ارزیابی و مدلسازی سرعت خودروها در ورود به تونل‌های دو طرفه برون شهری

مقاله پژوهشی

آرش جهانتابی، دانشجوی دکتری، گروه راه وترابری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
محمودرضا کی منش*، استادیار، گروه راه وترابری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
سیدعلی رضویان امرئی، استادیار، گروه راه وترابری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mrkeymanesh@pnu.ac.ir

دریافت: ۹۹/۰۸/۱۸- پذیرش: ۱٤۰۰/۰۲/۰۵
صفحه ۷۰-۵۹

چکیده

نحوه رفتار رانندگان در راه‌ها نشأت گرفته از وضعیت محیط پیرامون آن‌ها است. تحقیقات محقق نشان می‌دهد که خودرو در فاصله‌ای مشخص از تونل با مشاهده آن شروع به کاهش سرعت می‌کند و با رسیدن به ابتدای تونل کمترین سرعت خود را دارد. به محض اتمام تونل خودرو مجدداً سرعت خود را در طی طول مشخصی افزایش می‌دهد. هدف اصلی این تحقیق مدلسازی سرعت خودروها در ورود به تونل‌های برون شهری بر مبنای تغییرات سرعت آن‌ها قبل از ورود به تونل، با استفاده از شبکه‌ی عصبی – فازی است. سپس جهت اعتبارسنجی مدل طراحی شده از داده‌های ثبت شده ۳۰ راننده مختلف که در شرایط مشابه، به وسیله یک دستگاه خودروی رنو لوگان دارای سیستم انتقال قدرت دنده‌ای مسیر را طی می‌کنند، استفاده شده است. با استفاده از روش تحلیل همبستگی پیرسون، میزان ارتباط بین متغیرهای سرعت ورودی به تونل و تغییرات سرعت خودروها بررسی شده است. مقدار ضریب همبستگی ۰/۷- و به معنی داشتن همبستگی منفی قوی بین دو متغیر است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که روش شبکه‌ی عصبی – فازی با دقت بالایی توانایی پیش‌بینی تغییرات سرعت بر اساس سرعت اولیه ورود به تونل را دارد. از نتایج این تحقیق جهت تحلیل و بررسی رفتار رانندگان در تونل‌های برون شهری استفاده می‌شود. با توجه اهمیت تغییرات ناگهانی سرعت به صورت نامتعارف علی الخصوص در مسیرهای دو طرفه می‌توان، با کم کردن عوامل استرس زا در رانندگان ایمنی تونل‌ها را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: ایمنی، تحلیل همبستگی پیرسون، تونل و شبکه‌ی عصبی – فازی

۱-مقدمه

امروزه رفتار رانندگان از جمله مهمترین موضوعاتی است که پژوهشگران جهت افزایش ایمنی به آن می‌پردازند. بر مبنای تحقیقات پیشین انجام شده رانندگان در راستای عبور از تونل‌های دو طرفه برون شهری قبل از ورود به تونل سرعت خود را به اندازه چشم‌گیری کاهش داده و پس از خروج از تونل به مرور سرعت خود را افزایش می‌دهند. هم‌چنین در تونل‌هایی که شانه کافی ندارند، به محض ورود به تونل نسبت به جداره سمت راست تونل فاصله را افزایش می‌دهند. امروزه به دلایلی از جمله هزینه‌های زیاد تملک زمین‌های شهری، حداقل تخریب محیط زیست و رشد تکنولوژی‌های ساخت، استفاده از آن‌ها رشد زیادی داشته است. آیین‌نامه طرح هندسی راه‌های ایران مواردی را جهت افزایش ایمنی در تونل‌ها بیان نموده است، از جمله سرعت طرح کمتر نسبت به راهی که تونل در آن قرار گرفته، فراهم نمودن طول مناسب روشنایی در ابتدا و انتهای تونل، اجتناب از پیش‌بینی تقاطع یا دسترسی بلافاصله در نزدیکی دهانه‌های تونل و ... . حوادث و آتش‌سوزی در تونل‌های راه‌ها به تراکم ترافیک بستگی دارد و با افزایش ترافیک خطرات

مربوط به حوادث ممکن است، افزایش یابد. تونل‌ها در مقایسه با مسیرهای روباز تصادفات کمتری دارند. تنها ١ درصد از تصادفات جدی کشور هلند در تونل‌ها اتفاق افتاده است [SWOV Fact Sheet, 2009]. در کشور ایتالیا ٤ درصد از تصادفات جدی آن‌ها در تونل‌ها به وقوع پیوسته است. اگر فقط تصادفات تونل‌ها در نظر گرفته شود، خطر کشته شدن در مسیرهای روباز دو برابر کشته شدن در تونل‌ها است [Nussbaumer, 2007]. تصادفاتی که در تونل رودخانه شانگهای چین منجر به صدمات جدی و فوت می‌شوند ٢/٤ درصد است اما در مسیرهای روباز ١/٢ است [Lu et al, 2014]. آماندسن و رینز (٢٠٠٠) به این نتیجه رسیدند که فراوانی تصادفات در ورودی تونل‌ها بیشتر و در امتداد داخل تونل که راننده‌ها به مسیر ادامه می‌دهند، کمتر است.

