

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهری با استفاده از مدل ANP

مطالعه‌ی موردی: شهر نجف‌آباد

سوگل فاضل*: دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، پژوهشگاه شاخص پژوه، ایران؛ Email: sofazel@gmail.com

مسعود تقوایی: استاد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه اصفهان.

امیر محمودزاده: رییس پژوهشگاه مهندسی بحران‌های طبیعی شاخص پژوه.

تاریخ دریافت: ۹۴/۶/۲۲

تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۱۸

چکیده

ایران با فعالیت‌های لرزه‌ای پراکنده و زلزله‌های بسیار بزرگ با دوره‌های بازگشت طولانی شناخته شده است و عدم بروز زلزله در منطقه‌ای که تا به حال در آن زلزله اتفاق نیفتاده است، نشانگر ثبات و پایداری همیشگی نیست. با مراجعه به نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر نسبی زمین لرزه در ایران مشاهده می‌شود که بیش از ۹۰ درصد از مساحت کشور بر روی نوار زلزله قرار دارد. در این راستا ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق مختلف کشور با هدف کاهش آسیب‌پذیری جوامع شهری باید در اولویت برنامه‌ریزی‌ها قرار گیرد. این پژوهش از نوع کاربردی و روش آن معیاری - تحلیلی است و در آن ضمن معرفی دیدگاه‌های مختلف در ارتباط با آسیب‌پذیری، با استفاده از پارامترهای گوناگون کمی و کیفی، بر اساس رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره و با به‌کارگیری فرایند تحلیل شبکه (ANP) به بررسی و تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر نجف‌آباد پرداخته شده است. همچنین به منظور مقایسه‌ی نتایج حاصل از دو مدل ANP و AHP، تحلیل آسیب‌پذیری توسط مدل AHP نیز صورت گرفته و نتایج حاصل از این مدل نیز ارائه گردیده است. مطابق نقشه‌ی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری، مجموعاً حدود ۳۰ درصد مساحت توسعه یافته‌ی شهر از آسیب‌پذیری بالا و بسیار بالا و ۳۷ درصد این مساحت از آسیب‌پذیری متوسط برخوردار است. با تطبیق نقشه‌ی توزیع جمعیت بر این پهنه‌بندی، جمعیتی بالغ بر ۵۱۰۰۰ نفر (با تراکم بین ۷۰ تا ۱۰۰ نفر در هکتار) در معرض آسیب‌پذیری بالا و بسیار بالا قرار دارند. همچنین در مقایسه‌ی دو مدل فوق با شرایط یکسان، به دلیل وجود وابستگی درونی بین معیارها و زیرمعیارها، نتایج حاصل از مدل ANP منطقی‌تر بوده و از تعدیل بهتری برخوردار است. منطقه‌ی مورد مطالعه تهیه شد. در این مطالعه، پس از تهیه‌ی داده‌ها و نقشه‌های رقومی پایه و همچنین استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و مدل سه پارامتری SWM، نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر روان‌گرایی خاک در جنوب حوزه‌ی گرگان‌رود در استان گلستان در سلول‌های ۳۰×۳۰ متر تهیه شد. با توجه به نتایج به دست آمده، پتانسیل خطر از بدون خطر تا خیلی زیاد وجود دارد که بیشترین مساحت منطقه‌ی مورد مطالعه در کلاس بدون خطر قرار می‌گیرد. محدوده‌ی شهر آق‌قلا به علت نزدیکی به مرکز تخلیه‌ی انرژی زلزله در کلاس خطر خیلی زیاد قرار می‌گیرد و چون رودخانه‌ی گرگان‌رود از محدوده‌ی این شهر عبور می‌کند، احتمال وقوع روان‌گرایی را بالا می‌برد.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری، فرایند تحلیل شبکه، تحلیل سلسله‌مراتبی، زمین لرزه، نجف‌آباد

Zonation of Urban Seismic Vulnerability using ANP model

Case Study: Najaf Abad city

Sowgol Fazel1*, Masood Taghvaii2, Amir Mahmoodzadeh

Abstract

Introduction: Iran is known as a country with high seismic activities, very large earthquakes with long return periods, wherein the absence of earthquake in an area doesn't indicate permanent stability. Referring to earthquake zoning map of Iran, it is evident that more than 90% of the area of this country rests on the earthquake risk zone. In this context, the evaluation of the seismic vulnerability of different regions of the country in order to reduce the vulnerability of urban communities should be of high priority. Methods: This research is an applied type one and done in analytical method. in addition to introduce the Vulnerability concepts, we used a variety of quantitative and qualitative parameters, on the basis of multi-criteria decision making approach and network analysis process (ANP) assessment of the seismic vulnerability of Najaf Abad. Vulnerability analysis conducted by AHP model and the results of this model are also presented, as well as comparing the results from the ANP and AHP models. Results: With respect to the vulnerability zoning map of the city, around 30% of developed area of the town is within high and very high vulnerability range and 37% of the town has a medium vulnerability. Finally through overlaying the population distribution map on the vulnerability map it was concluded that more than 51000 individuals are in the high and very high vulnerability zones. Because of the interdependence between the criteria and sub-criteria, the results of ANP is more logical and better adjusted between the two methods with the same conditions.

Key words: vulnerability, AHP model, ANP model, earthquake, Najaf Abad.

1 PhD scholar, Shakhes Pajouh Research Institute, Isfahan, Iran; Email: sofazel@gmail.com

2 Department of Civil, Isfahan University, Iran.

3 Department of Civil, Director of Shakhes Pajouh Research Institute, Isfahan, Iran.

از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۲ بالغ بر ۹۸ درصد جمعیت جهان تحت تأثیر حوادث و بلاایا قرار گرفته و بیش از ۳۸ میلیون نفر طی این مدت جان خود را از دست داده‌اند [۱، ۲]. ایران در بین کشورهای آسیا و خاورمیانه از نظر وقوع بحران در رتبه‌ی اول قرار دارد به طوری که بین سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۳ بیش از ۴۳،۵ میلیون نفر یعنی ۵۵ درصد جمعیت ایران تحت تأثیر بحران‌های مختلف قرار داشته‌اند [۱]. طبق گزارشات سازمان ملل و دیگر بررسی‌های صورت گرفته زمین‌لرزه وجه غالب سوانح طبیعی ایران است، به طوری که طبق آمارهای رسمی ۶۰۱۷ درصد زلزله‌های مخرب جهان به کشور ما اختصاص دارد. این رقم بیش از دو برابر زلزله‌های مخرب ژاپن (با ۱۷ درصد) است [۳]. با مراجعه به نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر نسبی زمین‌لرزه در ایران مشاهده می‌شود که بیش از ۹۰ درصد از مساحت کشور بر روی نوار زلزله قرار دارد [۴]. هرچند تاکنون تحقیقات گسترده‌ای برای پیش‌بینی زلزله‌ها به منظور کاهش آثار آن صورت گرفته است از جمله بررسی تغییرات گرمایی به دلیل نیروهای فشاری زمین و انتشار امواج رادون درست قبل از زلزله [۵]. اما در عمل امکان پیش‌بینی زلزله وجود ندارد. از طرفی آسیب‌پذیری شهرها از زلزله به دلیل گسترش پیچیدگی‌های محیط شهری در طول سال‌ها افزایش یافته است [۶]. یک مخاطره مانند زلزله، خواه کوچک باشد یا بزرگ، در مقیاس ملی باشد یا محلی، این مردم جامعه‌اند که از آثار زیانبارش تأثیر می‌پذیرند [۷]، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه و جوامع فقیر که به دلیل آسیب‌پذیری بالا، بیشتر در معرض خطر قرار دارند [۸].

ضرورت و اهمیت موضوع

زلزله ظهور یک پدیده‌ی قابل رؤیت و احساس است که غالباً در مقیاس زمان زمین‌شناسی تکرار می‌شود [۹]، پس اگر وقوع زلزله‌های جدید را در مناطقی که پیش‌تر زلزله در آن اتفاق افتاده است قطعی بدانیم، به آن معنی نیست که از عدم بروز زلزله در منطقه‌ای که تا به حال در آن زلزله اتفاق نیفتاده است مطمئن هستیم.

