



کاربرد تحلیل ریسک لرزه‌ای در مدیریت بحران ناحیه‌ای با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (نمونه موردی: شهرستان آباده)

اکبر محمدی

استادیار، گروه معماری و شهرسازی، مرکز آموزش عالی فنی مهندسی بوئین زهرا، بوئین زهرا، قزوین a.mohammadi.1981@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: زمین‌لرزه‌ها یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی می‌باشند که تأثیرات زیادی بر فعالیت انسان‌ها در پهنه‌های جغرافیایی دارند. برای مدیریت خطر زلزله، شناخت پهنه‌های آسیب‌پذیر، یکی از مهم‌ترین اقدامات می‌باشد. در مطالعات صورت گرفته در ایران، به‌خصوص در سطح منطقه‌ای، تحلیل‌های صورت گرفته، بیشتر متمرکز بر خطر لرزه‌ای بوده و تحلیل ریسک لرزه‌ای کمتر مورد توجه می‌باشد. در تحلیل ریسک لرزه‌ای هدف اصلی، شناخت میزان اثرگذاری خطر زمین‌لرزه بر انسان و فعالیت‌های انسانی است. در این مطالعه نیز هدف اصلی ارائه روشی مناسب و کارا برای تحلیل ریسک لرزه‌ای در سطوح فراشه‌ری (منطقه) با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌باشد.

روش: روش مورد استفاده در این تحقیق، روش توصیفی-تحلیلی می‌باشد. به همین منظور پس از شناسایی منابع لرزه‌ای با استفاده از منابعی مثل نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و غیره، اقدام به تحلیل خطر لرزه‌ای در سطح محدوده مورد مطالعه گردید. این کار، با استفاده از روش تعیینی انجام شد. در مرحله دوم، پس از شناسایی پهنه‌های آسیب‌پذیر در مقابل زمین‌لرزه، همپوشانی لایه خطر با لایه‌های سکونت‌گاه‌ها، میزان جمعیت و همچنین پیشنهادات طرح‌های منطقه‌ای در زمینه بارگذاری جمعیت و فعالیت صورت گرفت و در مرحله آخر، تحلیل ریسک لرزه‌ای انجام پذیرفت. **یافته‌ها:** یافته‌های تحقیق را در دو بخش مجزا می‌توان مورد بررسی قرار داد. در بخش اول تحلیل ریسک لرزه‌ای منطقه مورد مطالعه، از جنبه سکونت‌گاه‌ها و جمعیت موجود در آن‌ها می‌باشد که یافته‌های تحقیق در این بخش، نشانگر این می‌باشد که هم از نظر تعداد سکونت‌گاه‌ها و هم از نظر جمعیت، میزان آسیب‌پذیری در حد متوسط می‌باشد. در بخش دوم، تحلیل ریسک لرزه‌ای از جنبه پیشنهادات طرح منطقه‌ای (بارگذاری جمعیت و فعالیت) مد نظر قرار گرفته که یافته‌ها نشانگر این امر می‌باشد که پیشنهاد بارگذاری جمعیت و فعالیت‌ها بدون توجه به خطر لرزه‌پذیری منطقه، صورت پذیرفته است.

نتیجه‌گیری: نتایج تحقیق، بیانگر این است که در منطقه مورد مطالعه علی‌رغم توزیع جمعیت و سکونت‌گاه‌ها در محدوده خطر متوسط، به‌دلیل پایین بودن مقاومت واحدهای مسکونی، سیاست‌های بهسازی و مقاوم‌سازی، باید در اولویت قرار گیرد. در ضمن پیشنهادات طرح منطقه‌ای از نظر تحلیل ریسک لرزه‌ای مناسب نبوده و نیاز به بازبینی دارد. این مطالعه نشانگر قابلیت و توانایی بالای GIS در تحلیل خطر ریسک لرزه‌ای در سطوح فضایی فراتر از شهر است که می‌تواند به‌عنوان یک ابزار کارا در مباحث مربوط به برنامه‌ریزی منطقه‌ای و طرح‌های آمایشی در ایران، که یکی از کشورهای آسیب‌پذیر در این زمینه می‌باشد، مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: خطر لرزه‌ای، مدیریت بحران، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، آباده

◀ **استناد فارسی (شیوه APA ویرایش ششم ۲۰۱۰):** محمدی، اکبر (زمستان، ۱۳۹۶). کاربرد تحلیل ریسک لرزه‌ای در مدیریت بحران ناحیه‌ای با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (نمونه موردی: شهرستان آباده). فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۷ (۴)، ۳۵۲-۳۶۲.

The Application of Seismic Risk Analysis in Regional Crisis Management by Using Geographic Information Systems (GIS) (Case study: Abadeh, Iran)

Akbar Mohammadi

Assistant Professor, Buein Zahra Technical High Education Center, Architecture and Urban Planning Department, Buein Zahra, Qazvin

ABSTRACT

Background and objectives: Earthquakes are one of the most important natural dangers that have a great impact on the activity of human beings in the world. One of the most important actions in order to earthquake risk management is to recognize vulnerable areas. The studies in Iran, especially at the regional level, the analysis are more focused on seismic risk and seismic risk analysis is less considered. In the seismic risk analysis, the main objective is to understand the extent of the impact of earthquake hazard on human and human activities. In this study, the main goal is to provide a suitable and effective method for seismic risk analysis in metropolitan areas (areas) by using Geographic Information Systems (GIS).

Method: The used method for this study is a descriptive-analytical method. Therefore, seismic resources identified by using geological maps, satellite imagery, etc., and then the seismic hazard analysis in studied area has been done by using determinative method. In the second phase, after identification of vulnerable zones against earthquake, overlap the risk layer and settlement layers, population rate as well as regional plans suggested to load population and activity, and in the last phase seismic risk analysis was carried out.

Findings: The findings of this study may consider in two parts. In the first part, seismic risk analysis of the studied area is based on the aspect of the settlements and their population, so the findings of the research in this section indicate that the rate of vulnerability considering both number of settlements and population is moderate. In the second part, seismic risk analysis based on suggested regional plans (the population and activity loading) aspect considered, it shows that suggested regional plans to population and activity loading is performed without considering regional seismic risk.

Results: The results of this study indicates that in the studied area, despite the distribution of population and settlements with average risk area, due to the low resistance of residential units, improvement and retrofit policies should be prioritized. In the meantime, the proposed regional plan for seismic risk analysis is not appropriate and requires revision. This study demonstrates the high capability of GIS in seismic risk analysis in spatial levels beyond the city, which can serve as an effective tool for regional planning and research projects in Iran, Which is one of the most vulnerable countries in this field.

