نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۴، شماره ۴، سال ۱۴۰۱، صفحات ۱۴۱۹ تا ۱۴۴۰
DOI: 10.22060/ceej.2021.19521.7193

اولویت‌بندی عوامل زیرساختی مؤثر بر ایمنی راه‌های دوخطه با رویکردهای پیشگیرانه و واکنش‌گرا (مطالعه موردی: محور اهر-تبریز)

شهاب حسن‌پور[1*]، فرهاد حدادی[2]

۱- دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آیت الله العظمی بروجردی، بروجرد، ایران
۲- گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

خلاصه: شناسایی عوامل زیرساختی مؤثر در تصادفات راه‌های دوخطه برون‌شهری مبتنی بر دو رویکرد پیشگیرانه و واکنش‌گرا از روش‌های ارتقاء ایمنی جاده‌ای است. هدف پژوهش حاضر، شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر ایمنی راه برون‌شهری دوخطه محور اهر- تبریز توسط سه مدل شبکه عصبی، تاپسیس و رگرسیون لجستیک است. از روش تحلیل سلسله مراتبی نیز برای تعیین اوزان معیارها و زیرمعیارهای مرتبط در روش تاپسیس استفاده می‌شود. سپس، این مطالعه به مقایسه نتایج اولویت‌بندی سه روش پیشنهادی بر اساس دو رویکرد مورد نظر می‌پردازد. نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی نشان داد که این مدل با درستی پیش‌بینی ۸۶ درصد متغیرهای زیرساختی به ترتیب وجود قوس‌های افقی و قائم، درصد خودروهای سنگین، وضعیت روسازی، وضعیت زهکشی راه، حجم ترافیک عبوری و وضعیت دوربین کنترل سرعت را اولویت‌بندی می‌کند. در حالی که بر اساس روش تاپسیس، اولویت متغیرهای زیرساختی مؤثر بر ایمنی مسیر به ترتیب شامل وضعیت زهکشی، وضعیت روسازی، وضعیت دوربین کنترل سرعت، وجود قوس‌های افقی و قائم، وضعیت علائم مورد استفاده در راه، درصد خودروهای سنگین، وضعیت روشنایی راه، حجم ترافیک عبوری و وضعیت آرام‌سازی ترافیک می‌باشد. همچنین، نتایج تحلیل رگرسیون لجستیک نشان داد که این مدل با درستی ۷۴/۸۲ درصد توانایی اولویت‌بندی عوامل زیرساختی شامل متغیرهای وضعیت روسازی، وضعیت دوربین کنترل سرعت، وضعیت روشنایی راه، حجم ترافیک عبوری، و وضعیت علائم مورد استفاده در راه دارد که این متغیرها به ترتیب اثرگذاری بیشتری بر اساس شانس بیشتر در مدل نسبت به دیگر متغیرهای زیرساختی در احتمال وقوع شدت تصادفات دارند. مقایسه عملکردی رویکردهای واکنش‌گرا و پیشگیرانه با استفاده از آزمون‌های اسپیرمن و تی-تست نیز نشان داد که بین دو مدل شبکه عصبی و رگرسیون لجستیک همبستگی در عملکرد وجود دارد و دو مدل در رویکرد واکنش‌گرا تفاوت معناداری وجود ندارد. در حالی که بین این مدل‌ها و مدل تاپسیس تفاوت معناداری در عملکرد رویکرد وجود دارد. در نتیجه دو مدل عصبی و رگرسیون لجستیک در رویکرد واکنش‌گرا و مدل تاپسیس در رویکرد پیشگیرانه طبقه‌بندی می‌شوند و مدل شبکه عصبی به دلیل مقدار درستی پیش‌بینی قابل توجه در پیش‌بینی شدت تصادفات از قابلیت بهتری نسبت به سایر مدل‌ها در شناسایی و اولویت‌بندی عوامل زیرساختی کاربرد دارد.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۹
بازنگری: ۱۴۰۰/۰۳/۲۶
پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۶
ارائه آنلاین: ۱۴۰۰/۰۴/۱۷

کلمات کلیدی:
راه‌های دوخطه
ایمنی جاده‌ای
رویکرد پیشگیرانه
رویکرد واکنش‌گر
روش‌های اولویت‌بندی

۱- مقدمه

مبحث ایمنی ترافیک از جمله مهم‌ترین و پرچالش‌ترین مسائلی است که در چند دهه اخیر مورد توجه سازمان‌های حمل و نقلی و غیرحمل و نقلی دنیا قرار گرفته است. دهه اخیر در جهان (۲۰۲۰-۲۰۱۰) با هدف کاهش تلفات جاده‌ای، دهه ایمنی نام گرفته است. بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی، هر ساله ۱/۵۲ میلیون نفر در تصادفات ترافیکی کشته می‌شوند [۱]. در ایران تصادفات در راه‌های دوخطه برون‌شهری در سال‌های اخیر رشد قابل توجهی داشته است و محققان ایمنی بر اساس عوامل مؤثر در تصادفات به شناسایی و ارائه شاخص‌های ایمنی شامل واکنش‌گرا و پیشگیرانه جهت افزایش ایمنی در جاده‌ها پرداخته‌اند [۲]. در راه‌های دوخطه برون‌شهری به علت نبود اطلاعات جامع و قابل اطمینان از تصادفات، ضرورت ارائه مدلی ایمنی بر پایه اطلاعات راه و پتانسیل وقوع تصادفات ضروری است؛ همچنین، اولویت‌بندی میزان ریسک قطعات مسیر صرفاً بر اساس آمار تصادفات تاحدی غیرمنطقی است. زیرا ممکن است قطعه‌ای که ریسک بالای تصادف‌خیزی دارد، در حال حاضر (مانند تردد و سرعت کم)، موجب تصادفات زیادی نشود، اما در سال‌های آینده با تغییر شرایط فعلی، بسیار خطرناک عمل کند. بنابراین استفاده از دو رویکرد پیشگیرانه، و واکنش‌گرا می‌تواند به بررسی

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: sh.hassanpour@abru.ac.ir

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

دقیق‌تر اولویت‌های ایمنی جاده‌ای کمک نماید. ارزیابی ایمنی جاده‌ای به عنوان اولین گام در اقدامات لازم برای اصلاح و بهبود شرایط موجود مطرح می‌باشد. بهترین راه ارزیابی ایمنی، اندازه‌گیری بر اساس موارد نقض ایمنی یا شاخص‌های عدم وجود ایمنی است. بنابراین شاخص‌هایی که وضعیت ایمنی قطعات مسیر را نشان می‌دهند به دو دسته واکنش‌گرا و پیشگیرانه تقسیم‌بندی می‌شوند [۳]. در شاخص‌های واکنش‌گرا، شناسایی مقاطع حادثه‌خیز با استفاده از بررسی آمار تصادفات انجام می‌شود. در حالی که در روش پیشگیرانه وضعیت ایمنی مبتنی بر پایه مشاهدات و تصمیم‌گیری خصوصیات و عوامل مؤثر جاده‌ای جهت شناسایی و اولویت‌بندی قطعات حادثه‌خیز می‌باشد [۴]. بنابراین به منظور کاهش تصادفات قطعات حادثه‌خیز و افزایش ایمنی در راه‌های دوخطه، پژوهش حاضر در ابتدا به ارزیابی و اولویت‌بندی عوامل زیرساختی مؤثر بر ایمنی راه‌های دوخطه برون‌شهری استان آذربایجان شرقی (محور اهر–تبریز) می‌پردازد. ارزیابی و اولویت‌بندی عوامل زیرساختی بر اساس دو رویکرد پیشگیرانه و واکنش‌گرا است. به گونه‌ای که در روش پیشگیرانه مبتنی بر استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس است و در رویکرد واکنش‌گرا از دو مدل شبکه عصبی پیشخور و تحلیل رگرسیون لجستیک استفاده می‌گردد. در ابتدا عوامل زیرساختی مؤثر بر اساس مطالعات پیشین و نظرسنجی خبرگان تعیین می‌شوند. سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی معیارها و زیرمعیارها وزن‌دار می‌شوند و از روش تاپسیس برای اولویت‌بندی عوامل زیرساختی استفاده می‌گردد. همچنین در رویکرد واکنش‌گرا، با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی و رگرسیون لجستیک با استفاده از داده‌های تصادفات و عوامل زیرساختی در سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸ متغیرهای زیرساختی به صورت متغیرهای مستقل و متغیر تعداد تصادفات مرتبط به شدت تصادفات (خسارتی، جرحی و فوتی) برای مدل‌های شبکه عصبی و رگرسیون لجستیک به صورت متغیر وابسته تعریف می‌گردد. در پایان نیز مقایسه عملکردی مدل‌های موجود بر اساس تحلیل آماری ضریب همبستگی رتبه‌بندی اسپیرمن[1] و روش آزمون تی–تست به منظور طبقه‌بندی مدل‌های پیشنهادی در روش واکنش‌گرا و پیشگیرانه می‌باشد. نتایج این پژوهش می‌تواند در راستای ارتقاء ایمنی جاده‌ها با رویکرد ترکیبی واکنشی و پیشگیرانه مفید واقع شود.

۲- پیشینه پژوهش

افندی‌زاده و همکاران (۲۰۱۷) به شناسایی عوامل مؤثر نظیر وضعیت روسازی، وضعیت آرام‌سازی، شیب مسیر، حجم ترافیک، وضعیت روشنایی مسیر، وضعیت علائم راه، وضعیت دوربین کنترل سرعت و حجم وسایل نقلیه سنگین بر تصادفات راه‌های برون‌شهری استان چهار محال بختیاری پرداختند. آن‌ها نشان دادند که به ترتیب وسیله نقلیه سبک و سنگین بیشترین و وضعیت روشنایی کمترین تأثیر را در وقوع تصادفات جاده‌ای دارند [۵]. قدیمی (۲۰۱۸) با بررسی عوامل مؤثر بر تصادفات جاده‌ای در محور اهر–تبریز بر روی عواملی نظیر قبیل انسان، جاده، وسیله نقلیه، پلیس و محیط پرداخت و نشان داد که به دلیل حجم زیاد تردد نسبت به جاده، خرابی روسازی در قسمت‌هایی از محور و بی‌توجهی به مقررات راهنمایی و رانندگی توسط رانندگان از مهم‌ترین علل حادثه‌خیزی می‌باشد [۶]. عامری و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر وضعیت روسازی، حجم ترافیک عبوری، وضعیت زهکشی، وضعیت آرام‌سازی، وضعیت علائم راه، وضعیت دوربین کنترل سرعت و وضعیت روشنایی تعداد و شدت تصادفات معابر برون‌شهری مبتنی بر رویکردهای پیشگیرانه با مدل‌های تصمیم‌گیری و بهینه‌سازی ریاضی پرداختند. آن‌ها نشان دادند که روش پیشگیرانه عملکرد مناسبی در اولویت‌بندی معابر برون‌شهری دارند [۷]. افندی‌زاده و همکاران (۲۰۲۰) با ارائه مدل واکنش‌گرا برای ارزیابی عوامل مؤثر زیرساختی و انسانی با داده‌های تصادفات مؤثر با ارزیابی راه چهارخطه برون‌شهری بروجرد–خرم‌آباد و مدل خوشه‌بندی کامینز[2]، رانندگان را به شش خوشه به عنوان رانندگان پرخطر، نسبتاً پرخطر، با خطر تقریبی، نسبتاً کم‌خطر، کم‌خطر و بدون خطر (ایمن) طبقه‌بندی کردند. آن‌ها نشان دادند که خوشه ششم به عنوان خوشه پرخطر، در حالی که خوشه سوم به عنوان یک خوشه ایمن رانندگی است [۸]. عبدی و همکاران (۲۰۲۰)، به ارزیابی اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر ایمنی جاده‌های برون‌شهری با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی جاده‌های شمالی کشور پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که شاخص تبلیغات در رسانه ملی با وزن ۰/۱۲۶، کاهش سن متوسط وسایل نقلیه با وزن نهایی ۰/۰۸۲، و طراحی مناسب هندسه راه با وزن ۰/۰۶۵ به ترتیب بیشترین و کمترین اهمیت را دارند [۹]. ارزیابی و مدل‌سازی تصادفات، یکی از روش‌های بررسی ایمنی ترافیک در رویکرد واکنش‌گرا است. در سال‌های اخیر، به کارگیری مدل‌های هوشمند به منظور برآورد شمار تصادفات به طور توأمان با سطح شدت تصادفات و واکاوی تأثیرات متغیرهای توضیحی بر شمار شدت تصادفات افزایش یافته است، زیرا مدل‌های رگرسیونی قادر به در نظر گرفتن همبستگی موجود بین تصادفات و شدت‌های مختلف

