

ارزیابی عملکرد ایمنی راه در ایران و کشورهای در حال توسعه

با استفاده از روش‌های فرارته‌ای

مقاله پژوهشی

شادی ساریخانی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران

حمیدرضا بهنود*، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران

امیرعباس رصافی، دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: behnood@eng.ikiu.ac.ir

دریافت: ۹۸/۰۷/۰۳ - پذیرش: ۹۸/۱۱/۳۰

صفحه ۲۵۰-۲۳۳

چکیده

مقایسه و ارزیابی عملکرد ایمنی راه در سطح فراملی عملی شایسته است، چرا که با این مقایسه هر کشوری می‌تواند به درک بهتر و عمیق‌تری از وضعیت ایمنی راه‌های خود دست یابد. در این مطالعه، زیرمجموعه‌ای از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با عنوان روش‌های فرارته‌ای شامل دو روش پرومته و الکتراه به منظور ارزیابی عملکرد ایمنی راه به کار گرفته شده است. در این روش‌ها، روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای به دست آوردن وزن شاخص‌ها به کار گرفته می‌شود، که این اوزان به دست آمده به عنوان وزن ورودی در مدل پرومته و الکتراه استفاده می‌شود. روش‌های مورد استفاده برای ایران و مجموعه‌ای از کشورهای در حال توسعه با هدف بررسی وضعیت ایران نسبت به سایرین به کار گرفته شده است. سپس نتایج به دست آمده با شاخص تعداد تلفات جاده‌ای در هر یکصد هزار نفر برای این کشورها به عنوان نقطه مرجع مربوطه، مقایسه می‌شود. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که در بین پنج رکن ایمنی راه، رکن مدیریت ایمنی راه دارای بیشترین اهمیت و رکن مراقبت بعد از سانحه دارای کمترین اهمیت است. همچنین، زیرمعیار نهاد راهبر در رکن مدیریت ایمنی راه بیشترین اهمیت و زیرمعیار صندلی کودک از رکن کاربران ایمن راه کمترین اهمیت را از دید کارشناسان دارد. در بین ۱۵ کشور مورد بررسی، کشور لهستان رتبه اول را کسب کرده و بهترین عملکرد را دارد. در این بین، کشور ایران رتبه ۱۳ را به خود اختصاص داد که بیان‌گر عملکرد نسبتاً بد کشور ایران نسبت به سایر کشورها است.

واژه‌های کلیدی: ارکان ایمنی راه، روش‌های فرارته‌ای، سیستم مدیریت ایمنی راه، شاخص‌های عملکرد ایمنی راه

۱-مقدمه

ناشی از تصادفات را دارد، که این وضعیت در مقایسه با دیگر کشورهای جهان بسیار نگران‌کننده است. کاهش میزان تصادفات جاده‌ای و متعاقباً کاهش جراحات و تلفات ناشی از آن از دغدغه‌های مسوولین است. به همین جهت تحقیق و شناسایی عوامل موثر بر تصادفات و ضعف‌های موجود برای برنامه‌ریزی و به کارگیری اقدامات لازم جهت رفع آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد. در حال حاضر مقایسه و ارزیابی عملکرد ایمنی راه در سطح فراملی عملی شایسته است، چرا که با این مقایسه هر کشوری می‌تواند به درک بهتر و عمیق‌تری از وضعیت ایمنی راه‌های خود دست یابد و برای برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در آینده، دقیق‌تر عمل نماید. مقایسه و ارزیابی ایمنی راه در کشورها توسط شاخص‌های عملکردی ایمنی راه (RSPIS)^۱ انجام می‌شود. روش‌هایی برای ارزیابی ایمنی راه مناسب هستند که بتوانند تعداد بیشتری از این شاخص‌ها و اندرکنش‌های آنها را به

در نیم قرن اخیر افزایش روزافزون ترافیک در راه‌ها در مقابل فواید اقتصادی و سرعت جابجایی کالا و مسافر، به سرعت بر تعداد و شدت سوانح جاده‌ای افزوده است. از این رو، بحث تصادفات و ضایعات مالی و جانی ناشی از آن، به یکی از چالش‌های اقتصادی و اجتماعی تبدیل شده است. طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2018)، در سالهای اخیر، تصادفات رانندگی به عنوان هشتمین عامل مرگ‌ومیر در جهان شناخته شده است. بر اساس این گزارش، هر ساله بیش از ۱/۳ میلیون نفر در سوانح ترافیکی کشته می‌شوند. بیش از ۹۰ درصد تلفات جاده‌ای در کشورهای دارای میزان درآمد کم یا متوسط به ویژه اقتصادهای نوظهور که در آنها شهرنشینی و توسعه با رشد اقتصادی همراه است، روی می‌دهد. این در حالی است که این کشورها تنها مالک ۶۰ درصد وسایل نقلیه ثبت شده هستند. ایران از جمله کشورهایی است که بیشترین موارد مرگ‌ومیر و مصدومیت

حال، ایمنی راه که شامل تعداد زیادی از عوامل اتفاقی و شاخص‌های انسانی، وسیله نقلیه، راه، محیط و مدیریت است از پیچیدگی بالایی همچون وابستگی به زمان و عدم اطمینان برخوردار است (Wang and Chen, 2012; Al Haji, 2005; Haddon jr, 1980). شاخص‌های عملکردی ایمنی راه برای سیاست‌گذاران یک ابزار محسوب می‌شود که از طریق آن می‌تواند اطمینان یابد که اقدامات صورت گرفته تا چه اندازه تاثیرگذار بوده است (ETSC, 2001).

در میان عوامل مختلف خطر ساز ایمنی راه، هر فاکتور خطر (مانند عدم بستن کمربند ایمنی) معمولاً توسط چند شاخص عملکردی مناسب نشان داده می‌شود و سلسله مراتبی لایه‌بندی شده را تشکیل می‌دهد. برای اندازه‌گیری مفهوم چندبعدی ایمنی راه که نمی‌توان آن را با یک شاخص واحد به دست آورد، کشف یک شاخص ترکیبی عملکرد ایمنی راه جذاب به نظر می‌آید. این شاخص تصویر کلی ایمنی راه را با در بر گرفتن بسیاری از اطلاعات ریسک در یک نمره شاخص نشان می‌دهد و از نظر ایجاد ارتباط، به عنوان معیار سنجش و تصمیم‌گیری دارای مزایایی است (Hermans, 2009; Wegman et al., 2008). از دیدگاه ریاضی، روش‌های تلفیقی به کار گرفته شده برای شاخص‌های ترکیبی که از موقعیت‌هایی با رده‌های مختلف برخوردار هستند، جزو روش‌های ارزیابی چندمعیاره قرار می‌گیرند. بنابراین استفاده از یک چارچوب چندمعیاره برای شاخص‌های ترکیبی مناسب و مطلوب است (Munda, 2005). روند ایجاد شاخص‌های ترکیبی از چند مرحله مهم تشکیل شده است: انتخاب شاخص‌های مناسب، نرمال کردن مقادیر شاخص، تعیین کردن وزن برای هر شاخص و انتخاب یک جمع‌کننده (Hermans et al., 2007). هر یک از این مراحل می‌تواند رتبه‌بندی نهایی را تحت تاثیر قرار دهد (Rosic et al., 2017). روش‌های مختلفی برای ساختن شاخص‌های ترکیبی استفاده شده است و کسی نمی‌تواند ادعا کند که روشی را که در نظر گرفته، بهترین روش بوده و از همه جهات مناسب است (Zhou and Ang, 2009). از لحاظ جمع‌آوری داده‌ها، دو خانواده اصلی از روش‌های تحقیق در عملیات، یعنی تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)^۱ و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) وجود دارد (Zhou and Ang, 2009). تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)، توسط (Charnes et al., 1978) مطرح شد و به عنوان یک ابزار قدرتمند تحلیلی برای مدل‌سازی فرایندهای موثر در فعالیت‌های گسترده در بسیاری از زمینه‌ها شناخته شده است. این روش توسط پژوهشگران مختلف (Hermans, 2009; Shen et al., 2012; Alper et al., 2015; Bastos et al., 2014; Behnood et al., 2015) مورد بررسی قرار گرفته و از آن به منظور تولید شاخص ترکیبی مناسب برای ارزیابی عملکرد ایمنی راه، مقایسه و رتبه‌بندی استفاده شده است. در چارچوب روش‌های MCDM، دو روش ساده اما

طور هم‌زمان مورد تحلیل و بررسی قرار دهند. برای اندازه‌گیری مفهوم چندبعدی ایمنی راه، انتخاب یک شاخص ترکیبی^۲ ایمنی راه ضروری است. به طور خاص، یک روش اندازه‌گیری عملکرد باید بتواند شاخص‌های ایمنی چندلایه را در یک شاخص کلی ترکیب نماید (Chen et al., 2015). هدف اصلی این مقاله در حالت کلی ارزیابی عملکرد ایمنی راه برای ایران و مجموعه‌ای از کشورهای در حال توسعه به منظور بررسی وضعیت ایران نسبت به سایرین با استفاده از روش‌های فرارته‌ای است. نتایج این ارزیابی به صورت یک رتبه بندی از کشورها ارائه خواهد شد، سپس این نتایج با شاخص تعداد تلفات جاده‌ای در هر یکصد هزار نفر برای کشورها به منظور بررسی میزان تطبیق نتایج دو روش سنتی و پیشنهادی مقایسه می‌شود. از دیگر اهداف این پژوهش می‌توان به شناسایی شاخص‌هایی که کشور ایران نسبت به سایر کشورها در آن دچار ضعف یا برتری هست، نیز اشاره کرد. در این مطالعه همانطور که در ادامه نیز اشاره خواهد شد، ابتدا در بخش دوم ادبیات موضوع را مرور می‌کنیم. در بخش سوم، نحوه جمع‌آوری داده‌ها و روش تحقیق را که شامل دو روش پرومته و الکتراه است شرح داده می‌شود. در بخش چهارم، با ارائه نتایج محاسباتی به بررسی و تشریح آنها پرداخته می‌شود و سرانجام در بخش پنجم جمع‌بندی و نتیجه‌گیری حاصل از مقاله ارائه می‌گردد.

