Archive of SID

تحلیل جامع روش‌های شناسایی نقاط پرتصادف براساس مطالعه میدانی

فرشیدرضا حقیقی*، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران
اسمعیل کریمی مسکونی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول:Haghighi@nit.ac.ir

دریافت: ۹۷/۰۷/۰۶- پذیرش: ۹۷/۰۱۱/۰۵
صفحه ۹۵-۸۱

چکیده

باوجود اهمیت استفاده مؤثر روش‌های شناسایی نقاط پرتصادف (HSID)، فقط تعداد کمی از مطالعات، عملکرد روش‌های متعدد را در جهان ارزیابی کرده‌اند و در کشور ایران نیز تحقیق جامعی در این زمینه صورت نگرفته است. همچنین هیچ‌گونه تحقیقاتی در زمینه تعیین ضرایب اهمیت آزمون‌های ارزیابی در جهان صورت نگرفته است. در این تحقیق هشت روش معمول شناسایی نقاط پرتصادف (شامل فراوانی تصادف (AF)، شاخص همسنگ خسارت مالی (EPDO) براساس ضرایب پیارک و براساس ضرایب کشور کره‌جنوبی، مقدار P (مورد تأیید وزارت راه‌وشهرسازی)، نرخ تصادف (AR)، معیار ترکیبی، تجربی بایس (EB)، و مبتنی بر خطر اجتماعی)، براساس هفت معیار ارزیابی کمی شامل (آزمون سازگاری مکان، آزمون سازگاری روش، آزمون اختلاف رتبه‌بندی کلی، آزمون امتیاز کلی، آزمون شناسایی کاذب، آزمون حساسیت و آزمون دقت) مقایسه شده‌اند. برای ارزیابی در مطالعات میدانی، از داده‌های تصادفات سه ساله محور خیرفت-کرمان استفاده شد و نیز از تکنیک روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای تعیین ضرایب اهمیت آزمون‌های ارزیابی استفاده شده است. از نتایج مبتنی بر روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مشخص شد که آزمون اختلاف رتبه‌بندی کلی نسبت به سایر آزمون‌ها بهترین عملکرد را در شناسایی "بهترین روش شناسایی نقاط پرتصادف" داراست. آزمون‌های ارزیابی کمی نشان دادند که روش تجربی بایس، سازگارترین روش برای شناسایی مکان‌های پرتصادف می‌باشد و روش‌های فراوانی تصادف و نرخ تصادف و معیار ترکیبی پس از روش تجربی بایس به علت شناسایی نقاط پرتصادف مشابه، نتایج ارزیابی برابر با همی دارند. به دنبال این روش‌ها، به ترتیب روش‌های مقدار P، شاخص همسنگ خسارت مالی براساس ضرایب پیارک، مبتنی بر خطر اجتماعی و شاخص همسنگ خسارت مالی براساس ضرایب کشور کره‌جنوبی قرار دارند. نتایج نشان می‌دهد که روش شاخص همسنگ خسارت مالی براساس ضرایب کشور کره‌جنوبی ضعیف‌ترین عملکرد را میان تمامی روش‌های شناسایی نقاط پرتصادف دارا می‌باشد. البته باید توجه کرد که نتایج براساس داده‌های یکی از محورهای کشور ایران بودند و عملکرد نسبی این روش‌های شناسایی نقاط پرتصادف ممکن است وقتی‌که از سایر داده‌های تصادف استفاده شود، تغییر کند؛ بااین‌وجود، نتایج با یافته‌های قبلی تا حدود بالایی سازگار می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: ایمنی، نقاط پرتصادف، معیار رتبه‌بندی، روش تجربی بایس، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

۱-مقدمه

روند رخداد مرگ ناشی از سوانح ترافیکی در کل جهان در چند دهه‌ی اخیر رو به افزایش بوده و سبب مرگ سالانه حدود ۱/۲۷ میلیون نفر و جراحت بیش از ۵۰ میلیون نفر در جهان می‌شود. این تعداد مرگ ۲/۱ درصد کل مرگ‌ها و ۲۳ درصد مرگ‌های ناشی از انواع مصدومیت‌ها است [Akbari et.al, 2006]. طبق آخرین گزارش‌های سازمان بهداشت جهانی[1] (WHO)، میزان مرگ‌های ناشی از سوانح ترافیکی در جهان ۱۸/۸ به ازای صد هزار نفر جمعیت است [WHO, 2009]. اما این میزان در ایران که حدود ۱/۱ درصد جمعیت جهان را دارد؛ ۳۵/۸ در صد هزار است. به عبارتی ۱/۹ کل حوادث ترافیکی دنیا در ایران رخ می‌دهد. تعداد خودروهای ثبت شده جهان نیز ۱/۳۱۸ میلیارد گزارش