Keywords: seismic risk, crisis management, GIS, Abadeh

► **Citation (APA 6th ed.):** Mohammadi A. (2018, Winter). The Application of Seismic Risk Analysis in Regional Crisis Management by Using Geographic Information Systems (GIS)(Case study: Abadeh, Iran). *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK)*, 7(4), 352-362.

مقدمه

زمین‌لرزه‌ها، معرف رها شدن تنش‌های انباشته شده در لیتوسفر می‌باشند که در طول گسل‌ها و شکستگی‌های صفحه‌ای در سنگ‌ها، در محلی که یک سمت به سمت دیگر تغییر مکان حاصل کند، رخ می‌دهد. زمین‌لرزه یکی از مهم‌ترین پدیده‌های طبیعی در زندگی بشر می‌باشد که تأثیرات زیادی را بر فعالیت انسان‌ها در پهنه‌های جغرافیایی متفاوت دارد.

شناخت محیط طبیعی و ویژگی‌های آن، یکی از مؤلفه‌های مهم و تأثیرگذار می‌باشد که در بارگذاری فعالیت و جمعیت، نقش مهمی را ایفا می‌کند. از مؤلفه‌های طبیعی مهم و تأثیرگذار بر فرآیند برنامه‌ریزی، استقرار فعالیت و جمعیت، خطر لرزه‌خیزی می‌باشد که عدم توجه به آن، هزینه‌های زیادی را در بخش‌های فعالیتی یک سرزمین دارد. ایجاد پهنه‌های جمعیتی، پهنه‌های صنعتی، خطوط انتقال نیرو و سایر زیرساخت‌ها و غیره، بدون توجه به خطر زمین‌لرزه در آینده، مشکلات و هزینه‌های زیادی مانند تلفات جانی، هزینه‌های تخریب ساختمان‌ها، تأسیسات و غیره را به دنبال دارد. کشور ایران به عنوان یکی از پهنه‌های در معرض خطر در طول تاریخ، با خطر زلزله و تبعات ناشی از آن، درگیر بوده است. در طی دوران معاصر، روند بارگذاری جمعیت و فعالیت در پهنه سرزمینی ایران، با استفاده از طرح‌های آمایشی و منطقه‌ای می‌باشد، در این طرح‌ها با استفاده از توان‌های محیط، اقدام به بارگذاری جمعیت و فعالیت در پهنه‌های ناحیه‌ای می‌گردد، یکی از مهم‌ترین و تأثیرگذارترین عوامل، در بحث توان‌های محیطی، بحث خطر یا ریسک لرزه‌ای است که در طرح‌های آمایشی ایران، مبنای اساس پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای که در سطح ملی صورت گرفته، می‌باشد. این پهنه‌بندی به دلیل عدم توجه به گسل‌های ناحیه‌ای و محلی در برآورد میزان خطر لرزه‌ای با خطاهای بسیاری همراه است که سیاست‌های آمایشی را با تردید همراه می‌سازد.

در خصوص مطالعات صورت گرفته در زمینه تحلیل ریسک لرزه‌ای در ایران، همانگونه که در مجلات علمی-پژوهشی و همایش‌های علمی به انجام رسیده نیز مشاهده می‌شود، باید به این نکته توجه داشت که اکثر این مطالعات در سطح ملی، شهر و یا یک سایت عمرانی (مثل سد و غیره) بوده و سطح ناحیه‌ای و منطقه‌ای

کمتر مورد توجه قرار داشته است.

هدف اصلی این پژوهش، تحلیل ریسک لرزه‌ای در سطح یک از نواحی شهرستان آباده ایران، با استفاده از اطلاعات جمعیتی و پیشنهادات طرح ناحیه‌ای در خصوص بارگذاری جمعیت و فعالیت می‌باشد. مهم‌ترین نوآوری این تحقیق نیز تلفیق روش‌های تحلیل خطر لرزه‌ای و ریسک لرزه‌ای با سیستم اطلاعات جغرافیایی و بررسی اثرات آن بر منطقه مورد مطالعه، از جنبه‌های جمعیتی و فعالیتی می‌باشد که در ایران، تاکنون مطالعه‌ای در این زمینه انجام نگرفته است.

پرسش‌های مطرح شده در این زمینه به صورت زیر می‌باشد:

- روند تحلیل ریسک لرزه‌ای در سطح ناحیه، با استفاده از GIS به چه صورتی است؟
- آیا طرح ناحیه‌ای مورد بررسی در زمینه میزان بارگذاری جمعیت و فعالیت، به بحث تحلیل ریسک لرزه‌ای توجه داشته است؟
- وضعیت کنونی استقرار جمعیت در ناحیه، با توجه به خطر زلزله به چه صورتی است؟

پیشینه پژوهش و ادبیات نظری

واژه تحلیل خطر^۱، به برآورد مقادیر جنبش زمین و برخی از پارامترهای وابسته به آن، بدون در نظر گرفتن پیامدهای این جنبش، در محدوده یا سایت مورد نظر گفته می‌شود. علاوه بر آن، خطرپذیری^۲ نیز به بررسی پیامدهای جنبش نیرومند زمین در محدوده یا سایت مورد نظر نیز اشاره دارد (ریاضی‌راد و همکاران، ۱۳۸۸). در محاسبه ریسک لرزه‌ای در سایت مورد نظر، پارامترهایی همچون میزان مقاومت سازه‌ها و لایه‌های متعدد و متنوع دیگر اطلاعات نیز دخیل می‌باشند (ریاضی‌راد، کی‌نژاد و قومی اوایی، ۱۳۸۸). در مطالعاتی که در اواخر دهه ۱۹۶۰ و اوایل دهه ۱۹۷۰ میلادی صورت می‌گرفت اکثراً تأکید بر تحلیل خطر بوده و بحث ریسک و خطرپذیری کمتر مورد توجه قرار می‌گرفته است ولی در طی دهه‌های بعدی به‌ویژه در اواخر دهه ۱۹۸۰ تا سال ۲۰۰۰ به دنبال مطرح شدن دهه‌های بین‌المللی برای کاهش بلایای طبیعی^۳، بحث خطرپذیری و تحلیل

1. Hazard Analysis

2. Risk

3. International Decade for Natural Disaster Reduction

خطرپذیری^۱ وارد ادبیات این مبحث گردید (تایگونوف، گرانثال، وال استورم، استمپنیوسکی و چا^۲، ۲۰۰۶).