۲- پیشینه تحقیق

برای دستیابی به منافع سیاست‌گذاری در مسایل مربوط به ایمنی راه و یادگیری از شیوه‌های موفق کشورهای دیگر، مقایسه وضعیت ایمنی کشور با دیگر کشورها مفید به نظر می‌رسد. در این مقایسه مهم‌ترین سوال این است که کدام کشور را می‌خواهیم با خودمان مقایسه کنیم. پاسخ دادن به این سوال آسان نیست و به اهداف مقایسه بستگی دارد. ارزیابی عملکرد ایمنی راه شامل شناسایی مولفه‌های کلیدی عملکرد ایمنی راه، شناسایی معیارها و واحدهای مقایسه، ساختن و تعیین کردن شاخص برای مقایسه، یافتن و تشخیص محدودیت‌های موجود در اجرای برنامه‌ها و در نهایت سازماندهی کردن برنامه‌های آینده است (Wegman and Oppe, 2010). شاخص‌های عملکردی ایمنی راه، معیارهایی هستند که با تعداد تصادف یا عواقب آسیب‌های وارده در یک تصادف ارتباط دارند (به عنوان مثال میزان استفاده از کمربند ایمنی) که به سرعت در حال توسعه بوده و در دهه‌های اخیر در سطح گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است (Bao et al., 2012). محققان بر این باورند که مقایسه و بررسی عملکرد ایمنی راه تنها با احتساب تعداد تلفات و سوانح جاده‌ای کمکی به شناخت اصولی مشکل ایمنی راه و رفع آن نخواهد کرد، بنابراین به استفاده از شاخص‌های عملکردی ایمنی راه روی آوردند (Hermans et al., 2008). کشورها را می‌توان در هر شاخص به صورت جداگانه از دیدگاه‌های مختلف مقایسه کرد. با این

۳- داده‌ها و روش تحقیق

در سال ۲۰۱۰ مجمع عمومی سازمان ملل متحد قطعنامه‌ای را در واکنش به روند رو به رشد تلفات جاده‌ای تصویب کرد که در آن سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ به عنوان دهه اقدام برای ایمنی راه با هدف تثبیت و سپس کاهش تلفات جاده‌ای در سراسر جهان در نظر گرفته شد. بر اساس این قطع‌نامه در قوانین ملی و محلی دولت‌ها، کشورها تشویق می‌شوند که اقداماتشان را بر اساس پنج رکن مدیریت ایمنی راه، راه‌ها و تحرک ایمن‌تر، وسایل نقلیه ایمن، کاربران راه ایمن و پاسخ‌دهی پس از سانحه انجام دهند. هر کدام از این ارکان شامل مجموعه‌ای از شاخص‌ها است که آنها را به عنوان شاخص‌های عملکرد ایمنی راه در این پژوهش در نظر می‌گیریم. این پنج رکن به همراه شاخص‌های زیرمجموعه و تعریف مقادیر آن در جدول (۱) نشان داده شده است (WHO, 2015). انتخاب کشورها در این مطالعه بر این مبنا انجام شده است که بتوانیم شاخص‌های الگو را به عنوان هدف برای ایران در نظر بگیریم، به طوری که دیدگاه‌ها، برنامه‌ها و اقدامات کشور هدف بتواند برای ایران قابل اجرا و عملی باشد. برای انجام این کار کشورهایی انتخاب شدند که در شرایط مشابه دارای سطح بالاتری نسبت به ایران باشند. بدین ترتیب کشورها به سه دسته تقسیم می‌شوند (Behnood, 2018):

- اقتصادهای نوظهور، شامل کشورهایی که به عنوان عضو BRICS شناخته شده‌اند شامل برزیل، فدراسیون روسیه، هندوستان، چین و آفریقای جنوبی؛
- کشورهای در حال توسعه که سیستم مدیریت ایمنی راه در آنها بر اساس دستورالعمل‌های تسهیلات جهانی امنیتی راه (GRSF)^{۱۳} سازماندهی شده است (Bliss and Breen, 2013; Bliss and Raffo, 2013) شامل آرژانتین، مالزی و لهستان؛
- شش کشوری که از لحاظ شاخص توسعه انسانی (World Bank Group, 2015)، بلافاصله در رده‌های بالاتر از ایران قرار دارند شامل مکزیک، قزاقستان، ترکیه، لبنان، عمان و رومانی. کشورهای توسعه یافته در این مطالعه مدنظر نیستند. دسته‌بندی کردن کشورها موضوعی مهم است، چرا که این امر بایستی بیان‌کننده شباهت بین کشورهای مورد مطالعه باشد. در حقیقت وضعیت اقتصادی را می‌توان به عنوان یک مبنای ثابت برای تعیین معیارهایی در نظر گرفت که از طریق آن می‌توانیم به اهداف بلندپروازانه، اما دست‌یافتنی و قابل اجرا در یک کشور دست یابیم. جایگزینی کشورهای توسعه یافته با کشورهای در حال توسعه، نتایج گمراه‌کننده‌ای را برای ایران به دنبال خواهد داشت، به دلیل این که دارای پایه‌های اقتصادی مشابهی نیستند و در نظر

رایج برای ساخت شاخص ترکیبی وجود دارد، یکی روش وزن‌دهی ساده (SAW)^۹ و دیگری روش وزن حاصل (WP)^{۱۱} (Nardo et al., 2005) که پژوهشگران زیادی از این دو روش استفاده کرده‌اند (Al Haji, 2005; Zhou et al., 2006; Hermans et al., 2008; Wegman et al., 2008a). به جز روش‌های ذکر شده برای ایجاد شاخص‌های ترکیبی، روش‌های دیگری نیز وجود دارند، مانند انواع مختلف عملگرها که هدف اصلی از ساخت آنها کاربردشان در مقایسه و رتبه‌بندی عملکرد کشورها است (Nardo et al., 2005). یکی از این عملگرهای مختلف، روش میانگین‌گیری وزنی مرتب شده (OWA)^{۱۱} است که توسط یاجر (Yager, 1988) معرفی و در ساخت شاخص ترکیبی برای ایمنی راه نیز استفاده شده است (Hermans et al., 2010). یکی دیگر از روش‌های شناخته شده در MCDM روش TOPSIS^{۱۲} است که توسط هوانگ و یون (Hwang and Yoon, 1981) معرفی شده و به معنای اولویت‌بندی بر اساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل است. از این رو برای ساختن شاخص ترکیبی مناسب برای ارزیابی عملکرد ایمنی راه و اولویت‌بندی و مقایسه استفاده می‌شود. به عنوان مثال، بائو و همکاران (Bao et al., 2012) و چن و همکاران (Chen et al., 2015) این روش را در مطالعات خود به کار گرفته و از آن برای ساخت شاخص ترکیبی و ارزیابی ایمنی راه استفاده کردند. در نهایت، در پژوهشی که توسط روسیک و همکاران (Rosic et al., 2017) صورت گرفت، از مقدار کارایی به دست آمده از شاخص‌های ترکیبی به دست آمده با استفاده از مدل‌های مختلف DEA و TOPSIS، برای ارائه مدل PROMETHEE-RS به منظور انتخاب روش مطلوب برای شاخص‌های ترکیبی استفاده کردند. برای مسائل مختلف از روش‌های چند معیاره گوناگونی استفاده می‌شود، انتخاب نوع روش چند معیاره با توجه به موضوع مورد نظر، امری دقیق و مهم است، که بایستی برای آن عوامل مختلفی را در نظر گرفت و بررسی کرد. در این مطالعه، زیرمجموعه‌ای از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)^{۱۳} به نام روش‌های فرارته‌ای^{۱۴} شامل دو روش پرمته (PROMETHEE)^{۱۵} و الکت্রে (ELECTRE)^{۱۶} به منظور ارزیابی عملکرد ایمنی راه به کار گرفته شده است. مفهوم فرارته‌ای اولین بار توسط روی (Roy, 1968) مطرح شد. وینکه (Vincke, 1992) و فیگوئرا (Figueira, 2004) در تحقیقات خود، دو روش پرمته و الکت্রে را به عنوان مهم‌ترین و کاربردی‌ترین روش‌های فرارته‌ای معرفی کردند. مزیت و برتری هر یک از این دو روش نسبت به سایر روش‌ها در بخش داده‌ها و روش تحقیق آورده شده است. در این روش‌ها، روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)^{۱۷} (Saaty, 1980)، برای به دست آوردن وزن (اهمیت) شاخص‌ها به کار گرفته شده است که این اوزان به دست آمده به عنوان وزن ورودی در این مدل استفاده می‌شود.