www.SID.ir

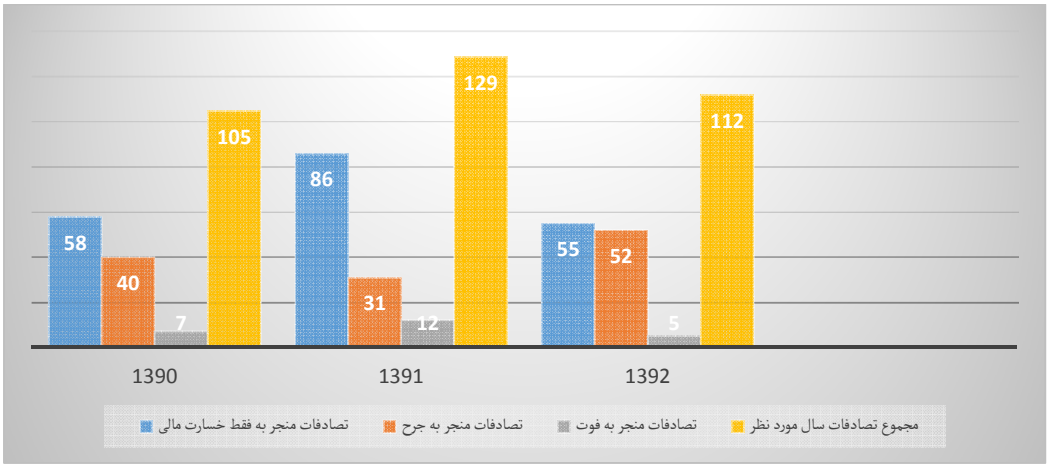
Archive of SID

شده و ایران تنها ۰/۱۳ درصد خودروهای جهان را دارد. به عبارتی میزان مرگ‌های ناشی از سوانح ترافیکی در ایران به ازای جمعیت و به ازای تعداد خودرو بسیار بالاتر از متوسط این میزان‌ها در جهان است [Hatamabadi et.al, 2011]. شناسایی نقاط پرتصادف، به شناسایی مکان‌های خطرناک جاده[۲]، مکان‌های پرخطر[۳]، مکان‌های مستعد تصادف[٤]، مکان‌های سیاه[٥] یا مکان‌های در اولویت بررسی[٦] اطلاق می‌شود؛ که اولین مرحله از فرایند مدیریت ایمنی می‌باشد. شناسایی نقاط پرتصادف منجر به تشکیل لیستی از مکان‌هایی می‌شود که برای مطالعات مهندسی دقیق‌تر اولویت‌بندی شده‌اند که می‌توانند الگوهای تصادف، عوامل سهیم و اقدامات بالقوه را بهتر شناسایی کنند. در مقایسه با تعداد زیادی از مطالعات که برای توسعه روش‌های متعدد *شناسایی نقاط پرتصادف* متمرکز می‌باشند، به‌طور قابل‌توجه مطالعات کمتری به مقایسه عملکرد روش‌های گوناگون اختصاص یافته است [Cheng and Washigton, 2005]. مقایسه روش‌های *شناسایی نقاط پرتصادف*، شامل شناسایی و توسعه معیارهای کمی و کیفی قوی و حاوی اطلاعات آموزنده می‌باشد که می‌تواند برای ارزیابی روش‌ها مورد استفاده قرار گیرد. در اولین نمونه از این تحقیقات، مونتلا[۷] (۲۰۱۰) با استفاده از داده‌های تصادفات به دست آمده از جاده‌های ایتالیا روش‌های متعدد شناسایی نقاط پرتصادف را با استفاده از آزمون سازگاری مکان[۸]، آزمون سازگاری روش[۹]، آزمون اختلاف رتبه‌بندی کلی[۱۰] و آزمون نمره کلی[۱۱] مقایسه کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که از میان روش‌های *شناسایی نقاط پرتصادف*، به ترتیب روش تجربی بایس[۱۲] (EB) و روش نسبت، بهترین و بدترین عملکرد را در میان تمامی روش‌های مورد مطالعه دارند [Montella, 2010]. همچنین چن[۱۳]و همکارانش (۲۰۱٤) با استفاده از داده‌های تصادفات به دست آمده از جاده‌های انگلستان به مقایسه روش‌های تحلیل فضایی (خودهمبستگی فضایی مکانی[۱٤] (LSA) و برآورد چگالی کرنل[۱٥] (KDE)) و همچنین روش‌های فراوانی تصادف (AF)، نرخ تصادف (AR)، تجربی بایس (EB) و پتانسیل کاهش تصادف با روش تجربی بایس پرداختند. این روش‌ها، با استفاده از آزمون سازگاری مکان، آزمون سازگاری روش و آزمون شناسایی کاذب[۱٦] مورد مقایسه قرار گرفته‌اند که در نتیجه روش‌های تجربی بایس (EB) و برآورد چگالی کرنل (KDE) بهتر از سایر روش‌های *شناسایی نقاط پرتصادف* عمل کردند [Chen et.al, 2014]. به‌علاوه، مِنگ[۱۷] و همکارانش (۲۰۱٤) با استفاده از داده‌های جاده‌ای در سنگاپور به مقایسه روش تجربی بایس مبتنی بر خطر اجتماعی، روش تجربی بایس مبتنی بر فراوانی، روش رتبه‌بندی ساده مبتنی بر خطر اجتماعی و روش رتبه‌بندی ساده مبتنی بر فراوانی پرداختند. برای مقایسه این روش‌ها، آزمون رتبه‌بندی کلی و آزمون سازگاری روش مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نتایج این مقایسه نشان داد که روش‌های مبتنی بر فراوانی سازگارتر از روش‌های مبتنی بر خطر اجتماعی و همچنین روش تجربی بایس بسیار سازگارتر از روش‌های رتبه‌بندی ساده می‌باشد [Meng et.al, 2014]. با توجه به این‌که مطالعات جامعی بر روی روش‌های شناسایی نقاط پرتصادف صورت نگرفته است و در هر مطالعه تعدادی روش مورد بررسی قرار گرفته‌اند، در این تحقیق به بررسی جامع این روش‌ها پرداخته می‌شود. همچنین در این تحقیق به علت این‌که تا بحال هیچ‌گونه مطالعه‌ای بر روی این‌که کدام آزمون ارزیابی برای شناسایی نقاط پرتصادف مناسب‌تر می‌باشد صورت نگرفته است، از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای تعیین ضرایب اهمیت آزمون‌های ارزیابی استفاده می‌شود. روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[۱۸] (AHP)، براساس تحلیل مغز انسان برای مسائل پیچیده و فازی پیشنهاد شده است. این روش توسط محققی به نام توماس ال-ساعتی در سال ۱۹۷۰ پیشنهاد شده است، به‌طوری‌که کاربردهای متعددی از آن زمان تاکنون برای این روش مورد بحث قرار گرفته‌اند. در بین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) بیش از همه در حل مسائل رتبه‌بندی مورد توجه قرار گرفته است. محور مورد مطالعه در مطالعات میدانی ۲۲۰ کیلومتر می‌باشد و در این مطالعه داده‌های تصادف ٦۳ کیلومتر از محور جیرفت-کرمان که در محدوده شهرستان جیرفت قرار داشت، طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۹۰ برای یافتن نقاط پرتصادف و همچنین اعتبارسنجی آماری روش‌های شناسایی نقاط پرتصادف مورد استفاده قرار گرفتند. این داده‌های تصادف به

www.SID.ir

Archive of SID

دو دوره اول (۱۳۹۰ و ۱۳۹۱) و دوره دوم (۱۳۹۲) برای انجام این مطالعه تقسیم شده‌اند که براساس نتایج این دوره‌ها به تحلیل روش‌های متعدد برمبنای آزمون‌ها پرداخته می‌شود. آغاز این محور شهرستان جیرفت و انتهای این محور شهرستان کرمان و سیرجان می‌باشد که تقریبا در اواسط مسیر، دو مسیر کرمان و سیرجان از هم جدا می‌شوند. مسیر شامل مناطق گردشگری دلفارد و شهر راین می‌شود. این محور به دلیل وجود مناطق گردشگری و خوش آب‌وهوا در طول مسیر دارای حجم ترافیک عبوری بسیار بالا مخصوصا در نیمه اول سال می‌باشد، به‌طوری‌که در اواخر هفته دارای حجم ترافیک بسیار سنگینی است. باعنایت به اینکه وضعیت فعلی مسیر به دلیل کیفیت نامناسب هندسی در پلان و نیمرخ طولی قادر به سرویس‌دهی روان و ایمن به حجم رو به افزایش وسایل‌نقلیه نمی‌باشد و دارای تصادفات بسیار می‌باشد. در نمودار (۱) وضعیت داده‌های تصادف محور مورد مطالعه براساس داده‌های جمع‌آوری شده از اداره کل راه‌وشهرسازی جنوب استان کرمان دارای حجم ترافیک متوسط روزانه ۱۸۶۸ وسیله نقلیه در روز می‌باشد. همچنین برای انجام این تحقیق، جاده موردنظر به قطعات برابر با طول یک کیلومتر تقسیم شده است که بنابراین این محور به ۶۳ قطعه برابر تقسیم می‌شود. استان کرمان در جنوب شرقی فلات مرکزی قرار دارد. جمعیت استان براساس آخرین سرشماری مرکز آمار ایران که در سال ۱۳۹۰ انجام گرفت برابر با ۲۹۳۸۹۸۸ نفر اعلام گردید و مساحت این استان پهناور برابر با ۱۸۰۷۲۶ کیلومترمربع است. کرمان با در برگرفتن بیش از ۱۱٪ از وسعت ایران ازلحاظ وسعت خاکی، بزرگ‌ترین استان ایران و با در نظر گرفتن مرز آبی پس از سیستان‌وبلوچستان دومین استان پهناور ایران می‌باشد. برطبق آمار اداره کل راه‌وشهرسازی استان کرمان این استان قریب به ۱۱٪ از کل راه‌های ترانزیتی کشور را در خود جای داده است. ۳ ساله محور مورد مطالعه و همچنین در شکل (۱) محدوده این محور نشان داده شده است.



نمودار ۱. اطلاعات کلی تصادفات محور مورد مطالعه در سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۹۰

شکل ۱. محدوده مورد مطالعه محور جیرفت-کرمان

www.SID.ir

Archive of SID

روش‌های شناسایی نقاط پرتصادف به‌کاررفته در اعتبارسنجی آماری

مجموعه روش‌های شناسایی نقاط پرتصادف که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته‌اند شامل روش فراوانی تصادف (AF)، روش شاخص همسنگ خسارت مالی (EPDO) برحسب ضرایب پیارک، روش شاخص همسنگ خسارت مالی (EPDO) برحسب ضرایب کشور کره‌جنوبی، روش مقدار P (مورد تأیید وزارت راه‌وشهرسازی)، روش نرخ تصادف (AR)، معیار ترکیبی (ترکیبی از روش‌های فراوانی تصادف و نرخ تصادف)، روش تجربی بایس (EB)، و روش مبتنی بر خطر اجتماعی می‌باشد.

روش فراوانی تصادف[19] (AF) [PIARK, 2004]

فراوانی تصادفات ساده‌ترین معیار شناسایی می‌باشد. با به کار بردن این روش، مکان‌ها به‌صورت نزولی؛ برحسب تعداد تصادفات مشاهده شده رتبه‌بندی می‌شوند. محاسبه فراوانی تصادف براساس رابطه (۱) انجام می‌شود؛ که در آن f_{rp} = متوسط تعداد تصادفات، f_j = فراوانی تصادفات متعلق به نقطه j از یک جمعیت آماری و n = تعداد نقاط حادثه‌خیز می‌باشد.

$$f_{rp} = \frac{\sum f_j}{n} \quad (۱)$$

به‌منظور مقایسه مکان‌های مختلف، برطبق رابطه (۱) مجموع تصادفات اتفاق افتاده در محور موردمطالعه بر تعداد نقاطی که دارای تصادف می‌باشند تقسیم می‌گردد که عدد موردنظر نشان دهنده متوسط تعداد تصادفات (f_{rp}) می‌باشد که تعداد تصادفات را در هرسال در هر کیلومتر نشان می‌دهد که نتیجه یک مقدار می‌شود. برطبق گفته پیارک هر نقطه‌ای که دو برابر f_{rp} تصادف داشته باشد، نقطه پرتصادف شناخته می‌شود که در جدول (۱) برای هر دو دوره در ستون دوم نقاط پرتصادف به رنگ سیاه نشان داده شده‌اند.

