فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران/ دورهٔ هشتم، شمارهٔ اوّل، بهار ۱۳۹۷
Disaster Prevention and Management Knowledge (DPMK) Quarterly, Vol. 8, No. 1 (Spring 2018)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۲۵

ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از خطر وقوع زلزله در تهران و گستره اطراف آن

نازیلا یعقوب نژاد اصل

دانشجوی دکتری مخاطرات ژئومورفولوژیک، دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه محقق اردبیلی،.اردبیل.ایران nazila_yaghoobnejadasl@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: استان تهران و گستره اطراف آن به دلیل وجود گسل‌های اصلی، گسترش شهرها به‌سوی گسل‌های پای کوهی و عدم رعایت اصول مهندسی زلزله در ساخت و ساز بناها و ساختمان‌ها، در صورت بروز زلزله خسارات زیادی وارد خواهد شد؛ بنابراین، ضرورت ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از رخداد زلزله لازم است. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از رخداد زلزله در تهران و گستره اطراف آن است.

روش: در این راستا از شاخص‌های آسیب‌پذیر مانند بزرگی زلزله، فاصله از گسل‌ها، زمین‌شناسی، کاربری زمین، تراکم جمعیت شهری، تراکم جمعیت روستایی، تراکم راه‌ها، ارتفاع و شیب در قالب مدل فازی استفاده شد و نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله برای تهران و گستره اطراف آن به دست آمد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در حدود ۲۰ درصد، ۱۸/۶۴ درصد و ۶۱/۲۹ درصد به ترتیب در پهنه‌های با شدت آسیب‌پذیری بسیار زیاد و زیاد، متوسط و کم و بسیار کم قرارگرفته است. پهنه‌های با آسیب‌پذیری بالا در نواحی پای کوهی و کوهستانی و کنار گسل‌های فعال واقع‌شده‌اند. همچنین این پهنه‌های آسیب‌پذیر در نقاطی قرارگرفته‌اند که طی تاریخ زلزله‌های بزرگ و مخربی را متحمل شده‌اند. لذا در صورت رخداد مجدد زلزله‌های با بزرگی ۶ ریشتر و بیشتر، احتمال آسیب‌های شدید می‌رود.

نتیجه‌گیری: با توجه به آسیب‌پذیری بالا باید از توسعه شهر و ساخت‌وسازهای غیراصولی به سمت نواحی حاشیه‌ای و کوهستانی جلوگیری کرد. همچنین احداث بناهای ضد زلزله و بازسازی بناهای ساخته‌شده با در نظر گرفتن ملاحظات اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی توصیه می‌شود. نقشه‌های پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله می‌تواند مورد استفاده مدیران و برنامه‌ریزان شهری برای جلوگیری از آسیب‌پذیری یا به حداقل رساندن آسیب‌پذیری ناشی از زلزله به عمل آید.

واژه‌های کلیدی: مخاطرات زلزله، عوامل مؤثر، آسیب‌پذیری، پهنه‌بندی، مدل فازی

◀ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰)**: یعقوب‌نژاد اصل، نازیلا (بهار، ۱۳۹۷)، ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از خطر وقوع زلزله در تهران و گستره اطراف آن. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۸* (۱)،۱۶-۲۶ .

Vulnerability Assessment Caused by the Earthquake in Tehran and Surrounding Area

Nazila Yaghoob Nejad ASL

PhD candidate in Geomorphological risks, University of Mohaghegh Ardabili, Faculty of Literature and Humanities, Ardebil, Iran

Abstract

Background and objective: Vulnerability assessment caused by earthquake is necessary in Tehran and its surrounding because of its situation on the faults and also non-observance the earthquake engineering in construction. The objective of this study is to assess the vulnerability caused earthquake in Tehran and its surroundings.

Method: Vulnerability index such as magnitude of earthquake, distance from the faults, land usage, urban population density, rural population density, roads density, elevation and slope based on fuzzy model were used and the vulnerability zonation map caused by earthquake for Tehran and its surroundings was achieved.

Findings: The results showed that about 20%, 64.18% and 29.61%, respectively, of areas are situated in very high and high, medium, low and very low vulnerable zones. The high vulnerability areas are situated in the mountainous and foothill areas and beside the active faults. These vulnerable areas are also situated where large and destructive earthquakes happened through times. Therefore, there is a risk of more damages in case of reoccurrence of 6 Richter and more earthquakes.

Results: Considering the high of this area, it is suggested to prevent urban development and non-observance constructions in mountainous and foothill zones as well as reconstructions considering social, economic and cultural views. The managers and urban planner may use vulnerability zonation map to prevent or decrease vulnerability caused by earthquake.

Keywords: Earthquake Hazards, Effective Factors, Vulnerability, Zonation, Fuzzy Model

▶**Citation (APA 6th ed.):** Yaghoob Nejad ASL N. (2018, Spring). Vulnerability Assessment Caused by the Earthquake in Tehran and Surrounding Area. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK), 8*(1),16-26 .

مقدمه

زلزله یکی از رخدادهای طبیعی است که امکان پیش‌بینی وقوع آن بسیار مشکل است. در قرن گذشته بیش از ۱۰۰۰ مورد زلزله مخرب در ۷۰ کشور جان به وقوع پیوسته که بر اساس گزارش سازمان ملل حدود ۲ میلیون کشته به همراه داشته است. در بین این کشورها، کشورهای چین، ژاپن، ایران، ترکیه، هند، شیلی، پاکستان و گواتمالا به‌عنوان حادثه‌خیزترین مناطق جهان شناخته شده‌اند و در حدود ۸۰ درصد حوادث را به خود اختصاص داده‌اند (توکلی و همکاران، ۱۳۸۷، ص۱۲).

در استان تهران به‌ویژه در کلان‌شهر تهران، شهرستان‌ها و روستاهای اطراف آن، به دلیل وجود گسل‌های اصلی و عدم رعایت اصول مهندسی زلزله در ساخت‌وسازها و همچنین شیب زیاد در نواحی کوهستانی در صورت بروز زلزله خسارات زیادی وارد خواهد شد. در این مناطق رشد جمعیت، گسترش شهر به‌سوی گسل‌های پای کوهی شرایط را برای ساکنان این مناطق مخاطره‌آمیز کرده است. پایگاه ملی داده‌های علوم زمین بیان می‌دارد:

«وجود گسل‌های فعال و اصلی و بررسی گزارش‌های موجود نشان می‌دهد که استان تهران و اطراف آن از سال ۹۵۸ میلادی تا زمان حاضر، زلزله‌های بی‌شماری، با بزرگی ۵ ریشتر و بیشتر را تجربه کرده است. برای مثال می‌توان به زلزله بوئین‌زهرا اشاره کرد. این زلزله در اثر فعال شدن گسل جنوب- غرب بوئین‌زهرا اتفاق افتاد(پایگاه ملی داده‌های علوم زمین، ۲۰۰۲، ص ۱)».

بنابراین ضرورت مطالعات مربوط به پهنه‌بندی و ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از رخداد زلزله احساس می‌شود. با توجه به هزینه و زمان‌بر بودن مشاهدات میدانی، و اینکه اکثر داده‌ها با خطاها و عدم قطعیت‌هایی همراه است، تاکنون مدل‌ها و روش‌های زیادی ابداع شده است. برای مثال می‌توان از مدل‌های تحلیل چند معیار فضایی، مدل‌های بر پایه میانگین روابط تجربی، فازی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و غیره نام برد. از مزایای استفاده از مدل‌های زمین فضا مانند مدل فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی در مطالعات مربوط به پهنه‌بندی این است که فازی بودن و عدم قطعیت‌هایی که در شاخص‌ها و معیارهای مربوط به مطالعات پهنه‌بندی وجود دارد را در نظر می‌گیرد.

با توجه به این‌که استان تهران و گستره اطراف آن زلزله‌های با بزرگی ۴ ریشتر و بیشتر را تجربه کرده است، احتمال این‌که این زلزله‌ها دوباره تکرار شوند و خسارات زیادی را به بارآورند، بسیار است.