1 Spearman's rank correlation coefficient

2 K-means

تصادفات نمی‌باشد. در بسیاری از تحقیقات برای مدل‌سازی تصادفات، بین مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل‌های آماری مقایسه به عمل آمده است. نتایج این تحقیقات نشان داده است که مدل شبکه عصبی مصنوعی روشی بهتر است. دوگان و آنگونگون[1] (۲۰۰۸) نیز برای پیش‌بینی تعداد تصادفات و تلفات جاده‌ای در راه‌های کشور ترکیه از مدل‌های شبکه عصبی و مدل رگرسیون خطی استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که مدل شبکه عصبی نتایج دقیق‌تری نسبت به مدل رگرسیون خطی دارد [۱۰]. استفاده از شبکه‌های عصبی پیشخور برای مطالعات ایمنی و پیش‌بینی‌های متغیرهای ایمنی در راه‌ها عملکرد مناسبی دارد [۱۱]. یاسین کدور و تورتوم[2] (۲۰۱۵) با استفاده از مدل شبکه عصبی و متغیرهایی نظیر قطعات بزرگراه، طول قطعات بزرگراه، متوسط ترافیک روزانه سالیانه[3]، شیب قوس، درصد خودروهای سنگین به شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر در وقوع تصادفات جاده‌ای در کشور ترکیه پرداختند و آن‌ها نشان دادند که شیب قطعات مهم‌ترین عامل در پیش‌بینی تصادفات می‌باشد [۱۲]. چانگ و همکاران[4] (۲۰۱۷) با استفاده از مدل شبکه عصبی پیشخور به بررسی شدت تصادفات پرداختند و آن‌ها نشان دادند که خصوصیات راننده، ویژگی‌های خودرو و عوامل محیطی از عوامل مهم در وقوع و شدت تصادفات هستند و شبکه عصبی عملکرد زیادی در شناسایی عوامل مؤثر در وقوع تصادفات دارد [۱۳]. سرکار و امامی (۲۰۱۶) به ارائه رویکرد واکنش‌گرا برای شناسایی قطعات حادثه‌خیز با استفاده از مدل شبکه عصبی و متغیرهای هندسی پرداختند و آن‌ها نشان دادند که روش رویکرد واکنش‌گرا قابلیت زیادی در شناسایی قطعات حادثه‌خیز برای اصلاح هندسی کاربرد دارد [۱۴]. ملایی علی‌عابدی و همکاران (۲۰۱۷) با ارائه مدل واکنش‌گرا برای اولویت‌بندی عومل زیرساختی نظیر با شبکه عصبی پرداختند و آن‌ها نشان دادند که متغیرهای شیب طولی، قوس و حجم ترافیک بیشترین تأثیر را نسبت به متغیرهای زهکشی، دوربین راه، کنترل سرعت و شرایط آب و هوایی بر وقوع تصادفات دارند [۱۵]. بهشتی‌نیا و برگ‌بید (۲۰۱۹) با ارائه مدل پیشگیرانه مبتنی بر شناسایی و اولویت‌بندی قطعات حادثه‌خیز در محور نیشابور–سبزوار با استفاده از مدل تاپسیس و متغیرهای هندسی نظیر شیب، طول قوس، حجم ترافیک، وضعیت روسازی پرداختند و آن‌ها نشان دادند که مدل پیشگیرانه روش مناسبی برای اولویت‌بندی عوامل زیرساختی می‌باشد [۱۶].

مطالعه شاخص‌های ایمنی و عوامل زیرساختی مؤثر در وقوع تصادفات با رویکرد پیشگیرانه مبنی بر مدل‌های تصمیم‌گیری نظیر تاپسیس و تاپسیس فازی می‌تواند ابزار مفیدی برای شناسایی عوامل ریسک تصادفات جاده‌ای مؤثر در قطعات حادثه‌خیز به کار رود [۱۷]. همچنین در میان مدل‌های متنوع پیشنهادی توسط محققان، انتخاب بهترین و مناسب‌ترین مدل اولویت‌بندی برای طراحان بسیار دشوار می‌باشد. مدل‌های تحلیل پوشه‌ای داده‌ها[5] (DEA) و تاپسیس مدل‌های ریاضی شناخته شده‌ای هستند که در سال‌های اخیر برای بررسی ایمنی جاده‌ای و اولویت‌بندی شاخص‌ها بسیار مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به همین دلیل برای ارزیابی شاخص ایمنی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر جاده‌ای از مقایسه مدل‌های مختلف بر مبنای روش‌های DEA و تاپسیس استفاده می‌گردد. نتایج نشان دهنده عملکرد مناسب روش تاپسیس در اولویت‌بندی است [۱۸]. فرانسلو و همکاران[6] (۲۰۱۹) با ارائه مدل پیشگیرانه در جاده‌های برون‌شهری از روش تاپسیس برای اولویت‌بندی عوامل زیرساختی در قطعات همگن راه نشان دادند که متغیرهای هندسی و حجم ترافیک از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تصادفات هستند [۱۹]. لیو و همکاران[7] (۲۰۱۹) به ارائه مدل واکنش‌گرا مبتنی بر مدل رگرسیون لجستیک و مدل پیشگیرانه مبتنی بر مدل تاپسیس برای اولویت‌بندی عوامل زیرساختی نظیر شیب، مقدار مطلق ارتفاع، و شعاع قوس بر وقوع تصادفات پرداختند و آن‌ها نشان دادند که روش تاپسیس نسبت به روش رگرسیون لجستیک عوامل زیرساختی را بهتر می‌تواند اولویت‌بندی کند [۲۰]. حقیقت[8] (۲۰۱۱) با معرفی رویکرد پیشگیرانه مبتنی بر روش تاپسیس نشان داد که روش تاپسیس عملکرد مناسبی در اولویت‌بندی عوامل مؤثر زیرساختی در ایمنی جاده‌ای دارد [۲۱]. مریدی و همکاران[9] (۲۰۱۸) با ارائه مدل پیشگیرانه مبتنی بر روش تصمیم‌گیری تاپسیس نشان دادند که عامل انسانی با ضریب ۰/۲۱ مؤثرترین متغیر و تجهیزات ایمنی و میزان استفاده از وسایل نقلیه، رتبه‌های بعدی را در وقوع تصادفات جاده‌ای دارند [۲۲].

بنابراین با بررسی پژوهش‌های گذشته می‌توان نشان داد که تاکنون روشی مبتنی بر اولویت‌بندی متغیرهای زیرساختی مؤثر بر ایمنی جاده‌های برون‌شهری دوخطه مبتنی بر رویکرد پیشگیرانه و واکنش‌گرا تاکنون انجام نشده است. همچنین مطالعات گذشته تنها با یک مدل تحلیل آماری یا عصبی توانستند متغیرهای زیرساختی مؤثر بر ایمنی راه‌ها را بدون ارائه

1 Doğan and ANgüngör
2 Yasin Çodur and Tortum
3 Annual Average Daily Traffic (AADT)
4 Chang et al.,
5 DEA
6 Fancello et al.
7 Liu et al.,
8 Haghighat
9 Moridi et al.,

جدول ۱. تعریف متغیرهای مورد مطالعه (منبع: پژوهش حاضر)

Table 1. Defining studied variables in the present study

ردیف	متغیر مطالعاتی	مطالعات پیشین	نوع متغیر		واحد/سطح متغیر(کمّی/کیفی)	کدبندی متغیرها	میانگین	بیشترین	کمترین
۱	متوسط حجم ترافیک عبوری روزانه	[۱۹,۱۶ ,۱۴,۱۲, ۸]	مستقل	دینامیکی	تعداد معادل سواری	تعداد	۱۸۴۵	۳۸۸۰	۱۲۲۰
۲	درصد خودروهای سنگین	[۱۲, ۵]	مستقل	دینامیکی	درصد	درصد	۱۴/۳۲	۲۷/۰۰	۸/..
۳	شدت تصادف	وابسته		دینامیکی	کیفی (۰ تا ۱)	۰ = جرحی و خسارتی ۱= فوتی	جرحی و خسارتی (۶۶/۳۱ درصد)؛ فوتی (۳۳/۶۹ درصد)		
۴	وضعیت روسازی	[۱۵ ,۷-۵]	مستقل	استاتیکی	کیفی (۱ تا ۴)	۱= ضعیف ۲= متوسط ۳= خوب ۴= عالی	ضعیف (۳۲/۰۵ درصد)، متوسط (۳۹/۲۵ درصد)، خوب (۲۳/۶۱ درصد)، عالی (۵/۰۹)		
۵	وضعیت زهکشی راه	[۱۵ ,۸-۷]	مستقل	استاتیکی	کیفی (۱ تا ۳)	۱= ضعیف ۲= متوسط ۳= مناسب	ضعیف (۲۰/۵۶ درصد)، متوسط (۴۲/۱۶ درصد)، مناسب (۳۷/۲۸ درصد)،		
۶	وضعیت دوربین‌کنترل سرعت	[۱۵ ,۸ ,۵]	مستقل	استاتیکی	کیفی (۱ تا ۳)	۱= فاقد دوربین ۲= دوربین غیرمکانیزه ۳= دوربین مکانیزه	فاقد دوربین (۳۲/۶۴ درصد)، دوربین غیرمکانیزه (۴۰/۸۶ درصد)، دوربین مکانیزه (۲۶/۵ درصد)		
۷	وضعیت علائم مورد استفاده در راه	[۱۵ ,۶-۵]	مستقل	استاتیکی	کیفی (۱ تا ۳)	۱= فاقد علائم ۲= متوسط ۳= قابل قبول	فاقد علائم (۱۹/۷۰درصد)، متوسط (۴۳/۵۶ درصد)، قابل قبول (۳۶/۷۴ درصد)		
۸	وضعیت آرام‌سازی ترافیک	[۱۵ ,۸-۷, ۵]	مستقل	استاتیکی	کیفی (۱ تا ۳)	۱= عدم درنظرگرفتن تمهیدات آرام‌سازی ۲= متوسط ۳= قابل قبول	عدم درنظرگرفتن تمهیدات آرام-سازی(۲۹/۰۳ درصد)، متوسط (۳۲/۱۳ درصد)، قابل قبول (۳۸/۸۴ درصد)،		
۹	وضعیت روشنایی راه	[۱۵ ,۸-۶]	مستقل	استاتیکی	کیفی (۱ تا ۳)	۱= فاقد روشنایی ۲= تراکم روشنایی با شدت ۰/۵ تا ۰/۷ کاندلا در مترمربع (متوسط) ۳= شدت روشنایی بیشتر (مناسب)	فاقد روشنایی (۲۱/۸۳درصد)، تراکم روشنایی ۰/۵ تا ۰/۷ کاندلا (۴۰/۷۲درصد)، شدت روشنایی بیشتر (۳۷/۴۵ درصد)،		
۱۰	وجود قوس‌های افقی و قائم	[۲۰ ,۱۴ ,۱۲, ۸]	مستقل	استاتیکی	کیفی (۱ تا ۴)	۱= عدم وجود قوس ۲= وجود قوس قائم ۳= وجود قوس افقی ۴= مرکب از پیچ وخم	عدم قوس (۲۷/۷۷ درصد)، وجود قوس قائم (۲۰/۱۲ درصد)، قوس افقی درجه یک (۲۳/۰۴ درصد)، قوس مرکب پیچ-وخم (۲۹/۰۷)		

جدول ۲. قطعه بندی محور اهر-تبریز (منبع: پژوهش حاضر)