شاخص همسنگ خسارت مالی[20] (شاخص EPDO) [PIARK, 2004]

شاخص همسنگ خسارت مالی (EPDO)، وزن تصادفات را برطبق شدت آن‌ها (منجر به مرگ، منجر به جرح و فقط خسارت مالی) اندازه‌گیری می‌کند که ترکیبی از فراوانی و وزن شدت را برای هر مکان ارائه می‌دهد. ضرایب وزن‌ها، براساس هزینه‌های ایجاد شده برای هر نوع تصادف برآورد می‌شود. یک مقدار شاخص همسنگ خسارت مالی (EPDO)، هزینه‌های یک تصادف و شدت آن را به‌طور خلاصه نشان می‌دهد. آگن (۱۹۷۳) ضرایب تصادف فقط خسارت مالی- ۱، تصادف با جراحات خفیف- ۳/۵ و برای تصادف با جراحات شدید یا مرگ‌ومیر- ۹/۵ را پیشنهاد می‌کند [PIARK, 2004]. ضرایب وزن از برآورد هزینه تصادفات در کشور کره‌جنوبی شامل تصادف منجر به فقط خسارت مالی-۱، تصادف با جراحات خفیف- ٤۸۰ و تصادف با جراحات شدید یا مرگ‌ومیر ۱۳۳۰ می‌باشد [Washigton et.al, 2014] که محاسبه شاخص براساس روابط (۲ تا ٤) انجام می‌شود؛ که در آن‌ها شاخص همسنگ خسارت مالی با EPDO و W_i ضریب وزنی نوع I تصادف و f_{ij} فراوانی تصادف مکان j می باشد.

$$EPDO_j = \sum W_i \times f_{ij} \quad (۲)$$

$$\overline{EPDO_j} = \frac{EPDO_j}{f_j} \quad (۳)$$

$$\overline{EPDO_{rp}} = \frac{\sum\sum W_i \times f_{ij}}{\sum f_j} \quad (٤)$$

برطبق رابطه (۲) مقدار شاخص همسنگ خسارت مالی برای هر نقطه دارای تصادف محاسبه می‌گردد و براساس رابطه (۳) مقدار شاخص همسنگ خسارت مالی متوسط ($\overline{EPDO_j}$) نقاط پرتصادف و همچنین برطبق رابطه (٤) مقدار شاخص همسنگ خسارت مالی مرجع ($\overline{EPDO_{rp}}$) به‌دست می‌آید و

www.SID.ir

Archive of SID

هر مقطعی که مقدار $\overline{EPDO_j}$ آن بیشتر از دو برابر مقدار $\overline{EPDO_{rp}}$ باشد به‌عنوان نقطه پرتصادف شناسایی می‌شود و این نقاط در جدول (۱) در ستون‌های (۳ و ٤) به‌ترتیب براساس ضرایب پیارک و کشور کره‌جنوبی به رنگ سیاه نشان داده شده‌اند.

روش مقدار P برطبق ضرایب سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای ایران۲۱ [وزارت راه و شهرسازی، ۱۳۹۳]

سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای ایران ضرایب تصادف منجر به فقط خسارت مالی− ۰/۵، تصادف منجر به جراحات ۳ و برای تصادف منجر به مرگ ومیر۹ را برای روش مقدار P پیشنهاد می‌کند؛ برای محاسبه مقدار P از روابط (۵ و٦) استفاده می‌شود:

$$\text{مقدار } P = (\text{تصادف منجر به مرگ} \times 3) + (\text{تصادف منجر به جرح} \times 0/5) + (\text{تصادف منجر به خسارت مالی} \times 9) \quad (۵)$$

$$\text{مقدار } P \geq 20 \quad (٦)$$

برطبق رابطه (۵) مقدار P در جدول (۱) در ستون پنجم برای هر دو دوره مشخص شده و همچنین برطبق رابطه (٦) هر مقطعی که بیش از ۲۰ تصادف دارد به‌عنوان نقطه پرتصادف شناسایی می‌گردد که به رنگ سیاه نشان داده شده است. البته هرساله مقدار این معیار براساس هزینه‌های برآورد شده از هر نوع تصادف تغییر می‌کند و همیشه مقدار ۲۰ ثابت نیست.

نرخ تصادف[۲۲] (AR) [PIARK, 2004]

براساس تعریف، نرخ تصادف نسبت بین تعداد تصادفات و تعداد وسایل‌نقلیه موجود می‌باشد. حجم ترافیک قطعات جاده، به‌صورت تعداد وسایل‌نقلیه عبور کرده از قطعات جاده، طی دوره مورد مطالعه اندازه‌گیری می‌شود. این روش، خطر تصادف برای هر استفاده‌کننده از جاده را نشان می‌دهد. محاسبه نرخ تصادف براساس روابط (۷ تا ۱۰) انجام می‌شود که در آن‌ها $R_j =$ نرخ تصادف مکان j (تصادف بر میلیون وسیله‌نقلیه−کیلومتر)، $f_j =$ فراوانی تصادف مکان j، $P =$ دوره زمانی تحلیل (سال)، $L_j =$ طول مقطع مکان j (کیلومتر)، $Q_w =$ میانگین سالانه وزنی ترافیک روزانه (AADT)، $R_{rp} =$ میانگین نرخ تصادف (تصادف بر میلیون وسیله‌نقلیه−کیلومتر) و $Q_j =$ میانگین سالانه ترافیک روزانه (AADT) می‌باشد.

$$R_j = \frac{f_j \times 10^6}{365.25 \times P L_j Q_w} \quad (۷)$$

$$R_{rp} = \frac{\sum f_j \times 10^6}{365.25 \times P \times \sum L_j \times Q_j} \quad (۸)$$

$$Q_w = \sum \frac{(Q_j \times L_j)}{\sum L_j} \quad (۹)$$

$$Q_j = j \text{ مکان } AADT \quad (۱۰)$$

برطبق رابطه (۷) مقدار نرخ تصادف هر مکان (R_j) و همچنین براساس رابطه (۸) میانگین نرخ تصادف (R_{rp}) محور موردمطالعه تعیین می‌گردد و هر مقطعی که دارای R_j بیش از R_{rp} باشد، پرتصادف شناسایی می‌شود. این نقاط در جدول (۱) در ستون ششم به رنگ سیاه نشان داده شده‌اند.

روش معیار ترکیبی [PIARK, 2004]

ترکیب معیارهای مختلف می‌تواند نواقص هریک از آن‌ها را کاهش دهد. روش معیار ترکیبی، از ترکیب روش فراوانی تصادف و روش نرخ تصادف استفاده می‌کند که شامل الف) محاسبه فراوانی و نرخ تصادف هر مکان (معادله (۷))، ب) محاسبه میانگین فراوانی و نرخ تصادف در جامعه مرجع (معادلات (۱) و (۸))، ج) محاسبه حداقل فراوانی و نرخ تصادف که تحلیل تفصیلی ایمنی را موجه می‌سازد و درنهایت د) رتبه‌بندی مکان‌ها مطابق با این معیارهای شناسایی می‌باشد. هر مقطعی که در آن هر دو فراوانی تصادف و نرخ تصادف بیش از مقدار معیار آن‌ها در آن مقطع براساس روابط (۱ و ۸) باشد، به‌عنوان نقطه پرتصادف شناسایی می‌گردد که در جدول (۱) نتایج این روش برای هر دو دوره در ستون هفتم نشان داده شده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

روش تجربی بایس (EB) [PIARK, 2004]

این روش مبتنی بر مفهوم "سطح ایمنی" می‌باشد که تحت تأثیر مشخصات آن می‌باشد. درنتیجه، با آگاهی از میانگین سطوح ایمنی مکان‌هایی که دارای مشخصات مشابه‌ای با مکان مذکور هستند، می‌توان عملکرد ایمنی مورد انتظار آن را پیش‌بینی نمود. در این روش، فراوانی تصادفات تعدیل‌یافته یک مکان با کمک مکان‌های مشابه دیگر (جامعه مرجع) محاسبه شده و تقریب بهتری از میانگین فراوانی تصادفات بلندمدت به دست می‌آید که در آن اگر از روش زمانی استفاده شود نیازمند محاسبه میانگین فراوانی تصادف و واریانس جامعه مرجع می‌باشد. فراوانی تصادفات در مکان مورد مطالعه با کمک این دو عدد تعدیل می‌گردند. رابطه (۱۱) محاسبات جهت برآورد فراوانی تصادفات تعدیل یافته را نشان می‌دهد که در آن $f_{EB\,j}$ = فراوانی تصادف تعدیل یافته مکان j، f_{rp} = میانگین فراوانی تصادف در جامعه مرجع، S^2 = واریانس فراوانی تصادف در جامعه مرجع ($S^2 = \frac{\sum(f_j - f_{rp})^2}{(n-1)}$) می‌باشد. محاسبه پتانسیل بهبود (P.I.) هر یک از مکان‌ها طبق رابطه (۱۲) می‌باشد.

$$f_{EB\,j} = f_j + \frac{f_{rp}}{S^2}(f_{rp} - f_j) \quad (۱۱)$$

$$P.I._j = f_{EBj} - f_{rp} \quad (۱۲)$$

برطبق روابط (۱۱ و ۱۲) به‌ترتیب مقدار فراوانی تصادف تعدیل یافته و مقدار پتانسیل بهبود برای هر مکان محاسبه می‌گردد و برطبق ستون هشتم در جدول (۱) و همچنین براساس پیارک، ۱۰٪ از نقاط که مقدار $P.I._j$ آن‌ها در دو دوره بیشترین باشد، به‌عنوان نقاط پرتصادف شناسایی می‌شوند.