پیشینه

بررسی پیشینه مطالعات مربوط به لرزه‌خیزی و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری نشان می‌دهد که تاکنون مطالعات به نسبت زیادی در این زمینه صورت گرفته است. در دو دهه گذشته چندین مدل برای محاسبه میزان آسیب‌پذیری بافت شهری و نواحی به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری ناشی از زلزله ارائه شده است، که اغلب این مدل‌ها در نرم‌افزار جی‌آی‌اس ساخته‌شده‌اند. برای مثال راشد[1] در سال (۲۰۰۳) برای مشخص کردن میزان آسیب‌پذیری ناشی از زلزله، شاخص‌هایی مانند حداقل عملکرد پل‌ها، خدمات فوریت پزشکی، بیمارستان‌ها، بزرگراه‌ها، حداکثر هزینه بازسازی ساختمان‌ها و ... را انتخاب و با استفاده از روش ای اچ پی[2] و نرم افراز جی‌آی‌اس مدل‌سازی کرده است. لانتادا و همکاران (۲۰۰۳)[3] با استفاده از شاخص میانگین[4] آسیب‌پذیری در محیط جی‌آی‌اس، به بررسی آسیب‌پذیری زلزله در شهر بارسلونای اسپانیا پرداختند. ایشان نتیجه گرفتند که تلفیق جی‌آی‌اس با شاخص میانگین آسیب‌پذیری، نه‌تنها داده‌ها را به‌سرعت، ذخیره و تحلیل می‌کند، بلکه نقشه آسیب‌پذیری ناشی از زلزله را برای تمام شهر تهیه می‌کند. پیتر مانز و همکاران در سال (۲۰۰۶)[5] با تلفیق ارتعاشات صدا[6] و مدل وان دی[7] مناطق در معرض خطر زلزله را ازلحاظ فرکانس رزونانس[8] و الگوهای تقویت[9] در مرکز شهر بروسلز کشور بلژیک شناسایی کردند. ایشان نتیجه گرفتند که نقشه‌های خطر لرزه‌ای محلی که با تلفیق داده‌های زمین‌شناسی و اندازه‌گیری‌های میدانی تهیه می‌شوند، در محیط جی‌آی‌اس منجر به مدل‌سازی عددی[10] می‌شود. زبردست (۲۰۰۷)[11] با استفاده از

1. Rashed
2. AHP
3. Latanda & et al
4. index of average vulnerability
5. Petermans et al
6. ambient noise vibrations
7. 1D
8. resonance frequency
9. amplification patterns
10. numerical modelling
11. Zebardast

شاخص‌های اجتماعی و اقتصادی و با استفاده از روش ای اچ پی، به آسیب‌پذیری اجتماعی در برابر زلزله در منطقه ۶ تهران پرداخته و مناطق آسیب‌پذیر در این منطقه را مشخص نموده است. پور محمد و همکاران (۲۰۰۸)[1] به بررسی لرزه‌نگاری گسل‌های اطراف کرج پرداختند. ایشان نتیجه گرفتند که اغلب زلزله‌های ثبت‌شده در این منطقه عمق بسیار کمی دارند و فعالیت لرزه‌ای اساساً در پوسته‌ی بالایی و لایه زلزله به ضخامت ۲۰ کیلومتر اتفاق می‌افتد. مارمونرو و همکاران، (۲۰۱۱)[2] با استفاده از رویکرد احتمالاتی[3] و روش مدل‌سازی موجی شکل ترکیبی[4]، نقشه شدت خطر زمین‌لرزه را در کشور رومانی انجام دادند. ایشان کارشان را به‌صورت یک نقشه‌ی جدید شدت لرزه ارائه داد. کی‌ریاسیز و همکاران در سال (۲۰۱۱)[5] به ارزیابی و مدیریت خطر زمین‌لرزه در کشور یونان پرداختند. ایشان از روش مدولار در چارچوب طرح‌های ملی و اتحادیه‌ی اروپا برای ارزیابی آسیب‌پذیری و مدیریت ریسک لرزه‌ای و زیرساخت‌ها استفاده کردند. ایشان با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیار به ارزیابی آسیب‌پذیری و خطر زلزله پرداختند و راهنمایی‌های لازم را برای کاهش خسارات ناشی از زمین‌لرزه ارائه دادند. منصوری دانشور و همکاران، (۲۰۱۳)[6] با تلفیق مدل‌های کمی در جی‌آی‌اس، نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری زلزله را در شهر مشهد انجام دادند. ایشان از روش ای اچ پی استفاده کردند و نتیجه گرفتند که منطقه مرکزی و هشت مشهد و مناطق سه و چهار، بیشترین آسیب‌پذیری را در برابر وقوع زلزله دارند و ناحیه‌ی نه، هفت، شش و ده کمترین میزان آسیب‌پذیری را دارند.

علاوه بر موارد فوق، در ایران مطالعات وسیعی در زمینه‌ی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله انجام‌شده است. برای مثال زنگی‌آبادی و تبریزی (۱۳۸۵) به ارزیابی فضایی آسیب‌پذیری مناطق شهری در شهر تهران پرداختند. ایشان با بررسی و تجزیه‌وتحلیل شرایط سازه‌ای مناطق مختلف شهر تهران (با توجه به آمار رسمی کشور) شاخص‌های توسعه، آسیب‌پذیری و مقاومت آن‌ها را محاسبه کردند و سپس مناطق را بر اساس میزان مقاومت و آسیب‌پذیری در برابر خطر احتمالی دسته‌بندی کردند. علوی پناه و قربانی (۱۳۸۶) با استفاده از فن سنجش‌ازدور و بررسی‌های میدانی زلزله بم را تجزیه‌وتحلیل کردند. ایشان نتیجه گرفتند که سازندهای منطقه در تشدید، تداوم امواج زلزله و رساندن دامنه‌ی امواج به مرحله تخریب کامل دخیل بوده‌اند. زنگی‌آبادی و همکاران (۱۳۸۷) به شناسایی وضعیت آسیب‌پذیری مساکن شهر اصفهان در برابر خطر زلزله پرداختند. نوع تحقیق ایشان به‌صورت پیمایشی، تحلیلی و مبتنی بر مشخصات کمی و کیفی مساکن شهر اصفهان بود. نتایج حاصل از پژوهش ایشان نشان داد که شهر اصفهان در برابر رخداد زلزله به‌شدت آسیب‌پذیر است و به ارائه راه‌کارها و راهنمایی‌هایی در این زمینه پرداختند. احد نژاد روشتی (۱۳۸۹) آسیب‌پذیری اجتماعی شهر زنجان در برابر زلزله را مورد بررسی قرارداد. ایشان از روش ای اچ پی در قالب سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند و به ارزیابی آسیب‌پذیری اجتماعی شهر زنجان در برابر زلزله پرداختند. ایشان نشان داد که در حدود ۳۲/۶ درصد از مناطق شهر زنجان دارای آسیب‌پذیری زیاد و ۳۹/۸ درصد دارای آسیب‌پذیری متوسط و ۲۷/۵ درصد از شهر دارای آسیب‌پذیری کم در برابر زلزله هستند. شمسی‌پور و شیخی (۱۳۸۹) مناطق حساس و آسیب‌پذیری محیطی در ناحیه غرب فارس را با روش طبقه‌بندی فازی و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی پهنه‌بندی کردند. ایشان بر پایه نتایج مدل‌سازی و پهنه‌بندی خطر در ناحیه غرب فارس نتیجه گرفتند که بیش از ۳۴ درصد محدوده ناحیه مطالعاتی با ویژگی آسیب‌پذیری نسبتاً بالا تا بسیار بالا مشخص می‌شوند که به‌طور عمده مناطق کوهستانی و دامنه‌های آن‌ها را در برمی‌گیرد. منزوی و همکاران (۱۳۸۹) با در نظر گرفتن نظام‌های آسیب‌زا و تأثیرپذیر در درون نظام شهری و محدوده بافت‌های بخش مرکزی، آسیب‌پذیری بافت‌های قدیمی (فرسوده) منطقه ۱۲ شهر تهران از زلزله را از منظر جغرافیای شهری موردبررسی قرار داده‌اند. نتایج بررسی ایشان نشان از آن داشت که بیشترین آسیب‌پذیری در منطقه ۱۲ در صورت رخداد زلزله وجود دارد. پیشگاهی فرد (۱۳۹۰) با بهره‌گیری از مدل شاخص همپوشانی وزنی در محیط جی‌آی‌اس، اقدام به تفکیک سطوح خطرپذیر منطقه‌ی ۸ شهر تبریز در هنگام زلزله کرد. نتایج حاصل از کار ایشان نشان داد که در

1. Pourmohammad & et al
2. MĂRMUREANU
3. probabilistic approach
4. Complex hybrid waveform modeling method
5. Kyriazis & et al
6. Mansouri Daneshvar & et al

