

بررسی خطر زلزله در محورهای جاده‌ای استان مازندران

مقاله علمی - پژوهشی

فاطمه دهقان فاروجی^{*}، مربی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران
علی بیت‌اللهی، استادیار، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران
نگار سودمند، دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران
^{*}پست الکترونیکی نویسنده مسئول: dehghan@bhrc.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۱

صفحه ۵۴-۴۳

چکیده

زلزله به عنوان یک بلای طبیعی می‌تواند به سیستم‌های حمل و نقل آسیب وارد کند و عملکرد آن را به ویژه در مناطق شهری مختل یا متوقف نماید. مد نظر قرار ندادن خطرات لرزه‌ای شبکه حمل و نقل باعث هرج و مرج و بی‌نظمی در مناطقی می‌شود که بحران در آن رخ داده است. این سیستم‌ها از عناصر جستجو و نجات در عملیات پس از زلزله به شمار می‌روند از این رو، اگر ارزیابی و تجزیه و تحلیل دقیقی خطراتی که آن را تهدید می‌کند، صورت نگیرد، می‌تواند باعث اختلال در شبکه حمل و نقل و در نهایت، نقص در سایر خدمات حیاتی مناطق آسیب دیده شود. محورهای جاده‌ای استان مازندران در ناحیه پرخطر لرزه ای قرار گرفته است. شاخص های لرزه ای نظیر گسل، (تراکم گسل و فاصله از گسل)، زلزله‌ها (تراکم زلزله‌های بزرگ، متوسط و کوچک) و طبقه بندی خطر زلزله در محورهای جاده‌ای استان مازندران مورد بررسی قرار گرفت. برهم نپی شاخص‌های لرزه‌ای در محورهای جاده‌ای نشان داده است که محورهای جاده‌ای واقع در نیمه شرقی نظیر محورهای جاده‌ای کیاسر، فیروزکوه-قائم‌شهر و کمربندی نکا خطرپذیری بالاتری نسبت به جاده چالوس دارا باشند.

واژه‌های کلیدی: خطر زلزله، محورهای جاده‌ای، استان مازندران

۱- مقدمه

شبکه‌های حمل و نقل در اثر تخریب پل‌هاست که می‌تواند واکنش‌های اضطراری پس از خطر، مانند حرکت وسایل نقلیه اضطراری را مختل کند. پل‌ها یکی از حیاتی‌ترین اجزای شبکه‌های حمل و نقل هستند که به عنوان "گلوگاه" عمل می‌کنند و خرابی ساختاری یک پل می‌تواند در جریان ترافیک اختلال ایجاد کند و عملکرد شبکه را کاهش دهد (فارتادو، ۲۰۱۵). زلزله به عنوان یک بلای طبیعی می‌تواند بخشی از سیستم‌های حمل و نقل را تحت تأثیر قرار دهد و یا به همه آن آسیب وارد کند و عملکرد آن را به ویژه در مناطق شهری مختل یا متوقف

بلایای طبیعی می‌تواند اثرات قابل توجهی بر زیرساخت‌هایی نظیر شبکه‌های حمل و نقل داشته باشد و آسیب‌های ساختاری و خسارت‌های قابل توجهی را به آنها وارد کند. زلزله‌های به وقوع پیوسته در سال‌های اخیر باعث وارد شدن آسیب‌های ساختاری و خسارت‌های اقتصادی و ایجاد اختلال در شبکه‌های حمل و نقل شده است. این مساله یکی از نگرانی‌ها و معضلاتی است که می‌تواند مشکلات دیگری را در سایر خدمات حیاتی ایجاد کند (کریستوفر، ۱۹۹۱ و نیکلسن و دازیل، ۲۰۰۳). زلزله تأثیرات متنوعی بر سیستم حمل و نقل می‌گذارد که یکی از مهم‌ترین تأثیرات آن، قطع شدن

ایتالیا رخ داده است (کلر و آتزل، ۲۰۱۴؛ اتاز و همکاران، ۲۰۱۶؛ ژو و همکاران، ۲۰۱۹). سیستم‌های حمل‌ونقل، سیستم‌هایی هستند که به موجب رخداد زلزله اجزای سیستم در اثر زلزله‌های یکسان در معرض اثرات متفاوتی قرار می‌گیرند. اثراتی که اجزای مختلف سیستم در معرض آن قرار می‌گیرند شامل لرزش زمین، جابجایی‌های عمودی به دلیل نشست و جابجایی‌های افقی ناشی از لغزش جانبی است. جابجایی زمین به این دلیل رخ می‌دهد که لرزش شدید زمین باعث روان شدن و رانش زمین در شرایط محیطی مناسب می‌شود (کیرمیدجان و همکاران، ۲۰۰۷). ارزیابی عملکرد شبکه‌های حمل‌ونقل در شرایط شدید، موضوعی نگران‌کننده برای مهندسان و مقامات تصمیم‌گیری است که روی سیستم‌های زیرساختی عمرانی کار می‌کنند. یک جنبه حیاتی که شبکه‌های حمل و نقل را از سایر تاسیسات ساخته شده متمایز می‌کند، توزیع فضایی و اتصال اجزای شبکه است. این ویژگی شبکه حمل و نقل سبب حساسیت آن به‌ویژه به پیامدهای خطرات طبیعی و انسان‌ساز می‌گردد زیرا ایجاد اختلال در چند جزء ممکن است منجر به اثرات مخرب بر عملکرد کل شبکه شود. اهمیت حفظ شبکه حمل و نقل تاب‌آور در حالت عادی و شرایط اضطراری مهم است. در میان حوادث شدیدی که یک شبکه حمل و نقل می‌تواند تجربه کند، زلزله‌ها بیشترین تأثیرات مخرب را دارند، زیرا اغلب به طور همزمان بخش قابل توجهی از شبکه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۲). با وقوع زلزله و وارد شدن آسیب به اجزای سازه‌های شبکه حمل و نقل، اختلال طولانی مدت در خدمات حیاتی ایجاد شده که در نهایت منجر به خسارات اجتماعی و اقتصادی قابل توجهی در منطقه آسیب دیده می‌شود (سانگ و اوک، ۲۰۱۰). زمین‌لرزه یکی از بحران‌های طبیعی است که می‌تواند بخشی از شبکه حمل و نقل و یا همه آن را به ویژه در مناطق شهری متوقف یا مختل کند. نادیده گرفتن خطرات لرزه‌ای پل‌ها که یکی از اجزای ضروری در سیستم حمل و نقل هستند باعث هرج و مرج و بی‌نظمی در مناطق حادثه دیده می‌شود. هدف از ارزیابی ریسک لرزه‌ای، به دست آوردن اطلاعات مفید برای تصمیم‌گیری آگاهانه از خطر برای کاهش خطر لرزه‌ای و مدیریت بحران است (تاک و همکاران، ۲۰۱۹). با توجه به اهمیت رخداد

