

## تبیین مفهوم ریسک و سنجش میزان ریسک لرزه‌ای مناطق شهری (مطالعه موردی: نجف‌آباد)

سوگل فاضل\* - دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری پژوهشگاه شاخص‌پژوه دانشگاه اصفهان  
مسعود تقوایی - استاد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه اصفهان  
امیر محمودزاده - رئیس پژوهشگاه مهندسی بحران‌های طبیعی شاخص‌پژوه، استادیار گروه عمران - زلزله

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۲۸ تأیید نهایی: ۱۳۹۶/۰۲/۲۶

### چکیده

بر اساس نقشه پهنه‌بندی خطر زلزله در ایران، بخش زیادی از این کشور در محدوده خطر نسبتاً متوسط روبه‌بالا قرار دارد. از سوی دیگر، دوره‌های غیرلرزه‌ای بعضی گسل‌ها در سده بیستم (حتی آرامشی هزارساله) نشان‌دهنده لرزه‌زا نبودن این گسل‌ها نیست. در این میان، قضاوت شهروندان از خطر باید بر این مبنا باشد که آن‌ها در منطقه‌ای زلزله‌خیز سکونت دارند. بر این اساس ضروری است ارزیابی ریسک لرزه‌ای مناطق مختلف کشور با هدف کاهش خطرپذیری جوامع شهری در اولویت برنامه‌ریزی‌ها قرار بگیرد. در پژوهش کاربردی و توصیفی-تحلیلی حاضر، ضمن معرفی دیدگاه‌ها و مدل‌های مختلف مرتبط با مفهوم‌شناسی ریسک و آسیب‌پذیری، ریسک‌پذیری لرزه‌ای شهر نجف‌آباد بررسی شد. برای این منظور، از پارامترهای گوناگون کمی و کیفی براساس رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره و روش تحلیل شبکه (ANP) و ارائه مدل کاربرد داشت. نتایج نشان می‌دهد حدود ۶۰ درصد مساحت توسعه‌یافته شهر - که دربرگیرنده ساختمان‌های خشتی و آجر و آهن است - ریسک‌پذیری متوسط روبه‌بالایی دارد. با تطبیق نقشه تراکم جمعیت بر این پهنه، حدود یک چهارم جمعیت شهر (در بعضی قسمت‌ها با تراکم بین ۷۰ تا ۱۰۰ نفر در هکتار) خطرپذیری بالایی دارند.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری، ریسک، زمین‌لرزه، مخاطره، نجف‌آباد.

مقدمه<sup>۱</sup>

امروزه در بیشتر جوامع تمایل زیادی به تمرکز بر ارزیابی ریسک و کاهش آن‌ها قابل مشاهده است. در عمل نیز به‌طور فزاینده‌ای از آمادگی در برابر مخاطرات و مقابله با آن‌ها غفلت می‌شود؛ درحالی‌که ارزیابی ریسک، اطلاعات ضروری برای اولویت‌بخشی به راهبردهای کاهش و پیشگیری از خطر را فراهم می‌کند (گارسیا و همکاران، ۲۰۱۴: ۳۴۶). نیاز به کاهش خطر بلایا و توسعه ابزار و فنون برای کنترل کردن خطر بلاهای طبیعی، موضوعی کلیدی در جهان امروز است (رودریگز و همکاران، ۲۰۱۲). تحول سریع در فناوری‌های جدید، به‌ویژه در سیستم‌های اطلاعاتی، بستر کاهش خطرهای مدیریت بحران را فراهم می‌کند (فتحی زهرایی و همکاران، ۲۰۱۵). ایران در میان کشورهای آسیا و خاورمیانه از نظر وقوع بحران در رتبه اول قرار دارد؛ به‌طوری‌که در سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۳ بیش از ۴۳/۵ میلیون نفر، یعنی ۵۵ درصد جمعیت ایران از بحران‌های گوناگون تأثیر پذیرفته‌اند (ایم‌دات، ۲۰۱۳). وجه غالب مخاطرات طبیعی در کشور ما زمین‌لرزه است. اگر وقوع زلزله‌های جدید را در مناطقی که پیش‌تر با زلزله مواجه بودند قطعی بدانیم، به آن معنی نیست که از بروز زلزله در منطقه‌ای که تاکنون در آن زلزله رخ نداده است مطمئن هستیم (در کشور فرانسه محاسبه زلزله برای ساختمان‌ها، حتی در مناطق با احتمال صفر زلزله اجباری است (تقفی، ۱۳۸۳: ۵۰)). قضاوت‌های متخصصان درباره زلزله‌های احتمالی برمبنای دانش فعلی‌شان از گسل‌های شناخته‌شده است. درحالی‌که شهروندان باید قضاوت‌شان از خطر بر این اساس باشد که در منطقه‌ای زلزله‌خیز قرار دارند (مک‌کلور و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۵). ایران یکی از فعال‌ترین نواحی دنیا از نظر لرزه‌ای است که در گذشته با زلزله‌های مخرب زیادی مواجه شده است و در حال حاضر یکی از آسیب‌پذیرترین کشورهای جهان در برابر زلزله محسوب می‌شود (زبردست، ۲۰۱۳: ۱۳۳۱).

شهر نجف‌آباد در فاصله سی کیلومتری شهر اصفهان، با جمعیتی بیش از ۲۲۱ هزار نفر (در سال ۱۳۹۰) شهری میانی با نقش خدماتی سطح یک و مهم‌ترین مرکز خدماتی پس از اصفهان در مجموعه شهری اصفهان به‌شمار می‌آید که براساس مصوبات استانی، هنگام وقوع بحران به‌عنوان شهر معین برای شهر اصفهان در نظر گرفته شده است. نجف‌آباد از نظر زمین‌ساختی در زون سندج-سیرجان قرار دارد که زون جز ناآرام‌ترین و به عبارتی فعال‌ترین زون ساختمانی ایران به شمار می‌رود (درویش‌زاده، ۱۳۹۲: ۱۱۸) و براساس مطالعات انجام‌شده احتمال وقوع زلزله در این مکان همواره وجود دارد (شاهسپندزاده و حیدری، ۱۳۸۲: ۶۴). هرچند در نقشه سائیزموتکتونیک ایران این شهر با خطر نسبی متوسطی مواجه شده است، رویداد زمین‌لرزه‌های تاریخی و سده بیستم در گستره اصفهان و روندهای بنیادی گسل‌ها و ساختارهای جنبا در این پهنه، نمایانگر میزان لرزه‌خیزی نسبتاً بالای این ناحیه است (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲: ۱۳۳؛ صفایی، ۱۳۸۲: ۱۵). با توجه به اهمیت مسائل مرتبط با زمین‌لرزه و تبعات ناشی از آن در سطح کشور، هدف اصلی این پژوهش تهیه مدلی محلی برای بررسی ریسک‌پذیری شهر نجف‌آباد از زمین‌لرزه احتمالی و تخمین میزان جمعیت آسیب‌پذیر است تا براساس آن نواحی مختلف شهر از نظر خطرپذیری در مواقع بحرانی برمبنای درجات کم، متوسط و زیاد تقسیم‌بندی شوند. برای این منظور ضروری است ترکیبی از تمام عوامل اجتماعی-فیزیکی و احتمال وقوع و فراوانی مخاطره طبیعی در محل در نظر گرفته شود (ویلیس و همکاران، ۲۰۱۴: ۲). در این پژوهش، ابتدا با بررسی وضعیت ژئودینامیکی منطقه و مؤلفه‌های زمین‌شناختی مؤثر در خطر لرزه‌ای ساختگاه، مخاطره زمین‌لرزه تحلیل شد. سپس با استفاده از فرایند تحلیل شبکه و تخصیص وزن‌های معنادار به ویژگی‌های کالبدی، اجتماعی، مدیریتی و... شهر، همچنین تحلیل فضایی این عناصر در محیط ARCGIS براساس استانداردهای موجود، بررسی آسیب‌پذیری شهر صورت گرفت. تلفیق نقشه‌های خطر و

۱. این مقاله برگرفته از رساله سوگل فاضل با عنوان «پهنه‌بندی ریسک‌پذیری فضای شهری در ارتباط با مدیریت بحران زلزله» است.

آسیب‌پذیری به‌منظور مشخص‌کردن نواحی پرخطر و آگاهی از حدود جمعیت آسیب‌پذیر می‌تواند مبنای چگونگی توسعه شهر، نحوه استفاده از زمین برای تأسیسات زیربنایی آینده و مدیریت اصولی شهر هنگام وقوع بحران باشد.

## مبانی نظری

### مفهوم‌شناسی ریسک، مخاطره و آسیب‌پذیری

در رویکردهای نوین مدیریت بحران در سطح جهانی، بر کاهش ریسک یا خطرپذیری بلایا به‌کمک کاهش آسیب‌پذیری‌ها و کاهش مخاطرات طبیعی و مواجهه با آن تأکید می‌شود؛ به‌گونه‌ای که راهبرد مدیریت ریسک در محیط‌های شهری معرف عملکرد آگاهانه برای کاهش تبعات ناشی از وقوع مخاطره پیش از رخداد بحران است (محمدی، ۱۳۹۰: ۷۳). تفاوت قائلشان میان خطر، خطرپذیری (ریسک) و آسیب‌پذیری نکته مهمی است. بدین معنی که ریسک، خسارات مورد انتظار از تمام سطوح شدت مخاطره را تلفیق می‌کند و وقایع احتمالی ناشی از آن را در نظر می‌گیرد. درحالی‌که آسیب‌پذیری از یک عنصر، معمولاً برای سطح شدت خطر بیان می‌شود (اساریس و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۹۵). درواقع احتمال خطر زمانی احساس می‌شود که سیستم آسیب‌پذیر در معرض تماس و برخورد با مخاطرات قرار بگیرد (منونی، ۲۰۰۶: ۳۰۹). به عبارت دیگر ریسک، حاصل ترکیب مخاطره و آسیب‌پذیری است (دوان، ۲۰۱۳: ۳۵). در جدول ۱، تعاریف مربوط به واژگان کلیدی پژوهش و تفاوت آن‌ها آمده است.

از آنجا که نمی‌توان احتمال خطر را کاملاً از بین برد، تنها راه چاره، پذیرش احتمال خطر و مدیریت آن است (اسمیت، ۱۳۸۲: ۹۰). پژوهش در زمینه شناخت و تبیین نواحی پرخطر در قالب الگوهای پهنه‌بندی و تحلیل ریسک و آسیب‌پذیری با هدف تعدیل و کنترل بحران، از نظر نسبی مدنظر بوده است. هدف از پهنه‌بندی خطر محیطی، تقسیم ناحیه‌ای خاص به چندین زیرناحیه مطابق با آمار و اطلاعات موجود آن ناحیه است؛ به‌طوری‌که ابتدا باید منابع خطر شناسایی، و نوع خطر هر منبع (زلزله، آتش‌سوزی، انفجار، سیل و...) مشخص شود، سپس برآورد دامنه متاثر و شدت خطر صورت بگیرد (شی و زنگ، ۲۰۱۲: ۸۰۰).