جدول ١. خلاصه آماری درصد تصادفات تونل‌ها بر اساس میزان شدت آن‌ها [Engebresten and Amundsen, 2009]

محقق		فوتی	صدمات جدی	صدمات ناچیز	کل	برخورد بدون صدمه
آماندسن	تعداد مصدومان	٢٠	٧٧	٤٦٥	٥٦٢	–
	درصد	٪ ٣/٦	٪ ١٣/٧	٪ ٨٢/٧	٪ ١٠٠/٠	–
		(٪ ٢/٨)	(٪ ١١/٧)	(٪ ٨٥/٥)		
آماندسن	تعداد برخوردها	٤٠	٨٥	١٠٠٥	١١٣٠	–
	درصد	٪ ٣/٥	٪ ٧/٥	٪ ٨٨/٩	٪ ١٠٠/٠	–
ما و همکاران	تعداد برخوردها	٥	٦ (١)	٢٤ (١)	٣٥	٨١
	درصد	٪ ١٤/٣	٪ ١٧/١	٪ ٦٨/٦		–
نوسباومر	درصد	٪ ٨/٠	٪ ١٥/٠	٪ ٧٧/٠ (٢)	٪ ١٠٠/٠	–
		(٪ ٣)	٪ ١٥	(٪ ٨٢)		
منگ کو (٣)	تعداد برخوردها	٠	٤٥	٤٥٨	٥٠٣	–
	درصد	٪ ٠/٠	٪ ٨/٩	٪ ٩١/١	٪ ١٠٠/٠	–
لو و همکاران	تعداد مصدومان	٠/٥ ٪ (٤ ٪)	٪ ١/٩ (٤)	٪ ٩٧/٦	٪ ١٠٠/٠	–
		(٪ ٠/٢٤)	(٪ ٠/٩٦)	(٪ ٩٨/٨)		
میانگین		٪ ٥/٩	٪ ١١/٢	٪ ٨٢/٩	٪ ١٠٠/٠	

درصد مربوط به سواره‌روها در داخل پرانتز ارائه شده است. فرضیات:

(١) ٢٠ ٪ درصد از تصادفات جدی و ٨٠ درصد تصادفات ناچیز هستند.

(٢) صدمات ناچیز شامل صدمات متوسط نیز هستند.

(٣) فقط تصادفات عقب – جلو در نظر گرفته شده است.

(٤) ٢٠ درصد از کل تصادفات فوتی و با صدمات جدی، تصادفات فوتی هستند و ٨٠ درصد تصادفات با صدمات جدی هستند.

نتایج نشان می‌دهد که ٨٣٪ تصادفات در تونل‌ها با صدمات ناچیز خاتمه می‌یابد، ١١٪ با صدمات جدی و ٦٪ تصادفات منجر به فوت هستند. تغییرات ناگهانی محیط باعث ایجاد استرس در راننده می‌شود و این استرس می‌تواند بر روی نحوه رانندگی فرد تأثیر گذار باشد [Amundsen and Ranes, 2000]. طبق جدول ١ متوسط تصادفات فوتی و تصادفات جدی در تونل‌ها بیشتر از راه‌ها است [Lemke, 2000] و [Nussbaumer, 2007]. به طور کلی شدت تصادفاتی که در تونل‌ها اتفاق می‌افتد از تصادفات مسیرهای روباز بیشتر است [Lu et al, 2014]. به صورت کلی تصادفات کمتری در تونل‌ها نسبت به مسیرهای روباز اتفاق می‌افتد. اما اگر تصادفی در تونل اتفاق بیافتد عواقب آن خیلی بیشتر از مسیر روباز است. پیآمد تصادف در تونل بسیار مخرب‌تر و خطرناک‌تر است. مخصوصاً در صورت وقوع آتش سوزی و با توجه به بسته بودن محیط که حرارت و دود خارج نمی‌شود. همچنین محدودیت‌های مبارزه با آتش و سختی امکان خارج شدن استفاده‌کنندگان از تونل زیاد است. آتش‌سوزی در تونل‌ها نه تنها برای استفاده‌کنندگان خطرناک است، بلکه ممکن است سازه تونل را نیز دچار تخریب کرده و عواقب جبران ناپذیری به دنبال داشته باشد. از این رو برای جلوگیری از وقوع تصادفات در تونل‌ها و فراهم آوردن تشکیلات مناسب جهت خروج ایمن استفاده‌کنندگان در موقعیت‌های حادثه بسیار ضروری است. در نتیجه افزایش سطح ایمنی تونل‌ها و کاهش آمار تصادفات در شهرها که درصد طول تونل‌ها به شدت در حال افزایش است، امری بسیار ضروری است. در این تحقیق با استفاده از روش

تحلیل همبستگی پیرسون، میزان ارتباط بین متغیرهای سرعت ورودی به تونل و تغییرات سرعت خودروها بررسی شده است. سپس مدلی جهت تعیین سرعت ورودی به تونل با استفاده از روش شبکه عصبی – فازی بر مبنای تغییرات سرعت خودروها تهیه شده است. سپس جهت اعتبارسنجی مدل تهیه شده، نتایج آن با برداشت‌های میدانی انجام شده در تونل‌های محور برون‌شهری سنندج – همدان مقایسه شده است. در مقایسه با پژوهش‌های پیشین محقق در این تحقیق سرعت ورودی به تونل بر مبنای تغییرات سرعت خودروها مدلسازی و پیش‌بینی شده است که در ادامه تحقیق پیشین است. اما در مقایسه با مقاله حسن‌پور و شیرگیر در این تحقیق به صورت عملی معیارهای موثر بر وقوع تصادف در تونل‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. هم‌چنین برخلاف تحقیق کالوی و همکاران و شیموجو و همکاران در این تحقیق آزمایشات به صورت عملی و در محیط واقعی انجام شده است. این تحقیق شامل ۵ بخش کلی است که عباتند از:

۱- مقدمه: در این بخش به بیان مسئله اصلی مقاله پرداخته شده است.

۲- پیشینه تحقیق: این بخش از تحقیق به مرور تحقیقات گذشته مرتبط با تحقیق می‌پردازد.

۳- روش تحقیق: در این قسمت به صورت مفصل و کامل شرحی از چگونگی انجام تحقیق بیان می‌شود.

٤- یافته‌های تحقیق: در این قسمت، نتایج به دست آمده از تحقیق و پژوهش ارائه می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری: نتایج به دست آمده از تحقیق در این بخش تفسیر و نتیجه حاصل از آن به شیوه کاملاً علمی و مستند گزارش می‌شود.

