

ارایه روشی نوین جهت ارزیابی عملکرد ایمنی ترافیک در سطح مناطق شهری (مطالعه موردی: مناطق ۲۲ گانه شهرداری تهران)

مقاله علمی-پژوهشی

علی توکلی کاشانی^{*}، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران و مرکز تحقیقات ایمنی کاربردی حمل و نقل جاده‌ای دانشگاه علم

و صنعت ایران، نارمک، تهران

پیام معینی، مدیر گروه مطالعات حمل و نقل و ترافیک، مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران

علی ذهب‌صنّیعی، کارشناس گروه مطالعات حمل و نقل و ترافیک، مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران

حسن خاکسار، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

^{*}پست الکترونیکی نویسنده مسئول: alitavakoli@iust.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵

صفحه ۱۲۸-۱۱۳

چکیده

ارائه یک دید جامع نسبت به وضعیت ایمنی مناطق تهران، یک گام اولیه اما بسیار مهم برای شناسایی سیاست‌هایی است که می‌تواند به تسریع روند پیشرفت در بهبود ایمنی کمک کند. چنین ارزیابی‌هایی به مسئولان و تصمیم‌گیران هر منطقه کمک می‌کند که از نقاط ضعف و قوت عملکرد خود در بهبود ایمنی ترافیک نسبت به سایر مناطق اطلاع یافته و با شناسایی و الگوگیری از موفق‌ترین مناطق، برنامه‌های عملیاتی و سیاست‌های آینده خود را اصلاح نمایند. مهمتر از سطح منطقه، دیدگاه و شناخت نسبی واحدهای ستادی از مناطق است. اگر صرفاً بر اساس نوسانات و تعداد تصادفات و یا تعداد تصادفات منجر به فوت در هر منطقه تصمیم‌گیری شود، به دلیل تأثیر برخی متغیرهای مستقل در ایمنی مناطق مانند تفاوت در جمعیت و مساحت مناطق، تصمیم مورد نظر خالی از اشکال نخواهد بود. از طرفی دیگر با توجه به تفاوت در تجهیزات و امکانات مناطق مانند تجهیزات امداد رسانی، تعداد دوربین ایمنی و میزان بودجه‌ای که سال قبل داشته‌اند و مانند این موارد، این تصمیم‌گیری به دور از عدالت خواهد بود. در این مطالعه هدف اصلی پیدا کردن الگو و روشی جهت مقایسه ایمنی ترافیک مناطق شهری و مقایسه نسبی و منصفانه و با لحاظ کردن جمیع شرایط می‌باشد. بدین منظور از مناطق ۲۲ گانه شهرداری تهران به عنوان مطالعه موردی استفاده شده است. بدین صورت که در گام اول به شناسایی پارامترهای مورد نیاز جهت ارزیابی عملکرد ایمنی ترافیک در سطح منطقه‌ای پرداخته شده است. در گام دوم چهارچوب ریسک، مواجهه، ظرفیت و توانمندی برای ارزیابی عملکرد ایمنی ترافیک مناطق ارائه گردید و در نهایت با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها به ارزیابی ایمنی ترافیک مناطق ۲۲ گانه شهرداری تهران پرداخته شده است. نتایج مطالعه نشان داد که در بین مناطق ۲۲ گانه، منطقه ۲۲ بهترین عملکرد و منطقه ۱۹ بدترین عملکرد در زمینه ایمنی ترافیک را داشته است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی ایمنی منطقه‌ای، تحلیل پوششی داده‌ها، ظرفیت و توانمندی، مناطق شهرداری تهران

۱-مقدمه

هر چه تعداد کشته‌ها و یا تصادفات در یک مسیر بیشتر باشد متخصصان ایمنی، سطح ایمنی پایین‌تری را برای آن مسیر متصور خواهند بود. هنگامی که بخواهیم ایمنی دو واحد مکانی به عنوان مثال دو منطقه، دو شهر و یا دو استان را باهم مقایسه کنیم با

ایمنی مفهومی است که به آسانی قابل تعریف و تشریح نیست و همواره برای بررسی و مقایسه ایمنی در هر مسیر و یا راه از شاخص‌هایی که نمایانگر کمبود یا فقدان ایمنی است استفاده می‌شود. به عبارتی ایمنی با نقیض آن مقایسه می‌شود. برای مثال

اصلاح نموده و در جهت پیشرفت سریع‌تر در بهبود ایمنی ترافیک حرکت کنند.

مطالعات گذشته حاکی از آن است که متغیرهای متنوعی با ایمنی ترافیک در مقیاس‌های مختلف جغرافیایی ارتباط دارد. در این بخش، متغیرهایی که مطالعات پیشین حاکی از ارتباط آن‌ها با ایمنی ترافیک در مقیاس منطقه‌ای هستند، مورد بررسی قرار خواهند گرفت. از آنجاکه این متغیرها طیف نسبتاً گسترده‌ای را تشکیل می‌دهند، تلاش شده است دسته‌بندی این متغیرها بصورت کلی بر اساس عوامل حمل‌ونقل و راه، متغیرهای رفتاری و متغیرهای جمعیتی و اقتصادی بررسی شوند.

متغیرهای مربوط به حمل‌ونقل و راه

پگ در ارزیابی ایمنی راه‌های کشورهای اروپا متغیرهای درصد کیلومتر طی شده‌ی اتوبوس نسبت به وسایل نقلیه شخصی، درصد اتوبوس در ناوگان حمل‌ونقل، میزان کیلومتر طی شده‌ی وسایل نقلیه توسط هر نفر را در نظر گرفت و نشان داد که متغیرهای درصد کیلومتر طی شده اتوبوس نسبت به وسایل نقلیه شخصی با تعداد افراد فوت‌شده رابطه‌ی معکوس دارد (Page, 2001). جونزینز و همکارانش در مقایسه‌ی استان‌های کشور انگلیس متوسط مالکیت سرانه اتومبیل، طول راه‌ها و حجم ترافیک، تعداد افراد فوتی در تصادفات ترافیکی، متوسط تعداد پیچ‌های جاده و درصد راه‌های عبوری از مناطق شهری را در نظر گرفتند (Jones et al., 2008). هرماس و همکارانش و باو و همکارانش در مطالعاتی مجزا برای ارزیابی ایمنی راه‌های ۲۱ کشور اروپایی، از متغیرهای سیستم‌های حفاظتی موجود در وسایل نقلیه، ساختار وسایل نقلیه، زیرساخت‌های راه‌ها و میزان روشنایی راه‌ها را استفاده کردند (Bao et al., 2012; Hermans et al., 2008) در ارزیابی استان‌های کشور اسپانیا از متغیرهای سطح ایمنی راه هم‌چون تعداد افراد فوتی به ازای هر صد هزار نفر جمعیت، تعداد افراد فوتی به ازای هر تصادف منجر به جرح، تعداد افراد جرحی به ازای هر تصادف استفاده شد (Tolón-Becerra et al., 2013). پژوهشی مشابه در کشور ترکیه متغیرهای تعداد افراد فوتی به ازای هر صد هزار نفر در تصادفات ترافیکی و تعداد افراد فوتی به ازای هر صد هزار فرد دارای گواهینامه در هر استان را در نظر گرفت (Erdogan, 2009). توکلی و همکاران تعداد راهدارخانه‌های فعال در راه‌ها، تعداد مصدومین ناشی از تصادفات رانندگی، و طول راه‌های تحت حوزه استحفاظی وزارت راه و شهرسازی استان‌های کشور ایران را بررسی کردند (توکلی کاشانی و عزیزبندی، ۱۳۹۴). برخی از مطالعات

موضوع به مراتب پیچیده‌تری روبرو هستیم؛ زیرا برای تعریف سطح ایمنی در مقیاس کلان، باید نگاه جامع‌تری به موضوع موردنظر داشته و همچنین عوامل متعددی را در نظر گرفت. تا کنون مطالعات زیادی جهت گسترش روش‌های مختلف برای مقایسه ایمنی راه‌های مناطق انجام شده است. این روش‌ها در گستره‌ی وسیعی شامل رتبه‌بندی ساده با استفاده از نرخ فوتی‌ها، تا مقایسات جامع‌تر و پیچیده‌تر قرار می‌گیرد. در این مطالعه هدف اصلی پیدا کردن الگو و روشی جهت مقایسه ایمنی ترافیک مناطق شهری و مقایسه نسبی و منصفانه و با لحاظ کردن جمیع شرایط برای مناطق شهر می‌باشد. در این روش نیاز است تا محدودیت‌های داده‌های موجود در دسترس را در نظر گرفته و با توجه به این محدودیت‌ها، روشی عملی برای مقایسه سطح ایمنی ترافیک مناطق ارائه شود. در راستای این هدف ابتدا پس از بررسی مطالعات پیشین در حوزه مقایسه ایمنی ترافیک واحدهای مکانی به منظور شناسایی پارامترهای مورد نیاز جهت ارزیابی عملکرد ایمنی ترافیک در سطح منطقه‌ای پرداخته شده است. در ادامه بر اساس آن به ارائه یک چارچوب کلی برای ارزیابی عملکرد ایمنی ترافیک در سطح منطقه‌ای یک شهر و در نهایت به ارائه روشی مناسب جهت ارزیابی عملکرد ایمنی مناطق با توجه به چارچوب پیشنهادی و محدودیت‌های داده‌ای ارائه شده است.