نماید. مد نظر قرار ندادن خطرات لرزه‌ای شبکه حمل و نقل باعث هرج و مرج و بی‌نظمی در مناطقی می‌شود که بحران در آن رخ داده است. این سیستم‌ها به حمل و نقل کالاها و قربانیان بحران به شهرها و مکان‌های امن کمک می‌کنند و از عناصر جستجو و نجات در عملیات پس از زلزله به شمار می‌روند از این رو، اگر ارزیابی و تجزیه و تحلیل دقیق خطراتی که آن را تهدید می‌کند، صورت نگیرد، می‌تواند باعث اختلال در شبکه حمل و نقل و در نهایت، نقص در سایر خدمات حیاتی مناطق آسیب دیده شود. تلاش‌ها و اقداماتی در مورد تحلیل وقایع گذشته به منظور تصمیم‌گیری اقدامات پیشگیرانه برای کاهش آسیب پل‌ها در اثر زلزله انجام شده اما کافی به نظر نمی‌رسد (لیتل، ۲۰۰۲). در حال حاضر، عملکرد و پیشرفت جامعه مدرن به شدت متکی بر شبکه‌های جاده‌ای است. شرایط آب و هوایی شدید یا بلایای طبیعی می‌تواند شبکه حمل و نقل را به طور قابل توجهی مختل کند. خطرات طبیعی مانند سیل، رانش زمین، زلزله و سونامی تأثیرات قابل توجهی بر عملکرد سیستم‌های حمل و نقل برای ارائه یک روش حمل و نقل ایمن، کارآمد و در دسترس دارند. تلاش‌های زیادی برای ارزیابی میزان چنین تأثیراتی بر سیستم حمل‌ونقل انجام شده است (احمد و قاسمزاده، ۲۰۱۸؛ الیاد و همکاران، ۲۰۲۱؛ جانگ و همکاران، ۲۰۱۴؛ دیاکاکیس و همکاران، ۲۰۲۰، لیو و سانگ، و بیل و همکاران، ۲۰۱۵). حمل‌ونقل یکی از شبکه‌های حیاتی است (آرسیک و سلمان، ۲۰۱۳) که خرابی آن می‌تواند باعث فشار اضافی بر شبکه‌های دیگر به‌ویژه در مواقع اضطراری شود (خادمی و همکاران، ۲۰۱۵). خدمات ارائه شده توسط سیستم‌های حمل و نقل برای زندگی روزمره ما ضروری است. پیچیدگی این سیستم‌های شبکه‌ای در دهه‌های اخیر رو به افزایش بوده و آنها را آسیب‌پذیر کرده است. سیستم‌های حمل‌ونقل از جمله سیستم‌های زیرساختی هستند که بیشتر تحت تأثیر خطرات و بلایای طبیعی قرار می‌گیرند (کلر و آتزل، ۲۰۱۴؛ اوتاسه و همکاران، ۲۰۱۶). خطرات طبیعی علت اصلی اختلالات شبکه حمل و نقل در بسیاری از کشورها هستند. در میان این حوادث، زلزله پرهزینه‌ترین حادثه است. این زلزله‌ها در بسیاری از کشورها نظیر؛ سیچوان، چین (۲۰۰۸) ماول، شیلی (۲۰۱۰)، توهوکو، ژاپن (۲۰۱۱)، کرایست چرچ، نیوزیلند (۲۰۱۱)؛ و امیلیا،

۳- گسل‌ها در محدوده مورد مطالعه

گسل‌ها، شکستگی‌هایی در پوسته زمین هستند که در راستای آن‌ها جابه‌جایی اتفاق می‌افتد. مشخص شده است که بین مقدار گسلش در هر منطقه و لرزه‌خیزی آن منطقه رابطه مستقیمی وجود دارد؛ به طوری که تراکم بالای گسلش در هر منطقه نشان دهنده فعالیت بالای لرزه‌ای آن منطقه است. کشور ایران به عنوان بخشی از کمربند کوهزایی آلپ و هیمالیا است و فشار ناشی از صفحه عربی، فلات ایران را دست‌خوش کوتاه‌شدگی و محل تجمع تنش‌های تکنونیک و ایجاد گسیختگی‌های متعدد در پوسته و به تبع آن، یکی از مناطق فعال لرزه‌زمین‌ساختی کرده است. در واقع رابطه گسل-زلزله دوطرفه می‌باشد، یعنی وجود گسل‌های فراوان در یک منطقه سبب بروز زلزله می‌شود. زلزله نیز به نوبه خود سبب ایجاد گسل جدیدی گردیده و در نهایت، تعداد شکستگی‌ها زیاده‌تر شده و به این ترتیب قابلیت لرزه‌خیزی منطقه افزایش می‌یابد. مطالعه فرآیندهای تکنونیک در بسیاری از کارهای مهندسی مربوط به احداث جاده‌ها و پل‌ها اهمیت اساسی دارد. این‌گونه سازه‌ها باید در مکانی بنا شوند که زمین به قدر کافی پایدار باشند، یا تدابیر و استراتژی لازم از قبل اندیشیده شود. بی‌توجهی به محل وجود گسل‌ها و احتمال وقوع حرکات دامنه‌ای نظیر لغزش و ریزش سنگ‌ها می‌تواند خسارات فراوان به بار آورد. فعالیت‌های مهندسی بر روی زمین اگر بدون آگاهی و شناخت فرآیندهای تکنونیک محیط انجام شود، امکان دارد به برهم زدن مورفولوژیکی منطقه منجر شود. با توجه به این شاخص، از خطرناکترین مکان‌های ساخت المان‌های مهم و حیاتی مانند راه‌ها، مکان‌های گسله و نقاطی با خاک نرم می‌باشند که باعث شدید شدن لرزه‌های زمین می‌شوند. بنابراین تا حد امکان باید از این قبیل مناطق جهت احداث راه‌ها اجتناب شود و در صورت احداث آن‌ها باید نقاط حادثه‌خیز مشخص شده و تدابیر افزایش ایمنی و کاهش مخاطرات در آن‌ها اندیشیده شود.

