

ارایه روشی جهت شناسایی و اولویت‌بندی نقاط مستعد مخاطرات در شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای، مطالعه موردی استان اصفهان

امیرحسین مومنی‌مژده، کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
 سیدمهدی ابطحی‌فروشانی، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
 حمیدرضا صفوی، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
 پست الکترونیکی نویسنده مسئول: a_momenimazdeh@yahoo.com

دریافت: ۹۵/۰۵/۲۵ - پذیرش: ۹۵/۱۰/۲۰

چکیده

شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای به عنوان گسترده‌ترین و دردسترس‌ترین نوع جابجایی بار و مسافر، در معرض پهنه گسترده‌ای از مخاطرات طبیعی و انسانی قرار دارند. از این‌رو شناسایی و اولویت‌بندی نقاط مستعد مخاطره در این شبکه‌ها نقش به‌سزایی در کنترل و کاهش آسیب‌های ناشی از وقوع مخاطرات خواهد داشت. در این پژوهش پس از شناسایی این نقاط بر مبنای نقشه‌های هم‌پوشانی مخاطرات و شبکه راه‌ها، به ارایه روشی جهت همگون‌سازی اثر مخاطرات طبیعی و انسانی در شبکه راه‌ها پرداخته می‌شود. در این روش با محاسبه منافع و هزینه‌های ریالی ایمن‌سازی نقاط مستعد مخاطره، شاخص منفعت به صورت نسبت ریالی منافع ایمن‌سازی به هزینه‌های آن در هر نقطه تعریف گردیده و با استفاده از ضریبی نسبت به نوع مخاطره و موقعیت آن نقطه در شبکه راه‌ها تصحیح می‌گردد. به عنوان مطالعه موردی، با بکارگیری این روش در شبکه راه‌های برون‌شهری استان اصفهان نمونه نتایج زیر حاصل گردید: در استان اصفهان، ۶۲/۶ درصد خسارات وارد بر شبکه راه‌ها مربوط به وقوع مخاطرات طبیعی و ۳۷/۴ درصد آن مربوط به وقوع مخاطرات انسانی (تصادفات جاده‌ای) می‌باشد. به لحاظ خسارات ناشی از وقوع مخاطرات، شهرستان‌های کاشان، شهرضا و شاهین‌شهر و میمه به ترتیب پر مخاطره‌ترین شهرستان‌های استان اصفهان می‌باشند. در شبکه راه‌های استان اصفهان، مخاطره زمین‌لغزش ۱۰/۶ برابر بحرانی‌تر از مخاطره زلزله و ۳۹/۳ برابر بحرانی‌تر از مخاطره سیل می‌باشد و سایر مخاطرات طبیعی دارای پتانسیل بحران‌سازی اندکی می‌باشند. در صورت وقوع مخاطره سیل و تخریب پل رودخانه شور در محور مبارکه-بروجن کلیه دسترسی‌های اصلی شهرستان سمیرم قطع و موجب وضعیت بحرانی در این شهرستان می‌گردد. همانگونه که مشاهده می‌گردد، این روش از یک طرف به دلیل قابلیت جمع‌بندی کلیه مخاطرات طبیعی و انسانی در شبکه راه‌ها و از طرف دیگر به دلیل قابلیت اصلاح شاخص منفعت در هر نقطه نسبت به کل نقاط شبکه، دارای جواب‌های منطقی برای تصمیم‌گیری‌های کلان مدیریتی، تخصیص بودجه شهرستانی و حتی برنامه‌ریزی جزئی در نهادهای ذیربط می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اولویت‌بندی، شناسایی، شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای، مخاطره، بحران

۱- مقدمه

بر اساس تعاریف مستند شده در مراجع حمل‌ونقلی دنیا، بحران حادثه‌ای ناگهانی همراه با آسیب‌های فزاینده مالی، جانی و روحی - روانی است که در شبکه حمل‌ونقلی و یا در مراکز جمعیتی منتهی به آن رخ داده و به علت نقص عملکرد شبکه در حفظ پایداری خطوط ارتباطی گسترده می‌شود و از این‌رو نیازمند اقدامات اضطراری برای پیشگیری، مقابله، بازسازی و بازیابی آن می‌باشد (شریعت، ۱۳۸۵).

آسیب‌هایی غیرمستقیم بر کاربران این شبکه‌ها و حتی کل جامعه می‌گردد.

این آسیب‌ها شامل افزایش تاخیر و زمان سفر، افزایش مصرف سوخت و آلودگی ناشی از انسداد مسیر، تغییرالگوی سفر و کاهش سطح خدمت‌دهی محورهای جایگزین، ایجاد رانندگی‌های شتاب‌زده و افزایش احتمال وقوع تصادفات ترافیکی، کاهش قابلیت اطمینان تردد در مسیرهای پرخطر و... می‌باشد.

در ایران، تنوع و گستردگی آسیب‌ها که خود از یک‌طرف ناشی از موقعیت جغرافیایی کشور و از طرف دیگر ناشی از فرسودگی زیرساخت‌های حمل‌ونقلی می‌باشد، موجب افزایش روزافزون آسیب‌ها و هزینه‌های ناشی از وقوع مخاطرات در شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای و خسارات جبران‌ناپذیر بر اقتصاد کشور گردیده است. جدول (۲) نشان‌دهنده آسیب‌های سالانه ناشی از وقوع برخی از مخاطرات طبیعی و جدول (۳) نشان‌دهنده آسیب‌های سالانه ناشی از وقوع تصادفات جاده‌ای - به‌عنوان مهم‌ترین مخاطره انسانی - در شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای کشور ایران می‌باشند.

این جداول نشان‌دهنده تکرار پذیری مخاطرات کشور و آسیب‌های متعدد ناشی از وقوع آن‌ها می‌باشد، از این‌رو در این پژوهش سعی بر آن شده است که با در نظر گرفتن ضعف پایگاه‌های آماری و اطلاعاتی کشور از تجربیات گذشته، روشی علمی و کاربردی به منظور شناسایی وضعیت و سطح خطرپذیری شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای و اولویت‌بندی بهینه سرمایه‌گذاری‌های دولتی در جهت افزایش ایمنی شبکه ارایه گردد.

در پایان و پس از معرفی روش حل مسئله، به منظور تحلیل روش و تدقیق نتایج، شبکه راه‌های استان اصفهان مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.

به بیان دیگر، عملکرد مطلوب شبکه‌های حمل‌ونقلی به معنای فراهم کردن امکان جابه‌جایی پایدار بار و مسافر به نقاط مختلف شبکه با زمان، هزینه، ایمنی، کیفیت و قابلیت اطمینان مناسب می‌باشد (شریعت، ۱۳۸۵). از این‌رو وقوع مخاطرات در شبکه حمل‌ونقلی همراه با کاهش عرضه، افزایش یا تغییر ناگهانی تقاضا و آسیب رساندن به مدیریت و کنترل شبکه باعث ایجاد حالت اضطراری در شبکه، تشدید بحران و آسیب‌های گسترده ناشی از آن خواهد شد. به منظور تکمیل چرخه مدیریت بحران، لازم است مخاطرات ایجاد کننده و بسترهای تهدید شونده همراه با احتمال وقوع، شدت آسیب‌ها، نقاط قوت و ضعف به طور کامل شناسایی و اقدامات لازم جهت پیش‌بینی پذیر کردن رفتار اجزای تهدید شونده در مقابل مخاطرات مشخص انجام پذیرد. شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای به علت وسعت جغرافیایی و تنوع عملکردی با مجموعه گسترده‌ای از مخاطرات طبیعی و انسانی مواجه می‌باشند.

عوامل طبیعی شامل زلزله، سیل، زمین‌لغزش و جریان توده خاک، ریزش کوه، سقوط بهمن، توفان شن، کولاک برف، ریزش برف شدید، یخبندان شدید، ... و عوامل انسانی شامل تصادفات رانندگی، جنگ و پی‌آمدهای آن، انفجار خطوط گازرسانی، حوادث ناشی از اشتباهات انسانی در مراحل طرح، اجرا و یا بهره‌برداری جاده‌های کشور، خروج قطار از ریل، حوادث داخل تونل‌ها و ... می‌باشند. اجزای آسیب‌پذیر راه شامل لایه‌های زیرسازی و روسازی، ترانشه و شیروانی، ابنیه فنی، علائم ایمنی، تجهیزات فنی و تاسیسات زیربنایی می‌باشد.

