اولویت‌بندی راهکارهای ایمن‌سازی عبور شتر از عرض جاده

مقاله علمی – پژوهشی

*علی اصغر گهرپور (نویسنده مسئول)، گروه عمران، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
فرشید توان، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد جنوب، تهران، ایران
علی قبا، دانش آموخته کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی جیرفت، جیرفت، ایران
امیر بهادر عزیزی، دانشجو دکترا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: goharpour_a@malayeru.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۵– پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۰۲
صفحه ۲۰۸-۱۹۳

چکیده

تصادفات رانندگی ناشی از برخورد وسایل نقلیه موتوری با حیات وحش یک پدیده جهانی است. این حوادث اغلب گونه‌های مختلف جانوری از جمله گوزن شمالی، آهو، کانگورو و شتر را درگیر می‌کند. در مقایسه با انواع دیگر برخوردهای حیوانات با وسایل نقلیه، تصادفات شتر به دلیل وزن زیاد، نقطه ثقل بالا و اندازه و ارتفاع شتر به طور ویژه خطرناک هستند. ایمن‌سازی ترافیک از خطرات برخورد با شتر طیف وسیعی از انواع راهکارها را در بر می‌گیرد که شامل ایمن‌سازی جاده‌ای، آشکارسازی حیوانات، هشداردهی به رانندگان و ... می‌شود. این پژوهش سعی کرده است برمبنای خصوصیات رفتاری این حیوان راهکارهای مختلف ایمن سازی را برای فراهم کردن مقاطعی ایمن برای عبور شتر از عرض جاده اولویت‌بندی کند. در این پژوهش ضمن بررسی و معرفی این اقدامات در حوزه‌های مختلف مناسب‌ترین آن‌ها را به نسبت شرایط کشور در حوزه‌های جغرافیایی، منابع طبیعی، محیط زیست، امکانات دامپروری و ویژگی‌های جاده‌ای و ترافیکی با بهره‌گیری از روش‌های پژوهشی مورد تحلیل قرار می‌دهد. از این رو درفرآیند تحلیلی این پژوهش گزینه‌های ایمن‌سازی جاده‌ای و کاربر هدف (حیوان شتر) بر اساس معیارها و شاخص‌های تعریف شده به وسیله شیوه‌های پژوهشی استنباطی بر اساس روش تحلیل چند معیاره MDMA از نوع تاپسیس فازی مورد تحلیل قرار می‌گیرد. از نتایج این تحقیق اینگونه برآورد می‌شود که از بین راهکارهای جاده‌ای و غیرجاده‌ای ارائه شده گزینه استفاده از تجهیزات کنترل ترافیک، استفاده از ساربان برای کنترل عبور عرضی شتر و روشن‌سازی نقاط برخورد با شتر به ترتیب اولویت‌های پیشنهادی برای ایمن‌سازی مسیرهای برون شهری بر اساس چهار نوع معیار اقتصادی، ترافیکی، فنی و محیط زیستی هستند.

واژه‌های کلیدی: ایمنی حمل و نقل، تصادف، شتر

۱-مقدمه

حمل و نقل پایه و اساس توسعه جوامع امروزی محسوب شده و در عین حال تبعات فراوان و مختلفی را بر روی اقتصاد، فرهنگ، محیط زیست و ... می‌گذارد. یکی از پیامدهای نامطلوب فعالیت این ابرصنعت بروز حوادث و سوانح ترافیکی است که به شکل فزاینده‌ای سلامت اقشار جامعه و محیط زیست را تحت تاثیر خود قرار داده است. تاثیرگذاری ترافیک برون‌شهری در فرایندهای بوم‌شناختی در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. با وجود این که جاده‌ها مساحت اندکی را

(حتی در کشورهای توسعه یافته) اشغال می‌کنند اما آثار بسیاری بر محیط زیست دارند. انتقال از مناطق مختلف و ایجاد دسترسی برای کاربری‌های زمینی موجبات استعمار حمل و نقل موتوری را بر زیست جانوران اهلی و وحشی فراهم آورده است. راه‌ها همانگونه که الگوهای اکوسیستم گیاهی و جانوری را برهم می‌زنند در صورت ایجاد انقطاع در زیستگاه حیوانات اهلی و وحشی آن‌ها را ناگزیر به تداخل با جریان‌های ترافیک خطرناک و کشنده وادار می‌کنند. عدم سطح درک خطر از سوی این جانداران به علت تطابق نداشتن خطرات ترافیکی با ادراک‌های غریزی آنان، نزدیکی و گذر عرضی و طولی این حیوانات از جاده‌های درون و برون شهری را همواره خطرساز کرده است.

تصادف وسایل نقلیه با احشام و حیوانات وحشی یکی از علل کم‌مقدار و لیکن شایع خسارت‌های ترافیکی در بین اکثر کشورهای دنیا است که تاثیرات اجتماعی و اقتصادی جهانی فراوانی داشته و منجر به میلیاردها دلار خسارت و گاهی اوقات موجب مرگ و میر برای سرنشینان وسایل نقلیه می‌شود. عدم ایمن‌سازی مناسب جاده‌ها و رها بودن حیوانات در نزدیکی آنان علل اصلی بروز این حوادث است. این امر نتیجه افزایش جمعیت انسانی، شهرنشینی در حومه شهرها و احداث جاده‌ها و بزرگراه‌های جدید است. سنگینی و استحکام فیزیکی برخی از گونه‌های جانوری اهلی و وحشی، دامنه شدت برخوردها و آسیب دیدگی‌ها را به صورت تصاعدی افزایش می‌دهد. شتر یکی از حیوانات بزرگ جثه و یکی از کشنده‌ترین حیواناتی است که در تصادفات با وسایل نقلیه درگیر می‌شود. پس تصادف شتر با وسیله نقلیه به دلیل ماهیت فیزیکی حیوان بسیار مرگبار تلقی می‌شود. تعداد قابل توجه‌ای از تصادفات به دلیل حضور شترها در جاده‌ها و بزرگراه‌های خاورمیانه رخ داده است که به نگرانی ضروری برای توسعه ایمن‌سازی خطوط ترافیکی در این مناطق تبدیل شده است. در کشور ایران علاوه بر نقش تداخل حیوانات اهلی در نزدیکی مناطق روستایی و عشایری در کاهش سطح ایمنی حمل و نقل، در مناطق بیابانی و نیمه خشک کشور نیز زیست حیوان شتر یکی از چالش‌های اساسی این موضوع به حساب می‌آید که در استان‌های مختلف سهم قابل توجه‌ای از آسیب‌های شدید جانی و جسمی حوادث ترافیکی را به خود اختصاص می‌دهد. ایمن‌سازی ترافیک از خطرات برخورد با شتر طیف وسیعی از انواع راهکارها را در بر می‌گیرد که شامل ایمن‌سازی جاده‌ای، آشکارسازی حیوانات، هشداردهی به رانندگان و ... می‌شود. این پژوهش سعی کرده است برمبنای خصوصیات رفتاری این حیوان راهکارهای ایمن‌سازی را برای فراهم کردن مقاطعی ایمن برای عبور شتر از عرض جاده ارائه دهد. در این پژوهش ضمن بررسی و معرفی این اقدامات در حوزه‌های مختلف مناسب‌ترین آن‌ها را به نسبت شرایط کشور در حوزه‌های جغرافیایی، منابع طبیعی، محیط زیست، امکانات دامپروری و همچنین ویژگی‌های جاده‌ای و ترافیکی با بهره‌گیری از روش‌های پژوهشی مورد تحلیل قرار می‌دهد. از این رو در ادامه پس از بررسی تحقیقات بین‌المللی معتبر صورت گرفته در این زمینه به وسیله روش مطالعه کتابخانه‌ای، در بخش‌های بعد گزینه‌های ایمن‌سازی جاده‌ای و کاربر هدف (حیوان شتر) بر اساس معیارها و شاخص‌های تعریف شده به وسیله شیوه‌های پژوهشی استنباطی مطابق روش تحلیل چندمعیاره از نوع تاپسیس فازی مورد تحلیل قرار می‌گیرد و در آخر نیز نتایج حاصل از تحلیل به صورت پیشنهادهای طبقه‌بندی شده اولویت راهکارهای ایمن‌سازی تشریح می‌شود.

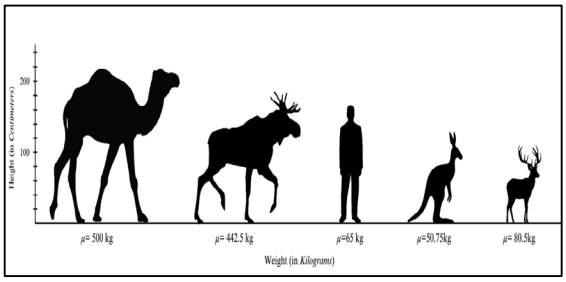
۲-پیشینه تحقیق

تصادفات رانندگی ناشی از برخورد وسایل نقلیه موتوری با حیات وحش (WVC) یک چالش بین المللی است. این حوادث اغلب گونه‌های مختلف جانوری از جمله گوزن شمالی، آهو، کانگورو و شتر را درگیر می‌کند اما محدود به این موارد نیست. چنین اتفاقاتی به ویژه در اروپا، خاورمیانه، ایالات متحده، کانادا و استرالیا شایع است (DeNicola et all, 2016). به نظر می‌رسد آمار تعداد برخورد خودرو با حیوانات در بسیاری از نقاط جهان بالا است. مثلا در استرالیا سالانه ۱۰ میلیون حیوان با خودرو برخورد می‌کنند (Gibson, 2019).