با توجه به زلزله‌های مهمی که در طول گسل‌های استان مازندران روی داده، می‌توان چنین ادعان داشت که به علت عدم تجانس پوسته قاره‌ای و فشارهایی که به آن وارد می‌آید، اکثر گسل‌های ناحیه فعال یا دارای پتانسیل فعالیت هستند که بیانگر به شدت تکنونیزه بودن اغلب نواحی محدوده

زلزله در سیستم‌های حمل و نقل و نقش مهم و حیاتی این سیستم‌ها در زمان بحران، ارزیابی خطر لرزه‌ای سیستم حمل و نقل پل و پیش‌بینی دقیق عملکرد این شبکه‌ها پس از وقوع خطر ضروری است. به عبارت بهتر، مدنظر قراردادن مدیریت ریسک و ارزیابی تاب‌آوری سیستم‌های حمل و نقل یک عامل بسیار مهم در مدیریت رویدادها و متحمل نشدن منفعلانه از پیامدهای مخاطرات و بلاهای طبیعی است و تمرکز عمیق روی این موضوع ضروری است. هدف از بررسی خطر لرزه‌ای در سیستم‌های حمل و نقل، فراهم کردن بستری برای تصمیم‌گیری است که بتوان از آن به عنوان راهنما برای سناریوهای کاهش خسارت‌ها در طول یک فاجعه استفاده کرد. تاب‌آوری سیستم حمل و نقل یک چالش است که باید در هر سناریو ارزیابی مورد توجه قرار گیرد. از آنجا که محورهای جاده‌ای استان مازندران در موقعیت تکنونیک و زمین‌شناسی پرخطری از نظر لرزه‌ای قرار دارد، تحقیق حاضر با هدف مشخص نمودن محورهای جاده‌ای پرخطر این استان انجام گرفت تا تصویر واضحی از میزان خطر لرزه‌ای برای مدیریت خطرپذیری و ارتقا تاب‌آوری آن انجام یابد.

۲- وضعیت زمین‌ساختی منطقه

از دیدگاه زمین‌ساختی، استان مازندران در واحد زمین‌ساختی البرز قرار می‌گیرد. اشتوکلین (۱۹۷۴) کمربند آلپ - هیمالیا را حاشیه جنوبی اورازیا می‌داند که در اثر رویداد آلپ پایانی به شدت چین‌خورده است. کوه‌های البرز در شمال ایران و جنوب دریاچه خزر، رشته‌کوه شرقی- غربی نسبتاً پر پیچ و خمی است که خود جزئی از قسمت شمالی کوهزایی آلپ- هیمالیا در آسیای غربی به شمار می‌رود و از شمال به بلوک فرورفته کاسپین و از جنوب به فلات ایران مرکزی محدود می‌شود. روند ساختمانی کوه‌های بخش غربی البرز، شمال‌غرب- جنوب- شرقی است که تا اندازه‌ای با نوار شمالی زاگرس چین‌خورده و امتداد ساختمانی قفقاز کوچک و بزرگ هم‌جهت است در حالی که روند ساختمانی بخش شرقی کوه‌های البرز تقریباً شمال‌شرقی- جنوب‌غربی است و با امتداد گسل بزرگ کویر یا گسل درونه موازی است (بربریان، ۱۹۷۶).

- **گسل الموت رود؛** گسل فشاری الموت رود که یال جنوبی دره الموت رود را می‌سازد، که به نام گسل حسن‌آباد - پارچین نیز نامیده شده است. راستای این گسل به موازات کرانه جنوبی رودخانه الموت رود، شمال‌غرب- جنوب شرق بوده، و درازای حدود ۵۵ کیلومتر و شیب به سمت جنوب و جنوب غربی است.

- **گسل ترود؛** گسل ترود با درازای حدود ۱۱۰ کیلومتر و راستای خم‌دار شمال‌شرقی- جنوب‌غربی در ۵ کیلومتری شمال شهرستان ترود واقع می‌باشد.

- **گسل فیروزکوه؛** گسل فیروزکوه، گسلی است با راستای شمال‌شرق- جنوب‌غرب و درازای ۳۵ کیلومتر و در فاصله کمتر از یک کیلومتری فیروزکوه قرار دارد. شیب این گسل به سوی جنوب‌شرق است.

- **گسل فشاری شاهکوه؛** گسل فشاری شاهکوه، گسلی است با درازای حدود ۱۰۰ کیلومتر، راستای شمال‌خاوری - جنوب‌باختری، و شیب بسوی شمال. ساز و کار این گسل فشاری است.

- **راندگی بلده؛** وجود سنگ‌های برشی شده، دره خطی و فرسوده، و وجود توده‌های نفوذی پرشمار در راستای دره بلده نشان‌دهنده گسل احتمالی در بستر این دره می‌باشد. گسل بلده احتمالاً گسلی راستالغز با مولفه معکوس می‌باشد. شیب این گسل به سوی شمال است.

- **گسل زمین‌لرزه‌ای رودبار - تارم؛** این گسلش دست کم از سه تکه‌ی ناپیوسته با الگوی نردبانی که تکه‌های زرد گلی، کبته و باکلور نامیده شده‌اند با درازای نزدیک ۸۰ کیلومتر تشکیل گردیده است. سازوکار ژرفی گسلش زمین‌لرزه‌ای رودبار - تارم نشانگر حرکت چپ‌گرد گسلش زمین‌لرزه‌ای در تکه‌های زردگلی - کبته - باکلور در ژرفا است.

همان‌طور که در شکل ۱ مشخص شده است در گستره استان مازندران گسل‌های اصلی و فرعی متعددی وجود دارد که می‌تواند منشأ و علت وقوع زمین‌لرزه در سطح استان باشد.

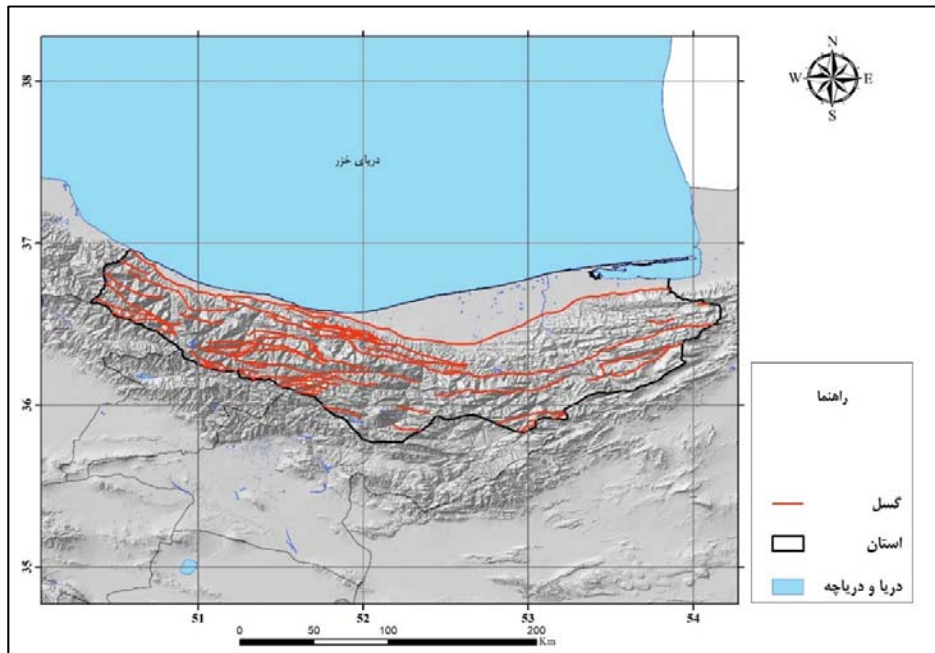
استان و تأثیر گسله‌های متعددی است که همراه با فعالیت تکتونیکی در این قسمت از سرزمین ایران اثر خود را بر جای گذاشته‌اند. در این قسمت به برخی از مهمترین گسله‌هایی که در محدوده محورهای جاده ای مازندران است، اشاره می‌شود.