میرشال (Brans and Mareschal, 1994) خلاصه‌ای از روش پرومته را برای انجام رتبه‌بندی ارائه کردند. در مقایسه با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، فهم و کاربرد این روش به مراتب آسان‌تر است. این روش در جایی که باید گزینه‌های بی‌شماری بر اساس چند معیار کمی و کیفی و اغلب متناقض ارزیابی شود، سازگار و کارا است (Albadvi et al., 2007). امتیاز a_{ij} در این روش نیازی ندارد که به طور قطع نرمال‌سازی شده و یا به درون مقیاسی بدون بعد انتقال یابد. تصور تنها بر این است که هر چه میانگین ارزش بیشتر باشد، عملکرد بهتر خواهد بود. به‌کارگیری روش پرومته مستلزم در اختیار داشتن اطلاعاتی درباره اهمیت (وزن) نسبی معیارها و تابع ترجیح تصمیم‌گیرندگان است. در این روش، از توابع ترجیحی مختلفی برای مقایسه سهم گزینه‌ها در هر شاخص استفاده می‌شود (Macharis et al., 2004). این اطلاعات اضافی که شامل اطلاعات بین معیارها (درباره اهمیت نسبی معیارها در مقایسه با یکدیگر یا وزن معیارها) و اطلاعات درون هر معیار (نشان دهنده ترجیح تصمیم‌گیرنده یا تابع ترجیح) می‌باشد توسط تصمیم‌گیرنده به مدل تزریق می‌شود (Brans and Mareschal, 2005). بدین منظور، تابع ترجیحی $P_i(A_j, A_k)$ تعریف شده است که سبب ارائه درجه ارجحیت گزینه A_j نسبت به گزینه A_k برای معیار C_i می‌گردد. این درجه معمولاً در یک شکل نرمال شده در نظر گرفته می‌شود، بنابراین: $0 \leq P_i(A_j, A_k) \leq 1$ و در این معادله:

$$P_i(A_j, A_k) = 0 \text{ هیچ تفاوت و یا ارجحیتی وجود ندارد؛}$$

$$P_i(A_j, A_k) \approx 0 \text{ ارجحیت ضعیف است؛}$$

$$P_i(A_j, A_k) \approx 1 \text{ ارجحیت قوی است؛ و}$$

$$P_i(A_j, A_k) = 1 \text{ ارجحیت کامل است.}$$

به عبارت دیگر، اساس روش پرومته مقایسات زوجی است که تفاوت عددی بین گزینه‌ها در هر یک از معیارها را مورد توجه قرار می‌دهد، بدین صورت که تصمیم‌گیرنده برای تفاوت‌های کوچک، ترجیح کوچکی به گزینه بهتر اختصاص می‌دهد. اگر تفاوت جزئی باشد، دو گزینه را از نظر آن معیار مساوی فرض می‌کند و اگر تفاوت‌ها بزرگ باشد، ترجیح و نمره بزرگ‌تری به گزینه بهتر اختصاص می‌دهد و دامنه نمره‌های ترجیح بین صفر تا یک قرار دارد. یک مجموعه از شش تابع ارجحیت معمولی توسط برانس و وینکه (Brans and Vincke, 1985) و برانس و (Brans et al., 1986) پیشنهاد شده است. انتخاب درست این تابع به تصمیم‌گیرندگان و تحلیل‌گر و درک آنها از رابطه میان گزینه‌ها و شاخص‌ها بستگی دارد (Behzadian et al., 2010).

گرفتن آنها به عنوان هدف، دست نیافتنی و غیرقابل اجرا خواهد بود (Behnood, 2018). در انجام این پژوهش از دو مجموعه داده استفاده شده است. گروه اول، داده‌های مربوط به شاخص‌های پنج رکن معرفی شده توسط سازمان ملل متحد است که توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2015) منتشر شده است. در این گزارش اطلاعات مربوط به شاخص‌های گفته شده برای کشورهای مختلف آورده شده است. به منظور تبدیل آنها به مقادیر کمی و مقایسه‌پذیر بودنشان برای ارزیابی عملکرد ایمنی راه، این شاخص‌ها در جدول (۱) خلاصه شده است. در نهایت، جدولی مطابق جدول (۲) تنظیم شد که داده‌های اولیه برای ایران و ۱۴ کشور مورد مطالعه را برای انجام پژوهش نشان می‌دهد.

گروه دوم، داده‌هایی است که با استفاده از پرسشنامه مقایسه زوجی توسط گروهی از متخصصان و کارشناسان حوزه ایمنی راه به منظور تعیین وزن معیارها به دست می‌آید. برای به دست آوردن یک شاخص ترکیبی نیاز است که تصمیم‌گیری با تخصیص دادن وزن به شاخص‌های تکی صورت گیرد (Nardo et al., 2005). روش‌های مختلفی برای وزن‌دهی روی معیارها وجود دارد. هر کدام از روش‌های وزن‌دهی دارای مجموعه‌ای از مزایا و معایب هستند، به نحوی که می‌توان گفت هیچ یک از این روش‌ها بدون عیب نیست (Frederik, 2002). در پژوهش‌های انجام شده با استفاده از روش‌های وزن‌دهی، اغلب از داده‌های موجود استفاده شده است، در صورتی که نیاز است روشی را به کار گرفت که بتوان تاثیر نظرات افراد متخصص و کارشناس را نیز در آن دید. در این پژوهش از نظرات هشت متخصص و کارشناس که با مفاهیم برنامه جهانی و ارکان ایمنی راه آشنایی کافی داشتند، در فرایند تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین وزن معیارها در فرایندهای پرومته و الکترو استفاده شده است. مزیت دیگر انتخاب روش AHP برای تعیین وزن معیارها، توانایی ادغام این روش با سایر روش‌های تصمیم‌گیری است که در این تحقیق به این ویژگی نیاز است. این روش قادر است که درجه ناسازگاری را اندازه‌گیری کند که نشان‌دهنده مقدار ناسازگاری در مقادیر اعلام شده در ماتریس تصمیم است. در ادامه، متدولوژی انجام کار شرح داده شده و عملکرد ایمنی راه در هریک از کشورهای مورد مطالعه با ترکیب ۱۹ شاخص به یک شاخص ترکیبی ارزیابی و رتبه‌بندی بر اساس روش پرومته و الکترو انجام خواهد شد.

۳-۱- روش پرومته

نقطه آغاز روش پرومته برگرفته از تحقیقات برانس و وینکه (Brans and Vincke, 1985) و برانس و همکارانش (Brans et al., 1986) بوده است. به دنبال آن برانس و

جدول ۱. پنج رکن ایمنی راه به همراه شاخص‌های زیرمجموعه و تعریف مقادیر آن (Behnood, 2018)

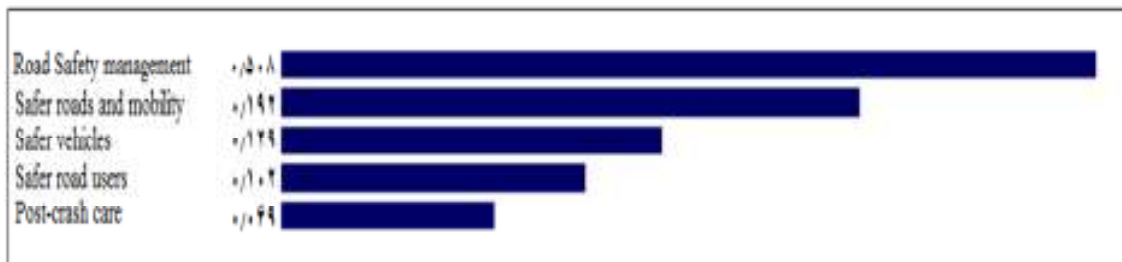
| نماد | مقدار | شاخص عملکردی (زیرمعیار) | | رکن ایمنی راه (معیار) |
|--------------------------------|---|--|-------------------------------------|---|
| lead agency | ۰,۵ در صورت وجود یکی از موارد ۱ در صورت وجود هر دو مورد ۰ در غیر اینصورت | نهاد راهبر | نهاد راهبر | مدیریت ایمنی راه (Road Safety management) |
| | | | تامین بودجه نهاد راهبر | |
| management functions | ۰,۳ در صورت وجود یکی از موارد ۰,۷ در صورت وجود هر دو مورد ۱ در صورت وجود هر سه مورد ۰ در غیر اینصورت | وظایف مدیریت سازمانی | هماهنگی | |
| | | | قانون | |
| | | | نظارت و ارزیابی | |
| formal audit | ۱ در صورت وجود در غیر اینصورت بخشی از کشور = ۰,۵ کل کشور = ۱ | بازرسی رسمی برای پروژه‌های جدید | | راه ها و تحرک ایمن تر (Safer roads and mobility) |
| regular inspection | | بازرسی‌های دوره‌ای منظم از مسیرهای جاده‌ای | | |
| walking& cycling | | ترویج پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری | | |
| public transport | | ترویج سرمایه‌گذاری در حمل‌ونقل عمومی | | |
| vulnerable road users | | جداسازی کاربران آسیب‌پذیر راه از ترافیک پرسرعت | | |
| seat-belt | ۰,۵ در صورت وجود یکی از موارد ۱ در صورت وجود هر دو مورد در غیر اینصورت | کمربند ایمنی | کمربند ایمنی | وسایل نقلیه ایمن (Safer vehicles) |
| frontal and side impact | | | اثر برخورد از جلو و کنار | |
| | | ضربه مقابل ضربه جانبی | | |
| electronic stability | ۱ در صورت وجود در غیر اینصورت | پایداری الکترونیک | | |
| pedestrian protection | | محافظت از عابر پیاده | | |
| Child seats | | صندلی کودک | | |
| Speed | N*۰,۱ (میزان اثربخشی: مقیاس مورد استفاده در منبع N۱۰-۰) | سرعت | | کاربران راه ایمن (Safer road users) |
| drink driving | | رانندگی تحت اثر الکل | | |
| Helmet | | کلاه ایمنی | | |
| seat belt | | کمربند ایمنی | | |
| child restraint | | صندلی کودک | | |
| Training in emergency medicine | ۰,۵ در صورت وجود یکی از موارد ۱ در صورت وجود هر دو مورد در غیر اینصورت | آموزش طب اورژانس | آموزش فوریت‌های پزشکی برای پزشکان | پاسخ‌دهی پس از سانحه (Post-crash care) |
| | | | آموزش فوریت‌های پزشکی برای پرستاران | |
| injury surveillance system | ۱ در صورت وجود در غیر اینصورت | سیستم مراقبت از مصدومین | | |

جدول ۲. اطلاعات مربوط به عملکرد و اقدامات ایمنی پیاده شده در ایران و بعضی از کشورهای درحال توسعه در هر رکن ایمنی راه

