مدل شاخص ترکیبی ایمنی راه‌های برون‌شهری تحت تأثیر وضعیت نواحی مسکونی حاشیه راه

علمی - پژوهشی

محمدزانیار امجدی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران- حمل و نقل، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران

حمیدرضا بهنود*، دانشیار، گروه مهندسی عمران- حمل و نقل، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران

محمدرضا بختیاری، دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی عمران- حمل و نقل، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: hr.behnood@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۱- پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۱

صفحه ۳۹۶-۳۸۵

چکیده

ویژگی‌های هندسی راه‌های برون شهری مبنای بیشتر مطالعات و مدل‌های ایمنی ارائه شده در مورد این راه‌ها می‌باشد اما از عوامل دیگری که می‌تواند بر ایمنی این راه‌ها تأثیرگذار باشد، مناطق مسکونی واقع در حاشیه این راه‌های برون شهری است. در این تحقیق با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها ۱۵ منطقه مسکونی برون شهری واقع در استان کردستان مورد مطالعه قرار گرفته شده و تأثیر این مناطق بر روی ایمنی راه‌های دوخطه برون شهری بررسی شده است. در هرکدام از این مناطق چهار معیار چگالی دسترسی، وجود یا عدم وجود مانع عابر پیاده، گذرگاه غیر همسطح عابر پیاده و میزان تردد کاربران آسیب‌پذیر مورد بررسی قرار گرفته است و به عنوان ورودی‌های روش تحلیل پوششی داده‌ها تعیین شده‌اند. همچنین عکس فراوانی تصادفات مورد انتظار، خروجی‌های این تکنیک هستند که همان امتیاز ایمنی واحدها محسوب می‌شوند. فراوانی تصادفات مورد انتظار نیز از روش بیز تجربی با استفاده از فراوانی تصادفات مشاهده شده و فراوانی تصادفات پیش بینی شده بدست آمده است. در این تحقیق با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها با بدست آوردن سهم تأثیر ورودی‌ها در کارایی به این نتیجه رسیدیم که این مقادیر برای معیار چگالی دسترسی (R_DD) برابر ۰٫۵، برای معیار وجود یا عدم وجود مانع عابر پیاده (R_PB) برابر ۰٫۰۲، برای معیار گذرگاه عابر پیاده (R_PC) برابر ۰ و برای معیار میزان تردد کاربران آسیب پذیر (VRU_C) برابر ۰٫۴۸ است که می‌توان به این نتیجه رسید که معیارهای چگالی دسترسی و میزان تردد کاربران آسیب‌پذیر در این واحدها بیشتر از سایر معیارها در ایمنی مؤثرند و از جمله راهکارهایی که می‌توان برای افزایش ایمنی این راه‌های دوخطه ارائه داد، محدود کردن بیشتر دسترسی‌ها و فرهنگسازی نحوه‌ی تردد کاربران در این مناطق است.

واژه‌های کلیدی: تصادفات جاده‌ای، مناطق مسکونی حاشیه راه، تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها، فراوانی تصادف مورد انتظار

۱-مقدمه

امروزه با توجه به نرخ و تعداد قابل توجه تلفات و تصادفات در راه‌های برون شهری، بسیاری از تحقیقات در راستای بررسی تأثیر اقدامات ایمن‌سازی بر کاهش این تلفات است. یکی از موضوعاتی که در مورد این راه‌ها کمتر به آن پرداخته شده است، نقش مناطق مسکونی حاشیه راه در ایمنی آن است. تصادفات پرخطر در جاده‌های برون شهری و مناطق مسکونی واقع درحاشیه راه باعث شده تا امروزه بسیاری از مطالعات در جهت اقدامات ایمن‌سازی راه‌های برون شهری و مناطق مسکونی واقع در حاشیه راه صورت

گیرد. برای بررسی ایمنی مناطق مسکونی حاشیه راه بهترین معیار استفاده از مدل‌های پیش‌بینی تصادفات و کاربرد آن در براورد تصادفات مورد انتظار است. مدل‌های پیش‌بینی تصادفات از ترکیب اثر حجم تردد و ضرایب تعدیل تصادف به دست می‌آید. در این مدل‌ها چون تمام ضرایب CMF ویژگی‌های منطقه مسکونی، علائم ترافیکی، نحوه ی ورود به منطقه و... را نداریم در نتیجه امکان استفاده از این مدل دشوار است. یکی از کارهایی که می‌توان در این راستا انجام داد استفاده از یک شاخص عملکردی ترکیبی به عنوان معیاری برای بیان ایمنی است که این شاخص، یک شاخص کارایی با ترکیبی از شاخص‌های ورودی و خروجی است. هدف این مطالعه ارائه یک شاخص ترکیبی است که پوشش‌دهنده اطلاعاتی از فراوانی تصادفات نواحی مسکونی و تاثیر ویژگی‌های مختلف منطقه مسکونی حاشیه راه در تعداد تصادفات باشد. با استفاده از این شاخص، رتبه‌بندی ایمنی نواحی مسکونی حاشیه راه انجام خواهد شد و بر این اساس ملزومات وسیاست‌هایی برای بهبود این شاخص تعیین خواهد شد. با استفاده ازمدل ارائه شده، سهم تأثیر هر کدام از عوامل تأثیرگذار مناطق مسکونی حاشیه راه مشخص خواهد شد. این مدل منجر به شناسایی قطعات با بالاترین کارایی و تعیین میزان تغییرات لازم در سایر مناطق مسکونی حاشیه راه برای رسیدن به کارایی قابل قبول خواهد شد. انجام این مطالعه بر این فرضیه استوار است که افزایش جوانب خطرناک مانند چگالی دسترسی و تردد عابر پیاده در محیط منطقه مسکونی باعث پایین آمدن شاخص ایمنی (شاخص ترکیبی) می‌شود. در این مطالعه ۱۵ منطقه مسکونی حاشیه راه‌های دوخطه‌ی برون شهری در استان کردستان ایران به عنوان محدوده‌ی مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. در مدل ایمنی استفاده شده در راه‌های دوخطه برون شهری، فقط وضعیت مناطق مسکونی حاشیه راه منظور شده و ویژگی‌های ترافیکی و فیزیکی راه در پیش‌بینی تعداد تصادفات در نظر گرفته شده‌اند. خروجی مدل که همان امتیاز ایمنی قطعات است، از معکوس کردن فراوانی تصادفات مورد انتظار بدست می‌آید. وضعیت این مناطق در قالب چهار معیار (چگالی دسترسی، وجود یا عدم وجود مانع عابرپیاده، تعداد گذرگاه غیرهمسطح عابر پیاده و میزان تردد کاربران آسیب‌پذیر) و برداشت‌های میدانی به‌دست امده است. فراوانی تصادفات مورد انتظار نیز از ترکیب فراوانی تصادفات پیش‌بینی‌شده و فراوانی تصادفات مشاهده‌شده با استفاده از روش بیزین تجربی بر اساس راهنمای ایمنی راه‌ها مشخص شده‌اند (National Research Council (US), 2010). در این مطالعه از مدل تحلیل پوششی داده‌ها با هدف ارائه مدل ایمنی استفاده‌شده است (مهرگان، ۱۳۹۵). در این مدل کارایی مناطق، تأثیر و سهم هر یک از پارامترهای وضعیت نواحی مسکونی حاشیه راه در ایمنی و هدف تغییر در وضعیت نواحی مسکونی حاشیه راه به دست می‌آید.

