



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

گروه راه و ترابری

رساله دکتری رشته عمران گرایش راه و ترابری:

توسعه مدل ارزیابی ایمنی جاده‌ای بر اساس رفتار رانندگان با استفاده از شبیه-

سازی خرد ترافیک

نگارنده: سید صابر ناصرعلوی

استاد راهنما: دکتر محمود صفارزاده

مرداد ۱۳۹۰

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

آقای سید صابر ناصر علوی رساله ۲۴ واحدی خود را با عنوان توسعه مدل ارزیابی ایمنی جاده ای بر اساس رفتار رانندگان با استفاده از شبیه سازی خرد ترافیک در تاریخ ۱۳۹۰/۵/۲ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا برای اخذ درجه دکتری راه و ترابری پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر محمود صفارزاده	استاد	
استاد مشاور	دکتر امیر رضا ممدوحی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر عیسی نخعی کمال آبادی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر امیر کاوسی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر شهریار افندی زاده	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر حبیب اله نصیری	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمود صفارزاده	استاد	
استاد ناظر	دکتر ابوالفضل حسینی	استاد	

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته _____ است که در سال _____ در دانشکده _____ دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر _____، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر _____ و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر _____ از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب سید صابر ناصرعلوی دانشجوی رشته عمران - راه و ترابری مقطع دکتری تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: سید صابر ناصرعلوی

تاریخ و امضا:

آیین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می‌باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می‌باشد. تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده‌ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده‌ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته‌ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب سید صابر ناصرعلوی دانشجوی رشته مهندسی عمران گرایش راه و ترابری ورودی سال تحصیلی ۱۳۸۶ مقطع دکتری دانشکده مهندسی عمران متعهد می‌شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته‌های علمی مستخرج از پایان‌نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق‌الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا:

تاریخ:



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

گروه راه و ترابری

رساله دکتری رشته عمران گرایش راه و ترابری:

توسعه مدل ارزیابی ایمنی جاده‌ای بر اساس رفتار رانندگان با استفاده از شبیه-

سازی خرد ترافیک

نگارنده: سید صابر ناصرعلوی

استاد راهنما: دکتر محمود صفارزاده

استاد مشاور: دکتر امیر رضا ممدوحی

مرداد ۱۳۹۰

تقدیم بہ

ہمہ دوستداران علمی کہ این رسالہ را با دید اشتغالی می خوانند و ایرادات

مفہومی آن را بہ این مختصر باز می گردانند

تشکر و قدردانی

من بی تو نمی‌توانم قرار بگذارم
احسان تو را شمار توانم کرد

گر برتن من زفان شود هر مویی
یک سکر تو از هزار توانم کرد

عارف درویش ابوسعید ابوالخیر

در اینجا لازم می‌دانم از کسانی که مرا در راه رسیدن به آموزش‌های لازم، انتخاب موضوع، ارائه نتیجه مستدل و قابل دفاع و همچنین نگارش رساله یاری کردند تشکر شود.

این رساله جز با پشتیبانی‌های مادی و معنوی پدر و مادرم، پدر و مادر همسر و همراهی صبورانه همسر دلسوزم میسر نبود. همچنین راهنمای‌ها و حمایت‌های استاد گرامی این حقیر، جناب آقای دکتر محمود صفارزاده و مشاوره‌های معنی‌دار جناب آقای دکتر ممدوحی که برای این رساله وقت بسیار گذاشتند، شایسته تقدیر فراوان است.

اعضای کمیته داوری این رساله نیز باعث بهبود وضعیت کلی این رساله شدند تا احتمالاً کار مطالعه دانشجویانی که در آینده می‌خواهند از این رساله استفاده کنند، آسان شود. این بزرگواران که وقت ارزشمند خود را صرف تقویت وضعیت این رساله کردند عبارتند از: آقایان دکتر حبیب اله نصیری، دکتر شهریار افندی زاده، دکتر عیسی نخعی و دکتر امیر کاوسی.