از مهم ترین تحقیقات دسته اول می توان به موارد زیر اشاره داشت:

کورنل^۳ (۱۹۶۸) گراندوری و بندتی^۴ (۱۹۷۳)، ویتمن و همکاران^۵ (۱۹۷۵) ولومیتز و روزنبلو^۶ (۱۹۷۶) اشاره داشت. از نمونه تحقیقات دسته دوم هم می توان به موارد زیر اشاره داشت:

کریمجان^۷ (۱۹۹۲)، پاپادوپولوس و آروانیتیدیس^۸ (۱۹۹۶)، کینگ و همکاران^۹ (۱۹۹۷)، مک کورمک و راد^{۱۰} (۱۹۹۷)، زونو و همکاران^{۱۱} (۱۹۹۸)، سازمان ملل متحد^{۱۲} (۲۰۰۰)، بندیمراد^{۱۳} (۲۰۰۱)، لانگ^{۱۴} (۲۰۰۲)، گیوونینازی و لاگومارسینو^{۱۵} (۲۰۰۴)، موروکس و همکاران^{۱۶} (۲۰۰۴)، ترندافیلوسکی و میلوتینوویچ^{۱۷} (۲۰۰۴)، دی پاسکواله، اورسینی و رومئو^{۱۸} (۲۰۰۵) و وانگ، شی و وانگ^{۱۹} (۲۰۰۵).

در کشور ایران نیز، به تبعیت از روند جهانی مطالعات تحلیل خطر و تحلیل ریسک لرزه ای، تحقیقات متعددی در زمینه مذکور انجام شده است. این مطالعات با توجه به سطح فضایی مورد مطالعه و رشته مطالعات، قابل تقسیم بندی می باشند. سطوح مورد مطالعه از سطح یک سایت برای کارهای عمرانی مثل سدسازی، ساخت نیروگاه، ساختمان های بزرگ شروع شده و تا سطح ملی ادامه می یابد که با توجه به دامنه این مطالعات، می توان حوزه هایی مانند

زمین شناسی، عمران، شهرسازی را طبقه بندی کرد.

در رشته های مربوط به برنامه ریزی شهری و منطقه ای در ایران، مطالعات مربوط به تحلیل ریسک خطر لرزه ای عمدتاً در سطح شهر انجام شده و مطالعات مربوط به سطح منطقه ای کمتر مورد توجه است. از نمونه این مطالعات در سطح شهر می توان به موارد زیر اشاره داشت:

حاتمی نژاد، فتحی و عشق آبادی (۱۳۸۸)، احدنژاد روشنی، روستایی و کاملی فر (۱۳۹۴)، شیعه، حبیبی و ترابی، (۱۳۸۹)، زنگی آبادی، صفایی، محمدی و قائد رحمتی (۱۳۸۷)، صیامی و همکاران (۱۳۹۲).

در همه این مطالعات و موارد مشابه، تحلیل ریسک لرزه ای بدون در نظر گرفتن تحلیل خطر لرزه ای بوده و بیشتر بحث آسیب پذیری بدون در نظر گرفتن شدت زلزله در قسمت های مختلف شهر مد نظر می باشد که این امر باعث کاهش دقت در تحلیل ریسک لرزه ای در ایران گردیده است. در بحث طرح های برنامه ریزی منطقه ای در سطح کشور هم برای بارگذاری جمعیت و فعالیت از نقشه پهنه بندی خطر صورت گرفته در سطح ملی استفاده می شود که با توجه به کوچک مقیاس بودن، این مطالعات فاقد دقت لازم در زمینه تحلیل خطر می باشند.

از نمونه تحقیقات مشابه در زمینه تحلیل ریسک لرزه ای در سطح منطقه ای می توان به موارد زیر اشاره داشت:

لیو و همکاران^{۲۰} (۲۰۱۱) در مطالعه ای به تحلیل ریسک لرزه ای جمعیت در منطقه ون چوان چین پرداختند. در این تحقیق، در ابتدا با استفاده از روش احتمالی و استفاده از داده های لرزه ای سال های ۱۹۶۶ تا ۲۰۱۰ تحلیل خطر لرزه ای انجام گرفت و در ادامه با استفاده از تحلیل فضایی، به شناسایی و تحلیل ریسک لرزه ای جمعیت ساکن در منطقه ون چوان چین پرداخته شد. نتایج تحقیق، نشان دهنده این است که پهنه های ریسک لرزه ای جمعیتی که خروجی تحقیق می باشند می تواند به عنوان یک ابزار کارآمد در خدمت برنامه ریزان و سیاست گذاران باشد.

کینگ و کریمجان^{۲۱} (۱۹۹۴) در تحقیقی با عنوان آسیب لرزه ای منطقه ای و تحلیل ریسک با استفاده از GIS به تحلیل

20. Liu et al.

21. King and Kiremidjian

1. Risk Analysis

2. Tyagunov, Grunthal, Wahlström, Stempniewski and Zschau

3. Cornell

4. Grandori and Benedetti

5. Whitman et al

6. Lomnitz and Rosenblueth

7. Kiremidjian

8. Papadopoulos and Arvanitides

9. King et al.

10. McCormack and Rad

11. Zonno et al.

12. RADIUS

13. Bendimerad

14. Lang

15. Giovannazzi and Lagomarsino

16. Mouroux et al.

17. Trendafiloski and Milutinovic

18.

19. Wang, Y., Shi and Wang J.

به صورت یک سری متناوب از گسیختگی‌ها یا لغزش‌ها در طول گسل روی می‌دهد.

روش

مطالعه حاضر از نوع مطالعات کاربردی بوده و روش مورد استفاده در این تحقیق، روش توصیفی-تحلیلی می‌باشد. در مرحله اول که در برگیرنده چارچوب نظری تحقیق می‌باشد از روش مطالعات کتابخانه‌ای استفاده شده و در مرحله دوم پس از گردآوری اسناد و نقشه‌های مورد نیاز، رقومی نمودن آن‌ها و انجام تحلیل‌های فضایی، اقدام به تهیه نقشه‌های موضوعی شده است که این نقشه‌ها در امر تحلیل، محقق را یاری می‌نمایند. در این خصوص، از ابزارها و توابع فضایی موجود در نرم‌افزار ARC GIS مانند Map algebra، distance و غیره، استفاده گردیده است.