۲-پیشینه تحقیق

بختیاری و همکاران (۱۳۹۹) مطالعه‌ای را با عنوان مدل شاخص ترکیبی ایمنی راه‌های دوخطه برون شهری تحت تأثیر وضعیت کاربری‌های اطراف راه انجام دادند. در این مطالعه نقش کاربری‌ها در ریسک تصادفات و سطح ایمنی راه بررسی شد. در این مطالعه نتایج تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها نشان داد که معیار خطرات ناشی از کاربری‌های حاشیه راه تأثیر بیشتری نسبت به چگالی دسترسی‌ها و چگالی کاربری‌ها در کاهش سطح ایمنی راه‌های دوخطه برون‌شهری در مجاورت کاربری‌ها دارند. کنترل کامل دسترسی با اعمال تکنیک‌های مدیریت دسترسی کارا، از عوامل مهم طراحی هستندکه تأثیر زیادی در ایمنی دارند. مطالعات بسیاری در رابطه با تراکم دسترسی و تصادفات در جاده‌ها و مسیرهای شهری چندین دهه است که انجام می‌گیرد (Gluck et al., 1999). کتاب راهنمای وزارت حمل و نقل واشنگتن نشان می‌دهد که در عملکرد ایمنی یک بزرگراه، کنترل نقاط دسترسی نسبت به افزودن خطوط بیشتر کم هزینه‌تر است (Schultz et al., 2008). راهنمای اداره حمل و نقل IOWA نشان می‌دهد که با اجرای پروژه‌های مدیریت دسترسی کاهش حدود ۱۰ تا ٦٥ درصدی کل برخوردها را در تصادفات سالانه محقق سازد که با اجرای این پروژه‌ها ٤٠ درصد کاهش برخورد وسایل نقلیه در هر مایل و ۲۵ درصد کاهش تصادفات جرحی و ۵۰ درصد کاهش در تصادفات خسارتی گردید (Eisele et al., 2004). دیسنایانکه (۲۰۰۹) تحقیقاتی تحت عنوان مدل اثرگذاری عوامل کاربری و زمانی برروی تصادفات عابران پیاده خردسال انجام دادند که شهر نیوکاسل محل این تحقیق بود. در نهایت به این نتیجه رسیدند که چگالی زیاد مناطق مسکونی همسو با تعداد تصادفات عابران پیاده خردسال هستند. در این تحقیق دستوروالعمل‌هایی برای افزایش ایمنی عابران پیاده خردسال مهیا گردید (Dissanayake, 2009). ویر و همکاران در سال ۲۰۰۸ با انجام مطالعاتی به این نتیجه رسیدند که پارامترهایی همانند افزایش

حجم ترافیک، افزایش کاربری‌های کناره راه و افزایش مناطق مسکونی و و تجاری باعث افزایش تعداد تصادفات عابران پیاده می‌شود (Wier et al., 2009).

موسی و موسس در سال ۲۰۱٤ مطالعه‌ای تحت عنوان ارزیابی تأثیر کاربری‌ها بر روی تصادفات ترافیکی روی شش راه اصلی از شهر زاریا نیجریه انجام دادند و آمار تصادفات هر یک از جاده‌ها بدست آمد. در این مطالعه شاخصی تحت عنوان قابلیت دسترسی این راه‌ها که از نسبت ظرفیت مقطع جاده به پتانسیل تولید سفر مقطع محاسبه می‌شد، بدست آمد (Musa & Moses, 2014).

رانجابند و همکاران در سال ۲۰۱٦ تحقیقی تحت عنوان ارزیابی سطح سرویس ایمنی در راه‌های دوخطه برون شهری انجام دادند. در این تحقیق راه‌ها را بر اساس درجه خطرات و پتانسیل بهبود ایمنی در سطح سرویس‌های مختلف ایمنی رتبه بندی کرده است (Ranjabandyopadhyaya, 2016). کوک و همکاران در سال ۲۰۰۱ قدیمی‌ترین مدل کاربردی در تحلیل ایمنی راه را ارائه دادند که در آن اولویت بندی بهینه نقاط حادثه‌خیز جاده‌ای با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها شرح داده شده است (Cook et al., 2001).

هرمانس و همکاران در سال ۲۰۰۹ الگویی از کاربرد تحلیل پوششی داده‌ها را در برنامه ریزی ایمنی راه ارائه کردند که هدفش برداشتن گامی در این راستا با ارایه 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 مورد مطالعه، بدست آمد. همچنین اهداف و اولویت‌ها برای تعیین سیاست‌های آتی نیز بدست آمد (Hermans et al., 2009).

شن و همکاران در سال ۲۰۱۰ شکل کلی‌تری از این تحلیل را با عنوان مدل تعمیم یافته چند لایه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها به منظور ارزیابی ساختار سلسله مراتبی اطلاعات ایمنی راه ارائه کردند (Shen et al., 2010).

در سال ۲۰۱۲ با تمرکز بر تعیین اهداف ایمنی راه، روش تحلیل پوششی داده‌ها و رویکردهای توسعه یافته آن برای بررسی ریسک ایمنی راه و تعیین اهداف در این زمینه به کار گرفته شد که در آن خطر فوت جاده‌ای بر مبنای سطح رویارویی با ریسک به عنوان شاخص مورد سنجش در تحلیل پوششی داده‌ها معرفی شد (Shen et al., 2012).

۳-روش تحقیق

در این مطالعه ۱۵ منطقه مسکونی حاشیه راه‌های برون شهری استان کردستان مورد تحقیق قرار گرفته است که وضعیت این مناطق مسکونی در قالب چهار معیار چگالی دسترسی، وجود یا عدم وجود مانع عابر پیاده، تعداد گذرگاه غیر همسطح عابر پیاده و میزان تردد کاربران آسیب‌پذیر مورد تحقیق قرار گرفته‌اند.

برای بررسی ایمنی راه‌های دوخطه برون شهری تحت تأثیر مناطق مسکونی حاشیه راه از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شده است که ورودی‌های شامل چهار معیار چگالی دسترسی، وجود یا عدم وجود مانع عابر پیاده، تعداد گذرگاه غیر همسطح عابر پیاده و میزان تردد کاربران آسیب‌پذیر و خروجی‌ها شامل معکوس فراوانی تصادفات مورد انتظار که همان امتیاز ایمنی‌اند، هستند.

روش ارائه شده در کتاب راهنمای ایمنی راه‌ها و در فصل ۱۰ آن مبنای محاسبه‌ی فراوانی تصادفات مورد انتظار است که از ترکیب فراوانی تصادفات مشاهده شده و فراوانی تصادفات پیش‌بینی‌شده بدست می‌آید. در این تحقیق از روش بیز تجربی برای ترکیب برآوردها و فراوانی تصادفات استفاده می‌شود (National Research Council (US), 2010).