۲-پیشینه تحقیق

جهانتابی، کی‌منش و رضویان (۱۳۹۹) در پژوهشی جابجایی عرضی خودروها در تونل‌های برون شهری را بر اساس جنسیت و سن آن‌ها مدلسازی کرده‌اند. در این تحقیق از شبکه‌ی عصبی – فازی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی سرعت ورودی به تونل، استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که روش شبکه‌ی عصبی – فازی با دقت بالایی توانایی پیش‌بینی سرعت ورودی به تونل را دارد [جهانتابی و همکاران، ۱۳۹۹]. حسن‌پور و شیرگیر (۱۳۹۸) در تحقیقی با نام تحلیل عوامل ترافیکی موثر بر وقوع تصادفات در نواحی ورودی تونل‌های شهری با استفاده از مدل جمعی تعمیم یافته به شناسایی عوامل ترافیکی موثر بر فراوانی تصادفات در نواحی دسترسی و ورودی تونل‌های شهری و مقایسه نتایج حاصل از آن با مدل خطی تعمیم یافته (GLM) پرداخته‌اند. بر اساس نتایج این تحقیق مدل خطی تعمیم یافته، اثر خطی متغیرهای لگاریتم حجم روزانه، فراوانی وسایل نقلیه سنگین و اختلاف میانگین سرعت روزانه وسایل نقلیه عبوری از تونل نسبت به محدودیت سرعت بزرگ‌راه در فراوانی تصادفات نواحی دسترسی و ورودی تونل معنی‌دار به دست آمده است [حسن پور و شیرگیر, ۱۳۹۸]. هو و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی با موضوع تجزیه و تحلیل فراوانی تصادفات در تونل‌های آزادراهی به بررسی اثرات عوامل مختلف تأثیرگذار بر روی ایمنی تونل‌های آزادراهی با استفاده از داده‌های برداشت شده از تصادفات در طی یک دوره ٤ ساله پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که هرچه درصد کامیون، خرابی شیارشدگی، حجم ترافیک و طول تونل بیشتر باشد، تعداد تصادفات نیز بیشتر است [Hou, Tarko & Meng, 2018]. ما و همکاران (۲۰۱٦) در پژوهشی به بررسی عوامل تأثیرگذار بر شدت تصادفات در تونل‌های آزادراه‌ها پرداخته‌اند. بر اساس نتایجی که از گزارشات پلیس چین از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۰٤ به دست آمده، شدت تصادفات در سه دسته کلی طبقه‌بندی شده است: تصادفات منجر به مرگ، تصادفات همراه با صدمه و تصادفات بدون صدمه. در این پژوهش مدلی جهت بررسی ارتباط و ارزیابی عوامل ۱۳ گانه تأثیرگذار بر تصادفات از جمله تاریخ، فصل، ساعت، موقعیت، طول تونل، نوع برخورد، تعداد خودروهای تصادف، ارتباط با وسایل نقلیه سنگین، سرعت، هوای نامساعد، حاشیه راه، حجم ترافیک و درصد خودروهای سنگین تهیه شده است. پس از بررسی‌های انجام شده بر روی ضرایب در ارتباط با متغیرهای مستقل محققان به این نتیجه رسیده‌اند که در فصل تابستان احتمال وقوع تصادفات منجر به مرگ را کاهش داده و اثر ناچیزی بر وقوع دیگر تصادفات دارد. اما به نظر می‌رسد که در ساعات شب احتمال وقوع تصادف بسیار کاهش می‌یابد. هم‌چنین از لحاظ مکانی بیشتر تصادفات در ورودی و خروجی‌های تونل اتفاق می‌افتد. به علاوه طول تونل می‌تواند بر روی شدت تصادفات تأثیرگذار باشد. در مواقعی که هوا نامساعد است رانندگان هشیاری خود را افزایش می‌دهند، در نتیجه در این مواقع تصادفات کاهش می‌یابد [Ma, Shao and Zhang 2009]. مایکلا و دوکاس (۲۰۱٦) در پژوهشی به معرفی و نحوه استفاده از یک روش ریسک خودآگاهی در ایمنی تونل‌های راه‌ها پرداخته‌اند. مقادیر به دست آمده نشان می‌دهد که تا چه حد هر تونل قادر به تشخیص تهدیدات و آسیب‌ها بر اساس عناصر آن است [Chatzimichailidou, 2016 Dokas and]. شی باسان (۲۰۱۵) در مقاله‌ای به بررسی

