

ارزیابی عملکرد ایمنی جاده‌های ایران با استفاده از ضریب بهره‌وری مالم کوئیست خوش بینانه و بدبینانه

مقاله علمی - پژوهشی

علی محمدی، استاد، گروه مدیریت، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
وحیده شاهین*، دانشجوی دکتری، گروه مدیریت، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: vshahin121@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱ - پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱

صفحه ۴۲۵-۴۴۴

چکیده

در سال‌های اخیر متأسفانه آمار تصادفات جاده‌ای و مرگ‌ومیر ناشی از آن در بسیاری از کشورها به‌ویژه کشورهای غیر توسعه‌یافته روند رو به رشدی را نشان می‌دهد. در کشور ما نیز طی ده سال اخیر از سال ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰، آمار کشته‌شدگان تصادفات جاده‌ای (برون‌شهری) مجموعاً ۱۱۰۱۱۰ نفر گزارش شده که فارغ از هر نوع علت‌یابی و مقایسه نسبی، رقم بسیار تکران‌کننده‌ای است. به موجب اهمیت پرداختن به این موضوع، هدف از انجام پژوهش حاضر، سنجش و تحلیل کارایی نسبی جاده‌های ایران به تفکیک هر استان، بهره‌وری ایمنی جاده در هر استان طی دو سال اخیر (۱۳۹۹ و ۱۴۰۰) و اولویت بندی استان‌ها می‌باشد. برای این منظور از روش تعیین ضریب بهره‌وری مالم کوئیست با مرز دوگانه استفاده شده است. بر مبنای نتایج، استان‌های قم، لرستان، کرمانشاه، قزوین و اردبیل به ترتیب در اولویت‌های اول تا پنجم از نظر میزان بهره‌وری ایمنی جاده قرار دارند و استان‌های البرز، سمنان، گلستان، آذربایجان غربی و خراسان شمالی نیز به ترتیب کمترین میزان بهره‌وری را داشته‌اند. این نتایج می‌تواند علاوه بر توسعه دانش نظری در این قلمرو موضوعی، به منظور تخصیص بهتر منابع و برنامه‌ریزی در راستای کاهش این حوادث ناگوار، ابزاری مناسبی را در اختیار مدیران و سیاست‌گذاران نهادهای مربوطه قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: ایمنی جاده، استان‌های ایران، تحلیل پوشش داده‌ها، مالم کوئیست، مرز دوگانه

۱- مقدمه

جان خود را از دست می‌دهند. تصادفات جاده‌ای در این کشورها، در هر دقیقه به‌طور متوسط بیش از دویست نفر و نیز از بین هر ده نفر، نه نفر را به کام مرگ می‌کشاند (Organization, 2022) و بنابراین در صورتی که هیچ برنامه و اقدام بازدارنده‌ای صورت نگیرد می‌تواند به عامل اصلی مرگ‌ومیر در سال ۲۰۳۰ تبدیل شود (Amelian et al., 2017; Omrani et al., 2020). همانطور که سازمان بهداشت جهانی، ارتباطی قوی بین سطح درآمد کشورها با ریسک مرگ‌ومیرهای ناشی از تصادفات جاده‌ای شناسایی نموده است، اغلب این مرگ‌ومیر و جراحات گزارش شده، در کشورهایی نظیر لیبی و ایران رخ می‌دهد

رشد سریع اقتصاد و جمعیت کشورها در سال‌های اخیر موجب توسعه روزافزون ماشین‌شنی شدن در بخش حمل‌ونقل شده و انتظار می‌رود که این روند در آینده نیز ادامه یابد. توسعه زندگی ماشین‌نی، با وجود مزایای بسیار اقتصادی و رفاهی ناشی از تسهیل و تسریع جابه‌جایی کالا و مسافر، خسارات جانی و مالی سنگینی به همراه داشته که مدیریت آن به چالشی جدی در سرتاسر جهان تبدیل شده است (Omrani et al., 2020). بنابر گزارش رسمی سازمان بهداشت جهانی (Organization, 2022)، همه ساله حدود یک میلیون و سیصد هزار نفر در سراسر جهان و اغلب در کشورهای با درآمد کم یا متوسط، در تصادفات جاده‌ای

پوششی داده‌ها استفاده می‌شود؛ درحالی‌که این شاخص در حالت بدبینانه نیز قابل محاسبه است که در نتیجه نتایج مطمئن‌تری به-همراه دارد (Ganji & Rassafi, 2019). از طرفی با وجود مدل‌های مختلف استفاده شده، پژوهشی که بر مبنای آمار و داده-های جدید دو سال اخیر به ارزیابی وضعیت ایمنی جاده‌های ایران با ضریب بهره‌وری مالم کوئیسٹ خوش‌بینانه و بدبینانه، مبتنی بر مدل‌های بازده به مقیاس ثابت و متغیر و خروجی محور پرداخته باشد، مشاهده نشده است. به منظور رفع این خلا پژوهش حاضر با اهداف زیر ارائه شده است.

-ارزیابی عملکرد ایمنی جاده‌های ایران با در نظر گرفتن بازده متغیر نسبت به مقیاس در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰

-محاسبه ضریب تغییرات کارایی نسبی ایمنی جاده‌ها ناشی از تغییر مقیاس طی دو سال اخیر

-محاسبه ضریب بهره‌وری مالم کوئیسٹ خوش‌بینانه و بدبینانه و اولویت بندی استان‌ها بر اساس میزان ایمنی جاده

-تحلیل میزان تغییر در شاخص‌های ورودی و خروجی بر اساس پیشنهاد مدل‌سازی انجام شده

به منظور دستیابی به اهداف فوق، بعد از این بخش، مبانی نظری پژوهش، پیشینه پژوهش، روش‌شناسی و نحوه تعیین شاخص‌های ارزیابی، یافته‌ها و در نهایت نتیجه‌گیری و بحث ارائه شده است. نتایج این پژوهش می‌تواند به عنوان ابزاری جهت برنامه‌ریزی و مدیریت کاراتر و اثربخش‌تر حوادث جاده‌ای مدیران و سیاست‌گذاران مربوطه را یاری دهد و روش به‌کار رفته می‌تواند مبنایی برای استفاده خاص‌تر بر مبنای ورودی‌های دلخواه (شاخص‌ها و دوره‌های زمانی مختلف) قرار گیرد.

۲- پیشینه تحقیق

عملکرد ایمنی جاده اغلب به عنوان شاخصی برای ارزیابی کشورها، ایالت‌ها یا استان‌ها از نظر کاهش خطرات ایمنی جاده با توجه به منابع موجود تعریف می‌شود (Ganji & Rassafi, 2019). ایالت‌ها یا استان‌ها می‌توانند ایمنی جاده‌های خود را بر اساس تجربیات، نظارت سیستمی و مقایسه‌های بین‌کشوری بهبود بخشند. به منظور اطمینان از نظارت سیستمی ایمنی جاده و مقایسه با سایر کشورها، لازم است فرآیندی جهت انتخاب شاخص‌های ایمنی جاده انجام شود که وضعیت فعلی ایمنی جاده را به بهترین و دقیق‌ترین شکل ممکن نشان دهد. توسعه تفکر علمی در مورد شاخص‌های ایمنی جاده‌ها در دهه گذشته بسیار سریع در حال اجرا بوده است. روش‌های امروزی برای مقایسه ایمنی راه، عوامل متعددی (و در نتیجه شاخص‌های زیادی) را

(Amelian et al., 2017). متأسفانه در ایران، آمار تصادفات و تلفات جاده‌ای نسبت به استانداردهای جهانی بسیار بالا و نگران‌کننده است (Zeinal-Hamadani et al., 2016)؛ به طوری که طبق آمار سازمان راهداری و حمل‌نقل جاده‌ای ایران، طی ده سال اخیر از سال ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰، آمار کشته‌شدگان تصادفات جاده‌ای (برون‌شهری) مجموعاً ۱۱۰۱۱۰ نفر گزارش شده است که آمار نگران‌کننده‌ای است. در راستای نحوه پرداختن به این مسئله، محققان حوزه ایمنی جاده بر این باورند که تصادفات جاده‌ای تنها ناشی از خطاهای انسانی نیستند و بنابراین از واژه لاتین (crash) به جای (accident) استفاده می‌کنند تا نشان دهند که بخش زیادی از این تصادفات قابل پیش‌بینی و پیش‌گیری است. بنابراین سیاست‌گذاران مربوطه در تلاش‌اند که برنامه‌های مداخله‌ای را در سیاست‌های ایمنی جاده لحاظ کنند (Omrani et al., 2020). در نتیجه با توجه به ضرورت پرداختن به این موضوع در ایران و قابلیت کنترل آن، دست-انداکاران حمل‌ونقل جاده‌ای در ایران بایستی تمرکز خاصی بر موضوع ایمنی جاده و راهکارهای کاهش خسارات جانی تصادفات داشته و تلاش‌های بهینه‌تر و موثرتری در این راستا داشته‌باشند. به بیان دقیق‌تر، برای سیاست‌گذاران و مدیران مربوطه ضروری است که بدانند سرمایه‌گذاری و تخصیص منابع در راستای ارتقاء ایمنی جاده‌های ایران در چه مواردی و چگونه بایستی انجام شود (Zeinal-Hamadani et al., 2016).