- **گسل خزر؛** گسل فشاری خزر، گسلی است با درازای بیش از ۶۰۰ کیلومتر، راستای خم‌دار خاوری - باختری، شیب به سوی جنوب و سازوکار فشاری که در شمال البرز کوه و جنوب دشت کرانه‌ای مازندران قرار دارد. در راستای این گسل، برخاستگی البرز کوه (در جنوب) و فرونشست خزر جنوبی (در شمال) رویداده است. بررسی داده‌های لرزه‌خیزی نشان می‌دهد که جنبش این گسل سبب رویداد زمین‌لرزه‌های گوناگونی شده و گسل خزر، گسل لرزه‌زا می‌باشد.

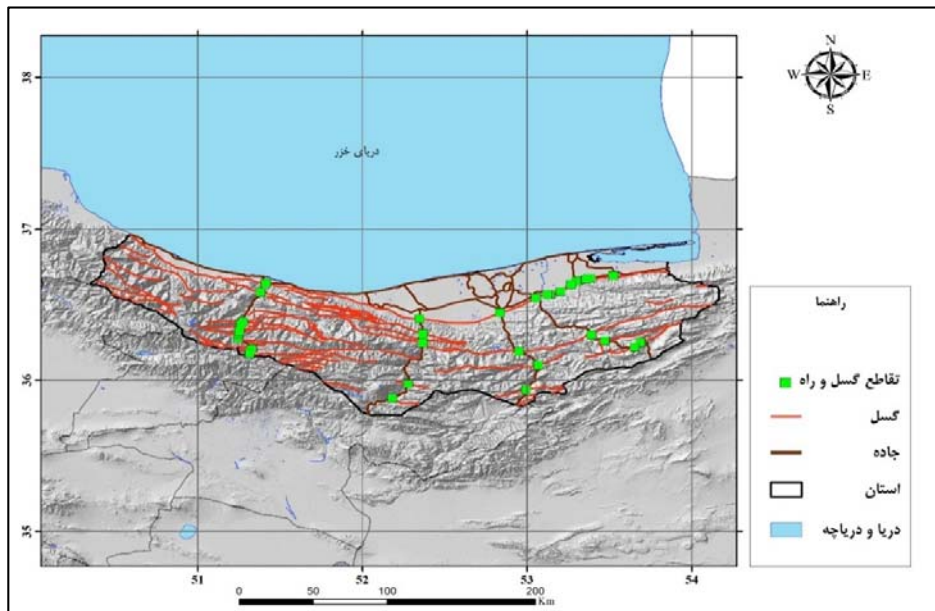
- **گسل آب شیرین؛** گسل آب شیرین در جنوب غرب دریاچه نمک و در غرب قاسم‌آباد قرار داشته و امتداد تقریبی آن شمال‌غرب - جنوب‌شرق می‌باشد. طول گسل آب شیرین در حدود ۶۵ کیلومتر می‌باشد.

- **گسل آستانه؛** این گسل با راستای شمال‌شرقی - جنوب‌غربی، مسیر رودخانه آستانه را در ۲۵ کیلومتری شمال غربی شهر دامغان می‌پیماید و دارای سازوکار فشاری راستالغز چپ‌گرد بوده که آثار آن به وضوح در راستای دره آستانه قابل تشخیص است. گسل آستانه جنباً بوده و نهشته‌های جوان دره مذکور را به صورت چپ‌گرد بریده است. درازای گسل آستانه در حدود ۷۹ کیلومتر بوده و ساز و کار آن راندگی با مؤلفه‌ی راستالغز چپ‌بر است.

- **گسل اشتهاارد؛** گسل تراستی اشتهاارد با راستای خم‌دار شرقی- غربی و درازای ۶۳ کیلومتر در فاصله ۴ کیلومتری شمال اشتهاارد قرار دارد. شیب این گسل به سوی شمال است. گسل اشتهاارد گسلی جنباً است، ولی از سرگذشت لرزه‌خیزی آن اطلاع دقیقی در دست نیست.



شکل ۱. نقشه گسل‌ها در استان مازندران



شکل ۲. نقشه تقاطع گسل‌ها و راه‌های استان مازندران

مشخص شد. این نقاط جزء مناطق خطرآفرین و حادثه‌ساز جاده‌های استان هستند. این نقاط به علت مجاورت با مناطق گسلی لرزه‌زا بوده و ممکن است خود منشأ زمین‌لرزه بوده و یا در صورت وقوع زلزله فعال شده و حرکات را تشدید کنند. علاوه بر این به علت نوع راه‌ها و وجود مناطق پرشیب وقوع زمین‌لرزه در این نقاط احتمال رخداد لغزش یا ریزش را نیز افزایش می‌دهد.

نکته مهم در این تحقیق، محل تلاقی گسل‌ها و راه‌های اصلی استان می‌باشد که در شکل ۲ مشاهده می‌شود. همان‌طور که در نقشه مشخص شده است محل تقاطع گسل و راه برای این استان به منظور تهیه نقشه مربوطه در نظر گرفته شد، نقاط حاصل از داده‌های نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ که با استفاده از نرم‌افزار GIS محل تلاقی راه‌ها و گسل‌ها بر روی نقشه به صورت نقطه

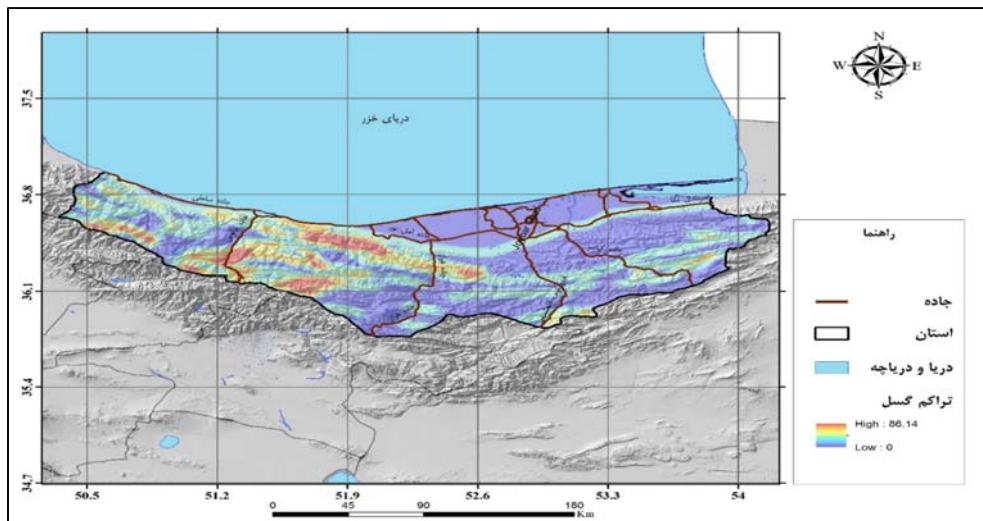
۴- تراکم گسلش

تراکم نسبتاً بالا مشاهده می‌شود. در جاده فیروزکوه در ۳۱ تا ۴۸ کیلومتر و جاده هراز در ۷۰ تا ۹۴ کیلومتر تراکم بالای گسل وجود دارد. در جاده ساحلی تراکم چندان زیادی مشاهده نمی‌شود.

