اولین کنفرانس ملی تصادفات و سوانح جاده‌ای و ریلی
ایران- زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی– واحد زنجان، آذر ۱۳۸۸

بررسی شاخص خطرپذیری در محورهای ارتباطی استان کردستان برای حوادث طبیعی و جاده‌ای

[۱] علی‌اصغر کاظمی، [۲] افشین شریعت‌مهیمنی

[۱] دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشکده‌مهندسی‌عمران، دانشگاه‌علم‌وصنعت‌ایران، تهران، ایران Email: akazemi@iust.ac.ir
[۲] استادیار، دانشکده‌مهندسی‌عمران، دانشگاه‌علم‌وصنعت‌ایران، تهران، ایران Email: shariat@iust.ac.ir

چکیده

بروز سوانح طبیعی امری اجتناب ناپذیر است و خسارت‌های فراوانی را درپی دارد. وقوع تصادفات جاده‌ای نیز پیامدهای ناگواری را به همراه دارد. تلفات انسانی، بدترین پیامد هر تصادف می‌باشد که متأسفانه آمار آن در کشور بسیار زیاد است. استان کردستان به لحاظ داشتن موقعیت جغرافیایی و شرایط طبیعی ویژه، درمعرض آسیب‌های ناشی از وقوع حوادث طبیعی و جاده‌ای قرار دارد. لذا کاهش این آسیب‌ها دارای اهمیت فراوان است. در این پژوهش، به‌منظور ارزیابی شبکه راه‌های استان کردستان، شاخص خطرپذیری برای حوادث طبیعی و جاده‌ای برمبنای حجم وسیعی از اطلاعات، برآورد شده است. وجود این‌شاخص‌ها در تصمیم‌گیری مراحل مختلف مدیریت بحران مؤثر است. به‌کمک این‌شاخص‌ها می‌توان با تعیین میزان خطرپذیری مسیرها، اولویت سرمایه‌گذاری در شبکه را با هدف افزایش قابلیت اطمینان و کاهش میزان خطرپذیری انجام داد.

کلمات کلیدی: شاخص خطرپذیری، آسیب‌پذیری، قابلیت اطمینان و عملکرد شبکه

مقدمه

ایمنی عبور و مرور یکی از اصول اساسی مهندسی ترافیک و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل می باشد، به‌طوری‌که در کشورهای توسعه‌یافته، همگام با توسعه سایر بخش‌های مهندسی ترافیک، موضوع ایمنی نیز مورد توجه قرارگرفته و با انجام مطالعات و اتخاذ تدابیر لازم، سعی‌شده‌است‌که تصادفات و پیامدهای ناشی از آن را به‌منظور افزایش میزان مطلوبیت و ارتقاء عملکرد شبکه حمل‌ونقل، تا حد امکان کاهش دهند. ولی متأسفانه در اکثر کشورهای در حال توسعه، به‌علت ضعف عملکرد شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای، تعداد و نرخ تصادفات سیر صعودی دارد. به‌گونه‌ای‌که، خسارات ناشی از تصادفات در حدود ۱ الی ۳ درصد تولید ناخالص ملی این کشورها برآورد می‌شود[۱]. البته در ارزیابی سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای، تفکیک ایمنی از مباحث مربوط به زیربناها و ناوگان غیرممکن است. چراکه نتیجه پایین‌بودن کیفیت زیربناها و ناوگان، به‌طور مستقیم بر ایمنی جاده‌ای تأثیرگذار می‌باشد، هرچند عوامل دیگری ازجمله فرهنگ رانندگی نیز بر این موضوع تأثیرگذار است. درواقع، اهمیت ایمنی به‌حدی است‌که هرگونه سرمایه‌گذاری در زیر بخش حمل‌ونقل جاده‌ای می بایست با مد نظر قراردادن افزایش ایمنی و کاستن از خسارات و تلفات سوانح جاده‌ای صورت پذیرد.

از طرفی، عملکرد یک‌شبکه حمل‌ونقل در ارتباط مستقیم با میزان و نحوه دسترسی به فعالیت‌های مختلف جامعه می‌باشد و شبکه‌ای‌که به هرمیزان بتواند دستیابی به این‌فعالیت‌ها را تسهیل‌نماید و امکان برقراری ارتباط را با اطمینان بیشتری فراهم‌کند، دارای عملکرد مطلوب‌تری خواهدبود. از سوی دیگر، شبکه حمل‌ونقل دراثر عوامل مختلفی، ممکن‌است دچار آسیب‌هایی‌شود که کاهش و یا عدم‌کارایی آن را درپی‌داشته‌باشد. دراین میان، حمل‌ونقل‌جاده‌ای به‌دلیل دارا بودن خصوصیات ویژه، ازجمله قابلیت انعطاف آن در انتخاب مسیر و سهولت دسترسی از طریق آن به مراکز مختلف تولید و جذب سفر، به‌عنوان متداول‌ترین شیوه حمل‌ونقل کالا و مسافر در جهان، از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد. درهنگام بروزبحران، برقراری ارتباط در شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای حائز اهمیت است و عملکرد بهینه شبکه جاده‌ای با توجه به نقش ویژه‌ای که در جابجایی امکانات، تجهیزات، نیروهای امدادی و آسیب‌دیدگان دارد، می‌تواند باعث کاهش اثرات بحران در این شرایط شود و شبکه‌ای‌که نتواند دسترسی لازم را در این‌شرایط فراهم‌نماید، خسارت‌های جبران ناپذیری را به‌بار خواهد آورد.

برای بررسی نحوه اثرگذاری آسیب‌های وارده ناشی از وقوع حوادث طبیعی و جاده‌ای بر عملکرد شبکه حمل‌ونقل، محققان از روش‌های مختلفی استفاده نموده‌اند.

اِیدا[۲]، بِل[۳]، چِن و همکارانش[۴]و[۵] و همچنین، شریعت و همکارانش[۶] قابلیت اطمینان زمان‌سفر، قابلیت اطمینان اتصال شبکه و قابلیت اطمینان ظرفیت را مورد ارزیابی قرارداده و براساس آن اقدام به تحلیل عملکرد شبکه نموده‌اند.

سوگِیتو و نوجِیما[۷] نیز با استفاده از شبیه‌سازی، احتمال خرابی اجزای شبکه را درصورت وقوع زلزله برآورد نموده و با ارزیابی تغییرات جریان‌ترافیک، عملکرد شبکه را مورد بررسی قرارداده‌اند.

چَنگ[۸]، بِردِیکا و اِلیاسِن[۹]، تَیلور و دِ اِستِه[۱۰]، سان[۱۱]، کِیانگ و نَجِرنِی[۱۲] جهت بیان تأثیرات وقوع یک‌حادثه، با ارائه

Archive of SID
www.SID.ir

یک‌شاخص عملکرد برمبنای مفهوم دسترسی و با سنجش تغییرات تعدادی از پارامترهای مؤثر بر عملکرد شبکه، همانند جریان‌ترافیک، زمان، مسافت و هزینه‌سفر، میزان ریسک شبکه را تعیین و براساس آن، اقدام به ارزیابی عملکرد شبکه نموده‌اند که سان، کِیانگ و نَجِرنِی به اولویت‌بندی اجزای دارای ریسک شبکه نیز پرداخته‌اند.

بِرابهاهاران[۱۳]و[۱۴] با معرفی فاکتورهای اولویت‌بندی قطعات راه، از روش امتیازدهی برای اولویت‌بندی اجزای دارای ریسک شبکه استفاده نموده است و شریعت[۱۵] در پروژه امکان‌سنجی به‌کارگیری مدیریت بحران در شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای کشور، روش ارزیابی شبکه را برمبنای معیارهای عملکرد مطلوب و معیارهای آسیب‌پذیری، مورد بررسی قرارداده‌است.