در ایالات متحده سالانه حدود ۱ تا ۲ میلیون تصادف بین وسایل نقلیه و حیوانات بزرگ تخمین زده می‌شود. تلاش‌های جهانی برای کاهش صدمات ناشی از این تصادفات از فناوری‌های مختلفی بهره گرفته است. به صورت کلی استراتژی‌های مورد استفاده برای کاهش بروز این نوع تصادفات در سه بخش روش‌های متکی بر وسایل نقلیه موتوری، حیوانات و جاده طبقه‌بندی می‌شوند (Alawi et all, 2024). شایان ذکر است که برخورد وسایل نقلیه با شتر در مقایسه با برخورد یک حیوان کوچک متفاوت است زیرا به نسبت انواع دیگر برخوردهای

حیوانات با وسایل نقلیه، تصادفات شتر به دلیل وزن زیاد، نقطه ثقل بالا و اندازه و ارتفاع شتر به طور ویژه خطرناک هستند (شکل ۱ را ببینید). اینگونه حوادث می‌تواند منجر به آسیب شدید وسیله نقلیه و افزایش احتمال جراحات کشنده برای رانندگان و مسافران شود. عوامل دیگری که این خطر را تشدید می‌کنند رفتارهای غیرقابل پیش‌بینی شترهایی است که در جاده‌ها سرگردانند. بنابراین تصادفات شتر یک مسئله حیاتی برای مشکل ایمنی ترافیک در منطقه خلیج فارس بحساب می‌آید. (Alghamdi et all, 2024). تقریباً در همه موارد CVC، پس از برخورد بدن شتر به شیشه جلو و یا سقف وسیله نقلیه حیوان به سمت بیرون پرتاب می‌شود.

لذا این نوع تصادفات را به میزان ۲۵٪ کشنده تخمین می‌زنند (AlNujaidi and AlHabib, 2023).



شکل ۱. اندازه موجودات درگیر تصادفات

شدت جراحات در این نوع تصادفات تحت تأثیر اندازه شتر، سرعت وسیله نقلیه، استفاده از کمربند ایمنی و حرکات عکس العمل محافظ سرنشینان قرار دارد. آسیب‌های ستون فقرات گردنی و پشتی و همچنین آسیب‌های سر و قفسه سینه به دلیل افتادن حجم زیادی از شتر روی وسیله نقلیه از جمله صدمات رایج در این حوادث است (Abaddi, 2025). از آنجایی که در طول شب غالبا گله شترها بدون مراقبت در بزرگراه‌ها پرسه می‌زنند بروز این سوانح بیشتر در شب شایع است (Al-Shammari and Neal-Sturgess, 2016).

رفتار غیرقابل پیش‌بینی شترها همراه با تمایل آنها به سرگردان شدن در جاده‌ها خطر تصادفات را به ویژه در ساعات شب که دید کم است تشدید می‌کند. سیستم‌های پردازش موجود به دلیل محدودیت‌های فناوری حسگر، وجود نقاط کور و پردازش الگوریتمی در تشخیص و پاسخ مؤثر به این حیوانات با مشکل مواجه هستند (Silva and Calabrese, 2023). شترها حس بویایی قوی دارند که به آنها اجازه می‌دهد آب را از فاصله ۲/۵ کیلومتری پیدا کرده و شتر دیگری را از فاصله ۱۱ کیلومتری تشخیص دهند. آنها می‌توانند تا ۶۰ کیلومتر در جستجوی غذا سفر کنند. شترها توانایی حفظ سرعت ثابت تا ۴۰ کیلومتر در ساعت را دارند در حالی که سرعت‌های لحظه‌ای تا ۶۵ کیلومتر در ساعت را نیز نشان می‌دهند. تحقیقات انجام شده در استرالیا نشان می‌دهد که شترها هنگام مواجهه با اتومبیل‌ها تمایل به شرکت در فعالیت‌های مسابقه‌ای با آنها را دارند (Gallacher, 2023).

حضور شترهای اهلی در نزدیکی بزرگراه‌ها یک اتفاق رایج است زیرا صاحبان آنها ترجیح می‌دهند برای استفاده از امکانات حمل و نقل در نزدیکی بزرگراه‌ها زندگی کنند. این تقابل با توجه به قابلیت پایین دیده شدن شترها چالش قابل توجه‌ای را برای رانندگان مخصوصا در طول شب ایجاد می‌کند و منجر به تصادفات شدید می‌شود (Jamal et all, 2019).

مسئله CVC مدت‌هاست که در منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا وجود دارد و محققان در حال بررسی راه‌حل‌های مختلفی برای مدیریت این حوادث هستند. روش‌های سنتی هر چقدر هم که مؤثر باشند دارای نواقصی هستند. به عنوان مثال علائم می‌توانند توسط رانندگان نادیده گرفته شوند و حیوانات راه‌هایی برای عبور از نرده‌های محافظ قرار داده شده پیدا کنند (Jägerbran et all, 2018). در حال حاضر در اکثر کشورهای حوزه خلیج فارس از حصارکشی به عنوان یک اقدام پیشگیرانه برای جلوگیری از ورود شترها به بزرگراه‌ها استفاده می‌شود. این موانع پیامد ناخواسته جداسازی و ایزوله کردن گله‌های شتر در زیستگاه طبیعی خود را دارند و همچنین به طور گسترده اذعان شده است که صاحبان شتر اغلب برای عبور حیوانات خود در حصارها روزنه‌هایی ایجاد می‌کنند که منجر به تصادفات احتمالی می‌شود (Pagany and Dorner, 2019).

می‌توان گفت راهکار کلی مطرح شده در این زمینه نصب انواع نرده‌های حفاظی است که به عنوان عامل بازدارنده برای جلوگیری از عبور حیوانات از جاده‌ها و بزرگراه‌ها عمل می‌کند. یک راهکار دیگر استفاده از علائم هشدار دهنده با موقعیت استراتژیک برای هشدار به کاربران جاده در مورد حضور حیوانات در مجاورت جاده است. این علائم از نمادها، نشانگرها و پیام‌های هشدار کوتاه متنوعی برای اطلاع دادن به رانندگان و ترغیب آنها به رانندگی با احتیاط و دقت استفاده می‌کنند که در نهایت منجر به کاهش سرعت وسیله نقلیه می‌شود. علاوه بر این

از تاریکی هوا تا صبح از روشنایی بزرگراه برای بهبود دید مسافران استفاده می‌شود و آنها را قادر می‌سازد تا در کنار ارائه دستورالعمل‌های قابل مشاهده در گذرگاه‌های مهم به راحتی در بزرگراه حرکت کنند (EimanKalil, 2025). یک مطالعه چندین فناوری دیگر مانند فناوری مبتنی بر حسگر، فناوری موبایل و فرکانس رادیویی بی‌سیم (RF) را هم در این حوزه قابل استفاده می‌داند. پیشنهاد این مطالعه شامل استفاده از یک رادار همه جهته است که حرکت شتر را در نزدیکی جاده تشخیص داده و اگر سرعت حرکت در یک محدوده خاص قرار گیرد آلارم‌ها و هشدارها برای رانندگان به صدا در می‌آیند (Saad and Alsayyari, 2020).

پیشنهاد پژوهشی دیگر شامل کاشت تراشه‌هایی در شترها است که می‌توان از طریق LoRaWAN و GPS آنها را ردیابی کرد و با نظارت بر موقعیت جغرافیایی شترها هنگام نزدیک شدن آنها به جاده‌ها هشدارهایی برای رانندگان ارسال کرد (Al Balush et all, 2019).

