نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال ششم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸.
صفحات ۱۵ تا ۲۶

تحلیلی بر میزان آسیب‌پذیری شبکه‌ی خطوط انتقال نیروی استان خراسان رضوی در برابر زلزله

محمد جوانبخت[1]، کارشناس ارشد سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران.

سید حسین حسینی، کارشناس ارشد برنامه‌ریزی آمایش سرزمین، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران.

دریافت مقاله : ۱۳۹۶/۱۰/۲۰ پذیرش نهایی:۱۳۹۷/۱۲/۱۵

چکیده

زلزله ازجمله مخاطرات طبیعی است که وقوع آن اغلب خسارات و تلفات زیادی برای انسان به دنبال داشته است. ایران کشوری زلزله‌خیز است و استان خراسان رضوی یکی از آسیب‌پذیرترین استان‌های کشور می‌باشد. به‌طوری‌که ۷۱ درصد از مساحت این استان در پهنه‌های با خطر متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرارگرفته است. یکی از بخش‌های مهمی که در اثر وقوع زلزله آسیب‌پذیری بالایی دارد، شبکه خطوط انتقال نیرو می‌باشد. در این تحقیق آسیب‌پذیری شبکه خطوط انتقال نیروی استان خراسان رضوی در برابر زلزله مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. تحقیق حاضر ازنظر هدف کاربردی و روش تحقیق پژوهش توصیفی - تحلیلی است. پارامترهای مؤثر برای این تحقیق شامل نزدیکی به خط گسل، ساختار زمین‌شناسی، شیب زمین، تراکم جمعیت مناطق شهری و روستایی، فاصله از خطوط ارتباطی انتخاب شدند. برای تهیه نقشه میزان آسیب‌پذیری ابتدا معیارهای شناسایی‌شده با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی وزن[2] دهی شدند سپس از روش فازی برای پهنه بندی آسیب‌پذیری زلزله استفاده شد. نتایج تحقیق حاکی از آن است که بیشترین آسیب‌پذیری استان خراسان رضوی در برابر زلزله در نواحی جنوب شرقی واقع‌شده است. بررسی وضعیت آسیب‌پذیری شبکه‌ی خطوط انتقال نیرو نشان می‌دهد که آسیب‌پذیری خطوط انتقال برق فشارقوی استان خراسان رضوی نسبتاً زیاد می‌باشد و بیشترین آسیب‌پذیری خطوط مذکور در نواحی جنوب شرقی استان قرار دارد. آسیب‌پذیری خطوط انتقال نفت نشان می‌دهد که ۱۲.۶۱ درصد این خطوط در پهنه‌ی با آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار دارند. در خطوط انتقال گاز نیز ۶۴.۶۲ درصد این خطوط در پهنه‌ی با آسیب‌پذیری کم و خیلی کم و آسیب‌پذیری متوسط قرار دارد. به‌طورکلی بیشترین میزان آسیب‌پذیری در خطوط برق فشارقوی قرار دارد و ۴۴.۴۷ درصد این خطوط در پهنه‌های با آسیب‌پذیری خیلی زیاد و آسیب‌پذیری زیاد قرار دارد.

واژه های کلیدی: آسیب‌پذیری، استان خراسان رضوی، خطوط انتقال نیرو، زلزله، فازی گاما.

[1] . نویسنده مسئول: Email: mjavanbakht@ut.ac.ir

[2] Analytic Hierarchy Process (AHP)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.15]

مقدمه

میزان قرار گرفتن در معرض مخاطرات و ظرفیت مقابله یک جامعه با آن مخاطرات را آسیب‌پذیری گویند (Cutter, ۲۰۰۰). به‌عبارت‌دیگر آسیب‌پذیری عبارت است از محدودیت یک جامعه در برابر یک مخاطره و مسلط شدن آن مخاطره بر کلیه عوامل فیزیکی، اقتصادی، اجتماعی و سیاسی؛ به‌طوری‌که بر توانایی جامعه در واکنش به آن حوادث تأثیر منفی می‌گذارد (Cheng et al., ۲۰۰۲). زلزله پدیده‌ای است طبیعی که بی‌توجهی به آن خسارات جبران‌ناپذیری به دنبال خواهد داشت. وقوع زلزله‌های شدید بشر را بر آن داشته است که در فکر تدوین یک برنامه زیربنایی برای کاهش خطرات و آسیب‌های ناشی از آن باشد. ویژگی‌های زمین‌ساخت کشور، زلزله را به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین عوامل انهدام حیات انسانی مطرح نموده است. بررسی‌های تاریخی نشان می‌دهد که مناطق وسیعی از کشورمان توسط این حادثه طبیعی متحمل آسیب‌های جانی و مالی گردیده است. بر اساس گزارش سازمان ملل، در سال ۲۰۰۳ میلادی، کشور ایران در بین کشورهای جهان رتبه نخست را در تعداد زلزله‌های با شدت بالای ۵.۵ ریشتر را دارا است (UNDP, ۲۰۰٤:۱۲). آسیب‌پذیری کالبدی در همه شهرهای ایران به‌طور کم یا زیاد، وجود دارد تا جایی که آمارها نشان می‌دهند، ۹۰ درصد شهرهای کشور در برابر زلزله ۵/۵ ریشتری آسیب‌پذیر هستند (پورمحمدی و مصیب زاده، ۱۳۸۷). کشور ایران همواره مستعد وقوع زلزله و میزبان انواع دیگری از بلایای طبیعی بوده که عواقب آن‌ها نتیجه آمیزه‌ای از کنش انسان و تعامل جامعه با سامانه‌ها و چرخه‌های طبیعی بوده است. افزون بر این، درنتیجه افزایش شهرنشینی و رشد جمعیت طی چند سال گذشته، آثار بلایای طبیعی بر زندگی شهروندان و تأسیسات زیربنایی آشکارتر گردیده است (علاءالدینی،۹:۱۳۹۰). میزان بالای تخریب زلزله‌های ایران نه‌تنها ناشی از شرایط طبیعی بلکه معلول سلسله‌ای مسائل اجتماعی، جمعیتی و مدیریتی است. به‌ویژه رشد جمعیت و گسترش شهرنشینی، ساخت بناهای کم‌دوام به دلایل فنی و اقتصادی، سرمایه‌گذاری کم در تمهیدات پیشگیرانه و کمی آگاهی عمومی از مخاطرات در این امر دخیل هستند (ویسه،۱۳۸۷).