بررسی شاخص‌های‌ارائه‌شده بیانگر آن‌است‌که در کارهای‌انجام‌شده، از تعداد محدودی از معیارها در تعریف شاخص‌عملکرد شبکه استفاده‌شده‌است و به‌دلیل محدودیت این‌معیارها در منظورنمودن انواع پارامترهای تأثیرگذار بر عملکرد شبکه و همچنین، عدم توانایی این‌معیارها برای مدنظر قراردادن انواع فعالیت‌های اساسی جامعه، نمی‌توان آنها را به‌عنوان یک‌شاخص مناسب که دربرگیرنده تمامی شرایط برای ارزیابی عملکرد شبکه باشد، به‌کاربرد. همچنین، بیشتر این‌مطالعات، جنبه نظری داشته و کاربرد آنها برای شرایط واقعی ارائه نگردیده است. تنها در برخی از آنها، اثرات یک‌حادثه بر عملکرد بخشی از شبکه راه‌های یک‌منطقه بررسی‌شده‌است. درحالی‌که در شاخص‌های ارائه‌شده در این‌پژوهش، با جامع‌نگری، انواع معیارهای اثرگذار بر عملکرد شبکه لحاظ‌شده‌است. همچنین با ارائه تعاریف ساده ریاضی، نسبت به کمی‌نمودن معیارهای کیفی اقدام‌شده‌است که محاسبه مقادیر کمی و اوزان نسبی معیارهای تعریف‌شده نیز برپایه جمع‌آوری حجم وسیعی از اطلاعات و با انجام مطالعات و بررسی‌های گسترده میدانی بوده‌است. به‌علاوه، نحوه تأثیر انواع حوادث محتمل بر عملکرد شبکه گسترده‌ای از جاده‌ها مورد تحلیل و ارزیابی قرارگرفته‌است. حسن دیگر این‌پژوهش، کاربردی بودن آن است که باتوجه به سهولت اندازه‌گیری شاخص‌های ارائه شده، به‌کارگیری آن درعمل آسان بوده و اجرای آن برای کل شبکه راه‌های ایران و برای شرایط مختلف امکان‌پذیر می‌باشد. علاوه‌بر این‌موارد، سهولت اعمال تغییرات در داده‌ها و بهنگام‌سازی نتایج، قابلیت توسعه برای سایر خطرات طبیعی و غیرطبیعی و استفاده از این‌روش در سایر کشورها با درنظرگرفتن توأم انواع حوادث که بر جاده‌ها تأثیرگذارند را می‌توان به‌عنوان ویژگی‌های این‌پژوهش برشمرد.

روش

۱. ارائه شاخص خطرپذیری در برابر حوادث طبیعی

باتوجه به اینکه عملکرد مناسب شبکه در ارتباط مستقیم با میزان دسترسی و امکان برقراری ارتباط به فعالیت‌های مختلف می‌باشد. لذا برای بررسی دقیق‌تر نحوه عملکرد آن، درنظرگرفتن پارامترهای گوناگون مؤثر بر عملکرد شبکه ضروری است. در شرایط بروز حادثه، به‌دلیل آسیب‌پذیری اجزای شبکه، انجام این‌فعالیت‌ها به سهولت شرایط عادی نخواهدبود. لذا با تعیین شاخص خطرپذیری می‌توان با اولویت‌بندی کمان‌های ارتباطی، ضمن ارائه برنامه‌های مربوط به کاهش میزان خطرپذیری در شبکه، نحوه انجام فعالیت‌های مختلف را مدیریت و کنترل نمود.

در بسیاری از منابع، خطرپذیری یا ریسک به‌صورت رابطه(۱) تعریف‌شده‌است[۱۶]:

$$R = [\text{احتمال‌وقوع‌تأثیرات‌حادثه}] \times [\text{اثرات‌ناشی‌ازحادثه}] \quad (۱)$$

براساس تعریف‌ارائه‌شده در رابطه(۱)، خطرپذیری دارای دو جزء است: ۱- جزء احتمالاتی که شامل احتمال وقوع حادثه و احتمال آسیب‌دیدن دراثر حادثه می‌باشد. ۲- جزء اثرات متعاقب که هزینه یا خسارت ناشی از حادثه می‌باشد.

می‌توان رابطه(۱) را به‌صورت رابطه(۲) نیز نوشت:

$$R_i = [\text{آسیب‌پذیری‌کمان } i] \times [\text{پیامدهای ناشی از آسیب‌کمان } i] \quad (۲)$$

درصورتی‌که شاخص خطرپذیری به‌صورت نسبی برآورد شود، می‌توان به‌جای پیامدهای ناشی از آسیب، از اهمیت کمان استفاده‌نمود. لذا برمبنای رابطه(۲) می‌توان برای هرکمان i در یک شبکه راه و برای حوادث مختلف j با شدت k، رابطه(۳) را تعریف کرد.

$$R_i = \left[\sum_{j,k}\left(P_{jk} \times C_{ijk} \times n_{ijk}\right)\right] \times I_i \quad (۳)$$

که در آن، R_i خطرپذیری کمان i شبکه، P_{jk} احتمال وقوع حادثه j با شدت k، C_{ijk} احتمال انسداد کمان i در برابر حادثه j با شدت k، n_{ijk} تعداد روزهای انسداد کمان i برای حادثه j با شدت k و I_i شاخص اهمیت کمان i می‌باشد.

در رابطه(۳) می‌توان دو قسمت مختلف را تشخیص داد. قسمت اول عبارت، بیانگر آسیب‌پذیری کمان است که باتوجه به اهمیت برقراری ارتباط، موضوع احتمال انسداد کمان درنظرگرفته شده‌است و قسمت دوم، نشان‌دهنده اثرات آسیب است که به‌صورت نسبی در یک شبکه، اهمیت هرکمان بیانگر آن خواهد بود.

۱-۱. نحوه برآورد آسیب‌پذیری کمان‌های شبکه

عمده‌ترین اجزای آسیب‌پذیر سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای، درصورت بروز حوادث طبیعی، راه، تونل و پل می‌باشد. میزان آسیب‌پذیری کمان‌های شبکه دراثر بروز حوادث طبیعی، با محاسبه احتمال انسداد کمان‌ها درصورت تخریب این‌اجزاء تعیین‌می‌شود. به‌همین‌منظور، با شناسایی مناطق درمعرض‌خطر وقوع حوادث طبیعی و اجزای آسیب‌پذیر شبکه و با استفاده از آمار رخدادهای گذشته، احتمال وقوع حوادث مختلف درطول سال برآورد می‌گردد. سپس با توجه به احتمال وقوع هرحادثه، احتمال انسداد کمان و مدت زمان انسداد دراثر بروز آن‌حادثه، میزان آسیب‌پذیری کمان‌های شبکه محاسبه‌می‌شود.

۱-۲. معیارهای مؤثر در اهمیت کمان یک شبکه

میزان اهمیت کمان‌های ارتباطی، براساس معیارهای اثرگذار بر

Archive of SID

www.SID.ir

عملکرد شبکه تعیین‌می‌گردد. درصورت بروز حادثه، شبکه‌ای‌که نتواند دسترسی به فعالیت‌های مختلف را فراهم‌نماید، آسیب‌پذیر خواهدبود. لذا بسته به سطح انتظار از شبکه و مقدار و گسترش این‌فعالیت‌ها، معیارهای مؤثر بر عملکرد شبکه نیز، متنوع خواهدبود. این‌پژوهش به معرفی و بررسی انواع معیارهای ممکن می‌پردازد. باتوجه به اینکه برخی از این‌معیارها کمّی و برخی دیگر نیز کیفی هستند، برای سنجش میزان تأثیر هرکدام در اهمیت‌کلی کمان‌های شبکه، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی[۱۷] استفاده‌می‌شود.

معیار اهمیت‌اقتصادی: در هر وضعیتی، به ویژه در شرایط بروز حادثه، حفظ دسترسی مسیرهای درآمدزا که نقش مهمی در اقتصاد منطقه دارند، حائزاهمیت‌است. اهمیت‌اقتصادی به‌نوعی وابسته به ارزش اقتصادی کمان‌های شبکه است و ارزش اقتصادی نیز به‌صورت سود خالص سالیانه کمان‌های شبکه تعریف‌شده‌است و از "درآمد جابجایی کالا و مسافر در کمان موردنظر منهای هزینه نگهداری سالیانه آن‌کمان" به‌دست‌می‌آید.

معیار اهمیت‌جایگزینی: در شرایط اضطراری، راه‌هایی‌که مسیر جایگزین مناسب ندارند، اهمیت بیشتری دارند. چراکه انسداد آنها، منجر به افزایش زمان‌های سفر در شبکه می‌شود. از این رو بایستی موردتوجه قرارگیرند. اهمیت‌جایگزینی برای یک‌کمان به‌صورت "میزان تأثیر عدم‌وجود آن‌کمان در شبکه بر مجموع زمان افزایش‌یافته کلیه مبدأ- مقصدها به‌نسبت حالت وجود آن‌کمان در شبکه" تعریف‌شده‌است:

$$I_k = \left(\frac{T_k^0 - T^0}{T^0} \right) \qquad (۴)$$

که در آن، I_k مقدار اهمیت‌جایگزینی کمان k، T^0 مجموع زمان‌های طی‌شده میان کلیه مبدأ- مقصدهای شبکه درحالت وجود کمان k و T_k^0 مجموع زمان‌های طی‌شده میان کلیه مبدأ- مقصدهای شبکه درحالت بدون وجود کمان k می‌باشد.