در یک راهکار دیگر سیستمی متشکل از دوربین‌های دید در شب و گوشی‌های شبکه تلفن همراه برای شناسایی و شبیه‌سازی حرکت شترها پیشنهاد شده است (Dorrazehi, 2020). در یک تحقیق دیگر نویسندگان، یک سیستم مبتنی بر جاده متشکل از حسگرهای بی‌سیم مادون قرمز متصل به یک گره چاهک را پیشنهاد کردند. حسگرها به صورت خوشه‌ای در امتداد کناره‌های جاده چیده شده‌اند و هر گره به یک دوربین حرارتی و حسگر فراصوت مجهز است. هنگامی که حرکتی تشخیص داده می‌شود، گره چاهک با دوربین حرارتی تصویری می‌گیرد و آن را تجزیه و تحلیل می‌کند. در صورت تأیید از راه دور، آلارم‌ها به صدا در می‌آیند (Saad and Alsayyari, 2019). همچنین در یک پژوش نشان داده می‌شود که حصارکشی در حال حاضر موثرترین راه حل است. با این حال این پژوهش آسیب و اختلال در اکوسیستم ناشی از حصارکشی را برجسته کرده و طراحی دروازه‌های گذرگاهی خودکاری را در طول جاده پیشنهاد کرده است که بر اساس نزدیکی سیگنال‌های رادیویی ارسال شده توسط گردنبند شترها باز می‌شوند (Alshbatat et all, 2019). در یک پژوهش با تمرکز آزمایش‌ها بر ارزیابی الگوریتم‌های مختلف تشخیص اشیا به این نتیجه می‌رسد که با پیشرفت در فناوری پیاده‌سازی هوش مصنوعی و بینایی کامپیوتر در سیستم‌های خودران مانند سیستم‌های هشدار، پتانسیل قابل توجه‌ای برای ایمنی جاده‌ها در برابر تصادفات برخورد با شتر بوجود می‌آید (AlNujaidi, 2023). در پژوهشی مشابه با تمرکز این کار بر آزمایش مدل‌های مختلف تشخیص شترها در جاده نشان می‌دهد که مدل تشخیص اشیا با استفاده از هوش مصنوعی[۷] از نظر دقت بهترین عملکرد را داشته و در آموزش کارآمدترین بوده است (AlNujaidi and AlHabib, 2023). در یک مقاله با استفاده از تکنیک بینایی رایانه‌ای، با پیشنهاد یک سیستم خودکار ساده و کم‌هزینه برای تشخیص حضور حیوان در جاده روشی را برای تعیین فاصله حیوان از وسیله نقلیه ارائه می‌دهد. به طور خاص، طرح هیستوگرام گرادیان‌های جهت‌دار در این کار به عنوان یک توصیفگر ویژگی برای تشخیص شیء (حیوان) استفاده می‌شود (Alsaid et all, 2024). در مقاله‌ای تحت عنوان برخورد خودرو با شتر در عربستان سعودی با هدف معرفی یک راه حل جدید برای رفع این مشکل نشان می‌دهد که مدل پیاده‌سازی آشکارساز تک مرحله‌ای Yolo v3 دقیق‌ترین ابزار مورد نیاز برای یک سیستم اجتناب از برخورد خودرو با شتر قابل اعتماد و خودکار را فراهم می‌کند (Alghamdi et all, 2024).

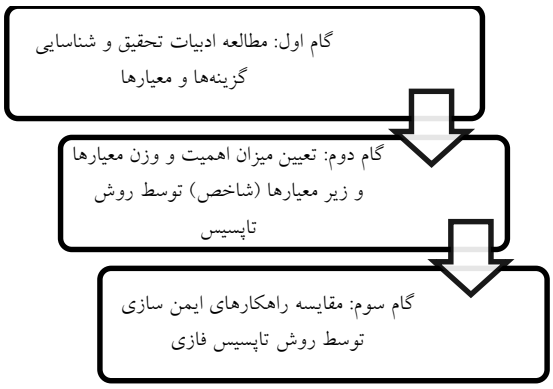
در همین راستا در تحقیقی دیگر یک راهکار بر اساس محاسبات کوانتومی برای تصادفات Camel-Vehicle معرفی می‌شود و استفاده از مدل‌های GPT-5 را در خودروهای خودران و با فناوری‌های پیشرفته برای رانندگی ایمن‌تر و حفاظت از حیات وحش معرفی می‌کند. این رویکرد نوآورانه الگوی جدیدی در فناوری خودروهای خودران ارائه می‌دهد و استانداردهای جدیدی را برای ایمنی و کارایی در حمل و نقل تعیین می‌کند (Abaddi, 2025).

۳- روش تحقیق

برای رسیدن به هدف پژوهش که معرفی، بررسی و اولویت‌بندی انواع روش‌های ایمن‌سازی محل‌های عبور شتر از جاده است از شیوه مقایسه همزمان راهکارهای ارائه شده با یکدیگر بر اساس معیارهای توصیفی استفاده می‌شود. این راهکارها و اقدامات پیشنهادی به عنوان گزینه‌های هدف، توسط معیارهای مشخص شده مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. از آنجایی که در این تحلیل به دلیل گستردگی حوزه‌های معیارسازی نیاز به غیر یکسان‌سازی وزن معیارهای برسی است

بهترین روش برای پاسخ به مسئله تحقیق، استفاده از شیوهای ارزیابی چند متغیره است. در این پژوهش ابتدا جهت تعیین و تخصیص اطلاعات و دادههای پیشنیاز از روش مطالعه کتابخانهای تحقیقات گذشته استفاده شده است و در مرحله بعدی منطقهای نظریه پردازی از الگوریتمهای ریاضی و فازی در روشهای سنجش چند معیاره تاپسیس بهره میبرند. بنابراین در ابتدا با مطالعه منابع موجود در زمینه روشهای ایمنسازی مرتبط با موضوع، گزینهها و راهکارهای ایمنسازی تعیین و اعتبارسنجی میشود سپس از متن ترجیحات اجتماعی، ایدهآلهای زیست محیطی و همچنین چهارچوبهای فنی و ترافیکی معیارهای تحلیل تبیین میشوند و در آخر نیز گزینههای رقابت بر اساس دو معیار (وزن شاخصها و برآورد میزان عملکرد گزینهها در آن شاخصها) مورد تجزیه و تحلیل قرار میگیرند.

مراحل اساسی روش پژوهش شامل گامهای شکل ۲ است.



شکل ۲. مراحل و گامهای روش تحقیق

۳-۱-تعریف گزینهها و معیارها

در گام اول تحقیق با استناد به مطالعات پژوهشی صورت گرفته در زمینه معرفی و تحلیل نمونههای موفق بینالمللی اقدامات کاهش آسیب تصادفات شتر و همچنین گزارشهای طرحهای اجرایی ملی انجام شده در حوزه ایمنیراه (مرتبط با تصادفات شتر) گزینههای رقابت در این پروژه در دو بخش مطابق جدول شماره ۱ تعریف میشوند. ساختار پژوهشی به این شکل است که انواع روشهای ایمنسازی گذرگاههای ویژه شتر در دو بخش راهکارهای جادهای و غیرجادهای وارد فرایند تحلیل میشوند. راهکارهای جادهای که به افزایش قدرت تشخیص راننده از عوامل خطر موجود در عرض جاده مربوط میشوند شامل انواع اقدامات ایمنسازی مبتی بر نقش جاده (زیرساخت حمل و نقل) و راننده هستند و همچنین راهکارهای ایمنسازی غیرجادهای، اقدامات مبتنی بر حیوان را شامل میشوند.

در گام دوم با انجام روش استدلال قیاسی در مطالعه و برسی منابع با توجه به خصوصیات جغرافیایی، ویژگیهای زیست محیطی، ظرفیتهای منابع طبیعی، ویژگیهای فیزیکی و رفتاری شتر و همچنین استعدادها و قابلیتهای حمل و نقل مناطق تحت مطالعه از برآیند مباحث مطرح شده در قسمت پژوهشهای پیشین، حیطه موضوعی معیارها اقتباس میشود. سپس با درنظر گرفتن کارکردهای تعریف شده معیارها، شاخصهایی جامع و قابل اندازهگیری به نمایندگی از محتوای معیارها تدوین میشود (جدول ۲).

اقدامات آگاهیبخشی به رانندگان به آن دسته از اقداماتی اطلاق میشود که دربرگیرنده عوامل ثابت جادهای هستند نظیر تجهیزات کنترل ترافیک (انواع تابلوهای اخطاری و اخباری، علائم افقی و ...)، روشنسازی مقاطع (روشنایی جادهای در طول گذرگاه و یا به صورت روشنایی نقطهای حاشیه راه در اطراف گذرگاه با استفاده از چراغهای سولار ترافیکی) و همچنین مدیریت سرعت یا آرامسازی ترافیک (استراتژیهای کاهش سرعت ترافیک مانند دوربین کنترل سرعت، سرعتگیر و سرعتکاه). اقدامات هشداردهی به رانندگان بر اساس عوامل غیرثابت مانند استفاده از سامانههای هوشمند تشخیص و ایجاد هشدار در صورت نزدیکی یا حضور شتر در جاده و یا ناحیه خطر اطراف جاده از طریق ارسال هشدار به تلفن همراه و یا سختافزارهای هوشمند موجود در وسیله نقلیه و یا بهرهگیری از هشدارهای نوری و صوتی یا تصویری (تابلوهای پیام متغیر) در جاده عمل میکنند. اقدامات غیرجادهای نیز استفاده از قابلیتهای عوامل غیرجادهای را شامل میشود که در دو بخش کنترل و مدیریت موقت گذرگاهها برای عبور ایمن شتر به وسیله ساربانها و یا عوامل راهداری و همچنین اقدامات افزایش قابلیت دیدهشدن حیوان خصوصا در هنگام شب، مانند ایجاد قابلیت بازتابندگی، درخشش و تابش نوری همچون نصب گردنبند و شکمبند بازتابی و پابند چشمکزن و عوامل کنترل از دور حیوان به وسیله سختافزارهای مکانیابی به منظور جلوگیری از پرسه زدن شتر در طول جاده است.