ابعاد و جنبه‌های مسافت دید و قوس‌های افقی در طراحی تونل‌ها در مقایسه با راه‌ها پرداخته است. بر مبنای یافته‌های این تحقیق به دلیل افزایش استرس رانندگان در داخل تونل‌ها، طبق شرایط هیجانی بیان شده در آیین‌نامه مسافت دید توقف کاهش می‌یابد. در نتیجه در داخل تونل‌ها قوس‌های افقی کوچکتری نیاز است [Bassan, 2015]. میلر و بویل (۲۰۱۵) در تحقیقی به ارزیابی میزان استرس رانندگان در محیط تونل ها و شرایط مشابه از قبیل ۷۵ متر قبل از ورود به تونل پرداخته اند. اطلاعات استفاده شده بر مبنای رفتار ۵۰ راننده، شامل تغییرات ضربان قلب و انحراف استاندارد فواصل است. هم‌چنین سرعت خودرو و ترمزگیری نیز ثبت شده است. ارزیابی نمودارهای تغییرات سرعت خودرو نشان می دهد که رانندگان قبل از ورود به تونل تمایل به کاهش سرعت دارند و به محض خروج از آن سرعت خود را افزایش می دهند. هم چنین میزان استرس راننده در قسمت هایی که انتقال از محیط روباز به محیط بسته انجام می‌گیرد، افزایش می‌یابد [Boyle and Miller, 2015]. در تعدادی از پژوهش ها عوامل تأثیرگذار بر تصادفات در تونل ها بررسی شده است. یونگ و وونگ (۲۰۱۳) به مطالعه تصادفات تونل‌های بزرگراهی کشور سنگاپور پرداخته‌اند. در این تحقیق ٦٠٨ تصادف که در سه تونل بزرگراهی کشور سنگاپور بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ رخ داده، بررسی شده است. هر تونل به سه ناحیه تقسیم شده و مشخصات مورد نظر برای آن مطالعه شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در نواحی انتقالی تصادفات بیشتری نسبت به نواحی داخلی رخ می‌دهد و تصادفاتی که در مرحله ورود به تونل رخ می‌دهد از تصادفاتی که در مرحله خروج از تونل رخ می‌دهد، بیشتر است. اگرچه بیشتر مطالعات نشان می‌دهند که نرخ RTA در تونل‌ها کمتر از مسیرهای روباز است، اما محققان معتقدند که تا زمانی که طول تونل‌ها بخش کوچکی از طول کل شبکه راه‌ها را تشکیل می‌دهند، راننده‌ها تمایل دارند که در عبور از آن‌ها دقت بیشتری به خرج دهند [Yeung and Wong 2013].کالوی و همکاران (۲۰۱۲) اثرات تونل‌های راه را بر عملکرد رانندگان مطالعه نموده اند. این تحقیق بر روی نحوه رانندگی در تونل‌های راه‌ها تمرکز دارد و هدف آن تعیین نحوه رانندگی در ورود و خروج از تونل است. در این مقاله تأثیر تونل بر نحوه عملکرد رانندگان با استفاده از شبیه‌ساز رانندگی تجزیه و تحلیل شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که راننده‌ها در تونل از دیواره سمت راست فاصله گرفته و سرعت خود را کم می‌کنند. علاوه بر این در تونل به علت نبود اطلاعات توسط راننده باعث توجه بیشتر به رانندگی و راه می‌شود [Calvi, De Blasiis and Guattari, 2012]. شیموجو و همکاران (۱۹۹۵) در پژوهشی به وسیله روش شبیه‌سازی مشابه با تحقیق قبلی به مطالعه عملکرد رانندگان در تونل‌های طولانی پرداخته‌اند. در این مقاله با توجه به نهایی شدن ساخت تونل اچیورا (با طول تقریبی ۲۷ کیلومتر)، رفتار رانندگان بر اساس مدل مقطع عرضی تونل، بررسی شده است. بر اساس مطالعات انجام شده ارتباط واضحی بین میانگین سرعت رانندگان در تونل و میانگین فاصله عرضی وجود ندارد. اما وقتی شانه سمت راست باریک باشد (عرض ۰/۷ متر) بیشتر از ۷۰ درصد آزمایشات نشان می‌دهد که از لحاظ روان‌شناسی راننده تصمیم به فاصله گرفتن از دیوار می‌کند. هم‌چنین مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که در تونل‌های طولانی علائم و تابلوهای هوشمند و هشدار دهنده چند کیلومتر یکبار باید جایگذاری شوند [Shimojo and Takagi, 1995]. از معایب این تحقیق عدم مقایسه نتایج شبیه‌سازی با واقعیت است. اما تحقیقات نشان می‌دهد به دلیل درصد کمتر طول تونل‌ها نسبت به راه های روباز این شرایط ایجاد شده و در صورتی که در سال‌های آتی درصد طول تونل‌ها افزایش پیدا کند دیگر اغلب رانندگان در تونل ها احساس هیجان نخواهند کرد و مسافت دید توقف کاهش نخواهد یافت. پژوهش ایمنی راه‌ها در تونل‌های ماشین‌رو در رابطه با ایمنی تونل‌ها در کشور هلند است. در این تحقیق نیز اشاره شده که به صورت کلی نمی‌توان گفت که تصادفات در تونل‌ها از مسیرهای روباز بیشتر است. اما بزرگترین اختلاف تونل‌ها با مسیرهای روباز در روشنایی آن‌ها در قسمت‌های ورودی و خروجی است. ایمنی جاده‌ها با استفاده از ایجاد خطوط اضطراری که باعث ایجاد فاصله با دیواره تونل می‌شود، با کاهش شیب طولی مسیر در نتیجه کاهش اختلاف سرعت و ایجاد خطوط عریض‌تر در قوس‌های افقی افزایش می‌یابد. به علاوه ورودی و خروجی تونل‌ها باید با استفاده از بهترین مصالح از لحاظ نفوذ آب، آب‌بندی شود. بر اساس آخرین اطلاعات تصادفات در سال گذشته تعداد تصادفات در تونل‌ها بر حسب طول آن بیشتر از قسمت‌های دیگر شبکه راه‌ها است. تونل‌ها کمتر از ۰/۵ درصد از طول راه‌ها را تشکیل می‌دهند اما ۱ درصد از تصادفات جدی در تونل‌ها رخ می‌دهد. ایمنی در تونل‌ها با اضافه کردن لین‌های اضطرار که فاصله با دیوار تونل را افزایش می‌دهد، شیب‌های نرم‌تر (یا جدا کردن ترافیک ماشین‌های سنگین) که باعث کاهش اختلافات سرعت می‌شود و ایجاد قوس‌های با شعاع بالاتر افزایش می‌یابد [Fact Sheet, 2009 SWOV].

