فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۲، ش. ۲، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۳۹۹-٤۱۷
مقاله پژوهشی

مدل شاخص ترکیبی ایمنی راه‌های دوخطه برون‌شهری تحت تأثیر وضعیت کاربری‌های اطراف راه

محمدرضا بختیاری، کارشناس ارشد راه‌وترابری، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره).
حمیدرضا بهنود (مسؤول مکاتبات)، استادیار، گروه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره).
بابک میربهاء، استادیار، گروه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره).

Email: behnood@eng.ikiu.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۲۰ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۰۸

چکیده

اکثر بررسی‌ها و مدل‌های پیش‌بینی ایمنی در راه‌های دوخطه برون شهری در رابطه با مشخصات هندسی جاده ارائه‌شده است. در این مطالعه نقش کاربری‌ها در ریسک تصادفات و سطح ایمنی راه بررسی می‌شود. به‌ویژه در راه‌های دوخطه برون‌شهری کشور با توجه به وجود کاربری‌های ناهمگون و بدون برنامه، می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در رخداد تصادفات داشته باشد. در این مطالعه با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها، ۷٤ کیلومتر از محور دوخطه برون‌شهری کرج-چالوس مورد بررسی قرار گرفته است. در هریک از این قطعات وضعیت کاربری‌ها در قالب سه معیار چگالی کاربری‌ها، چگالی دسترسی‌ها و وضعیت خطرات ناشی از کاربری‌ها، با استفاده از نقشه‌ها و برداشت‌های میدانی به‌دست‌آمده و به‌عنوان ورودی‌های تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها در نظر گرفته‌شده است. ستانده‌های مدل DEA فراوانی تصادفات مورد انتظار هستند که از ترکیب فراوانی تصادفات پیش‌بینی‌شده و فراوانی تصادفات مشاهده‌شده با استفاده از روش بیزین تجربی تخمین زده‌شده است. در این مطالعه کارآیی ایمنی قطعات مشخص‌شده و قطعاتی که دارای بالاترین کارآیی هستند به‌عنوان الگو برای هدف‌گذاری قطعات دیگر معرفی‌شده‌اند. همچنین قطعاتی که دارای کمترین کارآیی هستند به‌عنوان قطعات بحرانی در اولویت اقدامات اصلاحی ایمنی قرارگرفته‌اند. بر این اساس قطعات ۵۱، ٥٤ و ۷۰ دارای بیشترین کارآیی (بیشترین شاخص ایمنی تحت تاثیر کاربری‌ها) نسبت به قطعات دیگر و قطعات ۸، ۱۶، ٤۰ و ٤۱ دارای کمترین کارآیی هستند. در این مطالعه نتایج تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها نشان داد که معیار خطرات کناره ناشی از کاربری‌ها تأثیر بیشتری نسبت به چگالی دسترسی‌ها و چگالی کاربری‌ها در کاهش سطح ایمنی راه‌های دوخطه برون‌شهری دارند.مقدار تاثیرگذاری برای معیار خطرات کناره ناشی از کاربری برابر ۰,۷۵، معیار چگالی دسترسی برابر ۰,۱۵ و برای معیار چگالی کاربری برابر ۰,۱ است. همچنین در نهایت برای هر یک از معیارهای وضعیت کاربری قطعات مقادیر هدفی تعیین گردید که این مقادیر هدف در وضعیت بهتری نسبت به وضع موجود اند.

واژه‌های کلیدی: **فراوانی تصادف مورد انتظار، راه‌های دوخطه برون‌شهری، کاربری‌های کناره راه، تحلیل پوششی داده‌ها.**

۱. مقدمه

روزانه در حدود ۳۵۰۰ نفر در اثر تصادفات جاده‌ای در سرتاسر جهان جان خود را از دست می‌دهند. این رقم فاجعه‌بار در سال به حدود ۱ میلیون و ۳۰۰ هزار نفر می‌رسد که روند افزایشی دارد و تصادفات جاده‌ای هشتمین عامل مرگ‌ومیر در جهان است. همچنین کشور ایران جایگاه هفتم را در تلفات جاده‌ای جهان در اختیار دارد که می‌توان این رقم را به‌عنوان بحرانی ملی به‌حساب آورد. نکته تکان‌دهنده‌تر این است که تصادفات جاده‌ای عمده‌ترین عامل مرگ نوجوانان و جوانان بین ۱۵ تا ۲۹ سال است [World Health Organization, 2015].

در کشور ایران تلفات جاده‌ای زیادی در راه‌های دوخطه برون‌شهری رخ می‌دهد و از طرفی بسیاری از مشکلات ایمنی جاده‌ای در این جاده‌ها وجود دارد. طبق آمار پزشکی قانونی چیزی حدود دو سوم تلفات جاده‌ای در ایران در راه‌های برون‌شهری رخ می‌دهد که این موضوع به‌صراحت نیاز مبرم به یک راه‌حل برای کاهش تعداد و شدت تصادفات و افزایش ارتقای ایمنی در این راه‌ها را نشان می‌دهد [Legal Medicine Organization, 2010].

اکثر بررسی و مدل‌های ایمنی در این راه‌ها در رابطه با مشخصات هندسی جاده ارائه‌شده است و یکی از پارامترهای مهمی که کمتر به آن توجه شده است، نقش کاربری‌ها در ریسک تصادفات و سطح ایمنی جاده است که به‌ویژه در راه‌های دوخطه کشور با توجه به متناسب نبودن خیلی از کاربری‌ها و کم بودن فاصله بین سواره‌رو و کاربری‌ها به دلیل کوهستانی بودن جاده، می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در رخداد تصادفات داشته باشد.

با توجه به موارد گفته‌شده و اهمیت ایمنی در راه‌های دوخطه برون‌شهری می‌توان با ایجاد مدلی برای بررسی و تشخیص وضعیت ایمنی در راه‌های دوخطه برون‌شهری تحت تأثیر وضعیت کاربری‌ها، علاوه بر درک نقش کاربری‌ها در تصادفات، می‌توان راهکاری برای کاهش تصادفات و تلفات جاده‌ای در راه‌های دوخطه ارائه داد. به طور کلی اهداف این مطالعه عبارت‌اند از:

- ارائه یک شاخص ترکیبی که گویای ایمنی راه در قطعات مجاور کاربری‌ها باشد به طوری که این شاخص کمیت فراوانی تصادف و وضعیت محیطی راه را در یک عدد برای هر قطعه نشان دهد.
- شناسایی عوامل اصلی تأثیرگذار کاربری‌ها و سهم هر یک،
- ارائه نحوه شناسایی قطعات با بالاترین کارآیی و بهره‌وری ایمنی و تعیین تغییرات موردنیاز در سایر قطعات راه‌های دوخطه برون‌شهری؛
- ارائه نتایجی کاربردی در جهت ایمن‌سازی راه‌های دوخطه برون‌شهری تحت تأثیر وضعیت کاربری‌ها.

سوالات این تحقیق نیز عبارت‌اند از:

- کاربری‌های کناره راه چه تاثیری بر ایمنی راه‌های دو خطه برون‌شهری می‌گذارند؟
- میزان تاثیر هر یک از عوامل تاثیر گذار کاربری‌ها بر بر ایمنی راه‌های دو خطه برون‌شهری چه قدر است؟
- اولویت‌بندی اقدامات ایمن‌سازی راه‌های دو خطه برون‌شهری تحت تاثیر کاربری‌های چگونه است؟

در این تحقیق با بررسی راه دوخطه برون‌شهری کرج-چالوس به‌عنوان مطالعه موردی و با هدف تعیین کارآیی ایمنی قطعات مختلف راه تحت تأثیر وضعیت کاربری‌ها سنجیده می شود. این کارآیی می‌تواند به‌عنوان معیاری برای بررسی وضع کنونی، الگو گذاری و تعیین اهداف آینده برای وضعیت کاربری‌ها کناره راه قرار گیرد. همچنین با استفاده از

این کارآیی می‌توان برای انجام اقدامات ایمنی اولویت‌بندی کرد و قطعاتی از راه که دارای کمترین کارآیی ایمنی هستند در اولویت قرارداد.

۲. پیشینه تحقیق

بسیاری از محققین پژوهش هایی به‌منظور تعیین دلایل تصادفات ترافیکی و بهبود ایمنی در راه های دو خطه برون‌شهری انجام داده‌اند. در این بند به مطالعاتی در زمینه ایمنی در راه‌های دو خطه برون شهری، کاربری‌های کناره راه و مدل تحلیل پو شـ شی داده‌ها پرداخته شده ا ست. وگت و همکاران در سال ۱۹۹۸ به بررسی بیش از ۱۳۰۰ قطعه از راه های دوخطه در ایالت‌های وا شنگتن و مینـسوتا پرداختند. در این مطالعه، داده‌های تصادف یک دوره چهارساله را مورد تجز یه‌وتحلیل قرار داده و متغیر های ترافیکی و هندسی متنوعی را موردبررسی قراردادند. عرض راه و شانه، خطرات کاربری‌های کناره راه، علائم افقی و عمودی راه، سرعت مجاز، حجم ترافیک و درصد وسایل نقلیه سنگین متغیرهای مستقلی بودند که با استفاده از مدل‌های دوجمله‌ای منفی و مدل پواسون با تعداد تصادفات مرتبط شدند. نتایج نشان داد که متغیرهای کاربری‌های کناره راه و عرض راه و شانه رابطه معنی‌داری با تعداد ت صادفات دا شتند [Vogt & Bared, 1998].