دانش استادی آینده حقیر به وسیله آموزش‌های لازم اعضای محترم گروه راه‌وترابری و حمل‌ونقل دانشگاه تربیت مدرس، آقایان دکتر محمود صفارزاده، دکتر امیر رضا ممدوحی، دکتر ابوالفضل حسنی و دکتر امیر کاوسی تقویت شد.

شایسته ذکر است همفکری برخی از دوستان نیز موجب دلگرمی و بهبود تحقیق شد: مهندس نوید ندیمی که در طول مراحل مختلف تحقیق همواره در کنار اینجانب بود، دکتر کسری علیشاهی و دکتر امین امین‌زاده گوهری که در هنگام بوجود آمدن پرسش‌های متعدد، بدون هیچ تأملی به ایشان زحمت دادم و ایشان با روی باز تا حد امکان به حقیر کمک کردند، دکتر سید محمد سادات حسینی و دکتر سهیل غیاثی حافظی به خاطر کمک به انتخاب موضوع تحقیق، مهندس سید محمد دیباج و مهندس وحید خلیفه به واسطه کمک به تهیه داده‌های شناسگر مورد استفاده در قسمتی از تحقیق و تهیه مجموعه مقالات TRB، دکتر علی عبدی و دکتر امین میرزا بروجردیان با راهنمایی‌هایشان جهت روش برخورد با مسأله و سایر دوستانی که در اینجا به دلیل اختصار نام آنها آورده نشد.

از همه و همه که به بهتر شدن مسیر زندگی حقیر کمک شایانی کردند خاضعانه و خالصانه تشکر و قدردانی می‌کنم که کمک ایشان سبب ارتقای مفهوم و نحوه نگارش رساله حاضر نیز شد.

چکیده

تصادفات جلوبه‌عقب یک نوع شایع از انواع تصادفات است که به‌طور تقریبی ۲۰ تا ۳۰ درصد تعداد تصادفات را شامل می‌شود. این‌گونه تصادفات در تسهیلات با اهمیت آزادراهی، نوع غالب تصادفات است که رخداد آن سبب خسارت‌های مستقیم مالی و جانی و هزینه‌های غیرمستقیم تأخیر سفر برای کاربران آزادراه می‌شود. شایسته ذکر است که حدود ۶۰ درصد تراکم ترافیک در تسهیلات آزادراهی به‌دلیل وقوع حوادث به‌وجود می‌آید. بنابراین، مطالعات در زمینه بهبود ایمنی تسهیلات آزادراهی و به‌ویژه کاهش تصادفات جلوبه‌عقب انگیزه کافی برای تحقیق محسوب می‌شود. تاکنون تلاش زیادی در جهت طراحی و اجرای اقدامات موثر در جهت افزایش ایمنی راه‌ها صورت پذیرفته است. رویکرد معمول در این زمینه استفاده از آمار تصادفات و به‌کارگیری مدل‌های آماری جهت تعیین نقاط حادثه‌خیز است؛ اما، ادبیات تحقیق، به‌دلایل مختلف از جمله قابلیت اعتماد و دوره طولانی برداشت داده تصادفات و همچنین اقدامات در جهت علاج مشکل (عدم ایمنی و وقوع تصادفات) قبل از وقوع آن، به این رویکرد متعارف و غیرفعال (تحلیل ایمنی مبتنی بر آمار تاریخچه تصادفات) انتقادهای زیادی وارد کرده است. بنابراین روشی جایگزین که بتواند به‌صورت فعال و بدون نیاز به وقوع تصادفات ایمنی راه‌ها را ارزیابی کند، مورد نیاز است. در این رساله با شناخت محدودیت‌های ادبیات، بهبودهایی در مدل‌های تعقیب خودرو و شاخص‌های ایمنی جایگزین صورت می‌گیرد. اصلاح متغیر محرک در مدل‌های محرک محور تعقیب خودرو با شاخص زمان تا تصادف، ارائه مدل تعقیب خودروی رگرسیون تکه‌ای و بررسی غیر همگنی رفتاری خودروهای تعقیب‌کننده در انتخاب سرفاصله‌زمانی از اهم فعالیت‌های مرتبط با مدل‌های تعقیب خودرو است. همچنین، توسعه شاخص ترمزگیری اضطراری، توسعه مفهوم شاخص تعمیم یافته زمان تا تصادف و توسعه مدل ریسک تصادف جلو به عقب، در زمینه بهبودهای شاخص‌های ایمنی جایگزین صورت گرفت. داده‌های مورد استفاده در این رساله شامل داده‌های پروژه NGSIM و داده‌های خرد جریان ترافیک آزادراه I-80 در Emeryville، ایالت کالیفرنیا است. تلاش صورت گرفته در این رساله سبب بهبود نرم افزارهای شبیه‌سازی خرد جریان ترافیک، مدیریت ایمنی زمان واقعی و افزایش کارایی سیستم‌های هشداردهی درون خودرویی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تصادفات جلوبه‌عقب، تعقیب خودرو، زمان تا تصادف، ایمنی ترافیک، تداخل ترافیک، آزادراه

فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱- پیش زمینه	۲
۲-۱- ضرورت و انگیزه تحقیق	۳
۳-۱- تعریف مسأله	۴
۴-۱- اهداف تحقیق	۶
۵-۱- دامنه و محدودیت تحقیق	۶
۶-۱- رئوس مطالب / ساختار رساله	۷
فصل دوم: ادبیات تحقیق	۸
۱-۲- هدف و ساختار این فصل	۹
۲-۲- مطالعات ایمنی ترافیک	۹
۲-۲-۱- آژدر راه و ایمنی ترافیک	۱۰
۲-۲-۲- رویکرد غیرفعال: رویکرد متعارف فعالیت های مرتبط با ایمنی ترافیک	۱۱
۲-۲-۳- قابلیت اطمینان گزارش تصادفات پلیس	۱۲
۲-۲-۴- رویکرد فعال: رویکرد نوین فعالیت های مرتبط با ایمنی ترافیک	۱۳
۲-۲-۴-۱- سیستم های پیشرفته دستیار راننده (ADAS)	۱۳
۲-۲-۴-۲- تکنیک تداخل ترافیکی	۱۳
۲-۲-۴-۳- مطالعات ایمنی ترافیک زمان واقعی	۱۴
۲-۲-۴-۴- مطالعات ایمنی با استفاده از شبیه سازهای رانندگی	۱۵
۲-۲-۴-۵- مطالعات ایمنی مبتنی بر شبیه سازی خرد	۱۵
۲-۲-۵- شاخص های ایمنی جایگزین	۱۶
۲-۲-۵-۱- سرفاصله زمانی	۱۷
۲-۲-۵-۲- شاخص زمان تا تصادف	۱۸
۲-۲-۵-۳- شاخص های ایمنی TET و TIT	۱۸
۲-۲-۵-۴- شاخص بهبود یافته TTC	۱۹
۲-۲-۵-۵- نرخ کاهش سرعت جهت جلوگیری از برخورد DRAC	۲۰
۲-۲-۵-۶- نسبت فاصله توقف PSD	۲۰
۲-۲-۵-۷- چگالی غیر ایمن	۲۰
۲-۲-۳- مدل تعقیب خودرو	۲۱
۲-۳-۱- شبیه سازی جریان ترافیک	۲۱
۲-۳-۳- مدل تعقیب خودرو GHR	۲۳
۲-۴- خلاصه و جمع بندی	۲۵
فصل سوم: روش تحقیق	۲۶
۱-۳- هدف و ساختار این فصل	۲۷
۲-۳- داده های تحقیق	۲۹
۳-۳- زیر مدل ۱: اصلاح مدل تعقیب خودروی GHR با شاخص زمان تا تصادف	۳۱
۳-۳-۱- مقدمه	۳۱
۳-۳-۲- روش	۳۱