جدول ۱. راهکارهای ایمن‌سازی

ردیف	نوع راهکار	نوع اقدام	گزینه
۱	جاده‌ای	آگاهی‌بخشی به رانندگان	تجهیزات کنترل ترافیک
۲			روشن‌سازی مقاطع
۳			مدیریت سرعت
٤		هشداردهی به رانندگان	آلارم هوشمند راننده
٥			آلارم هوشمند جاده
٦	غیر جاده‌ای	ایمنی عبور شتر	استفاده از ساربان
۷			استفاده از راهدار
۸		ایمنی فیزیکی شتر	آشکارسازی فیزیکی
۹			رصد مکانی هوشمند

جدول ۲. معیار و شاخص‌های تحلیل

ردیف	معیار	شاخص
۱	اقتصادی	صرفه هزینه نصب و راه‌اندازی
۲	اقتصادی	صرفه هزینه نگهداری و تعمیر
۳	فنی	عملکرد در انواع شرایط آب و هوایی
٤	فنی	قابلیت اجرا در جاده‌های طولانی
٥	زیست بوم	سازگاری با محیط زیست
٦	ترافیکی	عدم تاثیر بر کیفیت تردد
۷	ترافیکی	تطابق با انواع وسیله نقلیه

شاخص‌های اقتصادی به انواع هزینه‌های مالی مربوط به خرید، نصب، راه‌اندازی، نگهداری و تعمیر هرکدام از گزینه‌ها در بلند مدت با توجه به شرایط وسعت مناطق ایمن‌سازی می‌شود. این هزینه‌ها به صورت مستقیم و مستمر متوجه مراکز مدیریت ایمنی راه‌ها است و این شاخص نقش عواملی همچون یارانه‌های دولتی، مشارکت دامداران، مشارکت سمن‌های ایمنی و ... را در جبران بخشی از هزینه‌ها در نظر نگرفته است.

شاخص‌های فنی نیز گزینه‌های معرفی شده را از بعد مسائل مربوط به قابلیت‌های اجرایی در بلند مدت در انواع محیط‌های جغرافیایی و انواع راه‌های برون شهری و همچنین بازدهی کیفی در شرایط آب و هوایی مختلف مورد تحلیل قرار می‌دهد.

معیارهای ترافیکی نقش گزینه‌های مطرح شده را در دو شاخص تاثیر اجرای گزینه‌ها بر کیفیت ترافیکی عبوری از محور را بررسی می‌کند که شامل پارامترهای جاده‌ای مانند سرعت حرکت، راحتی حرکت، شلوغی مقطع و ... می‌شود. همچنین تطابق امکانات و خصوصیات انواع وسیله نقلیه سواری، وانت، سنگین، کشاورزی و موتور سیکلت با نحوه کارکرد گزینه‌ها از پارامترهای دیگر شاخص ترافیکی تحلیل در این بخش است.

محیط بررسی بایستی مطلوبیت هر سه بخش تاثیر گذار و مرتبط با عملکرد راهکارهای ایمن‌سازی یعنی حفظ محیط زیست، کیفیت ترافیک و سلامت حیوان را در برگیرد تا اجماع مشترکی بر سر تعلق امتیازات حاصل شود از این رو شاخص مربوط به سازگاری با محیط زیست به تحلیل گزینه‌های ایمن‌سازی از منظر اثرگذاری بر زیست بوم اطراف (روان‌آب، پوشش گیاهی و ...) و عوامل دامپروری و خصوصیات رفتاری حیوان می‌پردازد.

۲-۳- روش تاپسیس

از روش تاپسیس برای اولویت بندی گزینه‌ها بر اساس تعدادی معیار استفاده می‌شود. مدل تاپسیس یکی از تکنیک‌های روش AHP و از جمله بهترین‌های مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است. در این تکنیک فرض بر آن است که معیارهای تصمیم‌گیری به طور یکنواخت افزایشی یا کاهشی هستند. اساس تکنیک تاپسیس، بر این مفهوم استوار است که گزینه انتخابی باید کمترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیشترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد. تکنیک‌های ریاضی این عملیات شامل شش گام می‌شود. در گام اول ماتریس تصمیم‌گیری را تشکیل داده (رابطه ۱) و با استفاده از روش‌های بی‌مقیاس‌سازی نرمالایزسیون می‌شود (رابطه ۲).

$$R_{ij}=\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ . & . & \dots & . \\ . & . & \dots & . \\ . & . & \dots & . \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \qquad (۱)$$

$$rij=\frac{x_{ij}}{\sqrt{\Sigma_{i=1}^{m} xij^{\wedge 2}}} \qquad (۲)$$

جدول ۳. طیف زبانی معادل فازی پرسشنامه دوم

متغیر زبانی	معادل فازی
خیلی ضعیف	(۰،۰،۰/۱)
ضعیف	(۰،۰/۰،۱/۳)
ضعیف تا متوسط	(۰/۰،۱/۰،۳/۵)
متوسط	(۰/۰،۳/۰،۵/۷)
تقریبا خوب	(۰/۰،۵/۰،۷/۹)
خوب	(۰/۰،۷/۱،۹)
خیلی خوب	(۰/۱،۱،۹)

جدول ٤. طیف زبانی معادل فازی پرسشنامه اول

متغیر زبانی	معادل فازی
خیلی کم اهمیت	(۰،۰،۰/۲۵)
کم اهمیت	(۰،۰/۰،۲۵/۵)
اهمیت متوسط	(۰/۰،۲۵/۰،۵/۷۵)
مهم	(۰/۰،۵/۱،۷۵)
خیلی مهم	(۰/۱،۱،۷۵)

گام دوم به بی‌مقیاس سازی ماتریس تصمیم‌گیری با نرم اقلیدسی می‌پردازد (در ماتریس بی‌مقیاس شده N هر درایه آن با n_{ij} نشان داده می‌شود).

هر n_{ij} با تقسیم درایه متناظر در ماتریس اولیه بر جذر مجموع مربعات عناصر ستون متناظر و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} r_{ij}^2}} \qquad (۳)$$

در گام سوم ماتریس بی‌مقیاس موزون تشکیل می‌گردد. به طور کلی در این گام ماتریس بی‌مقیاس N به ماتریس بی‌مقیاس موزون V تبدیل می‌شود. وزن هریک از شاخص‌ها با استفاده از تکنیکی انتروپی AHP, ANP و ... محاسبه می‌شود.

پس ماتریس بی‌مقیاس شده را در ماتریس مربعی w_{n*n} که عناصر قطر اصلی آن اوزان شاخص‌ها و دیگر عناصر آن صفر است ضرب می‌شود (رابطه ٤).

$$V = N * W_{n*n} \qquad (٤)$$

در گام بعد برای هر معیار یک ایده‌آل مثبت و یک ایده‌آل منفی با استفاده از روابط ۵ و ٦ در زیر محاسبه می‌شود.

$$d^+ = \left\{\left(\max \mathcal{V}_{ij}/j \in j\right), \left(\min \mathcal{V}/j \in j\right)\{i = 1,2,\dots,m\}\right\} = \{\mathcal{V}_1^+, \mathcal{V}_2^+, \dots, \mathcal{V}_n^+\} \qquad (۵)$$

$$d^- = \left\{\left(\min \mathcal{V}_{ij}/j \in j\right), \left(\max \mathcal{V}/j \in j\right)\{i = 1,2,\dots,m\}\right\} = \{\mathcal{V}_1^-, \mathcal{V}_2^-, \dots, \mathcal{V}_n^-\} \qquad (٦)$$

در گام پنجم فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایده‌آل مثبت و منفی با روابط ۷ و ۸ محاسبه می‌شود.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(\mathcal{V}_{ij} - \mathcal{V}_j^+\right)^2}\,.\,\mathrm{i} = 1,..,\mathrm{m} \qquad (۷)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(\mathcal{V}_{ij} - \mathcal{V}_j^-\right)^2}\,.\,\mathrm{i} = 1,..,\mathrm{m} \qquad (۸)$$

و در گام آخر سنجش نزدیکی هر گزینه به حالت ایده‌آل حساب می‌شود. برای این کار از رابطه ۹ استفاده می‌شود.

$$\mathrm{C_i} = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad , \quad \mathrm{i=1,2,\dots m} \qquad (۹)$$

مقدارعددی Ci بین صفر و یک است. هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد راهکار به جواب ایده‌آل نزدیکتر است و راهکار بهتری است. برای انجام محاسبات تکنیک تاپسیس به‌صورت فازی نخست باید از یک طیف زبانی مناسب برای گردآوری داده‌ها استفاده کرد.

در این مرحله یک مقیاس زبانی هفت درجه برای امتیازدهی به عملکرد هر سیستم مطابق جدول شماره ۳ و همچنین طیف پنج درجه برای رتبه‌بندی میزان اهمیت معیارها مطابق جدول شماره ٤ طراحی شده است که به شرح ادامه است.

