Archive of SID

ارائه یک روش ارزیابی سریع خطرپذیری لرزه‌ای برای سامانه‌های حمل‌ونقل برون‌شهری

فریبرز یعقوبی وایقان، دانشجوی دکتری، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران و
کارشناس پژوهشکده حمل‌ونقل، تهران، ایران
محمود حسینی، دانشیار، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
E-mail:yaghoobi@iiees.ac.ir

چکیده

در این مقاله روشی برای ارزیابی سریع خطرپذیری لرزه‌ای[1] سامانه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای برون‌شهری معرفی، و کاربرد آن درمورد جاده های کشور ایران در محدوده‌های استانی ارائه شده‌است. بطور کلی در اکثر مطالعات انجام‌شده در زمینه ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای، تنها معیارهای خطر و آسیب‌پذیری فیزیکی زیرساخت‌های حمل‌ونقل مدنظر قرارگرفته‌اند، حال آنکه در شبکه حمل‌ونقل برون‌شهری علاوه بر معیارهای فوق، موضوعات عبور مسافر و حمل کالا نیز در مطالعات خطرپذیری بسیار مؤثر هستند. با ترکیب معیارهای خطر زلزله، آسیب‌پذیری و ترافیک عبوری می‌توان یک روش جدید دو مرحله‌ای برای ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای، و بر آن اساس یک مدل جدید برای مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای جاده‌های برون‌شهری ارائه کردد. مرحله اول روش پیشنهادی، که در این مقاله به آن پرداخته می‌شود، برای ارزیابی سریع و مرحله دوم آن، که در مقاله‌ای دیگر مورد بحث قرار خواهد گرفت، برای ارزیابی تفصیلی است. نتیجه حاصل از مرحله اول روش یک اولویت‌بندی منطقی‌تر برای بکارگیری مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای ، به ویژه بهسازی لرزه‌ای سامانه‌های جاده‌ای کشور است، که با استفاده از آن بخش‌هایی که باید مورد بررسی تفصیلی قرار گیرند تعیین می‌شوند. این‌گونه اولویت‌بندی می‌تواند به تصمیم‌سازان حمل‌ونقل ایران و کشورهای مشابه، به ویژه کشورهای درحال توسعه، در فرآیند کاهش خطرپذیری و تخصیص بودجه کمک فراوانی کند. روش پیشنهادی این ویژگی را دارد که قادر است متغیرهای مرتبط را مستقلاً یا در ترکیب با یکدیگر درنظر بگیرد و بین آنها یک ارتباط مناسب، ازلحاظ نوع، وزن، اولویت و ... برقرار کند. می‌توان ادعا کرد که در این زمینه، روش معرفی‌شده کاملاً جدید است و تاکنون مورد مشابهی در دنیا، به ویژه برای جاده‌های برون‌شهری، ارائه نشده‌است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی سریع خطرپذیری لرزه‌ای، سامانه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای برون‌شهری، اولویت‌بندی، معیارهای خطر، آسیب‌پذیری و ترافیک عبوری، ایران

۱. مقدمه

اهمیت سامانه‌های ترابری برون‌شهری به عنوان مهم‌ترین نماد و اساسی‌ترین پیش‌نیاز توسعه در هر کشور بر کسی پوشیده نیست. از سوی دیگر آسیب‌پذیری نسبتاً زیاد این سامانه‌ها تحت اثر زلزله به ویژه در کشورهای در حال توسعه، از جمله ایران، در دهه‌های اخیر بر اهل فن روشن شده است. جاده‌های بین‌شهری برای خدمت‌رسانی پس‌از بحران نیزباید قابلیت‌های خود را حفظ کنند. در زلزله دی ماه سال ۱۳۸۲ شهرهای بم و بروات، جاده ارتباطی آنها با مرکز استان آسیب چندانی ندیده‌بود، ولی به دلیل حجم بالای ترافیک برای کمک‌رسانی به منطقه و علیرغم آنکه از طرق هوایی و ریلی نیز با تمام ظرفیت کار امدادرسانی انجام می‌شد، راه موجود ظرفیت کافی نداشت. موضوع عدم کارآئی لازم جاده‌ها بلافاصله پس از زلزله، با وجود آنکه آسیب سازه‌ای قابل ملاحظه‌ای ندیده‌بودند در زلزله تیرماه سال ۱۳۸۱ آوج (چنگوره) هم دیده شده‌بود. پس از وقوع زلزله مذکور،

*تاریخ دریافت: ۸۶/۱۰/۱۰- تاریخ پذیرش: ۸۷/۹/۲۳

www.SID.ir

Archive of SID

امدادرسانی از طریق تنها جاده فرعی روستایی که پل‌ها (و در واقع آبروهای) آن توان مقاومت در برابر عبور کامیون و بعضاً تریلی را نداشتند انجام می‌شد [۱].

سنگریزش حاصل از زلزله فیروزآباد کجور که در خردادماه سال ۱۳۸۳ محور کندوان، واقع در جاده چالوس را تحت تأثیر قرارداد و باعث ریزش سنگ‌های بزرگ از کوه بر روی جاده شد، تخریب کیلومترها راه اصلی، فرعی و روستایی و همچنین هزینه‌ای بالغ بر هزاران میلیون ریال جهت بازسازی و ایمن‌سازی محور را به‌همراه داشت. محاسبه خسارات غیرمستقیم اقتصادی ناشی از بیکاری رستوران دارها، خرابی محصولات کشاورزی به دلیل حمل نکردن به‌موقع آنها در سطح کشور و ... نیز - که بسیار مشکل است- از پیامدهای تخریب و عملکرد نامطلوب جاده چالوس بود [۲]. در زلزله داهوئیه زرند نیز که در اسفندماه ۱۳۸۳ رخ داد، تنها جاده ارتباطی روستای داهوئیه و روستاهای اطراف با شهر زرند به دلیل سقوط تخته‌سنگ‌های بزرگ بسته شد [۳].

در زلزله‌های ویرانگر دیگری همچون منجیل- رودبار (۱۳٦۹)، نورثریج آمریکا (۱۹۹٤)، کوبه ژاپن (۱۹۹۵)، ازمیت ترکیه (۱۹۹۹) و چی‌چی تایوان (۱۹۹۹) نیز دیده‌شده‌است که شریان‌های حیاتی از جمله جاده‌ها (اعم از درون شهری و برون شهری) در مقابل زلزله آسیب دیده‌اند که در برخی موارد باعث ایجاد راهبندان‌های طولانی شده‌بودند [٤]. عدم امدادرسانی بموقع، قطع فعالیت‌های اقتصادی روزمره، از دست رفتن محصولات کشاورزی و صنعتی، از دست دادن بازارهای منطقه‌ای و بین‌المللی، بیماری، بیکاری، مهاجرت و ... به طور مستقیم و غیرمستقیم حاصل خرابی و یا عدم کارآیی مناسب راهها پس از وقوع زلزله است.

ملاحظه می‌شود که علیرغم اهمیت فوق‌العاده این سامانه‌ها و آسیب‌پذیری لرزه‌ای بالای آنها، موضوع خطرپذیری لرزه‌ای و مدیریت خطرپذیری[۲] در مورد این سامانه‌ها هنوز آن طور که باید و شاید مورد توجه متخصصین مهندسی زلزله قرار نگرفته است. آشکار است که اساسی‌ترین اقدام برای کاهش خطرپذیری لرزه‌ای این سامانه‌ها بهسازی و ایمن‌سازی لرزه‌ای آنها است، ولی از آنجا که کشور چه از لحاظ مالی و چه از نظر فنی (تخصصین وفنآوری مورد نیاز برای بهسازی)با محدودیت رو به روست و زلزله بعدی نیز ممکن است هر لحظه در بخشی از کشور روی دهد، ضرورت دارد که اقدام برای بهسازی و ایمن‌سازی مستحدثات براساس "اولویت‌بندی"باشد. اولویت‌بندی نیز مستلزم برآورد خطرپذیری در سطح کلان و سپس در سطح خرد است و این برآوردها خود نیازمند مدل هستند.

باتوجه به این نیاز اساسی در این مقاله سعی شده یک روش حتی‌الامکان جامع برای ارزیابی سریع خطرپذیری لرزه‌ای سامانه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای برون‌شهری ارائه شود. برای این منظور در ابتدا تعریفی از خطرپذیری و عوامل مرتبط در آن ارائه و به مهم‌ترین تحقیقاتی که در این زمینه توسط پژوهشگران انجام شده، اشاره گردیده‌است. در قسمت بعدی، متغیرهایی که در روش ارزیابی خطرپذیری بکار رفته‌اند معرفی‌شده و بر آن اساس روابط ارزیابی سریع خطرپذیری لرزه‌ای توسعه داده شده‌است. روش پیشنهادی این ویژگی را دارد که قادر است متغیرهای موجود مهمی که به آنها توجه کمتری شده‌است را مستقلاً یا در ترکیب با یکدیگر درنظر بگیرد. برقراری یک ارتباط مناسب بین متغیرها (ازلحاظ نوع، وزن، اولویت و ...) از دیگر خصایص روش پیشنهادی است. نهایتاً برای نشان دادن توانایی مدل در برآورد سریع خطرپذیری با استفاده از آن، سامانه ترابری برون‌شهری کل ایران مورد بررسی قرار گرفته و اولویت‌بندی موردنظر براساس روش پیشنهادی صورت گرفته است. این روش می‌تواند مبنای تصمیمات مدیریتی در سطح کلان قرارگرفته و برای ارزیابی تفصیلی خطرپذیری لرزه‌ای (برآورد خطرپذیری در سطح خرد) مورد استفاده قرارگیرد.

۲. تعریف مفاهیم کلیدی و بنیادی در خطرپذیری

در این بخش مهم‌ترین مفاهیم کلیدی و بنیادی در مبحث ارزیابی خطرپذیری تعریف می‌شوند. در ارائه این تعاریف سعی شده‌است حتی‌الامکان از آن دسته از منابع رسمی (و غیر رسمی) داخلی و خارجی، اعم از کتب، مقالات و گزارش‌های فنی استفاده شود که مورد اجماع متخصصان و صاحبنظران امر هستند.

۲-۱ خطر

خطر[۳]، به هر پدیده بالقوه آسیب‌رسان می‌گویند که در هر مکان و یا منطقه‌ای متأثر از فعالیت‌های طبیعی یا غیرطبیعی امکان ظهور دارد. از این رو به عنوان اولین و مهم‌ترین پدیدآورنده خطرپذیری[٤] محسوب شده و نسبت مستقیمی با آن دارد. اکثر سازمان‌ها مانند مجمع جهانی راه یا پیارک[٥] [۵] و همچنین آژانس

www.SID.ir

Archive of SID

مدیریت اضطراری فدرال ایالات متحده[۶] [٦] خطرات را به دو گروه کلی خطرات طبیعی[۷] و خطرات مصنوعی یا انسان ساخته[۸] تقسیم می‌کنند.

از خطرات طبیعی که بر جسم راه و ابنیه فنی آن تأثیر گذارند می‌توان زلزله، زمین‌لغزش، طوفان، سیل، بهمن، یخبندان و گسترش پوشش گیاهی نامطلوب را نام برد [۷ و ۸]. به‌عنوان نمونه زلزله باعث خسارت و حتی انهدام پل‌ها، لغزش، روانگرایی و گسیختگی زمین و در نتیجه آسیب به بدنه راه می‌شود. زمین‌لغزش باعث حرکت توده‌های بزرگ خاک و خرابی‌های وسیع و روان‌شدن گل و لای می‌شود. طوفان باعث طغیان رودخانه و سیل بر روی جاده می‌شود [۹]. بهمن نیز باعث قطع جریان ترافیک و خسارت به سازه‌های راه از جمله پل و دیوارهای حائل می‌گردد.

ازجمله خطرات مصنوعی می‌توان به بمباران، خرابکاری، انفجار، واژگونی کامیون‌های حامل مواد سوختی و شیمیایی خطرناک، سقوط اشیاء و یا وسایل نقلیه بر روی جاده، عبور وسایل نقلیه سنگین یا حجم ترافیک بیش از ظرفیت راه و عدم ایمنی کافی جاده‌ای اشاره کرد.