حدود ۱۳/۹۴ درصد از محدوده‌ی موردمطالعه دارای وضعیت مطلوب تا بسیار مطلوب است، حدود ۴۷/۳۷ درصد از محدوده نیز در وضعیت متوسط ازلحاظ خطرپذیری در مواقع بحرانی قرار دارد و ۳۸/۶۹ درصد از محدوده موردمطالعه نیز در شرایط نامطلوب تا بسیار نامطلوب قرار دارد. بوستان و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از روش احتمالاتی و به‌کارگیری مجموعه‌های فازی به تحلیل خطر زمین‌لرزه برای منطقه تهران و نواحی پیرامون آن پرداختند. ایشان پارامترهای موردنیاز محاسبات تحلیل احتمالاتی خطر زمین‌لرزه را با روش برش به‌صورت فازی محاسبه کردند و نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در گستره تهران را تهیه کردند. مهدوی نژاد و جوانرودی (۱۳۹۱) با روش شبیه‌سازی و مدل‌سازی ریاضی به بررسی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در شبکه‌های ارتباطی تهران بزرگ از خیابان ولیعصر (عج) شمالی میدان ولیعصر (عج) تا چهارراه پارک‌وی پرداختند. ایشان میزان آسیب‌های احتمالی خیابان پس از زلزله و امکان امدادرسانی احتمالی از آن را مورد تجزیه‌وتحلیل قراردادند و به این نتیجه رسیدند که اغلب ضوابط و معیارهای استانداردسازی مناطق پرخطر در طراحی رعایت نشده است. حبیبی و همکاران (۱۳۹۲) بافت‌های کهن شهر بم را در برابر زلزله با استفاده از منطق سلسله مراتبی وارون[1] و سامانه اطلاعات جغرافیایی[2] بررسی کردند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که نه‌تنها مدل فازی برای تعیین آسیب‌پذیری و ناپایداری شهرهایی چون بم کاربرد دارد بلکه با استفاده از این مدل ارائه‌شده می‌توان میزان تاب‌آوری شهر را در برابر زلزله و دیگر بحران‌های طبیعی محاسبه کرد و سرانجام به رابطه‌ی میان تئوری و عمل دست‌یافت.

بررسی پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که تاکنون با استفاده از مدل فازی به‌صورت گسترده و در مقیاس کلان اقدام به پهنه‌بندی و ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله پرداخته نشده است؛ بنابراین هدف از پژوهش حاضر ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از رخداد زلزله در تهران و گستره اطراف آن است. در این راستا، این سؤال مطرح می‌گردد: توزیع فضایی پهنه‌های در معرض خطر زلزله به چه صورتی است؟

روش

موقعیت محدوده مورد مطالعه

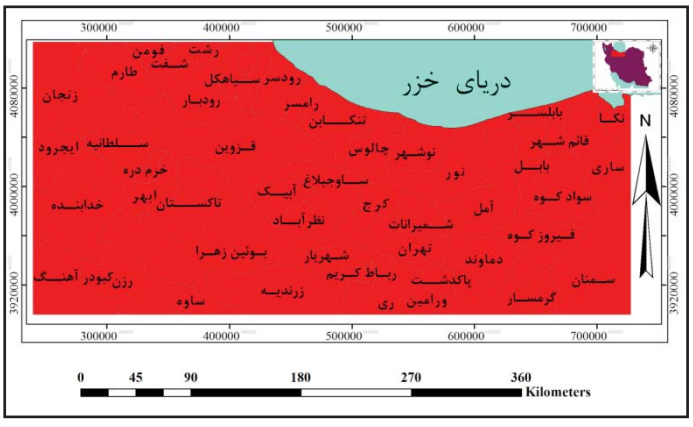
استان تهران و گستره اطراف آن با وسعتی حدود ۹۰۳۶۸ هزار کیلومترمربع در ′۳۵°۲ تا ′۳۷°۱۸ عرض شمالی و ′۵۰°۰ تا ′۵۵°۶ طول شرقی واقع‌شده است (شکل ۱).

حداقل ارتفاع ۵۳- متر مربوط به قسمت‌های پست و جلگه‌ای است و حداکثر ارتفاع آن ۵۵۹۷ متر مربوط به نواحی کوهستانی و مرتفع آن است. ازلحاظ توپوگرافی می‌توان محدوده مورد مطالعه را به سه واحد کلان تقسیم کرد:

۱. **واحد جلگه‌ها:** از ارتفاع ۵۳- متر تا ۱۰۰۰ متر است. این واحد مشتمل بر جلگه خزری و اطراف آن است؛

۲. **واحد دشت‌ها:** در ارتفاع ۱۰۰۰ متری تا ۲۰۰۰ متری واقع‌شده‌اند، که شامل تهران و کرج و نواحی اطراف آن است.

۳. **واحد کوهستان‌ها و کوهپایه‌ها:** از ارتفاع ۲۰۰۰ متری تا ۵۵۹۷ متر را شامل می‌شود. این واحد مشتمل بر سلسله کوه‌های البرز است. میزان شیب از ۵ درجه در واحدهای توپوگرافی جلگه‌ای و دشتی تا ۷۰ درجه در نواحی مرتفع و کوهستانی متغیر است.



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه (منبع: یعقوب نژاد اصل، ۱۳۹۶)

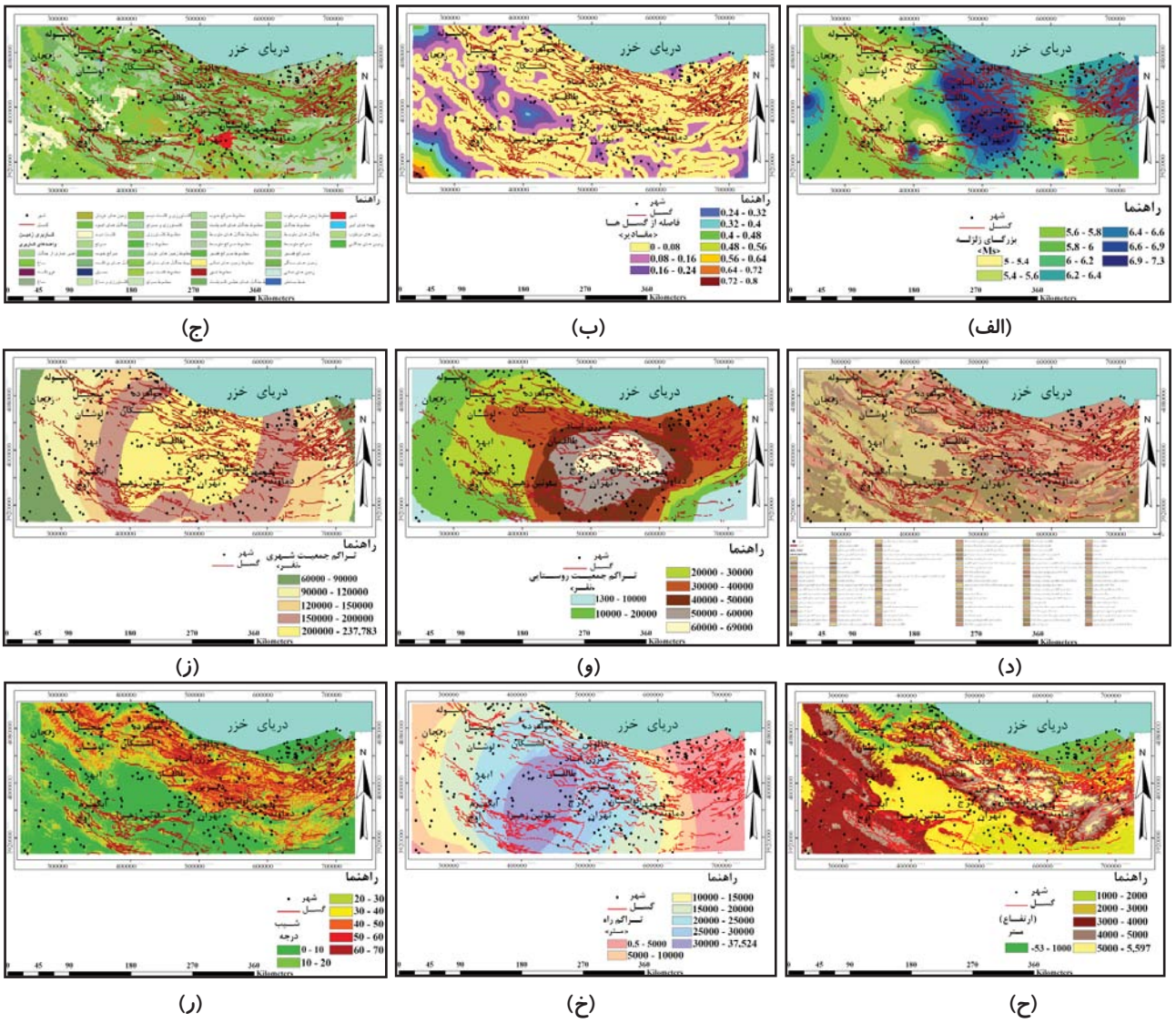
به‌طورکلی ازلحاظ زمین‌شناسی واحد توپوگرافی دشت‌ها و جلگه‌ها بیشتر مشتمل بر آبرفت‌های اخیر کواترنری هستند و واحد توپوگرافی کوهستان‌ها و مناطق مرتفع مشتمل بر سنگ‌های سخت رسوبی مانند آهک، سنگ‌های آتش‌فشانی یا آندزیتی و بازالتی و روانه‌های گدازه‌ای هستند. رسوبات یخچالی و مورن‌ها در واحد کوهستان‌ها نیز به چشم می‌خورد.گسل‌های اصلی محدوده مورد مطالعه، گسل‌های البرز، شمال البرز، شمال قزوین، الموت/

