

## ارزیابی شاخص‌های عملکردی ترکیبی برای اعمال قانون کلاه و کمربندی ایمنی

ازدشیر برهوم، دانشجوی دکتری، برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران

حمیدرضا بهنود (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران

**E-mail: behnood@eng.ikiu.ac.ir**

روح‌الله طاهرخانی، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۸

دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۴

### چکیده

استفاده از شاخص‌های عملکردی ترکیبی به عنوان ابزاری کاربردی برای ارزیابی کلی تحلیل ایمنی راه در سال‌های اخیر گسترش یافته است. در میان بسیاری از مدل‌ها، مدل تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) ابزار ضروری برای ساختاربندی شاخص‌های ترکیبی است که از میان روش‌های تحلیل عملکرد مختلفی انتخاب شده است. اما در DEA فرض می‌شود که همه داده‌ها دارای مقادیر کمی یا خاصی هستند که به صورت شاخص‌های عملکردی تعریف شده و با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها بررسی می‌شوند. با این حال در برخی موارد مقادیر داده‌های ورودی و خروجی دارای مقادیر نامشخص یا مبهم هستند زیرا متغیرهای بسیاری برای مشخص کردن ایمنی جاده وجود دارد که به طور طبیعی مبهم و اغلب دارای مقادیر غیردقیق هستند و فقط با داده‌های کمی نشان داده می‌شوند. در این تحقیق، دو روش در چارچوب DEA را برای مدل‌سازی داده‌های کمی و کیفی به منظور ساختاربندی شاخص‌های کامپوزیت مورد بررسی قرار داده‌ایم. مدل DEA غیردقیق و مدل DEA فازی، طبق قاعده کلی این مدل‌ها، از مدل‌های جدید IDECI و FDECI برای ارزیابی مدیریت ایمنی راه در ۳۰ کشور در سرتاسر جهان استفاده شده است. سپس با مقایسه نتایج حاصل از دو مدل با استفاده از داده‌های اولیه، کارایی بودن و قابل اعتماد بودن این دو مدل تایید شد. در پایان، اهداف برای کشورهای ناکارآمد محاسبه و سپس الگوگذاری تعیین و استراتژی‌های ایمنی جاده برای آنها اولویت بندی شد.

کلمات کلیدی: شاخص‌های ترکیبی، داده‌های ترتیبی، داده‌های کیفی، الگوگذاری

## ۱. مقدمه

بر روی شاخص‌های عددی مربوط به عملکرد ایمنی راه خارج شده و داده‌ها به صورت غیردقیق یا فازی در نظر گرفته شود. در بسیاری از مواقع، دستیابی به داده‌های کمی بسیار دشوار است و در نتیجه داده می‌تواند غیردقیق یا فازی باشد. به عبارت دیگر، برخی از داده‌ها فقط در این حد مشخص هستند که بدانیم مقدار واقعی در حدود تعیین شده قرار دارد و برخی نیز در این حد هستند که بتوان بعضی از روابط نسبی را از طریق آنها دریافت. از جمله این موارد می‌توان به شاخص کیفیت اعمال قانون در ارتباط با عوامل ریسک تلفات جاده‌ای اشاره کرد که شرح آن در بالا ارائه شد. بنابراین مدل DEA-CI<sup>۲</sup> استاندارد را نمی‌توان به طور مستقیم مورد استفاده قرار داد، زیرا نمی‌توان با داده‌های ترتیبی (یا کیفی) به سادگی داده‌های عددی رفتار کرد.

برای آنکه بتوان با داده‌های غیردقیق مشابه با داده‌های دقیق کار کرد، چندین مدل برای پردازش داده‌های کیفی پیشنهاد شده است. در این تحقیق، دو روش در چارچوب DEA را برای مدل‌سازی داده‌های کمی و کیفی به منظور ساختار بندی شاخص‌های کامپوزیت مورد بررسی قرار داده‌ایم: مدل DEA غیر دقیق (IDEA)<sup>۳</sup> و مدل DEA فازی (FDEA)<sup>۴</sup> هستند.

## ۲. پیشینه تحقیق

استفاده گسترده از شاخص‌های کامپوزیت، به طور واضح اهمیت آنها در تصمیم‌گیری‌ها و سیاست‌گذاری‌ها را نشان می‌دهد. در دهه گذشته تعداد زیادی از شاخص‌های کامپوزیت در حوزه‌های تحلیل عملکرد ایمنی راه در کشورها ارائه شده‌اند (شن و همکاران، ۲۰۲۰، تسیک و همکاران، ۲۰۱۸، وگمن، ۲۰۱۷، چن و همکاران، ۲۰۱۶، بهنود و همکاران، ۲۰۱۴). در همین زمینه، تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) مورد استفاده قرار گرفت، که تکنولوژی برنامه‌نویسی ریاضی غیر پارامتریکی است که کارایی نسبی گروه یکسانی از مواردی را می‌سنجد که واحدهای تصمیم‌گیری (DMU) نام دارند (چارنز و همکاران، ۱۹۷۸). بنابراین DEA اخیراً در ساخت CI بسیار مورد استفاده قرار گرفته است.

بررسی ایمنی راه و تحلیل متغیرهای آن با توجه به ضرورت افزایش آگاهی درباره دلایل ایجاد تصادفات و پیامدهای نهایی ناشی از آن بسیار مهم است. شاخص‌های ترکیبی عملکرد ایمنی راه ابزار بسیار مفیدی در تحلیل ایمنی راه هستند. چگونگی ساخت مدل‌های پایه برای شاخص‌های کامپوزیت، در درک میزان کاربردی بودن و قابل اعتماد بودن این شاخص‌ها نقش مهمی دارد. در دهه گذشته تعداد زیادی از شاخص‌های کامپوزیت در حوزه‌های تحلیل عملکرد ایمنی راه در کشورها ارائه شده‌اند. در بین شاخص‌ها و داده‌های محاسبه شده توسط سازمان بهداشت جهانی در گزارش وضعیت<sup>۱</sup> (WHO, 2018) اطلاعات مربوط به بازدهی اعمال قانون در مورد عوامل ریسک مختلف در جراحات و تلفات جاده‌ای ارائه شده که به عنوان یک شاخص کیفی شناخته می‌شود.

تحقیقات مرتبط نشان می‌دهد که استفاده درست از کلاه ایمنی و استفاده از کمربند ایمنی به صورت استاندارد می‌تواند خطرات ناشی از تصادفات رانندگی را تا حد زیادی کاهش دهد. به طوری که استفاده از کلاه ایمنی خطر فوتی (۴۲٪) و خطر صدمات سر (۶۹٪) را کاهش می‌دهد. پوشیدن کمربند ایمنی نیز خطر جراحات منجر به مرگ در رانندگان و سرنشینان صندلی جلو (۵۰-۴۵٪) و خطر جراحات فوتی و جراحات جدی در بین سرنشینان صندلی عقب (۲۵٪) را کاهش می‌دهد. با توجه به اهمیت این دو عامل ریسک در قالب قیدهای ایمنی، هدف این تحقیق تحلیل شاخص‌های عملکردی مرتبط با درصد استفاده از آنها در مقابل شاخص کیفی بازدهی اعمال قانون مربوط به آنها است. این تحلیل برای ۳۰ کشور عضو سازمان بهداشت جهانی انجام شده و نشان خواهد داد خروجی کیفی امتیاز اعمال قانون در مقابل ورودی درصد استفاده به عنوان یک پیامد میانی چگونه و با چه درجه‌ای از کارایی عمل کرده است. لیکن، کیفی بودن شاخص خروجی ما را بر آن داشته است که از تحلیل‌های رایج

## ارزیابی شاخص‌های عملکردی ترکیبی برای اعمال قانون کلاه و کمربندی ایمنی

کاربردی‌تر از مدل‌های DEA است زیرا تصمیم‌گیرنده می‌تواند درجه‌های مختلف خطا در محاسبه‌های کارایی فنی را محاسبه کند. علاوه بر آن نظرهای متخصصین را هم می‌توان روی ورودی‌ها اعمال کرد. امروزنژاد و همکاران (۲۰۱۴) کاربردهای گوناگونی از DEA فازی را مورد بررسی قرار داده‌اند. زو (۲۰۱۶) گروهی از مدل‌سازی فازی نوع ۲ را در یک مدل DEA چند هدفی در نظر گرفت تا کارایی، و سودمندی آن را بسنجد. بهنود (۲۰۱۷) سیستمی توسعه داد که به سیاست‌گذاران در زمینه ایمنی جاده کمک کند تا بهترین انتخاب‌ها را درخصوص طراحی ایمنی راه انجام دهند و از کارایی معیارهای ایمنی قبلی پشتیبانی کند. اخیراً تحول ایجاد شده توسط کاربرد مفهوم داده‌های غیردقیق و فازی، به تحلیل شاخص‌های عملکردی ایمنی راه کمک کرده است. شن و همکاران (۲۰۱۱) دو رویکرد DEA غیردقیق و DEA فازی را برای مدل‌سازی داده‌های کمی و کیفی در رابطه با شاخص‌های ترکیبی عملکرد ایمنی راه در ۲۵ کشور اروپایی مورد استفاده قرار دادند.