۲-۲ آسیب‌پذیری

آسیب‌پذیری، میزان یا درجه صدمات ناشی از وقوع یک خطر است و به صورت کسری از ارزش اقلام و یا تأسیسات آسیب‌دیده بیان می‌شود. آسیب‌پذیری را از جنبه‌های مختلف می‌توان تقسیم‌بندی کرد: کلان و خرد، مستقیم و غیر مستقیم، فیزیکی و اجتماعی، و ...، به طور مثال آسیب‌پذیری مستقیم راهها را که تقریباً به طور دقیق قابل محاسبه است می‌توان به دو بخش عمده سازه‌ای و غیر سازه‌ای تقسیم‌بندی کرد که هر یک از این دو بخش نیز اهمیت خاص خود را دارند. آسیب‌پذیری بدنه راه بیشتر در مواردی است که یک عامل خارجی باعث انسداد مسیر شود یا بخشی از جاده در اثر ناپایداری شیب زیر آن دچار لغزش شود. در مورد ابنیه فنی راه می‌توان پل‌ها را به عنوان آسیب‌پذیرترین جزء راه معرفی کرد چرا که در حوادثی نظیر سیل، زلزله و رانش، احتمال خرابی و شکست آنها بیشتر است. تونل‌ها در برابر بسیاری از حوادث دارای ایمنی بیشتر و آسیب‌پذیری کمتری هستند، اما از آنجا که معمولاً در مناطق صعب‌العبور احداث می‌شوند و مسیرهای جایگزینی نمی‌توان برای آنها در نظر گرفت در صورت آسیب دیدن، خسارات قابل توجهی از لحاظ انسداد مسیر بر شبکه حمل‌ونقل تحمیل می‌کنند. محاسبه خسارت ناشی از آسیب‌پذیری غیرمستقیم همچون قطع فعالیت اقتصادی، قطع شبکه برق و مخابرات، خطوط لوله، نفت و گاز ناشی از خرابی جاده و جریان ترافیک (یا تأخیر در آن)، بی‌خانمانی‌ها، بیکاری افراد و ... مشکل‌تر و با دقت کمتر و حتی در پاره‌ای موارد نا ممکن است. خسارات غیرمستقیم اغلب از خسارات مستقیم بیشتر و بعضاً غیرقابل جبران هستند و هزینه آنها در مقیاس کلان به کشور از آن تحمیل می‌شود. در تخمین خسارات، عوامل بسیاری دخالت دارند؛ خسارات مستقیم اغلب محلی و خسارات غیرمستقیم منطقه‌ای هستند. عدم قطعیت‌ها در متغیرها و فرآیندها، و اندرکنش گسترده‌ای که مانع جداسازی هر مؤلفه برای تخمین خسارت آن می‌شود در پیچیدگی محاسبات دخیل هستند و بنابراین تعجبی ندارد که کوشش‌های پیشین، در مقیاس شهری و منطقه‌ای متمرکز بوده ویا فقط برای خسارت‌های وارده به سامانه‌های حمل‌ونقل در مقیاس بزرگ انجام شده است [۱۰ و ۱۱]

در تحقیقی که توسط Mayet و همکار ایشان انجام شده، یک مدل تصمیم‌گیری برای بهینه‌سازی سیاست‌های نگهداری، ترمیم و بازسازی برای سامانه مدیریت پل تدوین شده‌است تا اثر زلزله را نیز در نظر بگیرد [۱۲]. محققین مذکور تنها تخریب کامل را به عنوان خرابی در نظر گرفته‌اند و حالت‌های ضعیف‌تر خسارت را مدنظر قرار نداده‌اند، معنی تخریب در تحقیق ایشان آن سطح خرابی است که باید پل آسیب‌دیده با یک پل جدید جایگزین شود. آنها نه تنها پل‌ها را در داخل شبکه مطالعه نکرده‌اند، بلکه به جای استفاده از تک تک اجزای پل‌ها (عرشه، کوله، پایه و ...) به عنوان المان‌های شبکه درون یک پل، کل پل را "یک المان" فرض کرده‌اند.

در تحقیقی دیگر، شینوزوکا و همکارانش خسارت وارده بر یک شبکه بزرگراهی را تحت زلزله‌های مختلف جهت برنامه‌ریزی شرایط اضطراری مورد مطالعه قراردادند [۱۰]. آنها اظهار داشته‌اند که خسارت به سامانه‌های بزرگراهی در زلزله‌های اخیر نیاز به پیش‌بینی خسارت وارده به سامانه‌های بزرگراهی موجود را به دلیل درنظر گرفتن معیارهای مؤثر بر کاهش خسارات ناشی از زلزله‌های آتی مورد تأکید قرارداده است. آنها در مقاله خود یک شبکه آزادراهی واقع در منطقه لس‌آنجلس و اورنج کانتی در

www.SID.ir

Archive of SID

کالیفرنیا را مورد بررسی قرارداده‌اند. سطح خرابی‌های درنظر گرفته‌شده در آن تحقیق کم، متوسط، زیاد و انهدام است، بنابراین شاخص خسارت پل[9] را براساس این ٤ سطح و به ترتیب مقادیر ۰/۱، ۰/۳، ۰/۷۵ و ۱/۰ تعریف کرده‌اند. شاخص خسارت رابط[10] را که جذر مجموع مربعات[11] شاخص‌های خسارت پل‌هاست به صورت رابطه (۱) معرفی کرده‌اند.

(۱)

$$LDI = \sqrt{\sum_{j=1}^{JI} (BDIJ)^2}$$

به طوری که BDIJ، شاخص خسارت پل برای پل J در پیوند I و JI مجموع کل پل‌های واقع در رابط هستند. رابطه بین شاخص خسارت رابط I و حالت خرابی رابط را به صورت زیر تعریف کردند (جدول ۱).

جدول ۱. رابطه بین شاخص خسارت رابط و حالت خرابی آن [۱۰]

حالت خسارت رابط LDS[12]	شاخص خسارت رابط LDI
بدون خسارت	$LDI < 0.5$
خسارت کم	$0.5 \le LDI < 1.0$
خسارت متوسط	$1.0 \le LDI < 1.5$
خسارت زیاد	$LDI > 1.5$

دو نکته قابل تأمل در آن تحقیق وجود دارد. اول آنکه، محاسبه شاخص خرابی رابط براساس شاخص خرابی پل‌های آن رابط انجام شده است. اگر یک پل دارای سطح خرابی انهدام باشد، ممکن است از روش جذر مجموع مربعات با ترکیب با سطح خرابی پل‌های دیگر همان رابط، نتیجه سطح خرابی متوسط برای رابط حاصل شود. بدیهی‌است وقتی یک پل در یک رابط به ویژه در شبکه‌های حمل‌ونقل برون‌شهری تخریب می‌شود، سالم بودن یا نبودن پل‌های دیگر مسیر ممکن است چندان اهمیتی نداشته باشد؛ بنابراین نباید باهم ترکیب شوند، چون مسیر به خاطر همان پل منهدم شده، بسته خواهدبود و اهداف اصلی امدادرسانی و برقراری جریان ترافیک ناممکن خواهدبود. دوم آنکه، در صورتی که در یک رابط به‌تعداد زیاد پل وجود داشته باشد و آسیب‌پذیری آنها نیز کم ارزیابی شود، نتیجه ترکیب خسارات آنها طبق روش مجذور جمع مربعات و شاخص خسارت معرفی‌شده ممکن است حالت خسارت زیاد برای رابط مورد نظر ($LDI > 1.5$) باشد که این نتیجه منطقی به نظر نمی‌رسد. از این رو انتظار می‌رود نتایج آن تحقیق، همان طور که محققین آن اعلام داشته‌اند، در برخی حالات برای مسئولین مدیریت خطرپذیری مفید نباشد.

۲-۳ خطرپذیری

برای خطرپذیری تعریف‌های گوناگونی ارائه شده است؛ خطرپذیری را می‌توان پیامد محتمل یک خطر تعریف کرد که برابر با احتمال فراگذشتن خسارات اجتماعی یا اقتصادی آن خطر از ارزش تعیین‌شده برای سرمایه‌های موجود در یک یا چند منطقه در فاصله زمانی مشخص است [۱۳و ١٤]. به بیانی دیگر، خطرپذیری به معنی "احتمال فراگذشتن تبعات اجتماعی و اقتصادی ناشی از خطر از میزان مشخص شده‌ای در زمان مشخص و در مکان و یا مکان‌های مشخص است" [١٤].

UN-ISDR در گزارش نهایی و جدید خود تعریف زیر را از خطرپذیری ارائه می‌دهد [۱۵] ، که عبارت است از:

$$R = Hazard \times Vulnerability \qquad (۲)$$

و ابراز می‌دارد که برخی از صاحبنظران، مفهوم «در معرض بودن[13]» را نیز برای توجه ویژه به جنبه‌های فیزیکی آسیب‌پذیری به رابطه اضافه می‌کنند.

در برآورد میزان تبعات ناشی از زلزله، باید کل تبعات احتمالاتی ناشی از زلزله، یعنی ترکیب حالات مختلف وقایع لرزه‌ای که ممکن است در شدت‌های مختلفی به وقوع بپیوندد و اثرات مشابهی داشته‌باشد، در نظر گرفته شوند. Andrews و Moss در کتاب خود با عنوان قابلیت اعتماد و ارزیابی خطرپذیری (Reliability and Risk Assessment) منتشر شده در سال ۲۰۰۲، خطرپذیری را احتمال وقوع یک واقعه مشخص ناخواسته یا ایجاد یک احتمال خرابی مهم می‌داند [١٦].Brabhaharan در سال ۲۰۰۰ رابطه (۳) را برای خطرپذیری ارائه می‌کند [۱۷]:

(۳) خطرپذیری = احتمال خطر × پیامدها

که در آن، پیامدها عمدتاً شامل این مواردند: هزینه تعمیر، خسارات بالقوه زندگی، خسارت دسترسی برای خودروهای امدادرسانی، قطع جریان حمل‌ونقل (برای راهها)، قطع فعالیت‌های اجتماعی و خسارات اقتصادی ناشی از قطع فعالیت‌های اقتصادی و موارد دیگری همچون ارزش‌های فرهنگی، نظامی و زیست‌محیطی که از اهمیت بالاتری برخوردارند.

www.SID.ir

Archive of SID

Ashby در سال ۲۰۰۲ در تحقیق خود در خصوص استراتژی مدیریت خطرپذیری برای یک بزرگراه در نیوزیلند رابطه (٤) را برای تخمین خطرپذیری معرفی می‌کند [۱۸].

(٤)

$$R = P(H)\times P(S:H)\times P(T:S)\times V\times E$$

که در آن R عبارتست از خطرپذیری محاسباتی (برحسب احتمال سالیانه تلفات یا خسارت مالی)، P(H) احتمال سالیانه واقعه خطرناک، P(S:H) احتمال برخورد گسترده یا اتفاق ناشی از رخداد، چنانکه عنصر در معرض خطر در داخل ناحیه متأثر از پدیده باشد، P(T:S) احتمال موقتی پیامد اتفاق، یعنی احتمال اینکه عنصر در معرض خطر در زمان وقوع خطر در داخل ناحیه برخورد باشد، V آسیب‌پذیری عنصر در معرض خطر در زمان حضور عنصر در منطقه برخورد بخاطر واقعه خطرناک، و E عنصر در معرض خطر، که می‌تواند یک موجود منفرد، یک گروه یا یک اجتماع یا داراییها باشد.

درسال ۱۹۹۷، دیویدسون در گزارشی برای مرکز مهندسی زلزله Blume در ایالات متحده آمریکا مدلی برای ارزیابی خطرپذیری زلزله درقالب محاسبه شاخصی بنام « شاخص خطرپذیری سانحه زلزله[١٤]» ارائه کرده است [۱۹]. متغیرهای اصلی تشکیل‌دهنده رابطه EDRI، خطر (H)، عوامل درمعرض خطر (E)، آسیب‌پذیری (V)، عوامل خارجی (C) و پاسخ شرایط اضطراری و برنامه‌ریزی ساماندهی و بهبود (R) می‌باشند که طبق رابطه (٥) بایکدیگر بصورت خطی ترکیب می‌شوند.

(٥)

$$EDRI = w_H H + w_E E + w_V V + w_C C + w_R R$$

در این رابطه w ضریب اهمیت هریک از متغیرهای اصلی است. هریک از متغیرها از مجموع هریک از شاخصه‌های زیرمجموعه خود (X_H) در وزن متناظر آن شاخصه (w_H) تشکیل می‌شود. به طور نمونه مقدار H از رابطه (٦) به دست می‌آید:

(٦)

$$H=W_{H1}X_{H1}+W_{H2}X_{H2}+W_{H3}X_{H3}+W_{H4}X_{H4}+ W_{H5}X_{H5}+W_{H6}X_{H6}+W_{H7}X_{H7}$$

دیویدسون با استفاده از این مدل ۱۰ شهر بزرگ دنیا را ارزیابی خطرپذیری و شاخص خطرپذیری را محاسبه کرده‌است. روش پیشنهادی وی از شش گام اساسی تشکیل می‌شود:

الف) ایجاد یک چارچوب مفهومی،

ب) تعیین شاخص‌ها،

ج) جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز اولیه و مقیاس کردن آنها،

د) استفاده از یک مدل ترکیبی و روش‌های وزن‌دهی ریاضی،

ه) تحلیل حساسیت و تجزیه و تحلیل نتایج،

و) تفسیر، نتیجه‌گیری و ارائه نتایج.