توصیف ماهیت و شدت هر حادثه، تنها بخشی از مرحله ارزیابی خطر است. مرحله مهم‌تر آن، ارزیابی با عوامل انسانی مانند توزیع جمعیت، نظام‌های ساختمانی و... در یک منطقه است که اغلب با ترسیم نقشه‌های خطر انجام می‌شود (کلر و پینتر، ۲۰۰۲).

جدول ۱. تعاریف مربوط به واژه‌های کلیدی پژوهش

واژه	تعریف
مخاطره	پدیده یا رویدادی است که می‌تواند به زندگی افراد، دارایی آن‌ها و محیط آسیب بزند (اسلام و همکاران، ۲۰۱۳: ۲۰۸۴).
آسیب‌پذیر	محدودیت جامعه در برابر مخاطره و مسلط‌شدن آن مخاطره بر تمام عوامل فیزیکی، اقتصادی، اجتماعی و سیاسی؛
ی	به‌طوری‌که بر توانایی جامعه در واکنش به آن حوادث تأثیر منفی بگذارد (چن و همکاران، ۲۰۱۲)
ریسک	احتمال دریافت پیامدهای مضر از مخاطرات در منطقه‌ای خاص و در دوره زمانی مشخص (ماسویا، ۲۰۱۴: ۱۸۲).

ساختار تئوریک ریسک، مخاطره و آسیب‌پذیری با سه پیشینه گوناگون همراه است (لانکائو و کین، ۲۰۱۱): نخستین پارادایم بر مبنای تأثیر متقابل انسان-طبیعت استوار است؛ دومین پارادایم بر ابعاد اجتماعی مخاطرات تأکید می‌کند و ریشه آن در اقتصاد سیاسی و بوم‌شناسی سیاسی نهفته است. سومین پارادایم به‌صورت انعطاف‌پذیری بر مفهوم آسیب‌پذیری اجتماعی ناشی از تغییرات اقلیمی و جهانی تأکید می‌کند.

نتیجه تمام این پارادایم‌ها مدل‌هایی است که ارتباط میان ریسک، مخاطره و آسیب‌پذیری را تجزیه و تحلیل می‌کنند. از جمله مهم‌ترین آن‌ها مدل فشار و رهایی (PAR)<sup>۱</sup>، مدل مخاطرات مکانی (HOP)<sup>۲</sup>، مدل برگشت‌پذیری (بازیابی سریع) از بلایای مکانی (DROP)<sup>۳</sup>، مدل ارائه‌شده سازمان ملل برای کاهش ریسک بلایا (UNISDR, 2004) و مدل آسیب‌پذیری شهری (UVF)<sup>۴</sup> هستند. این مدل‌ها در محیط‌های گوناگون برای بررسی ریسک و آسیب‌پذیری از مخاطرات طبیعی آزمایش شده است. اگرچه نتایج این پژوهش‌ها قابل‌تقدیر است، کمبود اطلاعات به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه، مانعی جدی در استفاده مؤثر از این مدل‌هاست (دوان، ۲۰۱۳؛ وانگ، ۲۰۱۱). با وجود این اختلافات فراوانی در برداشت پژوهشگران از این واژه‌های کلیدی وجود دارد که ناشی از نوع نگرش و متدولوژی آن‌هاست (ماسویا، ۲۰۱۴: ۱۸۰).

### ارتباط خطر، خطرپذیری (ریسک) و آسیب‌پذیری از دیدگاه‌های گوناگون

درباره این موضوع دیدگاه‌های بسیاری وجود دارد. واژه خطرپذیری هنگامی کاربردی دارد که بتوان احتمال وقوع پدیده‌ای را ارزیابی کرد. به عبارت دیگر خطرپذیری‌ها قابل‌برآورد هستند.

از دیدگاه رفتاری (۱۹۹۴) برای محاسبه میزان خطرپذیری از رابطه ۱ استفاده می‌شود:

$$\text{خطرپذیری} = \frac{\text{مخاطرات} \times \text{آسیب پذیری}}{\text{آمادگی}} \quad (1)$$

این رابطه نمایانگر این است که میزان خطرپذیری، رابطه‌ای مستقیم با آسیب‌پذیری<sup>۵</sup> و مخاطرات<sup>۶</sup> دارد، اما رابطه آن با میزان آمادگی<sup>۷</sup> معکوس است (رفتاری، ۱۹۹۴: ۲۳). به عبارت دیگر، خطر ثابت و خطرپذیری متغیر است.

کریشتون<sup>۸</sup> (۱۹۹۹) با طرح مثلث ریسک، آسیب‌پذیری را یکی از ابعاد سه‌گانه در سنجش خطرپذیری جوامع در ارتباط با بحران‌های مکانی می‌داند، اما معتقد است امکان و شدت آسیب‌پذیری تنها عوامل مؤثر در ایمنی جوامع نیستند، بلکه پدیده‌های در معرض ریسک در ارتباط با میزان حساسیت و توانمندی یک اجتماع برای بازیابی و مدیریت و مخاطرات احتمالی از ابعاد دیگر قابل‌سنجش ریسک‌پذیری هستند.



شکل ۱. مثلث ریسک‌پذیری کریشتون

1. Pressure and Release
2. Hazards of Place
3. Disaster Resilience of Place
4. Urban Vulnerability Framework
5. Vulnerability
6. Hazards
7. Preparedness
8. Crichton

فدسکی و همکاران (۲۰۰۷) رابطه خطی زیر را برای ریسک تعریف کرده‌اند. به عبارت دیگر، ریسک‌پذیری در این مدل برابندی از میزان آسیب‌پذیری، مخاطرات و عناصر در معرض ریسک<sup>۱</sup> است که به صورت رابطه<sup>۲</sup> قابل تبیین است (فدسکی و همکاران، ۲۰۰۷:۵۱).

$$R = H + V + E \quad (2)$$

E = عناصر در معرض ریسک      H = مخاطره      V = آسیب‌پذیری

تی‌سای<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۰) ضمن به‌کارگیری سازوکاری عملی برای ارزیابی و مدیریت خطرپذیری فاجعه زلزله، با توجه به عوامل «مخاطره، در معرض بودن و آسیب‌پذیری» رابطه<sup>۳</sup> را برای ارزیابی خطرپذیری به کار برده‌اند.

$$R = H \times E \times V \quad (3)$$

(در معرض بودن افراد یا دارایی‌ها) × E (سطح خسارت و آسیب) × V (مخاطره)

ماسویا (۲۰۱۴) با در نظر گرفتن میزان آمادگی (ظرفیت مقابله)<sup>۳</sup> جامعه با مخاطرات به‌عنوان بخشی از تعریف آسیب‌پذیری، ریسک را نتیجه ترکیب مخاطره و آسیب‌پذیری می‌داند و رابطه<sup>۴</sup> را برای آن ارائه می‌دهد (ماسویا، ۲۰۱۴: ۱۹۱).

$$RISK = Hazard \times Vulnerability \quad (4)$$

### مدل‌سازی و ویژگی‌های سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در تحلیل فضایی ریسک

کاربرد مدل‌ها در برنامه‌ریزی شهری تلاشی برای ایجاد روشی نظام‌یافته به منظور یاری‌رساندن به تصمیم‌گیرنده در انتخاب چارچوبی مناسب در حل مسئله است (بمانیان و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۰). سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) نقش مهمی در توسعه مدل‌های مکان‌یابی و کاربردی دارند. تحلیل‌های این سامانه، بررسی الگوهای فضایی و یافتن ارتباط میان فاکتورهای مختلف جغرافیایی را برای ارزیابی ریسک و پیش‌بینی مخاطرات تسریع کرده است (بابان، ۲۰۱۴: ۵۳). از قابلیت‌های این سیستم استفاده از توابع تحلیل فضایی و به‌کارگیری منابع اطلاعات توصیفی و مکانی به صورت هم‌زمان در پهنه‌بندی خطر زلزله است. تحلیل فضایی به فرایند مدل‌سازی، بررسی و تفسیر نتایج مدل‌ها گفته می‌شود و از جمله موارد کاربرد آن، استنتاج اطلاعات جدید، درک روابط فضایی میان داده‌ها، یافتن مکان مناسب و کار با پیکسل‌هاست (فاضل‌نیا و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۴۵). در مجموع، اطلاعاتی مربوط به چهار عنصر مؤثر در ارزیابی ریسک‌پذیری لرزه‌ای شهر نیاز است که عبارت‌اند از: خطرات لرزه‌ای، در معرض خطر بودن، مکان و آسیب‌پذیری (ویسه، ۱۳۷۸: ۱۲) که در نتیجه تلفیق آن‌ها برای مدل‌سازی، پهنه‌های ریسک‌پذیر یا بهترین نقاط برای استقرار مکان‌های مورد نظر تعیین خواهند شد.

### شاخص‌ها و مدل تعریف‌شده پژوهش

با توجه به اینکه برای بررسی ریسک باید ترکیبی از تمام عوامل اجتماعی-فیزیکی و فراوانی مخاطره طبیعی در محل در نظر گرفته شود (ویلیس و همکاران، ۲۰۱۴: ۲)، با استناد به مطالعات و نظریات ارائه‌شده در این زمینه و در نظر گرفتن فاکتورهای مؤثر بر ریسک‌پذیری لرزه‌ای شهر، مدلی محلی تهیه شد که در آن ابتدا با معرفی برخی متغیرهای مؤثر بر ایجاد یا تشدید مخاطره زمین‌لرزه، احتمال وقوع این عامل بررسی شد. سپس مجموعه عوامل در معرض آسیب از

1. Exposure

2. Tsai

3. Coping Capacity

زمین‌لرزه احتمالی و ظرفیت مقابله با این خطر در شهر نیز به‌عنوان شاخص آسیب‌پذیری تعریف و تحلیل می‌شود. در نهایت شاخص ریسک براساس ترکیب مؤلفه‌های خطر زلزله و فاکتور آسیب‌پذیری طبق مدل ارائه‌شده (شکل ۲) و رابطه ۵ به‌طور نسبی برآورد خواهد شد.

$$R = (H) \text{ خطر زلزله} \times (E) \text{ عوامل در معرض خطر} + (C) \text{ ظرفیت مقابله با خطر} \quad (۵)$$



شکل ۲. سلسله‌مراتب عوامل و معیارهای انتخاب‌شده پژوهش در ارزیابی ریسک‌پذیری لرزه‌ای شهر  
منبع: نگارندگان

این مدل لرزه‌ای را می‌توان برای مناطقی که وضعیت مشابه دارند استفاده کرد. باید توجه داشت که به‌دلیل نبود برخی اطلاعات درباره بررسی خطر در منطقه و همکاری نکردن بعضی سازمان‌ها در ارائه اطلاعات (از جمله وضعیت اقتصادی افراد) بعضی معیارها به‌ناچار حذف شده‌اند.