۳-۳- جمع‌آوری اطلاعات

پرسشنامه‌ها ابزار اصلی جمع‌آوری داده‌های این پژوهش هستند که از طرق میدانی و الکترونیکی توزیع و جمع‌آوری می‌شوند. باید در هنگام طرح سوال‌های این پرسشنامه‌ها ابتدا به روایی آنها توجه کرد. مقصود از روایی این است که آیا ابزار اندازه‌گیری مورد نظر می‌تواند ویژگی و خصوصیتی که ابزار برای آن طراحی شده است را اندازه‌گیری کند یا خیر؟ در اینجا باید به این سوال پاسخ داده شود که آیا سوال‌های طرح شده برای پرسشنامه‌ها می‌تواند نتیجه مورد نظر پژوهش در هر مرحله را به دست آورد؟ برای پاسخ به این سوال، ابتدا سوالات پرسشنامه‌ها به ٦ نفر از خبرگان برای کنترل انتقال مفاهیم داده می‌شود (عموما جامعه آماری روایی پرسشنامه از یک گروه حداقل ٤ نفری از خبرگان انتخاب می‌شود) و پس از تایید روایی کیفی سیر مفهومی سوالات و مقبولیت آزمون روایی محتوایی به شکل کمی با استفاده از ضریب نسبی روایی محتوا (CVR)، انتخاب جامعه و نمونه آماری صورت می‌گیرد. حجم نمونه تا حد زیادی به هدف و روش تحقیق بستگی دارد. هنگامی که پیش‌بینی تفاوت نظرات خبرگی کم یا با همبستگی بالا باشد از بین جامعه خبرگان، حجم نمونه هر مقداری را با توجه به حجم و اهمیت پژوهش می‌تواند اختیار کند.

پس در مرحله‌ی اول فرایند اخذ اطلاعات آماری، به منظور وزن‌دهی به معیارها از جامعه آماری مطابق جدول شماره ۵ خواسته می‌شود که از طریق پرسشنامه کتبی یا الکترونیکی مطابق طیف جدول شماره ٤ اهمیت معیارها را مشخص کنند. برای اخذ اطلاعات از پرسشنامه دوم جهت آنالیز قسمت اصلی تاپسیس علاوه بر افراد فوق، در این مرحله به جامعه آماری گسترده‌تری که بتواند درک دقیق‌تری از مسائل و چالش‌های به‌روز حمل و نقل داشته باشند نیاز است. برای جامعه آماری پرسشنامه دوم علاوه بر جامعه نخبگی در پرسشنامه اول، بر اساس یک نمونه ۸۰ نفری (مطابق فرمول مورگان) از جامعه آماری ۱۰۰ نفره مدیران و کارشناسان حوزه‌های اجرایی مرتبط با موضوع طرح (راه و شهرسازی، راهداری و حمل و نقل جاده‌ای، منابطع طبیعی، آبخیز داری، جهاد کشاورزی، پلیس راه، دامپروران بومی) در سه استان (کرمان، سیستان و بلوچستان و هرمزگان) برای کسب اطلاعات پایه‌ای مورد نظر پرسشنامه اخذ شده است (جدول شماره ٦).

جدول ۵. اعضای جامعه آماری پرسشنامه الف

ردیف	اعضا	تعداد	نحوه ارتباط
۱	اساتید دانشگاه	۲۰	حوزه مطالعات
۲	پژوهشگران دانشگاهی	۱۵	حوزه مطالعات

جدول ٦. اعضای جامعه آماری مرحله دوم تاپسیس

ردیف	اعضا	تعداد	نحوه ارتباط با موضوع
۱	اساتید دانشگاه	۲۰	حوزه مطالعات
۲	پژوهشگران دانشگاهی	۲۰	حوزه مطالعات
۳	مدیران و کارشناسان	۸۰	حوزه اجرایی

٤- نتایج تحلیل داده‌ها

طبق مراحل روش تاپسیس در ابتدا به تعیین وزن معیارهای تعیین شده پرداخته می‌شود. تمامی پاسخ‌های جمع‌آوردی شده ۳۵ پاسخگو پرسشنامه اول از نظر مفهومی دارای درجه اعتباری خوبی بودند و به عنوان داده قابل اعتماد مبنای کار قرار می‌گیرند. برای نرمال کردن اعداد حاصله و بدست آمدن ماتریس ضرایب اهمیت از رابطه ۱۰ استفاده شده است. این رابطه برای تجمیع مجموعه‌ای از اعداد فازی مثلثی کمینه l و میانگین m و بیشینه u در نظر می‌گیرد.

$$F_{AGR}=\left(MIN\{L\},\frac{\Sigma_1^n m}{n},MAX\{u\}\right) \qquad (۱۰)$$

در این قسمت از روش (کمینه، میانگین، بیشینه) و با استفاده از نرم افزار EXCELL با فرمول نویسی AVARAGE MAX وMIN ماتریس وزن معیارها بدست می‌آید (تصویر شماره ۳). بر اساس نتایج این مرحله بالاترین وزن میانگین شاخص‌ها مربوط به صرفه هزینه ساخت و بهره‌برداری و تاثیر بر کیفیت تردد، پس از آن رتبه‌های دوم و سوم وزنی به ترتیب بین شاخص‌های سازگاری با محیط زیست و صرفه هزینه نگه‌داری و تعمیر توزیع می‌شود.

	نام معیار	نوع معیار	L	M	U
1	صرفه هزینه ساخت	+	0.6	0.75	0.9
2	صرفه هزینه نگهداری	+	0.25	0.5	0.65
3	عملکرد در شرایط جوی	+	0.2	0.4	0.6
4	قابلیت اجرا در جاده طولانی	+	0.15	0.3	0.45
5	سازگاری با محیط زیست	+	0.5	0.7	0.85
6	کیفیت تردد	+	0.6	0.75	0.9
7	تطابق با انواع وسیله نقلیه	+	0.143	0.3	0.45

شکل ۳. توزیع وزنی شاخص‌ها

در گام دوم و اصلی تحلیل داده‌های برگرفته شده از ۱۲۰ پرسشنامه دوم مطابق طیف جدول شماره ۳ جهت انجام کلیه عملیات‌ها به نرم‌افزار FUZZY TOPSIS SOLVER وارد می‌شوند. در عملیات اول، ماتریس امتیازدهی به عملکرد سیستم‌ها با توجه به تعداد شاخص‌های تصمیم‌گیری و گزینه‌های تحلیلی، در فرم X_{g*7} تعیین می‌گردد (شکل ٤) که پس از تشکیل بایستی عملیات بی‌مقیاس سازی آن انجام شود. سپس با ضرب ماتریس اوزان معیارها در ماتریس قبل، ماتریس موزون تصمیم تشکیل می‌گردد و سپس ایده‌آل‌های مثبت و منفی ترسیم می‌شوند.

در گام بعدی برای هر شاخص یک ایده آل مثبت (A+) و یک ایده آل منفی(A-) محاسبه می‌شود (جدول ۷). در این پژوهش برای ساده کردن تحلیل نتایج در همان ابتدا تمام معیارها به صورتی در نظر گرفته شده که بار مثبت داشته باشند به این معنی که امتیاز بالاتر برای هر سیستم نشان دهنده بهتر بودن آن سیستم شود. مثلاً تاثیر بر کیفیت تردد با واژه (کمتر) و عملکرد در شرایط جوی مختلف با واژه (بیشتر) مورد سؤال قرار می‌گیرد. در گام آخر میزان نزدیکی نسبی هر گزینه به راه‌حل ایده‌آل و فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایده‌آل مثبت و منفی مشخص خواهد شد (جدول ۸).

	صرفه هزینه ساخت	صرفه هزینه نگهداری	عملکرد در شرایط جوی	قابلیت اجرا در جاده طولانی	سازگاری با محیط زیست	کیفیت تردد	تطابق با انواع وسیله نقلیه
تجهیزات کنترل ترافیک	(6.200,8.200,9.600)	(5.800,7.800,9.200)	(6.200,8.200,9.600)	(5.400,7.400,9.000)	(7.400,9.200,10.000)	(3.400,5.400,7.400)	(7.800,9.200,9.800)
روشن سازی	(1.000,2.600,4.600)	(2.400,4.200,6.200)	(2.800,4.600,6.400)	(3.000,4.600,6.200)	(4.200,6.200,8.200)	(8.200,9.600,10.000)	(8.600,9.800,10.000)
مدیریت سرعت	(2.600,4.600,6.600)	(2.200,4.200,6.200)	(5.800,7.800,9.400)	(1.000,2.400,4.200)	(7.800,9.400,10.000)	(0.000,0.800,2.600)	(1.800,3.800,5.800)
آلارم راننده	(0.200,1.000,2.600)	(0.800,2.000,3.800)	(2.200,4.200,6.000)	(3.200,5.000,7.000)	(7.400,9.200,10.000)	(6.600,8.000,8.800)	(0.000,0.400,1.800)
آلارم جاده	(0.600,2.000,3.800)	(0.000,1.000,3.000)	(1.800,3.800,5.800)	(3.200,5.000,7.000)	(5.800,7.600,8.800)	(5.000,6.800,8.200)	(5.800,7.600,8.800)
استفاده از ساربان	(2.600,4.600,6.400)	(3.800,5.800,7.600)	(4.600,6.600,8.200)	(0.400,1.600,3.400)	(8.200,9.600,10.000)	(5.800,7.600,8.800)	(7.400,9.200,10.000)
استفاده از راهدار	(0.800,2.200,4.200)	(0.200,1.400,3.400)	(3.600,5.400,7.000)	(0.600,2.200,4.200)	(7.400,9.200,10.000)	(6.600,8.200,9.200)	(7.400,9.200,10.000)
آشکارسازی شتر	(2.200,4.200,6.200)	(1.600,3.400,5.400)	(0.400,1.800,3.800)	(6.200,8.200,9.600)	(0.000,1.000,3.000)	(6.200,8.200,9.400)	(5.400,7.400,9.000)
رصد مکانی	(0.600,1.600,3.400)	(0.800,2.200,4.200)	(5.000,7.000,8.600)	(3.600,5.400,7.000)	(5.000,7.000,8.600)	(7.000,9.000,10.000)	(7.400,9.200,10.000)