۲- پیشینه تحقیق

در راستای هدف مطالعه در بررسی مطالعات پیشین، این مطالعات از سه منظر مرد بررسی و واکاوی قرار گرفتند. ۱- واکاوی مطالعات پیشین به منظور بررسی و دسته‌بندی متغیرهای مورد استفاده ۲- واکاوی مطالعات پیشین به منظور بررسی و دسته‌بندی روش‌های مورد استفاده و ۳- واکاوی مطالعات پیشین به منظور دسته‌بندی دیدگاه‌های مورد استفاده جهت مقایسه عملکرد ایمنی ترافیک در مقیاس منطقه‌ای که در ادامه به ارائه هر کدام از نتایج واکاوی به صورت جداگانه پرداخته شده است.

مطالعات متعددی در سال‌های گذشته به مقایسه عملکرد ایمنی واحدهای مکانی پرداخته‌اند. این‌گونه مطالعات می‌توانند به درک بهتر وضعیت نسبی ایمنی ترافیک در هریک از واحدهای مکانی کمک نموده و همچنین امکان شناسایی و الگوبرداری از واحدهایی که عملکرد بهتری داشته‌اند را فراهم آورند. بدین ترتیب، هریک از واحدها می‌توانند با مقایسه عملکرد خود نسبت به سایر واحدهای مشابه، اهداف و برنامه‌های عملیاتی خود را

• متغیرهای مربوط به حمل و نقل و راه

• درصد اتوبوس در ناوگان حمل و نقل، میزان کیلومتر طی شده‌ی وسایل نقلیه، متوسط مالکیت سرانه اتومبیل، طول راه‌ها، تعداد افراد فوتی به ازای هر صد هزار نفر جمعیت و...

• متغیرهای رفتاری

• میزان مصرف الکل و داروهای روان‌گردان، سرعت رانندگی، درصد استفاده از کمربند ایمنی

• متغیرهای جمعیتی و اقتصادی

• جمعیت، ساختار سنی، درآمد، درصد افراد شاغل

شکل ۱. متغیرهای مورد استفاده در مطالعات پیشین

روش‌هایی که تا کنون در مطالعات برای مقایسه‌ی سطوح ایمنی راه‌های کشورها استفاده شده‌است را می‌توان در دو دسته-ی کلی طبقه‌بندی نمود که در ادامه آورده شده‌است.

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

در این مطالعات، از شاخص‌هایی که با نام شاخص عملکرد ایمنی شناخته می‌شوند، به‌عنوان معیار ارزیابی و مقایسه وضعیت ایمنی به‌خصوص در مقیاس‌های جغرافیایی کلان‌نگر مانند کشورها (Kukić et al., 2016)، استان‌ها (Rosić et al., 2017) و شهرستان‌ها (Aarts & Houwing, 2015)، استفاده می‌شود. هرچند مهم‌ترین مطالعاتی که از این رویکرد استفاده کرده‌اند، در سطح بین‌المللی و با هدف ارزیابی و مقایسه وضعیت ایمنی ترافیک کشورهای جهان انجام شده‌اند. در ایران نیز مطالعات متعددی از این رویکرد برای ارزیابی و مقایسه وضعیت ایمنی ترافیک در میان استان‌های کشور استفاده کرده‌اند. به‌عنوان مثال، بهنود در مطالعه خود به بررسی عملکرد ایمنی استان‌های کشور با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها پرداخت (Behnood & Pirayesh Neghab, 2014). همچنین، توکلی کاشانی و همکارانش در مطالعه اخیر خود یک چهارچوب جدید برای مقایسه وضعیت عملکرد ایمنی استان‌های کشور ارائه نمودند (Tavakoli Kashani et al., 2020).

نیز تعداد وسیله‌نقلیه به ازای هر نفر، طول راه‌ها و آزادراه‌های هر استان، تعداد وسیله‌نقلیه شخصی، و درصد موتورسیکلت در ناوگان (Gitelman et al., 2010)، دسترسی به خدمات اورژانسی در راه (Hermans et al., 2009) چگالی تقاطعات و ویژگی‌های هندسی راه (Jones et al., 2008) را مطالعه کرده‌اند.

متغیرهای رفتاری

میزان مصرف الکل و داروهای روان‌گردان و سرعت رانندگی (Hermans et al., 2008) بررسی و جزو مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر ایمنی در کشورهای اروپایی شناسایی شدند. درصد سرنشینیانی که از کمربند ایمنی استفاده می‌کنند نیز در مطالعات (Al Haji, 2005; Gitelman et al., 2010) در نظر گرفته شد.

متغیرهای جمعیتی و اقتصادی

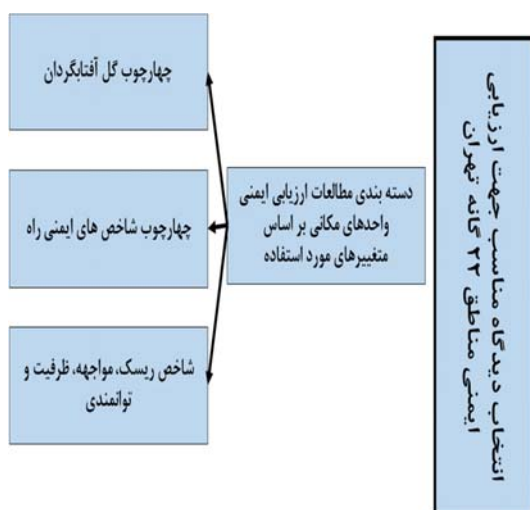
از جمله متغیرهای جمعیتی و اقتصادی در نظر گرفته شده در مطالعات می‌توان چگالی جمعیت (Tolón-Becerra et al., 2013)، جمعیت (Shen et al., 2015)، متوسط سن مسافران، ساختار جمعیت ساکن (Jones et al., 2008)، درصد افراد جوان، درصد افراد شهرنشین، درصد افراد دارای شغل در جمعیت (Page, 2001) امید به زندگی، درآمد ناخالص ملی (Al Haji, 2005) را نام برد. مطالعات فوق دریافتند هرچه جمعیت، چگالی جمعیت و درصد افراد جوان بیش‌تر باشند، مناطق از نظر ایمنی در وضعیت نامساعدتری قرار دارند و افزایش جمعیت افراد مسن موجب کاهش مرگ‌ومیر ناشی از تصادف شده‌است. از سوی دیگر، سهم تصادفات شدید در مناطق با تراکم جمعیت پایین‌تر، بیشتر است. مطالعه قدوس و نولاند نشان داد که محرومیت یک منطقه رابطه مستقیم با وقوع تصادفات دارد. همچنین، در مناطقی که تراکم جمعیت جوان در آن‌ها بالاتر است؛ فراوانی تصادفات عابران پیاده بیشتر می‌باشد (Noland & Quddus, 2004). در نهایت جمع‌بندی متغیرهای بررسی شده بصورت خلاصه در شکل ۱ آورده شده‌است.

(Becerra et al., 2013) نیز از رگرسیون خطی ساده برای ارزیابی راه‌های کشورهای استفاده کردند. روش‌های مورد استفاده در مطالعات بصورت دسته‌بندی در شکل ۲ آورده شده‌است.

روش‌های رگرسیونی	روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره
<ul style="list-style-type: none"> • رگرسیون دوجمله‌ای منفی • رگرسیون چندگانه • رگرسیون وزن‌دار فضایی • رگرسیون خطی ساده 	<ul style="list-style-type: none"> • تحلیل عاملی • تحلیل سلسله مراتب • تخصیص بودجه • تحلیل پوششی داده‌ها

شکل ۲. روش‌های مختلف در مطالعات پیشین جهت ارزیابی ایمنی واحدهای مکانی

دسته‌بندی دیدگاه‌های مورد استفاده در مطالعات پیشین جهت مقایسه عملکرد ایمنی ترافیک در مقیاس منطقه‌ای مرور مطالعات پیشین حاکی از آن است بر اساس مفاهیمی که بر اساس آن به ارزیابی ایمنی واحدهای مکانی پرداخته شده است، چهارچوب‌های مورد بررسی در این مطالعات را می‌توان به سه دسته نشان داده شده در شکل ۳ تقسیم بندی نمود که در ادامه به ارائه توضیحات مربوط به این سه چهارچوب پرداخته شده است.