از آنجا که وضعیت اجتماعی-اقتصادی، جمعیت، سطح ماشین‌سازی و تجربه‌های ایمنی جاده از استانی به استان دیگر تغییر می‌کند، نیاز است که با هر کدام به مثابه واحدی جداگانه برخورد شده و کارایی مربوطه تعیین شود (Omrani et al., 2020). به منظور سنجش کارایی نسبی مجموعه‌ای از واحدهای هم‌سنگ، اساسی‌ترین ابزار ریاضی شناخته شده، مدل تحلیل پوششی داده‌ها است که کارایی واحدها را بر مبنای چندین ورودی و خروجی نسبت به هم می‌سنجد و اطلاعات مفیدی برای نحوه تخصیص منابع در اختیار مدیران قرار می‌دهد (Kang & Wu, 2022). این روش و انواع مختلف آن تاکنون در ارزیابی ایمنی جاده‌ها در پژوهش‌های متعددی به کار رفته است (Omrani et al., 2020). اما پژوهش حاضر به دنبال آن است که تا حدی از مدل‌های اولیه فراتر رفته و بر مبنای داده‌های جدید طی دو سال اخیر (۱۳۹۹ و ۱۴۰۰) عملکرد ایمنی جاده‌های ایران بر مبنای هر استان را طی بازه زمانی دو ساله بررسی نماید. برای این منظور از شاخص بهره‌وری مالم کوئیسٹ استفاده می‌شود که در نوع اولیه آن از یک مدل خوشبینانه‌ی تحلیل

ریزی ریاضی ارزیابی می شود. این در حالی است که برآورد تابع تولید در این روش الزامی نیست و در صورتی که واحد تصمیم‌گیری مورد نظر دارای چندین خروجی متفاوت باشد، این روش در ارزیابی کارایی با مشکل مواجه نخواهد شد. تحلیل پوششی داده‌ها را می‌توان به عنوان یکی از روش‌های ناپارامتریک معرفی کرد که در آن واحدها از طریق روش های برنامه ریزی ریاضی ارزیابی می‌شوند. تحلیل پوششی داده‌ها به طور گسترده‌ای پذیرفته شده‌تر از روش‌های دیگر است زیرا امکان کاوش روابط پیچیده و اغلب نامطمئن بین چندین ورودی و خروجی را فراهم می‌کند. برخلاف روش شاخص عددی، در تحلیل پوششی داده‌ها نیازی به تعریف وزن‌های از پیش تعیین شده برای عوامل خروجی و ورودی نیست و در نتیجه توصیف توابع به شیوه‌ای که در روش رگرسیون آماری رایج است، ضروری نیست. اولین مدل تحلیل پوششی داده‌ها توسط چارنس و همکاران (۱۹۷۸) تحت عنوان روشی برای ارزیابی عملکرد که می‌تواند کارایی نسبی واحدهای یک سازمان را تخمین بزند ارائه شد و سپس توسط بانکر و همکاران توسعه یافت (Amelian et al., 2017). روش تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی عملکرد ایمنی در زمینه‌های مختلف از جمله عملکرد ایمنی ساخت‌وساز، عملکرد ایمنی در مسیرهای راه‌آهن و عملکرد ایمنی خطوط هوایی استفاده شده است زیرا نقش مهمی در شناسایی نقاط ضعف و قوت واحدهای تحت ارزیابی، تعیین اهداف ایمنی و یافتن رتبه بندی واحدهای مختلف ایفا می‌کند است (Kang & Wu, 2022). در این بخش معیار انتخاب ادبیات تجربی پژوهش، میزان شباهت موضوعی با پژوهش حاضر هم از نظر قلمرو موضوعی ایمنی جاده و هم کاربرد انواع مدل‌های مشابه تحلیل پوششی داده‌ها است. به منظور تعیین مرتبط‌ترین و معتبرترین مطالعات، بر مبنای عبارت جستجوی متشکل از ترکیب «ایمنی جاده» و «تحلیل پوششی داده‌ها» و در بخش روش، ترکیبی از عبارت‌های «الم کوئیس» و «مرز دوگانه» در پایگاه داده اسکوپوس در تاریخ ۱۴۰۱/۱۰/۲۰، جستجو انجام شده است. نتایج در هر دو جستجو یافته‌های اندکی (کمتر از ۵۰ مورد) را نشان داد که از میان آن‌ها موارد زیر بر مبنای انتخاب و بر اساس روند تاریخی تحلیل شده‌اند. هرماس و همکاران (۲۰۰۸)، اطلاعات ایمنی راه را در یک شاخص عملکرد شامل ورودی‌های مصرف مواد مخدر و مشروبات الکلی، سرعت غیرمجاز، سیستم‌های حفاظتی، وسیله نقلیه، زیرساخت جاده‌ها، اورژانس جاده‌ای و روشنایی چراغ ماشین در روز (که هرکدام زیرشاخص‌های مختلفی دارند) و

در بر دارند که اغلب آن شاخص‌ها را به یک مقیاس کاهش می‌دهند (Tešić et al., 2018). برای سیاست‌گذاران انتخاب این مجموعه از شاخص‌های عملکرد ایمنی و تعیین یک شاخص کلی از ترکیب آن‌ها به عنوان مبنای پوشش‌دهنده مهم است (Kang & Wu, 2022). کیفیت شاخص ترکیبی به دست آمده به سطح تنوع تعاریف این شاخص‌ها، کیفیت سیستم‌های در نظر گرفته شده برای جمع‌آوری آنها و قدرت همبستگی آنها با نتایج نهایی بستگی دارد. بنابراین توسعه سیستم‌های پایدار برای نظارت دوره‌ای بر تعداد زیادی از شاخص‌ها، در تعداد زیادی از مناطق می‌تواند بسیار دشوار باشد (Tešić et al., 2018). شاخص‌های مختلفی از جمله تعداد تصادفات، تلفات و جراحات معمولاً به عنوان سه شاخص رایج ریسک ایمنی جاده در نظر گرفته می‌شود. در این راستا، در دسترس بودن داده‌ها در انتخاب داده‌های ورودی و همچنین شاخص‌های ریسک ایمنی جاده بسیار مهم است. علاوه بر این، تعریف عملکرد ایمنی راه بسته به هدف اصلی برنامه‌های ایمنی راه ارائه شده توسط دولت‌ها یا مقامات محلی متفاوت خواهد بود (Ganji & Rassafi, 2019). در مطالعه حاضر موفق‌ترین استان از نظر عملکرد ایمنی جاده، استانی است که به ازای سرمایه‌گذاری کمتر، تعداد تلفات کمتری را تجربه می‌کند. ارزیابی کارایی جاده‌ها برای اولویت بندی تخصیص منابع و استراتژی‌های بهبود راه‌ها با توجه به محدودیت منابع ضروری به نظر می‌رسد. کارایی یک واحد، مقایسه ورودی‌ها و خروجی‌های آن است که به صورت تقسیم ترکیب وزنی خروجی‌ها بر ترکیب وزنی ورودی‌ها تعریف می‌شود. به عبارت دیگر می‌توان برای هر خروجی و ورودی وزنی در نظر گرفت که از نظر اقتصادی ارزش ستانده (خروجی) تولید شده یا هزینه نهاده (ورودی) مصرف شده است. فارل (۱۹۵۷) یکی از اولین پژوهشگرانی بود که ارزیابی کارایی در کشاورزی را در حالت یک ورودی- یک خروجی بررسی کرد. به طور کلی، روش‌های ارزیابی کارایی می‌تواند به دو دسته روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک تقسیم می‌شود. در روش‌های پارامتریک شکل خاصی برای تابع تولید در نظر گرفته می‌شود. سپس ضرایب (پارامترهای) این تابع از طریق یکی از روش‌های تخمین توابع رایج در آمار و اقتصادسنجی تخمین زده می‌شود. روش پارامتریک نیاز به یک تابع ریاضی دارد که بر اساس آن متغیر وابسته با استفاده از متغیرهای مستقل تخمین زده شود. علاوه بر این، فرضیه‌های مربوط به تابع توزیع داده و همچنین محدودیت‌های مدل باید در نظر گرفته شود. روش دیگر روش ناپارامتریک است که در آن کارایی با استفاده از روش‌های برنامه

شامل طول مسیرهای جاده‌ای مجهز به روشنایی در شب، تعداد ایستگاه‌های پلیس‌راه، تعداد اورژانس‌های جاده‌ای و خروجی‌ها شامل تعداد مسافران، میزان بار حمل شده و تعداد جانباختگان حوادث جاده‌ای است (Amelian et al., 2017). گنجی و رصافی (۲۰۱۹) به ارزیابی بهره‌وری ایمنی جاده‌های ایران با استفاده از یک روش تحلیل پوششی داده‌های ورودی محور با مرز دوگانه طی دوره سه ساله ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ پرداختند. به منظور تجمع مقادیر کارایی به دست آمده از رویکرد استدلال شاهده استفاده شده است. این اولین پژوهش است که به محاسبه تغییرات کارایی طبق ضریب مالم کوئیست با مرز دوگانه می‌پردازد که مبنای مهمی برای پژوهش حاضر محسوب می‌شود. شاخص‌های ورودی شامل تعداد ایستگاه‌های پلیس‌راه، تعداد ایستگاه‌های راهدارخانه، تجهیزات و وسایل نقلیه، تعداد دوربین‌های کنترل سرعت و نظارت، خدمات فوریت‌های پزشکی، طول مسیرهای مجهز به روشنایی و در نهایت تعداد جانباختگان به عنوان خروجی مدل در نظر گرفته شده است (S. Seyedalizadeh Ganji & A. Rassafi, 2019). گنجی و رصافی (۲۰۱۹) در پژوهش دیگر خود با همان مجموعه داده، ورودی‌ها و خروجی‌ها به ارزیابی کارایی ایمنی جاده‌های ایران طی دوره زمانی سه ساله بر مبنای روش مازاد مبنای تحلیل پوششی داده‌ها و نیز تعیین تغییر بهره‌وری خوش‌بینانه و بدبینانه مالم کوئیست پرداختند (Ganji & Rassafi, 2019). علاوه بر دو پژوهش فوق، گنجی و همکاران (۲۰۱۹) به منظور ارزیابی عملکرد ایمنی جاده بین ۲۷ کشور اروپایی، از روش تحلیل پوششی داده‌های ایمنی جاده با دو حالت خوش‌بینانه و بدبینانه کارایی متقاطع استفاده نموده و علاوه بر این به منظور لحاظ ساختار ترجیحی تصمیم‌گیرنده از رویکرد استدلال شاهده استفاده کرده‌اند (Ganji et al., 2020). فنسلو و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهش خود به منظور کمک به مدیریت ایمنی راه‌های شهری در ایتالیا روش تحلیل پوششی داده‌ها را در ۴ حالت مختلف بازده ثابت یا متغیر و نیز ورودی محور یا خروجی محور به کار برده‌اند. نتایج این پژوهش، مدل تحلیل پوششی داده‌ها را به عنوان مناسب‌ترین ابزار پشتیبانی تصمیم معرفی نموده و تمایزی میان دو نوع مدل ورودی محور با خروجی محور قائل شده است. به این ترتیب که اگر هدف تصمیم‌گیرنده بیشینه‌سازی جریان عبور و مرور ضمن ثابت نگه‌داشتن تعداد تصادفات و جانباختگان باشد از مدل ورودی محور و در صورتی که هدف کاهش تعداد تصادفات و جانباختگان (خروجی‌ها) ضمن ثابت ماندن جریان‌های عبور و مرور (ورودی‌ها) باشد