در کشور فرانسه محاسبه‌ی زلزله برای ساختمان‌ها، حتی در مناطق با احتمال صفر زلزله اجباری است [۹]. قضاوت‌های متخصصان درباره‌ی زلزله‌های احتمالی بر مبنای دانش فعلی شان از گسل‌های شناخته شده استوار است در حالی که شهروندان باید قضاوتشان از خطر بر مبنای این باشد که در یک منطقه‌ی زلزله خیز قرار دارند [۱۰]. شهر نجف‌آباد در فاصله‌ی سی کیلومتری شهر اصفهان، با جمعیتی بیش از ۲۲۱ هزار نفر (طبق نتایج سرشماری سال ۱۳۹۰) مهم‌ترین مرکز خدماتی پس از اصفهان در مجموعه‌ی شهری اصفهان است و طبق مصوبات استانی، به هنگام وقوع بحران به عنوان شهر معین برای شهر اصفهان در نظر گرفته شده است. از نظر زمین‌ساختی این شهر در زون سندج - سیرجان قرار دارد که این زون جزو ناآرام‌ترین و به عبارتی فعال‌ترین زون ساختمانی ایران به شمار می‌رود [۱۱] و بر اساس مطالعات انجام

شده احتمال وقوع زلزله در این زون همواره وجود دارد [۱۲]. هرچند در نقشه‌ی سائیزموتکتونیک ایران، این شهر در منطقه‌ی با خطر نسبی متوسط قرار گرفته لیکن رویداد زمین‌لرزه‌های تاریخی و سده‌ی بیستم در گستره‌ی اصفهان و همچنین روندهای بنیادی گسل‌ها و ساختارهای جنبی در این پهنه نمایانگر میزان لرزه‌خیزی نسبتاً بالای این ناحیه است [۱۳، ۱۴]. با توجه به اهمیت مسائل مرتبط با زمین‌لرزه و تبعات ناشی از آن در سطح کشور، هدف اصلی این پژوهش تهیه‌ی مدلی برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهر نجف‌آباد از زمین‌لرزه‌ی احتمالی و تخمین میزان جمعیت آسیب‌پذیر است تا بتوان بر اساس آن نواحی مختلف شهر را از نظر خطرپذیری در مواقع بحرانی بر مبنای درجات مختلفی چون کم، متوسط و زیاد تقسیم‌بندی نمود. تخصیص وزن‌های معنادار به ویژگی‌های کالبدی، اجتماعی و مدیریتی منطقه و تهیه‌ی یک مدل محلی کاربرد عملی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای را امکان‌پذیر می‌کند. پهنه‌بندی مذکور و آگاهی از حدود جمعیت آسیب‌پذیر می‌تواند مبنایی برای چگونگی توسعه‌ی شهر، نحوه‌ی استفاده از زمین برای تأسیسات زیربنایی آینده و همچنین مدیریت اصولی شهر در هنگام وقوع بحران باشد.

پیشینه‌ی پژوهش

تاکنون تلاش‌ها و تحقیقات گسترده‌ای برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای در همه‌ی کشورها صورت گرفته است از جمله مک کلو و دیگران (۲۰۱۵) در پژوهشی به بررسی میزان آمادگی شهروندان در سه شهر کشور نیوزیلند بعد از زلزله‌ی شهر کریست چرچ در سال ۲۰۱۱ پرداخته‌اند و نشان می‌دهند چگونه اطلاع مردم از احتمال وقوع خطر و آسیب‌پذیری منطقه‌ی محل سکونتشان در میزان آمادگی آن‌ها در برابر مخاطره تأثیرگذار است [۱۰]. قوش و موخوپادیای (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای، برای پهنه‌بندی مخاطرات طبیعی و آسیب‌پذیری در شهر بیهار هند، الگویی ارائه نموده‌اند [۵]. منونی و دیگران (۲۰۱۲) در پژوهشی برای ارائه‌ی استراتژی‌های کاهش خطر به ارزیابی چندجانبه‌ی آسیب‌پذیری پرداخته‌اند [۸]. کارنو و دیگران (۲۰۱۲) در مقاله‌ای به معرفی رویکرد جدیدی برای ارزیابی ریسک لرزه‌ای پرداخته‌اند و خاطر نشان می‌کنند برای دستیابی به یک مدیریت ریسک مؤثر، علاوه بر تعیین خسارات فیزیکی و اقتصادی، شناسایی آسیب‌پذیری‌های اجتماعی و محیطی نیز ضروری است [۱۵]. دراجیسویک و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی ضمن اشاره به وجود انواع مخاطرات مثل زمین‌لرزه، سیل، طوفان، آتش‌سوزی جنگل‌ها، زمین‌لغزش و... در کشور صربستان، برای بررسی آسیب‌پذیری و برنامه‌ریزی کاربری اراضی، اولین نقشه‌ای که پراکنش همه‌ی مخاطرات فوق را نشان می‌دهد، تهیه نموده‌اند [۱۶]. اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی به تحلیل درجات آسیب در شهر اردبیل پرداخته‌اند که نتایج حاصل بیانگر آسیب‌پذیری بالای منطقه‌ی ۳ این شهر است [۱۷]. قدیری و دیگران (۱۳۹۱) در پژوهشی به تحلیل آسیب‌پذیری اجتماعی چهار محله‌ی جنوبی شهر تهران پرداخته‌اند و نقش اساسی پایگاه و محله در تمرکز آسیب‌پذیری را

تبیین نموده‌اند [۱۸]. فرج‌زاده و دیگران (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای با بهره‌گیری از مدل تاپسیس فازی به بررسی آسیب‌پذیری منطقه‌ی ۹ شهر تهران پرداخته‌اند [۱۹]. احدنژاد روشنی (۱۳۸۸) با به‌کارگیری مدل‌های AHP و RISK-UE، آسیب‌های وارده به ساختمان‌ها، تلفات انسانی و خسارت‌های اقتصادی شهر زنجان را مدل‌سازی و ریزپهنه‌بندی نموده است [۲۰].

داده‌ها و روش تحقیق

نوع تحقیق در این پژوهش کاربردی و روش آن معیاری - تحلیلی است. گردآوری داده‌ها عمدتاً به صورت کتابخانه‌ای شامل استفاده از نقشه‌ها، طرح‌های پژوهشی، اطلاعات طرح توسعه و عمران شهر، تصاویر هوایی و داده‌های آماری جمعیت صورت گرفته است. با توجه به نظریات ارائه شده در ارتباط با موضوع آسیب‌پذیری، فرایند پژوهش بر مبنای مدلی است که در آن آسیب‌پذیری، ترکیبی از عوامل در معرض و ظرفیت مقابله‌ی جامعه با آسیب‌های وارده است (تصویر ۱). روش کار بر اساس رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره بوده و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از فرایند تحلیل شبکه (ANP) و به‌کارگیری نرم‌افزارهای ArcGIS 10.2 و Super Decision صورت گرفته است. با استناد به مطالعات انجام شده‌ی قبلی و همچنین استفاده از نظر تعدادی از اساتید و متخصصان این موضوع، تعداد پنج معیار کلی و هجده زیر معیار (جدول ۱) برای تهیه‌ی نقشه‌ی آسیب‌پذیری شهر از مخاطره‌ی زمین‌لرزه در نظر گرفته شده است. معیارهای اصلی با در نظر گرفتن عواملی مانند ویژگی‌های کالبدی ساختمان‌های مسکونی شهر، موقعیت و چگونگی دسترسی‌ها و فضاهای باز، عوامل اجتماعی، موقعیت کاربری‌های خطرناک نسبت به کاربری‌های دیگر و چگونگی سازماندهی نهادهای امدادی - مدیریتی در سطح شهر تعریف شده‌اند. جامعه‌ی آماری این پژوهش از نظر جمعیتی شامل همه‌ی حوزه‌های آماری و کل جمعیت شهر نجف‌آباد برابر ۲۲۱۸۱۴ نفر (طبق سرشماری سال ۱۳۹۰) است. همچنین در بحث مربوط به آسیب‌پذیری کالبدی به دلیل تفاوت آسیب‌پذیری انواع ساختمان‌ها، بررسی‌ها فقط بر روی ساختمان‌های مسکونی انجام گردیده که تعداد آن‌ها در سال ۱۳۹۰ طبق برداشت پلاک به پلاک برابر ۵۵۷۳۵ واحد بوده است. در دیگر موارد، پژوهش

بر روی کل شش ناحیه‌ی شهر انجام گرفته است. نکته‌ی قابل توجه در این پژوهش استفاده‌ی توأم عوامل کالبدی، اجتماعی و مدیریتی است که به علت عملکرد سیستمی می‌توانند موجب تشدید آسیب‌پذیری ناشی از خطر زلزله شوند. این مدل، به‌منزله‌ی ابزاری برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای، می‌تواند برای مناطقی که وضعیت مشابه دارند کاربرد داشته باشد. لازم به توضیح است که دلیل فقدان برخی اطلاعات در خصوص بررسی خطر در منطقه و همچنین همکاری نکردن بعضی از سازمان‌ها در ارائه‌ی اطلاعات (از جمله در زمینه‌ی وضعیت اقتصادی افراد) برخی معیارها به ناچار حذف شده است.