در این مطالعه تحلیل شاخص‌های عملکردی ایمنی راه را در ۳۰ کشور با استفاده از تحلیل DEA یک بار برای داده‌های غیردقیق و بار دیگر برای داده‌های فازی انجام دادند. این مطالعه نشان داد چگونگی و به چه میزان تأثیر کیفی امتیاز اعمال قانون در مقابل میزان بستن کمربند ایمنی و کلاه ایمنی موثر بوده است.

### ۳. روش شناسی

در این تحقیق، دو شاخص اصلی برای ۳۰ کشور در نظر گرفته شد، کلاه و کمربند ایمنی. این موارد شامل مقادیر کمی دقیق است (نرخ استفاده از کلاه ایمنی توسط راننده و سرنشین و نرخ استفاده از کمربند برای صندلی‌های جلو و عقب) و مقادیر غیردقیق در خصوص میزان کارایی اجرای سیاست‌ها مورد نظر است. متغیرهای خروجی موجود کیفی و ترتیبی هستند و بین [۱،۱۰] قرار دارند که مقدار ۱ نشان‌دهنده بدترین حالت و مقدار

مزایای استفاده از DEA در مقایسه با مدل‌های دیگر برای توسعه CI این است که می‌تواند بدون در نظر گرفتن اطلاعات موجود در مورد وزن آنها گروهی از شاخص‌های جدید را پیشنهاد دهد و همچنین شاخص‌های استفاده شده در این مدل معمولاً با واحدهای اندازه‌گیری متفاوتی بیان می‌شوند و با عبارت‌های مختلف تعریف می‌شوند و در این مدل نیازی به یکدست کردن داده‌های اولیه نیست، هر DMU بهترین وزن ممکن را انتخاب می‌کند و علاوه بر آن DEA عملکرد نسبی DMU را با در نظر گرفتن عملکرد همه DMUهای دیگر ارزیابی می‌کند (چرچی و همکاران، ۲۰۰۷). در این مقاله، از دو روش برای بررسی داده‌های کیفی در چارچوب DEA استفاده شده است. اولین روش این است که با تعیین محدوده، داده‌ها را فقط به صورت روابط نسبی برای هر DMU تعریف کنیم که روش DEA غیردقیق (IDEA) نام دارد. کوک (۱۹۹۳، ۱۹۹۶) اولین کسی بود که از این روش برای اولویت‌بندی گروهی از تحقیقات و پروژه‌ها استفاده کرد و توضیح داد که چگونه می‌توان از مدل DEA برای داده‌های ترتیبی استفاده کرد. بدین ترتیب انواع مختلف داده‌های غیردقیق را در DEA پردازش کرد. کوپر (۱۹۹۲، ۲۰۰۲) در سال ۱۹۹۹ گروهی از مفاهیم و روش‌ها را به نام IDEA ارائه کرد. از سوی دیگر دیسپوتیس (۲۰۰۲) داده‌های وابسته یا اعداد صحیح را در DEA بررسی کرد و روشی را توضیح داد که بتوان به داده‌های بالاتر و پایین‌تر از کارایی تعیین‌شده هم دست یافت تا بتوان عملکرد کارایی را بهتر دسته‌بندی کرد. او عملکرد کارایی را در سه گروه تقسیم‌بندی کرد به جای آنکه آن را در دو گروه جای دهد. کائو (۲۰۰۶) مدل گسترده‌تری را برای پردازش داده‌های ترتیبی و اعداد صحیح پیشنهاد داد و محدوده‌ای را برای مقادیر بالاتر و پایین‌تر از مقدار کارایی تعیین‌شده در نظر گرفت. همان‌زو (۲۰۰۳) مدل خود بر اساس مدل‌های ترتیبی ساخت. روش دیگر این است که از نظریه مجموعه فازی به عنوان ابزاری برای تحلیل و ارزیابی داده‌های غیردقیق استفاده کنیم که مدل DEA فازی (FDEA) نامیده می‌شود. مدل FDEA بسیار

است. کارایی نسبی هر DMU نسبت مجموع وزن خروجی‌ها به مجموع وزن ورودی‌ها است که مقدار آن بین صفر و یک است. از دید ریاضی، مقدار کارایی E برای DMU. بر اساس مدل CCR از رابطه زیر به دست می‌آید (چارنز و همکاران، ۱۹۷۸):

$$E_0 = \max \frac{u \cdot y_0}{\sum_{i=1}^s v_i x_{i0}} \quad (1)$$

$$s. t. \frac{u \cdot y_j}{\sum_{i=1}^s v_i x_{ij}} \leq 1. \quad j = 1. \dots n$$

$$u_r \cdot v_i \geq \varepsilon. \quad r = 1 \dots s. \quad i = 1. \dots m$$

۱۰ نشان‌دهنده بهترین حالت است. مقادیر هر یک از شاخص‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

### ۳-۱ مدل DEA پایه و DEA-based CIs

در این مطالعه ۳۰ DMU شامل ۳۰ کشور دارای اطلاعات مربوط به میزان بستن کمربند ایمنی و استفاده از کلاه ایمنی و همچنین امتیاز کارایی آنها مورد بررسی قرار گرفته است. دو شاخص درصد بستن کمربند ایمنی و استفاده از کلاه ایمنی به عنوان ورودی‌های مدل DEA و امتیاز کارایی اعمال قانون آنها در هر کشور به عنوان خروجی این تحلیل در نظر گرفته شده

جدول ۱. مقادیر شاخص‌های ورودی و خروجی هر کشور (WHO, 2018)

کشور	واحد	درصد استفاده از کمربند ایمنی		قوانین کمربند ایمنی		قوانین کلاه ایمنی	
		درصد استفاده از کمربند %		امتیاز اعمال قانون	درصد استفاده از کلاه %		امتیاز اعمال قانون
		سرنشینان	سرنشینان		رانندگان	سرنشینان	
آلبانی	۱	۸۵	۸۰	۶۰	۷۵	۶	
آنگولا	۲	۴۰	۱۰	۱۵	۴۰	۷	
آرژانتین	۳	۴۰٫۸	۲۳	۴۴٫۲	۶۵٫۴	۴	
بلژیک	۴	۹۲٫۲	۸۵٫۵	۱۰۰	۹۹	۹	
بولیوی	۵	۳٫۵	۰٫۵	۳	۵۱٫۹	۳	
برزیل	۶	۷۹٫۴	۵۰٫۲	۸۰٫۱	۸۳٫۴	۷	
کانادا	۷	۹۵٫۲	۸۹٫۲	۹۸	۹۸	۱۰	
شیلی	۸	۵۹	۱۴	۹۸	۹۹	۹	
کلمبیا	۹	۶۴٫۲	۲٫۲	۷۹٫۸	۹۶	۴	
کاستاریکا	۱۰	۷۵٫۱	۳۵٫۶	۹۱٫۸	۹۸٫۳	۵	
کرواسی	۱۱	۶۱٫۹	۱۳٫۹	۹۵	۹۵	۹	
جمهوری دومینیکن	۱۲	۱۸	۵	۲	۲۷	۵	
اکوادور	۱۳	۲۶	۲	۳۲	۹۰	۸	
فیجی	۱۴	۷۵	۵	۸۰	۸۰	۸	
فنلاند	۱۵	۹۵	۸۵	۹۸٫۳	۹۸٫۳	۹	
فرانسه	۱۶	۹۸	۸۸	۹۸	۹۸	۹	
غنا	۱۷	۱۸٫۴	۳٫۵	۱۶٫۹	۴۱٫۸	۵	
یونان	۱۸	۷۴	۲۳	۴۶	۷۵	۴	

ارزیابی شاخص‌های عملکردی ترکیبی برای اعمال قانون کلاه و کمربندی ایمنی

ایران	۱۹	۹۳	۱۵	۸	۲۰	۵۹	۵
جامائیکا	۲۰	۵۴	۴	۳	۲	۶	۲
مالزی	۲۱	۷۳,۸	۹,۶	۴	۸۷	۹۱,۲	۸
مراکش	۲۲	۶۳,۲	۲۲,۳	۸	۳۰,۵	۶۴,۴	۷
هلند	۲۳	۹۶,۶	۸۲	۶	۸۴	۹۹,۹	۵
لهستان	۲۴	۹۶	۷۶	۸	۱۰۰	۹۹	۷
پرتغال	۲۵	۹۵,۷	۷۷,۲	۸	۹۷,۳	۹۷,۶	۹
جمهوری کره	۲۶	۸۳	۳۰	۸	۴۰	۸۶	۶
صربستان	۲۷	۷۵,۱	۱۰,۱	۶	۸۰,۴	۸۵,۷	۸
اسپانیا	۲۸	۹۰,۵	۸۰,۶	۸	۹۳,۳	۹۹	۸
سورینام	۲۹	۷۵	۸	۷	۹۲	۹۵	۷
اروگوئه	۳۰	۶۲,۸	۳۳	۶	۷۱,۲	۸۰,۲	۷

برخی از شاخص‌ها در نقش حالت‌های ترتیبی بهتر ظاهر می‌شوند، DEA-CI های استاندارد را نمی‌توان به طور مستقیم استفاده کرد زیرا نمی‌توان با داده ترتیبی مثل داده عددی رفتار کرد. متعاقباً این مورد نیز توسط سیستم خطی داده‌های ورودی و خروجی توصیف می‌شود و داده غیردقیق به شکل نامعادله‌های محض در می‌آید. در این مطالعه، خروجی مدل که شامل امتیاز کارایی اعمال قانون است، به صورت کمیت غیردقیق در مدل وارد می‌شود. اگر فرض کنیم به تعداد  $n$  DMU با ورودی  $x_i$  و خروجی  $y_r$  داشته باشیم، مقدار شاخص ترکیبی برای DMU.