خروجی تعداد جانباختگان به ازای هر ۱ میلیون نفر جمعیت، تلفیق نمودند. سپس با استفاده از روش‌های ترکیبی وزن‌دهی شامل تحلیل عاملی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، تخصیص بودجه، تحلیل پوششی داده‌ها و وزن‌دهی برابر، به اولویت بندی ۲۱ کشور اروپایی پرداختند (Hermans et al., 2008) هرمانس و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه دیگری با ارائه یک مدل محاسباتی مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها ضمن تعیین یک شاخص ارزیابی عملکرد جاده متشکل از ورودی‌های مدل: مصرف مواد مخدر و مشروبات الکلی، سرعت غیرمجاز، سیستم‌های حفاظتی، وسیله نقلیه، زیرساخت جاده‌ها، اورژانس جاده‌ای و خروجی‌های مدل: تعداد تصادفات و تعداد جانباختگان، به ارزیابی عملکرد ایمنی ۲۱ کشور اروپایی پرداختند (Hermans et al., 2009). گارسیا-سانچز (۲۰۰۹)، به ارزیابی عملکرد پلیس محلی در بین شهرهای اسپانیا بر مبنای امنیت جاده و امنیت اخلاقی پرداخت. در بخش ایمنی جاده این مطالعه از شاخص‌های تعداد کارکنان پلیس و تعداد وسایل نقلیه به عنوان ورودی‌های مدل تحلیل پوششی داده‌ها و از شاخص‌های انجام وظیفه و تهیه گزارشات مربوط به تعداد جرایم رانندگی، تعداد اقدامات فوریت‌های پزشکی (تست تنفسی)، تعداد وسایل نقلیه خارج شده از بزرگراه و در آخر تصادفات استفاده شده است (García-Sánchez, 2009). شن و همکاران (۲۰۱۲) کارایی ایمنی جاده بین ۲۷ کشور عضو اتحادیه اروپا بر مبنای ورودی‌های جمعیت، مسافر در هر کیلومتر سفر، تعداد اتومبیل‌های مسافران و با خروجی تعداد جانباختگان بر مبنای روش تحلیل پوششی داده‌ها ارزیابی نموده و سپس با روش کارایی متقاطع یا بینابینی به اولویت بندی آن‌ها پرداختند (Shen et al., 2012). در پژوهشی دیگر، شن و همکاران (۲۰۱۳)، کارایی ۲۶ کشور عضو اتحادیه اروپا در دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ را ارزیابی نموده و بر اساس روش تحلیل پوششی داده‌ها و نیز محاسبه تغییر کارایی طی سال‌های پیاپی با ضریب بهره‌وری مالم کوئیست پرداختند (Y. Shen et al., 2013). باستوس و همکاران (۲۰۱۵) به ارزیابی عملکرد ایمنی جاده در ۲۷ ایالت برزیل با روش تحلیل پوششی داده‌ها پرداختند (Bastos et al., 2015). عاملیان و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه خود به ارزیابی کارایی جاده‌های ایران به تفکیک هر استان و اولویت‌بندی آن‌ها به روش تحلیل پوششی داده‌ها از نوع بازده به مقیاس متغیر پرداختند که در مقایسه با پژوهش‌های مطرح شده به موجب شباهت جامعه‌آماری با پژوهش حاضر از اهمیت بالایی برخوردار است. شاخص‌های ورودی در مدل آن‌ها

بهرتر است با توجه به هدف کاهش جانباختگان از مدل خروجی-محور در تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شود، از این رو دلیل استفاده از نوع ورودی محور یا مازاد مینا توجیه نشده است. از طرفی تفکیک تاثیر مقیاس بر تغییرات کارایی در محاسبه ضرایب مالیم کوئیست در هیچ کدام مشاهده نشده است. پژوهش‌های دیگر نیز از نظر روش با پژوهش متفاوت بوده و هدف پژوهش حاضر استفاده از هر دو رویکرد خوش‌بینانه و بدبینانه است تا قدرت تمایز بین واحدها ارتقاء یابد (Ganji et al., 2020).

۳- روش تحقیق

پژوهش حاضر با هدف کمک به تصمیم‌گیری و تخصیص بهینه منابع در راستای ارتقاء ایمنی جاده‌های ایران و کاهش آمار جانباختگان حوادث جاده‌ای صورت می‌گیرد؛ از این رو دارای جهتگیری کاربردی-توسعه‌ای است. رویکرد پژوهش از نوع قیاسی است چرا که هدف توسعه‌ی کاربرد مدلی نظری، قابل تعمیم و از پیش تعیین شده (تحلیل پوششی داده‌ها و ضریب بهره‌وری مالیم کوئیست) در حل یک مسئله‌ی محدود از نظر موضوع، زمان و مکان می‌باشد. استراتژی پژوهش نیز با توجه به تحلیل و تبیین مبتنی بر یافته‌های عددی دقیق و اجتناب از تعصب و غرض‌ورزی پژوهشگر در اجرای پژوهش، از نوع کمی است. روش گردآوری داده‌ها از نوع اسناد و مدارک می‌باشد زیرا به منظور گردآوری مقادیر هر شاخص از سالنامه‌های آماری منتشرشده توسط سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای ایران استفاده شده که حاوی جدیدترین و معتبرترین داده‌های در دسترس و مرتبط با این مسئله می‌باشد (سالنامه آماری، ۱۴۰۰). به منظور تعیین مجموعه‌ای جامع و معتبر از شاخص‌های ارزیابی عملکرد ایمنی جاده و تعیین نوع ورودی یا خروجی بودن آن‌ها، مروری بر پژوهش‌های معتبر و مرتبط با موضوع و روش مورد استفاده صورت گرفته که به برخی از آن‌ها در بخش پیشینه نیز اشاره شده است و نتایج نهایی این مرور در جدول ۱ خلاصه شده است. لازم به ذکر است معیار انتخاب از میان شاخص‌های به کار رفته در ادبیات پژوهش، جامعیت و قابلیت دسترسی به داده‌های هر شاخص بوده است. ورودی‌های مدل به ترتیب شامل متوسط مسافر جابجا شده، متوسط بار جابجا شده، طول بزرگراه، تعداد دوربین کنترل سرعت، تعداد پاسگاه‌های پلیس‌راه، ماشین‌آلات و تجهیزات راهداری و خروجی مدل تعداد جانباختگان در نظر گرفته است.

بایستی از مدل خروجی محور استفاده شود (Fancello et al., 2020). عمرانی و همکاران (۲۰۲۰) نیز مشابه با پژوهش حاضر به ارزیابی عملکرد ایمنی جاده‌های ایران با روش تحلیل پوششی داده‌های خروجی محور پرداخته‌اند و ابتکار عمل آن‌ها تلفیق روش وزن‌دهی بهترین-بدترین گروهی به منظور لحاظ ترجیحات تصمیم‌گیرنده در این ارزیابی است. داده‌های ورودی شامل متوسط تعداد مسافر در هر ۱۰۰ کیلومتر جاده، متوسط وزن بار حمل شده در هر ۱۰۰ کیلومتر جاده، طول بزرگراه، تعداد اتومبیل‌های ثبت شده، تعداد دوربین‌های کنترل سرعت، جمعیت هر استان و خروجی‌ها شامل تعداد جانباختگان، مصدومان و تصادفات است (Omran et al., 2020) که به نظر مجموعه شاخص‌های جامع و مناسب‌تری را نسبت به سایر پژوهش‌ها در زمینه ایمنی جاده‌های ایران انتخاب نموده‌اند. کنگ و وو (۲۰۲۱) در زمینه ارزیابی ایمنی جاده‌های استان‌های چین در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶ علاوه بر محاسبه کارایی به ارزیابی تغییر آن بر اساس ضریب بهره‌وری مالیم کوئیست پرداخته‌اند (Kang & Wu, 2021). آن‌ها همچنین در پژوهش جدید دیگری (۲۰۲۲) به ارزیابی ایمنی جاده‌های چین در بازه زمانی ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ با روش تحلیل پوششی داده‌ها همراه با تحلیل فرامرز پرداخته‌اند. متغیرهای ورودی در مدل آن‌ها شامل تعداد جمعیت، خودروها، متوسط مسافر در کیلومتر جاده و خروجی‌ها به عنوان شاخص ریسک شامل تعداد تصادفات، جانباختگان و مصدومان تصادفات جاده‌ای در نظر گرفته شده است (Kang & Wu, 2022). در مجموع بر مبنای مطالعات انجام شده می‌توان پی برد که هنوز این حوزه نسبتاً جدید بوده و پتانسیل بالایی برای انجام مطالعات بیشتر دارد. اغلب پژوهشگران پژوهش خود را با کمی تغییر تکرار نموده‌اند که این نشان از پذیرش بالای این حوزه موضوعی و اقبال جامعه علمی از آن دارد. متأسفانه خلا یک پژوهش داخلی با این حیطه موضوعی به چشم می‌خورد. در میان پژوهش‌های خارجی انجام شده بر جامعه آماری استان‌های ایران، هیچ یک به مطالعه بر مبنای آمار جدید منتشر شده طی سال‌های اخیر نپرداخته‌اند. با این حال مرتبط‌ترین آن‌ها پژوهش‌های گنجی و همکاران (Amelian et al., 2017; Ganji & Rassafi, 2019; Ganji et al., 2020; Hermans et al., 2009; Omran et al., 2020; S. Seyedalizadeh Ganji & Rassafi, 2019) می‌باشد که از نظر هدف و روش بسیار به پژوهش حاضر شباهت دارند. با وجود الهام‌بخشی و کاربرد این آثار معتبر، وجه تمایز پژوهش حاضر با پژوهش‌های گنجی و همکاران، استناد به توصیه پژوهش فنسلو و همکاران است که

جدول ۱. شاخص‌های ورودی و خروجی مدل ایمنی جاده (بر اساس یافته‌های پژوهش)