جدول (۱) نشان‌دهنده آسیب‌های مستقیم وارد بر اجزای آسیب‌پذیر شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای در هنگام وقوع برخی از مخاطرات طبیعی و انسانی می‌باشد. وقوع مخاطرات علاوه بر تحمیل آسیب‌های مستقیم بر شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای، موجب وارد آمدن

نام مخاطره	آسیب مستقیم وارد بر شبکه
سیل	ریزش و یا تخریب کامل عرشه پل‌های آبرو- تخریب بدنه راه
زلزله	تضعیف و یا تخریب سازه پل- تخریب ورودی‌های تونل- تخریب ترانشه و شیروانی و بدنه راه
زمین لغزش	تخریب سطح و بدنه جاده- تخریب ابنیه فنی راه- از بین رفتن خاکریزها و ترانشه‌های مسیر
تصادف	انسداد کامل و یا موضعی در بخشی از راه- خسارات مالی به اجزای راه

جدول ۱. آسیب‌های وارد بر شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای در هنگام وقوع برخی از مخاطرات

نام مخاطره	متوسط تعداد وقوع	متوسط میزان اراضی آسیب دیده (هکتار)	متوسط تعداد پل تخریب شده	متوسط طول جاده تخریب شده (کیلومتر)	متوسط تلفات جانی	متوسط خسارت مالی و اقتصادی (سالانه (۱۰۰۰ دلار))
سیل	۲۰۷	۲۵۷۴۴۸	۹۴۷	۷۴۷۹	۹۷	۳۷۲۷۲
زلزله	۴۳	۱۱۷۳	۱۲	۱۷۸	۱۷۱۴	۱۰۵۷۲۳
رانس زمین	۳۱	۶۲۱	۱۰	۱۸۹	۱۲	موجود نمی‌باشد

جدول ۲. آسیب‌های سالانه ناشی از وقوع برخی از مخاطرات طبیعی در کشور (پژوهشکده هواشناسی، ۱۳۸۲)

نام مخاطره	متوسط تعداد وقوع	متوسط تلفات جانی	متوسط خسارت مالی و اقتصادی سالانه (۱۰۰۰ دلار)
تصادفات جاده‌ای	۸۰۰۰۰۰	۲۴۰۰۰	۶۳۳۳۰۰۰

جدول ۳. آسیب‌های سالانه ناشی از وقوع تصادفات جاده‌ای در کشور (راهبرد ملی ایمنی راه‌ها، ۱۳۸۸)

۲- ادبیات موضوع

حجم وسیعی از اطلاعات میدانی به معرفی یک شاخص ریسک برای شبکه راه‌های استان کردستان در مقابل وقوع مخاطرات طبیعی پرداخته‌اند. در این پژوهش ضمن تحلیل حساسیت نتایج براساس خسارت‌های حوادث گذشته، به تعیین مسیرهای دارای ریسک و تعیین اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری در کمان‌های شبکه با هدف افزایش قابلیت اطمینان و کاهش میزان ریسک در شبکه براساس شاخص ریسک‌پذیری پرداخته شده است. در این پژوهش ریسک‌پذیری به صورت حاصل ضرب احتمال وقوع هر حادثه، اثرات ناشی از آن و ضریب اهمیت برای هر کمان شبکه به صورت رابطه (۱) معرفی گردیده است.

پژوهشگران با استفاده از روش‌ها و مدل‌های علمی ساده و یا پیچیده سعی در بررسی آسیب‌های ناشی از وقوع مخاطرات طبیعی و انسانی در شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای و اولویت بندی سناریوهای پیشگیری براساس معیارهای مختلف داشته‌اند. برخی از آن‌ها با در نظر گرفتن معیارهای عملکرد مطلوب شبکه و نحوه تغییر این معیارها در شرایط وقوع مخاطره اقدام به ارزیابی شبکه نموده‌اند و برخی دیگر با ارائه شاخص‌های ریسک‌پذیری برای شبکه و اجزای آن به اولویت‌بندی اجزای دارای ریسک در شبکه پرداخته‌اند و گروهی نیز صرفاً به ارائه روش‌هایی در جهت برآورد خسارت مالی و اقتصادی ناشی از وقوع مخاطرات پرداخته‌اند. شریعت و کاظمی (شریعت، ۱۳۸۹)، بر اساس

جاده‌ای براساس هزینه درمان جراحات جسمانی، هزینه اوقات تلف شده در تصادفات، ساعات کاری از دست رفته مربوط به مجروحان و مصدومانی که زنده می‌مانند، ارزش اقتصادی ساعات کار بالقوه دسته‌ای از آن‌ها که موقتا معلول می‌شوند، هزینه افراد کشته شده، هزینه معلولیت‌های دائم، هزینه غم و غصه و جراحات روانی و فرهنگی و اجتماعی، هزینه تجهیزات، ماشین آلات و اشیاء از بین رفته و خسارت دیده و همچنین هزینه اداری تصادفات جاده‌ای محاسبه شده است. لازم به ذکر است که در این پژوهش هزینه‌های مستقیم براساس آمارهای گردآوری شده از نهادهای مربوط و هزینه‌های غیرمستقیم براساس روش تولید ناخالص ملی محاسبه گردیده است.

نوجیما و ساگیو [Nobuoto NOJIMA, Masata SUGITO, 2002]، به مدلسازی و بررسی عملکرد بزرگراه‌های حمل‌ونقلی پس از وقوع مخاطره زلزله پرداخته‌اند. در این پژوهش از روش شبیه سازی مونت کارلو در جهت ایجاد شرایط آسیب‌دیدگی شبکه حمل‌ونقل براساس پهنه‌بندی‌های زمین‌لغزش در نرم افزار GIS و از روش MIMA به منظور شبیه سازی رفتار ترافیکی در هر منطقه تحت آسیب استفاده نموده است. در این روش در ابتدا پهنه‌بندی شدت مخاطره زلزله براساس روش‌های تحلیلی و تاریخیچه زمانی در نرم افزار GIS تهیه می‌گردد. با روی هم اندازی این نقشه‌ها و نقشه ابنیه تحت تاثیر زلزله در شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای برای اجزای مختلف شبکه سطحی از قابلیت اطمینان در مقابل رخداد مخاطره زلزله برآورد می‌گردد. سپس با شبیه سازی حادثه به روش آزمون مونت کارلو و بهره‌گیری از مدل تخصیص سفر فزاینده، پارامترهای عملکردی شبکه شامل حجم ترافیک، طول سفر و زمان سفر برای کمان‌ها، گره‌ها، مبدا و مقصدها، مقاطع مختلف و نهایتا کل شبکه محاسبه می‌گردد. با تکرار این فرایند برای سناریوهای مختلف آسیب‌دیدگی در شبکه، وضعیت کل معابر شبکه برای آسیب‌دیدگی‌هایی که منجر به انسداد و یا افزایش شدیدی در طول و زمان سفر می‌شوند ارزیابی می‌گردد.

$$R_i = \left[\sum_{j,k} (P_{jk} \times C_{ijk} \times n_{ijk}) \right] \times I_i \quad (1)$$

که در رابطه فوق، R_i ریسک 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 ضریب اهمیت کمان i می‌باشند. این پژوهش به بررسی احتمال وقوع حوادث طبیعی زلزله، سیل، زمین‌لغزش، ریزش کوه، بهمن، کولاک و برف و یخبندان در استان کردستان پرداخته است و با محاسبه رابطه (۱) برای کلیه کمان‌های شبکه راه‌های استان کردستان، ۱۰ کمان که عدد ریسک (R) برای آن‌ها بیشتر از سایر کمان‌ها می‌باشد به عنوان کمان‌های با ریسک بالا و پنج کمان که نسبت ریسک به طول آن‌ها بیشترین می‌باشد به عنوان کمان‌های با اولویت سرمایه‌گذاری معرفی گردیده است. موسسه حمل‌ونقل تگزاس از جمله موسساتی است که در زمینه تصادفات رانندگی، آثار و آسیب‌های آن و شناسایی و اولویت‌بندی نقاط حادثه‌خیز تحقیقات فراوانی انجام داده و روش‌های کاربردی عدیده‌ای را پیشنهاد نموده است. این موسسه روشی را با نام کنترل کیفیت و نرخ به منظور شناسایی و اولویت‌بندی نقاط حادثه‌خیز براساس تاریخچه تصادفات رانندگی در شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای پیشنهاد نموده است که هم‌اکنون جز روش‌های کاربردی نهادهای مختلف در کشورهای دیگر از جمله ایران می‌باشد. روش کنترل کیفیت و نرخ برای کلیه رده‌های عملکردی شبکه معابر بدون توجه به نوع راه و حجم ترافیک و برای شبکه راه‌های درون و برون‌شهری کاربرد دارد. این روش با مقایسه نرخ تصادف در هر نقطه از شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای با نرخ بحرانی تصادفات به شناسایی و اولویت‌بندی نقاط حادثه‌خیزپرداخته و نقاطی با نسبت میانگین نرخ تصادف به نرخ بحرانی تصادف بیشتر از یک را به عنوان نقاط حادثه‌خیز معرفی می‌نماید.

آیتی (آیتی، ۱۳۸۴)، به محاسبه هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم تصادفات ترافیکی در شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای پرداخته است. در این تحقیق هزینه تصادفات

راه‌وشهرسازی تکمیل می‌گردند. به روش مشابه پهنه‌های وقوع مخاطرات طبیعی براساس شدت و یا احتمال وقوع و هم‌چنین مختصات نقاط رخداد تصادفات جاده‌ای به همراه اطلاعات توصیفی صحنه تصادف شامل نوع تصادف (خسارتی، جرحی، فوتی)، زمان رخداد، شدت خسارت وارده، علت‌های رخداد تصادف و... در نرم‌افزار اطلاعاتی GIS گردآوری می‌گردند. با توجه به این نکته که هریک از مخاطرات طبیعی و یا انسانی امکان آسیب‌رسانی مستقیم به چه بخش‌هایی از بدنه راه را خواهند داشت، از هم‌پوشانی نقشه‌های زیرساخت‌های حمل‌ونقل جاده‌ای با پهنه‌های هریک از این مخاطرات، نقاط و یا قطعاتی از شبکه راه‌ها که دارای پتانسیل وقوع مخاطره و یا تاریخچه رخداد آن می‌باشند شناسایی گردیده و امکان برآورد وسعت بسترهای تهدیدشونده و شدت مخاطره احتمالی فراهم می‌گردد. شکل (۱) به‌عنوان نمونه‌ای از خروجی مطالعات موردی بر روی استان اصفهان، نشان‌دهنده نقشه هم‌پوشانی شبکه راه‌های برون‌شهری این استان و پهنه مخاطره زمین‌لغزش و جدول (۴) نشان‌دهنده نمونه اطلاعات توصیفی خروجی نقشه‌های هم‌پوشانی شبکه‌راه‌های این استان و پهنه مخاطره زمین‌لغزش می‌باشد.

