تعیین خطرپذیری قابل قبول با ملاحظه خسارت غیرمستقیم 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، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه رنجان، زنجان، ایران
نعمت حسنی، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
پویان ایار، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mpooryari@yahoo.com

دریافت: ١٤٠٠/٠٢/١٨- پذیرش: ١٤٠٠/٠٧/١٥
صفحه ٤٠-٢٥

چکیده

ارزیابی خسارت یکی از مراحل اصلی تعیین میزان خطرپذیری شبکه حمل ونقل جاده ای در برابر حوادث غیرمترقبه نظیر زلزله است. بر اساس میزان افزایش خسارات موجود راهکار کاهش خسارت ارائه می گردد. هر اندازه مقیاس مناسبی از میزان خسارت ارائه گردد، 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 می برد.در این تحقیق بر اساس میزان خسارات محتمل یک راه و ابنیه موجود در آن دراثر زلزله و خطرات ثانویه آن بر حسب میزان زمان بازیابی اولیه و زمان بازیابی نهایی مبنای محاسبه میزان خسارت غیر مستقیم قابل قبول قرار گرفت. شدت زلزله در سه رده شدید، متوسط و خفیف در نظر گرفته شده است و میزان عملکرد راه در چهار رده آزادراه، بزرگراه، راه اصلی و فرعی منظور شده است. در این راستا بر اساس دو معیار اثرات اجتماعی و اقتصادی که شامل اخذ نظرات متخصصین و مسئولین به همراه بررسی میزان خسارت وارده بر شبکه حمل ونقل در حوادث قبلی، روشی جهت محاسبه خسارات غیرمستقیم قابل قبول ارائه می‌گردد و با پیاده سازی روش در ١۶ مورد انواع راه، اعتبار سنجی لازم به عمل آمد. نتایج نشان داد از میان پارامترهای تاثیرگذار توپوگرافی مسیر، میزان ترافیک عبوری، اهمیت راه، وجود ابنیه مهم، فصل سانحه، اهمیت شهرهای مبدا و مقصد، وجود مراکز صنعتی مهم در مسیر، ترانزیت بودن مسیر راه،وجود مسیر جایگزین، وجود تجهیزات ویژه در راهدار خانه برای مدیریت بحران، افزایش زمان سفر محور (ساعت) در زمان بازیابی اولیه، افزایش طول مسیر (کیلومتر) در زمان بازیابی نهایی بر میزان خسارت غیر مستقیم قابل قبول تاثیرگذار بوده که از این میان وضعیت توپوگرافی و مسیر جایگزین بیشترین تاثیر را دارا می باشد.

واژه‌های کلیدی: حمل ونقل جاده‌ای، خسارت غیرمستقیم، خطرپذیری، زلزله

١-مقدمه

زلزله در زمره سوانحی است که خسارات غیر مستقیم زیادی را در شبکه حمل و نقل ایجاد می‌نماید. این خسارات شامل اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی است. در نتیجه تبعات بلند مدتی مانند توقف کسب و کار و درآمد و آسیب‌های وارده بر سلامت و کیفیت زندگی افراد بوجود می‌آید. بعد از وقوع زلزله‌های مهم و تاثیر آن بر شریان‌های حیاتی و اثر سوانح بر آنها، محققان در خصوص اثرات زلزله بر حمل و نقل توجه بیشتری نمودند. خطرپذیری مفهومی است که برای توصیف تهدید یک فاجعه از لحاظ احتمال وقوع و پیامدهای آن به کار می‌رود (Kiremidjian and Basoz, 1996). تعریف خطر پذیری لرزه‌ای عبارتند از: احتمال اینکه تبعات اجتماعی و یا اقتصادی زلزله بیشتر یا مساوی میزان از قبل تعیین شده ای در یک یا چند محل و یا یک منطقه مشخص در طول زمان مشخص بشود (Nasserasadi, 2005). بر اساس پیشنهاد کمیته UNDRO در جولای ١٩٨٠، میزان کمی خطرپذیری را بصورت حاصل ضرب میزان خطر در میزان آسیب‌پذیری و

میزان واحد ارزش آسیب‌ها بیان کرد(UNDRO, 1980). در تعریف دیگری که توسط برنامه استراتژی برای کاهش بلایای سازمان ملل (ISDR) انجام شده است، خطرپذیری عبارتند از: احتمال تبعات ناخوشایند و یا آسیب‌های مورد انتظار (جان افراد، زخمی شدن افراد، هزینه زندگی، متوقف شدن فعالیت‌های اقتصادی و یا آسیب‌های زیست محیطی) که دراثر اندرکنش بین طبیعت و انسان بوجود می‌آید با توجه به میزان خطر، آسیب‌پذیری و ظرفیت برآورد می‌شود (UNISDR, 2017). بنابرین ملاحظه می‌گردد، میزان آسیب یا خسارت بخش مهمی از خطرپذیری را تشکیل می‌دهد. خسارات غیرمستقیم آثار غیر مستقیم عملکرد آن سانحه بوده و نتیجه آن، توقف"گردش" اقتصادی ناشی از خسارات مستقیم در طول زمان و یا خسارات ناشی از "عدم النفع" واحد اقتصادی بعد از زلزله می باشد. در اثر آسیب‌های وارده به راهها، خسارات غیر مستقیم دیگری نیز بجز خسارات اقتصادی وارد می‌شود که از جمله آن می‌توان به خسارات زیست محیطی، فرهنگی وسیاسی اشاره نمود. هر یک از این خسارات، با توجه به میزان و نفوذ شبکه حمل و نقل می‌تواند متفاوت باشد. خسارات غیر مستقیم ناشی از سوانح، عموماً بصورت خسارات اقتصادی قابل توصیف است. تاثیر اقتصادی در عدم عملکرد سیستم حمل ونقل حاکم می‌باشد. میزان خسارات وارده به شبکه در این حالت با میزان عدم عملکرد سیستم و زمان آن اندازه‌گیری می‌شود. میزان احتمال خسارات قابل قبول نیز بصورت احتمالاتی بیان می‌باشد، این میزان، برای خسارت‌های زیاد بسیار کمتر از احتمال قابل قبول خسارات‌های کم می‌باشد. در صورتی‌که‌احتمال میزان خسارات برآورد شده کمتر از میزان ارائه شده در حد قابل قبول باشد، آن را می‌پذیریم و مقادیر بیش از آن غیر قابل قبول است. در مطالعه‌ای که در خصوص مقاوم سازی شبکه حمل و نقل در منطقه لس‌انجلس ایالت کالیفرنیای ایالات متحده انجام شده است، ملاحظه شده است که میزان خسارات غیر مستقیم می‌تواند بین ۲-۵ برابر خسارات‌های مستقیم باشد(Barkley ,2009). مطابق UN / ISDR (2009)، خطر قابل قبول در اینجا به عنوان سطح خسارات احتمالی تعریف شده است که یک فرد ، یک جامعه یا دولت آنها را قابل قبول یا قابل تحمل می‌داند. این شامل خسارات احتمالی در شرایط اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی، فنی و زیست محیطی است. اندازه‌گیری خطر قابل قبول موجب می‌شود دولت و جامعه اقدامات لازم را برای به حداقل رساندن خطر احتمالی انجام دهند. مشکل این است که افراد، جوامع و دولت بسته به تجربه، دانش و اطلاعاتی که می‌گیرند، برداشت‌های مختلفی از آنچه قابل قبول است دارند. دولت با تخصص خود موظف است اطلاعات و مشاوره‌ای را در مورد خطرات پیش روی افراد و جوامع ارائه دهد. به عنوان یک تصمیم گیرنده، دولت پس از مشورت با کارشناسان و شهروندان ریسک قابل قبول را تعیین می‌کند. علاوه بر این، دولت‌ها همچنین در حین و پس از یک فاجعه مسئولیت‌هایی مانند انجام اقدامات اضطراری و تأمین هزینه‌های بازسازی را دارند. دولت‌ها، جوامع و افراد با گزینه‌های اقدام داوطلبانه و غیر ارادی روبرو هستند و همچنین ممکن است درجات مختلفی را بپذیرند. لازم به ذکر است که تعریف ریسک قابل قبول ذاتاً قابل اطمینان نیست. این شامل عدم اطمینان در داده‌های مکانی، اطلاعات خطرات و پیش بینی‌های آینده است. این یک مسئله تصمیم‌گیری است که شامل تعیین حقایق مهم، ارزشها و پیش بینی واکنش‌های انسانی به خطرات است . (Fischhoffet al.1981) علاوه بر این، ارزیابی فنی از وضعیت داده‌های تاریخی و نمونه‌های قبلی به عنوان پایه‌ای برای پیش‌بینی نیازهای احتمالی آینده و ابداع راه حل‌ها نیاز است. تصمیمات مبتنی بر عدم اطمینان خطرات خاص خود را به همراه دارد که ممکن است منافع کوتاه مدت بیش از ضررهای بلند مدت و کمتر باشد. خطر پیش بینی شده با گذشت زمان و با انواع مختلف شرایط، احتمالاً تغییر می‌کند که عامل دیگری بر عدم اطمینان ذاتی ریسک است