1. Inversion Hierarchical Weight Process (IHPW)
2. GIS

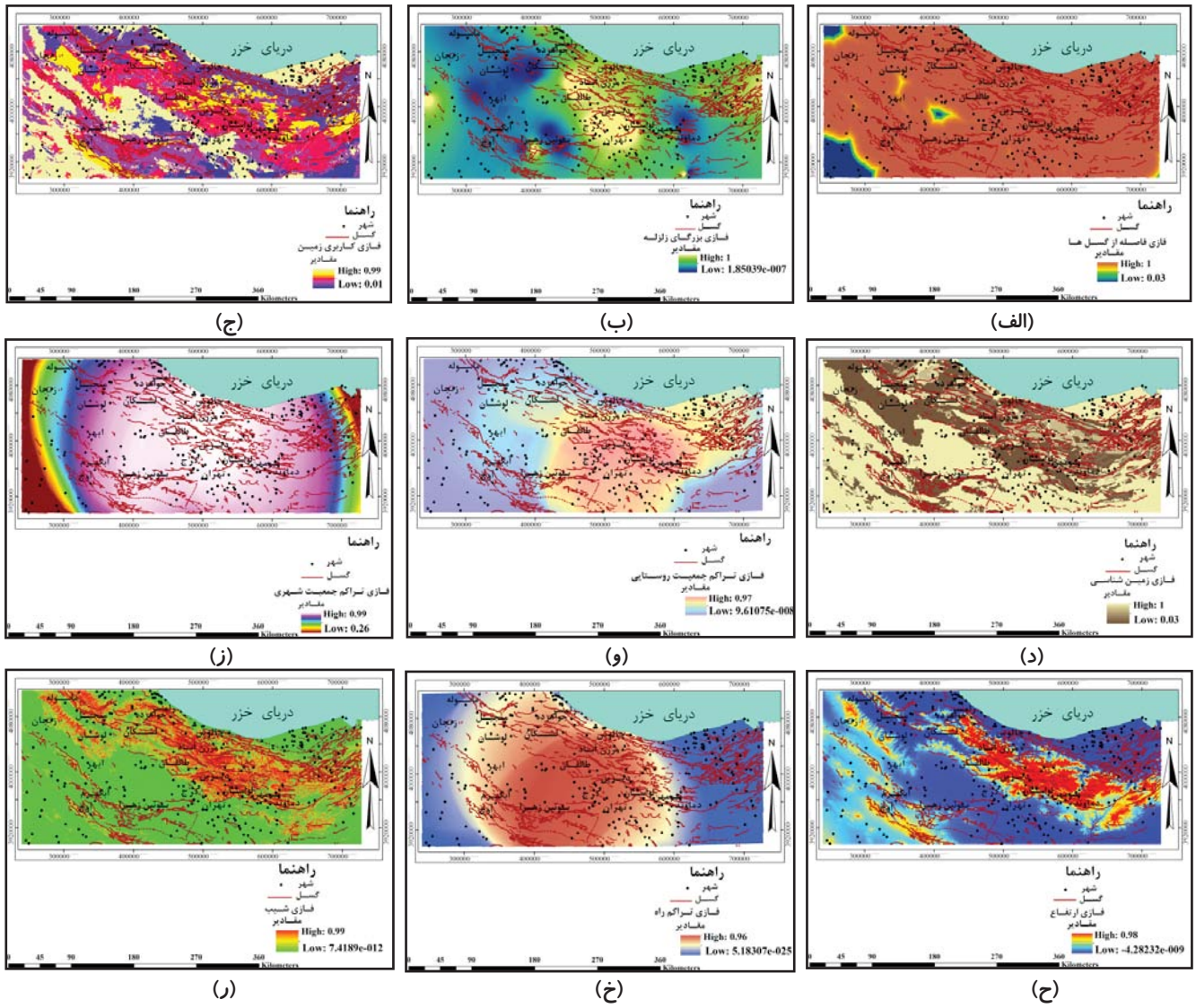
شاهرود، الموت/طالقان، گرمسار، دامغان/آستانه، دامغان، جنوب تاکستان، بوئین‌زهرا و شمال- غرب شاهرود هستند. روند این گسل‌ها غربی- شرقی است. تعدادی گسل و میکرو گسل‌های جدید نیز در محدوده مورد مطالعه وجود دارد که طی حوادث تکتونیکی اخیر به‌خصوص از فاز کوهزایی پاسادنین به وجود آمده‌اند.

داده‌ها

در ابتدا از اسناد کتابخانه‌ای برای مطالعه پیشینه تحقیق استفاده شده است. داده‌های اولیه این پژوهش عبارت از نقشه‌های زمین‌شناسی و گسل‌ها (اخذشده از سازمان زمین‌شناسی تهران، ۱۳۹۱)، نقشه‌های کاربری زمین، (اخذشده از سازمان جنگل‌ها و مراتع، ۱۳۹۱)، لایه رقومی شده جمعیت شهری و روستایی و راه‌های ارتباطی (اخذشده از وزارت راه، ۱۳۹۲) هستند. بعدازآن، نقشه بزرگی زلزله با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ به دست آمد. در مرحله بعدی با مطالعه گزارش‌های موجود و مشاهدات میدانی شاخص‌های مؤثر در پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله شناسایی شدند. این شاخص‌ها عبارت‌اند از: بزرگی زلزله، فاصله از گسل‌ها، زمین‌شناسی، کاربری زمین، تراکم جمعیت شهری، تراکم جمعیت روستایی، تراکم راه‌ها، ارتفاع و شیب هستند (شکل ۲). درنهایت شاخص‌های مذکور با استفاده از توابع عضویت فازی، فازی شدند (شکل ۳) و نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله برای تهران و گستره اطراف آن به دست آمد (شکل‌های ۴ و ۵).



شکل ۲. شاخص‌های آسیب‌پذیری ناشی از زلزله: الف- بزرگی زلزله، ب- فاصله از گسل‌ها، ج- زمین‌شناسی، د- کاربری زمین، و- تراکم جمعیت شهری، ز- تراکم جمعیت روستایی، ح- تراکم راه‌ها، خ- ارتفاع، ر- شیب (یعقوب نژاد اصل، ۱۳۹۶)



شکل ۳. شاخص‌های فازی شده آسیب‌پذیری ناشی از زلزله: الف- بزرگی زلزله، ب- فاصله از گسل‌ها، ج- زمین‌شناسی، د- کاربری زمین، و- تراکم جمعیت شهری، ز- تراکم جمعیت روستایی، ح- تراکم راه‌ها، خ- ارتفاع، ر- شیب (منبع: یعقوب نژاد اصل، ۱۳۹۶)

روش آی دی دبلیو[1]

به روش‌های تخمین و برآورد متغیرهای مجهول، درون‌یابی گفته می‌شود. هرکدام از آن‌ها، از متد و روشی خاص برای محاسبه نقاط مجهول استفاده می‌کند. داده‌هایی که به‌عنوان ورودی در درون‌یابی مورداستفاده قرار می‌گیرند از نوع داده‌های نقطه‌ای هستند. در این روش‌ها با استفاده از نقاط ارتفاع دار، یک سطح تصویری ساخته می‌شود. یکی از این روش‌ها، به روش آی دی دبلیو معروف است. از این روش برای مناطقی که دارای پستی و بلندی هستند، استفاده می‌شود. در این روش محاسبه نقاط مجهول از طریق میانگین‌گیری مقادیر نقاط معلوم به دست می‌آید. در این روش هرکدام از نقاط در محاسبه دارای وزنی هستند، به‌طوری‌که هر چه فاصله نقطه معلوم به نقطه مجهول کمتر باشد، ارزش وزنی آن نیز بیشتر است و هر چه این فاصله بیشتر شود اثربخشی نقطه معلوم در تخمین نقطه مجهول و محاسبه میانگین نیز کاهش میابد، پس فواصل نزدیک‌تر وزن بالاتری می‌گیرند.