کافیسو و همکاران در مطالعه جامعی که در سال ۲۰۱۱ انجام شده ا ست به برر سی ت صادفات ۵ ساله راه دو خطه برون‌شهری به طول ۱۶۸ کیلومتر در ایتالیا پرداختند. در این مطالعه از مدل دوجمله‌ای منفی استفاده شد. در این مطالعه تمامی راه‌های موردمطالعه به بخش‌ها و قطعه‌های مساوی تقسیم‌بندی شدند. طبق نتایج این مطالعات بیشترین اهمیت را در تصادف جاده‌ای در راه‌های دوخطه دوطرفه قوس‌ها (طول و شعاع آن‌ها)، طول تانژانت، مقطع (عرض خط، شانه و نوع آن‌ها)، تراکم دسترسی‌ها و خطرات کنار جاده‌ای دا شتند. عوامل دیگری چون م سافت دید، شیب و شرایط روسازی هم بودند که تأثیر کمتری داشتند [Cafiso et al. 2007].

آکاه و همکاران در سال ۲۰۱۱ بر روی مدل‌های پیش‌بینی راه‌های دوخطه در غنا مطالعات انجام دادند. هدف ا صلی این پژوهش تو سعه‌ی یک مدل برای ت صادفات درراه دوخ طه‌ی موجود در غ نا بود که این م طالعه برای ت مامی جراحت‌های ناشی از تصادف انجام‌شده است. اطلاعات جمع‌آوری‌شده در این ۳ سال شامل اطلاعات تصادف، اطلاعات جریان ترافیک، اطلاعات سرعت وسایل نقلیه، ویژگی‌های جاده و هندسه جاده بودند. درنهایت با استفاده از این مدل نتیجه‌گیری شده است که جریان ترافیک، طول قطعه، چگالی گره‌ها، نوع عوارض زمین و ح ضور دهکده یا رو ستا در م سیر راه مؤثرتر از موارد دیگر ه ستند. درنهایت پیشنهادشده است که باید برای ایمنی بیشتر جاده برای رو ستاها از راه‌های موازی بدون د ستر سی ا ستفاده شده و همچنین ت عداد دسترسی ها و گره ها را م حدود ک نند [Ackaah & Salifu, 2011].

در سال ۲۰۱۵ سانگ و همکاران مطالعاتی را با عنوان تحلیل ریسک تصادفات ترافیکی بر اساس عوامل کاربری کناره راه با ا ستفاده از مدل خطی تعمیم‌یافته و صفر ملتهب، انجام دادند. در این مطالعه تأثیر عوامل کاربری‌های راه در مش بندی‌های یک کیلومتر در یک کیلومتر در شهر توکیو تحلیل شد. مدل‌های رگرسیون پواسون، رگرسیون دوجمله‌ای منفی، رگرسیون پواسون صفر ملتهب و رگر سیون دوجمله‌ای منفی صفر ملتهب ا ستفاده شده ا ست. در این مطالعه داده‌های ت صادفات و کاربری‌های شهر توکیو در سال ۲۰۱۳ به‌کاربرده شده است. در این سال فراوانی تصادفات حدود ۴۰ هزار تصادف بود. همچنین ت عداد تصادفات در روز های کاری و غیر کاری به‌طور مجزا تعیین‌شده و تأثیر کاربری‌ها بر روی آن‌ها مشخص شد. همچنین در این مطالعات تحلیل بر اساس مش بندی‌های

یک کیلومتر در یک کیلومتر انجام گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که کاربری‌ها بر تعداد تصادفات تأثیرگذار هستند. همچنین کاربری‌های طبقه تجاری بیشترین تأثیر و کاربری‌های با حجم مسکونی کم، کمترین تأثیر بر تعداد تصادفات راه را دارند. به عبارتی تصادفات اکثراً در پیرامون مغازه‌ها، بیمارستان‌ها، تسهیلات ورزشی و همچنین در روزهای کاری اتفاق می‌افتد. در روزهای تعطیل تصادفات بیشتر در پیرامون مغازه‌ها و تسهیلات ورزشی رخ می‌دهد [Lord, 2005; Songpatanasilp et al. 2015; and Ismail&Zamani, 2015].

در سال ۲۰۱۶ مقاله‌ای با عنوان برنامه‌ریزی کاربری‌های راه به‌منظور ارتقای ایمنی راه ارائه شد. در این مطالعه به‌منظور ارتقای ایمنی راه‌های شهر کوبک کانادا اقدامات مؤثر در رابطه با برنامه‌ریزی کاربری‌ها ارائه‌شده است. ازجمله اقداماتی که در این مطالعه معرفی شده است می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [BERTHOD, 2016]:

- تعریف کلی سیاست های کاربری ها و انواع کاربری‌هایی که می‌توانند مجوز داشته باشند؛
- تحدید حدود محدوده شهری؛
- بومی سازی نواحی تولیدکننده اصلی سفر و با رشد زیاد (نزدیک ساختن کاربری‌ها و کاربران)؛
- چگالی اشغال زمین.

مطالعات زیادی در زمینه به کارگیری تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها در حوزه ایمنی راه انجام شده است. شن و همکاران [Shen et al. 2010a] مطالعه‌ای با عنوان ارائه یک شاخص بهره‌وری عملکرد ایمنی جاده بر اساس مدل تحلیل پوششی داده‌ها انجام دادند.

در این مطالعه یک شاخص عملکرد ایمنی ویژه در ۲۶ کشور اروپایی در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ معرفی گردید. نتایج نشان داد که روند قابل‌توجهی در ارتقای ایمنی در بسیاری از کشورها وجود دارد. در این مطالعه تغییرات تکنولوژی و سیاست‌های ایمنی راه و به دنباله آن تغییر کارآیی بررسی‌شده است.

در این مطالعه هر کشور به عنوان یک واحد در تحلیل پوششی داده‌ها قرارگرفته‌اند. در این مدل ورودی‌ها و خروجی‌ها به شرح زیر بودند.

- ورودی‌ها: شامل سه معیار رویارویی با ریسک؛ تعداد ساکنان، تعداد وسایل نقلیه و مسافر- کیلومتر طی شده بودند.
- خروجی‌ها: شامل تعداد تلفات جاده‌ای بودند.

مدل تحلیل پوششی داده‌ها هدف کمینه کردن نسبت این خروجی‌ها به ورودی‌ها را دارد.

بر اساس این مطالعات روند افزایش در سطح ایمنی کشورهای اروپایی وجود دارد و می‌توان با تغییر در تکنولوژی‌های ایمنی سطح ایمنی را افزایش داد.

در سال ۲۰۱۱ شن و همکاران در ادامه مطالعات قبلی خود، مطالعاتی با عنوان ارزیابی ایمنی راه و هدف‌گذاری با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها انجام دادند. در این مطالعات با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها علاوه بر ارزیابی ایمنی ۲۶ کشور اروپا، اهدافی برای ارتقای کارآیی ایمنی هر یک از کشورها تعیین‌شده است. در این مطالعات ورودی مدل تحلیل پوششی داده‌ها سه معیار جمعیت، تعداد وسایل نقلیه و نفر کیلومتر طی شده و خروجی آن نرخ تلفات جاده‌ای بود و هر کشور به عنوان‌یک واحد در نظر گرفته شد. پس از به دست آمدن کارآیی هر یک از واحدها، کشورهایی که دارای بیشترین کارآیی بودند به عنوان بنچ مارک برای سایر کشورها منظور گردیدند و اهدافی برای سه معیار ورودی با توجه به بنچ مارک‌ها تعیین شد [Shen et al. 2012].

بهنود و همکاران [Behnood et al. 2013] مقاله‌ای با عنوان تحلیل عملکرد، الگو گذاری و تعیین اهداف ایمنی راه با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها منتشر کردند. در این تحقیق اطلاعاتی از گذشته در زمینه اقدامات و شاخص‌های

عملکرد قبلی سازمان‌های مختلف ایران در جهت کاهش سوانح و تلفات ترافیکی موردا ستفاده قرارگرفته ا ست. این سیستم باهدف تعیین کارآیی اقدامات انجام‌شده در هر سال بین استان‌های مختلف کشور ایران و تعیین اهداف آینده طراحی شده ا ست. تعیین کارآیی‌های ن سبی بین ا ستان‌های مختلف با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها انجام‌شده است. اطلاعات برای تحلیل و کاربرد در برنامه‌ریزی ایمنی راه بر اساس روش ارائه‌شده در این تحقیق، شامل مجموعه‌هایی از شاخص‌های عملکردی است که عمدتاً تو سط کمی سیون ایمنی راه‌های ک شور تنظیم شده ا ست. در نتایج تحقیق مقدار شاخص ناکارآیی، شامل ن سبت مجموع وزن‌دار نرخ تلفات، به مجموع وزن‌دار شاخص‌های عملکرد ایمنی راه برای ٦٠ واحد ت صمیم دربرگیرنده ۳۰ ا ستان ایران در دو سال ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ هجری شمسی محاسبه‌شده است. بر ا ساس این شاخص ناکارآیی به‌د ست‌آمده، الگو گذاری و تعیین وا حد های موفق در تأمین ایمنی راه انجام‌شده و اهداف سایر استان‌ها بر اساس فعالیت‌های انجام‌شده در این استان‌های موفق شناسایی می‌شود. در انتهای این مقاله مباحث قابل‌بحث پیرامون تحلیل‌های انجام‌شده ارائه گردیده است که شامل تحلیل واحدهای کارا و مقایسه ناکارآیی بین دو سال می‌شود.