به شرح زیر محاسبه می‌شود (کوپر و همکاران، ۲۰۰۲):

$$CI_0 = \max \sum_{r=1}^s \mu_r y_{r0}$$

$$s. t. \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m \omega_i x_{ij} \leq 0. \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^m \omega_i x_{i.} = 0 \quad (3)$$

$$y_r = (y_{rj}) \in D_r^+ \quad r = 1, \dots, s$$

$$x_i = (x_{ij}) \in D_i^- \quad i = 1, \dots, m$$

$$\mu = (\mu_r) \in A^+$$

$$\omega = (\omega_i) \in A^-$$

$$\mu, \omega \geq 0.$$

مقادیر  $y_r$  و  $x_{ij}$  به ترتیب خروجی و ورودی  $i$  ام در DMU  $j$  ام هستند. متغیر  $u$  وزن داده شده به خروجی و  $v_i$  وزن داده شده به ورودی  $i$  th است. پارامتر  $\epsilon$  نیز عددی کوچک برای آن است تا مدل به عوامل نامطلوب وزن صفر ندهد (چارنز و همکاران، ۱۹۸۴). مقدار کسری برای هر DMU به طور جداگانه محاسبه می‌شود تا بهترین وزن ورودی و خروجی تعیین شود.

برای ساده کردن محاسبه و جلوگیری از وقوع مسائل بی‌شمار، مقدار کسری رابطه (۱) تبدیل به برنامه خطی می‌شود (چارنز و همکاران، ۱۹۷۸):

$$E_0 = \max \sum_{r=1}^s u_r y_{r0}$$

$$s. t. \sum_{i=1}^m v_i x_{i.} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 1. \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq \epsilon. \quad r = 1, \dots, s. \quad i = 1, 2$$

### ۲-۳ مدل Imprecise DEA for CIs

در مدل DEA پایه فرض شده است که ارزیابی عملکرد وجود مقادیر کمی قطعی وابسته است. اما در برخی موارد که

متغیرهای جدید داخل معادله قرار داده می‌شوند که به این شکل است:

$$Y_{rj} = \hat{y}_{rj}\mu_r, X_{ij} = \hat{x}_{ij}\omega_i \quad \forall r.i.j \quad (6)$$

با این تغییر معادلات غیرخطی با معادلات خطی جایگزین می‌شوند و به شکل متغیرهای جدید بیان می‌شوند. حد اقل یک مقدار کارایی حاصل در هر ستون برابر با یک است. این مساله نشان‌دهنده آن است که وضعیت‌های مثبت را هم می‌توان با همان قواعد قبلی در متغیرهای جدید نشان داد.

فرض کند بردار خروجی‌ها  $y_r = (y_{r1}, \dots, y_{rm})^T$  را ایجاد کرده است و بردار ورودی‌ها  $x_i = (x_{i1}, \dots, x_{in})^T$  را توسط DMUها ایجاد کرده است. با وجود آنکه با داده غیر دقیق خطی دلخواه سر و کار داریم، این نامعادله‌ها را به شکل ماتریکس تعریف می‌کند به صورتی که برای هر ورودی و خروجی  $A_r y_r$  به  $-\varepsilon \leq B_i x_i \leq \varepsilon$  است. تعداد ستون‌های ماتریس  $A_r$ ،  $B_i$  به ترتیب مطابق با تعداد متغیرهای  $y_r$ ،  $x_i$  است. بردار  $\varepsilon$  در اندازه‌های مناسب  $(\varepsilon, \dots, \varepsilon)^T$  است. روش انتقال زیر را در نظر بگیرید:

$$\begin{aligned} Y_r &= (Y_{r1}, \dots, Y_{rn})^T = \mu_r y_r & \forall r \\ X_i &= (X_{i1}, \dots, X_{in})^T = \omega_i x_i & \forall i \end{aligned} \quad (7)$$

با منتقل کردن داده غیردقیق در DEA، مدل IDEA خطی زیر را خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} CI_0 &= \max \sum_{r=1}^s Y_{r0} \\ s.t. & \sum_{r=1}^s Y_r - \sum_{i=1}^m X_i \leq 0 \\ & \sum_{i=1}^m X_{i0} = 1 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \mu_r \cdot \omega_i &\geq \varepsilon, \quad \forall r.i \\ A_r Y_r &\leq -\mu_r \varepsilon \quad \forall r.i \\ B_i X_i &\leq -\omega_i \varepsilon \quad \forall r.i \end{aligned}$$

با این متغیرها همه محدوده‌ها غیرمنفی می‌شوند و  $\varepsilon > 0$  است.

### ۳-۳ مدل Fuzzy DEA for CIs

مدل IDEA به حضور تعدادی داده یا همه داده‌هایی بستگی دارد که غیردقیق بوده یا با قطعیت قابل سنجش نیستند مثل  $\underline{y}_{rj} \geq y_{rj} \geq \bar{y}_{rj}$  و  $\underline{x}_{ij} \geq x_{ij} \geq \bar{x}_{ij}$  در نتیجه مقادیر حقیقی آن داده‌ها را فقط می‌توان با مقادیر بالاتر و پایین‌تر تعیین کرد که به شکل  $(\underline{y}_{rj}, \bar{y}_{rj})$  و  $(\underline{x}_{ij}, \bar{x}_{ij})$  نشان داده می‌شود. مقادیر حاصل، بالاتر و پایین‌تر از مقدار تعیین‌شده هستند که  $D_r^+, D_r^-$  را برای بردارهای  $y_r, x_i$  به ترتیب با مولفه‌های  $y_{rj}, x_{ij}$  تنظیم می‌کند. همچنین، فرض می‌کنیم که داده‌ها نیمه-مثبت هستند، یعنی  $y_r, x_i \geq 0$  و  $y_r, x_i \neq 0$ . آخرین محدودیت‌ها در معادله‌ها برای تایید اختلاف میان وضعیت‌هایی است که چندین مقدار در  $\mu, \omega$  وجود دارد و موقعیت‌هایی که روی  $y_r, x_i$  هستند با افزودن گروه‌های  $A^+, A^-$  ایجاد می‌شوند تا موقعیت‌هایی مثل موارد زیر را طراحی کنند:

$$\beta_r^- \leq \frac{\mu_r}{\mu_{r+1}} \leq \beta_r^+, \quad \alpha_i^- \leq \frac{\omega_i}{\omega_{i+1}} \leq \alpha_i^+ \quad (9)$$

مقادیر بالاتر و پایین‌تر ثابت با  $\alpha_i^+, \beta_r^+$  و  $\alpha_i^-, \beta_r^-$  برای مقادیر پذیرفته‌شده در آن متغیرها نشان داده می‌شوند و در نتیجه گروه‌های  $A^+, A^-$  از گروه‌های  $D_r^+, D_r^-$  که به داده اشاره می‌کنند متمایز می‌شوند. البته این مساله غیرخطی است، که حتی دشوارتر است زیرا باید مقادیری برای داده تعیین کند که فقط برای مشخص کردن روابطی مثل  $x_{ij} \geq y_{rk}$  و  $y_{rj} \geq x_{ik}$  (برای برخی  $r.i \neq k$ ) استفاده می‌شود. با جایگزین کردن نتایج متغیرهای  $\mu_r y_{rj}, \omega_i x_{ij}$  با متغیرهای جدید  $y_{rj}, x_{ij}$ ، معادله قبلی تبدیل به معادله خطی می‌شود و بنابراین به سادگی قابل حل شدن است و این روش IDEA است که باید فرم اصلی در آن نگه‌داشته شود.

در روش IDEA برای فرمول‌بندی خطی ابتدا باید مقیاس‌ها را برای داده‌ها و متغیرها تعیین کرد:

$$\begin{aligned} \varphi(y_{rj}) &= y_{rj} / \max_j \{y_{rj}\} = \hat{y}_{rj} \\ \varphi(x_{ij}) &= x_{ij} / \max_j \{x_{ij}\} = \hat{x}_{ij} \end{aligned} \quad (10)$$

با اعمال این تغییر، بزرگترین مولفه برای هر متغیر شناسایی می‌شود، و قوانین موجود میان متغیرها را نقض نمی‌کند. سپس

$$CI_0 = \max \lambda_1 \sum_{r=1}^s u_r (y_{r0} - (1 - h)a_{r0}) + \lambda_2 \sum_{r=1}^s u_r (y_{r0} + (1 - h)a_{r0}) \quad (10)$$

$$s. t. \sum_{r=1}^s u_r (y_{rj} + (1 - h)a_{r0}) \leq 1. j = 1. \dots. n$$

$$u_r \geq \varepsilon. r = 1. \dots. s$$

توجه داشته باشید که برای اعداد فازی مثلثی  $0 \leq h \leq 1$  است، در نتیجه درجه شاخص فازی DMU را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$\left\{ \sum_{r=1}^s u_r^* (y_{r0} - (1 - h)a_{r0}), \sum_{r=1}^s u_r^* y_{r0}, \sum_{r=1}^s u_r^* (y_{r0} + (1 - h)a_{r0}) \right\}$$

که به ترتیب نشان دهنده وضعیت بدبینانه، خنثی و خوش‌بینانه است.