روش مبتنی بر خطر اجتماعی[۲۳] [Qu and Meng, 2014]:

در این روش، شناسایی نقاط پرتصادف براساس روش "تمایل برای پرداخت" می‌باشد که میزان هزینه‌ی پرداخت شده از سوی افراد جامعه برای کاهش خطر در زندگی را برآورد می‌کند، که مقداری براساس یک پیش‌بینی یا حقیقت می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر، روش تمایل برای پرداخت تلاش می‌کند که رابطه جانشینی بین سلامتی و کاهش خطر استفاده کند. در این روش از هزینه‌های برآورد شده تصادفات از مطالعات مختلفی که کاملاً سازگار هستند استفاده می‌شود. NSC هزینه‌های مالی برآورد شده براساس هزینه‌های جامع از تصادفات وسایل نقلیه موتوری با شدت‌های مختلف هزینه فقط خسارت مالی- ۲۴۰۰ دلار آمریکا، هزینه تصادف منجر به جرح- ۴۰۸۰۰ دلار آمریکا و برای هزینه تصادف منجر به مرگ- ۴۳۰۰۰۰۰ دلار آمریکا استفاده می‌کند [NSC, 2009]. برای محاسبه هزینه برآورد شده از تصادفات طبق رابطه (۱۳) استفاده می‌شود؛ که f_{ij}= تعداد تصادفات سالانه نوع j اتفاق افتاده در قطعه i و m_{ij}= هزینه‌های مالی برآورد شده از یک نوع تصادف از نوع j می‌باشد.

$$R_i = \sum_{i=1}^{J}(f_{ij}m_{ij}), \quad \forall i \in \{1, 2, 0\,00, I\} \quad (۱۳)$$

در این روش براساس رابطه (۱۳) مقدار هزینه ایجاد شده از هر تصادف (R_i) محاسبه می‌گردد و به دلیل نبود معیار مناسب برای تعیین نقاط پرتصادف، ۱۰٪ بالایی برطبق ستون نهم جدول (۱) به‌عنوان نقاط پرتصادف که با رنگ سیاه نشان داده شده‌اند، در نظر گرفته می‌شوند.

معیارهای ارزیابی روش‌های شناسایی نقاط پرتصادف مورد استفاده در اعتبارسنجی آماری

مجموعه معیارهای ارزیابی روش‌های شناسایی نقاط پرتصادف که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته‌اند،

www.SID.ir

Archive of SID

شامل آزمون سازگاری مکان (SCT)، آزمون سازگاری روش (MCT)، آزمون اختلاف رتبه‌بندی کلی (TRDT)، آزمون نمره کلی (TST)، آزمون شناسایی کاذب، آزمون حساسیت و آزمون دقت می‌باشد. در ادامه هرکدام از آزمون‌ها توضیح داده می‌شوند.

۳-۱- آزمون سازگاری مکان (SCT)

آزمون سازگاری مکان، توانایی یک روش شناسایی نقاط پرتصادف (HSID) برای شناسایی به‌طور مداوم یک مکان دارای خطر زیاد را در طول دوره مشاهده بعدی نشان می-دهد. این آزمون بر پایه این فرض قرار دارد که مکانی که در طول دوره i به‌عنوان مکان پرخطر شناسایی شود، باید در طول دوره بعدی i+۱ هم به همین عنوان معرفی شود. برای این مقایسه از معادله (۱٤) استفاده می‌شود؛ که n= تعداد کل مکان‌هایی که مقایسه می‌شوند، C= تعداد تصادفات برای مکان رتبه‌بندی شده k، $\propto$= آستانه شناسایی مکان‌های پرخطر، j= روش شناسایی نقاط پرتصادف مورد مقایسه و i = دوره مشاهده می‌باشد.

$$T1 = \sum_{k=n-n\propto}^{n} C_{k,method=j(i),i+1} > \sum_{k=n-n\propto}^{n} C_{k,method\neq j,i+1} \quad (۱٤)$$

۳-۲- آزمون سازگاری روش (MCT)

آزمون سازگاری روش، عملکرد یک روش را با توجه به مکان‌های پرحادثه که در هر دو دوره زمانی شناسایی شده‌اند، اندازه‌گیری می‌کند. فرض می‌شود که، مقاطع جاده مشابه هستند و عملکرد ایمنی مورد انتظار آن‌ها در طول دو دوره تحلیل بدون تغییر باقی می‌ماند. ازلحاظ تحلیلی، آزمون سازگاری روش درواقع، فصل مشترکی از K مکان رتبه‌بندی شده در دوره‌های زمانی i و i+۱ که جزء پرخطرترین مقاطع هستند، می‌باشد. برای انجام این ارزیابی از رابطه (۱۵) استفاده می‌شود:

$$T2 = \{K_{n-n\propto}, K_{n-n\propto+1}, \dots, K_n\}_{j,i} \cap \{K_{n-n\propto}, K_{n-n\propto+1}, \dots, K_n\}_{j,i+1} \quad (۱۵)$$

۳-۳-آزمون اختلاف رتبه‌بندی کلی (TRDT)

آزمون اختلاف رتبه‌بندی کلی، که براساس آزمون سازگاری روش ایجاد شده است، رتبه‌بندی عملکرد ایمنی قطعات مختلف جاده را در هر دو دوره در نظر می‌گیرد. این آزمون، با محاسبه‌ی مجموع اختلاف رتبه‌بندی کلی مکان‌های شناسایی شده در طول دو دوره ارزیابی می‌شود. معادله این آزمون آماری برطبق رابطه (۱٦) می‌باشد؛ که $\Re$ رتبه‌بندی مکان k در دوره i برای روش j می‌باشد. اختلاف در رتبه‌بندی‌ها برابر مجموع همه مکان‌های شناسایی شده، برای سطح آستانه α برای دوره i می‌باشد.

$$T3 = \sum_{k=n-n\propto}^{n} \left(\Re(k_{j,i}) - \Re(k_{j,i+1})\right) \quad (۱٦)$$

۳-٤- آزمون شناسایی کاذب[۲٤] (T٤)

آزمون شناسایی کاذب شامل FNs (مکان‌های خطرناکی که اشتباهاً به‌صورت ایمن در نظر گرفته می‌شوند) و FPs (مکان‌های ایمنی که اشتباهاً به‌صورت خطرناک قلمداد می‌شوند) می‌شود. این آزمون، شناسایی‌های کاذب را برای

www.SID.ir

Archive of SID

ارزیابی عملکرد انواع روش‌های متعدد شناسایی نقاط پرتصادف (HSID) استفاده می‌کند. در این تحلیل، میانگین سه سال داده‌های تصادف، به‌عنوان متوسط پواسون صحیح (TPM) مقطع جاده، مورد استفاده می‌باشد.

۳-۵- آزمون امتیاز کلی (T۵)

در آزمون امتیاز کلی، آزمون سازگاری مکان، آزمون سازگاری روش و آزمون اختلاف رتبه‌بندی کلی ترکیب می‌شوند تا به یک شاخص ترکیبی دست پیدا کنند. اگر روش j در همه آزمون‌ها بهترین عملکرد را داشته باشد، مقدار این آزمون ۱۰۰ می‌شود. این آزمون طبق رابطه (۱۷) تشریح می‌گردد:

$$T_5 = \frac{100}{3} \times \left[\left(\frac{SCT_j}{max_j^{SCT}} \right) + \left(\frac{MCT_j}{max_j^{MCT}} \right) + \left(1 - \frac{TRDT_j - min_j^{TRDT}}{max_j^{TRDT}} \right) \right] \quad (۱۷)$$

۳-۶- آزمون حساسیت[۲۵] (T۶)

در این آزمون، به بررسی میزان حساسیت روش‌های مختلف شناسایی نقاط پرتصادف براساس رابطه (۱۸) پرداخته می‌شود، بنابراین هر روش شناسایی نقاط پرتصادف (HSID) که در این آزمون بیشترین مقدار را داشته باشد، بهترین عملکرد را دارا می‌باشد.

$$\text{حساسیت} = \frac{\text{تعداد نقاط پرتصادفی که در هر دو دوره شناسایی شده اند } (\text{مثبت درست})}{\text{تعداد نقاط پرتصادف که در دوره اول شناسایی شده و در دوره دوم شناسایی نشده اند } (\text{مثبت نادرست})} \quad (۱۸)$$

همان‌طور که از رابطه (۱۸) دیده می‌شود هرچه تعداد نقاط پرتصادف شناسایی شده در هر دو دوره برای هر روش شناسایی نقاط پرتصادف (HSID) بیشتر باشد، میزان حساسیت به دست آمده از این رابطه بیشتر و روش مذکور سازگارتر می‌باشد.