همچنین در این مطالعه برای ۱۵ منطقه مسکونی حاشیه راه‌های برون شهری از ۳ سال داده‌های حجم ترافیک و تصادفات استفاده شده است. ضرایب تعدیل تصادفات و توابع عملکرد ایمنی نیز با استفاده از شرایط موجود بدست آمده است.

در نهایت کارایی ایمنی مناطق مسکونی حاشیه راه‌های برون شهری با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها محاسبه شده است که این مقدار می‌تواند از ۰ تا ۱ باشد و اگر صفر شود یعنی قطعه ناکارا و اگر یک شود یعنی قطعه کارا است که می‌تواند معیاری برای دیگر قطعه‌ها شود. سپس این مناطق مسکونی برای انجام اقدامات ایمنی اولویت‌بندی شده و مقادیر اهداف ورودی‌ها و سهم ورودی‌ها در کارایی بدست می‌آیند.

مطالعات زیادی تا به الان در راستای ارتقای ترافیک جاده‌ای در رابطه با روش‌های پیش‌بینی تصادفات، روش‌های شناسایی نقاط حادثه‌خیز، شناسایی عوامل تاثیر گذار در رخداد تصادفات و ... انجام شده است. با توجه به مطالعات انجام‌شده می‌توان نتیجه گرفت که یکی از مباحثی که کمتر به آن پرداخته‌شده است تأثیر وضعیت کاربری‌ها در ایمنی راه‌های دوخطه برون‌شهری به ویژه تاثیر پارامترهای مختلف کاربری‌ها است و مطالعه و پژوهش در رابطه با این موضوع 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 کارایی هر یک را بسنجد. سپس اهدافی را برای هر یک از واحدها برای رسیدن به بیشترین کارایی تعیین کند.

۳-۱- داده‌ها

داده‌های مربوط به تصادفات سال‌های ۹۳، ۹۴ و ۹۵ از پلیس راهور کشور و اداره کل راهداری و حمل و نقل جاده‌ایی استان اخذ شده و داده‌های مرتبط با ویژگی‌های منطقه مسکونی و سایر داده‌ها به صورت برداشت میدانی از مناطق مسکونی مورد نظر برداشت شده است. داده‌های تصادفات به تفکیک خسارتی، جرحی و فوتی است و در این تحقیق فقط از تصادفات فوتی و جرحی مدنظر است و تصادفات خسارتی خارج از محدوده‌ی مطالعاتی ما است. این داده‌ها شامل تعداد، تاریخ، مکان، نحوه‌ی برخورد، عامل انسانی، شدت تصادفات و نوع وسایل نقلیه‌ی برخورد می‌باشند.

در این مطالعه طول مناطق مسکونی مورد نظر با استفاده از گوگل مپ بدست آمده است. همچنین تعداد خط، عرض راه، تعداد دسترسی، وجود یا عدم وجود عابر پیاده، تعداد گذرگاه غیر همسطح عابر پیاده، میزان تردد کاربران آسیب‌پذیر راه در ساعت اوج از برداشت‌های میدانی بدست آمده است.

در این تحقیق ۱۵ منطقه مسکونی حاشیه راه‌های برون شهری استان کردستان به صورت تصادفی مورد مطالعه قرار گرفته شده است. این جاده‌های برون شهری استان کردستان دو خطه جدا نشده و اغلب کوهستانی هستند که این امر باعث منحصر به فرد شدن این جاده‌ها و مناطق مسکونی حاشیه این راه‌ها شده است.

مشخصات هندسی مناطق مسکونی مورد نظر با استفاده از بازدیدهای میدانی و همچنین استفاده از نقشه‌های هوایی گوگل ارث بدست آمده است. نوع شانه این مناطق مسکونی اکثرا خاکی است. مشخصات شانه در این مطالعه با استفاده از بازدیدهای میدانی بدست آمده است.

محورهای موجود در این مناطق مسکونی اکثرا بدون چراغ‌های روشنایی هستند. اکثر محورهای موجود در این مناطق مسکونی بدون دوربین کنترل سرعت هستند. در جاده‌های دوخطه برون شهری به دلیل ممنوع بودن سبقت، احتمال ایجاد ترافیک سنگین به خصوص ترافیک ناشی از حرکت وسایل نقلیه سنگین وجود دارد لذا در بعضی از قسمت‌های جاده که دید کافی وجود دارد خطوط سبقت به منظور سبقت‌های ایمن قرار داده می‌شود. به دلیل کوهستانی بودن توپوگرافی استان کردستان، اکثرا این مناطق مسکونی دارای شیب طولی زیاد و شرایط هندسی خاص خود هستند که در ایمنی این مناطق تأثیر به سزایی دارد.

۳-۲- مدل پیش‌بینی تصادف

بر اساس متدولوژی موجود در کتاب راهنمای ایمنی راه‌ها برای راه‌های دوخطه برون شهری میانگین فراوانی تصادفات مورد انتظار از ترکیب فراوانی تصادفات مشاهده شده و فراوانی تصادفات پیش‌بینی شده بدست می‌آید.

$$N_{predictedrs} = N_{spfrs} \times C_r \times (CMF_{1r} \times CMF_{2r} \times ... \times CMF_{12r}) \quad (۱)$$

در این رابطه $N_{predicted\ rs}$ برآورد پیش‌بینی از فراوانی تصادفات برای یک سال معین و سایت، N_{spfrs} فراوانی تصادفات به دست آمده از تابع عملکرد ایمنی(تعداد تصادفات در سال)، C_r ضریب کالیبراسیون و CMFها ضرایب تعدیل تصادف (ضرایب اصلاحی عرض خط، عرض و نوع شانه، خطرات کناره راه، چگالی دسترسی فرعی، قوس‌های افقی و قائم، روشنایی و شیب) هستند.

تابع عملکرد ایمنی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$N_{spfrs} = AADT \times L \times 365 \times 10^{-6} \times e^{(-0.312)} \quad (۲)$$

در این رابطه N_{spfrs} فراوانی تصادفات به دست آمده از تابع عملکرد ایمنی، $AADT$ میانگین حجم ترافیک روزانه در سال و L طول قطعه است.

در پایان از از روابط زیر به منظور تعیین فراوانی تصادفات مورد انتظار استفاده شده است.

$$N_{expected} = w \times N_{predicted} + (1-w) \times N_{observed} \quad (۳)$$

(۴)

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

$$k = \frac{0.236}{L} \quad (۵)$$

در این روابط $N_{expected}$ 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 ایمنی راه‌ها برای تعیین فراوانی تصادفات مورد انتظار در هر قطعه استفاده‌شده است.

مقدار پارامتر بیش پراکندگی مربوط به قطعات راه‌های دوخطه از رابطه زیر به صورت تابعی از طول قطعه بدست می‌آید. هر چقدر این پارامتر به صفر نزدیک‌تر باشد، آن تابع از جنبه‌ی آماری قابلیت اطمینان بالاتری دارد. مقادیر کامل ضرایب تعدیل تصادفات در جدول ۱ به صورت کامل ارائه شده است.