٣-روش تحقیق

٣-١-کلیات

این آزمایش با استفاده از ٣٤ شرکت کننده، که ٣٠ نفر آن‌ها به صورت کامل مراحل را به اتمام رسانده‌اند، انجام شده است. جهت تعیین تعداد افراد شرکت کننده از روش نمونه‌گیری خوشه‌ای استفاده شده است. در صورتی که فهرست کامل افراد جامعه مورد مطالعه در دسترس نباشد می‌توان افراد جامعه را در دسته‌هایی خوشه‌بندی کرد. سپس از میان خوشه‌ها به تصادف نمونه‌گیری به عمل آورده و تمام حجم خوشه را سرشماری کرد. آزمایش از روستای صلوات‌آباد شروع شده و به همان نقطه، منتهی می‌گردد. کلیه آزمایشات در ماه مهر سال ١٣٩٧ و مابین ساعت ١٠/٥ صبح الی ١٧ بعد از ظهر انجام شده است. در شکل ١ نمایی از محور مورد بررسی و موقعیت قرارگیری تونل‌های پنج‌گانه آن بر روی نقشه‌های هوایی نشان داده شده است. جهت جلوگیری از تأثیر شرایط آزمایش بر نحوه رانندگی شرکت‌کنندگان، هیچ اطلاعی از نحوه برداشت و انجام آزمایش به رانندگان در طی آزمایش داده نشده است. در شکل‌های ٢ و ٣ نمایی از ورودی تونل‌های سوم و پنجم نشان داده شده است. بر مبنای مطالعات میدانی صورت گرفته عرض سواره‌رو این محور حدود ٧/٠ متر است. مقطع عرضی تونل‌ها کاملاً مشابه و در سال ١٣٦١ افتتاح شده‌اند. با عنایت به عرض کم این معبر شانه آسفالتی برای آن در نظر گرفته نشده است.

٣-٢-تجهیزات

این مطالعه با استفاده از یک دستگاه خودروی رنو لوگان مدل ١٣٩٧ با سیستم انتقال قدرت دنده‌ای انجام شده است. سرعت خودروها با استفاده از موقعیت GPS و اپلیکیشن MyTracks ورژن ١/٠ ذخیره و نمودارهای آن تهیه شده است.

٣-٣- روند انجام تحقیق

شرکت کنندگان در پژوهش، در روستای صلوات‌آباد پژوهشگر را ملاقات نموده و با شروع به حرکت، اطلاعات آن‌ها ذخیره می‌شود. شروع و انتهای مسیر برای هر راننده روستای صلوات‌آباد است. مسیر رفت و برگشت در مجموع حدود ٢١ کیلومتر است. در طی مسیر سرعت خودروها محاسبه و ذخیره می‌شود.

٣-٤- متغیرهای مستقل

در این مطالعات متغیر مستقل عبارت است از تغییرات سرعت خودرو بر اساس نمودار سرعت – زمان که با استفاده از نرم افزار MyTracks ثبت و ذخیره شده است. تغییرات سرعت به عنوان یک تغییر در فشار بر روی پدال ترمز یا استفاده از پدال گاز اندازه‌گیری شده است.

شکل ١. نمایی از محور مورد مطالعه [Google Earth, 2019]

شکل ۲. نمایی از ورودی تونل سوم

شکل ۳. نمایی از ورودی تونل پنجم

اطلاعات زمان – سرعت هر یک از شرکت‌کنندگان از لحظه‌ای که راننده شروع به کاهش سرعت قبل از ورود به تونل می‌کند تا لحظه ورود به تونل، اختلاف سرعت آن محاسبه شده و به عنوان متغیر تغییرات سرعت ذخیره می‌شود.

۳-۵- متغیرهای وابسته

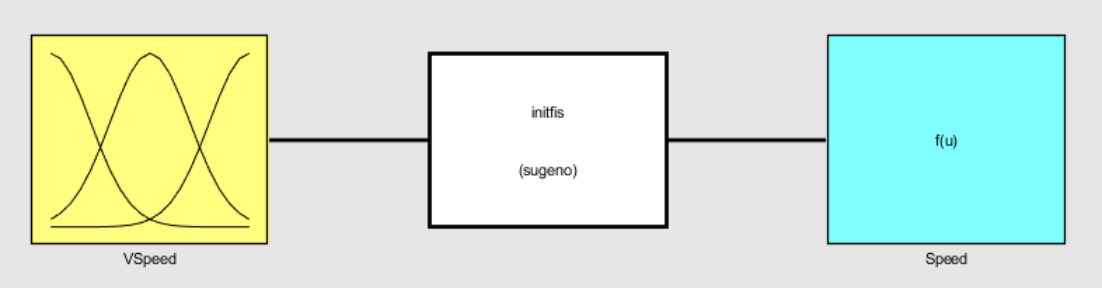
متغیر وابسته این تحقیق، سرعت ورودی به تونل است. سرعت خودرو شامل معیارها و انحرافات استاندارد افزایش و کاهش سرعت برای هر شرکت کننده در بخش‌های مختلف جاده، محاسبه شده است.