### ۳-۴ الگوگذاری

پس از اجرای مدل در رابطه (۱۰)، می‌توانیم نسبت ناکارایی برای هر کشور را بدست آوریم، زیرا وزن‌های کشور تحت مطالعه می‌تواند منابع و اندازه ناکارایی را در هر شاخص تعیین کند. علاوه بر این، کشورها از نظر میزان ایمنی در آنها با توجه به نمره ناکارایی به صورت صعودی به کشورهای کارآمد (دارای نمره ناکارایی برابر صفر) و کشورهای ناکارآمد (دارای درجه ناکارایی بزرگتر از صفر) طبقه بندی می‌شوند. کشورهای دارای کارایی به عنوان کشورهای الگو در نظر گرفته می‌شوند. بر اساس مقادیر شاخص کشور الگو و یک عامل تعدیل خاص آن کشور، می‌توان کشورهای ناکارآمد را با کشورهای کارآمد مقایسه نمود. این مقایسه به تعیین الگوها و تعریف اهداف بهینه می‌انجامد به طوری که الزامات ایمنی و کشورهایی که نیاز به تلاش بیشتری در اعمال قانون کلاه ایمنی و کمربند ایمنی دارند، در اولویت قرار داده می‌شوند. بدین ترتیب، این تلاش بیشتر به طور کارآمدتری می‌تواند به نرخ تلفات جاده‌ای کمتر بیانجامد و در عین حال

با در نظر گرفتن امتیاز کارایی اعمال قانون به عنوان داده شاخص کیفی و مقادیر عددی فازی، مدل CI در DEA فازی قادر خواهد بود مساله داده‌های غیردقیق و فازی را با استفاده از مجموعه‌های فازی حل کند. مدل پایه‌ای که در رابطه (۳) نشان داده شد را می‌توان به مدل FDEA زیر گسترش داد (شن و همکاران، ۲۰۱۱):

$$CI_0 = \max \sum_{r=1}^s u_r \tilde{y}_{r0}$$

$$s. t. \sum_{r=1}^s u_r \tilde{y}_{rj} \lesssim 1. j = 1. \dots. n$$

$$u_r \geq \varepsilon. r = 1. \dots. s$$

که در آن  $\tilde{y}_{rj}$  مقدار شاخص فازی  $r$ th برای DMU  $j$  می‌باشد.

نتایج حاصل از مدل CI مبتنی بر DEA فازی (FDEA-CI) تبدیل به مساله برنامه نویسی خطی فازی با ضرایب فازی عملکرد هدف می‌شود و در نتیجه تعدادی از عملکردهای فازی از جمله «به حداکثر رساندن متغیر فازی» و «نامعادله فازی» مورد نیاز است. در اینجا با اعداد فازی LR سر و کار داریم که به شکل زیر تعریف می‌شوند (لئون و همکاران، ۲۰۰۳):

در حالت دو عدد فازی  $\tilde{M}$  و  $\tilde{N}$  یک عدد واقعی که  $h \in [0.1]$  داشتند، حالت  $\tilde{M} > h \tilde{N}$  فقط اگر و تنها اگر  $h \in [h, 1]$ . اگر شاخص‌های  $\tilde{y}_{rj}$  اعداد فازی مثلثی متقارن در نظر گرفته شوند که معمولاً برای نشان دادن عدم قطعیت داده برای ساده سازی استفاده می‌شوند، سپس زوج‌هایی خواهند داشت که مرکز و محدوده را در بردارد، سپس زوج‌هایی خواهند داشت که مراکز و گسترش‌های متناظر را در بردارد  $\tilde{y}_{rj} = (y_{rj}, a_{rj}), r = 1. \dots. s. j = 1. \dots. n$ ، بنابراین مدل (۹) را می‌توان به شرح زیر ساده کرد:

واحد ناکارآمد  $A$  و  $\varphi b$  قیمت سایه برای الگوی  $b$  است. عبارت  $II_A$  شاخص ناکارآیی واحد ناکارآمد  $A$  و  $x_{i.b}$  مقدار موجود داده ورودی  $i$  در الگوی  $b$  است.

معادله قبلی روشن می‌کند که مقادیر ورودی و خروجی هدف کشورهای ناکارآمد مقادیر الگوهای این کشور را در نظر می‌گیرد و یک عامل تعدیل نشان دهنده تغییر در مقدار هدف از نظر درصد است.

پس از استفاده از معادله ۱۲ برای همه کشورهای، مقدار ناکارآیی برای آنها به صفر کاهش می‌یابد. سپس تعریف تغییرات مورد نیاز در مقادیر ورودی امکان پذیر است. علاوه بر آن که این معادله را می‌توان برای داده‌های ورودی اعمال کرد، می‌توان آن را برای پیامدهای میانی (امتیازهای اعمال قانون) و پیامدهای نهایی (نرخ تلفات) نیز به کار برد، به این معنی که می‌توان درجه ایده‌آل امتیاز اعمال قانون را برای هر کشور تعیین کرد تا کاهش نرخ تلفات با حداکثر کارآیی به دست آید.

#### ۴. یافته‌ها

طبق داده ترتیبی ارائه شده در جدول ۱، مدل  $CI$  براساس  $IDEA$  را می‌توان مستقیم استفاده کرد تا به مقادیر شاخص کامپوزیت دست یافت، و  $\varepsilon = 0.0001$  انتخاب می‌شود. در عین حال برای  $CI$ های برپایه  $FDEA$  از اعداد فازی مثلثی متقارن برای هر شاخص در این تحقیق استفاده شده است که در جدول ۲ آمده است. با استفاده از برنامه  $LINGO$  اکنون می‌توان مقادیر شاخص‌های کامپوزیت را برای هر دو مدل محاسبه کرد و نتایج در جدول ۳ و ۴ آورده شده است.

عوامل ریسک را کاهش دهد (افزایش استفاده از کلاه ایمنی و کمربند ایمنی). بر این اساس، کشورها می‌توانند به نرخ کارایی بیشتری رهنمون گردند.

برای این منظور، از مفهوم الگوگذاری به عنوان یک رویکرد کاربردی در ادبیات تحلیل ارزیابی عملکرد استفاده می‌شود. این مفهوم از طریق استفاده از تئوری دوگان الگوها را برای هر کشور ناکارآمد مشخص می‌کند (هیلیر و همکاران، ۲۰۰۱). برای انجام این کار، معادلات مفهوم قیمت دوگان یا قیمت سایه اعمال می‌شود، که حداکثر قیمتی است که یک کشور مایل به پرداخت یک واحد اضافی از یک منبع محدود معین است (سیگل و دیگران، ۲۰۱۰). با استفاده از مدل زیر می‌توان قیمت دوگان را برای هر الگو در کشورهای ناکارآمد بدست آورد.

$$\begin{aligned} & \text{Max } \omega \\ & \text{s. t. } \sum_{j=1}^n y_{rj} \varphi_j \leq y_r \quad r = 1, \dots, s \\ & x_i \omega - \sum_{j=1}^n x_{ij} \varphi_j \leq 0 \quad j = 1, \dots, n \\ & \omega, \varphi_j \geq 0 \end{aligned} \quad (11)$$

در اینجا  $\omega$  مقدار هدف است که باید در مدل دوگان به حداکثر برسد. متغیر تصمیم  $\varphi_j$ ، نشان دهنده قیمت دوگان برای  $DMU_j$  مورد مطالعه است. از آنجا که داده‌های پیامد میانی غیردقیق بودند، از اعداد فازی مثلثی استفاده شد. بنابراین مقادیر،  $\varphi_j \neq 0$ ، قیمت‌های دوگان قابل اجرا برای واحدهای الگو را نشان می‌دهد.

سرانجام، با استفاده از رابطه تعیین اهداف (هرمس و همکاران، ۲۰۰۹)، اقدامات هدف با مقادیر متناظر برای شاخص‌های عملکرد ایمنی راه در کشورهای ناکارآمد را می‌توان به شرح زیر محاسبه کرد:

$$\text{Target}_{i.A} = \sum_{b=1}^B \left( \frac{\varphi_b}{II_A} \times x_{i.b} \right) \quad (12)$$

در این رابطه  $\text{Target}_{i.A}$  مقدار هدف را برای خروجی اقدام  $i$  در واحد ناکارآمد  $A$  نتیجه می‌دهد. همچنین  $B$  تعداد الگوهای



جدول ۲. عدد فازی مثلثی مورد استفاده در CI های مبتنی بر FDEA

داده‌های ترتیبی ( $\tilde{Y}_{rj}$ )	اعداد فازی مثلثی متقارن ( $Y_{rj} \cdot \alpha_{rj}$ )	داده‌های ترتیبی ( $\tilde{Y}_{rj}$ )	اعداد فازی مثلثی متقارن ( $Y_{rj} \cdot \alpha_{rj}$ )
۱	(۱/۱۰، ۱/۱۰)	۶	(۶/۱۰، ۱/۱۰)
۲	(۲/۱۰، ۱/۱۰)	۷	(۷/۱۰، ۱/۱۰)
۳	(۳/۱۰، ۱/۱۰)	۸	(۸/۱۰، ۱/۱۰)
۴	(۴/۱۰، ۱/۱۰)	۹	(۹/۱۰، ۱/۱۰)
۵	(۵/۱۰، ۱/۱۰)	۱۰	(۱۰/۱۰، ۱/۱۰)