جدول ۱. مقادیر کامل ضرایب تعدیل تصادفات

منطقه	CMF عرض خط	CMF عرض شانه	CMF تعداد دسترسی	CMF روشنایی	CMF دوربین	CMF شیب	CMF خطوط سبقت
ننله	۱,۰۳	۱,۰۵	۱,٤	۱		۱	۱
باباریز	۱,۱۵	۱,۰۷	۱,۰۲	۱	۱	۱,۱	۱
نران	۱,۱	۱,۰۵	۱,۱٦	۱	۱	۱,۱	۰,۷۵
سراب قامیش	۱,۲۵	۱,۱	۱,۲۷	۱	۱	۱,۱	۱
حسن آباد	۱,۱۵	۱,۰۱	۱,۳۲	۱	۱	۱,۱٦	۰,۷۵
نایسر	۱,۰٤	۰,۹۸	۱,٤۲	۱	۱	۱,۱	۰,۷۵
موچش	۱	۱	۱,۳۷	۱	۱	۱,۱	۰,٦۵
شویشه	۱	۱,۰۷	۱,۱۲	۱	۱	۱	۰,٦۵
یلغوز آباد	۱	۱,۰۷	۱,۱٤	۱	۱	۱	۰,٦۵
ننور	۱,۲	۱,۰۵	۱,۱٦	۱	۱	۱,۱	۱
صلوات آباد	۱	۱,۰۲	۱,۲	۱	۱	۱,۱٦	۱
بابارشانی	۱,۱	۰,۹۸	۱,۱	۱	۱	۱	۱
صوفیان	۱,۱۷	۱,۰۷	۱	۱	۱	۱	۰,۷۵
قاملو	۱,۲۵	۱,۱	۱,۰٤	۱	۱	۱	۱
دزج	۱,۱۵	۰,۹۸	۱,۳	۱	۱	۱	۱

مقادیر فراوانی تصادفات مشاهده شده، پیش بینی شده و مورد انتظار مناطق مسکونی حاشیه راه‌های برون شهری استان کردستان در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲. مقادیر فراوانی تصادفات مشاهده شده، پیش بینی شده و مورد انتظار مناطق مسکونی حاشیه راه‌های برون شهری استان کردستان

منطقه مسکونی	فراوانی تصادفات مشاهده شده	فراوانی تصادفات پیش بینی شده	فراوانی تصادفات مورد انتظار
ننله	٦	۰,٤۵	٤,٦
باباریز	٦	۰,۵۵	٤,٦
نران	۱	۰,۵۵	۰,۸۸
سراب قامیش	۲	۰,٦٤	۱,٦٦
حسن آباد	٤	۱,۱٤	۳,۲۸
نایسر	۳	۱,۲۲	۲,۲۵
موچش	۵	۰,۵	۳,۸۷
شویشه	۳	۰,۳	۲,۳۲
یلغوز آباد	۳	۰,۵۵	۲,۳۹
ننور	۲	۱,۱۷	۱,۸
صلوات آباد	٤	۰,۵۱	۳,۱۲
بابارشانی	۲	۱,۱۱	۱,۷۷
صوفیان	۳	۰,۳۵	۲,۳۳
قاملو	۱	۰,۲۷	۰,۸۱
دزج	۱	۰,۸	۰,۹۷

۳-۳- امتیاز ایمنی مناطق مسکونی

پس از محاسبه‌ی فراوانی مشاهده شده، پیش بینی شده و در نهایت مورد انتظار می‌توان امتیاز ایمنی این مناطق مسکونی را بدست آورد که برابر عکس فراوانی مورد انتظار است و در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. امتیاز ایمنی مناطق مسکونی استان کردستان

منطقه مسکونی	امتیاز ایمنی
ننله	۰,۲۱
باباریز	۰,۲۱
نران	۱,۱۳
سراب قامیش	۰,٦
حسن آباد	۰,۳
نایسر	۰,٤٤
موچش	۰,۲٦
شویشه	۰,٤۳
یلغوز آباد	۰,٤۲
ننور	۰,۵۵
صلوات آباد	۰,۳۲
بابارشانی	۰,۵٦
صوفیان	۰,٤۳
قاملو	۱,۲۳
دزج	۱,۰۳

شاخص ایمنی در این مطالعه به صورت زیر تعریف شده است.

(٦)

$$SI = \frac{1/N_{expected}}{R_{DD} - R_{PB} - R_{pc} + VRU_c}$$

در رابطه (٦) SI شاخص ایمنی تحت تأثیر وضعیت مناطق مسکونی حاشیه راه، $N_{expected}$ فراوانی تصادفات مورد انتظار، R_{DD}نرخ چگالی دسترسی، R_{PB} نرخ مربوط به وجود یا عدم وجود مانع عابر پیاده، R_{PC}نرخ گذرگاه غیر همسطح عابر پیاده، VRU_Cنرخ تردد کاربران آسیب‌پذیر راه است.

برای بررسی ایمنی راه‌های دوخطه برون شهری تحت تأثیر مناطق مسکونی حاشیه راه ورودی‌های ما شامل چهار معیار چگالی دسترسی، وجود یا عدم وجود مانع عابر پیاده، تعداد گذرگاه غیر همسطح عابر پیاده و میزان تردد کاربران آسیب‌پذیر است که پارامترهای R_{DD} ، R_{PB}، R_{PC} و VRU_C با استفاده از این معیارها تعریف می‌شوند.

$\boldsymbol{R_{DD}}$ از نسبت تعداد دسترسی به طول منطقه مسکونی بدست می‌آید.

$\boldsymbol{R_{PB}}$ به صورت عددی است که می‌تواند صفر یا یک باشد. مقدار آن برای مناطقی که مانع عابر پیاده دارد، یک و برای مناطقی که مانع عابر پیاده ندارد، صفر است.

$\boldsymbol{R_{PC}}$ از نسبت گذرگاه غیر همسطح عابر پیاده به طول منطقه مسکونی بدست می‌آید.

$\boldsymbol{VRU_C}$ از نسبت تعداد تردد کاربران آسیب‌پذیر راه به طول منطقه مسکونی بدست می‌آید.

در جدول ٤ مقدار پارامترهای R_{DD}، R_{PB}، R_{PC} و VRU_C ارائه شده است.