شکل ۳. رویکردهای مختلف در مطالعات پیشین جهت ارزیابی ایمنی واحدهای مکانی

مسائل تصمیم‌گیری از جنبه‌های مختلف قابل دسته‌بندی هستند که از این میان می‌توان به گسسته یا پیوسته بودن فضای حل مسئله، کمی یا کیفی بودن معیارهای تصمیم‌گیری و تک معیاره یا چند معیاره بودن فضای حل مسئله اشاره کرد (Bester, 2001). در مجموع تمامی روش‌های تصمیم‌گیری را می‌توان به دو گروه عمده روش‌های آزمون و خطا و روش‌های مدل‌سازی تقسیم کرد. در این میان محققان بیشتر به روش‌های مدل‌سازی تأکید دارند. در روش مدل‌سازی تصمیم‌گیرندگان مسئله واقعی را شبیه‌سازی نموده و عناصر آن و تأثیر آن‌ها بر یکدیگر را مشخص می‌کنند و سپس به تجزیه و تحلیل مسئله می‌پردازند. از جمله محاسن روش مدل‌سازی می‌توان به صرفه‌جویی در هزینه و زمان، استفاده در طراحی سیستم‌ها، پیش‌بینی رفتار و عملکرد دقیق سیستم و کمک به اهداف آموزشی اشاره کرد. در حالت کلی مدل‌های تصمیم‌گیری به چهار گروه فیزیکی، شماتیک، مفهومی و ریاضی قابل دسته‌بندی است و حل این مدل‌ها نیز به کمک روش‌های آماری، حل بهینه و شبیه‌سازی صورت می‌گیرد (Noland & Zhou, 2017). عمده‌ی مطالعات انجام شده در بحث ارزیابی و مقایسه‌ی ایمنی مناطق از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده کرده‌اند.

روش‌های رگرسیونی

انواع روش‌های رگرسیونی در مطالعات تاکنون بیشتر در مقیاس کشوری بکار رفته‌اند. برای مثال جونزینز و همکارانش به مقایسه‌ی استان‌های کشور انگلیس در زمینه‌ی ایمنی راه‌ها با استفاده از روش رگرسیون دوجمله‌ای منفی پرداختند و با قرار دادن مقادیر متغیرهای هر استان در آن، تصادفات پیش‌بینی شده برای هر استان را محاسبه کردند (Jones et al., 2008). در مطالعه‌ی دیگر از روش رگرسیون دوجمله‌ای منفی برای مقایسه‌ی ایمنی شهرستان‌ها در فرانسه استفاده شد (Amoros et al., 2003). پگ با به‌کارگیری رگرسیون چندگانه به ارزیابی کشورهای اروپایی پرداخته است (Page, 2001). در بررسی عملکرد ایمنی راه‌های استان‌های کشور ترکیه، برای مقایسه‌ی این استان‌ها از روش رگرسیون وزن‌دار فضایی استفاده کردند. در این مدل از یک ماتریس وزن‌دار فضایی برای مدل‌سازی مجاورت و استقلال واحدهای فضایی استفاده شد (Erdogan, 2009). مطالعاتی هم‌چون (Lassarre, 2001; Tolón-

متخصصان ایمنی، سطح ایمنی پایین تری را برای آن مسیر متصور خواهند بود. بنابراین در این زمینه بیشتر از مفاهیمی مانند تعداد تصادفات، تعداد افراد فوت شده، تعداد تخلفات و ... استفاده می شود.

عوامل تداعی کننده میزان ظرفیت و توانمندی

با افزایش هزینه های صرف شده در سیستم، انتظار عملکرد بهتر از سیستم افزایش می یابد. بنابراین با افزایش تجهیزات ایمنی در هر منطقه، عملکرد بهتری در حوزه ایمنی مورد انتظار است. منظور از عوامل تداعی کننده میزان ظرفیت و توانمندی هر منطقه در حوزه ایمنی نیز همان میزان هزینه صرف شده در سیستم ایمنی می باشد. به عنوان مثال معیارهایی مانند میزان بودجه هر منطقه، تعداد متخصص ایمنی، تعداد تجهیزات الکترونیکی مانند دوربین کنترل سرعت، ثبت تخلف و ... می تواند نشان دهنده ایمنی این زمینه در مقایسه ایمنی مناطق باشد.

عوامل تداعی کننده ارزیابی اداری

در برنامه های ارزیابی ایمنی راه دو رویکرد وجود دارد که عبارتند از ارزیابی اداری^۱ و ارزیابی کارایی^۲.

ارزیابی اداری مشخص می کند که اجرای اقدامات ایمن سازی و یا برنامه اقدامات ایمن سازی تا چه حد در راستای برنامه مورد نظر پیش رفته است. این ارزیابی عواملی که بطور مستقیم در وقوع تصادفات نقش ندارند را نیز شامل می شود. بطور مثال، ارزیابی توسعه سیستم ثبت اطلاعات تصادفات که موجب بهبود سیستم و تعیین نقاط نایمن می شود اما بطور مستقیم نقشی در کاهش تصادفات ندارد.

ارزیابی کارایی نشان می دهد که تا چه حد اقدامات مورد نظر موثر واقع شده است. ارزیابی اداری بر این نوع ارزیابی تاثیرگذار است. بعنوان مثال در ارزیابی اثر نصب یک نوع گارد ریل جدید باید بررسی شود که آیا گارد ریل مورد نظر بصورت درست نصب شده است یا خیر. عوامل موثر بر ارزیابی کارایی عبارتند از: (۱) رفتار تجربی مناسب: ارزیابی در شرایط منصفانه و بی طرف، (۲) اطلاع از روابط علی و معلولی: بررسی اینکه آیا تغییر بوجود آمده در اثر مداخله انجام شده بوده است یا خیر، (۳) آگاهی از انتخاب معیارهای درست بر پایه هدف تحقیق: این معیارها بسته به نوع تحقیق می توانند نرخ تصادف، شدت تصادف، شاخص های میانی بعنوان جایگزین یا نماینده فراوانی یا شدت تصادفات.

نکته قابل توجه آن است که با وجود اهمیت ارزیابی

۳- تشریح و تبیین ابعاد مورد نیاز جهت ساخت یک

چارچوب مناسب به منظور مقایسه عملکرد ایمنی

ترافیک مناطق

در بخش پیشین به بررسی و دسته بندی مطالعات در زمینه مقایسه و ارزیابی ایمنی واحدهای مکانی مختلف پرداخته شد. بررسی ها نشان می دهد که در اغلب مطالعات مقایسه ای مناطق مختلف بر مبنای یک چارچوب مفهومی جامع بنا شده اند که در این بخش ابعاد مورد نیاز جهت توسعه چارچوب مفهومی اشاره خواهند شد. همان طور که در شکل ۴ نیز نشان داده شده است، برای ارزیابی و مقایسه ایمنی ترافیک واحدهای مکانی چهار جنبه یا بعد در نظر گرفته می شود: (۱) عواملی که مفهوم مواجهه را تداعی می نمایند، مانند جمعیت، طول راه، مقدار مصرف سوخت؛ (۲) عواملی که مفهوم کمبود ایمنی را تداعی می نمایند مانند تعداد تلفات و جراحات ترافیکی و تخلفات ترافیکی؛ (۳) عواملی که مفهوم ظرفیت و توانمندی های هر منطقه را تداعی می نمایند مانند تعداد پاسگاه های پلیس، تعداد ایستگاه های اورژانس. (۴) عواملی که در مقیاس منطقه ای مفهوم ارزیابی اداری هر منطقه را تداعی می کنند. در ادامه هریک به تفصیل توضیح داده خواهند شد.

عوامل تداعی کننده مواجهه

با توجه به تعریف تعریف مواجهه، فردی که در طول روز رانندگی زیادی می کند، نسبت به کسی که طول روز را در خانه به سر می برد بیشتر در معرض تصادف قرار می گیرند، بنابراین میزان مواجهه ای این فرد نسبت به فرد دوم بسیار بیشتر می باشد. با توجه به تعریف مواجهه، در مقیاس استانی (و یا شهری، کشوری و ...) برای این مفهوم باید معیاری معرفی گردد که زیاد شدن آن نشان دهنده ایمنی باشد که افراد، بیشتر در معرض تصادف قرار دارند. بنابراین در این مقیاس از مفاهیمی مانند حجم تردد، جمعیت، طول راه، میزان مصرف سوخت و ... می توان به خوبی برای مفهوم مواجهه استفاده کرد. همواره میزان مواجهه با تعداد تصادفات رابطه مستقیمی دارد. بدین معنی که با زیاد شدن مواجهه در یک منطقه، تعداد تصادفات نیز زیاد می شود. این جدای از ایمنی راه های آن منطقه می باشد.