۳-٦- روش تحلیل داده‌ها

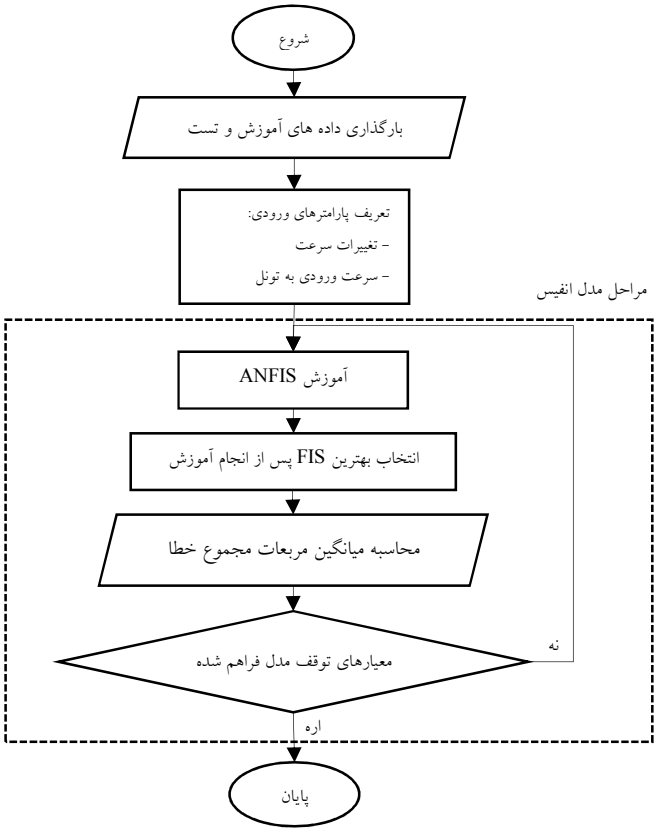
در این تحقیق، متغیرهای اصلی تغییرات سرعت رانندگان در ورودی به تونل به عنوان متغیر مستقل و سرعت ورودی به تونل به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده، که به منظور بررسی ارتباط بین متغیرها از تحلیل همبستگی پیرسون استفاده شده است. تحلیل همبستگی پیرسون جهت بررسی ارتباط دو متغیر با مقیاس فاصله‌ای استفاده می‌شود. آزمون‌های همبستگی برای بررسی رابطه بین دو یا چند متغیر به کار می‌روند. همبستگی به معنای هم‌تغییری دو متغیر است که از آن استنباط می‌شود افزایش یا کاهش یک متغیر با افزایش یا کاهش متغیر دیگر همراه است. آزمون‌های همبستگی به دو دسته آزمون‌های پارامتریک و ناپارامتریک تقسیم می‌شوند. در صورتی که مقیاس متغیرها فاصله‌ای یا نسبی و توزیع متغیرها نرمال باشد، از آزمون‌های همبستگی پارامتریک مانند آزمون همبستگی پیرسون و در غیر این صورت از آزمون‌های همبستگی ناپارامتریک استفاده می‌گردد. ضریب همبستگی پیرسون، جزء آزمون‌های آماری پارامتریک محسوب می‌شود که نشان دهنده درجه رابطه خطی بین دو متغیر است و توسط کارل پیرسون ارائه شده و آن را با حرف r نشان می‌دهند. مقدار آن بین دو عدد ۱+ و ۱- تغییر می‌کند. مقدار قدر مطلق ضریب همبستگی، شدت یا درجه رابطه بین دو متغیر و علامت آن (مثبت یا منفی) جهت رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی پیرسون یک شاخص متقارن است. یعنی همبستگی بین متغیرهای X و Y با همبستگی بین متغیرهای Y و X برابر است. نهایتاً داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل شده‌اند.

۳-۷- روش مدل‌سازی انفیس

در سال ۱۹٦۵ تئوری منطق فازی توسط پروفسور عسگرزاده به منظور توصیف سیستم‌های پیچیده پیشنهاد شده است، که می‌توان آن را یک ابزار توانمند و انعطاف‌پذیر برای مدل‌سازی عدم قطعیت‌های موجود در دنیای واقعی و بیان عبارت‌های زبانی برگرفته از تجربه و دانش بشر در قالب روابط ریاضی به شمار آورد. جهت مدلسازی انفیس، یک متغیر به عنوان ورودی استفاده شده است. این متغیر عبارت است از تغییرات سرعت خودرو. این متغیر در ۲۰ دسته عضویت در محیط جعبه‌ابزار[1] انفیس[2] متلب تعریف شده است.



شکل ٤. نمایی شماتیک از مدل انفیس تهیه شده



شکل ٥. نمایی شماتیک از مدل روش تحقیق

مدل ANFIS براساس ساختار سیستم استنتاج فازی از نوع Sugeno با استفاده از خوشه بندی‌های تفریق کننده است که با استفاده از جعبه ابزار ANFIS در نرم افزار MATLAB آنالیز شده است. نمایی شماتیک مدل ANFIS طراحی شده در شکل ٥ نشان داده شده است. نتیجه مدل انفیس عبارت است از سرعت ورودی به تونل که در نرم‌افزار با اسم سرعت[3] ذخیره شده است. پس از بررسی توابع عضویت مختلفی همچون مثلثی، ذوزنقه‌ای، گوسی ساده، گوسی دوطرفه مرکب، زنگی شکل، سیگموئیدی، سیگموئیدی تفاضلی، S شکل و Z شکل بهترین تابع عضویت شناسایی شد. در جدول ٢ نمونه‌هایی از ورودی‌های مدل انفیس ارائه شده است.

جدول ٢. نمونه‌هایی از ورودی های مدل انفیس

ردیف	تغییرات سرعت	سرعت ورودی به تونل
١	٣١/٧	٣٣/٥٦
٢	٣٠/٧٥	٤٣/٩٠
٣	٢٩/٧٢	٤٣/٤٧
⋮	⋮	⋮

٤- نتایج

٤-١- نتایج آماری

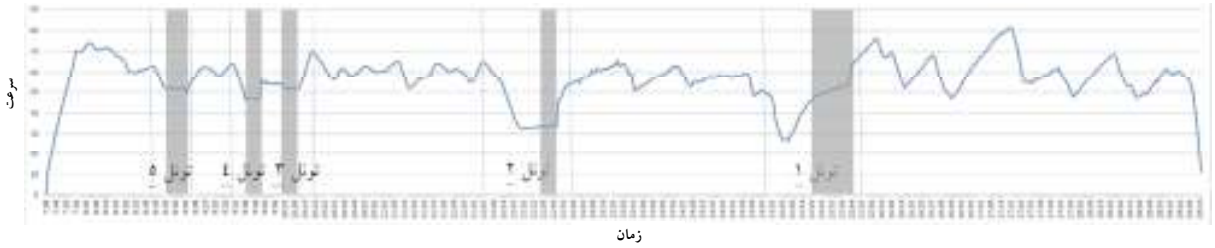
در این بخش نتایج آماری پژوهش ارائه خواهد شد. در شکل ٦ و شکل ٧ نمودار میانگین تغییرات سرعت رانندگان در مسیر رفت و برگشت بر حسب زمان نشان داده شده است. محور افقی نشان‌دهنده زمان و محور عمودی نشان-دهنده سرعت حرکت خودرو است. در این نمودارها بخش‌های انتقالی قبل و بعد از تونل‌ها به صورت خط‌چین مشخص شده است. ابتدای شروع محدوده انتقال بر اساس نقطه شروع کاهش سرعت خودرو و انتهای بخش انتقالی بعد از تونل نقطه‌ای که خودرو به بالاترین حد سرعت بعد از تونل رسیده، تعیین شده است. هم‌چنین بخش‌های تونل به صورت هاشور طوسی رنگ نشان داده شده است. که در این محدوده‌ها راننده بر اساس مشخصات هندسی تونل سرعت را کاهش یا افزایش داده است. در هر دو جهت، سرعت خودروها به طور قابل ملاحظه‌ای از بخش‌های دیگر مسیر کمتر است. سرعت خودروها پس از عبور از تونل مجدداً به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد.