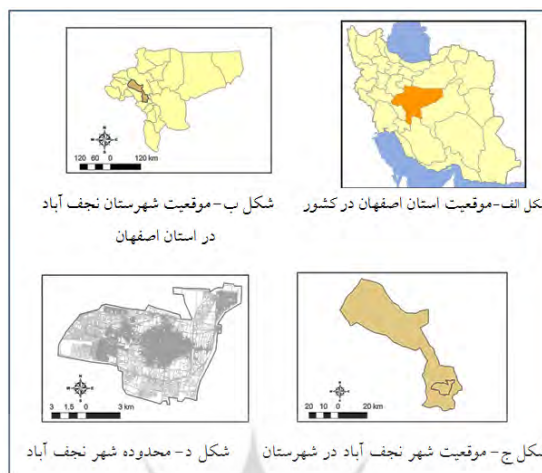
## روش پژوهش

پژوهش حاضر کاربردی و توصیفی-تحلیلی است که داده‌های آن عمدتاً به‌صورت کتابخانه‌ای شامل استفاده از نقشه‌ها، طرح‌های پژوهشی، اطلاعات تجدیدنظر طرح توسعه و عمران شهر (۱۳۹۰)، تصاویر هوایی، داده‌های آماری مربوط به سرشماری جمعیت سال ۱۳۹۰ و به‌صورت پرسشنامه‌ای شامل برداشت بخشی از اطلاعات مورد نیاز انجام شد. در ابتدا با داشتن نقشه‌ها و اطلاعات مربوط، بررسی مخاطره زمین‌لرزه در منطقه صورت گرفت. سپس برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری شهر از این مخاطره، با استناد به مطالعات انجام‌شده پیشین و استفاده از آرای برخی استادان و متخصصان این موضوع و براساس رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره، پنج معیار کلی و هجده زیرمعیار در نظر گرفته شد. وزن‌دهی داده‌ها نیز با استفاده از فرایند تحلیل شبکه (ANP) و به‌کارگیری نرم‌افزار Super Decision صورت گرفت و نقشه‌ها و لایه‌های اطلاعاتی براساس استانداردهای موجود در زمینه آسیب‌پذیری و گاهی در قالب مدل‌های تحلیل فضایی، در محیط ArcGIS 10.2 تهیه شد. با توجه به توضیحات و با تلفیق اطلاعات فوق براساس مدل و رابطه تعریف‌شده پژوهش، بررسی میزان ریسک‌پذیری لرزه‌ای شهر صورت گرفت.

## محدوده مورد مطالعه

شهر نجف‌آباد با وسعتی حدود ۸۹۵۵ هکتار و جمعیت ۲۲۱.۸۱۴ نفر (براساس نتایج سرشماری سال ۱۳۹۰) در ۲۵ کیلومتری غرب اصفهان قرار دارد. این باغ‌شهر عصر صفوی و نخستین شهر جدید با برنامه‌ای از پیش اندیشیده‌شده که در

سال ۱۶۰۱ میلادی با اندیشه شیخ بهایی ریاضیدان و مهندس معمار عصر صفوی پایه‌گذاری شد، در حال حاضر براساس تقسیم کار در مجموعه شهری اصفهان، شهری میانی با نقش خدماتی سطح یک و مهم‌ترین مرکز خدماتی پس از اصفهان در این مجموعه شهری محسوب می‌شود (مهندسان مشاور نقش جهان پارس، ۱۳۹۰: ۴). در شکل ۳، موقعیت این شهر به ترتیب در کشور، استان و شهرستان آمده است.



شکل ۳. موقعیت شهر نجف‌آباد به ترتیب در کشور، استان اصفهان و شهرستان نجف‌آباد  
منبع: نگارندگان

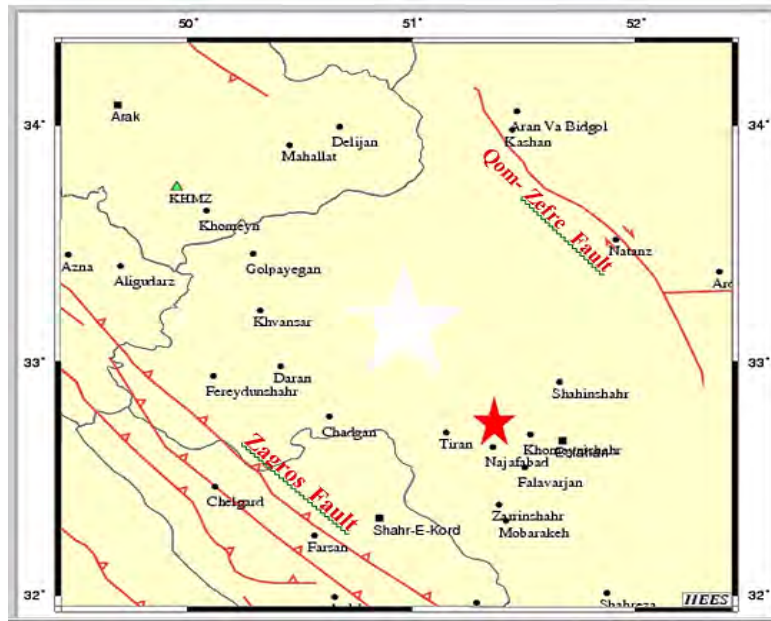
## بحث و یافته‌ها

### بررسی و تحلیل مخاطره زمین لرزه در منطقه

پیش‌نیاز بنیادین برای تحلیل خطر زلزله، جمع‌آوری و توسعه بانک داده یکپارچه و جامع از وضعیت ژئودینامیکی منطقه و مؤلفه‌های زمین‌شناختی مؤثر در خطر لرزه‌ای ساختگاه است. این مؤلفه‌ها در واقع شامل چشمه‌های لرزه‌زایی هستند که عمدتاً به صورت گسل‌های فعال شناخته می‌شوند و الگوی لرزه‌خیزی منطقه‌ای به‌شمار می‌آیند که دربرگیرنده اطلاعات زلزله‌های تاریخی و دستگاهی در محدوده مورد نظر هستند. همچنین اگر شرایط ژئوتکنیکی ویژه‌ای در ساختگاه حاکم باشد، ضروری است با مطالعات میدانی و تهیه مدل‌های رفتار دینامیکی مناسب، اثر بزرگنمایی خاک در تحلیل خطر در نظر گرفته شود (غفوری آشتیانی، ۱۳۹۲: ۶ و ۱۰).

### بررسی وضعیت تکتونیک و گسل‌های منطقه

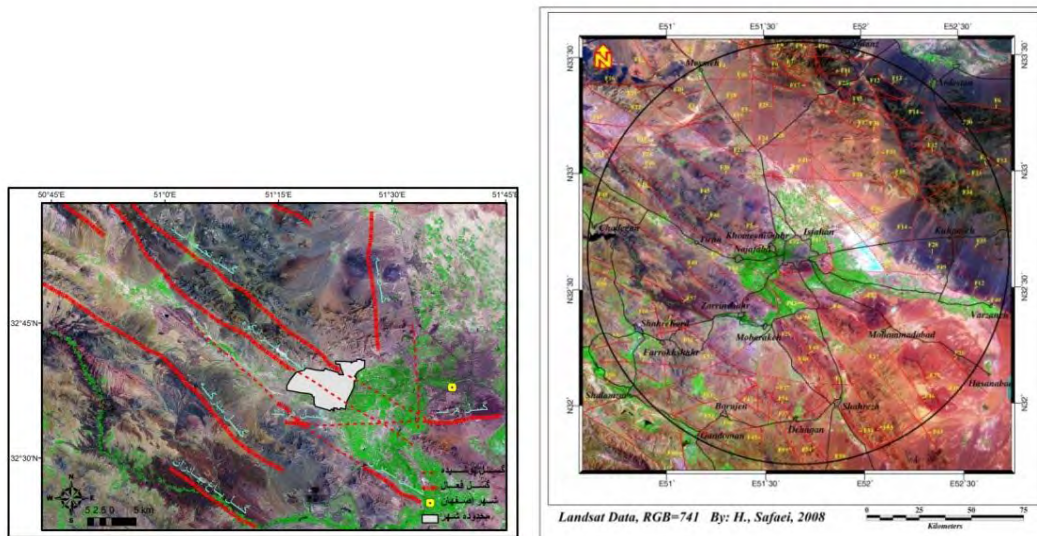
براساس مطالعات بربریان (۱۹۷۶، ۱۹۸۱، ۱۹۸۳، ۱۹۸۶) وجود گسل‌های کواترنر جوان و لرزه‌زا در بخش‌هایی از ایران مرکزی، لرزه‌خیزبودن بیشتر بخش‌های جنبا و رویداد زمین‌لرزه‌های بزرگ با گسلش روی زمین از جمله ویژگی‌های ایران مرکزی است (جمی، ۱۳۸۵: ۲۳). شکستگی‌ها، کوه‌زایی‌ها و حرکات تکتونیک مربوط به اوایل دوران سوم زمین‌شناسی که به کوه‌زایی آلپی معروف است، در امتداد شمال و غرب شهر نجف‌آباد مشاهده می‌شود. تماس این شهر با کوه‌های اطراف معمولاً از نوع گسلی است که به دلیل فعال بودن، کم‌وبیش شهر را تهدید می‌کنند. ابرگسل‌های قم-زفره، زاگرس و گسل رخ نیز در پیرامون این حوزه قرار دارند (شکل ۴). شواهد نشان می‌دهند هرگاه شروع به لرزیدن کنند حتماً بر این محدوده تأثیر می‌گذارند (نبوی، ۱۳۵۵: ۷۰).