عوامل تداعی کننده کمبود ایمنی

به منظور بررسی و مقایسه ایمنی در هر مسیر و یا راه از شاخص هایی که نمایانگر کمبود یا فقدان ایمنی است استفاده می کنند. به عبارتی ایمنی با نقیض آن مقایسه می شود. برای مثال هر چه تعداد کشته ها و یا تصادفات در یک مسیر بیشتر باشد

قابل احصاء در شهر تهران به عنوان یک مطالعه موردی به ارزیابی عملکرد ایمنی راه‌های مناطق ۲۲ گانه شهرداری تهران پرداخته شود. از این رو برای ارزیابی دقیق‌تر ایمنی، علاوه بر معیارهای مربوط به زمینه‌ی کمبود ایمنی در راه‌های مناطق و میزان مواجهه، معیارهایی در زمینه‌ی ظرفیت‌ها و توانمندی‌های هر منطقه و ارزیابی کارایی اداری نیز در نظر گرفته شده است. به نظر می‌رسد با در نظر گرفتن این معیارها می‌توان نگاه عادلانه‌تری به وضعیت ایمنی ترافیک هر منطقه داشت. کلیه‌ی معیارهای منتخب با توجه به داده‌های موجود برای شهر تهران تعریف می‌شود. بنابراین برای هر واحد مکانی مورد مطالعه با توجه به داده‌های موجود ممکن است معیارهای دیگری برای تعریف این چهار زمینه انتخاب گردد.

داده‌های مورد استفاده

همانطور که گفته شده در این مطالعه، به عنوان یک مطالعه موردی به ارزیابی ایمنی مناطق ۲۲ گانه شهر تهران پرداخته شده است. با توجه به اطلاعات در دسترس و بر اساس چارچوب پیشنهادی فوق، متغیرهای نشان داده شده در جدول ۱ جهت ارزیابی ایمنی مناطق تهران انتخاب شدند.

کارایی نسبت به ارزیابی اداری، کمتر مطالعه‌ای بدان پرداخته است و مدیران لزومی بر اجرای آن نمی‌بینند چرا که فکر می‌کنند نتایج برنامه‌های اجرا شده بوضوح موفقیت آمیز بوده است. اما باید توجه شود که برنامه‌های ایمنی اهمیت زیادی دارند و نباید اجازه داد برنامه‌ها و تصمیمات بصورت حدسی هدایت و پیش روند. بعنوان مثال فرض می‌شود مدیری علی‌رغم کار میدانی مفید گزارشات تصادفات را بطور مرتب ارسال می‌نماید و در مقابل، مدیر دیگری مرتباً در حال برنامه‌ریزی و رسیدگی به ارتقاء ایمنی راه‌ها است اما گزارشات تصادفات را بصورت ناقص ارائه می‌دهد. در اینجا اهمیت ارزیابی کارایی نمایان می‌شود؛ لذا استفاده از ارزیابی‌های قانونی و رسمی برای بررسی تاثیرات واقعی برنامه‌ها الزامی و ضروری به نظر می‌رسد که رویکرد مدنظر در مطالعه‌ی حاضر نیز می‌باشد.

بعنوان جمع‌بندی، بررسی ادبیات نشان داد که مطالعات بسیاری در زمینه‌ی مقایسه‌ی ایمنی راه‌های استان‌ها و کشورها انجام شده است. همچنین توضیح داده شد که جهت ارزیابی عملکرد ایمنی هر واحد مکانی (کشور، استان، منطقه) سه دیدگاه متفاوت می‌توان داشت. در هر مطالعه با استفاده از داده‌های موجود، به ارزیابی عملکرد ایمنی راه‌های مناطق مختلف پرداخته می‌شود. در این مطالعه سعی بر آن است که با استفاده از داده‌های موجود و



شکل ۴. دسته بندی ابعاد مورد نیاز جهت ارزیابی ایمنی ترافیک مناطق

ارائه مدل بر اساس چارچوب پیشنهادی جهت ارزیابی ایمنی مناطق شهری

در این مطالعه با توجه به چارچوب پیشنهاد شده در بند سوم، از روش تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شده است. روش تحلیل پوششی داده‌ها یکی از رویکردهای مطرح شده در نظریه بهره‌وری است و می‌تواند برای محاسبات و ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری‌ها (مورد استفاده قرار گیرد. محاسبه میزان بهره‌ور و کارایی یک سازمان، واحد تولیدی، آموزشی یا شرکت، در قیاس با مجموعه‌های مشابه با آن، و تحلیل تصمیم‌هایی که برای اداره واحدهای در حال بررسی گرفته شده است، از مواردی است که در حوزه‌های مختلف مدیریتی و مهندسی، قطعاً مورد نیاز است. اما به خاطر وجود عوامل موثر نسبتاً زیاد در سیستم‌های تحت مطالعه، محاسبه کارایی و بهره‌وری، کار آسانی نیست.

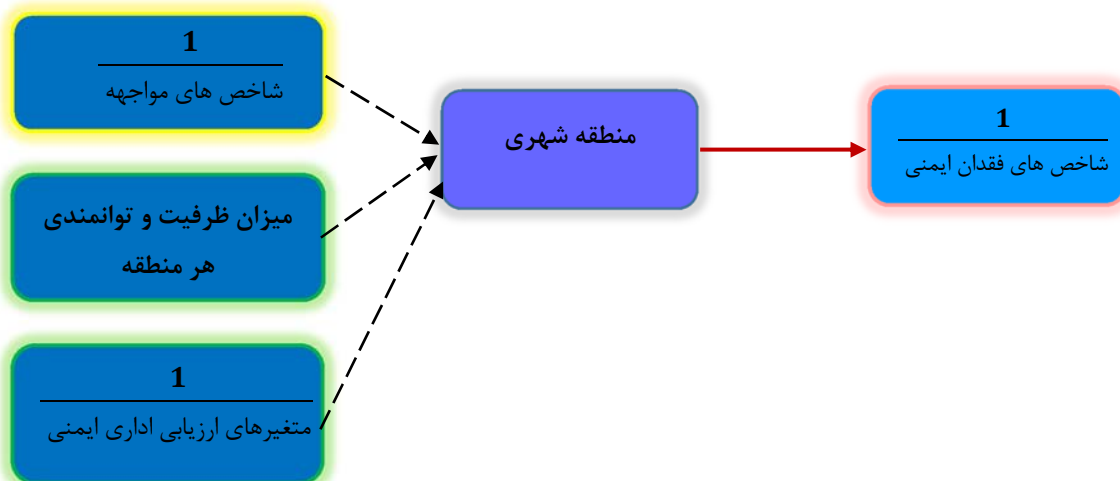
شاکله مدل تحلیل پوششی داده‌ها ورودی و خروجی‌های تعیین شده برای سیستم مورد نظر می‌باشد. در تحلیل پوششی داده‌ها سیستم به گونه‌ای تعریف می‌شود که واحدی کارتر باشد

که با توجه به ورودی‌های کمتر، خروجی بیشتری تولید کند. بنابراین اولین گام نیاز است تا با توجه به چهارچوب پیشنهادی در این مطالعه شاکله اولیه از مدل مورد نظر به گونه‌ای ساخته شود که واحدهای کارا از منظر ایمنی واحدهایی باشند که با ورودی کمتر، خروجی بهتری داشته باشند.

از طرف دیگر در مفهوم ایمنی منطقه‌ای، منطقه‌ای در ایجاد ایمنی کارتر است که با وجود مواجهه زیاد و تجهیزات کم، تعداد تصادفات کمی را داشته باشد. با توجه به چارچوب ارائه شده برای ارزیابی عملکرد ایمنی و داده‌های موجود، استفاده از این روش پیشنهاد می‌گردد. بنابراین با توجه به مفاهیم بیان شده و مفهوم مدل تحلیل پوششی داده‌ها، می‌توان مدل مسئله‌ی مطالعه‌ی حاضر را به صورت شکل ۵ نشان داد.