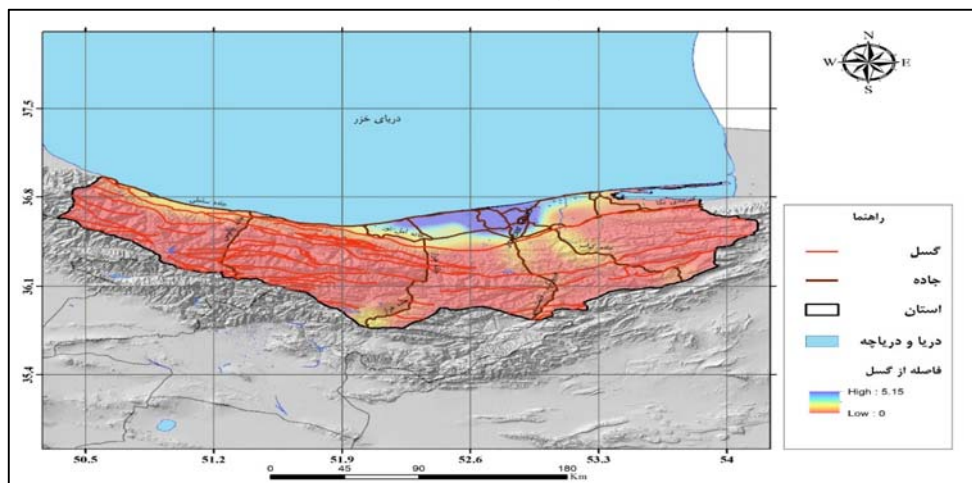
همان‌طور که پیش‌تر نیز گفته شد، گسل‌ها یکی از مهمترین فاکتورهای خطرزا در راه‌ها هستند. استان مازندران به‌عنوان بخشی از کمربند لرزه‌ای البرز و محل تجمع تنش‌های تکتونیکی و ایجاد گسیختگی‌های متعدد است؛ در نتیجه این گسیختگی‌ها، استان مازندران یکی از مناطق فعال لرزه‌زمین‌ساختی به‌شمار می‌رود. در مطالعه گسل‌ها یکی از پارامترهای مهم، که در این مطالعه نیز مورد توجه قرار گرفته است، شامل تراکم گسل‌ها می‌باشد. پارامتر تراکم از آن‌جا دارای اهمیت است که هرچه در یک منطقه تراکم گسلش بالاتر باشد، می‌توان چنین استنتاج نمود که فعالیت لرزه‌ای آن منطقه نیز بالاتر خواهد بود (شکل ۳). با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود، در جاده چالوس در ۱۱ و ۳۴ کیلومتر تراکم گسلش بسیار بالا وجود دارد. حدود ۳۷ کیلومتر در جنوب شرقی محور کیاسر،

فاصله از گسل‌ها

فاصله از گسل‌های موجود در یک منطقه نیز برخطرپذیری لرزه‌ای منطقه تأثیر مستقیم دارد؛ به‌طوری‌که با دور شدن از گسل، ریسک لرزه‌ای کاهش می‌یابد. در شکل ۴ نقشه تراکم گسل‌های استان مازندران مشخص شده است که توجه به آن و موقعیت راه‌ها، اطلاعات دقیقی در ارتباط با نقاط با ریسک بالا را مشخص می‌کند.



شکل ۳. نقشه تراکم گسل‌ها و راه‌های استان مازندران



شکل ۴. نقشه فاصله از گسل‌ها و راه‌های استان مازندران

$M_s = 7/5$ تخمین زده شده است (آمبرسیز و ملویل، ۲۰۰۵).

- زمین‌لرزه ۱۸۱۵ میلادی، دماوند؛ زمین‌لرزه نیرومندی در دماوند حس شد. در آبگرم این لرزه سبب خشکیدن یک چشمه آب سرد شد.

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، در نیمه شرقی استان که محورهای کیاسر، هراز و فیروزکوه و جاده ساحلی نکاء قرار دارند، ۳۰ رخداد بالای ۵ می‌باشد که از این تعداد، ۳ رخداد بیش از ۶ بوده است. در بخش غربی استان که محور چالوس قرار دارد، تنها ۷ رخداد بالای ۵ و تنها یک رخداد بالای ۶ رخ داده است.

تراکم زلزله‌ها

تعداد و بزرگی رویداد زلزله‌ها، اصلی‌ترین پارامتر در فعال بودن تکتونیکی نواحی مختلف می‌باشد. وقوع زمین‌لرزه‌های روی داده، نشان‌دهنده فعال بودن چشمه‌های لرزه‌ای در یک گستره معین هستند. تعداد رویدادهای لرزه‌ای و بزرگی آن‌ها فاکتورهای مهم در برآورد وجود فعالیت‌های لرزه‌ای بوده که در پژوهش حاضر مد نظر قرار گرفتند. یکی از تبعات وقوع زلزله‌ها به ویژه زلزله‌های بزرگ تخریب جاده‌ها و مسیرهای مواصلاتی می‌باشد که علاوه بر خسارات و صدمات مادی و جانی موجب کندی و عدم امدادسانی به مناطق آسیب‌دیده شده و احتمال افزایش آسیب‌پذیری‌ها را به دنبال خواهد داشت.

هدف از تهیه و بررسی نقشه‌های زلزله در این تحقیق، مطالعه دقیق‌تر محل وجود زمین‌لرزه‌ها در محدوده راه‌های مواصلاتی اصلی و شریانی برای تصمیم‌گیری دقیق‌تر برای جلوگیری و یا کاهش صدمات وارده با آن‌ها است.