شکل ۴. موقعیت شهر نجف‌آباد در محدوده بین دو ابرگسل زاگرس و قم-زفره  
منبع: پژوهشگاه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

همچنین براساس مطالعه ارزشمندی که به‌تازگی درمورد وضعیت لرزه‌خیزی منطقه اصفهان انجام شده است، با استفاده از تکنیک پردازش داده‌های رقوم ماهواره‌ای IRS، SPOT و TM، برداشت‌های صحرائی و به‌کارگیری که لرزه‌های ثبت‌شده در بخش زلزله‌شناسی سازمان انرژی اتمی و مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تعداد زیادی گسل فعال و مهم که گاهی طول آن‌ها از صد کیلومتر بیشتر است، در محدوده‌ای به شعاع صد کیلومتر در اطراف شهر اصفهان شناسایی شدند (بخش زیادی از آن‌ها برای نخستین بار معرفی شدند) (صفایی، ۱۳۸۴: ۱۰۹). نکته قابل‌تأمل این است که بعضی از زمین‌لرزه‌ها در فلات ایران و در محل گسل‌های پنهان، بدون آثار لرزه‌ای و گسیختگی مشخص سطحی رخ می‌دهند. قابلیت تفسیر ژئومورفولوژیکی مناطقی که گسل‌های رورانده پنهان دارند، برای تخمین بلایای ناشی از زمین‌لرزه در ایران بسیار مهم است؛ زیرا این گسل‌ها (مانند طیس و بم) ممکن است قابلیت زلزله‌های مخربی را در آینده داشته باشند (جی.اس.آی، ۱۳۸۳). همچنین با توجه به وضعیت خاص ایران در تکتونیک جهانی می‌توان ادعا کرد تمام گسل‌های ایران زلزله‌خیز هستند (درویش‌زاده، ۱۳۹۲: ۴۱۸). نکته قابل‌توجه درباره گسل‌های منطقه مورد مطالعه که از نوع گسل‌های فشاری هستند، این است که در مقایسه با گسل‌های لغزشی و کششی پرنرزی‌ترند و زمان بازگشت زمین‌لرزه در آن‌ها زیادتر است. همچنین می‌توانند زمین‌لرزه‌های بزرگ و ویرانگری پدید آورند (حسینی و نیازی، ۲۰۰۳: ۵۶). هرچند منطقه اصفهان از نظر لرزه‌ای از دیگر نقاط کشور آرامش نسبی بیشتری دارد، این آرامش نشانگر ثبات و پایداری همیشگی نیست (شاهسپندزاده و حیدری، ۱۳۸۲: ۶۴)؛ زیرا آرام‌بودن لرزه‌ای یک منطقه (مانند طیس، بم و اهر) حتی آرامشی هزارساله دلیل بر مصون‌بودن آن منطقه از خطر زلزله‌ای قدرتمند نیست (زارع، ۱۳۹۱). با توجه به سابقه زلزله‌های تاریخی در منطقه (آمبرسیز و ملویل، ۱۳۷۰: ۲۱۶) و ثبت بیش از صد‌ها لرزه در شبکه‌های لرزه‌نگاری طی سده گذشته، فعال‌بودن گسل‌های منطقه مورد مطالعه و ریسک‌پذیربودن شهر از این مخاطره مشخص می‌شود.

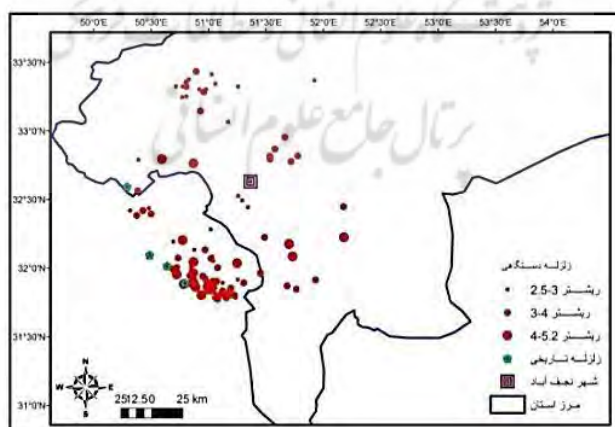




شکل ۵. گسل‌های فعال در شعاع صد کیلومتری شهر اصفهان (تصویر سمت چپ) و گسل‌های فعال موجود در اطراف شهر نجف‌آباد (تصویر سمت راست)  
منبع: صفایی، ۱۳۸۴

### بررسی وضعیت لرزه‌خیزی منطقه

الگوی لرزه‌خیزی منطقه‌ای دربرگیرنده اطلاعات همه زلزله‌های تاریخی و دستگاهی در محدوده مورد نظر است. اطلاعات زلزله‌های تاریخی ایران عمدتاً در دو مرجع زمین‌لرزه‌های تاریخی ایران (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲) و کاتالوگ زمین‌لرزه‌های ایران (بربریان، ۱۹۹۴) موجود است. با توجه به این منابع و با استناد به اطلاعات پژوهشگاه زلزله‌شناسی کشور، برخی زلزله‌های تاریخی (بالای ۵ ریشتر) و ۹۵ زلزله دستگاهی بالای ۲/۵ ریشتر در بازه زمانی ۱۹۶۲-۲۰۱۴ در شعاع صد کیلومتری شهر نجف‌آباد به ثبت رسیده که در شکل ۶ قابل مشاهده است. همچنین در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ حدود ۴۰ که‌لرزه (زیر سه ریشتر) در شعاع ۱۵ کیلومتری شهر نجف‌آباد ثبت شده است (پایگاه ملی داده‌های علوم زمین، ۱۳۹۳).



شکل ۶. زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی (۱۹۶۲-۲۰۱۴) در شعاع صد کیلومتری شهر نجف‌آباد  
منبع: نگارندگان

۱. شایان ذکر است که در تصویر ماهواره‌ای، گسل‌هایی که در محدوده‌های شهری یا پوشش گیاهی پوشیده شده‌اند به صورت خط چین ترسیم می‌شوند (گسل پوشیده).

## بررسی اثرات ساختگاه

لرزش زمین و خسارات ناشی از آن بر ساختارها، نه تنها به بزرگی و نوع منبع لرزش بستگی دارد، بلکه از شرایط توپوگرافی و زمین‌شناسی سطحی و زیرسطحی منطقه با عنوان «اثرات ساختگاه»<sup>۱</sup> تأثیر می‌پذیرد. گواه این امر، نتایج زیانباری است که از زلزله‌های رودبار و منجیل (۱۹۹۰) و بم (۲۰۰۳) به دست آمده است (شفیعی و همکاران، ۲۰۱۱: ۴۸۲). عموماً رسوبات نرم بیشتر از سنگ‌های سخت، دامنه ارتعاشات را زیاد می‌کنند. در فاجعه مرگبار ۱۹۸۵ مکزیکوسیتی، با وجود اینکه زلزله در فاصله ۴۰۰ کیلومتری شهر رخ داد، به دلیل وجود خاک‌های نرم و سست، ساختمان‌هایی با ارتفاع متوسط در این شهر تخریب شدند (محمودزاده و هاشمی، ۱۳۹۰: ۱۷). همچنین در زلزله بم، وسعت خرابی‌ها علاوه بر ضعف در ساخت‌وسازها، ناشی از تشدید امواج در رسوبات منفصل منطقه بود که شدت امواج را به مرحله تخریب کامل رساند (علوی‌پناه و قربانی، ۱۳۸۶: ۲۲). اهر و هریس (۱۳۹۱) نیز براساس مشاهده‌ها در سازه‌های احداث شده روی آبرفت‌های اشباع ضخیم نتیجه گرفتند که آسیب به سازه‌های مهندسی‌ساز بیشتر است (زارع و همکاران، ۱۳۹۱). با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه، دشت نجف‌آباد پوشیده از آبرفت است که ضخامت برخی از آن‌ها به ۱۲۰ متر می‌رسد. جنس این آبرفت‌ها بیشتر شنی و شنی-رسی است. باید توجه داشت که این سازندها در تشدید امواج زلزله احتمالی و خطرپذیری بالای شهر از این مورد نقش مؤثری دارند.

## تحلیل آسیب‌پذیری شهر با استفاده از مدل ANP

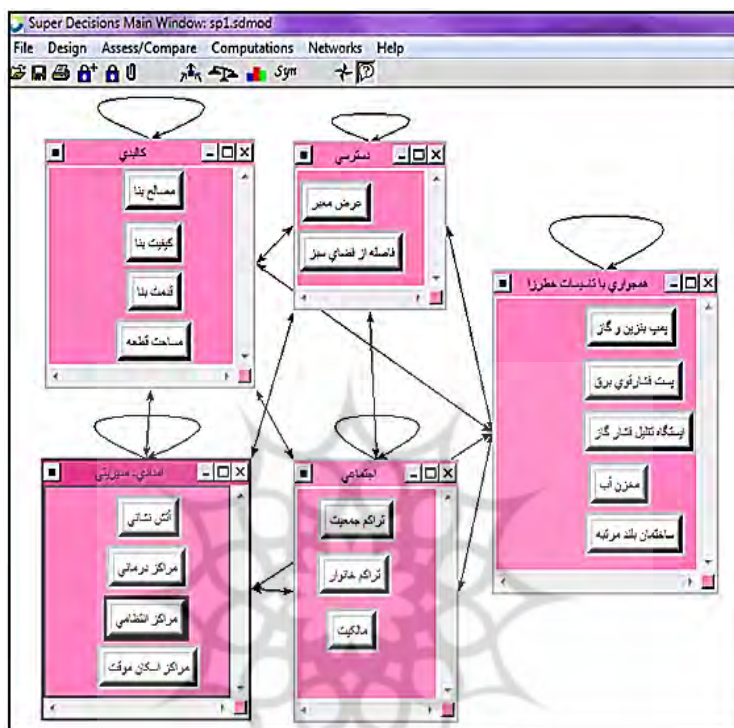
زلزله از بلایایی است که پیامدهای آن تمام جوانب شهر را دربرمی‌گیرد؛ از این رو ضروری است برای ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از آن، مجموعه‌ای از عوامل با توجه به اهمیت هر یک از آن‌ها مدنظر قرار بگیرند (بمانیان و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۰). معمولاً آسیب‌پذیری فضایی یک شهر متأثر از پارامترهای گوناگون، پیچیده و اغلب کیفی است. با توجه به مدل ارائه شده (شکل ۲) و براساس این پژوهش، آسیب‌پذیری ترکیبی از عوامل در معرض خطر (محیطی، کالبدی، اجتماعی و...) و ظرفیت مقابله جامعه (شاخص‌های امدادی-مدیریتی) با آن خطر است.

با در نظر گرفتن پنج معیار اصلی و هجده زیرمعیار (مطابق شکل ۷) آسیب‌پذیری شهر نجف‌آباد تحلیل و بررسی شد. جهت وزن‌دهی شاخص‌های انتخاب شده از مدل ANP استفاده شد. بدین ترتیب که برای بررسی تعاملات و ارتباطات میان معیارها و زیرمعیارها از نظر میزان اثرگذاری یا اثرپذیری از یکدیگر و انجام مقایسه‌های زوجی میان آن‌ها، پرسشنامه‌های مربوط تهیه و توسط کارشناسان مرتبط با امور شهر و موضوع پژوهش تکمیل شد. معیارها به‌عنوان خوشه‌ها<sup>۲</sup> و زیرمعیارها به‌عنوان عناصر<sup>۳</sup> تعریف شدند. مدل مفهومی ANP نیز تهیه و در محیط نرم‌افزار Super Decision اجرا شد. به دلیل شرح این مدل در بسیاری از پژوهش‌های پیشین، مراحل کار به‌طور خلاصه ارائه می‌شود. در شکل ۷، طرح کلی مدل، تعاملات و وابستگی‌های درون خوشه‌ها<sup>۴</sup> و وابستگی‌های میان آن‌ها<sup>۵</sup> نشان داده شده است.