ویژگی‌های مدل ANP

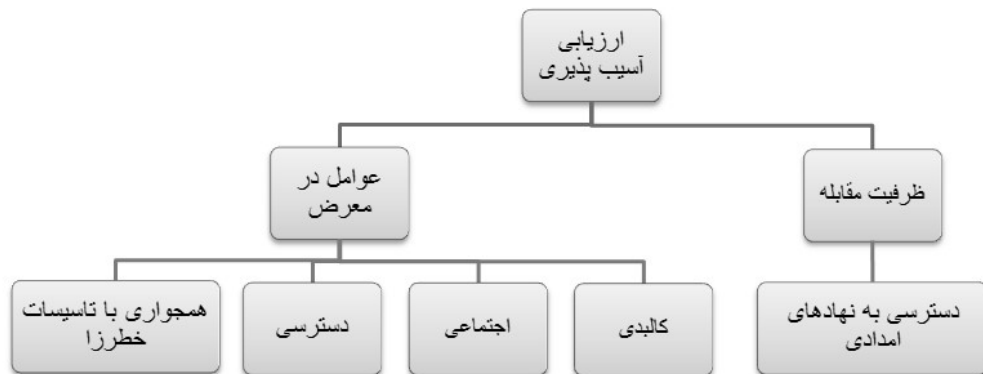
روش ANP، یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ۲ و نسل جدید تحلیل‌های سلسله‌مراتبی است که برای تعیین اولویت معیارها و گزینه‌ها همراه با تعیین ارتباطات بین متغیرهای مستقل و وابسته به‌کار می‌رود [۲۱]. در واقع ANP معرفی شده توسط ساعتی (۱۹۹۶) یک روش جامع تصمیم‌گیری است که برای انواع داده‌های کمی و کیفی مناسب است و توانایی بررسی وابستگی‌ها و بازخورد بین همه‌ی معیارها را دارا است [۲۲]. فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) را در چهار مرحله‌ی زیر می‌توان خلاصه کرد: [۲۳]

مرحله‌ی اول: تبدیل مسئله به یک ساختار شبکه‌ای و تعیین ارتباطات

مرحله‌ی دوم: قضاوت‌های دودویی و تعیین بردارهای اولویت
مرحله‌ی سوم: تشکیل سوپر ماتریس و تبدیل آن به سوپر ماتریس کران‌دار

مرحله‌ی چهارم: انتخاب گزینه‌ی برتر

به منظور تشکیل ساختار مسئله تمامی تعاملات بین عوامل باید مورد توجه قرار گیرد. اینکه بین عناصر چه ارتباطاتی وجود دارد و کدام عناصر می‌توانند روی هم اثر بگذارند، مرحله‌ی کلیدی و بسیار مهم در مدل ANP است. بدیهی است عناصری که تعیین می‌گردند کاملاً از یک جنس نبوده و همه‌ی آن‌ها بر هم اثرگذار نیستند. بنابراین از طریق شناخت عمیق موضوع و منطقه‌ی مورد مطالعه یا استفاده از مطالعات پیشین و یا مصاحبه با کارشناسان مربوط باید بتوان عناصری که با هم ارتباط دارند را تعیین نمود



تصویر ۱: مدل تعریف‌شده‌ی پژوهش برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای

جدول ۱: ماتریس ارزیابی عوامل مؤثر در آسیب پذیری از زلزله

عامل آسیب پذیری	معیار	زیر معیار	آسیب پذیری بسیار کم، ۲	آسیب پذیری کم، ۳	آسیب پذیری متوسط، ۵	آسیب پذیری زیاد، ۷	آسیب پذیری بسیار زیاد، ۹
عوامل در معرض	کالبدی	کیفیت بنا	-	نوساز	قابل نگهداری	تعمیری	تخریبی
		قدمت بنا	زیر ۵ سال	۶-۱۵ سال	۱۶-۳۰ سال	۳۰-۵۰ سال	بالای ۵۰ سال
		اسکلت بنا	فلزی	بتنی	آجر و آهن	آجر و سیمان	خشت و گلی
		مساحت قطعات	بیشتر از ۵۰ متر مربع	۳۰۰-۵۰۰ متر مربع	۲۰۰-۳۰۰ متر مربع	۱۰۰-۲۰۰ متر مربع	کمتر از ۱۰۰ متر مربع
		عرض معابر	بالای ۲۰ متر	۱۴-۲۰ متر	۹-۱۴ متر	۶-۹ متر	کمتر از ۶ متر
		فاصله از فضای باز و سبز	۰-۲۰ متر	۲۰-۵۰ متر	۵۰-۱۵۰ متر	۱۵۰-۳۰۰ متر	بیشتر از ۳۰۰ متر
	اجتماعی	تراکم جمعیت	کمتر از ۳۰ نفر در هکتار	۳۰-۶۰	۶۰-۹۰	۹۰-۱۲۰	۱۲۰-۱۹۰
		بعد خانوار	کمتر از ۲ نفر	۲-۳	۳-۴	۴-۵	بیشتر از ۵ نفر
		مالکیت بنا	-	شخصی	استیجاری	سازمانی	وقفی
		پمپ بنزین و گاز	بیشتر از ۲۰۰۰ متر	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	کمتر از ۵۰۰ متر
		ایستگاه تقلیل فشار گاز	بیشتر از ۲۰۰۰ متر	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	کمتر از ۵۰۰ متر
		پست فشار قوی برق	بیشتر از ۸۰ متر	۶۰-۸۰	۴۰-۶۰	۲۰-۴۰	کمتر از ۲۰ متر
همجواری با کاربری های خطرنا	مخازن آب	بالای ۶۰۰ متر	۴۵۰-۶۰۰	۳۰۰-۴۵۰	۱۵۰-۳۰۰	کمتر از ۱۵۰ متر	
	ساختمان بلندمرتبه	۱ طبقه	۲ طبقه	۳ طبقه	۴ طبقه	بالای ۴ طبقه	
	آتش نشانی	کمتر از ۵۰۰ متر	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۱۵۰۰-۲۰۰۰	بالای ۲۰۰۰ متر	
	مراکز درمانی	کمتر از ۵۰۰ متر	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۱۵۰۰-۲۰۰۰	بالای ۲۰۰۰ متر	
	مراکز انتظامی	کمتر از ۳۰۰۰ متر	۳۰۰۰-۳۵۰۰	۳۵۰۰-۴۰۰۰	۴۰۰۰-۴۵۰۰	بالای ۴۵۰۰ متر	
	مراکز اسکان موقت	کاملاً مناسب	مناسب	خوب	ضعیف	عدم وجود	
ظرفیت مقابله	شاخص های امدادی - مدیریتی	مراکز درمانی	کمتر از ۵۰۰ متر	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۱۵۰۰-۲۰۰۰	بالای ۲۰۰۰ متر
		مراکز انتظامی	کمتر از ۳۰۰۰ متر	۳۰۰۰-۳۵۰۰	۳۵۰۰-۴۰۰۰	۴۰۰۰-۴۵۰۰	بالای ۴۵۰۰ متر
		مراکز اسکان موقت	کاملاً مناسب	مناسب	خوب	ضعیف	عدم وجود
		مراکز اسکان موقت	کاملاً مناسب	مناسب	خوب	ضعیف	عدم وجود



تا از طریق این ارتباطات، مقایسات زوجی بین آن ها صورت گیرد. همه ی این روابط و وابستگی ها توسط روشی موسوم به سوپرماتریس ارزیابی می شوند.

مقایسه ی دو مدل ANP و AHP

فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) که جزو روش های ارزیابی چند معیاره است، یکی از جامع ترین سیستم های طراحی شده برای تصمیم گیری با معیارهای چندگانه ی کمی و کیفی است. این مدل کاربرد گسترده ای در برنامه ریزی های منطقه ای، مکان یابی ها و تحلیل های آسیب پذیری از مخاطرات طبیعی پیدا کرده [۲۴] و اساس آن نیز بر مقایسه ی زوجی یا دوجه دویی گزینه ها و معیارهای تصمیم گیری است [۲۵]. اما در مسائلی که به نحوی رابطه ی متقابل و درونی میان معیارها و یا زیرمعیارها وجود دارد، استفاده از تحلیل سلسله مراتبی آن ارتباط را در نظر نگرفته و نتایج به دست آمده از مدل ANP در چنین حالتی منطقی تر است. به عبارت

دیگر در صورت وجود وابستگی درونی بین معیارها یا زیرمعیارها، استفاده از مدل AHP نتیجه را دچار اشتباه نمی کند، اما مطابق با نتایج به دست آمده در قسمت های بعدی مشاهده خواهد شد که استفاده از مدل ANP نتایج را به نوعی تعدیل می بخشد. هر چند انجام مقایسات زوجی و تشکیل ماتریس های فراوان روند کار را در مدل ANP بسیار طولانی می نماید.

مبانی نظری

از دیدگاه اطلاعات مکانی، باید اشکال جدید ارزیابی و مدل سازی شرایط امن و ظرفیت ها به منظور مقابله با مخاطرات توسعه یابند. تاکنون دیدگاه ها و مدل های مختلفی برای تحلیل آسیب پذیری تبیین شده است که در ادامه به شرح تعدادی از آن ها می پردازیم:

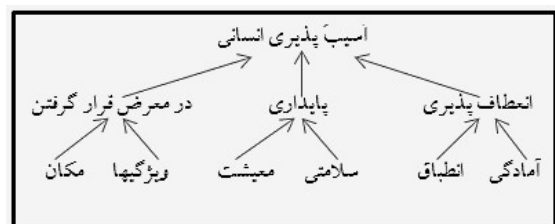
مدل PAR یکی از مهم‌ترین مدل‌های مفهومی برای تبیین آسیب‌پذیری مکان‌ها در برابر مخاطرات است که مطابق با رویکرد اقتصاد سیاسی در سال ۱۹۹۴ از طرف بلیکی^۴ و همکارانش ارائه گردید. این مدل آسیب‌پذیری را ویژگی یک شخص یا گروه و موقعیتشان معرفی می‌کند که در برابر یک مخاطره‌ی طبیعی، ظرفیت تحمل و مقاومتشان تحت تاثیر قرار گرفته است. به بیانی دیگر این مدل آسیب‌پذیری را بر حسب ظرفیت مورد انتظار، فائق آمدن، واکنش نشان دادن و بازسازی در برابر یک محرک خارجی ارزیابی می‌نماید و با تمرکز بر روی فرایند و علل آسیب‌پذیری انسانی، چگونگی تبدیل شدن یک پدیده‌ی طبیعی به فاجعه را توضیح می‌دهد. آسیب‌پذیری در این مدل با سه فاکتور معین می‌شود: علل ریشه‌ای (شامل فرایندهای اقتصادی، اجتماعی و سیاسی در جامعه)، فشارهای درونی (شامل انواع مخاطرات) و شرایط ناایمن (وضعیت جمعیت آسیب‌پذیر تحت فشار) [۴]، این نظریه یک نگرش کل‌نگر به آسیب‌پذیری دارد و وزن بیشتری به مخاطرات نسبت به مدل CVA می‌دهد [۲۶].