٤-٢- تشریح نتایج نرم افزار SPSS

نتایج نشان می‌دهد مسافتی که رانندگان با مشاهده تونل شروع به کم کردن سرعت می‌کنند از مسافتی که پس از طی تونل در طی آن سرعت خود را افزایش می‌دهند، بسیار بیشتر است. هم‌چنین مقدار سرعتی که رانندگان قبل از ورود به تونل کاهش می‌دهند از مقدار سرعتی که افزایش می‌دهند، بیشتر است. این در حالی است که در مسیر حرکت رانندگان هیچ‌گونه علامت اخطار دهنده‌ای در رابطه با کاهش سرعت در داخل تونل‌ها وجود ندارد. در نتیجه از دلایل کاهش قابل توجه سرعت رانندگان، وارد شدن به محیطی جدید، عدم وجود شانه و کاهش ناگهانی عرض معبر در تونل‌ها است.

جدول ٣ نتایج روش تحلیل همبستگی پیرسون را در نرم‌افزار SPSS نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود ماتریس همبستگی برای این دو متغیر ارائه شده است. با توجه به جدول ٣ ارائه شده میزان r همبستگی بین دو متغیر سرعت ورودی به تونل و تغییرات سرعت خودرو قبل از تونل برابر با ٠/٧- به دست آمده که این مقدار با توجه به سطح آماری معنادار نیز می‌باشد (p=٠/٠٠٠). از آن جهت بالای عدد ٠/٧- دو ستاره آمده این است که مقدار در سطح آماری ٠/٠٠٠ معنادار شده است. با توجه به منفی بودن رقم ضریب همبستگی به معنی این است که همبستگی بین دو متغیر منفی است یعنی با کاهش رقم سرعت ورودی به تونل مقدار تغییرات سرعت ورود به تونل افزایش می‌یابد و برعکس. بر اساس مقدار ٠/٧ نتیجه می‌گیریم متغیرها دارای همبستگی قوی هستند.

شکل ٦. نمودار میانگین تغییرات سرعت رانندگان در مسیر رفت حرکت از گردنه صلوات‌آباد به سمت همدان



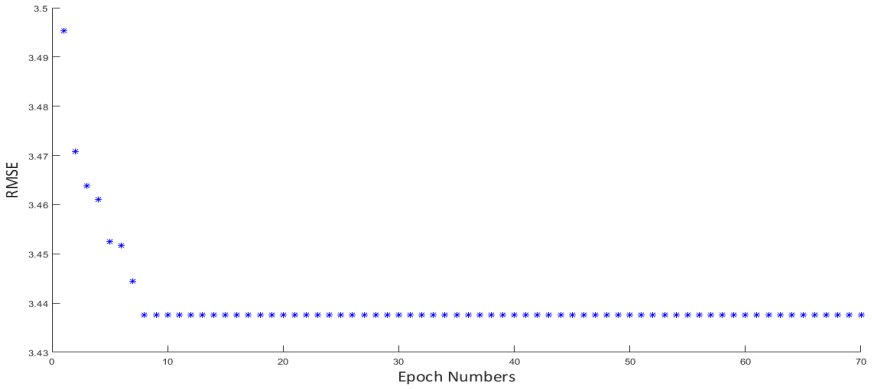
شکل ٧. نمودار میانگین تغییرات سرعت رانندگان در مسیر برگشت حرکت از گردنه صلوات‌آباد به سمت سنندج

جدول ۳. نتایج روش تحلیل همبستگی پیرسون

متغیرها	سرعت ورودی به تونل	
	r	p
تغییرات سرعت رانندگان در ورود به تونل	-۰/۷	۰/۰۰۰

٤-٣- نتایج مدل انفیس

بررسی عملکرد مولدهای سیستم استنتاج فازی در ANFIS برای پیش‌بینی سرعت ورودی به تونل با توجه به میانگین مربعات خطای ارائه شده (RMSE=٣/٤٣) برای متغیر خروجی موردنظر، نوع و تعداد توابع عضویت بهینه برای متغیرهای ورودی تعیین گردید. بدین ترتیب تابع مثلثی با ۲۰ تابع عضویت برای متغیر خروجی سرعت ورودی به تونل به عنوان مدل بهینه انتخاب گردید. جهت ارزیابی و مقایسه بهتر وضعیت عملکرد مدل پیش‌بینی سرعت ورودی به تونل نمودار خروجی بهترین حالت به دست آمده میانگین مربعات خطای محاسبه شده در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸. نمودار خروجی بهترین حالت به دست آمده میانگین مربعات خطای محاسبه شده