به این منظور، زمین‌لرزه‌های کوچک ($3 < M < 3.5$)، زمین‌لرزه‌های متوسط ($3.5 < M < 5$) و زمین‌لرزه‌های بزرگ ($M > 5$)، برای تهیه نقشه زلزله استان مازندران و راه‌ها مد نظر قرار گرفت و نقشه مربوطه تهیه گردید (شکل ۵). وجود زمین‌لرزه‌های متعدد در هر منطقه نشان از فعالیت بالای لرزه‌ای در آن منطقه بوده و نیاز به برنامه‌ریزی عملیات کاهش خطرپذیری لرزه‌ای، مقاوم‌سازی و بهینه‌سازی زیرساخت‌های شریانی وجود دارد.

با توجه به یافته‌ها، تراکم گسلی در بخش جنوبی جاده چالوس حدود ۴۱ کیلومتر و در بخش شمالی ۱۴ کیلومتر است. در جاده هراز حدود ۲۷ کیلومتر، در فیروزکوه ۲۳ کیلومتر و در محور جاده‌ای کیاسر ۴۲ کیلومتر تراکم گسلس وجود دارد.

زلزله‌ها

لرزه‌خیزی تاریخی ناحیه البرز بیشتر به وسیله آمبرسیز (۱۹۷۴) و ویلسون (۱۹۳۰) مورد مطالعه قرار گرفته است. آمبرسیز (۱۹۶۸-۱۹۷۴) لرزه‌خیزی شمال مرکزی ایران از قرن چهارم قبل از میلاد تا ۱۹۹۰ میلادی را بررسی کرده و نشان داده است که به جز یک مورد، نواحی فعال تاریخی طی قرن گذشته (از ۱۹۰۰ تا کنون) نیز فعال بوده‌اند. مطالعه لرزه‌خیزی تاریخی کوه‌های البرز قبل از ۱۹۰۰ میلادی نشان می‌دهد که بیشتر نواحی مانند رشت، لاهیجان، فشم، جاجرود، دماوند، آمل، بابل، بابلسر، ساری، بهشهر، گرگان و دیگر نواحی چندین بار ویران شده‌اند. در استان مازندران زمین‌لرزه‌های تاریخی متعددی روی داده است که نشان از لرزه‌خیزی بالای این استان می‌باشد. برخی از زمین‌لرزه‌های مخرب تاریخی عبارتند از:

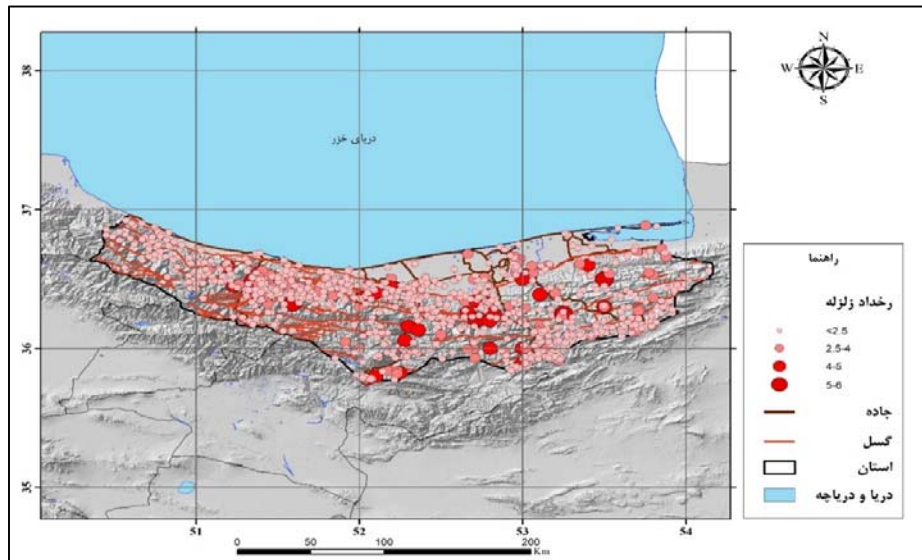
- زمین‌لرزه ۱۶۶۵ میلادی، دماوند؛ زمین‌لرزه ویرانگری در دماوند و توابع آن روی داد. زمین‌لرزه، خانه‌ها و ساختمان‌های بسیاری را در دماوند ویران کرد. بزرگی این زمین‌لرزه $M_s = 7/5$ تخمین زده شده است.

- زمین‌لرزه ۱۶۷۸ میلادی، لاهیجان؛ در ۱۰ ذیحجه ۱۰۸۸ هجری قمری زمین‌لرزه‌ای، که پس‌لرزه‌های بسیاری نیز به دنبال داشت، در لاهیجان همه مسجدها، به ویژه مسجد جامع و مناره‌هایش، زیارتگاه‌ها و بقعه‌ها را ویران کرد.

- زمین‌لرزه ۱۶۸۷ میلادی، مازندران؛ زمین‌لرزه شدیدی در مازندران روستاهای بسیاری را ویران کرد و زمین‌لغزه‌هایی به راه انداخت. بزرگی این زمین‌لرزه $M_s = 7/5$ تخمین زده شده است (آمبرسیز و ملویل، ۲۰۰۵).

- زمین‌لرزه ۱۸۰۵ میلادی، هراز؛ این زمین‌لرزه در مازندران شماری روستا را ویران کرد و به دماوند آسیب رساند.

- زمین‌لرزه ۱۸۰۹ میلادی، آمل؛ زمین‌لرزه ویرانگری در مناطق شیرگاه، گنجرود و جولاب، بین مسیرهای سفلی رودخانه‌های هراز و تالار روی داد. بزرگی این زمین‌لرزه