معیار اهمیت‌امنیتی- دفاعی: مسیرهای دسترسی به تأسیسات مهم نظامی و نقاط استراتژیک دفاعی، ازنظر امنیتی- دفاعی دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. این‌مسیرها بایستی درهنگام وقوع حوادث تا حدامکان ایمن‌نگه‌داشته‌شوند. اهمیت‌امنیتی- دفاعی با زیرمعیارهای پاسگاه‌انتظامی، تأسیسات امنیتی- دفاعی، پادگان‌نظامی و منطقه‌مرزی تعریف‌شده‌است. نحوه محاسبه اهمیت‌جزئی کمان‌ها، برمبنای نزدیکی این‌زیرمعیارها به کمان‌های شبکه درنظرگرفته‌شده‌است. بدین‌صورت‌که "نسبت عکس‌فاصله‌شعاعی هریک از این زیرمعیارها تا وسط کمان موردنظر به مجموع عکس فواصل‌شعاعی هریک از زیرمعیارها تا وسط هریک ازکمان‌های شبکه" به‌عنوان اهمیت‌جزئی آن‌کمان برای آن زیرمعیار، منظورمی‌گردد. لازم‌به‌ذکر است‌که دلیل انتخاب فاصله شعاعی، امکان ارزیابی نسبی در تمام گستره شبکه است.

$$S_k = \frac{\sum_i \frac{1}{r_{ik}}}{\sum_{i,k} \frac{1}{r_{ik}}} \qquad (۵)$$

که در آن S_k معیار اهمیت امنیتی- دفاعی کمان k و r_{ik} فاصله شعاعی هر زیرمعیار امنیتی- دفاعی i تا وسط کمان k می‌باشد.

معیار اهمیت‌اجتماعی: راهی‌که ازنظر اجتماعی، اهمیت بیشتری دارد، درصورت آسیب‌دیدن، خسارت بیشتری به‌دنبال‌خواهدآورد. این‌اهمیت می‌تواند براساس تقاضای عبور از مسیر، تعداد ساکنین مناطق حوزه نفوذ مسیر موردمطالعه و یا اهمیت نقاط مبدأ و مقصد ازنظر فرهنگی- تاریخی یا سیاسی تعیین‌گردد. اهمیت‌اجتماعی با زیرمعیارهای جمعیت، سابقه فرهنگی- تاریخی و جریانات سیاسی مراکز درنظرگرفته‌شده‌است. برای محاسبه اهمیت‌جزئی کمان‌ها برمبنای زیرمعیارهای تعریف‌شده، ابتدا مقادیر وزن‌های نسبی گره‌های اصلی شبکه ازنظر هریک از این زیرمعیارها تعیین‌می‌شود. سپس به‌تفکیک هر زیرمعیار، برای هر زوج مبدأ- مقصد، میانگین وزن مربوط به گره مبدأ و گره مقصد محاسبه‌می‌شود و این مقدار میانگین به‌عنوان نمره مسیر ارتباطی میان آن زوج مبدأ- مقصد درنظرگرفته‌می‌شود. بدیهی‌است، هرمسیر از چندکمان ارتباطی تشکیل‌شده‌است. بنابراین نمره هرمسیر برای کمان‌های واقع‌بر آن مسیر نیز منظورمی‌گردد. این‌کار برای تمامی مسیرهای مبدأ- مقصد شبکه انجام‌گردیده و مجموع میانگین نمرات تخصیص‌داده‌شده به هرکمان، برای هریک از زیرمعیارها، میزان اهمیت‌جزئی آن‌کمان ازنظر آن زیرمعیار خواهدبود.

معیار اهمیت‌امدادرسانی: حفظ دسترسی به مراکز امدادرسانی باتوجه به اهمیت وجود آنها در شرایط اضطراری، بسیار حیاتی می‌باشد. لذا مسیرهای منتهی به مراکز امدادی از اهمیت بیشتری برخوردارخواهندبود. اهمیت امدادرسانی با زیرمعیارهای پاسگاه پلیس‌راه، راهدارخانه، مرکز درمانی، فوریت‌های‌پزشکی و پایگاه‌هلال‌احمر تعریف‌شده‌است. نحوه محاسبه این‌معیار نیز مشابه روش استفاده شده در معیار اهمیت امنیتی- دفاعی برمبنای میزان نزدیکی زیرمعیارها به کمان‌های شبکه می‌باشد.

معیار اهمیت‌خدماتی- رفاهی: با توجه به نیاز مردم به آب، برق، سوخت و ارتباطات، تأمین دسترسی مسیرهایی‌که تأسیسات زیربنایی و اماکن خدماتی در آنها وجود دارد، اهمیت فراوان دارد. اهمیت‌خدماتی- رفاهی با زیرمعیارهای مناطق شهری و روستایی، اماکن‌خدماتی و مجتمع‌های‌رفاهی بین‌راهی تعریف‌شده‌است. نحوه محاسبه این‌معیار نیز مشابه روش‌های قبلی می‌باشد.

معیار اهمیت تفریحی- زیارتی: شناسایی مکان‌های تفریحی و زیارتی و مسیرهای منتهی به این‌نقاط دارای اهمیت بوده و مسیرهایی‌که اماکن مذهبی و تاریخی و همچنین جاذبه‌های تفریحی و گردشگری بیشتری داشته‌باشند، ازنظر معیار اهمیت‌تفریحی- زیارتی مهم‌ترخواهندبود.

Archive of SID

www.SID.ir

۱-۳. تخمین احتمال وقوع حوادث طبیعی در استان کردستان

زلزله: طراحی لرزه‌ای سازه‌ها براساس شتابی صورت‌می‌گیردکه درطول عمر مفید سازه، با پذیرش درصد ریسک مشخصی، امکان رخداد زلزله‌ای با شتابی بیشتر از آن وجود داشته‌باشد که برای تعیین درصد احتمال وقوع این‌زلزله، از رابطه(۶) استفاده‌می‌شود[۱۸]:

$$p_E = 1-(1-q)^{\frac{1}{n}} \quad \text{و} \quad (T_r)_E = \frac{1}{p_E} \qquad (۶)$$

که در آن $(T_r)_E$ دوره بازگشت زلزله، p_E درصد احتمال وقوع زلزله در سال، q درصد پذیرش خطر(۵، ۱۰، ۵۰ و یا ۶۴ درصد) و n عمر مفید سازه(۵۰ سال) می‌باشد.

سیل: تعیین سطح‌مقطع پل‌ها نیازمند انجام مطالعات هیدرولوژیکی است. دبی اوج رودخانه، عامل مهمی در تعیین عرض دهانه پل است. ازجمله عوامل مؤثر در محاسبه دبی اوج رودخانه می‌توان به مقدار و شدت نزولات جوی اشاره‌نمود. برای تعیین شدت‌بارندگی هرحوزه، اطلاعات آماری درخصوص تداوم بارندگی و دوره بازگشت این‌تداوم لازم‌است. دوره بازگشت نیز، با توجه به اندازه دهانه پل و میزان اهمیت آن انتخاب‌می‌شود و معمولاً در طراحی پل‌های با دهانه‌کلی ۱۰ تا ۱۵ متر استان کردستان، برای محاسبه دبی سیلاب طرح، دوره بازگشت پنجاه سال و برای پل‌های با دهانه‌کلی بزرگتر از ۱۵ متر، دوره بازگشت صد سال درنظرگرفته‌شده‌است[۱۹]. احتمال وقوع دبی‌های بزرگتر از دبی سیلاب طرح، با توجه به نوع پل‌ها، از رابطه(۷) محاسبه‌می‌شود:

$$p_F = \frac{1}{(T_r)_F} \qquad (۷)$$

که در آن $(T_r)_F$ دوره بازگشت سیل و p_F درصد احتمال وقوع سیل در سال می‌باشد.

زمین‌لغزش: زمین‌لغزش‌های روی‌داده در محورهای ارتباطی استان کردستان، به‌طورمتوسط سه‌مرتبه درسال و به‌تناوب در هیجده مقطع از راه‌های استان به‌طول ۴۱ کیلومتر و عمدتاً در ماه‌های اسفند و فروردین، بعد از وقوع بارندگی‌های شدید و یا پس از ذوب برف‌ها رخ‌می‌دهند[۲۰]و[۲۱]. احتمال وقوع زمین‌لغزش درسال، برای مناطق مستعد زمین‌لغزش به‌طورمتوسط به‌صورت نسبت "متوسط تعداد زمین‌لغزش‌های سالیانه به تعداد مناطق مستعد زمین‌لغزش" محاسبه‌می‌شود.