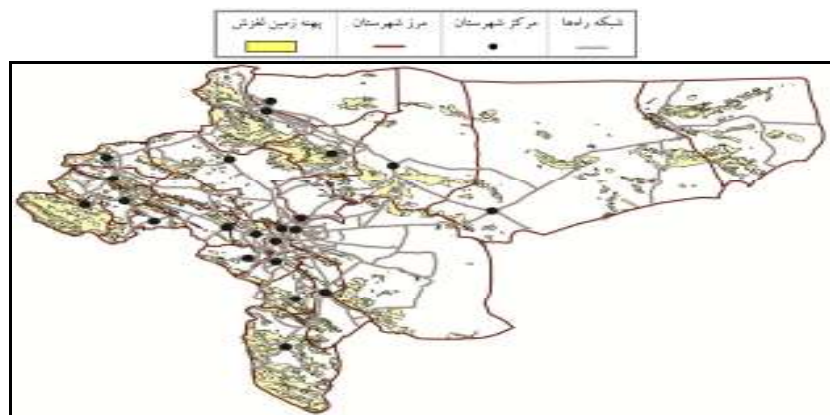
صادقی و آیتی (آیتی، ۱۳۹۰) در پژوهشی به‌ارایه روشی نوین برای در نظر گرفتن تصادفات با توجه به شرایط محیطی، ترافیکی و هندسی راه می‌پردازند. این روش برای وارد کردن مشخصات فیزیکی، راه را به واحدها با مشخصات فیزیکی همگن قطعه بندی کرده و قضاوت در مورد وضعیت ایمنی راه را به جای یک نقطه برای طولی از مسیر انجام می‌دهد. رویکرد این پژوهش براساس روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) می‌باشد که برخلاف روش‌های رگرسیونی نیازمند تابع توزیع و فرضیات آن نمی‌باشد. در این پژوهش یک مطالعه موردی بر روی مسیری به طول ۱۴۴/۴ کیلومتر انجام پذیرفته است که حاصل آن شناسایی ۱۵۴ قطعه راه با امتیازات خطر نسبی متفاوت بوده است.

۳- شناسایی نقاط مستعد مخاطره

به‌منظور شناسایی نقاط مستعد مخاطره در شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای، نقشه‌های مختصاتی بسترهای تهدیدشونده شامل بدنه راه و ابنیه‌فنی آن در نرم‌افزار GIS تهیه شده و لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز با توجه به داده‌های موجود در گزارشات سازمان‌های ذیربط مانند اداره

سناریو	احتمال وقوع	نام شهرستان	نام محور	نوع محور	تعداد خط عبور	طول آسیب دیده (متر)
۱۱	کم	مبارکه	دهاقان-بروجن	اصلی	۲	۶۶۰
۷۴	زیاد	اردستان	اردستان-نایین	بزرگراه	۴	۱۸۹

جدول ۴. نمونه اطلاعات خروجی نقشه‌های هم‌پوشانی شبکه‌راه‌های استان اصفهان و پهنه مخاطره زمین‌لغزش



شکل ۱. نقشه هم‌پوشانی شبکه راه‌های استان اصفهان و پهنه مخاطره زمین‌لغزش

۴. الگوریتم اولویت‌بندی نقاط مستعد مخاطره

این پژوهش بر مبنای حجم وسیعی از اطلاعات ارگان‌های دولتی و خصوصی فعال در زمینه‌های مرتبط با موضوع انجام پذیرفته است. این داده‌ها پیش از استفاده در مطالعات از طریق بازدیدهای میدانی، تصاویر هوایی و ماهواره‌ای و برداشت‌های نقشه‌برداری شرکت‌های طراحی و اجرا تدقیق و به صورت پایگاه داده‌ای جامع در محیط نرم‌افزار GIS گردآوری شده است. همانگونه که پیش‌تر عنوان شد، هدف اصلی این مطالعات ایجاد امکان مقایسه اثرات ناهمگون مخاطرات مختلف در شبکه راه‌ها و ارایه راهکاری علمی در جهت اولویت‌بندی بهینه نقاط مستعد مخاطره می‌باشد. از این‌رو نتایج این مطالعات امکان تخصیص بودجه متناسب با سطح آسیب‌پذیری در شهرستان‌ها و ادارات ذیربط را فراهم می‌نماید.

در این پژوهش به منظور اولویت‌بندی، ارزیابی احتمال و ارزش وقوع بحران از روش‌های آماری، اقتصادی و پهنه‌بندی‌های تاریخیچه زمانی و تحلیلی در جهت تعریف شاخص منفعت استفاده شده است. با تحلیلی مبتنی بر اقتصاد مهندسی، شاخص منفعت (R_p)، به صورت نسبت ریالی منافع حاصل از اجرای یک طرح (Benefit) به هزینه‌های اجرای آن (Cost) به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود:

$$R_p = \frac{Benefit}{Cost} = \frac{B}{C} \quad (2)$$

در مطالعات مدیریت بحران شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای، B، ارزش فعلی منافع حاصل از ایمن‌سازی یک محور

ارتباطی و C، ارزش فعلی هزینه‌های ایمن‌سازی همان محور ارتباطی می‌باشند. منافع حاصل از ایمن‌سازی یک محور ارتباطی به صورت هزینه صرفه‌جویی شده در موارد زیر تعیین می‌شود:

- هزینه افزایش زمان سفر در محورهای ارتباطی شبکه به علت انسداد و یا کاهش سطح خدمت‌رسانی راه.

- هزینه بازسازی و راه اندازی مجدد بخش آسیب دیده راه.

- هزینه افزایش سوخت، آلودگی هوا و... به علت افزایش زمان و مسافت سفر به علت انسداد یا کاهش سطح خدمت‌رسانی شبکه.

- هزینه تاخیر در امداد رسانی به کانون‌های جمعیتی بحران‌زده به علت انسداد و یا کاهش سطح خدمت‌رسانی راه.

و هزینه‌های ایمن‌سازی محور به صورت هزینه‌های مقاوم‌سازی و یا احداث مسیر موازی معرفی و محاسبه می‌گردند.

از آن‌جا که صرفاً مخاطرات طبیعی سیل، زلزله و زمین‌لغزش و مخاطره انسانی تصادفات رانندگی در استان اصفهان به لحاظ تعداد و شدت وقوع باعث ایجاد شرایط بحرانی و آسیب‌دیدگی شبکه راه‌ها می‌گردند (جدول ۵)، در این پژوهش روابط پیشنهادی برای این مخاطرات بسط داده می‌شوند و این درحالی‌ست که روابط پیشنهادی کلی بوده و می‌توانند در هر منطقه‌ای برای هر نوع مخاطره‌ای مورد استفاده قرار گیرند.

نام مخاطره	متوسط تکرار سالانه	متوسط تعداد پل تخریب‌شده	طول جاده تخریب‌شده (کیلومتر)	تلفات جانی (نفر)
سیل	۱۹	۱۱۰	۲۱/۶	۰/۷
زلزله	۰/۹	۰/۳	۱/۱	ناچیز
زمین‌لغزش	۶/۲	۰/۶	۳۸/۲	ناچیز
سایر مخاطرات طبیعی	۳/۲	۰	۰	۰
تصادفات	۵۰۴۰۰	۰	ناچیز	۱۵۰۰

جدول ۵. اثرات وقوع سالانه مخاطرات در استان اصفهان (راهبرد ملی ایمنی راه‌ها، ۱۳۸۸) و (پژوهشکده هواشناسی ایران، ۱۳۸۲)

نادرست از هریک موجب تغییرات اساسی در پارامترهای معادله فوق و تغییر نتایج اولویت‌بندی نهایی می‌گردد:

- معادله (۳) صرفاً برای بخش‌هایی از شبکه معابر برون شهری که در داخل پهنه‌بندی سیل قرار می‌گیرند تعریف شده و اثرات وقوع سیل در سایر بخش‌ها بدون تخریب جدی در نظر گرفته می‌شود.