فهرست مطالب

روشن مطالب

شماره صفحه

۳-۴- زیر مدل ۲: توسعه مدل رگرسیون تکه ای برای فرایند تعقیب خودرو.....	۳۴
۳-۴-۱- مقدمه.....	۳۴
۳-۴-۲- روش.....	۳۴
۳-۵- زیر مدل ۳: بررسی رفتار تعقیب خودرو در انتخاب سرفاصله زمانی.....	۳۷
۳-۵-۱- مقدمه.....	۳۷
۳-۵-۲- روش.....	۳۹
۳-۶- زیر مدل ۴: توسعه شاخص ایمنی ترمزگیری اضطراری.....	۴۵
۳-۶-۱- مقدمه.....	۴۵
۳-۶-۲- روش.....	۴۷
۳-۷- زیر مدل ۵: توسعه مفهوم تعمیم یافته TTC.....	۵۱
۳-۷-۱- مقدمه.....	۵۱
۳-۷-۲- روش.....	۵۲
۳-۸- زیر مدل ۶: توسعه مدل ریسک تصادفات جلوه عقب در آزادراه.....	۵۶
۳-۸-۱- مقدمه.....	۵۶
۳-۸-۲- روش.....	۵۷
فصل چهارم: نتایج زیر مدل های تعقیب خودرو.....	۶۳
۴-۱- هدف و ساختار این فصل.....	۶۴
۴-۲- نتایج زیر مدل ۱: اصلاح مدل تعقیب خودروی GHR با شاخص زمان تا تصادف.....	۶۴
۴-۲-۱- نتایج.....	۶۴
۴-۲-۲- بحث.....	۶۷
۴-۳- نتایج زیر مدل ۲: توسعه مدل رگرسیون تکه ای برای فرایند تعقیب خودرو.....	۶۷
۴-۴- نتایج زیر مدل ۳: بررسی رفتار تعقیب خودرو در انتخاب سرفاصله زمانی.....	۷۰
۴-۴-۱- تحلیل توصیفی سرفاصله‌های زمانی گروه‌های مختلف.....	۷۰
۴-۴-۲- تحلیل استنباطی و توزیع سرفاصله‌های زمانی گروه‌های مختلف.....	۷۳
فصل پنجم: زیر مدل های شاخص ایمنی جایگزین.....	۸۱
۵-۱- هدف و ساختار این فصل.....	۸۲
۵-۲- نتایج زیر مدل ۴: توسعه شاخص ایمنی ترمزگیری اضطراری.....	۸۳
۵-۳- نتایج زیر مدل ۵: توسعه مفهوم تعمیم یافته TTC.....	۸۶
۵-۴- نتایج زیر مدل ۶: توسعه مدل ریسک تصادفات جلوه عقب در آزادراه.....	۹۰
فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات.....	۹۷
۶-۱- مقدمه.....	۹۸
۶-۲- نتیجه گیری.....	۱۰۰
۶-۳- پیشنهادات.....	۱۰۵
مراجع.....	۱۰۷