۲-پیشینه تحقیق

در سال ۱۷۰۳ قانون اعداد بزرگ توسط برنولی فرمول بندی شد. که محاسبه احتمال وقوع یک واقعه را ممکن ساخت و به عنوان اولین قدم در محاسبه عدم قطعیت شناخته شد و پایه‌ای برای صنعت بیمه گردید(Aase KK,2001). با توجه به پیشرفت‌های صورت گرفته در امر مهندسی عمران، درحال حاضر می‌توان تاسیسات را با توجه به عملکرد مورد نظر از آنها در سوانح طراحی و بهسازی نمود و بر این اساس، شناسایی عملکرد مورد قبول آنها در سوانح از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. از طرف دیگر، با توجه به خصوصیات شبکه، انجام فعالیت‌های فیزیکی مانند مقاوم‌سازی، لزوماً در

افزایش سطح عملکرد شبکه موثر نبوده و راهکارهای مدیریتی بعد از سوانح می‌تواند بسیار موثر باشد (Lemarie,2005). خطرپذیری قابل قبول را می‌توان به میزانی از خطرپذیری در نظر گرفت که می‌تواند به یک مجموعه و یا جامعه وارد شود بدون اینکه تغییری در عملکرد، ماهیت و یا ساختار آن ایجاد کند (Murphy and Gardoni, 2008). موسسهٔ استاندارد کانادا در دو کلاس ایمنی، میزان خطرپذیری قابل قبول برای طراحی ساختمان‌ها و تاسیسات را ارائه داده است (CSA.1997). سازمان ارزیابی ایمنی دانمارک، پیشنهاد می‌دهد که کمترین مقدار قابلیت اعتماد مورد نظر باید مانند ساختمان‌های خاص که خوب ساخته شده‌اند، تنظیم شود (DNV, 2016). سازمان بین‌المللی استانداردسازی ایزو پیشنهاد می‌نماید که قابلیت اعتماد مورد نظر برای جلوگیری از فرو ریختن و ویرانی ساختمان‌ها باید بصورت تقریبی، به مکان آسیب دیدگی یا فاجعه و مصیبت مرگ و میر به عنوان نتیجهٔ فروریختگی و ویرانی ساختمان، بستگی داشته باشد. احتمال خرابی مجاز بر اساس احتمال مرگ و میر سالیانه در اثر خرابی تعیین می‌شود(ISO,2015). بانرجی و شینوزوکا میزان خطرپذیری قابل قبول و یا خدمت رسانی قابل قبول شبکه‌های شریان‌های حیاتی را برای مرحله بهسازی و بازیابی بعد از زلزله بیان نموده‌اند(Banerjee, Shinozuka , 2009). در مطالعات Hazus، خطر پذیری قابل قبول بر مبنای تعداد روز مورد قبول برای بازیابی انواع راهها، پلها و تونلها با توجه شدت زلزله تعیین گردیده است.این مقادیر برای حالت آسیب خفیف، متوسط و شدید به ترتیب ۰,۹، ۲,۲، و ۲۱ روز تعیین شده است.(Hazus, 2003) .

در حال حاضر، تعیین میزان خطرپذیری پذیری قابل قبول در انواع ابنیه و تاسیسات مهم از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. این مطالعات در قالب مطالعات تعیین ریسک قابل قبول از زمان روش تعیین ریسک و مدیریت آن شروع شد و برای بسیاری از سازه‌ها و تجهیزات برای بارهای سرویس و بهره برداری عادی تدوین شده است. روند شناسایی و تعیین خطرات و کاهش آن برای سازه‌ها و تاسیسات شناسایی شده و پیاده سازی می‌شود ولی این کار در قالب روش مدون مدیریت خطرپذیری انجام نمی‌گردد. اشکال عمده روند حاضر در این است که محدوده قابل قبول برای کاهش تاثیر خطرات مشخص نشده است که این امر باعث عدم شفافیت در پیاده‌سازی برنامه‌های مذکور شده و امکان بررسی راهکارهای موازی برای مدیریت خطرپذیری و یا مدیریت مالی آنها را از بین برده است. در این راستا، پیاده سازی روش مدیریت خطرپذیری بجای روش‌های موجود باعث صرف جویی در هزینه و زمان شده و باعث افزایش کیفیت برنامه‌های اجرایی می‌شود.از سوی دیگر به همان اندازه که میزان قابل قبول ریسک مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای سازه‌ها و تاسیسات اخیرا در بسیاری از مطالعات مورد توجه قرار گرفته است، کمتر به موضوع سیستم حمل و نقل توجه شده است. هدف از انجام این تحقیق، تعیین معیار خطرپذیری برای شبکه حمل و نقل جاده‌ای و روش تعیین میزان خطرپذیری قابل قبول بر مبنای اطلاعات موجود و سطح عملکرد مطلوب آن می باشد. برآورد خطرپذیری بطور کمی مورد نظر بوده است و بر این اساس، روش‌های برآورد آن اشاره شده و بر اساس آن، خطرپذیری قابل قبول تعیین می‌گردد. برای تعیین راهکاری‌های موثر بهسازی و افزایش ایمنی و عملکرد تاسیسات، استفاده از معیاری برای سنجش عملکرد لازم می‌باشد که خطرپذیری و یا ریسک قابل قبول می‌باشد. این میزان باید هم عملکرد کلی شبکه و هم ایمنی جزئی اجزای مختلف را توامان تامین کند. لذا، برقراری ارتباط منطقی بین این دو جزء از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در این راستا تدوین معیاری با در نظر گرفتن دانش متخصصان، تحلیل اقتصادی زلزله گذشته بر شبکه حمل ونقل جاده‌ای برای اندازه‌گیری خطرپذیری‌های جزئی و کلی در شبکه حمل و نقل جاده‌ای، مورد نظر می‌باشد.

۳-ارایه روش

در این تحقیق به منظور تعیین خسارت غیر مستقیم قابل قبول، برمبنای روش دلفی و پرسش از خبرگان، نظر متخصصین و مسئولین اخذ شده است. از آنجا که خسارت غیر مستقیم ناشی از عدم عملکرد یک سیستم بر یک مجموعه می باشد بنابراین معیار زمان برای سنجش آن پذیرفته شد. تعداد روز مورد قبول برای بازیابی سریع و تعداد هفته مورد قبول برای بازیابی نهایی از دیدگاه متخصصین سنجیده شد. مبنای تحلیل نتایج نظرسنجی بوده و جهت کنترل مقادیر حدی، میزان زمان بازیابی سریع و نهایی در ادبیات موضوع و همچنین میزان زمان بازگشایی در حوادث زلزله های قبلی رخ داده مقایسه گردید.

۳-۱- معرفی معیارهای منتخب

۳-۱-۱-شدت سانحه

با افزایش شدت سانحه طبیعی، خسارات وارده نیز افزایش می یابد. این امر در بین متخصصین و جامعه شناخته شده بوده و قابل قبول می‌باشد. به منظور تعیین شدت‌های زلزله، از سطوح قابل قبول در مدارک فنی طراحی راه‌ها استفاده شده است. بر این اساس، احتمال افزایش یا کاهش وقوع سانحه با دوره بازگشت زلزله مرتبط گردیده است. طبقه‌بندی صورت گرفته بدین شرح است: زلزله خفیف تا متوسط: زلزله‌ای با احتمال وقوع ۵۰ درصد در۵۰ سال می‌باشد که دوره بازگشت آن ۷۵ سال می باشد. ولی با توجه به اینکه در بیشتر مطالعات دوره بازگشت ۱۰۰ سال معمول می‌باشد، این مقدار برای مطالعات درنظر گرفته شده است. این شدت از سانحه بسیار محتمل بوده و در عمر راه حداقل یک بار رخ می‌دهد. زلزله شدید: زلزله با دوره بازگشت ٤٧٥ سال است که احتمال وقوع آن در هر ۵۰ سال ۱۰٪ می‌باشد. این شدت در طول عمر مفید می‌تواند رخ دهد و عموماً برای طراحی از آن استفاده می شود. زلزله بسیار شدید: زلزله با دوره بازگشت ۲٤۷۵ 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 قرارگیرد.

۳-۱-۲- زمان بازیابی

در این مطالعه، میزان خسارات غیر مستقیم برحسب زمان بازیابی تعریف گردید. بازیابی سریع یا موقتی برحسب روز و بازیابی نهایی برحسب هفته مشخص شده است.