۳-۷- آزمون دقت[۲۶] (T۷)

در این آزمون، به بررسی میزان دقت روش‌های مختلف شناسایی نقاط پرتصادف (HSID) براساس رابطه (۱۹) پرداخته می‌شود، بنابراین هر روش شناسایی نقاط پرتصادف که در این آزمون بیشترین مقدار را داشته باشد، بهترین عملکرد را دارا می‌باشد.

$$\text{دقت} = \frac{\text{تعداد نقاط پرتصادف که در هر دو دوره شناسایی نشده اند } (\text{منفی درست})}{\text{تعداد نقاط پرتصادف که در دوره اول شناسایی نشده و در دوره دوم شناسایی شده اند } (\text{منفی نادرست})} \quad (۱۹)$$

طبق رابطه (۱۹)، هرچه تعداد نقاط پرتصادف شناسایی نشده در هر دو دوره در هر روش بیشتر باشد، میزان دقت به دست آمده از این آزمون برای هر روش بیشتر می‌باشد و در نتیجه آن روش قابل‌اطمینان‌تر می‌باشد.

٤-نتایج روش‌های شناسایی نقاط پرتصادف و معیارهای ارزیابی و ارزیابی آزمون‌ها براساس روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

تحلیل سلسله مراتبی و کاربرد آن بر سه اصل استوار است؛ الف- برپایی یک ساختار و قالب رده‌ای برای مسئله، ب- برقراری ترجیحات از طریق مقایسات زوجی (به‌صورت نرخ نهایی جانشینی)، ج- برقراری سازگاری منطقی از اندازه‌گیری‌ها؛ و در این روش، یک ماتریس تشکیل شده ممکن است سازگار یا ناسازگار باشد. در ماتریس سازگار، محاسبه وزن ساده بوده و با استفاده از نرمالیزه کردن تک‌تک ستون‌ها به دست می‌آید. علاوه بر محاسبه وزن در ماتریس‌های ناسازگار، محاسبه مقدار ناسازگاری نیز از

www.SID.ir

Archive of SID

اهمیت بالایی برخوردار است. در حالت کلی می‌توان گفت که میزان قابل‌قبول ناسازگاری یک ماتریس یا سیستم، بستگی به تصمیم‌گیرنده دارد، اما ساعتی عدد ۰/۱ را به عنوان حد قابل‌قبول ارائه می‌نماید معتقد است چنان‌چه میزان ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ باشد، بهتر است در قضاوت‌ها تجدیدنظر گردد. اگر عناصر ماتریس مقدار کمی از حالت سازگاری فاصله بگیرد، مقدار ویژه آن مقدار کمی از حالت سازگاری خود فاصله خواهد گرفت. بنابراین به دلیل بالا بودن حجم محاسبات به‌صورت دستی در این تحقیق از نرم‌افزار Expert Choice برای انجام محاسبات روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شده است.

٤-١-نتایج به‌دست‌آمده از روش‌های شناسایی نقاط پرتصادف

در این بخش، نتایج به‌دست‌آمده از هشت روش شناسایی نقاط پرتصادف ارائه شده‌اند. اطلاعات تصادفات محور مورد مطالعه به‌طور جداگانه برای دوره اول در جدول (۱) و برای دوره دوم در جدول (۱) نشان داده شده‌اند. نتایج به‌دست آمده در هر ستون جدول (۱) براساس روابط بیان شده برای هر روش براساس بخش (۲) به دست آمده‌اند که چگونگی به‌دست آمدن هر کدام از این اعداد در هر روش توضیح داده شده است. نقاط پرتصادف شناسایی شده در روش‌های متعدد شناسایی نقاط پرتصادف (HSID) براساس معیارهای هر کدام از روش‌ها در دوره اول در جدول (۱) و برای دوره دوم در جدول (۲) به‌صورت برجسته نشان داده شده‌اند. برطبق نتایج به‌دست‌آمده از روش‌های متعدد براساس جدول (۱)، روش‌های فراوانی تصادف، نرخ تصادف و معیار ترکیبی نقاط یکسانی و همچنین نقاط پرتصادف بیشتری نسبت به سایر روش‌ها شناسایی کرده‌اند. روش مقدار P که مورد تائید وزارت راه‌وشهرسازی می‌باشد دارای عملکرد نسبتا ضعیفی نسبت به سایر روش‌ها در شناسایی نقاط پرتصادف است و این زنگ خطری برای شناسایی نقاط پرتصادف توسط این روش می‌باشد که در کشور ما مورد استفاده قرار می‌گیرد و باید در آن تجدیدنظر شود. مقادیر متوسط فراوانی تصادفات (AF)، برابر میانگین تعداد تصادفات برای هر مقطع طی مدت سه سال مطالعه می‌باشد که در جداول نشان داده شده است. در جدول (۱) از ارائه نقاطی که در آن‌ها تصادفات کمتری اتفاق افتاده، صرف‌نظر شده است.

٤-٢- نتایج به‌دست‌آمده از معیارهای ارزیابی کمی

در جدول (۲) نتایج کامل تحلیل روش‌های متعدد شناسایی نقاط پرتصادف (HSID) براساس آزمون‌های ارزیابی به‌طور خلاصه نشان داده شده است. در جدول (۲) مقدار به‌دست‌آمده از هر روش در هر آزمون، به‌صورت مقدار آزمون و همچنین رتبه‌ای که هر روش در هر آزمون، براساس مقدارش به دست آورده است به‌صورت رتبه‌بندی آزمون نشان داده شده است. در جدول (۲)، هر روشی که در هر آزمون رتبه یک آورده به‌صورت رنگ سیاه از سایر نتایج متمایز گردیده است. در آزمون سازگاری مکان، آزمون سازگاری روش و آزمون امتیاز کلی روش‌های فراوانی تصادف، نرخ تصادف و معیار ترکیبی دارای بهترین عملکرد بوده‌اند. در آزمون شناسایی کاذب و آزمون حساسیت، روش تجربی بایس دارای بهترین سازگاری می‌باشد. همچنین، در آزمون اختلاف رتبه‌بندی کلی، روش مقدار P و در آزمون دقت، شاخص همسنگ خسارت مالی برحسب ضرایب پیارک دارای بهترین نتایج بوده‌اند. با توجه به نتایج به دست آمده از ارزیابی روش‌ها، روش تجربی بایس (EB) در آزمون‌های شناسایی کاذب (T4) و حساسیت (T5) دارای رتبه‌بندی آزمون اول و در آزمون‌های سازگاری مکان، سازگاری روش، اختلاف رتبه‌بندی کلی و امتیاز کلی رتبه‌بندی آزمون در این روش دوم می‌باشد و می‌توان گفت نسبت به سایر روش‌ها در شناسایی نقاط پرتصادف سازگارتر می‌باشد. درنهایت همان‌طور که از جدول (۲) دیده می‌شود روش‌های شاخص همسنگ خسارت مالی برحسب ضرایب کشور کره‌جنوبی و مبتنی بر خطر اجتماعی در هیچ آزمونی رتبه یک به‌دست نیاورده‌اند و نتایج ضعیفی دارند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. اطلاعات تصادفات مقاطع جاده برطبق داده‌های دوره اول (۱۳۹۰)