فصل اول: مقدمه	۱
فصل دوم: ادبیات تحقیق	۸
شکل ۱-۲- تغییرات TTC نسبت به زمان و نحوه محاسبه شاخص های TET و TIT [۲۰]	۱۹
فصل سوم: روش تحقیق	۲۶
شکل ۱-۳- الگوی مفهومی و ساختار مطالعه	۲۷
شکل ۲-۳- تخمین عکس العمل لحظه ای با استفاده از نمودار سرعت نسبی و شتاب [۴۴]	۳۳
شکل ۳-۳- قسمت آزادراه ۶ خط عبور مورد مطالعه	۳۵
شکل ۴-۳- نمودار پراکندگی سرعت خودرو در برابر سرعت خودروی جلویی (N1، N2 و N3 به ترتیب اندازه نمونه مشاهدات در سه بازه مختلف سرعت خودروی جلویی می باشند)	۳۷
شکل ۵-۳- نمودار جریان مراحل مختلف زیر مدل ۳	۴۲
شکل ۶-۳- نمای شماتیک محدوده آزادراه مورد مطالعه و محل شناسگرهای مجازی	۴۴
شکل ۷-۳- مفهوم شاخص ترمزگیری اضطراری با استفاده از خط سیر خودروهای در حالت تعقیب	۴۸
شکل ۸-۳- مقایسه شاخص های TET و TIT در یک نمودار [۱۱]	۵۸
شکل ۹-۳- دیاگرام فشار سیال تراکم پذیر بر جداره عمودی [۱۱]	۵۹
فصل چهارم: نتایج زیر مدل های تعقیب خودرو	۶۳
شکل ۱-۴- تحلیل روندگرایی برآورد- مشاهده شتاب مدل تعقیب خودروی پیشنهادی	۶۶
شکل ۲-۴- تحلیل روندگرایی برآورد- مشاهده سرعت خودروها	۶۹
شکل ۳-۴- نمودار جعبه ای گروه های مختلف سرفاصله زمانی	۷۲
شکل ۴-۴- فراوانی نسبی سرفاصله زمانی گروه های مختلف مبتنی بر نوع زوج خودرو	۷۲
شکل ۵-۴- هیستوگرام سرفاصله زمانی به تفکیک انواع خودرو: الف- سواری در تعقیب سواری، ب- سنگین در تعقیب سواری، ج- سواری در تعقیب سنگین، د- سنگین در تعقیب سنگین، ه- سواری در تعقیب موتور، و- موتور در تعقیب سواری	۷۴
شکل ۶-۴- فراوانی نسبی گروه های مختلف سرفاصله زمانی و برازش تابع توزیع نرمال معکوس: الف- سواری در تعقیب سواری، ب- سنگین در تعقیب سواری، ج- سواری در تعقیب سنگین، د- سنگین در تعقیب سنگین، ه- سواری در تعقیب موتور، و- موتور در تعقیب سواری	۷۷
شکل ۷-۴- نمودار جعبه ای سرفاصله های زمانی به تفکیک خطوط عبور	۷۹
فصل پنجم: زیر مدل های شاخص ایمنی جایگزین	۸۱
شکل ۱-۵- درصد زمانی موقعیت های خطرناک براساس شاخص های ترمزگیری اضطراری، سرفاصله زمانی و زمان تا تصادف در خطوط مختلف	۸۴
شکل ۲-۵- نمودار جعبه ای $TETP_1^*$ ، $TETP_2^*$ و $TETP_3^*$ بر اساس تغییرات مقدار آستانه TTC	۸۷
شکل ۳-۵- نمودار $TETP_1^*$ ، $TETP_2^*$ و $TETP_3^*$ بر اساس تغییرات مقدار آستانه TTC در هر خط	۸۸
شکل ۴-۵- نمودار $TETP_1^*$ ، $TETP_2^*$ و $TETP_3^*$ بر اساس تغییرات مقدار آستانه TTC در آزادراه	۸۹
شکل ۵-۵- نمودار تغییرات سرعت، شتاب و جرک نسبت به زمان	۹۰

فهرست اشکال

شماره صفحه

زیر نویس اشکال

- شکل ۵-۶- دیاگرام فراوانی آستانه های بحرانی TTC، کمتر از TTC^* آزادراه ۹۱
- شکل ۵-۷- دیاگرام فراوانی نسبی آستانه های بحرانی TTC، کمتر از TTC^* آزادراه ۹۱
- شکل ۵-۸- نمودار فراوانی نسبی آستانه های بحرانی TTC، کمتر از TTC^* آزادراه ۹۲
- شکل ۵-۹- درصد ناایمن بودن هر یک از آستانه های بحرانی کمتر از TTC^* ۹۲
- شکل ۵-۱۰- رسم منحنی شاخص MTT نسبت به مقادیر TTC زیر بحرانی ۹۳
- شکل ۵-۱۱- مقایسه ریسک تصادف جلوبه عقب در خطوط مختلف آزادراه I-80 ۹۵
- فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۹۷
- مراجع ۱۰۷