منبع	توضیح	شاخص	نماد	نوع شاخص
Omrani et al. (2020), Yongjun Shen et al. (2013), Zeinal-Hamadani et al. (2016), Kang and Wu (2022)	واحد سنجش جابجایی مسافر است که بیانگر جابجایی یک نفر مسافر در یک کیلومتر می‌باشد.	متوسط مسافر جابه‌جا شده نفر-کیلومتر Passenger-Kilometer	PK	ورودی
Omrani et al. (2020), Zeinal-Hamadani et al. (2016)	واحد سنجش جابجایی کالا است که بیانگر حمل یک تن کالا در یک کیلومتر می‌باشد.	متوسط بار جابجا شده تن-کیلومتر Ton- Kilometer	TK	
Omrani et al. (2020), Zeinal-Hamadani et al. (2016), Behnood et al. (2017), Egilmez and McAvoy (2013)	بزرگراه، راهی است با حداقل چهار خط عبور (دو خط عبور در هر طرف) برای عبور وسایل نقلیه موتوری که مسیرهای رفت و برگشت آن از هم جدا بوده و امکان ایجاد تقاطع همسطح و دسترسی در آن به صورت محدود وجود دارد. (حداقل یک تقاطع همسطح وجود دارد).	طول بزرگراه کیلومتر highway length (km)	HL	
Omrani et al. (2020), S. R. Seyedalizadeh Ganji and A. A. Rassafi (2019), Behnood et al. (2017)	یکی از روش‌های کنترل اثرات منفی سرعت، استفاده از انواع دوربین‌های ثبت تخلف سرعت است که به عنوان یک راهکار نظارتی و بازدارنده در بسیاری از کشورهای دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد.	تعداد دوربین ثبت تخلف سرعت Fixed Speed Camera	SC	
S. R. Seyedalizadeh Ganji and A. A. Rassafi (2019), Amelian et al. (2017), Zeinal-Hamadani et al. (2016), Behnood et al. (2017)	مجموعه‌ای از ساختمان و محوطه‌ای که در مجاورت راه‌های برون شهری جهت استقرار یگان‌های نیروی انتظامی (پلیسراه ناجا) احداث گردیده و مقر پشتیبانی تیم‌های گشت محسوب می‌شود. در این ایستگاه‌ها از تجهیزات نصب شده در محوطه جلو یا خروجی سامانه‌های متصل به آن در جهت کنترل، نظارت و تأمین ایمنی عبور و مرور کلیه وسایل نقلیه عبوری استفاده می‌شود.	تعداد پاسگاه‌های پلیس‌راه Road Traffic Police station	PS	
S. R. Seyedalizadeh Ganji and A. A. Rassafi (2019)	تعداد ماشین آلات (سبک، نیمه‌سنگین و سنگین) و تجهیزات در اختیار راهداری	ماشین آلات و تجهیزات راهداری Equipment and Vehicles	E&V	
Rosić et al. (2017), Yongjun Shen et al. (2013), S. R. Seyedalizadeh Ganji and A. A. Rassafi (2019), Amelian et al. (2017), Rosić et al. (2017), (Shah et al., 2018), Egilmez and McAvoy (2013), Kang and Wu (2022)	در این پژوهش تعداد جان‌باختگان به صورت معکوس در نظر گرفته شده است و در مدل‌سازی‌ها به عنوان شاخصی درآمدی با آن رفتار می‌شود.	تعداد کل جانباختگان Fatalities	F-1	

اصلاعات مربوط به ورودی‌ها و خروجی‌های هر واحد طی سال‌های ۱۳۹۹، و ۱۴۰۰ که از سالنامه آماری سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای ایران اقتباس شده است و در پیوست نشان داده است.

۳-۱- روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

حل ۶۱۸ مدل برنامه‌ریزی خطی بدبینانه از نرم‌افزار اکسل استفاده شده است.

مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها در حالت خوش بینانه

مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها در حالت خوش‌بینانه به فرم پوششی خروجی محور و با فرض بازده به مقیاس ثابت مطابق زیر می‌باشد.

$$D_{co}^t(x_o^t, y_o^t) = \max \theta \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & s.t. \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij}^t \lambda_j \leq x_{io}^t, \quad i = 1, \dots, m \\ & \sum_{j=1}^n y_{rj}^t \lambda_j \geq \theta y_{ro}^t, \quad r = 1, \dots, s \\ & \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

$$D_{co}^{t+1}(x_o^t, y_o^t) = \max \theta \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & s.t. \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij}^{t+1} \lambda_j \leq x_{io}^t, \quad i = 1, \dots, m \\ & \sum_{j=1}^n y_{rj}^{t+1} \lambda_j \geq \theta y_{ro}^t, \quad r = 1, \dots, s \\ & \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

$$D_{co}^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1}) = \max \theta \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & s.t. \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij}^{t+1} \lambda_j \leq x_{io}^{t+1}, \quad i = 1, \dots, m \\ & \sum_{j=1}^n y_{rj}^{t+1} \lambda_j \geq \theta y_{ro}^{t+1}, \quad r = 1, \dots, s \\ & \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

$$D_{co}^t(x_o^{t+1}, y_o^{t+1}) = \max \theta \quad (4)$$

$$\begin{aligned} & s.t. \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij}^t \lambda_j \leq x_{io}^{t+1}, \quad i = 1, \dots, m \\ & \sum_{j=1}^n y_{rj}^t \lambda_j \geq \theta y_{ro}^{t+1}, \quad r = 1, \dots, s \\ & \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

شرایط داده‌های هر سال نسبت به مرز کارای همان سال از مدل‌های زیر استفاده می‌شود.

$$D_{vo}^t(x_o^t, y_o^t) = \max \theta \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & s.t. \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij}^t \lambda_j \leq x_{io}^t, \quad i = 1, \dots, m \\ & \sum_{j=1}^n y_{rj}^t \lambda_j \geq \theta y_{ro}^t, \quad r = 1, \dots, s \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ & \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

$$D_{vo}^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1}) = \max \theta \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & s.t. \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij}^{t+1} \lambda_j \leq x_{io}^{t+1}, \quad i = 1, \dots, m \\ & \sum_{j=1}^n y_{rj}^{t+1} \lambda_j \geq \theta y_{ro}^{t+1}, \quad r = 1, \dots, s \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ & \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

به منظور تعیین ضریب بهره‌وری مالم کوئیست در دو حالت خوش‌بینانه و بدبینانه از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های خروجی محور و پوششی در هر دو حالت بازده به مقیاس ثابت و متغیر استفاده می‌شود. که در ادامه هر یک از مدل‌ها به ترتیب تشریح شده است. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها برای حل مدل‌های خوش‌بینانه از نرم‌افزار دیپ و به منظور مدل‌سازی و

به منظور تعیین شاخص تغییر کارایی مقیاس در ساختار ضریب بهره‌وری مالم کوئیست خوش‌بینانه، علاوه بر مدل‌های فوق دو مدل پوششی خروجی محور با فرض بازده به مقیاس متغیر در

مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها در حالت بدبینانه

مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها در حالت بدبینانه به فرم پوششی خروجی محور و با فرض بازده به مقیاس ثابت مطابق زیر می‌باشد.

$$D_{co}^t(x_o^t, y_o^t) = \min \varphi \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & s.t. \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij}^t \lambda_j \geq x_{io}^t, \quad i = 1, \dots, m \\ & \sum_{j=1}^n y_{rj}^t \lambda_j \leq \theta y_{ro}^t, \quad r = 1, \dots, s \\ & \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

$$D_{co}^{t+1}(x_o^t, y_o^t) = \min \varphi \quad (8)$$

$$\begin{aligned} & s.t. \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij}^{t+1} \lambda_j \geq x_{io}^t, \quad i = 1, \dots, m \\ & \sum_{j=1}^n y_{rj}^{t+1} \lambda_j \leq \theta y_{ro}^t, \quad r = 1, \dots, s \\ & \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

$$D_{co}^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1}) = \min \varphi \quad (9)$$

$$\begin{aligned} & s.t. \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij}^{t+1} \lambda_j \geq x_{io}^{t+1}, \quad i = 1, \dots, m \\ & \sum_{j=1}^n y_{rj}^{t+1} \lambda_j \leq \theta y_{ro}^{t+1}, \quad r = 1, \dots, s \\ & \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

$$D_{co}^t(x_o^{t+1}, y_o^{t+1}) = \min \varphi \quad (10)$$

$$\begin{aligned} & s.t. \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij}^t \lambda_j \geq x_{io}^{t+1}, \quad i = 1, \dots, m \\ & \sum_{j=1}^n y_{rj}^t \lambda_j \leq \theta y_{ro}^{t+1}, \quad r = 1, \dots, s \\ & \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

داده‌های هر سال نسبت به مرز کارای همان سال از مدل‌های زیر استفاده می‌شود (Shen et al., 2010; Y. M. Wang & Y. X. Lan, 2011)

$$D_{vo}^t(x_o^t, y_o^t) = \min \varphi \quad (11)$$

$$\begin{aligned} & s.t. \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij}^t \lambda_j \geq x_{io}^t, \quad i = 1, \dots, m \\ & \sum_{j=1}^n y_{rj}^t \lambda_j \leq \theta y_{ro}^t, \quad r = 1, \dots, s \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ & \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

$$D_{vo}^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1}) = \min \varphi \quad (12)$$

$$\begin{aligned} & s.t. \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij}^{t+1} \lambda_j \geq x_{io}^{t+1}, \quad i = 1, \dots, m \\ & \sum_{j=1}^n y_{rj}^{t+1} \lambda_j \leq \theta y_{ro}^{t+1}, \quad r = 1, \dots, s \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ & \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

ضریب بهره‌وری کل و اجزای آن

توسعه‌یافته مالم کوئیست توسط فار و همکاران است (Färe et al., 1994).