به مجموعه سازه‌ها، تأسیسات و تجهیزاتی که وظیفه‌ی ذخیره، تأمین، انتقال و توزیع نیازهای حیاتی شامل آب، برق، گاز و یا جمع‌آوری، ذخیره و تصفیه یا بازیافت فاضلاب و مواد زائد و یا برقراری ارتباط شامل تلفن ثابت و همراه، اینترنت و داده رادارند شریان‌های حیاتی گفته می‌شود (Rourke, ۱۹۹۹). انتقال فرآورده‌های نفتی و گاز توسط خطوط لوله یکی از روش‌های مناسب، ارزان‌قیمت، سریع و مطمئن است. این خطوط اکثراً به لحاظ ایمنی و ملاحظات اجتماعی به‌صورت مدفون انجام می‌گیرد و در موارد اندکی به‌صورت روزمینی اجرا می‌شوند که در مجموعه‌ی مهندسی، چنین سازه‌هایی به‌عنوان شریان‌های حیاتی محسوب می‌شوند. با توجه به این‌که خطوط لوله در سطح وسیعی گسترش می‌یابند، لذا در اثر آسیب‌پذیری خطوط انتقال نیرو به خاطر خطر گسلش می‌تواند روزانه چند میلیون دلار به اقتصاد کشور زیان وارد کند که این خود نشان‌دهنده اهمیت ویژه بررسی عملکرد این خطوط در هنگام زلزله است (حجازی و همکاران،۱۳۸۹). درزمینه‌ی پهنه‌بندی خطر زلزله تاکنون مطالعات زیادی انجام‌شده است. دریکی از مطالعات احد نژاد (۱۳۸۸)در رساله دکتری خود تحت عنوان آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با به‌کارگیری روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و مدل (RISK-UE) به این نتیجه رسید که منطقه‌ی ۳ شهرداری زنجان آسیب‌پذیرترین منطقه و منطقه‌ی ۲ شهرداری زنجان کم آسیب‌پذیرترین منطقه‌ی شهر زنجان می‌باشد. در مطالعه‌ای دیگر روستایی (۱۳۹۰) خطر گسل تبریز بر کاربری‌های مختلف اراضی شهری را پهنه‌بندی کرده است؛ و شهر تبریز به پهنه‌های با خطر بسیار بالا، بالا، نسبتاً بالا، متوسط، نسبتاً پایین و پایین تقسیم‌بندی شده است. فرج زاده اصل (۱۳۹۰) به ارزیابی آسیب‌پذیری مساکن شهری در

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.15]

برابر زلزله در منطقه ۹ شهرداری تهران پرداخته است. این پژوهش با توجه به روش‌های مبتنی بر پایگاه‌های اطلاعاتی و با بهره‌گیری از روش تاپسیس فازی انجام‌گرفته است که نتایج حاصله حاکی از آسیب‌پذیر بودن منطقه ۹ تهران در برابر زلزله و کارایی مدل فازی در ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه موردمطالعه است. کاوا (Cova, ۱۹۹۹) برای مدل‌سازی آسیب‌پذیری از اطلاعاتی مانند توپوگرافی و محل گسل‌های منطقه، محل تأسیسات زیربنایی حساس و پراکنش جمعیت برای مدل‌سازی آسیب‌پذیری بهره جست. اسریکانس و همکاران (Srikanth et al., ۲۰۱۰) ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمانی موجود شهرهای گاندهی داهم و ادیپور هند که با پهنه‌بندی آسیب‌پذیری مناطق شهری نشان داده است دلیل اصلی تلفات در این شهرها کیفیت پایین ساخت‌وساز ساختمان‌ها بوده است.

به‌طورکلی از پژوهش‌های صورت گرفته می‌توان دریافت که اکثر مطالعات تمرکز بیشتری بر آسیب‌پذیری نقاط شهری دارند و به آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها در سطح منطقه‌ای و سطح کلان پرداخته نشده است. با توجه به اینکه که زیرساخت‌هایی مانند خطوط انتقال نیرو جزء شریان‌های حیاتی محسوب می‌شود و آسیب دیدن این خطوط باعث اختلال دز زندگی بشر و تشدید بحران پس از وقوع زلزله می‌شود. در این میان استان خراسان رضوی با جمعیتی حدود شش میلیون نفر (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰) و همچنین وجود گسل‌های فعال متعددی که در سطح استان وجود دارد این استان را به یکی از مناطق مستعد زلزله در کشور به شمار می‌رود (پور کرمانی، ۱۳۷۷: ۲۶) بنابراین این استان یکی از مهم‌ترین کانون‌های جمعیتی و آسیب‌پذیر کشور است. ازاین‌رو آسیب‌پذیری شبکه انتقال نیروی استان خراسان رضوی اهمیت بالایی دارد. لذا هدف اصلی این پژوهش آسیب‌پذیری شبکه خطوط انتقال نیرو استان خراسان رضوی شامل برق فشارقوی، نفت و گاز است.

داده‌ها و روش کار

- **منطقه موردمطالعه**

بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، استان خراسان رضوی ۶۴۳۴۵۰۱ نفر جمعیت دارد. این استان در سال ۱۳۹۱ بیش از ۱۱۶ هزار کیلومترمربع وسعت داشته که بین مدار جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرارگرفته است. (سالنامه آماری، ۱۳۹۱) بر اساس آخرین تقسیمات کشوری، استان خراسان رضوی در سال ۱۳۹۱ دارای ۲۸ شهرستان، ۷۰ بخش،۷۲ شهر و ۱۶۴ دهستان بوده است (سالنامه آماری، ۱۳۹۱).

همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود تقریباً در تمامی مناطق استان گسل‌ها حضوری فعال دارند. همچنین جهت این گسل‌ها اغلب غربی – شرقی است از گسل‌های مهم استان می‌توان به گسل‌های کشف رود، تربت‌جام، بینالود، سبزوار، دشت بیاض، سرایان، نیشابور یا کپه داغ و درونه نام برد. همچنین گسل درونه بزرگ‌ترین گسل استان محسوب می‌شود این گسل به طول ۷۰۰ کیلومتر با امتداد شمال شرقی – جنوب غربی از مرکز دشت کویر تا درونه (نام روستایی از توابع شهرستان بردسکن، خراسان رضوی) و با امتداد شرقی – غربی با تقعری به سمت جنوب از درونه تا مرز افغانستان کشیده شده است. فاصله شهرهای استان خراسان رضوی با گسل‌های فعال منطقه نشان می‌دهد که بیشتر شهرهای بزرگ استان در نزدیکی گسل واقع‌شده‌اند جدول (۱) فاصله‌های شهرهای استان را از خط گسل نشان می‌دهد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