- به طور معمول، سیل در مسیرهای خط‌القعر حوزه‌های آبریز جاری می‌شود و پل‌های آبرو نیز در محل تلاقی راه با مسیرهای خط‌القعر طراحی و احداث می‌شوند. با توجه به حوادث رخ داده گذشته مشخص می‌گردد که علت تخریب بدنه راه در بیشتر موارد عدم پاسخگویی دهانه پل‌های آبرو برای گذران دبی سیلابی به سمت پایین دست و در نتیجه تجمع سیلاب و فشار آن به بدنه راه واقع در مجاورت پل می‌باشد. مطالعات صورت گرفته بر روی سیل‌های رخ داده در استان اصفهان در طی سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۸ نشان می‌دهد که در اثر وقوع ۱۹۰ مورد سیل، ۱۰۹۸ پل و ۲۱۶ کیلومتر از بدنه جاده تخریب شده است که این مقدار معادل تخریب حدوداً ۹۸ متر از جاده در هر طرف پل می‌باشد. با توجه به اینکه طول متوسط پل‌های آبرو در استان اصفهان برابر ۳۵ متر است، سیل‌هایی که منجر به تخریب پل‌های آبرو می‌شوند، به طور متوسط به میزان ۲/۸ برابر طول پل، از هر طرف جاده را نیز تخریب می‌کنند. از این‌رو با توجه به عملکرد غیرمستقل پل‌های آبرو و بخش‌هایی از راه که تحت اثر سیل تخریب می‌شوند، روابط شاخص منفعت برای این بخش از جاده‌ها حذف شده و اثر آن در هزینه پل‌های کناری آن‌ها دیده خواهد شد. به بیان دیگر معادله (۳) صرفاً برای پل‌های آبرو محاسبه می‌گردد و هزینه تخریب بخش‌های کناری از بدنه راه در مزایای ایمن‌سازی هر پل نسبت به مخاطره سیل دیده خواهد شد.

- منفعت ریالی حاصل از ایمن‌سازی هر پل در مقابل سیل از مجموع منافع منتج از پایداری عملکردی سازه و حفظ ظرفیت تردد وسایل نقلیه در شبکه حمل و نقلی در هنگام وقوع مخاطره محاسبه می‌شود. براین اساس، منفعت ریالی

بنابراین در ادامه این پژوهش، شاخص منفعت هر مخاطره جداگانه برای اجزای تحت تأثیر آن در شبکه جاده‌ای (اینه فنی یا بدنه راه) محاسبه می‌گردد و سپس با ملحوظ نمودن اهمیت نسبی اجزای تحت تأثیر در شبکه ارتباطی راه‌ها، اولویت بندی ایمن‌سازی و پیشگیری بحران ارایه می‌گردد.

۴-۱- سیل

سیل، تجمع و حرکت حجم عظیمی از رواناب در اثر بارندگی‌های شدید بویژه در مناطق فاقد پوشش گیاهی، شکسته شدن سدها و بندها و یا عملکرد ثانویه بحران‌های دیگر مانند زلزله و زمین لغزش می‌باشد. آثار وقوع سیل در شبکه حمل و نقل جاده‌ای به صورت ریزش و تخریب کامل سازه پل‌های آبرو، آب شستگی، نشست و یا شکستگی پایه‌های پل‌های آبرو، تخریب بدنه راه، افزایش احتمال وقوع پدیده روانگرایی و در مجموع انسداد و یا اختلال در شبکه راه‌های ارتباطی می‌باشد. با توجه به مباحث عنوان شده، شاخص منفعت سیل برای جزء i ام از کمان z ام شبکه راه‌ها براساس رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$R_{p,ij}^f = \frac{B_{ij}^f}{C_{ij}^f} \times I_{a,j} \times P_{ij}^f \quad (3)$$

که در رابطه فوق:

$R_{p,ij}^f$: شاخص منفعت ایمن‌سازی جزء i ام از کمان z ام شبکه در مقابل مخاطره سیل،

B_{ij}^f : منفعت ریالی حاصل از ایمن‌سازی جزء i ام از کمان z ام شبکه در هنگام وقوع مخاطره سیل،

C_{ij}^f : هزینه ریالی صرف شده به منظور ایمن‌سازی جزء i ام از کمان z ام شبکه در هنگام وقوع سیل،

$I_{a,j}$: اهمیت استراتژیک کمان z ام شبکه منتج از اهمیت استراتژیک مبدا و مقصد آن کمان،

P_{ij}^f : احتمال وقوع مخاطره سیل در جزء i ام از کمان z ام شبکه می‌باشند.

لازم به ذکر است که درجهت تبیین شاخص مذکور توجه به موارد زیر بسیار حائز اهمیت بوده و برداشت

- با بررسی گزارش سیل‌های رخ داده در کشور مشخص می‌گردد که با جاری شدن سیل، اکثر پل‌های واقع در پهنه سیل‌زده دچار تخریب و یا آسیب جدی شده و تردد در آن‌ها قطع می‌شود. براین اساس در معادله (۴)، زمان تاخیر واقع شده در شبکه پس از وقوع مخاطره درحالتی محاسبه می‌گردد که کلیه پل‌های واقع در یک پهنه سیل خیز همزمان دچار انسداد ناشی از تخریب و یا آسیب جدی گردند.

- شاخص اهمیت استراتژیک هر کمان شبکه ($I_{a,j}$) به علت اهمیت استراتژیک هر شهر (گره) از لحاظ جمعیت، شرایط اجتماعی، میزان و نوع فعالیت اقتصادی، قدمت شهر و ... با استفاده از روش مقایسه‌ای تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برآورد می‌گردد. از این رو شهرهای درون شبکه و همجوار آن مورد ارزیابی قرار گرفته و با یکدیگر مقایسه زوجی خواهند شد. بنابراین شاخص مذکور جزئی از ماهیت شبکه بوده و فارغ از نوع مخاطره در کلیه معادلات مخاطرات برای هر کمان و ابنیه واقع در آن ثابت می‌باشد.

- در این پژوهش فرض گردیده است که پل‌های آبرو واقع در هر پهنه‌بندی خطر وقوع سیل بر اساس شدت پهنه‌بندی خود طراحی و احداث شده‌اند.

به عبارت دیگر همزمان با افزایش خطرپذیری پل‌ها در مقابل مخاطره سیل، طراحی براساس دبی سیلابی بالاتری انجام گرفته است که نتیجه آن افزایش سطح مقطع عبور دهنده آب در هر پل می‌باشد. از این رو احتمال وقوع مخاطره سیل در پل i از کمان z شبکه (P_{ij}^f) فارغ از شدت خطرپذیری پهنه آن از معادله (۵) محاسبه می‌گردد:

$$P_{ij}^f = \frac{1}{T_{ij}^f} \quad (5)$$

که در عبارت فوق، T_{ij}^f ، دوره بازگشت سیل طراحی برای پل آبروی i از کمان z شبکه می‌باشد که برای پل‌های با دهانه ۱۰ تا ۱۵ متر برابر ۵۰ سال و برای پل‌های با دهانه بزرگ‌تر از ۱۵ متر برابر ۱۰۰ سال در نظر گرفته می‌شود.

ناشی از ایمن‌سازی پل i از کمان z در مقابل سیل (B_{ij}^f) به صورت مجموع هزینه صرفه‌جویی شده در تاخیر امدادی و تردد عادی در هنگام وقوع مخاطره و هزینه احداث پل و بخشی از جاده‌های کناری که در اثر وقوع مخاطره تخریب می‌شوند در طول دوره زمانی انسداد کمان شبکه در محل پل مورد مطالعه طبق رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$B_{ij}^f = B_{ij,ed}^f + B_{ij,td}^f + B_{ij,bc}^f + B_{ij,rc}^f + B_{ij,ol}^f \quad (4)$$

که در رابطه فوق :

$B_{ij,ed}^f$: هزینه ریالی صرفه‌جویی شده در تاخیر در امداد رسانی به کانون‌های جمعیتی آسیب دیده به جهت مسدود بودن پل i از کمان z به علت وقوع سیل در دوره بازگشایی کامل مسیر،

$B_{ij,td}^f$: هزینه ریالی صرفه‌جویی شده در تاخیر سفرهای روزمره به علت مسدود بودن پل i از کمان z به علت وقوع سیل در دوره بازگشایی کامل مسیر،

$B_{ij,bc}^f$: هزینه ریالی احداث مجدد پل i از کمان z تخریب شده در اثر وقوع سیل،

$B_{ij,rc}^f$: هزینه ریالی احداث مجدد بخش‌های تخریب شده جاده واقع در کناره‌های پل i از کمان z در اثر وقوع سیل،

$B_{ij,ol}^f$: هزینه ریالی صرفه‌جویی شده در سوخت مازاد مصرف شده در سفرهای روزمره به علت مسدود بودن پل i از کمان z در اثر وقوع سیل و افزایش طول مسیر در دوره بازگشایی کامل مسیر می‌باشند از بین پارامترهای فوق، $B_{ij,ed}^f$ ، صرفاً برای پل‌هایی از شبکه در نظر گرفته خواهد شد که در پهنه بندی سیل ایجادکننده مخاطره، کانون‌های جمعیتی (روستاها و شهرها) قرار گرفته باشند.

- ایمن‌سازی پل‌های آبرو در مقابل سیل به معنای بهبود شرایط زیرساخت‌ها (افزایش سطح مقطع و یا ایجاد سیل‌شکن و آشغالگیر در بالادست) می‌باشد. این هزینه براساس درصدی از هزینه ساخت پل برآورد و در محاسبات اعمال می‌گردد.