فصل اول: مقدمه	۱
فصل دوم: ادبیات تحقیق	۸
فصل سوم: روش تحقیق	۲۶
جدول ۱-۳- آمار توصیفی متغیرهای به کار رفته در مدل‌های پیشنهادی	۳۶
جدول ۲-۳- نرخ جریان ترافیک در خطوط عبور مختلف ۱-80	۴۳
جدول ۳-۳- ترکیب ترافیک ۱-80	۴۳
جدول ۴-۳- تقسیم بندی گروه های مختلف سرفاصله زمانی	۴۵
جدول ۵-۳- مقایسه ایمنی یک سناریو مشابه با استفاده از شاخص TTC محاسبه شده در دو حالت شتاب ثابت و جرک ثابت	۵۳
جدول ۶-۳- نحوه محاسبه شاخص شاخص TTC در ۳ حالت، سرعت ثابت، شتاب ثابت و جرک ثابت	۵۴
جدول ۷-۳- تعداد فرآیندهای تعقیب خودرو در هر خط	۵۶
جدول ۸-۳- مشخصات ابتدا و انتهای منحنی شاخص MTT	۶۰
فصل چهارم: نتایج زیر مدل های تعقیب خودرو	۶۳
جدول ۱-۴- نتایج پرداخت فرم خطی مدل GHR، با استفاده از داده های شتاب و سرعت نسبی منفی	۶۵
جدول ۲-۴- نتایج رگرسیون مدل پیشنهادی تعقیب خودرو، با استفاده از داده های شتاب و سرعت نسبی منفی	۶۶
جدول ۳-۴- تحلیل روندگرایی برآورد- مشاهده شتاب مدل تعقیب خودروی پیشنهادی	۶۶
جدول ۴-۴- ساختار مدل‌های تعقیب خودروی به کاررفته در زیر مدل ۲	۶۸
جدول ۵-۴- نتایج پرداخت مدل‌های تعقیب خودرو	۶۹
جدول ۶-۴- نتایج تحلیل آمار توصیفی گروه های مختلف سرفاصله زمانی	۷۱
جدول ۷-۴- نتایج T-TEST جهت بررسی اختلاف آماری گروه های گوناگون سرفاصله های زمانی	۷۶
جدول ۸-۴- نتایج T-TEST جهت بررسی اختلاف آماری سرفاصله های زمانی در خطوط عبور گوناگون آزادراه	۷۸
جدول ۸-۴- درصد مشاهده گروه های مختلف سرفاصله زمانی به تفکیک خطوط عبور آزادراه	۸۰
فصل پنجم: زیر مدل های شاخص ایمنی جایگزین	۸۱
جدول ۱-۵- ضریب همبستگی شاخص های ترمزگیری اضطراری و سرفاصله زمانی در خطوط مختلف آزادراه	۸۴
جدول ۲-۵- ضریب همبستگی شاخص های UDI و THDW در خطوط مختلف آزادراه	۸۵
جدول ۳-۵- مقایسه شاخص های ایمنی ترمزگیری اضطراری، سرفاصله زمانی و زمان تا تصادف	۸۶
جدول ۴-۵- تعیین مختصات نقاط مختلف منحنی شاخص MTT	۹۳
جدول ۵-۵- معادله درجه (۴) منحنی شاخص MTT، براساس تغییرات شاخص TTC	۹۴
جدول ۶-۵- احتمال رخداد برخورد جلوه عقب در هر خط	۹۴
جدول ۷-۵- شدت برخوردهای جلوه عقب احتمالی در هر خط	۹۵