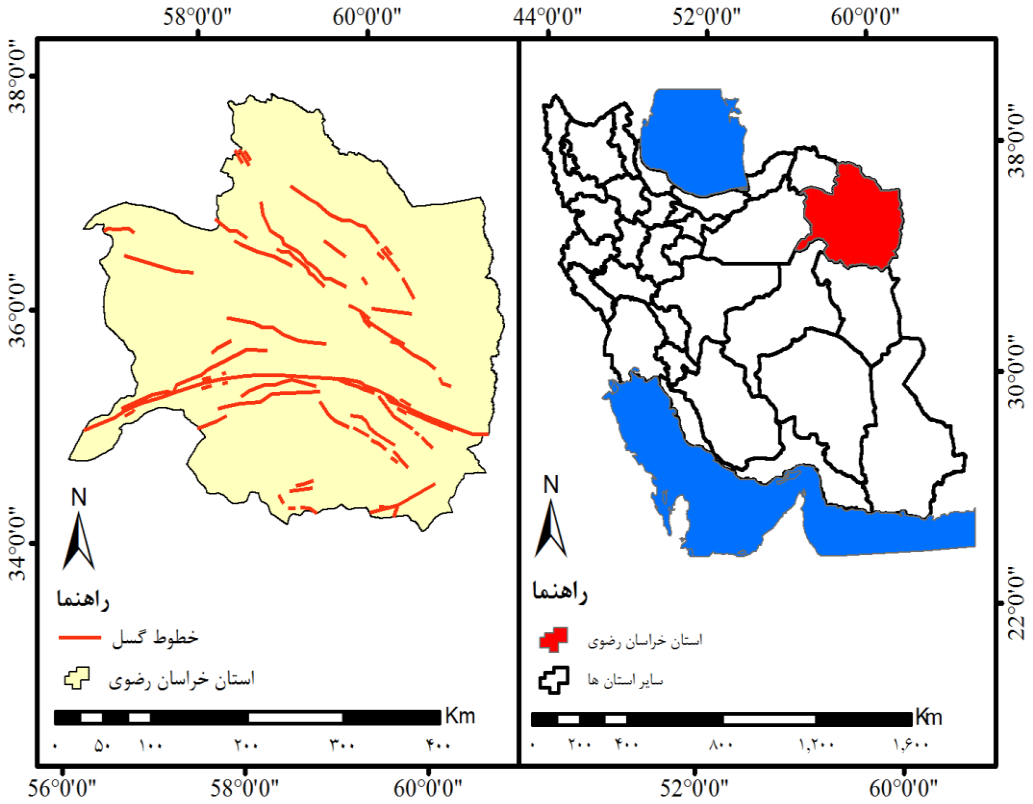
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.15]

جدول ۱: وضعیت فاصله شهرهای استان خراسان رضوی با گسل‌های فعال

نام شهر	فاصله از گسل به کیلومتر	نام شهر	فاصله از گسل به کیلومتر
مشهد	۲	تربت‌جام	۱۳
سبزوار	۵	چناران	۸
نیشابور	۱۳	اسفراین	۱۰
قوچان	۱۱	فریمان	۸
بردسکن	۲	کاشمر	۴
تربت‌حیدریه	۷	گناباد	۱۲

منبع: نگارشی،۱۳۸۴

شکل ۱ موقعیت جغرافیایی استان خراسان رضوی نسبت به سایر استان‌ها و همچنین موقعیت شهرستان‌ها را نشان می‌دهد.



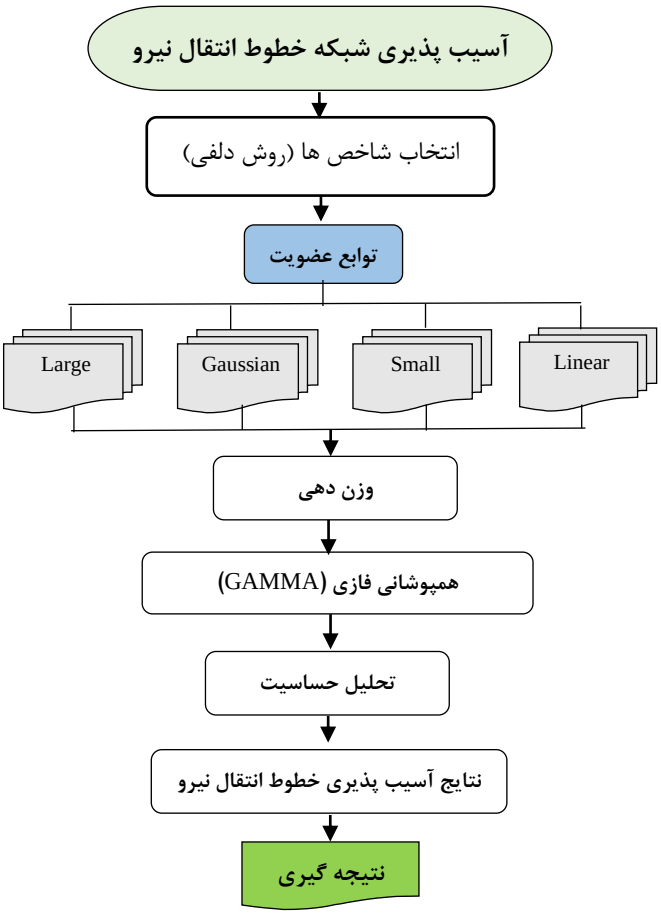
شکل ۱: محدوده موردمطالعه

- **روش کار**

نوع تحقیق حاضر ازنظر هدف کاربردی و روش تحقیق پژوهش توصیفی - تحلیلی است. محدود مطالعاتی خطوط انتقال نیروی استان خراسان رضوی می‌باشد. در شکل (۲) مراحل انجام پژوهش به‌صورت خلاصه مشاهده می‌شود. در ادامه به تشریح مراحل می‌پردازیم.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.15]