جدول ٤. مقادیر پارامترهای R_{DD}، R_{PB}، R_{PC} و VRU_C

منطقه مسکونی	R_{DD}	R_{PB}	R_{PC}	VRU_C
صلوات آباد	٦,٢٥	٠	١,٢٥	٥٦,٨٧
ننله	١٢,٥	١	٠,٨٣	١٠٢,٥
باباریز	٨,٦	٠	٠	٧٥,٧
نران	١٠	١	١,٢٥	٤٥
سراب قامیش	٩,٢	٠	٠	٧٢,٣
حسن آباد	٧,٣	٠	٠	٦٧,٣٦
صوفیان	١٢,٥	٠	٠	٨٧,٥
نایسر	٤	٠	٠	٣٠
موچش	٩,٥	١	١,١٧	٨٧,٦
شویشه	٥	٠	٠	٦١,٨
یلغوز آغاج	١٦	١	٢	١٢٢
تنور	٨,٩	٠	٠	٦٨,٨
بابارشانی	٧,٣	٠	٠	٦١
قاملو	١٥	٠	٠	١٠٠
دزج	٧,٣٣	٠	٠	٥٨,٦

چارنز، کوپر و رودز در ساخت مدل تحلیل پوششی داده‌ها به یک رابطه تجربی در ارتباط با «تعداد واحدهای مورد ارزیابی» و «تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها» به صورت زیر رسیده‌اند:

٣ (تعداد خروجی‌ها + تعداد ورودی‌ها) ≤ تعداد واحدهای مورد ارزیابی

در این مطالعه با توجه به این که تعداد واحد مورد ارزیابی، ١٥ واحد و تعداد ورودی‌ها و خروجی‌های تحقیق به ترتیب ٤ و ١ است، داریم.

$$15 \geq 3(4+1)$$

که رابطه‌ی فوق برقرار است.

در این مطالعه، هدف بررسی کارایی n واحد یعنی ١٥ منطقه مسکونی و هر واحد دارای m ورودی یعنی ٣ ورودی و s خروجی یعنی ١ خروجی است. در نهایت کارایی واحد jام (j=1,2,…15) به صورت رابطه‌ی ٧ بدست می‌آید:

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

(٧)

$$Efficiency = \frac{Weighted\ \ sum\ \ of\ \ outputs}{Weighted\ \ sum\ \ of\ \ inputs}$$

در این رابطه صورت کسر مقدار وزن دهی شده خروجی‌ها و مخرج مقدار وزن دهی شده ورودی‌ها هستند. خروجی‌های این تکنیک از مدل‌های ارائه‌شده در روش‌های تحلیل پوششی داده‌ها به دست می‌آید. اولین مدل توسعه‌یافته در روش تحلیل پوششی داده‌ها توسط چارنز، کوپر و رودز در سال ١٩٧٨ ارائه و بر این اساس با نام مدل CCR شناخته‌شده است (مهرگان، ١٣٩٥).

مدل CCR از نسبت مجموع وزن‌دار ورودی‌ها به عنوان مقیاسی برای اندازه کارایی استفاده می‌کند، اگر هر واحد

تصمیم‌گیری DMU، دارای m ورودی برای تولید s خروجی باشد، آنگاه شکل کسری مدل کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها که کارایی واحد تحت بررسی (واحد j) را ارزیابی می‌کند به‌صورت رابطه زیر خواهد بود.

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

$$Subject\ \ to: \qquad (۸)$$

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

$$v_1, v_2, ..., v_m \ge 0$$
$$u_1, u_2, ..., u_s \ge 0$$

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 می‌شود. این مدل، مدل توسعه یافته تحلیل پوششی داده‌ها می‌باشد.

$$MaxZ_j = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}$$

$$Subject\ \ to:$$

$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} = 1$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0 \ \Leftrightarrow (j = 0,1,2,..., n) \qquad (۹)$$

$$(j = 0,1,2,..., n)$$
$$v_1, v_2, ..., v_m \ge 0$$
$$u_1, u_2, ..., u_s \ge 0$$

در تحلیل پوششی داده‌ها، قیمت‌های سایه برای قطعه‌های ناکارا دیدگاه متفاوتی را در مورد کارایی ارائه می‌دهد. به این صورت که برای بهبود کارایی و کارا شدن قطعات ناکارا، باید از قطعات کارا الگو بگیرند که با عنوان قطعات (واحدهای) مرجع معرفی می‌شوند. قطعات (واحدهای) مرجع هر قطعه ناکارا برحسب قیمت‌های سایه (غیر صفر) حاصل از حل مدل مربوط به آن قطعه ناکارا بدست می‌آیند. محدودیت‌هایی که قیمت‌هایی سایه‌ی آن‌ها غیرصفراند، بیانگر کارایی یک در واحد می‌باشند. در این مطاله بر اساس گزارش‌های به دست آمده واحدهای ۳ و ۱۵ واحدهای مرجع هستند و دارای کارایی یک می‌باشند.

٤-نتایج تحقیق

پس از محاسبه‌ی مقادیر ورودی و خروجی مناطق مورد مطالعه که در فصل قبل توضیح داده شد، اقدام به نرمالایز کردن آن‌ها می‌کنیم. برای نرمالایز کردن مقادیر ورودی و خروجی، از روش تقسیم بر حداکثر مقدار استفاده می‌کنیم. به این صورت که مقدار هر ورودی و خروجی را بر بزرگترین مقدار موجود در آن ورودی یا خروجی تقسیم می‌کنیم.

پس از نرمالایز کردن این مقادیر، مقدار عددی این ورودی و خروجی‌ها بین صفر تا ۱ قرار می‌گیرد. هدف از نرمالایز کردن داده‌ها جلوگیری از وجود اعداد پرت و قرار گرفتن این اعداد در یک دامنه‌ی مشابه است که در جدول ۵ این مقادیر ارائه شده است. کارایی هر یک از مناطق مسکونی حاشیه راه را با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها بدست می‌آوریم. کارایی که برابر با مقدار شاخص ایمنی است، عددی بین صفر تا یک است که از رابطه ۱۰ بدست می‌آید.

(۱۰)

$$\text{ایمنی شاخص} = \frac{\text{ایمنی امتیاز}}{\text{میزان تردد کاربران آسیب پذیر} - \text{تعداد گذرگاه غیر همسطح عابر پیاده} - \text{وجود مانع عابر پیاده} + \text{چگالی دسترسی}}$$

در مخرج کسر رابطه‌ی ۱۰ علامت منفی به این معنی است که معیار مورد نظر در ایمنی منطقه مسکونی تأثیر مثبت دارد و باعث افزایش ایمنی آن منطقه می‌شود و علامت مثبت به معنی تأثیر منفی معیار

مورد نظر در ایمنی و در نتیجه کاهش ایمنی منطقه مسکونی است. پس از وارد کردن شاخص ایمنی در تکنیک DEA (تحلیل پوششی دادها) با استفاده از solver، کارایی مناطق مسکونی مورد نظر را بدست می‌آوریم (جدول ٦)