کیلومتر	فراوانی تصادف (AF)	شاخص همسنگ خسارت مالی (EPDO)(پیارک)		شاخص همسنگ خسارت مالی (EPDO)(کره جنوبی)	مقدار P	نرخ تصادف (AR)	معیار ترکیبی		تجربی بایس (EB)	مبتنی بر خطر اجتماعی NSC (2009)	متوسط AF
							فراوانی تصادف (AF)	نرخ تصادف (AR)			
۵	۶	۲/۲۵		۲۴۰/۵	۱۰/۵	۸/۷۹	۶	۸/۷۹	۳/۲۰	۱۲۹۶۰۰	۵/۰۰
۱۵	۴	۲/۲۵		۲۴۰/۵	۷/۰	۵/۸۶	۴	۵/۸۶	۱/۷۴	۸۶۴۰۰	۵/۰۰
۲۰	۹	۲/۵۰		۲۵۵/۱	۱۸/۰	۱۳/۱	۹	۱۳/۱	۵/۴۵	۴۳۹۶۰۰	۸/۰۰
۲۳	۲	۶/۵		۹۰۵/۰	۱۲/۰	۲/۹۳	۲	۲/۹۳	۰/۲۶	۴۳۴۰۸۰	۵/۶۷
۲۵	۱۲	۲/۳۳		۲۳۱/۵	۲۲/۰	۱۷/۵۹	۱۲	۱۷/۵	۷/۶۸	۴۴۴۱۶۰	۷/۳۳
۲۷	۴	۳/۵۰		۴۸۰/۰	۱۲/۰	۵/۸۶	۴	۵/۸۶	۱/۷۴	۱۶۳۲۰۰	۳/۶۷
۳۰	۶	۲/۶۷		۳۲۰/۳	۱۳/۰	۸/۷۹	۶	۸/۷۹	۳/۲۰	۱۶۸۰۰۰	۴/۶۷
۳۵	۸	۳/۰۰		۳۴۶/۸	۲۰/۰	۱۱/۷	۸	۱۱/۷	۴/۷۱	۴۴۳۲۰۰	۵/۶۷
۴۰	۴	۱/۶۳		۱۲۰/۸	۴/۵	۵/۸۶	۴	۵/۸۶	۱/۷۴	۴۸۰۰۰	۳/۶۷
۴۵	۱۱	۲/۳۶		۲۶۲/۳	۲۰/۰	۱۶/۱۲	۱۱	۱۶/۱۲	۶/۹۴	۲۵۶۸۰۰	۹/۰۰
۵۰	۸	۳/۰۰		۳۴۶/۸	۲۰/۰	۱۱/۷۳	۸	۱۱/۷۳	۴/۷۱	۴۴۳۲۰۰۰	۶/۰۰
۵۱	۱	۹/۵۰		۱۳۳۰/۰	۹/۰	۱/۴۶	۱	۱/۴۶	-۰/۴۸	۴۳۰۰۰۰۰	۱/۰۰
۵۵	۴	۱/۰۰		۱/۰	۲/۰	۵/۸۶	۴	۵/۸۶	۱/۷۴	۹۶۰۰	۴/۳۳
۵۸	۱	۹/۵۰		۱۳۳۰/۰	۹/۰	۱/۴۶	۱	۱/۴۶	-۰/۴۸	۴۳۰۰۰۰۰	۲/۳۳

بحث و ارزیابی آزمون‌ها براساس روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

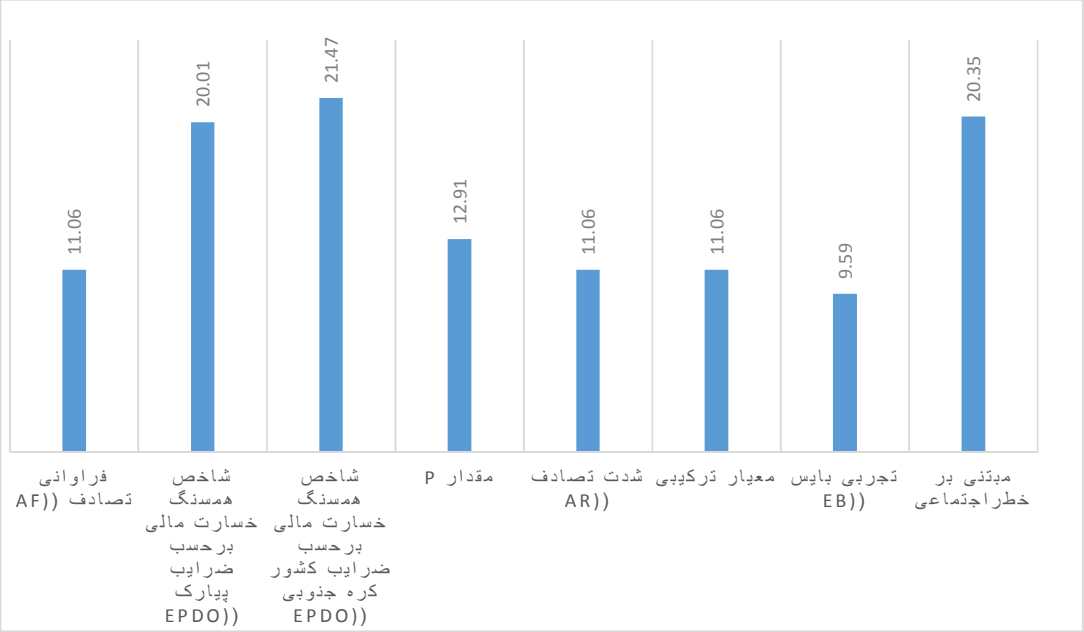
با توجه به مطالعات قبلی که در هیچ‌کدام از آن‌ها به ارزیابی این آزمون‌ها پرداخته نشده بود، در این تحقیق با توجه به روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به ارزیابی و تعیین ضریب اهمیت هریک از این آزمون‌ها پرداخته می‌شود. برای انجام روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) نیاز به تهیه یک سری پرسش‌نامه می‌باشد که در آن پرسش‌ها در سطح معیارها به‌صورت مقایسه زوجی مطرح شده است که متخصصان به مقایسه دوبه‌دویی آزمون‌ها می‌پردازند. برای انجام روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) از نرم‌افزار Expert Choice برای تعیین ضرایب نهایی هر آزمون ارزیابی استفاده شده است که در شکل (۲) نتایج نهایی این ارزیابی نشان داده شده است. در روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) همان‌طور که در بخش (۴) گفته شد، نباید مقدار ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ باشد که در این‌جا رعایت شده است؛ در صورتی که مقدار ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ شود، لازم است با تغییر درایه‌های ماتریس، آن را سازگار کرده و محاسبات وزن ماتریس را دوباره انجام داد تا زمانی که ماتریس سازگار گردد. برطبق نتایج جامع به‌دست آمده برای هر روش براساس نمودار (۲)، هر روشی که مقدار

www.SID.ir

Archive of SID

آن کمتر باشد مناسب‌ترین و سازگارترین روش برای شناسایی نقاط پرتصادف می‌باشد. براساس روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، آزمون اختلاف رتبه‌بندی کلی دارای بهترین عملکرد در میان تمامی آزمون‌ها برای شناسایی مقاطع پرتصادف می‌باشد. بعد از این آزمون، به‌ترتیب آزمون امتیاز کلی، آزمون حساسیت، آزمون دقت، آزمون سازگاری روش، آزمون شناسایی کاذب و در نهایت آزمون سازگاری مکان قرار دارند. همان‌طور که دیده می‌شود، آزمون سازگاری مکان ضعیف‌ترین آزمون در میان آزمون‌ها برای شناسایی مقاطع پرتصادف می‌باشد. بنابراین با توجه به ضرایب به‌دست آمده برای هر کدام از آزمون‌ها، مطابق روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به بررسی روش‌های شناسایی مقاطع پرتصادف پرداخته می‌شود که با ضرب رتبه هر آزمون در هر روش (مطابق جدول (۲)) در ضریب به دست آمده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای هر آزمون ارزیابی (مطابق شکل (۲))، تعیین می‌گردد که کدام روش برای شناسایی نقاط پرتصادف مناسب‌تر می‌باشد.

هر روشی که کمترین مقدار را در بین تمامی روش‌ها دارا باشد دارای بهترین عملکرد می‌باشد؛ بنابراین برطبق نمودار (۲) روش تجربی بایس (EB) دارای بهترین عملکرد در میان روش‌های مورد مطالعه در این تحقیق می‌باشد. به دنبال این روش به‌ترتیب روش‌های فراوانی تصادف (AF)، شدت تصادف (AR)، معیار ترکیبی که نتایج برابری دارند قرار گرفته‌اند و روش‌های بعدی روش‌های مقدار P، شاخص همسنگ خسارت مالی برحسب ضرایب پیارک (EPDO)، مبتنی بر خطر اجتماعی و شاخص همسنگ خسارت مالی برحسب ضرایب کشور کره‌جنوبی (EPDO) قرار دارند. همان‌طور که در نمودار (۲) دیده می‌شود روش شاخص همسنگ خسارت مالی برحسب ضرایب کشور کره‌جنوبی (EPDO) دارای ضعیف‌ترین عملکرد می‌باشد.