شکل ۲: روش انجام کار مدل‌سازی

در پژوهش حاضر ابتدا با توجه به مطالعات کتابخانه‌ای و روش دلفی[۱]، عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری خطوط انتقال نیرو در برابر زلزله شناسایی شدند. روش دلفی که از آن بانام‌های مطالعه دلفی، فن دلفی[۲] و روش دلفی[۳] نیز نام می‌برند به حوزهٔ روش‌های پیش‌بینی مکاشفه ذهنی یا شهودی تعلق دارد، دردهه ۱۹۵۰ توسط نورمن دالکی، اُلاف هلمر و تی جی گوردون در شرکت راند (RAND) در سانتا مونیکای کالیفرنیا، برای مطالعه و بررسی مسائل نظامی آینده شکل گرفت، ولی یک دهه بعد، برای پیش‌بینی‌های فناورانه در مقیاس‌های بزرگ و نیز برنامه‌ریزی گروهی و مشترک به کار گرفته شد (Lang, ۱۹۹٤). این روش در پروژه‌های متنوع زیادی که هدفشان پیش‌بینی‌های بلندمدت است به کار گرفته می‌شود (Ludwig and Starr, ۲۰۰۵). براین اساس، انتخاب شاخص‌های آسیب‌پذیری در جریان یک پرسشگری از کارشناسان مربوطه انجام گردید برای انجام پرسشگری از سه گروه کارشناسان زلزله‌شناسی، عمران (سازه و خاک و پی) و برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای انتخاب شدند. شاخص‌های انتخاب‌شده شامل فاصله از گسل، ساختار زمین‌شناسی، شیب زمین، تراکم جمعیت مناطق شهری و روستایی، فاصله از خطوط ارتباطی می‌باشند. به این منظور از داده‌های خطوط گسل، زمین‌شناسی، مدل رقومی ارتفاع، داده‌های جمعیتی و داده‌های خطوط ارتباطی استفاده شد. پس از

۱. Delphi Study
۲. Delphi Technique
۳. Delphi Method

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.15]

شناسایی و استخراج معیارها به‌منظور تلفیق معیارها با توجه به تحقیقات انجام‌شده روش منطق فازی انتخاب شد. در این روش برای نرمال‌سازی معیارها از توابع عضویت فازی استفاده می‌شود سپس برای وزن دهی از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد در این روش معیارهای ذکرشده به‌طور جداگانه و به‌صورت زوجی مقایسه شده و وزن نسبی هرکدام از معیارها مشخص گردیده است سپس وزن‌های معیارها نیز نسبت به یکدیگر موردسنجش قرارگرفته و با ترکیب آن‌ها وزن نهایی تعیین‌شده است (Saty, ۲۰۰٤:٤).

نرخ ناسازگاری مقایسه زوجی بین معیارها، ۰/۰۶ است. بنابراین نتایج وزن دهی قابل قبول می باشد. در جدول (۲) به معرفی توابع و وزن‌های مورداستفاده پرداخته می‌شود

جدول ۲: توابع فازی

محیط طبیعی	تابع	وزن
فاصله از گسل	Linear	۰/۳۴۲
زمین‌شناسی	Large	۰/۱۹۱
شیب	Large	۰/۰۹۱
تراکم جمعیت	Small	۰/۲۶۳
فاصله از راه‌های ارتباطی	Linear	۰/۱۱۳

درنهایت با استفاده از روش فازی گاما[1] پهنه‌بندی آسیب‌پذیری خطوط انتقال نیروی استان خراسان رضوی صورت گرفت تابع فازی گاما، حاصل‌ضرب جبری دو تابع جمع و ضرب فازی می‌باشد. این تابع حاصل سازگاری تأثیر افزایشی تابع جمع فازی و تأثیر کاهشی تابع ضرب فازی است (Vafai, ۲۰۱۳). ضریب گاما مقداری بین صفرتا ۱ است. درصورتی‌که این مقدار برابر ۱ باشد، نتیجه تابع همانند جمع جبری و درصورتی‌که مقدار گاما برابر صفر باشد نتیجه تابع همانند تابع ضرب فازی خواهد بود. اگر مقداری بین صفر و ۱ انتخاب شود، ارزش خروجی بزرگ‌تر از ضرب فازی اما کوچک‌تر از جمع فازی خواهد بود. ازآنجایی‌که اکثر معیارها اثر یکدیگر را در میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله تقویت می‌کنند ضریب گامای ۰/۹ انتخاب شد.

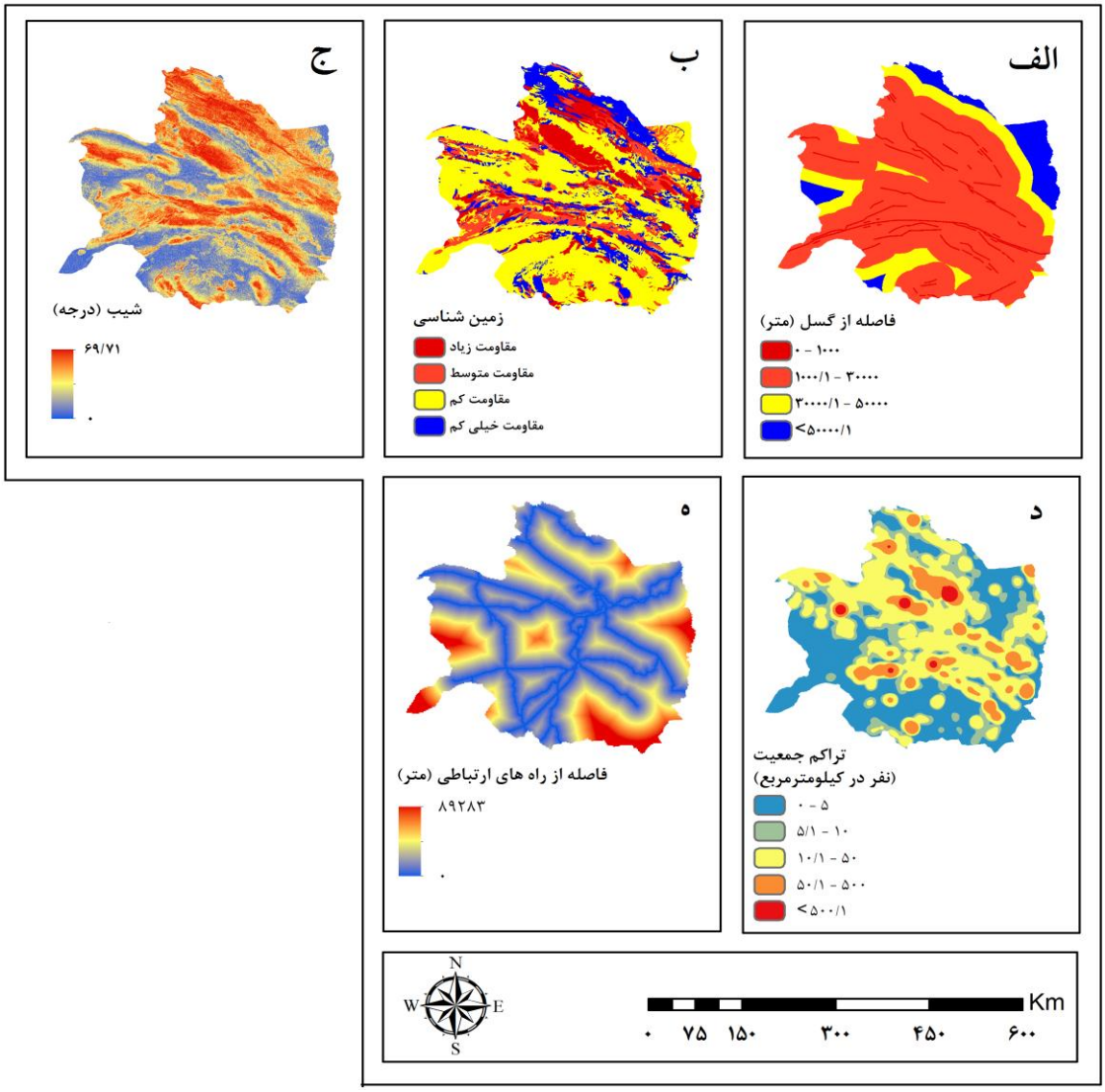
برای ارزیابی نتایج از روش تحلیل حساسیت استفاده شد. تحلیل حساسیت می‌تواند به شناسایی ورودی‌های حساس و تعیین اولویت‌های مدل کمک نماید. روش تحلیل حساسیت یکی یکی[2] معمول‌ترین روش تحلیل حساسیت است که در آن، به‌صورت تک‌تک تمامی پارامترهای ورودی را به‌منظور تعیین تأثیر آن بر خروجی مدل به‌صورت انتخابی تغییر می‌دهد؛ درحالی‌که سایر ورودی‌ها ثابت هستند. درصورتی‌که میزان تغییرات در خروجی مدل کمتر از میزان تغییرات در ورودی‌ها باشد، مدل حساسیت بالایی به ورودی ها ندارد و نتیجه مدل قابل‌قبول است (Lilburne and Tarantola, ۲۰۰۹).