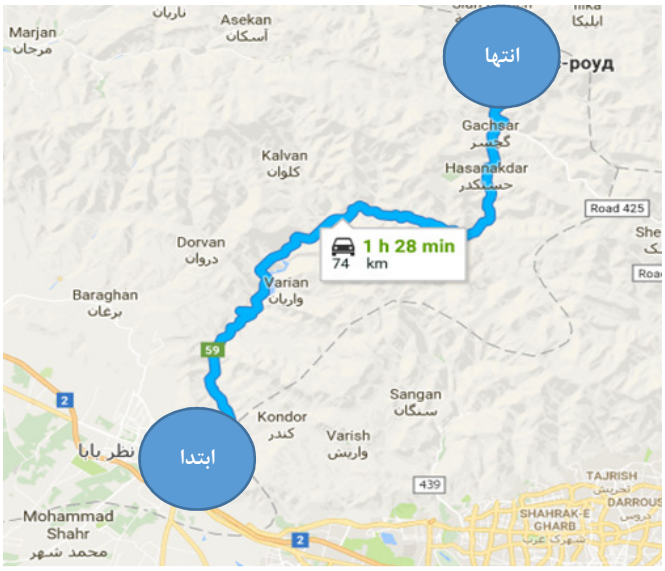
هرمانس و همکاران [Hermans et al. 2008] طرح کامل و شفافی از کاربرد تحلیل پوششی داده‌ها را در برنامه‌ریزی ایمنی راه ارائه کردند که هدفش برداشتن گامی در این راستا با ارائه یک مدل محاسباتی پیشنهادی بر اساس روش تحلیل پوششی داده‌ها بود. بر اساس خروجی این مدل، جوانب مفید و ناکارآمد ایمنی راه برای هر یک از ۲۱ کشور اروپایی موردمطالعه شناسایی می‌شود.

شن و همکاران [Shen et al. 2010b] شکل جامع‌تری از این تحلیل را با عنوان مدل تعمیم‌یافته چندلایه‌ای تحلیل تحلیل پوششی داده‌ها به‌منظور ارزیابی ساختار سلسله مراتبی اطلاعات ایمنی راه ارائه کرده‌اند. درنهایت در سال ۲۰۱۲ با تمرکز بر تعیین ا هداف ایمنی راه، روش تحلیل پو ششی داده‌ها و رویکردهای تو سعه یافته آن برای برر سی ریسک ایمنی راه و تعیین ا هداف در این زمینه به کار گرفته‌شده که در آن خطر تلفات جاده‌ای بر مبنای سطح رویارویی با ریسک به عنوان شاخص موردسنجش در تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها معرفی‌شده است [Shen et al. 2012].

مطالعات زیادی تا به الان در را ستای ارتقای ترافیک جاده‌ای در رابطه با روش های پیش‌بینی تصادفات، روش های شناسایی نقاط حادثه‌خیز، شناسایی عوامل تاثیر گذار در رخداد ت صادفات و... انجام شده ا ست. با توجه به مطالعات انجام‌شده می‌توان نتیجه گرفت که یکی از مباحثی که کمتر به آن پرداخته شده ا ست تأثیر و ضعیت کاربری‌ها در ایمنی راه‌های دوخطه برون شهری به ویژه تاثیر پارامترهای مختلف کاربری‌ها ا ست و مطالعه و پژوهش در رابطه با این مو ضوع می‌تواند این خلأ موجود در دانش ایمنی ترافیک جاده‌ای را پوشش دهد. همچنین از این مطالعات می‌توان نتیجه گرفت تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها به‌خوبی می‌تواند واحدهای یک الما‌ن را در کنار هم مقایسه کرده و کارآیی هر یک را بسنجد. سپس اهدافی را برای هر یک از واحدها برای رسیدن به بیشترین کارآیی تعیین کند.

۳. روش تحقیق

در این تحقیق محور دوخ طه برون‌شهری کرج- چالوس موردم طال عه قرارگرف ته است. ٧٤ کیلومتر از این جاده به‌صورت قطعات یک کیلومتری موردبررسی قرارگرفته که در شکل محور موردمطالعه به‌صورت شماتیک بر روی نقشه م شخص شده است. ابتدای این محور ورودی بیلقان و انتهای این محور ورودی تونل کندوان است.



شکل ۱. نمایش محور موردمطالعه به‌صورت شماتیک بر روی نقشه

داده‌های تصادفات در این محور در سال‌های ۹۲، ۹۳ و ۹۴ به تفکیک فوتی و جرحی با همکاری پلیس راهور کشور و سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای استان البرز اخذ گردید. در این داده‌ها زمان، شدت، موقعیت و نوع تصادفات مشخص‌شده است. در این مطالعه از تصادفات منجر به فوت و جرحی شدید استفاده شده است. مشخصات کاربری‌های راه با استفاده از برداشت‌ها و بازدیدهای میدانی استخراج گردیده است. میانگین حجم ترافیک روزانه در سال نیز با استفاده از آمار دستگاه‌های تردد شمار، محاسبه‌شده است.

در این تحقیق از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها به عنوان ابزاری برای استخراج نتایج نهایی استفاده شده است. با توجه به بررسی مطالعات پیشین تکنیک تحلیل پوششی داده ها به‌خوبی می‌تواند واحدهای یک الزمان را در کنار هم مقایسه کرده و کارآیی هر یک را بسنجد. سپس اهدافی را برای هر یک از واحدها برای رسیدن به بیشترین کارآیی تعیین کند. به همین دلیل از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها در این مطالعه استفاده شده است. موضوعی که در انجام اقدامات ایمنی مهم است، اولویت‌بندی در انجام نوع اقدام و اولویت‌بندی قطعات برای انجام اقدام است. با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها می‌توان قطعات یک راه را در کنار هم قرار داد و ایمنی هر قطعه را تحت تأثیر معیارهای وضعیت کاربری با دیگر قطعات مقایسه و مقادیر شاخص ایمنی قطعات را در قالب کارآیی آن قطعه مشخص کرد. به عبارتی با استفاده از این تکنیک می‌توان قطعات را به ترتیب سطوح شاخص ایمنی تحت تأثیر وضعیت کاربری‌ها چینش کرد و قطعاتی را که دارای کمترین کارآیی هستند در اولویت اقدامات اصلاحی ایمنی قرار داد و از قطعات با بالاترین کارآیی به عنوان الگوی قطعات دیگر استفاده کرد.

واحدهای بررسی شونده در این تکنیک می‌بایست دارای ابعاد یکسان باشند؛ به همین دلیل و با توجه به اینکه داده‌های ورودی و خروجی این مدل به صورت نرمالایز شده وارد مدل می شوند، محور مورد مطالعه به قطعات یک کیلومتری تقسیم‌بندی شده‌اند. در این قطعات وضعیت کاربری‌ها در قالب سه معیار چگالی کاربری‌ها، چگالی دسترسی‌ها و وضعیت خطرات ناشی از کاربری‌ها، موردبررسی قرارگرفته است. لازم به ذکر است در معیار

چگالی کاربری‌ها، کاربری‌های تجاری، خدماتی و مسکونی به دلیل جذب و تولید کننده بودن این مراکز در نظر گرفته شده است. شاخص ایمنی در این مطالعه، با استفاده از رابطه (۱) تعریف شده است. هر چه این شاخص بیشتر باشد، قطعه دارای ایمنی بیشتری تحت تاثیر کاربری‌ها خواهد بود. این شاخص با توجه به تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها ارائه شده است. در این تکنیک ورودی‌های مدل (در اینجا وضعیت کاربری‌ها هستند) در مخرج و خروجی‌های مدل (در اینجا معکوس فراوانی تصادفات مورد انتظار به عنوان امتیاز ایمنی قطعه) در صورت قرار می‌گیرد. با استفاده از این شاخص تصادفات مورد انتظار به عنوان خروجی به معیارهای وضعیت کاربری معطوف می‌شود. لازم به ذکر است تاثیر تمامی ویژگی‌ها و مشخصات فیزیکی و هندسی قطعه در فراوانی تصادفات مورد انتظار گنجانده شده است.

$$SI = \frac{1/N_{\exp ected}}{D + A + H} \qquad (۱)$$

در رابطه فوق $N_{\exp ected}$ فراوانی تصادفات مورد انتظار، D چگالی کاربری‌های کناره راه، A چگالی دسترسی‌های کناره راه و H وضعیت خطرات ناشی از کاربری‌های کناره راه است. در این رابطه معیارهای وضعیت کاربری با استفاده از بازدیدها و برداشت‌های میدانی و نقشه‌های موجود اندازه‌گیری شده‌اند. معیار چگالی کاربری با استفاده از رابطه (۲) به دست می‌آید. طول کاربری‌ها با استفاده از نقشه‌های موجود استخراج شده‌است.

$$\text{چگالی کاربری} = \frac{\text{طول کاربری در جهت برگشت} + \text{طول کاربری در جهت رفت}}{2 \times \text{طول قطعه}} \qquad (۲)$$

همچنین راه‌های فرعی با استفاده از بازدیدها و برداشت‌های میدانی و نقشه‌های موجود مشخص‌شده است و چگالی دسترسی‌ها از نسبت تعداد دسترسی‌های فرعی به طول هر قطعه به دست می‌آید. به عنوان مثال چگالی دسترسی قطعه‌ای یک کیلومتری که دارای دو راه دسترسی است، برابر با ۲ می‌باشد.