جدول ۳. نتایج مدل CI های مبتنی بر IDEA

رتبه	IDEA-CI	کشور	رتبه	IDEA-CI	کشور
۱۶	۰,۹۹۷	فنلاند	۱	۱	آرژانتین
۱۷	۰,۹۸۹	پرتغال	۱	۱	بلژیک
۱۸	۰,۹۸۴	کرواسی	۱	۱	بولیوی
۱۹	۰,۹۸۳	مالزی	۱	۱	کانادا
۲۰	۰,۹۷۶	آلبانی	۱	۱	شیلی
۲۱	۰,۹۶۲	ایران	۱	۱	کلمبیا
۲۲	۰,۹۱۴	برزیل	۱	۱	کاستاریکا
۲۳	۰,۹۰۴	صربستان	۱	۱	فرانسه
۲۴	۰,۹۰۱	اکوادور	۱	۱	غنا
۲۵	۰,۹	فیجی	۱	۱	یونان
۲۶	۰,۸۶۱	جمهوری کره	۱	۱	جامائیکا
۲۷	۰,۸۱	اروگوئه	۱	۱	هلند
۲۸	۰,۶۵۴	مراکش	۱	۱	لهستان
۲۹	۰,۴۱۴	آنگولا	۱	۱	اسپانیا
۳۰	۰,۲۷	جمهوری دومینیکن	۱	۱	سورینام

جدول ۴. نتایج مدل CI های مبتنی بر FDEA

FDEA-CI			رتبه	کشورها
h=1	h=0.5			
۱,۰۰۰ ۱,۰۰۰ ۱,۰۰۰	۱,۰۰۰ ۱,۰۰۰ ۰,۹۹۹	۱,۰۰۰ ۱,۰۰۰ ۰,۹۹۹	۱	بلژیک
۱,۰۰۰ ۱,۰۰۰ ۱,۰۰۰	۱,۰۰۰ ۱,۰۰۰ ۰,۹۹۹	۱,۰۰۰ ۱,۰۰۰ ۰,۹۹۹	۲	کانادا
۱,۰۰۰ ۱,۰۰۰ ۱,۰۰۰	۱,۰۰۰ ۰,۹۹۹ ۰,۹۹۷	۱,۰۰۰ ۰,۹۹۹ ۰,۹۹۷	۳	فنلاند
۱,۰۰۰ ۱,۰۰۰ ۱,۰۰۰	۱,۰۰۰ ۱,۰۰۰ ۰,۹۹۹	۱,۰۰۰ ۱,۰۰۰ ۰,۹۹۹	۴	فرانسه
۱,۰۰۰ ۱,۰۰۰ ۱,۰۰۰	۱,۰۰۰ ۱,۰۰۰ ۰,۹۹۹	۱,۰۰۰ ۱,۰۰۰ ۰,۹۹۹	۵	هلند
۱,۰۰۰ ۱,۰۰۰ ۱,۰۰۰	۱,۰۰۰ ۱,۰۰۰ ۰,۹۹۹	۱,۰۰۰ ۱,۰۰۰ ۰,۹۹۹	۶	لهستان

FDEA-CI			رتبه			کشورها				
h=1			h=0.5			h=0				
۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۰,۹۹۹	۰,۹۹۷	۱,۰۰۰	۰,۹۹۸	۰,۹۹۶	۷	اسپانیا
۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۶۲	۰,۹۰۷	۰,۹۹۹	۰,۹۶۵	۰,۹۰۱	۸	آلبانی
۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۹۸	۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۹	شیلی
۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۵۰	۰,۸۸۲	۰,۹۹۹	۰,۸۹۹	۰,۷۷۷	۱۰	جمهوری دومینیکن
۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۶۵	۰,۹۰۸	۰,۹۹۹	۰,۹۶۰	۰,۹۰۵	۱۱	اکوادور
۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۷۷	۰,۹۴۹	۰,۹۹۹	۰,۹۷۷	۰,۹۴۹	۱۲	ایران
۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۵۰	۰,۸۸۲	۰,۹۹۹	۰,۹۰۱	۰,۷۷۷	۱۳	مراکش
۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۹۶	۰,۹۹۰	۰,۹۹۹	۰,۹۹۵	۰,۹۸۹	۱۴	پرتغال
۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۵۵	۰,۸۸۲	۰,۹۹۹	۰,۹۴۴	۰,۸۶۵	۱۵	کشور کره
۰,۹۸۹	۰,۹۸۹	۰,۹۸۹	۰,۹۸۹	۰,۹۸۹	۰,۹۸۹	۰,۹۸۹	۰,۹۸۹	۰,۹۸۸	۱۶	کاستاریکا
۰,۹۶۳	۰,۹۶۳	۰,۹۶۳	۰,۹۶۳	۰,۹۶۱	۰,۹۵۹	۰,۹۶۳	۰,۹۶۱	۰,۹۵۹	۱۷	کرواسی
۰,۹۶۱	۰,۹۶۱	۰,۹۶۱	۰,۹۶۱	۰,۹۶۱	۰,۹۶۱	۰,۹۶۱	۰,۹۶۱	۰,۹۶۱	۱۸	کلمبیا
۰,۹۵۸	۰,۹۵۸	۰,۹۵۸	۰,۹۵۸	۰,۹۵۸	۰,۹۵۷	۰,۹۵۸	۰,۹۵۸	۰,۹۵۷	۱۹	سورینام
۰,۹۲۰	۰,۹۲۰	۰,۹۲۰	۰,۹۲۱	۰,۹۲۰	۰,۹۱۸	۰,۹۲۱	۰,۹۲۰	۰,۹۱۸	۲۰	مالزی
۰,۸۸۴	۰,۸۸۴	۰,۸۸۴	۰,۸۹۱	۰,۸۶۵	۰,۸۱۰	۰,۸۹۶	۰,۸۶۰	۰,۸۰۷	۲۱	فیجی
۰,۸۷۵	۰,۸۷۵	۰,۸۷۵	۰,۸۸۲	۰,۸۶۵	۰,۸۴۱	۰,۸۸۹	۰,۸۶۴	۰,۸۴۰	۲۲	برزیل
۰,۸۶۸	۰,۸۶۸	۰,۸۶۸	۰,۸۶۹	۰,۸۶۸	۰,۸۶۴	۰,۸۷۱	۰,۸۶۸	۰,۸۶۲	۲۳	صربستان
۰,۸۱۰	۰,۸۱۰	۰,۸۱۰	۰,۸۱۱	۰,۸۰۹	۰,۸۰۷	۰,۸۱۳	۰,۸۰۹	۰,۸۰۵	۲۴	اروگوئه
۰,۷۶۹	۰,۷۶۹	۰,۷۶۹	۰,۷۸۱	۰,۷۳۷	۰,۶۷۳	۰,۷۹۳	۰,۷۱۲	۰,۵۸۶	۲۵	آنگولا
۰,۷۵۹	۰,۷۵۹	۰,۷۵۹	۰,۷۵۹	۰,۷۵۹	۰,۷۵۹	۰,۷۵۹	۰,۷۵۹	۰,۷۵۹	۲۶	یونان
۰,۶۵۹	۰,۶۵۹	۰,۶۵۹	۰,۶۶۰	۰,۶۵۹	۰,۶۵۶	۰,۶۶۷	۰,۶۵۹	۰,۶۵۴	۲۷	آرژانتین
۰,۵۵۱	۰,۵۵۱	۰,۵۵۱	۰,۵۵۱	۰,۵۵۱	۰,۵۵۱	۰,۵۵۱	۰,۵۵۱	۰,۵۵۱	۲۸	جامائیکا
۰,۵۲۰	۰,۵۲۰	۰,۵۲۰	۰,۵۲۱	۰,۵۲۰	۰,۵۱۹	۰,۵۲۱	۰,۵۲۰	۰,۵۱۹	۲۹	بولیوی
۰,۵۰۰	۰,۵۰۰	۰,۵۰۰	۰,۵۲۷	۰,۵۰۰	۰,۴۲۸	۰,۵۵۱	۰,۵۰۰	۰,۴۲۱	۳۰	غنا

نشان می‌دهد. وقتی  $h=1$  با داده ترتیبی مثل داده عددی رفتار می‌شود و همان مقادیر با حالت‌های خوب، بد، و خنثی توسط تصمیم‌گیرندگان حاصل می‌شود. وقتی مقدار  $h$  کم شود به آن معناست که باید در تصمیم‌گیری دقت کرد. در نتیجه محدوده گسترده‌ای از مقادیر شاخص کامپوزیت به دست می‌آید. در این حالت عدم قطعیت‌های موجود مرتبط با افکار به سادگی توضیح داده می‌شوند. اگر به عنوان مثال ایران را در نظر بگیریم، وقتی

باید توجه شود که برای یافتن مقادیر CI برپایه IDEA، برنامه LINGO برای هر کشور یک بار استفاده شده است و یک مقدار واضح یافته شده است. در عین حال در مدل CI براساس FDEA، این برنامه ۹ بار برای هر کشور به کار برده شده است و مقادیر شاخص فازی براساس احتمالات مختلف در سطوح  $h$  و  $\lambda$  یافت شده‌اند. در عمل سطوح احتمال مختلف تعیین شده توسط تصمیم‌گیرندگان نگرش آنها نسبت به عدم قطعیت را

## ارزیابی شاخص‌های عملکردی ترکیبی برای اعمال قانون کلاه و کمربندی ایمنی

دریافتیم که مقدار CI برپایه FDEA کمتر از مقدار حاصل از مدل CI برپایه IDEA است، این حالت حتی در وضعیت خوب با کمترین احتمال  $h$  هم صدق می‌کند. می‌توان تا حدی این مساله را با در نظر گرفتن این واقعیت توضیح داد که مقدار ثابت و کوچک  $\epsilon$  در مدل IDEA-CI در نظر گرفته شده است تا حداقل اختلاف مجاز میان دو حالت را در درجه‌بندی مقادیر شاخص را نشان داد که باعث می‌شود مقدار شاخص قابل توجهی برای هر کشور به دست بیاید. به عبارت دیگر از مقدار معادل  $\epsilon$  استفاده می‌شود و مقادیر شاخص مدل CI براساس FDEA از نتایج حاصل از مدل IDEA-CI عبور نمی‌کند.