۱. Gamma
۲. One-At-a-Time (OAT)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.15]

شرح و تفسیر نتایج

با توجه به روش‌های بیان‌شده پس از تصحیحات لازم بر روی‌داده‌ها اقدام به استخراج شاخص‌ها گردید. شکل (۳) وضعیت منطقه موردمطالعه را ازنظر شاخص‌های انتخاب‌شده نشان می‌دهد.

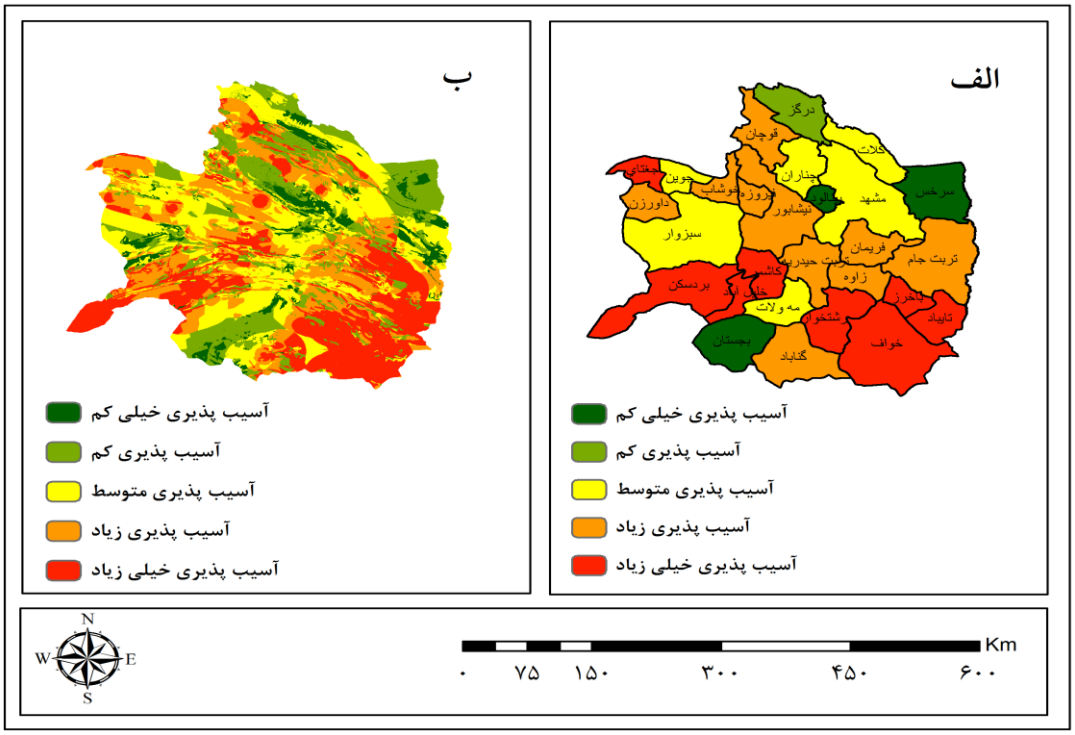


شکل ۳: پهنه‌بندی عوامل تأثیرگذار در زلزله‌های استان خراسان رضوی؛ الف. فاصله از گسل، ب. زمین‌شناسی، ج. شیب، د. تراکم جمعیت کل استان، ه. دسترسی به راه‌های ارتباطی

فاصله از خطوط گسل یکی از شاخص‌های بسیار مهم در آسیب‌پذیری زلزله است. فاصله کمتر از یک کیلومتر تا خطوط گسل به‌عنوان پهنه‌های با آسیب‌پذیری خیلی زیاد، فاصله یک کیلومتر تا سی کیلومتر پهنه‌ی با آسیب‌پذیری زیاد، فاصله سی کیلومتر تا پنجاه کیلومتر پهنه با آسیب‌پذیری متوسط و فاصله بیش از پنجاه کیلومتر را پهنه آسیب‌پذیری کم است (زمردیان، ۱۳۸۱: ۱۱۱). پراکندگی خطوط گسل نشان می‌دهد به جزء مناطقی کوچکی در شمال شرق و شرق مابقی استان در فاصله کمتر از ۳۰۰۰ متری این خطوط قرار دارند بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بیشتر استان در مناطق پرخطر واقع‌شده است. یکی دیگر از عوامل خیلی مهم در ارتباط با آسیب‌پذیری ناشی از زلزله وضعیت زمین‌شناسی می‌باشد، نقشه مربوط به این عامل بازگوکننده این است که بیشتر ساختار زمین‌شناسی استان در برابر

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.15]

زلزله مقاومت کم و متوسط دارند درنتیجه ساختار زمین‌شناسی استان در برابر زلزله مقاومت مناسبی ندارد. وضعیت شیب زمین استان حاکی از آن است قسمت‌های جنوبی و غربی استان شیب کم و قسمت‌های شمالی استان در قسمت‌های پرشیب قرارگرفته است که آسیب‌پذیری بیشتری در برابر زلزله دارد. تراکم جمعیت استان در قسمت‌های مرکز بیشتر از مناطق دیگر می‌باشد درنتیجه مناطق مرکزی استان به لحاظ تراکم جمعیت آسیب‌پذیرتر است. فاصله مناطق استان از دسترسی به راه‌های ارتباطی شامل فاصله از راه‌آهن، فاصله از راه اصلی و فاصله از آزادراه حاکی از آن است که نواحی مرکزی استان که محل برخورد راه‌های ارتباطی می‌باشد آسیب‌پذیری کمتری نسبت به وقوع زلزله دارند ولی مناطق مرزی بیشترین فاصله را داشته و آسیب‌پذیری بیشتری را دارند. شکل (۴) میزان آسیب‌پذیری استان را نشان می‌دهد.