از آنجاکه نوع داده‌های مورد استفاده، مانند حرکات زمین، سرانه تولید و جمعیت، و همچنین واحد ارزیابی آنها (احتمال وقوع زلزله با دوره بازگشت مورد نظر، GDP بر پایه دلار و نفر) متفاوت بودند، دیویدسون داده‌های جمع‌آوری‌شده از شهرهای نمونه را برای استفاده در مدل خود از رابطه (۷) مقیاس کرده‌است:

(۷)

$$x'_{ij}=\frac{x_{ij}-(\bar{x}_i-2s_i)}{s_i}=\frac{x_{ij}-\bar{x}_i}{s_i}+2$$

که در آن:

x'_{ij} و x_{ij} به ترتیب مقادیر مقیاس‌شده و مقیاس‌نشده برای شاخصه i و شهر j، $\bar{x}_i$ و s_i متوسط و انحراف معیار داده‌ها هستند. دیویدسون برای اختصاص ضریب اهمیت (w) به متغیرهای پنجگانه اصلی، پرسشنامه‌ای تهیه و برای متخصصین مختلف چند کشور فرستاده و پاسخ دریافتی از آنها را پردازش و استفاده کرده‌است. وی وزن متناظر شاخصه‌ها (w_H) را نیز براساس تخصص و تجربه تعیین کرده‌است.

تحلیل حساسیت نیز بخش دیگری از مطالعه دیویدسون بوده‌است. وی برروی نوع متغیرها، روش‌های مقیاس‌کردن، وجود یا حذف هر متغیر و یکایک شاخصه‌ها و همچنین حذف برخی از شهرها این تحلیل را انجام داده‌است. نهایتاً از مقدار شاخص به دست‌آمده نتیجه‌گیری شده که مقدار خطرپذیری شهر جاکارتا با خطرپذیری شهر سانفرانسیسکو تقریباً یکسان است، اما خطرپذیری جاکارتا بیشتر ناشی از آسیب وارده به زیرساخت‌های شهری، کمبود منابع و عدم امدادرسانی به موقع و صحیح به آسیب‌دیدگان است، حال آنکه خطرپذیری سانفرانسیسکو به دلیل بالا بودن دوره تکرار وقوع زمین‌لرزه در آن شهر است.

همان طور که مشاهده می‌شود برای خطرپذیری، شاخص‌ها و تعاریف گوناگونی ارائه‌شده که ساده‌ترین و در عین حال جامع‌ترین آنها را می‌توان همان ترکیب خطر و آسیب‌پذیری

www.SID.ir

Archive of SID

دانست. متغیرهای دیگری که در ادامه معرفی می‌شوند می‌توانند در داخل آنها در نظر گرفته شوند.

۲-۱-۳ بحران و مدیریت بحران

در متون مختلف لاتین، Disaster واژه‌ای است که عموماً برای بیان بحران از آن استفاده می‌شود. جدای از این واژه کلمات دیگری چون Crisis و Emergency نیز برای بیان همان مفهوم به چشم می‌خوردند. در طرح جامع امداد و نجات کشور ایران، بحران به حوادثی اطلاق می‌شود که به طور ناگهانی و در اثر رخدادها و عملکردهای طبیعی و انسانی به وجود می‌آیند. در این تعریف، مشقت و سختی به یک مجموعه یا جامعه انسانی تحمیل شده و برطرف کردن آن نیاز به اقدامات اضطراری، فوری و فوق‌العاده دارد [۲۰].

با نگاهی دقیق‌تر به موضوع شرایط اضطراری در حمل‌ونقل می‌توان علت بروز آن را در شبکه حمل‌ونقل به سه قسمت مختلف تقسیم‌بندی کرد [۲۱].

۲-۱-۳-۱ کاهش عرضه

این وضعیت زمانی رخ می‌دهد که به علت عوامل آسیب‌رسان طبیعی یا غیرطبیعی ظرفیت عادی شبکه به صورت ناگهانی کاهش یابد. در این شرایط حتی اگر در نوع و میزان اهمیت تقاضای سفرها هم تغییر حاصل نشده باشد می‌توان انتظار یک بحران را داشت.

۲-۱-۳-۲افزایش یا تغییر ناگهانی تقاضا

افزایش یا تغییر ناگهانی شدید تقاضا برای تخلیه اضطراری و تخلیه سریع مجروحین از محل فرودگاه به بیمارستان‌های یک شهر، خود زمینه‌ساز یک بحران می‌گردد.

۲-۱-۳-۳سیستم مدیریت و کنترل شبکه جاده‌ای

راهدارخانه‌ها در ایران به عنوان محل استقرار راهداران برای حفاظت و نگهداری از راهها به عنوان پتانسیل‌های بالقوه در زمان مدیریت بحران مطرح بوده و مورد توجه قرار گرفته‌اند؛ لذا تحلیل وضعیت موجود راهدارخانه‌ها در طول راههای کشور و ارزیابی آنها نسبت به پتانسیل وقوع حوادث مختلف در نقاط مختلف کشور بسیار حائز اهمیت است.

۲-۱-٤ ارزش

ارزش یک مستحدثه لزوماً بهای آن نیست بلکه عوامل دیگری چون تاریخی، فرهنگی، سیاسی و نظامی بودن بنا نیز ارزش آن را مشخص می‌سازد. لزوم استفاده پیوسته از بنا در هنگام و کمی پس از وقوع بحران، ارزش بنا را افزایش می‌دهد. نکته شایان ذکر دیگر اینکه بدون درنظرگرفتن اثر ارزش در روابط خطرپذیری، نتیجه حاصل صرفاً احتمالاتی است؛ حال آنکه متغیر مذکور یک برآورد مالی از مقدار خطرپذیری به دست می‌دهد.

۲-۱-۵ اقتصاد پایدار

کشور ثروتمندی که مدیریت قوی نیز در زمینه استفاده از این ثروت در اختیار داشته باشد، مطمئناً به‌سادگی به یک خطرپذیری تعریف‌شده خواهد رسید.

۲-۱-٦ بیمه

اگر مقدار حق بیمه با کیفیت ساخت و ساز نسبت معکوس داشته‌باشد، مردم به احداث ابنیه مقاوم در برابر حوادث طبیعی، به‌ویژه زلزله، تشویق می‌شوند.

۲-۲ ارزیابی و مدیریت خطرپذیری

ارزیابی خطرپذیری، مقایسه‌ای است بین سطح خطرپذیری حاصل از فرآیند محاسباتی و معیارهای خطرپذیری پیش‌گفته. هزینه و سود باید برای همه سازمان‌ها و بخش‌ها مدنظر قرارگیرد، نه فقط برای سازمان‌های مسئول جاده‌ها. خسارات مهمی که بر شبکه راهها به واسطه خطرات طبیعی وارد می‌آید باید در نظر گرفته‌شود. از آن جمله می‌توان هزینه مرمت، خسارات بالقوه زندگی، خسارت به جاده‌ای که در یک کریدور قرار دارد، از دست دادن دسترسی برای سازمان‌های امدادرسان و راهداری، لطمه به شبکه راه و حجم بالای ترافیک، لطمه به جامعه و خسارات اقتصادی، قطع فعالیت‌های تجاری، خطر ایمنی ترافیک و اثرات دیگر نامحسوس اشاره کرد. ارزش هر یک از موارد فوق حتی‌الامکان به صورت مالی در نظرگرفته می‌شود. اگر خطرپذیری کم یا در حد قابل قبول است می‌تواند با اعمال کمترین مدیریت پذیرفته‌شود. اگر خطرپذیری، بالا یا غیرقابل قبول است، باید مدیریت در خطرپذیری اعمال شود.

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه فعالیت‌هایی را که درراستای کاهش و یا کنترل خطرپذیری تا سطح خطرپذیری پذیرفتنی[15] انجام می‌شود مدیریت خطرپذیری می‌نامند. ازدیدگاه دیگر، مدیریت خطرپذیری فرآیندی است که سطح تحمل یک خطر مشخص را در جامعه، شناسایی می‌کند و این اطلاعات را در جهت تصمیم‌گیری برای اقدامات مربوط به کاهش اثرات خطرپذیری و مقابله با آنها بکار می‌برد. این فرآیند با توجه به منافع و هزینه‌های کاهش خطرپذیری انجام می‌گیرد (طرح جامع امداد و نجات کشور، ۱۳۸۲). معیارهای مدیریت خطرپذیری می‌تواند برای مدیریت خطرپذیری شبکه راه تدوین شود. این امر نیاز به درنظرگرفتن سطح خدمت‌رسانی و روش‌های مدیریت خطرپذیری، بر پایه موقعیت مقاطع راه در خطرپذیری در شبکه راه دارد. سطح خطر می‌تواند متأثر از قوانین یا نیازهای درست، توقع جامعه، تقاضای بهره برداران از راه و نیاز سازمان‌های امدادرسان باشد.

موضوع ارزیابی و مدیریت خطرپذیری به طور کلاسیک از اواخر دهه۸۰ آغاز شد، ولی به نظر می‌رسد کاربرد آن در مطالعات خطر، به ویژه در زمینه سامانه‌های حمل‌ونقل و با تمرکز بیشتر بر ارزیابی خطرپذیری نسبت به مدیریت خطرپذیری از اواسط دهه ۹۰ آغاز گردید. به عنوان نمونه Basoz و Kiremidjian در سال ۱۹۹۶ یکی از اولین مطالعات را بر روی تعیین خطرپذیری در سامانه های حمل‌ونقل و بزرگراهی انجام دادند [۲۲]. آنها اظهار می‌دارند که روششان قادر است ابزاری برای فرآیند تصمیم‌گیری در موارد زیر باشد: ترمیم اجزاء حساس و بحرانی در سامانه بزرگراهی مانند پل‌ها، برای پیشگیری از خطر؛ برنامه‌ریزی برای پاسخ اضطراری پیشگیری از سانحه؛ و عملیات پاسخ اضطراری، بلافاصله پس از یک زلزله.

همچنین مطالعه‌ای دیگر بر پایه تعیین خطرپذیری پل‌ها و سامانه‌های بزرگراهی در زلزله نورثریج توسط محققین مذکور انجام شده که در آن یک روش تعیین خطرپذیری برای سامانه‌های حمل‌ونقل بزرگراهی بر پایه معیارهای آسیب‌پذیری و اهمیت تدوین شده‌است [۲۳]. آنها بر روی میزان اهمیت برنامه‌ریزی پاسخ اضطراری و کاربردهای مدیریت بحث کرده‌اند.

در مطالعه جدیدتری از محققین اخیر در سال ۱۹۹۸، روش برآورد خطرپذیری تدوین‌شده فوق‌الذکر برای سامانه‌های حمل‌ونقل بزرگراهی و برای مدیریت پاسخ در زمان بحران، اصلاح و تکمیل شده‌بود [۲٤]. در اصلاح روش آنها، چند الگوریتم در زمینه «تحلیل اتصال برای پاسخ اضطراری» (CAFER)[16] و «تحلیل خدمت‌پذیری» تدوین‌کرده و آنها را در جهت تعیین مناطق سانحه‌خیز، راه دسترسی به مناطق سانحه‌خیز، تأثیر زمان سفر و اثرات اجتماعی- اقتصادی بکار بردند. Krimidjian و همکارانش در تحقیق دیگری که برای PEER انجام داده‌اند، اشاره کرده‌اند که خطرپذیری یک سیستم حمل‌ونقلی از خسارت مستقیم وارده به مؤلفه‌های اصلی مانند پل‌ها، ارتباط بین مبدأ و مقصد(O-D)[17]مشخص و تأخیر زمانی ناشی از بسته بودن پل محاسبه می‌شود [۲۵].

Pellissier معتقد است که کشورهای لرزه‌خیز به دلیل وجود و تهدید خطر زلزله، باید به مسئله کاهش خطرپذیری لرزه‌ای توجه داشته باشند و مهندسین این کشورها باید بتوانند در تجزیه و تحلیل اطلاعات فنی نقش مؤثرتری را ایفا کنند [۲٦]. وی معتقد است در اغلب حالات، راهکارهای مختلفی برای این موضوع وجود دارد و تصمیم گیرندگان باید بهترین راهکار را انتخاب کنند.

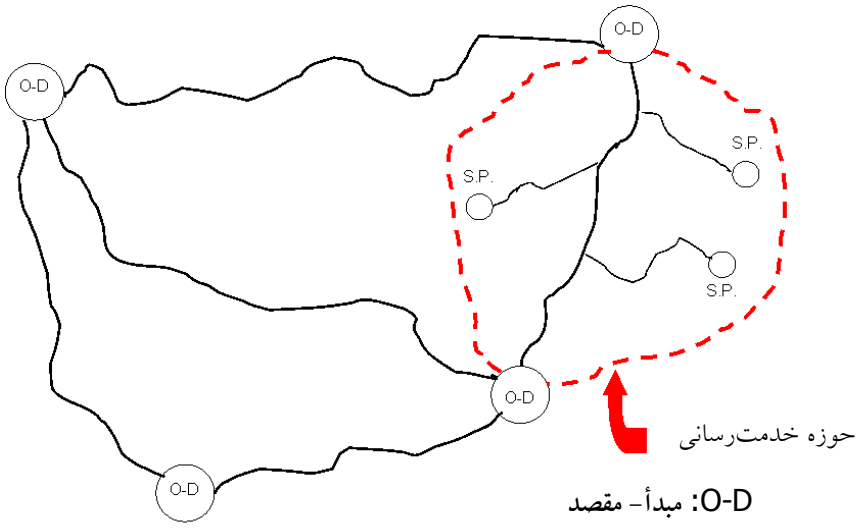
Brabhaharan اعتقاد دارد که مدیریت خطرپذیری در مقابل خطرات طبیعی باید در ۵ سطح استراتژی ملی، استراتژی منطقه‌ای، مدیریت خطرپذیری حمل‌ونقل، مدیریت خطرپذیری شبکه جاده‌ای، مدیریت خطرپذیری رابطها و تدوین پروژه‌های مرتبط درنظر گرفته‌شود [۱۲]. ارتباط میان سطوح برای دستیابی به یک شبکه راه قوی و انعطاف پذیر در طولانی مدت کمک می‌کند. سطوح تعریف‌شده به‌شرطی که اصلاحاتی منطبق با شرایط مدیریتی، فنی و اقتصادی کشور در آن صورت پذیرد برای ایران نیز قابل استفاده خواهد بود.

۳. روش ارزیابی سریع خطرپذیری لرزه‌ای

در مدیریت خطرپذیری جاده‌های بین‌شهری اولین نتیجه مطالعات و برداشت‌های آماری، اعم از سازه‌ای و غیرسازه‌ای، انجام یک ارزیابی سریع است. این ارزیابی برای هر جاده و در «حوزه خدمت‌رسانی» آن جاده انجام می‌پذیرد؛ به این معنی که یک جاده مابین یک مبدأ و مقصد مهم[18] غالباً تا چه محدوده جغرافیایی را تحت‌الشعاع خود قرار می‌دهد. نمونه شماتیک از این تعریف در شکل (۱) ارائه شده‌است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. نمایش حوزه خدمت‌رسانی راه و مؤلفه‌های آن (شاخه‌ها و نقاط خدمت‌پذیر) [۱]

به این نوع فرآیند که فارغ از مطالعات دقیق در مشخصات و ویژگیهای مؤلفه‌های تشکیل‌دهنده جاده و برپایه مطالعات لرزه‌خیزی استوار است، «**ارزیابی سریع خطرپذیری لرزه‌ای**» گفته می‌شود. به عبارتی هدف از ارزیابی سریع، «اولویت‌بندی» کلی در سطح کلان یک کشور یا یک استان بزرگ است. بنابراین روش پیشنهادی در این مقاله ابزاری مناسب دراختیار مدیران ومسئولین ذیربط در هر کشور قرار می‌دهد. در این نوع ارزیابی از متغیرهایی استفاده می‌شود که تابع زمان وقوع رخداد نباشند. برای هریک از متغیرها یک ضریب محاسبه و به مقدار بیشینه متناظر، همپایه می‌شود. علاوه بر این برای هر متغیر یک وزن متناسب نیز درنظر گرفته می‌شود. رابطه (۸) ترکیب ضرایب و وزن آنها را نشان می‌دهد.

(۸)

$$R_Q = \sum_{1}^{n} Factor \times Weight_{Factor}$$

که در آن Factor ، $Weight_{Factor}$ و n به ترتیب معرف ضریب، وزن متناظر با آن و تعداد ضرایب هستند. از روابط (۹-الف) و (۹-ب) نیز برای مقیاس‌کردن مقادیر متغیرها استفاده شده‌است.

(۹- الف)

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max obs_i}$$

(۹- ب)

$$x'_{ij} = \frac{(x_{ij} - \min obs_i)}{(\max obs_i - \min obs_i)}$$

که در آنها x'_{ij} ،x_{ij} ،$minobs_i$ و $maxobs_i$ به ترتیب مقادیر مقیاس‌شده و مقیاس‌نشده شاخصه i و شهر j و مقادیر بیشینه و کمینه شاخصه i هستند.

طول هر جاده (رابط) بین دو مرکز حوزه هم‌مرز را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد که هر بخش در محدوده یک حوزه قرار می‌گیرد. حال برای هر جاده یک اولویت اولیه طبق رابطه (۱۰) تعریف می‌شود:

(۱۰)

$$R_{Q(I)}(Link) = \sum_{k=1}^{2} R_{Q_k} \times F_k$$

که در آن $R_{Q(I)}$(Link)، اولویت اولیه رابط و F [۱۹]، ضریب وزنی طول جاده در هر حوزه و k، نشانگر انجام محاسبه برای مبدأ و مقصد است.

مهمترین متغیر (یا متغیر اصلی)، لرزه‌خیزی منطقه است که برای حوزه‌ها و بصورت میانگین وزنی از سطوح پهنه‌بندی داخل محدوده آنها طبق نقشه‌های پهنه‌بندی استاندارد شتاب مبنای طرح معادل محاسبه و از روی آن ضریب خطر[۲۰] ایجاد می‌شود. متغیرهای دیگر مهم در این اولویت‌بندی (متغیرهای فرعی) در جداول (۲) و (۳) معرفی شده‌اند. همانطور که از جداول (۲) و

www.SID.ir

Archive of SID

(۳) مشخص است، برای ارزیابی سریع، عوامل متنوع و مهمی وجود دارند که متأسفانه به آنها کمتر توجه شده‌است [۱]. شایان ذکر است که در روش ارزیابی سریع معرفی‌شده معیارهای سیاسی، نظامی، فرهنگی، تاریخی و مواردی از این قبیل درنظر گرفته نشده‌است.

جدول ۲. معیارهای فنی مهم در ارزیابی سریع جاده‌های بین‌شهری کشور

معیارهای مربوط به طول نسبی راه	• درصد طول آزادراههای هر حوزه به طول کل آزادراههای کشور • درصد طول بزرگراهها و راههای اصلی هر حوزه به طول کل بزرگراهها و راههای اصلی کشور • درصد طول کل راههای هر حوزه به طول کل راههای کشور
معیارهای مربوط به تعداد نسبی سازه‌های مهم	• درصد تعداد پل‌ها و آبروهای مهم حوزه به کل پل‌ها و آبروهای مهم کشور • درصد تعداد تونلهای حوزه به کل تونلهای کشور • درصد تعداد دیوارهای حائل حوزه به کل دیوارهای حائل کشور
معیارهای مربوط به تعداد متوسط سازه‌های مهم در هر کیلومتر	• تعداد متوسط پل‌ها و آبروهای مهم در هر کیلومتر راه حوزه • تعداد متوسط تونلها در هر کیلومتر راه حوزه • تعداد متوسط دیوارهای حائل در هر کیلومتر راه حوزه • تعداد متوسط کل ابنیه فنی مهم در هر کیلومتر راه حوزه
معیارهای مربوط به طول نسبی حوزه‌ای راه و تعداد نسبی حوزه‌ای سازه‌های مهم واقع در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله	• درصد طول راههای حوزه واقع در مناطق خطر زیاد زلزله و بسیار زیاد به طول کل راههای همان حوزه • درصد تعداد پل‌ها و آبروهای مهم حوزه واقع در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله به کل پل‌ها و آبروهای مهم همان حوزه • درصد تعداد تونلهای حوزه واقع در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله به کل تونلهای همان حوزه • درصد تعداد دیوار حائل حوزه واقع در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد به کل دیوارهای حائل همان حوزه
معیارهای مربوط به طول نسبی کشوری و تعداد نسبی کشوری سازه‌های مهم واقع در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله	• درصد طول راههای حوزه در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله به طول کل راههای کشور در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله • درصد تعداد پل‌ها و آبروهای مهم حوزه در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله به کل پل‌ها و آبروهای مهم کشور در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله • درصد تعداد تونلهای حوزه در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله به کل تونلهای کشور در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله • درصد تعداد دیوارهای حائل حوزه در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله به کل دیوارهای حائل کشور در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله
معیارهای مربوط به تعداد متوسط سازه‌های مهم واقع در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله در هر کیلومتر	• تعداد متوسط پل‌ها و آبروهای مهم حوزه در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله در هر کیلومتر از راه در همان مناطق • تعداد متوسط تونل‌های حوزه در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله در هر کیلومتر از راه در همان مناطق • تعداد متوسط دیوارهای حائل حوزه در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله در هر کیلومتر از راه در همان مناطق • تعداد متوسط ابنیه فنی مهم حوزه در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله در هر کیلومتر از راه در همان مناطق

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. معیارهای غیر فنی مهم در ارزیابی سریع جاده‌های بین‌شهری کشور

معیارهای مربوط به مسافر	• نسبت مسافر جابجا شده در حوزه به کل کشور • نسبت مسافر جابجا شده درون‌حوزه‌ای به کل مسافران حوزه • نسبت مسافر جابجا شده درون‌حوزه‌ای به جمعیت حوزه • نسبت مسافر جابجا شده برون‌حوزه‌ای به کل مسافران حوزه • نسبت مسافر جابجا شده برون‌حوزه‌ای به جمعیت حوزه
معیارهای مربوط به کالا	• نسبت کالای حمل شده در حوزه به کل کشور • نسبت کالای حمل شده درون‌حوزه‌ای به کل کالای حمل شده حوزه • نسبت وزن کالای حمل شده درون‌حوزه‌ای به جمعیت حوزه • نسبت کالای حمل شده برون‌حوزه‌ای به کل کالای حمل شده حوزه • نسبت وزن کالای حمل شده برون‌حوزه‌ای به جمعیت حوزه
معیارهای مربوط به جمعیت	• نسبت جمعیت حوزه به جمعیت کل کشور • نسبت جمعیت حوزه به مساحت حوزه (تراکم جمعیت) • نسبت جمعیت مرکز حوزه به بیشینه جمعیت مراکز حوزه‌اا
سایر معیارها	• نسبت تعداد تیرپارکها، پایانه‌های مسافری، پایانه‌های باری و پایگاههای خدمت‌رسانی دیگر حوزه به کل کشور • شرایط آب و هوایی حوزه

٤. کاربرد مدل در ارزیابی سریع خطرپذیری لرزه‌ای – مطالعه موردی ایران

در این مطالعه متغیرهای دخیل در ارزیابی سریع به چهار گروه اصلی خطر (H)، آسیب‌پذیری (V)، بهره‌برداری (S) و امدادرسانی (E) و هر گروه اصلی نیز به تعدادی زیرگروه تقسیم‌بندی شده‌اند. یکی از روش‌های مرسوم برای ارزشگذاری یا تعیین اهمیت نسبی میان گروهها (و زیرگروهها)، اخذ نظر متخصصین مربوطه در قالب پرسشنامه‌های ویژه است. در این تحقیق با تهیه یک پرسشنامه، نقطه‌نظرات بالغ بر ۱۰ نفر از متخصصین مربوطه، به‌ویژه سازه و زلزله و حمل‌ونقل، درمورد اهمیت نسبی گروهها (یا به‌عبارتی وزن متغیرها) جمع‌آوری و بر اساس آن ارزیابی سریع انجام‌شد. مجموع کلیه مقادیر وزنهای نسبت داده‌شده، «یک» خواهد بود که در جدول (٤) وزن‌های نهایی برخی از مهم‌ترین متغیرهای استفاده‌شده در چهار گروه اصلی نامبرده ارائه شده‌اند [۱].

از آنجاکه متأسفانه در ایران هنوز حوزه خدمت‌رسانی و خدمت‌پذیری جاده توسط متولی راههای برون‌شهری، وزارت راه و ترابری، مشخص نشده و نواقصی در آمار فعلی وجود دارد، امکان ارزیابی و نهایتاً اولویت‌بندی جاده‌ها تنها بر اساس مرزبندی سیاسی استان‌ها وجود دارد. بنابراین ارزیابی سریع خطرپذیری طبق رابطه (۸) برای استان‌های کشور انجام شده‌است (جداول ۵- الف و ۵- ب). از سوی دیگر ابنیه فنی دیگری مانند بهمن گیرها و گالریها و متغیرهای مهمی مانند نسبت طول ابنیه فنی به طول راه و یا درصد طول ابنیه فنی در مناطق مختلف خطر لرزه‌ای را نیز می‌توان درنظرگرفت که مجدداً به دلیل عدم وجود آمار کامل در ایران، در این مطالعه منظور نشده اند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤. وزن‌های نهایی برخی متغیرهای فنی و غیر فنی استفاده‌شده در ارزیابی سریع جاده‌های بین‌شهری کشور

متغیر	وزن نسبت داده‌شده*	متغیر	وزن نسبت داده‌شده*
خطر زلزله	۰/۲۹۷	ضریب مجتمع‌های خدماتی، رفاهی و تیر پارک‌ها به کل کشور	۰/۰۲۳
ضریب تعداد پل‌های مهم (بالای ٦ متر) هر استان به تعداد پل‌های مهم (بالای ٦ متر) کل کشور	۰/۰۱۲	ضریب تعداد دیوارهای حائل هر استان واقع در محدوده خطر لرزه‌ای خیلی زیاد به تعداد دیوارهای حائل کل کشور در همان محدوده	۰/۰۱٦
ضریب جمعیت استان به جمعیت کل کشور	۰/۰۳۲	ضریب سختی سرما (معرف شرایط سخت آب و هوایی)	۰/۰۲۳
ضریب طول راههای هر استان واقع در محدوده خطر لرزه‌ای خیلی زیاد به طول راههای کل کشور در همان محدوده	۰/۰۰۸	ضریب تعداد تونل‌های هر استان واقع در محدوده خطر لرزه‌ای خیلی زیاد به تعداد تونل‌های همان استان	۰/۰۰۷

*وزنها بر اساس پاسخ‌های دریافتی از متخصصین مربوطه (در قالب یک پرسشنامه) محاسبه شده‌اند.

جدول ۵-الف. ارزیابی سریع لرزه‌ای استان‌های ایران

نام استان‌ها (برحسب الفبا)	شاخص خطرپذیری لرزه‌ای	نام استان‌ها (برحسب الفبا)	شاخص خطرپذیری لرزه‌ای
آذربایجان شرقی	۰/۵۲	فارس	۰/۵۲
آذربایجان غربی	۰/٤۸	قزوین	۰/۵۲
اردبیل	۰/٤٦	قم	۰/٤۵
اصفهان	۰/۵۱	کردستان	۰/٤۵
ایلام	۰/٤۰	کرمان	۰/٤۷
بوشهر	۰/٤٤	کرمانشاه	۰/۵۲
تهران	۰/۷٤	کهکیلویه و بویراحمد	۰/٤۵
چهارمحال و بختیاری	۰/٤۷	گلستان	۰/٤۷
خراسان جنوبی	۰/٤٤	گیلان	۰/۵۰
خراسان رضوی	۰/۵۷	لرستان	۰/٤٦
خراسان شمالی	۰/٤۷	مازندران	۰/۵٤
خوزستان	۰/۵۲	مرکزی	۰/٤٦
زنجان	۰/٤٦	هرمزگان	۰/٤۹
سمنان	۰/٤٤	همدان	۰/٤٤
سیستان و بلوچستان	۰/٤۳	یزد	۰/٤٤

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵-ب. اولویت‌بندی خطرپذیری لرزه‌ای استان‌های ایران

نام استان‌ها	رتبه استان‌ها	نام استان‌ها	رتبه استان‌ها
تهران	۱	چهارمحال و بختیاری	۱۶
خراسان رضوی	۲	لرستان	۱۷
مازندران	۳	زنجان	۱۸
فارس	٤	مرکزی	۱۹
آذربایجان شرقی	۵	اردبیل	۲۰
خوزستان	٦	کهکیلویه و بویراحمد	۲۱
قزوین	۷	کردستان	۲۲
کرمانشاه	۸	قم	۲۳
اصفهان	۹	خراسان جنوبی	۲٤
گیلان	۱۰	یزد	۲۵
هرمزگان	۱۱	سمنان	۲٦
آذربایجان غربی	۱۲	بوشهر	۲۷
خراسان شمالی	۱۳	همدان	۲۸
گلستان	۱٤	سیستان و بلوچستان	۲۹
کرمان	۱۵	ایلام	۳۰

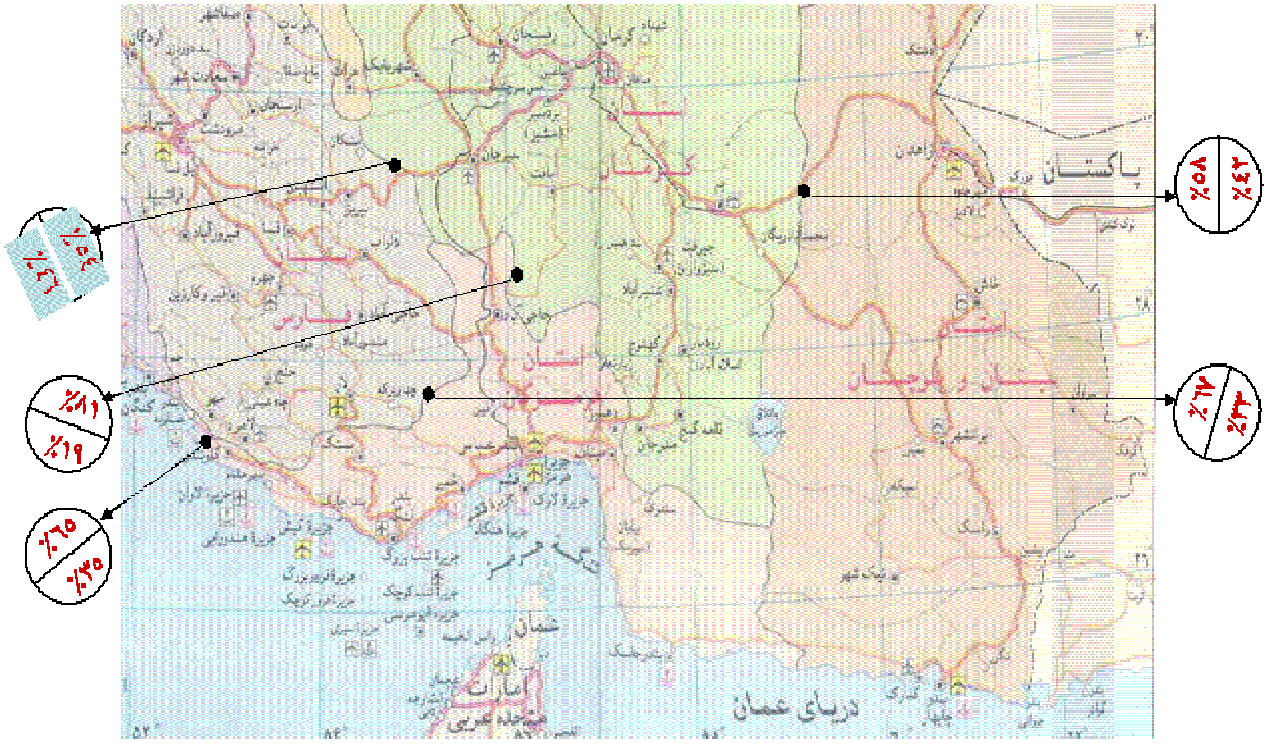
جدول ۵-ج. تقسیم‌بندی استان‌های کشور در گروههای مختلف خطرپذیری

گروه خطرپذیری بسیار بالا ۰/۷۱≤ R_Q ≤ ۱	گروه خطرپذیری بالا ۰/۵۱≤ R_Q ≤ ۰/۷	گروه خطرپذیری متوسط ۰/٤٦ ≤ R_Q ≤ ۰/۵	گروه خطرپذیری کم ۰ ≤ R_Q ≤ ۰/٤۵
تهران	خراسان رضوی	گیلان	کهکیلویه و بویراحمد
	مازندران	هرمزگان	کردستان
	فارس	آذربایجان غربی	قم
	آذربایجان شرقی	خراسان شمالی	خراسان جنوبی
	خوزستان	گلستان	یزد
	قزوین	کرمان	سمنان
	کرمانشاه	چهارمحال و بختیاری	بوشهر
	اصفهان	لرستان	همدان
		زنجان	سیستان و بلوچستان
		مرکزی	ایلام
		اردبیل	

اکنون در یک تقسیم‌بندی منطقی، خطرپذیری استان‌های کشور در چهار گروه بسیار بالا، بالا، متوسط و کم تعریف می‌شود. جدول (۵- ج) جایگاه هر استان را در تقسیم‌بندی مذکور نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. پیاده‌سازی ضرایب وزنی ارزیابی سریع خطرپذیری لرزه‌ای استان‌های فارس، هرمزگان، کرمان و سیستان و بلوچستان

در ادامه برای اولویت‌بندی مجموعه جاده‌های بین دو استان هم مرز، با فرض اینکه مراکز استان‌ها گره‌های مبدأ و مقصد هستند، باید اولویت هر استان را طبق رابطه (۹) در ضریب وزنی مناسبی، که در اینجا درصدی از طول جاده مابین دو مرکز استان که در محدوده هریک از استان‌ها واقع می‌شود درنظر گرفته شده‌است، ضرب کرد. این ضرایب برای کلیه استان‌های ایران محاسبه و برای استان‌های فارس و کرمان در جداول (٦) و (۷) آورده‌شده‌اند. در اشکال (۲) و (۳) این ضرایب بر روی بخش‌هایی از نقشه ایران نمایش داده شده‌است. به طور مثال جاده‌ای که بین شیراز (مرکز استان فارس) و کرمان (مرکز استان کرمان) واقع شده‌است مطابق رابطه (۱۰) و جداول مذکور دارای اهمیت ۰/۵۰ می‌شود.

(۱۱)

$$R_{Q(I)}(Link)= (۰/٤۹ \times ۰/٥٤) +(۰/٥۳ \times ۰/٤٦) = ۰/۲٦ +۰/۲٤ = ۰/٥۰$$

شایان ذکر است که اگر بین دو مرکز استان بیش از یک جاده مستقیم وجود داشته‌باشد، باید یک اولویت بندی داخل استانی بین رابط‌ها انجام شود؛ به این معنا که در این روش رابط بین دو استان به صورت «یک مجموعه راههای مواصلاتی» در محاسبات درنظر گرفته می‌شود.

جدول ٦. ضرایب وزنی ارزیابی سریع خطرپذیری لرزه‌ای ایران (F) برای استان فارس

استان همجوار	ضریب استان همجوار	ضریب استان فارس
اصفهان	۰/۲۹	۰/۷۱
بوشهر	۰/۳۵	۰/٦٥
کرمان	۰/٥٤	۰/٤٦
کهکیلویه و بویراحمد	۰/٤۷	۰/٥۳
هرمزگان	۰/۳۳	۰/٦۷
یزد	۰/٤۳	۰/٥۷

جدول ۷: ضرایب وزنی ارزیابی سریع خطرپذیری لرزه‌ای ایران (F) برای استان کرمان

استان همجوار	ضریب استان همجوار	ضریب استان کرمان
خراسان جنوبی	۰/٤٥	۰/٥٥
سیستان و بلوچستان	۰/٤۲	۰/٥۸
فارس	۰/٤٦	۰/٥٤
هرمزگان	۰/۱۹	۰/۸۱
یزد	۰/۳۹	۰/٦۱

www.SID.ir

Archive of SID

۵. بررسی حساسیت نتایج ارزیابی سریع به هر یک از متغیرها و وزن متناظر آنها

حساسیت‌سنجی نتایج به متغیرهای دخیل در آنها یکی از مهم‌ترین بخش‌های تدوین یک روش است. در این مطالعه حساسیت روش معرفی‌شده برای ارزیابی سریع خطرپذیری لرزه‌ای درمقابل متغیر اصلی خطر یعنی ویژگی‌های لرزه‌خیزی، روش مقیاس کردن مقادیر هر متغیر و همچنین متغیرهای اصلی دیگر سنجیده شده‌است که نمونه‌هایی از نتایج حاصله در جداول (۸) و (۹) ارائه گردیده‌است.

جدول ۸ معرفی متغیر اصلی (خطر زلزله) و اولویت‌بندی براساس گروه اصلی خطر

نام استان	سطح پوشش خطر (٪)				شتاب مبنای طرح معادل	ضریب خطر HF	اولویت	
	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم			ضریب	رتبه	استان
آذربایجان شرقی	۳۰	٦۰	۱۰	۰	۰/۳۱	۰/۹۳	۰/۳۰	۱	تهران
آذربایجان غربی	۱۰	٦۰	۳۰	۰	۰/۲۹	۰/۸۷	۰/۲۹	۲	قزوین
اردبیل	۱۵	۸۵	۰	۰	۰/۳۱	۰/۹۲	۰/۲۸	۳	گیلان
اصفهان	٤	٤۵	۳۵	۱٦	۰/۲۷	۰/۸۰	۰/۲۸	٤	آذربایجان شرقی
ایلام	۰	۰	۱۰۰	۰	۰/۲۵	۰/۷۵	۰/۲۸	۵	مازندران
بوشهر	۰	٦۰	٤۰	۰	۰/۲۸	۰/۸٤	۰/۲۸	٦	خراسان شمالی
تهران	۷۰	۳۰	۰	۰	۰/۳٤	۱/۰۰	۰/۲۷	۷	اردبیل
چهارمحال و بختیاری	۱۵	۸۵	۰	۰	۰/۳۱	۰/۹۲	۰/۲۷	۸	چهارمحال و بختیاری
خراسان جنوبی	۱۵	٤۵	۲۰	۲۰	۰/۲۸	۰/۸۳	۰/۲۷	۹	لرستان
خراسان رضوی	۱۰	۹۰	۰	۰	۰/۳۱	۰/۹۱	۰/۲۷	۱۰	خراسان رضوی
خراسان شمالی	۱۸	۸۲	۰	۰	۰/۳۱	۰/۹۲	۰/۲۷	۱۱	کرمانشاه
خوزستان	۰	٤۸	۳۰	۲۲	۰/۲٦	۰/۷۹	۰/۲۷	۱۲	کهکیلویه و بویراحمد
زنجان	۱۰	۷۵	۱۵	۰	۰/۳۰	۰/۸۹	۰/۲۷	۱۳	گلستان
سمنان	٤	٤۸	۳۵	۱۳	۰/۲۷	۰/۸۱	۰/۲۷	۱٤	هرمزگان
سیستان و بلوچستان	۰	۸۲	۹	۹	۰/۲۹	۰/۸٦	۰/۲۷	۱۵	زنجان
فارس	۰	۸۵	۱۵	۰	۰/۲۹	۰/۸۷	۰/۲٦	۱٦	فارس
قزوین	٦۰	٤۰	۰	۰	۰/۳۳	۰/۹۹	۰/۲٦	۱۷	آذربایجان غربی
قم	۰	۷۲	۲۸	۰	۰/۲۹	۰/۸۵	۰/۲٦	۱۸	سیستان و بلوچستان
کردستان	۱۸	۳٦	٤٦	۰	۰/۲۹	۰/۸۵	۰/۲٦	۱۹	قم
کرمان	۵	٦۳	۱٦	۱٦	۰/۲۸	۰/۸۳	۰/۲٦	۲۰	کردستان
کرمانشاه	۱۷	٦٦	۱۷	۰	۰/۳۰	۰/۹۰	۰/۲۵	۲۱	یزد
کهکیلویه و بویراحمد	۰	۱۰۰	۰	۰	۰/۳۰	۰/۹۰	۰/۲۵	۲۲	همدان
گلستان	۰	۱۰۰	۰	۰	۰/۳۰	۰/۹۰	۰/۲۵	۲۳	مرکزی
گیلان	۲۵	۷۵	۰	۰	۰/۳۱	۰/۹۳	۰/۲۵	۲٤	بوشهر
لرستان	۳۰	۵۵	۱۵	۰	۰/۳۱	۰/۹۲	۰/۲۵	۲۵	کرمان
مازندران	۱۹	۸۱	۰	۰	۰/۳۱	۰/۹۲	۰/۲۵	۲٦	خراسان جنوبی
مرکزی	۲	۵۹	۳۹	۰	۰/۲۸	۰/۸٤	۰/۲٤	۲۷	سمنان
هرمزگان	۰	۹۸	۲	۰	۰/۳۰	۰/۸۹	۰/۲٤	۲۸	اصفهان
همدان	۱۰	٤۵	٤۵	۰	۰/۲۸	۰/۸٤	۰/۲۳	۲۹	خوزستان
یزد	۱۰	٦۰	۲۰	۱۰	۰/۲۹	۰/۸۵	۰/۲۲	۳۰	ایلام

www.SID.ir

Archive of SID

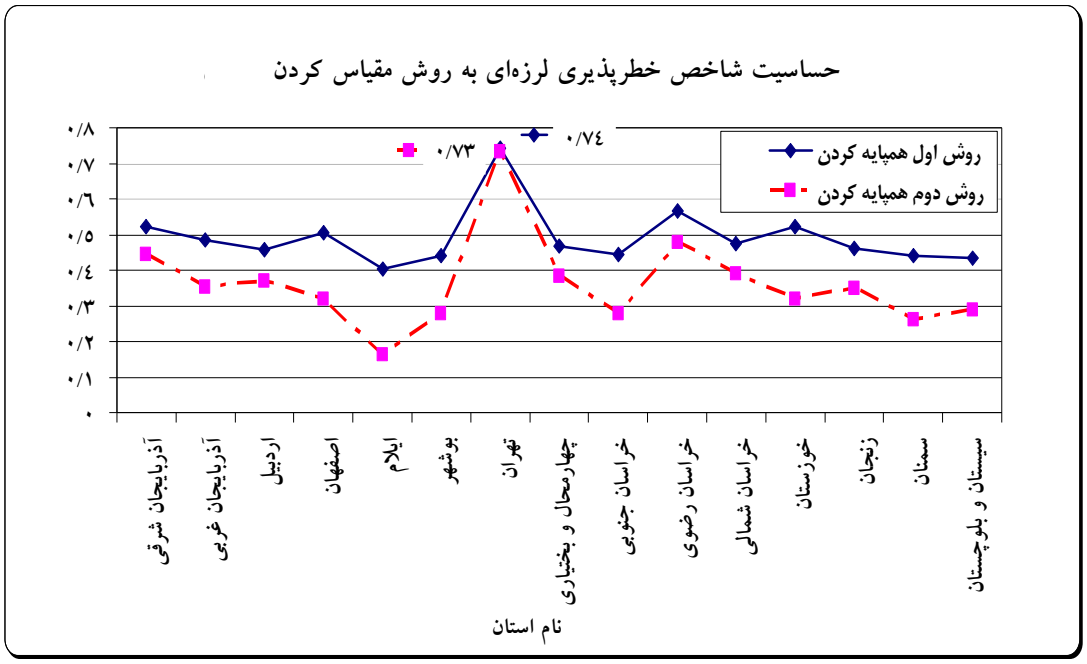
جدول ۹. مقایسه شاخص خطرپذیری لرزه‌ای استان‌های ایران برحسب دیگر گروههای اصلی

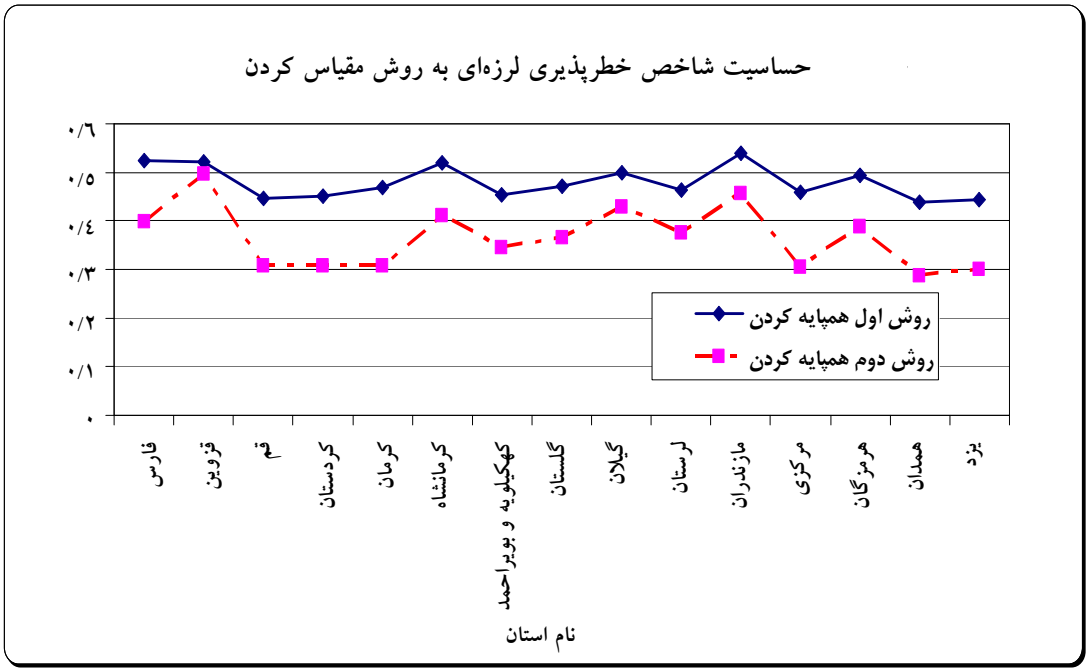
رتبه	گروه V	اولویت استان‌ها	گروه S	اولویت استان‌ها	گروه E	اولویت استان‌ها
۱	۰/۱۸	تهران	۰/۲۱	تهران	۰/۰۹	خراسان شمالی
۲	۰/۱۳	مازندران	۰/۱٤	خوزستان	۰/۰۹	کهکیلویه و بویراحمد
۳	۰/۱۳	اصفهان	۰/۱۳	اصفهان	۰/۰۸	اردبیل
٤	۰/۱۲	خراسان رضوی	۰/۱۱	خراسان رضوی	۰/۰۸	کردستان
٥	۰/۱۰	کرمان	۰/۱۱	فارس	۰/۰۸	همدان
٦	۰/۱۰	فارس	۰/۱۰	کرمانشاه	۰/۰۸	خراسان جنوبی
۷	۰/۱۰	قزوین	۰/۰۹	آذربایجان شرقی	۰/۰۸	گلستان
۸	۰/۰۹	خوزستان	۰/۰۸	آذربایجان غربی	۰/۰۸	ایلام
۹	۰/۰۹	آذربایجان شرقی	۰/۰۸	بوشهر	۰/۰۸	کرمانشاه
۱۰	۰/۰۸	گیلان	۰/۰۸	هرمزگان	۰/۰۸	قم
۱۱	۰/۰۸	هرمزگان	۰/۰۸	سمنان	۰/۰۸	چهارمحال و بختیاری
۱۲	۰/۰۷	زنجان	۰/۰۸	همدان	۰/۰۸	گیلان
۱۳	۰/۰۷	کرمانشاه	۰/۰۸	مرکزی	۰/۰۷	زنجان
۱٤	۰/۰۷	سیستان و بلوچستان	۰/۰۷	یزد	۰/۰۷	آذربایجان غربی
۱٥	۰/۰۷	قم	۰/۰۷	لرستان	۰/۰۷	لرستان
۱٦	۰/۰۷	کهکیلویه و بویراحمد	۰/۰۷	کردستان	۰/۰۷	سمنان
۱۷	۰/۰۷	خراسان جنوبی	۰/۰۷	کرمان	۰/۰۷	مرکزی
۱۸	۰/۰۷	آذربایجان غربی	۰/۰۷	چهارمحال و بختیاری	۰/۰۷	هرمزگان
۱۹	۰/۰٦	مرکزی	۰/۰۷	گیلان	۰/۰۷	یزد
۲۰	۰/۰٦	گلستان	۰/۰٦	گلستان	۰/۰۷	بوشهر
۲۱	۰/۰٥	اردبیل	۰/۰٦	قزوین	۰/۰۷	آذربایجان شرقی
۲۲	۰/۰٥	چهارمحال و بختیاری	۰/۰٦	مازندران	۰/۰۷	مازندران
۲۳	۰/۰٥	ایلام	۰/۰٥	خراسان شمالی	۰/۰۷	قزوین
۲٤	۰/۰٥	سمنان	۰/۰٦	سیستان و بلوچستان	۰/۰٦	خراسان رضوی
۲٥	۰/۰٥	خراسان شمالی	۰/۰٥	زنجان	۰/۰٦	فارس
۲٦	۰/۰٥	یزد	۰/۰٥	خراسان جنوبی	۰/۰٥	سیستان و بلوچستان
۲۷	۰/۰٤	لرستان	۰/۰٥	ایلام	۰/۰٥	خوزستان
۲۸	۰/۰٤	بوشهر	۰/۰٥	قم	۰/۰٥	تهران
۲۹	۰/۰٤	کردستان	۰/۰٤	اردبیل	۰/۰٥	کرمان
۳۰	۰/۰۲	همدان	۰/۰۳	کهکیلویه و بویراحمد	۰/۰۱	اصفهان

در نمودار (۳) نتایج حاصل از تحلیل حساسیت بر روی روش مقیاس کردن ارائه شده‌است. برای مقیاس کردن روش‌های متفاوتی وجود دارد [۱۹] که در این تحقیق از روابط (۹-الف) و (۹-ب) بهره گرفته شده‌است. همان طور که از نمودارها مشخص است، بین نتایج حاصله تفاوت قابل توجهی وجود دارد. اصولاً در مقایسه دو روش مورد استفاده هرقدر مقدار داده‌های آماری به یکدیگر نزدیک تر باشد، فاصله نتایج از هم بیشتر می‌شود. زیرا در روش دوم، حتماً مقادیر مقیاس‌شده بین صفر و یک قرار می‌گیرند درحالی که در روش اول چنین الزامی وجود ندارد. ازطرفی هرگاه مقدار یک متغیر در گروه مورد بررسی صفر باشد، نتایج دو روش با هم برابر می‌شود. حال باتوجه به موارد اشاره‌شده، در این تحقیق از روش اول مقیاس‌کردن بهره گرفته شده‌است.

www.SID.ir

Archive of SID



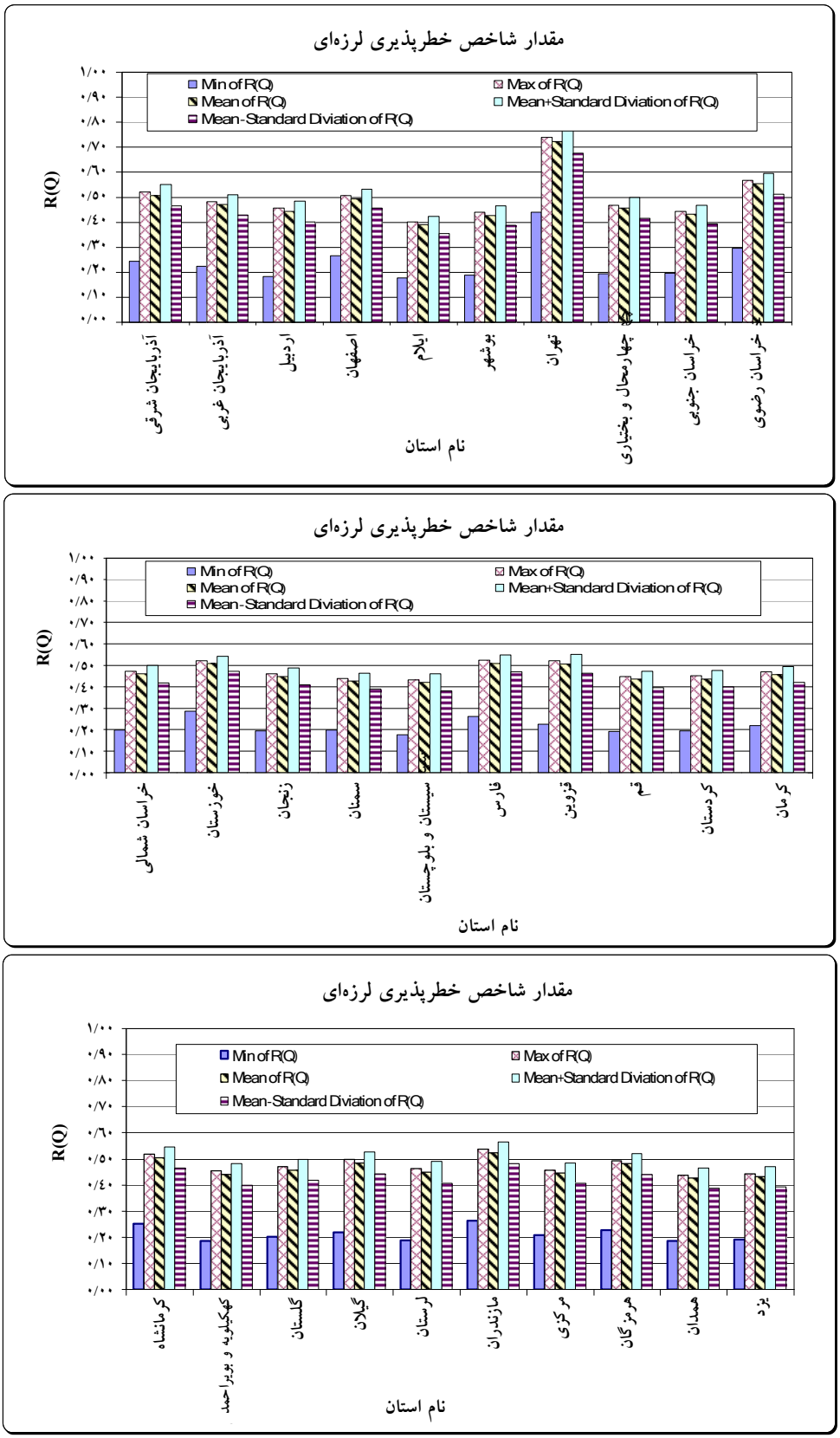


شکل ۳. حساسیت شاخص خطرپذیری لرزه‌ای استان‌ها به روش مقیاس‌کردن در ارزیابی سریع

در نمودار (٤-الف) کمیت‌های آماری شاخص خطرپذیری لرزه‌ای آورده شده‌است. فرآیند محاسبه بدین‌گونه بوده‌است که ابتدا وزن یک متغیر در گروه خود صفر منظور و سهم این متغیر بین دیگر متغیرهای گروه خود تقسیم گردید. سپس مقدار خطرپذیری لرزه‌ای، بدون آن متغیر برآورد گردید. نمودار (٤-ب) نیز نتایج تحلیل حساسیت شاخص خطرپذیری به گروه‌های بکاررفته در محاسبه آن را دربر دارد.

www.SID.ir

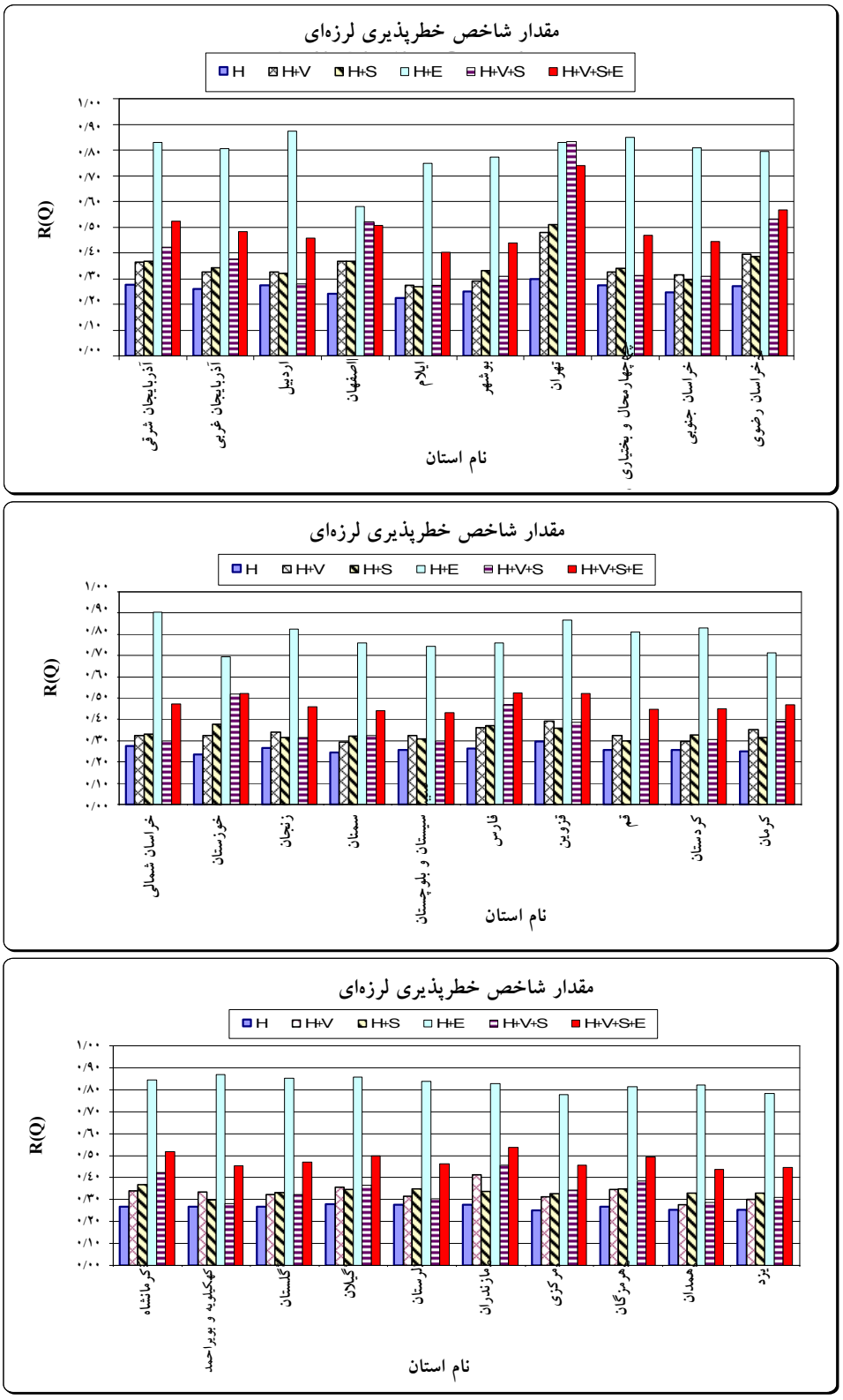
Archive of SID



شکل ٤-الف. کمیت‌های آماری شاخص خطرپذیری لرزه‌ای استان‌ها

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤–ب. حساسیت شاخص خطرپذیری به نوع متغیرهای بکاررفته در محاسبه آن

www.SID.ir

Archive of SID

٦. بحث در نتایج به دست‌آمده

از مقایسه نتایج به دست‌آمده با یکدیگر می‌توان اظهارداشت:

۱. اولویت‌بندی استان‌های ایران بر اساس ساده‌ترین و شاید مهم‌ترین معیار مهندسی زلزله شریان‌های حیاتی، یعنی خطر منطقه نشان می‌دهد که استان‌های تهران، قزوین، گیلان، آذربایجان شرقی و مازندران مطابق جدول (۸) به ترتیب در رده‌های اول تا پنجم هستند. از روش پیشنهادی، استان‌های تهران، مازندران، خراسان رضوی، کرمانشاه و آذربایجان شرقی برطبق جدول (۵–ب) دارای بیشترین اولویت هستند؛ حال آن که کرمانشاه در حالت اول رتبه ۱۱ و قزوین در حالت دوم رتبه ۸ کل استان‌ها را ازآن خود کرده‌بودند. این اولویت‌بندی به دلیل در نظر گرفتن ترکیب معیارهایی که از لحاظ خطر، اقتصادی، حمل‌ونقلی و ... مهم بوده و از تنوع زیادی نیز برخوردار بودند بایکدیگر، می‌تواند به واقعیت نزدیک تر باشد.

۲. اگر برای ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای جاده‌های برون‌شهری تنها به معیارهای لرزه‌ای مانند خطر منطقه یا به معیارهای آسیب‌پذیری بدنه راه و ابنیه فنی ویا به معیارهای ترافیکی مانند حجم آمد و شد، به طور مجزا بسنده شود، نتایج متفاوت و بعضاً فاحش حاصل خواهد شد. به طور نمونه استان فارس با معیار خطر منطقه رتبه ١٦، ضریب تعداد تونل‌های استان به طول راه استان، رتبه ۱۰ و نسبت کالای حمل‌شده برون‌استانی به جمعیت استان، رتبه ۱۳، و با درنظرگرفتن کلیه معیارها و وزن‌های متناظر در مجموع رتبه ٦ را کسب می کند. این رتبه‌ها برای استان کرمان به ترتیب برابر با ۲۵، ۹، ۱۱ و ۱۵ است. ازاین‌رو اهمیت درنظرگرفتن توأم متغیرهای مختلف لرزه‌ای، سازه‌ای و ترافیکی به خوبی دیده می‌شود.

۷. نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش تدوین یک روش برای ارزیابی سریع خطرپذیری لرزه‌ای جاده‌های برون‌شهری (برآورد خطرپذیری در سطح کلان) و پیاده‌سازی آن برای کشور ایران بوده‌است. در این مطالعه ضمن تعریف متغیرهای دخیل در خطرپذیری، سعی شده به جدیدترین و ارزشمندترین تحقیقات مرتبط به‌انجام رسیده توسط پژوهشگران جهان و ایران اشاره مختصری شده و از آنها در روش استفاده شود. به‌جرأت می‌توان گفت این روش در این وسعت و جامع‌نگری در هیچ مطالعه‌ای به‌ویژه برای راهها، مشاهده نشده‌است. دو دلیل عمده می‌توان برای این امر متصور شد؛ اول آنکه در انجام پژوهش‌ها اجماعی از متخصصین ذیربط، به‌ویژه سازه، زلزله و حمل‌ونقل شکل نگرفته‌است، و دوم آنکه ساختار سامانه‌های حمل‌ونقل برون‌شهری کشورهای پیشرفته (که اکثر محققین مطالعات خود را بر پایه اطلاعات و داده‌های کامل و جامع آنها قرار داده‌اند) با کشورهای درحال توسعه همانند ایران بسیار متفاوت است.

روش ارزیابی سریع خطرپذیری لرزه‌ای جاده‌های برون‌شهری که بخشی از فرآیند ارزیابی جامع خطرپذیری لرزه‌ای جاده‌های برون‌شهری است، از نوع روش‌هایی است برای تحلیل یک پدیده طبیعی و پیامدهای مالی و جانی آن برجامعه، متغیرهای مربوطه را همگون‌سازی می‌کند اینگونه وقایع طبیعی که معمولاً دارای پارامترهای متنوع و پیچیده هستند، وقوعشان نیز یا غیر قابل کنترل است (مثل زلزله) یا غیر قابل پیش‌بینی(مثل رفتار مردم)، و مطمئناً به سادگی قابل آزمایش نیز نیستند و یا هزینه انجام سعی و خطا برای راستی‌سنجی[۲۱] آنها خیلی زیاد است. هدف از تدوین اینگونه روش‌ها برقراری یک ارتباط معقول بین پارامترها (به لحاظ نوع و وزن) براساس اندیشه، تجربه و نظرخواهی از متخصصان و دست‌اندرکاران است. این گونه روش‌ها قابل شبیه‌سازی نیستند و صحت آنها تنها پس از رخدادن چندین مورد از پدیده و بررسی پیامدهای آنها قابل ارزیابی است. ساده‌سازی، یکی از اصول اولیه این روش‌هاست. انتخاب متغیرهای اولویت‌دار، چگونگی همگون‌سازی و ترکیب متغیرها با یکدیگر نیز از دشواریهای این روش‌هاست؛ بنابراین سلیقه تدوین‌کنندگان اینگونه روش‌ها نتایج ارزیابی سریع را تغییر خواهد داد. استفاده‌جامع از نظرات و تجربیات متخصصین و مشاورین ذیصلاح دارای عقاید گوناگون، می‌تواند راه را بر تغییرات سلیقه‌ای گسترده ببندد. به هر حال این روش‌ها نباید به هیچ دلیلی کارآیی و اقتدار خود را از دست بدهند.

به عنوان ویژگیهای مهم روش پیشنهادی می‌توان موارد زیر رابرشمرد:

۱. سادگی فرم ریاضی

۲. قابلیت درنظرگرفتن توأم متغیرهای مختلف لرزه‌ای، سازه‌ای و ترافیکی

۳. قابلیت بکارگیری برای اولویت‌بندی کشوری و استانی

٤. سادگی اعمال تغییرات و بهنگام‌سازی نتایج

۵. قابلیت توسعه برای خطرات طبیعی دیگر که بر جاده‌ها تأثیرگذارند مانند سیل و زمین‌لغزش

www.SID.ir

Archive of SID

٦. قابلیت توسعه جهت استفاده در کشورهای دیگر با معیارهای متفاوت

در هرحال نتایج حاصل از این ارزیابی سریع که همان اولویت‌بندی جاده‌ها در محدوده‌های حوزه خدمت‌پذیری (یا فعلاً برای ایران، همان استانی) است، نشان می‌دهد که معیارهای ساده خطر و آسیب‌پذیری، فارغ از معیارهای حمل‌ونقلی و تکمیلی آسیب‌پذیری مانند تعداد ابنیه و همچنین معیارهای ترکیبی مثل تعداد سفر و یا جابجایی کالا به جمعیت منطقه، منجر به یک اولویت‌بندی غیر واقعی می‌شود. شایان ذکر است، جمع‌آوری آمار مناسب در حوزه‌های خدمت‌پذیری راهها (کریدوری) منجر به ارزیابی صحیح‌تر خطرپذیری و درنتیجه، اعمال سیاستهای مدیریتی و تخصیص بودجه منطقی‌تر برای کاهش/پایش خطرپذیری جاده‌ها خواهد شد. همچنین از آنجاکه هنوز درصد سهم سفرها از سفرهای برون‌شهری در کشور متناسب با نیازها و اهداف این پژوهش برای مسئولین مشخص نشده، پیش‌بینی رفتار استفاده‌کنندگان از راه دشوار است، بنابراین ممکن است تمام ترافیک جاده آسیب دیده مورد نظر به جاده‌های دیگر منتقل نشود، بلکه بعضی از بهره‌برداران، از سیستم‌های حمل‌ونقلی دیگری مثل قطار و هواپیما (بسته به امکان) استفاده کنند. این موضوع نیز باید در روش در نظر گرفته شود.

نتایج حاصل از روش پیشنهادی ارزیابی سریع می‌توانند یک دید کلی به دست‌اندرکاران صنعت حمل‌ونقل کشورهای درحال توسعه با محدودیت‌های بودجه‌ای و تجهیزاتی برای اولویت‌بندی جاده‌های برون‌شهری و تخصیص بهینه منابع مالی برای اهداف کاهش/ پایش خطرپذیری لرزه‌ای آنها ارایه کنند. همچنین نتایج این مطالعه برای ارزیابی تفصیلی خطرپذیری لرزه‌ای جاده‌های برون‌شهری نیز که برآورد خطرپذیری در سطح خرد بوده و برای ارزیابی تفصیلی خطرپذیری ضرورت دارد، لازم است.

۸. پانویس‌ها

1. Quick Seismic Risk Assessment
2. Risk Management
3. Hazard
4. Risk
5. PIARC
6. FEMA
7. Natural
8. Man Made
9. Bridge Damage Index - BDI
10. Link Damage Index - LDI
11. Square Root of Sum Squars
12. Link Damage State
13. Exposure
14. EDRI: Earthquake Disaster Risk Index
15. Acceptable Risk
16. CAFER: Connectivity Analysis for Emergency Response
17. Origin-Destination
18. Centroid
19. Quick Risk Assessment-Weight Factor
20. Hazard Factor
21. Verification

۹. مراجع

۱. یعقوبی وایقان، فریبرز (۱۳۸۵) "تدوین یک مدل خطرپذیری لرزه‌ای برای سامانه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای براساس معیارهای قابلیت اعتماد"، رساله دکترای مهندسی زلزله، به‌راهنمایی دکتر محمود حسینی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

۲. اداره‌کل راه و ترابری استان مازندران (۱۳۸۳) «گزارش مصور از خسارات وارده به راههای استان مازندران در زمین‌لرزه مورخ ۱۳۸۳/۳/۸».

۳. وبگاه پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (خرداد ۱۳۸۵) www.iiees.ac.ir

4. NGDC, "National Geophysical Data Center website" (2006): http://www.ngdc.noaa.gov/seg/fliers/se-0801.shtml

5. PIARC (World Road Association) (2003) "Risk management for roads (C18) – introductory report", Durban, Southern Africa, Report No. 22.18.E, 39p.

٦. وبگاه آژانس مدیریت اضطراری فدرال ایالات متحده (۲۰۰٦) www.fema.gov

7. Hosseini, M., Yaghoobi Vayeghan, F. (2000) "On risk management for roads subjected to natural and man-made hazards", Proc. Of IABSE Symposium Melbourne, Australia, Paper No. 215.

8. Yaghoobi Vayeghan, F. and Hosseini, M. (2006) "Key issues on seismic risk evaluation of intercity road systems", Proc. of International Disaster Reduction Conference (IDRC), Davos, Switzerland.

www.SID.ir

Archive of SID

9. Brabhaharan, P., and Moynihan, S. (2002) "Natural hazard risk management for road networks. Part II: Implementation strategies", Transfund New Zealand, Research Report 212, 75 pages.

10. Shinozuka, M., Feng, M.Q., Dong, X. (2000) "Damage assessment of a highway network under scenario earthquakes for emergency response decision support", SPIE's 7th Annual International Symposium on Smart Structures and Materials, Newport Beach.

11. Werner, S. D., Taylor, C. E., Moore, J. E., and Walton, J. S. (2000) "A risk-based methodology for assessing the seismic performance of highway systems", Technical Report, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.

12. Mayet, J. and Madanat, S. (2002) "Incorporation of seismic considerations in bridge management systems", Journal of Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Vol. 17, pp. 185-193.

۱۳. غفوری آشتیانی، محسن (۱۳۷۹) "دوره آموزشی آشنایی با مسایل نوین و مهم مهندسی زلزله- مفاهیم اساسی خطر و خطرپذیری لرزه‌ای و کنترل و کاهش آن"، پژوهشگاه بین المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

14. Shah H. C. (1984) "Glossary of terms for probabilistic seismic-risk and hazard analysis", Journal of Earthquake spectra Vol. 1 No. 1, pp 33-40.

15. United Nations Inter-Agency Secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction (UN/ISDR) (2004) "Living with risk – A global review of disaster reduction initiatives", Geneva, Switzerland, web source: www.unisdr.org.

16. Andrews, J. D. and Moss, T. R. (2002) "Reliability and risk assessment", Second Edition, Professional Engineering Publishing Limited, London and Bury St. Edmunds, U. K., ISBN: 1860582907.

17. Brabhaharan, P. (2000) "Earthquake ground damage hazard studies and their use in risk management, in the Wellington Region, New Zealand", Proc. of the 12th World Conference on Earthquake Engineering (12WCEE), New Zealand, , Paper No. 1588.

18. Ashby, G. (2002) "Development of a risk management strategy for part of state highway 73 in the South Island of New Zealand", URS (New Zealand) Limited.

19. Davidson, R. A. and Shah, H. C. (1997) "An urban earthquake disaster risk index", The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford, California, U.S.A., Report No. 121, 305 Pages.

۲۰. طرح جامع امداد و نجات کشور، مصوبه مورخ ۱۳۸۲/۱/۱۷ هیأت وزیران

۲۱. شریعت مهیمنی، افشین (۱۳۸۵) " امکان‌سنجی مدیریت بحران در حمل‌ونقل جاده‌ای کشور"، گزارش پروژه تحقیقاتی، وزارت راه و ترابری، معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری، پژوهشکده حمل‌ونقل.

22. Basoz, N., Kiremidjian, A. S. (1996) "Risk assessment for highway transportation systems", BLUME-118, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford, California, 257 pages.

23. Basoz N., Kiremidjian A. S., (1997) "Risk assessment of bridges and highway systems from the Northridge Earthquake", Proc. of the National Seismic Conference on Bridges and Highways: "Progress in Research and Practice", Sacramento, California, pp. 65-79.

24. Basoz, N., Kiremidjian, A. S. (1998) "Risk assessment for highway transportation systems", Proc. Of the 6th U.S. National Conference on Earthquake Engineering [computer file], Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California, 12 pages.

25. Kiremidjian, A. S., Moore, J., Basoz, N., Burnell, K., Fan, Y., and Hortacsu, A. (2002) "Earthquake risk assessment for transportation systems: Analysis of pre-retrofitted system", Proc. Of the 7th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, EERI, Boston.

26. Pellissier, V., Jaccard, P. A., Badoux, M. (2002) "Decision framework for seismic risk management", Proc. Of 12th European Conference on Earthquake Engineering (12ECEE), U. K., Paper No. 622.

www.SID.ir