جدول ۱. خلاصه آماری از متغیرهای تحلیل و ارزیابی عملکرد ایمنی ترافیک مناطق ۲۲ گانه تهران

ردیف	گروه	متغیر	میانگین	ماکزیمم	مینم	انحراف معیار
۱	مواجهه	سفرهای موتورسوار	5,149	13,818	764	3,076
۲		مسافت طی شده (وسیله-کیلومتر)	345,465	884,333	103,630	218,674
۳		تراکم جمعیتی	18	42	3	10
۴		دروازه‌ای بودن منطقه	-	1	0	-
۵	فقدان ایمنی	تعداد تصادفات فوتی	26	58	12	13
۶		تعداد تصادفات جرحی	746	1,270	356	281
۷		تعداد متوفیان	26	59	12	13
۸	ظرفیت و توانمندی	تعداد دوربین‌های کنترل سرعت	18	46	1	13
۹		میزان اعتبار محقق شده	114,821,515	268,107,009	33,016,167	57,720,031
۱۰	ارزیابی اداری	تعداد نقاط پر تصادف اصلاح‌شده دارای تائیدیه کمیته ایمنی منطقه	14	41	0	9
۱۱		تعداد نقاط پر تصادف شناسایی‌شده دارای تائیدیه کمیته ایمنی منطقه	20	41	6	10



شکل ۵. مدل تحلیل پوششی پیشنهادی جهت ارزیابی ایمنی مناطق

ارائه روش مناسب برای مقایسه عملکرد ایمنی ترافیک مناطق شهری

در ادامه به یک روش نوین اشاره خواهد شد که توسط هاشم عمرانی و همکاران در سال ۲۰۱۹ ابداع شده است (Omrani et al., 2020) و در این مطالعه نیز از آن استفاده خواهد شد. در اصل این روش ترکیبی از روش تصمیم‌گیری چند معیاره بهترین و بدترین و روش ارزیابی تحلیل پوششی داده‌های ایمنی راه است. در این مدل، قضاوت گروهی از تصمیم‌گیرندگان در مدل DEA در نظر گرفته شده می‌شود و ترجیحات تصمیم‌گیرندگان بر دامنه تغییر ضرایب اهمیت مدل‌ها تأثیر خواهد گذاشت. از ویژگی‌های اصلی مدل پیشنهادی افزایش قدرت تمایز بین واحدها نسبت به حالت پایه تحلیل پوششی داده‌ها است که به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا واحدهای با بهترین عملکرد را با دقت بالا تشخیص دهند. برای توصیف کامل این روش ابتدا خلاصه‌ای از روش تصمیم‌گیری چند معیاره بهترین و بدترین ارائه می‌شود سپس به توصیف روش ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها پرداخته خواهد شد.

روش گروهی بهترین و بدترین^۳

تعیین وزن واقعی معیارها در مسائل تصمیم‌گیری بسیار مهم است، زیرا برخی از روش‌ها به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر وزن معیارها قرار می‌گیرند. تکنیک‌های مختلف برای تعیین وزن معیارهایی پیشنهاد شده‌اند که از بین آن‌ها می‌توان به دو روش

در این بخش به توصیف مدل‌های ایمنی تحلیل پوششی داده‌ها پرداخته می‌شود. به‌طور کلی طبق مطالعات شن و همکاران مدل‌های پایه تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی ایمنی راه‌ها مناسب نمی‌باشد که از این رو در سال ۲۰۱۲ آن‌ها روش جدیدی برای ارزیابی ایمنی راه‌ها ابداع کردند (Shen et al., 2012). همان‌طور که شن و همکاران اشاره کردند، در مدل‌های ایمنی راه تحلیل پوششی داده‌ها، هدف کاهش خروجی‌ها یعنی تعداد متغیرهای فقدان ایمنی راه‌ها می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر در مدل‌های ایمنی راه تحلیل پوششی داده‌ها، مناطقی کارا شناخته می‌شوند که دارای کم‌ترین تصادفات در سطوح متغیرهای ورودی باشند. با استفاده از این مفهوم ایمنی راه، مدل ساده تحلیل پوششی داده‌ها به صورت رابطه ۱ برای مطالعات ایمنی بازنویسی می‌شود.

$$\begin{aligned} \max Z &= \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} \\ \text{subject to } &\sum_{i=1}^m u_i Y_{i0} = 1 \\ &\sum_{i=1}^m v_i x_i - \sum_{i=1}^m u_i Y_i \leq 0 \\ &u, v \geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

و قضاوت‌های افراد در یک حیطة معین جمع‌آوری می‌شوند. به عبارت دیگر قضاوت به متخصصان آن امر سپرده می‌شود. روش دلفی عمدتاً با هدف کشف ایده‌های خلاقانه و قابل اطمینان و یا تهیه اطلاعاتی مناسب به منظور تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش به منظور بررسی نگرش‌ها و قضاوت‌های افراد و گروه‌های متخصص و نیز ایجاد هماهنگی بین دیدگاه‌ها، به نظرسنجی از افراد می‌پردازد. این نظرسنجی‌ها با استفاده از پرسشنامه و بدون الزام افراد به حضور در محلی معین، طی چندین مرحله انجام می‌شود. در پایان جمع‌بندی، ارزش‌گذاری و تحلیل مجموعه دیدگاه‌ها و نظرهای افراد، مبنای هدف‌گذاری، تدوین برنامه و یا تصمیم‌گیری قرار می‌گیرد.

ایده اصلی در طراحی فرآیند روش دلفی این است که پاسخ‌دهندگان بتوانند بدون تحت تأثیر قرار گرفتن افراد معتبر و مشهور و افرادی که قدرت سخنوری خوبی در جلسات دارند، دیدگاه‌هایشان را بیان کنند. بدین ترتیب، گمنامی و بازخورد نظرات دو عنصر ضروری در روش دلفی می‌باشند. روش دلفی راهکاری برای ایجاد یک فرآیند ارتباط گروهی است، به طوری که این فرآیند به گروهی که شامل اجزای جداگانه و مستقل است، اجازه می‌دهد که در حل مسائل پیچیده شرکت کنند. در روش دلفی اولین گام این هست که افراد متخصص در زمینه مورد نظر مشخص شوند گزینش اعضای واجد شرایط برای پانل دلفی از مهم‌ترین مراحل این روش به حساب می‌آید؛ زیرا اعتبار نتایج کار بستگی به شایستگی و تخصص این افراد دارد این افراد در دلفی بر اساس روش نمونه‌گیری غیر احتمالی تعیین می‌شوند یکی از روش‌های مورد استفاده در این نوع نمونه‌گیری، هدفمند یا قضاوتی است یعنی اینکه فرد باید دنبال افرادی بگردد که با موضوع مسئله آشنایی دارند. در تمامی مراحل تکنیک دلفی میزان اهمیت عوامل در قالب طیف لیکرت (طیف ۷ تایی) (خیلی کم تأثیر: ۱)، (کم تأثیر: ۲)، (نسبتاً کم تأثیر: ۳)، (تأثیر متوسط: ۴)، (مؤثر: ۵)، (خیلی مؤثر: ۶) و (بسیار مؤثر: ۷) صورت می‌گیرد. شکل (۱۰) گام‌های مورد نیاز در روش دلفی را شکل ۶ نشان می‌دهد.

تحلیل سلسله مراتبی^۴ (AHP) (Saaty, 1990) و BWM اشاره کرد (Rezaei, 2016). روش پرکاربرد در تخصیص وزن، AHP است. باین‌حال، AHP از کمبودهایی مانند تعداد زیاد مقایسه زوجی و ناهماهنگی در ترجیحات تصمیم‌گیرندگان رنج می‌برد. روش معروف دیگر برای تعیین وزن BWM است. BWM نیز همانند AHP وزن معیارها را با استفاده از مقایسه زوجی تعیین می‌کند و همانند روش AHP نیز نظرات تصمیم‌گیرندگان را در تعیین وزن‌ها دخیل می‌کند. باین‌حال، BWM در مقایسه با AHP مزایایی مانند مقایسه زوجی کمتر و نسبت سازگاری بیشتر دارد که این مقدار برای مجموعه‌ای با n معیار به $2n-3$ مقایسه می‌رسد. به طور کلی دو مزیت اصلی این روش به صورت زیر می‌توان بیان شود:

- داده‌های مقایسه‌ای کمتر نیاز دارد؛

- این روش دارای پایه قوی‌تری است بدین صورت که جواب‌های قابل اطمینان تری می‌دهد.

مراحل روش بهترین و بدترین را می‌توان در سه مرحله خلاصه کرد:

گام اول: تعیین مجموعه معیارهای پژوهش

در گام اول ابتدا باید معیارهای مرتبط برای ارزیابی با استفاده از مرور ادبیات و یا پرسشنامه جمع‌آوری شده و سپس با استفاده از روش‌های غربالگری مانند روش دلفی، متغیرهای برگزیده برای تحلیل تعیین شوند. در ادامه به توصیف روش دلفی پرداخته می‌شود.