وضعیت خطرات کناره راه ناشی از جانمایی، مشخصات و عملکرد نا متناسب کاربری است. به عبارتی هر خطری که از وجود کاربری نشأت گرفته باشد در این معیار لحاظ می‌شود؛ به عنوان مثال عدم فاصله مجاز بین سواره‌رو و کاربری (شامل ساختمان، دسترسی‌ها، تابلوهای تبلیغاتی، وسایل و تجهیزات، تأسیسات و سایر متعلقات مربوط به کاربری).

امتیاز خطرات ناشی از کاربری ها از طریق رابطه (۳) به‌دست‌آمده است. این رابطه با الهام از روش‌های ارزیابی ریسک از جمله روش ویلیام فاین و روش فما به دست آمده است. امتیاز خطرات در این رابطه از ضرب احتمال وقوع و شدت حادثه محتمل ناشی از کاربری‌ها محاسبه شده است. امتیاز شدت و احتمال وقوع حادثه از ۱ تا ٤ و امتیاز خطرات ناشی از کاربری بین ۱ تا ۱٦ است. طبقه‌بندی مقادیر احتمال وقوع و مقادیر شدت و نحوه امتیاز دهی به خطرات ناشی از کاربری‌ها در جداول زیر ارائه شده است.

جدول ۱. طبقه‌بندی مقادیر شدت وقوع خطرات ناشی از کاربری‌های کناره راه

شدت حادثه محتمل	عدد	تبعات محتمل
خفیف	۱	خسارت مالی و احتمال جراحت جزئی به کاربران راه
جزئی	۲	جراحت اندک و جزئی
شدید	۳	جراحت شدید توأم با احتمال مرگ
خیلی شدید	٤	احتمال مرگ چندین نفر

هر چه این امتیاز بیشتر باشد خطرات ناشی از کاربری بیشتر خواهد بود.

شدت × احتمال = امتیاز خطرات ناشی از کاربری (۳)

از طرف دیگر از معکوس فراوانی تصادفات فراوانی مورد انتظار در صورت کسر شاخص ایمنی استفاده شده است. هرچه فراوانی تصادفات مورد انتظار بیشتر باشد صورت کسر کمتر و شاخص ایمنی به‌تبع آن کمتر می‌شود.

جدول ۲. طبقه‌بندی مقادیر احتمال وقوع خطرات ناشی از کاربری‌های کناره راه

احتمال وقوع حادثه	عدد	احتمال وقوع با در نظر	پیش‌بینی تکرار
خیلی محدود (به‌ندرت)	۱	کمتر از ۱۰ درصد	یک‌بار در بیش از ۵ سال
محدود (گهگاه)	۲	بین ۱۰ تا ٤۰ درصد	یک‌بار در طول ۵ سال
متوسط (محتمل)	۳	بین ٤۰ تا ۷۵ درصد	بیش از یک‌بار در سال و کمتر از یک‌بار در هفته
زیاد (مکرر)	٤	بیشتر از ۷۵ درصد	یک‌بار یا بیشتر در طی هفته جاری

تصـــاد فات مورد انتظار از ترکیب فراوانی تصـــاد فات پیش‌بینی‌شده و فراوانی تصادفات مشاهده‌شده با به‌کارگیری روش بیزین تجربی تخمین زده‌شده است. فراوانی تصادفات پیش‌بینی‌شده از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$N_{predicted\ rs} = N_{spfrs} \times C_r \times (CMF_{1r} \times CMF_{2r} \times ... \times CMF_{12r}) \quad (۴)$$

در این رابطه $N_{predicted\ rs}$ فراوانی تصادفات پیش‌بینی شده برای هر قطعه، N_{spfrs} فراوانی تصـادفات به دسـت آمده از تابع عملکرد ایمنی، C_r ضـریب کالیبراسـیون و CMIها ضرایب ا صلاحی تصادف (ضرایب ا صلاحی عرض خط، عرض و نوع شـانه، خطرات کناره راه، چگالی دسـترسـی فرعی، قوس‌های افقی و قائم، روشنایی و شیب) هستند. تابع عملکرد ایمنی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$N_{spfrs} = AADT \times L \times 365 \times 10^{-6} \times e^{(-0.312)} \quad (۵)$$

جدول ۳. طبقه‌بندی مقادیر امتیاز معیار خطرات ناشی از کاربری‌های کناره راه بر اساس شدت و احتمال وقوع

شدت / احتمال	خیلی محدود (به‌ندرت)	محدود (گهگاه)	متوسط (محتمل)	زیاد (مکرر)
خفیف	ریسک کم (۱)	ریسک کم (۲)	ریسک متوسط (۳)	ریسک متوسط (٤)
جزئی	ریسک کم (۲)	ریسک متوسط (٤)	ریسک متوسط (٦)	ریسک زیاد (۸)
شدید	ریسک متوسط (۳)	ریسک متوسط (٦)	ریسک زیاد (۹)	ریسک خیلی زیاد (۱۲)
خیلی شدید	ریسک متوسط (٤)	ریسک زیاد (۸)	ریسک خیلی زیاد (۱۲)	ریسک خیلی زیاد (۱٦)

در این رابطه N_{spfrs} فراوانی تصادفات به دست آمده از تابع عملکرد ایمنی، AAD میانگین حجم ترافیک روزانه در سال و L طول قطعه ا ست. با توجه به اینکه محور کرج-چالوس یک راه کلاس یک و مواصـــلاتی اســـت، میانگین حجم ترافیک روزانه در ســـال تقریبا در تمامی قطعات برابر در نظر گرفته شده است.

فراوانی تصادفات مشاهده شده از آمار تصادفات این محور در سال‌های ۹۲، ۹۳ و ۹٤ ا ستخراج شده ا ست. در پایان از از روابط زیر به منظور تعیین فراوانی تصـادفات مورد انتظار استفاده شده است.

$$N_{\exp ected} = w \times N_{predicted} + (1-w) \times N_{observed} \quad (۶)$$

$$w = \frac{1}{1 + k(\sum_{allstudyy\ years} N_{predicted})} \quad (۷)$$

$$k = \frac{0.236}{L} \quad (۸)$$

در این روابط $N_{\exp ected}$ فراوانی تصادفات مورد انتظار، $N_{predicted}$ فراوانی تصادفات پیش‌بینی شده، $N_{observed}$ فراوانی تصادفات مشاهده شده، w ضریب وزنی به تخمین فراوانی تصادفات پیش‌بینی شده، k ضریب بیش پراکندگی و L طول قطعه است.

استفاده از فراوانی تصادفات مورد انتظار قابلیت اطمینان این تکنیک و بررسی ایمنی را بسیار افزایش خواهد داد. از متدولوژی فصل ۱۰ راهنمای HSM برای تعیین فراوانی تصادفات مورد انتظار در هر قطعه استفاده‌شده است [AASHTO, 2002; and National Research Council, 2010].

در نهایت از مدل توسعه یافته تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها به‌منظور بررسی شاخص ایمنی در قطعات استفاده‌شده است. تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها کارآیی ایمنی قطعات را بین صفر تا یک نتیجه می‌دهد که هرچه به یک نزدیک‌تر باشد کارآیی قطعه بیشتر و شاخص ایمنی قطعه تحت تاثیر کاربری‌ها بیشتر است. امتیاز کارآیی طبق تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Efficiency = \frac{Weighted\ sum\ of\ outputs}{Weighted\ sum\ of\ inputs} \quad (۹)$$

در این رابطه صورت کسر مقدار وزن دهی شده خروجی‌ها و مخرج مقدار وزن دهی شده ورودی‌ها هستند. لازم به ذکر است قطعاتی که تمامی کاربری‌های آن‌ها برابر صفر است یا به عبارتی کاربری و دسترسی در آن قطعه وجود ندارد، در تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها کنار گذاشته شده‌اند. در این تحقیق ورودی‌ها و خروجی‌ها به‌صورت زیر تعریف می‌شوند که در تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها به‌صورت نرمالایز شده به‌کار برده شده‌اند.

ورودی‌ها: سه معیار چگالی کاربری‌ها، چگالی دسترسی‌ها و خطرات کناره ناشی از کاربری‌ها.

خروجی‌ها: معکوس فراوانی تصادفات مورد انتظار به‌عنوان امتیاز ایمنی.