به منظور تعیین شاخص تغییر کارایی مقیاس در ساختار ضریب بهره‌وری مالم کوئیست بدبینانه، علاوه بر مدل‌های فوق دو مدل پوششی خروجی محور با فرض بازده به مقیاس متغیر در شرایط

با حل ۱۲ مدل تحلیل پوششی داده‌ها، اطلاعات لازم برای محاسبه ضریب بهره‌وری مالم کوئیست در هر یک از دو حالت و اجزای آن‌ها به دست آید. تمامی محاسبات برگرفته از الگوی

-تغییر کارایی فنی (EFFCH)

$$EFFCH_o = \frac{D_{co}^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{D_{co}^t(x_o^t, y_o^t)} \quad (13)$$

-تغییر فناوریانه (TECHCH)

$$TECHCH_o = \left[\frac{D_{co}^t(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{D_{co}^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})} \times \frac{D_{co}^t(x_o^t, y_o^t)}{D_{co}^{t+1}(x_o^t, y_o^t)} \right]^{1/2} \quad (14)$$

- تغییر کارایی فنی خالص (PECH)

$$PECH_o = \frac{D_{vo}^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{D_{vo}^t(x_o^t, y_o^t)} \quad (15)$$

-تغییر کارایی مقیاس (SECH)

$$SECH_o = \frac{EFFCH_o}{PECH_o} = \frac{\frac{D_{co}^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{D_{co}^t(x_o^t, y_o^t)}}{\frac{D_{vo}^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{D_{vo}^t(x_o^t, y_o^t)}} \quad (16)$$

-ضریب تغییر بهره‌وری کل (TFPCH)

$$MPI_o = EFFCH_o \times TECHCH_o = \frac{D_{co}^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{D_{co}^t(x_o^t, y_o^t)} \left[\frac{D_{co}^t(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{D_{co}^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})} \times \frac{D_{co}^t(x_o^t, y_o^t)}{D_{co}^{t+1}(x_o^t, y_o^t)} \right]^{1/2} \quad (17)$$

ضریب تغییر بهره‌وری تجمیع یافته

پس از تعیین ضریب بهره‌وری کل در هر دو حالت خوش‌بینانه (MPI_{opt}) و بدبینانه (MPI_{pess}) میانگین هندسی آن‌ها مطابق رابطه زیر، ضریب بهره‌وری کل نهایی (MPI) را نشان می‌دهد (Y.-M. Wang & Y.-X. Lan, 2011).

$$MPI = [MPI_{opt} \times MPI_{pess}]^{1/2} \quad (18)$$

۴- یافته‌ها

و متغیر (D_v)، قابل تشخیص است. با توجه به نتایج مدل خوش-بینانه، کارایی نسبی در حالت بازده به مقیاس متغیر در سال ۱۳۹۹ ($D_{99v}(x_{99}, y_{99})$)، برای استان‌های البرز، ایلام، زنجان، قم و کهگیلویه و بویراحمد در سال ۱۳۹۹، برابر با ۱ شده و در نتیجه واحدهای کارا در این سال به شمار می‌روند. کارایی نسبی با فرض بازده به مقیاس متغیر در سال ۱۴۰۰ ($D_{00v}(x_{00}, y_{00})$) نیز برای استان‌های البرز، ایلام، چهارمحال و بختیاری، زنجان، قم، کردستان، کهگیلویه و بویراحمد در سال ۱۴۰۰، برابر ۱ بوده (روی مرز کارایی قرار دارند) و در نتیجه در سال گذشته این استان‌ها بهترین عملکرد نسبی را در ایمنی جاده داشته‌اند. به همین ترتیب با فرض بازده به مقیاس ثابت نیز نتایج قابل تحلیل است.

برای انجام مدل‌سازی‌های تحلیل پوششی داده‌ها که در تعیین ضریب بهره‌وری مالم کوئیست و اجزای آن به کار می‌روند در حالت خوش‌بینانه مطابق با روابط ۱ تا ۶، از نرم افزار دیپ و در حالت بدبینانه مطابق با روابط ۷ تا ۱۲، از نرم افزار اکسل برای حل ۱۸۶ مدل استفاده شد که نتایج نهایی بخش خوش‌بینانه در جدول ۲ و نتایج مدل‌های بدبینانه در جدول ۳ نشان داده شده است. از آنجا که در رویکرد خوش‌بینانه و حالت خروجی محور، مقادیر D معادل با کارایی نسبی است، از نتایج به دست آمده طبق جدول فوق، کارایی نسبی استان‌ها در هر یک از سال‌های مورد بررسی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰، در دو حالت بازده به مقیاس ثابت (D_o)

جدول ۲. نتایج حل مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های لازم برای تعیین ضریب بهره‌وری خوش‌بینانه

استان	DMUs	D99c(x99,y99)	D99v(X99,Y99)	D00c(X99, Y99)	D00c(x00,y00)	D00v(X00, Y00)	D99c(X00,Y00)
آذربایجان شرقی	1	0.072	0.158	0.106	0.074	0.149	0.058
آذربایجان غربی	2	0.159	0.223	0.258	0.126	0.225	0.072
اردبیل	3	0.482	0.482	0.78	0.577	0.577	0.481
اصفهان	4	0.045	0.111	0.069	0.054	0.124	0.046
البرز	5	0.728	1	0.852	0.726	1	0.621
ایلام	6	1	1	2.213	1	1	0.929
بوشهر	7	0.415	0.441	0.549	0.473	0.522	0.404
تهران	8	0.072	0.091	0.084	0.085	0.105	0.073
چهارمحال و بختیاری	9	0.582	0.582	0.941	0.808	1	0.5
خراسان جنوبی	10	0.337	0.472	0.545	0.426	0.487	0.272
خراسان رضوی	11	0.038	0.118	0.06	0.04	0.124	0.034
خراسان شمالی	12	0.649	0.861	1.048	0.594	0.876	0.367
خوزستان	13	0.077	0.127	0.135	0.087	0.142	0.074
زنجان	14	0.591	1	0.728	0.61	1	0.496
سمنان	15	0.39	0.509	0.834	0.567	0.586	0.299
سیستان و بلوچستان	16	0.055	0.109	0.112	0.08	0.107	0.039
فارس	17	0.031	0.088	0.045	0.033	0.091	0.028
قزوین	18	0.316	0.369	0.54	0.461	0.468	0.306
قم	19	0.742	1	0.868	0.9	1	0.769
کردستان	20	0.383	0.507	0.619	0.52	1	0.322
کرمان	21	0.057	0.114	0.092	0.059	0.117	0.05
کرمانشاه	22	0.151	0.271	0.243	0.217	0.311	0.134
کهگیلویه و بویراحمد	23	1	1	1.46	0.912	1	0.72
گلستان	24	0.408	0.54	0.659	0.331	0.339	0.283
گیلان	25	0.13	0.208	0.21	0.163	0.233	0.114
لرستان	26	0.182	0.258	0.231	0.213	0.3	0.182
مازندران	27	0.122	0.194	0.157	0.133	0.216	0.114
مرکزی	28	0.136	0.217	0.281	0.197	0.229	0.123
هرمزگان	29	0.252	0.252	0.408	0.242	0.28	0.207
همدان	30	0.272	0.326	0.44	0.349	0.349	0.216
یزد	31	0.347	0.396	0.533	0.436	0.436	0.327

جدول ۳. نتایج حل مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های لازم برای تعیین ضریب بهره‌وری بدینانه

استان	DMUs	D99c(x99,y99)	D99v(X99,Y99)	D00c(X99, Y99)	D00c(x00,y00)	D00v(X00, Y00)	D99c(X00,Y00)
آذربایجان شرقی	1	2.288	1.786	2.528	2.022	1.625	1.661
آذربایجان غربی	2	2.662	2.521	2.941	2.527	2.463	2.288
اردبیل	3	15.153	5.452	16.739	16.915	6.314	12.914
اصفهان	4	1.000	1.000	0.985	1.000	1.000	0.930
البرز	5	17.783	4.553	21.769	12.204	4.438	7.942
ایلام	6	31.816	11.300	35.144	30.051	10.937	22.371
بوشهر	7	7.320	3.836	9.577	7.993	4.261	6.234
تهران	8	1.000	1.000	1.111	1.000	1.000	0.666
چهارمحال و بختیاری	9	16.442	6.577	18.162	15.382	6.314	13.925
خراسان جنوبی	10	9.530	5.335	10.527	9.575	5.322	8.668
خراسان رضوی	11	1.046	1.000	1.115	1.000	1.000	0.706
خراسان شمالی	12	14.329	5.863	15.828	12.883	5.363	10.970
خوزستان	13	1.037	1.000	1.139	1.000	1.000	0.894
زنجان	14	10.147	5.073	12.438	10.331	4.757	7.568
سمنان	15	11.509	5.755	13.689	9.193	5.014	5.983
سیستان و بلوچستان	16	1.438	1.237	1.684	1.381	1.172	1.060
فارس	17	1.000	1.000	1.068	1.000	1.000	0.630
قزوین	18	10.052	4.171	11.104	10.772	4.584	9.377
قم	19	9.525	4.286	12.316	12.393	5.125	9.584
کردستان	20	7.259	3.462	8.018	6.582	3.253	5.959
کرمان	21	1.123	1.081	1.183	1.079	1.000	0.916
کرمانشاه	22	4.024	3.062	4.444	4.500	3.396	4.074
کهگیلویه و بویراحمد	23	21.765	6.830	24.042	19.231	6.119	12.516
گلستان	24	10.696	3.688	11.815	9.719	3.534	6.326
گیلان	25	3.786	2.350	4.182	4.022	2.553	3.641
لرستان	26	5.175	2.911	6.387	6.403	3.276	4.691
مازندران	27	3.514	2.196	4.272	3.062	2.366	1.993
مرکزی	28	4.318	2.452	4.673	4.322	2.503	3.913
هرمزگان	29	2.846	2.575	3.104	2.646	2.355	2.450
همدان	30	6.713	3.688	7.416	6.780	3.816	6.138
یزد	31	4.936	4.243	5.372	4.805	4.110	4.405

خوزستان و فارس در بدترین حالت و معادل ۱ بوده (روی مرز ناکارایی قرار دارند) و بنابراین غیرکاراترین استان‌ها در این سال بوده‌اند. در سال ۱۴۰۰ نیز با فرض بازده به مقیاس متغیر، استان‌های اصفهان، تهران، خراسان رضوی، خوزستان، فارس و کرمان غیرکاراترین استان‌ها بوده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود

در رویکرد بدینانه مقادیر D، با فاصله نسبی از مرز ناکارایی استان‌ها در ایمنی جاده رابطه مستقیم دارد و در نتیجه هرچه کمتر باشد، ناکارایی نسبی بیشتر است. در نتیجه طبق جدول ۳ بر اساس رویکرد بدینانه و با فرض بازده به مقیاس متغیر، در سال ۱۳۹۹، عملکرد نسبی استان‌های اصفهان، تهران، خراسان رضوی،

نتایج دو حالت خوش‌بینانه و بدبینانه تفاوت کمی داشته و کاراترین استان‌ها در حالت خوش‌بینانه، از حداقل میزان ناکارایی (بیشترین میزان D) در حالت بدبینانه نسبت به دیگر استان‌ها برخوردارند.