$h=1$  باشد مقدار شاخص  $0,999$  را به خود اختصاص می‌دهد که به معنای آن است که تصمیم‌گیرندگان هیچ شکلی در خصوص این مقدار برای نشان‌دادن عملکرد ایران نداشته‌اند، و وقتی  $h=0.5$  شود به این معناست که تصمیم‌گیرندگان در مورد نتایج کاملاً مطمئن نیستند و مقدار شاخص مجزا برای ایران در نظر گرفته می‌شود که میان  $0,949$  و  $0,999$  قرار دارد و مقدار میانگین آن  $0,977$  است. وقتی  $h=0$  بود هم نتایج مشابهی حاصل شد که  $(0,949, 0,977, 0,999)$  است. جدول ۵ رتبه‌بندی کشورها را با توجه به شاخص کامپوزیت برای هر دو مدل نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود درجه‌بندی دو شاخص در ۳۰ کشور بر اساس این دو مدل در برخی از کشورها یکسان نبود، زیرا

جدول ۵. رتبه‌بندی کشورها بر اساس شاخص ترکیبی برای هر دو مدل

رتبه	IDEA-CI	کشورها	رتبه	FDEA-CI	کشورها
۱	۱	آرژانتین	۱	۱,۰۰۰	بلژیک
۱	۱	بلژیک	۱	۱,۰۰۰	کانادا
۱	۱	بولیوی	۱	۱,۰۰۰	فنلاند
۱	۱	کانادا	۱	۱,۰۰۰	فرانسه
۱	۱	شیلی	۱	۱,۰۰۰	هلند
۱	۱	کلمبیا	۱	۱,۰۰۰	لهستان
۱	۱	کاستاریکا	۱	۱,۰۰۰	اسپانیا
۱	۱	فرانسه	۸	۰,۹۹۹	آلبانی
۱	۱	غنا	۸	۰,۹۹۹	شیلی
۱	۱	یونان	۸	۰,۹۹۹	جمهوری دومینیکن
۱	۱	جامائیکا	۸	۰,۹۹۹	اکوادور
۱	۱	هلند	۸	۰,۹۹۹	ایران
۱	۱	لهستان	۸	۰,۹۹۹	مراکش
۱	۱	اسپانیا	۸	۰,۹۹۹	پرتغال
۱	۱	سورینام	۸	۰,۹۹۹	کشور کره
۱۶	۰,۹۹۷	فنلاند	۱۶	۰,۹۸۹	کاستاریکا
۱۷	۰,۹۸۹	کشور پرتغال	۱۷	۰,۹۶۳	کرواسی
۱۸	۰,۹۸۴	کرواسی	۱۸	۰,۹۶۱	کلمبیا
۱۹	۰,۹۸۳	مالزی	۱۹	۰,۹۵۸	سورینام

رتبه	IDEA-CI	کشورها	رتبه	FDEA-CI	کشورها
۲۰	۰,۹۷۶	آلبانی	۲۰	۰,۹۲۰	مالزی
۲۱	۰,۹۶۲	ایران	۲۱	۰,۸۸۴	فیجی
۲۲	۰,۹۱۴	برزیل	۲۲	۰,۸۷۵	برزیل
۲۳	۰,۹۰۴	صربستان	۲۳	۰,۸۶۸	صربستان
۲۴	۰,۹۰۱	اکوادور	۲۴	۰,۸۱۰	اروگوئه
۲۵	۰,۹	فیجی	۲۵	۰,۷۶۹	آنگولا
۲۶	۰,۸۶۱	جمهوری کره	۲۶	۰,۷۵۹	یونان
۲۷	۰,۸۱	اروگوئه	۲۷	۰,۶۵۹	آرژانتین
۲۸	۰,۶۵۴	مراکش	۲۸	۰,۵۵۱	جامائیکا
۲۹	۰,۴۱۴	آنگولا	۲۹	۰,۵۲۰	بولیوی
۳۰	۰,۲۷	جمهوری دومینیکن	۳۰	۰,۵۰۰	غنا

ناکارایی کشور مورد مطالعه تقسیم می‌شود، همانطور که در جدول ۶ نشان داده شده است. این معادله را می‌توان برای همه داده‌ها (ورودی و خروجی) اعمال کرد. سپس، دوباره مدل (۱۰) مجدداً اجرا می‌گردد (به طوری که  $h=1$  در نظر گرفته می‌شود) و مقادیر شاخص ناکارایی را برای هر کشور دوباره محاسبه می‌کنیم، و آنها را با نتایج اکنون مقایسه می‌کنیم. نتایج این مقایسه در جدول ۷ نشان داده شده است. اهدافی که در جدول ۶ نشان داده شده است، مواردی است که برای کشورهای ناکارآمد توصیه می‌شود، بنابراین می‌توان تحلیل مقایسه‌ای نرخ ناکارایی را برای بررسی چگونگی وقوع تغییرات و انتقال به سطح ایمنی بهتر انجام داد.

همچنین باید توجه داشت که در مدل CI براساس IDEA ۱۵ کشور بودند که مقدار کاملاً کارایی ۱ را داشتند، در حالی که در مدل CI براساس FDEA فقط ۷ کشور بودند که مقدار کارایی ۱ را داشتند اما تفاوتی در درجه‌بندی کشورها طبق دو مدل وجود نداشت.

علاوه بر آن می‌توانیم مقدار مورد نظر را برای ۳۰ کشور با استفاده از مدل CI براساس IDEA به دست آوریم که بزرگتر از مقدار حاصل از مدل CI براساس FDEA حتی در وضعیت خوب با کمترین احتمال سطح  $h$  است.

با پیدا کردن مقادیر تابع هدف برای هر کشور با استفاده از معادله (۱۲)، اهداف برای هر کشور به عنوان مجموع حاصل از محصول دوگان و مقادیر موجود الگوهای انتسابی به طور کامل بر شاخص

جدول ۶. مقادیر تابع هدف برای هر کشور.  $h=1$

قوانین کمر بند ایمنی		قوانین کلاه ایمنی		کشور	واحد
درصد استفاده از کمر بند %	امتیاز اعمال	درصد استفاده از کلاه %	امتیاز اعمال		
سرنشینان	سرنشینان	رانندگان	قانون		
صندلی جلو	صندلی عقب		قانون		
۹۱	۸۱	۹۴	۸	آلبانی	۱
۹۵	۸۷	۹۶	۷	آنگولا	۲

ارزیابی شاخص‌های عملکردی ترکیبی برای اعمال قانون کلاه و کمربندی ایمنی

۹	۹۶	۹۵	۸	۸۳	۹۲	۳	آرژانتین
۹	۹۹	۱۰۰	۷	۸۶	۹۲	۴	بلژیک
۹	۹۶	۹۳	۷	۸۲	۹۰	۵	بولیوی
۹	۹۸	۹۶	۸	۸۴	۹۴	۶	برزیل
۱۰	۹۸	۹۸	۶	۸۹	۹۵	۷	کانادا
۹	۹۸	۹۸	۸	۸۷	۹۷	۸	شیلی
۸	۹۷	۹۴	۸	۸۲	۹۱	۹	کلمبیا
۸	۹۳	۸۹	۷	۷۹	۸۷	۱۰	کاستاریکا
۹	۹۵	۹۵	۸	۸۵	۹۵	۱۱	کرواسی
۹	۹۸	۹۸	۷	۸۶	۹۳	۱۲	جمهوری دومینیکن
۹	۹۶	۹۶	۸	۸۵	۹۴	۱۳	اکوادور
۹	۹۶	۹۵	۸	۸۵	۹۵	۱۴	فیجی
۹	۹۸	۹۸	۸	۸۵	۹۵	۱۵	فنلاند
۹	۹۸	۹۸	۸	۸۸	۹۸	۱۶	فرانسه
۹	۹۵	۹۶	۷	۸۴	۹۲	۱۷	غنا
۸	۹۸	۹۵	۸	۸۲	۹۲	۱۸	یونان
۹	۹۶	۹۸	۷	۸۶	۹۳	۱۹	ایران
۸	۹۷	۹۳	۸	۸۲	۹۱	۲۰	جامائیکا
۹	۹۴	۹۵	۷	۸۳	۹۱	۲۱	مالزی
۸	۹۸	۹۵	۸	۸۲	۹۲	۲۲	مراکش
۹	۹۶	۹۳	۷	۸۳	۹۱	۲۳	هلند
۹	۹۸	۹۸	۷	۸۸	۹۷	۲۴	لهستان
۸	۹۹	۹۶	۸	۸۴	۹۳	۲۵	پرتغال
۸	۹۸	۹۳	۸	۸۰	۹۰	۲۶	جمهوری کره
۹	۹۸	۹۸	۸	۸۸	۹۸	۲۷	صربستان
۸	۹۹	۹۳	۸	۸۱	۹۱	۲۸	اسپانیا
۹	۹۸	۹۸	۸	۸۶	۹۶	۲۹	سورینام
۹	۹۶	۹۶	۸	۸۵	۹۴	۳۰	اروگوئه

جدول ۷. مقایسه مقادیر کارایی قبل و بعد.