Table 2. Segmentation of Ahar-Tabriz road

شماره قطعه	کیلومتراژ ابتدا (متر)	کیلومتراژ انتها (متر)	وجود قوس-های افقی و قائم	درصد خودروهای سنگین	حجم ترافیک عبوری	وضعیت روشنایی راه	وضعیت آرام‌سازی ترافیک	وضعیت علائم مورد استفاده در راه	وضعیت دوربین-کنترل سرعت	وضعیت زهکشی راه	وضعیت روسازی
۱	۰	۲۶۰۰	۲	۸	۱۲۳۵	۲	۲	۲	۱	۱	۲
۲	۲۶۰۰	۵۲۰۰	۱	۸	۱۴۵۰	۳	۱	۲	۲	۱	۲
۳	۵۲۰۰	۷۸۰۰	۱	۸	۱۷۳۰	۱	۱	۲	۲	۲	۳
۴	۷۸۰۰	۱۰۴۰۰	۲	۹	۲۱۰۰	۲	۲	۲	۲	۱	۳
۵	۱۰۴۰۰	۱۳۰۰۰	۳	۹	۱۸۷۰	۳	۲	۱	۳	۲	۳
۶	۱۳۰۰۰	۱۵۶۰۰	۲	۱۰	۲۳۴۰	۱	۳	۱	۳	۳	۴
۷	۱۵۶۰۰	۱۸۲۰۰	۱	۱۰	۱۲۳۵	۲	۱	۱	۳	۳	۳
۸	۱۸۲۰۰	۲۰۸۰۰	۱	۱۴	۱۴۶۰	۱	۱	۲	۳	۱	۲
۹	۲۰۸۰۰	۲۳۴۰۰	۳	۱۸	۱۹۸۰	۳	۲	۳	۳	۱	۱
۱۰	۲۳۴۰۰	۲۶۰۰۰	۳	۱۸	۱۸۶۰	۲	۲	۲	۳	۱	۲
۱۱	۲۶۰۰۰	۲۸۶۰۰	۴	۱۷	۱۵۷۳	۱	۳	۲	۲	۲	۴
۱۲	۲۸۶۰۰	۳۱۲۰۰	۴	۲۰	۱۷۶۰	۲	۳	۲	۲	۲	۴
....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
۳۷	۹۳۶۰۰	۹۶۲۰۰	۴	۱۹	۲۳۱۰	۱	۲	۳	۲	۳	۴
۳۸	۹۶۲۰۰	۹۸۸۰۰	۴	۲۱	۲۹۸۰	۲	۳	۳	۲	۳	۴
۳۹	۹۸۸۰۰	۱۰۱۴۰۰	۳	۲۰	۲۷۶۰	۳	۲	۱	۳	۳	۳
۴۰	۱۰۱۴۰۰	۱۰۴۰۰۰	۱	۲۲	۳۰۰۴	۱	۲	۲	۳	۳	۳
۴۱	۱۰۴۰۰۰	۱۰۶۶۰۰	۱	۲۷	۳۸۸۰	۱	۳	۲	۳	۲	۳
۴۲	۱۰۶۶۰۰	۱۰۹۲۰۰	۴	۲۵	۳۶۵۰	۳	۲	۲	۳	۲	۴

رویکرد واکنش‌گرا و پیشگیرانه در قطعات حادثه‌خیز اولویت‌بندی کنند. اما برخلاف مطالعات گذشته، این پژوهش در نظر دارد، متغیرهای زیرساختی مؤثر بر ایمنی در راه‌های برون‌شهری را با استفاده از سه مدل شبکه عصبی، تاپسیس و تحلیل رگرسیون لجستیک، مبتنی بر رویکردهای پیشگیرانه و واکنش‌گرا در قطعات شناسایی و اولویت‌بندی کند. یکی از کاربردهای این پژوهش کمک به مهندسان ترافیک و ایمنی در شناسایی عوامل مؤثر بر تصادفات در جاده‌های برون‌شهری دوخطه و رفع نواقص موجود در عوامل موجود به منظور کاهش تصادفات و افزایش ایمنی این نوع راه‌ها می‌باشد.

۳- روش‌شناسی تحقیق

به منظور رسیدن به اهداف پژوهش، اولویت‌بندی عوامل زیرساختی مؤثر بر ایمنی در محور اهر- تبریز بر اساس آمار تصادفات از اداره راهداری و حمل و نقل جاده‌ای استان آذربایجان شرقی و پلیس راه از سال ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸ تعداد ۸۴۶ تصادف که شامل ۵۶۱ تصادف جرحی –خسارتی و ۲۸۵ تصادف فوتی جمع‌آوری گردید. به منظور استفاده از متغیرهای مورد مطالعه در پژوهش در روش‌های پیشنهادی ابتدا در روش تاپسیس عوامل زیرساختی بر اساس معیارها و زیرمعیار مرتبط به خود طبقه‌بندی می‌شوند. همچنین برای استفاده در مدل شبکه عصبی به صورت مستقل و وابسته بر اساس کدهای مرتبط مطابق جدول ۱ صورت می‌گیرد. در مدل رگرسیون لجستیک و مدل شبکه عصبی نیز متغیر خروجی یا وابسته به صورت کیفی، شدت تصادفات به صورت جرحی و خسارتی و فوتی تعریف می‌شود. بخش همگن، بخشی از جاده است که در آن میزان همه متغیرهای مستقل گنجانده شده در مدل، ثابت است و در نتیجه میزان خطر یکنواخت است. با توجه به این‌که عوامل مؤثر در قطعه‌بندی وابسته به موقعیت مکانی نظیر جریان ترافیک، انحنا (طول و شعاع قوس)، طول مسیر مستقیم، عرض خطوط، شیب مسیر، عواملی هستند که در قطعه‌بندی همگن با در نظر گرفتن این ویژگی‌ها می‌توان جاده را به قطعات همگن تبدیل کرد [۲۳ و ۲۴]. در پژوهش حاضر برای قطعات یکسان با ویژگی‌های هندسی در طول مسیر قطعات با شیب‌های سربالایی و پایین برداشت و بررسی شدند و به صورت دستی ثبت گردیده است. بنابراین در جاده اهر–تبریز به طول ۱۱۰ کیلومتر، ابتدا با توجه به نقشه هوایی، پیمایش و بازدید از مسیر، قطعه‌ها و عوامل مؤثر با تعداد ۴۲ قطعه همگن با طول یکسان ۲/۶ کیلومتر مطابق جدول ۲ بررسی و مشخص شدند که قطعات شامل کیلومتراژ ابتدا و انتهاء مسیر می‌باشند که هر قطعه بر اساس عوامل زیرساختی مطابق جدول ۱ وضعیت روشنایی راه، آرام‌سازی ترافیک، علائم مورد استفاده، وجود قوس‌های مورد نظر، دوربین کنترل سرعت، زهکشی راه و روسازی ویژگی‌های مخصوص به خود را دارد به گونه‌ای که در هر قطعه همگن ویژگی‌ها ثابت می‌باشد. به طور کلی متغیرهای برداشت میدانی را می‌توان به دو دسته کلی متغیرهای استاتیکی (دارای وضعیت ثابت در بازه‌ی زمانی مطالعات کوتاه مدت) و متغیرهای دینامیکی (دارای تغییر نسبت به زمان) تقسیم‌بندی نمود. جریان ترافیک به صورت حجم متوسط ترافیک روزانه می‌باشد.

۳- ۱- معرفی مدل‌های پیشنهادی

در پژوهش حاضر به منظور اولویت‌بندی عوامل زیرساختی مؤثر بر ایمنی در محور اهر- تبریز، مدل شبکه عصبی، روش تاپسیس و روش رگرسیون لجستیک پیشنهاد می‌شوند که به صورت زیر شرح داده می‌شوند:

۳- ۱- ۱- مدل شبکه عصبی

شبکه‌های عصبی چند لایه پرسپترون [1]، یکی از مهم‌ترین ساختارهای شبکه عصبی می‌باشند که شبکه‌های عصبی پیشخور هستند و به طور معمول شامل مجموعه‌ای از واحدهای حسی یا همان نورون‌های پایه می‌باشند که تشکیل دهنده لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی می‌باشند. هدف از آموزش شبکه عصبی، اصلاح مقادیر وزن‌های شبکه برای نمونه‌های متعدد با توجه نوع الگوریتم یادگیری است [۱۳]. در پژوهش حاضر، برای ساخت مدل شبکه عصبی دو ترکیب برای آموزش، آزمون و اعتبارسنجی در نظر گرفته شده است: در پژوهش حاضر ۷۰ درصد داده‌ها جهت آموزش، ۱۵ درصد سنجش دقت، و ۱۵ درصد برای تست شبکه برای ساختار الف در نظر گرفته شده است. همچنین ۶۰ درصد داده‌ها جهت آموزش، ۲۰ درصد سنجش دقت و ۲۰ درصد برای تست در شبکه نیز در ساختار ب استفاده شده است. ساختار مدل شبکه عصبی شامل ۹ لایه ورودی، و تغییر تعداد نورون لایه پنهان از ۱ تا ۹ و دو نورون خروجی متناظر با سطح شدت تصادفات فوتی، جرحی و خسارتی می‌باشد. به این ترتیب در مجموع برای هر دو ساختار ۱۸ حالت مطابق جدول ۳ در نظر گرفته می‌شود. با توجه به هیبریدی بودن شبکه‌های ساخته شده از هر نوع شبکه تعداد ۱۰ شبکه ساخته شده است و میانگین آن، به عنوان نتیجه اصلی برای هر نوع شبکه گزارش می‌شود.

1 Multilayer perceptron (MLP)

جدول ۳. نام گذاری شبکه های عصبی مورد بررسی درپژوهش (منبع: پژوهش حاضر)

Table 3. Proposing ANN models based on the structures A, and B

نام شبکه	ساختار آموزش، آزمون، اعتبارسنجی	تعداد نورون لایه پنهان	نام شبکه	ساختار آموزش، آزمون، اعتبارسنجی	تعداد نورون لایه پنهان
ANN_1	الف	۱	ANN_{10}	ب	۱
ANN_2	الف	۲	ANN_{11}	ب	۲
ANN_3	الف	۳	ANN_{12}	ب	۳
ANN_4	الف	۴	ANN_{13}	ب	۴
ANN_5	الف	۵	ANN_{14}	ب	۵
ANN_6	الف	۶	ANN_{15}	ب	۶
ANN_7	الف	۷	ANN_{16}	ب	۷
ANN_8	الف	۸	ANN_{17}	ب	۸
ANN_9	الف	۹	ANN_{18}	ب	۹

۳- ۱- ۲- مدل تاپسیس

در پژوهش حاضر روش تاپسیس به عنوان روش منتخب برای رویکرد پیشگیرانه استفاده می‌شود. کارشناسان و خبرگان صاحب‌نظر در این پژوهش شامل اعضاء هیئت علمی دانشگاه، کارشناسان ایمنی ترافیک، حمل و نقل، راه و ترابری و .. هستند. لازم به ذکر است جهت غنای علمی پژوهش، سعی گردیده از کارشناسان با مدرک تحصیلی کارشناسی ارشد و دکتری که دارای حداقل ۵ سال سابقه کار مرتبط بوده‌اند، استفاده گردد. مراحل انجام تکنیک تاپسیس به صورت زیر می‌باشد [۲۵]. گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم بر اساس نظرات خبرگان (جهت تجمیع نظرات خبرگان از میانگین هندسی استفاده شده است). میانگین نظرات خبرگان به صورت درایه‌های ماتریس رابطه (۱) قابل نمایش است.

$$y_p = (f_{ij}^{\,p})_{m\times n} = \begin{matrix} \\ f_1 \\ \dots \\ f_m \end{matrix} \begin{matrix} C_i & \dots & C_{mn} \\ \begin{pmatrix} f_{11}^{\,p} & \dots & f_{1n}^{\,p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{m1}^{\,p} & \dots & f_{mn}^{\,p} \end{pmatrix} \end{matrix} \qquad (۱)$$

که در رابطه (۱)، $(f_{ij}^{\,p})_{m\times n}$ مقدار امتیاز برای گزینه A_i از منظر معیار C_i می‌باشد.

گام دوم: ماتریس اوزان به ازای هر شاخص به دست می‌آید و میانگین اوزان بر اساس رابطه (۲) می‌شود که W_i وزن معیار C_i است.

$$W_p = (W_i^{\,p})_{1\times m} \quad \begin{bmatrix} W_1^{\,p} & W_2^{\,p} & \dots & W_m^{\,p} \end{bmatrix} \qquad (۲)$$

گام سوم: ماتریس وزن داده شده $\overline{Y_w}$ تصمیم از حاصل ضرب وزن $W_i^{\,p}$ برای هر گزینه i و ماتریس تصمیم y_p برای گزینه f_i و معیار C_i می‌باشد.

$$\overline{Y_w} = y_p \times W_p = (v_{ij})_{m\times n} = \begin{matrix} f_1 \\ f_2 \\ \dots \\ f_m \end{matrix} \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{11} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} \qquad (۳)$$

گام چهارم: راه‌حل ایده‌آل مثبت (v_i^{+}) و راه‌حل ایده‌آل منفی (v_i^{-}) به راه‌حل ایده‌آل مثبت (v_j^{+}) و راه‌حل ایده‌آل منفی (v_j^{-}) تبدیل شوند. همچنین در این روابط F_1 بیانگر شاخص‌هایی از جنس سود و F_2 بیانگر شاخص‌هایی به از جنس هزینه از ۱ تا n تبدیل به J بیانگر شاخص‌هایی از جنس سود و J' بیانگر شاخص‌هایی به از جنس هزینه از ۱ تا n شوند.

$$v_i^+ = f = \begin{cases} \max\{(v_j)\} \; if \; f_i \in F_1 \; (1 \le J \le n) \\ \min\{(v_j)\} \; if \; f_i \in F_2 \; (1 \le J \le n) \end{cases} \quad (۴)$$

$$v_i^- = f = \begin{cases} \min\{(v_j)\} \; if \; f_i \in F_1 \; (1 \le J \le n) \\ \max\{(v_j)\} \; if \; f_i \in F_2 \; (1 \le J \le n) \end{cases} \quad (۵)$$

گام پنجم: فاصله هر گزینه از گزینه ایده‌آل مثبت d_i^+ و گزینه ایده‌آل منفی d_i^- توسط روابط (۶) و (۷) به دست می‌آید.

$$d^+(x_i)=\sqrt{\sum_{i=1}^{m}(v_{ij}-v_j^+)^2} \qquad ;i=1,2,...,n \quad (۶)$$

$$d^-(x_i)=\sqrt{\sum_{i=1}^{m}(v_{ij}-v_j^-)^2} \qquad ;i=1,2,...,n \quad (۷)$$

گام ششم: درجه نزدیکی گزینه i ام یا همان cl_i^+ با راه حل ایده‌آل، از تقسیم فاصله آن گزینه از گزینه ایده‌آل منفی بر مجموع فواصل آن گزینه از گزینه ایده‌آل منفی و گزینه ایده‌آل مثبت بر اساس رابطه (۸) محاسبه می‌شود.

$$c(x_i)=\frac{d^-(x_i)}{d^+(x_i)+d^-(x_i)} \qquad 0 \le c(x_i) \le 1; \;\; i=1,2,...,n \quad (۸)$$

گام هفتم: در نهایت مقادیر محاسبه شده در گام ششم به ترتیب نزولی مرتب خواهند شد که در آن مقادیر بزرگ‌تر نشان دهنده ارجحیت بالاتر هستند.