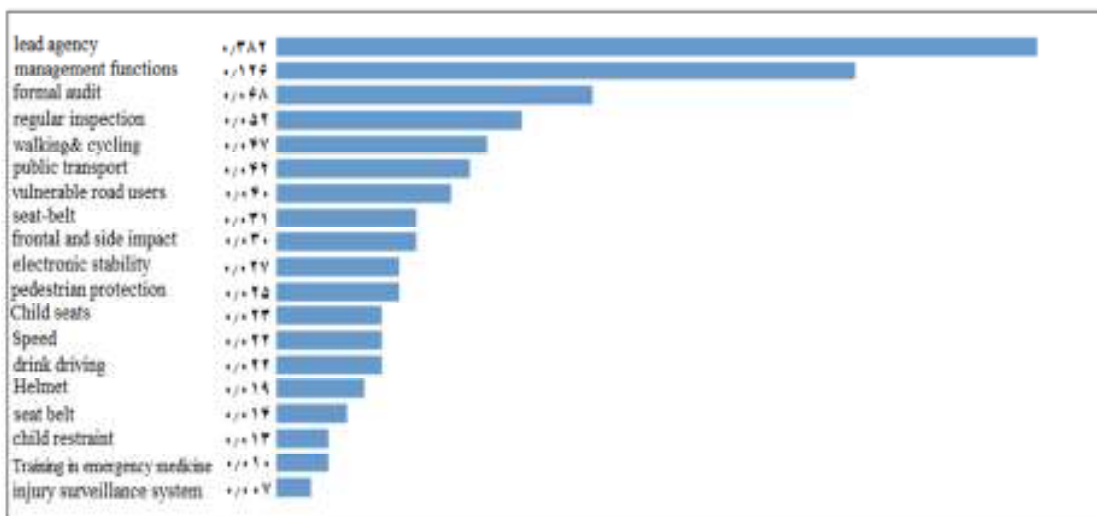
(Behnood, 2018)

| کشورهای منطقه تعداد گشته به ازای ۱۰۰ مزار جمعیت | ایران | بразیل | روسیه | هندوستان | چین | آفریقای جنوبی | آرژانتین | مالزی | لهستان | مکزیک | مدیریت ایمنی راه | | راهها و تحرک ایمن تر | | وسیله نقلیه ایمن | | کاربران راه ایمن | | مراقبت بعد از سانحه | |
|---|-------|--------|-------|----------|------|---------------|----------|-------|--------|-------|------------------|----------------------|----------------------|-------------------|--------------------------------------|-----------------------|------------------|--------------------------|---------------------|------------------|
| | | | | | | | | | | | تجهاد راهبر | وظایف مدیریت سازمانی | بازرسی رسمی | بازرسیهای دوره‌ای | عابر پیاده و دوچرخه سواران حمل و نقل | کاربران آسیب پذیر راه | کمربند ایمنی | اثر برخورد از خطه و کنار | | پایداری الکتریکی |
| ۳۳/۱ | ۳۳/۱ | ۳۳/۶ | ۱۸/۹ | ۱۶/۶ | ۱۸/۸ | ۲۵/۴ | ۱۳/۶ | ۲۴ | ۱۰/۳ | ۱۲/۳ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ |
| ۰/۵ | ۰/۵ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۰/۷ | ۱/۰ | ۰/۵ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۰ | ۰/۵ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ |
| ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۰/۷ | ۱/۰ | ۰/۵ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ |
| ۰ | ۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۰/۵ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ |
| ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۰/۵ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ |
| ۰/۵ | ۰/۵ | ۱/۰ | ۰/۵ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۰/۵ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ |
| ۰ | ۰ | ۱/۰ | ۰/۵ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۰/۵ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ |
| ۰ | ۰ | ۱/۰ | ۰/۵ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۰/۵ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ |
| ۰/۷ | ۰/۷ | ۰/۸ | ۰/۸ | ۰/۳ | ۰/۸ | ۰/۳ | ۰/۷ | ۰/۶ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ |
| ۰/۸ | ۰/۸ | ۰/۸ | ۰/۶ | ۰/۴ | ۰/۹ | ۰/۴ | ۰/۶ | ۰/۵ | ۰/۸ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۸ | ۰/۵ | ۰/۸ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ |
| ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۶ | ۰/۶ | ۰/۴ | ۰/۶ | ۰/۵ | ۰/۶ | ۰/۵ | ۰/۹ | ۰/۶ | ۰/۶ | ۰/۵ | ۰/۹ | ۰/۶ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ |
| ۰/۷ | ۰/۷ | ۰/۷ | ۰/۷ | ۰/۴ | ۰/۸ | ۰/۳ | ۰/۶ | ۰/۴ | ۰/۷ | ۰/۷ | ۰/۷ | ۰/۴ | ۰/۷ | ۰/۷ | ۰/۷ | ۰/۷ | ۰/۷ | ۰/۷ | ۰/۷ | ۰/۷ |
| ۰ | ۰ | ۰/۶ | ۰/۶ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۸ | ۰/۴ | ۰/۴ | ۰ | ۰/۸ | ۰/۴ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۴ |
| ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۰/۵ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ |

| فراوانی | ۲۵/۴ | ۲۲/۶ | ۸/۹ | ۲۴/۳ |
|---------|------|------|-----|------|
| رومانی | ۰/۵ | ۱/۰ | ۰/۵ | ۱/۰ |
| صمان | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ |
| زبان | ۰ | ۱/۰ | ۰ | ۰ |
| ترکیه | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ |
| فراوانی | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۰ |



شکل ۱. نمودار اهمیت (وزن) شاخص‌ها



شکل ۲. نمودار اهمیت (وزن) زیرشاخص‌ها

گزینه‌ها به وجود می‌آید (Kiker et al., 2005). تمام مراحل این روش بر مبنای یک مجموعه هماهنگ و یک مجموعه ناهماهنگ پایه‌ریزی می‌شود و به همین دلیل به آنالیز هماهنگی معروف است (Asgharpoor, 2014). یکی از مزیت‌های مهم استفاده از روش‌های فرارته‌ای (مانند روش الکترون) این است که آنها قادر هستند مقیاس‌های صرفاً اصلی^{۱۴} را در نظر بگیرند، بدون این که نیاز باشد مقیاس‌های اصلی به انتزاعی با محدوده تحمیل دلخواه تبدیل شود. بنابراین ذات اصلی معنای کلامی حفظ می‌شود. مزیت دوم این است که آستانه‌های بی‌تفاوتی و ترجیح می‌تواند در مدل‌سازی هنگامی که اطلاعات ناقصی در مورد داده‌ها داریم، در نظر گرفته شود که این مورد در روش‌های پیشین غیرممکن بود (Figueira et al., 2009). در فرایند الکترون ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری A که شامل امتیاز گزینه‌ها نسبت به هر یک از معیارها است در نظر گرفته می‌شود، به صورتی که x_{ij} نشان دهنده امتیاز گزینه A_i نسبت به معیار C_j است. توجه شود که معیارها ممکن است منفی یا مثبت باشند. گام‌های این فرایند به شرح زیر است:

گام اول: بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری.

گام دوم: محاسبه ماتریس وزین.

$$V = [v_{ij}]_{m \times n}; v_{ij} = w_j \cdot r_{ij}; \forall i, j \quad (4)$$

گام سوم: تشکیل مجموعه‌های موافق و مخالف. اگر معیار مثبت باشد:

$$S_{k,l} = \{j | v_{kj} \geq v_{lj}\}; j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

اگر معیار منفی باشد:

$$S_{k,l} = \{j | v_{kj} \leq v_{lj}\}; j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

در واقع، $S_{k,l}$ مجموعه‌ای از معیارها است که در آن گزینه k نسبت به گزینه l بهتر است و این مجموعه برای تمام گزینه‌ها باید تشکیل شود.

برای تشکیل مجموعه مخالف داریم:

اگر معیار مثبت باشد:

یک شاخص ارجحیت چندمعیاره $\pi(A_j, A_k)$ از A_j بر A_k می‌تواند با در نظر گرفتن همه معیارها به صورت زیر تعریف شود:

$$\pi(A_j, A_k) = \sum_{i=1}^m W_i P_i(A_j, A_k) \quad (1)$$

این شاخص، ارزش‌هایی بین صفر و یک را در بر دارد که شدت کلی ارجحیت بین دو گزینه را مطرح می‌کند. به منظور رتبه‌بندی گزینه‌ها، جریان‌های زیر تعریف می‌گردد:

جریان رتبه‌بندی مثبت:

$$\varphi^+(A_j) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n \pi(A_j, A_k) \quad (2)$$

جریان رتبه‌بندی منفی:

$$\varphi^-(A_j) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n \pi(A_k, A_j) \quad (3)$$

جریان رتبه‌بندی مثبت بیان می‌کند که هر گزینه تا چه اندازه سایر گزینه‌ها را مورد رتبه‌بندی قرار می‌دهد (بر آنها غلبه دارد). هر چه میزان $\varphi^+(A_j)$ بیشتر باشد، گزینه مورد نظر بهتر خواهد بود. مقدار $\varphi^+(A_j)$ نشان دهنده قدرت A_j از نظر ویژگی رتبه‌بندی است. جریان رتبه‌بندی منفی بیان می‌کند که هر گزینه تا چه حد توسط سایر گزینه‌ها مورد رتبه‌بندی قرار می‌گیرد (مغلوب است). هرچه میزان $\varphi^-(A_j)$ برای گزینه مورد نظر کمتر باشد، بهتر است. مقدار $\varphi^-(A_j)$ بیان کننده ضعف قدرت رتبه‌بندی A_j است.

۳-۲- روش الکترون

روش الکترون بر مبنای مقایسه یک جفت گزینه قرار دارد. در واقع این روش، تطابق‌ها و عدم تطابق‌ها را برای هر جفت گزینه بررسی می‌کند (Keeney and Raiffa, 1976). این روش همچنین از طریق گراف‌ها به تعریف ارتباط بین دو گزینه می‌پردازد. در نهایت، در این روش بیان می‌شود که آیا ارتباط بین این دو گزینه مورد بررسی ضعیف و یا قوی است. بر اساس این اطلاعات، نوعی رتبه‌بندی برای این

این صورت درایه متناظر با آن زوج گزینه در ماتریس تسلط نهایی، نماد SF نوشته می‌شود.
 اگر $I(k,l) \geq I(l,k)$ و $(NI)(k,l) \leq (NI)(l,k)$ باشد، گزینه k بر گزینه l به صورت ضعیف مسلط است، در این صورت درایه متناظر با آن زوج گزینه در ماتریس تسلط نهایی، نماد sf نوشته می‌شود.
 در موارد فوق، $I(k,l)$ و $(NI)(k,l)$ به ترتیب درایه متناظر با گزینه k و l در ماتریس هماهنگ و ماتریس ناهماهنگ هستند.