رتبه بعد	FDEA-C	رتبه قبل	FDEA-CI	کشورها
۱	۱,۰۰۰	۱	۱,۰۰۰	بلژیک
۱	۱,۰۰۰	۱	۱,۰۰۰	کانادا
۱	۱,۰۰۰	۱	۱,۰۰۰	فنلاند

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال چهاردهم / شماره چهارم (۵۷) / تابستان ۱۴۰۲

رتبه بعد	FDEA-C	رتبه قبل	FDEA-CI	کشورها
۱	۱,۰۰۰	۱	۱,۰۰۰	فرانسه
۲۷	۰,۹۷۶	۱	۱,۰۰۰	هلند
۱	۱,۰۰۰	۱	۱,۰۰۰	لهستان
۱	۱,۰۰۰	۱	۱,۰۰۰	اسپانیا
۱	۱,۰۰۰	۸	۰,۹۹۹	آلبانی
۱	۱,۰۰۰	۸	۰,۹۹۹	شیلی
۲۴	۰,۹۹۳	۸	۰,۹۹۹	جمهوری دومینیکن
۱	۱,۰۰۰	۸	۰,۹۹۹	اکوادور
۱	۱,۰۰۰	۸	۰,۹۹۹	ایران
۱	۱,۰۰۰	۸	۰,۹۹۹	مراکش
۱	۱,۰۰۰	۸	۰,۹۹۹	پرتغال
۱	۱,۰۰۰	۸	۰,۹۹۹	کشور کره
۳۰	۰,۹۴۱	۱۶	۰,۹۸۹	کاستاریکا
۱	۱,۰۰۰	۱۷	۰,۹۶۳	کرواسی
۱	۱,۰۰۰	۱۸	۰,۹۶۱	کلمبیا
۱	۱,۰۰۰	۱۹	۰,۹۵۸	سورینام
۲۹	۰,۹۷۶	۲۰	۰,۹۲۰	مالزی
۱	۱,۰۰۰	۲۱	۰,۸۸۴	فیجی
۱	۱,۰۰۰	۲۲	۰,۸۷۵	برزیل
۱	۱,۰۰۰	۲۳	۰,۸۶۸	صربستان
۱	۱,۰۰۰	۲۴	۰,۸۱۰	اروگوئه
۲۵	۰,۹۸۴	۲۵	۰,۷۶۹	آنگولا
۱	۱,۰۰۰	۲۶	۰,۷۵۹	یونان
۱	۱,۰۰۰	۲۷	۰,۶۵۹	آرژانتین
۱	۱,۰۰۰	۲۸	۰,۵۵۱	جامائیکا
۲۶	۰,۹۷۶	۲۹	۰,۵۲۰	بولیوی
۲۸	۰,۹۷۳	۳۰	۰,۵۰۰	غنا

## ۵. بحث

حوادث جاده در چندین کشور بر اساس این دو شاخص برای تعیین میزان اهمیت استفاده از این موارد مفید است. در اینجا دو روش برای مقابله با جنبه‌های مختلف داده غیر دقیق در ارزیابی مدل‌سازی داده کیفی (یا ترتیبی) برای ساختار بندی شاخص‌های پیچیده مورد بررسی قرار گرفت که به ترتیب DEA غیر دقیق

درخصوص ایمنی جاده، هر دو شاخص (پوشیدن کلاه ایمنی و بستن کمربند ایمنی) بسیار مهم هستند و نقش مهمی در سنجش میزان ریسک و شدت حوادث جاده‌ای دارند. بنابراین مقایسه

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال چهاردهم / شماره چهارم (۵۷) / تابستان ۱۴۰۲

## ارزیابی شاخص‌های عملکردی ترکیبی برای اعمال قانون کلاه و کمربندی ایمنی

IDEA کارایی کمتری دارد و این حالت در صورتی منطقی است که مقدار کارایی حاصل در مدل CI براساس IDEA ۱ باشد و در صورتی غیرمنطقی است که غیر از ۱ باشد که در کشورهای دیگر مشاهده شد. می‌توان در نظر گرفت که برای این دو شاخص، مدل CI براساس FDEA نسبت به مدل CI براساس IDEA به واقعیت نزدیکتر است. فقط نتایج حاصل از درجه‌بندی به دست نمی‌آید بلکه میزان قابلیت اعتماد در استفاده از روش درجه‌بندی فازی نسبت به مدل‌سازی داده کیفی را هم نشان می‌دهد.

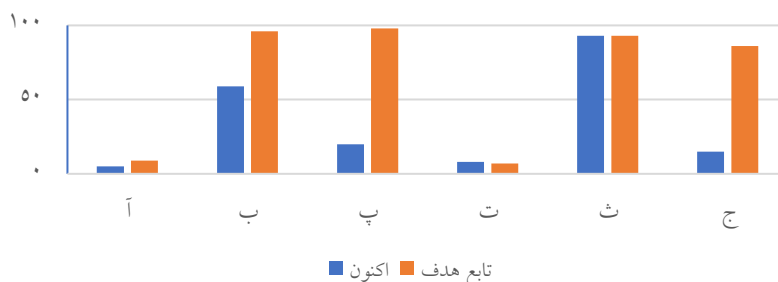
در این بین، ایران با توجه به نمره ناکارایی کسب شده، در رتبه ۱۲ قرار دارد. این کشور برای آن که با تکیه بر داده‌های کشورهای الگوی خود به یک کشور کارآمد تبدیل شود، باید در مورد پوشیدن کلاه ایمنی، این میزان برای رانندگان موتور سیکلت باید ۶۳٪ و برای مسافران ۳۷٪ افزایش یابد. همچنین باید میزان بستن کمربند ایمنی برای سرنشینان صندلی جلو تقریباً ثابت بماند و برای سرنشینان صندلی عقب در وسایل نقلیه ۴۶٪ افزایش یابد، همان شکل نشان می‌دهد. مشابه با این نتیجه‌گیری را می‌توان برای سایر کشورها نیز به دست آورد.

این مطالعه با مطالعه‌های قبلی مطابقت دارد که در آن داده‌های غیردقیق و فازی برای شاخص‌های اجرای قانون استفاده از کلاه و کمربند ایمنی در برابر میزان استفاده از آنها مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به افزودن الگوگذاری به این مدل و در نتیجه بهترین مقادیر شاخص‌ها به دست می‌رسد، که کشورهای نارکاری به کشورهای کارایی یا نزدیک به آنها تبدیل می‌شوند. محدوده بررسی ابعاد و آثار استفاده از کلاه و کمربند ایمنی و سطح اجرای قانون گسترش یافته است، این مطالعه همچنین به مطالعات انجام شده توسط شن و همکاران (۲۰۱۱) و بهنود (۲۰۱۸) نزدیک است.

و DEA فازی هستند و برای ارزیابی مدیریت ایمنی جاده با ایجاد شاخصی برای ایمنی جاده به کار می‌روند و در ۳۰ کشور سرتاسر جهان براساس دو شاخص پوشیدن کلاه ایمنی و بستن کمربند ایمنی با هم مقایسه شدند.

تحلیل نتایج حاکی از آن است که مقدار مشخصی توسط مدل CI براساس IDEA حاصل شده است که به سادگی قابل توصیف و قابل استفاده است. در عین حال مقادیر فازی حاصل از مدل CI براساس FDEA با در نظر گرفتن انواع احتمالات برای نشان‌دادن عدم قطعیت در تفکر انسان به کار می‌روند. با توجه به این دو مدل تشابه اصلی میان نتایج دسته‌بندی با پایدار ماندن حاصل شده است و به آن معنا است که این دو روش برای مدل‌سازی داده کیفی کارایی دارند. تفاوت در درجه‌بندی شاخص‌ها نشان‌دهنده آن است که مدل CI براساس FDEA بر مدل دیگر اولویت دارد. علاوه بر آن متوجه شدیم که براساس مقدار معادل E، مقدار بزرگتری نسبت به مدل CI براساس IDEA به دست می‌آید که ممکن است به عنوان مقادیر بالاتر از سطح تعیین شده در روش‌های دیگر به کار رود.

