

تحلیل پهنه‌بندی خطر زلزله در چارچوب سیاست‌گذاری توسعه شهری زنجان

اسکندر نعمتی: گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، واحد مرند، دانشگاه آزاد اسلامی، مرند، ایران
سهیلا حمیدزاده خیای: نویسنده مسؤل، گروه شهرسازی، واحد شبستر، دانشگاه آزاد اسلامی، شبستر، ایران
حسین نظم فر: گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده

زلزله به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی، همواره تهدیدی جدی برای شهرهای ایران، به‌ویژه شهر زنجان، محسوب می‌شود. هدف این پژوهش، ارائه چارچوبی سیاستی برای کاهش خطر زلزله از طریق پهنه‌بندی لرزه‌ای و تلفیق آن با شاخص‌های توسعه شهری است. روش تحقیق بر پایه رویکردی تلفیقی شامل مطالعات کتابخانه‌ای، بررسی‌های میدانی، تحلیل شبکه‌ای (ANP) و مدل‌سازی در محیط GIS طراحی شد. داده‌ها از ۲۰ خبره در حوزه‌های شهرسازی و زلزله‌شناسی گردآوری و با استفاده از منطق فازی تحلیل گردید. نتایج نشان داد معیار کالبدی-ساختمانی با وزن ۴۱.۸۳ درصد بیشترین تأثیر را بر آسیب‌پذیری دارد، در حالی که فاصله از گسل‌ها و تراکم جمعیتی نیز نقش مهمی در تشدید خطر ایفا می‌کنند. بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی، نواحی جنوبی و غربی شهر زنجان به‌عنوان مناطق با خطر بالا شناسایی شدند. یافته‌ها بیانگر آن است که سیاست‌گذاری توسعه شهری در زنجان تاکنون بدون توجه کافی به مخاطرات لرزه‌ای انجام گرفته و نیازمند بازنگری جدی است. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود سیاست‌های شهری با محوریت مقاوم‌سازی بافت‌های فرسوده، اصلاح کاربری اراضی، ایجاد بانک اطلاعاتی مخاطرات و آموزش عمومی بازطراحی شوند. این پژوهش تأکید می‌کند که تلفیق نتایج پهنه‌بندی خطر زلزله با سیاست‌های توسعه شهری، می‌تواند مسیر دستیابی به شهری ایمن، تاب‌آور و پایدار را برای زنجان فراهم آورد.

کلیدواژه‌ها: پهنه‌بندی، زلزله، سیاست‌گذاری توسعه شهری، زنجان.

استناد: نعمتی، اسکندر؛ حمیدزاده خیای، سهیلا؛ نظم فر، حسین. (۱۴۰۴). تحلیل پهنه‌بندی خطر زلزله در چارچوب سیاست‌گذاری توسعه شهری زنجان. *سیاستگذاری شهری و منطقه‌ای*، ۴(۱۶)، ۲۸-۱۴.

مقدمه

ایران یکی از لرزه‌خیزترین کشورهای جهان است و در طول تاریخ همواره از زلزله‌های ویرانگر آسیب‌های جبران‌ناپذیری متحمل شده است. ساختار زمین‌شناسی پیچیده، وجود گسل‌های فعال متعدد و تمرکز شهرنشینی در نواحی پرخطر، سبب شده است که بخش عمده‌ای از شهرهای کشور در معرض تهدید جدی زلزله قرار گیرند. در این میان، شهر زنجان به‌عنوان مرکز استان و یکی از قطب‌های صنعتی، اقتصادی و فرهنگی شمال غرب کشور، از نظر موقعیت ژئومورفولوژیکی و توسعه فضایی، شرایطی دارد که ضرورت بررسی دقیق پهنه‌بندی خطر زلزله را بیش‌ازپیش نمایان می‌سازد (Rahimi et al., ۲۰۲۲). تجربه تاریخی زلزله‌های ویرانگر ایران، از جمله زمین‌لرزه‌های رودبار و منجیل، بم و سرپل ذهاب، نشان داده است که بخش اعظم خسارات وارده نه‌تنها به دلیل شدت زمین‌لرزه، بلکه به سبب نبود برنامه‌ریزی شهری مبتنی بر ارزیابی خطر و تاب‌آوری شهری بوده است. توسعه شهری در بسیاری از شهرهای ایران، از جمله زنجان، بدون توجه کافی به ظرفیت‌های زمین‌شناسی، نوع خاک، فاصله از گسل‌ها، تراکم جمعیتی و کیفیت سازه‌ها انجام گرفته است. نتیجه آن، افزایش آسیب‌پذیری فضاهای شهری در برابر پدیده‌ای است که وقوع آن اجتناب‌ناپذیر است (Moradzadeh & RahmaniGhassabeh, ۲۰۱۹). از سوی دیگر، مفهوم توسعه شهری در دهه‌های اخیر دچار تحول مفهومی و ساختاری شده است. توسعه، دیگر صرفاً به گسترش کالبدی شهر محدود نیست، بلکه ابعاد اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و فناوری را در بر می‌گیرد. توسعه شهری امروز باید در چارچوب پایداری و تاب‌آوری تعریف شود؛ به این معنا که هرگونه گسترش و نوسازی شهری باید با شناخت دقیق از محیط طبیعی و مخاطرات آن همراه باشد. بنابراین، پهنه‌بندی خطر زلزله با تأکید بر توسعه شهری نه‌تنها یک ابزار علمی برای تحلیل خطرات طبیعی است، بلکه ابزاری برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی شهری ایمن و پایدار به شمار می‌رود (Farahmand et al., 2022).

در شهر زنجان، طی دو دهه گذشته، روند توسعه کالبدی و رشد جمعیت با سرعتی بالا رخ داده است. گسترش مناطق مسکونی در حاشیه شهر، احداث زیرساخت‌های جدید، افزایش تعداد طبقات ساختمان‌ها و تراکم سازه‌ها بدون ارزیابی جامع از خطر لرزه‌ای، احتمال بروز فاجعه در هنگام وقوع زمین‌لرزه را افزایش داده است. افزون بر این، بسیاری از محلات قدیمی شهر دارای بافت‌های فرسوده و ساختمان‌هایی با مقاومت پایین در برابر زلزله هستند. در نتیجه، پهنه‌بندی خطر زلزله در زنجان می‌تواند ابزار مؤثری برای تعیین سطوح آسیب‌پذیری و اولویت‌بندی اقدامات مقاوم‌سازی و مدیریت بحران باشد.

پژوهش‌های متعدد داخلی و بین‌المللی نشان می‌دهند که ارتباطی تنگاتنگ میان شاخص‌های توسعه شهری و میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله وجود دارد. عواملی همچون نوع مصالح ساختمانی، تراکم جمعیتی، عرض معابر، فاصله از گسل‌ها، کیفیت زیرساخت‌ها و کاربری اراضی، به‌عنوان متغیرهای کلیدی در افزایش یا کاهش ریسک لرزه‌ای شناخته می‌شوند. در مدل‌های نوین برنامه‌ریزی، این متغیرها باید به‌صورت هم‌زمان و سیستمی تحلیل شوند تا نقشه‌ای واقعی از توزیع خطر در سطح شهر به دست آید. این امر نیازمند به‌کارگیری مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (مانند ANP) و ابزارهای تحلیل فضایی GIS است که بتوانند داده‌های متنوع را وزن‌دهی و تلفیق کرده و در نهایت نقشه‌ای از پهنه‌های پرخطر، متوسط و کم‌خطر ارائه دهند.

شهر زنجان، به دلیل قرارگیری بر روی زون‌های فعال لرزه‌ای مانند گسل‌های ماه‌نشان، سهرین و سلطانیه، در پهنه‌ای با خطر بالا واقع شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بخش‌های شمال غربی و شرقی شهر در مجاورت مستقیم با این گسل‌ها قرار دارند و توسعه بی‌برنامه در این مناطق، آسیب‌پذیری سکونتگاه‌ها را دوچندان کرده است. از سوی دیگر، نبود بانک جامع اطلاعاتی از شاخص‌های کالبدی، اقتصادی و زیست‌محیطی شهر، سبب شده است که تاکنون پهنه‌بندی جامعی از خطر زلزله با تأکید بر توسعه شهری در زنجان انجام نشود. این خلأ علمی و کاربردی، ضرورت انجام پژوهشی دقیق را نمایان می‌سازد تا ضمن شناسایی عوامل مؤثر، بتوان راهبردهای عملی برای کاهش خطر و بهبود تاب‌آوری شهری ارائه کرد.