شکل ٤. گام دوم تاپسیس، تشکیل ماتریس میانگین

	صرفه هزینه ساخت	صرفه هزینه نگهداری	عملکرد در شرایط جوی	قابلیت اجرا در جاده طولانی	سازگاری با محیط زیست	کیفیت تردد	تطابق با انواع وسیله نقلیه
تجهیزات کنترل ترافیک	(0.646,0.854,1.000)	(0.630,0.848,1.000)	(0.646,0.854,1.000)	(0.563,0.771,0.938)	(0.740,0.920,1.000)	(0.340,0.540,0.740)	(0.780,0.920,0.980)
روشن سازی	(0.104,0.271,0.479)	(0.261,0.457,0.674)	(0.292,0.479,0.667)	(0.313,0.479,0.646)	(0.420,0.620,0.820)	(0.820,0.960,1.000)	(0.860,0.980,1.000)
مدیریت سرعت	(0.271,0.479,0.688)	(0.239,0.457,0.674)	(0.604,0.813,0.979)	(0.104,0.250,0.438)	(0.780,0.940,1.000)	(0.000,0.080,0.260)	(0.180,0.380,0.580)
آلارم راننده	(0.021,0.104,0.271)	(0.087,0.217,0.413)	(0.229,0.438,0.625)	(0.333,0.521,0.729)	(0.740,0.920,1.000)	(0.660,0.800,0.880)	(0.000,0.040,0.180)
آلارم جاده	(0.063,0.208,0.396)	(0.000,0.109,0.326)	(0.188,0.396,0.604)	(0.333,0.521,0.729)	(0.580,0.760,0.880)	(0.500,0.680,0.820)	(0.580,0.760,0.880)
استفاده از ساربان	(0.271,0.479,0.667)	(0.413,0.630,0.826)	(0.479,0.688,0.854)	(0.042,0.167,0.354)	(0.820,0.960,1.000)	(0.580,0.760,0.880)	(0.740,0.920,1.000)
استفاده از راهدار	(0.083,0.229,0.438)	(0.022,0.152,0.370)	(0.375,0.563,0.729)	(0.063,0.229,0.438)	(0.740,0.920,1.000)	(0.660,0.820,0.920)	(0.740,0.920,1.000)
آشکارسازی شتر	(0.229,0.438,0.646)	(0.174,0.370,0.587)	(0.042,0.188,0.396)	(0.646,0.854,1.000)	(0.000,0.100,0.300)	(0.620,0.820,0.940)	(0.540,0.740,0.900)
رصد مکانی	(0.063,0.167,0.354)	(0.087,0.239,0.457)	(0.521,0.729,0.896)	(0.375,0.563,0.729)	(0.500,0.700,0.860)	(0.700,0.900,1.000)	(0.740,0.920,1.000)

شکل ۵. ماتری تصمیم‌گیری بی‌مقیاس

	صرفه هزینه ساخت	صرفه هزینه نگهداری	عملکرد در شرایط جوی	قابلیت اجرا در جاده طولانی	سازگاری با محیط زیست	کیفیت تردد	تطابق با انواع وسیله نقلیه
تجهیزات کنترل ترافیک	(0.388,0.641,0.900)	(0.158,0.424,0.650)	(0.129,0.342,0.600)	(0.084,0.231,0.422)	(0.370,0.644,0.850)	(0.204,0.405,0.666)	(0.112,0.276,0.441)
روشن سازی	(0.063,0.203,0.431)	(0.065,0.228,0.438)	(0.058,0.192,0.400)	(0.047,0.144,0.291)	(0.210,0.434,0.697)	(0.492,0.720,0.900)	(0.123,0.294,0.450)
مدیریت سرعت	(0.163,0.359,0.619)	(0.060,0.228,0.438)	(0.121,0.325,0.588)	(0.016,0.075,0.197)	(0.390,0.658,0.850)	(0.000,0.060,0.234)	(0.026,0.114,0.261)
آلارم راننده	(0.013,0.078,0.244)	(0.022,0.109,0.268)	(0.046,0.175,0.375)	(0.050,0.156,0.328)	(0.370,0.644,0.850)	(0.396,0.600,0.792)	(0.000,0.012,0.081)
آلارم جاده	(0.038,0.156,0.356)	(0.000,0.054,0.212)	(0.038,0.158,0.363)	(0.050,0.156,0.328)	(0.290,0.532,0.748)	(0.300,0.510,0.738)	(0.083,0.228,0.396)
استفاده از ساربان	(0.163,0.359,0.600)	(0.103,0.315,0.537)	(0.096,0.275,0.513)	(0.006,0.050,0.159)	(0.410,0.672,0.850)	(0.348,0.570,0.792)	(0.106,0.276,0.450)
استفاده از راهدار	(0.050,0.172,0.394)	(0.005,0.076,0.240)	(0.075,0.225,0.438)	(0.009,0.069,0.197)	(0.370,0.644,0.850)	(0.396,0.615,0.828)	(0.106,0.276,0.450)
آشکارسازی شتر	(0.138,0.328,0.581)	(0.043,0.185,0.382)	(0.008,0.075,0.238)	(0.097,0.256,0.450)	(0.000,0.070,0.255)	(0.372,0.615,0.846)	(0.077,0.222,0.405)
رصد مکانی	(0.038,0.125,0.319)	(0.022,0.120,0.297)	(0.104,0.292,0.538)	(0.056,0.169,0.328)	(0.250,0.490,0.731)	(0.420,0.675,0.900)	(0.106,0.276,0.450)

شکل ٦. ماتریس بی‌مقیاس وزین

جدول ۷. راه حل ایده آل مثبت و منفی

نام معیار	ایده آل مثبت	ایده آل منفی
صرفه هزینه ساخت	(0.388,0.641,0.900)	(0.013,0.078,0.244)
صرفه هزینه نگهداری	(0.158,0.424,0.650)	(0.000,0.054,0.212)
عملکرد در شرایط جوی	(0.129,0.342,0.600)	(0.008,0.075,0.238)
قابلیت اجرا در جاده طولانی	(0.097,0.256,0.450)	(0.006,0.050,0.159)
سازگاری با محیط زیست	(0.410,0.672,0.850)	(0.000,0.070,0.255)
کیفیت تردد	(0.492,0.720,0.900)	(0.000,0.060,0.234)
تطابق با انواع وسیله نقلیه	(0.123,0.294,0.450)	(0.000,0.012,0.081)

جدول ۸. فاصله از ایده آل مثبت و منفی

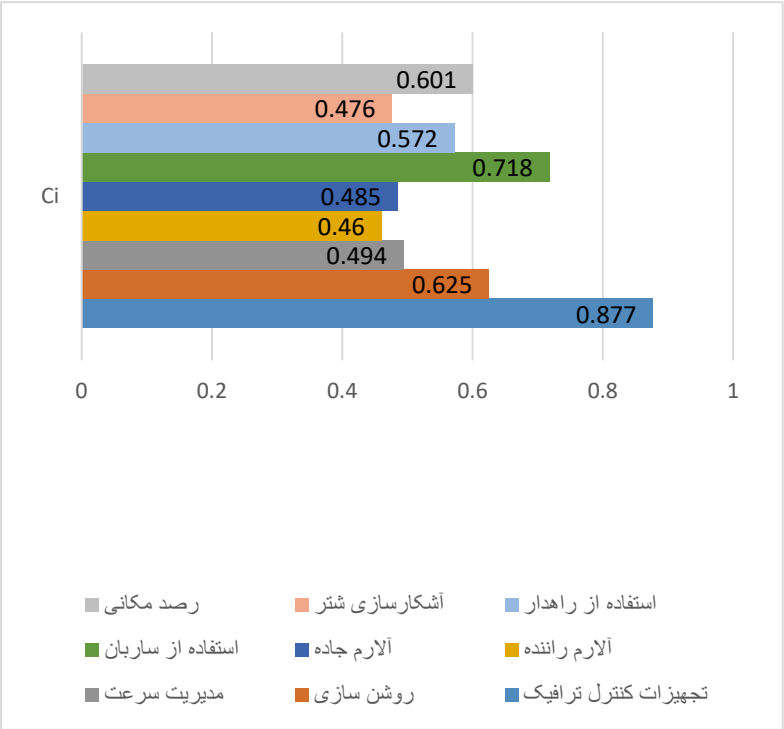
نام گزینه	فاصله ایده آل مثبت	فاصله ایده آل منفی
تجهیزات کنترل ترافیک	0.345	2.475
روشن سازی	1.056	1.758
مدیریت سرعت	1.425	1.389
آلارم راننده	1.518	1.292
آلارم جاده	1.451	1.364
استفاده از ساربان	0.795	2.019
استفاده از راهدار	1.209	1.613
آشکارسازی شتر	1.478	1.342
رصد مکانی	1.13	1.699

پس از آنالیز تمامی داده‌های آماری در طی مراحل فوق خروجی نهایی محاسبات نرم افزار به صورت نتایج رتبه‌بندی ۹ گزینه هدف تحلیل یعنی راهکارهای ایمن‌سازی حاصل گردید که در جدول شماره ۹ به تشریح آمده است. برای درک بهتر از نتایج رقابت گزینه‌ها، در شکل ۷ نمودار مقایسه‌ای بین رتبه‌های ماخذه هر ۹ گزینه رقابتی نمایش داده شده است.