گام هفتم: رتبه بندی نهایی؛

هرچه در سطرهای ماتریس تسلط نهایی، نمادهای SF و sf بیشتری باشد، آن گزینه از تسلط بیشتری برخوردار است و هر چه در ستون‌های آن، نمادهای SF و sf بیشتری باشد، آن گزینه بیشتر مغلوب شده است. اختلاف بین این دو (که با A نشان می‌دهیم)، جواب نهایی را مشخص می‌کند و سپس با توجه به این که گزینه‌ای که بیشترین مقدار را به خود بگیرد بهترین گزینه معرفی می‌شود و رتبه‌بندی میان گزینه‌ها صورت می‌گیرد.

۴- نتایج

نتایج اوزان (اهمیت) هر یک از شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها که با استفاده از روش AHP به دست آمد، در شکل‌های (۱) و (۲) در قالب نمودار نشان داده شده است. سپس ۱۵ کشور با ترکیب ۱۹ شاخص (زیرشاخص) توسط روش پرمته و الکترون رتبه‌بندی شده‌اند. با استفاده از روش پرمته یک نمره کل (نمره O) برای ۱۵ کشور به دست آمد که کشورها بر اساس این مقدار رتبه‌بندی شدند. نتایج رتبه بندی در جدول (۴) ارائه شده است. بار دیگر با استفاده از روش الکترون، یک نمره کل (نمره A) برای ۱۵ کشور به دست آمد که کشورها مجدداً بر اساس این مقدار نیز رتبه‌بندی شدند. نتایج رتبه‌بندی در جدول (۴) ارائه شده است. در کنار رتبه‌بندی بر اساس روش‌های فوق، رتبه‌بندی با استفاده از رویکرد سنتی از لحاظ تعداد کشته به ازای یکصد هزار نفر جمعیت نیز در جدول (۴) ارائه شده است.

$$D_{k,l} = \{j | v_{kj} < v_{lj}\}; j = 1.2.\dots.n \quad (7)$$

اگر معیار منفی باشد:

$$D_{k,l} = \{j | v_{kj} > v_{lj}\}; j = 1.2.\dots.n \quad (8)$$

گام چهارم: محاسبه ماتریس هماهنگی (I): این ماتریس یک ماتریس $m \times n$ خواهد بود که درایه kl آن عبارت است از مجموع وزن معیارهای مجموعه $S_{k,l}$. درایه‌های این ماتریس به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$I_{kl} = \sum_{j \in S_{k,l}} w_j \quad (9)$$

که در آن w_j نشان دهنده اهمیت معیار j ام است $(\sum_{j=1}^n w_j = 1)$
 گام پنجم: محاسبه ماتریس ناهماهنگی (NI): این ماتریس نظیر ماتریس I یک ماتریس $m \times n$ خواهد بود که درایه‌های آن به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$NI_{k,l} = \frac{\max\{v_{kj} - v_{lj} | j \in D_{k,l}\}}{\max\{v_{kj} - v_{lj} | j \in J\}} \quad (10)$$

گام ششم: تشکیل ماتریس تسلط نهایی؛ در این گام ابتدا تعریف چهار پارامتر به شرح جدول (۳) به منظور ایجاد آستانه برای تعیین رتبه‌بندی ضمنی قوی و ضعیف ارائه می‌شود.

جدول ۳. آستانه های تعیین رتبه بندی ضمنی قوی و ضعیف

| نماد | پارامترها |
|----------|------------------------------|
| I^* | آستانه موافقت برای تسلط قوی |
| $(NI)^*$ | آستانه مخالفت برای تسلط قوی |
| I^- | آستانه موافقت برای تسلط ضعیف |
| $(NI)^-$ | آستانه مخالفت برای تسلط ضعیف |

مقادیر این پارامترها برای هر مساله توسط کارشناسان مربوطه با توجه به برقراری شرایط $0 < I^- < I^* < 1$ و $0 < (NI)^- < (NI)^* < 1$ تعیین می‌گردد. ماتریس تسلط نهایی به شرح زیر تکمیل می‌شود:

$$- \text{ اگر } I(k,l) \geq I^* \text{ و } (NI)(k,l) \leq (NI)^* \text{ و } I(l,k) \geq I^* \text{ و } (NI)(l,k) \leq (NI)^* \text{ باشد، گزینه } k \text{ بر گزینه } l \text{ به صورت قوی مسلط است، در}$$

جدول ۴. رتبه‌بندی کشورها با روش پرومته، الکترو و بر اساس شاخص کشته به یکصد هزار جمعیت

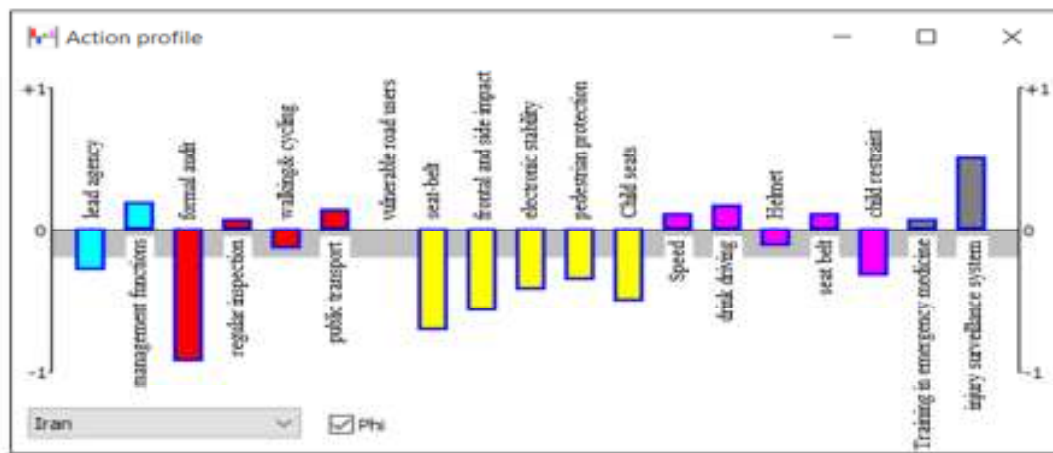
| کشور | روش پرومته | | روش الکترو | | شاخص تلفات | |
|---------------|------------|-------------|------------|------|------------|--------------------------------------|
| | رتبه‌بندی | \emptyset | رتبه‌بندی | A | رتبه‌بندی | تعداد کشته به ازای ۱۰۰,۰۰۰ نفر جمعیت |
| لهستان | ۱ | +۰,۲۲۶۱ | ۲ | +۱۰ | ۳ | ۱۰,۳ |
| روسیه | ۲ | +۰,۲۱۲۵ | ۱ | +۱۳ | ۸ | ۱۸,۹ |
| برزیل | ۳ | +۰,۱۹۱۴ | ۳ | +۷ | ۱۰ | ۲۳,۶ |
| مالزی | ۴ | +۰,۱۶۴۹ | ۵,۵ | +۵ | ۱۱ | ۲۴ |
| ترکیه | ۵ | +۰,۱۴۹۵ | ۴ | +۶ | ۲ | ۸,۹ |
| چین | ۶ | +۰,۱۲۵۲ | ۹ | -۱ | ۷ | ۱۸,۸ |
| قزاقستان | ۷ | +۰,۱۱۴۹ | ۵,۵ | +۵ | ۱۲ | ۲۴,۲ |
| عمان | ۸ | +۰,۱۰۴۰ | ۸ | +۱ | ۱۳,۵ | ۲۵,۴ |
| آفریقای جنوبی | ۹ | +۰,۱۰۳۷ | ۷ | +۳,۵ | ۱۳,۵ | ۲۵,۴ |
| هند | ۱۰ | +۰,۰۲۶۸ | ۱۰ | -۲,۵ | ۶ | ۱۶,۶ |
| رومانی | ۱۱ | -۰,۰۳۰۰ | ۱۲ | -۷,۵ | ۱ | ۸,۷ |
| آرژانتین | ۱۲ | -۰,۰۵۶۹ | ۱۱ | -۵,۵ | ۵ | ۱۳,۶ |
| ایران | ۱۳ | -۰,۱۹۵۴ | ۱۳ | -۹ | ۱۵ | ۳۲,۱ |
| لبنان | ۱۴ | -۰,۰۶۳۲ | ۱۴ | -۱۲ | ۹ | ۲۲,۶ |
| مکزیک | ۱۵ | -۰,۰۷۳۴ | ۱۵ | -۱۳ | ۴ | ۱۲,۳ |

این نتایج تصویر وسیعی از عملکرد ایمنی راه کشورها را فراهم می‌نماید و به کشورها کمک می‌کند تا دستاوردهای ایمنی راه خود را در مقایسه با سایر کشورها ارزیابی کنند. مشاهده می‌شود که کشورهای لهستان، روسیه و برزیل سه کشوری هستند که به ترتیب بهترین عملکرد را بر اساس روش پرومته داشته و دارای کمترین ریسک ایمنی راه می‌باشند، زیرا نمره مطلوب \emptyset را در مدل به خود اختصاص داده‌اند. در حالی که سه کشور ایران، لبنان و مکزیک بدترین عملکرد را داشته و این کشورها دارای مخاطرات ایمنی راه بیشتری هستند. به عبارت دیگر، هنوز هم فضای زیادی برای این کشورها برای بهبود عملکرد ایمنی راه آنها وجود دارد. بر اساس روش الکترو کشورهای روسیه، لهستان و برزیل دارای بهترین عملکرد هستند، زیرا آنها نمره A مطلوب را در مدل به خود اختصاص دادند و کشورهای ایران، لبنان و مکزیک دارای بدترین عملکرد می‌باشند. کشور ایران جایگاه سیزدهم را با هر دو روش پرومته و الکترو در بین پانزده کشور به خود اختصاص داد که نشان دهنده وضعیت نامناسب ایمنی راه در ایران است. به منظور انجام مقایسه کمی و ارائه بینش روشنی در رابطه بین سه دسته رتبه‌بندی، از تحلیل همبستگی