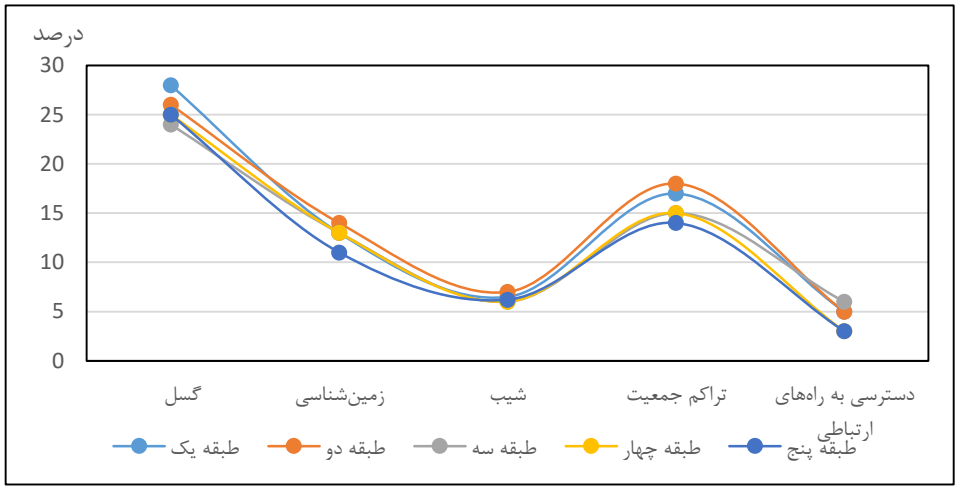


شکل ۴: پهنه‌بندی خطر زلزله در استان خراسان رضوی؛ الف. طبقه‌بندی بر اساس تقسیمات شهرستان، ب. طبقه‌بندی براساس انحراف معیار

وضعیت آسیب‌پذیری استان خراسان رضوی نشان می‌دهد که نواحی جنوب شرقی این استان بیشترین آسیب‌پذیری را در برابر زلزله نشان می‌دهد. طبق تقسیمات سیاسی استان، شهرستان‌های بردسکن، خلیل‌آباد، کاشمر، رشت خوار، خواف، تایباد، باخرز و جغتای جزء شهرستان‌های با آسیب‌پذیری خیلی زیاد در برابر خطر زلزله هستند. شهرستان‌های قوچان، فیروزه، خوشاب، داورزن، نیشابور، فریمان، تربت‌حیدریه، فریمان، زاوه، تربیت جام و گناباد در پهنه‌ی با آسیب‌پذیری زیاد قرار دارند. در نواحی آسیب‌پذیری متوسط شهرستان‌های مشهد، چناران، کلات، جوین، سبزوار، مه ولات قرار دارند. شهرستان‌های با آسیب‌پذیر کم در برابر زلزله فقط شهرستان درگز می‌باشد و در نواحی آسیب‌پذیری خیلی کم شهرستان‌های سرخس، بینالود و بجستان قرار دارند. نتیجه کلی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری استان خراسان رضوی در برابر زلزله بازگوکننده یک نکته خیلی مهم می‌باشد که بیشتر نواحی استان در قسمت‌های با آسیب‌پذیری خیلی زیاد و آسیب‌پذیری زیاد واقع‌شده‌اند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.15]

به‌منظور تحلیل حساسیت نتایج مدل‌سازی، روش تحلیل حساسیت یکی یکی مورد استفاده قرار گرفت. شکل (۵) نتیجه مدل فازی گاما در اثر افزایش مقدار شاخص‌ها را نشان می‌دهد. پس از اجرای مدل گاما، خروجی در ۵ طبقه، طبقه‌بندی شد. سپس میانگین طبقات برای هر یک از خروجی‌ها محاسبه گردید. در ادامه با افزایش ۳۰ درصد به مقدار هر شاخص و ثابت نگه‌داشتن سایر شاخص‌ها حساسیت نتیجه مدل به شاخص‌های مختلف بررسی شد.



شکل۵: تحلیل حساسیت مدل فازی گاما

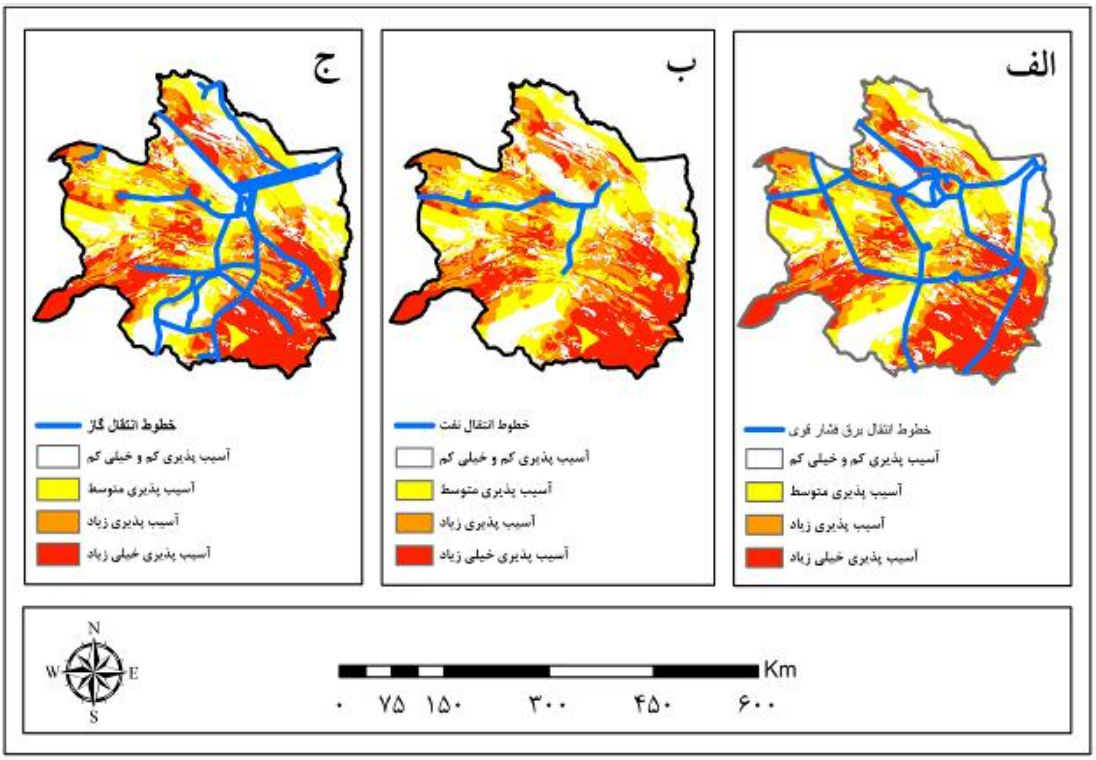
همان‌طور که مشاهده می‌شود درصد تأثیر تغییر ورودی‌ها بر نتیجه مدل در همه متغیرها بین ۲ تا ۲۸ درصد می‌باشد. با توجه به اینکه درصد تغییر نتیجه مدل در مورد همه متغیرها کمتر از درصد تغییر ورودی (افزایش ۳۰ درصد) است، می‌توان نتیجه گرفت که نتایج مدل فازی گاما قابل‌اعتماد بوده و تحت تأثیر یک یا چند متغیر خاص قرار نمی‌گیرد. در این میان متغیرهای فاصله از گسل و تراکم جمعیت به ترتیب تأثیر بیشتری بر نتایج مدل‌سازی داشته‌اند.