همان‌طور که انتظار می‌رفت با توجه به اوزان کسب شده شاخص‌ها، گزینه‌های مربوط به ایمن‌سازی ترافیکی در مقایسه با سایر گزینه‌های پیشنهادی از امتیاز بالاتری برخوردار است و حتی از لحاظ نزدیکی به ایده‌آل‌های مثبت نیز دارای جایگاه کاملاً مطلوبی است. سپس گزینه اصلی رقابت با گزینه‌های ایمن‌سازی ترافیکی، استفاده از ظرفیت ساربان‌های گله برای ایجاد شرایط ایمن گذرگاه است که در رتبه دوم شباهت با ایده‌آل مثبت قرار می‌گیرد.

جدول ۹. رتبه بندی گزینه‌های رقابت

نام گزینه	Ci	رتبه
تجهیزات کنترل ترافیک	۰/۸۷۷	۱
روشن سازی	۰/۶۲۵	۳
مدیریت سرعت	۰/۴۹۲	۶
آلارم راننده	۰/۴۶	۹
آلارم جاده	۰/۴۸۵	۷
استفاده از ساربان	۰/۷۱۸	۲
استفاده از راهدار	۰/۵۷۲	۵
آشکارسازی شتر	۰/۴۷۶	۸
رصد مکانی	۰/۶۰۱	۴



شکل ۷. مقایسه گزینه‌ها

٤-١- اعتبارسنجی مدل

جهت راستی‌آزمایی و همچنین اعتماد نسبت به اعتبار مدل معرفی شده نتایج حاصله این مدل با نتایج اطلاعات تحلیلی از داده‌های مشابه برگرفته از راهکار تحلیل دیمتل[9] فازی (به عنوان یک تکنیک تصمیم گیری چند معیاره برای شناسایی اجزای زنجیره علت معلولی یک سیستم پیچیده) مطابقت داده می‌شوند. در این روش داده‌ها با استفاده از طیف پرسشنامه دیمتل و تشکیل ماتریس ارتباط مستقیم دیمتل جمع‌آوری و وارد تحلیل چندمرحله‌ای شامل نرمال سازی ماتریس ارتباط مستقیم، محاسبه ماتریس ارتباط کامل و ایجاد نمودار علی می‌شوند.

جدول ۱۰. خروجی نهایی دیمتل

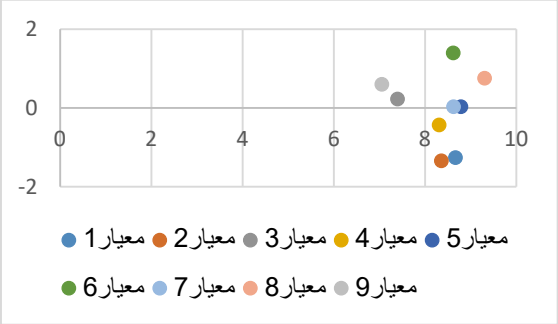
	گزینه	R	D	D+R	D-R
۱	رصد مکانی	4.96	3.706	8.669	-1.257
۲	مدیریت سرعت	4.84	3.509	8.357	-1.338
۳	آشکارسازی شتر	3.58	3.813	7.402	0.224
٤	آلارم جاده	4.37	3.938	8.309	-0.434
٥	روشن‌سازی	4.37	4.408	8.787	0.029
٦	راهدار	3.61	5.009	8.622	1.395
۷	ساربان	4.3	4.33	8.63	0.03
۸	تجهیزات کنترل	4.27	5.028	9.304	0.753
۹	آلارم راننده	3.22	3.825	7.053	0.598

- D میزان تاثیر گذاری متغیرها (جمع عناصر هر سطر): در این قسمت از تحلیل گزینه تجهیزات کنترل ترافیک از بیشترین تاثیر گذاری برخوردار است و گزینه استفاده از راهدار و روشن‌سازی در درجات بعدی تاثیرگذاری قرار دارند.

- R میزان تاثیرپذیری متغیرها (جمع عناصر ستون): برای هر عامل نشانگر میزان تاثیرپذیری آن عامل از سایر عامل‌های سیستم است. در این تحقیق گزینه رصد مکانی از بیشترین تاثیر پذیری برخوردار است.

- بردار افقی (D + R) میزان تاثیر و تاثر عامل مورد نظر در سیستم: در این تحقیق تحلیل گزینه تجهیزات کنترل ترافیک از بیشترین تاثیر گذاری برخوردار است و گزینه‌های روشن‌سازی و رصد مکانی در درجات بعدی تاثیرگذاری قرار دارند.

- بردار عمودی D - R (قدرت تاثیرگذاری هر عامل): در این تحقیق گزینه‌های ۳، ٥، ٦، ۷، ۸ و ۹ علی بوده و گزینه‌های معیار ۱، ۲، و ٤ معلول به حساب می‌آیند.



٥- نتیجه‌گیری

همانطور که بیان شد هدف این پژوهش اولویت‌بندی انواع راهکارهای ایمن‌سازی عبور شتر از عرض جاده برای ایجاد توسعه پایدار ایمنی حمل و نقل در مسیرهای دارای احتمال وقوع تصادفات از نوع برخورد وسیله نقلیه با شتر است که در قالب یک مدل مقایسه‌ای برای گزینه‌های پیشنهادی ایمن‌سازی با ساختاری از روابط و اهمیت گذاری‌ها بیان می‌شود. در این پژوهش ایده‌آل‌ها و آرمان‌های حفاظت از منابع طبیعی و محیط زیست، ویژگی‌های رفتارشناسی حیوان شتر و ساختار فیزیکی آن و همچنین پارامترهای جاده‌ای دخیل در ایمنی سفر از جمله خصوصیات کاربر سفر (راننده)، کارکرد انواع وسیله نقلیه و ظرفیت‌های زیرساخت حمل و نقل ساختار فرآیند طراحی، ارزیابی و تحلیل مسئله را مشخص می‌کنند. در قسمت ارزیابی معیارهای ایمن‌سازی، هر چهار بخش معرفی شده یعنی اقتصادی، فنی، ترافیکی و محیط زیستی دارای اهمیت مطلوب و مناسبی برای تحلیل هستند لذا در طراحی یک سیستم جدید و یا به‌روزرسانی سامانه‌های موجود بایستی به معیارهای هر چهار بخش فوق بیشتر از گذشته اهمیت داد. مطابق نتایج حاصل شده معیارهای اقتصادی دارای بیشترین ضریب اهمیت و پس از آن با اختلافی اندکی معیارهای ترافیکی دارای ضریب اهمیت بالایی هستند و معیارهای فنی و محیط زیست نیز هرچند دارای مقدار اهمیت مطلوبی هستند ولی در مقایسه با سایر معیارهای در جایگاه‌های بعدی اهمیت قرار می‌گیرند.