اسپیرمن استفاده شده است که نتایج در جدول (۵) نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده برای این سه متغیر می‌توان دید که رابطه معناداری بین عملکرد کشورها در روش پرومته و نرخ تلفات و همچنین عملکرد کشورها در روش الکترو و نرخ تلفات وجود ندارد و تعریف نشده است، زیرا سطح معناداری برای آنها بیشتر از ۰,۰۵ به دست آمده است. بنابراین، بررسی شدت و جهت رابطه نیز بی‌معنی خواهد بود. این نتایج نشان می‌دهد که شاخص تلفات به تنهایی بیان‌کننده وضعیت درست عملکرد ایمنی راه در کشورها نیست و لزوم به‌کارگیری شاخص‌های ترکیبی را بیان می‌کند. اما بین رتبه‌بندی حاصل از روش پرومته و رتبه‌بندی حاصل از روش الکترو رابطه معناداری وجود دارد و میزان معناداری ۰,۰۰۰۱۵ است که کمتر از ۰,۰۵ است. بنابراین، می‌توان میزان همبستگی و جهت آن را مورد بررسی قرار داد. میزان همبستگی ۰,۹۶۰ به دست آمده است که این عدد به ۱ بسیار نزدیک است و نشان دهنده رابطه قوی بین دو متغیر و یکی بودن نتایج رتبه‌بندی دو روش است. در برخی از کشورها می‌توان گفت که کشوری که دارای رتبه‌بندی بهتری از نظر عملکردی است، نرخ تلفات کمتری هم دارد. اما در

ترکیبی مشاهده شد که نتایج کاملاً با یکدیگر متفاوت اند. محققان نیز بر این باورند که مقایسه و بررسی عملکرد ایمنی راه، تنها با احتساب تعداد تلفات و تصادفات جاده‌ای کمکی به شناخت اصولی مشکل ایمنی و رفع آن نخواهد کرد. بنابراین، استفاده از شاخص‌های عملکردی در ایمنی راه ضروری است. با استفاده از نمودارهای ارایه شده برای هر کشور می‌توان فهمید و نشان داد که هر یک از آنها در کدام یک از ارکان و شاخص‌ها عملکرد ضعیفی داشته و بایستی در برطرف کردن نقاط ضعف خود بکوشند و یا در چه ارکان و شاخص‌هایی قوی هستند و بایستی آنها را همچنان تقویت کنند. به طور نمونه در اینجا وضعیت کشور ایران بررسی می‌شود که در شکل (۳) نشان داده شده است.

برخی موارد نیز مشاهده می‌شود که کشوری که دارای بدترین عملکرد است، لزوماً نرخ کشته‌های زیادی ندارد. در برخی موارد نیز مشاهده می‌شود کشوری که دارای رتبه‌بندی خوبی از نظر عملکردی است، نرخ تلفات زیادی را به خود اختصاص داده است. در نهایت، می‌توان گفت نرخ تلفات جاده‌ای به عوامل مختلف و متعددی مربوط است که ما تنها تعدادی از این عوامل را که مربوط به ارکان ایمنی راه هستند، در نظر گرفته‌ایم در صورتی که عوامل مختلف سیاسی، اقتصادی، اجتماعی، شرایط فرهنگی و... می‌توانند بر روی نرخ تلفات تاثیر گذار باشند و نمی‌توان از نرخ تلفات به منظور رتبه‌بندی کشورها استفاده نمود، زیرا بیان کننده عملکرد کلی هر کشور نیست. با در نظر گرفتن رتبه‌بندی حاصل از نرخ تلفات و رتبه‌بندی حاصل از روش شاخص



شکل ۳. بررسی شاخص‌های عملکردی ایمنی راه در کشور ایران

کودک توسط کاربران، نهاد راهبر، عابر پیاده و دوچرخه سواران و استفاده از کلاه ایمنی توسط کاربران صورت گیرد. از نظر نقاط قوت، بیشترین شاخصی که جلب توجه کرد، سیستم مراقبت از مصدومین در رکن مراقبت بعد از سانحه بود که وضعیت مثبت این شاخص را نسبت به سایر شاخص‌ها نشان می‌دهد. با اعمال نکردن وزن و اهمیتی که کارشناسان برای شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها مشخص کرده بودند، یعنی یکسان در نظر گرفتن تمامی شاخص‌ها، کشور لهستان رتبه اول و بهترین عملکرد و کشور لبنان رتبه ۱۵ و بدترین عملکرد و کشور ایران رتبه ۱۲ را به خود اختصاص دادند و سایر رتبه بندی‌ها همانند جدول (۶) می‌باشد.

همانطور که در شکل (۳) نشان داده شده، ایران در حالت کلی دارای وضعیت عملکردی منفی است ($\Phi = -0.1954$). شاخص‌هایی که زیر خط صفر قرار دارند نشان‌دهنده وضعیت بد آن کشور در آن شاخص‌ها است و عملکرد منفی آن کشور را در شاخص مربوطه نشان می‌دهد. بالعکس، شاخص‌هایی که در بالای خط صفر قرار دارند، عملکرد خوب آن کشور را در آن شاخص بازگو می‌کنند. بیشترین ضعفی که در ایران وجود دارد در رکن مربوط به ایمنی وسایل نقلیه است (در تمامی شاخص‌های مربوطه اعم از کمربند ایمنی، اثر برخورد از جلو و کنار، پایداری الکترونیکی، محافظت از عابر پیاده و صندلی کودک). در نتیجه بیشترین سرمایه‌گذاری بایستی در این بخش و سپس به ترتیب در بخش‌های بازرسی رسمی، استفاده از صندلی

جدول ۶. رتبه‌بندی کشورها بدون اعمال وزن و نظرات کارشناسان

| رتبه | کشور | رتبه | کشور |
|------|---------------|------|----------|
| ۹ | عمان | ۱ | لهستان |
| ۱۰ | آرژانتین | ۲ | روسیه |
| ۱۱ | آفریقای جنوبی | ۳ | رومانی |
| ۱۲ | ایران | ۴ | برزیل |
| ۱۳ | هند | ۵ | مالزی |
| ۱۴ | مکزیک | ۶ | ترکیه |
| ۱۵ | لبنان | ۷ | چین |
| --- | --- | ۸ | قزاقستان |

۴-۱- بررسی استحکام (پایداری)

کشورها با روش پرومته و الکتراه انجام شد. نتایج حاصل از این کار با نتایج قبلی مقایسه شده و در جدول (۷) ارائه شده است.

به منظور بررسی استحکام مدل پرومته و الکتراه، دو مورد از شاخص‌ها (شاخص نهاد راهبر که دارای بیشترین اهمیت و شاخص صندلی کودک که دارای کمترین اهمیت از دید کارشناسان بود) را حذف کرده و مجدد رتبه‌بندی برای

جدول ۷. نتایج استحکام روش پرومته و الکتراه

| روش الکتراه (بدون دو شاخص) | | روش الکتراه (اولیه) | | روش پرومته (بدون دو شاخص) | | روش پرومته (اولیه) | | کشورها |
|-------------------------------|------|---------------------|------|------------------------------|---------|--------------------|---------|---------------|
| رتبه | A | رتبه | A | رتبه | Ø | رتبه | Ø | |
| ۲ | +۱۰ | ۲ | +۱۰ | ۱ | +۰,۲۰۷۷ | ۱ | +۰,۲۲۶۱ | لهستان |
| ۱ | +۱۲ | ۱ | +۱۳ | ۲ | +۰,۱۸۷۹ | ۲ | +۰,۲۱۲۵ | روسیه |
| ۳ | +۷ | ۳ | +۷ | ۳ | +۰,۱۵۳۳ | ۳ | +۰,۱۹۱۴ | برزیل |
| ۵,۵ | +۵ | ۵,۵ | +۵ | ۵ | +۰,۱۱۷۴ | ۴ | +۰,۱۶۴۹ | مالزی |
| ۴ | +۶ | ۴ | +۶ | ۷ | +۰,۰۸۸۴ | ۵ | +۰,۱۴۹۵ | ترکیه |
| ۹ | -۱ | ۹ | -۱ | ۸ | +۰,۰۵۲۳ | ۶ | +۰,۱۲۵۲ | چین |
| ۵,۵ | +۵ | ۵,۵ | +۵ | ۹ | +۰,۰۲۶۹ | ۷ | +۰,۱۱۴۹ | قزاقستان |
| ۸ | +۱ | ۸ | +۱ | ۱۱ | +۰,۰۱۱۵ | ۸ | +۰,۱۰۴۰ | عمان |
| ۷ | +۴ | ۷ | +۳,۵ | ۱۰ | +۰,۰۱۷۲ | ۹ | +۰,۱۰۳۷ | آفریقای جنوبی |
| ۱۰ | -۲,۵ | ۱۰ | -۲,۵ | ۱۲ | -۰,۱۰۸۷ | ۱۰ | +۰,۰۲۶۸ | هند |
| ۱۲ | -۶,۵ | ۱۲ | -۷,۵ | ۴ | +۰,۱۲۴۷ | ۱۱ | -۰,۰۳۰۰ | رومانی |
| ۱۱ | -۵,۵ | ۱۱ | -۵,۵ | ۶ | +۰,۰۸۹۳ | ۱۲ | -۰,۰۵۶۹ | آرژانتین |
| ۱۳ | -۹ | ۱۳ | -۹ | ۱۳ | -۰,۱۳۷۴ | ۱۳ | -۰,۱۹۵۴ | ایران |
| ۱۴ | -۱۲ | ۱۴ | -۱۲ | ۱۴ | -۰,۴۰۴۵ | ۱۴ | -۰,۵۶۳۲ | لبنان |
| ۱۵ | -۱۳ | ۱۵ | -۱۳ | ۱۵ | -۰,۴۲۶۱ | ۱۵ | -۰,۵۷۳۴ | مکزیک |

اندازه ۱۰ درصد مقدار در نظر گرفته شده آنها افزایش و کاهش داده شده و گام‌های تکنیک پرمته و الکترون مجدداً طی می‌شود. پس از تغییر مقادیر و محاسبات صورت گرفته، نتایج اولویت‌بندی کشورها به صورت جدول (۸) خواهد بود.