در این پژوهش ابتدا مختصات جغرافیایی بزرگی زلزله‌های تهران و گستره اطراف آن تبدیل به سیستم مختصات تصویری مرکاتور شد و سپس با استفاده از روش آی دی دبلیو، نقشه بزرگی زلزله در محدوده موردمطالعه به دست آمد.

1. Inverse Distance Weighted (IDW)

مدل فازی

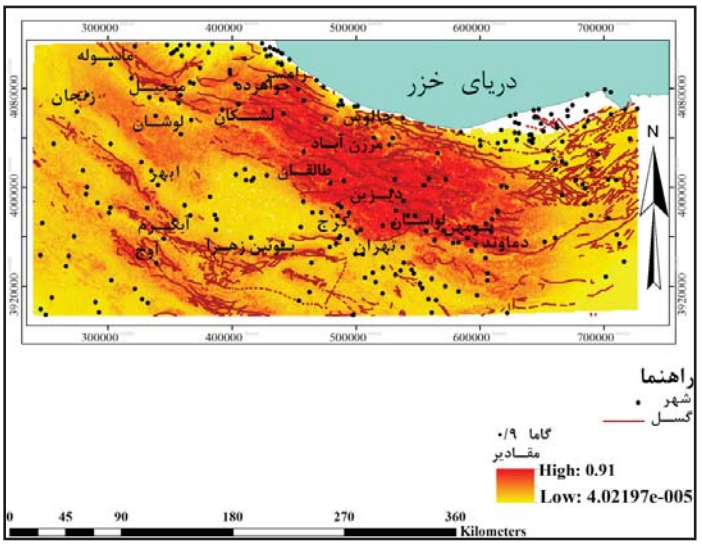
مدل فازی برای اولین بار توسط لطفی زاده (۱۹۶۵) ارائه شد (لطفی زاده[1]، ۱۹۶۵) (ص ۱). مک براتنی و اوده[2] (۱۹۹۷) در مورد مدل فازی بیان می‌دارد «تئوری فازی نتیجه گرفت که با ساختن تابع عضویت در محدودهای از اعداد حقیقی، روش‌های جدید توسعه می‌یابد(همان، ص ۱۱۳)». تحلیل‌های فازی با استفاده از نرم‌افزار جی‌آی‌اس انجام می‌شود. ایستمن[3] (۲۰۰۶) در مورد روش کار اظهار می‌دارد «در این نرم‌افزار، پارامترها با توابع عضویت فازی تبیین می‌شوند. این توابع می‌توانند خطی، گوسین، نمایی، لگاریتمی، یا چندجمله‌ای باشند(همان، ص ۱۰۹)».

در پژوهش مورد نظر ابتدا تمامی شاخص‌ها با استفاده از توابع عضویت فازی، فازی سازی شدند، بعدازآن، با استفاده از عملگرهای مختلف فازی، مانند جمع جبری فازی، ضرب فازی و گاما، نقشه‌ها هم‌پوشانی می‌شوند. در این پژوهش از عملگر گامای فازی ۰/۹ استفاده شد (شکل ۴). در نهایت با توجه به نوع عملگر به‌کاررفته، نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله که در آن، پهنه‌های آسیب‌پذیر ارزیابی می‌شوند، تهیه می‌شود.

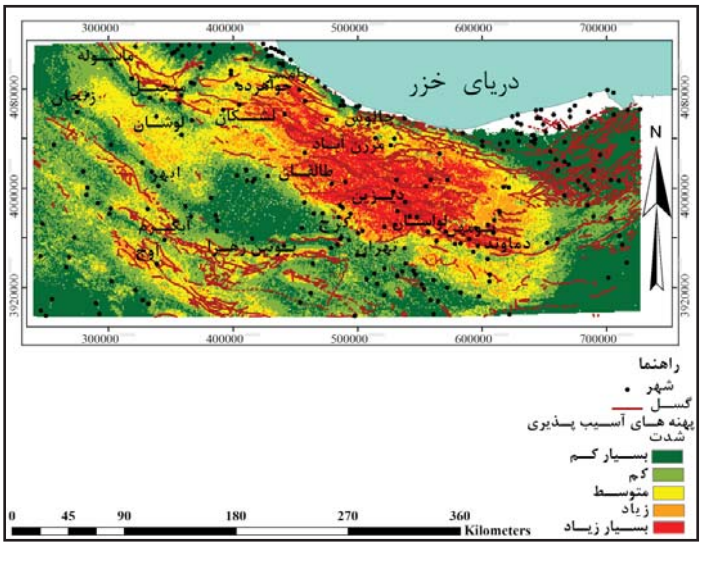
یافته‌ها

در پژوهش حاضر، ابتدا شاخص‌های مؤثر در آسیب‌پذیری ناشی از زلزله، فازی سازی شده‌اند و به‌صورت نقشه‌های فازی درآمدند (شکل ۳).

سپس از عملگر گامای فازی ۰/۹ استفاده‌شده است (شکل ۴). علت انتخاب این گاما، هم‌پوشانی نقشه پهنه‌بندی خطر آسیب‌پذیری ناشی از زلزله با چندین نقشه اصلی است. به‌عبارت‌دیگر، نقشه پهنه‌بندی خطر آسیب‌پذیری ناشی از زلزله با نقشه‌های بزرگی زلزله، زمین‌شناسی، کاربری زمین و غیره هم‌پوشانی شدند و مشخص شد که بیشترین تطابق خطر آسیب‌پذیری ناشی از زلزله با زلزله‌های بزرگ‌تر از ۶ ریشتر، در زمین‌های با جنس آبرفت‌های جدید کواترنر و ازلحاظ کاربری زمین، مناطق شهری و اراضی مخلوط کشاورزی، در گامای ۰/۹ مشاهده‌شده است. همان‌طور که شکل شماره (۴) نشان می‌دهد، پهنه‌هایی گستره تهران و اطراف آن، رقم ۰/۹۱ را نشان می‌دهد. این یعنی اینکه پهنه‌هایی از مناطق در معرض خطر شدید آسیب‌پذیری ناشی از زلزله هستند؛ زیرا هرچه رقم مذکور به عدد ۱ نزدیک می‌شود، یعنی اینکه پتانسیل آسیب‌پذیری نیز بیشتر است. بر اساس عملگر گامای فازی ۰/۹، نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در پنج طبقه باقابلیت خطر بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد تهیه گردید (شکل ۵) و مساحت هر یک از پهنه‌های در معرض آسیب‌پذیری ناشی از زلزله ارزیابی‌شده است (جدول ۱).



شکل ۴. نقشه گامای فازی ۰/۹ (منبع: یعقوب نژاد اصل، ۱۳۹۶)



شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله (منبع: یعقوب نژاد اصل، ۱۳۹۶)

1. Lotfi Zadeh
2. McBratney & Odeh
3. Eastman

جدول ۱. ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله تهران و گستره اطراف آن (منبع: یعقوب نژاد اصل، ۱۳۹۶)

کد	پهنه‌های با شدت آسیب‌پذیری	مساحت (کیلومترمربع)	درصد مساحت
۱	بسیار کم	۲۸۳۶۳/۲۵	۳۱/۳۸
۲	کم	۲۷۰۳۵/۸	۲۹/۹۱
۳	متوسط	۱۶۸۵۲/۶۶	۱۸/۶۴
۴	زیاد	۱۰۲۳۳/۶۵	۱۱/۳۲
۵	بسیار زیاد	۷۸۸۲/۶۸	۸/۷۲
مجموع		۹۰۳۶۸	۹۹/۹۷