۳-۱-۳- طبقه بندی راه

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

۳-۱-٤- راه پایه

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

۳-۱-۵- سایرپارامترهای تاثیرگذار

پارامترهای موثر در این تحقیق با نظر متخصصین و مطالعات قبلی انتخاب شد. اثر توپوگرافی، ابنیه موجود در مسیر، مسیر جایگزین، اهمیت شهرهای مبدأ و مقصد، میزان ترافیک عبوری، اهمیت راه از نظر مسافری و یا باری، فصل سانحه، وجود مراکز صنعتی مهم در مسیر، ترانزیت بودن مسیر راه، وجود تجهیزات ویژه در راهدارخانه برای مدیریت بحران از پارامترهای کلیدی بوده که با نظر خبرگان نهایی شد. میزان اهمیت نسبی هر یک از عوامل مؤثر نسبت به یکدیگر با تنظیم پرسشنامه مطابق جدول ۱ مورد سنجش قرار گرفته است. این عوامل بصورت ضریب وزنی بین ۱-۱۰ بیان شده است.ضمنا میزان اهمیت هر یک از پارامترها در ۵ رده اهمیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی گردید.

۳- ۲- 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 سه طریق نامه و یا رایانامه (پست الکترونیکی) ارسال شده است و یا به صورت حضوری مصاحبه شده است. جامعه هدف شامل دو دسته "مسئولین و متخصصین" و "محققین و پژوهشگران" تقسیم‌بندی 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.

۳-۳- مدل پیشنهادی

روش ارایه شده وفق رابطه ۱و ۲ بوده که در ادامه تشریح می‌شود:

$$ARIDT = BsIT.\beta_1.\beta_2.\beta_3.\beta_4.\beta_5.\beta_6.\beta_7.\beta_8.\beta_9.\beta_{10}.\beta_{12} \quad (۱)$$

$$ARIDC = BsIC.\beta_1.\beta_2.\beta_3.\beta_4.\beta_5.\beta_6.\beta_7.\beta_8.\beta_9.\beta_{10}.\beta_{11} \quad (۲)$$

در این رابطه؛ $BsIT$ برابر مقدار پایه خسارت غیر مستقیم قابل قبول معیار زمان بازیابی اولیه راه در حالت پایه و $BsIC$ برابر مقدار پایه خسارت غیر مستقیم قابل قبول معیار زمان بازیابی نهایی راه در حالت پایه است.این مقادیر با توجه به نتایج نظرسنجی مطابق جداول ۲ ارایه شده است. β_1 ضریب اصلاح مربوط به توپوگرافی، β_2 ضریب اصلاح مربوط به میزان ترافیک عبوری، β_3 ضریب اصلاح مربوط به درصد عبور وسائط نقلیه، β_4 ضریب اصلاح مربوط به وجود ابنیه مهم، β_5 ضریب اصلاح مربوط به فصل سانحه، β_6 ضریب اصلاح مربوط به اهمیت شهرهای مبدأ و مقصد، β_7 ضریب اصلاح مربوط به وجود مراکز صنعتی مهم در مسیر، β_8 ضریب اصلاح مربوط به ترانزیتی بودن راه، β_9 ضریب اصلاح مربوط به وجود مسیر جایگزین، β_{10} ضریب اصلاح مربوط به وجود تجهیزات ویژه در راهدارخانه، β_{11} ضریب اصلاح مربوط به افزایش زمان سفر و β_{12} ضریب اصلاح مربوط به افزایش طول مسیر است. برای بدست آوردن ضریب اصلاح افزایش زمان سفر و افزایش طول مسیر (β_{12} و β_{11}) با توجه به رابطه غیر خطی شکل‌های ۱و ۲ ارایه شده است. در این شکل علاوه بر مشخص نمودن مقادیر دقیق، تابعی بر مقادیر برازش گردیده که می‌توان از آن جهت محاسبه ضریب اصلاح استفاده نمود. ضرایب اصلاحی، جهت تبدیل زمان‌های بازیابی راه حالت پایه به راه موردنظر می‌باشد. این ضرایب بر اساس مطالعات اقتصادی و به همراه تحلیل اهمیت نسبی با نظر خبرگان تعیین شده است. مقادیر این ضریب در جدول ۳ ارایه شده است. $ARIDT$ به عنوان شاخص خطرپذیری قابل قبول زمان بازیابی اولیه و همچنین میزان $ARIDC$ به عنوان شاخص خطرپذیری قابل قبول زمان بازیابی نهایی است و از روابط

$$ARIDT_{min} \le ARIDT \le ARIDT_{Max} \quad (۳)$$

و (٤) به منظور تبعیت از محدوده بیشینه و کمینه تعریف شده تبعیت می‌کنند.

$$ARIDT_{min} \le ARIDT \le ARIDT_{Max} \quad (۳)$$

$$ARIDC_{min} \le ARIDC \le ARIDC_{Max} \quad (٤)$$

به منظور تعیین دامنه، ابتدا وفق جدول ٤ و٥ نظر سنجی به ازای هر پارامتر از محدوده اثر خیلی کم تا خیلی زیاد (٥ محدوده) به عمل آمد. سپس با در نظر گرفتن دو مقدار احتمال وقوع ۲۰ و ۸۰ از نظر متخصصین میزان مقادیر حداکثر و حداقل انتخاب می‌شود. منحنی احتمالاتی زمان بازیابی (اولیه و نهایی) با توجه به نوع راه در شکل ۳ و٤ نشان داده شده است.

جدول ۱. مقدار میانگین نظرات جمع‌آوری شده در خصوص میزان تأثیر عوامل مختلف

		خیلی کم (کمتر از ۱۰٪)	کم (۳۰٪ – ۱۰٪)	متوسط (۵۰٪ – ۳۰٪)	زیاد (۸۰٪ – ۵۰٪)	خیلی زیاد (بیش از ۸۰٪)
اثر توپوگرافی	کوهستانی	٪۲,۹	٪۰,۰	٪۸,٦	٪۳٤,۳	**٪٥٤,۳**
	نیمه کوهستانی	٪۲,۹	٪۸,٦	٪٤۰,۰	**٪٤٥,۷**	٪۲,۹
	تپه ماهور	٪۱٤,۳	**٪٥٤,۳**	٪۲۸,٦	٪۲,۹	٪۰,۰
اثر میزان ترافیک عبوری	٪۱٥	٪۲۲,۹	**٪٤٥,۷**	٪۲٥,۷	٪٥,۷	٪۰,۰
	٪٥۰	٪۲,۹	٪۱۷,۱	**٪٤۸,٦**	٪۳۱,٤	٪۰,۰
	٪۸٥	٪۰,۰	٪٥,۷	٪۲۰,۰	**٪٥۱,٤**	٪۲۲,۹
	ترافیک مضاعف تعطیلات	٪۳,۲	٪۳,۲	٪۱٦,۱	٪۲٥,۸	**٪٥۱,٦**
اهمیت راه	از لحاظ مسافری	٪۰,۰	٪۱۱,۸	**٪۳۸,۲**	**٪۳٥,۳**	٪۱٤,۷
	از لحاظ کالا	٪۰,۰	٪۱۱,۸	**٪٥۰,۰**	٪۲۹,٤	٪۸,۸

وجود ابنیه مهم	پل و تونل	٪٢,٩	٪٠,٠	٪١١,٤	٪٤٠,٠	**٪٤٥,٧**
	تقاطع با مسیرهای دیگر	٪٠,٠	٪٥,٧	٪٣٧,١	**٪٤٥,٧**	٪١١,٤
تاثیر فصل	بهار	٪٢٠,٦	٪٢٠,٦	**٪٣٨,٢**	٪١٤,٧	٪٥,٩
	پاییز	٪٣,٠	٪١٨,٢	**٪٥١,٥**	٪٢٧,٣	٪٠,٠
	زمستان	٪٠,٠	٪٥,٧	٪٢٢,٩	**٪٤٢,٩**	٪٢٨,٦
اهمیت شهرهای مبدا و مقصد		٪٠,٠	٪٨,٦	**٪٤٠,٠**	٪٣١,٤	٪٢٠,٠
وجود مراکز صنعتی مهم در مسیر		٪٥,٧	٪٥,٧	**٪٤٢,٩**	٪٣٧,١	٪٨,٦
ترانزیت بودن مسیر راه		٪٢,٩	٪٨,٦	٪١٧,١	**٪٣٤,٣**	**٪٣٧,١**
وجود مسیر جایگزین		٪٢,٩	٪٥,٧	٪٥,٧	**٪٤٥,٧**	٪٤٠,٠
وجود تجهیزات ویژه در راهدار خانه برای مدیریت بحران		٪٢,٩	٪٥,٧	٪٢٥,٧	**٪٤٠,٠**	٪٢٥,٧