فهرست جداول

شماره صفحه

بالانویس جداول

جدول ۵-۸- ریسک برخورد جلو به عقب در هر خط ۹۵

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۹۷

مراجع ۱۰۷

فصل اول: مقدمه

۱-۱- پیش زمینه

علی‌رغم انجام تلاش‌های بسیار در زمینه مطالعات ایمنی ترافیکی، باز هم ایمنی راه یک چالش بزرگ است. شاید به‌علت محدودیت روش‌های متداول ارزیابی ایمنی است که اکثر آنها رفع مشکلات را بعد از وقوع تصادف انجام می‌دهند و بر اساس اطلاعات ترافیکی استاتیک (مثل متوسط ترافیک روزانه سالیانه (AADT^۱) و محدودیت سرعت) و آمار تاریخچه تصادفات، پیش‌بینی تصادفات انجام می‌شود. در دنیای واقعی بسیاری از تصادفات ناشی از خطای رانندگی یا اشکال فنی خودرو یا نقصان در شرایط جاده به‌وقوع می‌پیوندند. در نظر گرفتن این علت‌های وقوع تصادفات در برنامه‌ریزی و طراحی یک راه، ریسک تصادف را کاهش می‌دهد. برای این منظور، می‌توان از روش‌های ارزیابی ایمنی پیشگیرانه^۲ استفاده کرد. این روش‌ها ممکن است برای بررسی محل‌های خطر در جریان ترافیک از روش‌های شبیه‌سازی ترافیکی بهره‌گیرند.

در ارزیابی ایمنی ترافیک یک جاده با تکنیک شبیه‌سازی، انتظار می‌رود کاربرد شاخص‌های ایمنی در مراحل برنامه‌ریزی و طراحی یک راه افزایش یابد. با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی امکان تشخیص مشکلات ایمنی و متعاقب آن پیدا کردن راه‌حل‌های مناسب به‌وجود می‌آید و نیازی نیست که صبر شود تا تصادفی اتفاق بیفتد. به‌علاوه، از دیگر مزایای استفاده از ابزارهای شبیه‌سازی برای ارزیابی ایمنی سیستم‌های ترافیکی این است که چنین ابزارهایی برای هر محدوده مطالعه، نتایج گسترده‌ای در زمان نسبتاً کم در کنار سایر نتایج معیارهای عملکردی ترافیک مثل سطح سرویس، تأخیر، زمان سفر و ظرفیت در اختیار قرار می‌دهند. با وجود این، به‌علت طبیعت مسأله، هر شبیه‌سازی سیستم ترافیکی باید تعامل واقعی بین خودروها را به دقت نشان دهد.

شبیه‌سازی خرد با توانایی جهت مدل کردن با دقت بالای تعاملات خودروها می‌تواند برای حل کمبودهای تحقیقات ایمنی که قبلاً ذکر شد، پیشنهاد شود. با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی خرد،

^۱ -Annual average daily traffic

^۲ -Proactive safety evaluation

امکان بررسی تأثیر شاخص‌های ایمنی مختلف در یک راه به وجود می‌آید. ادبیات تحقیق نشان می‌دهد که ابزارهای شبیه‌سازی خرد ترافیکی قادر به تحلیل رفتارهای رانندگی و تعاملات بین خودروها می‌باشند و این امر نویدی برای ارزیابی ایمنی محسوب می‌شود [۱]. با این وجود، استفاده از ابزار شبیه‌سازی برای ارزیابی ایمنی هنوز هم در جامعه مهندسين ترافیک با چالش‌هایی روبرو است. مطالعه [۲] با مرور ۵۸ بسته نرم‌افزار شبیه‌سازی خرد، نشان داد که نرم‌افزارهای تجاری به شدت مشکل ارزیابی ایمنی راه را دارند و نمی‌توانند ایمنی راه را بسنجند. خیلی از این مدل‌های شبیه‌سازی تجاری که برای ارزیابی عملکرد تسهیلات حمل‌ونقلی به کار می‌روند، نمی‌توانند عملکرد ایمنی را بررسی کنند، زیرا آنها بر اساس مدل‌های تعقیب خودرویی هستند که یکی از فروض این مدل‌ها این است که تصادفی اتفاق نیفتد. ولی در دنیای واقعی ممکن است به علت ناسازگاری و خطاهای راننده تداخلات جدی و یا تصادفات به وقوع بپیوندد.