مدل تحلیل ظرفیت‌ها و آسیب‌پذیری (CVA)^۵

این تحلیل چارچوبی برای سازمان‌های غیردولتی به منظور استفاده در طراحی و ارزیابی پروژه‌ها است و به طور گسترده برای آمادگی در برابر بلایا و کاهش اثرات آن مورد استفاده قرار گرفته است. این مدل تمایزی بین آسیب‌پذیری‌ها و نیازها ایجاد می‌کند. آسیب‌پذیری‌ها عوامل بلندمدتی هستند که توانایی جوامع را در واکنش به حوادث تحت تاثیر قرار داده یا آن‌ها را در معرض بلایا قرار می‌دهند اما نیازها، احتیاجات فوری برای بقا و بازسازی پس از بلایا هستند. این مدل در عمل متمایل به ناچیز پنداشتن مخاطرات طبیعی به سبب متمرکز شدن بر روی ابعاد انسانی بلایا است [۲۰].

بوهل^۶ (۲۰۰۱) اهمیت مقابله و میزان آمادگی را به عنوان بخش درونی آسیب‌پذیری و نمودهای عینی (انسانی، طبیعی، مالی، فیزیکی) را به عنوان بخش بیرونی و خارجی آن معرفی می‌کند. به بیان دیگر میزان آمادگی را بخشی از تعریف آسیب‌پذیری در نظر می‌گیرد [۲۷].

مارک پلینگ^۷ (۲۰۰۳) در مدلی (تصویر ۲) که تا حدی متفاوت است، آسیب‌پذیری انسانی را نتیجه‌ی نمود خارجی انعطاف‌پذیری، پایداری و در معرض خطر قرار گرفتن تعریف می‌کند.



تصویر ۲: عناصر آسیب‌پذیری مدل پلینگ [۲۸]

چارچوب آسیب‌پذیری دانشگاه سازمان ملل

دانشگاه سازمان ملل متحد از طریق انجمن امنیت محیطی و انسانی خود^۸ (UNU-EHS) چارچوبی را برای ارزیابی آسیب‌پذیری تبیین کرده تحت عنوان چارچوب پیازی^۹ که دارای دو محور است: محور واقعیت و محور فرصت. محور واقعیت نشان دهنده‌ی این است که چطور یک واقعه موجب آسیب می‌شود و حوزه‌ی اقتصادی را متأثر می‌کند و تنها زمانی تأثیر واقعه حوزه‌ی اجتماعی را مختل می‌کند که یک بلا اتفاق می‌افتد. در طرف دیگر محور فرصت، واقعه را با مخاطره و بلا را با آسیب‌پذیری مقایسه می‌کند و در جایگاه ظرفیت‌های موجود، آسیب‌پذیری در حوزه‌ی اجتماعی قرار می‌گیرد [۲۹].

مدل (چارچوب) آسیب‌پذیری شهری (UVF)^{۱۰}

دوان^{۱۱} (۲۰۱۳) چارچوبی برای آسیب‌پذیری شهری ارائه نمود که در آن آسیب‌پذیری به عنوان فعل و انفعالی بین جنبه‌های کالبدی و اجتماعی یک سیستم خاص (مانند یک محیط شهری) مطرح می‌شود و ظرفیت مقابله^{۱۲}، توانایی یک جامعه در ایستادگی و مقاومت در برابر بلایا و بازیابی پس از آن است. بر خلاف بعضی مفاهیم، این مدل، آسیب‌پذیری کلی را وابسته به ویژگی‌های کالبدی و اجتماعی و همچنین ظرفیت مقابله در یک جامعه می‌داند. در واقع این مدل شاخص قابلیت مقابله با مخاطرات طبیعی را جزئی از برآورد آسیب‌پذیری می‌داند [۳۰].

در مجموع این مدل‌ها به عنوان ابزارهای اولیه برای توضیح دادن آسیب‌پذیری هستند نه برای اندازه‌گیری آن. آن‌ها را نمی‌توان بدون انبوهی از داده‌ها و تحلیل‌ها در عمل به کار گرفت [۲۰].

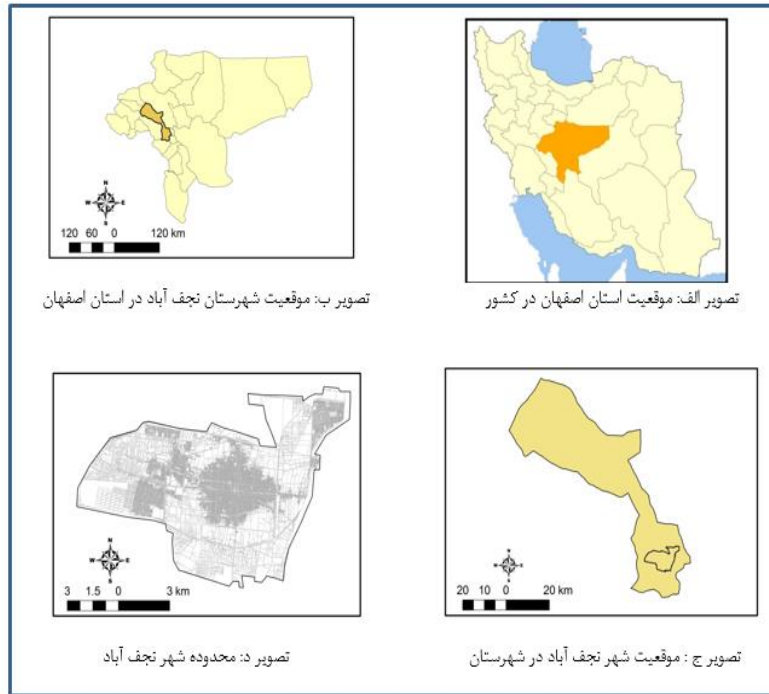
معرفی محدوده‌ی مورد مطالعه

شهر نجف‌آباد در ۲۵ کیلومتری غرب اصفهان با وسعتی در حدود ۸۹۵۵ هکتار و جمعیتی برابر ۲۲۱۸۱۴ نفر (طبق نتایج سرشماری سال ۹۰) است. این باغ‌شهر عصر صفوی و اولین شهر جدید با برنامه‌ی از پیش اندیشیده شده در سال ۱۶۰۱ میلادی با فکر و اندیشه‌ی شیخ بهایی ریاضی‌دان و مهندس معمار عصر صفوی پایه‌گذاری گردید و در حال حاضر بر اساس تقسیم کار انجام شده در مجموعه‌ی شهری اصفهان، مهم‌ترین مرکز خدماتی پس از اصفهان در این مجموعه‌ی شهری قرار دارد [۳۱]. شهر نجف‌آباد در برگیرنده‌ی مجموعه‌ای از محلات جدید گسسته از شهر همچون ویلاشهر، یزدان‌شهر، امیرآباد، فیروزآباد، شهرک آزادگان و صالح‌آباد است. تصویر ۳ موقعیت این شهر را به ترتیب در کشور، استان و شهرستان نشان می‌دهد.

بحث

• بررسی وضعیت تکتونیک منطقه

از نظر زمین‌ساختی شهر نجف‌آباد در زون سندج-سیرجان قرار دارد که این زون جزو ناآرام‌ترین و به عبارتی فعال‌ترین زون ساختمانی ایران به شمار می‌رود [۱۱] و بر اساس مطالعات انجام شده احتمال وقوع زلزله در این زون همواره وجود دارد [۱۲]. تماس این شهر با

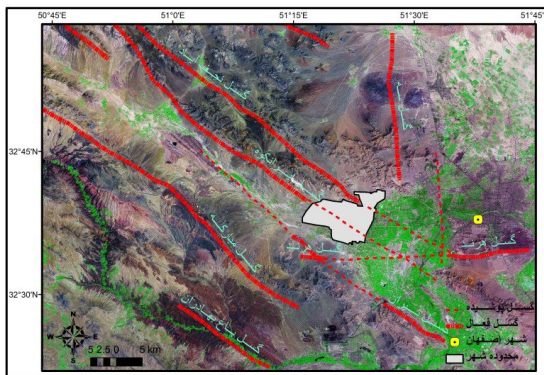


تصویر ۳: موقعیت شهر نجف‌آباد به ترتیب در کشور، استان اصفهان و شهرستان نجف‌آباد، [نگارندگان]