روش دلفی فازی

دلفی نام روشی در تحقیق علمی است که اولین بار در اواخر ۱۹۵۰ توسط کمپانی رند برای بررسی علمی نظرات کارشناسان در کالیفرنیا، پروژه دفاعی ارتش طراحی و توسعه یافت، اما به دلایل امنیتی تا ۱۲ سال بعد منتشر نگردید. اولین کاربرد غیرنظامی آن نیز در برنامه‌ریزی توسعه اقتصادی پیشنهاد شد. در کل، دلفی، از نیمه دهه ۱۹۶۰ به عنوان یک روش مهم علمی شناخته شد و اکنون برای طیف گسترده‌ای از سؤالات آینده محور و پیچیده و در طیف گسترده‌ای از زمینه‌ها و رشته‌ها استفاده می‌شود. این روش در مواردی که دانشی ناکامل و نامطمئن در دسترس باشد و یا محدودیت‌هایی از لحاظ کاربرد قوانین، فرمول‌ها و مدل‌های ریاضی مشاهده شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین منظور نظرها

$$\begin{aligned} \{ |W_i - a_{iW} W_W| \}_r &\leq \delta_r, \quad i \\ &= 1, \dots, n \\ \{ |W_B - a_{Bi} W_i| \}_r &\leq \delta_r, \quad i \\ &= 1, \dots, n \\ W_i &\geq 0 \end{aligned}$$

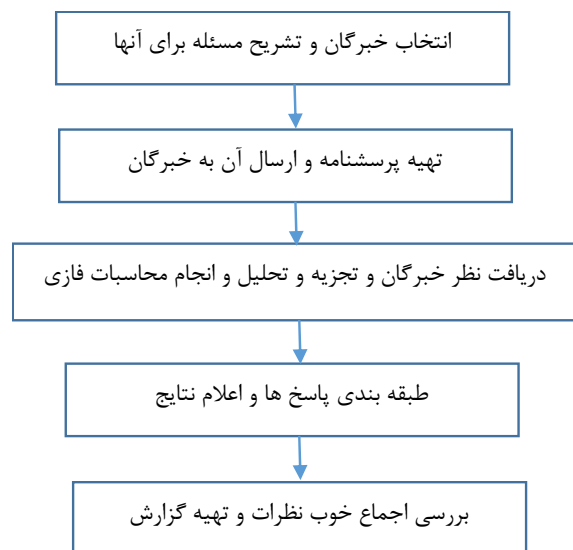
که در آن ترجیح بهترین معیار (تأثیرگذارترین معیار) بر i امین معیار برای r امین تصمیم‌گیرنده برابر است با a_{Bi} و ترجیح i امین معیار بر بدترین معیار (کم تأثیرگذارترین معیار) برای r امین تصمیم‌گیرنده برابر است با a_{iW} . همچنین W_i نشان دهنده ضریب اهمیت معیار i ام، W_W نشان دهنده ضریب اهمیت یا همان وزن شاخصی که کم‌ترین تأثیر را دارد و W_B نشان دهنده ضریب اهمیت یا همان وزن شاخصی که بیشترین تأثیر را دارد، می‌باشد. اگر تعداد تصمیم‌گیرندگان افزایش یابد و تعداد تصمیم‌گیرندگان K فرض شود رابطه ۶ به یک مدل برنامه‌ریزی چند هدفه تبدیل می‌شود و به شکل زیر بیان می‌شود.

$$\begin{aligned} \min \{ \delta_1, \delta_2, \dots, \delta_k \} \\ \text{subject to } \sum_{i=1}^m W_i &= 1 \\ \{ |W_i - a_{iW} W_W| \}_k &\leq \delta_r, \quad i \\ &= 1, \dots, n \\ \{ |W_B - a_{Bi} W_i| \}_k &\leq \delta_r, \quad i \\ &= 1, \dots, n \\ W_i &\geq 0 \end{aligned} \quad (3)$$

روش ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها ایمنی راه و روش

بدترین و بهترین

در این قسمت به بیان مدل‌های ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها با روش بهترین و بدترین پرداخته می‌شود. همان‌طور که گفته شد هدف از این کار، استفاده از نظر خبرگان برای افزایش دقت محاسبات در روش تحلیل پوششی داده‌ها است. در حقیقت این روش ترکیبی، یک مدل برنامه‌ریزی چند هدفه است. جزئیات کامل این روش در مقاله هاشم عمرانی و همکاران در سال ۲۰۱۹ موجود می‌باشد (Omran et al., 2020) و به شکل رابطه ۴ خلاصه می‌شود.



شکل ۶. گام‌های تعریف‌شده برای روش دلفی فازی

گام دوم: مقایسه بهترین معیار با دیگر معیارها و دیگر معیارها با بدترین معیار

در اینجا با استفاده از نظر تصمیم‌گیرندگان از طریق پرسشنامه، از بین متغیرهای موجود که با استفاده از روش دلفی غربالگری شد، از تصمیم‌گیرندگان خواسته می‌شود که یک متغیر را به عنوان متغیری که بیشترین تأثیر را در مطالعه دارند و یک متغیر را به عنوان متغیری که کمترین تأثیر را در مطالعه دارد تعیین کنند و سپس مقایسه زوجی بهترین معیار با دیگر معیارها و دیگر معیارها با بدترین معیار در قالب دو ماتریس تشکیل دهند و توسط طیف ۱ تا ۹ ساعتی به آن مقایسات زوجی پاسخ داده شود.

گام سوم: ایجاد برنامه‌ریزی غیرخطی برای محاسبه اوزان اهمیت معیارها

برای محاسبه وزن‌های اهمیت معیارهای موجود از یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی استفاده می‌شود. خروجی این مدل همراه با اوزان اهمیت معیارهای موجود در مطالعه خواهد بود. این مدل برنامه‌ریزی با در نظرگیری نظرات یک تصمیم‌گیرنده به شکل زیر تعریف می‌شود:

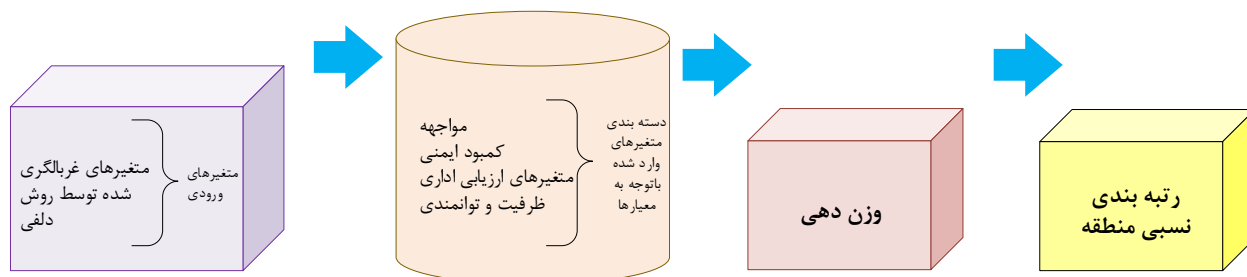
$$\begin{aligned} \min \delta_r \\ \text{subject to } \sum_{i=1}^m W_i &= 1 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\theta_j^{BWM-DEA-RS} = \frac{\sum_{i=1}^m W_i^* x_{ij}}{\sum_{i=m+1}^{m+s} W_i^* y_{ij}} \quad (5)$$

که در آن W_i^* وزن‌های به‌دست‌آمده برای هر معیار و $\theta_j^{BWM-DEA-RS}$ کارایی برای هر واحد j می‌باشد. در آخر با در نظر گرفتن توضیحات فوق، در شکل ۷ روند کلی مراحل رتبه‌بندی نشان داده‌شده است که در آن متغیرهای ارزیابی در چهار معیار مشخص شده (مواجهه، ظرفیت و توانمندی مناطق و فقدان ایمنی و متغیرهای ارزیابی اداری) وارد مدل خواهند شد. جهت غربالگری و نهایی سازی متغیرهای جمع‌آوری شده از روش دلفی فازی استفاده می‌شود. سپس با استفاده از پرسشنامه از طریق روش بهترین و بدترین ارجحیت و اهمیت هر یک از متغیرهای باقی‌مانده نسبت به هم از طریق نظرات خبرگان سنجیده می‌شود و این نظرات وارد مدل ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها خواهد شد. نتایج این رابطه نشانگر وزن واقعی تخصیص‌یافته به هر معیار خواهد بود که بعد از دستیابی به این اوزان می‌توان با استفاده از رابطه ۵ کارایی را برای هر منطقه برای هر سال محاسبه کرد. از مزایای روش پیشنهادی می‌توان به این مورد اشاره کرد که هم می‌توان عملکرد یک منطقه را در سال‌های مختلف در صورت دسترسی به داده‌ها محاسبه و با یکدیگر مقایسه کرد و هم در یک سال موردنظر می‌توان منطقه‌ها را نسبت به یکدیگر با استفاده از میزان کارایی رتبه‌بندی کرد.