مسئله اصلی این است که توسعه شهری بدون لحاظ مؤلفه‌های خطر زلزله، نه تنها موجب بهبود کیفیت زندگی نمی‌شود؛ بلکه خود به عاملی در تشدید خسارات تبدیل می‌گردد. در مقابل، اگر برنامه‌ریزی توسعه شهری با اتکا بر نتایج پهنه‌بندی خطر صورت گیرد، می‌توان از سرمایه‌گذاری‌های غیرایمن جلوگیری کرد، الگوهای کاربری اراضی را اصلاح نمود و در نهایت توسعه‌ای ایمن، هوشمند و پایدار را رقم زد. در این چارچوب، پژوهش حاضر با تمرکز بر شهر زنجان می‌کوشد تا میان شناخت خطرات زمین‌شناختی و سیاست‌های توسعه شهری، پیوندی نظام‌مند برقرار سازد.

در بعد نظری، این مطالعه در پی آن است که با مرور مبانی مفهومی توسعه شهری، تاب‌آوری و مدیریت ریسک، چارچوبی علمی برای تلفیق این مفاهیم با ارزیابی خطر زلزله ارائه دهد. از منظر کاربردی نیز هدف آن است که با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای برای وزن‌دهی به معیارها و نرم‌افزار GIS برای تلفیق لایه‌های مکانی، نقشه‌ای از پهنه‌های خطر زلزله در شهر زنجان تهیه گردد تا مبنای تصمیم‌گیری برای نهادهای برنامه‌ریز شهری، مدیریت بحران و سازمان‌های ذی‌ربط قرار گیرد. در این میان، توجه به ابعاد انسانی و اجتماعی توسعه شهری نیز ضروری است. تجربه نشان داده است که حتی باوجود زیرساخت‌های مقاوم، نبود آگاهی عمومی، ضعف در فرهنگ ایمنی و کمبود آمادگی اجتماعی، میزان خسارات انسانی در زلزله‌ها بسیار بالا خواهد بود؛ بنابراین، پهنه‌بندی خطر زلزله باید هم‌زمان با برنامه‌های آموزشی، سیاست‌گذاری‌های شهری، ضوابط ساخت‌وساز و طرح‌های نوسازی بافت فرسوده همراه باشد تا بتواند به هدف اصلی خود، یعنی کاهش خطر و ارتقای ایمنی عمومی، دست یابد (Spence et al. 2007a).

در نهایت، مسئله‌ای که این پژوهش قصد دارد پاسخ دهد آن است که کدام شاخص‌ها و معیارها بیشترین تأثیر را بر پهنه‌بندی خطر زلزله در شهر زنجان دارند و چگونه می‌توان با تحلیل هم‌زمان شاخص‌های توسعه شهری و خطر لرزه‌ای، راهکارهایی علمی و قابل‌اجرا برای کاهش آسیب‌پذیری ارائه کرد. انتظار می‌رود نتایج این تحقیق بتواند نه تنها نقشه‌ای علمی از وضعیت خطر زلزله در زنجان ارائه دهد، بلکه به‌عنوان الگویی برای سایر شهرهای کشور نیز مورد استفاده قرار گیرد؛ چرا که در همه شهرهای ایران، توسعه شهری ایمن بدون توجه به خطر زلزله، توسعه‌ای ناقص و ناپایدار خواهد بود. بنابراین، پژوهش حاضر با در نظر گرفتن ابعاد کالبدی، جمعیتی، اقتصادی و زیست‌محیطی شهر زنجان و باتکیه بر تحلیل‌های علمی، در پی آن است که به این پرسش بنیادین پاسخ دهد: چگونه می‌توان از طریق پهنه‌بندی علمی خطر زلزله و تلفیق آن با شاخص‌های توسعه شهری، مسیر توسعه‌ای پایدار، ایمن و تاب‌آور را برای آینده زنجان ترسیم کرد؟

ادبیات پژوهش

زلزله به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و مخرب‌ترین مخاطرات طبیعی، همواره تهدیدی جدی برای سکونتگاه‌های انسانی به شمار می‌آید. ایران، به‌ویژه مناطق شمال غربی آن از جمله شهر زنجان، در کمربند لرزه‌خیز آلپ - هیمالیا قرار دارد و سابقه

زمین‌لرزه‌های متعدد در این ناحیه نشان از آسیب‌پذیری بالا در برابر این پدیده طبیعی دارد. رشد سریع جمعیت شهری، گسترش کالبدی بی‌برنامه و توسعه فیزیکی در مناطق ناپایدار، بر شدت آسیب‌پذیری افزوده است (Dezgani و Tahghighi, ۱۳۹۷). از این رو، تحلیل فضایی خطر زلزله و پهنه‌بندی لرزه‌ای باهدف راهنمایی سیاست‌های توسعه شهری، ضرورتی علمی و کاربردی محسوب می‌شود.

پهنه‌بندی خطر زلزله به فرایند ارزیابی و تفکیک مناطق مختلف بر اساس میزان خطر نسبی ناشی از زمین‌لرزه‌ها اطلاق می‌شود. هدف از این پهنه‌بندی، شناسایی نواحی مستعد آسیب، تعیین شدت لرزه‌پذیری، و کمک به تصمیم‌گیری در مکان‌یابی بهینه کاربری‌های شهری است. در این فرایند، پارامترهای مختلفی از جمله فاصله تا گسل‌های فعال، نوع و جنس زمین، شیب توپوگرافی، تراکم جمعیت و کیفیت سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Duzgun et al., ۲۰۱۱).

به‌طور کلی، پهنه‌بندی لرزه‌ای در سه سطح انجام می‌شود:

پهنه‌بندی مقدماتی (سطح ۱): بر اساس داده‌های کلی زمین‌شناسی و تاریخی.

پهنه‌بندی تفصیلی (سطح ۲): با استفاده از داده‌های لرزه‌زمین‌ساختی و مدل‌های آماری.

پهنه‌بندی خرد (سطح ۳): که بیشتر برای طراحی شهری و سازه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (Spence et al., ۲۰۰۷b). ارتباط میان خطر زلزله و توسعه شهری یکی از محورهای مهم در مطالعات برنامه‌ریزی فضایی است. در بسیاری از شهرهای ایران، توسعه شهری بدون توجه به اصول مکان‌یابی علمی انجام گرفته و سکونتگاه‌ها در مجاورت گسل‌ها یا بر روی خاک‌های نرم و ناپایدار شکل گرفته‌اند. شهر زنجان نیز از این قاعده مستثنا نیست؛ رشد فیزیکی آن طی دو دهه اخیر عمدتاً در نواحی جنوبی و غربی بوده است که به‌واسطه نزدیکی به گسل‌های فرعی و زمین‌های آبرفتی جوان، دارای خطر نسبی بیشتری‌اند. از دیدگاه برنامه‌ریزی، توسعه پایدار شهری مستلزم انطباق طرح‌های شهری با واقعیت‌های زیست‌محیطی و طبیعی است. در این چارچوب، پهنه‌بندی خطر زلزله می‌تواند به‌عنوان ابزاری راهبردی برای اصلاح الگوی توسعه کالبدی و هدایت آینده شهر عمل کند. بر اساس رویکرد مدیریت خطرپذیری شهری، هر شهر مجموعه‌ای از عناصر آسیب‌پذیر (جمعیت، زیرساخت، مسکن و خدمات) در معرض تهدیدات طبیعی است. ترکیب سه عامل اصلی، خطر کلی را شکل می‌دهد:

خطر^۱: احتمال وقوع زلزله با شدت مشخص.

آسیب‌پذیری^۲: حساسیت عناصر شهری به آسیب.

ظرفیت تاب‌آوری^۳: توان شهر در مقابله و بازیابی پس از حادثه (Maria Bostenaru Dan et al., ۲۰۱۴).

بنابراین، در چارچوب این پژوهش، پهنه‌بندی خطر زلزله نه صرفاً بر مبنای داده‌های طبیعی، بلکه با تأکید بر ابعاد کالبدی و توسعه شهری تحلیل می‌شود. این امر با دیدگاه‌های نوین «برنامه‌ریزی تاب‌آور» (هم‌خوانی دارد که هدف آن کاهش خطر از طریق سازگاری کالبد و کاربری با ریسک‌های طبیعی است) (M Bostenaru Dan & Armas, ۲۰۱۵).

^۱ Hazard

^۲ Vulnerability

^۳ Capacity

سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان ابزار تحلیلی کلیدی در مطالعات مخاطرات طبیعی عمل می‌کند. این سیستم با فراهم‌سازی قابلیت هم‌پوشانی لایه‌های مکانی و انجام تحلیل‌های چندمعیاره، امکان ارزیابی دقیق‌تر خطرات را فراهم می‌آورد.