نمودار۲. تحلیل جامع روش‌های شناسایی نقاط پرتصادف براساس روش AHP

www.SID.ir

Archive of SID

جدول شماره ۲. اطلاعات تصادفات مقاطع جاده برطبق داده‌های دوره دوم (۱۳۹۱ و ۱۳۹۲)

کیلومتر	فراوانی تصادف (AF)	شاخص همسنگ خسارت مالی (EPDO)(پیارک)	شاخص همسنگ خسارت مالی (EPDO) (کره جنوبی)	مقدار P	نرخ تصادف (AR)	معیار ترکیبی		تجربی بایس (EB)	مبتنی بر خطر اجتماعی	متوسط AF
						فراوانی تصادف (AF)	نرخ تصادف (AR)		NSC (2009)	
٤	٣	٣/٨٣	**٤٤٤/٠**	١٠/٠	٢/٢	٣	٢/٢	−١/٠٦	٤٣٠٩٦٠٠	١/٦٧
٥	٩	٢/١١	٢١٣/٩	١٤/٥	٦/٥٩	٩	٦/٥٩	٢/٩٢	١٧٥٢٠٠	**٥/٠٠**
٧	٣	٣/٨٣	**٤٤٤/٠**	١٠/٠	٢/٢	٣	٢/٢	−١/٠٦	٤٣٠٩٦٠٠	١/٣٣
١٣	١	**٩/٥**	**١٣٣٠/٠**	٩/٠	٠/٧٣	١	٠/٧٣	−٢/٩٣	٤٣٠٠٠٠٠	٠/٣٣
١٥	**١١**	٢/٠٠	١٦٥/٤	١٦/٥	٨/٠٦	**١١**	٨/٠٦	٤/٢٤	**٤٣٦٢٤٠٠**	**٥/٠٠**
١٨	**١٠**	٣/١٠	٣٧٣/٤	**٢٦/٠**	٧/٣٣	**١٠**	٧/٣٣	٣/٥٨	٤٥١٣٦٠٠	٣/٦٧
١٩	٧	٢/٩٣	٣٢٧/٧	١٧/٠	٥/١٣	٧	٥/١٣	١/٥٩	٤٣٩١٢٠٠	٣/٠٠
٢٠	**١٥**	١/٦٥	١٢٨/٧	١٧/٥	١٠/٩٩	**١٥**	١٠/٩٩	٦/٨٩	١٨٩٦٠٠	**٨/٠٠**
٢١	**١٠**	٢/٢٥	٢٤٠/٥	١٧/٥	٧/٣٣	**١٠**	٧/٣٣	٣/٥٨	٢١٦٠٠٠	٣/٦٧
٢٢	٤	٣/٧٥	**٥٧٣/٠**	١٣/٠	٢/٩٣	٤	٢/٩٣	−٠/٤	٤٣٤٥٦٠٠	٢/٠٠
٢٣	**١٥**	٢/٦٣	٢٧٤/٠	**٣٢/٠**	١٠/٩٩	**١٥**	١٠/٩٩	٦/٨٩	**٨٧٤٦٤٠٠**	**٥/٦٧**
٢٤	٥	٣/٢٠	**٤٥٨/٦**	١٣/٥	٣/٦٦	٥	٣/٦٦	٠/٢٦	٤٣٤٨٠٠٠	٢/٠٠
٢٥	**١٠**	١/٧٥	١٤٤/٧	١٢/٥	**٧/٣٣**	**١٠**	**٧/٣٣**	٣/٥٨	١٣٩٢٠٠	**٧/٣٣**
٣٥	٩	٣/١٧	٣٤٩/٦	**٢٤/٠**	٦/٥٩	٩	٦/٥٩	٢/٩٢	**٨٦٥٥٢٠٠**	**٥/٦٧**
٣٩	١	٣/٥٠	**٤٨٠/٠**	٣/٠	٠/٧٣	١	٠/٧٣	−٢/٣٩	٤٠٨٠٠	٠/٦٧
٤٣	**١٠**	٢/٩٥	٣١٤/٧	**٢٤/٥**	**٧/٣٣**	**١٠**	**٧/٣٣**	**٣/٥٨**	**٨٦٥٧٦٠٠**	٤/٠٠
٤٥	**١٦**	١/٤٧	٩٠/٨	١٥/٥	**١١/٧٣**	**١٦**	**١١/٧٣**	**٧/٥٥**	١٥٣٦٠٠	**٩/٠٠**
٥٠	**١٠**	١/٠٠	١/٠	٥/٠	**٧/٣٣**	**١٠**	**٧/٣٣**	**٣/٥٨**	٢٤٠٠٠	**٦/٠٠**
٥٣	١	٣/٥٠	**٤٨٠/٠**	٣/٠	٠/٧٣	١	٠/٧٣	−٢/٣٩	٤٠٨٠٠	٠/٣٣
٦٠	٧	٢/٩٣	٣٢٧/٧	١٧/٠	٥/١٣	٧	٥/١٣	١/٥٩	**٤٣٩١٢٠٠**	٢/٦٧
٦٣	١	٣/٥٠	**٤٨٠/٠**	٣/٠	٠/٧٣	١	٠/٧٣	−٢/٣٩	٤٠٨٠٠	٠/٦٧

جدول شماره ۱. در این جدول، اطلاعات تصادفات مقاطع جاده، برطبق هشت روش شناسایی نقاط پرتصادف، برای داده‌های دوره اول (۱۳۹۰) و دوره دوم (۱۳۹۱ و ۱۳۹۲) ارائه شده است. نقاط پرتصادف شناسایی شده در هر روش به‌صورت برجسته برای دوره اول (۱۳۹۰) و دوره دوم (۱۳۹۱ و ۱۳۹۲) از سایر نقاط متمایز و نشان داده شده‌اند. همچنین مقدار متوسط AF مورد استفاده در آزمون شناسایی کاذب برای هر مقطع در این جدول نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

۵-نتیجه‌گیری

در این مطالعه، جهت اعتبارسنجی آماری روش‌های شناسایی نقاط پرتصادف، ضمن اعتبارسنجی این روش‌ها، به شناسایی نقاط پرتصادف محور جیرفت-کرمان با روش‌های متعدد پرداخته شده است و در پایان آزمون‌های مورد استفاده در این مطالعه جنبه‌های مختلف روش‌های شناسایی نقاط پرتصادف را ارزیابی کرده‌اند. آزمون شناسایی مکان (SCT)، کارایی در شناسایی مکان‌هایی که یک عملکرد نسبتاً ضعیفی را نشان می‌دهند، اندازه‌گیری می‌کند. آزمون سازگاری روش (MCT)، کارایی روش‌های شناسایی نقاط پرتصادف را برحسب تعداد مکان‌های یکسان شناسایی شده در دوره‌های متوالی، اندازه‌گیری می‌کند. آزمون اختلاف رتبه‌بندی کلی (TRDT)، کارایی روش را در شناسایی مکان‌هایی که، اختلاف رتبه‌بندی کوچکی، در دوره زمانی بعدی را دارند، اندازه‌گیری می‌کند. آزمون شناسایی کاذب ($T٤$)، به شناسایی نقاط ایمنی که خطرناک در نظر گرفته شده‌اند و همچنین به شناسایی نقاط خطرناکی که، ایمن در نظر گرفته می‌شوند، می‌پردازد. آزمون امتیاز کلی (TST)، به ترکیب نتایج آزمون سازگاری مکان، آزمون سازگاری روش و آزمون اختلاف رتبه‌بندی کلی می‌پردازد و یک شاخص ترکیبی فراهم می‌کند. آزمون‌های حساسیت ($T٦$) و دقت ($T٧$) به بررسی میزان حساسیت و دقت روش‌های شناسایی نقاط پرتصادف در شناسایی نقاط پرتصادف می‌پردازند. برای این ارزیابی، سه سال داده‌های تصادف از محور جیرفت-کرمان، طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۹۰ مورد استفاده قرار گرفته‌اند. تعیین ضرایب اهمیت آزمون‌های ارزیابی مختلف نشان داد که آزمون اختلاف رتبه‌بندی کلی، بهترین آزمون برای شناسایی نقاط پرتصادف می‌باشد. به دنبال آن به‌ترتیب آزمون امتیاز کلی، آزمون حساسیت، آزمون دقت، آزمون سازگاری روش، آزمون شناسایی کاذب و در نهایت آزمون سازگاری مکان قرار دارند. همان‌طور که دیده می‌شود، آزمون سازگاری مکان ضعیف‌ترین آزمون در میان آزمون‌ها برای شناسایی مقاطع پرتصادف می‌باشد. نتایج آزمون‌های ارزیابی کمی، نشان دادند که روش تجربی بایس دارای عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌های شناسایی نقاط پرتصادف می‌باشد. نتایج آزمون‌ها مشخص کرد که روش تجربی بایس سازگارترین و قابل‌اطمینان‌ترین روش، برای شناسایی مکان-های اولویت‌بندی بررسی (نقاط سیاه) می‌باشد. روش فراوانی تصادف (AF)، روش نرخ تصادف (AR) و روش معیار ترکیبی به دلیل اینکه نقاط پرتصادف شناسایی شده در آن‌ها برابر می‌باشد، بعد از روش تجربی بایس، دارای بهترین عملکرد می‌باشند. به دنبال این روش‌ها، روش‌های مقدار P ، شاخص همسنگ خسارت مالی (پیارک)، مبتنی بر خطر اجتماعی قرار گرفته‌اند. روش شاخص همسنگ خسارت مالی (کشور کره‌جنوبی)، ضعیف‌ترین عملکرد ایمنی را در میان اکثر آزمون‌ها از خود نشان داد. رویهم‌رفته، این نتایج با نتایج مطالعات قبلی سازگار مطابقت دارند.لازم به ذکر است که نتایج به‌دست‌آمده براساس یکی از محورهای کشور ایران می‌باشد و عملکرد نسبی روش‌های شناسایی نقاط پرتصادف ممکن است. وقتی‌که از داده‌های تصادف سایر محورها استفاده شود، تغییر کند. بااین‌وجود، نتایج تحقیق بسیار مهم می‌باشند و با نتایج یافته‌های قبلی مطابقت دارند. برای دست یافتن به اطمینان بیشتر در مورد مزایای روش تجربی بایس، مطالعه باید در مناطق دیگر نیز دوباره تکرار شود. بااین‌حال، نتایج این مطالعه با نتایج مطالعه قبلی باید ترکیب شوند و احتمالا نشان می‌دهند که روش تجربی بایس، روشی استاندارد در شناسایی نقاط پرتصادف می‌باشد؛ همچنین برای اطمینان بیشتر از این‌که کدام یک از آزمون‌ها مناسب‌ترین آزمون برای تعیین سازگارترین روش شناسایی نقاط پرتصادف می‌باشد، می‌توان از سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمتغیره استفاده کرد.