۳- ۱- مدل رگرسیون لجستیک[1]

مدل رگرسیون لجستیک یک مدل آماری رگرسیون برای متغیرهای وابسته دو حالتی مانند بیماری یا سلامت، مرگ یا زندگی، جرحی یا خسارتی در تصادفات به کار می‌رود. این مدل مطابق رابطه (۹) به دست می‌آید [۲۶ و ۲۷]:

$$Logit(p) = Ln(\frac{p}{1-p}) = \alpha + \beta_1 x_{1,i} + ... + \beta_k x_{k,i} \quad (۹)$$

که در رابطه (۹)، p احتمال تعلق فرد به سطح اول متغیر وابسته است، i متغیر مستقل x_i ام و β_i ضریب برآورد شده مدل برای متغیر مستقل i است. این مدل با محاسبه شانس هر متغیر اثرگذار مستقل بر متغیر وابسته می‌تواند در شناسایی اولویت‌بندی متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته کمک کند که به صورت رابطه (۱۰) نشان داده می‌شود.

$$\Pr((Y=1|X)) = \varnothing(X,\beta) \quad (۱۰)$$

که در رابطه (۱۰) Pr احتمال شدت تصادفات مبتنی بر متغیرهای ورودی (x_i) و ضرایب موجود (β_i) در مدل لجستک رگرسیون می‌باشد. بنابراین در پژوهش حاضر متغیرهای ورودی برای مدل‌سازی رگرسیون لجستیک، مطابق جدول ۱ به صورت متغیر مستقل نظیر وضعیت روسازی، وضعیت زهکشی راه، وضعیت استفاده از دوربین کنترل سرعت، وضعیت علائم مورد استفاده در راه، وضعیت آرام‌سازی ترافیک، وضعیت روشنایی راه، حجم ترافیک عبوری، درصد خودروهای سنگین، و وضعیت وجود قوس‌های افقی و قائم در نظر گرفته می‌شوند و متغیر وابسته همان احتمال تصادف جرحی، خسارتی و فوتی است که به صورت p است. اگر p کوچک‌تر از ۰/۵ باشد صفر در نظر گرفته می‌شود و نوع تصادف جرحی - خسارتی است و اگر p بزرگ‌تر از ۰/۵ باشد ۱ در نظر گرفته می‌شود و تصادف فوتی است.

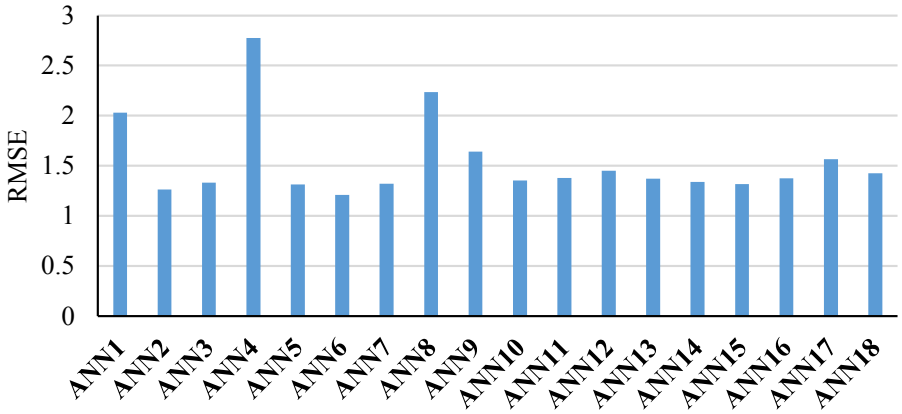
۴- نتایج مدل‌های شبکه عصبی، تاپسیس و رگرسیون لجستیک

پس از به کاربردن روش‌های پیشنهادی برای شناسایی و اولویت‌بندی عوامل زیرساختی مؤثر در جاده دوخطه اهر- تبریز، نتایج روش‌های مورد استفاده به صورت زیر نشان داده می‌شوند که عبارتند از:

۴- ۱- نتایج مدل‌های شبکه عصبی

پس از بررسی شبکه‌های پیشنهادی عصبی، ۱۸۰ شبکه عصبی با

1 Multinomial logistic regression



شکل ۱. بررسی سطح دقت شبکه های عصبی با ساختار الف و ب (منبع: پژوهش حاضر)

Fig. 1. Examination of accuracy for ANN models with structures A, and B

ساختار الف و ب برای رسیدن به بهینه‌ترین ساختار شبکه عصبی با کمترین متغیرهای ورودی ایجاد شد. این ساختارها بر اساس معیار ریشه دوم میانگین مربعات خطاها[1] مورد مقایسه قرار می‌گیرند. نتایج ریشه میانگین مربعات خطا در شبکه‌های عصبی ساختار الف و ب مطابق شکل ۱ نشان داده می‌شود. بر اساس نتایج نمودار شکل ۱ می‌توان نتیجه گرفت که مدل شبکه عصبی با ۹ متغیر ورودی و تعداد ۶ نورون در لایه پنهان (ANN_6) و ساختار آموزش، آزمون و اعتبارسنجی (۷۰-۱۵-۱۵) دارای مقدار ریشه میانگین مربعات خطای کمتری نسبت به همه مدل‌های شبکه‌های عصبی است. همچنین، پس از شناسایی متغیرهای مهم با آنالیز حساسیت، مقدار تصادفات تخمین زده شده برای شدت تصادفات (فوتی، جرحی و خسارتی) شبکه پیشنهادی با حذف مرحله به مرحله متغیرهای با اهمیت کم‌تر محاسبه می‌شود. سپس ضریب R^2 و R^2 تعدیل شده نیز به دست می‌آید. R^2 تعدیل شده در واقع یکی از روش‌های مهم برای شناسایی تعداد متغیرهای مهم برای جلوگیری از پدیده بیش‌پردازش است. این مرحله مطابق با پژوهش چانگ (۲۰۰۵) نیز صورت می‌گیرد [۲۸]. برای محاسبه مقدار R^2 تعدیل شده می‌توان از رابطه (۱۱) نیز استفاده نمود. در رابطه (۱۱)، R^2 ضریب رگرسیونی خط برازش شده بر نمودار تصادفات واقعی مرتبط نوع تصادفات در مقابل تصادفات تخمین زده شده توسط مدل (برای تعداد P متغیر وارد شده در مدل‌سازی) است که n تعداد دسته داده‌های مدل‌سازی و p تعداد متغیرهای مهم در مدل‌سازی است.

$$\text{Adjusted } R^2 = R^2 - (1-R^2)\left(\frac{p}{n-p-1}\right) \qquad (۱۱)$$

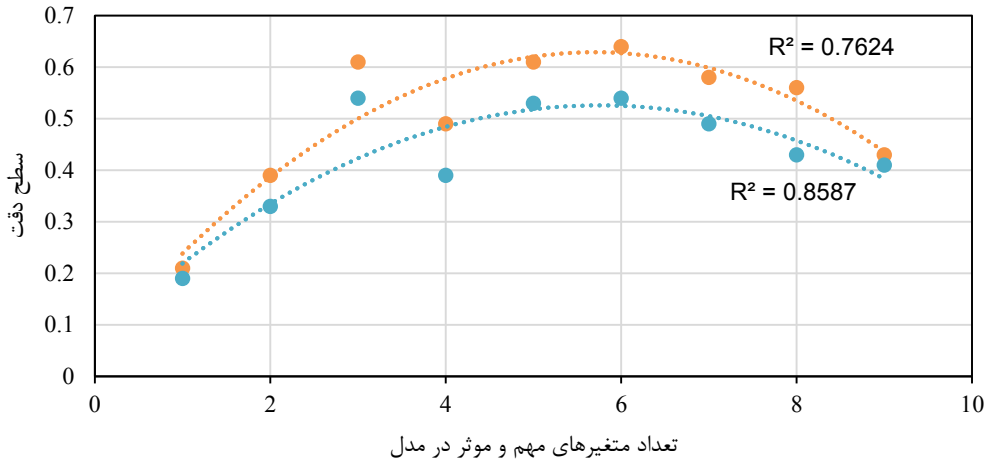
ساختارهای مختلف شبکه عصبی مطابق جدول ۴ به منظور تعیین برترین نوع شبکه عصبی و اعتبارسنجی با در نظر گرفتن عدم وقوع بیش‌تخمینی با استفاده از روش‌های R^2 و R^2 تعدیل شده مرتبط به تعداد متغیرهای ورودی و درصد حساسیت مورد بررسی قرار می‌گیرند. در هر مرحله یک متغیر با تأثیر کم‌تر حذف شد و دو ساختار الف و ب با تعداد مختلفی از ۱ تا ۹ نورون در لایه پنهان برای انتخاب ساختار بهینه مدل شبکه عصبی با ۹ متغیر ورودی با ساختارهای کاهش یافته مطابق جدول ۴ حاصل می‌شود. در نتیجه با توجه به جدول ۴ و شکل‌های ۲-الف و ۲-ب بهترین نوع ساختار شبکه عصبی دارای مقدار عددی ریشه میانگین خطاها برابر ۰/۶۵۹۰ می‌باشد که این مقدار برای حالت ساختار شبکه عصبی حالت الف (ANN_6)، با ۶ متغیر ورودی و ۳ نورون پنهان می‌باشد و درصد پیش‌بینی مدل ۸۶ درصد می‌باشد. با توجه به مقدار درصد حساسیت در شکل ۲، می‌توان نشان داد که مدل تا ۶ متغیر قابلیت پیش‌بینی بالایی در شدت تصادفات دارد. بنابراین مطابق شکل ۲ و بررسی مدل ساختار شبکه عصبی حالت الف (ANN_6)، اولویت‌بندی متغیرهای زیرساختی مؤثر بر شدت تصادفات مطابق این مدل عبارتند از قوس‌های افقی و قائم، درصد خودروهای سنگین، وضعیت روسازی، وضعیت

1 Root mean square error (RMSE)

جدول ۴. ارزیابی کلی شبکه های عصبی با ساختار کاهش یافته (منبع: پژوهش حاضر)

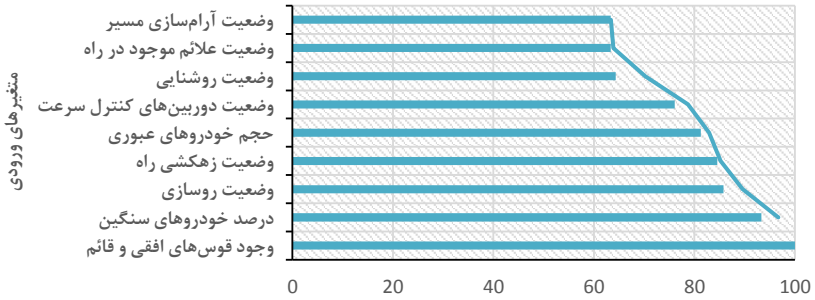
Table 4. Evaluation of the proposed ANN models with the adjusted approach

تعداد متغیر ورودی	نورون‌های مختلف در نظر گرفته شده برای لایه پنهان	تعداد نسبت‌های آموزش، آزمون و اعتبارسنجی	تعداد کل ساختار	ساختار بهینه آموزش، آزمون و اعتبارسنجی	تعداد نورون بهینه لایه پنهان	RMSE
۹	۱ تا ۹	۲	۱۸	۱۵-۱۵-۷۰	۶	۱/۲۰۹۳۸
۸	۱ تا ۸	۲	۱۶	۲۰-۲۰-۶۰	۵	۰/۷۳۲۰
۷	۱ تا ۷	۲	۱۴	۱۵-۱۵-۷۰	۵	۰/۷۲۰۱
۶	۱ تا ۶	۲	۱۲	۱۵-۱۵-۷۰	۳	۰/۶۵۹۰
۵	۱ تا ۵	۲	۱۰	۱۵-۱۵-۷۰	۲	۰/۷۵۴۰
۴	۱ تا ۴	۲	۸	۱۵-۱۵-۷۰	۳	۰/۷۲۷۷
۳	۱ تا ۳	۲	۶	۱۵-۱۵-۷۰	۳	۰/۶۸۲۹
۲	۱ تا ۲	۲	۴	۲۰-۲۰-۶۰	۲	۰/۷۸۹۹
۱	۱	۲	۲	۲۰-۲۰-۶۰	۱	۰/۷۱۳۲



الف) تعداد متغیرهای مؤثر در مدل شبکه عصبی

a). The effective variables in ANN models



ب) درصد حساسیت مدل به متغیر در شبکه عصبی (ANN_6)

b). Sensitivity analysis for the optimum ANN model

شکل ۲. بهینه‌ترین مدل شبکه عصبی در اولویت‌بندی عوامل مؤثر در تصادفات (منبع: پژوهش حاضر)

Fig. 2. The optimum ANN model in prioritization of effective variables in accident severity

زهکشی راه، حجم ترافیک عبوری و وضعیت دوربین کنترل سرعت.