ریزش‌کوه: ریزش‌کوه یکی از حوادثی است‌که به‌طورمتوسط، ۱۵مرتبه درسال و به‌تناوب در ۳۶ مقطع از محورهای کوهستانی استان به‌طول ۵۳ کیلومتر اتفاق‌می‌افتد[۲۰]و[۲۱]. احتمال وقوع ریزش‌کوه درسال، به‌صورت نسبت "متوسط تعداد ریزش‌های سالیانه به تعداد مناطق مستعد ریزش" محاسبه‌می‌شود.

بهمن: حادثه بهمن به‌طورمتوسط، پنج‌مرتبه درسال و به‌تناوب در هفت مقطع از راه‌های استان به‌طول ۱۳ کیلومتر و عمدتاً در ماه‌های اسفند و فروردین با گرم‌شدن هوا و همزمان با ذوب برف‌ها در برخی از نقاط مرتفع و کوهستانی استان روی‌می‌دهد[۲۰]و[۲۱]. احتمال وقوع بهمن درسال، به‌صورت نسبت "متوسط تعداد بهمن‌های سالیانه به تعداد مناطقی‌که احتمال وقوع بهمن دارند" محاسبه‌می‌شود.

کولاک: درمجموع، ۴۸۳ کیلومتر از راه‌های استان کردستان در معرض خطر وقوع کولاک قراردارد. لذا احتمال و قوع برای نقاط مستعد در هر سال برابر یک می باشد

برف‌ویخبندان: درمجموع، ۷۲۰ کیلومتر از راه‌های استان کردستان در معرض خطر برف‌ویخبندان قراردارد. لذا احتمال و قوع برای نقاط مستعد در هر سال برابر یک می باشد

۱-۴. تعیین میزان آسیب‌پذیری کمان‌های شبکه استان کردستان

آسیب‌پذیری کمان‌های شبکه در اثر بروز زلزله و آسیب تونل‌ها: نظربه‌اینکه حوادث ریزش‌کوه و زمین‌لغزش برای مقاطع جاده‌ها درنظرگرفته‌شده‌است. لذا آسیب‌پذیری تونل‌ها تنها دربرابر زلزله مورد بررسی قرارگرفته‌است. با استفاده از احتمال برآوردشده برای وقوع زلزله و درنظرگرفتن تعداد روزهای انسداد مسیر درصورت آسیب تونل‌ها، می‌توان میزان آسیب‌پذیری کمان را به‌دست‌آورد. تعداد روزهای انسداد مسیر و مدت‌زمان بازگشایی تونل نیز، بستگی به طول و عمق روباره تونل دارد که با فرض شروع عملیات بازگشایی بلافاصله پس از وقوع حادثه و با فرض انجام کار در دوجبهه، میزان پیشروی به‌طورمتوسط، ۸ متر در شبانه‌روز درنظرگرفته‌شده‌است[۱۹]. لازم‌به‌ذکر است‌که احتمال انسداد کمان درصورت بروز زلزله و سایر حوادث برابر ۱ فرض‌شده‌است.

آسیب‌پذیری کمان‌های شبکه در اثر بروز زلزله و سیل و آسیب پل‌ها: بررسی‌حوادث‌گذشته نشان‌می‌دهد تقریباً تمامی پل‌های واقع در شبکه راه‌های استان کردستان درمعرض‌خطر سیل قراردارند. به‌علاوه، باتوجه به اینکه پل‌های بزرگ درمعرض بیشترین آسیب‌های ناشی از زلزله قراردارند و درصورت آسیب، عملکرد شبکه را به‌شدت تحت‌تأثیر قرارمی‌دهند. لذا آسیب‌پذیری پل‌های با دهانه ۱۰ متر و بالاتر دربرابر زلزله و سیل بررسی‌شده‌است. با استفاده از احتمال برآوردشده برای وقوع زلزله و سیل و درنظرگرفتن تعداد روزهای انسداد مسیر درصورت آسیب پل‌ها، می‌توان میزان آسیب‌پذیری کمان را به‌دست‌آورد. تعداد روزهای انسداد مسیر بستگی به طول‌کلی دهانه پل دارد که برای احداث مجدد پل، ۳ شبانه روز به ازای هرمتر عرض دهانه پل درنظرگرفته‌شده‌است[۱۹].

آسیب‌پذیری کمان‌های‌شبکه در اثر بروز زمین‌لغزش: با توجه به احتمال برآوردشده برای وقوع زمین‌لغزش در طول سال و نیز درنظرگرفتن مدت‌زمان لازم برای بازگشایی مسیرهایی‌که درصورت بروز زمین‌لغزش مسدودخواهندشد، می‌توان میزان آسیب‌پذیری کمان را به‌دست‌آورد. مدت‌زمان بازگشایی مسیر، بستگی به حجم مصالح رانشی و میزان آسیب‌های وارده به جسم و ابنیه جاده دارد. به‌طورمتوسط، مدت‌زمان رفع انسداد مسیر در هرمرتبه وقوع زمین‌لغزش در محورهای استان با احتساب زمان لازم برای انتقال ماشین‌آلات به محل وقوع حادثه، بین ۱۲ تا ۲۴ ساعت می‌باشد[۱۹].

آسیب‌پذیری کمان‌های‌شبکه در اثر بروز ریزش‌کوه: معمولاً ریزش‌کوه با انسداد کامل مسیر همراه‌نیست، لیکن در اغلب موارد موجب کاهش حداقل ۵۰ درصدی ظرفیت مسیر خواهدشد. در

Archive of SID

www.SID.ir

این‌موارد به‌طورمتوسط، مدت‌زمان رفع انسداد مسیر در هرمرتبه وقوع ریزش در محورهای استان با احتساب زمان لازم برای انتقال ماشین‌آلات به محل وقوع حادثه، بین ۵ تا ۱۰ ساعت می‌باشد[۱۹].

آسیب‌پذیری کمان‌های‌شبکه در اثر بروز بهمن: مدت‌زمان بازگشایی مسیر بستگی به حجم بهمن دارد. به‌طورمتوسط، زمان لازم برای رفع انسداد مسیر در هرمرتبه وقوع بهمن در محورهای استان، بین ۱۰ تا ۲۰ ساعت می‌باشد[۱۹].

آسیب‌پذیری کمان‌های‌شبکه دراثر بروز کولاک: کولاک به‌طورمتوسط، ۴۰ روز از سال در محورهای ارتباطی استان کردستان روی‌می‌دهد[۲۰]و[۲۱]. هربار وقوع این‌حادثه به‌طورمتوسط، ۶ ساعت در شبانه‌روز تداوم می‌یابد. بنابراین تعداد روزهای محتمل وقوع کولاک در سال برای محورهایی‌که درمعرض کولاک هستند، برابراست با: $p_R = 40\times\frac{6}{24} = 10$. بروز پدیده کولاک در برخی از موارد در محورهای کم‌تردد استان با انسداد مسیر همراه است. لیکن در اغلب موارد، موجب کاهش ۲۰ تا ۴۰ درصدی ظرفیت جاده می‌شود. بنابراین درصورت بروز کولاک، میزان آسیب‌پذیری یک‌کمان، از ضرب احتمال‌وقوع کولاک در مقدار کاهش ظرفیت آن‌کمان تعیین‌خواهدشد[۱۹].

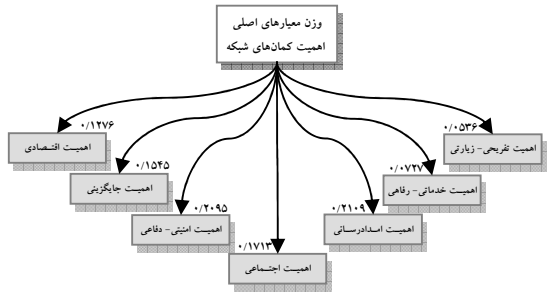
آسیب‌پذیری کمان‌های‌شبکه دراثر برف‌ویخبندان: به‌طورمتوسط ۶۰ روز از سال در محورهای ارتباطی استان، برف‌ویخبندان وجوددارد. وقوع کولاک، یخبندان را نیز درپی‌دارد. لذا با درنظرگرفتن ۴۰ روز کولاک همراه با یخبندان، به‌طورمتوسط ۲۰ روز از سال در محورهای ارتباطی استان کردستان، یخبندان وجود دارد[۲۰]و[۲۱]. هربار وقوع این‌حادثه به‌طورمتوسط ۱۲ ساعت در شبانه‌روز تداوم می‌یابد. بنابراین تعداد روزهای محتمل وقوع برف و یخبندان مستقل از وقوع کولاک درسال برای محورهایی‌که درمعرض برف‌ویخبندان قراردارند، برابراست با: $n_S = (60-40)\times\frac{12}{24} = 10$. وقوع برف‌ویخبندان در محورهای استان، موجب کاهش ۱۰ تا ۲۰ درصدی ظرفیت جاده می‌شود. بنابراین درصورت بروز برف‌ویخبندان، میزان آسیب‌پذیری یک‌کمان، از ضرب احتمال‌وقوع برف‌ویخبندان در مقدار کاهش ظرفیت آن‌کمان تعیین‌خواهدشد[۱۹].