وزن‌دهی به معیارها و زیرمعیارها براساس طیف وزنی ۱ تا ۹ است که در این پژوهش با به‌کارگیری فن دلفی و بهره‌گیری از دیدگاه‌های متخصصان مرتبط با موضوع پژوهش صورت گرفت. در تمامی مقایسه‌های زوجی میان خوشه‌ها

1. Local Site Effects
1. Cluster
2. Node
3. Inner Dependencies
4. Outer Dependencies

و معیارها به‌طور جداگانه، نرخ ناسازگاری (CR) کمتر از ۰/۱ به‌دست آمد که نشان‌دهنده صحت قضاوت‌هاست. از تلفیق نتایج هر یک از ماتریس‌های مقایسه، ماتریس اولیه‌ای به‌دست آمد که نرم‌افزار با نرمال کردن آن، سوپرماتریس موزون را تشکیل داد. سپس مقادیر این سوپرماتریس هم‌گرا شد و سوپرماتریس کراندار (تصویر ۸) شکل گرفت. نتایج برتری اولویت‌ها در تصویر ۹ قابل‌مشاهده است. ستون اول وزن نرمال‌شده هر زیرمعیار در خوشه خودش را نشان می‌دهد و ستون دوم بیانگر وزن نهایی هر زیرمعیار است.



شکل ۷. طرح کلی مدل ANP مبنی بر معیارهای کلی آسیب‌پذیری و زیرمعیارهای مربوط

Cluster Node Labels	شاخصهای اجتماعی			شاخصهای امدادی-مدیریتی			شاخصهای خطرزا
	بعد خانوار	تراکم جمعیت	مالکیت بنا	آتش نشانی	مراکز اسکان موقت	مراکز انتظامی	ایستگاه تقویت فشار گاز
شاخصهای خطرزا	ساختمان بلند مرتبه	0.024878	0.024878	0.024878	0.024878	0.024878	0.024878
	مخزن آب	0.001655	0.001655	0.001655	0.001655	0.001655	0.001655
	پست فشار قوی برق	0.002505	0.002505	0.002505	0.002505	0.002505	0.002505
	یعب بنزین و گاز	0.012258	0.012258	0.012258	0.012258	0.012258	0.012258
شاخصهای دسترسی	عرض مهبر	0.158417	0.158417	0.158417	0.158417	0.158417	0.158417
	فضای باز	0.056070	0.056070	0.056070	0.056070	0.056070	0.056070
شاخصهای کابردی	اسکلت بنا	0.249276	0.249276	0.249276	0.249276	0.249276	0.249276
	قدمت بنا	0.075038	0.075038	0.075038	0.075038	0.075038	0.075038

شکل ۸. سوپرماتریس کراندار

Super Decisions Main Window: sp2new.sdmodzip: formulaic: P...

Here are the priorities.

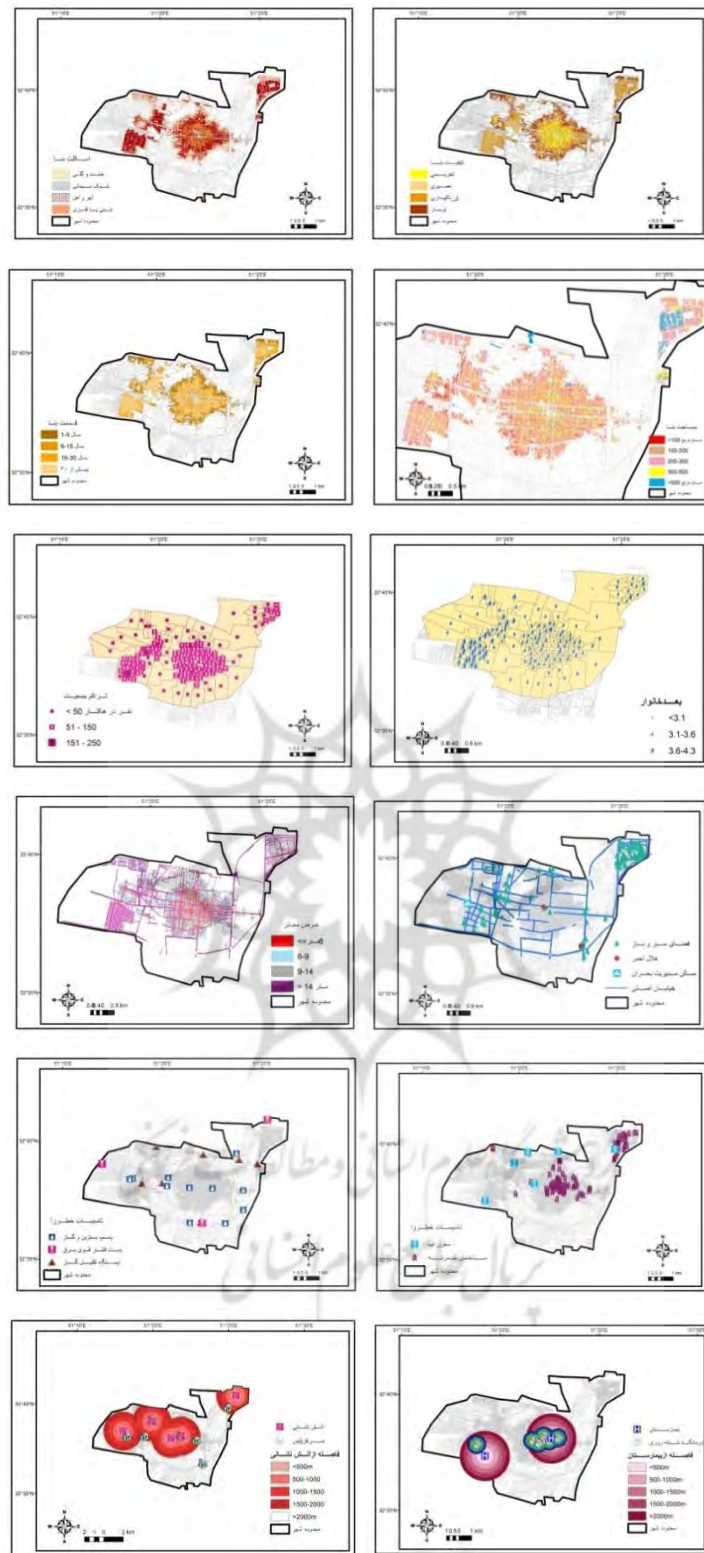
Icon	Name	Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	بعد خانوار	0.29789	0.046783
No Icon	تراکم جمعیت	0.64555	0.101383
No Icon	مانکیت بنا	0.05656	0.008883
No Icon	آتش نشانی	0.46902	0.015198
No Icon	مراکز اسکان موقت	0.09206	0.002983
No Icon	مراکز انتظامی	0.10517	0.003408
No Icon	مراکز درمانی	0.33376	0.010815
No Icon	ایستگاه تقلیل فشار گاز	0.11405	0.005316
No Icon	ساختمان بلند مرتبه	0.53373	0.024878
No Icon	مخزن آب	0.03551	0.001655
No Icon	پست فشار قوی برق	0.05374	0.002505
No Icon	بهب بنزین و گاز	0.26298	0.012258
No Icon	عرض معبر	0.73859	0.158417
No Icon	فضای باز	0.26141	0.056070
No Icon	اسکلت بنا	0.45369	0.249276
No Icon	قدمت بنا	0.13657	0.075038
No Icon	مساحت قطعات	0.05755	0.031619
No Icon	کیفیت بنا	0.35220	0.193514

شکل ۹. اوزان به دست آمده برای زیرمعیارها در مدل ANP

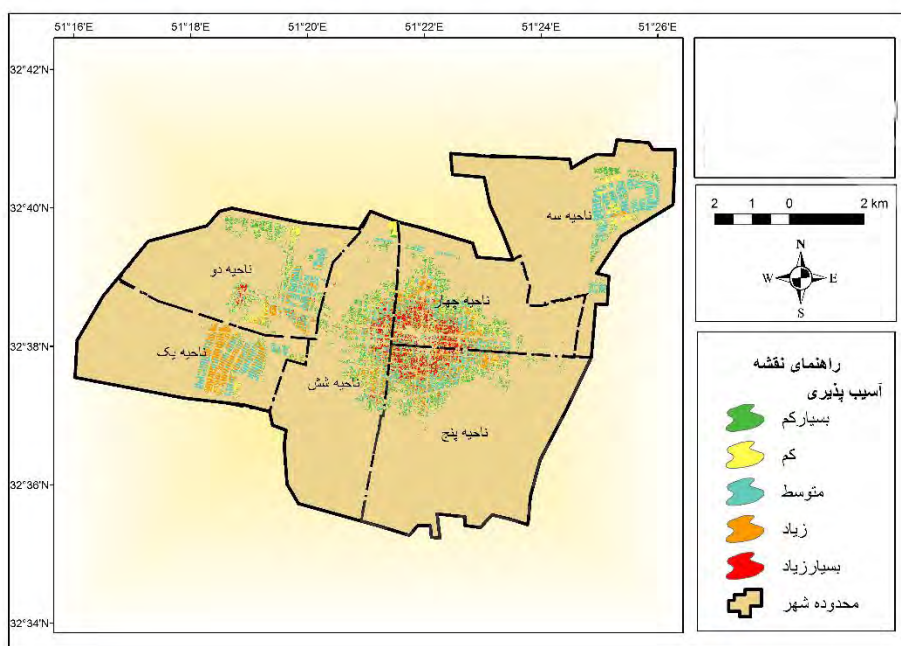
همان طور که مشاهده می‌شود، زیرمعیار اسکلت بنا با وزن  $0/249$  بیشترین اهمیت را دارد؛ زیرا زلزله‌های اخیر نشان داده است که نوع مصالح به کاررفته در ساختمان‌ها مهم‌ترین پارامتر در آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر است. پس از آن زیرمعیارهای کیفیت بنا، عرض معبر و تراکم جمعیت با وزن‌های  $0/193$ ،  $0/158$  و  $0/101$  بیشترین اهمیت را دارند. در ادامه به منظور تهیه نقشه آسیب‌پذیری کلی شهر از زلزله احتمالی، ابتدا نقشه‌های مربوط به زیرمعیارها در نرم‌افزار ARCGIS10.2 تهیه و به رستر<sup>۱</sup> تبدیل شدند. سپس طبقه‌بندی مجدد آن‌ها با توجه به آسیب‌پذیری صورت گرفت. پس از آن، وزن‌های به دست آمده از مدل ANP به صورت جداگانه در لایه‌های رستری موجود (با اندازه پیکسل ۵ متر) اعمال، و در نهایت هم‌پوشانی<sup>۲</sup> انجام شد. با توجه به شکل ۱۰ برخی نقشه‌ها شامل چند زیرمعیار هستند. به منظور تسهیل در بررسی موضوع، نقشه نهایی پس از طبقه‌بندی مجدد به پنج طبقه آسیب‌پذیری تقسیم شد که این امر به روش Jenks که بر پایه تعیین نقاط شکست طبیعی نمودار فراوانی استوار است، صورت گرفت. شکل ۱۱ توزیع فضایی میزان آسیب‌پذیری کلی شهر از زلزله احتمالی را نشان می‌دهد.