جدول٢. معرفی ضرایب اصلاح و متغیرهای دخیل در آن

پارامتر	معرف	متغیرهای تاثیر گذار	مقدار برای بازیابی اولیه	مقدار برای بازیابی نهایی	توضیحات
β_1	اثر توپوگرافی	کوهستانی،نیمه کوهستانی،تپه ماهور و دشت	مقادیر ضریب به ترتیب برابر ١,١١٢،١,٠٧٤ ، ١,٠٣٧١و ١به ترتیب برای شرایط توپوگرافی است.	مقادیر ضریب به ترتیب برابر ١,١٤٥،١,٠٩٧و ١,٠٤٨ ١وبه ترتیب برای شرایط توپوگرافی است.	
β_2	اثر میزان ترافیک عبوری	نسبت حجم به ظرفیت راه	مقادیر برحسب نسبت حجم به ظرفیت برابر ١٥٪، ٥٠٪، ٨٥٪ و ١ به ترتیب ٠,٥، ٠,٥٨٨، ١، ٣ است.	مقادیر برحسب نسبت حجم به ظرفیت برابر ١٥٪، ٥٠٪، ٨٥٪ و ١ به ترتیب ٠,٥، ٠,٥٨٨، ١، ٣ است.	
β_3	اثر درصد عبور وسائل نقلیه		١,١٢٩	١,١٦٣	
β_4	اثر ابنیه مهم		١,٢٣٩	١,٢٧٧	در صورت عدم وجود ابنیه فنی این ضریب برابر یک است.
β_5	اثر فصل سانحه	فصلهای چهارگانه	مقادیر ضریب برای فصل بهار،تابستان،پاییز و زمستان به ترتیب برابر ١,٠١، ١، ١,٠١و ١,٠١٩ است.	مقادیر ضریب برای فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب برابر ١,٠٢٥، ١، ١,٠٢٥و ١,٠٥٠ است.	
β_6	اثر اهمیت شهرهای مبدأ و مقصد	دارای اهمیت خیلی زیاد تا کم	مقادیر ضریب برای اهمیت خیلی زیاد،زیاد،متوسط،کم و خیلی کم به ترتیب برابر ٠,٩٥٩، ٠,٩٧٩، ١,٠و ١,٠٠٥ و ١,٠٠٩ است.	مقادیر ضریب برای اهمیت خیلی زیاد،زیاد،متوسط،کم و خیلی کم به ترتیب برابر ٠,٩٥٧، ٠,٩٧٨، ١,٠و ١,٠١٢ و ١,٠٢٥ است.	طبقه بندی اهمیت بر اساس جمعیت شهر است.
β_7	اثر وجود مراکز صنعتی مهم در مسیر راه		٠,٨٥٣	٠,٨٥٣	در صورت عدم وجود مراکز صنعتی این ضریب برابر یک است.

β_8	اثر ترانزیتی بودن راه		۰.۹۹٦	۰.۹۹٦	در صورت عدم ترانزیتی بودن راه این ضریب برابر یک است.
β_9	اثر وجود مسیر جایگزین		۱.۳۳٥	۱.۳۷٥	در صورت عدم راه جایگزین این ضریب برابر یک است.
β_{10}	اثر تجهیزات ویژه راهدارخانه		۰.۸٥۳	۰.۸٥۳	در صورت عدم وجود تجهیزات این ضریب برابر یک است.
β_{11}	اصلاح افزایش زمان سفراثر		وفق نمودار شکل بدست می‌آید.	وفق نمودار شکل بدست می‌آید.	
β_{12}	اصلاح افزایش طول مسیر		وفق نمودار شکل بدست می‌آید.	وفق نمودار شکل بدست می‌آید.	

جدول ۳. ضرایب اصلاح مقادیر پایه برای محاسبه زمان بازیابی اولیه و نهایی

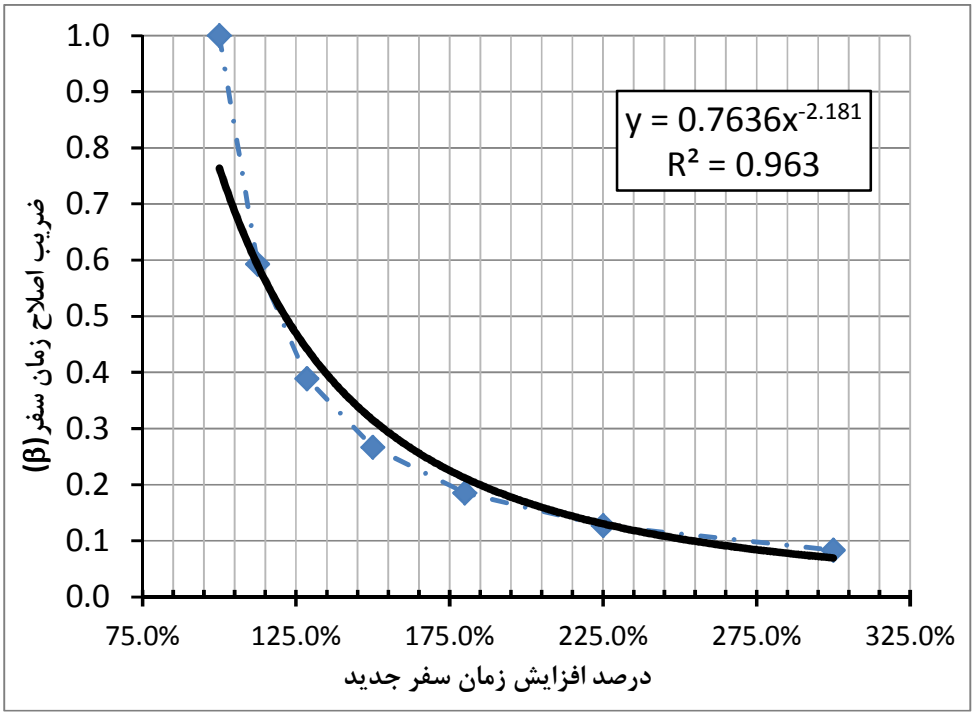
نوع راه	آزادراه			بزرگراه			راه اصلی			راه فرعی		
شدت زلزله	متوسط	شدید	بسیار شدید	متوسط	شدید	بسیار شدید	متوسط	شدید	بسیار شدید	متوسط	شدید	بسیار شدید
زمان بازیابی اولیه (روز)	۱,۱۱	۲,٤۲	٥,٥۲	۱,٦۳	۳,٤٤	۷,٥۸	۱,۸۷	٤,۱۸	۹,۸٤	۲,۱	٤,٥۸	۱۰,٤۸
زمان بازیابی دائم (هفته)	۲,٤۳	٥,٥۲	۱۳,۲	۲,٦۷	٥,۹٤	۱۳,۸۹	۳,٤۸	۷,٤٥	۱٦,٦۷	۳,٥۸	۷,۷۷	۱۷,٦۹

جدول٤. بیشینه و کمینه معیار زمان بازیابی اولیه (روز)

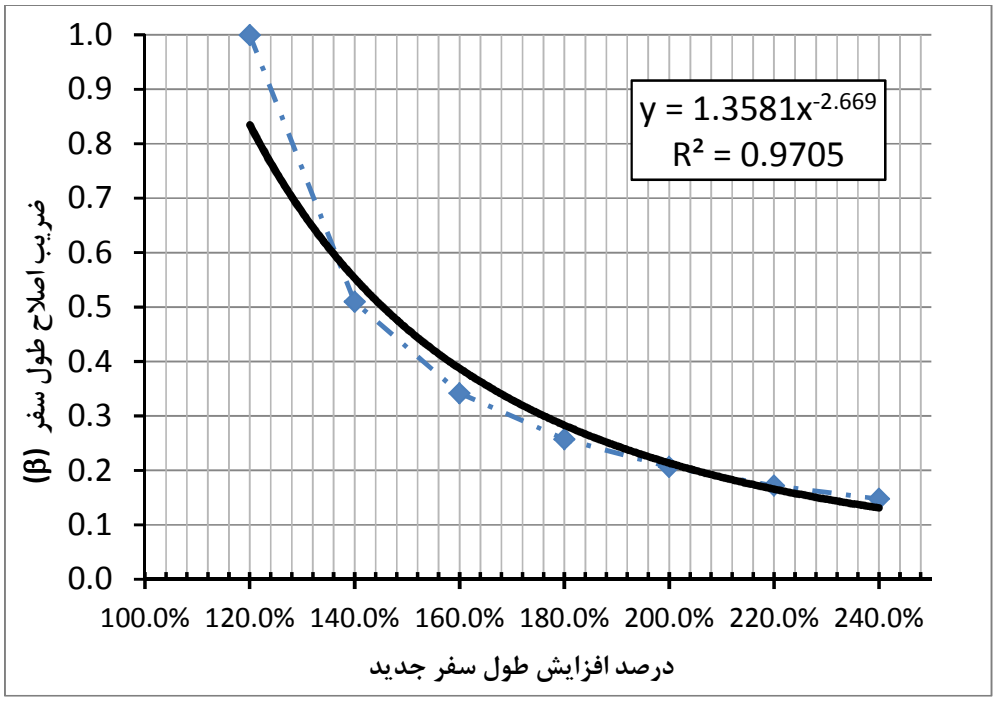
نوع راه	آزادراه			بزرگراه			راه اصلی			راه فرعی		
شدت زلزله	متوسط	شدید	بسیار شدید	متوسط	شدید	بسیار شدید	متوسط	شدید	بسیار شدید	متوسط	شدید	بسیار شدید
بیشینه	۸,٥۹	۱۲	۱٦	۸,۱٥	۱٦,٥۸	۱۸	۸,٦۲	۱۹,٥	۲۰	۱۰,۳٥	۲۰	۲۰
کمینه	۰,۰۱	۰,۰٦	۰,۱	۰,۰٤	۰,۲۱	۰,۳۸	۰,۰٤	۰,۲۷	۳,۱۹	۰,۰٤	۱,٦۸	۲,۸۳