مراحل تحلیل خطر لرزه‌ای جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در محدوده مورد مطالعه:

- شناسایی چشمه‌ای لرز زا
 - تعیین زمین‌لرزه کنترلی برای هر گسل
 - انتخاب روابط کاهندگی برای پارامترهای جنبش زمین
 - تحلیل آسیب‌پذیری محدوده مورد مطالعه
- در گام اول می‌بایست تمام چشمه‌های لرزه‌زا که امکان ایجاد خرابی در سایت مد نظر را دارند، شناسایی گردند. این شناسایی‌ها بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی معتبر، بازدیدهای محلی و همچنین از تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی و زلزله‌شناسی حاصل می‌گردند. در این تحقیق، جهت شناسایی گسل‌ها در شعاع ۲۰۰ کیلومتری محدوده مورد مطالعه از نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی که شامل ۶۳ برگ بوده و همچنین در موارد تکمیلی‌تر از تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده شده است. اطلاعات مربوط به کانون‌های زمین‌لرزه در شعاع ۲۰۰ کیلومتری نیز در طی ۱۰۰ سال گذشته از پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی اخذ شده است. کل داده‌های جمع‌آوری و اخذ شده جهت تشکیل یک بانک اطلاعاتی وارد محیط نرم‌افزار ARC GIS ۱۰٫۱ گردید.

در گام دوم تعیین زمین‌لرزه کنترلی، بر اساس فعالیت گسل‌ها صورت پذیرفت. زمین‌لرزه کنترلی مقدار حداکثر زمین‌لرزه ناشی

اثرات خطر زلزله‌های منشاء گرفته از گسل واساتچ، بر روی کانتی‌سالتیک پرداخته‌اند. در این تحقیق که با استفاده از GIS به انجام رسیده است، با همپوشانی لایه خطر زلزله احتمالی با لایه‌های مختلف مثل زیرساخت‌ها، ساختمان‌های موجود، جمعیت و غیره، به بررسی اثرات زلزله در سطح منطقه و ارائه راهکارهای مناسب در این زمینه پرداخته شده است.

پادگت، دسروچز و نیلسون^۱ (۲۰۱۰) در تحقیقی به بررسی ریسک لرزه‌ای شبکه پل‌ها (۳۷۵ پل) در منطقه چارلستون و مناطق اطراف آن و همچنین بررسی هزینه‌های ایجاد شده پرداخته‌اند که نتایج تحقیق، نشان‌دهنده حساسیت ارزیابی ریسک به مدل‌های منحنی‌های شکنندگی پل‌ها و نرخ خسارت‌ها می‌باشد.

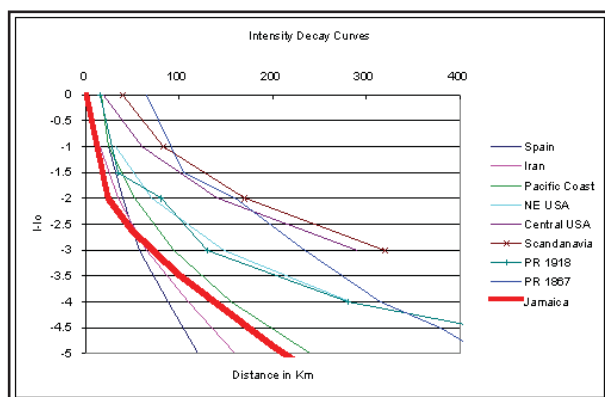
برآورد خطر زمین‌لرزه به دو روش تعینی (DSHA)^۲ و احتمالی (PSHA)^۳ صورت می‌گیرد. در روش تعینی، با استفاده از منابع لرزه‌ای (گسل‌ها) و تخمین طول و فاصله آنها از محدوده مورد مطالعه و نیز با به‌کارگیری روابط تجربی مذکور و میانگین‌گیری از آن‌ها، به تأثیر گسل‌های مربوط در محدوده مورد مطالعه پرداخته می‌شود.

مدل‌های قدیمی تحلیل خطر لرزه‌ای اولین بار توسط کورنل^۴ (۱۹۶۸) و میلن^۵ و داون‌پورت^۶ (۱۹۶۸) مطرح شدند. در تمام این مدل‌ها فرض بر این است که کل انرژی آزاد شده توسط زلزله از کانون زلزله منتشر می‌شود، بنابراین به این مدل‌ها، مدل‌های point-source می‌گویند. استفاده از این مدل‌ها در خصوص برخی از زلزله‌های مهم درست نیست زیرا وقتی که تمام انرژی آزاد شده در طول ناحیه گسیختگی توزیع می‌شود و این نواحی صدها کیلومتر طول دارند، این امر که انرژی به‌صورت کانونی آزاد می‌شود، درست به نظر نمی‌رسد.

برای غلبه بر ناکارآمدی مدل‌های point-source کیریمجان^۷ (۱۹۹۷) مدل Fault-source را مطرح کرد. این مدل بر این فرض استوار بود که یک زلزله از کانون منشاء می‌گیرد ولی

1. Padgett, Desroches and Nilsson
2. Deterministic Seismic Hazard Analysis
3. Probabilistic Seismic Hazard Analysis
4. Conell.c
5. Milne.w
6. Davenport.a
7. Kiremidjian

میزان این میرایی به عوامل مختلفی از جمله شرایط زمین‌شناسی و نوع حرکت گسل ربط دارد. در شکل شماره (۱) روابط کاهندگی محاسبه شده برای نقاط مختلف دنیا نشان داده شده است.