به‌منظور تعیین شاخص بهره‌وری کل در هر دو حالت و اجزای آن‌ها از روابط ۱۳ تا ۱۷ استفاده شده و نتایج محاسبات به ترتیب در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴. نتایج محاسبه ضریب بهره‌وری مالم کوئیست و اجزای آن

استان	خوش‌بینانه						بدبینانه				
	DMUs	EFFCH	TECHCH	PECH	SECH	TFPCH	EFFCH	TECHCH	PECH	SECH	TFPCH
آذربایجان شرقی	1	1.033	0.723	0.94	1.099	0.747	0.884	0.863	0.910	0.971	0.673
آذربایجان غربی	2	0.793	0.593	1.009	0.785	0.47	0.949	0.905	0.977	0.972	0.816
اردبیل	3	1.197	0.718	1.197	1	0.859	1.116	0.831	1.158	0.964	1.036
اصفهان	4	1.196	0.749	1.118	1.069	0.896	1.000	0.972	1.000	1.000	0.972
البرز	5	0.997	0.855	1	0.997	0.852	0.686	0.729	0.975	0.704	0.343
ایلام	6	1	0.648	1	1	0.648	0.945	0.821	0.968	0.976	0.732
بوشهر	7	1.14	0.804	1.184	0.962	0.916	1.092	0.772	1.111	0.983	0.921
تهران	8	1.174	0.855	1.156	1.016	1.004	1.000	0.774	1.000	1.000	0.774
چهارمحال و بختیاری	9	1.389	0.619	1.718	0.808	0.859	0.936	0.905	0.960	0.975	0.792
خراسان جنوبی	10	1.263	0.629	1.031	1.225	0.794	1.005	0.905	0.998	1.007	0.914
خراسان رضوی	11	1.047	0.739	1.046	1.001	0.774	0.956	0.814	1.000	0.956	0.744
خراسان شمالی	12	0.915	0.618	1.018	0.899	0.566	0.899	0.878	0.915	0.983	0.710
خوزستان	13	1.128	0.699	1.118	1.009	0.789	0.964	0.902	1.000	0.964	0.839
زنجان	14	1.033	0.812	1	1.033	0.839	1.018	0.773	0.938	1.086	0.801
سمنان	15	1.455	0.496	1.151	1.264	0.722	0.799	0.740	0.871	0.917	0.472
سیستان و بلوچستان	16	1.448	0.493	0.979	1.479	0.713	0.960	0.810	0.948	1.013	0.747
فارس	17	1.059	0.775	1.033	1.025	0.821	1.000	0.768	1.000	1.000	0.768
قزوین	18	1.46	0.623	1.268	1.152	0.91	1.072	0.888	1.099	0.975	1.019
قم	19	1.213	0.855	1	1.213	1.037	1.301	0.773	1.196	1.088	1.309
کردستان	20	1.359	0.619	1.973	0.689	0.841	0.907	0.905	0.940	0.965	0.744
کرمان	21	1.031	0.729	1.031	1	0.751	0.960	0.898	0.925	1.038	0.828
کرمانشاه	22	1.444	0.619	1.146	1.26	0.893	1.118	0.905	1.109	1.008	1.133
کهگیلویه و بویراحمد	23	0.912	0.735	1	0.912	0.671	0.884	0.768	0.896	0.986	0.599
گلستان	24	0.81	0.727	0.627	1.292	0.589	0.909	0.768	0.958	0.948	0.634
گیلان	25	1.257	0.658	1.123	1.12	0.828	1.062	0.905	1.087	0.978	1.022
لرستان	26	1.172	0.82	1.163	1.008	0.961	1.237	0.770	1.125	1.099	1.179
مازندران	27	1.092	0.814	1.113	0.981	0.889	0.871	0.732	1.077	0.809	0.556
مرکزی	28	1.449	0.55	1.055	1.374	0.797	1.001	0.915	1.021	0.981	0.916
هرمزگان	29	0.958	0.727	1.111	0.862	0.697	0.929	0.922	0.915	1.016	0.796
همدان	30	1.283	0.619	1.069	1.2	0.794	1.010	0.905	1.035	0.976	0.923
یزد	31	1.256	0.699	1.103	1.139	0.878	0.973	0.918	0.969	1.005	0.870

و بدینانه طبق رابطه ۱۸ میزان بهره‌وری نهایی هر استان در ایمنی جاده محاسبه شده و در نهایت اولویت هر یک تعیین شده است. نتایج نهایی در جدول ۵ نشان داده شده است.

به منظور دستیابی به هدف اصلی پژوهش، یعنی اولویت‌بندی استان‌های ایران بر اساس عملکرد ایمنی جاده، بر مبنای تجمیع مقدار شاخص بهره‌وری مالم کوئیست در دو حالت خوش‌بینانه

جدول ۵. اولویت‌بندی استان‌های ایران بر مبنای میزان بهره‌وری در ایمنی جاده

استان	MPI _o	MPI _p	MPI	اولویت	استان	MPI _o	MPI _p	MPI	اولویت
آذربایجان شرقی	0.747	0.673	0.709	23	فارس	0.821	0.768	0.794	17
آذربایجان غربی	0.470	0.816	0.619	28	قزوین	0.910	1.019	0.963	4
اردبیل	0.859	1.036	0.943	5	قم	1.037	1.309	1.165	1
اصفهان	0.896	0.972	0.933	6	کردستان	0.841	0.744	0.791	18
البرز	0.852	0.343	0.541	31	کرمان	0.751	0.828	0.789	19
ایلام	0.648	0.732	0.689	25	کرمانشاه	0.893	1.133	1.006	3
بوشهر	0.916	0.921	0.918	8	کهگیلویه و بویراحمد	0.671	0.599	0.634	26
تهران	1.004	0.774	0.881	9	گلستان	0.589	0.634	0.611	29
چهارمحال و بختیاری	0.859	0.792	0.825	14	گیلان	0.828	1.022	0.920	7
خراسان جنوبی	0.794	0.914	0.852	13	لرستان	0.961	1.179	1.065	2
خراسان رضوی	0.774	0.744	0.759	20	مازندران	0.889	0.556	0.703	24
خراسان شمالی	0.566	0.710	0.634	27	مرکزی	0.797	0.916	0.855	12
خوزستان	0.789	0.839	0.814	16	هرمزگان	0.697	0.796	0.745	21
زنجان	0.839	0.801	0.820	15	همدان	0.794	0.923	0.856	11
سمنان	0.722	0.472	0.584	30	یزد	0.878	0.870	0.874	10
سیستان و بلوچستان	0.713	0.747	0.730	22					

استان‌های البرز، سمنان، گلستان، آذربایجان غربی و خراسان شمالی نیز به ترتیب کمترین میزان بهره‌وری را داشته‌اند.

همانطور که مشاهده می‌شود بر مبنای میزان بهره‌وری در ایمنی جاده، استان‌های قم، لرستان، کرمانشاه، قزوین و اردبیل به ترتیب در اولویت‌های اول تا پنجم قرار دارند و میزان بهره‌وری

۵- نتیجه‌گیری

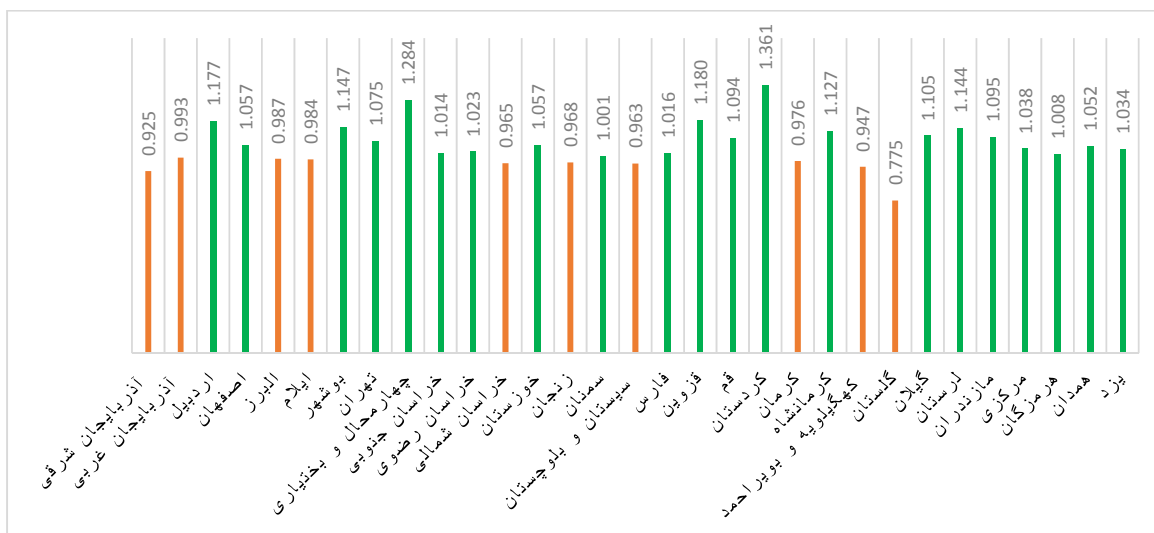
طی این دوره دوساله، از شاخص بهره‌وری مالم کوئیست با مرز دوگان استفاده شد.

بر مبنای ضریب بهره‌وری کل طی سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰، عملکرد ایمنی جاده تنها در استان‌های قم، لرستان و کرمانشاه نسبت به سال گذشته بهبود یافته و عملکرد دیگر استان‌ها در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال قبل آن، با افت مواجه بوده است. با این حال به کمک الگوی بسط یافته‌ی فار و همکاران (۱۹۹۸)، می‌توان ارزیابی دقیق‌تری از تغییر عملکرد ایمنی جاده‌ی استان‌ها ارائه نمود. بر مبنای میانگین هندسی تغییر فناوریانه در هر دو حالت خوش‌بینانه (۰/۶۹۰) و بدبینانه (۰/۸۴) می‌توان پی

بر مبنای نتایج به‌دست آمده از حل مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های خروجی محور، بازده به مقیاس متغیر و پوششی، هفت استان شامل البرز، ایلام، چهارمحال و بختیاری، زنجان، قم، کردستان، کهگیلویه و بویراحمد از عملکرد ایمنی جاده‌ای کارا در سال ۱۴۰۰ برخوردار بوده‌اند. هم‌چنین بر اساس نتایج اجرای این نوع مدل‌ها در رویکرد بدبینانه، شش استان شامل اصفهان، تهران، خراسان رضوی، خوزستان، فارس و کرمان غیر کارا ترین استان‌ها در عملکرد ایمنی جاده در سال ۱۴۰۰ بوده‌اند. علاوه بر ارزیابی کارایی در هر دو حالت بازده به مقیاس ثابت و متغیر و در هر یک از سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰، به منظور تعیین بهره‌وری

شکل ۱ نشان می‌دهد، استان‌های کردستان، چهارمحال و بختیاری، قزوین، اردبیل و بوشهر بیشترین میزان افزایش کارایی فنی خالص در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال ۱۳۹۹ را داشته و استان‌های گلستان، آذربایجان شرقی، کهگیلویه و بویراحمد، سیستان و بلوچستان و خراسان شمالی بیشترین میزان افت کارایی فنی خالص را داشته‌اند.