۱-۵. تعیین میزان اهمیت کمان‌های شبکه استان کردستان

به‌منظور محاسبه اهمیت کمان‌های شبکه برای تمام معیارها و زیرمعیارها، بازدید میدانی انجام‌شده و حجم وسیعی از اطلاعات شامل: موقعیت پاسگاه‌های انتظامی، تأسیسات امنیتی- دفاعی، پادگان‌های نظامی و مناطق مرزی، همچنین جمعیت، سابقه فرهنگی- تاریخی و جریانات سیاسی مراکز، موقعیت پاسگاه‌های پلیس‌راه، راهدارخانه‌ها، مراکز درمانی، فوریت‌های‌پزشکی و پایگاه‌های هلال‌احمر، مناطق شهری و روستایی، اماکن خدماتی مانند شهرک‌های صنعتی، کارگاه‌های تولید مواد خوراکی و لبنی، کارگاه‌های دانه‌بندی شن و ماسه، کارگاه‌های تولید آسفالت، آهک و گچ، کوره‌های آجرپزی، تأسیسات زیربنایی مانند تأسیسات مخابراتی، نیروگاه‌های برق، مخازن و خطوط نفت و گاز، سیلوهای ذخیره، واحدهای خدماتی خصوصی، مراکز خرید و فروش، دامداری‌ها و مرغداری‌ها، مجتمع‌های رفاهی مانند جایگاه‌های عرضه سوخت، تعمیرگاه وسایل‌نقلیه، غذاخوری و نمازخانه، همچنین موقعیت اماکن‌مذهبی، اماکن‌تاریخی، رودخانه، فضای‌سبز، دریاچه، سد، مناطق کوهپیمایی و جنگلی جمع‌آوری گردید. با استفاده از این اطلاعات و براساس تعاریف عنوان شده برای معیارهای مؤثر در تعیین اهمیت اجزای شبکه، مقادیر اهمیت جزئی کمان‌های شبکه محاسبه‌گردید.

تعیین وزن معیارهای اهمیت کمان‌های شبکه استان کردستان:

پس از محاسبه اهمیت جزئی کمان‌ها، به‌منظور سنجش تأثیر معیارها در شبکه، وزن آنها محاسبه‌گردید. تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها، با استفاده از روش سلسله مراتبی و با بهره‌گیری از نظرات کارشناسان خبره انجام‌شد. در شکل۱، وزن‌نسبی معیارهای اصلی اهمیت کمان‌های شبکه نشان‌داده‌شده‌است.



شکل۱: وزن معیارهای اصلی اهمیت کمان‌های شبکه

۲. ارائه شاخص خطرپذیری برای حوادث جاده‌ای

کوهستانی بودن محورهای ارتباطی استان کردستان، پایین بودن مشخصات هندسی جاده‌ها و شرایط ویژه آب و هوایی حاکم بر آن از یک طرف و دستپاچگی و اضطراب رانندگان، خصوصاً رانندگانی‌که با وضعیت هندسی جاده و شرایط منطقه آشنایی کافی ندارند از سوی دیگر، عمدتاً باعث ایجاد تصادفات جاده‌ای می‌شود که این‌امر علاوه بر انسداد مسیر، باعث کاهش ایمنی مسیر عبوری نیز می‌گردد. بنابراین حفظ ایمنی استفاده‌کنندگان از راه و جلوگیری از انسداد جاده دراثر وقوع سوانح رانندگی در این‌شرایط، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. علاوه بر این، در هنگام وقوع حوادث طبیعی نیز، حجم عظیم ترافیک به‌علت حضور نیروهای امدادی، نیروهای خدمات‌رسان، آسیب‌دیدگان از حادثه، وسایل‌نقلیه حامل کالا و تجهیزات، مسافرین و مردمی‌که راهی منطقه آسیب‌دیده شده‌اند، وارد شبکه جاده‌ای می‌شوند که در این‌شرایط، باتوجه به اهمیت نجات آسیب‌دیدگان و انتقال سریع آنها از منطقه آسیب‌دیده و با توجه به ضرورت حمل امکانات و تجهیزات موردنیاز، می‌توان با انتخاب مسیرهای ایمن‌تر برای تردد، از وقوع این‌گونه تصادفات تا حدود زیادی کاست که دستیابی به این مهم، با استفاده از آمار سوابق تصادفات محورهای ارتباطی و تعیین شاخص خطرپذیری در برابر حوادث جاده‌ای امکان‌پذیر خواهد بود.

۲-۱. شاخص معادل خسارتی تصادفات برحسب معادل سواری

Archive of SID

www.SID.ir

ترافیک سالیانه

برای تعیین شاخص معادل خسارتی تصادفات برحسب معادل سواری ترافیک سالیانه، جمع‌آوری سوابق انواع تصادفات جاده‌ای اعم از خسارتی، جرحی و فوتی در هر کمان و همچنین، محاسبه معادل سواری کل ترافیک سالیانه آن کمان، ضروری است. مطابق رابطه(۸)، شاخص خطرپذیری در برابر حوادث جاده‌ای، به‌صورت "نسبت عدد P به معادل‌سواری‌کل‌ترافیک‌سالیانه در قطعه موردنظر" تعریف می‌شود. مقدار عدد P که نشان‌دهنده معادل خسارتی تصادفات می‌باشد، برابر است با[۲۲]:

$$P = X + 3Y + 5Z \qquad (۸)$$

که در آن X، Y و Z به‌ترتیب تعداد تصادفات خسارتی، جرحی و فوتی سالیانه در قطعه مورد نظر می‌باشد.

با استفاده از آمار ارائه‌شده توسط پلیس‌راه استان کردستان از تصادفات روی‌داده در محورهای ارتباطی استان[۲۳] و با استفاده از مقادیر محاسبه شده معادل سواری کل ترافیک سالیانه به تفکیک هر کمان، میزان این شاخص در برابر حوادث جاده‌ای در استان کردستان محاسبه شده است. نمونه محاسبات انجام‌شده در جدول۱ آمده است.

جدول۱: محاسبه شاخص خطرپذیری تصادفات برحسب نسبت شاخص معادل خسارتی تصادفات به معادل سواری ترافیک سالیانه

شماره کمان	نام کمان	تعداد تصادفات خسارتی سالیانه (X)	تعداد تصادفات جرحی سالیانه (Y)	تعداد تصادفات فوتی سالیانه (Z)	معادل خسارتی تصادفات (P=X+3Y+5Z) : (۱)	معادل سواری کل ترافیک سالیانه (PCU) : (۲)	شاخص خطرپذیری تصادفات : (۲)/(۱)
۱	قروه- کاظم‌آباد	۳۵	۲	۱	۴۶	۱۲۵۴۴۵۶	۰,۰۰۰۰۴
۲۰	سه‌راهی‌غیبی‌سور- بیجار	۳۶	۳	۰	۴۵	۴۲۸۴۹۹	۰,۰۰۰۱۱
۵۰	سنندج- سه‌راهی فقیه‌سلیمان	۱۱۵	۴	۱	۱۳۲	۱۰۵۶۰۳۵	۰,۰۰۰۱۲
۷۶	بانه- سقز	۹۳	۱۱	۱	۱۳۱	۵۹۹۷۷۳	۰,۰۰۰۲۲
۱۰۰	کامیاران- سه‌راهی رزاب	۳۰	۵	۰.۵	۴۷.۵	۷۷۱۳۳۹	۰,۰۰۰۰۶

۲-۲. شاخص سهم استان از تصادفات کشور

شاخص سهم استان از تصادفات کشور، در ارزیابی ایمنی سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای استان بسیار تعیین‌کننده است. بالا بودن شاخص سهم استان از تصادفات کشور، به عوامل متعددی ازجمله میزان تردد و طول راه‌های استان بستگی دارد و ملاک مناسبی برای تخصیص اعتبار به‌منظور رفع نقاط پرحادثه و یا توسعه و افزایش تعداد خطوط عبوری راه‌های استان می‌باشد. مطابق این‌شاخص، استان‌های تهران، مازندران و اصفهان رتبه‌های اول تا سوم میزان تصادفات در راه‌های برون شهری کشور را به خود اختصاص داده‌اند و استان کردستان با سهم ۱/۵۲ درصد از تصادفات کشور در رتبه ۲۱ قراردارد. استان‌های بوشهر، ایلام و خراسان جنوبی نیز، به‌ترتیب رتبه‌های ۲۸ تا ۳۰ را به خود اختصاص داده‌اند.