همان‌طور مشخص است هر یک از این داده‌ها (ورودی‌ها و خروجی) دارای مقیاس انحصاری خودش هست. این داده‌ها به‌منظور افزایش قابلیت اطمینان مدل و تبدیل تمامی داده‌ها به برداری واحد و یکسان کردن مقیاس تمامی معیارها، نرمالایز شده است. نرمال‌سازی روشی است که داده‌ها را در زمانی که در یک دامنه نیستند را در دامنه مشابه قرار می‌دهد. این کار باعث می‌شود که اثر مقیاس واقعی کمینه شود و همگی داده‌ها در یک دامنه قرار گیرند. در این مطالعه هر یک از داده‌ها مطابق رابطه زیر به بزرگ‌ترین مقدار متناظرشان تقسیم‌شده‌اند تا نرمال‌سازی شوند.

$$\text{مقدار نرمالایز شده} = \frac{\text{داده}}{\text{حداکثر مقدار متناظر داده}} \quad (۱۰)$$

خروجی‌های این تکنیک از مدل‌های ارائه شده در روش‌های تحلیل پوششی داده‌ها به دست می‌آید. اولین مدل توسعه‌یافته در روش تحلیل پوششی داده‌ها توسط چارنز، کوپر و رودز در سال ۱۹۷۸ ارائه و بر این اساس با نام مدل CCR شناخته‌شده است [Charnes et al. 1979].

مدل CCR از نسبت مجموع وزن‌دار ورودی‌ها به عنوان مقیاسی برای اندازه کارآیی استفاده می‌کند، اگر هر واحد تصمیم‌گیری DMU، دارای m ورودی برای تولید s خروجی باشد، آنگاه شکل کسری مدل کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها که کارآیی واحد تحت بررسی (واحد j) را ارزیابی می‌کند به‌صورت رابطه زیر خواهد بود.

$$MaxZ_j = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}} \qquad (۱۱)$$

Subject to:

$$\frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}} \le 1 \quad ;(j = 0,1,2,...,n) \qquad (۱۲)$$

$$v_1, v_2, ..., v_m \ge 0$$

$$u_1, u_2, ..., u_s \ge 0$$

در این رابطه:

Z_j: تابع هدف واحد j ام

x_{ij}: میزان ورودی i ام برای واحد jام(i=1,2,…,m)

y_{rj}: میزان خروجی r ام برای واحد jام (r=1,2,…,s)

v_i: وزن داده‌شده به ورودی i ام برای واحد j ام

u_r: وزن داده‌شده به خروجی r ام برای واحد j ام

به منظور تبدیل مدل نسبت CCR به یک مدل برنامه‌ریزی خطی مخرج کسر معادل یک قرار داده و صورت کسر ماکزیمم می‌شود. به‌این‌ترتیب، تابع هدف کسری مدل نسبت به یک تابع هدف خطی مطابق رابطه زیر تبدیل می شود. این مدل، مدل توسعه یافته تحلیل پوششی داده‌ها می‌باشد.

$$MaxZ_j = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} \qquad (۱۳)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} = 1 \qquad (۱٤)$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0 \quad ;(j = 0,1,2,...,n) \qquad (۱٥)$$

$$v_1, v_2, ..., v_m \ge 0$$

$$u_1, u_2, ..., u_s \ge 0$$

با به کارگیری این رابطه در هر یک از قطعات و حل معادلات مربوطه می‌توان مقادیر شاخص ایمنی قطعات تحت تاثیر کاربری ها، سهم تاثیر هر یک از معیارهای وضعیت کاربری در ایمنی قطعه و هدف‌گذاری‌های ایمنی برای معیارهای وضعیت کاربری را به دست آورد. این موارد در بخش نتایج ارائه شده است.

٤. نتایج تحقیق

معیارهای وضعیت کاربری‌ها در ۳ بخش چگالی کاربری‌ها، چگالی دسترسی‌ها و وضعیت خطرات ناشی از کاربری‌ها و فراوانی تصادفات مورد انتظار در ۷٤ قطعه به‌دست‌آمده است. این نتایج قبل از آنکه نرمالایز شوند در جدول ٤ ارائه‌شده است.

همچنین با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها کارآیی قطعات به‌دست‌آمده و در جدول ٤ ارائه شده است. قطعاتی که تمامی معیارهای وضعیت کاربری آن‌ها برابر صفر است؛ به عبارتی بدون هیچ گونه کاربری، دسترسی فرعی و خطرات ناشی از کاربری‌ها در طول خود هستند؛ در تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها (به دلیل عدم وجود ورودی در تکنیک) کنار گذاشته‌شده‌اند و به‌صورت هایلات‌شده در جدول ٤ مشخص شده‌اند. همانطور که بیان شد در هر یک از قطعات، معادلات تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها با توجه به ورودی‌ها و خروجی‌های آن قطعه نوشته شده و توسط افزونه solver در نرم افزار Microsoft Excel حل شده است. با توجه خروجی های معادلات کارآیی قطعات در شکل ۳ ارائه شده است. همان‌طور که از نتایج پیداست قطعات ۵۱، ٥٤ و ۷۰ دارای بیشترین کارآیی (بیشترین شاخص ایمنی تحت تاثیر کاربری‌ها) نسبت به قطعات دیگر هستند و می‌بایست به‌عنوان الگو برای هدف‌گذاری ایمنی سایر قطعات، مورداستفاده قرار گیرند. به عبارتی این قطعات تحت تاثیر کاربری‌ها بهترین عملکرد را از نظر ایمنی داشته‌اند و می‌بایست ورودی‌های آن‌ها را که وضعیت کاربری ها هستند الگوی سایر قطعات قرار داد و برای رساندن وضعیت کاربری‌های سایر قطعات به این الگوها هدف گذاری کرد. همچنین قطعات ۸، ۱٦، ٤۰ و ٤۱ دارای کمترین کارآیی در بین قطعات دیگر هستند. این نتیجه نشان می‌دهد که وضعیت ایمنی تحت تأثیر کاربری‌ها در این قطعات بحرانی بوده و باید برای اقدامات ایمنی در اولویت قرار گیرند.