محدوده‌ای به شعاع صد کیلومتر در اطراف شهر اصفهان، تعداد زیادی گسل فعال مهم گاه با طول بالای صد کیلومتر شناسایی شده، به طوری که بخش اعظم آن‌ها برای نخستین بار شناسایی و معرفی گردیده‌اند [۱۴] و با توجه به وضعیت خاص ایران در تکنونیک جهانی می‌توان ادعا کرد که همه‌ی گسل‌های ایران زلزله‌خیز هستند [۱۱]. هر چند منطقه‌ی اصفهان از نظر لرزه‌ای نسبت به دیگر نقاط کشور از آرامش نسبی برخوردار است، اما این آرامش نشانگر ثبات و پایداری همیشگی نیست [۱۲] و با توجه به سابقه‌ی بروز زلزله‌های تاریخی در منطقه [۱۳] از یک سو و ثبت بیش از صدها که‌لرزه توسط شبکه‌های لرزه‌نگاری طی سده‌ی

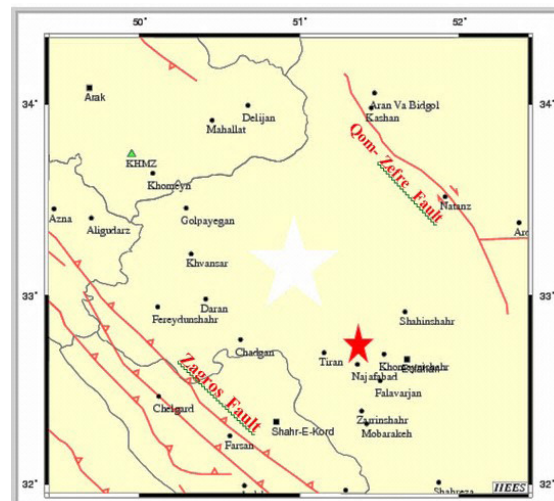
کوه‌های اطراف معمولاً از نوع گسلی است که به دلیل فعال بودن کم و بیش شهر را تهدید می‌کنند. ابرگسل‌های قم - زفره و زاگرس و گسل رخ در پیرامون این حوزه قرار دارند (تصویر ۴) و شواهد نشان می‌دهند هرگاه شروع به لرزیدن کنند حتماً این محدوده را متأثر می‌سازند [۳۲].

همچنین طبق مطالعه‌ی ارزشمندی که اخیراً در مورد وضعیت لرزه‌خیزی منطقه‌ی اصفهان انجام گرفته، با استفاده از تکنیک پردازش داده‌های رقومی ماهواره‌ای، انجام برداشت‌های صحرائی و با به‌کارگیری که‌لرزه‌های ثبت شده توسط بخش لرزه‌شناسی سازمان انرژی اتمی و مؤسسه‌ی ژئوفیزیک دانشگاه تهران، در



تصویر ۵: گسل‌های فعال موجود در اطراف شهر نجف‌آباد* [۱۴] [نگارندگان]

* لازم به توضیح است در تصویر ماهواره‌ای، گسل‌هایی که توسط محدوده‌های شهری یا پوشش گیاهی پوشیده می‌شوند به صورت خط چین ترسیم می‌گردند (گسل پوشیده).



تصویر ۴: موقعیت شهر نجف‌آباد در محدوده‌ی بین دو ابرگسل زاگرس و قم - زفره [۳۳]

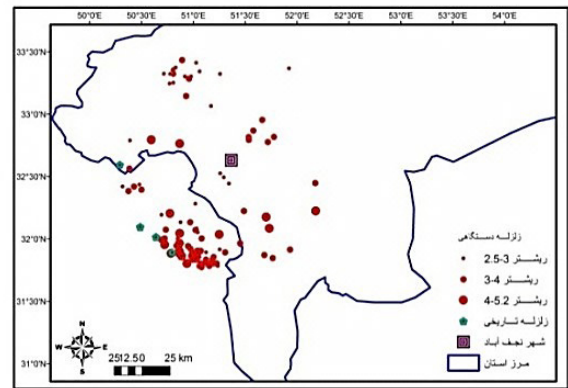
گذشته از سوی دیگر، فعال بودن گسل‌های منطقه‌ی مورد مطالعه (تصویر ۵) و آسیب‌پذیر بودن شهر از این مخاطره مشخص می‌گردد.

بررسی الگوی لرزه‌خیزی منطقه

الگوی لرزه‌خیزی منطقه‌ای در برگرفته‌ی اطلاعات همه‌ی زلزله‌های تاریخی و دستگاهی رخ داده در محدوده‌ی مورد نظر است. اطلاعات زلزله‌های تاریخی ایران عمدتاً در دو مرجع زمین‌لرزه‌های تاریخی ایران (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲) و کاتالوگ و مهندسی زلزله کشور [۳۳]، چند زلزله‌ی تاریخی (بالای ۵ ریشتر) و تعداد نود و پنج زلزله‌ی دستگاهی بالای ۲/۵ ریشتر در بازه‌ی زمانی (۱۹۶۲-۲۰۱۴) در شعاع صد کیلومتری شهر نجف‌آباد به ثبت رسیده که در تصویر ۶ قابل مشاهده است.

تحلیل آسیب‌پذیری شهر با استفاده از مدل ANP

در خصوص مسائل همه‌جانبه‌ای همچون زلزله که پیامدهای آن تمام جوانب شهر را در بر می‌گیرد، لازم است برای ارزیابی

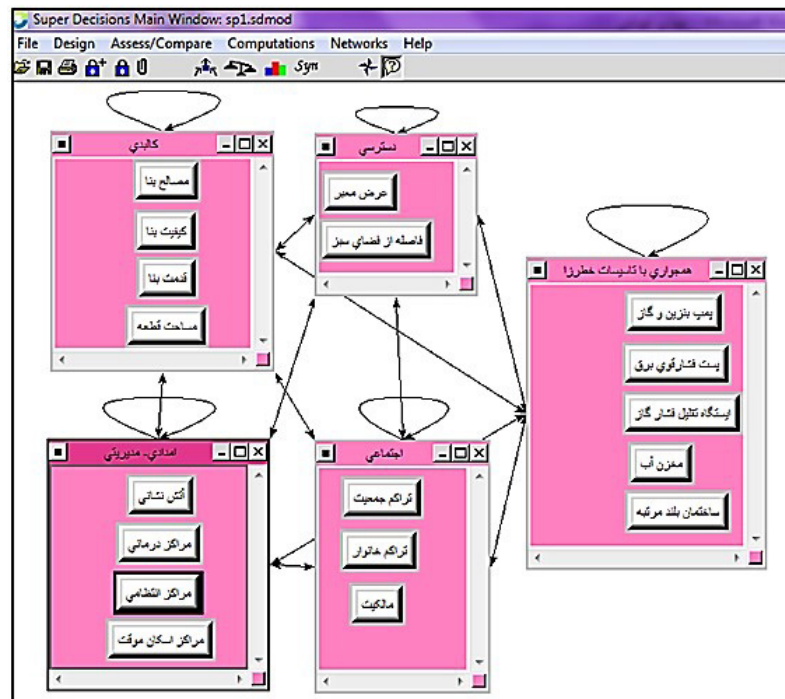


تصویر ۶: زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی (۱۹۶۲-۲۰۱۴) در شعاع صد کیلومتری شهر نجف‌آباد [نگارندگان]

آسیب‌پذیری ناشی از آن مجموعه‌ای از عوامل با در نظر گرفتن اهمیت هر یک از آن‌ها لحاظ شوند. معمولاً آسیب‌پذیری فضایی یک شهر متأثر از پارامترهای گوناگون، پیچیده و اغلب کیفی است که در این پژوهش با توجه به مدل و جدول ارائه شده (در بخش روش تحقیق) به تحلیل آسیب‌پذیری شهر نجف‌آباد خواهیم پرداخت. پس از جمع‌آوری داده‌های اولیه، نقشه‌های معیار در نرم‌افزار GIS تهیه، تبدیل به رستر و طبقه‌بندی مجدد گردیدند. از طرفی برای وزن‌دهی شاخص‌های فوق از مدل ANP استفاده شده است، بدین ترتیب که برای بررسی تعاملات و ارتباطات میان معیارها و زیرمعیارها از نظر میزان اثرگذاری یا اثرپذیری از یکدیگر با توجه به هدف پژوهش و انجام مقایسات زوجی بین آن‌ها پرسشنامه‌های مربوط تهیه و توسط کارشناسان مرتبط با امور شهر و موضوع پژوهش تکمیل گردید.^{۱۳} این مقایسه با استفاده از یک معیار کنترلی صورت می‌گیرد، به گونه‌ای که یک معیار تنها زمانی می‌تواند به عنوان یک معیار کنترلی در نظر گرفته شود که بر معیارهای دیگر اثر بگذارد. معیارها به عنوان خوشه‌ها^{۱۴} و زیر معیارها به عنوان عناصر^{۱۵} تعریف شدند. در نهایت مدل مفهومی ANP تهیه و در نرم‌افزار Super Decision اجرا گردید. لازم به ذکر است به دلیل شرح این مدل در بسیاری از پژوهش‌های پیشین مراحل کار در اینجا به طور خلاصه ارائه می‌گردد.

در تصویر ۷، طرح کلی مدل، تعاملات و وابستگی‌های درون خوشه^{۱۶} و وابستگی‌های میان خوشه‌ها^{۱۷} نشان داده شده‌اند. ضمناً در این پژوهش، به منظور مقایسه‌ی نتایج حاصل از دو مدل ANP و AHP، تحلیل آسیب‌پذیری توسط مدل AHP نیز صورت گرفته و نتایج آن در جدول ۲ ارائه گردیده است.