در قسمت‌های بعدی تحلیل پژوهش مشخص می‌شود که هر دو بخش راهکارهای ایمن‌سازی تبیین شده یعنی راهکارهای جاده‌ای و غیرجاده‌ای با اتکا به امتیازهای ci کسب شده دارای میزان اثرگذاری قابل قبولی بر ارتقا سطح ایمنی گذرگاه‌های جاده‌ای شتر هستند ولی از لحاظ معدل جایگاه‌ها و ci بدست آمده با اختلاف ناچیز راهکارهای ترافیکی در رده‌بندی جایگاه نخست و از لحاظ مطلوبیت نیز رتبه قابل قبول‌تری کسب می‌کنند. با نگاه جزئی‌تر تفکیک درون‌بخشی گزینه‌های آگاهی بخشی به راننده نسبت به گزینه‌های هشداردهی به راننده دارای جایگاه مطلوب‌تری و همچنین گزینه‌های ایمنی عبور شتر نسبت به ایمنی فیزیکی شتر دارای جایگاه بهتری هستند. گزینه استفاده از تجهیزات کنترل ترافیک شامل انواع تابلوهای اخطاری و اخباری، علائم افقی و ... با ۰/۸۷۷ امتیاز ci بیشترین شاخص شباهت به ایده‌آل‌های مثبت را کسب می‌کند که نشان دهنده ظرفیت بالای اثربخشی این گزینه در افزایش سطح ایمنی برای این مقاطع است. هزینه‌های تهیه و نگهداری نسبی پایین، انعطاف‌پذیری در انواع راه و قابلیت ارتباط با انواع وسیله نقلیه و همچنین عملکرد مناسب و ثابت در تغییرات آب و هوایی از جمله ویژگی‌های مهم این گزینه ایمن‌سازی است. ولیکن باید در نظر داشت که استفاده از این گزینه می‌تواند در مسیرهای طولانی روی کیفیت ترافیک تاثیر گذاشته و همچنین استفاده مکرر از آن درصد پیروی کاربران را کاهش دهد. استفاده از ساربان برای عبور کنترل شده و محافظت شده شتر در زمان عبور از مقطع با کسب ۰/۷۱۸ امتیاز ci رتبه بعدی دارای نزدیک‌ترین گزینه به ایده‌آل است. این گزینه در شاخص‌های اقتصادی ضعف نشان داده و در شاخص‌های زیست محیطی دارای نقطه قوت است. روشن‌سازی مقاطع با کسب امتیاز ci ۰/۶۲۵ رتبه سوم را از بین گزینه‌ها کسب می‌کند که به نظر می‌رسد برای محورهای با طول راه کوتاه و متوسط و دارای تصادف با شتر در شب یک گزینه کارآمد تلقی گردد. گزینه استفاده از راهدارها برای عبور شتر از عرض جاده با ci ۰/۵۷۲ مانند گزینه استفاده از ساربان عمل می‌کند ولی در معیارهای اقتصادی و فنی ضعف بیشتری نشان می‌دهد. در نتیجه این پژوهش نشان می‌دهد که در شرایط کنونی در بین شیوه‌های متنوع ایمن‌سازی به دلیل عدم توسعه زیرساخت مناسب هوشمندسازی ترافیک در راه‌های برون‌شهری، اقدامات آگاهی‌بخشی به رانندگان از احتمال برخورد با شتر در طول مسیر به وسیله تجهیزات کنترل ترافیک و روشنایی نقطه‌ای مناطق مستعد عبور شتر دارای بالاترین مطلوبیت ایمن‌سازی است هرچند در تغییر نگرش آینده نزدیک به سمت استفاده از سامانه‌های هوشمند ایمنی مخصوصا سیستم‌های هوشمند مبتنی بر کاهش تصادف با شتر امری ضروری بنظر می‌رسد. از آنجایی که چند مسیر متفاوت از لحاظ ساختار جغرافیایی و ترافیکی مورد تحلیل قرار گرفته است می‌توان اینگونه استدلال کرد که نتایج این پژوهش برای تمامی حوزه‌های راه‌های در خطر تصادفات شتر در کشور اعتبار دارد و برآورد تحلیل این پژوهش برای هر نوع مسیر برون‌شهری از حیث جمعیت شتر، تعدد سفرها و ویژگی‌های جغرافیایی قابل تعمیم است.

۶-پی‌نوشت‌ها

1. Ecology
2. Wildlife-Vehicle Collision (WVC)
3. Camel-Vehicle Collision (CVC)
4. Fuzzy Topsis
5. MADM
6. Ultrasonic
7. centerNET
8. HOG
9. DEMATEL

۷- مراجع

-Abaddi, S. (2025). Q-Omni: A Quantum Computing and GPT-4o Solution for Camel-Vehicle Collisions. *International Journal of Transportation Science and Technology,* 10.1016.

-Al Balushi, T., Al Hosni, A., Omar, H. A. T. B., & Al Abri, D. (2019). A LoRaWAN-based Camel Crossing Alert and Tracking System. *International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 17*(1), 1035-1040.

-Alawi, M., Shaik, S. (2025). Tracking Stray Camels Crossing the Roads to Prevent Vehicle Accidents in Oman. *The Journal of Engineering Research [TJER],* 21, 114-125.

-Alghamdi, S., Algethami, A., Tan, T. (2023). Vehicle-camel collisions in Saudi Arabia: Application of single and multi-stage deep learning object detectors. *Ain Shams Engineering Journal*, 15, 102328.

-Alnujaidi, Kh., Alhabib, Gh., Alodhieb, A. (2023). Spot-the-Camel. *Computer Vision for Safer Roads*. 10.48550.

-Alnujaidi, Kh., Alhabib, Gh. (2023). Computer Vision for a Camel-Vehicle Collision Mitigation System. 10.48550

-Alsaid, S., Abougrad, H., Abubahia, A., Ali, N. (2024). Vehicle-camel collision avoidance system in Libyan. *Desert Roads Using Computer Vision Technique*. 10.51984.

-Alsayyari, A. (2020). Real Time IoT Based Camel-Vehicle. *Collision Avoidance System for KSA*. 1-410.1109

-Alshbatat, A., Hrahsheh, F., Faisal, T. (2019). Camel Monitoring and Tracking System Across Fenced Highways. 1-5.

-DeNicola, E., Aburizaize, O., Siddique, A., Khwaja, H., Carpenter, D. (2016). Road Traffic Injury as a Major Public Health Issue in the Kingdom of Saudi Arabia: A Review. *Frontiers in Public Health*. 4. 10.3389.

-Dorrazehi, Y., Mehrjoo, M., & Kazeminia, M. (2020). A Warning System Design for Camel-Vehicle Collisions Mitigation. *In 2020 10th International Conference on Computer and Knowledge Engineering (ICCKE)* (pp. 203-208).

-Eloise, G. (2019). Australia's 'road kill' map. (n.d.). Retrieved from https:// www.bbcearth.com/news/australias-road-kill-map. (Accessed 10 September,2021).

-Galaleldin, E. (2025). Camel Detection on Traffic Roads Using Sensor Technology. *International Journal of Network Security*, 25(1),22937.

-Jägerbrand, A. K., Antonson, H., Ahlström, C. (2018). Speed reduction effects over distance of animal-vehicle collision countermeasures–a driving simulator study. *European Transport Research Review*, 10(2), 1-12.

-Jamal, A., Rahman, M., Hasan, A. Mansoor, U. (2019). The Dilemma of Road Safety in the Eastern Province of Saudi Arabia: Consequences and Prevention Strategies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 17. 157.

-Pagany, R., Dorner, W. (2019). Do Crash Barriers and Fences Have an Impact on Wildlife–Vehicle Collisions? An Artificial Intelligence and GIS-Based Analysis. *ISPRS International Journal of Geo-Information.* 8. 66.

-Saad, W., Alsayyari, A. (2019, February). Loose animal-vehicle accidents mitigation: Vision and challenges. *In 2019 International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE)*, 359-364.

-Shimemeri, A., Arabi, Y. (2021). A review of large animal vehicle accidents with special focus on Arabian camels. *Journal of Emergency Medicine, Trauma and Acute Care*. 21. 1-7.

-Silva, I., Calabrese, J. (2023). Emerging opportunities for wildlife conservation with sustainable autonomous transportation. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 22. 10.

Prioritizing Solutions to Make Camels Safe to Cross Roads

Aliasghar Goharpour, *Malayer University, Malayer, Iran.*
Farshid Tavan, M.Sc., Grad., iausc, Tehran, Iran.
Ali Quba, M.Sc. Grad., jiroft-int, Jiroft, Iran.
Amir Bahadour Azimi, Ph.D., Student, Pnu. Tehran, Iran.

E-mail: goharpour_a@malayeru.ac.ir

Received: September 2025- Accepted: February 2026

ABSTRACT

Traffic accidents caused by motor vehicles colliding with wildlife are a global phenomenon. These accidents often involve different animal species, including reindeer, deer, kangaroos, and camels. Compared to other types of animal collisions with vehicles, camel accidents are particularly dangerous due to the heavy weight, high center of gravity, and the size and height of the camel. Safeguarding traffic from the dangers of collisions with camels encompasses a wide range of solutions, including road safety, animal detection, warning drivers, and so on. This study has attempted to prioritize various safety solutions to provide safe sections for camels to cross the road based on the behavioral characteristics of this animal. This study, while examining and introducing these measures in different areas, analyzes the most appropriate ones in relation to the country's conditions in terms of geography, natural resources, environment, livestock facilities, and road and traffic characteristics, using research methods. Therefore, in the analytical process of this research, road safety options and the target user (camel animal) are analyzed based on the criteria and indicators defined by inferential research methods based on the MDMA multi-criteria analysis method of fuzzy TOPSIS. From the results of this research, it is estimated that among the road and non-road solutions presented, the option of using traffic control equipment, using traffic lights to control camel crossing, and lighting camel collision points are the proposed priorities for making suburban routes safe based on four types of economic, traffic, technical, and environmental criteria.

Keywords: Transportation Safety, Accident, Camel