شکل ۱. منحنی‌های کاهندگی در مناطق مختلف دنیا (آژانس توسعه بین‌المللی، ۱۹۹۳)

در این تحقیق، با توجه به ویژگی‌های منطقه و نیز داده‌های در دسترس، از روابط کاهندگی زارع و سبزیلی^۶ (۲۰۰۶) قدرتی امیری و همکاران^۷ (۲۰۰۷) و دانوان^۸ (۱۹۷۳)، استفاده گردیده است. روش کار بدین صورت است که ابتدا با استفاده از روابط کاهندگی مورد نظر، پارامتر حرکتی چشمه لرزه‌زا را در محل سایت، تعیین کرده و در صورتیکه برای یک گسل، از بیش از یک رابطه کاهندگی استفاده شده باشد، می‌توان از روش درخت منطقی به منظور استخراج نتیجه نهائی استفاده کرد. سپس بعد از تهیه لایه‌های بیشینه شتاب زمین برای گسل‌های مختلف در محدوده مورد مطالعه، برای تهیه لایه نهائی بیشینه شتاب زمین، از همپوشانی تمام لایه‌های استخراج شده در مرحله قبل استفاده می‌شود. در مرحله آخر نیز، برای تحلیل آسیب‌پذیری و ارزیابی سیاست‌های آمایشی در محدوده مورد مطالعه، همپوشانی لایه‌های ریزپهنه‌بندی زلزله و نقشه‌های جمعیت، سکونت‌گاه‌ها و بارگذاری جمعیت و فعالیت این محدوده، انجام شده است تا میزان آسیب‌پذیری^۹ پهنه‌ی منطقه، مشخص گردد. شکل شماره (۲) فرآیند انجام این پژوهش را نشان می‌دهد.

از فعالیت گسل می‌باشد و با توجه به خصوصیات لرزه خیزی گسل و با استفاده از روابط تجربی محاسبه می‌شود.

ویژگی‌های اصلی یک گسل که بر میزان لرزه خیزی آن موثر هستند را می‌توان شامل سطح گسیختگی، سطح لغزش و طول گسل دانست. به دلیل در دسترس نبودن اطلاعات مربوط به سطح گسیختگی و سطح لغزش در اکثر موارد از طول گسل به عنوان یکی از مهمترین پارامترهای موثر بر لرزه خیزی یاد می‌کنند. در این خصوص روابط تجربی متعددی وجود دارند که بر اساس مطالعات لرزه خیزی در نقاط مختلف جهان به‌دست آمده‌اند. بعضی از این روابط تجربی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته‌اند عبارتند از:

فرمول‌های تجربی آمبرسیز و جکسون^۱ (۱۹۸۹)، مهاجر اشجعی و نوروزی^۲ (۱۹۷۸)، توچر^۳ (۱۹۵۸)، سلمونز^۴ (۱۹۹۷) و ولز و کوپر اسمیت^۵ (۱۹۹۴).

با استفاده از روابط بالا برای یک گسل، چندین بزرگا محاسبه می‌شود. جهت انتخاب زمین‌لرزه کنترلی می‌بایست به هر کدام از این بزرگاها یک وزن اختصاص دهیم، به گونه‌ای که مجموع اوزان داده شده به همه بزرگاها برابر با یک شود و سپس با ضرب این اوزان در بزرگاها و جمع آن‌ها زمین‌لرزه کنترلی را انتخاب کنیم که به این روش، روش درخت منطقی می‌گویند.

در گام سوم، بعد از محاسبه بزرگای زمین‌لرزه، باید چگونگی کاهش شدت زمین‌لرزه‌ها از مرکز و یا از چشمه لرزه‌ای محاسبه شود، که در این زمینه از روابط میرایی یا کاهندگی استفاده می‌گردد. از آنجا که میرایی در مناطق مختلف، متفاوت می‌باشد، در نقاط مختلف دنیا، مطالعات گسترده‌ای توسط محققان مختلف انجام و روابطی به نام روابط کاهندگی ارائه شده است.

بعد از وقوع زمین‌لرزه، برای بررسی میزان اثرگذاری لرزش‌ها بر سایت و یا ناحیه مورد مطالعه، از روابط میرایی استفاده می‌گردد. با دور شدن از مرکز زمین‌لرزه، جنبش زمین با شدت کمتری احساس می‌شود و این مطلب نشان‌دهنده میرایی جنبش زمین می‌باشد.

6. USAID

7. Zare and Sabzali

8. Ghodrati Amiri et al.

9. Donovan

10. vulnerability

1. Ambraseys and Jackson

2. Nowroozi and Mohajer Ashjai

3. Tocher

4. Slemmons

5. Wells and Coppersmith



شکل ۲. فرآیند انجام پژوهش

محدوده مورد مطالعه:

مهم ترین گسل‌های تاثیرگذار بر لرزه‌خیزی منطقه مورد مطالعه

به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- گسل اصلی زاگرس
- ۲- گسل دهشیر
- ۳- گسل آباد
- ۴- گسل دنا

گسل اصلی زاگرس با امتداد شمال باختری-جنوب خاوری (N۱۳۰E) از مریوان، مرز غربی ایران با عراق تا شمال بندرعباس به طول ۱۳۵۰ کیلومتر امتداد دارد. این گسل، در ناحیه مریوان وارد خاک عراق می‌شود و مجدداً در ناحیه سردشت وارد ایران شده و از آنجا وارد خاک ترکیه می‌گردد.

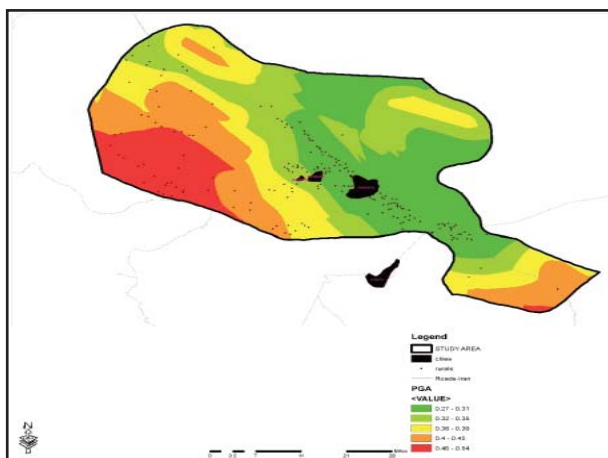
راستای گسل زاگرس از مرز ترکیه تا خاور حاجی آباد بندرعباس، شمال باختری-جنوب خاوری (N۱۳۰E) است ولی در این پهنه پیچش می‌یابد. از این مکان به سمت جنوب، گسل زاگرس با درازای ۲۵۰ کیلومتر دارای روند شمال باختری-جنوب خاوری (N۱۷۰E) است. این بخش از گسل زاگرس، به نام‌های خط عمان، گسل زندان و یا گسله میناب نیز نامیده می‌شود. سازوکار گسل زاگرس رانندگی- فشاری است. شیب گسل، در بخش با راستای N۱۳۰E، به سمت شمال خاوری (رانده شدن ایران مرکزی بر روی زاگرس) و در بخش N۱۷۰E به سمت خاور شمال خاوری (رانده شدن مکران بر روی زاگرس) است.