٦- نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه بررسی عملکرد رانندگی در محدوده تونل‌ها است. برای انجام مطالعه از ۲۰ کیلومتری ابتدای محور سنندج به همدان که دارای ۵ تونل دو خطه رفت و برگشت است، استفاده شده است. سرعت خودرو در محدوده مذکور به طور کامل ذخیره شده است. با توجه به منفی بودن رقم ضریب همبستگی در نتیجه همبستگی بین دو متغیر منفی است یعنی با کاهش رقم سرعت ورودی به تونل مقدار تغییرات سرعت ورود به تونل افزایش می‌یابد و برعکس. بر اساس مقدار ۰/۷ نتیجه می‌گیریم متغیرها دارای همبستگی قوی هستند. در این پژوهش سرعت ورود به تونل خودروها در جعبه ابزار انفیس نرم افزار متلب مدل شده است. بر مبنای نتایج به دست آمده مدل طراحی شده با میانگین مربعات خطای ارائه شده (RMSE=٣/٤٣) قابل قبول است. نوآوری‌های این تحقیق عبارتند از برداشت میدانی سرعت حرکتی خودروها در محدوده تونل و محاسبه تغییرات سرعت در محدوده مذکور است و تهیه مدلی جهت تعیین تغییرات سرعت خودروها با استفاده از روش شبکه عصبی – فازی بر مبنای سرعت ورودی به تونل. پیشنهاد می‌شود در آینده مطالعه انجام شده جهت مقایسه متغیرهای این تحقیق با دیگر متغیرهای تأثیرگذار بر روی رفتار رانندگان انجام شود.

۷-پی‌نوشت‌ها

1. Toolbox
2. Anfis
3. Speed

٨-مراجع

-جهانتابی. آ.، کی‌منش، م.ر. و رضویان. س.ع.، (١٣٩٩)، "ارزیابی رفتار رانندگان در تونل‌های دو طرفه برون شهری"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل پارسه.

-حسن پور، ح. و شیرگیر، ب.، (١٣٩٨)، "تحلیل عوامل ترافیکی موثر بر وقوع تصادفات در نواحی ورودی تونل‌های شهری"، مجله علمی - پژوهشی مهندسی عمران مدرس، ص.١٠٥-١١٦.

-Amundsen, F. & Engebresten, A., (2009), "Studies on Norwegian Road Tunnels II". In An Analysis in Road Tunnels 2001-2006", Oslo, Norway: Road and Traffic Depart.

-Amundsen, F, & Ranes, G., (2000), "Studies on traffic accidentin norwegian road tunnels" Tunn, Undergr. Space Technol, pp.3-11.

-Bassan, Shy., (2015), "Sight distance and horizental curve aspects in the design of road tunnels". Tunnelling and Underground Space Technology, Vol 45, pp. 214-226.

-Calvi, A. De Blasiis, M. R. & Guattari, C., (2012), "An Empirical Study of the effects of Road Tunnel on Driving Performance". Sustainability of Road Infrastructures. Rome, Italy, Vol 53, pp. 1098-1108.

-Chatzimichailidou, M. M. and Dokas, I. M., (2016), "RiskOAP: Introducing and applying a methodology of risk self-awareness in road tunnel safety". Accident Analysis and Preventation, Vol. 90, pp. 118-127.

Google Earth. (2019). Retrieved from https://www.google.com/maps

Hou, Q, Tarko, A. P & Meng, X. (2018). "Analyzing crash frequently in freeway tunnels: A correlated random parameters approach". Accident Analysis and Prevention, 94-100.

Lemke, K. (2000). "SWOV Fact Sheet". Institute for Road Safety Research. Rec. 1940, pp. 170-174.

Lu, L. Lu, J. Xing, Y. Wang, C. and Pan, F. (2014). "Statistical analysis of traffic accidents in Shanghai River Crossing Tunnels and Safety Countermeasures". Hindawi Publishing Corporation, Vol 2014, pp. 1-7.

-Ma, Z. Shao, C. & Zhang, S., (2009), "Characteristics of Traffic Accidents in Chinese freeway tunnels". Vol. 24, pp. 350-355.

-Mashimo, H., (2002), "State of the road tunnel safety technology in Japan", Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 17, No. 2, pp.145-152.

Miller, E. E. and Boyle, L. N., (2015), "Driver Behavior in Road Tunnels". Transportation Research Record, Vol. 2518, pp. 60-67.

Nussbaumer, C., (2007), "Comparative analysis of safety in tunnels". Brno: Young Reaserchers Seminar.

SHIMOJO, A. and TAKAGI, H., (1995), "A simulation Study of Driving Performance in Long Tunnel", pp. 96-103.

Tunnels, T. R., (2009), "Institute for Road Safety Research, "SWOV Fact Sheet". The Road Safety of motorway Tunnels", pp. 1-7.

Yeung, J. and Wong, Y., (2013), "Road Traffic Accidents in Singapore expressways tunnels", Tunnelling and Underground. Vol 38, pp. 534-541.

Assessing and Modeling Speed of Vehicles in Arterial Two-way Tunnels

Arash Jahantabi, Ph.D. Student, Transportation Department, Faculty of Engineering, Payam Noor University, Tehran, Iran.
Mahmood Reza Keymanesh, Assistant Professor, Transportation Department, Faculty of Engineering, Payam Noor University of Tehran, Iran.
Seyed Ali Razavian, Assistant Professor, Faculty of Engineering, Payam Noor University of Tehran, Iran.

E-mail: mrkeymanesh@pnu.ac.ir

Received: March 2021-Accepted: July 2021

ABSTRACT

The way drivers behave on roads is based on the state of the environment around them. Previous research shows that the vehicle starts to slow down at a certain distance from the entrance of tunnel. The main purpose of this research is to model the speed of vehicles entering the urban tunnels based on their velocity changes before entering the tunnel using neural-fuzzy network. 30 different drivers were examined in similar conditions to study the behaviors of drivers. The study was conducted in a Renault Logan with manual transmission. Using Pearson correlation analysis, the relationship between the input speed variables to the tunnel and the vehicle speed variations is investigated. The correlation coefficient value is -0.7 which means that there is a negative correlation between the two variables. The results show that the neural-fuzzy neural network method is able to predict velocity changes based on the lateral distance of the cars with the tunnel wall. The results of this study are used to analyze the behavior of drivers in suburban tunnels. Given the importance of abrupt changes in speed and transverse movement of cars, especially on two-way lanes, it can be possible to increase tunnel safety by reducing stressors.

Keywords: Safety, Pearson, Tunnel, Neuro-Fuzzy