1. Raster
2. Index Overlay

۳. قسمت عمده اطلاعات مربوط به این لایه‌ها از تجدیدنظر طرح توسعه و عمران شهر نجف‌آباد اقتباس شد. همچنین با توجه به فواصل و طبقه‌بندی‌های استاندارد در زمینه درجات آسیب و استفاده از تحلیل فضایی، نقشه‌ها توسط نگارندگان در محیط ARCGIS تهیه و ترسیم شد که به دلیل محدودیت مقاله از توضیحات بیشتر و آوردن عناوین به صورت جداگانه صرف نظر شد.



شکل ۱۰. مجموعه لایه‌های رستری متناظر با زیرمعیارهای مربوط به آسیب‌پذیری  
منبع: نگارندگان



شکل ۱۱. نقشه توزیع فضایی میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر نجف‌آباد  
منبع: نگارندگان

### ارزیابی میزان ریسک‌پذیری لرزه‌ای شهر

میزان ریسک لرزه‌ای با دو روش کمی و کیفی قابل محاسبه است. در کشور ما به دلیل کمبود یا فقدان داده‌ها و اطلاعات کافی، تاکنون برآورد کمی برای ریسک زلزله انجام نشده است، اما برآورد کیفی قابل انجام است (غفوری آشتیانی، ۱۳۹۲). به دنبال مطالعات مختلف، مدل‌ها و نظریات گوناگونی درباره بررسی ریسک و آسیب‌پذیری ارائه شد که یا به طور جامع تمامی مؤلفه‌های دخیل در ریسک را در نظر نمی‌گیرد یا در مناطقی که با فقدان اطلاعات ضروری روبه‌روست کاربرد نخواهند داشت. در پژوهش حاضر، روشی برای برآورد نسبی شاخص ریسک براساس ترکیب مؤلفه‌های خطر زلزله و فاکتور آسیب‌پذیری (تلفیق عوامل در معرض خطر و ظرفیت مقابله با خطر) ارائه شد که در آن، خطرپذیری براساس رابطه خطی میان این عوامل به صورت رابطه ۶ مدنظر قرار گرفت.

$$R = (H) \times (E) + (C) \quad (6)$$

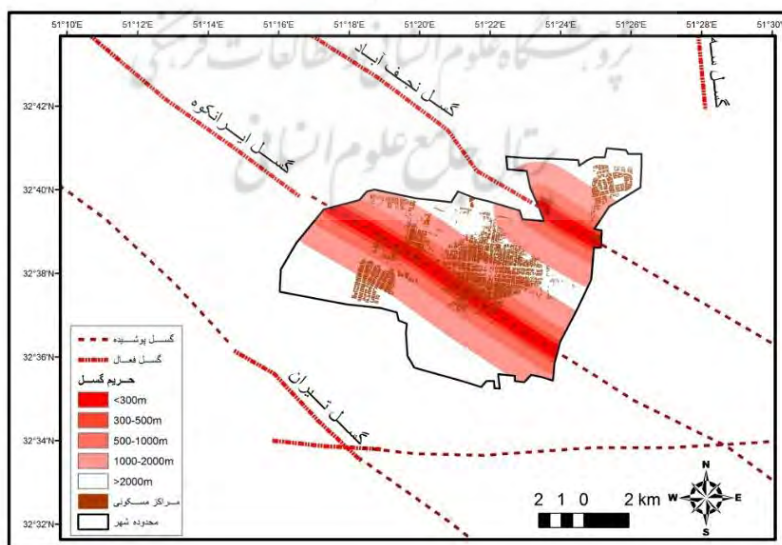
(H) خطر زلزله × (E) عوامل در معرض خطر + (C) ظرفیت مقابله با خطر

در این رابطه وزن این عوامل یکی نیست؛ زیرا میزان خطر (مخاطره) و شدت آسیب‌پذیری در بیشتر مناطق یکسان به شمار نمی‌آید (ممکن است در منطقه‌ای احتمال خطر بالا، ولی آسیب‌پذیری کم باشد و بالعکس)؛ بنابراین می‌توان وزن هر یک از این عوامل را از مقایسه تطبیقی وضعیت منطقه مورد مطالعه (از نظر میزان خطر لرزه‌ای و شدت آسیب‌پذیری ناشی از آن) با دیگر نقاط کشور، براساس درصد تأثیر و با توجه به نظر متخصصان موضوع تعیین کرد. در این روش با توجه به نسبی بودن شاخص ریسک می‌توان با وجود داده‌های کمتر یا نبود برخی اطلاعات، ریسک زلزله را در مناطق مختلف شناسایی کرد.

بررسی خطر (مخاطره) زمین‌لرزه: همان‌گونه که در قسمت‌های پیشین عنوان شد، برای تحلیل خطر زلزله باید اثرات ساختگاه، کانون‌های زلزله و موقعیت گسل‌های منطقه بررسی شود. با توجه به توضیحات ارائه شده در مورد ساختگاه شهر، شنی-رسی بودن خاک منطقه گاهی به ضخامت ۱۲۰ متر می‌رسد و خطرپذیری بالای لرزه‌ای آن نشان‌دهنده شرایط ویژه

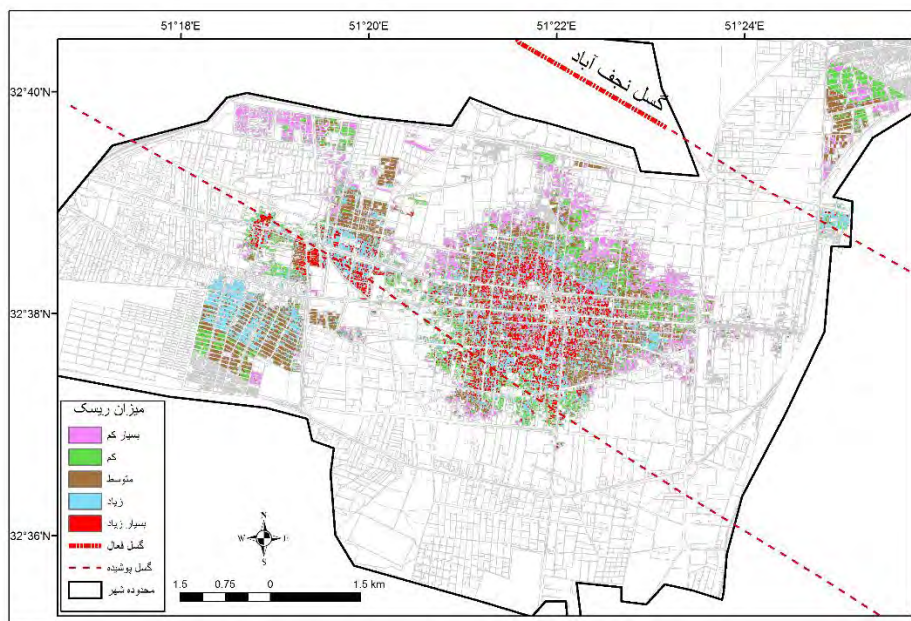
ژئوتکتونیک ساختگاه شهر است. از سوی دیگر، با توجه به قرارگیری شهر نجف‌آباد در محدوده بین دو ابرگسل زاگرس و قم-زفره، شناسایی گسل‌های جدید پنهان زیر این شهر و فعال بودن آن‌ها (با در نظر گرفتن سابقه وقوع زمین‌لرزه‌های بزرگ روی گسل‌های پنهان زیر شهرها در کشور مانند طبس و بجم (علوی‌پناه و قربانی، ۱۳۸۶: ۱۶)) و وقوع زمین‌لرزه‌های محسوس (بالای ۴ ریشتر) با عمق کانونی بسیار کم (کمتر از ده کیلومتر) در اطراف این شهر طی چند سال اخیر، احتمال خطر زمین‌لرزه در این منطقه همواره وجود دارد. براساس پژوهش‌های مرتبط با زلزله‌های مختلف از جمله زلزله بم، ساخت‌وسازهای نزدیک گسل به تخریب بیشتری دچار شده‌اند (میرزایی و همکاران، ۱۳۸۳: ۲۵)، به همین دلیل ضروری است برای هرگونه عملیات ساختمانی در شهرها، حریم خطری برای گسل تعریف کرد؛ از این رو کارشناسان زلزله حداقل فاصله از گسل را ۳۰۰ متر در نظر گرفته‌اند تا رفتار سازه‌ها مانند سازه‌های دور از گسل باشد (کامل باسمنج، ۱۳۹۱: ۱۳۳). در شکل ۱۲ میزان خطر مربوط به کانون‌های زمین‌لرزه و اثر ساختگاه آمده است. همچنین حریم خطر گسل‌های پنهان زیر شهر نجف‌آباد با درجه‌بندی خطر از ۳۰۰ متر تا ۲۰۰۰ متر فاصله از گسل و موقعیت مراکز مسکونی به آن قابل مشاهده است.

بررسی آسیب‌پذیری: در بحث آسیب‌پذیری ذکر چند نکته مرتبط با عوامل در معرض خطر و توان مقابله با خطر احتمالی ضروری به نظر می‌رسد. شهر نجف‌آباد حدود ۴۵۰ هکتار بافت فرسوده دارد که دربرگیرنده هسته مرکزی و فعالیت‌های اصلی شهر است. حدود ۶۰ درصد ساختمان‌های شهر نیز از نظر ساختاری، فونداسیون و اسکلت مناسب و مقاومی ندارند و ۴۰ درصد ساختمان‌ها بالای سی سال قدمت دارند. از دیگر فاکتورهای بسیار مؤثر در آسیب‌پذیری این شهر، کمبود فضای باز داخل شهر (به‌ویژه هسته مرکزی شهر) یا نبود این فضا و وجود معابر زیاد با عرض کمتر از ۶ متر در نقاط مختلف است؛ به طوری که این فضاها در صورت وقوع بحرانی مانند زلزله، آسیب‌پذیری بسیار بالایی دارند و کار امداد رسانی را غیرممکن می‌کنند. در بحث توان مقابله نیز کمبودهایی در بخش‌های درمانی، مراکز اسکان موقت و مسائل مربوط به مدیریت بحران شهر وجود دارد. در بخش قبل، نقشه مربوط به بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر تهیه شد.



شکل ۱۲. حریم خطر گسل‌های پنهان زیر شهر نجف‌آباد و موقعیت مراکز مسکونی

منبع: نگارندگان با استناد به شکل ۵



شکل ۱۳. توزیع فضایی میزان ریسک‌پذیری لرزه‌ای شهر نجف‌آباد  
منبع: نگارندگان

جدول ۲. پهنه‌بندی میزان ریسک‌پذیری لرزه‌ای شهر نجف‌آباد

میزان ریسک‌پذیری	مساحت پهنه (هکتار)	درصد ریسک هر پهنه
ریسک‌پذیری بسیار کم	۲۴۷/۶۸	۲۱
ریسک‌پذیری کم	۲۲۴/۰۹	۱۹
ریسک‌پذیری متوسط	۳۱۸/۴۴	۲۷
ریسک‌پذیری زیاد	۲۳۵/۸۸	۲۰
ریسک‌پذیری بسیار زیاد	۱۵۳/۳۲	۱۳

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۳

درنهایت با توجه به نظر متخصصان مربوط و استناد به مطالعات پیشین درباره ارزیابی ریسک و آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق مختلف، نقشه مرتبط با عامل مخاطره (شکل ۱۱) و نقشه مربوط به شاخص آسیب‌پذیری (شکل ۱۲) با نسبت‌های وزنی ۰/۳۵ و ۰/۶۵ هم‌پوشانی و میزان ریسک‌پذیری لرزه‌ای این شهر مشخص شد.

