pp. 744-761.

- Dovgan, E., Tušar, T., Javorski, M., & Filipič, B. (2012) "Discovering comfortable driving strategies using simulation-based

افزایش شاخص راحتی و شاخص زمان سفر منجر به افزایش شتاب وسیله نقلیه پیرو و شاخص ایمنی یک رفتار متغیر افزایشی و سپس کاهش را نشان می‌دهد.

۷. کاربرد پژوهش

شناخت نگرانی‌های اصلی رانندگان در هر دو سطح کلی‌نگر (استراتژیک) و جزئی‌نگر (عملیاتی) یک نکته اساسی برای پیشرفت‌های آینده است. فناوری رانندگی خودکار قادر است رانندگی راحت و ایمن را به‌منظور اجتناب از تصادفات ناشی از خطاهای راننده فراهم کند. محققان اعتقاد دارند که سیستم‌های پیشرفته دستیار راننده مانند ACC systems, AVs, and MTSS باید منطبق با ایجاد سبک رانندگی راننده تولید شوند. مدل ارائه شده در ماشین‌های هوشمند مانند سیستم‌های ترافیک توقف – حرکت مبتنی بر الگوی رفتاری مور نظر راننده به کار گرفته شود و انطباق بین مدل و ذهن انسان مقایسه شود.

۸. پی‌نوشت‌ها

1. Time to collision
2. Time Exposed Time-to-Collision
3. Time Integrated Time-to-Collision
4. Modified Time-to-Collision
5. Potential Index for Collision with Urgent Deceleration
6. Difference of Space distance and Stopping distance
7. Proportion of Stopping Distance
8. Unsafe Density
9. Deceleration Rate to Avoid a Crash
10. Crash Potential Index
11. Criticality Index Function
12. Adaptive Cruise Control
13. No dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II)
14. Instantaneous Reaction Time
15. Newell
16. Weighted Method with Normalization

۹. منابع

- Li, Y., Li, Z., Wang, H., Wang, W., & Xing, L. (2017) "Evaluating the safety impact of adaptive cruise control in traffic oscillations on freeways", *Accident Analysis & Prevention*. Vol.10.No.2. pp. 137-145.
- Luo, L. H., Liu, H., Li, P., & Wang, H. (2010) "Model predictive control for adaptive cruise control with multi-objectives: comfort, fuel-economy, safety and car-following", *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*. Vol.11. No. 3. pp. 191-201.
- Lighthill, M. J., & Whitham, G. B. (1955) "On kinematic waves II. A theory of traffic flow on long crowded roads", *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*. Vol.229. No.1178. pp. 317-345.
- Mahmud, S. S., Ferreira, L., Hoque, M. S., & Tavassoli, A. (2017) "Application of proximal surrogate indicators for safety evaluation: A review of recent developments and research needs", *IATSS research*. Vol. 41. No.4. pp. 153-163.
- Newell, G. F. (1962). "Theories of instability in dense highway traffic. *J. Operations Research Society of Japan*". Vol. 5. No.1. pp. 9-54.
- National Research Council (US). Transportation Research Board. Task Force on Development of the Highway Safety Manual, & Transportation Officials. Joint Task Force on the Highway Safety Manual. (2010). *Highway safety manual*. Vol.1. AASHTO.
- Nandi, A. K., Chakraborty, D., & Vaz, W. (2015) "Design of a comfortable optimal driving strategy for electric vehicles using multi-objective optimization", *Journal of Power Sources*. Vol. 283. No.1. pp. 1-18.
- multiobjective optimization", *Informatica*. Vol.36.No.3. pp. 415-502.
- Dovgan, E., Gams, M., & Filipič, B. (2011)" A multiobjective optimization algorithm for discovering driving strategies", In *Proceedings of the 13th annual conference companion on Genetic and evolutionary computation*. Vol.34.No.2. pp. 751-754.
- Fu, R., Li, Z., Sun, Q. and Wang, C., 2019. Human-like car-following model for autonomous vehicles considering the cut-in behavior of other vehicles in mixed traffic. *Accident Analysis & Prevention*, Vol.132. No.1, pp.105-260.
- Geurs, K. T., & Van Wee, B. (2004) "Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions" *Journal of Transport geography*. Vol.12.No.2. pp. 127-140.
- Grant, P.R. and Haycock, B. (2008) "Effect of jerk and acceleration on the perception of motion strength", *Journal of Aircraft*, Vol.45. No 4, pp.1190-1197.
- Hellström, E., Ivarsson, M., Åslund, J. and Nielsen, L., (2009) "Look-ahead control for heavy trucks to minimize trip time and fuel consumption", *Control Engineering Practice*. Vol.17. No.2. pp. 245-254.
- Hornik, K., Stinchcombe, M., & White, H. (1990) "Universal approximation of an unknown mapping and its derivatives using multilayer feed forward networks. *Neural networks*". Vol.3.No.5. pp. 551-560.
- Khodayari, A., Ghaffari, A., Kazemi, R., & Brauningl, R. (2011) "Modify car following model by human effects based on locally linear neuro fuzzy", In *2011 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, Vol.5.No.1. pp. 661-666.

A&M Transportation Institute. The Texas A&M University System. Vol. 4. No.3. pp. 123-38.

- Schwarting, W., Alonso-Mora, J. and Rus, D. (2018) "Planning and decision-making for autonomous vehicles. Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems. Vol.1. No.1. pp.187-210.