۴- ۲- نتایج روش تاپسیس

به منظور بررسی اولویت‌بندی عوامل مؤثر زیرساختی با استفاده از روش تصمیم‌گیری تاپسیس، ابتدا تعداد پرسش‌نامه‌ها توسط افراد خبره و کارشناس تکمیل می‌شود. بنابراین برای تعیین تعداد پرسش‌نامه‌ها و افراد خبره از معادلات (۱۲) تا (۱۵) استفاده می‌گردد. ضریب آلفا کرونباخ[1] نیز برای پایایی و روایی پرسش‌نامه‌های موجود مطابق معادله (۱۵) استفاده می‌گردد [۲۹]:

$$SS = \frac{z^2 \times P \times (1-P)}{C^2} \qquad (۱۲)$$

در معادله (۱۱)، z مقدار سطح اطمینان می‌باشد، P درصد انتخاب یک گزینه که به صورت اعشاری است و C فاصله اطمینان در تعیین حداقل تعداد نمونه جامعه می‌باشد. بنابراین اندازه نمونه اصلاح شده برای جامعه آماری حاضر در پرسش‌نامه به صورت معادله (۱۳) می‌باشد.

$$\text{Corrected SS} = \frac{SS}{1+\frac{SS-1}{POP}} \qquad (۱۳)$$

در معادله (۱۲) POP جامعه آماری کل می‌باشد و در نتیجه اندازه نمونه اصلاح شده (Corrected SS) همراه با نرخ پاسخ پرسش‌نامه (rr) از سوی پاسخ دهندگان به صورت معادله (۱۴) نشان داده می‌شود:

$$Corrected\ SS\ for\ rr = rr \times corrected\ SS \qquad (۱۴)$$

همچنین ضریب آلفا کرونباخ مطابق معادله (۱۵) برای پایایی و اعتمادپذیری پرسش‌نامه استفاده می‌گردد [۳۰].

$$\alpha = \frac{n}{n-1}\left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} S_i}{\sigma^2}\right] \qquad (۱۵)$$

در معادله (۱۵)، n تعداد پرسش‌ها، و S_i واریانس پرسش i ام می‌باشد که σ^2 واریانس مجموع کلی متغیرهای اولیه نیز هست. بنابراین برای تعیین تعداد افراد کارشناس با بررسی معادلات (۱۲) تا (۱۴) و مشخصات آماری در جدول ۵ نشان داده می‌شود که از تعداد ۲۵۵ کارشناس خبره، ۲۱۰ نفر با نرخ ۸۲/۳۹ درصد به پرسش‌نامه‌ها پاسخ دادند که ۸۹/۷۶ درصد افراد مرد و بیشتر آن‌ها دارای مدرک فوق لیسانس با ۶۳/۵۲ درصد به عنوان مهندس و پیمانکار راه مشغول هستند. ۴۳/۲۸ درصد آن‌ها نیز سابقه فعالیت بین ۵ تا ۷ سال را دارند که دارای سن ۲۸ تا ۳۲ سال می‌باشند. همچنین مطابق معادله (۱۵) ضریب آلفا کرونباخ در پژوهش حاضر برای پرسش‌نامه‌های حاضر ۸۵/۶۶ درصد و بیشتر از ۰/۷ می‌باشد که نشان دهنده این است پرسش‌نامه‌ها روایی مناسبی و قابل قبولی دارد.

گام اولیه روش تاپسیس، تشکیل ماتریس تصمیم است. ماتریس تصمیم این روش شامل مجموعه‌ای از معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها مطابق جداول ۶ و ۷ است. در پرسش‌نامه برای ارزیابی عوامل مؤثر بر وقوع تصادفات مطابق جدول ۶، گزینه‌ها و جدول ۷، معیارها و زیرمعیارها همراه با زیرمجموعه‌های خود با طرح سؤال از پاسخ دهندگان « به نظر شما عوامل زیرساختاری با چه وضعیتی بر اساس معیارها و زیرمعیارها بر وقوع تصادفات جاده‌ای تأثیرگذار می‌باشند؟ تعریف می‌گردد و بر اساس طیف لیکرت به کمی‌سازی زیرمجموعه‌ها برای پاسخ دهندگان پرداخته می‌شود. در پژوهش حاضر معیارهای کارایی، اثربخشی و مفهومی معیارهای مثبت و معیار اجرایی یک معیار منفی است. با افزایش معیارهای کارایی، اثربخشی و مفهومی، انتظار بهبود ایمنی جاده‌ای می‌رود. افزایش معیار اجرایی از دید متخصصان ایمنی به عنوان یک معیار منفی نیز شناخته شده است. در جدول ۷ معیار کارایی با دو عامل مرتبط می‌شود که عبارت است از زیرمعیار مقرون به صرفه بودن برای عوامل زیرساختی از دیدگاه اقتصادی و هزینه کم و ارتباط با هزینه‌های پنهان که مرتبط به هزینه‌های بعد از تصادف برای راننده و سرنشینان می‌باشد [۳۳-۳۱]. معیار اثربخشی برای افزایش ایمنی مرتبط به عوامل زیرساختی شامل اهداف و سیاست‌های مرتبط به اصلاح و عوامل زیرساختی جهت کاهش تصادفات و افزایش ایمنی جاده‌ای می‌پردازد. همچنین شناسایی و اصلاح عوامل زیرساختی باید هدایت کننده و پیش برنده در افزایش ایمنی راه‌ها باشد به گونه‌ای که اصلاح عوامل زیرساختی طول عمر راه را افزایش دهد [۳۶-۳۴]. معیارهای مفهومی مرتبط به عوامل زیرساختی با تابلوها و نوشتارهای هشداری رانندگان مثلا علائم راه و دوربین کنترل سرعت یا محل‌های در حال تعمیر توسط کارگران برای جلوگیری از

1 Cronbach's Alpha

جدول ۵. مشخصات افراد پاسخ دهنده و تعیین تعداد نمونه و روایی پرسش‌نامه‌ها (منبع: پژوهش حاضر)

Table 5. Demographic information of the respondents with sample size and reliability of the questionnaire survey

جنسیت	**مرد (۷۶/۸۹)؛ زن (۲۳/۱۱)**	**P**	**۰/۵**	**ضریب آلفا کرونباخ**	
تحصیلات	فوق لیسانس (۶۳/۵۲)؛ دکتری (۳۶/۴۸)	**بازه اطمینان**	۰/۱	عوامل زیرساختی	۸۵/۶۶ درصد
سابقه فعالیت	۵-۷ سال (۴۳/۲۸)؛ ۸-۱۰ سال (۳۳/۷۷)؛ ۱۰-۱۲ سال (۲۲/۹۵)	**سطح اطمینان و مقدار z**	۹۵ درصد		
سن	۲۸-۳۲ (۳۳/۶۶)؛ ۳۳-۳۷ (۲۸/۱۱)؛ ۳۸-۴۲ (۲۲/۵۹)؛ بیشتر از ۴۲ (۱۵/۶۴)	**نرخ پاسخ (درصد)**	۸۲/۳۹		
شغل	مهندس و پیمانکار راه (۴۰/۵۶)، کارشناس راه و حمل و نقل جاده‌ای (۳۲/۸۰) هیئت علمی (۲۶/۶۴)	**تعداد نمونه‌ها جهت پایایی**	۲۱۰		
		۳۵ نمونه	۶۲		

جدول ۶. گزینه‌های اصلی در نظر گرفته شده در روش تاپسیس (منبع: پژوهش حاضر)

Table 6. Defined alternatives based on the TOPSIS model

شماره	نام گزینه‌ها	نماد	زیرمجموعه			
۱	حجم ترافیک عبوری	A_1	کم	متوسط	زیاد	
۲	درصد خودروهای سنگین	A_2	کم	متوسط	زیاد	
۳	وضعیت روسازی	A_3	ضعیف	متوسط	خوب	عالی
۴	وضعیت زهکشی راه	A_4	ضعیف	متوسط	مناسب	
۵	وضعیت دوربین کنترل سرعت	A_5	فاقد دوربین	دوربین غیرمکانیزه	دوربین مکانیزه	
۶	وضعیت علائم مورد استفاده در راه	A_6	فاقد علائم راه	متوسط	قابل قبول	
۷	وضعیت آرام‌سازی ترافیک	A_7	عدم در نظر گرفتن تمهیدات ترافیکی	مناسب	قابل قبول	
۸	وضعیت روشنایی راه	A_8	فاقد روشنایی	روشنایی متوسط	روشنایی مناسب	
۹	وجود قوس‌های افقی و قائم	A_9	عدم وجود قوس	قوس قائم	قوس افقی	قوس مرکب

جدول ۷. معیارهای در نظر گرفته شده در روش تاپسیس (منبع: پژوهش حاضر)

Table 7. Defined criteria based on the TOPSIS model

شماره	نام معیارها	نام زیرمعیارها	نماد
۱	کارایی	مقرون به صرفه بودن	D_1
		ارتباط با بهبود هزینه‌های پنهان	
۲	اثربخشی	ارتباط با هدف	D_2
		ارتباط با سیاست	
		هدایت‌کننده، پیش‌بینی در سایر مطالعات	
		ارتباط با چرخه عمر راه	
۳	مفهومی	قابلیت درک	D_3
		ماندگاری در گذر زمان	
		شفافیت	
۴	اجرایی	قابلیت سنجش	D_4
		سختی اجرایی	
		نیاز به نیروی متخصص	
		نیاز به تجهیزات خاص	

تصادفات و افزایش ایمنی در ارتباط هستند [۳۹-۳۷]. عوامل زیرساختی باید از دیدگاه مفهومی دارای فهم و یادگیری آسان برای رانندگان و از دیدگاه ماندگاری در گذر زمان و شفافیت دارای اثربخشی مهم و با کیفیت و واضح برای رانندگی ایمن باشد. همچنین عوامل زیرساختی از دیدگاه معیار اجرایی باید قابل بررسی و سنجش برای متخصصان و کارشناسان باشند و سختی اجرایی کمتری داشته باشند و با نیروی متخصص کافی و تجهیزات مناسب بتوان این عوامل مؤثر در تصادفات را شناسایی و اصلاح کرد [۴۲-۴۰].