جدول ۵. مقادیر ورودی و خروجی نرمالایز شده به روش تقسیم بر حداکثر مقدار هر ورودی

ورودی نرمالایز شده ۱ (RDD)	ورودی نرمالایز شده ۲ (RPB)	ورودی نرمالایز شده ۳ (Rpc)	ورودی نرمالایز شده ٤ (VRUc)	خروجی نرمالایز شده (1/Nexp)
۰,۷۸	۱	۰,٤۱۵	۰,۸٤	۰,۱۷
۰,۵٤	۰	۰	۰,٦۲	۰,۱۷
۰,٦۳	۱	۰,٦۲۵	۰,۳۷	۰,۹۲
۰,۵۸	۰	۰	۰,۵۹	۰,٤۹
۰,٤٦	۰	۰	۰,۵۵	۰,۲٤
۰,۲۵	۰	۰	۰,۲۵	۰,۳٦
۰,۵۹	۱	۰,۵۸۵	۰,۷۲	۰,۲۱
۰,۳۱	۰	۰	۰,۵۱	۰,۳۵
۱,۰۰	۱	۱	۱,۰۰	۰,۳٤
۰,۵٦	۰	۰	۰,۵٦	۰,٤۵
۰,۳۹	۰	۰,٦۲۵	۰,٤۷	۰,۲٦
۰,٤٦	۰	۰	۰,۵۰	۰,٤٦
۰,۷۸	۰	۰	۰,۷۲	۰,۳۵
۰,۹٤	۰	۰	۰,۸۲	۱,۰۰
۰,٤٦	۰	۰	۰,٤۸	۰,۸٤

همان‌گونه که مشخص است واحدهای شماره ۱ و ۱۵ (نران و دزج) واحدهای کارا هستند و به عنوان تابع هدف در نظر گرفته می‌شوند. هدف از بدست آوردن کارایی این مناطق این است که مناطقی که از لحاظ ایمنی در سطح پایینی هستند، شناسایی شده و در اولویت اقدامات اصلاحی قرار گیرند و مناطقی که در بالاترین سطح ایمنی قرار دارند (کارا هستند) به عنوان الگویی برای هدف‌گذاری مناطق دیگر قرار گیرند. وزن‌های ورودی‌ها و خروجی را با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها بدست می‌آوریم که در جدول ۷ به صورت کامل شرح داده شده است.

جدول ٦. کارایی کل مناطق مسکونی

مشخصات مناطق مسکونی		
شماره واحد	منطقه	کارایی شاخص ایمنی به دست آمده از تکنیک DEA
۱	ننله	۰,۱۱۹
۲	باباریز	۰,۱۷۳
۳	نران	۱
٤	سراب قامیش	۰,٤۷۲
۵	حسن اباد	۰,۲۹۱
٦	نایسر	۰,۸۳٤
۷	موچش	۰,۱۹۳
۸	شویشه	۰,٦۰۹
۹	یلغوز اباد	۰,۱۹۰
۱۰	ننور	۰,٤۵٤
۱۱	صلوات اباد	۰,۳٦۲
۱۲	بابارشانی	۰,۵٤۳
۱۳	صوفیان	۰,۲۷۹
۱٤	قاملو	۰,٦۹۹
۱۵	دزج	۱

جدول ۷. وزن های ورودی و خروجی به دست آمده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها

منطقه	V1	V2	V3	V4	U
ننله	۱,۲۸۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,٦۹۷
باباریز	۱,۸٦۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۱,۰۱٤
نران	۰,۰۰۰	۰,۳۰۰	۰,۰۰۰	۱,۸۹۸	۱,۰۸۸
سراب قامیش	۰,۰۰۰	۰,۲٦۷	۰,۰۰۰	۱,٦۸۷	۰,۹٦۸
حسن اباد	۲,۱۹۲	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۱,۱۹٤
نایسر	۰,۰۰۰	۰,٦٤۳	۰,۰۰۰	٤,۰٦۷	۲,۳۳۳
موچش	۱,٦۸٤	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۹۱۸
شویشه	۳,۲۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۱,۷٤۳
یلغوز اباد	۰,۵٦۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,٤٤۰	۰,۵۵۸
ننور	۰,۰۰۰	۰,۲۸۰	۰,۰۰۰	۱,۷۷۳	۱,۰۱۷
صلوات اباد	۲,۵٦۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۱,۳۹۵
بابارشانی	۲,۱۹۲	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۱,۱۹٤
صوفیان	۰,۰۰۰	۰,۲۲۰	۰,۰۰۰	۱,۳۹۳	۰,۷۹۹
قاملو	۰,۰۰۰	۰,۱۹۳	۰,۰۰۰	۱,۲۲۰	۰,۷۰۰
دزج	۰,۰۰۰	۰,۳۲۹	۰,۰۰۰	۲,۰۸۲	۱,۱۹٤

بر اساس واحدهای کارا یعنی واحدهای سوم و پانزدهم، برای هر واحد، گزارش حساسیت آن بدست آمده است که به صورت کامل در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول ۸. قیمت‌های سایه به دست آمده

از گزارش حساسیت تحلیل پوششی داده‌ها

منطقه	قیمت سایه قطعه سوم	قیمت سایه قطعه پانزدهم
ننله	۰٫۰۰۰	۰٫۲۰۴
باباریز	۰٫۰۰۰	۰٫۲۰۴
نران	۱٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
سراب قامیش	۰٫۰۰۰	۰٫۵۸۳
حسن اباد	۰٫۰۰۰	۰٫۲۹۱
نایسر	۰٫۰۰۰	۰٫۴۲۷
موچش	۰٫۰۰۰	۰٫۲۵۲
شویشه	۰٫۰۰۰	۰٫۴۱۷
یلغوز اباد	۰٫۰۳۵	۰٫۳۷۰
ننور	۰٫۰۰۰	۰٫۵۳۴
صلوات اباد	۰٫۰۰۰	۰٫۳۱۱
بابارشانی	۰٫۰۰۰	۰٫۵۴۴
صوفیان	۰٫۰۰۰	۰٫۴۱۷
قاملو	۰٫۰۰۰	۱٫۱۹۴
دزج	۰٫۰۰۰	۱٫۰۰۰

برای بدست آوردن مقادیر اهداف ایمنی هر یک از معیارهای مناطق مسکونی برون شهری یا همان اهداف ورودی‌ها، با استفاده از قیمت‌های سایه و مقادیر ورودی‌های نرمالایز شده واحدها و جایگذاری در رابطه‌ی ۱۱ می‌توان به این مهم دست یافت.

$$TARGET_A = \sum_{j=1}^{15} \lambda_j \begin{bmatrix} x_{1j} \\ x_{2j} \\ x_{3j} \\ x_{4j} \end{bmatrix} = \sum_{j=1}^{15} \lambda_j \begin{bmatrix} R_{DD} \\ R_{PB} \\ R_{PC} \\ VRU_C \end{bmatrix} \quad (11)$$

در این رابطه:

$TARGET_A$ هدف واحد، λ_j قیمت سایه برای محدودیت واحد j در واحد A، x_{1j} ورودی اول واحد j، x_{2j} ورودی دوم واحد j، x_{3j} ورودی سوم واحد j، x_{4j} ورودی چهارم واحد j است.

در نهایت می‌توان برای هر یک از ورودی‌های واحدها اهداف تعیین کرد که در جدول ۹ آورده شده است.