۴-۲- زلزله

محاسبه می‌شود:

$$B_{ij}^e = B_{ij,ed}^e + B_{ij,td}^e + B_{ij,bc}^e + B_{ij,ol}^e \quad (۷)$$

که پارامترهای رابطه فوق همانند پارامترهای معادله (۴) برای مخاطره زلزله نیز تعریف می‌گردند.

- ایمن‌سازی پل‌ها در مقابل مخاطره زلزله به معنای تقویت سازه پل به وسیله روش‌های رایج به منظور افزایش قابلیت پایداری آن در هنگام وقوع زلزله می‌باشد. این هزینه براساس روش‌های موجود نسبت به هزینه ساخت پل برآورد و در محاسبات وارد می‌شود.

- بررسی گزارشات زلزله‌های رخ داده در کشور نشان می‌دهد که در اکثر زمین‌لرزه‌ها، سازه پل‌های واقع در ناحیه زلزله‌زده دچار تخریب کامل نمی‌گردند بلکه به علت شدت آسیب‌های وارده به تشخیص کارشناسان تا زمان بازسازی غیرقابل تردد بوده و عملاً مسدود می‌گردند. از این رو به منظور محاسبه زمان تاخیر شبکه، پل مورد مطالعه مسدود و شبکه در این شرایط تحلیل ترافیکی می‌گردد.

- در این پژوهش فرض گردیده است که پل‌های واقع در هر پهنه‌بندی خطر وقوع زلزله بر اساس شدت پهنه‌بندی خود طراحی و احداث شده‌اند. به عبارت دیگر همزمان با افزایش خطرپذیری پل‌ها در مقابل مخاطره زلزله، طراحی براساس شتاب زلزله بالاتر انجام گرفته است که نتیجه آن افزایش سطح مقطع اعضا (فولاد یا بتن) در سازه هر پل می‌باشد. از این رو احتمال وقوع مخاطره زلزله در پل A_m از کمان A_m شبکه (P_{ij}^e) فارغ از شدت خطرپذیری پهنه آن از رابطه (۸) محاسبه می‌گردد:

$$P_{ij}^e = \frac{1}{T_{ij}^e} \quad (۸)$$

که در عبارت مذکور، T_{ij}^e ، دوره بازگشت زلزله طراحی برای پل A_m از کمان A_m شبکه می‌باشد که براساس آیین نامه طرح لرزه‌ای سازه‌ها برابر ۵۰ سال در نظر گرفته می‌شود.

۴-۳- زمین لغزش

حرکت حجم عظیمی از توده‌های سنگی و خاکی

زلزله آزاد شدن ناگهانی انرژی داخلی زمین است که همراه با حرکت پوسته آن منجر به تکان‌های شدید بر روی سازه‌های ساخته شده بر روی این بستر می‌شود. در شبکه‌های حمل و نقل جاده‌ای زلزله منجر به آسیب دیدگی و یا تخریب ابنیه فنی، سنگ ریزش و زمین لغزش‌های گسترده، ایجاد ترک و نشست در روسازی و شانه راه‌ها و همچنین تخریب تاسیسات جانبی و زیربنایی راه‌ها می‌شود. بنابراین شاخص منفعت زلزله برای جزء A_m از کمان A_m شبکه راه‌ها براساس رابطه (۶) به دست می‌آید:

$$R_{p,ij}^e = \frac{B_{ij}^e}{C_{ij}^e} \times I_{a,j} \times P_{ij}^e \quad (۶)$$

که پارامترهای رابطه فوق همانند پارامترهای معادله (۳) برای مخاطره زلزله نیز تعریف می‌گردند.

لازم به ذکر است که در جهت تبیین شاخص منفعت زلزله توجه به موارد زیر بسیار حائز اهمیت بوده و برداشت نادرست از هریک موجب تغییرات اساسی در پارامترهای معادله فوق و تغییر نتایج اولویت‌بندی نهایی می‌گردد:

- رابطه (۶) برای کلیه ابنیه فنی و تمام بخش‌های بدنه راه‌ها واقع در شبکه حمل و نقل جاده‌ای صادق می‌باشد که در این پژوهش به علت محدودیت اطلاعات دیوارهای حائل و بدنه راه و همچنین غیربحرانی بودن تونل‌های استان اصفهان از لحاظ لرزه‌ای، صرفاً به بررسی پل‌ها (آبرو، روگذر و زیرگذر) پرداخته می‌شود.

- منفعت ریالی حاصل از ایمن‌سازی و افزایش قابلیت اطمینان در پل‌ها ناشی از پایداری عملکردی سازه پل و حفظ تردد وسایل نقلیه در هنگام وقوع مخاطره زلزله می‌باشد که به صورت هزینه صرفه‌جویی شده در شرایط پس از وقوع مخاطره محاسبه می‌گردد. براین اساس، منفعت ریالی ناشی از ایمن‌سازی پل A_m از کمان A_m در مقابل زلزله (B_{ij}^e) به صورت مجموع هزینه صرفه‌جویی شده در تاخیر امدادی و تردد عادی در هنگام وقوع مخاطره زلزله و هزینه احداث پل در طول دوره زمانی انسداد کمان شبکه در محل پل مورد مطالعه طبق رابطه (۷)

تحت اثر جاذبه زمین و یا شرایط زمین‌شناسی و آب و هوایی را زمین لغزش می‌نامند. آسیب‌های مستقیم ناشی از زمین لغزش بر شبکه حمل و نقل شامل تخریب بدنه راه و ابنیه فنی موجود در محدوده زمین لغزش و آسیب‌های غیرمستقیم آن شامل تاخیرهای ایجاد شده در شبکه ناشی از انسداد مسیر می‌باشد. شاخص منفعت زمین لغزش برای جزء i از کمان z ام شبکه راه‌ها براساس رابطه (۹) به دست می‌آید:

$$R_{p,ij}^l = \frac{B_{ij}^l}{C_{ij}^l} \times I_{a,j} \times P_{ij}^l \quad (9)$$

که پارامترهای رابطه فوق همانند پارامترهای معادله (۳) برای مخاطره زمین لغزش نیز تعریف می‌گردند. لازم بذکر است که در جهت تبیین شاخص منفعت زمین لغزش توجه به موارد زیر ضروری می‌باشد:

- معادله (۹) برای بدنه راه‌ها و تمام پل‌های واقع در پهنه‌های زمین لغزش محاسبه می‌گردد.

- منفعت ریالی حاصل از ایمن‌سازی و افزایش قابلیت اطمینان در راه‌ها ناشی از پایداری تردد وسایل نقلیه در هنگام وقوع مخاطره زمین لغزش می‌باشد که به صورت هزینه صرفه‌جویی شده در شرایط پس از وقوع مخاطره محاسبه می‌گردد. براین اساس، منفعت ریالی ناشی از ایمن‌سازی قطعه i ام از کمان z ام در مقابل زمین لغزش (B_{ij}^l) به صورت مجموع هزینه صرفه‌جویی شده در تاخیر امدادی و تردد عادی در هنگام وقوع مخاطره زمین لغزش و هزینه احداث مجدد آن قطعه از راه در طول دوره زمانی انسداد کمان شبکه طبق رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود:

$$B_{ij}^l = B_{ij,ed}^l + B_{ij,td}^l + B_{ij,rc}^l + B_{ij,ol}^l \quad (10)$$

که پارامترهای رابطه (۱۰) همانند پارامترهای معادله (۴) برای مخاطره زمین لغزش نیز تعریف می‌گردند.

- با توجه به عوامل اصلی ایجاد زمین لغزش (زلزله، بارندگی، دستکاری‌های انسانی و...)، اثر تاخیرهای امدادی صرفاً در پهنه‌هایی از زمین لغزش در نظر گرفته می‌شود که در پهنه‌بندی سیل و یا زلزله با هر احتمال وقوع قرار

گرفته‌اند.

- با توجه به ماهیت روش تعیین پهنه‌های وقوع زمین لغزش به وسیله شاخص‌های زمین‌شناسی و هیدرولوژی براساس بازدها و آزمایشات میدانی، احتمال وقوع زمین لغزش در نواحی جغرافیایی مختلف با توجه به رخ دادهای گذشته محاسبه می‌گردد. در این پژوهش احتمال وقوع زمین لغزش براساس مطالعات صورت گرفته در منطقه سمیرم استان اصفهان و به علت نقصان اطلاعات کل استان برابر با $2/72$ ، $7/8$ و $14/4$ درصد برای پهنه‌های با احتمال وقوع کم، متوسط و زیاد در نظر گرفته می‌شود (عنایتی، ۱۳۸۶).

۴-۴- تصادفات جاده‌ای

مانند روابط مخاطرات طبیعی، شاخص منفعت تصادفات رانندگی برای مقطع i ام از کمان z ام شبکه راه‌ها براساس رابطه (۱۱) به دست می‌آید:

$$R_{p,ij}^A = \frac{B_{ij}^A}{C_{ij}^A} \times I_{a,j} \quad (11)$$

که در رابطه (۱۱):

$R_{p,ij}^A$: شاخص منفعت ایمن‌سازی قطعه i ام از کمان z ام شبکه در مقابل مخاطره تصادفات رانندگی،

B_{ij}^A : منفعت ریالی حاصل از ایمن‌سازی قطعه i ام از کمان z ام شبکه در مقابل مخاطره تصادفات رانندگی،

C_{ij}^A : هزینه ایمن‌سازی قطعه i ام از کمان z ام شبکه در مقابل مخاطره تصادفات رانندگی براساس برآورد کارشناسان اداره راه،

$I_{a,j}$: اهمیت استراتژیک کمان z ام شبکه منتج از اهمیت استراتژیک مبدا و مقصد آن کمان می‌باشند.