با توجه به جدول شماره (۱)، حدود ۷۸۸۲/۶۸ کیلومترمربع معادل با ۸/۷۲ درصد از مساحت منطقه موردمطالعه در پهنه با شدت آسیب‌پذیری بسیار زیاد قرارگرفته است. این پهنه‌ها شامل شمیرانات در استان تهران، قسمت‌های شمالی شهر تهران تا حدی قسمت‌های شمالی شهر دماوند، قسمت‌های جنوبی شهرستان‌های رامسر، رودسر، نوشهر تا حدی قسمت‌های شمالی آبیک، قسمت‌های شمالی شهرستان ساوجبلاغ، قسمت‌های بخش‌های شمالی شهرستان کرج، قسمت‌های شرقی شهرستان قزوین، قسمت‌های جنوبی شهرستان چالوس، نور، قسمت‌های غربی شهرستان آمل، تنکابن هستند. در حدود ۱۰۲۳۳/۶۵ کیلومترمربع یعنی ۱۱/۳۲ درصد از مساحت منطقه موردمطالعه در معرض با شدت آسیب‌پذیری زیاد قرار دارد. این پهنه‌ها شمیرانات، قسمت‌های جنوبی شهرستان بوئین‌زهرا، شمیرانات، شمال غرب شهر تهران، قسمت‌های شمالی و جنوبی شهرستان دماوند تا حدی قسمت غربی شهرستان فیروزکوه، قسمت‌های جنوبی شهرستان املش، سیاهکل، شمال شرقی و جنوبی شهرستان سلطانیه، قسمت‌های شمال غربی و شرق شهرستان رودبار تا حدی قسمت‌های شرقی شهرستان طارم، قسمت‌های جنوبی شهرستان رامسر، رودسر، نوشهر، قسمت‌های شمالی و جنوبی شهرستان خرمدره، قسمت‌های شمالی و شمال شرقی شهرستان آبیک، قسمت‌های شرقی و غربی شهرستان ساوجبلاغ، شمال شرقی شهرستان کرج، قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی شهرستان تاکستان، قسمت شرقی شهرستان قزوین، قسمت جنوبی شهرستان ابهر تا حدی قسمت غربی شهرستان زرندیه، قسمت شمالی شهرستان ساوه، شهرستان‌های چالوس، نور تا حدی قسمت جنوب غربی شهرستان بابل، قسمت جنوبی شهرستان آمل تا حدی قسمت شمالی شهرستان گرمسار تا حدی قسمت شمال شرقی شهرستان ری، قسمت جنوبی شهرستان تنکابن هستند. حدود ۱۶۸۵۲/۶۶ کیلومترمربع معادل با ۱۸/۶۴ درصد در پهنه با شدت آسیب‌پذیری متوسط قرارگرفته است. این پهنه‌ها عبارت‌اند از قسمت جنوبی شهرستان نظرآباد، قسمت‌های شمالی، شمال شرقی و مرکزی شهرستان رزن، قسمت‌های شمالی، جنوبی، شرقی، غربی و جنوب غربی شهرستان بوئین‌زهرا، قسمت‌های شمالی و شرقی شهر تهران تا حدی قسمت شمالی شهرستان پاکدشت، شهرستان دماوند، قسمت‌های غربی شهرستان فیروزکوه، قسمت جنوبی شهرستان املش، نیمه جنوبی شهرستان سیاهکل، قسمت‌های شمالی، شمال شرقی، شرقی، جنوبی، جنوب غربی شهرستان سلطانیه، قسمت‌های شمال غربی و جنوب شرقی شهرستان رودبار، قسمت‌های شمالی، شرقی، جنوبی و جنوب غربی شهرستان طارم، شهرستان رامسر، رودسر، نوشهر، قسمت‌های شمالی و جنوبی شهرستان خرمدره تا حدی شهرستان ایجرود، شمال و شمال شرقی شهرستان آبیک، نیمه جنوبی شهرستان ساوجبلاغ، جنوب و جنوب غربی شهرستان کرج تا حدی شهرستان شهریار تا حدی شهرستان همدان، قسمت‌های شمالی، جنوبی و جنوب غربی شهرستان تاکستان، قسمت اعظم شهرستان قزوین، قسمت‌های مرکزی، شمالی و شرقی شهرستان خدابنده، قسمت‌های شمالی و جنوبی شهرستان ابهر، قسمت‌های شمالی و شمال غربی شهرستان زرندیه، قسمت‌های شمالی، شمال شرقی و شرقی شهرستان ساوه، شهرستان چالوس، شهرستان نور، قسمت جنوبی شهرستان بابل، شهرستان آمل، نیمه شمالی شهرستان گرمسار، نیمه جنوبی شهرستان شفت تا حدی نیمه جنوبی شهرستان لنگرود، قسمت شرقی شهرستان زنجان، شهرستان تنکابن، نیمه جنوبی شهرستان فومن هستند. در حدود ۲۷۰۳۵/۸ کیلومترمربع، معادل با ۲۹/۹۱ درصد در پهنه با شدت آسیب‌پذیری کم قرارگرفته است. شهرستان‌های واقع در این پهنه، بخش مرکزی شهرستان نظرآباد، قسمت اعظم شهرستان رزن، نیمه شمالی و شمال شرقی شهرستان بوئین‌زهرا، نیمه جنوبی شهر تهران، قسمت اعظم شهرستان پاکدشت، قسمت اعظم شهرستان رباط‌کریم، شهرستان اسلام‌شهر، نیمه شرقی شهرستان فیروزکوه، نیمه شمالی شهرستان املش، نیمه شمالی شهرستان سیاهکل، قسمت مرکزی شهرستان سلطانیه تا حدی

نیمه شمالی شهرستان رودبار، قسمت مرکزی شهرستان طارم تا حدی نیمه شمالی شهرستان‌های رامسر، رودسر تا حدی قسمت‌های مرکزی خرم دره، قسمت اعظم شهرستان ایجرود، قسمت اعظم شهرستان آبیک تا حدی نیمه جنوبی شهرستان ساوجبلاغ تا حدی شمال و شمال غربی شهرستان کرج، قسمت اعظم شهرستان شهریار تا حدی قسمت شمالی شهرستان کبودرآهنگ، قسمت مرکزی شهرستان تاکستان، نیمه جنوبی شهرستان قزوین، قسمت اعظم شهرستان خدابنده تا حدی قسمت مرکزی شهرستان ابهر، قسمت شرقی شهرستان زرندیه تا حدی نیمه شمالی شهرستان نور تا حدی نیمه شمالی شهرستان بابل، قسمت جنوبی شهرستان سوادکوه، قسمت شمالی شهرستان سمنان تا حدی نیمه شمالی شهرستان آمل تا حدی نیمه شمالی شهرستان گرمسار، قسمت اعظم شهرستان ری تا حدی قسمت شرقی شهرستان شفت، قسمت مرکزی شهرستان لنگرود، قسمت مرکزی شهرستان زنجان تا حدی نیمه شمالی شهرستان تنکابن تا حدی شهرستان فومن، قسمت غربی شهرستان خلخال هستند. حدود ۲۸۳۶۳/۲۵ کیلومترمربع در پهنه با شدت آسیب‌پذیری بسیار کم قرارگرفته است. این رقم ۳۱/۳۸ درصد از مساحت استان را شامل می‌شود. بعضی از شهرستان‌های واقع در این پهنه، قسمت اعظم شهرستان نظرآباد تا حدی شهرستان رزن، نیمه شمالی و شمال شرقی شهرستان بوئین‌زهرا، قسمت اعظم شهرستان پاکدشت تا حدی شهرستان رباط‌کریم، شهرستان اسلام‌شهر، نیمه شرقی شهرستان فیروزکوه، نیمه شمالی شهرستان املش، نیمه شمالی شهرستان سیاهکل، قسمت مرکزی شهرستان سلطانیه تا حدی نیمه شمالی شهرستان رودبار، قسمت مرکزی شهرستان طارم تا حدی نیمه شمالی شهرستان‌های رامسر، رودسر تا حد اندکی نیمه شمالی شهرستان نوشهر، شهرستان قائم‌شهر تا حدی قسمت‌های مرکزی خرم دره، شهرستان بیجار، قسمت اعظم شهرستان ایجرود، قسمت اعظم شهرستان آبیک تا حدی نیمه جنوبی شهرستان ساوجبلاغ تا حدی شمال و شمال غربی شهرستان کرج، قسمت اعظم شهرستان شهریار، قسمت اعظم شهرستان کبودرآهنگ، نیمه شمالی شهرستان همدان، قسمت مرکزی شهرستان تاکستان، نیمه جنوبی شهرستان قزوین تا حدی شهرستان خدابنده تا حدی قسمت مرکزی شهرستان ابهر، قسمت شرقی شهرستان زرندیه تا حد اندکی شهرستان ساوه تا حدی نیمه شمالی شهرستان نور تا حدی نیمه شمالی شهرستان بابل، قسمت شمالی شهرستان سوادکوه، قسمت اعظم شهرستان سمنان، قسمت اعظم شهرستان ساری تا حدی نیمه شمالی شهرستان آمل تا حدی نیمه شمالی شهرستان گرمسار، شهرستان ورامین، قسمت اعظم شهرستان ری، شهرستان رشت، نیمه شمالی شهرستان شفت، شهرستان لاهیجان، قسمت‌های شمالی و مرکزی شهرستان لنگرود، نیمه غربی شهرستان زنجان تا حدی نیمه شمالی شهرستان تنکابن تا حدی شهرستان فومن و شهرستان‌های بهشهر و نکا هستند. در کل، در حدود ۲۰ درصد از مساحت محدوده موردمطالعه در پهنه‌های با شدت آسیب‌پذیری بسیار زیاد و زیاد قرارگرفته است، حدود ۱۸/۶۴ درصد در پهنه با شدت آسیب‌پذیری متوسط قرار دارد و در حدود ۶۱/۲۹ درصد از مساحت محدوده موردمطالعه در پهنه‌های با شدت آسیب‌پذیری کم و بسیار کم قرارگرفته است.