جدول ۹. مقادیر اهداف ورودی های نرمالایز شده

واحد	هدف ورودی ۱	هدف ورودی ۲	هدف ورودی ۳	هدف ورودی ٤
۱	۰٫۰۹۳	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۹۸
۲	۰٫۰۹۳	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۹۸
۳	۰٫۶۲۵	۱٫۰۰۰	۰٫۶۲۵	۰٫۳۶۹
٤	۰٫۲۶۶	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۲۸۰
۵	۰٫۱۳۳	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۱٤۰
٦	۰٫۱۹۵	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۲۰۵
۷	۰٫۱۱۵	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۱۲۱
۸	۰٫۱۹۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۲۰۱
۹	۰٫۱۹۰	۰٫۰۳۵	۰٫۰۲۲	۰٫۱۹۰
۱۰	۰٫۲٤٤	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۲۵٦
۱۱	۰٫۱٤۲	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۱٤۹
۱۲	۰٫۲٤۸	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۲۶۱
۱۳	۰٫۱۹۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۲۰۱
۱٤	۰٫۵٤۵	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۵۷٤
۱۵	۰٫٤۵٦	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫٤۸۰

در جدول ۱۰ درصد تغییر مقدار معیارهای ورودی هر کدام از واحدها آورده شده است. با ارائه جدول ۱۰ می‌توانیم دریابیم که هرکدام از معیارهای ورودی به چه مقدار باید تغییر کنند تا واحدهای ما به بالاترین سطح ایمنی برسند.

جدول ۱۰. درصد تغییر ورودی‌ها

واحد	تغییر هدف ورودی ۱ (درصد)	تغییر هدف ورودی ۲ (درصد)	تغییر هدف ورودی ۳ (درصد)	تغییر هدف ورودی ٤ (درصد)
۱	09;1;5	0433B3	0741B3	0:7B5
۲	077D78	3B3	3B3	085B<
۳	3B3	3B3	3B3	3B3
٤	0631<5	3B3	3B3	064B5;
٥	065B67	3B3	3B3	074B5
٦	08B4	3B3	3B3	07B:
۷	07:1;9	0433B3	08;1B3	08<B;
۸	045B3	3B3	3B3	063B3
۹	0;31<9	0<9B6	0<:1;6	0;31<9
۱۰	064B9	3B3	3B3	0631:7
۱۱	0571;<	3B3	0951B3	064B<
۱۲	0531;5	3B3	3B3	0561;<
۱۳	08<B;	3B3	3B3	0841:8
۱٤	06<B5:	3B3	3B3	057B4
۱٥	3B3	3B3	3B3	3B3

با توجه به رابطه‌های (۹) و (۱۱)، در مدل خطی DEA در هر واحد، جمع حاصلضرب وزن داده شده به ورودی‌ها، در مقدار ورودی‌ها مساوی با یک خواهد شد.

(۱۲)

$$v_1 R_{DD} + v_2 R_{PB} + v_3 R_{PC} + v_4 VRU_c = 1$$

مطابق رابطه (۹) هرچه مقدار حاصل ضرب وزن ورودی در مقدار ورودی در هر کدام از معیارها زیادتر باشد، شاخص ایمنی تحت تأثیر آن معیار کمتر می‌شود یعنی مقدار حاصل ضرب وزن ورودی در مقدار ورودی، مقدار سهم معیار مورد نظر، در کاهش شاخص ایمنی را، بیان می‌کند. همچنین مطابق رابطه (۱۲) می‌دانیم که جمع حاصل ضرب وزن ورودی‌ها در خود مقدار ورودی‌ها، مساوی با یک می‌شود که به این معنی است که حاصل جمع سهم معیارها، مساوی با یک است.

جدول ۱۱ سهم ورودی‌ها در کارایی یا به عبارتی سهم هر یک از معیارهای ورودی، بر شاخص ایمنی که برابر با مقدار حاصل ضرب وزن ورودی، در خود مقدار ورودی است، در تمامی مناطق مسکونی آورده شده است. به علاوه میانگین این مقادیر نیز در قسمت پایین جدول ارائه شده است که نشان دهنده تأثیر هر کدام از این معیارهای ورودی، در کارایی راه‌های دوخطه برون‌شهری است. مطابق اعداد ارائه شده، این مقادیر برای معیار چگالی دسترسی (R_{DD}) برابر ۰,۵، برای معیار وجود یا عدم وجود مانع عابر پیاده (R_{PB}) برابر ۰,۰۲، برای معیار گذرگاه عابر پیاده (R_{PC}) برابر ۰ و برای معیار میزان تردد کاربران آسیب‌پذیر (VRU_C) برابر ۰,۴۸ است که می‌توان به این نتیجه رسید که چگالی دسترسی در این واحدها بیشتر از سایر معیارها در ایمنی مؤثرند. از جمله راهکارهایی که می‌توان برای افزایش ایمنی این راه‌های دوخطه ارائه داد، محدود کردن بیشتر دسترسی‌ها در این مناطق است. به عنوان نتیجه کلی می‌توان راهکارهای زیر را با هدف افزایش ایمنی این راه‌های دوخطه برون شهری ارائه داد.

-محدود کردن دسترسی‌ها در این مناطق تا حد ممکن،

-افزایش آگاهی کاربران این راه‌ها با ارائه تابلوهای ایمنی و هشدار دهنده در این مناطق،

-ایجاد مانع عابر پیاده در این مناطق به خصوص در قسمت‌های پر خطر و حادثه خیز با آمار تصادفات بالا،

-ایجاد گذرگاه‌های عابر پیاده و فرهنگسازی استفاده از این گذرگاه‌ها در این مناطق.

جدول ۱۱. سهم هر کدام از معیارهای ورودی بر روی کارایی(شاخص ایمنی)

	سهم ورودی ها در کارایی			
منطقه	سهم ورودی ۱ چگالی دسترسی (R_{DD})	سهم ورودی ۲ وجود یا عدم وجود مانع عابر پیاده (R_{PB})	سهم ورودی ۳ گذرگاه عابر پیاده (R_{PC})	سهم ورودی ٤ میزان تردد کاربران آسیب‌پذیر (VRU_C)
ننله	4B3	3B3	3B3	3B3
باباریز	4B3	3B3	3B3	3B3
نران	3B3	3B3	3B3	31:3
سراب قامیش	3B3	3B3	3B3	4B3
حسن آباد	4B3	3B3	3B3	3B3
نایسر	3B3	3B3	3B3	4B3
موچش	4B3	3B3	3B3	3B3
شویشه	4B3	3B3	3B3	3B3
یلغوز آباد	3B9	3B3	3B3	3D7
نئور	3B3	3B3	3B3	4B3
صلوات آباد	4B3	3B3	3B3	3B3
بابارشانی	4B3	3B3	3B3	3B3

صوفیان	3B3	3B3	3B3	4B3
قاملو	3B3	3B3	3B3	4B3
دزج	3B3	3B3	3B3	4B3
میانگین	۰،۵۰	۰،۰۲	۰،۰۰	۰،٤۸
میانگین سهم ورودی‌ها (به ترتیب ورودی ۱، ورودی ٤، ورودی ۲ و ورودی ۳)				