محدوده مکانی مورد مطالعه شهرستان آباد است. این شهرستان یکی از شهرستان‌های شمالی استان فارس می‌باشد که مرکز آن شهر آباد بوده و بین عرض‌های جغرافیایی ۳۰ درجه و ۴۵٫۹۷ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۱٫۹۵ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۸٫۳ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی قرار دارد. مساحت این شهرستان در حدود ۵۶۴۵۶۳ هکتار و جمعیت ساکن در آن براساس آخرین سرشماری سال ۱۳۹۵، ۱۰۸۳۱ نفر بوده است که از این مقدار، ۸۶ درصد در نقاط شهری و ۱۴ درصد در نقاط روستایی و عشایری ساکن هستند. شهر آباد به عنوان مرکز و همچنین مهم‌ترین شهر این شهرستان، جمعیتی در حدود ۵۹۱۱۶ نفر را در خود جای داده است که در حدود ۵۹ درصد از جمعیت کل شهرستان می‌باشد (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). این امر بیانگر پراکنش نامنظم فضایی جمعیت در سطح این شهرستان است.



شکل ۳. نقشه محدوده مورد مطالعه

شتاب (PGA) محاسبه شده برای محدوده مورد مطالعه و مساحت مربوط به هر طبقه نیز، در نقشه و جدول زیر نشان داده شده‌اند.



جدول ۱. مساحت پهنه‌های بیشینه شتاب زمین (هکتار)

مساحت	بیشینه شتاب زمین (PGA)
۱۶۱۷۴۰	۰.۳۱-۰.۳۷
۱۲۶۸۶۹	۰.۳۵-۰.۳۲
۱۱۱۲۱۲	۰.۳۹-۰.۳۶
۱۰۲۳۹۱	۰.۴۵-۰.۴
۶۲۳۵۱	۰.۵۴-۰.۴۶

بر اساس یافته‌ها بیشینه شتاب زمین در سطح محدوده مورد مطالعه، بین ۰/۲۷ تا ۰/۵۴ می‌باشد که بیشترین مساحت، به پهنه با شتاب افقی ۰/۳۵-۰/۳۲ با ۱۲۶۸۶۹ هکتار و کمترین مساحت به پهنه با شتاب ۰/۴۶-۰/۴۵ با ۶۲۳۵۱ هکتار اختصاص دارد. از نظر موقعیت پهنه‌ها نیز، پهنه‌های با شتاب کمتر در قسمت‌های مرکزی، شرقی و شمال شرقی و پهنه‌های با شتاب بیشتر در قسمت‌های غربی و جنوب غربی محدوده قرار گرفته‌اند.

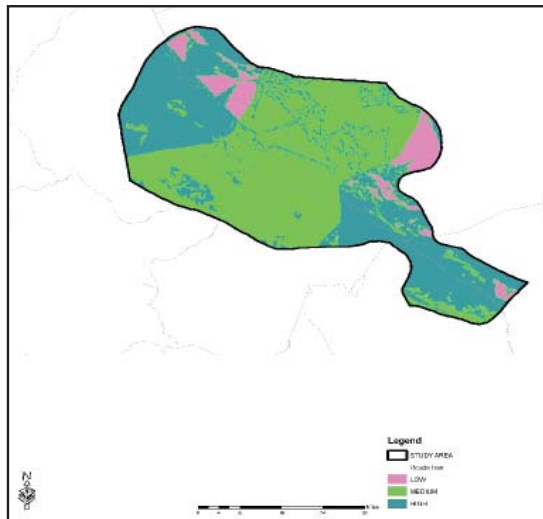
در مرحله بعدی جهت بررسی میزان آسیب‌پذیری در سطح محدوده، اقدام به همپوشانی لایه‌ها و استخراج نتایج آن، گردیده است. نمودار شماره (۳) نیز، نحوه توزیع تعداد سکونت‌گاه‌های محدوده را با توجه به پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه نشان می‌دهد. همانطور که در این نمودار مشاهده می‌گردد، بیشترین تعداد سکونت‌گاه‌های محدوده، در طبقه شتاب ۰/۳۱-۰/۲۷ قرار دارند (۵۲ درصد سکونت‌گاه‌ها) و کمترین تعداد هم مربوط به طبقه شتاب ۰/۴۵-۰/۴۰ با ۱۰ درصد تعداد سکونت‌گاه‌ها می‌باشد.

این گسل در منطقه ایزدخواست واقع شده است. گسل آباده مرز بین واحدهای کواترنر و آهک‌های دولومیتی پرمین و دولومیت‌های تریاس را می‌سازد. طول این گسل در حدود ۱۱۰ کیلومتر می‌باشد. راستای این گسل شمال‌باختر- جنوب‌خاور با آزمون ۱۴۰ درجه می‌باشد. سازوکار این گسل معکوس^۱ است. گسل دهشیر در دامنه جنوبی رشته‌کوه شیرکوه قرار دارد و روند آن تقریباً مشابه با روند گسل اصلی زاگرس می‌باشد. طول این گسل در حدود ۳۵۰ کیلومتر با جهت شمال غربی- جنوب شرقی از نائین آغاز شده و تا حوالی سیرجان ادامه می‌یابد (بربریان، ۱۳۶۷). امتداد این گسل ۱۶۰ کیلومتر می‌باشد که در عرض‌های بالاتر، این امتداد کمی تغییر کرده و به حدود ۱۵۰ کیلومتر می‌رسد. این گسل، راستالغز راستگرد همراه با مؤلفه کوچک فشارشی می‌باشد.

گسل دنا با راستای شمال شمال باختری و شیب به سمت خاور شمال خاوری یکی از گسل‌های اصلی زاگرس است که بیش از ۱۰۰ کیلومتر طول دارد و طرفین خود را به دو بخش با ویژگی‌های زمین‌ساختی، لرزه‌زمین‌ساختی و ریخت‌شناسی متفاوت تقسیم کرده است. راستای گسل، شمال-شمال باختر و جنوب جنوب خاور می‌باشد. سازوکار این گسل نیز، معکوس می‌باشد. (ارفع‌نیا، ۱۳۹۳). البته به‌جز گسل‌های مذکور گسل‌های فرعی دیگری نیز وجود دارند که منطقه مورد مطالعه را از نظر لرزه‌ای تحت تأثیر قرار می‌دهند که در مجموع ۴۵۰ قطعه گسل در شعاع ۲۰۰ کیلومتری شناسایی شده‌اند.