براساس نتایج، حدود ۳۳ درصد مساحت توسعه‌یافته شهر ریسک‌پذیری بالایی در برابر زلزله دارد که محدوده مرکزی هسته اولیه شهر و بخشی از شهرک صالح‌آباد را دربرگرفته است و ساختمان‌های خشت و گلی و گاهی بلوک سیمانی با قدمت بالای پنجاه سال را شامل می‌شود. همچنین ۲۷ درصد این مساحت ریسک‌پذیری متوسطی دارد که شامل ساختمان‌هایی با مصالح بنایی (آجر و آهن) بدون فونداسیون مناسب و اغلب با قدمت بالای سی سال است. با تطبیق نقشه پراکنش جمعیت شهر (براساس حوزه‌های آماری سرشماری جمعیت سال ۱۳۹۰) بر پهنه‌بندی فوق مشخص شد جمعیتی بالغ بر ۲۸۳۰۰ نفر در پهنه ریسک‌پذیری بسیار بالا و حدود ۲۲۸۰۰ نفر در پهنه ریسک‌پذیری بالا قرار دارند. در حال حاضر شهر نجف‌آباد از نظر تقسیمات شهرداری به سه منطقه و شش ناحیه شهری تقسیم شده که پس از بررسی ریسک لرزه‌ای کل شهر، ارزیابی این موضوع به تفکیک در نواحی شش‌گانه شهر صورت گرفته است.



## نتیجه‌گیری

از اهداف پژوهش حاضر شناخت و ارزیابی میزان ریسک لرزه‌ای شهر نجف‌آباد به کمک مدل‌سازی مکانی-فضایی مؤلفه‌های مختلف محیطی، کالبدی، اجتماعی و مدیریتی با رویکرد کاهش ریسک بوده است. از آنجا که بررسی همه‌جانبه و یک‌باره تمامی عوامل مؤثر بر ریسک‌پذیری شهری امکان‌پذیر نیست، در این پژوهش با در نظر گرفتن بیشترین تعداد شاخص‌های مؤثر بر موضوع مورد نظر و ارائه مدل محلی، ریسک‌پذیری لرزه‌ای شهر نجف‌آباد از زمین‌لرزه احتمالی بررسی و تحلیل پرداخته شد. در این مدل به منظور برآورد نسبی شاخص ریسک «مؤلفه‌های خطر زلزله و فاکتور آسیب‌پذیری» مطابق نظر متخصصان موضوع، و توجه به شرایط منطقه با نسبت‌های وزنی  $0/35$  و  $0/65$  ترکیب شدند که برای این منظور ابتدا وضعیت موجود منطقه در ارتباط با خطر احتمالی بررسی شد. شهر نجف‌آباد با قدمتی چهارصدساله، قدیمی‌ترین شهر جدید ایران و دومین شهر مهم مجموعه شهری اصفهان محسوب می‌شود که طی شصت سال اخیر جمعیت آن هفت برابر شده است. این شهر از نظر زمین‌ساختی در زون سنندج-سیرجان قرار دارد که ناآرام‌ترین زون ساختمانی ایران به‌شمار می‌آید و براساس مطالعات، احتمال وقوع زلزله در این حوضه همواره وجود دارد. ساختارهای مهم جنبه، شناسایی گسل‌های فعال برای نخستین بار و ثبت بیش از صدها لرزه در دهه‌های اخیر پیرامون این حوزه و شرایط ویژه ژئوتکتونیک ساختمانی شهر، نمایانگر خطرپذیری آن است.

در مدل ارائه‌شده، ترکیب تمام «پارامترهای در معرض آسیب‌پذیری لرزه‌ای و ظرفیت مقابله با خطر احتمالی» با عنوان شاخص آسیب‌پذیری مطرح شده است. به منظور وزن‌دهی این پارامترها که ساختاری شبکه‌ای دارند، از مدل ANP استفاده شد که براساس آن، زیرمعیار اسکلت بنا با وزن  $0/249$  بالاترین وزن را به خود اختصاص داد. تمام نقشه‌ها در محیط ARCGIS و گاهی با تحلیل فضایی تهیه شدند. سپس با اعمال وزن‌های مربوط به نقشه‌ها و تلفیق آن‌ها، نقشه توزیع فضایی آسیب‌پذیری شهر تهیه شد. در نهایت براساس مدل تعریف‌شده پژوهش، با هم‌پوشانی وزنی دو نقشه خطر منطقه و آسیب‌پذیری شهر (با نسبت‌های وزنی ذکرشده در قبل)، ریسک نسبی منطقه مورد نظر برآورد شد. نتایج نشان می‌دهد حدود ۳۳ درصد مساحت توسعه‌یافته شهر یعنی محدوده مرکزی و بخشی از شهرک صالح‌آباد، ریسک‌پذیری بالایی در برابر زلزله دارد. حدود ۲۷ درصد این مساحت نیز ریسک‌پذیری متوسطی دارد. با توجه به نقشه پراکنش جمعیت شهر (براساس حوزه‌های آماری سرشماری جمعیت سال ۱۳۹۰) و تطبیق آن با نتایج مشخص می‌شود جمعیتی بالغ بر ۵۱۰۰۰ نفر (با تراکم در حدود ۷۰ تا ۱۰۰ نفر در هکتار) در پهنه ریسک‌پذیری بالا قرار دارند. در بررسی ریسک لرزه‌ای نواحی شهر نیز مشخص شد ناحیه ۵ با جمعیتی حدود چهار هزار نفر، بالاترین ریسک‌پذیری را در میان نواحی شش‌گانه شهر دارد. همچنین محدوده یزدانشهر (ناحیه ۱) در جنوب غربی شهر که بالاترین تراکم جمعیت را در سطح شهر دارد، در پهنه ریسک‌پذیری متوسط روبه‌بالاست.

با استناد به رویکردهای نوین مدیریت بحران در سطح جهانی - که بر کاهش ریسک بلایا از طریق کاهش آسیب‌پذیری‌ها و کاهش مخاطرات طبیعی و مواجهه با آن‌ها تا حد امکان تأکید می‌کنند - تقلیل آسیب‌پذیری شهروندان در معرض خطر ایجاب می‌کند تا سیستم جامعی برای مقابله با بحران‌ها اعمال شود. به منظور کاهش خطرپذیری‌ها و بهبود محیط، راهبردهای بسیاری وجود دارد که برخی از آن‌ها اهمیت بیشتری دارند؛ از جمله بهره‌گیری از فناوری‌های جدید مقاوم‌سازی، نظارت و کنترل دقیق عملیات اجرایی ساختمان‌ها، بهسازی و نوسازی بافت فرسوده، توجه ویژه به نقش فضاهای باز و دسترسی‌ها، ایجاد تعادل در تخصیص کاربری‌ها و برقراری نظم میان توده و فضا، افزایش قابلیت نفوذپذیری در بافت‌های فرسوده، ایجاد فضای باز و سبز در بافت‌های فشرده شهر، تعریض معابر دارای مشکلات حاد تردد، حفظ و ارتقای هویت اجتماعی شهر، توانمندسازی ساکنان بافت‌های فرسوده با ارائه تسهیلات شهرداری، مکان‌یابی

صحیح مراکز درمانی و امداد و نجات و تشویق بخش خصوصی (از طریق ارائه تسهیلات) به ساخت این مراکز در نقاطی که این مراکز را ندارند، هماهنگی دستگاه‌های مدیریتی و امدادی به منظور کاهش تلفات انسانی پس از وقوع زلزله، تعیین حریم نواحی پرخطر، ایجاد مرکز دفاع غیرنظامی و مدیریت بحران در شهرها با قابلیت مدیریت یکپارچه بحران‌های طبیعی و غیرطبیعی و استفاده از تجربیات سایر کشورها در زمینه مدیریت بحران.

امید است با توجه به وضعیت خاص ایران در تکتونیک جهانی و با توجه به طرح‌های اقتصادی، عمرانی و صنعتی مختلفی که در حال اجرا هستند یا در آینده اجرا خواهند شد، سازمان‌های ذی‌ربط با همکاری یکدیگر به اقدامات لازم برای کاهش آسیب‌پذیری‌های ناشی از زلزله بپردازند.

## منابع

۱. آمبرسز، نیکلاس و چارلز ملویل، ۱۳۷۰، **زلزله‌های تاریخی ایران**، ترجمه ابوالحسن رده، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
۲. بمانیان، محمدرضا و همکاران، ۱۳۹۱، کاهش خطرپذیری شهر از بلایای طبیعی (زلزله) از طریق برنامه‌ریزی کاربری زمین، مطالعه موردی: ناحیه ۵ از منطقه ۳ تهران، دوفصلنامه مدیریت بحران، دوره یک، شماره ۲، صص ۵-۱۵.
۳. ثقفی، محمدجواد، ۱۳۸۳، **آسیب‌شناسی ساختمان (ساختمان‌های آسیب‌دیده از زلزله بم)**، نشریه هنرهای زیبا، دوره ۱۷، شماره ۱۷، صص ۴۲-۵۳.
۴. جمی، نسرين، ۱۳۸۵، **بررسی خصوصیات زمین‌شناسی و مهندسی نهشته‌های کواترنری در شهر اصفهان**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده علوم دانشگاه اصفهان.
۵. درویش‌زاده، علی، ۱۳۹۲، **زمین‌شناسی ایران**، چاپ پنجم، انتشارات امیرکبیر، تهران.
۶. زارع، مهدی و همکاران، ۱۳۹۱، **گزارش شناسایی مقدماتی زمین‌لرزه‌های دوگانه اهر و ورزقان (استان آذربایجان شرقی)**، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.
۷. شاهپسندزاده، مجید و مهدی حیدری، ۱۳۸۲، **بررسی مقدماتی لرزه‌خیزی، لرزه زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه در پهنه استان اصفهان**، ماهنامه فنی-تخصصی دانش نما، سال دوازدهم، شماره ۱۰۷-۱۰۹، انتشارات سازمان نظام‌مهندسی اصفهان، صص ۶۲-۶۷.
۸. صفایی، همایون، ۱۳۸۴، **طرح پژوهشی شناسایی و بررسی توان لرزه‌های گسل‌های اطراف اصفهان**، معاونت شهرسازی و معماری شهرداری اصفهان، اصفهان.
۹. علوی‌پناه، کاظم و محمدصدیق قربانی، ۱۳۸۶، **نقش سنجش‌ازدور و بررسی‌های میدانی در تجزیه و تحلیل‌های مورفوتکتونیک، مطالعه موردی: بم**، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، سال ۳۹، شماره ۶۰، صص ۱۵-۲۹.
۱۰. غفوری آشتیانی، محسن، ۱۳۹۲، **راهنمای کاربردی انجام تحلیل خطر زلزله**، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور.
۱۱. فاضل‌نیا، غریب، حکیم‌دوست، یاسر و یدالله بلیانی، ۱۳۹۳، **راهنمای جامع مدل‌های کاربردی GIS**، ج اول، چاپ سوم، انتشارات آزادپیما، تهران.
۱۲. کامل باسمنج، بتول، میرجعفری، بابک و سید علی علوی، ۱۳۹۱، **ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای در منطقه یک شهر تبریز با استفاده از مدل تحلیل چندمعیاره فضایی**، فصلنامه مدرس (برنامه‌ریزی و آمایش فضا)، سال شانزدهم، شماره ۲، صص ۱۲۱-۱۴۰.