۱-۲- ضرورت و انگیزه تحقیق

آزادراه‌ها از جمله تسهیلات غیر منقطعی هستند که وظیفه اصلی جابه‌جایی و قابلیت تحرک خودرو و مسافر را بر عهده دارد و کارایی مناسب این تسهیلات اهمیت و تأثیر بسزایی در روانی جریان شبکه ترافیک دارد [۳، ۴]. در حدود ۶۰ درصد از تراکم ترافیکی در آزادراه توسط حوادث^۱ رخ می‌دهد [۵]. حوادث معمولاً به دو گروه: حوادث قابل پیش‌بینی (برنامه‌ریزی شده) مثل مناطق کاری در جاده و حوادث غیر قابل پیش‌بینی (برنامه‌ریزی نشده) مثل تصادفات تقسیم‌بندی می‌شوند. بر اساس گزارش قابلیت حرکت شهری سال ۲۰۱۰ [۶]، تأخیر متوسط سالانه برای هر فرد در ۴۳۹ محوطه شهری اندازه‌گیری شده در سال ۲۰۰۹ برابر ۳۴ ساعت است که این رقم در مقایسه با سال ۱۹۸۲ رشدی

¹- incidents

²- Urban Mobility Report

معادل ۲۴۳ درصد دارد. هزینه‌های تراکم برای هر فرد سفرکننده در سال ۲۰۰۹ برابر ۸۰۸ دلار آمریکا تخمین زده شد.

شایع‌ترین نوع حوادث برنامه‌ریزی نشده در آزادراه تصادفات جلوبه‌عقب است که معمولاً در شرایط انتقال جریان متراکم به جریان آزاد یا بالعکس رخ می‌دهند [۷]. مطالعات نشان می‌دهد که اکثر تصادفات جلوبه‌عقب در طول روز (۷۶/۵ درصد) و در قسمتی مستقیم از جاده (۹۰ درصد)، رخ داده است [۸]. در میان سایر انواع تصادفات و انواع مختلف تسهیلات ترافیکی، تصادفات جلوبه‌عقب معمولاً به‌عنوان بیشترین نرخ وقوع تصادفات گزارش می‌شوند: به‌عنوان مثال: طبق [۹]، ۱/۸۹ میلیون تصادف جلوبه‌عقب (معادل ۳۰/۵ درصد کل تصادفات گزارش شده توسط پلیس) در سال ۲۰۰۴ در آمریکا رخ داده که منجر به ۲۰۸۳ تصادف فوتی و ۵۵۵۰۰۰ تصادف جرحی شده است. علاوه بر خسارات جانی، وقوع تصادف جلوبه‌عقب در جریان ترافیک آزادراه سبب کاهش ظرفیت آزادراه و افزایش تراکم خواهد شد. شایسته ذکر است تخمین هزینه‌های تصادفات در سال ۲۰۰۸ در آمریکا برابر ۲۳۷/۲ میلیارد دلار برآورد شده است [۱۰] و این مقدار در ایران در سال ۱۳۷۶ برابر با ۶۱۷۰/۶ میلیارد ریال و در سال ۱۳۸۰ برابر با ۴۰۰۰ میلیارد تومان است؛ یعنی، بیش از ۳ درصد تولید ناخالص ملی [۱۱]. همچنین، تحقیقات در ایران نشان می‌دهد که حدود ۲۵ درصد یعنی یک چهارم تلفات ناشی از مرگ و میرهای غیرطبیعی، ناشی از تصادفات ترافیکی است [۱۱]. همچنین، سازمان بهداشت جهانی اخیراً تعداد تلفات و مجروحین ناشی از تصادفات جاده‌ای ایران را به‌ترتیب برابر با ۲۲۹۱۸ و ۶۸۵۶۱۱ نفر در سال ۲۰۰۸ میلادی اعلام می‌کند [۱۲].

۱-۳- تعریف مسأله

در این تحقیق تلاش می‌شود تا با شناخت بیشتر از رفتار تعقیب خودرو، شاخص ایمنی جهت تشخیص ریسک تصادفات جلوبه‌عقب توسعه داده شود. از این شاخص می‌توان در ارزیابی ایمنی