برد که به‌طور کلی تغییرات فناورانه ایمنی جاده‌ها در سال ۱۴۰۰ نسبت به ۱۳۹۹ افت داشته است و در نتیجه به‌منظور بررسی عمیق تر بایستی به شاخص تغییر کارایی فنی و بازهم دقیق‌تر، تغییر کارایی فنی خالص استناد نمود. براساس مقادیر تجمیعی (بدینانه و خوش‌بینانه) تغییر کارایی فنی خالص استان‌ها که بخش تغییر کارایی مستقل از تغییرات فناورانه و تغییرات مقیاس را مطابق با



شکل ۱. تغییر کارایی فنی خالص استان‌های ایران در ایمنی جاده طی سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰

خروجی مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها علاوه بر تعداد یا نرخ جان‌باختگان، می‌تواند سایر شاخص‌های ریسک ایمنی که در ادبیات مربوطه پرتکرار بوده‌اند از جمله تعداد تصادفات یا تعداد مصدومان حوادث نیز در نظر گرفته شوند. به‌طور کلی پیشنهاد می‌شود پس از مرور نظام‌مند ادبیات مربوطه از رویکرد تحلیل عاملی جهت تعیین مجموعه‌ای جامع و خلاصه از شاخص‌های ایمنی جاده استفاده شده و سپس از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های مطرح شده در پژوهش حاضر استفاده شود. با توجه به محدودیت زمانی اجرای پژوهش امکان ارزیابی ضریب بهره‌وری طی دوره‌های زمانی ماقبل از سال ۱۳۹۹ فراهم نبوده و از این رو پیشنهاد می‌شود که بنابر تقاضای برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان حوزه ایمنی جاده، این قبیل تحلیل‌ها طی دوره‌های زمانی گسترده‌تری صورت گیرد. فلسفه پشت این پژوهش، توسعه ادبیات نظری در این حوزه و ارائه مبنا یا چارچوبی علمی برای سایر ارزیابی‌های مبتنی بر مجموعه داده‌های مختلف توسط اندیش‌ورزان، متخصصان و

به‌این ترتیب مشاهده می‌شود که بهره‌مندی همزمان از الگوی خوش‌بینانه و بدبینانه از یک سو و محاسبه شاخص‌های تغییر طبق الگوی بسط‌یافته فار و همکاران (۱۹۸۸) تحلیل‌های جامع و دقیقی از عملکرد ایمنی جاده‌های ایران در اختیار تصمیم‌گیرندگان مربوطه با هدف کاهش خسارات جانی و مالی ناشی از تصادفات، قرار می‌دهد. از طرفی تا آنجا که از مطالعه پژوهش‌های در دسترس و معتبر قابل درک است، تاکنون هیچ مطالعه‌ای به تعیین ضریب بهره‌وری مالم کوئیست دوگانه‌ی خروجی محور در ارزیابی ایمنی جاده نپرداخته و در نتیجه مدل‌های مطرح شده می‌تواند الهام بخش پژوهش‌های مرتبط دیگر باشد. با این حال پژوهش حار همچون سایر پژوهش‌ها با محدودیت‌هایی مواجه است که پژوهش‌های آتی می‌تواند به رفع این خلاها بپردازند: به‌دلیل در دسترس نبودن آمار معتبر در مورد برخی شاخص‌های مهم دیگر در ارزیابی عملکرد ایمنی جاده، از آن‌ها در این پژوهش چشم‌پوشی شده است. به عنوان مثال شاخص‌های

نوتروسوفیکی و غیره) در ترکیب با روش تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شود.

به علاوه در صورتی که برخلاف نتایج مدلسازی‌های این پژوهش، تمایزی بین میزان کارایی نسبی واحدها حاصل نشود، می‌توان از روش کارایی مقطعی نیز علاوه بر روش‌های وزن‌دهی مطرح شده استفاده نمود.

سیاست‌گذاران این حوزه می‌باشد. درواقع، به منظور اجتناب از غرض‌وری و بهبود قابلیت تعمیم، از نظر خبرگان برای ارزیابی کارایی استفاده نشده است؛ از این رو در صورتی که ترجیح پژوهشگران آتی بر مشارکت خبرگان در پژوهش باشد، توصیه می‌شود از روش‌های معتبر وزن‌دهی در تصمیم‌گیری چندمعیاره نظیر روش بهترین-بدترین تحت مجموعه اعداد فازی (کروی،

۶- مراجع

- García-Sánchez, I. M. (2009). Measuring the efficiency of local police force [Article]. *European Journal of Law and Economics*, 27(1), 59-77. doi.org/10.1007/s10657-008-9079-1
- Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., & Vanhoof, K. (2009). Benchmarking road safety: Lessons to learn from a data envelopment analysis [Article]. *Accident Analysis and Prevention*, 41(1), 174-182. doi.org/10.1016/j.aap.2008.10.010
- Hermans, E., Van den Bossche, F., & Wets, G. (2008). Combining road safety information in a performance index [Article]. *Accident Analysis and Prevention*, 40(4), 1337-1344. doi.org/10.1016/j.aap.2008.02.004
- Kang, L., & Wu, C. (2021). Measuring the development of Chinese provincial road safety over the period 2007–2016 [Article]. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 175, Article 109133. doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109133
- Kang, L., & Wu, C. (2022). Evaluating the performance of Chinese provincial road safety based on the output–input ratio [Article]. *Transportation Letters*, 14(2), 114-123. doi.org/10.1080/19427867.2020.1819077
- Omran, H., Amini, M., & Alizadeh, A. (2020). An integrated group best-worst method – Data envelopment analysis approach for evaluating road safety: A case of Iran [Article]. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 152, Article 107330. doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107330
- Organization, W. H. (2022). Powered two-and three-wheeler safety: a road safety manual for decision-makers and practitioners.
- Rosić, M., Pešić, D., Kukić, D., Antić, B., & Božović, M. (2017). Method for selection of optimal road safety composite index with examples from DEA and TOPSIS method. *Accident Analysis & Prevention*, 98, 277-286. doi.org/10.1016/j.aap.2016.10.007
- Amelian, S., Shojaie, A. A., & Davoodi, S. M. R. (2017). Road safety evaluation using data envelopment analysis case study: Roads in provinces in Iran [Article]. *International Journal of Vehicle Safety*, 9(3), 253-261. doi.org/10.1504/IJVS.2017.085205
- Bastos, J. T., Shen, Y., Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., & Ferraz, A. C. P. (2015). Traffic fatality indicators in Brazil: State diagnosis based on data envelopment analysis research [Article]. *Accident Analysis and Prevention*, 81, 61-73, Article 3767. doi.org/10.1016/j.aap.2015.01.024
- Behnood, H. R., Ayati, E., Brijs, T., Neghab, M. P., & Shen, Y. (2017). A fuzzy decision-support system in road safety planning. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport,
- Egilmez, G., & McAvoy, D. (2013). Benchmarking road safety of U.S. states: A DEA-based Malmquist productivity index approach. *Accident Analysis & Prevention*, 53, 55-64. doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.038
- Fancello, G., Carta, M., & Serra, P. (2020). Data Envelopment Analysis for the assessment of road safety in urban road networks: A comparative study using CCR and BCC models [Article]. *Case Studies on Transport Policy*, 8(3), 736-744. doi.org/10.1016/j.cstp.2020.07.007
- Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M., & Zhang, Z. (1994). Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries. *The American economic review*, 66-83.
- Ganji, S., & Rassafi, A. (2019). DEA Malmquist productivity index based on a double-frontier slacks-based model: Iranian road safety assessment. *European Transport Research Review*, 11(1), 1-32.
- Ganji, S. S., Rassafi, A. A., & Bandari, S. J. (2020). Application of evidential reasoning approach and OWA operator weights in road safety evaluation considering the best and worst practice frontiers [Article]. *Socio-Economic Planning Sciences*, 69, Article 100706. doi.org/10.1016/j.seps.2019.04.003

- extensions [Article]. *Accident Analysis and Prevention*, 48, 430-441.
doi.org/10.1016/j.aap.2012.02.020
- 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*, World Scientific. 923-928.
- Tešić, M., Hermans, E., Lipovac, K., & Pešić, D. (2018). Identifying the most significant indicators of the total road safety performance index [Article]. *Accident Analysis and Prevention*, 113, 263-278.
doi.org/10.1016/j.aap.2018.02.003
- Wang, Y.-M., & Lan, Y.-X. (2011). Measuring Malmquist productivity index: A new approach based on double frontiers data envelopment analysis. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(11-12), 2760-2771.
- Wang, Y. M., & Lan, Y. X. (2011). Measuring Malmquist productivity index: A new approach based on double frontiers data envelopment analysis [Article]. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(11-12), 2760-2771.
doi.org/10.1016/j.mcm.2011.06.064
- Zeinal-Hamadani, A., Reisi-Nafchi, M., Rasti Barzoki, M., & Khosroshahi, H. (2016). Road Transportation Safety: Factor Analysis Approach. *Journal of Production and Operations Management*, 7(2), 1-20.
- Seyedalizadeh Ganji, S., & Rassafi, A. (2019). Measuring the road safety performance of Iranian provinces: a double-frontier DEA model and evidential reasoning approach. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 26(2), 156-169.
- Seyedalizadeh Ganji, S. R., & Rassafi, A. A. (2019). Measuring the road safety performance of Iranian provinces: a double-frontier DEA model and evidential reasoning approach [Article]. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 26(2), 156-169.
doi.org/10.1080/17457300.2018.1535510
- Shah, S. A. R., Ahmad, N., Shen, Y., Pirdavani, A., Basheer, M. A., & Brijs, T. (2018). Road safety risk assessment: an analysis of transport policy and management for low-, middle-, and high-income Asian countries. *Sustainability (Switzerland)*, 10(2), 389.
- Shen, Y., Hermans, E., Bao, Q., Brijs, T., & Wets, G. (2013). Road safety development in Europe: A decade of changes (2001-2010) [Article]. *Accident Analysis and Prevention*, 60, 85-94.
doi.org/10.1016/j.aap.2013.08.013
- Shen, Y., Hermans, E., Bao, Q., Brijs, T., & Wets, G. (2013). Road safety development in Europe: A decade of changes (2001-2010). *Accident Analysis & Prevention*, 60, 85-94.
doi.org/10.1016/j.aap.2013.08.013
- Shen, Y., Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., & Vanhoof, K. (2012). Road safety risk evaluation and target setting using data envelopment analysis and its