وزن‌دهی به معیارها و زیرمعیارها مبتنی بر طیف وزنی مدل مذکور است و دامنه‌ای عددی از ۱ تا ۹ را شامل می‌گردد. در تمامی



تصویر ۷: طرح کلی مدل ANP مبتنی بر معیارهای کلی آسیب‌پذیری و زیرمعیارهای مربوط

خودش را نشان می‌دهد و ستون دوم بیانگر وزن نهایی هر زیرمعیار است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، زیرمعیار اسکلت بنا با وزن ۰/۲۴۹ بیشترین اهمیت را دارد چرا که تجربه‌ی زلزله‌های اخیر نشان داده که نوع مصالح به کار رفته در ساختمان‌ها مهم‌ترین پارامتر در آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر است. پس از آن زیرمعیارهای کیفیت بنا، عرض معبر و تراکم جمعیت با وزن‌های ۰/۱۹۳، ۰/۱۵۸ و ۰/۱۰۱ دارای بیشترین اهمیت هستند.

به منظور مقایسه‌ی نتایج حاصل از دو مدل ANP و AHP، با انجام مقایسات زوجی یکسان و استفاده از نرم‌افزار Super Deci-

مقایسات زوجی بین خوشه‌ها و معیارها به طور جداگانه، نرخ ناسازگاری (CR) کمتر از ۰/۱ به دست آمده که نشانگر صحت قضاوت‌ها است. از تلفیق نتایج هر یک از ماتریس‌های مقایسه، ماتریس اولیه‌ای به دست می‌آید که نرم‌افزار با نرمال کردن آن، سوپرماتریس موزون را تشکیل می‌دهد. سپس مقادیر این سوپر ماتریس همگرا گردیده و سوپرماتریس کران‌دار (تصویر ۸) تشکیل می‌گردد.

در نهایت نتایج برتری اولویت‌ها در تصویر ۹ قابل مشاهده است. ستون اول وزن نرمال شده‌ی هر زیرمعیار در خوشه‌ی

Cluster Node Labels	شاخصهای اجناسی	شاخصهای اعدادی-مدیریتی						شاخصهای خطرزا
		بعد خانوار	تراکم جمعیت	مالکیت بنا	آتش نشانی	مراکز اسکان موقت	مراکز نظامی	مراکز درمانی
شاخصهای خطرزا	ساختمان بلند مرتبه	0.024878	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	0.001655
	پست فشار قوی برق	0.002505	0.002505	0.002505	0.002505	0.002505	0.002505	0.002505
	بجپ بنزین و گاز	0.012258	0.012258	0.012258	0.012258	0.012258	0.012258	0.012258
شاخصهای دسترسی	عرض معبر	0.158417	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	0.056070
شاخصهای کابندی	اسکلت بنا	0.249276	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	0.075038

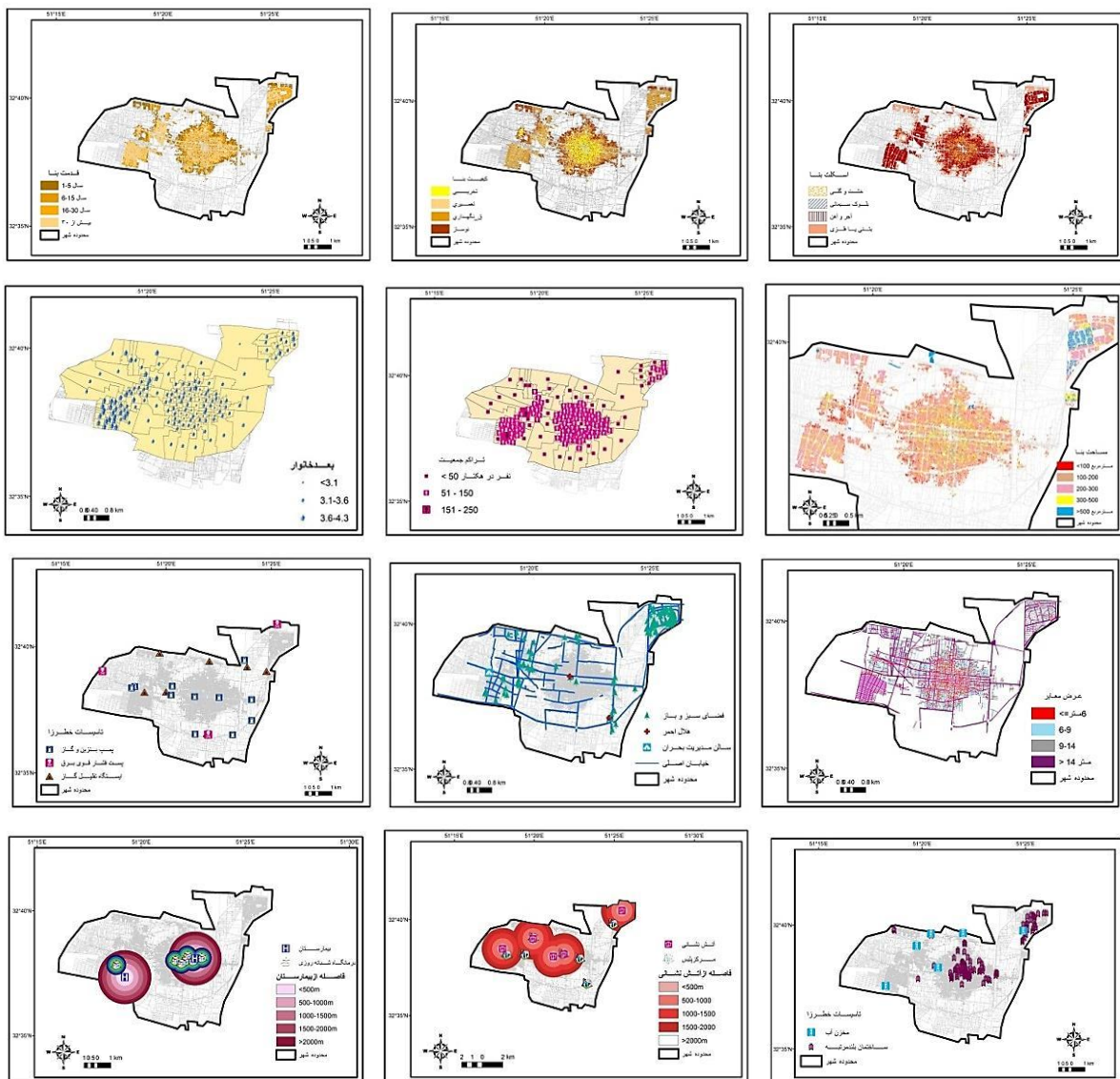
تصویر ۸ : سوپرماتریس کران‌دار

Icon	Name	Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	بعد خانوار	0.29789	0.046783
No Icon	تراکم جمعیت	0.64555	0.101383
No Icon	مالکیت 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 نظامی	0.10517	0.003408
No Icon	مراکز درمانی	0.33376	0.010815
No Icon	ایستگاه تغذیل 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	بجپ 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

تصویر ۹: وزن‌های به دست آمده برای زیرمعیارها در مدل ANP

جدول ۲: وزن نهایی زیرمعیارها به ترتیب اهمیت در مدل AHP

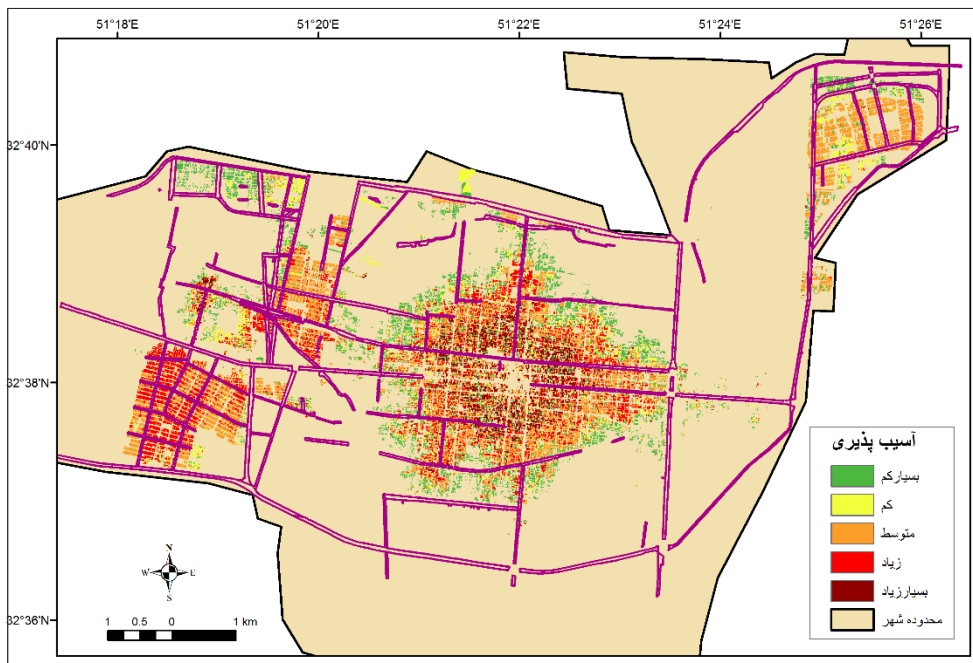
زیرمعیار	اسکلت بنا	کیفیت بنا	عرض معبر	تراکم جمعیت	قدمت بنا	بعد خانوار	فضای باز	مساحت قطعات	ساختمان بلندمرتبه
وزن	۰/۳۱۲	۰/۱۷۴	۰/۱۷۲	۰/۰۹۳	۰/۰۵۹	۰/۰۴۱	۰/۰۳۵	۰/۰۲۵	۰/۰۲۴
زیرمعیار	آتش نشانی	پمپ بنزین . گاز	مراکز درمانی	مالکیت بنا	ایستگاه تقلیل فشار گاز	مراکز انتظامی	پست برق فشارقوی	مخازن آب	مراکز اسکان موقت
وزن	۰/۰۱۶	۰/۰۱۲	۰/۰۱۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱



تصویر ۱۰: مجموعه لایه‌های رستری متناظر با زیرمعیارهای مربوط به آسیب‌پذیری [نگارندگان]

در ادامه برای تهیه نقشه‌ی آسیب‌پذیری کلی شهر از زلزله‌ی احتمالی، وزن‌های به دست آمده از مدل ANP، از طریق دستور Raster Calculator (در نرم‌افزار Arc GIS) در لایه‌های رستری موجود اعمال می‌گردد. بدین ترتیب که لایه‌های استاندارد شده (با اندازه‌ی پیکسل ۵ متر) به صورت جدا از یکدیگر ضرب در وزن مربوط به خود شده و در نهایت همپوشانی^{۱۸} صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است که در تصویر ۱۰ لایه‌های مربوط به برخی زیرمعیارها در یک نقشه ادغام شده‌اند.

در محاسبات هر دو مدل، نتایج حاصل از مدل AHP نیز به دلیل وجود ارتباطات داخلی بین معیارها و زیرمعیارها نتایج به دست آمده از مدل ANP منطقی‌تر به نظر رسیده و از تعدیل بهتری برخوردار است. البته به علت انجام مقایسات زوجی فراوان (به‌ویژه در صورت زیاد بودن تعداد معیارها)، روند کار نسبت به مدل AHP بسیار طولانی‌تر است که این موضوع می‌تواند نقطه‌ی ضعفی برای این مدل محسوب شود.



تصویر ۱۱: نقشه‌ی توزیع فضایی میزان آسیب‌پذیری کلی شهر نجف‌آباد [نگارندگان]

بسیار بالا و در حدود ۲۲۸۰۰ نفر در پهنه‌ی آسیب‌پذیری بالا قرار دارند. همچنین محدوده‌ی یزدانشهر در جنوب غربی شهر که دارای بالاترین تراکم جمعیت است در پهنه‌ی آسیب‌پذیری متوسط رو به بالا قرار دارد. ذکر چند نکته نیز در این مورد ضروری به نظر می‌رسد؛ شهر نجف‌آباد دارای حدود ۴۵۰ هکتار بافت فرسوده است که دربرگیرنده‌ی هسته‌ی مرکزی و فعالیت‌های اصلی شهر است. همچنین حدود ۶۰ درصد ساختمان‌های شهر دارای اسکلت نیست و حدود ۴۰ درصد ساختمان‌ها بالای سی سال قدمت دارند و از ساختار نامناسبی برخوردارند. از دیگر فاکتورهای بسیار مؤثر در آسیب‌پذیری این شهر، نبود یا کمبود فضای باز داخل شهر (به ویژه در هسته‌ی مرکزی شهر) و وجود تعداد بسیار زیاد معابر با عرض کمتر از ۶ متر در نقاط مختلف شهر است، به طوری که در صورت وقوع بحرانی مانند زلزله از آسیب‌پذیری بسیار بالایی برخوردار است و کارآمدسازی را غیرممکن می‌سازد.

نتیجه‌گیری

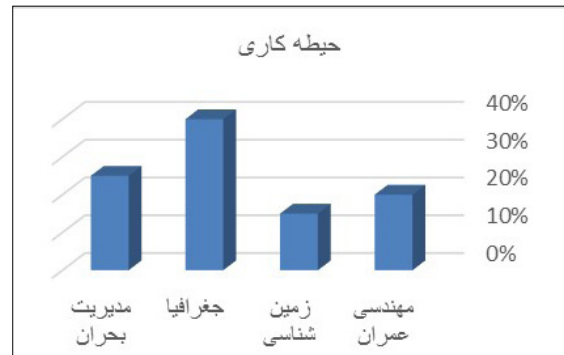
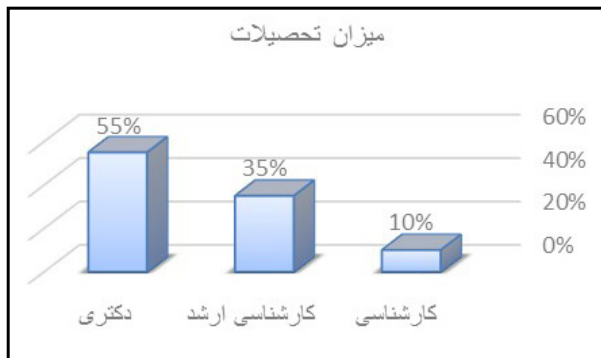
اگرچه در شرایط کنونی پیش‌گویی زمان دقیق زمین‌لرزه‌ها و یا پیشگیری از وقوع آن‌ها امکان‌پذیر نیست، اما کاهش زیان‌های ناشی از زمین‌لرزه‌ها امکان‌پذیر است. تجربه‌ی بسیاری از کشورهایی که مشابه فلات ایران در معرض خطر زمین‌لرزه‌های بزرگ قرار دارند اما تلفات و خسارات به مراتب کمتری را متحمل می‌شوند، نشان داده است که با مطالعات دقیق در بررسی آسیب‌پذیری‌ها و همچنین رعایت بسیاری نکات مهم برای ایمنی شهرها می‌توان خسارات ناشی از زمین‌لرزه‌ها را کاهش داد. هرچند که بررسی همه‌جانبه‌ی تمامی عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری شهر به طور یکجا امکان‌پذیر نیست، اما در این پژوهش سعی گردید که این موضوع با در نظر گرفتن بیشترین تعداد شاخص‌ها و با استفاده

برای تسهیل در بررسی موضوع، نقشه‌ی نهایی پس از طبقه‌بندی مجدد به پنج طبقه آسیب‌پذیری تقسیم شده که این امر با روش Jenks که بر پایه‌ی تعیین نقاط شکست طبیعی نمودار فراوانی استوار است، انجام گرفته است. تصویر ۱۱ نقشه‌ی توزیع فضایی آسیب‌پذیری کلی شهر از زلزله‌ی احتمالی و جدول ۳ پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر نجف‌آباد را نشان می‌دهد.

جدول ۳: پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر نجف‌آباد

میزان آسیب‌پذیری	مساحت پهنه (هکتار)	درصد آسیب هر پهنه
آسیب‌پذیری بسیار کم	۲۵۲/۱۷	٪۲۲
آسیب‌پذیری کم	۱۲۶/۱	٪۱۱
آسیب‌پذیری متوسط	۴۲۴/۱۲	٪۳۷
آسیب‌پذیری زیاد	۲۵۲/۱۷	٪۲۲
آسیب‌پذیری بسیار زیاد	۹۱/۷	٪۸

با توجه به نقشه‌ی آسیب‌پذیری شهر و جدول ۳، در مجموع حدود ۳۰ درصد مساحت توسعه‌یافته‌ی شهر از آسیب‌پذیری بالایی برخوردار است که در برگیرنده‌ی هسته‌ی مرکزی شهر و بخشی از شهرک صالح‌آباد و شامل ساختمان‌های خشت و گلی و گاه بلوک سیمانی بوده که اغلب بالای پنجاه سال قدمت دارند. همچنین ۳۷ درصد این مساحت دارای آسیب‌پذیری متوسط است که شامل ساختمان‌های با مصالح بنایی (آجر و آهن)، بدون فنداسیون مناسب و اغلب با قدمت بالای سی سال است. با تطبیق حوزه‌های آماری جمعیت شهر بر نقشه‌ی آسیب‌پذیری کلی شهر مشخص می‌گردد که جمعیتی بالغ بر ۲۸۳۰۰ نفر در پهنه‌ی آسیب‌پذیری



تصویر ۱۲: میزان تحصیلات و حوزه کاری تکمیل‌کنندگان پرسشنامه‌ها

و بررسی روابط متقابل بین معیارها انجام شد. بدیهی است با توجه به ضرورت انجام قضاوت گروهی و کارشناسانه، اقدام به دریافت دیدگاه‌ها و تکمیل پرسشنامه‌ها به وسیله‌ی محققان و کارشناسانی با تحصیلات، سابق و تخصص‌های مختلف گردید که مشخصات آن‌ها در تصویر ۱۲ ارائه گردیده است. در نهایت برابند امتیازات و وزن‌های به دست آمده، ملاک تعیین میزان اهمیت هر یک از معیارها بوده است.