۲-۳. شاخص نسبت تصادفات استان بر طول راه‌های استان

شاخص نسبت تصادفات بر طول راه‌های استان در توضیح کیفیت راه‌های استان، فرهنگ رانندگی و سایر عوامل تأثیرگذار بر تصادفات، از شاخص قبل گویاتر است. طبق این شاخص، استان‌های تهران، قم و مازندران در رتبه‌های اول تا سوم قرار دارند و استان کردستان با شاخص ۱/۶ تصادف بر کیلومتر در سال، در رتبه ۱۷ قرارگرفته‌است. براساس این شاخص، استان‌های ایلام، یزد، سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی در رده‌های ۲۷ تا ۳۰ جای گرفته‌اند.

جدول۲: سهم چند استان منتخب از تصادفات کشور و نسبت تصادفات چند استان منتخب بر طول راه‌های استان[۱]

استان	طول راه‌های استان	تعداد تصادف	سهم استان از تصادفات	رتبه مطابق شاخص	تعداد تصادفات بر طول راه‌های استان	رتبه مطابق شاخص
تهران	۱۳۲۲	۲۸۰۶۰	۱۷/۰۱	۱	۲۱/۲۳	۱
قم	۵۷۶	۴۹۵۵	۳	۱۱	۸/۶	۲
مازندران	۲۰۴۷	۱۶۴۵۲	۹/۹۷	۲	۸/۰۴	۳
کردستان	۱۵۷۱	۲۵۰۹	۱/۵۲	۲۱	۱/۶	۱۷
ایلام	۱۴۱۱	۱۲۱۹	۰/۷۴	۲۹	۰/۸۶	۲۷
خراسان جنوبی	۳۳۰۴	۱۰۱۶	۰/۶۲	۳۰	۰/۳۱	۳۰
کل کشور	۷۲۶۱۱	۱۶۴۹۸۶	۱۰۰	-	۲/۲۷	-

۲-۴. شاخص سهم استان از تلفات تصادفات برون شهری کشور

شاخص سهم استان از تلفات تصادفات رانندگی برون شهری کشور نیز در ارزیابی ایمنی سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای استان اهمیت فراوان دارد. مطابق این شاخص، استان‌های فارس، خراسان رضوی و کرمان رتبه‌های اول تا سوم میزان تلفات تصادف رانندگی در راه‌های برون شهری کشور را به خود اختصاص داده‌اند. استان کردستان با سهم

Archive of SID

www.SID.ir

۲/۶۴ درصد در رتبه ۱۷ جای دارد. این در حالی است که استان کردستان با سهم ۱/۵۲ درصدی از تصادفات رانندگی برون شهری کشور در رتبه ۲۱ قرار دارد و ارتقاء رتبه استان در سهم تلفات، نشانگر شدت بالای تصادفات استان است.

۲-۵. شاخص نسبت تلفات تصادفات برون شهری بر یکصد کیلومتر طول راه‌های استان

شاخص نسبت تلفات انسانی تصادفات رانندگی برون شهری بر طول راههای استان، دیگر شاخصی است که مورد بررسی قرار می‌گیرد. این شاخص در توضیح کیفیت راه‌های استان، فرهنگ رانندگی و سایر عوامل تأثیرگذار بر تصادفات، از شاخص قبل گویاتر بوده و شاخص مناسبی برای سرمایه‌گذاری و ایمن‌سازی در راه‌های استان می‌باشد. طبق این‌شاخص، استان‌های تهران، قم و گیلان، رتبه‌های اول تا سوم را در اختیار دارند. استان کردستان با شاخص ۲۹/۴۱ کشته بر یکصد کیلومتر در سال، رتبه ۹ کشور را به خود اختصاص داده که بسیار نگران کننده است. براساس این شاخص، استان‌های ایلام، یزد و خراسان جنوبی رتبه‌های ۲۸ تا ۳۰ را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول۳: سهم استان از تلفات تصادفات رانندگی برون شهری کشور و نسبت تلفات تصادفات برون شهری بر یکصد کیلومتر طول راه‌های استان[۱]

استان	طول راه های استان	تعداد کشته های تصادفات برون شهری	سهم استان از تلفات برون شهری	رتبه	نسبت تلفات برون شهری بر یکصد کیلومتر طول راههای استان	رتبه
تهران	۱۳۲۲	۱۰۷۱	۶/۱۳	۴	۸۱/۰۱	۱
قم	۵۷۶	۳۶۶	۲/۱	۲۲	۶۳/۵۴	۲
فارس	۶۰۰۵	۱۳۲۸	۷/۶	۱	۲۲/۱۱	۱۶
خراسان رضوی	۵۹۴۳	۱۲۰۹	۶/۹۲	۲	۲۰/۳۴	۱۹
کردستان	۱۵۷۱	۴۶۲	۲/۶۴	۱۷	۲۹/۴۱	۹
ایلام	۱۴۱۱	۱۴۰	۰/۸	۳۰	۹/۹۲	۲۸
یزد	۲۷۳۳	۲۶۸	۱/۵۳	۲۵	۹/۸۱	۲۹
خراسان جنوبی	۳۳۰۴	۱۶۰	۰/۹۲	۲۹	۴/۸۴	۳۰
کل کشور	۷۲۶۱۱	۱۷۴۷۰	۱۰۰	-	۲۴/۰۶	-

۲-۶. شاخص نسبت تعداد تلفات تصادفات برون شهری بر یکصد تصادف برون شهری

شاخص نسبت تعداد تلفات تصادفات رانندگی برون شهری بر یکصد تصادف برون شهری، یکی از شاخص‌های با اهمیت در بررسی شاخص خطرپذیری در برابر حوادث جاده‌ای بوده و نشانگر شدت برخوردها در تصادفات رانندگی است. بدیهی است هرچه تعداد کشته به ازای تعداد تصادفات رخداده بیشتر باشد، نشانه شدیدتر بودن تصادفات است. مطابق این شاخص، استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان و خراسان رضوی رتبه‌های اول تا سوم را به خود اختصاص داده‌اند. استان کردستان نیز، با ۱۸/۴۱ کشته به ازای یکصد تصادف رانندگی در رتبه ۵ کشوری قراردارد. کوهستانی بودن راه‌های استان و عدم تناسب عملکرد شبکه با استاندارد طراحی آن، از جمله دلایل بالابودن این شاخص در استان کردستان می‌باشد. مطابق این‌شاخص، استان‌های آذربایجان شرقی، مازندران و تهران در رتبه‌های ۲۸ تا ۳۰ جدول فرار دارند.