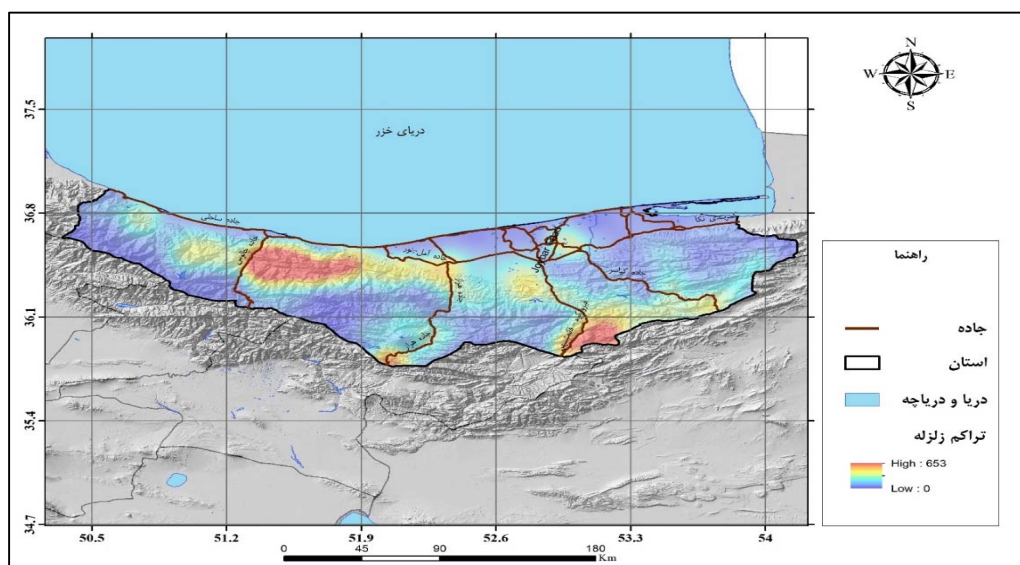


شکل ۵. نقشه زلزله‌ها و راه‌های استان مازندران

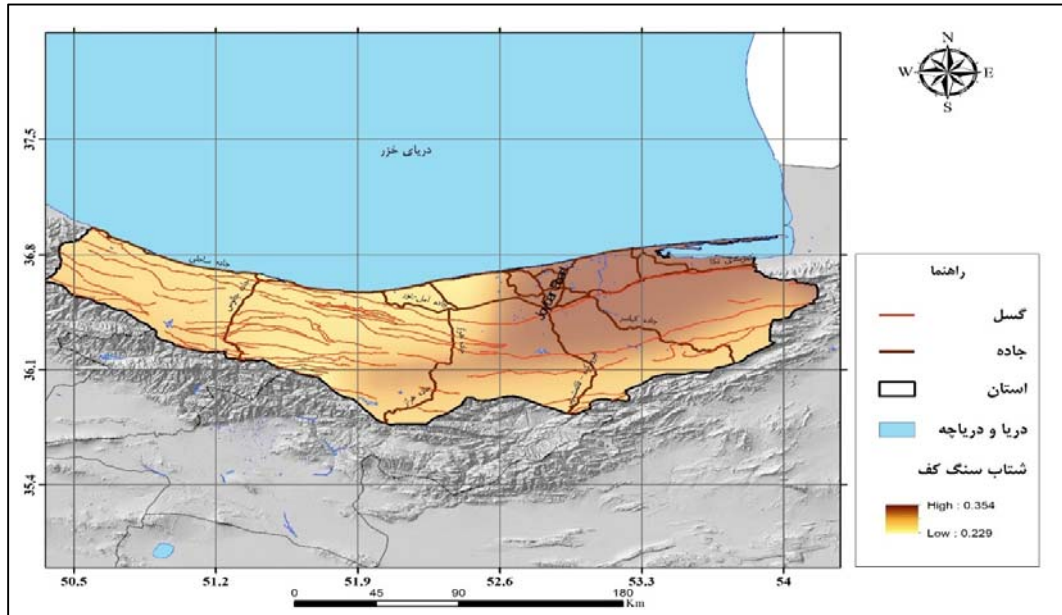
خطر زلزله

شکل ۶ نقشه خطر زلزله و راه‌های استان مازندران را نشان می‌دهد که همان‌طور که در نقشه مشخص است، محدوده استان مازندران در منطقه با خطر زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است که نشان از خطر بالای زلزله در کل محدوده استان و راه‌های استان است.

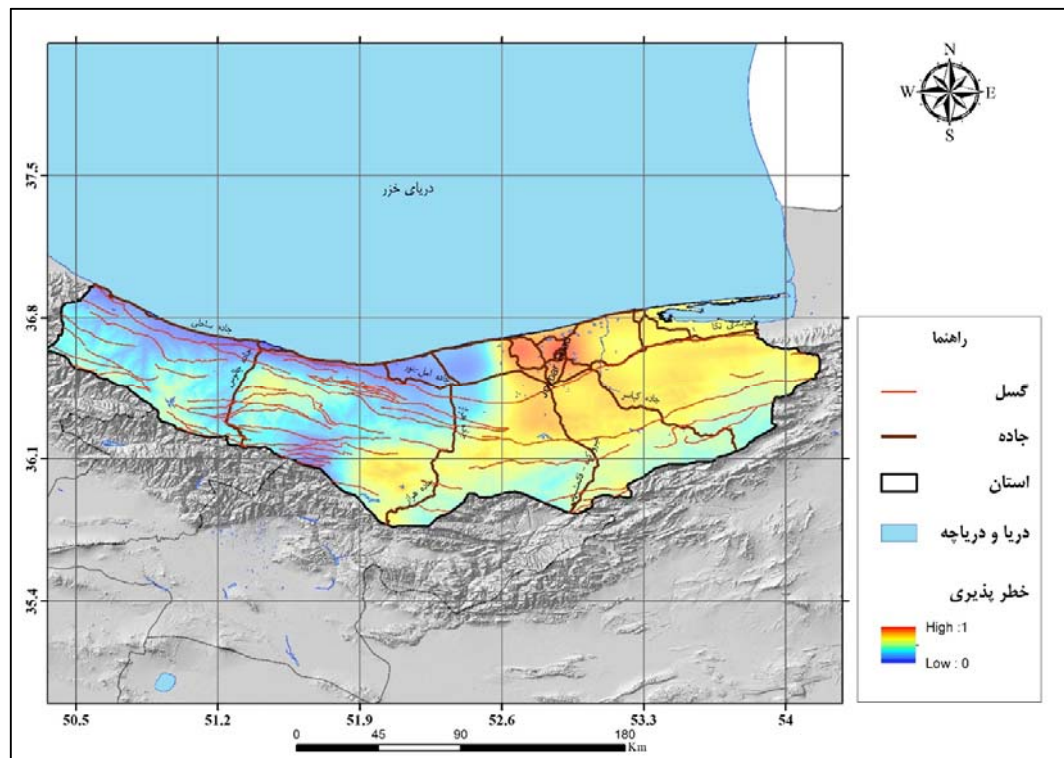
همان‌طور که در شکل ۵ مشخص شده است، در جاده چالوس حدود ۲۰ کیلومتر تراکم زلزله وجود دارد. حدود ۱۵ کیلومتر جاده فیروزکوه-قائم‌شهر و حدود ۱۷ کیلومتر محور جاده ای هراز تراکم زلزله دارد که تراکم زلزله‌ها در جاده هراز کمتر از دو جاده چالوس و فیروزکوه-قائم‌شهر است. تراکم زلزله ناچیزی حدود ۶ کیلومتر در تقاطع جاده کیاسر و جویبار نیز مشاهده می‌شود.



شکل ۶. نقشه تراکم زلزله‌ها و راه‌های استان مازندران



شکل ۷. نقشه خطر زلزله در محورهای جاده‌ای استان مازندران



شکل ۸. نقشه خطرپذیری لرزه‌ای محورهای جاده‌ای استان مازندران

۵- نتیجه گیری

بزرگای بیش از ۴، بیشتر از نیمه غربی و همچنین نقاط تقاطع با گسل‌های با طول بزرگتر در بخش شرقی باعث شده پس از نرمال سازی داده‌ها و دادن ضریب وزنی خطرپذیری بخش شرقی بیش از قسمت غربی باشد. همانطور که در شکل ۷ ملاحظه می‌گردد، جاده‌های کیاسر، فیروزکوه-قائم‌شهر و کمربندی نکا خطرپذیری بالاتری نسبت به جاده چالوس دارا می‌باشند.

محورهای جاده‌ای استان مازندران در ناحیه پرخطر لرزه‌ای قرار گرفته است. شاخص‌های لرزه‌ای نظیر گسل، (تراکم گسل و فاصله از گسل)، زلزله‌ها (تراکم زلزله‌های بزرگ، متوسط و کوچک) و طبقه‌بندی خطر زلزله در محورهای جاده‌ای استان مازندران مورد بررسی قرار گرفت. برهم نهی شاخص‌های لرزه‌ای در محورهای جاده‌ای نشان داده است که در نیمه شرقی تعداد رخدادهای زلزله با

۶- مراجع

- the 2017 Mandra flood. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 47, 101542.
- Furtado, M. N. (2015). Measuring the resilience of transportation networks subject to seismic risk.
- Jung, S., Jang, K., Yoon, Y., & Kang, S. (2014). Contributing factors to vehicle to vehicle crash frequency and severity under rainfall. *Journal of Safety Research*, 50, 1-10.
- Keller, S., & Atzl, A. (2014). Mapping natural hazard impacts on road infrastructure—the extreme precipitation in Baden-Württemberg, Germany, June 2013. *International Journal of Disaster Risk Science*, 5, 227-241.
- Khademi, N., Balaei, B., Shahri, M., Mirzaei, M., Sarrafi, B., Zahabiun, M., & Mohaymany, A. S. (2015). Transportation network vulnerability analysis for the case of a catastrophic earthquake. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 12, 234-254.
- Kiremidjian, A., Moore, J., Fan, Y. Y., Yazlali, O., Basoz, N., & Williams, M. (2007). Seismic risk assessment of transportation network systems. *Journal of Earthquake Engineering*, 11(3), 371-382.
- Little, R. G. (2002). Controlling cascading failure: Understanding the vulnerabilities of interconnected infrastructures. *Journal of Urban Technology*, 9(1), 109-123.
- Liu, W., & Song, Z. (2020). Review of studies on the resilience of urban critical infrastructure networks. *Reliability Engineering & System Safety*, 193, 106617.
- Mackie, K. R., & Stojadinović, B. (2006). Post-earthquake functionality of highway overpass bridges. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 35(1), 77-93.
- Nicholson, A., & Dalziel, E. (2003, May). Risk evaluation and management: a road network reliability study. In *The Network Reliability of*
- Ahmed, M. M., & Ghasemzadeh, A. (2018). The impacts of heavy rain on speed and headway Behaviors: An investigation using the SHRP2 naturalistic driving study data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 91, 371-384.
- Alabbad, Y., Mount, J., Campbell, A. M., & Demir, I. (2021). Assessment of transportation system disruption and accessibility to critical amenities during flooding: Iowa case study. *Science of the Total Environment*, 793, 148476.
- Ambraseys, N. N. (1974). Historical Seismicity of North-Central Iran.
- Ambraseys, N. N., & Melville, C. P. (2005). A history of Persian earthquakes. *Cambridge University Press*.
- Arşık, İ., & Salman, F. S. (2013). Modeling earthquake vulnerability of highway networks. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 41, 319-326.
- Berberian, M. (1976). The 1962 earthquake and earlier deformations along the Ipak earthquake fault. *Geol. Surv. Iran*, 39, 419-426.
- Bíl, M., Vodák, R., Kubeček, J., Bílová, M., & Sedoník, J. (2015). Evaluating road network damage caused by natural disasters in the Czech Republic between 1997 and 2010. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 80, 90-103.
- Christopher, R. (1991). ATC-25 Seismic Vulnerability and Impact of Disruption of Lifelines in the Conterminous United States, Applied Technology Council, EQE Inc. *Redwood City, California, USA*.
- Diakakis, M., Boufidis, N., Grau, J. M. S., Andreadakis, E., & Stamos, I. (2020). A systematic assessment of the effects of extreme flash floods on transportation infrastructure and circulation: The example of

- Utasse, M., Jomelli, V., Grancher, D., Leone, F., Brunstein, D., & Virmoux, C. (2016). Territorial accessibility and decision-making structure related to debris flow impacts on roads in the French Alps. *International Journal of Disaster Risk Science*, 7, 186-197.
- Wilson, A. T. (1930). Earthquakes in Persia. *Bulletin of the School of Oriental and African Studies*, 6(1), 103-131.
- Zhang, Y., Ayyub, B. M., & Fung, J. F. (2022). Projections of corrosion and deterioration of infrastructure in United States coasts under a changing climate. *Resilient Cities and Structures*, 1(1), 98-109.
- Zhou, Y., Wang, J., & Yang, H. (2019). Resilience of transportation systems: concepts and comprehensive review. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(12), 4262-4276.
- Transport: Proceedings of the 1st International Symposium on Transportation Network Reliability (INSTR)*, Emerald Group Publishing Limited, 45-60.
- Song, J., & Ok, S. Y. (2010). Multi-scale system reliability analysis of lifeline networks under earthquake hazards. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 39(3), 259-279.
- Stöcklin, J. (1974). Possible ancient continental margins in Iran. In *The Geology of Continental Margins*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 873-887.
- Tak, H. Y., Suh, W., & Lee, Y. J. (2019). System-level seismic risk assessment of bridge transportation networks employing probabilistic seismic hazard analysis. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019, 1-17.

Investigating the Risk of Earthquakes in the Roads of Mazandaran Province

Fateme Dehghan Farouji, Instructor, Housing & Urban Development Research Center, Tehran, Iran.

Ali Beitollahi, Assistant Professor, Housing & Urban Development Research Center, Tehran, Iran.

Negar Soodmand, Ph.D., Student, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran.

E-mail: dehghan@bhrc.ac.ir

Received: May 2025- Accepted: August 2025

ABSTRACT

Earthquakes, as a natural disaster, can damage transportation systems and disrupt or stop their operation, especially in urban areas. Failure to consider the seismic risks of the transportation network causes chaos and disorder in the areas where the disasters has occurred. These systems are considered elements of search and rescue operations after an earthquake. Therefore, if a detailed assessment and analysis of the risks that threaten it is not carried out, it can cause disruption in the transportation network and ultimately, a failure in other vital services in the affected areas. The roads of Mazandaran Province are located in a high-seismic risk area. Seismic indicators such as faults (fault density and distance from the fault), earthquakes (density of large, medium and small earthquakes) and the classification of earthquake risk in the roads of Mazandaran Province were investigated. Superposition of seismic indices on roads has shown that road axes located in the eastern province, such as Kiasar, Firouzkooh-Qaemshahr, and Neka Road, have higher risk than Chalus Road.

Keywords: Seismic hazard, Roads, Mazandaran Province