لازم بذکر است که در جهت تبیین شاخص منفعت برای مخاطره انسانی تصادفات رانندگی توجه به موارد زیر ضروری می‌باشد:

- به دلیل تحلیل نتایج تصادفات رانندگی براساس حوادث رخ داده (برخلاف روش پیش‌بینی در مخاطرات طبیعی)، منفعت ریالی حاصل از ایمن‌سازی نقاط حادثه‌خیز

علت تصادفات	فقط نقص در شبکه حمل و نقل جاده‌ای	فقط وسیله نقلیه و راننده	ترکیبی از نقص در شبکه حمل و نقل جاده‌ای و سایر عوامل
I_r	۱/۰۰	۰	براساس گزارش کارشناسان در صحنه

جدول ۶. جدول برآورد ضریب خطر سازی راه (I_r)

- فارغ از علت وقوع هر تصادف جاده‌ای، سطح تجهیزات ایمنی وسیله نقلیه سانحه دیده و میزان استفاده سرنشینان از تجهیزات ایمنی داخلی وسیله نقلیه مانند کمربند ایمنی از پارامترهای مهم در تغییر هزینه تصادفات رانندگی می‌باشد. به بیان دیگر هزینه مساوی تصادف در دو نقطه حادثه خیز متفاوت یکی با وسیله نقلیه مجهز به امکانات ایمنی و سطح بالای استفاده سرنشینان از تجهیزات ایمنی داخلی وسیله نقلیه و دیگری با وسیله نقلیه غیراستاندارد و سطح پایین استفاده سرنشینان از تجهیزات ایمنی داخلی وسیله نقلیه، نشان دهنده بحرانی بودن نقطه حادثه خیز اول نسبت به نقطه حادثه خیز دوم علی‌رغم هزینه تصادف یکسان می‌باشد. از این رو ضریب تجهیز سرنشینان سانحه دیده در هریک از تصادفات قطعه اُم از کمان ز اُم شبکه به صورت رابطه (۱۳) محاسبه می‌گردد:

$$I_{e,ij} = \frac{S_{ij}}{S_o} \times U_{ij} \quad (13)$$

که در رابطه فوق:

S_{ij} / S_o : نسبت قضاوتی ایمنی خودروهای سانحه دیده در تصادف قطعه اُم از کمان ز اُم شبکه به ایمنی خودروی استاندارد،

و U_{ij} : متوسط درصد استفاده سرنشینان حادثه دیده از وسایل ایمنی خودرو می‌باشند.

روش ارایه شده در قسمت‌های قبلی، به علت نیازمندی به گستره وسیعی از برداشت‌های اطلاعات تصادفات در محاسبه میزان هزینه ریالی خسارت وارد شده در اثر رخداد هر تصادف که به عنوان منفعت حاصل از ایمن سازی در رابطه (۱۱) اعمال می‌گردد و با توجه به

به صورت هزینه صرفه‌جویی شده در رخداد مجدد تصادفات رانندگی به صورت رابطه (۱۲) برآورد می‌گردد:

$$B_{ij}^A = \sum_1^m C_{p,ij} \times I_{r,ij} \times I_{e,ij} \quad (12)$$

که در رابطه فوق:

B_{ij}^A : منفعت ریالی حاصل از ایمن سازی قطعه اُم از کمان ز اُم شبکه در مقابل مخاطره تصادفات رانندگی،

m : تعداد کل تصادفات در قطعه اُم از کمان ز اُم شبکه در طول دوره مطالعه،

$C_{p,ij}$: هزینه تصادفات رانندگی رخ داده در طول دوره مطالعه در قطعه اُم از کمان ز اُم شبکه،

$I_{r,ij}$: ضریب خطر سازی راه در هریک از تصادفات قطعه اُم از کمان ز اُم شبکه،

$I_{e,ij}$: ضریب تجهیز سرنشینان در هریک از تصادفات قطعه اُم از کمان ز اُم شبکه می‌باشند.

- هزینه تصادفات رانندگی رخ داده در طول دوره مطالعه براساس آمار و فرم‌های پر شده توسط پلیس راه، اورژانس و پزشکی قانونی با استفاده از روش ارایه شده توسط آیتی محاسبه و در معادلات شاخص منفعت وارد می‌گردد.

- براساس گزارشات منتشر شده از تصادفات جاده‌ای، سه عامل راه، راننده و وسیله نقلیه به عنوان عوامل اصلی ایجاد یک تصادف جاده‌ای شناخته می‌شوند.

در این پژوهش به علت اولویت بندی نقاط حادثه خیز از لحاظ ایمنی راه باید بخش‌هایی از تصادفات رانندگی و هزینه‌های آن‌ها که صرفاً به خاطر اشتباهات انسانی و یا نقص وسیله نقلیه به وجود آمده‌اند از اطلاعات حذف شوند تا نتایج این اولویت بندی و سناریوهای ایمن سازی راه به حالت بهینه نزدیک‌تر شوند.

ضریب خطر سازی راه در هریک از تصادفات قطعه اُم از کمان ز اُم شبکه ($I_{r,ij}$) براساس گزارش کارشناسان پلیس راه و طراحان مسیر به بررسی سهم راه در ایجاد زمینه هر تصادف می‌پردازد و بسته به علت تصادف از جدول (۶) به دست می‌آید.

۲۱۱۶۰۰ نفر مجروح این حوادث برابر $۷۷۸۲۴۱/۷۳$ میلیون ریال برآورد گردیده است. بنابراین هزینه متوسط درمان هر نفر مجروح در تصادفات جاده‌ای در سال محاسباتی (برحسب میلیون ریال) از رابطه (۱۶) محاسبه می‌گردد:

$$C_f = 3/68 \times 83 \quad (16)$$

هم‌چنین بر مبنای مطالعات صورت گرفته توسط آیتی (آیتی، ۱۳۸۴)، عناصر اصلی هزینه‌های تصادفات راه‌های برون شهری ایران شامل هزینه‌های درمان مجروحان و معلولیت‌های موقت، اوقات تلف شده و تاخیرها، افراد کشته شده و معلولیت‌های دائم، صدمه به ماشین‌آلات و تجهیزات و هزینه‌های اداری (بیمه، پلیس و دادگاه) می‌باشد. براساس همین مطالعات سهم روابط (۱۴)، (۱۵) و (۱۶) از هزینه‌کل تصادفات جاده‌ای برابر $۸۹/۶$ درصد می‌باشد. بنابراین به منظور اعمال سایر هزینه‌های تصادفات جاده‌ای مجموع هزینه‌های این روابط به میزان $۱۱/۶۱$ درصد افزایش داده می‌شوند.

۵- نتایج تحلیل مطالعه موردی

در روال تحلیل مطالعه موردی این پژوهش، شبکه‌راه‌های برون شهری استان اصفهان و پهنه‌های مخاطرات تهیه شده توسط سازمان مدیریت بحران استانداری اصفهان، در محیط نرم افزار GIS مدل گردیده و مطابق با توضیحات بند ۳، نقاط و قطعات دارای پتانسیل مخاطره تحت عنوان سناریوهای مخاطره شناسایی گردیدند. سپس با مدل‌سازی شبکه راه‌ها در محیط نرم‌افزار حمل‌ونقلی Trans CAD و اعمال بارگذاری ترافیکی محورهای استان، زمان تاخیر، افزایش طول سفر و سایر پارامترهای حمل‌ونقلی مورد نیاز در هر سناریو وقوع بحران محاسبه گردیدند. به منظور تکمیل معادلات بند ۴، علاوه بر تحلیل ترافیکی مذکور، از اطلاعات جداول (۷) و (۸) نیز در محاسبه هزینه‌های ریالی مورد نیاز و شاخص اهمیت کمان استفاده شده است. در محاسبه شاخص اهمیت کمان با استناد به پرسشنامه‌های تکمیل شده توسط متخصصین در اداره راه و شهرسازی

نقصان اطلاعات در دسترس از تصادفات جاده‌ای گذشته استان اصفهان، قابل پیاده‌سازی برای شبکه راه‌های استان اصفهان نبوده و از این رو این هزینه به صورت ارایه شده در ادامه مطلب برآورد می‌گردد.

براساس مطالعات انجام شده بر روی تصادفات رانندگی کشور در سال ۱۳۸۳ (پژوهشکده حمل‌ونقل تهران، ۱۳۸۸)، متوسط خسارت وارد بر وسایل نقلیه در تصادفات جاده‌ای کشور برابر $۱۸/۷$ درصد قیمت خودروی سانحه‌دیده برآورد گردیده است. از این رو هزینه خسارت وارد بر وسایل نقلیه سانحه دیده به صورت رابطه (۱۴) محاسبه می‌گردد:

$$C_c = 0/187 \quad (14)$$

براساس مطالعات انجام گرفته توسط پژوهشکده حمل‌ونقل تهران در سال ۱۳۸۳، هزینه متوسط یک نفر کشته در تصادفات جاده‌ای شامل آثار بالقوه از دست رفته وجودی خود شخص، آثار عظیم غم و غصه و جراحات روانی در اطرافیان و بستگان و آشنایان و نیز آثار اقتصادی ناشی از تبعات فرهنگی و اجتماعی در خانواده، محیط و نسل امروز و نسل‌های آتی، برابر $۱۸۱۰/۶۷$ میلیون ریال می‌باشد (پژوهشکده حمل‌ونقل تهران، ۱۳۸۸). بنابراین هزینه متوسط هر نفر فوتی در تصادفات جاده‌ای در سال محاسباتی (برحسب میلیون ریال) از رابطه (۱۵) محاسبه می‌گردد:

$$C_f = 1810/67 \times 83 \quad (15)$$

که در رابطه فوق نسبت ارزش پول در سال محاسباتی به ارزش پول در سال ۱۳۸۳ براساس حاصلضرب مقادیر سالانه نرخ تورم اعلام شده توسط بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران محاسبه می‌گردد.