علاوه بر آن نتایج نشان دادند که مقدار کارایی در دو مدل در برخی از کشورها بسیار به هم نزدیک هستند مثل بلژیک، کانادا، فرانسه، هلند، لهستان، اسپانیا، و اوروگوئه. در حالی که در برخی از کشورها مقدار کارایی متفاوت بود و تنوع زیادی وجود نداشت مثل آلبانی، شیلی، ایران، پرتغال، کستاریکا، کویت، کلمبیا، سورینام، مالزی، فیجی، برزیل، و یوگوسلاوی، یا تفاوت بسیار زیادی وجود داشت مثل جمهوری دمیونیکان، اکوادور، موراگو، جمهوری کره، آنگولا، یونان، آرزانتین، جامائیکا، بولیویا، و غنا. بنابراین در درجه‌بندی کشورها طبق این دو مدل و در مقایسه با داده ورودی تفاوت وجود دارد، و همچنین دریافتیم که مقادیر حاصل از مدل CI براساس FDEA نسبت به ورودی‌های حاصل از مدل CI براساس IDEA بیشتر است مثل کشور غنا که داده ورودی ضعیف تا متوسطی دارد و در مدل CI براساس



آ: اجرای قانون کمر بند ایمنی  
 ب: درصد استفاده رانندگان از کمر بند ایمنی  
 پ: درصد استفاده سرنشینان از کمر بند ایمنی  
 ت: اجرای قانون کلاه ایمنی  
 ث: درصد استفاده رانندگان از کلاه ایمنی  
 ج: درصد استفاده سرنشینان از کلاه ایمنی

شکل ۱. مقایسه مقادیر فعلی با مقادیر هدف کشور ایران

## ۶. نتیجه‌گیری

و حصول اطمینان بیشتر هنگام تصمیم‌گیری در سطح کشورها توصیه می‌شود. علاوه بر آن کشورهای دیگری را برای بررسی این دو مدل انتخاب کند. با این حال امکان این مساله هم وجود دارد که برای دسته‌بندی در مدل‌سازی داده کیفی در آینده از این دو روش استفاده کند و مدل‌های دیگر FDEA که در این مقاله نبود را هم به کار ببرد.

در این تحقیق، دو روش در چارچوب DEA را برای مدل‌سازی داده‌های کمی و کیفی به منظور ساختار بندی شاخص‌های کمپوزیت مورد بررسی قرار داده‌ایم: مدل DEA غیر دقیق و مدل DEA فازی. در این تحقیق، دو شاخص اصلی برای ۳۰ کشور در نظر گرفته شد، کلاه و کمر بند ایمنی. این موارد شامل مقادیر کمی دقیق است (نرخ استفاده از کلاه ایمنی توسط راننده و سرنشین و نرخ استفاده از کمر بند برای ساندلی‌های جلو و عقب) و مقادیر غیر دقیق در خصوص میزان کارایی اجرای سیاست‌ها مورد نظر است. در گزارش سازمان بهداشت جهانی (۲۰۱۸)، جزئیات چندان زیادی مانند طبقه بندی سنی در مورد استفاده از کلاه و کمر بند ایمنی منسوب به آنها وجود ندارد. بنابراین تعمیق مطالعات و گسترش داده‌ها در این زمینه‌ها در فعالیت‌های آینده ضروری است. برای کشف تغییرات بالقوه در نتایج الگو گذاری، مطالعات بیشتری برای پرداختن به گروه‌های کامل‌تری از کشورها مورد نیاز است، برای این منظور لازم است پیمایش کاملی در حوزه داده‌های مورد نیاز در سایر کشورها به عمل آید. همچنین، پیشنهاد می‌گردد روی مطالعه سایر عوامل ریسک و شاخص‌های عملکردی مربوطه کار شود. در نهایت، استفاده از روش‌های دیگر برای افزایش قابلیت اطمینان به نتایج مطالعات

## ۷. پی‌نوشت‌ها

1. World Health Organization
2. Data Envelopment Analysis - Composite Indicator
3. Imprecise Data Envelopment Analysis
4. Fuzzy Data Envelopment Analysis

## ۸. مراجع

– Behnood H.R., Ayati E., Hermans E. and Neghab M.A., (2014). Road safety performance evaluation and policy making by data envelopment analysis: A case study of provincial data in Iran. *Scientia Iranica*, 21(5), pp.1515-1528.

– 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*, Vol. 170, No. 5, pp. 305-317.



- Emrouznejad A., Tavana M., (2014). Performance Measurement with Fuzzy Data Envelopment Analysis. In the series of “Studies in Fuzziness and Soft Computing”, Springer-Verlag.
- Guo P., Tanaka H., (2001). Fuzzy DEA: a perceptual evaluation method. *Fuzzy Sets Syst* 119:149–160.
- Hermans E., (2009). A methodology for developing a composite road safety performance index for crosscountry comparison (No. D/2009/2451/11).
- Hillier F.S. and Lieberman G.J., (2001). *Introduction to Operations Research*, 7th Ed., McGraw-Hill Higher Education.
- Kao C., (2006). Interval efficiency measures in data envelopment analysis with imprecise data. *Eur. J. Oper. Res.* 174, 1087–1099.
- Léon T., Liern V., Ruiz J.L., Sirvent I., (2003). A fuzzy mathematical programming approach to the assessment of efficiency with DEA models. *Fuzzy Sets Syst* 139:407–419.
- Shen Y., Ruan D., Hermans E., Brijs T., Wets G., Vanhoof K., (2011). Modeling qualitative data in data envelopment analysis for composite indicators. *International Journal Systems Assurance Engineering and Management* 2(1), 21–30.
- Shen Y., Hermans E., Bao Q., Brijs T. and Wets G., (2020). Towards better road safety management: lessons learned from international benchmarking. *Accident Analysis & Prevention*, 138, p.105484.
- Siegel J.G. and Shim J.K., (2010). *Dictionary of Accounting Terms*, Barron's Business Guides, 5th Edition, Barron's snippet.
- Charnes A., Cooper W.W., (1984). The non-Archimedean CCR ratio for efficiency analysis: a rejoinder to Boyd and Fare. *Eur J Oper Res* 15(3):333–334.
- Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E., (1978). Measuring the efficiency of decision-making units. *Eur J Oper Res* 2:429–444.
- Chen F., Wu, J., Chen X., Wang J. and Wang D., (2016). Benchmarking road safety performance: Identifying a meaningful reference (best-in-class). *Accident Analysis & Prevention*, 86, pp.76-89.
- Cherchye L., Moesen W., Rogge N., van Puyenbroeck T., (2007). An introduction to ‘benefit of the doubt’ composite indicators. *Soc Indic Res* 82:111–145.
- Cook W.D., Kress M., Seiford L.M., (1993). On the use of ordinal data in data envelopment analysis. *J Oper Res Soc* 44:133–140.
- Cook W.D., Kress M., Seiford L.M., (1996). Data envelopment analysis in the presence of both quantitative and qualitative factors. *J Oper Res Soc* 47:945–953.
- Cooper W.W., Park K.S., Yu G., (1999). IDEA and AR-IDEA: models for dealing with imprecise data in DEA. *Manage Sci* 45:597–607.
- Cooper W.W., Park K.S., Yu G., (2002). An illustrative application of IDEA (Imprecise Data Envelopment Analysis) to a Korean mobile telecommunication company. *Oper Res* 49(6):807–820.
- Despotis D.K., Smirlis Y.G., (2002). Data envelopment analysis with imprecise data. *Eur. J. Oper. Res.* 140, 24–36.

- Tešić M., Hermans E., Lipovac K. and Pešić D., (2018). Identifying the most significant indicators of the total road safety performance index. *Accident Analysis & Prevention*, 113, pp.263-278.
- Wegman F., (2017). The future of road safety: A worldwide perspective. *IATSS research*, 40(2), pp.66-71.
- World Health Organization, (2018). Global status report on road safety 2018 (No. WHO/NMH/ NVI/18.20). World Health Organization
- Zhou X., Pedrycz W., Kuang Y., & Zhang Z., (2016). Type-2 fuzzy multi-objective DEA model: An application to sustainable supplier evaluation. *Applied Soft Computing*, 46, 424-440.
- Zhu J. (2003). Imprecise data envelopment analysis (IDEA): a review and improvement with an application. *European Journal of Operational Research*, 144, 513–529.
- Zhu J. (2003). Efficiency evaluation with strong ordinal input and output measures. *European Journal of Operational Research*, 146, 477–485.

## ارزیابی شاخص‌های عملکردی ترکیبی برای اعمال قانون کلاه و کمربندی ایمنی

ازدشیر برهوم، در سال ۱۳۹۷ موفق به کسب درجه کارشناسی ارشد در گرایش برنامه‌ریزی حمل‌ونقل از دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) شده است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان مطالعات برنامه‌ریزی ایمنی راه بوده و در حال حاضر دانشجوی دکتری در گرایش برنامه‌ریزی حمل‌ونقل در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) است.



حمیدرضا بهنود، در سال ۱۳۹۲ موفق به کسب درجه دکتری در گرایش راه و ترابری از دانشگاه فردوسی مشهد گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان مطالعات برنامه‌ریزی و مهندسی ایمنی راه بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) است.



روح‌اله طاهرخانی، در سال ۱۳۹۱ موفق به کسب درجه دکتری در گرایش مهندسی و مدیریت ساخت از دانشگاه UTM مالزی گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان مطالعات توسعه پایدار و پایداری اجتماعی، ساختمان‌ها و شهرهای پایدار و سبز می‌باشد. وی در حال حاضر عضو هیات علمی گروه مهندسی عمران دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) با مرتبه استادیار است.