14. Cluster
15. Node
16. Inner Dependencies
17. Outer Dependencies
18. Index Overlay

منابع

1. CIA, U (2013). The World Fact book 2013-14. Central Intelligence Agency.
2. EM-DAT, C. R. E. D (2013). The OFDA/CRED international disaster database. Université catholique, Louvain Brussels.
۳. محمدزاده، رحمت (۱۳۸۸). تجارب برنامه‌ریزی شهری توکیو در کاهش آسیب‌پذیری ناشی از زلزله. فصلنامه‌ی فضای جغرافیایی، شماره‌ی ۲۶، ص ۸۹.
4. Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., & Davis, I (2004). At risk. Natural hazards, people's vulnerability and disasters, 2th edition, London and New York.
5. Ghosh, T., Mukhopadhyay, A (2014). Natural Hazard Zonation of Bihar (India) Using Geoinformatics: A Schematic Approach. Springer Science & Business Media.
6. Duzgun, H. S. B., Yucemen, M. S., Kalaycioglu, H. S., Celik, K., Kemec, S., Ertugay, K., & Deniz, A(2011). An integrated earthquake vulnerability assessment framework for urban areas. Natural hazards; 59(2), 917-947.
7. Islam, M. N., Malak, M. A., & Islam, M. N (2013). Community-based disaster risk and vulnerability models of a coastal municipality in Bangladesh. Natural hazards; 69(3), 2083-2103.

از مدل ANP برای وزن‌دهی به آن‌ها که دارای ساختار شبکه‌ای هستند انجام شود. با در نظر گرفتن این روش و تلفیق آن با GIS آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر نجف‌آباد بررسی گردید. نتایج حاکی از آن است که ۳۰ درصد مساحت توسعه یافته‌ی شهر از آسیب‌پذیری بالا و ۳۷ درصد این مساحت دارای آسیب‌پذیری متوسط است که در برگرفته‌ی ساختمان‌های خشتی و آجر و آهن است. با تطبیق نقشه‌ی توزیع جمعیت بر این پهنه‌بندی، جمعیتی بالغ بر ۵۱۰۰۰ نفر (با تراکمی در حدود ۷۰ تا ۱۰۰ نفر در هکتار) در پهنه‌ی آسیب‌پذیری بالا و بسیار بالا قرار دارند. در این میان هسته‌ی مرکزی شهر به دلیل نداشتن فضای باز، وجود تعداد زیاد معابر با عرض کمتر از ۶ متر و شدت فشردگی بافت از بالاترین آسیب‌پذیری برخوردار است. امید می‌رود با توجه به لرزه‌خیزی ایران و لزوم حفظ منابع انسانی و مالی در کشور و برخورداری از ایمنی لازم در شهرها، سازمان‌های ذی‌ربط با همکاری یکدیگر گام‌های لازم را برای کاهش آسیب‌پذیری‌های ناشی از زلزله بردارند. هر چند در دو دهه‌ی اخیر فعالیت‌هایی در این زمینه صورت گرفته، اما با توجه به خاص بودن موقعیت اکثر شهرهای کشور در ارتباط با موضوع زمین‌لرزه، این امر باید برای همه‌ی مناطق مورد توجه قرار گیرد.

پی‌نوشت

1. Analytic Network Process
2. Multi Criteria Decision Making
3. PRESSURE AND RELEASE
4. Capacity and Vulnerability Analysis
5. Blaikie
6. Bohle
7. Mark Pelling
8. United Nation University- Environmental and Human Security
9. Onion
10. Urban Vulnerability Framework
11. Dewan
12. Coping Capacity

۱۳. با در نظر گرفتن تعداد ۵ معیار اصلی و ۱۸ زیر معیار (جدول ۱) آسیب‌پذیری شهر نجف‌آباد تحلیل و بررسی گردید. بدین ترتیب که ابتدا پس از تعیین معیارهای مورد نظر مبتنی بر اهداف پژوهش، با استفاده از پرسشنامه‌ی خبره (دلفی) اولویت‌بندی

- model. *Natural hazards*, 65(3), 1331-1359.
۲۳. زبردست، اسفندیار (۱۳۸۹). کاربرد فرایند تحلیل شبکه‌ای در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای. *نشریه هنرهای زیبا*، شماره ۴۱، ۷۹ - ۹۰.
24. Boroumandi, M., Khomehchiyan, M., & Nikoudel, M. R (2015). Using of Analytic Hierarchy Process for Landslide Hazard Zonation in Zanjan Province, Iran. *In Engineering Geology for Society and Territory-Volume 2* (pp. 951-955). Springer International Publishing.
25. Masuya, A (2014). Flood Vulnerability and Risk Assessment with Spatial Multi-criteria Evaluation. In *Dhaka Megacity* (pp. 177-202). Springer Netherlands.
26. Blaikie P, Cannon T, Davis I, Wisner B (1994). At risk. *Natural hazards, people's vulnerability and disasters*.
27. Bohle H. G (2001). Vulnerability article 1: vulnerability and criticality. *IHDP Newsletter Update*.
28. Pelling M (2003). The vulnerability of cities: natural disasters and social resilience. *Earthscan*.
29. Bogardi J, Birkmann J (2004). Vulnerability assessment: the first step towards sustainable risk reduction. *Disaster and Society-From Hazard Assessment to Risk Reduction*. Logos Verlag Berlin, Berlin; 75-82.
30. Dewan A. M (2013). Floods in a megacity: geospatial techniques in assessing hazards, risk and vulnerability. Dordrecht: Springer.
۳۱. مهندسین مشاور نقش جهان پارس (۱۳۹۰). تجدید نظر طرح توسعه و عمران شهر نجف‌آباد.
۳۲. نبوی، محمدحسین (۱۳۵۵). دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، تهران، سازمان زمین‌شناسی کشور.
۳۳. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (۲۰۱۴).
8. Menoni, S., Molinari, D., Parker, D., Ballio, F., & Tapsell, S (2012). Assessing multifaceted vulnerability and resilience in order to design risk-mitigation strategies. *Natural hazards*; 64(3), 2057-2082.
۹. ثقفی، محمدجواد (۱۳۸۳). آسیب‌شناسی ساختمان (ساختمان‌های آسیب دیده از زلزله‌ی بم). *نشریه هنرهای زیبا*، شماره ۱۷.
10. McClure, J., Johnston, D., Henrich, L., Milfont, T. L., Becker, J (2015). When a hazard occurs where it is not expected: risk judgments about different regions after the Christchurch earthquakes. *Natural Hazards*; 75(1), 635-652.
۱۱. درویش‌زاده، علی (۱۳۹۲). *زمین‌شناسی ایران*. چ پنجم، تهران، امیرکبیر.
۱۲. شاهپسندزاده، مجید؛ حیدری، مهدی (۱۳۸۲). بررسی مقدماتی لرزه‌خیزی، لرزه‌ی زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه در پهنه‌ی استان اصفهان. *ماهنامه‌ی فنی تخصصی دانش‌نما*، شماره ۱۰۷ - ۱۰۹، انتشارات سازمان نظام مهندسی اصفهان.
۱۳. آمبرسون، ن؛ ملویل، س. (۱۳۷۰). زلزله‌های تاریخی ایران، ابوالحسن رده، انتشارات دانشگاه تهران.
۱۴. صفایی همایون (۱۳۸۴). طرح پژوهشی شناسایی و بررسی توان لرزه‌ای گسل‌های اطراف اصفهان، معاونت شهرسازی و معماری شهرداری اصفهان.
15. Carreño, M. L., Cardona, O. D., & Barbat, A. H. (2012). New methodology for urban seismic risk assessment from a holistic perspective. *Bulletin of earthquake engineering*, 10 (2), 547-565.
16. Dragicevic, S., Filipovic, D., Kostadinov, S., Zivkovic, N., Andjelkovic, G., Abolmasov, B (2011). Natural hazard assessment for land-use planning in Serbia. *International Journal of Environmental Research*, (5), 371-380.
۱۷. اسفندیاری درآباد، فریبا؛ غفاری گیلانده، عطا؛ لطفی، خداداد (۱۳۹۲). مدل‌سازی ضریب آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش تاپسیس در محیط GIS (مطالعه‌ی موردی: شهر اردبیل). *فصلنامه‌ی پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، شماره ۶، ۴۳-۷۹.
۱۸. قدیری، محمود؛ افتخاری، عبدالرضا؛ شایان، سیاوش؛ پرهیزگار، اکبر (۱۳۹۱). تبیین تمرکز اجتماعی فضایی آسیب‌پذیری شهر تهران در برابر زلزله. *فصلنامه‌ی برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، دوره ۹ شانزدهم، شماره ۳، ۳۱-۵۴.
۱۹. فرج‌زاده، منوچهر؛ احدنژاد، محسن؛ امینی، جمال (۱۳۹۰). ارزیابی آسیب‌پذیری مسکن شهری در برابر زلزله (منطقه‌ی ۹ شهرداری تهران). *فصلنامه‌ی مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای*، سال سوم، شماره ۱۹، ۳۶-۱۹.
۲۰. احدنژاد روشتی، محسن (۱۳۸۸). *مدل‌سازی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله (شهر زنجان)*. پایان‌نامه‌ی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تهران.
21. FathiZahraei, M., Marthandan, G., Raman, M., & Asadi, A (2014). Reducing risks in crisis management by GIS adoption. *Natural Hazards*, 1-16.
22. Zebardast, E(2013). Constructing a social vulnerability index to earthquake hazards using a hybrid factor analysis and analytic network process (F'ANP)