۱۳. محمدی، مصطفی، ۱۳۹۰، مدل‌سازی مؤلفه‌های ریسک‌پذیر مؤثر در ایمن‌سازی شهر کرج، رساله دکتری، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تهران، تهران.
۱۴. محمودزاده، امیر و سید مهدی هاشمی، ۱۳۹۰، دستورالعمل ارزیابی لرزه‌ای ساختمان‌ها براساس آیین‌نامه کانادا، انتشارات علم‌آفرین، اصفهان.
۱۵. مهندسان مشاور نقش‌جهان پارس، ۱۳۹۰، تجدیدنظر طرح توسعه و عمران شهر نجف‌آباد.
۱۶. میرزایی، حسین و اسماعیل فرزادگان، ۱۳۸۳، بم و زمین‌لرزه‌اش می‌آموزد (آشنایی با مهندسی زلزله و عملکرد لرزه‌ای ساختمانها)، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، چاپ اول، تهران.
۱۷. نبوی، محمدحسن، ۱۳۵۵، دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران.
۱۸. ویسه، یدالله، ۱۳۷۸، نگرشی بر مطالعات شهرسازی و برنامه‌ریزی شهری در مناطق زلزله‌خیز، چاپ اول، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.
19. Amberseys, N. N and Melville, C. P., 1982, **A History of Persian Earthquake**, Cambridge Earth Science Series. (In Persian)
20. Bemanian, M. R. et al., 2013, Reducing the Risk of Natural Disasters (Earthquake) Through Land Use Planning, Case Study: Region 5 of Tehran Municipality, Journal Crisis Management, Vol.1 , No. 2, PP. 5-15. (In Persian)
21. Saghafi, M., 2005, **Assessment of Buildings Vulnerability in Bam Earthquake**, Journal Honarhayeh Ziba , Vol.17 , No. 17, PP. 42-53. (In Persian)
22. Jami, N., 2006, Surveing of Quaternary Deposits Geological and Engineering Characteristics in Isfahan, M.A Thesis in Science Faculty, Isfahan University. (In Persian)
23. Darvishzadeh, A., 2013, **Iran Geology**, 5<sup>th</sup> Ed, Publication of Amirkabir, Tehran. (In Persian)
24. Zare, M. et al., 2012, **Reporting of Preliminary Identification Dual Earthquakes in Ahar and Varzaghan**, International Institute of Earthquake Engineering Seismology, Tehran. (In Persian)
25. Shahpasandzadeh, M., and Heidari, M., 2003, **A Preliminary Study on Seismic, Seismic Tectonics and the Risk of Earthquakes in the Area in Isfahan**, Journal of Daneshnama Vol. 12 , No. 107-109, Publication of Isfahan Engineering Organization. (In Persian)
26. Safaii, H., 2006, **Research Project for Identification and Evaluation of the Seismic Faults Around the Isfahan**, Deputy Mayor of Urban Planning and Architecture of Isfahan, Isfahan. (In Persian)
27. Alavipanah, K., and Ghorbani, M., 2007, **The Role of Remote Sensing and Field Studies in the Analysis Morphotectonic**, J Gheographic Researches, Vol. 39 , No. 60, PP. 15-29. (In Persian)
28. Ghafrooy Ashtiani, M., 2013, **Practical Guide Earthquake Risk Analysis**, Deputy of President in Strategic Planning and Monitoring. (In Persian)
29. Fazelnia, GH., Hakimdoost, Y., and Beliani, Y., 2014, **The Comprehensive Guide for GIS Functional Models**, Third Edition, Azadpeyma Publication, Tehran. (In Persian)
30. Kamel Basmenj, B., Mirgafari, B., and Alavi, A., 2012, **Evaluation of Seismic Vulnerability of Region1 of the City of Tabriz Using Spatial Multi-Criteria Analysis**, Journal Modares, Vol.16, No. 2, PP. 121-140. (In Persian)
31. Mohamadi, M., 2011, **Modelling for Risk Parameter Affected on Karaj City Safety**, Phd Thesis, Geographic and Urban Planning Branch, Tehran University, Tehran. (In Persian)
32. Mahmoodzadeh, M., and Hashemi, M., 2011, **Seismic Evaluation of Buildings Based on**

- Regulations of Canada**, Elmafarin Publication, Isfahan. (*In Persian*)
33. Jahan Pars Consulting Engineers, 2012, **Master Plan of Najafabad City**. (*In Persian*)
34. Mirzaii, H., and Farzanegan, E., 2004, **Bam's Earthquake and Teaches**, Building and Housing Research Center. (*In Persian*)
35. Nabavi, M., 1977, **The Geological History of Iran**, Geological Organization of IRAN. (*In Persian*)
36. Viseh, Y., 2000, **Review of Urban Studies and Planning in Earthquake-Prone Areas**, International Institute of Earthquake Engineering Seismology, Tehran. (*In Persian*)
37. Baban, S. M., 2014, **Enduring Geohazards in the Caribbean: Moving from the Reactive to the Proactive**, Chapter 2, University of West Indies Press, Jamaica, 256 p, ISBN: 978-976-640-204-4.
38. Chen, C. W. et al., 2012, A Novel Strategy to Determine the Insurance and Risk Control Plan for Natural Disaster Risk Management, *Natural Hazards*, Vol. 64, No. 2, PP. 1391-1403.
39. Crichton, D., 1999, **The Risk Triangle**, *Natural Disaster Management*, PP.102-103.
40. Dewan, A. M., 2013, **Vulnerability and Risk Assessment**, In *Floods in a Megacity* (PP. 139-177). Springer Netherlands.
41. EmDat, C.R.E.D., 2013, **The OFDA/CRED International Disaster Database**, Belgium, Université Catholique De Louvain.
42. Fathizahraei, M. et al., 2015, **Reducing Risks in Crisis Management bBy GIS Adoption**, *Natural Hazards*, Vol. 76, No. 1, PP. 83-98.
43. Fedeski, M., and Gwilliam, J., 2007, Urban Sustainability in the Presence of Flood and Geological Hazards: The Development of a GIS-Based Vulnerability and Risk Assessment Methodology, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 83, No. 1. PP. 50-61.
44. Garcia, C. et al., 2014, **The Relevance of Early-Warning Systems and Evacuations Plans for Risk Management**, In *Mountain Risks: From Prediction to Management and Governance* (PP. 341-364). Springer Netherlands.
45. Hoseini, M., and Niazi, L., 2003, **The Role of Urban Planning and Design in Lifeline- Related Seismic Risk Mitigation**, Proceeding of the 6th Conference on Lifeline Earthquake Engineering, Longbeach, Canadian.
46. Islam, M. N., Malak, M. A., 2013, Community-Based Disaster Risk and Vulnerability Models of a Coastal Municipality in Bangladesh, *Natural Hazards*, Vol. 69, No. 3, PP. 2083-2103.
47. Keller, E. A, and Pinter, N., 2002, **Active Tectonic: Earthquake Uplift and Landscape**, Newjersy, Prentic Hall.
48. Lankao, P. R., and Qin, H., 2011, **Conceptualizing Urban Vulnerability to Global Climate and Environmental Change**, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Vol. 3, No. 3, PP. 142-149.
49. Masuya, A., 2014, Flood Vulnerability and Risk Assessment with Spatial Multi-Criteria Evaluation, In *Dhaka Megacity* (PP. 177-202), Springer Netherlands.
50. Mcclure, J. et al., 2015, When a Hazard Occurs Where It Is Not Expected: Risk Judgments About Different Regions After the Christchurch Earthquakes, *Natural Hazards*, Vol. 75, No. 1, PP. 635-652.
51. Menoni, S., 2006, Introducing a Transdisciplinary Approach in Studies Regarding Risk Assessment and Management in Educational Programs for Environmental Engineers and Planners, *International Journal of Sustainability in Higher Education*, Vol. 7, No. 3, PP. 309-321.
52. Raftery, J., 2003, **Risk Analysis in Project Management**, Routledge.

53. Rodríguez, J. T., Vitoriano, B., and Montero, J., 2012, **A General Methodology for Data-Based Rule Building and Its Application to Natural Disaster Management**, Computers and Operations Research, Vol. 39, No. 4, PP. 863-873.
54. Sarris, A. et al., 2010, Earthquake Vulnerability and Seismic Risk Assessment of Urban Areas in High Seismic Regions: Application to Chania City, Crete Island, Greece, Natural Hazards, Vol. 54, No. 2, PP. 395-412.
55. Shafiee, A. et al., 2011, **Ground Motion Studies for Microzonation in Iran**, Natural Hazards, Vol. 59, No. 1, PP. 481-505.
56. Shi, W., and Zeng, W., 2012, Analysis and Design on Environmental Risk Zoning Decision Support System Based on UML, Springer® Verlag Berlin Heidelberg, PP. 799-804.
57. Tsai, C. H., and Chen, C. W., 2010, An Earthquake Disaster Management Mechanism Based on Risk Assessment Information for the Tourism Industry-A Case Study from the Island of Taiwan, Tourism Management, Vol. 31, No. 4, PP. 470-481.
58. Wang, Y. et al., 2011, A GIS-Based Spatial Multi-Criteria Approach for Flood Risk Assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China, Water Resources Management, Vol. 25, No. 13, PP. 3465-3484.
59. Willis, I. et al., 2014, Applying Neighbourhood Classification Systems to Natural Hazards: A Case Study of Mt Vesuvius, Natural Hazards, Vol. 70, No. 1, PP. 1-22.
60. Zebardast, E., 2013, Constructing a Social Vulnerability Index to Earthquake Hazards Using a Hybrid Factor Analysis and Analytic Network Process (F ANP) Model, Natural Hazards, Vol. 65, No. 3, PP. 1331-1359.
61. [www.liees.ac.ir](http://www.liees.ac.ir)
62. [www.gsi.ir](http://www.gsi.ir)
63. [www.ngdir.ir](http://www.ngdir.ir)