جدول٥. بیشینه و کمینه معیار زمان بازیابی نهایی (روز)

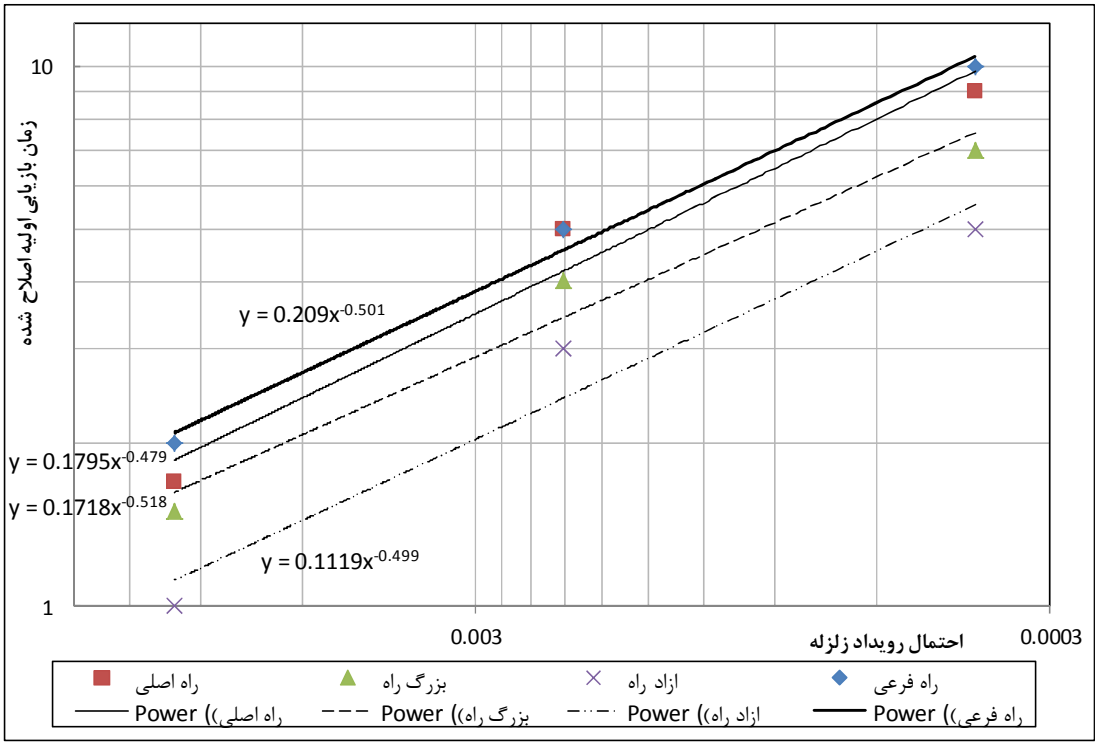
نوع راه	آزادراه			بزرگراه			راه اصلی			راه فرعی		
شدت زلزله	متوسط	شدید	بسیار شدید	متوسط	شدید	بسیار شدید	متوسط	شدید	بسیار شدید	متوسط	شدید	بسیار شدید
بیشینه	۱۱,۸۸	۱٤	۲۰	۱۱,۳٤	۱٦,۸٥	۲٤,۷٥	۱۳,۳۷	۱٦,۷٥	۳۱,۱۸	۱۰,٦۸	۱۸,٦۲	۳۸,۱۲
کمینه	۰,۰۲	۰,۰۸	۰,۳۹	۰,۰٤	۱,٥۷	۲,۸۹	۰,۱٥	۱,۹٦	۳,٤٥	۰,۱٥	۲,۳	۳



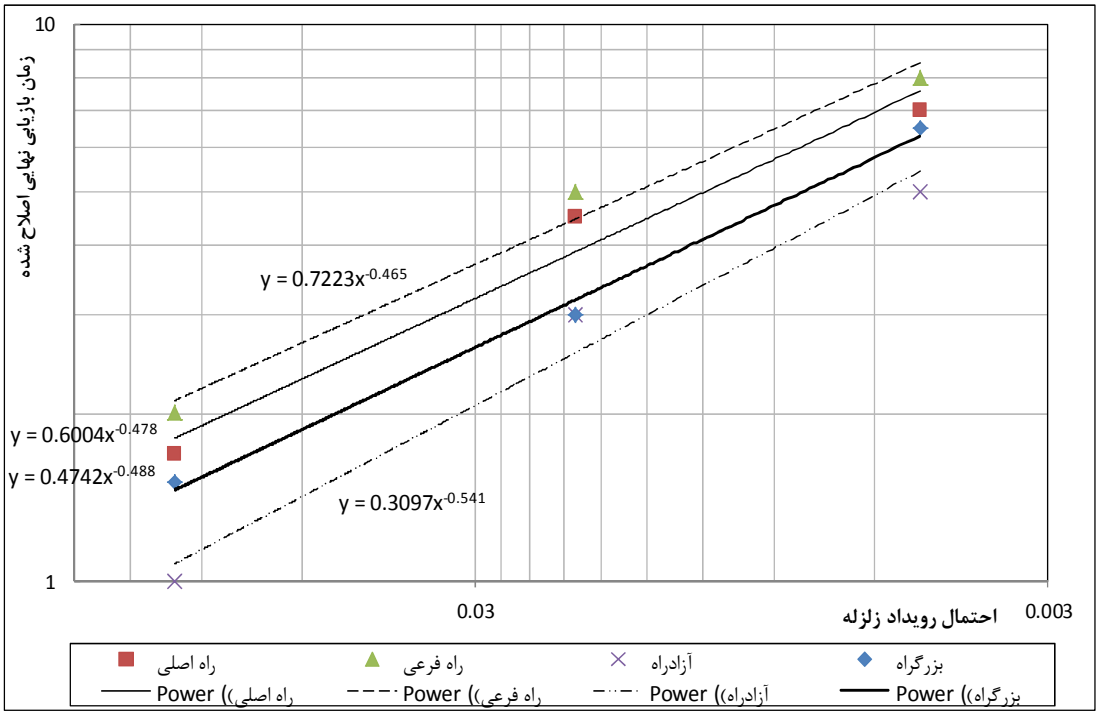
شکل ۱. نمودار ضریب افزایش زمان سفر(β_{11})



شکل ۲. نمودار ضریب افزایش طول مسیر(β_{12})



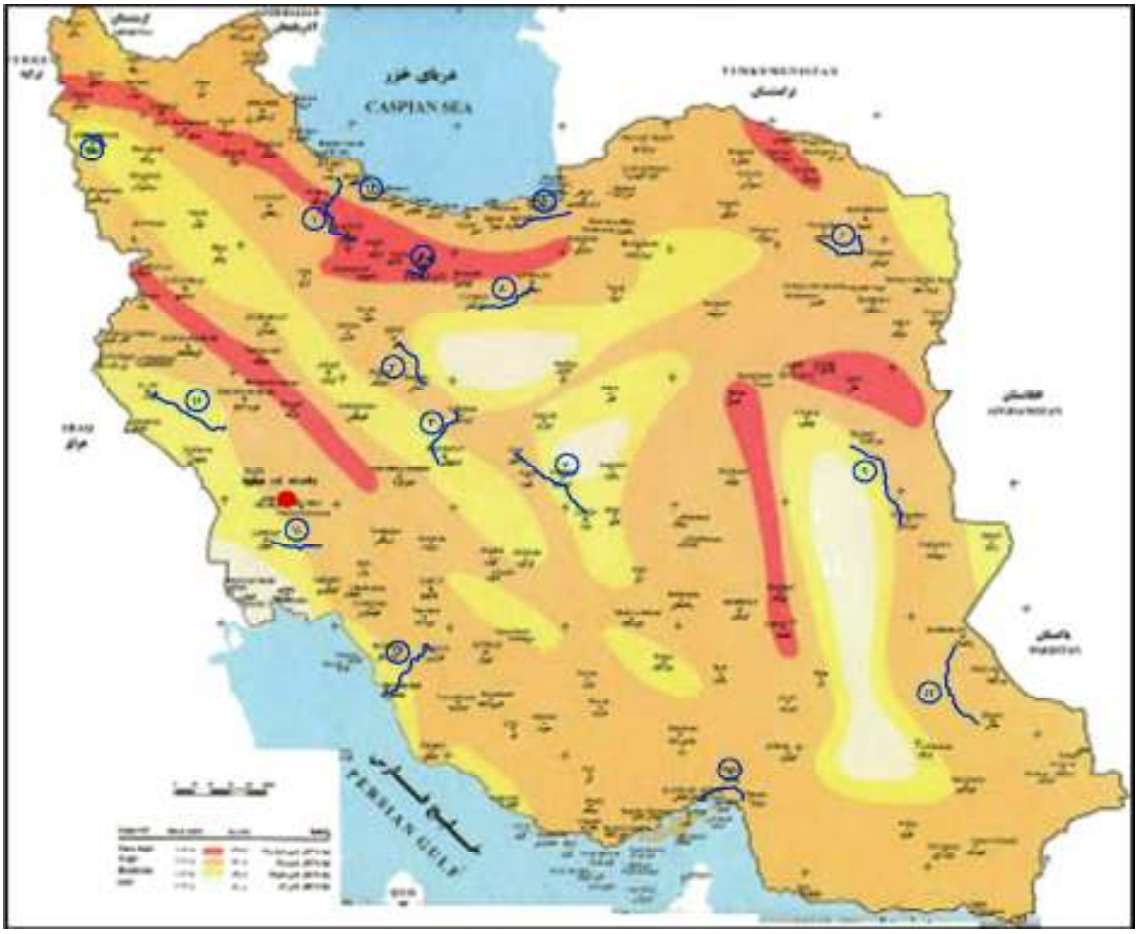
شکل۳. منحنی احتمالاتی زمان بازیابی اولیه بازسازی اصلاح شده راه بر مبنای نظر کارشناسی برای زلزله