- Van Willigen, W., Haasdijk, E., & Kester, L. (2013) "A multi-objective approach to evolving platooning strategies in intelligent transportation systems" In Proceedings of the 15th annual conference on Genetic and evolutionary computation. Vol. 2. No.3. pp. 1397-1404.

- Vaiana, R.; Iuele, T.; Astarita, V.; Caruso, M.V. (2014), "Tassitani, A.; Zaffino, C.; Giofrè, V.P. Driving Behavior and Traffic Safety: An Acceleration-Based Safety Evaluation Procedure for Smartphones", Mod. Appl. Sci., Vol.8. No.1, pp. 88–96.

- Vollrath, M., Schleicher, S. and Gelau, C., 2011.

- The influence of Cruise Control and Adaptive Cruise Control on driving behaviour-A driving simulator study. Accident Analysis & Prevention, Vol.43.No.3. pp. 1134-1139

- Wu, Z., Liu, Y., & Pan, G. (2008) "A smart car control model for brake comfort based on car following. *IEEE transactions on intelligent transportation systems. Vol. 10. No.1. pp. 42-46.*

- Wang, J., Zhang, D., Liu, J., Lu, M., & Li, K. (2010) "Multi-objective driving assistance system for intersection support", In *13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. Vol. 11. No.5. pp. 348-353.*

- Next generation simulation (NGSIM). (2018)" <https://data.transportation.gov/Automobiles/Next-Generation-Simulation-NGSIM-Vehicle-Trajectory/8ect-6jqj>. Accessed July 31".

- Newell, G. F. (2002) "A simplified car-following theory: a lower order model", *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 36. No. 3. pp. 195-205.

- Ozaki, H., (1993) "Reaction and anticipation in the car-following behavior", In Proc. of 12th International Symposium on Theory of Traffic Flow and Transportation. Vol. 16. No. 1. pp. 349-366.

- Orfanou, F. P., Vlahogianni, E. I., & Karlaftis, M. G. (2012) "Identifying Features of Traffic Hysteresis on Freeways", In *Transportation Research Board 91st Annual Meeting, Washington DC*. Vol. 14. No. 2. pp.12-1587.

- Principe, J. C., Euliano, N. R., & Lefebvre, W. C. (2000) "Neural and adaptive systems: fundamentals through simulations", pp. 672.

- Richards, P. I. (1956) "Shock waves on the highway", *Operations research*, Vol. 4. No. 1. pp. 42-51.

- Salehikalam, A., & Kordani, A. A. (2019) "Follower behavioural change based on natural patterns in traffic oscillation", In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport*, Thomas Telford Ltd, Vol. 10. No. 1. pp. 1-11.

- Sobhani, A., Young, W., Logan, D., & Bahrololoom, S. (2011) "A kinetic energy model of two-vehicle crash injury severity", *Accident Analysis & Prevention. Vol. 43. No.3. pp. 741-754.*

- Schrank, D., Eisele, B., & Lomax, T. (2012) "TTI's 2012 urban mobility report", *Texas*

risk assessment". *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol.1. No.1. pp.1-15.

- Yeo, H., & Skabardonis, A. (2009) "Understanding stop-and-go traffic in view of asymmetric traffic theory", In *Transportation and Traffic Theory 2009: Golden Jubilee*. Vol. 8. No.1. pp. 99-115.

- Yeo, H. (2008) "Asymmetric Microscopic Driving Behavior Theory", Doctoral Dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Berkeley, U.S.A.

- Yi, K.S., Chung, J.T. (2001) "Nonlinear brake control for vehicle CW/CA systems", *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Vol.6. No.1. pp.17-25.

- Zheng, Z., Ahn, S., & Monsere, C. M. (2010) "Impact of traffic oscillations on freeway crash occurrences". *Accident Analysis & Prevention*. Vol. 42. No. 2. pp. 626-636.

- Zhang, J., & Ioannou, P. A. (2006) "Longitudinal control of heavy trucks in mixed traffic: Environmental and fuel economy considerations", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. Vol.7. No.1. pp. 92-104.

- Zheng, J., Suzuki, K., & Fujita, M. (2013) "Car-following behavior with instantaneous driver-vehicle reaction delay: A neural-network-based methodology", *Transportation research part C: emerging technologies*, Vol. 36. No.1. pp. 339-351.

- Zhao, H.; Zhou, H.; Chen, C.; Chen, J. Join. (2013) "A smart phone-based driving behavior evaluation system", In *Proceedings of the IEEE Global Communications Conference*, Atlanta, GA, USA, Vol. 9.No.13. pp. 48-53.

- Zheng, X., Huang, H., Wang, J., Zhao, X. and Xu, Q., (2019) "Behavioral decision-making model of the intelligent vehicle based on driving

ارسلان صالحی کلام، علی عبدی کردانی

علی عبدی کردانی، در سال ۱۳۸۸ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران-راه و ترابری از دانشگاه تربیت مدرس گردید. ایشان رتبه اول دوره کارشناسی، رتبه اول دوره کارشناسی ارشد و آزمون ورودی دکتری بود. زمینه‌های پژوهشی موردعلاقه ایشان طراحی راه، مهندسی ترافیک، مهندسی فرودگاه، مهندسی راه آهن شهری، و مصالح راهسازی بوده و در حال حاضر عضو هیئت‌علمی با مرتبه دانشیاری در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) است.



ارسلان صالحی کلام، دانشجو دکترا عمران - راه ترابری از دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) است. ایشان رتبه اول دوره کارشناسی، رتبه اول دوره کارشناسی ارشد بود. زمینه‌های پژوهشی موردعلاقه ایشان ترافیک، ایمنی در ترافیک است.