جدول۴: نسبت تعداد تلفات تصادفات رانندگی برون شهری بر یکصد تصادف برون شهری چند استان منتخب[۱]

استان	تعداد تصادف	کشته درون شهری	کشته برون شهری	کشته جاده روستائی	کشته نامعلوم	جمع کشته ها	مصدومین برون و درون شهری	نسبت تعداد تلفات تصادفات رانندگی برون شهری بر یکصد تصادف برون شهری	رتبه
سیستان و بلوچستان	۲۳۸۶	۱۶۵	۷۶۹	۷۷	۴۷	۱۰۵۸	۴۷۵۰	۳۲/۲۳	۱
کرمان	۴۷۴۳	۳۹۸	۱۱۱۵	۱۳۶	۱۰	۱۶۵۹	۶۹۳۸	۲۳/۵۱	۲
کردستان	۲۵۰۹	۱۰۷	۴۶۲	۴۵	۴	۶۱۸	۴۲۸۴	۱۸/۴۱	۵
مازندران	۱۶۴۵۲	۴۰۲	۷۳۱	۱۱۳	۰	۱۲۴۶	۱۷۳۲۳	۴/۴۴	۲۹
تهران	۲۸۰۶۰	۱۴۷۹	۱۰۷۱	۴۶	۴۹	۲۶۴۵	۳۷۰۱۰	۳/۸۲	۳۰
کل کشور	۱۶۴۹۸۶	۷۷۹۴	۱۷۴۷۰	۱۹۶۷	۳۳۶	۲۷۵۶۷	۲۷۶۷۶۲	۱۰/۵۹	-

۲-۷. شاخص خسارت انسانی تصادفات رانندگی استان‌ها

برای جمع‌بندی تعداد کشته‌ها و مجروحین تصادفات رانندگی کشور (اعم از برون شهری و درون شهری)، شاخصی باعنوان خسارت انسانی تعریف‌شده‌است که در آن، میزان خسارت هرمجروح، معادل سه‌پنجم خسارت یک کشته درنظر گرفته شده است. در هر صورت، مطابق این شاخص، استان‌های تهران، خراسان رضوی و اصفهان، رتبه‌های اول

Archive of SID

www.SID.ir

تا سوم کشور را به خود اختصاص داده‌اند. استان کردستان با شاخص ۳۱۸۸ در رتبه ۲۱ و استان‌های کهکیلویه‌وبویراحمد، ایلام و خراسان جنوبی در رتبه‌های ۲۸ تا ۳۰ قرار گرفته‌اند.

جدول۵: شاخص خسارت انسانی تصادفات رانندگی چند استان منتخب[۱]

استان	طول راه های استان	تعداد تصادف	جمع تعداد کشته‌ها	تعداد مصدومین	شاخص خسارت انسانی (کشته+ سه پنجم مجروح)	رتبه
تهران	۱۳۲۲	۲۸۰۶۰	۲۶۴۵	۳۷۰۱۰	۲۴۸۵۱	۱
خراسان رضوی	۵۹۴۳	۵۷۵۲	۲۱۷۴	۳۱۶۴۶	۲۱۱۶۲	۲
کردستان	۱۵۷۱	۲۵۰۹	۶۱۸	۴۲۸۴	۳۱۸۸	۲۱
ایلام	۱۴۱۱	۱۲۱۹	۱۸۰	۲۲۳۸	۱۵۲۳	۲۹
خراسان جنوبی	۳۳۰۴	۱۰۱۶	۲۳۹	۱۸۳۸	۱۳۴۲	۳۰
کشور	۷۲۶۱۱	۱۶۴۹۸۶	۲۷۵۶۷	۲۷۶۷۶۲	۱۹۳۶۲۴	-

نتایج

بررسی آمار تصادفات در محورهای ارتباطی استان کردستان بیانگر این مطلب است که در ۷۷۹ کیلومتر از راه‌های استان در سال ۸۵، ۲۰۰۴ مورد تصادف رخ داده و متأسفانه ۳۶۶ نفر فوت کرده‌اند و شاخص کشته به ازای هر یکصد کیلومتر از راه‌های استان، ۴۷ نفر بوده است. این در حالی است که در این سال، ۲۷۵۵۶ نفر در طول ۷۱۷۱۱ کیلومتر راه‌های کشور کشته شده‌اند و شاخص کشته به ازای هر یکصد کیلومتر از طول راه‌های کشور، ۳۸ نفر بوده است.

همچنین در سال ۸۵ تعداد تصادفات کشور ۵۲۳۵۳۰۰ مورد و شاخص کشته به ازای هر یکصد تصادف کشور ۵/۳ نفر می‌باشد که در مدت مشابه، تعداد تصادفات استان کردستان ۲۰۰۴ مورد و شاخص کشته به ازای هر یکصد تصادف ۱۸/۳ نفر می‌باشد که این مقدار ۳/۵ برابر میانگین کشوری و نشانه شدت تصادفات استان است.

در محور سنندج- کامیاران، شاخص کشته به ازای یکصد کیلومتر طول راه ۹۰ نفر و شاخص کشته به ازای یکصد تصادف ۱۱۹ نفر (بیش از ۲۲ برابر میانگین کشوری) می‌باشد که این ارقام غیرقابل تصور، نشان‌دهنده شدت تصادفات این محور است.

در استان کردستان به طور میانگین ۳۰ درصد از تصادفات در ۱۰ کیلومتری ابتدای شهرها رخ داده‌است. ۴۳ درصد از تصادفات استان از نوع برخورد جلوبه‌جلو و پهلوبه‌پهلو بوده که ناشی از سبقت‌های غیرمجاز و انحراف به چپ می‌باشد. ۴۰ درصد از تخلفات ثبت شده در استان نیز سبقت غیرمجاز و انحراف به چپ می‌باشد که با علت تخلفات، تناسب و تطابق دارد. ۲۷ درصد از تصادفات کل استان، از نوع جلو به پهلو بوده که ناشی از برخوردهای تقاطعی و عدم رعایت حق تقدم و وجود تقاطع‌های غیرایمن و متعدد می‌باشد. ۴۱ درصد از تصادفات استان در ساعات شب رخ داده است. ۳۸ درصد از تصادفات استان مربوط به کامیون، تریلی، کامیونت و وانت می‌باشد. کشته شدگان ناشی از تصادفات استان را ۳۹ درصد راننده، ۵۴ درصد سرنشین و ۷ درصد عابر پیاده تشکیل می‌دهد. ۵۴ درصد فوت شدگان تصادفات در محل حادثه، ۱۶ درصد در حین انتقال، ۲۸ درصد در بیمارستان و ۲ درصد در منزل فوت نموده‌اند[۲۳].

نگاه همزمان به میزان تصادفات، تعداد کشته و میزان تردد در محورهای مختلف استان نشان‌می‌دهد که در محورهای سقز- بوکان، بیجار-دیواندره، بیجار- زنجان، بیجار- قروه، سقز- دیواندره و سقز- بانه، تعداد کشته و میزان تردد با یکدیگر متناسب است. همچنین بحرانی‌ترین محورهای اصلی استان باتوجه به میزان تردد، تعداد تصادفات و تعداد کشته‌ها، محور سنندج- کامیاران(تعداد تصادف بر کیلومتر: ۵/۵۷)، محور سنندج- همدان(تعداد تصادف بر کیلومتر: ۳/۲۵) و محور سنندج- مریوان(تعداد تصادف بر کیلومتر: ۲/۵۱) می‌باشد[۲۴].

جدول۶: آمار تعداد تصادفات ماهیانه محورهای مهم استان[۲۴]

ردیف	محور	تعداد تصادفات	درصد تصادفات از کل تصادفات استان	طول محور	نرخ تصادفات بر کیلومتر
۱	سنندج- کامیاران	۳۹۰	۰/۱۹	۷۰	۵/۵۷
۲	سنندج- دیواندره	۱۸۸	۰/۰۹	۵۵	۳/۴۲
۳	سنندج- همدان	۴۳۶	۰/۲۲	۱۳۴	۳/۲۵
۴	سقز- دیواندره	۲۶۱	۰/۱۳	۸۹	۲/۹۳
۵	سقز- بانه	۱۳۹	۰/۰۷	۴۸	۲/۹۰
۶	سنندج- مریوان	۳۱۴	۰/۱۶	۱۲۵	۲/۵۱
۷	سقز- بوکان	۵۴	۰/۰۳	۲۲	۲/۵۱
۸	بیجار- دیواندره	۱۴۳	۰/۰۷	۹۸	۱/۴۶
۹	بیجار- زنجان	۴۹	۰/۰۲	۵۸	۰/۸۴
۱۰	بیجار- قروه	۳۰	۰/۰۱	۸۰	۰/۳۸
مجموع		۱۹۷۴	۰/۹۹	۷۹۹	۲/۴۷

جدول۷: تصادفات رخ داده برحسب فاصله محل تصادف از مبدأ در محورهای استان کردستان در سال ۱۳۸۶ [۲۳]

جمع کل محورهای ارتباطی در استان		
فاصله از مبدأ محور (کیلومتر)	تعداد	درصد (استان)
بین ۰ تا ۱۰	۶۷۶	۲۹،۵۱
بین ۱۰ تا ۲۰	۳۷۹	۱۶،۵۴
بین ۲۰ تا ۳۰	۲۴۰	۱۰،۴۸
بین ۳۰ تا ۴۰	۲۱۳	۹،۳
بین ۴۰ تا ۵۰	۱۶۶	۷،۲۵
بین ۵۰ تا ۶۰	۱۷۰	۷،۴۲
بین ۶۰ تا ۷۰	۱۲۵	۵،۴۶
بین ۷۰ تا ۸۰	۸۷	۳،۸
بین ۸۰ تا ۹۰	۶۷	۲،۹۲
بالای ۹۰	۱۶۸	۷،۳۳