نتیجه گیری

از بررسی‌های انجام‌گرفته در زمینه این مقدار شدت آسیب‌پذیری بالا می‌توان این‌طور استنباط کرد که نواحی که در مناطق با زلزله‌های با بزرگی ۶ ریشتر و بیشتر واقع‌شده‌اند، در پهنه با آسیب‌پذیری زیاد قرارگرفته‌اند؛ زیرا زلزله‌های بزرگ و مخرب طی تاریخ در این نواحی رخ‌داده بودند؛ بنابراین اگر زلزله‌ای با بزرگی ۶ ریشتر و بیشتر رخ دهد می‌تواند منجر به آسیب‌پذیری زیاد برای این بخش از نواحی شود؛ زیرا این نواحی در حال حاضر به کاربری‌های مسکونی، تجاری و صنعتی اختصاص‌یافته‌اند و بخش قابل‌توجهی از جمعیت (تقریباً ۶۹۰۰۰ هزار نفر) در روستاها و (تقریباً ۲۳۷۰۰۰ هزار نفر) در شهرها در این نواحی مخاطره‌آمیز استقراریافته‌اند. همچنین راه‌ها و جاده‌ها نیز در پهنه‌های با آسیب‌پذیری بالا قرارگرفته‌اند؛ بنابراین هرچه قدر تراکم راه‌ها بیشتر شود (۱۵۰۰ کیلومتر تا ۳۷۵۲۴۰۰۰ کیلومتر)، در صورت وقوع زلزله‌های با بزرگی بیشتر از ۶ ریشتر احتمال خسارات جانی و مالی نیز زیاد است. ازلحاظ توپوگرافی این نواحی در بخش‌های نسبتاً مرتفع و کوهستانی (ارتفاعات بیشتر از ۱۰۰۰ متر) را شامل می‌شود که شیب زمین در این مناطق بیشتر از ۳۰ درجه است. نواحی با آسیب‌پذیری بالا در نقاطی قرارگرفته‌اند که منطبق بر نواحی گسلی هستند و چون اکثر این شهرها و روستاها

ازلحاظ جنس زمین‌بر روی زمین‌های آبرفتی، شیل و ماسه‌سنگ گسترش‌یافته‌اند و چون این زمین‌ها ازلحاظ جنس زمین سست و ناپایدار هستند، لذا در صورت رخداد مجدد زلزله با بزرگی بیشتر از ۶ ریشتر احتمال خسارات جانی و مالی با شدت آسیب‌پذیری متوسط تا بسیار بالا می‌رود. علت این‌که بعضی از نواحی در پهنه‌های با آسیب‌پذیری کم و بسیار کم قرارگرفته‌اند می‌تواند ناشی از دور بودن این نواحی از گسل‌ها، کم‌جمعیت بودن این نواحی به دلیل اختصاص یافتن آن‌ها به کاربری‌هایی غیر از کاربری‌های مسکونی و تجاری است و به‌عنوان‌مثال، اختصاص یافتن آن‌ها به اراضی مخلوط و مراتع باشد. همچنین بعضی از نواحی شهری و روستایی بر روی زمین‌های مستحکم ازلحاظ زمین‌شناسی مانند زمین‌های آهکی و آندزیتی و بازالتی گسترش‌یافته‌اند. چون این زمین‌ها مستحکم هستند، در صورت وقوع زلزله با آسیب‌پذیری بسیار کمتر مواجه می‌شوند. ازلحاظ توپوگرافی این نواحی دشت‌ها و جلگه‌ها هستند که ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر دارند و شیب آن‌ها کمتر از ۳۰ درجه است. با توجه به همه این عوامل، در صورت رخداد زلزله این نواحی با آسیب‌پذیری کمتری مواجه می‌شوند.

از مزایای مدل فازی هنگامی‌که با سیستم اطلاعات جغرافیایی ترکیب شود، سرعت‌بالا در پردازش داده‌ها، کم‌هزینه بودن این روش و دقت نسبتاً بالای این مدل است. نمونه کارهای انجام‌شده در زمینه انواع پهنه‌بندی‌ها با استفاده از این مدل و تلفیق لایه‌های نقشه‌ای گویای این موضوع است. خطاهای احتمالی هم که در این نقشه‌ها با استفاده از این مدل به وجود می‌آید، مربوط به روش‌های مختلف فازی سازی لایه‌ها و نوع عملگر گامای فازی به‌کاررفته است.

در پژوهش موردنظر از شاخص‌های طبیعی و آسیب‌پذیر در برابر زلزله استفاده شد. سپس اقدام به فازی سازی معیارها با استفاده از توابع عضویت فازی شد و درنهایت نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله به دست آمد. نتایج این پژوهش نشان داد در حدود ۲۰ درصد از مساحت محدوده موردمطالعه در پهنه‌های با شدت آسیب‌پذیری بسیار زیاد و زیاد قرارگرفته است، حدود ۱۸/۶۴ درصد در پهنه با شدت آسیب‌پذیری متوسط قرار دارد و در حدود ۶۱/۲۹ درصد از مساحت محدوده موردمطالعه در پهنه‌های با شدت آسیب‌پذیری کم و بسیار کم قرارگرفته است. پهنه‌های با آسیب‌پذیری بالا شمیرانات در استان تهران، قسمت‌های شمالی و شمال غرب شهر تهران تا حدی قسمت‌های شمالی شهر دماوند، قسمت‌های جنوبی شهرستان‌های رامسر، رودسر، نوشهر تا حدی قسمت‌های شمالی آبیک، قسمت‌های شمالی شهرستان ساوجبلاغ، قسمت‌های بخش‌های شمالی شهرستان کرج، قسمت‌های شرقی شهرستان قزوین، قسمت‌های جنوبی شهرستان چالوس، نور، قسمت‌های غربی شهرستان آمل، تنکابن، شهرستان‌های بوئین‌زهرا، شهرستان فیروزکوه، املش، سیاهکل، سلطانیه، رودبار، طارم، رامسر، رودسر، نوشهر، خرمدره، آبیک، ساوجبلاغ، شهرستان کرج، تاکستان، قسمت شرقی شهرستان قزوین، ابهر، زرندیه، ساوه، چالوس، نور، شهرستان بابل، آمل، گرمسار، شهرستان ری و شهرستان تنکابن هستند. علت این آسیب‌پذیری بالا عوامل توپوگرافی، زمین‌شناسی و گسل‌ها، تغییر کاربری زمین و تبدیل آن به مناطق مسکونی، افزایش و تراکم جمعیت است. همچنین این پهنه‌های آسیب‌پذیر در نقاطی واقع‌شده‌اند که طی تاریخ زلزله‌های بزرگ و مخرب متحمل شده‌اند. لذا در صورت رخداد مجدد زلزله‌های با بزرگی ۶ ریشتر و بیشتر، احتمال آسیب‌های شدید می‌رود؛

پیشنهادات آتی

با توجه به آسیب‌پذیری بالا باید از توسعه شهر و ساخت‌وسازهای غیراصولی به سمت نواحی حاشیه‌ای، مرتفع، کوهستانی در پهنه‌های با آسیب‌پذیری بالا جلوگیری کرد. همچنین احداث بناهای ضد زلزله و بازسازی بناهای ساخته‌شده با در نظر گرفتن ملاحظات اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی توصیه می‌شود. نقشه‌های پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله می‌تواند مورداستفاده مدیران و برنامه ریزان شهری قرار گیرد تا با شناسایی پهنه‌های در معرض آسیب‌پذیری بالا تمهیدات لازم برای جلوگیری از آسیب‌پذیری یا کاهش و به حداقل رساندن آسیب‌پذیری به عمل آید.