$$\begin{aligned} \max f_1 &= \sum_{i=1}^m W_i x_{i0} \\ &- \theta_0^{DEA-RS} \sum_{i=m+1}^{m+s} W_i y_{i0} \\ \max f_2 &= -\delta_1 - \delta_2 \dots - \delta_k \\ \text{s. t:} & \\ \sum_{i=1}^m W_i x_{ij} - \theta_j^{DEA-RS} \sum_{i=m+1}^{m+s} W_i y_{ij} &\leq 0 \quad i \\ &= 1, \dots, n \\ \{|W_i - a_{iw} W_w|\}_k &\leq \delta_k, \quad i \\ &= 1, \dots, m \\ &+ s \quad K \\ &= 1, \dots, K \\ \{|W_B - a_{Bi} W_i|\}_k &\leq \delta_k, \quad i \\ &= 1, \dots, m \\ &+ s \quad K \\ &= 1, \dots, K \\ W_i &\geq 0 \quad i = 1, \dots, m + s \end{aligned} \quad (8)$$

که در آن θ_j^{DEA-RS} کارایی ایمنی به ازای هر واحد j می‌باشد. تابع هدف اول f_1 و اولین محدودیت، مربوط به مدل تحلیل پوششی داده‌های ایمنی راه‌ها می‌باشد و تابع هدف دوم f_2 سومین و چهارمین محدودیت نیز به روش بهترین و بدترین مربوط می‌شود. دومین محدودیت نیز به هر دو روش اختصاص دارد. رابطه ۸ را با استفاده از روش Min- Max که یک مدل برنامه‌ریزی چند هدفه می‌باشد با کمک نرم‌افزارهای محاسباتی و برنامه‌نویسی می‌توان حل کرد و بعد از محاسبه اوزان هر متغیر می‌توان کارایی هر واحد را با رابطه ۵ محاسبه می‌شود.



شکل ۷. مراحل شماتیک ارزیابی و رتبه بندی مناطق شهری

جدول ۲. نتایج مدل برای مناطق ۲۲ گانه شهر تهران

کارایی	منطقه شهرداری
0.539432	۱
0.517355	۲
0.53548	۳
0.392863	۴
0.414148	۵
0.415845	۶
0.600174	۷
0.973876	۸
0.568599	۹
0.999999	۱۰
0.825794	۱۱
0.719511	۱۲
0.777275	۱۳
0.952318	۱۴
0.478691	۱۵
0.849184	۱۶
0.960637	۱۷
0.484442	۱۸
0.359012	۱۹
0.443526	۲۰
0.51269	۲۱
1	۲۲

۴-ارائه نتایج پیاده سازی روش پیشنهادی جهت

ارزیابی ایمنی ترافیک مناطق ۲۲ گانه شهر تهران

در این بخش به ارائه نتایج مدل توضیح داد شده در بند ۶ این مطالعه بر روی داده‌های مربوط به مناطق ۲۲ گانه شهر تهران که خلاصه آن در بند چهارم و جدول ۱ نشان داده شد، پرداخته شده است. همان‌طور که در بند قبل نیز اشاره شد، از یک مسئله بهینه‌سازی چند هدفه برای تحلیل و ارزیابی عملکرد ایمنی مناطق استفاده می‌شود. می‌توان گفت که تابع هدف اول مربوط به روش تحلیل پوششی داده‌ها می‌باشد و تابع هدف دوم مربوط به ارجحیت متغیرها در ارزیابی عملکرد ایمنی ترافیک بر اساس نظرات تصمیم‌گیرندگان می‌باشد. $\theta_j^*(DEA-RS)$ مقدار کارایی پایه بدون در نظرگیری نظرات تصمیم‌گیرندگان است. همچنین ترجیح بهترین معیار (تأثیرگذارترین معیار) بر i امین معیار برای r امین تصمیم‌گیرنده برابر است با a_{Bi} و ترجیح i امین معیار بر بدترین معیار (کم تأثیرگذارترین معیار) برای r امین تصمیم‌گیرنده برابر است با a_{iw} . W_i نشان‌دهنده ضریب اهمیت معیار i ام، W_w نشان‌دهنده ضریب اهمیت یا همان وزن شاخصی که کم‌ترین تأثیر را دارد و W_b ، نشان‌دهنده ضریب اهمیت یا همان وزن شاخصی که بیشترین تأثیر را دارد، می‌باشد. X_{ij} مقدار معیار ورودی i ام برای منطقه j ام و Y_{ij} مقدار معیار خروجی i ام برای منطقه j ام می‌باشد. همچنین برای به دست آوردن $\theta_j^*(DEA-RS)$ ، باید کارایی پایه را بدون در نظر گرفتن نظرات تصمیم‌گیرندگان به دست آورد. برای مثال اگر بخواهیم برای منطقه ۱ توضیحات ذکر شده اجرا گردد رابطه ۵ به شکل ۸ تعریف می‌شود که با استفاده از روش‌های حل یک مسئله خطی قابل حل است. شایان ذکر است که این رابطه برای تک‌تک مناطق تشکیل شد و با استفاده از روش‌های حل مسئله خطی و نرم‌افزار پایتون تحلیل گردید. وزن‌های اهمیت معیارهای دخیل برای هر منطقه تعیین گردید و بعد از محاسبه اوزان هر متغیر کارایی عملکرد ایمنی ترافیک مناطق با در نظرگیری نظرات تصمیم‌گیرندگان محاسبه شد. که نتایج آن در جداول ۲ و ۳ آورده شده است.

جدول ۳. وزن متغیرهای مورد استفاده برای ارزیابی ترافیک

مناطق ۲۲ گانه شهر تهران

وزن متغیر	متغیر
0.227605	تعداد تصادفات فوتی
0.21423	تعداد تصادفات جرحی
0.137221	تعداد متوفیان
0.098541	سفرهای موتورسوار
0.092922	مسافت طی شده (وسیله-کیلومتر)
0.062419	تعداد دوربین‌های کنترل سرعت
0.048018	تراکم جمعیتی
0.04602	تعداد نقاط پر تصادف شناسایی شده
0.037623	میزان اعتبار محقق شده
0.019007	دروازه‌ای بودن منطقه
0.016394	تعداد نقاط پر تصادف اصلاح شده

۵- نتیجه گیری

در این مقاله به ارائه روشی نوین جهت ارزیابی عملکرد ایمنی ترافیک مناطق یک شهر پرداخته شده است. در این مطالعه به منظور مقایسه عادلانه‌تر، ارائه شده است که ظرفیت و توانمندی هر منطقه در بهبود ایمنی ترافیک نیز در ارزیابی مناطق لحاظ گردد. همچنین در روش پیشنهادی عوامل تداعی کننده ارزیابی اداری نیز در ارزیابی عملکرد ایمنی ترافیک مناطق شهری نیز لحاظ شده است. جهت بررسی روشی پیشنهادی نیز به ارزیابی عملکرد ایمنی ترافیک مناطق ۲۲ گانه شهرداری تهران به عنوان یک نمونه موردی پرداخته شده است.

نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد ایمنی ترافیک مناطق ۲۲ گانه شهرداری تهران نشان داده است که به‌طور کلی می‌توان گفت که با توجه به میانگین وزن‌های به‌دست آمده در مراحل قبل، گروه فقدان ایمنی و اغلب متغیرهای گروه مواجهه دارای وزن‌های بالایی در ارزیابی عملکرد ایمنی می‌باشند که به ترتیب تعداد تصادفات فوتی، تعداد تصادفات جرحی، تعداد متوفیان، سفرهای موتورسوار و مسافت طی شده (وسیله - کیلومتر) دارای بیشترین وزن‌های اهمیت می‌باشند. در نتیجه این سری از متغیرها نقش قابل توجهی در ارزیابی عملکرد ایمنی ترافیک داشته‌اند. می‌توان گفت که

همان‌طور که انتظار می‌رفت در رتبه‌های بالای جدول که دارای کارایی بالایی می‌باشند، مقدار متغیرهای فقدان ایمنی بسیار کمتر از رتبه‌های پایین‌تر جدول است که این امر نیز طبیعی است، چراکه هر چقدر تعداد متغیرهای فقدان ایمنی منطقه بیشتر باشد به ضرر آن منطقه تمام می‌شود و این در حالی است که متغیرهای فقدان ایمنی وزن‌های بالایی در تعیین رتبه مناطق به خود اختصاص داده‌اند. درستی این امر در ناموفق بودن مناطق ۱۹، ۵، ۴ و موفق بودن مناطق ۱۰ و ۲۲ بسیار مشهود است که با استفاده از ستون‌های گرمایی به ترتیب از طیف قرمز (کمترین مقدار) تا طیف سبز (بیشترین مقدار) رنگ‌بندی شده‌اند. با یک نگاه کلی به ستون گرمایی کارایی می‌توان گفت که از رتبه‌های ۱ الی ۹ که به ترتیب مناطق ۲۲، ۱۰، ۸، ۱۷، ۱۴، ۱۶، ۱۱، ۱۳، ۱۲ هستند، کارایی بهتری نسبت به بقیه مناطق دارند و بالاتر از میانگین کل مناطق قرار گرفته‌اند. می‌توان اشاره کرد که مناطق ۲۲، ۱۰، ۸، ۱۷، ۱۴ جزء مناطق موفق محسوب می‌شوند و مناطق ۱۶، ۱۱، ۱۳، ۱۲ جزء مناطق نسبتاً موفق شناخته می‌شوند. رتبه‌های ۱۰ الی ۱۵ که به ترتیب مناطق ۷، ۹، ۱، ۳، ۲، ۲۱ را در برمی‌گیرند دارای عملکرد نسبی متوسط می‌باشند.