جدول ٤. ورودی‌ها، خروجی و کارآیی قطعات محور موردمطالعه

قطعه	چگالی کاربری	چگالی دسترسی	وضعیت خطرات ناشی از کاربری	فراوانی تصادفات مورد انتظار	کارآیی قطعه	قطعه	چگالی کاربری	چگالی دسترسی	وضعیت خطرات ناشی از کاربری	فراوانی تصادفات مورد انتظار	کارآیی قطعه
١	٠	٠	٠	٠,٦٣		٣٨	٠,٢٤	٠	٢,٦٢٥	١,١٣	٠,٢٩
٢	٠,٢٤	٣	٠,٨٧٥	٢,٧٤	٠,١٠	٣٩	٠,٣٨	٠	٣,٩٣٧٥	٢,٨٣	٠,٠٨
٣	٠,٣	٠	٣,٩٣٧٥	٢,٩٤	٠,٠٧	٤٠	٠,٦٣	١	٥,٢٥	٤,٦٥	٠,٠٣
٤	٠,٤٤	٣	٣,٩٣٧٥	٢,٢٣	٠,٠٦	٤١	٠,٩	١	٥,٢٥	٥,٢٦	٠,٠٣
٥	٠,٣٢	٠	٣,٥	٣,٧٨	٠,٠٦	٤٢	٠,٢٧	٠	٢,٦٢٥	١,٣٥	٠,٢٤
٦	٠,٢٤	٠	٣,٩٣٧٥	٠,٩٩	٠,٢٤	٤٣	٠,٢٢	٠	١,٧٥	٠,٩٣	٠,٥٢
٧	٠,٣٤	٠	٣,٩٣٧٥	٣,٠٦	٠,٠٧	٤٤	٠,٤٦	٠	٣,٩٣٧٥	١,٩٩	٠,١١
٨	٠,٥١	٠	٥,٢٥	٥,٥٢	٠,٠٣	٤٥	٠,٣	٠	٢,٦٢٥	٣,٠١	٠,١١
٩	٠,٦٦	١	٣,٥	٢,٤٢	٠,٠٨	٤٦	٠,٥٢	١	٣,٩٣٧٥	٣,٧٧	٠,٠٥
١٠	٠,٤٨	٠	٣,٩٣٧٥	١,٦٢	٠,١٣	٤٧	٠,٤٥	٠	٥,٢٥	٣,٢٩	٠,٠٥
١١	٠,٤١	٠	٢,٦٢٥	٢,٤٩	٠,١٣	٤٨	٠,٥٤	٠	٥,٢٥	٢,٤٨	٠,٠٧
١٢	٠,٤٩	٠	٢,٦٢٥	٢,٧٢	٠,١٢	٤٩	٠,٤٥	١	٣,٩٣٧٥	١,٩٩	٠,٠٩
١٣	٠,٠٨	٠	٣,٩٣٧٥	٠,٩٦	٠,٤٧	٥٠	٠,٢٢	٠	٢,٦٢٥	٢,٦٥	٠,١٢
١٤	٠,١٩	١	١,٧٥	١,١٢	٠,٣١	٥١	٠,٠٢	٠	١,٣١٢٥	١,٥٣	١,٠٠
١٥	٠,١١	٠	٢,٦٢٥	١,٧٨	٠,٢٦	٥٢	٠	١	٠	٢,٢١	٠,٥٣
١٦	٠,٣٣	١	٥,٢٥	٧,٦٣	٠,٠٢	٥٣	٠,٣٨	١	٢,٦٢٥	٢,٠٨	٠,١٢
١٧	٠,٢٧	١	٢,٦٢٥	٣,٢٠	٠,٠٨	٥٤	٠	١	٠	١,١٨	١,٠٠
١٨	٠,٣٥	٠	٢,٦٢٥	٥,٠٤	٠,٠٦	٥٥	٠,٤١	٠	٣,٩٣٧٥	١,٦٩	٠,١٣
١٩	٠,٠٥	١	٠,٨٧٥	٣,٠٢	٠,١٩	٥٦	٠,٥	٠	٣,٩٣٧٥	١,٦٩	٠,١٣
٢٠	٠,١٥	٠	١,٧٥	١,٩٠	٠,٢٦	٥٧	٠,٢٧	٠	٣,٩٣٧٥	١,٧٥	٠,١٢
٢١	٠,٠٧	١	٠,٨٧٥	١,٨٢	٠,٢٩	٥٨	٠,٥٤	١	٥,٢٥	٢,٠٢	٠,٠٧
٢٢	٠,٠٤	٠	١,٧٥	١,٩٤	٠,٤٩	٥٩	٠,٤	٠	٣,٩٣٧٥	١,٩٠	٠,١١
٢٣	٠	٠	٠	٣,٠١		٦٠	٠,١	١	٢,٦٢٥	١,١٢	٠,٣١
٢٤	٠	٠	٠	١,٨٦		٦١	٠,١١	١	١,٧٥	١,٥٥	٠,٢٣
٢٥	٠,٠٥	١	٢,٦٢٥	٣,٥٦	٠,١٢	٦٢	٠,٦٤	٠	٥,٢٥	٣,٣١	٠,٠٥
٢٦	٠	٠	٠	٢,٤٧		٦٣	٠,١٨	٠	٢,٦٢٥	١,٠٠	٠,٣٢
٢٧	٠,٢٣	٠	٢,٦٢٥	٢,٩٨	٠,١١	٦٤	٠,١٢	١	١,٧٥	١,٧٧	٠,٢٠
٢٨	٠	٠	٠	٢,٧١		٦٥	٠,٣١	١	٣,٩٣٧٥	١,٦٨	٠,١١
٢٩	٠,٠٨	٠	٠,٨٧٥	١,٥١	٠,٦٥	٦٦	٠,٣١	١	٣,٩٣٧٥	٢,٧٩	٠,٠٧
٣٠	٠,٠٥	٠	١,٧٥	١,١٧	٠,٧٣	٦٧	٠,١٥	١	٠,٨٧٥	٢,٢٨	٠,٢٣
٣١	٠,٠٥	٠	١,٧٥	١,٦٩	٠,٥١	٦٨	٠	٠	٠	١,٦٣	
٣٢	٠	٠	٠	٢,٦٤		٦٩	٠	٠	٠	١,٤٧	
٣٣	٠	٠	٠	٠,٨٠		٧٠	٠,٠٣	٠	٠,٤٣٧٥	١,٩٤	١,٠٠
٣٤	٠	٠	٠	١,٣٠		٧١	٠	١	٠	١,٥٩	٠,٧٤
٣٥	٠,٤٧	١	٥,٢٥	٣,٧٣	٠,٠٤	٧٢	٠	٠	٠	١,٤٤	
٣٦	٠,٥٦	١	٥,٢٥	٣,٣٨	٠,٠٤	٧٣	٠	٠	٠	١,٥٩	
٣٧	٠,٢٤	٠	٢,٦٢٥	١,٨٢	٠,١٨	٧٤	٠,٢	٠,٨٣	١,٧٥	١,٦٧	٠,٢٢

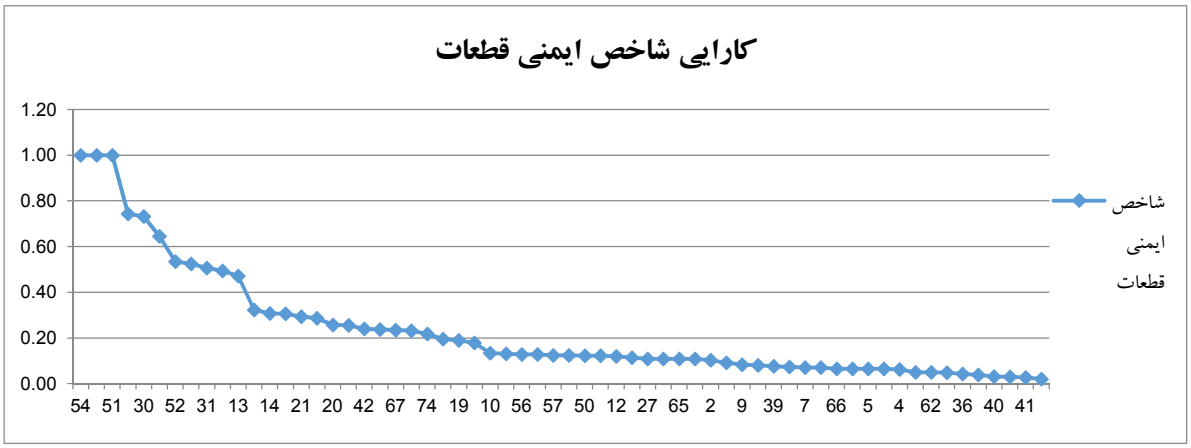
همان‌طور که شرح داده شد قطعاتی که دارای کمترین سطح شاخص ایمنی تحت تاثیر کاربری‌ها هستند به‌منظور اصلاح معیارهای وضعیت کاربری‌های کناره راه در اولویت قرار می‌گیرند. در اینجا موضوع مهم دیگر اولویت‌بندی هر معیار در اصلاح است. در این مطالعه سه معیار چگالی کاربری‌ها، چگالی دسترسی‌ها و خطرات کناره ناشی از کاربری راه به عنوان ورودی‌های تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها تعیین شده است.

با استفاده از این تکنیک می‌توان میزان اثرگذاری هر یک از این معیارها را در تمامی قطعات تخمین زد. با توجه به تکنیک تحلیل پوششی داده‌هاهر چه قدر مقدار حاصل‌ضرب وزن داده‌شده به ورودی در مقدار ورودی برای هر یک از معیارها بیشتر باشد، باعث کمتر شدن شاخص ایمنی با شدت بیشتری تحت تأثیر آن معیار می‌شود و می‌توان گفت آن معیار در آن قطعه تأثیرگذارتر است. وزن‌های مذکور با استفاده از حل معادلات با توجه به رابطه ۱۱ از خروجی‌های نرم‌افزار استخراج شده است. سهم تأثیرگذاری هر یک از معیارهای وضعیت کاربری بر روی شاخص ایمنی در شکل ۲ ارائه شده است. همچنین این مقدار حاصل‌ضرب در تمامی قطعات، میانگین گرفته شده که تأثیرگذاری هر یک از معیارها را در شاخص ایمنی راه‌های دوخطه برون‌شهری تخمین می‌زند. این مقدار برای معیار خطرات کناره ناشی از کاربری برابر ۰,۷۵، معیار چگالی دسترسی برابر ۰,۱۵ و برای معیار چگالی کاربری برابر ۰,۱ است.