محدودیت تحقیق

عدم وجود آمارها و داده‌های دقیق و منسجم یکی از مسائل و مشکلات پیش روی پژوهشگران و محققان است. این پژوهش از این امر مستثنا نیست. برای همین از روش‌های تحلیل فضایی در این تحقیق استفاده شد.

منابع

احدنژاد روشتی، محسن (۱۳۸۹)؛ ارزیابی آسیب‌پذیری اجتماعی شهرها در برابر زلزله نمونه موردی (شهر زنجان)؛ مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، سال دوم، شماره۷،صص: ۷۱-۹۰.

بوستان، الهام؛ میرزائی، نوربخش؛ اسکندری قادی، مرتضی؛ شفیعی، علی(۱۳۹۱)؛ پهنه‌بندی زمین لرزه‌ای گستره تهران و نواحی مجاور با استفاده از مجموعه‌های فازی؛ فیزیک زمین و فضا: سال دوم: شماره۳۸ ، ۲۹- ۴۴.

پیشگاهی فرد، زهرا؛ اقبالی، ناصر؛ فجی راد، عبدالرضا؛ بیگ بابایی، بشیر (۱۳۹۰). سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و نقش آن در مکان‌یابی مناطق مخاطره‌آمیز شهری جهت استفاده در مدیریت بحرانزا (مطالعه موردی: منطقه ۸ شهرداری تبریز)؛ آمایش محیط، سال چهارم: شماره۱۳، صص:۹۱- ۱۰۴.

پایگاه ملی داده‌های علوم زمین (۲۰۰۲)؛ آمار و اطلاعات زلزله استان تهران و گستره اطراف آن.

توکلی، حمیدرضا؛ فرج زاده، داوود؛ جنیدی، نعمت‌الله (۱۳۸۷)؛ بررسی وضعیت تأمین، نگه‌داری و توزیع مواد غذایی در زلزله بم؛ طب نظامی،سال دهم: شماره۱؛ ۱۱- ۲۰.

حبیبی، کیومرث؛ بهزادفر، مصطفی؛ مشکینی، ابوالفضل؛ نظری، سعید (۱۳۹۲)؛ تهیه یک مدل پیش‌بینی ناپایداری بافت‌های کهن شهری در برابر زلزله با منطق سلسله مراتبی وارون (IHPW) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)؛ علوم زمین، سال بیست و دوم: شماره۸۷، صص ۸۳- ۹۲.

راهنمای آرک جی‌آی‌اس ۱۰ [بی.تا.]. روش IDW در تحلیل‌های زمین‌آمار. ایالات‌متحده آمریکا:http://resources.arcgis.com

زنگی‌آبادی، علی؛ تبریزی، نازنین (۱۳۸۵)؛ زلزله تهران و ارزیابی فضایی آسیب‌پذیری مناطق شهری؛ پژوهش‌های جغرافیایی: دوره۳۸: شماره ۱، ۱۱۵-۱۳۱.

زنگی‌آبادی، علی؛ صفایی، همایون؛ محمدی، جمال؛ قائدرحمتی، صفر(۱۳۸۷)؛ تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری مساکن شهری در برابر خطر زلزله نمونه موردی: مساکن شهر اصفهان. جغرافیا و توسعه؛ سال ششم شماره۱۲، صص۶۱-۷۹.

سازمان زمین‌شناسی تهران(۱۳۹۱)؛ نقشه رقومی شده زمین‌شناسی استان تهران؛ تهران: سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

سازمان جنگل‌ها و مراتع(۱۳۹۱)؛ نقشه رقومی شده کاربری زمین استان تهران؛ تهران: سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور.

شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ شیخی، محمد(۱۳۸۹)؛ پهنه‌بندی مناطق حساس و آسیب‌پذیری محیطی در ناحیه غرب فارس، با روش طبقه‌بندی فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی؛ پژوهش‌های جغرافیایی، سال ۴۲: شماره ۷۳،صص ۵۳-۶۸.

علوی پناه، سیدکاظم؛ قربانی، محمد صدیق(۱۳۸۶)؛ نقش سنجش از دور و بررسی‌های میدانی در تجزیه و تحلیل‌های مورفوتکتونیکی: مطالعه موردی: زلزله بم؛ پژوهش‌های جغرافیایی، سال ۳۹: شماره۸، ۱۵-۲۹.

مهدوی نژاد، محمدجواد؛ جوانرودی، کاوان(۱۳۹۱)؛ بررسی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در شبکه‌های ارتباطی تهران بزرگ مطالعه موردی: خیابان ولیعصر (عج) شمالی میدان ولیعصر (عج) تا چهارراه پارک‌وی؛ دو فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران، سال نخست: شماره ۱، صص ۱۳- ۲۱.

منزوی، مهشید؛ سلیمانی، محمد؛ تولایی، سیمین؛ چاووشی، اسماعیل(۱۳۸۹)؛ آسیب‌پذیری بافت‌های فرسوده بخش مرکزی شهر تهران در برابر زلزله (مورد: منطقه ۱۲)؛ پژوهش‌های جغرافیای انسانی، سال۴۲: شماره ۷۳، صص ۱-۱۸.

وزارت راه و شهرسازی تهران(۱۳۹۲)؛ نقشه رقومی شده جمعیت شهری و روستایی و راه‌های ارتباطی ایران؛ تهران: اداره کل راه و شهرسازی استان تهران.

Eastman, J. R. (2006). IDRISI Andes Tutorial. Worcester: Manual Version 15.00. Retrieved from: gis.fns.uniba.sk/vyuka/DTM_ako_sucast_GIS/Kriging/1/Andes_Tutorial.pdf

Kyriazis, D.P., & K.G, Kakderi. (2011). Seismic Risk Assessment and Management of Lifelines. Utilities and Infrastructures 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering. Santiago: Chile. Retrieved from: www.vce.at/SYNER-G/pdf/.../5ICEGE-Pitilakis%20-%20theme%20lecture.pdf

Lantada N., Pujades, LG., & Barbat, A. (2003). Vulnerability and seismic damage scenarios for Barcelona (Spain) by using GIS. Conference on EGS-AGU-EUG Joint Assembly. Nice: France. Retrieved from: http://adsabs.harvard.edu/abs/2003EAEJA.....9103L

Marnureanu, G., Cioflan, C., & Ortanza, M. (2011). Intensity Seismic Hazard Map of Romania by Probabilistic and (NEO) Deterministic Approaches, Linear and Nonlinear Analyses. Romanian Reports in Physics, 63(1), 226–239. Retrieved from: www.rrp.infim.ro/2011_63_1/23-Marmureanu.pdf

Mansouri Daneshvar, M. R., Rezayi, S., & Khosravi, S. (2013). Earthquake vulnerability zonation of Mashhad urban fabric by combining the quantitative models in GIS, northeast of Iran. International Journal of Environmental Protection and Policy, 1(4), 44-49. Retrieved from: http://www.sciencepublishinggroup.com/journal/paperinfo?journalid=266&doi=10.11648/j.ijepp.20130104.11

McBratney, A. B., & Odeh, I. O. A. (1997). Application of fuzzy sets in soil sciences: fuzzy logic, measurements and fuzzy classifications. Journal of Geoderma, 1(77), 85–113. Retrieved from:http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706197000177

Petermans T., Devleeschouwer X., Pouriel, F., & Rosset, P. (2006). Mapping the local seismic hazard in the urban area of Brussels, Belgium. Proceedings of the 10th IAEG congress, Nottingham: United Kingdom. Retrieved from: https://publi2-as.oma.be/record/1567/files/SE_Brussels_Petermans.pdf

Pourmohammad, F., Gheitanchi, M.R., & Zare, M. (2008). Seismic activity in North Central Alborz around Karaj region, revealed by local seismic network. The14th World Conference on Earthquake Engineering. Beijing: China. Retrieved from: www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/14_03-01-0044.PDF

Rashed, K., &Weeks, J. (2003). Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial International. Journal of Geographic Information Science multicriteria analysis of urban areas, 17(6), 547-576. Retrieved from: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1365881031000114071

Zebardast, E. (2007). Mapping Social Vulnerability to Earthquake Hazards by using Analytic Hierarchy Process (AHP) and GIS in Tehran City. Process of Mapasia 2007 conference, Kuala lumpur: Malasia. Retrieved from: https://scholar.google.com/citations?user=r6K7ku0AAAAJ&hl=en