در این پژوهش، داده‌های مکانی مرتبط با گسل‌ها، شیب، جنس زمین و تراکم جمعیت از منابع رسمی گردآوری شده و سپس با روش وزن‌دهی لایه‌ها در محیط GIS ترکیب می‌شود تا نقشه نهایی پهنه‌های خطر زلزله در شهر زنجان تهیه گردد. این نقشه می‌تواند مبنایی برای بازنگری طرح‌های توسعه شهری و ضوابط ساخت‌وساز باشد. نتایج پهنه‌بندی خطر زلزله، مستقیماً بر سیاست‌های توسعه شهری تأثیر می‌گذارد. در مناطق با خطر بالا، باید از توسعه جدید جلوگیری یا ساخت‌وساز با ضوابط ویژه انجام شود؛ در مقابل، مناطق با خطر کمتر می‌توانند برای توسعه آتی در نظر گرفته شوند (Brabhaharan, ۲۰۱۳).

در شهر زنجان، روند توسعه در دهه‌های اخیر به سمت جنوب و غرب بوده است، درحالی‌که بررسی‌های زمین‌شناسی نشان می‌دهد بخش‌هایی از این مناطق در نزدیکی گسل‌های فعال قرار دارند؛ بنابراین، بازنگری در طرح جامع و تفصیلی شهر بر اساس نقشه‌های خطر لرزه‌ای ضرورت دارد.

چارچوب مفهومی این پژوهش بر تعامل میان سه مؤلفه اصلی استوار است:

عامل طبیعی (زلزله) — شامل ویژگی‌های لرزه‌خیزی و ساخت زمین.

عامل انسانی (توسعه شهری) — شامل تراکم، الگوی کاربری زمین و رشد کالبدی.

عامل مدیریتی (برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری) — شامل طرح‌های شهری و قوانین ساخت‌وساز.

تلفیق این سه بُعد منجر به درک جامع از خطرپذیری می‌شود و زمینه‌ساز تدوین راهبردهای توسعه‌ای مبتنی بر تاب‌آوری است (Estelaji et al., ۲۰۲۴; Motamed et al., ۲۰۲۰; Tucker et al., ۲۰۱۳).

پهنه‌بندی خطر زلزله به‌عنوان یکی از ابزارهای کلیدی در مدیریت ریسک لرزه‌ای و برنامه‌ریزی شهری، نقش مهمی در کاهش خسارات جانی و مالی ناشی از زلزله ایفا می‌کند. این فرایند شامل شناسایی، تحلیل و نقشه‌برداری مناطق با سطوح مختلف خطر لرزه‌ای است که با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی، ژئوتکنیکی و لرزه‌خیزی انجام می‌شود (Sassa et al., ۲۰۰۴). در دهه‌های اخیر، با رشد سریع شهرنشینی و توسعه زیرساخت‌های شهری، اهمیت پهنه‌بندی خطر زلزله در راستای توسعه پایدار شهری بیش‌ازپیش آشکار شده است. این پژوهش به بررسی مبانی نظری و ادبیات مرتبط با پهنه‌بندی خطر زلزله با تأکید بر توسعه شهری می‌پردازد و چارچوبی مفهومی برای این موضوع ارائه می‌دهد (Brabhaharan, ۲۰۱۳).

توسعه شهری بدون در نظر گرفتن مخاطرات طبیعی، به‌ویژه زلزله، می‌تواند پیامدهای فاجعه‌باری به همراه داشته باشد. شهرها به دلیل تراکم بالای جمعیت، زیرساخت‌های پیچیده و ارزش اقتصادی بالا، در برابر زلزله‌ها آسیب‌پذیر هستند (Cascini et al., ۲۰۰۵). پهنه‌بندی خطر زلزله به‌عنوان یک ابزار پیشگیرانه، به برنامه‌ریزان شهری کمک می‌کند تا:

- مکان‌های مناسب برای توسعه زیرساخت‌ها را شناسایی کنند.
- استانداردهای ساخت‌وساز مقاوم در برابر زلزله را تدوین کنند.
- طرح‌های مدیریت بحران و آمادگی در برابر زلزله را بهبود بخشند (Erdik et al., ۲۰۰۳).

چارچوب‌های نظری متعددی برای پهنه‌بندی خطر زلزله ارائه شده است که هر یک بر جنبه‌های خاصی تأکید دارند. یکی از این چارچوب‌ها، مدل چندمعیاره است که در آن معیارهای مختلفی مانند لرزه‌خیزی، ویژگی‌های خاک و آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها به صورت یکپارچه تحلیل می‌شوند. روش‌های متعددی برای پهنه‌بندی خطر زلزله وجود دارد که شامل مدل‌سازی عددی، تحلیل‌های آماری و استفاده از داده‌های تجربی است. به عنوان مثال، مدل‌سازی عددی با استفاده از نرم‌افزارهایی مانند OpenQuake امکان شبیه‌سازی سناریوهای مختلف زلزله را فراهم می‌کند. این روش‌ها به برنامه‌ریزان شهری کمک می‌کنند (Barua et al., ۲۰۲۳) تا مناطق با ریسک بالا را شناسایی کرده و اقدامات پیشگیرانه را اعمال کنند. پهنه‌بندی خطر زلزله با چالش‌هایی مانند کمبود داده‌های دقیق، پیچیدگی‌های مدل‌سازی و تغییرات سریع در الگوهای شهرنشینی مواجه است. به عنوان مثال، در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، فقدان داده‌های دقیق لرزه‌خیزی و ژئوتکنیکی می‌تواند دقت پهنه‌بندی را کاهش دهد. علاوه بر این، توسعه سریع شهرها ممکن است نقشه‌های خطر را به سرعت منسوخ کند (Celikbilek & Sapmaz, ۲۰۱۶).

پهنه‌بندی خطر زلزله ابزاری حیاتی برای کاهش ریسک لرزه‌ای و تضمین توسعه پایدار شهری است. با استفاده از روش‌های علمی و فناوری‌های نوین، می‌توان مناطق پرخطر را شناسایی کرد و اقدامات پیشگیرانه‌ای مانند بهبود استانداردهای ساخت‌وساز و مدیریت بحران را اجرا نمود. با این حال، موفقیت این فرایند به دسترسی به داده‌های دقیق، همکاری بین‌رشته‌ای و به‌روزرسانی مداوم نقشه‌های خطر وابسته است (Chen & Chang, ۲۰۱۸).

روش‌شناسی پژوهش

روش‌شناسی تحقیق در این مطالعه برای پهنه‌بندی خطر زلزله در شهر زنجان با تأکید بر توسعه شهری بر اساس یک رویکرد تلفیقی طراحی شده است که باهدف دستیابی به نتایج دقیق و کاربردی انجام می‌شود. این روش شامل چندین مرحله کلیدی است که هر یک به طور خاص برای تحلیل جامع مخاطرات زلزله و تأثیرات توسعه شهری بر آن به کار گرفته شده‌اند. در مرحله نخست، تحقیقات کتابخانه‌ای به عنوان پایه اصلی تحقیق صورت گرفته است که طی آن منابع گسترده‌ای از جمله کتاب‌ها، مقالات علمی، پایان‌نامه‌ها، مجلات تخصصی، مجموعه مقالات همایش‌ها، سخنرانی‌های علمی و داده‌های موجود در سایت‌های معتبر اینترنتی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این اطلاعات در فصل دوم به صورت مبانی نظری و چارچوب مفهومی تحقیق سازمان‌دهی شده‌اند تا پایه‌ای محکم برای تحلیل‌های بعدی فراهم کنند.

مرحله دوم، مطالعات میدانی است که باهدف شناخت دقیق‌تر شرایط جغرافیایی، کالبدی و اجتماعی شهر زنجان انجام شده است. در این بخش، ارتباط با ادارات و سازمان‌های مرتبط مانند سازمان مدیریت بحران، شهرداری و اداره کل راه و شهرسازی برقرار شده و اطلاعات به‌روز شامل نقشه‌ها، داده‌های آماری و گزارش‌های میدانی جمع‌آوری شده است. این مطالعات میدانی به‌ویژه برای شناسایی گسل‌های فعال مانند گسل تبریز و گسل سلطانیه و ارزیابی وضعیت ساخت‌وسازها در مناطق مختلف شهر اهمیت داشته است. مرحله سوم، تجزیه و تحلیل داده‌ها، شامل استخراج معیارهای اصلی پهنه‌بندی خطر زلزله با تأکید بر توسعه شهری است. این معیارها شامل فاصله از گسل‌ها، تراکم ساختمانی، نوع مصالح به کاررفته، و

شاخص‌های جمعیتی بوده‌اند که با استفاده از پرسشنامه‌هایی که توسط خبرگان حوزه زلزله‌شناسی و شهرسازی تکمیل شده‌اند، وزن‌دهی و اولویت‌بندی شده‌اند.