در روش پرمته تغییری که بیشتر مشاهده شد برای کشور رومانی است که رتبه آن از ۱۱ به ۴ ارتقا پیدا کرد و کشور آرژانتین که از جایگاه ۱۲ به جایگاه ۶ ارتقا یافته است. به جز کشورهای لهستان، روسیه، برزیل، ایران، لبنان و مکزیک، سایر کشورها تغییر رتبه داده‌اند که رتبه بعضی ارتقا و رتبه بعضی دیگر تنزل پیدا کرده است. می‌توان این تغییرات را این طور تفسیر کرد که زمانی که ساختار شاخص تغییر می‌کند، این مدل (روش پرمته) حساس است. اما در روش الکترون تغییری در رتبه‌بندی‌ها مشاهده نمی‌شود و می‌توان گفت که روش الکترون نسبت به تغییرات ساختار شاخص‌ها حساس نیست و یا از حساسیت بسیار کمی برخوردار است.

۴-۲- تحلیل حساسیت

در این قسمت برای تحلیل حساسیت دو رویکرد در نظر گرفته شده است: یکی افزایش وزن (اهمیت) شاخص‌ها و دیگری کاهش آنها. مقادیر هر یک از وزن‌های شاخص‌ها به

جدول ۸. نتایج تحلیل حساسیت روش پرمته

| کشور | روش پرمته | | روش الکترون | |
|---------------|--|---|---|---------------------------------------|
| | رتبه بندی نتایج رتبه- بندی اولیه | رتبه بندی افزایش (۱۰٪) مقادیر وزن‌ها | رتبه بندی کاهش (۱۰٪) مقادیر وزن‌ها | رتبه بندی نتایج رتبه بندی اولیه |
| لهستان | ۱ | ۱ | ۱ | ۲ |
| روسیه | ۲ | ۲ | ۲ | ۱ |
| برزیل | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ |
| مالزی | ۴ | ۴ | ۴ | ۵ |
| ترکیه | ۵ | ۵ | ۵ | ۷ |
| چین | ۶ | ۶ | ۶ | ۸,۵ |
| قزاقستان | ۷ | ۸ | ۷ | ۷ |
| عمان | ۸ | ۹ | ۸ | ۸,۵ |
| آفریقای جنوبی | ۹ | ۷ | ۹ | ۶ |
| هند | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ |
| رومانی | ۱۱ | ۱۱ | ۱۱ | ۱۲ |
| آرژانتین | ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۱ |
| ایران | ۱۳ | ۱۳ | ۱۳ | ۱۳ |
| لبنان | ۱۴ | ۱۴ | ۱۴ | ۱۴ |
| مکزیک | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ |

خود اختصاص داد. همچنین، زیرمعیار نهاد راهبر در رکن مدیریت ایمنی راه بیشترین اهمیت و زیرمعیار صندلی کودک از رکن کاربران ایمن راه کمترین اهمیت را از دید کارشناسان به خود اختصاص داد. در بین ۱۵ کشور مورد بررسی، کشور لهستان رتبه اول و دارای بهترین عملکرد و کشور مکزیک رتبه ۱۵ و بدترین عملکرد را داشت. در این بین، کشور ایران رتبه ۱۳ را به خود اختصاص داد که بیانگر عملکرد بد کشور ایران نسبت به سایر کشورها است. کشورهای آرژانتین، رومانی و هندوستان در رده های بالاتر قرار گرفتند. با توجه به نمودارهای ارائه شده در این تحقیق مشخص شد که کشور ایران در چه شاخص‌هایی دچار ضعف است و در چه شاخص‌هایی قوی است. بیشترین ضعفی که در ایران وجود دارد در رکن مربوط به ایمنی وسایل نقلیه بوده است (در تمامی شاخص‌های مربوطه)، در نتیجه بیشترین سرمایه‌گذاری بایستی در این بخش و سپس به ترتیب در بخش‌های بازرسی رسمی، استفاده از صندلی کودک توسط کاربران، نهاد راهبر، عابر پیاده و دوچرخه‌سواران و استفاده از کلاه ایمنی توسط کاربران صورت گیرد. از نظر نقاط قوت بیشترین شاخصی که جلب توجه کرد، سیستم مراقبت از مصدومین در رکن مراقبت بعد از سانحه بود که وضعیت مثبت این شاخص را نسبت به سایر شاخص‌ها نشان می‌داد. با اعمال نکردن وزن و اهمیتی که کارشناسان برای معیارها و زیرمعیارها مشخص کرده بودند، یعنی یکسان در نظر گرفتن اهمیت تمامی شاخص‌ها، کشور لهستان رتبه اول و بهترین عملکرد و کشور لبنان رتبه ۱۵ و بدترین عملکرد و کشور ایران رتبه ۱۲ را به خود اختصاص دادند. با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن، مشخص شد که بین اولویت‌بندی کشورها در روش پرومته و الکتراه با تعداد کشته‌ها رابطه معناداری وجود ندارد، می‌توان گفت که نرخ تلفات جاده‌ای به عوامل مختلف و متعددی از جمله عوامل سیاسی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و... مربوط است که ما در این تحقیق فقط عوامل مربوط به پنج رکن ایمنی راه را در نظر گرفته‌ایم. از نرخ تلفات به منظور رتبه بندی کشورها نمی‌توان استفاده کرد، زیرا بیان‌کننده عملکرد کلی هر کشور نیست. اما بین اولویت‌های به دست آمده از روش پرومته با اولویت‌های حاصل از روش الکتراه رابطه مستقیم و معناداری وجود داشته که نشان از نزدیک و یکسان بودن رتبه‌های به

به منظور انجام تحلیل حساسیت بر روی نتایج رتبه‌بندی در روش پرومته و الکتراه، تغییرات ابتدایی بر روی وزن‌های (اهمیت‌های) شاخص‌ها انجام شد. نتایج به این صورت به دست آمد که در روش پرومته و رویکرد اول، فقط جایگاه کشورهای قزاقستان، عمان و آفریقای جنوبی دچار تغییر شد و در رویکرد دوم هیچ‌گونه تغییری در رتبه‌ها مشاهده نمی‌شود. در روش الکتراه، نتایج به این صورت است که جایگاه کشورهای چین، آفریقای جنوبی، مالزی، قزاقستان، ترکیه، عمان دچار تغییرات بسیار اندکی شد. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت، روشن ساخت که رتبه‌بندی‌های حاصل دارای تفاوت زیادی نیستند و کشورهای روسیه، لهستان و برزیل دارای بهترین عملکردها و کشورهای ایران، لبنان و مکزیک نیز ضعیف‌ترین عملکردها را دارند. بنابراین، آنچه در اطلاعات ورودی تصمیم‌گیری بسیار مهم است، در حقیقت همان اطلاعات مربوط به ماتریس اولیه بوده که تغییرات اندک آنها سبب تغییرات بسیار زیاد در رتبه‌بندی گزینه‌های مورد نظر خواهد شد. در حالت کلی، می‌توان گفت که روش پرومته و الکتراه نسبت به تغییرات وزن، از حساسیت بالایی برخوردار نبودند و یا این که این حساسیت‌ها در رتبه‌های برتر (۳ رتبه اول) و رتبه‌های بدتر (۳ رتبه آخر) مشهود نیست.

۵- نتیجه‌گیری

تصمیم‌گیری‌های مربوط به حمل‌ونقل و ایمنی راه مانند بسیاری از تصمیم‌گیری‌های دیگر دارای داده‌های کمی و کیفی بوده و از ویژگی عدم قطعیت نیز برخوردار هستند. کاربرد روش‌های چندمعیاره می‌تواند راهی به سوی بهبود تصمیم‌گیری‌های موجود در این حیطه گشاید. بسیار واضح است که رتبه‌بندی گزینه‌های مختلف با استفاده از روش‌های چندمعیاره هم بر اساس روش انتخاب شده و هم تمایل تصمیم‌گیرنده است. در نهایت باید روشی را انتخاب کرد که از ارزش تئوری بالایی برخوردار و همچنین جامع باشد و برای متخصصین و افراد عامه از نظر فنی و غیر فنی قابل فهم باشد، که در این تحقیق روش‌های فرارته‌ای مورد استفاده قرار گرفتند. با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق، در بین پنج رکن ایمنی راه، رکن مدیریت ایمنی راه بیشترین اهمیت و رکن مراقبت بعد از سانحه کمترین اهمیت را به

Development of science and Technology, Linköping University.

-Alper, D., Sinuany-stern, Z and Shinav, D. (2015) "Evaluating the efficiency of local municipalities in providing traffic safety using the data envelopment analysis", *Accid.Anal.prevent.* 78, pp. 39-50.

-Asgharpoor, M. (2014) "Multi criteria decisions", Thirteenth Edition, Tehran Editor, publication of Tehran University.

-Bao, Q., Ruan, D., Shen, Y., Hermans, E and Janssens, D. (2012) "Improved hierarchical fuzzy TOPSIS for road safety performance evaluation", *Knowl, Based syst.* 32, pp. 84-90.

-Bastos, J.T., Shen, Y., Hermans, E., Brijs, T., Wets, G and Ferraz, A.C.P., (2015), "Traffic fatality indicators in Brazil: statediagnosis based on data envelopment analysis research", *Accid.Anal.prev.* 81, pp. 61-73.