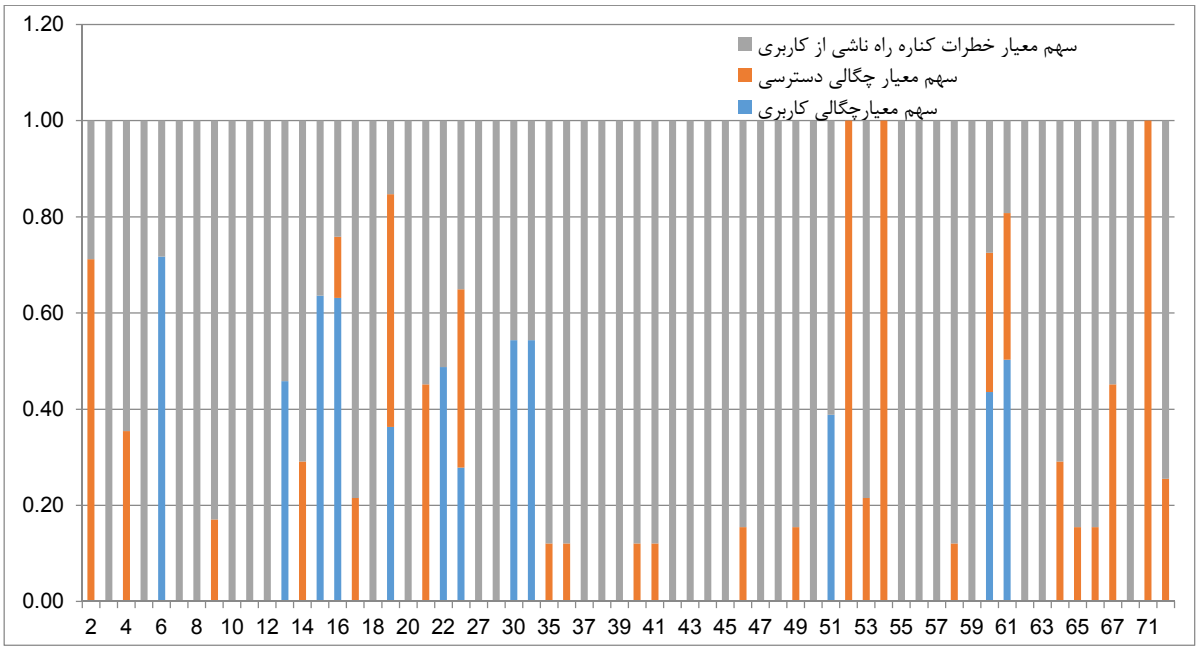
پس‌ازآنکه شاخص ایمنی قطعات تعیین شد، به‌منظور ارتقای ایمنی تحت تأثیر وضعیت کاربری‌های کناره راه، نوبت به هدف‌گذاری برای ۳ معیار وضعیت کاربری‌ها در هر قطعه می‌رسد. به عبارتی پس‌ازآنکه قطعات اولویت‌بندی شدند، با توجه به اولویت آن‌ها نیازمند اقدامات اصلاحی ایمنی هستند. در این مطالعه در تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها می‌بایست ورودی‌های قطعات که همان معیارهای وضعیت کاربری هستند، در هر قطعه طوری تغییر کنند که قطعه در بالاترین سطح شاخص ایمنی قرار گیرد بدین ترتیب برای معیارهای وضعیت کاربری هر یک از قطعات باید هدف تعریف شود. این اهداف با استفاده از واحد مجازی به دست می‌آیند. واحد مجازی ورودی‌ها ماتریسی از ورودی‌ها است که از حاصل‌ضرب قیمت‌های سایه قطعات (قیمت‌های سایه واحدهای کارا فقط غیر صفر هستند) در ورودی‌های آن واحدها به دست می‌آید. قیمت های سایه جزئی از خروجی‌های نرم‌افزار هستند. مقدار هدف برای یک واحد مورد نظر را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد که در این رابطه λ مقدار قیمت سایه برای واحد الگو است [Mehregan, 2006; and Hermans et al. 2009]:

$$TARGET_A = \sum_{j=1}^{62} \lambda_j \begin{bmatrix} x_{1j} \\ x_{2j} \\ x_{3j} \end{bmatrix} \quad (16)$$

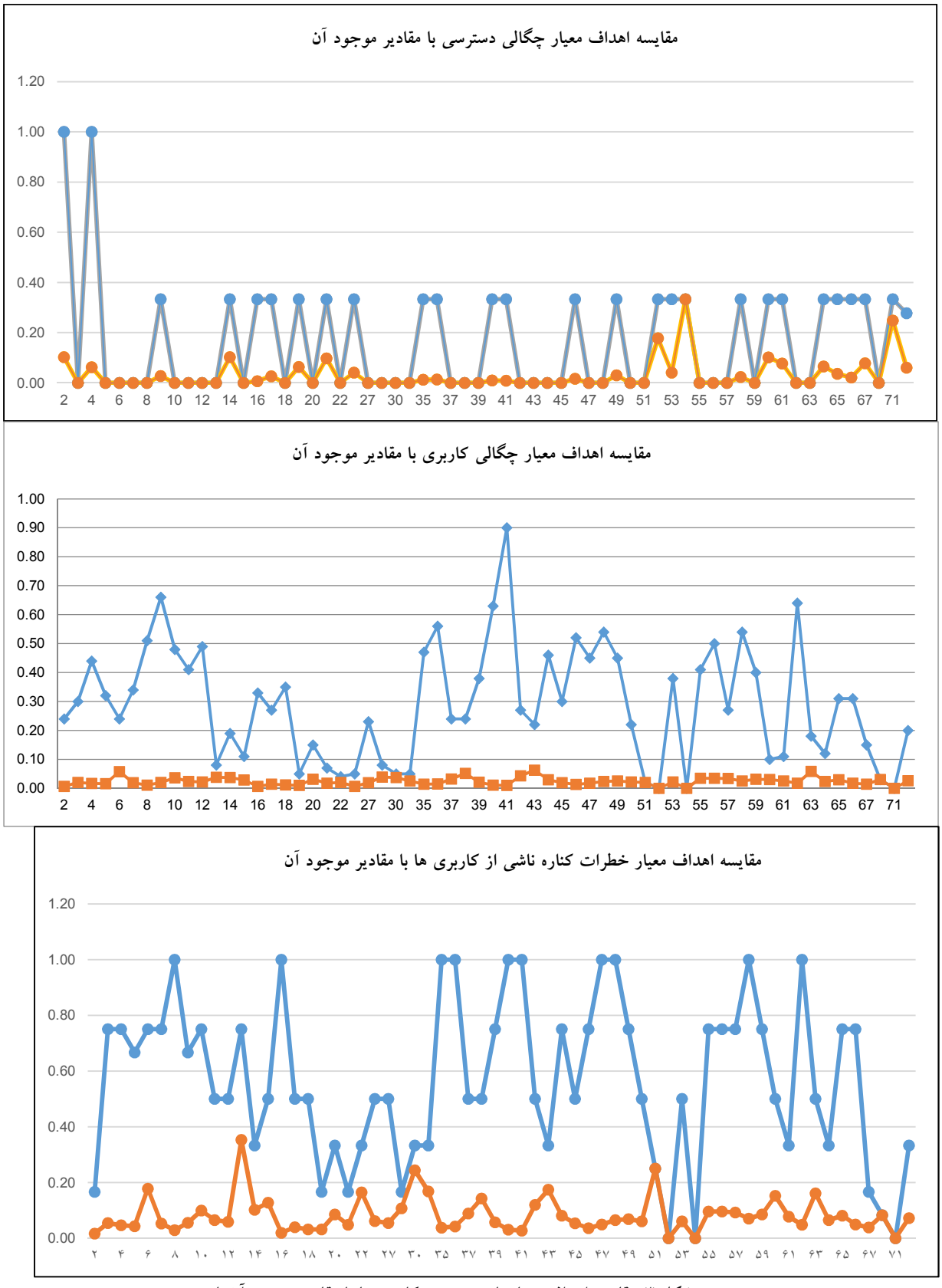
در نهایت برای هر یک از معیارهای وضعیت کاربری اهدافی برای تغییر تعیین شده اند. شکل ۳ مقایسه بین مقدار واقعی و اهداف تعیین شده برای هر یک از معیارها را نشان می‌دهد. مقادیر واقعی نشان دهنده وضع موجود وضعیت کاربری های قطعه و مقادیر هدف نشان دهنده الگوی اقدامات ایمنی برای رسیدن به آن مقادیر است.



شکل ۱. کارآیی شاخص ایمنی قطعات تحت تاثیر وضعیت کاربری‌ها



شکل ۲. سهم تأثیرگذاری هر یک از معیارهای وضعیت کاربری بر روی شاخص ایمنی



شکل ۳. مقایسه اهداف معیارهای وضعیت کاربری‌ها با مقادیر موجود آن‌ها

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تأثیر وضعیت کاربری‌های کناره در راه‌های دوخطه برون‌شهری از اهداف اصلی این مطالعه بوده که به جستجوی این تأثیر پرداخته شده است. بر اساس تحلیل‌های این مطالعات مشخص شد که تأثیرگذاری هر یک از معیارهای وضعیت کاربری بر ایمنی در کنار منفی بودن متفاوت است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، معیار خطرات کناره ناشی از کاربری به ترتیب از معیارهای چگالی دسترسی و چگالی کاربری بر ایمنی راه‌های دوخطه برون‌شهری تأثیرگذارتر است. از طرفی دیگر کاهش چگالی کاربری و دسترسی اقدامی دشوار و گاهی اوقات ناممکن است، بنابراین پیشنهاد اصلی در اصلاح کاربری‌های کناره راه جایگزینی کاربری با ویژگی‌ها و مشخصات مطلوب‌تر و یا اصلاح مشخصات و ویژگی‌های کاربری‌های موجود می‌باشد. از جمله این اقدامات عبارت‌اند از:

۱. ایجاد فاصله مجاز و مناسب بین سواره‌رو و کاربری‌ها و متعلقات آن‌ها شامل ساختمان، دسترسی‌ها، تابلوهای تبلیغاتی، وسایل و تجهیزات، تأسیسات و سایر متعلقات مربوط به کاربری؛

۲. عدم جانمایی کاربری در نقاط نامناسب و حادثه‌خیز راه مانند قوس‌های افقی، قوس‌های قائم، نزدیکی تونل‌ها و پل‌ها، سراشیبی های راه و...؛

۳. ایجاد دسترسی مناسب کاربری دارای فضای مناسب برای کاهش و افزایش سرعت و سیله نقلیه، دید کافی در دسترسی به کاربری، هدایت مناسب و سایل نقلیه برای دسترسی به کاربری و...؛

٤. وجود پارکینگ متناسب با عملکرد کاربری و تقاضای پارکینگ آن؛

۵. عملکرد متناسب کاربری مانند عدم تابش نور شدید از کاربری، عدم جلب‌توجه بیش‌از حد تابلوهای تبلیغاتی در کاربری های تجاری و ... .