این روش‌شناسی تلفیقی با ترکیب داده‌های کتابخانه‌ای، میدانی و تحلیل‌های کمی و کیفی، امکان ارائه یک مدل جامع برای پهنه‌بندی خطر زلزله را فراهم کرده است. هدف اصلی این رویکرد، شناسایی مناطق پرخطر و ارائه راهکارهایی برای مدیریت توسعه شهری به‌گونه‌ای است که ریسک زلزله کاهش یابد و ایمنی ساکنان شهر زنجان ارتقا پیدا کند. این فرایند بادقت و با درنظرگرفتن ویژگی‌های خاص جغرافیایی و تاریخی زنجان اجرا شده تا نتایج آن قابلیت کاربرد عملی در برنامه‌ریزی شهری را داشته باشد.

محدوده مطالعاتی

شهر زنجان، یکی از شهرهای مهم و تاریخی در شمال غرب ایران، به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص خود و قرارگیری در منطقه‌ای زلزله‌خیز، همواره با چالش‌های متعددی در زمینه مدیریت مخاطرات طبیعی مواجه بوده است. این شهر که در استان زنجان و در محدوده‌ای بین ۴۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۰ دقیقه عرض شمالی قرار دارد، با مساحتی حدود ۳۹,۳۶۹ کیلومترمربع، یکی از مراکز اصلی این استان محسوب می‌شود. زنجان به دلیل هم‌مرز بودن با هفت استان از جمله اردبیل، گیلان، قزوین، همدان، کردستان، آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی، از نظر جغرافیایی و اقتصادی اهمیت ویژه‌ای دارد. تاریخچه این شهر به دوران باستان بازمی‌گردد و باتوجه‌به قرارگیری در مسیر ارتباطی شرق به غرب ایران، از دیرباز به‌عنوان دروازه‌ای مهم شناخته شده است. با این حال، وقوع زلزله‌های مخرب در گذشته و رشد سریع شهرنشینی در سال‌های اخیر، ضرورت توجه به پهنه‌بندی خطر زلزله و برنامه‌ریزی برای کاهش آسیب‌پذیری را بیش‌ازپیش آشکار کرده است.

رشد سریع و توسعه شهری در زنجان، به‌ویژه در دهه‌های اخیر، به دلیل افزایش جمعیت و گسترش ساخت‌وساز، پهنه‌بندی دقیق خطر زلزله را بیش‌ازپیش ضروری ساخته است. این توسعه که شامل افزایش تراکم ساختمانی و تغییر کاربری اراضی از کشاورزی به مسکونی و تجاری شده، باعث شده تا مناطق بیشتری از شهر در معرض خطر قرار گیرند. به‌عنوان مثال، بررسی‌ها نشان می‌دهد که تراکم ساختمانی در زنجان بین ۱۰۳ تا ۱۰۸ درصد در نوسان بوده و تراکم جمعیتی از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ از ۵۸ به ۶۳ نفر در هر هکتار رسیده است. این رشد، اگرچه نشان‌دهنده توسعه درونی شهر است، اما بدون برنامه‌ریزی مناسب، می‌تواند آسیب‌پذیری در برابر زلزله را افزایش دهد. از سوی دیگر، وجود ابنیه قدیمی با عمر متوسط بالای ۳۰ سال و استفاده از مصالح کم‌دوام در بخش‌هایی از شهر، از جمله عوامل کلیدی در افزایش ریسک زلزله محسوب می‌شود.

از منظر جغرافیایی، زنجان در منطقه‌ای قرار دارد که تحت‌تأثیر گسل‌های فعال متعددی است. گسل تبریز، گسل سلطانیه، گسل آوج و گسل حسن‌آباد از جمله مهم‌ترین گسل‌هایی هستند که فعالیت آن‌ها می‌تواند زلزله‌های شدیدی را در این منطقه ایجاد کند. به‌ویژه گسل تبریز که با طول بیش از ۹۹۹ کیلومتر و امتداد از جنوب ابهر تا ارتفاعات آرات ترکیه، بخش وسیعی از شهر زنجان را تحت‌تأثیر قرار داده است. همچنین گسل سلطانیه با طول ۱۵۹ کیلومتر و فعالیت تکتونیکی کوه‌های اطراف، نقش مهمی در وقوع زلزله‌های تاریخی مانند زلزله سال ۱۱۸۰ هجری شمسی در سلطانیه داشته است.

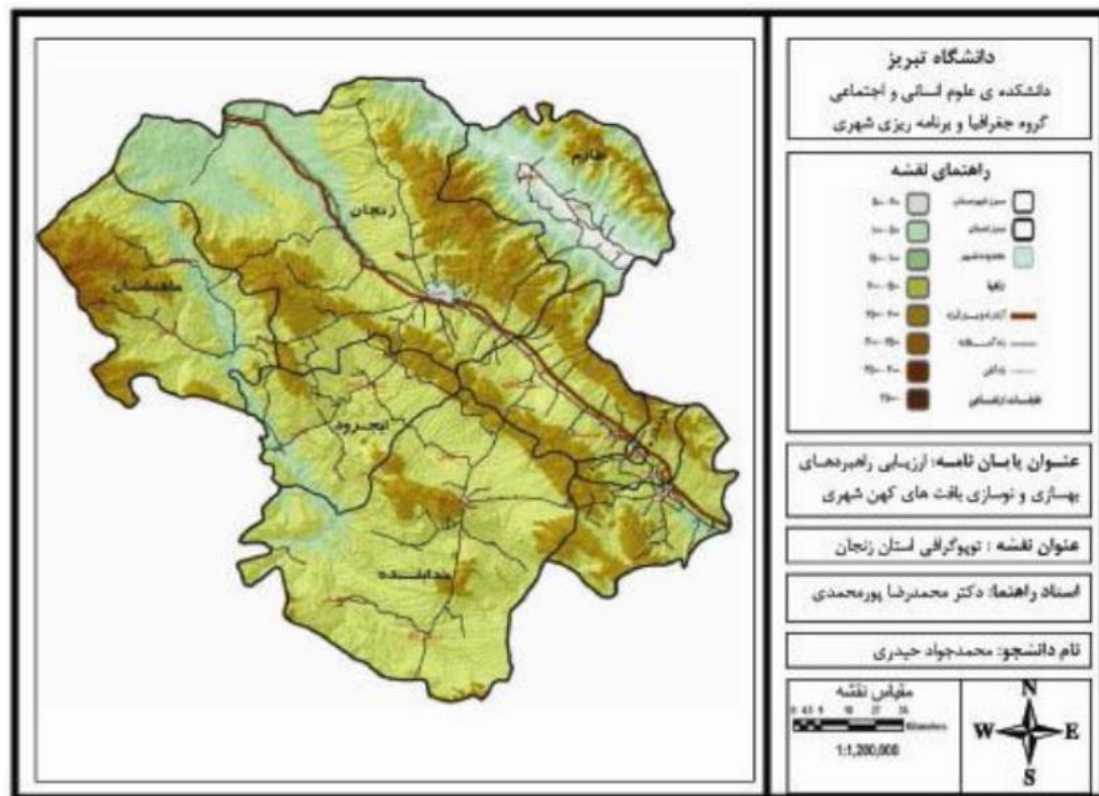
این گسل‌ها، همراه با گسل‌های فرعی مانند گسل زنجان و گسل بزقوش، نشان‌دهنده پتانسیل بالای زلزله‌خیزی در این منطقه هستند.

برای مدیریت این مخاطرات، استفاده از روش‌های علمی و دقیق در پهنه‌بندی خطر زلزله ضروری است. در این راستا، مطالعه حاضر از رویکرد تلفیقی بهره گرفته است که شامل مراحل مختلفی از جمله تحقیقات کتابخانه‌ای، مطالعات میدانی، تجزیه و تحلیل داده‌ها و استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی می‌شود. تحقیقات کتابخانه‌ای با بررسی منابع موجود از جمله کتاب‌ها، مقالات، پایان‌نامه‌ها و داده‌های اینترنتی، مبانی نظری را شکل داده است. مطالعات میدانی نیز با همکاری ادارات و سازمان‌های مرتبط، اطلاعات به‌روز و نقشه‌های دقیق را فراهم کرده است. در مرحله تجزیه و تحلیل، معیارهایی مانند فاصله از گسل‌ها، نوع مصالح ساختمانی، تراکم جمعیت و ویژگی‌های کالبدی شهر استخراج شده و با استفاده از پرسشنامه‌های تخصصی، نظرات خبرگان جمع‌آوری شده است.