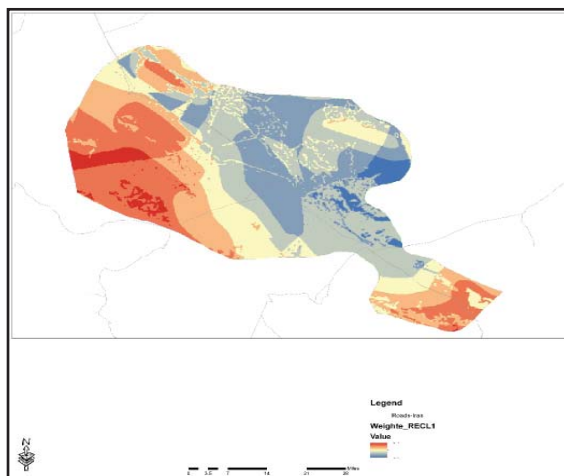
یافته‌ها

همانطور که در بخش روش تحقیق اشاره گردید، در مرحله اول اقدام به پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای در سطح شهرستان گردید. پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه با استفاده از داده‌های مربوط به گسل‌های موجود در منطقه، کانون‌های ثبت شده زمین‌لرزه و همچنین اطلاعات استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای انجام گردیده است. این داده‌ها پس از ورود به نرم‌افزار ARC GIS با استفاده از روش‌هایی نظیر تحلیل فضایی، تحلیل فاصله و همچنین توابع مربوط به پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند که نتایج این تحلیل در نقشه شماره (۲) و همچنین جدول شماره (۱) ارائه گردیده است. همچنین بیشینه



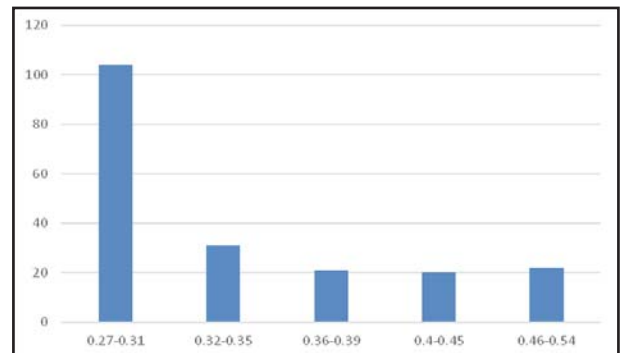
شکل ۷. قابلیت اراضی محدوده مورد مطالعه بر اساس طرح جامع ناحیه‌ای شمال استان فارس

برای ارزیابی پیشنهادات صورت گرفته در این طرح، لایه مربوط به بارگذاری جمعیتی و طبقه‌بندی بیشینه شتاب زمین در سطح محدوده مورد مطالعه، در برنامه ARCGIS همپوشانی شد تا پیشنهادات صورت گرفته با توجه به خطر زلزله مورد ارزیابی قرار گیرند. در نقشه تولید شده، پیکسل‌هایی که ارزش بالاتری را به خود اختصاص داده‌اند، از نظر قابلیت بارگذاری دارای درجه بالاتری بوده و در ضمن در طبقه با شتاب بالاتری قرار گرفته‌اند. همانطور که در نقشه شماره (۶) نیز مشاهده می‌گردد قسمت‌های غربی و جنوبی محدوده، ارزش بالاتری را از این نظر کسب نموده‌اند.



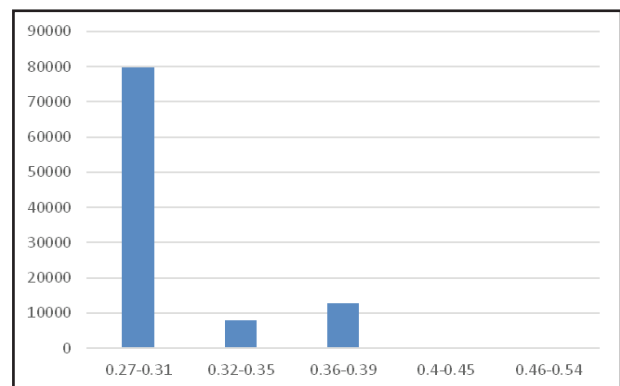
شکل ۸. نقشه روی هم گذاری PGA و قابلیت بارگذاری

جهت ارائه تصویری روشن از پیشنهادات بارگذاری جمعیتی و فعالیت، با توجه به لرزه‌خیزی محدوده، جدول شماره (۳) ارائه



شکل ۵. نمودار تعداد سکونت‌گاه‌های محدوده مورد مطالعه در طبقات بیشینه شتاب زمین (PGA)

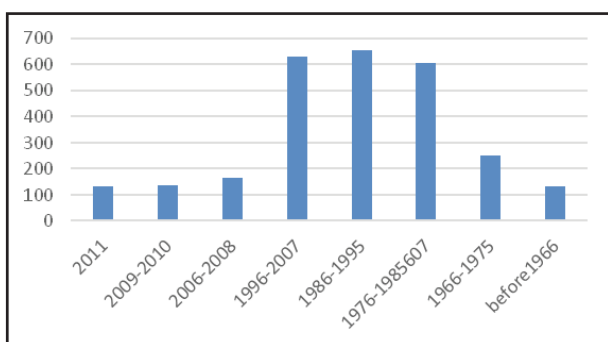
در نمودار شماره (۴) نحوه توزیع جمعیت در طبقات بیشینه شتاب زمین نشان داده شده است. همانطور که در این نمودار نیز مشاهده می‌گردد، بیشترین تعداد جمعیت در طبقه شتاب $0.31-0.4$ مشاهده می‌گردد. استقرار دارد (با $79/2$ درصد) که یکی از عمده‌ترین دلایل آن، قرارگیری شهر آباده به عنوان مرکز شهرستان و بزرگترین مرکز سکونت در این طبقه، می‌باشد. کمترین تعداد جمعیت هم در طبقه $0.46-0.54$ (با $0/1$ درصد) استقرار یافته‌اند.