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

نظر به اهمیت و ضرورت بررسی عملکرد شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای در هنگام بروز حوادث طبیعی و جاده‌ای، شاخص خطرپذیری شبکه دربرابر این حوادث ارائه‌گردید. این‌شاخص‌ها، علاوه بر سنجش اثرات بروز انواع حوادث بر اجزای مختلف شبکه، میزان تأثیر هریک از اجزاء بر عملکرد شبکه با توجه به اهمیت آنها را ارزیابی‌می‌نماید. در شاخص خطرپذیری دربرابر حوادث طبیعی، برای تعیین اهمیت کمان‌های شبکه، انواع معیارهای تأثیرگذار بر عملکرد شبکه‌حمل‌ونقل تعریف‌شده‌است. این‌معیارها به همراه زیرمعیارهای مرتبط با هریک، جهت مقایسه دوبه‌دو به کارشناسان ذیربط ارائه و با استفاده از روش تحلیل‌سلسله‌مراتبی و نظرات اخذ شده از کارشناسان، وزن هریک از معیارها و زیرمعیارها تعیین‌گردید. این‌شاخص برای شبکه راه‌های استان کردستان به‌کارگرفته‌شد و با استفاده از معیارهای تعریف‌شده و وزن‌های به‌دست‌آمده برای این‌معیارها، میزان اهمیت هریک از کمان‌ها تعیین و کمان‌های شبکه به‌ترتیب اهمیت اولویت‌بندی‌گردید. از سوی دیگر با استفاده از آمار رخدادهای طبیعی استان کردستان، احتمال بروز انواع حوادث طبیعی تخمین‌زده‌شد. بررسی این‌حوادث و اثرات تخریبی آن، یکی از اهداف این‌پژوهش بود که با شناسایی اجزای آسیب‌پذیر مانند تونل‌ها، پل‌ها و قطعاتی از راه که درمعرض‌خطر وقوع حوادث قراردارند و همچنین تعیین میزان آسیب‌پذیری کمان‌های شبکه درصورت تخریب این اجزاء صورت‌گرفت. در ادامه نیز، شاخص خطرپذیری برای حوادث طبیعی و جاده‌ای ارائه‌شد که براساس آن می‌توان میزان ریسک شبکه و اجزای آن را تعیین‌نمود.

این‌مطالعه نشان‌داد که می‌توان به‌کمک این‌شاخص‌ها درجهت افزایش قابلیت‌اطمینان شبکه و کاهش خطرپذیری شبکه اقدام‌نموده و به اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری پرداخت.

از دیگر نتایج این‌پژوهش، کاربرد آن در برنامه‌ریزی‌های مدیریت بحران سوانح است. بدین‌ترتیب‌که با مشخص نمودن مسیرهای دارای خطرپذیری پایین، می‌توان از آنها در فعالیت‌های مربوط به امداد و نجات استفاده نمود.

درنظرگرفتن هریک از حوادث به‌صورت جداگانه و یا اثر ترکیبی آنها از دیگر نتایج این‌مطالعه است. لذا بسته به هر حادثه نیز، می‌توان میزان خطرپذیری کمان‌ها و مسیرهای شبکه را مشخص‌نمود.

مراجع

[۱]- دفتر فن‌آوری اطلاعات سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای، "سالنامه آماری حمل‌ونقل جاده‌ای ۱۳۸۵"، ویرایش اول، سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای، ۱۳۸۶

[2]- Iida, Y., "Basic Concepts and Future Directions of Road Network Relibility Analysis", Journal of Advanced Transportation,Vol. 33, No. 2, pp. 125-134, 1999.

[3]- Bell, M.G.H., "Measuring Network Reliability: A Game Theoretic Approach", Journal of Advanced Transportation, Vol. 33, No. 2, pp. 135-146, 1999.

[4]- Chen, A., Yang, H., Lo, H.K., Tang, W.H., "A Capacity Related Reliability for Transportation Networks", Journal of Advanced Transportation, Vol. 33, No. 2, pp. 183-200, 1999.

[5]- Chen, A., Yang, H., Lo, H.K., Tang, W.H., "Capacity Reliability of a Road Network: an Assessment Methodology and Numerical Results", Transportation Research Part B,Vol. 36, pp. 225-252, 2002.

[۶]- شریعت‌مهیمنی، افشین، منصورخاکی، علی و بابایی، محسن، "روشی ابتکاری برای محاسبه قابلیت اطمینان ظرفیت و دسترسی (اتصال) در شبکه‌های حمل و نقلی آسیب پذیر درون شهری"، پژوهشنامه حمل‌ونقل، سال چهارم، شماره اول، بهار ۱۳۸۶.

[7]- Nojima, N., Sugito, M., "Simulation and Evaluation of Post-Earthquake Functional Performance of Transportation Network", Proc. of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, paper No.1927, 2000.

[8]- Chang, S.E., "Transportation planning for disasters: an accessibility approach", Environment and Planning A, Vol. 35, pp. 1051-1072., 2003.

[9]- Berdica, K., Eliasson, J., "Regional Accessibility Analysis from a Vulnerability Perspective", Proceedings of the Second International Symposium on Transportation Network Reliability(INSTR). Christchurch, New Zealand, pp. 89-94, 2004.

[10]- Taylor, M.A.P., D'Este, G.M., "Critical infrastructure and transport network vulnerability: developing a method for diagnosis and assessment", Proceedings of the Second International Symposium on Transportation Network Reliability (INSTR). Christchurch, New Zealand, pp. 96-103, 2004.

[11]- Sohn, J., "Evaluating the significance of highway network links under the flood damage : An accessibility approach", Transportation Research Part A, Vol. 40, pp. 491-506, 2006.

[12]- Qiang, Q., Nagurney, A., "A unified network performance measure with importance identification and the ranking of network components", Optimization Letters, Vol. 2, pp. 127-142, 2008.

[13]- Brabhaharan ,P., Fleming, MJ., Lynch, R. "Natural hazard risk management for road networks, Part I: Risk management strategies" Transfund New Zealand Research, Report No. 2001, 2001.

[14]- Brabhaharan, P., Moynihan S., "Natural hazard risk management for road networks, Part II: Implementation strategies" Transfund New Zealand Research, Report No. 2002, 2002.

[۱۵]- شریعت‌مهیمنی، افشین، "امکان‌سنجی به‌کارگیری مدیریت بحران در شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای کشور"، پروژه تحقیقاتی، پژوهشکده حمل‌ونقل وزارت راه و ترابری، ایران، ۱۳۸۵.

Archive of SID

www.SID.ir

[۱۶]- کلانتری، نوید، "ارائه متدولوژی تعیین شاخص ریسک شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای برمبنای دسترسی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۴.

[۱۷]- قدسی‌پور، سیدحسن، "فرآیند تحلیل سلسله مراتبی(AHP)"، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۵.

[18]- Taranath, B.S. "*Wind and earthquake resistant building*: structural analysis and design", Published by CRC Press, 2004.

[۲۰]- کاظمی، علی‌اصغر، "تحلیل و ارزیابی شاخص دسترسی در شبکه راه‌های استان کردستان برای شرایط اضطراری"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۷.

[۲۱]- شرکت فنی و مهندسی نیوار، "گزارش مطالعات اقلیم و گردشگری در استان کردستان"، اداره کل هواشناسی استان کردستان، ۱۳۸۰.

[۲۲]- ستاد حوادث و سوانح غیرمترقبه، "گزارش خسارت‌های ناشی از حوادث غیرمترقبه از سال ۸۱ الی ۸۶"، استانداری کردستان، ۱۳۸۷.

[22]-Geurts, K., Wets. G., Brijs, T. and K. Vanhoof, "Identification and Ranking of Black Spots: Sensitivity Analysis", 83th Annual Meeting of the Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, 17 pp, 2004.

[۲۳]- واحد آمار پلیس راه استان کردستان" گزارش تصادفات روی‌داده برحسب نوع صدمه وارده در محورهای انتخابی استان از مورخه ۸۴/۱۲/۲۹ الی ۸۷/۱۲/۲۹"، فرماندهی قرارگاه پلیس راه استان کردستان، ۱۳۸۸.

[۲۴]- اداره ایمنی و ترافیک سازمان حمل‌ونقل و پایانه‌های استان کردستان" گزارش تحلیل تصادفات جاده‌ای استان کردستان"، سازمان حمل‌ونقل و پایانه‌های استان کردستان، ۱۳۸۵.

Archive of SID

www.SID.ir