رتبه‌های ۱۶ الی ۲۲ که به ترتیب مناطق ۱۸، ۱۵، ۲۰، ۶، ۵، ۴، ۱۹ را در برمی‌گیرند، دارای عملکرد ضعیف نسبت به بقیه مناطق هستند. از بین آن‌ها مناطق ۵، ۴، ۱۹ که دارای آمار بالای متغیرهای فقدان ایمنی هستند عملکرد ضعیف‌تری نسبت به بقیه مناطق داشته‌اند و در عملکرد ایمنی ترافیک خود ناموفق بوده‌اند.

۶- سپاسگزاری

پژوهش حاضر یکی از نتایج مطالعه‌ی "بررسی و تدوین روش ارزیابی سطح ایمنی معابر مناطق شهر تهران" است و کارفرمای آن مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران می‌باشد. نویسندگان مراتب قدردانی خود را از این مجموعه دارند. همچنین از اداره کل مهندسی و ایمنی ترافیک معاونت حمل و نقل و ترافیک بعنوان دستگاه بهره‌بردار این مطالعه و مدیریت محترم آن جناب آقای سید حسین حسینی‌نژاد کمال تشکر و قدردانی بعمل می‌آید.

1. Administrative Evaluation
2. Effectiveness Evaluation
3. Group Best-Worst Method
4. Analytic Hierarchy Process

۸-مراجع

- توکلی کاشانی، ع. و عزیزى بندرآبادى، م. (۱۳۹۴). ارائه روشی برای ارزیابی عملکرد ایمنی راه‌های استان‌ها. چهارمین کنفرانس بین‌المللی حوادث رانندگی و جاده‌ای، تهران.
- Gitelman, V., Doveh, E., & Hakkert, S. (2010). Designing a composite indicator for road safety. *Safety Science*, 48(9), 1212–1224.
- Hermans, E., Van den Bossche, F., & Wets, G. (2008). Combining road safety information in a performance index. *Accident Analysis & Prevention*, 40(4), 1337–1344.
- Hermans, E., Van den Bossche, F., & Wets, G. (2009). Uncertainty assessment of the road safety index. *Reliability Engineering & System Safety*, 94(7), 1220–1228.
- Jones, A. P., Haynes, R., Kennedy, V., Harvey, I. M., Jewell, T., & Lea, D. (2008). Geographical variations in mortality and morbidity from road traffic accidents in England and Wales. *Health & Place*, 14(3), 519–535.
- Kukić, D., Lipovac, K., Pešić, D., & Rosić, M. (2016). The differences of road safety performance of countries based on outcome indicators. *Safety Science*, 89, 279–287.
- Lassarre, S. (2001). Analysis of progress in road safety in ten European countries. *Accident Analysis & Prevention*, 33(6), 743–751.
- Noland, R. B., & Quddus, M. A. (2004). A spatially disaggregate analysis of road casualties in England. *Accident Analysis & Prevention*, 36(6), 973–984.
- Noland, R. B., & Zhou, Y. (2017). Has the great recession and its aftermath reduced traffic fatalities? *Accident Analysis & Prevention*, 98, 130–138.
- Aarts, L. T., & Houwing, S. (2015). Benchmarking road safety performance by grouping local territories: A study in the Netherlands. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 74, 174–185.
- Al Haji, G. (2005). *Towards a Road Safety Development Index (RSDI): Development of an international index to measure road safety performance*. Linköping University Electronic Press.
- Amoros, E., Martin, J. L., & Laumon, B. (2003). Comparison of road crashes incidence and severity between some French counties. *Accident Analysis & Prevention*, 35(4), 537–547.
- Bao, Q., Ruan, D., Shen, Y., Hermans, E., & Janssens, D. (2012). Improved hierarchical fuzzy TOPSIS for road safety performance evaluation. *Knowledge-Based Systems*, 32, 84–90.
- Behnood, H. R., & Pirayesh Neghab, M. (2014). Road safety performance evaluation and policy making by data envelopment analysis: A case study of provincial data in Iran. *Scientia Iranica*, 21(5), 1515–1528.
- Bester, C. J. (2001). Explaining national road fatalities. *Accident Analysis & Prevention*, 33(5), 663–672.
- Erdogan, S. (2009). Explorative spatial analysis of traffic accident statistics and road mortality among the provinces of Turkey. *Journal of Safety Research*, 40(5), 341–351.

- Shen, Y., Hermans, E., Bao, Q., Brijs, T., Wets, G., & Wang, W. (2015). Inter-national benchmarking of road safety: State of the art. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 50, 37–50.
- Shen, Y., Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., & Vanhoof, K. (2012). Road safety risk evaluation and target setting using data envelopment analysis and its extensions. *Accident Analysis & Prevention*, 48, 430–441.
- Tavakoli Kashani, A., Azizi Bondarabadi, M., & Besharati, M. M. (2020). A risk-exposure-resources approach for incorporating the performance efficiency in developing composite safety performance index. *Transportation Letters*, 12(7), 465–470.
- Tolón-Becerra, A., Lastra-Bravo, X., & Flores-Parra, I. (2013). National and regional analysis of road accidents in Spain. *Traffic Injury Prevention*, 14(5), 486–495.
- Omrani, H., Amini, M., & Alizadeh, A. (2020). An integrated group best-worst method–Data envelopment analysis approach for evaluating road safety: A case of Iran. *Measurement*, 152, 107330.
- Page, Y. (2001). A statistical model to compare road mortality in OECD countries. *Accident Analysis & Prevention*, 33(3), 371–385.
- Rezaei, J. (2016). Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega*, 64, 126–130. **doi.org/10.1016/j.omega.2015.12.001**
- Rosić, M., Pešić, D., Kukić, D., Antić, B., & Božović, M. (2017). Method for selection of optimal road safety composite index with examples from DEA and TOPSIS method. *Accident Analysis & Prevention*, 98, 277–286.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9–26. **doi.org/https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I**

A New Approach for Evaluating Traffic Safety Performance of Urban Regions

(Case Study: 22 Districts of Tehran Municipality)

Ali Tavakoli Kashani, Associate Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran and Road Safety Research Center, Iran. University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Payam Moeinei, Traffic and Transportation Department, Tehran Urban Research and Planning Center.

Ali Zahabsaniei, Traffic and Transportation Department, Tehran Urban Research and Planning Center.

Hassan Khaksar, Assistant Professor of Civil Engineering, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

E-mail: alitavakoli@iust.ac.ir

Received: June 2024- Accepted: September 2024

ABSTRACT

Providing a comprehensive view on safety level of Tehran's districts is necessary to identify performances and policies that accelerate the safety improvement process. Essential evaluations will help officials and decision makers to be informed the weaknesses and strengths of their performances in improving traffic safety compared to other areas and to modify their future policies by identifying the existing potentials. If a decision is made only based on fluctuations and the number of accidents or the number of fatal accidents in each district, the decision will not be true. It is because of the influence of some independent variables on the safety of the districts, such as differences in the population and area amount of the districts. On the other hand, considering the difference in the equipment and facilities of the districts, such as emergency equipment, the number of security cameras and the amount of budget they had on previous year, and such cases, this decision will be far from justice. The purpose of this paper is to find a pattern and a method to compare the traffic safety of urban areas and make a relative and fair comparison considering all the conditions. To this aim, 22 districts of Tehran municipality have been used as a case study. In the first step, the parameters for evaluating the traffic safety performance at the regional level have been identified. Then, the framework of risk, exposure, and capacity and capability was used to evaluate the traffic safety performance of the regions, and finally, the traffic safety in the 22 districts of Tehran municipality was evaluated using the data envelopment analysis (DEA) method. The results of the study showed that among the 22 regions, region 22 had the best performance and region 19 had the worst performance in terms of traffic safety.

Keywords: Regional Safety Evaluation, Data Envelopment Analysis, Capacity and Capability, Tehran Municipality Districts