ویژگی‌های کالبدی شهر زنجان نیز در این مطالعه مورد توجه قرار گرفته است. تقسیمات کالبدی شهر به ۶ منطقه، ۳۰ ناحیه و ۱۱۳ محله نشان‌دهنده ساختار پیچیده شهری است که نیازمند برنامه‌ریزی دقیق برای خدمات‌رسانی و کاهش ریسک زلزله است. از سوی دیگر، کاهش اراضی کشاورزی و افزایش اراضی بایر و رها شده، به توسعه پراکنده شهری اشاره دارد که می‌تواند مشکلات جدیدی را در زمان وقوع زلزله ایجاد کند. همچنین، شاخص‌های جمعیتی نشان می‌دهد که بیش از ۷۰ درصد جمعیت استان در شهرها و حدود ۵۰۶ درصد در خود شهر زنجان ساکن هستند که این تراکم جمعیتی، برنامه‌ریزی برای ایمنی را پیچیده‌تر می‌کند.

یکی از نکات برجسته در این مطالعه، تأکید بر توسعه پایدار شهری است. توسعه پایدار نیازمند آن است که ساخت‌وسازها با در نظر گرفتن خطرات زلزله انجام شود. به همین دلیل، پیشنهاد می‌شود که در مناطق پرخطر، محدودیت‌هایی برای ساخت‌وساز اعمال شود و در عین حال، مقاوم‌سازی ابنیه موجود در اولویت قرار گیرد. همچنین، آموزش شهروندان و افزایش آگاهی عمومی در مورد آمادگی در برابر زلزله، می‌تواند نقش مهمی در کاهش خسارات احتمالی ایفا کند.

در نهایت، باتوجه به تاریخچه زلزله‌خیزی زنجان و رشد سریع شهری، پهنه‌بندی خطر زلزله نه تنها یک نیاز فوری بلکه یک الزام استراتژیک برای این شهر است. این مطالعه با ارائه چارچوبی جامع، تلاش دارد تا با شناسایی مناطق پرخطر و پیشنهاد راهکارهای مناسب، گامی مؤثر در جهت کاهش آسیب‌پذیری شهر بردارد. نتایج این تحقیق می‌تواند به برنامه‌ریزان شهری و سیاست‌گذاران کمک کند تا با اتخاذ تصمیمات مبتنی بر علم، آینده‌ای امن‌تر برای ساکنان زنجان رقم بزنند. این تلاش، در کنار همکاری بین‌بخشی و استفاده از فناوری‌های نوین، می‌تواند زنجان را به الگویی برای مدیریت ریسک زلزله در مناطق مشابه تبدیل کند.



شکل ۱- توپوگرافی زنجان

یافته‌های پژوهش

یافته‌های این تحقیق بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده از طریق روش‌های تلفیقی، شامل تحقیقات کتابخانه‌ای، مطالعات میدانی، پرسشنامه‌های مقایسه زوجی بر پایه فرایند تحلیل شبکه‌ای مدل‌سازی در محیط GIS، به دست آمده است. هدف اصلی، پهنه‌بندی خطر زلزله در شهر زنجان با تأکید بر توسعه شهری است. برای این منظور، ۵ معیار اصلی (کالبدی - ساختمانی، فاصله از مراکز خدماتی امدادی، طبیعی، دسترسی و معابر، و جمعیتی) و ۲۱ زیرمعیار تعریف شده‌اند. داده‌ها از پرسشنامه‌های توزیع شده میان ۲۰ نفر خبره (شامل اساتید دانشگاهی، مدیران اجرایی و متخصصان مرتبط) استخراج شده و با استفاده از منطق فازی در GIS پردازش گردیده‌اند. یافته‌ها نشان‌دهنده سطوح مختلف ایمنی و نایمنی در نواحی شهر زنجان است که می‌تواند مبنایی برای برنامه‌ریزی شهری پایدار باشد. در ادامه، جداول کلیدی، نقشه‌های پهنه‌بندی (با اشاره به تصاویر مربوطه) و تحلیل‌های دقیق ارائه می‌شود.

جدول ۱، معیارها و زیرمعیارهای تحقیق را به همراه نمادهای مورد استفاده در نرم‌افزار SuperDecision نشان می‌دهد. این جدول بر اساس فصل سوم پایان‌نامه تنظیم شده و پایه‌ای برای وزن‌دهی و پهنه‌بندی است.

جدول ۱- معیارها و زیرمعیارها به همراه نمادها

معیار	نماد	زیرمعیار	نماد
کالبدی - ساختمانی	A	مصالح نما	A1
		تعداد طبقات	A2
		کیفیت بنا	A3
		عمر بنا	A4
		تراکم ساختمان	A5
		مصالح اسکلت	A6
		کاربری اراضی	A7
		پل	A8
		مساحت قطعات	A9
		سطح اشغال	A10
		ارتفاع	A11
فاصله از مراکز خدماتی امدادی	B	فاصله از مراکز درمانی	B1
		فاصله از مراکز آتش نشانی	B2
		فاصله از مراکز انتظامی	B3
طبیعی	C	فاصله از گسل	C1
		شیب	C2
		فاصله از مسیل و رودخانه	C3
دسترسی و معابر	D	فضای باز شهری	D1
		عرض معبر	D2
جمعیتی	E	تراکم جمعیتی ناخالص	E1
		تراکم جمعیتی خالص	E2

این معیارها بر اساس ادبیات موضوع انتخاب شده‌اند و وزن‌دهی آن‌ها از طریق پرسشنامه‌های مقایسه زوجی (با مقیاس ۹-۱ ساعتی) انجام گرفته است. نرخ ناسازگاری در ANP کمتر از ۰.۱ بوده که نشان‌دهنده اعتبار نتایج است.

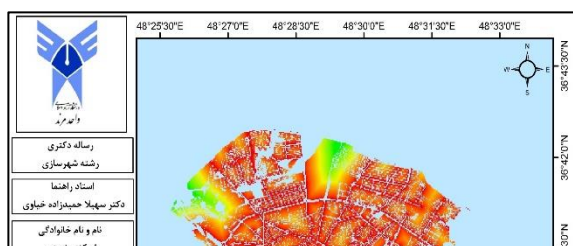
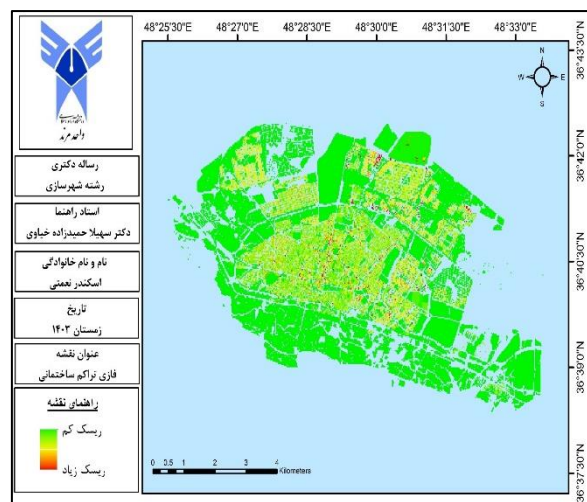
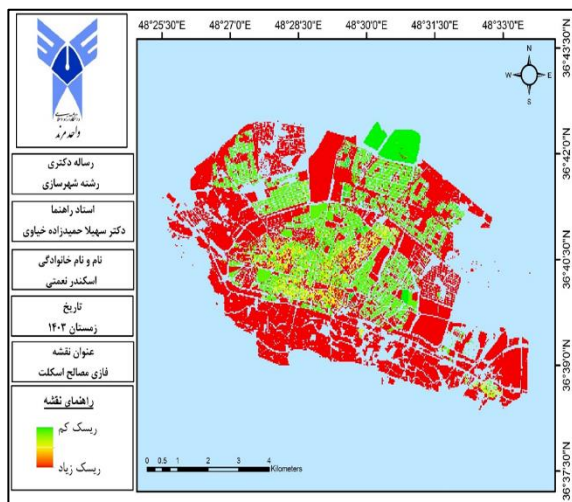
پرسشنامه طراحی شده بر اساس جدول مقیاس‌های ۹-۱، ساعتی ۱ صاحب‌نظر این عرصه است که بایستی به هر سؤال امتیازی بین اعداد ۱ تا ۹ داده شود. نمره ۱ نمایانگر اهمیت یکسان دو عنصر است و نمره ۹ نشان‌دهنده اهمیت بسیار زیاد یک عنصر در مقایسه با عنصر دیگر است. درجه اهمیت اعداد ۱ تا ۹ در مقایسات دوبه‌دو در ذیل ارائه شده‌اند.