براساس مطالعات انجام شده بر روی تصادفات رانندگی کشور در سال ۱۳۸۳ (پژوهشکده حمل‌ونقل تهران، ۱۳۸۸)، هزینه کل درمان مجروحان تصادفات ترافیکی ایران شامل هزینه‌های پیش بیمارستانی، هزینه‌های درمان و بستری شدن، هزینه‌های درمانی ملی، هزینه‌های پس از بیمارستان و هزینه‌های ستادی و املاک برای

اصفهان، سازمان حمل و نقل و پایانه ها و دانشگاه صنعتی اصفهان به بررسی اهمیت نسبی کمان‌های شبکه براساس اهمیت اقتصادی، جمعیتی و استراتژیک مبدا و مقصد آن‌ها پرداخته شده است و جدول (۹) نشان‌دهنده وزن شاخص‌های تعیین کننده اهمیت کمان‌ها براساس نظر سنجی انجام شده می‌باشد.

شماره مرجع	مقدار	واحد	عنوان اطلاعات
[کرمی، ۱۳۹۰]	۲/۷	نفر	متوسط تعداد سرنشین وسایل نقلیه سواری
[کرمی، ۱۳۹۰]	۱۸۲۱۰/۵	ریال / ساعت	ارزش ریالی زمان تلف شده در سفر
[کرمی، ۱۳۹۰]	۱۲۱۷۵۴	ریال/ساعت	هزینه سوخت مصرفی مازاد هروسپله ناشی از تاخیر
[طرح‌افزینان، ۱۳۹۰]	۴۵۰۰۰۰۰	ریال/ مترمربع	هزینه آواربرداری و بازسازی پل
[طرح‌افزینان، ۱۳۹۰]	۳	روز/مترطول	زمان آواربرداری و بازسازی پل
[طرح‌افزینان، ۱۳۹۰]	۴۰۰۰۰۰۰	ریال / مترطول	هزینه آواربرداری و بازسازی راه دوخطه
[طرح‌افزینان، ۱۳۹۰]	۶۶۵۰۰۰۰	ریال / مترطول	هزینه آواربرداری و بازسازی راه چهارخطه
[طرح‌افزینان، ۱۳۹۰]	۹۳۰۰۰۰۰	ریال / مترطول	هزینه آواربرداری و بازسازی راه شش خطه
[طرح‌افزینان، ۱۳۹۰]	۰/۰۵	روز/متر	زمان آواربرداری و بازسازی راه دوخطه
[طرح‌افزینان، ۱۳۹۰]	۰/۰۷	روز/متر	زمان آواربرداری و بازسازی راه چهارخطه
[طرح‌افزینان، ۱۳۹۰]	۰/۰۹	روز/متر	زمان آواربرداری و بازسازی راه شش خطه
[Hajime ITO,2009]	۰/۱۷	-	نسبت هزینه مقاوم‌سازی پل به احداث مجدد
[Gareth Heam,2007]	۰/۰۹	-	نسبت هزینه مقاوم‌سازی راه درمقابل زمین‌لغزش به احداث مجدد آن

جدول ۷. اطلاعات موردنیاز در تحلیل مطالعه موردی برحسب سال محاسباتی ۱۳۹۰

حالت	مبدا/مقصد کمان	مقصد/مبدا کمان	شاخص اهمیت کمان
۱	اصفهان	تهران	۳/۹۳
۲	اصفهان	شیراز	۲/۲۵
۳	اصفهان	اراک	۱/۳۶
۴	اصفهان	یزد	۱/۲۲
۵	اصفهان	خرم آباد	۱/۱۷
۶	اصفهان	سمنان	۱/۰۹
۷	اصفهان	شهرکرد	۱/۰۶
۸	اصفهان	یاسوج	۱/۰۰
۹	مرکز شهرستان	شهرستان‌های سایر استان‌ها	۱/۰۰
۱۰	اصفهان	مرکز شهرستان‌های استان	۱/۰۰
۱۱	سایر شهرستان‌ها	سایر شهرستان‌ها	۰/۵

جدول ۸. نتایج شاخص اهمیت کمان (I_a) براساس نتایج روش AHP

شاخص	اهمیت اقتصادی	اهمیت اجتماعی	اهمیت استراتژیک
وزن شاخص	۰/۳۵۶	۰/۲۲۰	۰/۴۲۴

جدول ۹. وزن شاخص‌های تعیین کننده اهمیت کمان‌های شبکه

مخاطره تهدید کننده قطعات می‌باشد. این نوع خروجی قابل استفاده در نهادهای ذریبط (مانند اداره راه و شهرسازی) به منظور مصرف بودجه تخصیصی درجهت کسب بیشترین بازده می‌باشد. در جدول (۱۱) به عنوان نمونه، سه مقطع بحرانی از خروجی مدل برای کل مخاطرات در شبکه راه‌های استان اصفهان نشان داده شده است.

۳-۵- امکان شناسایی و مقایسه سطح آسیب‌رسانی مخاطرات

نسبت خسارات وارد بر شبکه راه‌ها در هنگام وقوع مخاطرات، پارامتری است که به بررسی اهمیت رخداد هر نوع مخاطره در سطح این شبکه‌ها می‌پردازد. با در اختیار داشتن این اطلاعات می‌توان مخاطرات را به نسبت اهمیت خود طبقه‌بندی نمود و در تصمیم‌گیری‌های کلان منطقه‌ای از آن‌ها استفاده نمود. جدول (۱۲) نشان‌دهنده سهم هر یک از مخاطرات در ایجاد آسیب‌های وارد شده بر شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای استان اصفهان می‌باشد.

با اجرای مدل نرم‌افزاری و بازنویسی روابط بند ۴ در مورد شبکه راه‌های برون‌شهری استان اصفهان، خروجی‌های متنوعی به شرح زیر تهیه می‌شود:

۱-۵- اولویت‌بندی قطعات به تفکیک هر مخاطره

اولین و ساده‌ترین نوع خروجی این مطالعات، ارایه اولویت‌های نقاط مخاطره‌آمیز به تفکیک نوع مخاطره براساس معادلات بند ۴ می‌باشد. در این حالت به ازای هر نوع مخاطره، قطعاتی از شبکه که دارای شاخص منفعت بزرگتری می‌باشند، دارای اولویت بیشتری برای ایمن‌سازی و مصرف بودجه خواهند بود. در جدول (۱۰) به عنوان نمونه، سه مقطع بحرانی از خروجی مدل برای مخاطره سیل در شبکه راه‌های استان اصفهان نشان داده شده است.

۲-۵- اولویت‌بندی قطعات در کل مخاطرات

نوع دیگری از خروجی این مطالعات طبقه‌بندی قطعات راه براساس شاخص منفعت بدون توجه به نوع

اولویت	نام شهرستان	نام محور	نام پل	شاخص منفعت
۱	مبارکه	مبارکه- بروجن	رودخانه شور	۱/۷۶۵۴
۲	اردستان	اردستان - ناپین	پل ۵- زفره	۰/۱۶۷۴
۳	فریدن	داران-الیگودرز	نوغان قدیم	۰/۱۰۹۲

جدول ۱۰. نمونه خروجی مدل برای مخاطره سیل در شبکه راه‌های استان اصفهان

اولویت	نوع مخاطره	نام شهرستان	نام محور	شاخص منفعت
۱	زمین لغزش	کاشان	اصفهان-کاشان	۳۱۵/۶
۲	زمین لغزش	شهرضا	شهرضا-سمیرم	۱۲۰/۱
۳	زلزله	سمیرم	سمیرم-شهرضا	۱۶/۳

جدول ۱۱. نمونه خروجی مدل برای نقاط بحرانی تر در شبکه راه‌های استان اصفهان

نام مخاطره	میزان خسارت سالانه (میلیون ریال)	سهم خسارت سالانه به شبکه‌راه‌ها (درصد)
سیل	۵۶۰	۰/۰۴
زلزله	۱۶۰۹۶	۱/۳۲
زمین لغزش	۷۴۲۳۷۶	۶۱/۲۴
تصادفات	۴۵۵۱۷۶	۳۷/۴

جدول ۱۲. نمونه خروجی درمقایسه سطح آسیب‌رسانی مخاطرات

۵-۴- اولویت‌بندی شهرستان‌ها در مخاطرات

اولویت‌بندی شهرستان‌ها در مخاطرات از دیگر خروجی‌های این پژوهش می‌باشد که ابزاری مهم در هدایت تصمیم‌گیری‌های کلان استانی برای توزیع بودجه‌های مدیریت بحران می‌باشد. جدول (۱۳) نشان‌دهنده سه اولویت اصلی شهرستان‌های استان اصفهان در مقابل مخاطرات طبیعی، انسانی و مجموع مخاطرات می‌باشد. هم‌چنین در این پژوهش امکان اولویت‌بندی قطعات مستعد مخاطره در هر شهرستان نیز وجود دارد.