پیوست ۱: داده‌های ورودی و خروجی مدل‌ها

جدول ۱. داده‌های ورودی و خروجی ایمنی جاده‌های ایران در سال ۱۴۰۰

تعداد جان‌باختگان	معکوس تعداد جان‌باختگان ضرب در ۱ میلیون	ماشین آلات و تجهیزات	تعداد پاسگاه‌های پلیس راه	دوربین کنترل سرعت	طول بزرگراه- کیلومتر	میلیون تن- کیلومتر	میلیون نفر- کیلومتر	
۸۵۵	۱۱۶۹.۵۹	۶۹۱	۱۴	۷۳	۵۶۷	۹۷۶۵	۱۰۱۹	آذربایجان شرقی
۵۶۴	۱۷۷۳.۰۵	۸۳۸	۱۴	۴۱	۴۲۴	۶۲۱۳	۹۴۰	آذربایجان غربی
۲۲۰	۴۵۴۵.۴۵	۳۲۱	۷	۲۹	۲۳۱	۱۴۳۲	۴۵۲	اردبیل
۱۰۲۴	۹۷۶.۵۶۳	۷۱۷	۱۶	۱۵۲	۲۰۳۸	۲۳۴۸۶	۱۹۶۶	اصفهان
۳۱۳	۳۱۹۴.۸۹	۱۷۵	۸	۳۱	۹۲	۳۲۷۵	۵۴۹	البرز
۱۲۷	۷۸۷۴.۰۲	۳۱۳	۷	۲۳	۱۶۰	۹۱۱	۲۵۱	ایلام
۳۲۶	۳۰۶۷.۴۸	۲۵۸	۶	۵۳	۶۷۲	۵۹۹۸	۱۷۵۳	بوشهر
۱۲۱۱	۸۲۵.۷۶۴	۳۸۷	۱۸	۱۴۳	۴۷۳	۱۸۷۰۹	۵۰۵۷	تهران
۲۲۰	۴۵۴۵.۴۵	۳۵۳	۵	۳۴	۳۰۸	۲۰۰۹	۳۲۷	چهارمحال و بختیاری
۲۶۱	۳۸۳۱.۴۲	۴۷۸	۸	۶۲	۷۴۸	۳۷۳۴	۳۶۰	خراسان جنوبی
۱۰۲۸	۹۷۲.۷۶۳	۹۶۹	۲۶	۱۳۲	۱۱۳۹	۲۱۲۷۶	۳۳۰۴	خراسان رضوی
۲۵۹	۳۸۶۱	۳۵۸	۷	۱۹	۲۱۱	۱۴۶۱	۲۵۷	خراسان شمالی
۸۹۴	۱۱۱۸.۵۷	۵۱۱	۱۵	۷۰	۱۲۹۱	۳۰۶۴۳	۱۱۱۰	خوزستان
۲۹۲	۳۴۲۴.۶۶	۳۹۶	۹	۳۲	۱۱۴	۳۳۴۹	۲۰۲	زنجان
۲۷۷	۳۶۱۰.۱۱	۴۱۱	۱۲	۶۲	۶۹۳	۵۴۴۱	۲۰۳	سمنان
۱۱۸۵	۸۴۳.۸۸۲	۷۳۰	۱۵	۳۱	۴۱۹	۶۶۹۸	۱۹۱۶	سیستان و بلوچستان
۱۳۸۹	۷۱۹.۹۴۲	۸۶۰	۲۲	۱۶۲	۱۸۱۱	۱۴۲۹۷	۲۵۶۲	فارس
۳۰۳	۳۳۰۰.۳۳	۳۶۶	۷	۴۶	۴۲۰	۴۱۱۰	۲۲۸	قزوین
۲۷۱	۳۶۹۰.۰۴	۱۶۳	۵	۶۷	۳۰۰	۲۸۷۰	۴۲۰	قم
۴۲۷	۲۳۴۱.۹۲	۴۲۵	۴	۴۳	۳۳۷	۳۶۰۸	۴۶۰	کردستان
۱۰۸۵	۹۲۱.۶۵۹	۶۲۴	۲۰	۱۴۷	۱۹۸۰	۱۸۶۲۲	۱۳۳۴	کرمان
۴۰۹	۲۴۴۴.۹۹	۶۴۹	۱۰	۴۷	۴۶۴	۴۴۰۳	۵۹۰	کرمانشاه
۲۲۷	۴۴۰۵.۲۹	۲۶۹	۷	۱۹	۲۰۳	۵۷۹	۱۵۴	کهگیلویه و بویراحمد
۳۹۳	۲۵۴۴.۵۳	۳۰۶	۸	۲۳	۳۰۸	۲۳۷۸	۴۹۸	گلستان
۵۴۴	۱۸۳۸.۲۴	۵۴۶	۱۰	۶۱	۴۸۷	۳۳۳۸	۵۲۸	گیلان
۴۲۴	۲۳۵۸.۴۹	۴۴۰	۱۰	۷۱	۴۷۶	۱۹۴۴	۴۵۴	لرستان
۵۸۷	۱۷۰۳.۵۸	۵۱۰	۱۷	۹۵	۸۰۵	۵۸۱۷	۹۴۱	مازندران
۵۵۵	۱۸۰۱.۸	۴۹۸	۹	۵۳	۴۷۹	۷۹۳۷	۲۹۲	مرکزی
۴۵۳	۲۲۰۷.۵۱	۳۶۳	۱۰	۷۴	۷۷۷	۲۲۰۷۶	۶۳۱	هرمزگان
۳۶۴	۲۷۴۷.۲۵	۴۸۴	۷	۵۵	۶۵۵	۴۱۰۸	۴۴۱	همدان
۲۹۱	۳۴۳۶.۴۳	۳۵۷	۷	۵۸	۸۱۴	۱۹۱۱۶	۴۸۴	یزد

(منبع: سالنامه آماری سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای ایران)

جدول ۲. داده‌های ورودی و خروجی ایمنی جاده‌های ایران در سال ۱۴۰۰

داده‌های ایمنی جاده در سال ۱۴۰۰	میلیون نفر-کیلومتر	میلیون تن-کیلومتر	طول بزرگراه-کیلومتر	دوربین کنترل سرعت	تعداد پاسگاه‌های پلیس راه	ماشین آلات و تجهیزات	معکوس تعداد جان‌باختگان ضرب در ۱ میلیون	تعداد جان‌باختگان
آذربایجان شرقی	714	10126	567	55	12	679	1436.781609	696
آذربایجان غربی	710	5920	422	40	7	824	2028.397566	493
اردبیل	392	1458	197	27	5	313	4385.964912	228
اصفهان	1469	24702	2038	145	13	755	1008.064516	992
البرز	450	3648	92	29	4	171	3663.003663	273
ایلام	134	1004	150	12	5	309	9090.909091	110
بوشهر	1330	5426	672	45	5	253	3086.419753	324
تهران	4117	16945	467	100	10	388	824.4023083	1213
چهارمحال و بختیاری	313	2258	266	34	5	348	5291.005291	189
خراسان جنوبی	278	3140	748	60	7	487	4291.845494	233
خراسان رضوی	2228	21105	1136	119	16	958	1074.113856	931
خراسان شمالی	252	1406	202	24	4	356	4716.981132	212
خوزستان	923	27291	1137	25	10	509	1154.734411	866
زنجان	184	3286	114	32	8	392	4081.632653	245
سمنان	177	6036	691	55	8	404	4629.62963	216
سیستان و بلوچستان	1594	5278	299	26	13	706	995.0248756	1005
فارس	1612	15257	1799	140	16	870	804.5052293	1243
قزوین	198	4469	420	45	6	361	3355.704698	298
قم	247	3045	240	63	4	158	3448.275862	290
کردستان	416	3703	325	29	4	415	2785.51532	359
کرمان	1152	19472	1975	137	10	616	1031.991744	969
کرمانشاه	522	3962	447	31	9	662	2463.054187	406
کهگیلویه و بویراحمد	120	470	203	18	4	273	5494.505495	182
گلستان	463	2803	284	23	4	300	2967.35905	337
گیلان	458	3657	487	54	8	540	1890.359168	529
لرستان	364	2183	478	45	9	438	2341.920375	427
مازندران	641	6686	805	77	10	494	1766.784452	566
مرکزی	224	8487	479	33	8	494	1972.386588	507
هرمزگان	551	19745	703	60	5	378	2293.577982	436
همدان	403	4600	637	58	6	478	2967.35905	337
یزد	338	17857	805	53	6	352	3597.122302	278

(منبع: سالنامه آماری سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای ایران)

Measuring the Road Safety Performance of Iranian Provinces: An Application of Double Frontier DEA-Based Malmquist Indices

Ali Mohammadi, Professor, Department of Management, Shiraz University, Shiraz, Iran.

Vahideh Shahin, Ph.D., Student, Assistant Professor, Department of Management, Shiraz University, Shiraz, Iran.

E-mail: vshahin121@gmail.com

Received: November 2024- Accepted: February 2025

ABSTRACT

In recent years, unfortunately, the number of road accidents and the resulting fatalities have shown a growing trend in many countries, especially in non-developed countries. In Iran, during the recent decade from March 20th, 2012, to March 20th, 2022, a total of 110,110 fatalities caused by road accidents have been reported. Regardless of any kind of justification or comparison, it is a very alarming figure for this country. Considering the need to address this issue, our study aims to assess the relative efficiency and road safety productivity in each province during the past two years (2020–2022) and prioritize the provinces. To these ends, we applied the DEA-based Malmquist indices with a double frontier approach. Based on the results, the provinces of Qom, Lorestan, Kermanshah, Qazvin, and Ardabil were respectively the top five provinces in terms of road safety efficiency, while Alborz, Semnan, Golestan, West Azerbaijan, and North Khorasan had the lowest efficiency. Besides, aggregating the results of both pessimistic and optimistic approaches indicated that the provinces of Kurdistan, Chaharmahal and Bakhtiari, Qazvin, Ardabil and Bushehr had the highest increase in the Pure Technical Efficiency (PTE) in 2022 compared to 2021, and the provinces of Golestan, East Azerbaijan, Kohgiluyeh and Boyer Ahmad, Sistan and Baluchistan, and North Khorasan had the highest decrease. Such results can be used by relevant managers/policymakers for optimal resource allocation toward preventing deaths caused by road accidents.

Keywords: Road Safety, Iranian Provinces, Data Envelopment Analysis, Malmquist, Double Frontier