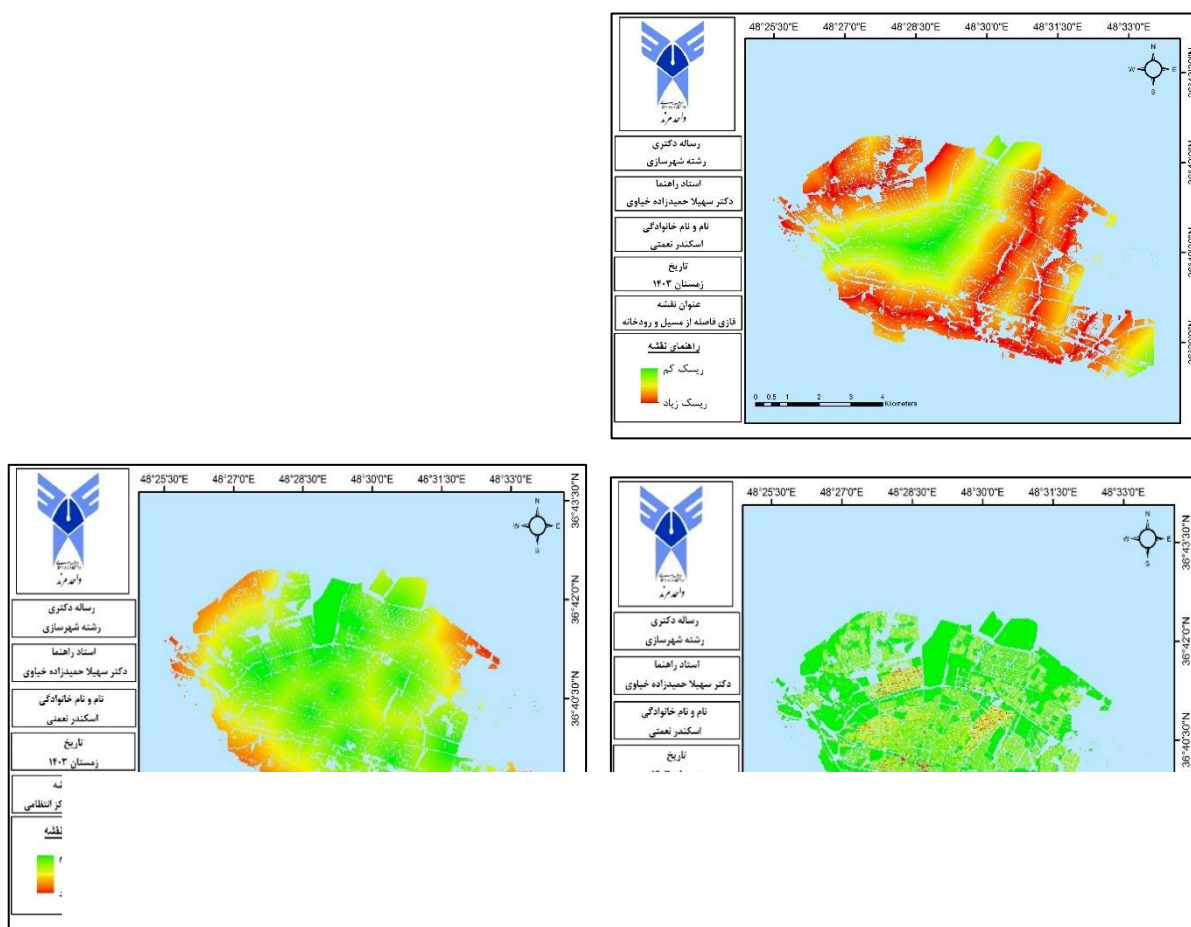
جدول ۲- امتیازات بین اعداد ۱ تا ۹ براساس ساعتی

مقدار عددی	درجه اهمیت در مقایسه دوه‌دو
۱	ترجیح یکسان
۲	یکسان تا نسبتاً مرجح
۳	نسبتاً مرجح
۴	نسبتاً تا قویاً مرجح
۵	قویاً مرجح
۶	قویاً تا بسیار قوی مرجح
۷	ترجیح بسیار قوی
۸	بسیار تا بی‌اندازه مرجح
۹	بی‌اندازه مرجح

در مقایسه معیار اول با معیار دوم اگر اهمیت هر دو معیار یکسان بود عدد ۱ را علامت بزنید. اگر معیار سمت راست مهم‌تر بود به همان اندازه که با اهمیت‌تر است عدد سمت راست انتخاب شود. انتخاب اعداد زوج به منزله ارزش‌گذاری بینایی در امتیازدهی است؛ مثلاً انتخاب عدد ۸ یعنی ارزش آن از ۷ بیشتر و از ۹ کمتر است.

جامعه هدف ما در پژوهش ۲۰ نفر از افراد خبره که دارای سوابق اجرایی و تحصیلات مرتبط با موضوع پایان نامه هستند، است. از نظر اساتید دانشگاهی به دلیل مطالعه عمیق و آشنایی با آخرین تحقیقات در حوزه تخصصی خود، دیدگاه‌های آکادمیک و نظری ارزشمندی را که ارائه می‌دهند، استفاده شده است. از طرفی نظر افراد اجرایی به دلیل تجربه عملی و درگیر بودن مستقیم با مسائل روزمره، دیدگاه‌های کاربردی و عملیاتی ارزشمندی را که ارائه می‌دهند، برای موضوع پرسشنامه تحقیق حاضر موثر و مفید است.





شکل ۲- نقشه‌های لایه‌های خطر زلزله در شهر زنجان با تاکید بر توسعه شهری

تحلیل یافته‌های تحقیق، بر پایه داده‌های جمع‌آوری شده از طریق روش‌شناسی تلفیقی شامل تحقیقات کتابخانه‌ای، مطالعات میدانی، فرایند تحلیل شبکه‌ای ANP و مدل‌سازی فازی در محیط GIS انجام شده است. هدف اصلی، ارزیابی پهنه‌بندی خطر زلزله در شهر زنجان با تأکید بر توسعه شهری پایدار است. یافته‌ها از تلفیق ۲۱ زیرمعیار در قالب ۵ معیار اصلی (کالبدی - ساختمانی، فاصله از مراکز خدماتی امدادی، طبیعی، دسترسی و معابر، و جمعیتی) استخراج شده‌اند. وزن‌دهی زیرمعیارها بر اساس نظرات ۲۰ خبره (با نرخ ناسازگاری کمتر از ۰.۱ در ANP و اعمال منطق فازی برای دسته‌بندی سطوح ایمنی (از ایمن تا نایمن) صورت گرفته است. نتایج نشان‌دهنده توزیع ناهمگن ایمنی در نواحی شهر است که می‌تواند مبنایی برای سیاست‌گذاری‌های شهری باشد. در ادامه، تحلیل مبسوط با تمرکز بر جداول، نقشه‌ها (با اشاره به تصاویر مربوطه) و تفسیر علمی ارائه می‌شود.

وزن‌دهی بر اساس فرایند چهارمرحله‌ای ANP انجام شده است: (۱) وزن نسبی معیارها (W_1)، (۲) وزن زیرمعیارها (W_2)، (۳) مطلوبیت طبقات فازی، و (۴) وزن نهایی (حاصل ضرب W_1 و W_2). این رویکرد، اهمیت نسبی عوامل را در پهنه‌بندی خطر زلزله مشخص می‌کند و اجازه می‌دهد تا توسعه شهری بر پایه اولویت‌های علمی برنامه‌ریزی شود.

جدول ۳- وزن اولیه معیارها (W1) بر حسب درصد

معیار	ضریب تعیین (W1)	وزن بر حسب درصد
کالبدی - ساختمانی	۰.۴۱۸۳۹	۴۱.۸۳۹
فاصله از مراکز خدماتی امدادی	۰.۲۵۷۲۳	۲۵.۷۲۳
طبیعی	۰.۰۵۴۷۳	۵.۴۷۳
دسترسی و معابر	۰.۱۷۰۸۳	۱۷.۰۸۳
جمعیتی	۰.۰۹۸۸۲	۹.۸۸۲

معیار کالبدی - ساختمانی با وزن ۴۱.۸۳۹ درصد، بیشترین اهمیت را دارد که نشان‌دهنده نقش کلیدی ساختارهای شهری در آسیب‌پذیری زلزله است. این یافته با مطالعات جهانی؛ مانند گزارش‌های USGS همخوانی دارد، جایی که بافت فرسوده عامل اصلی خسارات است. وزن پایین معیار طبیعی (۵.۴۷۳ درصد) ممکن است به دلیل محدودیت داده‌های گسلی در زنجان باشد، اما تأکید بر توسعه شهری ایمن را ضروری می‌سازد.