بنابراین به منظور تکمیل پرسش‌نامه‌های مربوط به پژوهش از ۲۱۰ متخصص در زمینه‌های ایمنی، حمل و نقل، بازرسی راه، راه و ترابری و اساتید دانشگاه که در این زمینه دارای فعالیت حرفه‌ای و تحقیقاتی می‌باشند، مصاحبه به عمل آمده است. سپس به کمی‌سازی طیف لیکرت در بازه ۱ تا ۹ از خیلی کم تا خیلی زیاد پرداخته شده است [۴۳]. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، نیازمند شکستن مسئله تصمیم با چندین شاخص به سلسله مراتبی از سطوح است. بدین منظور از درخت تصمیم استفاده می‌شود که از چهار سطح تشکیل شده است. سطح اول شامل هدف کلی از تصمیم‌گیری می‌باشد. در سطح دوم معیارهای کلی قرار دارند که تصمیم‌گیری بر اساس آن‌ها صورت می‌گیرد. در سطح سوم زیرمعیارها قرار می‌گیرند. مقایسه‌های زوجی یا دو به دویی نیز در تحلیل سلسله مراتبی مقادیر معیارهای اولویت‌بندی زیرساخت‌های ایمنی مرحله مهمی است. این مقایسه‌ها بر اساس نظرات خبرگان انجام می‌گردد. در پرسش‌نامه نیز با طرح سؤال " به نظر شما کدامیک از عوامل زیرساختی زیر که باعث وقوع تصادفات راه‌های دوخطه می‌باشند. نسبت به یکدیگر ارجحیت بیشتری دارند؟ به چه میزان؟ " مقایسه زوجی عوامل زیرساختی مؤثر در وقوع تصادفات بررسی شد. ارجحیت یک گزینه یا عامل نسبت به خودش مساوی با یک است، لذا اصل معکوس بودن یک عامل نسبت به دیگری و ارجحیت یک برای یک عامل یا گزینه نسبت به خودش، دو خاصیت اصلی ماتریس مقایسه‌ای دو به دویی در فرآیند AHP هستند. این دو خاصیت باعث می‌شود که برای مقایسه n معیار یا گزینه، تصمیم گیرنده تنها به $\frac{n(n-1)}{2}$ سوال پاسخ دهد. بنابراین اهمیت نسبی معیارهای کلی از دیدگاه خبرگان بدین صورت می‌باشد که امتیاز ۱ برای اهمیت مساوی، ۳ اهمیت اندکی بیشتر، ۵ اهمیت بیشتر، ۷ اهمیت خیلی بیشتر، ۹ اهمیت مطلق و امتیازهای ۲، ۴، ۶ و ۸ برای ترجیحات بینابین به منظور مقایسه دو به دویی عوامل زیرساختی و زیرمعیارها در فرآیند AHP به کار می‌رود [۴۴]. نرخ ناسازگاری مقایسه زوجی این معیارها ۱ درصد است که نشان دهنده دقت قابل‌قبول این مقایسه زوجی است. اهمیت نسبی زیرمعیارهای اجرایی برابر با ۰/۰۰۳۹ است که نشان دهنده دقّت بالای این مقایسه زوجی است. در حالی که نرخ ناسازگاری

جدول ۸. درجه نزدیکی متغیرهای پژوهش نسبت به راه‌حل ایده‌آل در روش تاپسیس (منبع: پژوهش حاضر)

Table 8. The relative closeness coefficient of the studied variables based on the ideal solution in TOPSIS model

متغیر	درجه‌ی نزدیکی تا حل ایده‌ال	شماره اولویت
حجم ترافیک عبوری	۰/۳۹۰	۸
درصد خودروهای سنگین	۰/۴۱۱	۶
وضعیت روسازی	۰/۵۱۳	۲
وضعیت زهکشی راه	۰/۶۰۳	۱
وضعیت دوربین‌کنترل سرعت	۰/۵۰۰	۳
وضعیت علائم مورد استفاده در راه	۰/۴۳۰	۵
وضعیت آرام‌سازی ترافیک	۰/۳۱۲	۹
وضعیت روشنایی راه	۰/۴۱۰	۷
وجود قوس‌های افقی و قائم	۰/۴۹۵	۴

مقایسه زوجی زیرمعیارهای مفهومی صفر است. همچنین نرخ ناسازگاری مقایسه زوجی زیرمعیارهای اثربخشی نیز ۰/۰۰۳۹ است. بنابراین، پس از تشکیل ماتریس‌های ورودی و نرمالیزه بر اساس نظرات خبرگان، ماتریس وزنی تشکیل می‌شود. سپس وزن‌های مختص معیارهای کارایی، اثربخشی، مفهومی و اجرایی با کمک روش AHP گزینه‌ها یا همان عوامل زیرساختی به دست می‌آید. پس از تشکیل ماتریس وزن‌دار شده نرمال، ایده‌آل مثبت و منفی محاسبه می‌گردند. لازم به ذکر است که معیار اجرایی یک معیار منفی است. پس از محاسبه مقادیر ایده‌آل مثبت و منفی برای هر گزینه مطابق روابط (۶) و (۷)، درجه نزدیکی مطابق رابطه (۸) محاسبه می‌شود. درجه نزدیکی هر یک از درایه‌ها با توجه به راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت محاسبه و در نهایت نتایج در جدول ۸ نشان داده می‌شود. بر اساس جدول ۸ می‌توان نشان داد که اولویت متغیرهای زیرساختی مؤثر بر تصادفات جاده‌ای بر اساس روش تاپسیس به ترتیب عبارتند از: وضعیت زهکشی، وضعیت روسازی، وضعیت دوربین کنترل سرعت، وجود قوس‌های افقی و قائم، وضعیت علائم مورد استفاده در راه، درصد خودروهای سنگین، وضعیت روشنایی راه، حجم ترافیک عبوری و وضعیت آرام‌سازی ترافیک.

۴- ۳- نتایج شناسایی عوامل مؤثر بر تصادفات جاده‌های دوخطه با استفاده از روش رگرسیون لجستیک

پس از به کارگیری متغیرهای مستقل در مدل رگرسیون لجستیک، نتایج خروجی در جدول ۹ نشان داده می‌شود. بر اساس این مدل، متغیرها در هر زیر گروه خود طبقه‌بندی شدند و بر اساس معنادار بودن و شانس بیشتر نسبت به زیرگروه خود در اولویت مدل قرار می‌گیرند. ضریب مثبت نشان دهنده افزایش احتمال وقوع تصادفات فوتی نسبت به جرحی و خسارتی می‌باشد. ضریب منفی نیز باعث کاهش احتمال وقوع تصادفات فوتی و افزایش احتمال وقوع تصادفات جرحی و خسارتی افزایش می‌یابد. بنابراین با توجه به جدول ۹ می‌توان نشان داد که متغیر وضعیت روسازی ضعیف با مقدار شانس ۲/۷۸۹ اثرگذاری بیشتری در افزایش احتمال وقوع تصادفات نسبت دیگر متغیرهای وضعیت روسازی دارد. این به گونه‌ای است که با افزایش مقادیر متغیر، احتمال وقوع تصادفات فوتی نیز افزایش می‌یابد. همچنین دوربین کنترل سرعت در حالت غیرمکانیزه با شانس ۱/۵۶۰ اثرگذاری بیشتری در کاهش احتمال وقوع تصادفات نسبت به دیگر وضعیت دوربین کنترل سرعت در طول راه دارد. ضریب منفی این متغیر نشان دهنده این است که با افزایش

جدول ۹. ارزیابی شدت تصادفات با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک (منبع: پژوهش حاضر)

Table 9. Evaluation of the accident severity based on the MNL model

نماد	نام متغیر	مقدار ضریب	استاندارد	مقدار Z	سطح معناداری	شانس
α	ضریب ثابت	۲/۲۳۵۶	۲/۰۷۸۱	۱/۰۸۱۰	۰/۰۰۹۶	--
X_1	وضعیت روسازی (۱)	۱/۸۸۶۷	۱/۹۸۱۰	۱/۲۰۱۰	۰/۰۰۰۱	۲/۷۸۹
X_2	وضعیت روسازی (۲)	۰/۰۰۱۷	۱/۳۴۵۰	۰/۶۹۸۰	۰/۰۰۲۱	۱/۸۶۵۰
X_3	وضعیت روسازی (۳)	-۰/۵۵۳۲	۰/۶۹۵۴	-۰/۰۸۱۰	۰/۰۰۷۱	۰/۹۵۸۰
X_4	وضعیت روسازی (۴)	-۱/۲۱۳۴	۱/۰۴۵۰	-۰/۶۱۱۳	۰/۰۶۸۱	۰/۳۳۶۸
X_5	وضعیت زهکشی راه (۱)	۰/۰۵۲۲	۰/۱۸۶۷	۰/۳۷۸۱	۰/۶۸۵۱	۰/۹۸۶۰
X_6	وضعیت زهکشی راه (۲)	-۰/۱۵۲۲	۰/۴۲۳۰	-۰/۵۳۴۱	۰/۰۷۰۱	۱/۳۳۷
X_7	وضعیت زهکشی راه (۳)	-۰/۲۰۲۲	۰/۱۰۴۴	-۰/۶۰۸۱	۰/۰۸۵۶	۱/۰۰۷
X_8	وضعیت دوربین‌کنترل سرعت (۱)	۰/۳۵۷۶	۰/۷۴۹۰	۰/۵۸۱۰	۰/۰۰۸۹	۰/۷۸۴
X_9	وضعیت دوربین‌کنترل سرعت (۲)	-۰/۲۵۷۶	۰/۵۱۱۰	-۰/۱۱۰۸	۰/۰۱۷۱	۱/۵۶۰
X_{10}	وضعیت دوربین‌کنترل سرعت (۳)	-۰/۰۴۷۶	۰/۶۶۲۱	-۰/۳۸۱۰	۰/۰۹۴۱	۱/۹۸۱
X_{11}	وضعیت علائم مورد استفاده در راه (۱)	۰/۳۸۰۶	۱/۰۰۲۱	۰/۴۰۸۰	۱/۳۸۱	۰/۹۳۷
X_{12}	وضعیت علائم مورد استفاده در راه (۲)	۱/۶۴۱۹	۰/۵۰۵۱	-۲/۱۴۹	۰/۰۳۰۱	۱/۰۰۱
X_{13}	وضعیت علائم مورد استفاده در راه (۳)	-۰/۶۸۰۵	۰/۷۵۲۱	-۰/۹۰۳	۰/۱۶۵۰	۱/۲۲۷
X_{14}	وضعیت آرام‌سازی ترافیک (۱)	۰/۴۰۰۸	۰/۶۹۹۱	۰/۷۵۱۸	۰/۲۹۵۱	۰/۸۹۹
X_{15}	وضعیت آرام‌سازی ترافیک (۲)	-۰/۰۸۷۵	۰/۶۸۹	-۰/۳۲۹	۰/۱۰۷۳	۱/۵۰۶
X_{16}	وضعیت آرام‌سازی ترافیک (۳)	-۰/۱۰۷۵	۰/۵۴۳۱	-۰/۶۰۷۱	۰/۳۸۳۱	۰/۸۹۴
X_{17}	وضعیت روشنایی راه (۱)	۰/۰۹۵۳	۰/۵۴۱۰	۰۰/۷۰۱۸	۰/۰۵۳۱	۱/۵۷۰
X_{18}	وضعیت روشنایی راه (۲)	-۰/۱۶۰۳	۰/۳۲۴۷	-۰/۵۵۶	۰/۰۰۵۴	۱/۰۴۰
X_{19}	وضعیت روشنایی راه (۳)	-۰/۰۸۸۳	۰/۴۵۶۶	-۰/۳۳۷	۰/۰۸۷۱	۱/۸۰۳
X_{20}	لگاریتم حجم ترافیک عبوری	۰/۴۹۱۵	۰/۶۴۳۹	۰/۷۹۳۱	۰/۰۰۴۱	۱/۰۳۵
X_{21}	درصد خودروهای سنگین	۰/۰۴۵۶۷	۰/۱۲۰۵	۰/۲۸۵۲	۰/۳۸۴۰	۰/۵۴۹
X_{22}	وجود قوس‌های افقی و قائم (۱)	۰/۰۷۴۷	۰/۵۴۴۱	۰/۶۸۱۰	۰/۱۷۷۶	۱/۰۸۶
X_{23}	وجود قوس‌های افقی و قائم (۲)	۰/۰۱۲۹	۰/۴۰۴۲	۰/۳۶۱	۰/۱۲۳۶	۱/۰۲۸
X_{24}	وجود قوس‌های افقی و قائم (۳)	۰/۰۵۶۷	۰/۲۶۷۵	۰/۶۵۱	۰/۱۰۳۱	۱/۰۶۸
X_{25}	وجود قوس‌های افقی و قائم (۴)	۰/۰۸۵۹	۰/۸۰۱۱	۰/۸۷۱	۰/۳۵۰۴	۱/۲۳۰

صحت‌سنجی مدل حاضر

مشاهدات	پیش‌بینی احتمال وقوع تصادفات	
	جرحی و خسارتی	فوتی
جرحی و خسارتی	۴۳۲	۱۲۹
فوتی	۷۸	۲۰۷
درصد کلی		