در این مطالعه برای معیارهای وضعیت کاربری هر یک از قطعات اهداف ایمنی تعیین‌شده است. این عمل با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها صورت گرفته است. نتایج نشان می‌دهد کلیه مقادیر هدف در معیارهای وضعیت کاربری هر یک از قطعات برای رسیدن به بیشترین سطح شاخص ایمنی باید به مقدار زیادی بهبود یابند. نتایج تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها نشان داد که با استفاده از این تکنیک به‌خوبی می‌توان برای اقدامات ایمنی، قطعات یک محور را اولویت‌بندی کرده و برای هر یک از معیارهای وضعیت کاربری هر قطعه مقدار هدفی برای نیل به بالاترین سطح ایمنی تحت تاثیر کاربری‌ها تعیین کرد. همچنین با استفاده از این تکنیک می‌توان یافت کدام معیار وضعیت کاربری‌ها در قطعات در اولویت ایمنی قرار دارد. به‌کارگیری ترکیب فراوانی تصادفات پیش‌بینی شده با فراوانی تصادفات مشاهده شده، باعث می‌شود به‌خوبی مشخصات و ویژگی‌های ترافیکی و فیزیکی قطعات راه در قالب ضرایب اصلاحی تصادفات نمود پیدا کند و نتایج قابل‌اطمینان‌تر شوند.

در مطالعات پیشین کاربری های کناره راه به عنوان معیاری تاثیرگذار در ایمنی راه‌های دوخطه برون شهری نتیجه شده بود اما میزان تاثیر پارامترهای مختلف این معیار بررسی نشده بود که در این مطالعه بررسی شده و نتایج آن در مطلب فوق بیان گردید.

در پایان به‌عنوان پیشنهاد در مطالعات بعدی می‌توان تاثیرگذاری انواع کاربری‌ها اعم از مسکونی، تجاری، خدماتی و ... بر روی سطح ایمنی راه را به‌طور مجزا بررسی کرد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده پیشنهاد می شود که استاندارد سازی مشخصات،

ویژگی‌ها و عملکرد کاربری‌ها نسبت به حذف آن‌ها در اولویت قرار گیرند..

به‌دست آمده نتایج این مدل مورد تایید است. به دلیل حجیم شدن مقاله از ارائه مقادیر خروجی این نرم‌افزار پرهیز شده است.

مهم‌ترین نوآوری این تحقیق، کلیت موضوع آن است. جایگاه این مطالعه در راستای پر کردن بخشی از خلأ موجود در حوزه مطالعات ایمنی ترافیک است. لذا در بیان نوآوری‌های این پایان نامه می‌توان چنین اظهار داشت که؛ اگرچه تاکنون مطالعات زیادی با ایمنی در راه‌های دوخطه برون‌شهری انجام‌شده است، اما وضعیت کاربری‌های کناره راه که یکی از عوامل تأثیرگذار در ایمنی راه‌های دوخطه برون‌شهری است، در آن مطالعات لحاظ نشده است. از طرفی دیگر در این مطالعه شاخص ترکیبی متشکل از فراوانی تصادفات و وضعیت کاربری‌های کناره راه ارائه شده است که به عنوان یک نوآوری می‌توان از آن نام برد. همچنین در این پایان‌نامه، ورودی‌های مدل ایمنی که تعداد تصادفات هستند، به‌صورت تصادفات مورد انتظار لحاظ شده‌اند که از ترکیب همچنین برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی به محاسبه ضریب همبستگی بین مدل ارائه‌شده و مدل‌های پیشین با استفاده از نرم‌افزار spss پرداخته شده است. با توجه به ضرایب همبستگی تصادفات پیش‌بینی شده و تصادفات مشاهده شده با استفاده از روش بیزین تجربی طبق کتاب HSM به‌دست‌آمده‌اند.

به‌غیراز کلیت موضوع و نوآوری‌های فوق، سایر نوآوری‌های این رساله به‌اختصار عبارت‌اند از؛

- در ساخت مدل ایمنی تحت تأثیر وضعیت کاربری‌ها ورودی‌ها و خروجی‌ها به‌صورت نرمالایز شده واردشده‌اند که موجب قابل‌اعتمادتر شدن مدل می‌شود.
- به‌کارگیری تحلیل پوششی داده‌ها، موجب مقایسه بهتر قطعات راه و پارامترهای وضعیت کاربری راه های دوخطه برون‌شهری، شده است.
- تأثیر مشخصات فیزیکی و ترافیکی قطعات به‌صورت فاکتورهای اصلاحیه تصادفات در محاسبه تعداد تصادفات پیش‌بینی شده لحاظ شده‌اند که این موضوع قابلیت اطمینان نتایج مدل را افزایش می‌دهد.

٦. مراجع

- AASHTO (2002) "Roadside Design Guide".Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Ackaah, W. and Salifu, M. (2011) "Crash prediction model for two-lane rural highways in the Ashanti region of Ghana", IATSS research, Vol. 35, No.1, pp.34-40.
- Behnood, H. R., Ayati, E., Hermans, E. and Neghab, M. P. (2014) "Road safety performance evaluation and policy making by data envelopment analysis: A case study of provincial data in Iran", Scientia Iranica. Transaction A, Civil Engineering, Vol. 21, No. 5, pp.1515-1528.
- Brthod, C. (2016) "Land use planning measures
- to learn from a data envelopment analysis", Accident Analysis & Prevention, Vol. 41, No. 1, pp. 174-182.
- Ismail, N. and Zamani, H. (2013) "Estimation of claim count data using negative binomial, generalized Poisson, zero-inflated negative binomial and zero-inflated generalized Poisson regression models", In Casualty Actuarial Society E-Forum, Vol. 41, No. 20, pp. 1-28.
- Legal Medicine Organization (2010) " Statistical Yearbook", S.l.
- Lord, D., Park, B. J. and Model, P. G. (2012) "Negative binomial regression models and estimation methods", Probability Density and Likelihood Functions, pp.1-15.
- Mehregan, M. (2006) "Quantitative Models in organizational performance evaluation (data envelopment analysis)", Second Edition ed. University of Tehran: Faculty of Management Publications.
- National Research Council (US) (2010) . "Transportation Research Board. Task Force on Development of the Highway Safety Manual and Transportation Officials. Joint Task Force on the Highway Safety Manual, (2010) "Highway Safety Manual" (Vol. 1). AASHTO.
- Shen, Y., Hermans, E., Brijs, T., Wets, G. and Vanhoof, K. (2012) "Road safety risk evaluation and target setting using data envelopment analysis and its extensions for promoting road safety", in tac 2016: efficient transportation-managing the demand" -2016 Conference and Exhibition of the Transportation Association of Canada.
- Cafiso, S., La Cava, G. and Montella, A. (2007) "Safety evaluation process for two-lane rural highways", Transportation Research Record, Vol. 2019, pp. 136-145.
- Charnes, A., Cooper, W.W. and Rhodes, E. (1979) "Measuring the efficiency of decision-making units", European Journal of Opertional Research, Vol. 3, No. 4, pp. 339-338.
- Hermans, E., Van den Bossche, F. and Wets, G. (2008) "Combining road safety information in a performance index", Accident Analysis & Prevention, Vol. 40, No. 4, pp. 1337-1344.
- Hermans, E., Brijs, T., Wets, G. and Vanhoof, K. (2009) "Benchmarking road safety: lessons

envelopment analysis and its extensions", Accident Analysis & Prevention, Vol. 48, pp. 430-441.

- Songpatanasilp, P., Yamada, H., Horanont, T. and Shibasaki, R. (2015) "Traffic accidents
- Vogt, A. and Bared, J. (1998) "Accident models for two-lane rural segments and intersections", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (1635), pp.18-29.
- World Health Organization (2015) "Global status report on road safety 2015", World Health Organization.

risk analysis based on road and land use factors using GLMs and zero-inflated models", In Proceedings of 14th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management (CUPUM 2015), pp. 7-10.

محمدرضا بختیاری، درجه کارشناسی در رشته عمران را در سال ۱۳۹٤ از دانشگاه صنعتی قم و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران – راه و ترابری را در سال ۱۳۹٦ از دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) اخذ نمود. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان ایمنی راه و کاهش تصادفات جاده‌ای و خطوط ریلی، شبیه‌سازی در مهندسی ترافیک، عارضه سنجی ترافیکی، برنامه‌ریزی و طراحی سامانه اتوبوس تندرو است.

حمیدرضا بهنود، درجه کارشناسی ارشد در رشته راه و ترابری در سال ۱۳۸۵ را از دانشگاه فردوسی مشهد اخذ نمود. در سال ۱۳۹۲ موفق به کسب درجه دکتری در رشته راه و ترابری از دانشگاه فردوسی مشهد گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مطالعات برنامه‌ریزی ایمنی راه بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) است.

بابک میربهاء درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران –راه و ترابری را در سال ۱۳۸٤ و درجه دکتری خود در همین رشته را در سال ۱۳۹۲ ازدانشگاه تربیت مدرس اخذ نمود. ایشان از سال ۱۳۹۲ به عنوان دانشیار و عضو هیئت علمی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) مشغول به فعالیت بوده است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه وی، مطالعات ترافیک، مدل‌سازی ناهمفزون، ایمنی وسیستم‌های حمل و نقل هوشمند است.