-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".

-Behnood, H. R., (2018), "Best practice analysis of action for road safety in Iran amongst the leading developing countries using an optimized success indicator", *Transport Policy*, 66, pp. 76-84.

-Behzadian, M., Kazemzadeh, B., Albadvi, A and Aghdasi, M., (2010), "PROMETHEE: A comprehensive literature review methodologies and applications", *European Journal of operational Research*, 200, pp. 198-215.

-Biss, T and Raffo, V., (2013), "Improving Global Road Safety: towards equitable and sustainable development, guide lines for country road safety engagement", *Global Road Safety Facility*, World Bank.

-Bliss, T and Breen, J., (2013), "Road safety management capacity reviews and safe system projects Guide lines", Working Paper 84203, World Bank Group, Washington, DC.

-Brans, J and Mareschal, B., (1994), "The PROMCALC and GAIA decision support

دست آمده از هر دو روش است. با انجام این تحقیق و به کارگیری روش‌های فرارته‌ای توانستیم از جایگاه کشور ایران از نظر عملکردی در بین سایر کشورها مطلع شویم و نقاط ضعف موجود را شناسایی کنیم تا بتوان در آینده با برنامه‌ریزی و به کارگیری اقدامات لازم آنها را رفع نماییم. پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آتی شاخص‌ها و معیارهای در نظر گرفته شده متناسب با شرایط فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی کشورها انتخاب شوند به طوری که مقایسه کشورها با یکدیگر عادلانه باشد. همچنین از سایر روش‌های وزندهی به منظور تعیین اهمیت شاخص‌ها استفاده شود و روش‌های پرمته و الکترو در محیط‌های عدم قطعیت (تئوری فازی) به کار گرفته شوند. آزمون کیفیت نتایج نهایی در این تحقیق بر اساس ضریب همبستگی صورت گرفت، در صورتی که می‌توان این نتایج را بر اساس واریانس رتبه‌بندی نیز سنجید.

۶- پانویس‌ها

- 1-Road Safety Performance Indicators
- 2-Composite Indicator
- 3-Multi-Criteria Decision Making
- 4-Outranking Methods
- 5-Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations
- 6-Elimination ET Choice in Translating to Reality
- 7-Analytic Hierarchy Process
- 8-Data Envelopment Analysis
- 9-Simple Additive Weighting
- 10-Weighted Product
- 11-Ordered Weighted Averaging
- 12-Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
- 13-Global Road Safety Facility
- 14-Purely ordinal scales

۷-مراجع

-Albadvi, A., Chaharsooghi, S and Esfahanipour, A., (2007), "Decision making in stock trading: An application of PROMETHEE", *European journal of operational research*, 177, pp.673-683.

-Al Haji, G., (2005), "Toward a road safety development index (RSDI). Development of an international index to measure road safety performance", *Linköping studies in science and Technology*, Licentiate Thesis, No. 1174,

- in a performance index”, *Accident Analysis and prevention*, 40, pp. 1337-1344.
- Hermans, E., Ruan, D., Brijs, T., Wets, G and Vanhoof, K., (2010), “Road safety risk evaluation by means of ordered weighted averaging operators and expert knowledge”, *Knowl.-Based syst.* 23, pp. 48-52.
- Hwang, C. L and Yoon, K., (1981), “Multiple attribute decision making methods and application: a state-of-the Art survey”, Berlin, Springer-Verlay.
- Keeney, R. L and Raiffa, H., (1976), “Decisions with multiple objectives: performances and value trade-offs-wiley New York”.
- Kiker, G. A., Bridges, T. S., Varghese, A., Seager, T. P and Linkovjj, I., (2005), “Application of multi-criteria decision making. Integrated Environmental Assessment and management”, 1(2), pp. 95-108.
- Macharis, C., Springael, J. BK. D and Verbeke, A., (2004), “promethee and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis: strengthening PROMETHEE with ideas of AHP”, *European journal of operational reseach*, 153(2). pp. 307-317.
- Munda, G., (2005), “Measuring sustainability: a multi-criterion framework environment”, *Development and sustainability* 7, pp. 117-134.
- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A and Givannini, E., (2005), “Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide”, *OECD statistics working papers*, 3, organization for economic cooperation and development OECD, paris.
- Rosic, M., Pesic, D., Kukic, D., Antic, B and Bozovic, M., (2017), “Method for selection of optimal road safety composite index with examples from DEA and TOPSIS method”, *Accid. Anal, prev*, 98, pp. 277-286.
- Roy, B., (1968), “Classement et choix en presencede points de vue multiple (la method ELECTRE)”, *RAIRO*, 2, PP. 57-70.
- Saaty, T. L., (1980), “The analytical hierarchical process: planning, priority setting resource allocation”, New York, MC Graw-Hill.
- Shen, Y., Hermans, E., Brijs, T., Wets, G and Vanhoof, K., (2012), “Rod safety risk evaluation and target setting using data system for multi criteria decision aid”, *Decision Support Systems*, 12, pp. 297-310.
- Brans, J and Mareschal, B. (2005) “PROMETHEE method cited at: multiple criteria decision analysis: state of the Art surveys”, Springer, New York.
- Brans, J and Vincke, Ph., (1985), “A preference ranking organization method”, *Management science*, 31, pp. 647-656.
- Brans, J., Vincke, Ph and Mareschal, B. (1986), “How to select and how to rank projects: the PROMETHEE method”, *Eur.j.Oper. Res.* 24(2), pp. 228-238.
- Charnes, A., Cooper, W.W and Rohdes, E., (1978), “Measuring the Efficiency of Decision Making Units”, *European Journal of Operational Research*, pp. 429-444.
- Chen, F., Wang, J and Deng, Y., (2015), “Road safety risk evaluation by means of improved entropy TOPSIS-RSR”, *Saf, sci*, 79, pp. 39-54.
- European Transport Safety Council (ETSC). (2001), “Transport safety performance indicators”, ETSC, Brussels.
- Figueira, J., Greco, S and Ehrgott, M., (2004), “Multiple criteria decision analysis: state of the Art surveys”, springer, New York.
- Frederik, B., (2002), “An overview and evaluation of composite indices of development”, *SOC, Indic, Res*, 59, pp. 115-151.
- Guitouni, A and Martel, J.M.(1998) “Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method”, *Eur.J.oper.Res.* 109, pp. 501-521.
- Haddon Jr, W., (1980), “Advances in the epidemiology of injuries as a basis for public policy”, *Public Health Rep*, 95(5), pp. 411-421.
- Hermans, E., (2009), “A methodology for developing a composite road safety performance index for cross-country comparison”, Ph.D. Thesis, Hasselt University, Hasselt, Belgium.
- Hermans, E., Bossche, F. V. D and Wets, G. (2007) “impact of methodological choices on road safety ranking”, RA-MOW-2007-001, steunpunt mobiliteit and open bare werken-spoor verkeersveiligheid, Diepenbeek, Belgium.
- Hermans, E., Bossche, F. V. D and Wets, G., (2008), “Combining road safety information

- Wegman, F. and Oppe, S., (2010), "Benchmarking road safety performances of countries", *Safety science*, 48(9), pp. 1203-1211.
- World Bank Group, (2015), "World development indicators 2015, International bank for reconstruction and development, the World Bank.
- World Health Organization, (2015), "Global status report on road safety 2015, WHO.
- World Health Organization, (2018), "Global status report on road safety 2018", WHO.
- Yager, R. R., (1988), "On ordered weighted averaging aggregation operators in multi criteria decision making", *IEEE Trans. Syst. Man cybernet.* 18, pp.183.
- Zhou, P and Ang, B. W., (2009), "Comparing MCDA aggregation methods in constructing composite indicators using the Shannon-spearman measure", *Soc.Indic.Res.* 94, pp. 83-96.
- envelopment analysis and its extensions", *Accid,Anal,Prev*, 48, pp. 430-441.
- Vincke, P., (1992), "Multi-criteria decision aid, john wiley, chichester".
- Wang, J. J and Chen, F. A., (2012), "Sensitivity analysis of expressway traffic safety risk", 12th COTA international conference of transportation professionals, American society of civil engineers, pp. 2219-2229.
- Wegman, F., Commandeur, J., Doveh, E., Gitelman, V., Hakkert, S., Lynam, D and Oppe, S., (2008), "SUN flower next: towards a composite road safety performance index", deliverable D6.16 of the EV Fp6 project safety Net.

Road Safety Performance Evaluation in Iran and Developing Countries using Outranking Methods

Shadi Sarikhani, M.Sc., Grad., Faculty of Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

Hamid Reza Behnood, Assistant Professor, Faculty of Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

Amir Abbas Rassafi, Associate Professor, Faculty of Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

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

Received: February 2020-Accepted: July 2020

ABSTRACT

Comparing and evaluating the road safety performance is desirable in trans-national levels, because each country can achieve a better and deeper understanding of its road safety status. In this study, a subset of multi-criteria decision-making methods, called the outranking methods, including PROMETHEE and ELECTRE methods was used to evaluate the road safety performance. In these methods, the Analytical Hierarchy Process method is used to obtain the weights of the indicators, which are used as input weights in the PROMETHEE and ELECTRE models. The methods were used for Iran and a set of developing countries in order to examine the situation in Iran compared to the others. Then, the results being compared with the number of road fatalities per hundred thousand people for these countries as the reference point. According to the results it was found that, among the five road safety pillars, the pillar of road safety management is the most important and the pillar of post-crash response is the least important one. Also, the lead agency sub-pillar is the highest importance in the road safety management pillar and the child restraint sub-pillar is the least importance in the safer road users pillar from expert's point of view. Among the 15 countries studied in this study, Poland found the highest rank and is known as the best-performing country. In between, Iran ranked 13th, reflecting Iran's relatively poor performance against other countries.

Keywords: Road Safety Pillars, Outranking Methods, Road Safety Management System, Road Safety Performance Indicators