۷۷/۰۱	
۷۲/۶۳	
۷۴/۸۲	

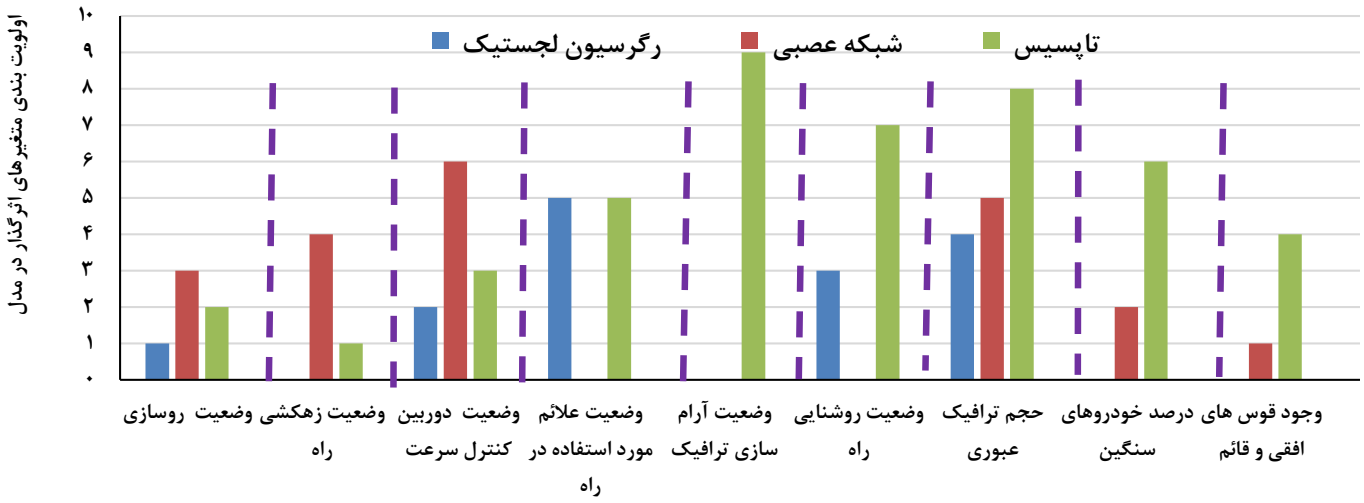
جدول ۱۰. اولویت‌بندی عوامل مؤثر مبتنی بر شانس بیشتر در مدل لجستیک (منبع: پژوهش حاضر)

Table 10. Prioritizing the effective variables contributed to accidents based on the chance

نام متغیر	اولویت‌بندی با شانس بیشتر در هر گروه متغیر		
X_1	۱		
X_9	۲		
X_{12}	۵		
X_{18}	۳		
X_{20}	۴		
روش‌ها	رگرسیون لجستیک	تاپسیس	**شبکه عصبی**
شبکه عصبی	۰/۸۹۴	۰/۷۱۱	**۱**
تاپسیس	۰/۷۶۴	۱	–
رگرسیون لجستیک	۱	–	––

مقادیر متغیر، احتمال وقوع تصادفات از سمت فوتی به سمت جرحی و خسارتی افزایش می‌یابد. از دیگر متغیرهای اثرگذار، وضعیت روشنایی در حالت متوسط با شانس ۱/۰۴۰ نسبت به دیگر متغیرهای وضعیت روشنایی راه در کاهش احتمال وقوع تصادفات فوتی نقش دارد به گونه‌ای که با افزایش این متغیر، احتمال وقوع تصادفات احتمال وقوع تصادفات از سمت فوتی به سمت جرحی و خسارتی افزایش می‌یابد. حجم ترافیک عبوری با شانس ۱/۰۳۵ اثرگذاری بیشتری در افزایش احتمال وقوع تصادفات فوتی دارد. همچنین وضعیت علائم مورد استفاده در راه در حالت حالت متوسط، با شانس ۱/۰۰۱ نسبت به دیگر وضعیت علائم مورد استفاده اثرگذاری بیشتری در افزایش احتمال وقوع تصادفات فوتی دارد. به منظور صحت‌سنجی مدل با داده‌های تصادفات متعلق به شدت تصادفات (فوتی، جرحی و خسارتی) مقادیر واقعی با مقادیر پیش‌بینی شده مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد. از مجموع ۸۴۶ مورد تصادف مشاهده، ۴۳۲ مورد تصادف خسارتی و جرحی که به درستی پیش‌بینی‌شده و تعداد ۱۲۹ مورد تصادف فوتی بوده که به اشتباه فوتی پیش‌بینی شده‌اند و درستی تصادف جرحی و خسارتی ۷۷/۰۱ درصد می‌باشد. در نهایت ۲۰۷ مورد تصادف فوتی بوده که با مقدار ۷۲/۶۳ درصد به درستی پیش‌بینی شده‌اند. در نتیجه درصد درستی مدل رگرسیون لجستیک ۷۴/۸۲ درصد در شدت تصادفات می‌باشد.

نتایج اثرگذاری هر متغیر زیرساختی بر اساس شانس و سطح معناداری در مدل مطابق جدول ۱۰ که از جدول ۹ برگرفته شده، نشان می‌دهد که تعداد متغیرهای اثرگذار بر احتمال وقوع شدت تصادفات جاده‌های دوخطه به ۵ متغیر کاهش می‌یابد. به گونه‌ای که متغیر وضعیت روسازی اثرگذاری شانس بیشتری نسبت به سایر عوامل زیرساختی در احتمال وقوع شدت تصادفات دارد. در حالی که متغیر علائم مورد استفاده در راه اثرگذاری کمتری دارد. خطای جذر میانگین مربعات در این روش نیز برابر با ۰/۶۶۳۷ می‌باشد. با مقایسه اولویت‌بندی متغیرهای اثرگذار در تصادفات در شکل ۶ می‌توان نشان داد که دو مدل شبکه عصبی و رگرسیون لجستیک توانسته‌اند، عوامل زیرساختی را با رویکرد واکنش‌گرا با تعداد متغیرهای کمتری اولویت‌بندی قرار دهند در حالی که روش تاپسیس همه عوامل را بدون در نظر گرفتن اثرپذیری و داده‌های تصادفات با رویکرد پیشگیرانه اولویت‌بندی کند. همچنین با مقایسه سه روش پیشنهادی مطابق جدول ۱۰ مبتنی بر ضریب همبستگی اسپیرمن نشان داده می‌شود که دو روش شبکه عصبی و رگرسیون لجستیک با ضریب همبستگی ۰/۸۹۴ دارای رویکرد واکنش‌گرای یکسانی در اولویت‌بندی متغیرهای زیرساختی هستند. به علاوه، چون شبکه عصبی دارای خطای جذر میانگین مربعات کمتری نسبت به روش رگرسیون لجستیک می‌باشد دارای عملکردی بهتری در اولویت‌بندی عوامل زیرساختی می‌باشد. بنابراین روش شبکه عصبی به عنوان اولین ابزار اولویت‌بندی و روش رگرسیون لجستیک به عنوان دومین ابزار اولویت‌بندی پیشنهاد



شکل ۳. مقایسه اولویت‌بندی عوامل مؤثر در تصادفات جاده‌های برون‌شهری دوخطه با استفاده از مدل‌های پیشنهادی (منبع: پژوهش حاضر)

Fig. 3. Comparison of prioritization for effective variables contributed to rural road accidents using the proposed methods

می‌گردد. از طرفی چون که روش تاپسیس دارای ضریب همبستگی کمتری نسبت به دو روش دیگر دارد، به عنوان سومین ابزار در رویکرد پیشگیری پیشنهاد می‌گردد. هدف از مقایسه در شکل ۳، بررسی رفتار اثرگذاری هر متغیر بر عملکرد مدل در اولویت‌بندی وقوع تصادفات جاده‌ای می‌باشد. برای مثال در شبکه عصبی قوس افقی و قائم به دلیل رفتار قابل قبول حساسیت مدل شبکه به متغیر در رتبه اول قرار گرفته است. در حالی که در روش رگرسیون لجستیک با اثرگذاری معیارهای آماری و ضریب قابل توجه شانس در احتمال وقوع شدت تصادفات اولویت‌بندی می‌شوند و نتایج دو مدل با هم متفاوت می‌باشد. از طرفی دلیل تفاوت داشتن نتایج اولویت‌بندی مدل شبکه عصبی و رگرسیون لجستیک نیز به گونه‌ای است که در شبکه عصبی اثرگذاری متغیرها در خروجی یا همان شدت تصادفات علاوه بر رابطه خطی، قابلیت ایجاد رابطه غیرخطی بین متغیرها در شناسایی و اثرگذاری متغیرها بر شدت تصادفات وجود دارد همان‌طور که مطالعات پیشین به این نکته اشاره کردند [۴۵]. در حالی که مدل رگرسیون لجستیک فقط ایجاد رابطه اثرگذاری خطی متغیرهای مستقل را در شدت تصادفات یا همان احتمال وقوع شدت تصادفات دارد متفاوت می‌باشد. بنابراین مدل شبکه عصبی علاوه بر قابلیت بالای پیش‌بینی شدت تصادفات، به دلیل در نظر گرفتن رفتار غیرخطی بین متغیرها و متغیر خروجی یا همان شدت تصادفات، اولویت‌بندی‌های بهتری را از خود نشان می‌دهند. باید توجه داشت که هدف از آزمون اسپیرمن نیز تنها برای قرارگیری مدل‌های عصبی و رگرسیون لجستیک در رویکرد واکنش‌گرا است و مبنایی برای مقایسه اولویت‌بندی‌ها نمی‌باشد بلکه ابزاری برای صحت‌سنجی کاربرد مدل‌های عصبی و لجستیک رگرسیون در رویکرد واکنش‌گرا می‌باشد.

همچنین به منظور بررسی و صحت‌سنجی مدل‌ها در رویکردهای واکنش‌گرا و پیشگیرانه نیز از آزمون تی–تست برای درستی قرارگیری مدل‌ها در یک رویکرد استفاده می‌گردد و نتایج در جدول ۱۱ نشان داده می‌شود. مطابق جدول ۱۱ می‌توان نتیجه گرفت که دو روش شبکه عصبی و رگرسیون لجستیک، بر اساس متغیرهای مؤثر در یک رویکرد یکسان واکنش‌گرا قرار می‌گیرند زیرا اختلاف معناداری بیشتر از ۰/۰۵ می‌باشد و فرضیه معنادار بودن رد می‌باشد. در حالی که برای جفت‌های مدل‌های دیگر نظیر مدل رگرسیون لجستیک –تاپسیس، تاپسیس –شبکه عصبی اختلاف معنادار وجود دارد که نشان دهنده آن است که روش رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی در یک دسته قرار نمی‌گیرند. بنابراین دو روش شبکه عصبی و رگرسیون لجستیک در رویکرد یکسان واکنش‌گرا قرار می‌گیرند همان‌طور که روش اسپیرمن همبستگی بین این روش را نشان داد.

جدول ۱۱. بررسی اعتبارسنجی و صحت مدل‌های پیشنهادی برای رویکردهای پیشگیرانه و واکنش‌گرا (منبع: پژوهش حاضر)

Table 11. Validation and accuracy of the proposed models based on the proactive and reactive methods

جفت مدل‌های مورد بررسی		اختلاف جفت‌ها					t	درجه آزادی	سطح معناداری
		میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد میانگین	سطح اطمینان ۹۵ درصد				
					کران پایین	کران بالا			
جفت یک	(رگرسیون لجستیک – شبکه عصبی)	-۰/۶۷	۳/۰۰	۱/۰۰	-۲/۹۷	۱/۶۴	-۰/۶۷	۸	۰/۵۲
جفت دو	(شبکه عصبی - تاپسیس)	-۲/۶۷	۴/۲۴	۱/۴۱	-۵/۹۳	۰/۵۹	-۱/۸۹	۸	۰/۰۰۶
جفت سه	(رگرسیون لجستیک – تاپسیس)	-۳/۳۳	۲/۹۲	۰/۹۷	-۵/۵۷	-۱/۰۹	-۳/۴۳	۸	۰/۰۰۹

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به این که جاده‌های دوخطه برون‌شهری نقش مهمی در تصادفات جاده‌ای ایفا می‌کنند. شناسایی و اولویت‌بندی عوامل زیرساختی مؤثر در این نوع جاده‌ها نقش به‌سزایی در کاهش تصادفات و افزایش ایمنی دارد. بنابراین پژوهش حاضر در ابتدا عوامل زیرساختی مؤثر در تصادفات جاده برون‌شهری دوخطه اهر–تبریز را شناسایی می‌کند و سپس با ارائه دو رویکرد واکنش‌گرا مبتنی بر مدل‌های شبکه عصبی، رگرسیون لجستیک و رویکرد پیشگیرانه با استفاده از مدل تاپسیس عوامل مؤثر در تصادفات را اولویت‌بندی می‌کند.

نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی نشان داد که این مدل با درستی پیش‌بینی ۸۶ درصد به ترتیب متغیرهای زیرساختی نظیر وجود قوس‌های افقی و قائم، درصد خودروهای سنگین، وضعیت روسازی، وضعیت زهکشی راه، حجم ترافیک عبوری و وضعیت دوربین کنترل سرعت را اولویت‌بندی می‌کند. نتایج حاصل از مدل تاپسیس به عنوان رویکرد پیشگیرانه نشان داد که به ترتیب متغیرهای وضعیت زهکشی، وضعیت روسازی، وضعیت دوربین کنترل سرعت، وجود قوس‌های افقی و قائم، وضعیت علائم مورد استفاده در راه، درصد خودروهای سنگین، وضعیت روشنایی راه، حجم ترافیک عبوری و وضعیت آرام‌سازی ترافیک از اهمیت بیشتری در وقوع تصادفات دارند زیرا این متغیرها در دسته متغیرهای زیرساختی طبقه‌بندی می‌گردند. همچنین نتایج حاصل از رویکرد واکنش‌گرا با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک نشان داد که درستی این ۷۴/۸۲ درصد می‌باشد و متغیرهای وضعیت روسازی، وضعیت دوربین کنترل سرعت، وضعیت روشنایی راه، حجم ترافیک عبوری، و وضعیت علائم مورد استفاده در راه به ترتیب تأثیر قابل توجهی بر احتمال وقوع شدت تصادفات دارند زیرا شانس و احتمال آن‌ها نسبت به دیگر عوامل زیرساختی در وقوع تصادفات بیشتر می‌باشد.

نتایج حاصل از مقایسه عملکردی رویکردهای واکنش‌گرا و پیشگیرانه با استفاده از آزمون‌های اسپیرمن و تی–تست نشان داد که بین دو مدل شبکه عصبی و رگرسیون لجستیک همبستگی در عملکرد اولویت‌بندی وجود دارد و تفاوت معناداری در دو رویکرد وجود ندارد. در حالی بین این مدل‌ها و مدل تاپسیس تفاوت معناداری در عملکرد رویکرد وجود دارد. در نتیجه دو مدل عصبی و رگرسیون لجستیک در رویکرد واکنش‌گرا و مدل تاپسیس در رویکرد پیشگیرانه طبقه‌بندی می‌شوند و مدل شبکه عصبی به دلیل مقدار زیاد درستی پیش‌بینی تعداد تصادفات مرتبط به شدت تصادفات از قابلیت بهتری نسبت به سایر مدل‌ها در اولویت‌بندی عوامل زیرساختی کاربرد دارد.

پیشنهادها

مطالعات و پژوهش‌های آینده می‌توانند مرتبط به موضوعاتی نظیر عوامل انسانی، کاربری‌های زمین و شرایط آب‌وهوایی اثرگذار بر احتمال وقوع شدت تصادفات در راه‌های برون‌شهری دوخطه با استفاده از مدل‌های

هوش مصنوعی (عصبی فازی) و داده‌کاوی و یادگیری ماشین (الگوریتم کامینز، جنگل تصادفی، الگوریتم الگوریتم C۴.۵) برای رویکرد واکنش‌گرا و مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (تحلیل سلسله مراتبی فازی؛ فازی تاپسیس و فازی کوپراس) برای رویکرد پیشگیرانه باشد. همچنین مطالعات آینده می‌توانند شدت تصادفات را بر اساس عوامل انسانی، کاربری‌های زمین و شرایط آب‌وهوایی با استفاده از مدل‌های استاتیکی و آماری نسبت به مدل‌های هوش مصنوعی و داده‌کاوی و مدل تاپسیس با هم مقایسه کنند و بر اساس نسبت پیش‌بینی در شدت تصادفات مناسب‌ترین مدل را انتخاب کنند.

منابع

[1] M. Ahadi, M. Hassanpour, P. Bashiri, P. Bashiri, Strategies to promote safety to prevent pedestrian accidents in the city of Qazvin, Safety Promotion and Injury Prevention, 4(3) (2017) 143-150.

[2] G.A. Shafabakhsh, F. Fathi, A. Zayerzadeh, Prioritization of eventful roads correction using artificial nrural networks, Journal of Modeling in Engineering, 8(20) (2010), 71-81.

[3] A. Tavakolli Kashani, R. Rabieian (2014). Investigation Effect of Driver's Age and Environmental Factors on Risk of Motorcycle Accident Based On Concept of Quasi-Induced Exposure. Quarterly Journal of Transportation Engineering, 6(2) (2014) 213-224.

[4] J.R. Jones, A method to quantify road safety audit data and results, Utah State University, (2013).

[5] S. Afandizadeh, M. Hossen Hamedi, J. Sadeghi, Recognizing the Effective Factors of Suburb Roads Accidents of Chaharmahal & Bakhtiari Province and the Study of it's Reasons (Case Study: Khuzestan Road), Chaharmahal &Bakhtiaris of police science, 1396(17) (2017) 15-34.

[6] R. Ghadimi, Statistical analysis of road accidents on the Ahar-Tabriz road in the period 2012 to 2014, Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Planning of the Islamic world, Tabriz, (2018).

[7] M. Ameri, S. Effendizadeh, R. Jalal Kamali, M.H. Rezaeifar, M. Wamegh, Prioritization of safety measures in suburban roads using RSAR method, 15th International Conference on Transportation and Traffic Engineering, (2015).

[8] S. Afandizadeh, S. Hassanpour., Evaluating the Effect of Roadway and Development Factors on the Rural Road Safety Risk Index. Advances in Civil Engineering, 2020.

[9] A. Abdi, Z. Mosadeq, H. Bigdeli Rad, Prioritizing Factors Affecting Road Safety Using Fuzzy Hierarchical Analysis. Journal of Transportation Research, 17(3) (2020) 33-44.

[10] A.A.E. Doğan, A. Payidar ANgüngör, Estimating road accidents of Turkey based on regression analysis and artificial neural network approach, Advances in transportation studies, 16 (2008) 11-22.

[11] Y. Xie, D. Lord, Y. Zhang, Predicting motor vehicle collisions using Bayesian neural network models: An empirical analysis, Accident Analysis & Prevention, 39(5) (2007) 922-933.

[12] M. Yasin Çodur, A. Tortum, An artificial neural network model for highway accident prediction: A case study of Erzurum, Turkey, PROMET-Traffic&Transportation, 27(3) (2015) 217-225.

[13] Y.C. Chang, S.Y. Lee, P.L. Liu, C.C. Chang, Injury prediction based on safety climate questionnaire score using artificial neural networks", In 2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM) (pp. 1241-1244). IEEE.

[14] A. Sarkar, A. Emami, Prediction of road accidents using neural networks and correction of road tolls with the help of genetic algorithm, International Conference on New Research in Engineering Sciences, Tehran, Shabak Knowledge Management Institute, University of Tehran, (2016).

[15] S. Mollai Ali Abadi, M. Hosseinpour, S.R. Elyasi, Predicting the severity of road accidents using artificial neural networks, a case study of Ardabil-Sarcham axis, International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Planning of Contemporary Iran, Tehran, Osweh University - Tehran - Shahid Beheshti University, (2017).

A comprehensive review of multi criteria decision making approaches based on interval type-2 fuzzy sets", Knowledge-Based Systems, 85(329) (2015) 341.

[26] Z. Chen, W.D. Fan, A multinomial logit model of pedestrian-vehicle crash severity in North Carolina. International journal of transportation science and technology, 8(1) (2019) 43-52.

[27] L. Wahab, H. Jiang, A multinomial logit analysis of factors associated with severity of motorcycle crashes in Ghana. Traffic injury prevention, 20(5) (2019) 521-527.

[28] L.Y. Chang, Analysis of freeway accident frequencies: negative binomial regression versus artificial neural network, Safety science, 43(8) (2005) 541-557.

[29] S.M.H. Al-Tmeemy, H. Abdul-Rahman, Z. Harun, Contractors' perception of the use of costs of quality system in Malaysian building construction projects, International Journal of Project Management, 30(7) (2012) 827–838.

[30] D.B. Zumbo, A.M. Gadermann, C. Zeisser, Ordinal versions of coefficient alpha and theta for Likert rating scales, Journal of modern applied statistical methods, 6(1) (2007) 21-29.

[31] G. Rebitzer, T. Ekvall, R. Frischknecht, D. Hunkeler, G. Norris, T. Rydberg,..., D.W. Pennington, Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. Environment international, 30(5) (2004) 701-720.

[32] S. UNEP, Guidelines for social life cycle assessment of products. United Nations Environment Programme (UNEP) and Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), (2009), Belgium.

[33] A. Hazen, J.E. Ehiri, Road traffic injuries: hidden epidemic in less developed countries, Journal of the National Medical Association, 98(1) (2006) 73.

[34] M.A. Belin, P. Tillgren, E. Vedung, Vision Zero–a road safety policy innovation, International journal of injury control and safety promotion, 19(2) (2012) 171-179.

[35] F. Wegman, S. Oppe. Benchmarking road safety performances of countries. Safety science, 48(9) (2010) 1203-1211.

[16] M. Beheshti Nia, H. Bargbid, A hybrid model to identify effective factors in road transportation hazards and prioritize black spots (case study: Nezshabour-Sabzevar axis), Quarterly Journal of Transportation Engineering, 10(3) (2019) 445-459.

[17] Q. Bao, D. Ruan, Y. Shen, E. Hermans, D. Janssens, Improved hierarchical fuzzy TOPSIS for road safety performance evaluation, Knowledge-based systems, 32 (2012) 84-90.

[18] M. Rosić, D. Pešić, D. Kukić, B. Antić, M. Božović, Method for selection of optimal road safety composite index with examples from DEA and TOPSIS method, Accident Analysis & Prevention, 98 (2017) 277-286.

[19] G. Fancello, M. Carta, P. Fadda., Road intersections ranking for road safety improvement: comparative analysis of multi-criteria decision making methods, Transport Policy, 80 (2019) 188-196.

[20] Z. Liu, J. He, C. Zhang, L. Xing, B. Zhou, The impact of road alignment characteristics on different types of traffic accidents, Journal of Transportation Safety & Security, (2019) 1-24.

[21] F. Haghighat, Application of a multi-criteria approach to road safety evaluation in the Bushehr Province, Iran, PROMET-Traffic&Transportation, 23(5) (2011) 341-352.

[22] P. Moridi, A. Moradi, F. Taheri, R. Yarahmadi, A. AsgharFarshad, Prioritization of effective factors in traffic accident based on multiple criteria decision making in the traffic police (Tehran city), Iran Occupational Health, 15(5) (2018) 21-29.

[23] S. Cafiso, A. Di Graziano, G. Di Silvestro, G. La Cava, B. Persaud, Development of comprehensive accident models for two-lane rural highways using exposure, geometry, consistency and context variables, Journal of Accident Analysis and Prevention 42 (2010) 1072–1079.

[24.] Y. Hassan, T. Sayed, V. Tabernero, Establishing a practical approach for design consistency evaluation, Journal of Transportation Engineering, 127 (4) (2001) 295-302.

[25] E. Celik, M. Gul, N. Aydin, A.T. Gumus, A.F. Guneri,

road safety communication campaigns: Part I. Brussels: Belgian Road Safety Institute, (2009).

[41] N. Haworth, C. Tingvall, N. Kowadlo, Review of best practice road safety initiatives in the corporate and/or business environment. Monash University Accident Research Centre Reports, 166 (2000) 119.

[42] G. Al-Haji, Road safety development index: Theory, philosophy and practice (Doctoral dissertation, Linköping University Electronic Press), (2007).

[43] T. Nemoto, D. Beglar, Likert-scale questionnaires, In JALT 2013 conference proceedings (pp. 1-8), (2014).

[44] T.L. Saaty, Decision making with the analytic hierarchy process, International journal of services sciences, 1(1) (2008) 83-98.

[45] S. Mokhtarimousavi, J.C. Anderson, A. Azizinamini, M. Hadi, Factors affecting injury severity in vehicle-pedestrian crashes: a day-of-week analysis using random parameter ordered response models and artificial neural networks, International journal of transportation science and technology, 9(2) (2020) 100-115.

[36] S. Siegrist, Towards a method to forecast the effectiveness of national road safety programmes. Safety science, 48(9) (2010) 1106-1110.

[37] E. Setyaningsih, L.S. Putranto, F.N. Soelami, Analysis of the visual safety perception and the clarity of traffic signs and road markings in the presence of road lighting in straight and curved road, In MATEC Web of Conferences 181 (2018), 04001, EDP Sciences.

[38] S. Kaplan, S. Bortei-Doku, C.G. Prato, The relation between the perception of safe traffic and the comprehension of road signs in conditions of ambiguous and redundant information, Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, 55 (2018) 415-425.

[39] S.J. Ward, M.S. Wogalter, A.W. Mercer, Comprehension and training of international road signs. In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting (48(17) 2104-2108), Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications, (2004).

[40] P. Delhomme, W. De Dobbeleer, S. Forward, A. Simões, Manual for designing, implementing, and evaluating

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

S. Hassanpour, F. Hadadi, Prioritization of infrastructure factors affecting on the safety of two-lane roads using proactive and reactive methods (Case study: Ahar-Tabriz road), Amirkabir J. Civil Eng., 54(4) (2022) 1419-1440.

DOI: 10.22060/ceej.2021.19521.7193

این صفحه عمداً خالی است