شکل٤. منحنی احتمالاتی زمان بازیابی نهایی بازسازی اصلاح شده راه بر مبنای نظر کارشناسی برای زلزله

٤- اعتبارسنجی مدل

به منظور صحت سنجی و بررسی مدل پیشنهای، از میان انواع درجه راهها که دارای شرایط واقعی هستند مدل پیشنهادی اعمال گردیده است. برای سنجش نتیجه از نظرسنجی مجزا از افراد متخصص و خبره در این زمینه استفاده شده است. از بین راه های کشور ١٦ راه که ٤ راه از هر نوع (آزاد راه، بزرگ راه، راه اصلی و فرعی) انتخاب شده است. در هر درجه از راه، ٢ راه با خطر نسبی زیاد زلزله و٢ راه با خطر نسبی کم انتخاب شده است. راهها بگونه ای انتخاب شده است که در تمامی مناطق با توپوگرافی مختلف پراکنده باشد و طیف وسیعی از انواع ترافیک و یا ترانزیتی بودن را در بر بگیرد. سعی شده است، تمامی پارامتر های موثر در راهها بررسی شود. برای محاسبه میزان شدت سانحه زلزله از نقشه پهنه بندی خطر زلزله مطابق آخرین ویرایش آیین نامه ٢٨٠٠ استفاده شده است (شکل٥). این مسیرها عبارت است از: آزادراه قزوین رشت، آزادراه کاشان- قم، آزادراه اصفهان نطنز و آزادراه تهران کرج. مسیرهای بزرگراهی عبارت است از ساری- کردکوی، مشهد – نیشابور، بزرگراه یزد-نایین و سمنان- گرمسار. راه‌های اصلی مورد مطالعه نیز عبارت است از: محور نهبندان- بیرجند،بندرعباس- میناب، اهواز - رامهرمز و زاهدان- خاش. همچنین راه‌های فرعی مورد مطالعه نیز شامل محورهای لاهیجان- سیاهکل، کازرون-بوشهر، ارومیه- سرو و ایلام- پلدختر است. پراکندگی محورهای منتخب در شکل ٥ نشان داده شده است. با توجه به اینکه از نظر توپوگرافی ممکن است بخش‌های مختلف راه دارای ویژگیهای متفاوت توپوگرافی باشند بر حسب طول مسیر، محاسبه هر ویژگی برای ضریب مربوطه انجام پذیرفته است. سایر ضرایب اصلاحی در طول راه تغییر نمی‌کند. نتایج پیاده سازی ضرایب و نظر خبرگان به ازای ١٦ محور منتخب در جدول ٧ نشان داده شده است.



شکل ٥. پراکندگی محورهای منتخب برای پیاده‌سازی و اعتبارسنجی مدل

جدول ٦. خطرپذیری قابل قبول زمان بازیابی محورهای مورد مطالعه بر مبنای مدل پیشنهادی و نظر کارشناسان خبره

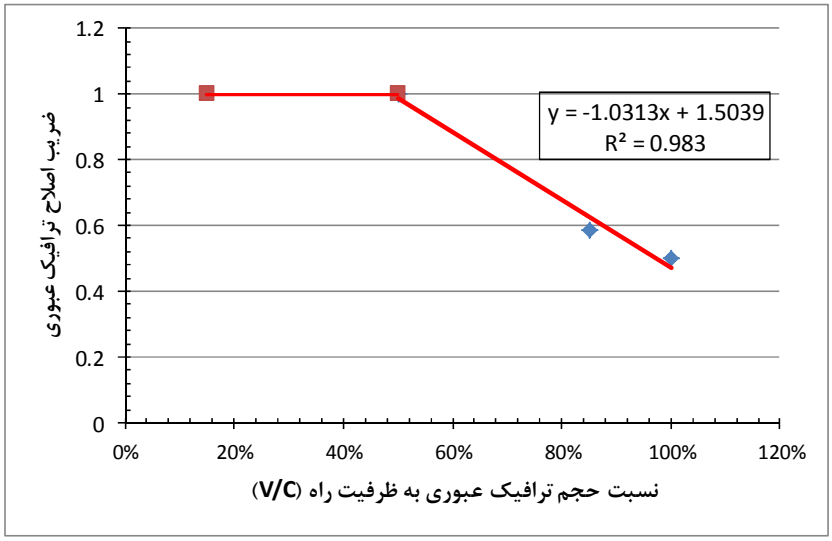
نوع مسیر	شماره مسیر	نام مسیر	نتایج	زمان بازگشایی (بازیابی) مسیر					
				موقت (معیار روز)			کامل (معیار هفته)		
				زلزله با شدت			زلزله با شدت		
				شدید	متوسط	خفیف	شدید	متوسط	خفیف
آزاد راه	۱	قزوین – رشت	مقادیر حاصل از پیاده سازی	۱٦	۱۲	٦,۷	۲۰	۱٤	۱۱
			مقادیر حاصل از نظر خبرگان	۷,٤	۳,۸	۲,۵	۲۷	۱۳	۷,۵
	۲	کاشان – قم	مقادیر حاصل از پیاده سازی	۱٦	۹,٦۷	٤,٤٤	۲۰	۱٤	۱۰,۵
			مقادیر حاصل از نظر خبرگان	٤,۵	۱,۷	۱,۳	۲۸,٦	۹,٦	۷,٤
	۳	اصفهان – نطنز	مقادیر حاصل از پیاده سازی	۱٦	۸,۱۲	۳,۷۳	۲۰	۱٤	۸,۸۱
			مقادیر حاصل از نظر خبرگان	٤,٤	۲,۷	۱,۷	۲۸,٦	۱۷	۹,٦
	٤	تهران – کرج	مقادیر حاصل از پیاده سازی	۳,۷۳	۱,٦٤	۰,۷۵	۹,۸٤	٤,۵۲	۱,۸۱
			مقادیر حاصل از نظر خبرگان	۵,٦	۳,۸	۱,۵	۲٤,۵	۱۳	۷,۲
بزرگراه	۵	ساری – کردکوی	مقادیر حاصل از پیاده سازی	۵,۳۲	۲,٤۱	۱,۱٤	٦,٦٦	۳,۱٤	۱,۲۸
			مقادیر حاصل از نظر خبرگان	٦	۳	۲	۳۸,۷	۱۹	۱۰
	٦	مشهد – نیشابور	مقادیر حاصل از پیاده سازی	۱۸	۱۱,۷	۵,۵٦	۲٤,۸	۱٦,۹	۹,۸۵
			مقادیر حاصل از نظر خبرگان	۳,۹	۲,٤	۱,۳	۲۲,۱	۱۳	۷,۱
	۷	یزد –نائین	مقادیر حاصل از پیاده سازی	۱۵,۲	٦,۹۱	۳,۲۷	۲۳,۸	۱۱,۲	٤,۵۸
			مقادیر حاصل از نظر خبرگان	٦	۳	۲	٤۲,۲	۲۱	۱۱
	۸	سمنان – گرمسار	مقادیر حاصل از پیاده سازی	۸,۳۵	۳,۷۹	۱,۸	۲۳,٦	۱۱,۱	٤,۵٤
			مقادیر حاصل از نظر خبرگان	۳,۲	۱,۷	۱	۲۱,۲	۱۲	۵,۳