جدول ۴- وزن نهایی زیرمعیارها (حاصل ضرب W1 و W2 بر حسب درصد)

معیار	زیرمعیار	وزن ثانویه (W2)	وزن نهایی (درصد)
کالبدی - ساختمانی	مصالح نما	۲.۱۵۰	۸.۹۹۵
	تعداد طبقات	۵.۳۴۵	۲۲.۳۶۲
	کیفیت بنا	۱۷.۶۳۸	۷۳.۷۹۵
	عمر بنا	۱۶.۰۴۰	۶۷.۱۰۹
	تراکم ساختمان	۱۲.۴۴۰	۵۲.۰۴۷
	مصالح اسکلت	۱۲.۲۰۳	۵۱.۰۵۶
	کاربری اراضی	۹.۷۳۶	۴۰.۷۳۴
	پل	۵.۹۲۵	۲۴.۷۸۹
	مساحت قطعات	۵.۸۸۶	۲۴.۶۲۶
	سطح اشغال	۵.۵۸۹	۲۳.۳۸۳

معیار	زیرمعیار	وزن ثانویه (W2)	وزن نهایی (درصد)
	ارتفاع	۷۰۴۰	۲۹.۴۵۴
فاصله از مراکز خدماتی امدادی	فاصله از مراکز درمانی	۵۵.۹۰۷	۱۴۳.۸۰۹
	فاصله از مراکز آتش نشانی	۳۵.۲۱۹	۹۰.۵۹۳
	فاصله از مراکز انتظامی	۸.۸۷۵	۲۲.۸۲۹
طبیعی	فاصله از گسل	۷۰۰۷۱	۳۸.۳۴۹
	شیب	۲۰.۲۱۲	۱۱۰۰۶۲
	فاصله از مسیل و رودخانه	۹.۷۱۷	۵.۳۱۸
دسترسی و معابر	فضای باز شهری	۵۰	۸۵.۴۱۵
	عرض معبر	۵۰	۸۵.۴۱۵
جمعیتی	تراکم جمعیتی ناخالص	۲۵	۲۴.۷۰۵
	تراکم جمعیتی خالص	۷۵	۷۴.۱۱۵

بر اساس جدول ۴ در معیار کالبدی - ساختمانی، "کیفیت بنا" با وزن ۷۳.۷۹۵ درصد بیشترین تأثیر را دارد که بر ضرورت مقاوم سازی تأکید می کند. در معیار طبیعی، "فاصله از گسل" (۳۸.۳۴۹ درصد) غالب است که با موقعیت جغرافیایی زنجان (نزدیکی به گسل سلطانیه) همخوانی دارد. این وزن ها، اولویت بندی توسعه شهری را هدایت می کنند، مانند تمرکز بر نوسازی در نواحی با وزن بالا.

بحث و نتیجه گیری

پژوهش حاضر باهدف پهنه بندی خطر زلزله در شهر زنجان و با تأکید بر توسعه شهری پایدار انجام شد. یافته های این مطالعه که بر اساس یک رویکرد تلفیقی شامل تحقیقات کتابخانه ای، مطالعات میدانی، فرایند تحلیل شبکه ای (ANP) و مدل سازی فازی در محیط GIS به دست آمده اند، نشان دهنده توزیع ناهمگن ایمنی در نواحی مختلف شهر زنجان است. این توزیع ناهمگن عمدتاً به دلیل ویژگی های زمین شناختی، نزدیکی به گسل های فعال مانند گسل تبریز و سلطانیه، تراکم جمعیتی بالا، و کیفیت پایین برخی سازه ها در مناطق حاشیه ای و بافت های فرسوده شهر است.

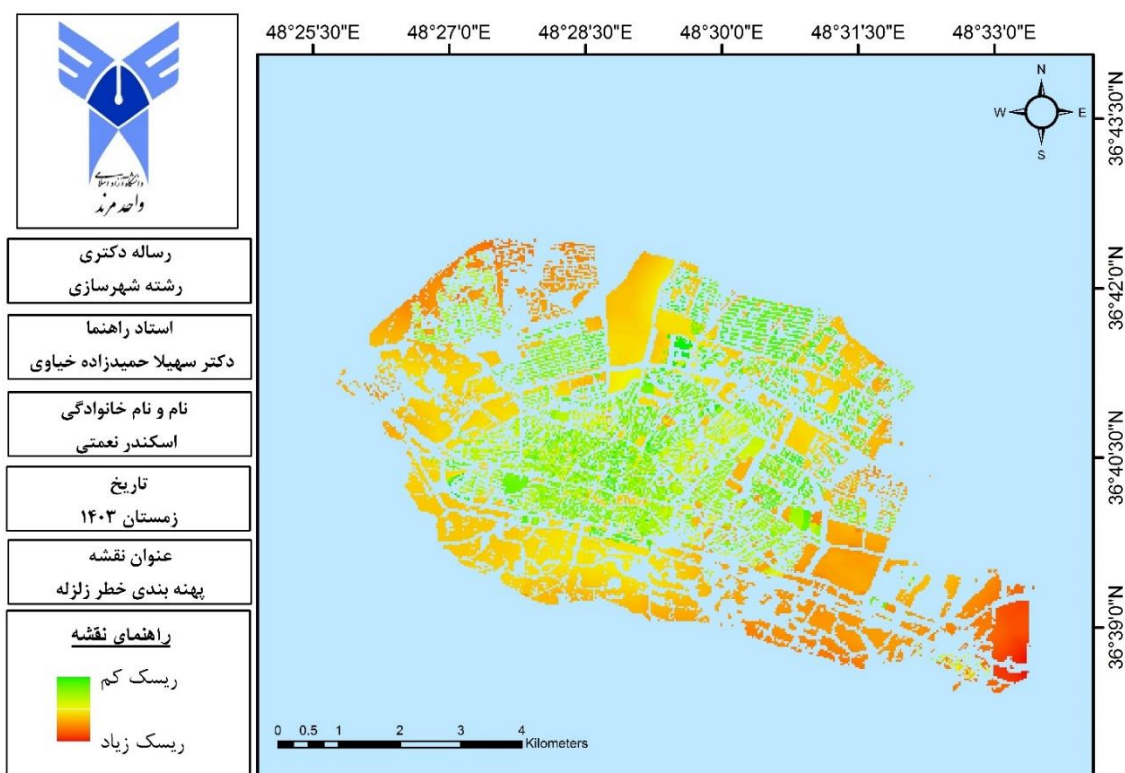
بر اساس تحلیل های انجام شده، معیار کالبدی - ساختمانی با وزن ۴۱.۸۳۹ درصد، مهم ترین عامل در تعیین میزان آسیب پذیری زلزله در زنجان شناخته شد. این موضوع بر نقش کلیدی کیفیت مصالح ساختمانی، نوع سازه ها و وضعیت بافت های فرسوده در افزایش یا کاهش ریسک زلزله تأکید دارد. در مقابل، معیارهای طبیعی مانند فاصله از گسل ها، اگرچه وزن کمتری (۵.۴۷۳ درصد) در تحلیل ها داشتند، به دلیل محدودیت داده های دقیق زمین شناسی، همچنان اهمیت بالایی در تعیین مناطق پرخطر دارند. بررسی های میدانی نشان داد که نواحی جنوب، غرب و شمال غرب شهر به دلیل نزدیکی

به گسل‌های فعال و توسعه بی‌برنامه، در مقایسه با نواحی مرکزی و شمالی، از ایمنی کمتری برخوردارند. بااین‌حال، به دلیل عدم یکپارچگی در کاربری‌های شهری، تراکم جمعیتی و ساختمانی، و ناکافی بودن داده‌های زمین‌شناختی، امکان پهنه‌بندی دقیق و جامع برای کل شهر با محدودیت‌هایی مواجه است.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که شهر زنجان، به‌طور کلی، در برابر زلزله از سطح ایمنی نسبی برخوردار است، اما این ایمنی به‌صورت یکنواخت در تمام نقاط شهر توزیع نشده است. نواحی مرکزی و تا حدی شمالی شهر به دلیل تراکم کمتر، کیفیت بهتر سازه‌ها و فاصله بیشتر از گسل‌های فعال، ایمن‌تر هستند، درحالی‌که مناطق حاشیه‌ای، به‌ویژه در جنوب و غرب، به دلیل توسعه شتاب‌زده و نزدیکی به گسل‌ها، آسیب‌پذیری بیشتری دارند. این تفاوت‌ها نشان‌دهنده ضرورت بازنگری در الگوهای توسعه شهری و اعمال سیاست‌های مقاوم‌سازی در مناطق پرخطر است.