نام مخاطره	اولویت یک	اولویت دو	اولویت سه
طبیعی	کاشان	شهرضا	نطنز
انسانی	خورویبیانک	اصفهان	شاهین‌شهر ومیمه
مجموع مخاطرات	کاشان	شهرضا	شاهین‌شهر ومیمه

جدول ۱۳. نمونه خروجی درمقایسه سطح آسیب‌رسانی مخاطرات

۶- نتیجه‌گیری

شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای به علت گستردگی، امکان استفاده شخصی و سهولت دسترسی سهم و نقش مهمی در جابه‌جایی بار و مسافر دارا می‌باشند. پراکندگی زیرساخت‌های حمل‌ونقل جاده‌ای در شرایط مختلف زمین‌شناسی و آب و هوایی از یک سو و رشد تکنولوژی سرعت در وسایل نقلیه و کم احتیاطی ناشی از اطمینان ناآگاهانه رانندگان به وسیله نقلیه، جاده و مهارت شخصی موجب بروز حداکثری مخاطرات طبیعی و انسانی و تحمیل خسارت‌های سنگین و گاهی جبران‌ناپذیر به شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای و اقتصاد ملی می‌گردد. در این میان روش‌های متفاوتی در جهت شناسایی و اولویت‌بندی این نقاط حادثه‌خیز ارایه شده است، ولی در هیچ‌کدام از پژوهش‌های پیشین اثر مخاطرات طبیعی و انسانی هم‌زمان مورد بررسی قرار نگرفته و نسبتی از میزان آسیب‌رسانی آن‌ها به تفکیک برآورد نگردیده است.

در این پژوهش با درنظر گرفتن کلیه مخاطرات تهدیدکننده شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای به ارایه روشی علمی جهت شناسایی و اولویت‌بندی قطعات آسیب‌پذیر

راه پرداخته شده است. در این روش با معرفی شاخص منفعت در هر قطعه راه، به عنوان عدد اهمیت ایمن‌سازی آن قطعه، قطعات مختلف شبکه راه‌ها در مقابل آسیب‌های مستقیم و غیرمستقیم وقوع بحران‌های طبیعی و انسانی مورد بررسی قرار می‌گیرند و قطعات دارای شاخص منفعت بیشتر به عنوان اولویت‌های اصلی ایمن‌سازی معرفی می‌گردند.

با به‌کارگیری روش این پژوهش در سطح شبکه راه‌های برون‌شهری استان اصفهان، علاوه‌بر شناسایی و تعیین اولویت ایمن‌سازی قطعات حادثه‌خیز به تفکیک و هم‌چنین در مجموع مخاطرات (جداول (۱۰) و (۱۱))، وزن آسیب‌رسانی هریک از مخاطرات به شبکه راه‌ها و هم‌چنین اولویت‌بندی شهرستان‌های استان در زمینه وقوع بحران‌های جاده‌ای (جداول (۱۲) و (۱۳)) مشخص گردیده است.

۷- مراجع

- آیتی، الف. و صادقی، ع.الف. و پیرایش نقاب، م.ع. (۱۳۹۰) "شناسایی و اولویت‌بندی قطعات حادثه‌خیز راه با رویکرد قطعه‌بندی مسیر و تحلیل پوششی داده‌ها"، مجله مهندسی حمل‌ونقل، سال سوم، شماره اول.

- آیتی، الف. (۱۳۸۴) "هزینه تصادفات ترافیکی ایران"، چاپ اول، دانشگاه فردوسی مشهد.

- اداره کل راه و شهرسازی استان اصفهان، (۱۳۸۹) "گزارش شناسنامه پل‌های بزرگتر از ۱۰ متر در راه‌های تحت حوزه استحفاظی اداره راه و ترابری استان اصفهان در سال ۸۹"، وزارت راه و شهرسازی، اداره کل راه و شهرسازی استان اصفهان.

- اداره کل راه و شهرسازی استان اصفهان، (۱۳۸۸) "مقاطع پرحادثه در راه‌های تحت حوزه استحفاظی اداره راه و شهرسازی استان اصفهان"، وزارت راه و شهرسازی، اداره کل راه و شهرسازی استان اصفهان.

- مهندسی عمران.
- پژوهشکده حمل و نقل تهران، (۱۳۸۶)، " روش های ثبت تصادفات و شناسایی نقاط پرتصادف"، چاپ اول، ۱۳۸۶، وزارت راه و شهرسازی، پژوهشکده حمل و نقل تهران.
- پژوهشکده حمل و نقل تهران، (۱۳۸۸)، " هزینه تصادفات (تنوری و کاربرد)"، وزارت راه و شهرسازی، پژوهشکده حمل و نقل تهران.
- پژوهشکده هواشناسی (۱۳۸۲)، "گزارش تعیین پتانسیل و نوع بلایای جوی و اقلیمی کشور"، جلد سوم، وزارت راه و شهرسازی، سازمان هواشناسی کشور.
- پلیس راه استان اصفهان، (۱۳۹۰)، " گزارش تصادفات محورهای برون شهری و درون شهری استان اصفهان"، نیروی انتظامی جمهوری اسلامی ایران، پلیس راه استان اصفهان.
- شریعت، الف. (۱۳۸۵) " امکان سنجی بکارگیری مدیریت بحران در شبکه حمل و نقل جاده ای کشور"، وزارت راه و شهرسازی، پژوهشکده حمل و نقل، تهران.
- شریعت، الف. و کاظمی، ع. الف. (۱۳۸۹) " بکارگیری شاخص ریسک براساس معیار دسترسی برای افزایش قابلیت اطمینان شبکه جاده ای استان کردستان"، پژوهشنامه حمل و نقل، پژوهشکده حمل و نقل تهران.
- عنایتی مقدم، ع. (۱۳۸۶) " ارزیابی عوامل ایجاد زمین لغزش های جاده ای در منطقه پادانای سمیرم و ارایه راهکارهای مناسب جهت تثبیت آنها"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، دانشکده زمین شناسی.
- کرمی، ع. (۱۳۹۰) " ارایه روش تعیین قیمت بلیط قطار- مطالعه موردی قطار بین شهری قزوین - هشتگرد"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده
- EM-DAT, "The OFDA/CRED (2005), International Disaster Database", University Catholique de Louvain Brussels, Belgium.
- Nobuoto NOJIMA, Masata SUGITO, (2002), "Simulation And Evaluation Of Post-Earthquake Functional Performance Of Transportation Networks", 12WCEE.
- NCHRP , "Bridge Life-cycle Cost (2003), Analysis Guidance Manual", Report483.
- Hajime ITO, Takayuki OBARA, Tetsuya MISHIMA, (2009), A Study On Estimation For Life Cycle Cost Of RC Bridge Piers.
- Gareth Heam, Tim Hunt, Julian Aubert, (2007), "Landslide impacts on the road network of Lao PDR and the feasibility of implementing a slope management programme".
- Momeni, Amirhossein and Abtahi, Mehdi and Safavi, Hamidreza (2012), " A New Approach for Identification and Priorities of Accident Prone Points in Suburban Transportation Networks" 9th International Congress on Civil Engineering, Isfahan University of Technology (IUT), Isfahan, Iran, pp. 8-10.

The Method for Recognize and Hazard Zoning on Isfahan Road Network

A. H.Momeni, M.Sc. Grad., Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

S. M. Abtahi, Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

H. R. Safavi, Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

E- mail: a_momenimazdeh@yahoo.com

Received: June 2016-Accepted: September Oct.

ABSTRACT

Network Transportation Roads as the most widespread and easy access methods of passenger and goods Displacement are Exposure to different kind of disasters. On the one hand, Variety and Expansion of disasters due to Geographical situation of Iran and on the other hand Depreciation of Transportation Infrastructures, because the daily increase of Transportation networks Costs. So, identifying and prioritizing of disaster talented points in this network has an important role in control and decrease the Costs of disasters in suburban Transportation networks. In this research, According to the method which is based on Principles of Engineering Economics, will be paid to Evaluation of disaster costs in Isfahan suburban roads, identification and prioritize of disaster talented points. For example, using this method in Isfahan urban networks create these results: In Isfahan, 62.6 % of damages in road networks is related to natural hazards and 37.4 % is related to human ones (accidents). Kashan, Shahreza and Shahinshahr & Meimeh are the most risky counties in Isfahan. In Isfahan urban transportation network, Land slide is 10.6 more risky than earthquake and it is 39.3 more risky than flood. If flood in Shoor river damage to Shoor Bridge in Mobarakeh-Boroojen Road, all relations to Semirom County will be broken up. As it shown, this method because of its Ability to consider all natural and human-made disasters simultaneously and also because of its ability to correct the benefit Ratio in each point according to network has the satisfactory answers for Governmental decisions.

Keywords: Prioritization, Hazard Zones, Network Transportation Roads, Disaster, Crisis