راه اصلی	٩	نهبندان – بیرجند	مقادیر حاصل از پیاده سازی	٢٠	١١	٤,٩٢	٣١,٢	١٨,٧	٧,٩٦
			مقادیر حاصل از نظر خبرگان	٥,٩	٣,١	١,٧	٣٣,٨	١٧	٧,٤
	١٠	بندرعباس – میناب	مقادیر حاصل از پیاده سازی	١٥,٨	٦,٧	٣	٣١,٢	١٨,٥	٧,٨٥
			مقادیر حاصل از نظر خبرگان	٦,٥	٤,٥	٢,٥	٣٩,٧	٢٧	١٤
	١١	اهواز – رامهرمز	مقادیر حاصل از پیاده سازی	٧,٨٤	٣,٣٣	١,٤٩	٣١,٢	٢٠,٣	٨,٦١
			مقادیر حاصل از نظر خبرگان	٨,٥	٤	٢	٥٤,٦	٢٣	١١
	١٢	زاهدان – خاش	مقادیر حاصل از پیاده سازی	٢٠	١٦,٩	٧,٥٨	٣١,٢	٢٦,١	١٣,٤
			مقادیر حاصل از نظر خبرگان	٥,٣	٣,٥	١,٧	٢٨,٩	٢٠	٧,٤
راه فرعی	١٣	لاهیجان – سیاهکل	مقادیر حاصل از پیاده سازی	٢٦,٦	١٤	٦,٤١	٣٨,١	٢٦,٣	١٢,١
			مقادیر حاصل از نظر خبرگان	٦	٢,٧	١,٣	٣٧	١٦	٧,١
	١٤	کازرون – بوشهر	مقادیر حاصل از پیاده سازی	٦,٩١	٣	١,٤	٢٣,٨	١٠,٥	٤,٨٢
			مقادیر حاصل از نظر خبرگان	٥,٥	٣,٥	٢	٣٨,٧	٢٢	١٠
	١٥	ارومیه – سرو	مقادیر حاصل از پیاده سازی	٩,٣٤	٤,٠٨	١,٨٧	١٧	٨,٢٣	٣,٤٥
			مقادیر حاصل از نظر خبرگان	٧,٥	٤,٥	٢	٤٦,٧	٢٧	١١
	١٦	ایلام – پل دختر	مقادیر حاصل از پیاده سازی	٢٦,٦	٢٠	١٠,٤	٣٨,١	٢٨,٧	٢٠
			مقادیر حاصل از نظر خبرگان	٧,٥	٤	٢	٥٠,٤	٢٧	١١

٤-١-نتایج و بحث

تعیین کارایی روش پیشنهادی با میزان خسارت غیر مستقیم در دومعیار زمان بازیابی اولیه و ثانویه منتج از پیاده‌سازی و نظر خبرگان (جداول) نشان می‌دهد: در تمامی آزاد راه‌ها بجز آزادراه تهران-کرج مقادیر حاصل بسیار بیشتر از مقادیر میانگین نظر متخصصین بوده و در بعضی موارد میزان خطرپذیری تا مقدار بیشینه خود پیش رفته است. این میزان زیاد بودن زمان بازیابی اولیه محاسباتی حدود ٣ برابر زمان میانگین نظر کارشناسان می‌باشد. مقادیر خطرپذیری قابل قبول زمان بازیابی اولیه محاسباتی برای بزرگراه ها، اختلاف حدود ٢,٥ برابری برای زلزله و حدود ٢ برابری برای سانحه سیل میان اعداد محاسباتی و مقادیر نظر کارشناسان است. این مقادیر برای راه-های اصلی نیز همین مقدار است. این مقدار برای راههای فرعی اختلاف ناچیز با مقادیر نظر کارشناسان دارد.بنابراین مقادیر خطرپذیری قابل قبول زمان بازیابی نهایی برای هر چهار آزادراه انتخابی از مقادیر نظر کارشناسان کمتر شده است و مقادیر خطرپذیری با توجه به شدت سانحه زلزله در دو حالت شدید و متوسط به مقدار بیشینه خود همگرا شده است. مقادیر خطرپذیری قابل قبول زمان بازیابی نهایی برای بزرگراه‌ها با

مقادیر حاصل با نظر کارشناسان در دو بزرگراه سمنان–گرمسار و تا حدودی مشهد–نیشابور به هم نزدیک بوده و در راه‌های اصلی این میزان در مقایسه با نظر کارشناسان کمتر بوده است.مدل پیشنهادی در بیشتر موارد تطبیق مناسبی دارد لیکن در بعضی از راه‌ها مقادیر بدست آمده هم‌خوانی مناسبی با نظر کارشناسان ندارد. خطرپذیری قابل قبول زمان بازیابی اولیه برای چهار راه اصلی انتخابی را نشان می‌دهد. نتایج میان نظر کارشناسان و مقادیر حاصل از مدل پیشنهادی برای راه‌های اصلی انتخابی قدری متفاوت است. ولی بطور کلی با توجه به بررسی تطبیقی داده‌ها می‌توان مقادیر را قابل قبول درنظر گرفت. میزان خطرپذیری قابل قبول زمان بازیابی اولیه برای چهار راه فرعی ا نشان می‌دهد، مقادیر خطر پذیری قابل قبول محاسباتی برای دو راه ایلام–پل دختر و لاهیجان–سیاهکل خیلی بیشتراز میزان نظر کارشناسان است. درحالی که مقادیر حاصل از مدل برای راه فرعی کازرون–بوشهر کمتر از نظر کارشناسی و در راه فرعی ارومیه–سرو تطبیق میان نظر کارشناسی و نتایج حاصل از مدل دیده می‌شود. بنابراین، ضروری است تا مقادیر پایه و یا به عبارت دیگر ضرایب اصلاحی موثر اصلاح گردند تا هم‌خوانی مناسب با نظر کارشناسان خبره ایجاد گردد. تصحیح اول در خصوص ضرایب اصلاح صورت گرفت.در این ارتباط ضریب ترافیک عبوری بدلیل نسبت V/C کم مسیر، ۳ و یا حدود ۳ بود که منجر به افزایش بیش از اندازه ضریب می شوند. لذا با مطالعات و بررسی‌های صورت گرفته ملاحظه شد که در زمان بازیابی اولیه بهتر است مقادیر از میزان پایه بیشتر نشود. لذا، مقدار ۱ به عنوان حداکثر مقدار ضریب ترافیک عبوری انتخاب گردید. با اعمال محدودیت بیان شده مشاهده شد برازش خطی داده‌ها نتایج بهتری را نشان می دهند، بنابراین برازش خطی بر داده‌ها اعمال گردید و نمودار تغییر یافته ضریب اصلاح ترافیک عبوری مطابق شکل ٦ تغییر یافت.



شکل ٦ نمودار ضریب اصلاح ترافیک عبوری تصحیح شده

تصحیح دوم به زمان بازیابی اولیه در راه‌های فرعی معطوف می‌شود. در این ارتباط برای اصلاح زمان بازیابی اولیه، مقادیر پایه و حدود بیشینه و کمینه راه فرعی مطابق راه اصلی تغییر یافت. اعداد حاصل از مقادیر بازیابی نهایی خسارت غیرمستقیم با معیار زمان بازیابی نهایی هماهنگی مناسبی با میانگین نظر کارشناسان خبره داشت ولی در بعضی موارد که اعداد حاصل به مقدار ماکزیمم خود رسیده بودند، هماهنگی لازم موجود نبود و این بدلیل بالا بودن حد بیشینه زمان بازیابی قابل قبول بود. از یک سو با بررسی مجدد میان توزیع تجمعی مقادیر نظر کارشناسان که در فرم شماره یک جمع آوری شده بود و همچنین منابعی چون Hazus و از سوی دیگر مقادیر میانگین نظر کارشناسان خبره متناسب با اطلاعات جمع‌آوری شده، اصلاح مقادیر بیشینه زمان بازیابی نهایی مطابق جدول ۷ صورت پذیرفت.

جدول ۷. بیشینه و کمینه معیار زمان بازیابی نهایی (روز)

نوع راه	آزادراه			بزرگراه			راه اصلی			راه فرعی		
شدت زلزله	متوسط	شدید	بسیار شدید	متوسط	شدید	بسیار شدید	متوسط	شدید	بسیار شدید	متوسط	شدید	بسیار شدید
بیشینه	۷	۱۰	۱۵	۸	۱۵	۲۰	۱۱	۲۲	۳۱,۱۸	۱۵	۲۸,۷۲	۳۸,۱۲
کمینه	۰,۰۲	۰,۰۸	۰,۳۹	۰,۰٤	۱,۵۷	۲,۸۹	۰,۱۵	۱,۹٦	۳,٤۵	۰,۱۵	۲,۳	۳