از منظر توسعه شهری، یافته‌ها حاکی از آن است که برنامه‌ریزی شهری در زنجان باید به سمت تلفیق اصول تاب‌آوری و پایداری حرکت کند. فقدان یک بانک اطلاعاتی جامع و دقیق از ویژگی‌های کالبدی، جمعیتی و زمین‌شناختی شهر، یکی از چالش‌های اصلی در پهنه‌بندی دقیق خطر زلزله است. این موضوع، همراه با رشد سریع شهرنشینی و گسترش ساخت‌وساز در مناطق ناپایدار، ضرورت اتخاذ رویکردی جامع‌تر در مدیریت ریسک زلزله را برجسته می‌سازد. علاوه بر این، نبود هماهنگی میان سیاست‌های توسعه شهری و برنامه‌های مدیریت بحران، می‌تواند اثربخشی اقدامات کاهش خطر را کاهش دهد.

در نهایت، این مطالعه نشان داد که پهنه‌بندی خطر زلزله، به‌تنهایی، بدون پیوند با سیاست‌های توسعه شهری و برنامه‌های آموزشی، نمی‌تواند به کاهش مؤثر ریسک منجر شود؛ بنابراین، برای دستیابی به توسعه شهری ایمن و پایدار در زنجان، لازم است که پهنه‌بندی خطر زلزله به‌عنوان یک ابزار راهبردی در کنار سایر اقدامات مدیریتی، از جمله مقاوم‌سازی سازه‌ها، اصلاح الگوی کاربری اراضی، و افزایش آگاهی عمومی، مورد استفاده قرار گیرد. این پژوهش می‌تواند به‌عنوان الگویی برای سایر شهرهای زلزله‌خیز ایران به کار رود و زمینه‌ساز برنامه‌ریزی شهری تاب‌آور و ایمن در برابر مخاطرات طبیعی باشد.



شکل ۳- پهنه بندی خطر زلزله شهر زنجان

پیشنهادهای سیاستی

برای کاهش آسیب پذیری شهر زنجان در برابر زلزله و دستیابی به توسعه شهری پایدار و تاب آور، پیشنهادهای سیاستی زیر ارائه می شود:

- تدوین بانک اطلاعاتی جامع و یکپارچه
- ایجاد یک پایگاه داده جامع شامل اطلاعات زمین شناختی، کالبدی، جمعیتی و زیرساختی شهر زنجان برای تسهیل پهنه بندی دقیق خطر زلزله. این پایگاه باید به صورت دوره ای به روزرسانی شود و در دسترس نهادهای برنامه ریز و مدیریت بحران قرار گیرد. همکاری بین سازمان های مرتبط مانند سازمان زمین شناسی، شهرداری و اداره کل راه و شهرسازی برای گردآوری و به روزرسانی داده ها ضروری است.
- مقاوم سازی بافت های فرسوده و سازه های غیراستاندارد
- افزایش آگاهی عمومی و آموزش شهروندان
- تقویت زیرساخت های مدیریت بحران
- توسعه زیرساخت های مدیریت بحران
- هماهنگی بین بخشی در سیاست گذاری
- ایجاد هماهنگی بین نهادهای مختلف، از جمله شهرداری، سازمان مدیریت بحران، و سازمان های مردم نهاد
- ترویج توسعه پایدار و تاب آور
- تدوین برنامه های بلندمدت برای کاهش ریسک تدوین برنامه های بلندمدت برای کاهش ریسک زلزله

References

- Barua, Uttama; Ansary, Mehedi Ahmed; Islam, Ishrat; Munawar, Hafiz Suliman; & Mojtahedi, Mohammad. (2023). Multi-criteria earthquake risk sensitivity mapping at the local level for sustainable risk-sensitive land use planning (RSLUP). *Sustainability*, 15(9), 7518.
- Bostenaru Dan, M; & Armas, I. (2015). Earthquake impact on settlements: the role of urban and structural morphology. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(10), 2283–2297.
- Bostenaru Dan, Maria; Armaş, Iuliana; & Goretti, Agostino. (2014). Earthquake Hazard Impact and Urban Planning—An Introduction. In *Earthquake Hazard Impact and Urban Planning* (pp. 1–12). Springer.
- Brabhakaran, P. (2013). Earthquake resilience through early integrated urban planning and practice. Presented at the 2013 NZSEE Conference.
- Cascini, LCJRJO; Bonnard, Ch; Corominas, J; Jibson, R; & Montero-Olarte, J. (2005). Landslide hazard and risk zoning for urban planning and development. In *Landslide risk management* (pp. 209–246). CRC Press.
- Celikbilek, Ayca; & Sapmaz, Gokhan. (2016). Risk management and microzonation in urban planning: an analysis for Istanbul. *Disaster Sci Eng*, 2(2), 59–66.
- Chen, Tzu-Ling; & Chang, Hsueh-Sheng. (2018). The effects of zoning regulations along fault zone areas on land development and property values after the 921 Chi-Chi Earthquake in Taiwan. *Sustainability*, 10(4), 1175.
- Duzgun, HSB; Yucemen, MS; Kalaycioglu, HS; Celik, KEZBAN; Kemec, Serkan; Ertugay, KIVANÇ; & Deniz, A. (2011). An integrated earthquake vulnerability assessment framework for urban areas. *Natural Hazards*, 59(2), 917–947.
- Erdik, Mustafa; Aydinoglu, Nuray; Fahjan, Y; Sesetyan, K; Demircioglu, M; Siyahi, B; Durukal, E; Ozbey, C; Biro, Y; & Akman, H. (2003). Earthquake risk assessment for Istanbul metropolitan area. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 2(1), 1–23.
- Estelaji, Faraz; Moniri, Niloofar; Yari, Mohammad Hossein; Omidifar, Reza; Zahedi, Rahim; Yousefi, Hossein; & Keshavarzzadeh, Mansour. (2024). Earthquake, flood and resilience management through spatial planning, decision and information system. *Future Technology*, 3(2), 11–21.
- Farahmand, Ghasem; Samet, Komeil; Golmohammadi, Hassan; & Patel, Nilanchal. (2022). Vulnerability zoning of urban areas against earthquake (case study: Urmia city). *Geodesy and Cartography*, 48(3), 160–169.
- Moradzadeh, Elahe; & RahmaniGhassabeh, Mohammad. (2019). The Study of Effective Factors on the Reduction of Earthquake Damages: the Mission of Architects. *International Journal of Applied Arts Studies*, 10(4), 33–40.
- Motamed, Hooman; Ghafory-Ashtiany, Mohsen; Amini-Hosseini, Kambod; Mansouri, Babak; & Khazai, Bijan. (2020). Earthquake risk-sensitive model for urban land use planning. *Natural Hazards*, 103(1), 87–102.
- Rahimi, Majid; Sobouti, Hooman; & Aslanian, Yashar. (2022). Localization Patterns of Temporary Housing After the Earthquake in Rural Settlements with Physical-Spatial Sustainability Approach (Case Study: Villages of Tarom District in the Northwest of Iran). *Sustainable Rural Development*, 9(6), 83–94.
- Sassa, Kyoji; Wang, Gonghui; Fukuoka, Hiroshi; Wang, Fawu; Ochiai, Takahiro; Sugiyama, Masanori; & Sekiguchi, Tatsuo. (2004). Landslide risk evaluation and hazard zoning for rapid and long-travel landslides in urban development areas. *Landslides*, 1(3), 221–235.
- Spence, Robin; So, E; Ameri, G; Akinci, A; Cocco, M; Cultrera, G; Franceschina, G; Pacor, F; Pessina, V; & Lombardi, AM. (2007a). Earthquake disaster scenario prediction and loss modelling for urban areas. *Lessloss Report*, 7, 165.
- Spence, Robin; So, E; Ameri, G; Akinci, A; Cocco, M; Cultrera, G; Franceschina, G; Pacor, F; Pessina, V; & Lombardi, AM. (2007b). Earthquake disaster scenario prediction and loss modelling for urban areas. *Lessloss Report*, 7, 165.

Tucker, Brian E; Erdik, Mustafa Özder; & Hwang, Christina N. (2013). *Issues in urban earthquake risk* (Vol. 271). Springer Science & Business Media.