۵-سپاسگزاری

از فرماندهی پاسگاه پلیس‌راه جیرفت-کرمان جناب آقای حسین مسکونی و همچنین مسئولین محترم اداره راه و شهرسازی جنوب استان کرمان که در تمام امور مربوط به داده‌های تصادفات و اطلاعات محور در زمینه این تحقیق مساعدت بسیار کردند، سپاسگزاری می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. نتایج کامل تحلیل روش‌های شناسایی نقاط پرتصادف (HSID) براساس آزمون‌های ارزیابی

		آزمون سازگاری مکان (T1)	آزمون سازگاری روش (T2)	آزمون اختلاف رتبه‌بندی کلی (T3)	آزمون شناسایی کاذب (T4)	آزمون امتیاز کلی (T5)	آزمون حساسیت (T6)	آزمون دقت (T7)
فراوانی تصادف (AF)	مقدار آزمون	۱۱۱	۵	۳٤	۱۰	۹٦/۲۳	۲/۵۰	۱۲/۰۰
	رتبه‌بندی آزمون	۱	۱	۳	۲	۱	٤	۳
شاخص همسنگ خسارت مالی (EPDO، پیارک)	مقدار آزمون	۲۳	۰	۷۸	۱۸	۲۳/۷۰	۱/۳۳	۵۹/۰۰
	رتبه‌بندی آزمون	۵	٤	٤	٤	۵	٦	۱
شاخص همسنگ خسارت مالی (EPDO، کره جنوبی)	مقدار آزمون	۲۳	۰	۸٦	۲۵	۲۱/٤۰	۳/٦۷	٦/۵۰
	رتبه‌بندی آزمون	۵	٤	۵	۵	٦	۲	۵
مقدار P	مقدار آزمون	۲٦	۰	۲۱	۱٤	٤۱/۱٤	۳/۰۰	۱٤/۲۵
	رتبه‌بندی آزمون	٤	٤	۱	۳	۳	۳	۲
شدت تصادف (AR)	مقدار آزمون	۱۱۱	۵	۳٤	۱۰	۹٦/۲۳	۲/۵۰	۱۲/۰۰
	رتبه‌بندی آزمون	۱	۱	۳	۲	۱	٤	۳
معیار ترکیبی	مقدار آزمون	۱۱۱	۵	۳٤	۱۰	۹٦/۲۳	۲/۵۰	۱۲/۰۰
	رتبه‌بندی آزمون	۱	۱	۳	۲	۱	٤	۳
تجربی بایس (EB)	مقدار آزمون	۷۷	٤	۲۵	۸	۸۱/۹٦	٤/۰۰	۱۰/۲۰
	رتبه‌بندی آزمون	۲	۲	۲	۱	۲	۱	٤
مبتنی بر خطر اجتماعی (NSC, 2009)	مقدار آزمون	٦۷	۲	۱۱۵	۱٤	۳۹/۵٤	۲/٤۰	۱۰/۲۰
	رتبه‌بندی آزمون	۳	۳	٦	۳	٤	۵	٤

٦-پی‌نوشت‌ها

1- World Health Organization
2- Hazardous Road Locations
3- High-Risk Locations
4- Accident-Prone Locations
5- Black Spots
6- Priority Investigation Locations
7- Montella
8- The Site Consistency Test
9- The Method Consistency Test
10- The Total Rank Differences
11- The Total Score Test
12- Empirical Bayes Method
13- Chen
14- The Local Spatial Autocorrelation
15- The Kernel Density Estimation
16- The False Identification Test
17- Meng
18- Analytical Hierarchy Process
19- Accident Frequency
20- Equivalent Property Damage Only
21- P-Value
22- Accident Rate

www.SID.ir

Archive of SID

23- Societal Risk-Based
24- The False Identification Test
25- Sensitivity Test
26- Specificity Test
27- Saaty

۷-مراجع

-Akbari, M. E., Naghavi, M., Soori, H. (2006), "Epidemiology of death from injuries in the Islamic Republic of Iran". East Mediterr Health J. May-Jul; 12(3-4), pp.382-90.

-World Health Organization. (2009), "Global status report on road safety: time for action". World Health Organization.

-Hatamabadi, H. R., Vafaee, R., Hadadi, M., Abdalvand, A., Esnaashari, H. R., Soori H (2011), "Epidemiologic study of road traffic injuries by road user type charactrristics and road environment in Iran: A community based approach". J Traffic Injury Prevention.

-ROSPA (2002), The Royal Society for Prevention of Accidents. "Road safety engineering manual". Birmingham.

-TAC (2004), Transportation Association of Canada. "The Canadian guide to In-Service road safety reviews". Ottawa.

-Tarko, A. P., Kanodia, M (2004), Hazard Elimination Program. "Manual on improving safety of Indiana road intersections and sections". Report FHWA/IN/JTRP2003/19, West Lafayette, Indiana.

-Lyon, C., Gotts, B., Wong, W .K. F., Persaud, B. (2007), "Comparison of alternative methods for identifying sites with high proportion of specific accident types". Transportation Research Record, 2019. TRB, National Research Council, Washington, DC, PP. 212-218.

-Cheng, W., Washington, S. (2005), "Experimental evaluation of hotspots identification methods". Accident Analysis and Prevention, Vol. 37, pp. 870-881.

-Cheng, W., Washington, S. (2008), "New criteria for evaluating methods of identifying Hotspots". Transportation Research Record, 2083. TRB, National Research Council, Washington DC. PP. 76-85.

-Elvik, R. (2008), "Comparative analysis of techniques for identifying hazardous road locations". Transportation Research Record, 2083. TRB, National Research Council, Washington DC. PP. 72-75.

-Persaud, B., Lyon, C., Nguyen, T. (1999), "Empirical Bayes procedure for ranking sites for safety investigation by potential for improvement". Transportation Research Record, 1665. TRB, National Research Council, Washington DC. pp. 7-12.

-Montella, A. (2010) , "A comparative analysis of Hotspots identification method". Accident Analysis & Prevention, Vol. 42, pp. 571-581.

-Yu, H., Liu, P., Chen, J., Wang, H. (2014), "Comparative analysis of the spatial analysis methods for Hotspots identification". Accident Analysis & Prevention.

-Qu, X., Meng, Q. (2014), "A note on hotspots identification for urban expressways". Safety Science, Vol. 66, pp. 87-91.

-PIARC (2004), World Road Association, Technical committee on road safety C13. Road Safety Manual.

-Washington, S., Haque, M. M., Oh, J., Lee, D. (2014), "Applying quantile regression for modeling equivalent property damage only crashes to identify accident Blackspots". Accident Analysis & Prevention, Vol. 66, pp. 136-146.

-National Safety Council (2009), "Estimating the costs of motor vehicle injuries". http://www.nsc.org/news_resources/injury_and_death_statistics/pages/EstimatingtheCostsofUnintentionalInjuries.aspx (accessed 08.01.13).

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir