

تعیین خسارت مستقیم قابل قبول ناشی از حادثه زلزله در شریان حیاتی (حمل و نقل جاده‌ای)

مقاله علمی - پژوهشی

مقصود پوریاری*، استادیار، مرکز تحقیقات راه و مسکن و شهرسازی، تهران، ایران
کیارش ناصراسدی، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه رنجان، زنجان، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mpooryari@yahoo.com

دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۸ - پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۱

صفحه ۵۵۱-۵۶۸

چکیده

تعیین خسارت یکی از مراحل اصلی میزان خطرپذیری شبکه حمل و نقل جاده‌ای در برابر حوادث غیرمترقبه نظیر زلزله است. هر اندازه مقیاس مناسبی از میزان خسارت ارائه گردد، با ارایه راهکار کاهش خسارت، هزینه بهسازی متناسب می‌گردد. تعیین مقدار کمتر از میزان قابل قبول باعث افزایش خسارات آتی و تعیین مقدار بیشتر از نیاز، گرچه ایمنی را افزایش داده لیکن هزینه را بالا می‌برد. در این تحقیق بر اساس میزان خسارات محتمل یک راه و ابنیه موجود آن در اثر زلزله، بر حسب میزان درصد جایگزین (در صورت خسارت کامل، هزینه جایگزین ۱۰۰ واحد است) میزان خسارت مستقیم، مورد بررسی قرار گرفت. شدت زلزله در سه رده شدید، متوسط و خفیف بر حسب دوره بازگشت مختلف در نظر گرفته شده است و میزان عملکرد راه در چهار رده آزادراه، بزرگراه، راه اصلی و راه فرعی منظور شده است. در این راستا ابتدا با مطالعات کتابخانه‌ای و تحقیقات قبلی انجام پذیرفته در این زمینه، معیارهای موثر بر شدت آسیب وارد بر راه استخراج و سپس بر اساس معیار نظرات متخصصین و خبرگان، روشی جهت محاسبه خسارات مستقیم ارائه و در پایان با پیاده سازی روش در ۱۴ مورد انواع راه، اعتبار سنجی لازم به عمل آمد. نتایج نشان داد از میان پارامترهای تاثیرگذار: توپوگرافی، وجود ابنیه فنی، راه جایگزین یا عدم آن و اهمیت مبدا- مقصد بر میزان خسارت قابل قبول بیشتر تاثیرگذار بوده که از این میان وضعیت توپوگرافی بیشترین تاثیر را داشته و اثر آن با تغییر درجه عملکرد راه از آزادراه به راه فرعی شدیدتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خسارت مستقیم، زلزله، حمل و نقل جاده‌ای، خطرپذیری

۱-مقدمه

می‌شود که برای تعمیرات و بازسازی شبکه آسیب دیده انجام می‌شود. خسارات مستقیم تابع شدت سانحه، آسیب‌پذیری اجزای شبکه و نوع المانهای آسیب دیده (پل، بدنه راه، تونل و تأسیسات فنی از جمله دیوارهای حائل و کالورتها) می‌باشد. رخدادهای زلزله شدید اخیر، از جمله سیچوان چین در سال ۲۰۰۸، شیلی در سال ۲۰۱۰ و توهوکو ژاپن در سال ۲۰۱۱، کرمانشاه ایران در سال ۱۳۹۶، هرمزگان ایران در ۱۴۰۰، نشان داده‌اند که آسیب در شبکه جاده‌ای ناشی از زلزله بسیار محتمل

زلزله در زمره سوانحی است که علاوه بر خسارات غیر مستقیم نظیر توقف کسب و کار و درآمد و آسیب‌های وارده بر سلامت و کیفیت زندگی افراد، خسارات مستقیم فیزیکی زیادی شامل (ریزش کوه و انسداد مسیر، ترک خوردگی آسفالت و تخریب روسازی جاده، آسیب به پل‌ها و سایر مستحذات) بوجود می‌آورد. خسارات مستقیم ناشی از آثار مستقیم عملکرد سانحه بوده و نتیجه آن، خرابی‌های وارده به تأسیسات عمومی راه می‌باشد. این خسارات در شبکه حمل و نقل، به مواردی اطلاق

ژئوتکنیکی در منطقه می‌تواند در شدت آسیب‌های وارده به جاده‌ها موثر می‌باشد. برای تعیین میزان خسارات مستقیم موارد ذیل باید مدنظر قرار گیرد: تعیین احتمال وقوع خطر؛ تعیین توزیع مکانی میزان خطر، شدت سوانح در مناطق مختلف، میزان شدت سوانح در هر ابنیه و نقاط مستعد آسیب در جاده‌ها، تعیین احتمال خرابی تاسیسات و جاده و شدت آن. عموماً، در سوانح مختلف میزان خسارات مختلف با احتمال وقوع آن برآورد می‌شود. میزان احتمال خسارات قابل قبول نیز بصورت احتمالاتی بیان می‌شود، این میزان، برای خسارت‌های زیاد بسیار کمتر از احتمال قابل قبول خسارت‌های کم می‌باشد. از طرفی میزان خسارات اقتصادی ناشی از آسیب‌های فیزیکی و زمان بازسازی آنها با توجه به نوع تاسیسات و میزان آن متفاوت می‌باشد. در بین عوامل مختلف تاثیر گذار در میزان آسیب، توپوگرافی و عوارض منطقه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در مناطق مسطح، تعداد ابنیه فنی و مناطق مستعد خطرات ژئوتکنیکی ناشی از توپوگرافی مانند ریزش و لغزش کم می‌باشد. این امر در کاهش احتمال آسیب تاثیرگذار می‌باشد. در صورت وجود ابنیه فنی در این مناطق (به علت وجود تقاطع و ...) و بروز آسیب‌های فیزیکی، زمان بازگشایی این تاسیسات هم به دلیل امکان احداث راه‌های موقت جایگزین، کم می‌باشد. درحالی که در مناطق کوهستانی، از یک طرف به علت وجود عوامل خطر زیاد و وجود ابنیه مهم، میزان احتمال وقوع خسارات بیشتر بوده و از طرف دیگر خسارات فیزیکی وارده به دلیل وجود ابنیه فنی متعدد، زیاده‌تر می‌باشد.

۲-۱- اثر خسارات مستقیم

مهم‌ترین تاثیر خسارات مستقیم بر المانهای یک راه در میزان خدمت رسانی این تاسیسات بعد از سانحه می‌باشد. به عبارتی، هرچه خسارات با سرعت بیشتری جبران شود، عملکرد شبکه زودتر به حالت اولیه بر می‌گردد. از آنجا که مهم‌ترین عامل در زمان بازسازی، تامین هزینه آن می‌باشد لذا بهترین روش تامین مالی برای بازسازی بیشتر تاسیسات بعد از سوانح، استفاده از مکانیزم‌های انتقال ریسک خسارات مانند بیمه می‌باشد. با توجه به اطلاعات موجود، چنین سیستمی در حال حاضر برای تاسیسات زیربنایی کشور وجود ندارد و خسارات وارده از بودجه عمومی و یا عمرانی دولت تامین می‌شود. این امر باعث می‌شود در زمان‌هایی که خرابی‌های گسترده در سطح جامعه

بوده و لذا ارزیابی قابل اعتماد از زیان شبکه جاده‌ای برای رشد اقتصادی و پایداری جامعه از اهمیت بالایی برخوردار است (پوریاری و همکاران، ۱۴۰۰). در زلزله سال ۱۳۹۶ کرمانشاه، ۸۳ میلیارد تومان (معادل ۸ میلیون دلار) (تین نیوز، ۱۳۹۷) و در زلزله ۱۴۰۰ استان هرمزگان ۳۳۰ میلیارد تومان (معادل ۱۲ میلیون دلار) به شبکه راه‌ها خسارت وارد گردید (ایرنا، ۱۴۰۰). معمولاً این هزینه با از دست رفتن ارزش دارایی آن مرتبط است. این خسارت را با هزینه‌های تعمیر یا جایگزینی ناشی از سانحه می‌توان اندازه‌گیری کرد و اغلب به عنوان خسارت اقتصادی مستقیم ارزیابی می‌شود. (Research Council (Brookshire et al. 1997) (Lindell and Prater 2003); (1999 هم دیده می‌شود. یکی از مشکلات برآورد خسارات در سوانح عدم وجود شیوه نامه برآورد خسارت چه مستقیم و چه غیر مستقیم است. در این تحقیق با ملاحظه عوامل دخیل در میزان خسارت مستقیم یک راه، شیوه‌ای برای برآورد خطرپذیری شبکه حمل و نقل جاده‌ای ارائه شده است تا دست اندرکاران و سیاست‌گذاران، از پیش، برآورد ارقام خسارت احتمالی یک سانحه نظیر زلزله را بدانند. این موضوع اجازه می‌دهد تا ارزیابی ریسک جهت سرمایه گذاری در اقدامات پیشگیرانه انجام شود. ضمن اینکه صنعت بیمه نیز به عنوان یکی از سیاست‌گذاران اقدامات کاهش ریسک سوانح برای تهیه طرح‌های بیمه‌ای در صنعت حمل و نقل می‌تواند آن را مورد استفاده قرار دهد. تجربه‌ای که در مطالعات Rose and .Boisvert 1992; Junqi et al.2004 Lim.1997 ارائه شده است.

۲-برآورد خسارات

هرچه سانحه زلزله دارای شدت بیشتری باشد، میزان خسارت فیزیکی وارده بیشتر می‌باشد. میزان آسیب پذیری المان‌های شبکه در میزان خسارات فیزیکی وارده موثر می‌باشد. آسیب پذیری هر یک از المان‌های مختلف راه در مقابل سوانح مختلف متفاوت است. به علاوه ارزش المان‌های مختلف در میزان خسارات ناشی از سوانح نیز موثر می‌باشد. به طور عمومی، آسیب‌های وارده به ابنیه مانند پل و تونل هزینه بیشتری برای بازسازی نیاز دارد تا بدنه راه. محدوده جغرافیای آسیب‌های وارده ناشی از زلزله وابستگی مستقیم به بزرگی آن، عمق و میزان نزدیکی جاده و یا تاسیسات به رومرکز زلزله دارد. از طرف دیگر، نوع تاسیسات موجود و احتمال وقوع خطرهای

حالات بسیار بیشتر از مقدار مورد لزوم باشد. شاخص ارائه شده بر حسب هزینه جایگزینی هزینه‌ای است که باید در هر زمان برای جایگزینی المان‌های راه صرف شود. این امر با توجه به قدمت تأسیسات و دیگر عوامل تاثیرگذار تعیین می‌شود. این مقیاس برای تأسیسات و تجهیزات مختلف به سهولت قابل محاسبه و استفاده است. از طرف دیگر می‌توان این مقدار را در سوانح مختلف و تأسیسات متفاوت مقایسه کرده و در این خصوص هماهنگی ایجاد کرد. در خصوص شبکه حمل و نقل با توجه به تنوع شبکه از نظر طول، هزینه ساخت، ابنیه فنی موجود، هزینه جایگزینی بسیار متفاوت می‌باشد. بنابراین درصدی از هزینه جایگزینی معیار مناسبی می‌باشد. میزان هزینه جایگزینی می‌تواند از تحلیل‌های هزینه به فایده بدست آید ولی با توجه به اینکه این تحلیل‌ها باید در قالب مطالعه برآورد خطرپذیری و تعیین گزینه‌های بهسازی تعیین شود، در روند کلی انجام مطالعه انجام چنین مطالعه‌ای امکان‌پذیر نمی‌باشد. از طرف دیگر، از آنجایی که میزان هزینه‌های جایگزینی تابع مستقیم سیاست‌های دولت می‌باشد، باید معیاری برای تعیین میزان حداقل خسارات در دسترس باشد. این امر را می‌توان توسط نظر متخصصین و مسئولین برآورد نمود. بدین منظور، میزان هزینه‌های جایگزینی راه‌ها برای انواع طبقه بندی راه‌ها شامل آزاد راه، بزرگراه، راه اصلی و راه فرعی توسط فرم‌های نظر سنجی مورد پرسش قرار گرفته است (گ-۱۴۰۱، ۱۰۰۰).

۳-۱- پارامترهای دخیل در مدل

الف- شدت سانحه

با افزایش شدت سانحه طبیعی، انتظار می‌رود که خسارات وارده ناشی از آن افزایش یابد. این امر در بین متخصصین و جامعه شناخته شده بوده و قابل قبول می‌باشد. به منظور تعیین شدت‌های زلزله، ارتباط آن با احتمال وقوع یا دوره بازگشت مد نظر قرار گرفته است. طبقه بندی صورت گرفته بدین شرح است: زلزله خفیف: زلزله‌ای با احتمال وقوع ۵۰ درصد در ۵۰ سال می‌باشد که دوره بازگشت آن ۷۵ سال می‌باشد. ولی با توجه به اینکه در بیشتر مطالعات دوره بازگشت ۱۰۰ سال معمول می‌باشد، این مقدار برای مطالعات در نظر گرفته شده است. این شدت از سانحه بسیار محتمل بوده و در عمر راه حداقل یک بار رخ می‌دهد.

زلزله متوسط: زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال است که احتمال وقوع آن در هر ۵۰ سال ۱۰٪ می‌باشد. این شدت در طول عمر

وجود داشته باشد و اعتبارات کافی برای تامین آنها وجود نداشته باشد، زمان زیادی برای تامین اعتبار صرف شده و در نهایت زمان بازسازی طولانی‌تر شود. تاثیر میزان خسارات وارده بطور مستقیم به دولت اعمال شده ولی خسارات ثانویه آن بر دوش کل جامعه می‌باشد. بنابراین سعی در محدود کردن خسارات مستقیم نه تنها باعث کاهش خسارات می‌شود بلکه زمان بازیابی را کاهش می‌دهد که هر دو بر کاهش خسارات غیر مستقیم تاثیرگذار می‌باشد. یکی از روش‌های موثر در کاهش خسارات مستقیم، بهسازی مسیر و ابنیه می‌باشد که در زمینه کاهش خسارات بسیار کارآ می‌باشد. بطور مثال در بررسی راهکار مقاوم سازی شبکه حمل و نقل لس‌آنجلس، راهکارهای مقاوم سازی، نه تنها خسارات مستقیم را کاهش داد، بلکه خسارات غیر مستقیم ناشی از توقف سیستم را نیز کاهش داد که در مجموع، میزان هزینه به فایده آن، با توجه به خسارات غیر مستقیم بسیار زیاد بوده است (پوریاری و همکاران، ۱۴۰۰).

۳- روش تحقیق

در این تحقیق به منظور تعیین خسارت مستقیم روش ارزیابی نظر متخصصین که بیشتر بر مبنای پرسش از خبرگان مرتبط می‌باشد ارایه شده است. به منظور اعمال نظر کارشناسان، روش بررسی بر مبنای روش دلفی برای دریافت نظر متخصصین و مسئولین پیگیری شده است. بر این اساس، اطلاعاتی که باید جمع آوری شود، بصورت سوال بیان شده و در قالب فرم‌هایی تدوین شد. در این فرم درخواست گردید درصد هزینه بازسازی راه به ازای زلزله با شدتهای مختلف به تفکیک درجه عملکرد راه چه میزان است. سپس این فرم‌ها در بین متخصصین و مسئولین مرتبط توزیع گردید. اطلاعات جمع آوری شده سپس مورد بررسی آماری قرار گرفته و بر اساس آن، میزان پارامترهای مورد نظر تعیین می‌شود. در این تحقیق شاخص اندازه‌گیری خسارات مستقیم، میزان هزینه بازسازی راه می‌باشد. میزان شاخص درصد هزینه بازسازی به ارزش فعلی راه است. به عبارتی با فرض اینکه مقدار خسارت کل یک راه پایه عدد ۱۰۰ است، درصد خسارت وارده به عنوان شاخص گزارش می‌گردد. معرفی شاخص ارایه شده بر اساس میزان مطلق خسارات یعنی بر حسب واحد پولی صورت پذیرفت زیرا این مقیاس ارزش واقعی تأسیسات مورد بررسی را در بر نمی‌گیرد و در بعضی موارد می‌تواند کمتر از میزان واقعی باشد و یا در بسیاری از

۱- اهمیت شهرهای مبدأ و مقصد

اهمیت شهرهای مبدأ و مقصد بر اساس معیار جمعیت و تردد مسیر از دیگر معیارهایی است که در این تحقیق بکار گرفته شد. پارامترهای دیگری نظیر میزان ترافیک عبوری، از منظر مسافری و یا باری، فصل سانحه، وجود مراکز صنعتی مهم در مسیر، ترانزیت بودن مسیر راه، وجود تجهیزات ویژه در راهدار خانه برای مدیریت بحران نیز در مرحله اول مورد نظر بود و به علت عدم تاثیر بر خسارت مستقیم در ادامه نادیده گرفته شدند. در نهایت میزان اهمیت هر یک از پارامترها در ۵ رده اهمیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه بندی گردید.

۲-۳- تعیین جامعه هدف نظر سنجی

به منظور دریافت نظر کارشناسان و متخصصین، جامعه‌ی هدف بالغ بر ۵۰ نفر تعیین شده و بر اساس آن فرم‌ها برای آنها از طریق نامه و رایانامه (پست الکترونیکی) و حضوری ارسال شد. جامعه هدف شامل دو دسته "مسئولین و متخصصین" و "محققین و پژوهشگران" تقسیم بندی می‌شود. مسئولین مورد نظر در این مطالعه، شاغل در دستگاه‌های اجرایی و متخصصین مورد نظر، مجموعه‌ای از اساتید دانشگاه و متخصصین حمل و نقل و مدیریت بحران می‌باشند.

۴- بررسی و آرایه نتایج

داده‌های حاصل با استفاده از روش‌های آماری مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند. ابتدا چگالی توزیع داده‌ها با توجه به توزیع‌های مختلف آماری مورد بررسی قرار گرفته و بهترین توزیع برای آن انتخاب شده است. سپس با توجه به توزیع آن شاخص‌های مرکزی و پراکندگی متناسب با آن انتخاب می‌شود. ابتدا، توزیع احتمالی اطلاعات مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که توزیع لگاریتم نرمال، توزیع مناسبی برای داده‌های حاصل می‌باشد. دلیل این امر بیشتر به نوع داده‌ها بر می‌گردد. نمودار توزیع احتمالاتی لگاریتم نرمال اطلاعات بدست آمده برای خسارات مستقیم ناشی از یک شدت زلزله مشخص (با دوره بازگشت ۱۰۰ سال) برای انواع مختلف راه‌ها در اشکال شکل تا شکل ۴ نشان داده شده است. در جدول مقدار میانه اطلاعات حاصل از سانحه زلزله و در نمودار ۵ مقایسه آنها نشان داده شده است.

همانطوری که از اطلاعات بدست آمده بر می‌آید، میزان خسارات قابل قبول از نظر متخصصین با افزایش شدت زلزله با کاهش اهمیت جاده افزایش یافته است.

مفید می‌تواند رخ دهد و عموماً برای طراحی از آن استفاده می‌شود.

زلزله شدید: زلزله با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال است که احتمال وقوع آن در هر ۵۰ سال ۲٪ می‌باشد. این شدت، بسیار زیاد بوده و به عنوان زلزله محتمل محافظه کارانه برای راه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

ب- درصد هزینه جایگزین

در این مطالعه، میزان خسارات وارده به جاده بر حسب میزان درصد جایگزینی تعیین شده است. بدین معنی که هزینه جایگزینی بخش مورد بررسی راه از ۱۰۰ (که برای یک راه با فرض تخریب کامل) در نظر گرفته می‌شود، گزارش می‌گردد.

ج- طبقه بندی راه

طبقه بندی راه با توجه به عملکرد و سلسله مراتب آن شامل آزادراه‌ها، بزرگراه‌ها، راه‌های اصلی و راه‌های فرعی می‌باشند.

د- راه پایه

راه پایه راهی است غیر ترانزیتی که در دشت واقع شده و ابنیه مهم (از قبیل پل، تونل و...) در آن موجود نباشد و مبدأ و مقصد راه با اهمیت متوسط بوده و دارای مسیر عبوری جایگزین نیست و طول متوسط آن ۵۰ کیلومتر می‌باشد.

ه- توپوگرافی مسیر

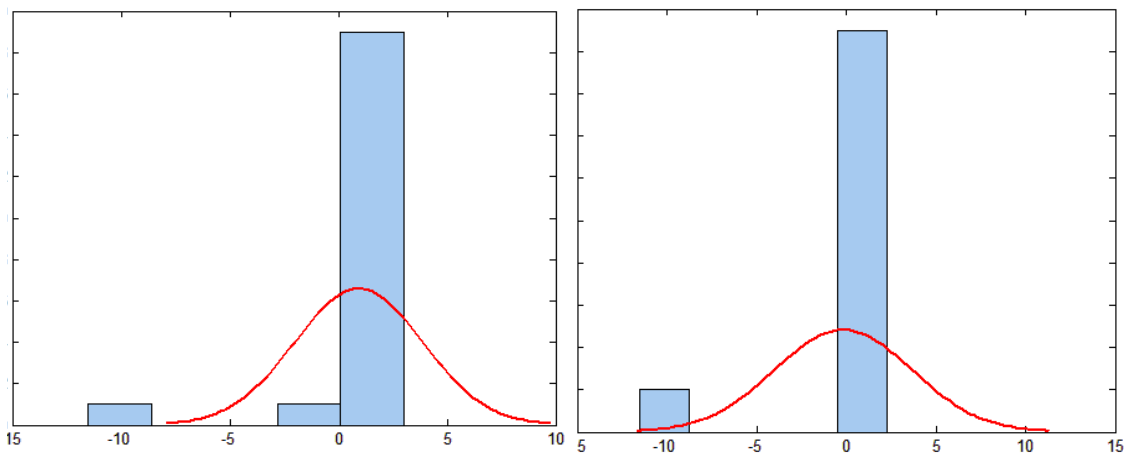
با توجه به اثر مستقیم توپوگرافی بر میزان هزینه ساخت و بازسازی راه‌ها، ملاحظه می‌شود که هرچه مسیر از دشت به کوهستان تغییر توپوگرافی دهد، میزان خسارت قابل قبول افزایش می‌یابد. چهار نوع توپوگرافی شامل دشت، تپه ماهور و کوهستانی سخت و نیمه کوهستانی در این طبقه بندی معرفی می‌گردد.

و- ابنیه موجود در مسیر

در صورت وجود ابنیه مهم در مسیر میزان خسارت افزایش یافته و لذا در ارزیابی خسارت باید مد نظر قرار گیرد. ابنیه فنی در هر دو صورت پل و تونل و تقاطع با مسیر در نظر بوده است.

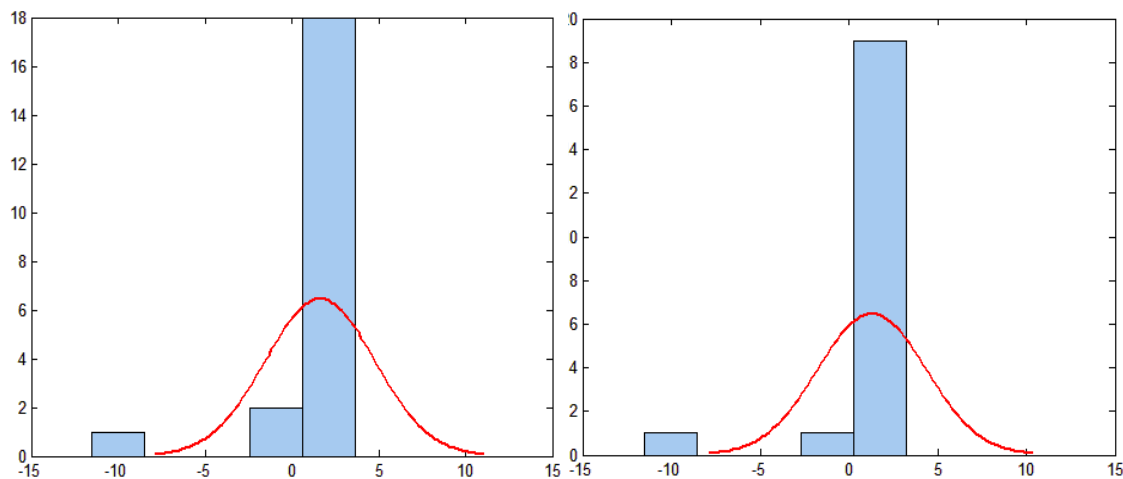
ز- مسیر جایگزین

مسیر جایگزین، یعنی اینکه بتوان ترافیک مسیر آسیب دیده را به آن انتقال داد. در این تحقیق مسیر جایگزین (وجود یا عدم وجود) در نظر گرفته شد.



شکل ۱. توزیع اطلاعات بدست آمده برای درصد خسارات مستقیم وارده به آزادراه‌ها برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰ سال - محور افقی داده و محور عمودی توزیع احتمال

شکل ۲. توزیع اطلاعات بدست آمده برای درصد خسارات مستقیم وارده به بزرگراه‌ها برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰ سال - محور افقی داده و محور عمودی توزیع احتمال

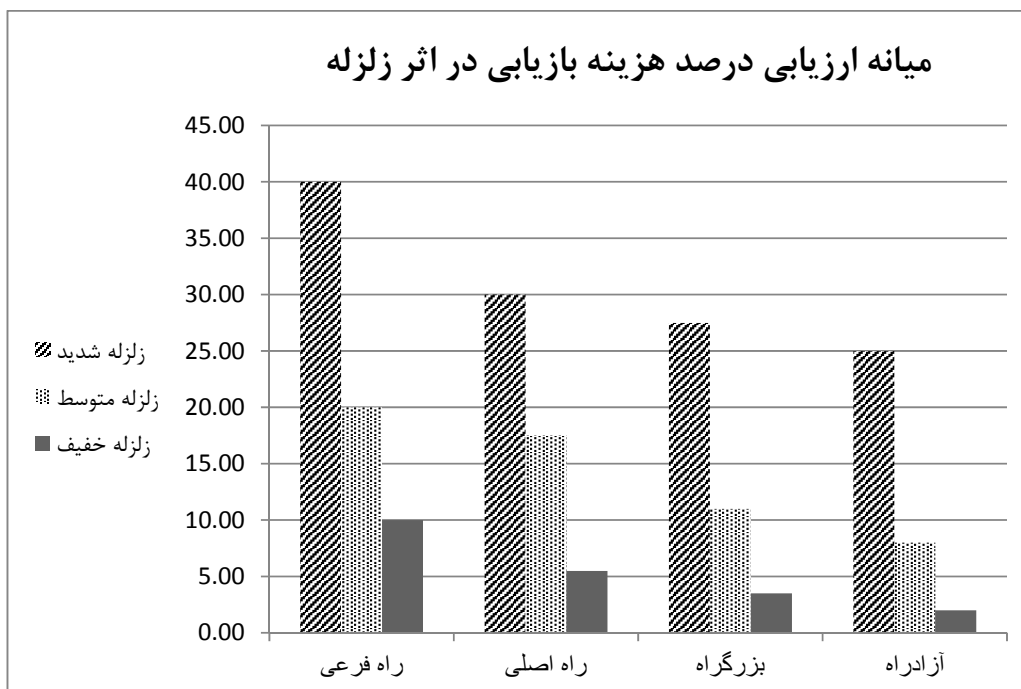


شکل ۳. توزیع اطلاعات بدست آمده برای درصد خسارات مستقیم وارده به راه‌های اصلی برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰ سال - محور افقی داده و محور عمودی توزیع احتمال

شکل ۴. توزیع اطلاعات بدست آمده برای درصد خسارات مستقیم وارده به راه‌های فرعی برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰ سال - محور افقی داده و محور عمودی توزیع احتمال

جدول ۱. مقدار میانه درصد هزینه بازیابی از نظر متخصصین ناشی از زلزله (گ-۱۴۰۱، ۱۰۰۰).

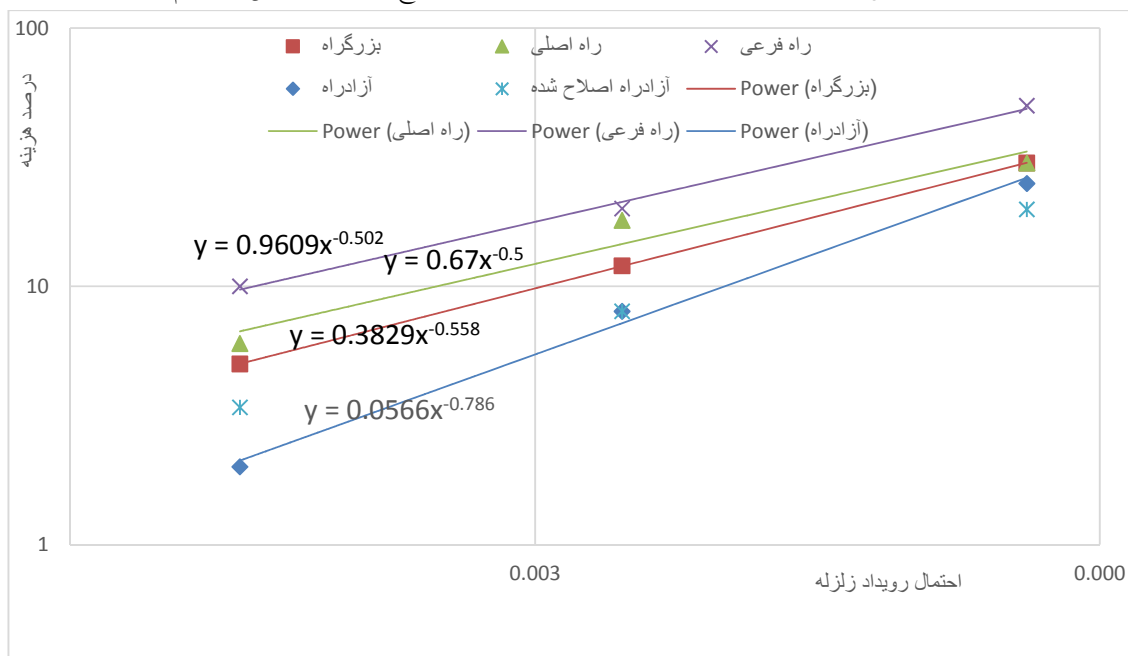
نوع راه				شدت زلزله
راه فرعی	راه اصلی	بزرگراه	آزادراه	
۱۰	۵,۵	۳,۵	۲	زلزله خفیف - دوره بازگشت ۱۰۰
۲۰	۱۷,۵	۱۱	۸	زلزله متوسط - دوره بازگشت ۴۷۵
۴۰	۳۰	۲۷,۵	۲۵	زلزله شدید - دوره بازگشت ۲۴۷۵



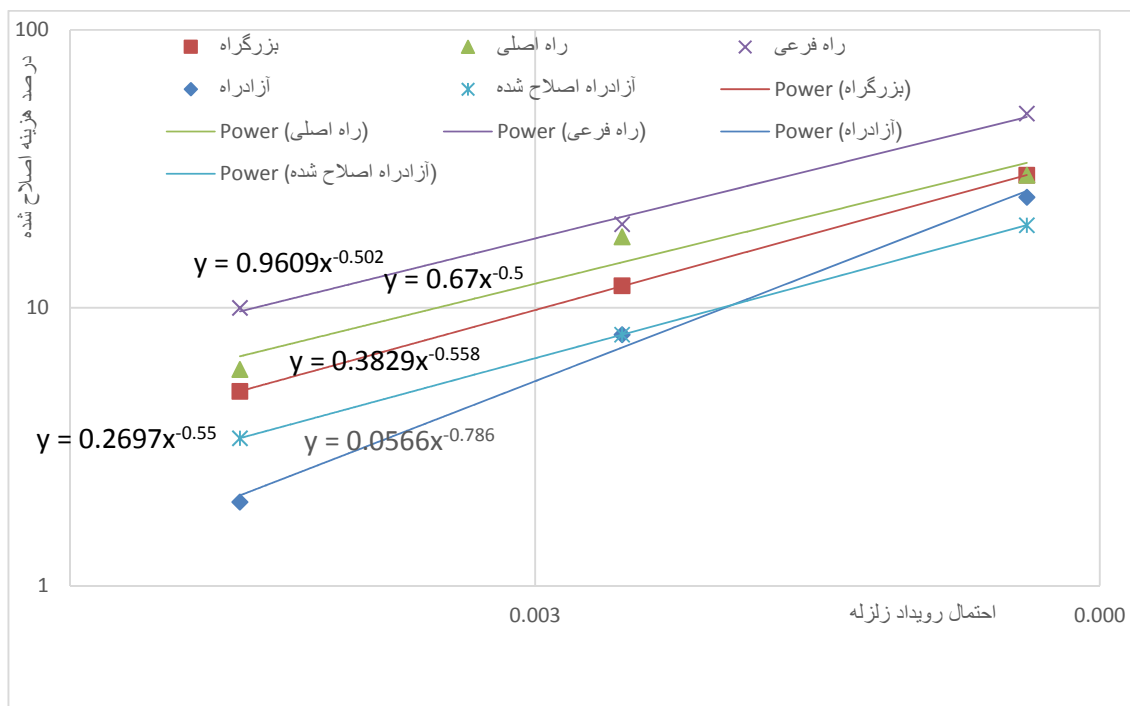
شکل ۵. مقایسه درصد هزینه بازیابی خسارت مستقیم ناشی از شدت زلزله‌های مختلف

مقادیر در منحنی لگاریتمی ترسیم می‌شود. بر این اساس، با توجه به مقادیر میانۀ شاخص برای انواع مختلف راه و احتمال وقوع سوانح، نمودار احتمالاتی خسارت قابل قبول برای زلزله در شکل ۶ ترسیم شده و توابع مناسبی به آنها برازش داده شده است. این نمودار با اصلاح میانۀ مطابق شکل ۷ ترسیم شده است.

یکی از معیارهای مهم در تعیین میزان خطرپذیری قابل قبول، رابطه نسبی آن با شدت‌های مختلف سوانح می‌باشد که با احتمال وقوع آن می‌باشد. در این خصوص می‌توان مقادیر احتمال وقوع و میزان خطرپذیری را در نموداری ترسیم نموده و بر اساس آن در خصوص وجود رابطه منطقی بین آنها اظهار نظر کرد. این



شکل ۶. منحنی احتمال درصد هزینه بازسازی قابل قبول راه بر مبنای نظر کارشناسی برای زلزله



شکل ۷ منحنی احتمال درصد هزینه بازسازی اصلاح شده راه بر مبنای نظر کارشناسی برای زلزله

۴-۱-مقادیر حداکثر و حداقل مورد استفاده در تعیین شاخص

به منظور تعیین میزان حدی مقادیر از داده‌های نظر سنجی و آمار سوانح قبل استفاده شده است: میزان حداقل و حداکثر داده‌ها بر اساس منحنی احتمال توزیع تجمعی به ترتیب برای ۲۰ و ۸۰ درصد محاسبه شده و مورد استفاده قرار گرفته است.

در خصوص سوانح گذشته تاثیر اقتصادی بر مبنای میزان خسارت وارده بر راه در حوادث قبلی بدست آمده است. این اثرات به دو صورت الف- نسبت طول راه آسیب دیده به طول کل راه و ب- هزینه تعمیر و بازسازی راه‌ها به تفکیکی برای ایران و سایر کشورها بدست آمده است.

جدول ۲. مقادیر حداقل و حداکثر مقادیر پایه درصد هزینه (گ-۱۴۰۱، ۱۰۰۰).

شاخص آماری	طول راه آسیب دیده (کیلومتر)	نسبت راه آسیب دیده به کل مسیر تحت تاثیر	خسارت (میلیون دلار)	میزان خسارت بر حسب تولید ناخالص ملی سال رخداد
میانگین	۱	۰٫۷۶٪	۴۸٫۶	۰٫۰۳۵٪
میانه	۱	۰٫۷۶٪	۴۸٫۶	۰٫۰۳۵٪
انحراف از معیار	-	۰٫۰۵۳٪	۴۸٫۱۱	۰٫۰۲۹٪
ماکزیمم	۱	۰٫۸٪	۸۲٫۶	۰٫۰۵٪
مینیمم	۱	۰٫۷۲۴٪	۱۴٫۵۷	۰٫۰۰۹٪

جدول ۳. میزان خسارت زلزله بر اساس سوابق وقوع در ایران (۶ زلزله مهم) (گ-۱۴۰۱، ۱۰۰۰)

کمینه (ARD Min)				بیشینه (ARD Max)				خسارت مستقیم (هزینه)	
راه فرعی	راه اصلی	بزرگراه	آزادراه	راه فرعی	راه اصلی	بزرگراه	آزادراه	زلزله	
۰,۴۳	۴۰	۰,۳۵	۳۰,۱۶	۰,۲۵	۱۹,۵۶	۰	۱۵,۶۵	خفیف	
۳	۴۲,۸۷	۳	۳۷,۶۶	۴	۲۰,۹۴	۰,۳۸	۲۰	متوسط	
۸	۶۱,۷۵	۹	۴۷,۵۸	۶	۴۰,۰۷	۰,۷۴	۴۰	شدید	

جدول ۴. میزان خسارت زلزله بر اساس سوابق وقوع در سایر کشورها (۱۳ زلزله مهم) (گ-۱۴۰۱، ۱۰۰۰)

شاخص آماری	طول راه آسیب دیده (کیلومتر)	نسبت راه آسیب دیده به کل مسیر تحت تاثیر	خسارت (میلیون دلار)	میزان خسارت بر حسب تولید ناخالص ملی سال رخداد
میانگین	۴۰,۸	٪۱۳,۹۶	۳۲۵۷,۷	٪۰,۲۶۲۳
میانه	۴۸	٪۱۸,۹۱	۱۲۳۰	٪۰,۱۹۵۶
انحراف از معیار	۲۳,۶	٪۹,۵۷	۵۸۲۸,۳	٪۰,۲۸۴۸
ماکزیمم	۶۰	٪۲۰,۰۵	۱۵۰۰۰	٪۰,۶۲۵۳
مینیمم	۱۴,۵	٪۲,۹۳	۴۷۵	٪۰,۰۰۰۲

در این راستا رخدادهای زلزله در سالهای قبل مورد بررسی قرار گرفت در همین راستا آمار رخداد زلزله‌های مهم در سایر کشورها ۱۳ زلزله از کشورهای (ژاپن، امریکا و ترکیه) بررسی گردید و بر اساس نسبت کیلومتر راه آسیب دیده به طول کل راه اطلاعات لازم بدست آمد. به منظور یکسان سازی میزان خسارت وارده کشور و سایر کشورها به جای واحد پول مشخص، میزان نسبت خسارت بر حسب تولید ناخالص ملی هر کشور سنجیده شده است. مقادیر حداکثر و حداقل در این جداول برای کنترل آستانه شاخص معرفی شده طبق نظر سنجی می‌باشد.

۴-۲-ارائه روش تعیین خسارت مستقیم قابل قبول

در تعیین مقادیر قابل قبول برای خسارت مستقیم، ابتدا میزان قابل قبول راه پایه که برابر با میانه مقادیر بوده تعیین می‌شود. این مقدار با پارامتر BSD نشان داده می‌شود. عوامل تأثیرگذار بر خسارت مستقیم عبارتند از: توپوگرافی، وجود ابنیه مهم، وجود مسیر جایگزین، اهمیت مبدأ و مقصد. تاثیر این پارامترها بصورت مضربی بر مقدار پایه بیان می‌شود. بنابراین برای هر یک از عوامل مؤثر یک پارامتر اختصاص داده می‌شود تا با اعمال این ضریب بر مقدار پایه، میزان شاخص راه مورد نظر بدست آید. این روش در معادله

نشان داده است. لازم به یادآوری است که تحلیل اقتصادی برای ساخت راه با در نظر گرفتن پارامترهای تأثیرگذار بر اساس فهرست بهای سال پایه صورت گرفته است (گ-۱۴۰۱، ۱۰۰۰).

$$ARD = BSD \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4$$

$$ARD = BSD \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \quad (1)$$

(1)

مربوط به وجود مسیر جایگزین و α_4 ضریب اصلاح مربوط به اهمیت مبدأ و مقصد است.

مقدار ARD نباید از میزان بیشینه و کمینه خود که در جدول ۲ ارائه شده است، تجاوز نماید. به عبارتی می‌توان رابطه را ارائه نمود که مقادیر بیشینه و کمینه بر اساس جدول ۲ بدست می‌آیند.

$$ARD_{min} \leq ARD \leq ARD_{Max} \quad (2)$$

که در آن BSD برابر مقدار پایه خسارت مستقیم قابل قبول برای راه در حالت پایه است. α_1 ضریب اصلاح مربوط به توپوگرافی، α_2 ضریب اصلاح مربوط به وجود ابنیه مهم، α_3 ضریب اصلاح

$$ARD_{min} \leq ARD \leq ARD_{Max} \quad (2)$$

۴-۲-۱ اعمال تأثیر عوامل موثر توسط ضرایب اصلاحی

ضرایب اصلاحی که در مقادیر پایه ضرب می‌شود، با تحلیل‌های پارامتری و در نظر گرفتن محدوده تغییرات متوسط هر یک، با توجه به اهمیت نسبی آنها محاسبه شده است. مقادیر ضرایب اصلاحی در ادامه ارائه شده است.

الف- ضریب اصلاح اثر توپوگرافی در میزان خسارت مستقیم (α_1)

توپوگرافی منطقه‌ای که راه در آن واقع گردیده است یکی از مهمترین پارامترهایی است که هم در میزان خسارت مستقیم و هم در میزان خسارت غیر مستقیم تأثیر بسزایی می‌گذارد. ضریب α_1 میزان تأثیر این پارامتر را بر میزان خسارت مستقیم بر مبنای آنالیزهای اقتصادی صورت گرفته (فهرست بهای ساخت راه در سال پایه) در نظر می‌گیرد. این ضریب در جدول شماره ۵ ارائه شده است.

جدول ۵. مقادیر ضریب اصلاح اثر توپوگرافی در میزان خسارت مستقیم (α_1) (گ-۱۴۰۱، ۱۰۰۰)

درجه راه				نوع توپوگرافی
راه فرعی	راه اصلی	بزرگراه	آزادراه	
۴,۲۱۱	۳,۱۷۴	۲,۳۱۶	۲,۰۹۸	کوهستانی سخت
۱,۷۰۹	۱,۵۵۹	۱,۳۸۷	۱,۳۳۸	نیمه کوهستانی
۱,۱۴۸	۱,۱۲۵	۱,۱۰۳	۱,۰۹۳	تپه ماهور
۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	دشت

ب- مقادیر ضریب اصلاح اثر ابنیه مهم (α_2)

بیشترین هزینه احداث هر راه را ابنیه فنی آن راه به خود اختصاص می‌دهند. به ویژه این که محل قرارگیری ابنیه فنی در محل‌های لجستیکی است، مدنظر قرار دادن اثر ابنیه فنی به عنوان یک شاخص افزایشی بر معیار حالت پایه می‌تواند در مدلسازی کمک نماید. α_1 که بر مبنای نتایج تحلیل بدست آمده ارائه شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود در صورت عدم وجود ابنیه فنی مهم در مسیر ضریب ۱,۰۰ انتخاب شده و در صورت وجود، تأثیر افزایشی آن اعمال می‌گردد.

جدول ۶. مقادیر ضریب اصلاح اثر ابنیه مهم (α_2) (گ-۱۴۰۱، ۱۰۰۰)

مقدار ضریب	ابنیه مهم
۱,۱۴۲	وجود
۱,۰۰۰	عدم وجود

ج- ضریب اصلاح اثر وجود مسیر جایگزین (α_3)

این حال بدلیل در تردد بودن وسائل نقلیه هرچند با کمی کندی سرعت ویا افزایش طول میزان، خسارت مستقیم قابل قبول را می توان افزود.

وجود مسیر جایگزین با مسیر راه اصلی منجر می شود تا میزان ترافیک راه در هنگام آسیب و بروز سانحه از راه اصلی کاسته شده و یک ترافیک القایی به مسیر جایگزین تحمیل گرد ولی با جدول ۷. مقادیر ضریب اصلاح اثر وجود مسیر جایگزین (α_3) را که بر مبنای نتایج تحلیل بدست آمده نشان داده شده است.

جدول ۷. مقادیر ضریب اصلاح اثر وجود مسیر جایگزین (α_3) (گ-۱۴۰۱، ۱۰۰۰).

مقدار ضریب	مسیر جایگزین
۱,۰۳۸	وجود
۱,۰۰۰	عدم وجود

د- ضریب اصلاح اثر اهمیت شهرهای مبدأ و مقصد (α_4)

باعث می شود تا با افزایش اهمیت شهرها از میزان خسارت مستقیم قابل قبول کاسته شود. در جدول ۸ که بر مبنای نتایج تحلیل بدست آمده نشان داده شده است.

میزان اهمیت شهرهای مبدأ و مقصد بر تعداد سفرهای ایجاد شده اثر خواهد گذاشت. بطوریکه با افزایش اهمیت شهرهای مبدأ و یا مقصد بر میزان تعداد سفر افزوده شده و این مسئله

جدول ۸. مقادیر ضریب اصلاح اثر اهمیت شهرهای مبدأ و مقصد (α_4) (گ-۱۴۰۱، ۱۰۰۰).

مقدار ضریب	اهمیت شهرهای مبدأ و مقصد
۰,۳۶۹	خیلی زیاد
۰,۶۸۵	زیاد
۱,۰۰۰	متوسط
۱,۰۳۴	کم
۱,۰۶۹	خیلی کم

۵-اعتبار سنجی مدل

قم، آذربایجان اصفهان نطنز و آذربایجان تهران کرج. مسیرهای بزرگراهی عبارت است از ساری- کردکوی، مشهد - نیشابور، بزرگراه یزد-نابین و سمنان- گرمسار. راه های اصلی مورد مطالعه نیز عبارت است از محور نهبندان-بیرجند، بندرعباس- میناب، اهواز - رامهرمز و زاهدان- خاش. همچنین راه های فرعی مورد مطالعه نیز شامل محورهای لاهیجان- سیاهکل، کازرون-بوشهر، ارومیه- سرو و ایلام- پلدختر است. با توجه به اینکه از نظر توپوگرافی ممکن است بخشهای مختلف راه دارای ویژگی های متفاوت باشند بر حسب طول مسیر هر ویژگی محاسبه وزنی برای ضریب مربوطه انجام پذیرفته است. نتایج پیاده سازی

به منظور صحت سنجی و بررسی مدل پیشنهادی، از میان انواع درجه راهها که دارای شرایط واقعی هستند، مدل پیشنهادی اعمال گردیده است. برای سنجش نتیجه از نظر افراد متخصص خبره در این زمینه استفاده شده است. از بین راه های کشور ۱۶ راه که چهار راه از هر نوع (آزاد راه، بزرگ راه، راه اصلی و فرعی) انتخاب شده است. در هر درجه از راه، ۲ راه با خطر نسبی زیاد و ۲ راه با خطر نسبی کم انتخاب شده است. راهها بگونه ای انتخاب شده است که در تمامی مناطق ایران پراکنده باشد و طیف وسیعی از نوع ترافیک و یا ترانزیتی بودن را در بر بگیرد. سعی شده است تمامی پارامترهای موثر در راهها بررسی شود. این مسیرها عبارت است از: آذربایجان قزوین رشت، آذربایجان-

ضرایب و نظر خبرگان به ازای ۱۶ محور منتخب در جدول ۹ نشان داده شده است.

نتایج بدست آمده از مدل پیشنهادی با مقادیر میانگین نظر کارشناسان مقایسه شده و نتایج حاصل نشان می‌دهد.
 -مقادیر قابل قبول خسارت مستقیم در دو آزاد راه از مقادیر میانگین نظر کارشناسان کمتر است و در سایر موارد تطبیق کامل دارد.
 -مقادیر قابل قبول خسارت مستقیم برای بزرگراه‌ها برای دو شدت سانحه کم و متوسط هم‌خوانی مناسب دارد ولی سطح زلزله با شدت زیاد میان اعداد حاصل با اختلافی همراه است.
 -مقادیر قابل قبول خسارت مستقیم برای راه‌های اصلی مشابه بزرگراه‌ها است .
 -مقادیر قابل قبول خسارت مستقیم برای راه‌های فرعی برای تمامی سطوح زلزله مناسب است .
 -در مجموع مقادیر خطرپذیری قابل قبول خسارت مستقیم بدست آمده در مدل پیشنهادی اعداد مناسبی را نشان می‌دهد. بنابراین در میزان مقادیر پایه و ضرایب اصلاحی خسارت مستقیم نیازی به اصلاح دیده نمی‌شود.

جدول ۹ خطرپذیری قابل قبول خسارت مستقیم (درصد هزینه بازسازی) آزادراه بر مبنای مدل پیشنهادی و نظر کارشناسان خبره

میزان بودجه قابل اختصاص (درصد هزینه) برای بازسازی نسبت به ارزش فعلی راه			توپوگرافی		نام مسیر	شماره مسیر	نوع مسیر
زلزله			درصد در طول راه	نوع توپوگرافی			
تشدید	مقیاس	تشدید					
8.8	22	39	میانگین نظر کارشناسان		قزوین - رشت	1	آزاد راه
6.86	16.1	40	40%	کوهستانی			
3.58	8.41	21	50%	تپه ماهور			
3.27	7.7	19.2	10%	دشت			
4	10	19	میانگین نظر کارشناسان		کاشان - قم	2	آزاد راه
3.98	9.36	23.4	5%	نیمه کوهستانی			
3.25	7.65	19.1	25%	تپه ماهور			
2.97	7	17.5	70%	دشت			
4	8.3	19	میانگین نظر کارشناسان		اصفهان - نطنز	3	آزاد راه
2.67	6.29	15.7	20%	تپه ماهور			
2.44	5.75	14.4	80%	دشت			
5.3	21	39	میانگین نظر کارشناسان		تهران - کرج	4	آزاد راه
3.17	7.45	18.6	36%	تپه ماهور			
2.9	6.82	17	64%	دشت			

نوع مسیر	شماره مسیر	نام مسیر	توپوگرافی		میزان بودجه قابل اختصاص (درصد هزینه) برای بازسازی نسبت به ارزش فعلی راه		
			نوع توپوگرافی	درصد در طول راه	زلزله		
					شدید	متوسط	خفیف
بزرگراه	5	ساری - کردکوی	میانگین نظر کارشناسان		10	9	5
			دشت	100	20.5	9.85	4.11
	6	مشهد - نیشابور	میانگین نظر کارشناسان		18	8.3	4
			نیمه کوهستانی	56	19	9.1	3.79
			تپه ماهور	24	15.1	7.24	3.02
	7	یزد - تاین	میانگین نظر کارشناسان		15	11	6.5
			دشت	100	21.9	10.5	4.39
	8	سمنان - گرمسار	میانگین نظر کارشناسان		27	14	4.3
دشت			100	25.4	12.2	5.09	

نوع مسیر	شماره مسیر	نام مسیر	توپوگرافی		میزان بودجه قابل اختصاص (درصد هزینه) برای بازسازی نسبت به ارزش فعلی راه		
			نوع توپوگرافی	درصد در طول راه	زلزله		
					شدید	متوسط	خفیف
راه فرعی	13	لاهیجان - سیاهکل	میانگین نظر کارشناسان		8.7	5.7	3.7
			کوهستانی	40	61.8	42.9	36.8
			تپه ماهور	40	50.1	25.1	10
			دشت	20	43.7	21.8	8.73
	14	کازرون -	میانگین نظر کارشناسان		23	12	5
کوهستانی			30	61.8	42.9	39.9	

نوع مسیر	شماره مسیر	نام مسیر	توپوگرافی		میزان بودجه قابل اختصاص (درصد هزینه) برای بازسازی نسبت به ارزش فعلی راه		
			نوع توپوگرافی	درصد در طول راه	زلزله		
					شدید	متوسط	خفیف
			نیمه کوهستانی	15	61.8	40.5	16.2
			تپه ماهور	10	54.4	27.2	10.9
			دشت	45	47.4	23.7	9.48
15	ارومیه - سرو		میانگین نظر کارشناسان		22	7.5	6
			تپه ماهور	58	37.7	18.9	7.54
			دشت	42	32.8	16.4	6.57
16	ایلام - پل دختر		میانگین نظر کارشناسان		13	9	5
			کوهستانی	70	61.8	42.9	39.8
			نیمه کوهستانی	20	61.8	40.4	16.2
			دشت	10	47.3	23.6	9.45

نوع مسیر	شماره مسیر	نام مسیر	توپوگرافی		میزان بودجه قابل اختصاص (درصد هزینه) برای بازسازی نسبت به ارزش فعلی راه		
			نوع توپوگرافی	درصد در طول راه	زلزله		
					شدید	متوسط	خفیف
راه اصلی	9	نهبندان - بیرجند	میانگین نظر کارشناسان		18	12	5
			تپه ماهور	25	34.9	20.9	6.98
			دشت	75	31	18.6	6.21
10	بندرعباس - میناب		میانگین نظر کارشناسان		25	16	6.5
			تپه ماهور	20	29	17.4	5.8
			دشت	80	25.8	15.5	5.16
11	اهواز -		میانگین نظر کارشناسان		19	13	6.5

میزان بودجه قابل اختصاص (درصد هزینه) برای بازسازی نسبت به ارزش فعلی راه			توپوگرافی		نام مسیر	شماره مسیر	نوع مسیر
زلزله			درصد در طول راه	نوع توپوگرافی			
متر مربع	متر مربع	متر مربع					
5.99	18	30	100	دشت	زاوهان - خانیق	12	
5	10	22	میانگین نظر کارشناسان				
6.81	20.4	34.1	11	نیمه کوهستانی			
4.92	14.7	24.6	67	تپه ماهور			
4.37	13.1	21.8	22	دشت			

۶- نتیجه گیری

در این تحقیق یک شاخص آسان برای ارزیابی خسارت مستقیم قابل قبول ناشی از زلزله در راه‌ها ارائه گردید تا برای برنامه‌ریزی بهسازی مسیر قبل از وقوع سانحه کار آیی داشته باشد. این شاخص بر اساس درصدی از هزینه بازسازی یک راه آسیب دیده به نسبت کل راه سنجیده شده است. دلیل انتخاب شاخص بدین صورت به جای واحد پولی، در نظر گرفتن ارزش واقعی یک راه و عناصر آسیب پذیر آن بوده است. مشخص گردید که در صورت آسیب به بدنه راه با وقوع یک زلزله با شدت‌های مختلف (خفیف/متوسط، زیاد و خیلی زیاد) به تفکیک هریک از رده‌های عملکرد راه، خسارت به چه میزان در محدوده قابل قبول می‌باشد و در توان جامعه، برای بازسازی قرار می‌گیرد. در این راستا از نقطه نظرات متخصصین مسئول استفاده گردید و مبنای خسارات و آسیب‌های زلزله‌های قبل نیز ملاک کنترل قرار گرفت. این شاخص ابتدا برای یک راه پایه محاسبه گردید و سپس مقادیر حداقل و حداکثر آن با توجه به میزان خسارت زلزله بر اساس سوابق وقوع در ایران و سایر کشورها کنترل گردید. تحلیل اقتصادی پارامترها بر اساس فهرست بهای ساخت راه و ابنیه سال پایه انجام شد. نتایج بررسی نشان داد در محاسبه این شاخص پارامترهایی نظیر توپوگرافی مسیر، وجود ابنیه مهم

شامل پل-تونل و تقاطع، وجود مسیر جایگزین، اهمیت مبدأ و مقصد بر میزان این شاخص اثر دارند. همچنین دامنه هریک در برآورد مقادیر برای یک راه واقعی مشخص شده است. محاسبه مقادیر برای زلزله‌های با شدت مختلف و درجه عملکرد مختلف راه‌ها صورت گرفته است.

۷- سپاسگزاری

نتایج این مطالعه بخشی از تحقیق صورت پذیرفته تحت عنوان "تعیین معیارهای خطر پذیری قابل قبول در شبکه حمل و نقل جاده‌ای در مقابل سوانح طبیعی" در پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و شهرسازی در سال ۱۳۹۰ است. تحقیق مورد اشاره در سال ۱۳۹۹ با افزودن آمار و مطالعات مرتبط بروز رسانی گردید و با شماره نشر گ- ۱۰۰۰ انتشار یافت. بخشی از یافته آن تحقیق با موضوع خسارت مستقیم ناشی از زلزله بر شبکه حمل و نقل جاده‌ای در این مقاله ارائه شده است. لذا، از پشتیبانی مالی و معنوی پژوهشکده حمل و نقل مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی تقدیر و تشکر می‌گردد.

۸-مراجع

- Response Planning - 1999 Kocaeli and Duzce, Turkey, Earthquake (2002). Association of Bay Area Governments, March.
- Lin Junqi, Li Zuohua, Hu Mingyi Post-Earthquake Field Loss Evaluation of Earthquake Hazard, 2004.
https://www.eeri.org/images/archived/wp-content/uploads/China/lin_jq_iem.pdf
- Lindell, M. K., & Prater, C. S. (2003). Assessing Community Impacts of Natural Disasters. *Natural Hazards Review*. doi.org/10.1061/(asce)1527-6988(2003)4:4(176)
- Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model HAZUS-MH MR3-Technical Manual (2003). [Performance]. *Department of Homeland Security Emergency Preparedness and Response Directorate FEMA Mitigation Division*.
- National Research Council (1999). *The Impacts of Natural Disasters: A Framework for Loss Estimation*. Washington, DC: The National Academies Press.
 doi.org/10.17226/6425
- Piarc Technical Committee 3.2 Risk Management for Roads (2010). *Towards Development of a Risk Management Approach*. World Road Association. La Défense Cedex, France.
- Rose, A., & Lim, D. (2002). Business interruption losses from natural hazards: Conceptual and methodological issues in the case of the northridge earthquake. *Environmental Hazards*.
 doi.org/10.3763/ehaz.2002.0401
- S.E. Chang, N. Nojima (1998). Measuring Lifeline System Performance: Highway Transportation Systems in Recent Earthquakes. *In 6th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*. Seattle, USA.
- Sorensen, Paul, Martin Wachs, Endy M. Daehner, Aaron Kofner, Liisa Ecola, Mark Alan Hanson, Allison Yoh, Thomas Light, and James Griffin (2008). *Moving Los Angeles: Short-Term Policy Options for Improving Transportation*. Santa Monica. CA: RAND Corporation.
<https://www.rand.org/pubs/monographs/MG748.html>. Also available in print form.
- U. Gupta (2001). *Earthquake Loss Estimation Including Transportation Network Damage*. Massachusetts Institute of Technology 2001, Massachusetts, June.
- مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، بخش لجستیک، مدیریت سیتیم و بحران (۱۴۰۱). تعیین معیارهای خطر پذیری قابل قبول در شبکه حمل و نقل جاده‌ای در مقابل سوانح طبیعی. شماره نشر: گ-۱۰۰۰.
- ناصراسدی کیارش (۱۳۸۵). مدل برآورد خطرپذیری لرزه‌ای در صنایع، رساله دکتری. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- پوریاری مقصود، ناصراسدی کیارش، حسنی نعمت، ایار پویان. (۱۴۰۰). تعیین خطرپذیری قابل قبول با ملاحظه خسارت غیر مستقیم قابل قبول ناشی از حادثه زلزله در شریان حیاتی (حمل و نقل جاده‌ای). پژوهشنامه حمل و نقل. سال هجدهم دوره ۴، شماره ۶۹.
- Anbazhagan, P., Srinivas, S., & Chandran, D. (2012). Classification of road damage due to earthquakes. *Natural Hazards*. doi.org/10.1007/s11069-011-0025-0
- Brookshire, D. S., Chang, S. E., Cochrane, H., Olson, R. A., Rose, A., & Steenson, J. (1997). Direct and indirect economic losses from earthquake damage. *Earthquake Spectra*. doi.org/10.1193/1.1585975
- California Transportation Center, Univ. of California, Berkeley, Calif. Boisvert, R. (1992). *Indirect economic consequences of a catastrophic*.
- D. Shaw (2000). Emergency Relief Measures and Rehabilitation Policies in the Aftermath of the 921 Chi-Chi (Taiwan) Earthquake. *in EuroConference on Global Change and Catastrophe Risk Management*. Laxenburg, Austria, Austria, July 6-9.
- Enke, D. L., Tirasirichai, C., & Luna, R. (2008). Estimation of Earthquake Loss due to Bridge Damage in the St. Louis Metropolitan Area. II: Indirect Losses. *Natural Hazards Review*.
 doi.org/10.1061/(asce)1527-6988(2008)9:1(12)
<https://www.tinn.ir/fa/tiny/news-172296,1397>.
 - <https://irna.ir/xjGDsP>.
- Kilanitis, I., & Sextos, A. (2019). Impact of earthquake-induced bridge damage and time evolving traffic demand on the road network resilience. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. doi.org/10.1016/j.jtte.2018.07.002
- Lesson for Local Governments on Hazard Mitigation Strategies and Human Needs

Determination of Acceptable Risk by Considering Direct Damage caused Earthquake Incident in Lifeline (Road Transport)

Maghsoud Pouryari, Assistant Professor, Road, Housing & Urban Development Research Center (BHRC), Tehran, Iran.

Kiarash Nasserhasadi, Associate Professor, Department of Civil Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

E-mail: mpooryari@yahoo.com

Received: June 2024- Accepted: September 2024

ABSTRACT

Direct damage calculation is one of the main steps in determining the risk of road transport network against unexpected events such as earthquakes. The appropriate measure of the amount of damage is provided; the cost of improvement is proportional. Setting less than risk acceptable will increase future losses and setting more than needed, although it increases safety but also increases costs. In this research, based on the amount of possible damage to a road and infrastructures due to the earthquake in terms of the percentage of replacement (in case of complete damage, the replacement cost is 100 units) the amount of direct damage has been investigated. Earthquake intensity is considered in three categories: severe, moderate and mild according to different return periods, and the performance of the road is considered in four categories: freeway, highway, First Rate main road and second Rate Main Road. In this regard, based on Opinions of experts and officials, a method for calculating direct damage is provided and by implementing the method in 14 cases, the necessary validation was done. The results showed that among the effective parameters, four parameters: topography, the road infrastructures, the alternative roads or without it and the importance of the origin-destination had More impact on the amount of damage. Among these, the topography has the greatest impact and its effect is more severe by changing the degree of road performance from the freeway to the other roads.

Keywords: Direct Damage, Earthquake, Road Transport, Risk