- **آسیب‌پذیری خطوط انتقال نیروی استان در برابر زلزله**

شکل (۶) میزان آسیب‌پذیری خطوط انتقال نیروی استان خراسان رضوی را در برابر خطر زلزله نشان می‌دهد؛ در ادامه وضعیت هر یک از خطوط انتقال نیرو شرح داده‌شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.15]



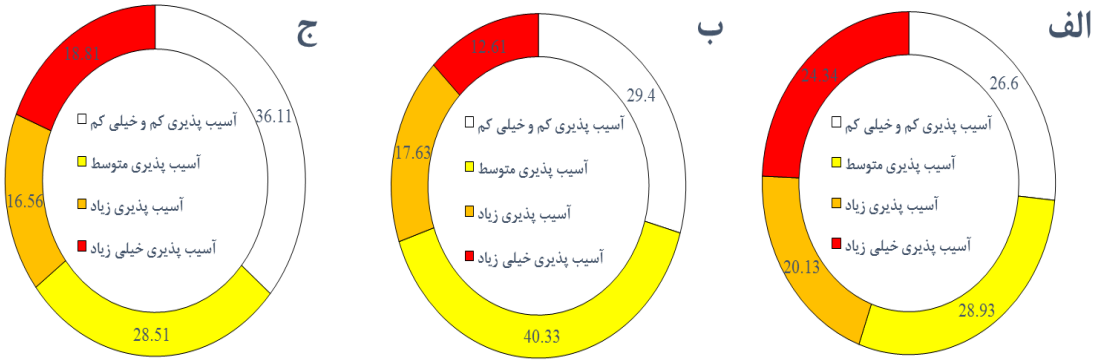
شکل۶: میزان آسیب‌پذیری خطوط انتقال نیروی استان خراسان رضوی در برابر خطر زلزله؛ الف. خطوط انتقال برق فشارقوی، ب. خطوط انتقال نفت، ج. خطوط انتقال گاز

همان‌گونه که نقشه مربوط به خطوط انتقال برق فشارقوی استان نشان می‌دهد، این خطوط در کل نواحی استان پراکنده‌شده‌اند و بیشترین آسیب‌پذیری خطوط مذکور در نواحی جنوب شرقی استان می‌باشد. به‌طورکلی آسیب‌پذیری خطوط انتقال برق فشارقوی استان خراسان رضوی زیاد می‌باشد. وضعیت آسیب‌پذیری خطوط انتقال نفت در استان که به‌صورت محدودتری نسبت به خطوط انتقال برق فشارقوی قابل‌مشاهده می‌باشد نشان‌دهنده این وضعیت است که خطوط مذکور در نواحی با آسیب‌پذیری کم و متوسط قرار دارند.

خطوط انتقال گاز استان خراسان رضوی بیشتر در نواحی شرقی این استان متمرکزشده‌اند. با توجه به نقشه مربوط به این خطوط، شاخه‌هایی از خطوط مذکور که در قسمت‌های متمایل به مرکز قرارگرفته‌اند در محدوده پهنه با آسیب‌پذیری متوسط قرار دارند ولی بعضی از شاخه‌های این خطوط که در قسمت جنوب شرقی استان واقع‌شده در پهنه با آسیب‌پذیری خیلی زیاد می‌باشد.

شکل (۷) میزان آسیب‌پذیری شبکه‌ی خطوط انتقال نیروی استان را به‌صورت درصد نمایش می‌دهد، در پهنه‌ی آسیب‌پذیری خیلی زیاد بیشترین آسیب‌پذیری در خطوط برق فشارقوی می‌باشد (۲۴.۳۴٪). در پهنه آسیب‌پذیری زیاد نیز خطوط برق فشارقوی بیشترین آسیب‌پذیری را دارد (۲۰.۱۳٪). در پهنه‌های آسیب‌پذیری متوسط و کم خطوط انتقال نفت و گاز بیشترین طول خطوط رادارند؛ بنابراین شبکه برق فشارقوی آسیب‌پذیرترین خطوط انتقال نیرو می‌باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.15]



شکل ۷: میزان درصد آسیب‌پذیری خطوط انتقال نیروی استان خراسان رضوی در برابر خطر زلزله؛ الف. خطوط انتقال برق فشارقوی، ب. خطوط انتقال نفت، ج. خطوط انتقال گاز

نتیجه‌گیری

خطوط انتقال نیرو به علت گستردگی جغرافیایی و عبور از نواحی مختلف در مواقع بحران به‌ویژه پس از وقوع زلزله درصورتی‌که دچار آسیب‌دیدگی شوند خسارات زیادی به بار می‌آورد. این آسیب‌دیدگی نه‌تنها باعث خسارات اقتصادی زیاد به جامعه می‌شود بلکه باعث وقفه در زندگی روزمره مردم می‌گردد. این مطالب اهمیت ویژه بررسی میزان آسیب‌پذیری این خطوط در برابر زلزله را نشان می‌دهد. در این تحقیق نقشه آسیب‌پذیری استان خراسان رضوی در برابر زلزله به روش فازی تهیه گردید. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که خطوط انتقال برق فشارقوی استان خراسان رضوی آسیب‌پذیری نسبتاً بالایی دارند. بیشترین آسیب‌پذیری خطوط مذکور در نواحی جنوب شرقی استان است. آسیب‌پذیری خطوط انتقال نفت استان نشان‌دهنده این وضعیت است که خطوط مذکور بیشتر در نواحی با آسیب‌پذیری کم و متوسط قرار دارند؛ و شرایط مطلوب به نظر می‌رسد. خطوط انتقال گاز استان خراسان رضوی بیشتر در نواحی شرقی این استان متمرکزشده‌اند. شاخه‌هایی از خطوط مذکور که در قسمت‌های متمایل به مرکز قرارگرفته‌اند در محدوده پهنه با آسیب‌پذیری متوسط قرار دارند ولی بعضی از شاخه‌های این خطوط که در قسمت جنوب شرقی استان واقع‌شده در پهنه با آسیب‌پذیری خیلی زیاد می‌باشد.

به‌طورکلی با توجه به زلزله‌خیز بودن استان خراسان رضوی و بررسی نتایج حاصله از نقشه‌های تحقیق بالا بودن میزان خسارات مخصوصاً در خطوط برق فشارقوی و گاز استان کاملاً مشهود است؛ و نشان‌دهنده‌ی آسیب‌پذیر بودن این خطوط در مقابل هرگونه زلزله احتمالی می‌باشد و نیاز به برنامه‌ریزی بیشتر در نواحی با آسیب‌پذیری بالا را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل پیشنهاد می‌گردد مسئولان وزارت نیرو در استان خراسان رضوی با در نظر گرفتن نقشه‌های تحقیق حاضر نسبت به بررسی بهسازی و ترمیم شبکه فعلی مخصوصاً در مناطق با آسیب‌پذیری خیلی زیاد اقدام کنند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.15]

منابع

احدنژاد، محسن. ۱۳۸۸. مدلسازی آسیب پذیری شهرها دربرابر زلزله مطالعه موردی شهر زنجان. *رساله دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری*، دانشگاه تهران.

پورکرمانی، محسن. ۱۳۷۷. لرزه خیزی ایران. انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.

پورمحمدی، محمدرضا و علی مصیب زاده. ۱۳۸۷. آسیب‌پذیری شهرهای ایران در برابر زلزله و نقش مشارکت محله‌ای در امدادرسانی آن‌ها. *فصلنامه جغرافیا و توسعه*، **۱۲**: ۱۱۷-۱۴۴.

روستایی، شهرام. ۱۳۹۰. پهنه بندی خطر گسل تبریز برای کاربریهای مختلف اراضی شهری. *فصلنامه جغرافیا و توسعه*، **۲۱**: ۲۷-۴۱.

زمردیان، محمدجعفر. ۱۳۸۱. ژئومورفولوژی ایران، جلد اول، انتشارات دانشگاه فردوسی، مشهد.

علاءالدینی، پویا. ۱۳۹۰. بازسازی مناطق زلزله‌زده و کاهش آسیب‌پذیری در ایران، انتشارات جامعه شناسان، تهران.

فرج زاده اصل، منوچهر. ۱۳۹۰. ارزیابی آسیب پذیری مساکن شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی : منطقه ۹ شهرداری تهران). مطالعات و پژوهشهای شهری و منطقه ای، **۹**: ۱۹-۳۶.

مرکز آمار ایران. ۱۳۹۰. نتایج تفصیلی سرشماری عمومی نفوس و مسکن.

نگارشی، حسین. ۱۳۸۴. زلزله، شهرها و گسل‌ها. *فصلنامه پژوه های جغرافیایی*، شماره **۵۲**: ۵۱-۳۴.

ویسه، ید الله. ۱۳۸۷. نگرشی به مطالعات شهرسازی و برنامه‌ریزی در مناطق زلزله خیز. پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران.

Cheng, S. ۲۰۰۰. Development of a Fuzzy Multi-Criteria Decision Support System for Municipal Solid Waste Management, MA Sc (Doctoral dissertation, Thesis, University of Regina, Regina, SK, Canada).

Cova, T. J. ۱۹۹۹. GIS in emergency management. Geographical information systems, ۲, ۸٤٥-۸٥۸.

Cutter, S. L., Mitchell, J. T., & Scott, M. S. ۲۰۰۰. Revealing the vulnerability of people and places: a case study of Georgetown County, South Carolina. Annals of the association of American Geographers, ۹۰(٤), ۷۱۳-۷۳۷.

Lang, T. ۱۹۹٤. An overview of four futures methodologies, retrieved December ۱, ۲۰۰٥.

Lilburne, L., & Tarantola, S. ۲۰۰۹. Sensitivity analysis of spatial models. International Journal of Geographical Information Science, ۲۳(۲), ۱٥۱-۱٦۸.

Ludwig, L., & Starr, S. ۲۰۰٥. Library as place: results of a delphi study. Journal of the Medical Library Association, ۹۳(۳), ۳۱٥.

Ergünay, O., & Gülkan, P. ۱۹۹۳. Land-use planning as instrument of earthquake hazard mitigation. In Comprehensive Approach to Earthquake Disaster Mitigation (pp. ۲۳٥-۲۷۷).

Rourke, T. D., & Jeon, S. S. ۱۹۹۹. Factors affecting the earthquake damage of water distribution systems. In Optimizing Post-Earthquake Lifeline System Reliability (pp. ۳۷۹-۳۸۸). ASCE.

Saaty . T.L . (۲۰۰٤) Decision making — the Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP) ,Journal of Systems Science and Systems Engineering, ۱۳ (۱) (۲۰۰٤). pp. ۱–۳٥.

Srikanth, T., Kumar, R. P., Singh, A. P., Rastogi, B. K., & Kumar, S. ۲۰۱۰. Earthquake vulnerability assessment of existing buildings in Gandhidham and Adipur Cities, Kachchh, Gujarat (India). European Journal of Scientific Research, ٤۱(۳), ۳۳٦-۳٥۳.

UNDP, H. ۲۰۰٤. Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development–A Global Report. New York, USA: UNDP.

Vafai, F., Hadipour, V., & Hadipour, A. ۲۰۱۳. Determination of shoreline sensitivity to oil spills by use of GIS and fuzzy model. Case study–The coastal areas of Caspian Sea in north of Iran. Ocean & coastal management, ۷۱, ۱۲۳-۱۳۰.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.15]