۵- نتیجه‌گیری

روش به کار رفته در این مطالعه، برای بررسی ایمنی تحت تأثیر وضعیت نواحی مسکونی حاشیه راه، تکنیک تحلیل پوششی داده‌هاست. معیارهای ورودی آن شامل چگالی دسترسی (R_{DD})، وجود یا عدم وجود مانع عابر پیاده (R_{PB})، گذرگاه عابر پیاده (R_{PC}) و میزان تردد کاربران آسیب‌پذیر (VRU_C) است و خروجی آن، معکوس فراوانی تصادفات مورد انتظار است که همان امتیاز ایمنی واحد مورد نظر است. فراوانی تصادفات مورد انتظار هر واحد، با استفاده از روش بیزین تجربی و از ترکیب فراوانی تصادفات پیش‌بینی شده و مشاهده‌شده بدست آورده شد. در این مطالعه، فراوانی تصادفات مشاهده شده به کمک داده‌های تصادفات (فقط جرحی شدید و منجر به فوت) و فراوانی تصادفات پیش‌بینی شده، با کمک فرمول‌های ارائه شده در کتاب راهنمای ایمنی راه‌ها و از ضرایب تعدیل تصادفات، ضرایب کالیبراسیون و توابع عملکرد ایمنی بدست آورده شد. در پایان این تحقیق به این نتیجه رسیدیم که معیارهای چگالی دسترسی و میزان تردد کاربران آسیب‌پذیر در این واحدها بیشتر از معیارهای وجود یا عدم وجود مانع عابر پیاده و گذرگاه عابر پیاده در ایمنی مؤثرند. در این تحقیق تنها مناطق مسکونی حاشیه راه در نظر گرفته شده‌اند و وسایر نواحی مانند خدماتی، تجاری، تفریحی و ... بررسی نشده‌اند که بررسی این نواحی نیز می‌تواند موضوعی برای تحقیق و پژوهش باشند.

در این مطالعه معیارهای ورودی مورد بررسی در تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها شامل چهار معیار چگالی دسترسی، میزان تردد کاربران آسیب‌پذیر، وجود یا عدم وجود مانع عابر پیاده و گذرگاه عابر پیاده می‌باشد و با افزایش تعداد این معیارها می‌توان دقت تحقیق را با در نظر گرفتن معیارهای تأثیرگذار دیگر، افزایش داد.

در استفاده از داده‌های تصادفات نیز می‌توان به منظور گسترش دامنه‌ی مطالعه به جز داده‌های تصادفات فوتی و جرحی، از تصادفات خسارتی و یا از سایر داده‌های تصادفات مانند تصادفات بر اساس نوع برخورد، زمان برخورد، علت برخورد و ... نیز استفاده کرد.

٦-مراجع

-بختیاری، محمدرضا، بهنود، حمیدرضا و میر بها، بابک (۱۳۹۹). مدل شاخص ترکیبی ایمنی راه‌های دوخطه برون‌شهری تحت تأثیر وضعیت کاربری‌های اطراف راه. *فصلنامه مهندسی حمل و نقل*، ۱۲(۲), ۳۹۹-٤۱۷. **doi: 10.22119/jte.2020.87202**

-مهرگان، محمدرضا (۱۳۹۵). تحلیل پوششی داده‌ها، مدل‌های کمی در ارزیابی عملکرد سازمان‌ها.

-Cook, W. D., Kazakov, A., & Persaud, B. N. (2001). Prioritising highway accident sites: a data envelopment analysis model. *Journal of the Operational Research Society*, *52*(3), 303-309.

-Eisele, W. L., Frawley, W. E., & Toycen, C. M. (2004). Estimating the Impacts of Access Management Techniques: Final Results (No. FHWA/TX-04/0-4221-2,).

-Gluck, J. S., Levinson, H. S., & Stover, V. G. (1999). Impacts of access management techniques, Vol. 420. *Transportation Research Board.*

-Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., & Vanhoof, K. (2009). Benchmarking road safety: Lessons to learn from a data envelopment analysis. *Accident Analysis & Prevention*, *41*(1), 174-182.

-Musa, I.J. and Moses, A.O., 2014. An analysis of the effect of land use on road traffic accidents in Zaria. *Int. J. Dev. Sustain*, *3*, 520-529.

-National Research Council (US). Transportation Research Board. Task Force on Development of the Highway Safety Manual, & Transportation Officials. Joint Task Force on the Highway Safety Manual. (2010). *Highway Safety Manual*, Vol. 1. AASHTO.

-Ranjabandyopadhyaya, (2016). Assessment of level of service of safety of two lane highways using road side land use.

-Schultz, G. G., Braley, K. T., & Boschert, T. (2008). Correlating access management with crash rate, severity, and collision type, No. 08-0209.

-Shen, Y., Hermans, E., Ruan, D., Vanhoof, K., Brijs, T., & Wets, G. (2010). A DEA-based Malmquist productivity index approach in assessing road safety performance. In *Computational Intelligence: Foundations and Applications*, 923-928.

-Shen, Y., Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., & Vanhoof, K. (2012). Road safety risk evaluation and target setting using data envelopment analysis and its extensions. *Accident Analysis & Prevention*, *48*, 430-441.

-Wier, M., Weintraub, J., Humphreys, E. H., Seto, E., & Bhatia, R. (2009). An area-level model of vehicle-pedestrian injury collisions with implications for land use and transportation planning. *Accident Analysis & Prevention*, *41*(1), 137-145.

Road Safety Composite Indicator for Rural Highways Affected By the Abutting Residential Areas

Mohammad Zaniar Amjadi, M.Sc.,Grad., Department of Civil Engineering, Faculty of Technical and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

Hamid Reza Behnood, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Technical and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

Mohammad Reza Bakhtiyari, Ph.D., Grad., Department of Civil Engineering, Faculty of Technical and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

E-mail: hr.behnood@gmail.com

Received: May 2025- Accepted: August 2025

ABSTRACT

The geometric features of rural roads are the basis of most studies and safety models, but one of the other factors that can affect the safety of these roads is the residential areas located on their abutting lands. In this study, fifteen rural residential areas located in Kurdistan province were studied using the Data Envelopment Analysis (DEA), and the effect of these areas on the safety of rural roads was investigated. In each of these areas, four criteria of driveway density, the presence of pedestrian barriers, pedestrian overpasses, and the amount of crossing of vulnerable users have been investigated and determined as inputs to the DEA method. The inverse of the expected crash frequency is the output term of this method, which is known as the safety score of the units. The expected crash frequency is obtained from the Empirical Bayes (EB) method by combining the frequency of observed and predicted crashes. In this study, by using the DEA and obtaining the contribution of the input's effect on efficiency, we came to the conclusion that these values are equal to 0.5 for the driveway density criterion (R_DD), for the pedestrian barrier criterion (R_PB) equal to 0.02, for the crossing pedestrian criterion (R_PC) is equal to 0 and for the measure of traffic of vulnerable users (VRU_C) is equal to 0.48. It can be concluded that the criteria of driveway density and the amount of crossing of vulnerable users in these units are more effective than other criteria.

Keywords: Road Crashes, Abutting Residential Areas, Data Envelopment Analysis, Expected Crash Frequency