با تصحیح انجام پذیرفته ملاحظه گردید که در تمامی راه‌ها مقادیر خطرپذیری قابل قبول محاسبه شده بر نظر کارشناسان منطبق است و تنها برای شدت سانحه شدید بیشترین اختلاف وجود دارد. میزان خطرپذیری قابل قبول زمان بازیابی نهایی برای چهار آزادراه انتخابی برای همه آزادراه‌ها بجز آزادراه تهران-کرج در شدت سانحه شدید به مقدار بیشنه خود که بر مبنای نظر جمعی کارشناسان تعیین شده است رسیده‌اند. در دیگر موارد نتایج هماهنگی مناسبی دارد. میزان خطرپذیری قابل قبول زمان بازیابی نهایی برای چهار بزرگراه انتخابی در دو بزرگراه سمنان-گرمسار و مشهد-نیشابور دارای مطابقت کافی مابین نتایج حاصل از مدل پیشنهادی و نظر کارشناسان دارد. ولی کماکان اختلافی میان مقادیر حاصل از مدل پیشنهادی برای دو بزرگراه دیگر (یعنی ساری-کردکوی و یزد-نائین) باقی است. میزان خطرپذیری قابل قبول زمان بازیابی نهایی برای چهار راه اصلی برای همه راه‌های اصلی بجز اهواز-رامهرمز به مقدار بیشینه خود رسیده بودند. این میزان بیشینه تطبیق بسیار عالی با مقادیر نظر کارشناسان دارد. میزان خطرپذیری قابل قبول زمان بازیابی نهایی برای چهار راه فرعی برای راه فرعی ایلام-پل دختر و سیاهکل-لاهیجان با نظر کارشناسان هم‌خوانی دارند. درهر دو راه مقادیر شدت سانحه شدید به میزان بیشینه خود رسیده است. مقایسه نتایج بدست آمده از مدل پیشنهادی با مقادیر میانگین نظر کارشناسان نشان می‌دهد: مقادیر قابل قبول خسارت غیرمستقیم در آزادراه برای زمان بازیابی اولیه از مقادیر میانگین نظر کارشناسان بیشتر بوده و به سمت مقادیر حداکثر دامنه خسارت متمایل است و برای زمان بازیابی نهایی مقادیر کمتری برآورد شده و به سمت مقادیر حداقل دامنه خسارت متمایل است. مقادیر قابل قبول خسارت غیرمستقیم برای بزرگراه‌ها برای زمان بازیابی اولیه از مقادیر میانگین نظر کارشناسان بیشتر بوده و به سمت مقادیر حداکثر دامنه خسارت متمایل است و برای زمان بازیابی نهایی مقادیر انطباق مناسبی با نظر خبرگان دارد. مقادیر قابل قبول خسارت غیرمستقیم برای راه‌های اصلی مشابه بزرگراهها است .مقادیر قابل قبول خسارت غیرمستقیم برای راه‌های فرعی برای سطح زلزله شدید انطباق بیشتری نسبت به سایر سطوح دارد. در مجموع مقادیر خطرپذیری قابل قبول خسارت غیرمستقیم بدست آمده در مدل پیشنهادی برای بازیابی موقت مقادیر باید مقداری افزایش یافته و در مورد زمان بازیابی نهایی اعداد مناسبی را نشان می‌دهد.

۵-نتیجه‌گیری

به منظور تعیین میزان شاخص برای خطرپذیری، ابتدا مقادیر مختلف میانه خطرپذیری مورد بررسی قرار گرفته و با توجه به ارزیابی آنها از جنبه‌های مختلف، مقادیری برای شاخص‌ها انتخاب شد. از آنجایی که مقادیر مورد استفاده در مطالعات، باید برای انواع زلزله وشدت‌های وقوع مختلف ارایه شود و این موارد در مطالعات قبلی در تعیین میزان خطرپذیری بیان نشده است، مقادیر مورد استفاده در ادامه مطالعات بر مبنای نظر کارشناسی بیان شد تا مقادیر حاصل بر اساس دیگر منابع تطبیق داده شود. در ابتدا، شاخص‌های مورد بررسی در سوانح گذشته با نظر متخصصین مقایسه شده است، سپس مقادیر حاصل از نظر کارشناسان، از نظر احتمالاتی بررسی شده و درصورت لزوم اصلاح و در نهایت میزان متوسط و حداقل و حداکثر مقادیر خطرپذیری انتخاب گردید. نتایج نشان داد، زمان بازیابی اولیه در زلزله‌های گذشته با مقادیر نظر متخصصین نزدیک است ولی زمان بازیابی کامل پس از زلزله‌ها در حوادث، بیشتر از نظر متخصصین است. در این تحقیق یک شاخص آسان برای ارزیابی خسارت غیرمستقیم قابل قبول ناشی از زلزله در راهها ارائه گردید تا برای برنامه ریزی بهسازی مسیر قبل از وقوع سانحه کارایی داشته باشد. این شاخص بر اساس زمان اندازه گیری شده است. دو مقطع زمانی یعنی بازیابی موقت برحسب روز و بازیابی نهایی بر حسب هفته مشخص

شده است. بنابراین، مشخص گردید که در صورت وقوع یک زلزله با شدت‌های مختلف (خفیف متوسط و زیاد) به تفکیک هریک از رده‌های عملکرد راه چه محدوده زمانی برای بازگشایی موقت و نهایی یک راه باید صرف شود تا با توجه به اهمیت اقتصادی، اجتماعی و سایر ابعاد عملکردی یک راه درصورت آسیب دیدن، در محدوده قابل قبول باشد و در محدوده توان جامعه برای بازسازی قرار گیرد. 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 شد و سپس مقادیر حداقل و حداکثر آن کنترل گردید. نتایج بررسی نشان داد در محاسبه این شاخص پارامترهایی نظیرتوپوگرافی 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.

۶-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 انتشار یافت. بخشی از یافته آن تحقیق با موضوع خسارت مستقیم ناشی از زلزله بر شبکه حمل ونقل جاده‌ای در این مقاله ارایه شده است. لذا، از پشتیبانی مالی و معنوی پژوهشکده حمل و نقل تقدیر و تشکر می‌گردد.

۷-مراجع

-Aase, K.K., (2001), "On the St. Petersburg Paradox", Scandinavian Actuarial Journal, pp.69–78.

-Basőz, N., and Kiremidjian, A. S., (1996), “Risk assessment for highway systems”, Report No. 118, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Department of Civil Engineering, Stanford University, Stanford, CA.

-C. Barkley, (2009), "lifelines: upgrading infrastructure to enhance san francisco’s earthquake resilience," spur Board of Directors, www.spur.org, San Francisco.

Canadian Standards Association (CSA), (1997), CAN/CSA-Q850-97, “Risk Management: Guideline for Decision-Makers”, Etobicoke (Toronto), Canada: Canadian Standards Association.

-Determining acceptable risk criteria in the road transport network against natural disasters, (2020), “Transportaion Research Institue, Road, Housing & Urban Development Research Center (BHRC).

2016, rules for classification of ships part 1 chapter 1 general regulations, //www.dnvgl.com is the officially binding version Ships part 1, chapter 1.

-Fischhoff B., Slovic P., Lichtenstein S., Read S. and Combs B., (1978), “How seife is safe enough? A psychometric study attitudes towards technological risks and benefits”, J. of policy science, 9, pp. 127-152.

-ISO 2394, (2015), “General principles on reliability for structures/ https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:2394:ed-4:v1:en.

-K. Nasserasadi, M. Ghafory-Ashtiany, (2005), “Using Seismic Risk Models As a Tool for Risk Management”, 250th Anniversary of the 1755 Lisbon Earthquake.

-Lemarie M., (2005), “Sructural Reliability”, John Wiley & Sons, Inc.

-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.

Murphy C. and Gardoni P. (2008), “The acceptability and the tolerability of social risks: A capability-based approach”, J. of Scieance Engineering and Ethics, 14, pp. 77-99.

-S Banerjee, M Shinozuka, (2009), “Uncertainties in seismic risk assessment of highway transportation systems”, TCLEE.

-UN/ISDR (United Nations/International Strategy for Disaster Reduction), (2017), Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Genf: United Nations, Google Scholar.

-UNDRO, (1980), “Natural disasters and vulnerability analysis”, Report of Experts Group Meeting of 9–12 July 1979, Geneva: UNDRO.Google Scholar.

Determining Acceptable Risk by Considering Consequential Damages Caused by Earthquake Incident in Lifeline (Road Transport)

Maghsoud Pouryari, Assistant Professor, Road, Housing & Urban Development Research Center, Tehran, Iran.
Kiarash Nasserasadi, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
Nemat Hassani, Associate Professor, Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
Pooyan Ayar, Assistant Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

E-mail: mpooryari@yahoo.com

Received: August 2021-Accepted: November 2021

ABSTRACT
Consequential damage assessment due to road failure is one of the main steps in determining the risk of road transport network against unpredictable incidents such as earthquakes. According to the increase of existing damages, a solution is introduced to mitigate the damages. As the appropriate size of the damage is provided, the recovery's more accurate cost is evaluated. Determining the amount less than acceptable value will increase future damages, and on the other hand, determining an amount more than the necessary value, although it increases safety, it will increase maintenance cost. In this research, the authors argue what amount of damage can be acceptable concerning the amount of possible damage to a road and its infrastructures affected by the earthquake and its post-disaster consequences regarding the initial recovery time and final recovery time. In this regard, the authors provide a method for calculating acceptable Consequential damage based on two social and economic perspectives, including obtaining the expert's opinions and authorities and investigating the damage to the transportation network. Earthquake intensity is based on three categories: severe, moderate and mild, and the road performance rate consists of four categories: freeway, highway, main and secondary roads. Besides, we used validation methods for implementing our process were performed in 16 cases. The results of this research showed that within the four effective parameters which had an influential effect on the amount of damage are comprised of topographic road states, the existence of infrastructures, the presence or absence of alternative paths, and the significance of the origin-destination of the roads; Topographic states have had the most effective criteria among the parameters mentioned above.

Keywords: Road Transport, Consequential Damages, Risk, Earthquake