شکل ۶. توزیع جمعیت در طبقات بیشینه شتاب زمین (PGA)

در طرح‌های ناحیه‌ای و آمایشی تهیه شده در ایران، نقشه‌هایی تحت عنوان نقشه بارگذاری جمعیتی و فعالیت تهیه می‌شود که نشان‌دهنده پهنه‌های مناسب برای فعالیت و استقرار جمعیت می‌باشد. در نقشه شماره (۵)، نقشه قابلیت بارگذاری جمعیتی و فعالیت برای محدوده مورد مطالعه براساس اطلاعات طرح جامع ناحیه‌ای شمال استان فارس، نشان داده شده است. همانطور که در این نقشه نیز ملاحظه می‌گردد، پهنه‌بندی قابلیت، در سه طبقه قابلیت کم، قابلیت متوسط و قابلیت بالا طبقه‌بندی گردیده است.

عمر ساختمان‌ها نیز بیشتر ساختمان‌های محدوده مورد نظر، متعلق به قبل از سال ۲۰۰۶ می‌باشند، در نمودار زیر نیز وضعیت عمر ساختمان‌های محدوده مورد مطالعه، نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، در این محدوده، حتی ساختمان‌هایی با عمر بیش از ۴۵ سال با مصالح نامقاوم وجود دارد که زنگ خطری برای این محدوده به‌شمار می‌روند.



شکل ۹. عمر ساختمان‌های موجود در محدوده مورد مطالعه

از نتایج دیگر این تحقیق، تمرکز و تجمع جمعیت، در نقاط خاصی از محدوده می‌باشد که بیشتر در شهرهای آباد، صغاد، ایزدخواست و سورمق قرار گرفته‌اند که با توجه به قرارگیری در محدوده با شتاب زمین کمتر، نسبت به نقاط دیگر، وضعیت مناسبی را در این زمینه دارا می‌باشند. همچنین این امر، درخصوص تعداد سکونت‌گاه‌ها نیز صادق است که دلیل این امر را نیز می‌توان در اقلیم ناحیه و نحوه قرارگیری دسترسی‌ها در سطح محدوده، جستجو کرد.

برای ارزیابی طرح‌های ناحیه‌ای و آمایشی در محدوده مورد نظر نیز، از طرح جامع ناحیه‌ای شمال استان فارس استفاده گردید و با همپوشانی لایه‌های تحلیل خطر لرزه‌ای و قابلیت بارگذاری جمعیتی و فعالیتی در سطح محدوده، مشخص شد که در امر مطالعات مربوط به بارگذاری جمعیت و فعالیت، توجهی به امر خطر لرزه‌ای در سطح محدوده مورد مطالعه، نگردیده است، بنابراین شاهد پیشنهادات بارگذاری بالا در مناطق با خطر لرزه‌ای بسیار بالا هستیم که در آینده احتمال ایجاد بحران و تحمیل زیان‌های مالی و جانی بسیاری را به دنبال خواهد داشت.

GIS به عنوان یک ابزار کارآمد و قوی، نقش بسیار مهمی در مدیریت بحران منطقه‌ای دارد. در این تحقیق، با استفاده از این ابزار، به تحلیل خطر لرزه‌ای و بررسی میزان آسیب‌پذیری در یک محدوده در کشور ایران پرداخته شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشانگر

گردیده است. همانطور که در جدول نیز مشاهده می‌گردد، بیشترین درصد از مساحت محدوده مورد مطالعه در طبقه با قابلیت زیاد برای بارگذاری و با شتاب افقی ۰/۳۱-۰/۲۷ قرار دارد (۱۰/۹۳ درصد از مساحت محدوده). همچنین مشاهده می‌شود که در رده‌های بعدی، طبقه با قابلیت زیاد و شتاب افقی ۰/۴۵-۰/۴ قرار گرفته است. و طبقه با قابلیت کم و شتاب افقی ۰/۵۴-۰/۴۶ بدون در بر گرفتن سطحی از محدوده، در رتبه آخر جای دارد.

جدول ۲. طبقه‌بندی محدوده مورد مطالعه بر اساس قابلیت بارگذاری و بیشینه شتاب زمین (PGA)

	0.27-0.31	0.32-0.35	0.36-0.39	0.4-0.45	0.46-0.54	جمع
بارگذاری کم	2.54%	2.53%	1.80%	0.46%	0.00%	7.33%
بارگذاری متوسط	15.18%	13.39%	8.40%	7.26%	8.01%	52.24%
بارگذاری زیاد	10.93%	6.56%	9.50%	10.42%	3.03%	40.43%
جمع	28.65%	22.47%	19.70%	18.14%	11.05%	100.00%

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

تحلیل اثرات زمین‌لرزه در سطوح منطقه‌ای و بررسی ابعاد آن، یکی از مهم‌ترین کارهایی است که در برنامه‌ریزی منطقه‌ای و طرح‌های آمایشی می‌تواند مطرح گردد و از هزینه‌های ناشی از بحران‌های احتمالی، در آینده بکاهد. بنابراین در این تحقیق و با هدف ذکر شده، یکی از مناطق ایران، با دیدگاه مدیریت بحران منطقه‌ای و ارزیابی ریسک لرزه‌ای مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که نتایج آن به شرح زیر می‌باشد:

از نظر بیشینه شتاب زمین، با توجه به اینکه حد پایین آن در منطقه مورد مطالعه ۰/۲۷ می‌باشد، محدوده در پهنه با خطر متوسط قرار دارد. بر اساس اطلاعات مرکز آمار ایران، اکثر ساختمان‌های این محدوده، دارای اسکلت بتنی بوده (۸۹ درصد) و تعداد ساختمان‌های مقاوم و با اسکلت فلزی و بتنی خیلی کم می‌باشد. در ضمن باید این نکته را در نظر داشت که در مناطق روستایی محدوده مورد مطالعه، که براساس تحلیل خطر لرزه‌ای در نواحی با شتاب بسیار بالا قرار گرفته‌اند، وضعیت بسیار نامناسب‌تر بوده و استفاده از مصالح نامقاوم مثل خشت و گل هنوز درصد بسیار زیادی از ساخت‌وسازها را به خود اختصاص داده است. از نظر



زلزله - نمونه موردی: مسکن شهر اصفهان، جغرافیا و توسعه - شماره ۱۲، بازیابی از:

<http://fa.journals.sid.ir/ViewPaper.aspx?ID=82005>

سازمان مسکن و شهرسازی استان فارس، طرح توسعه و عمران ناحیه‌ای شمال استان فارس، مهندسین مشاور ماب، (۱۳۸۴).

شیعه، اسماعیل؛ حبیبی، کیومرث و ترابی، کمال. (۱۳۸۹). بررسی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس (IHWP) و GIS مطالعه موردی منطقه ۶ شهرداری تهران، چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام. بازیابی از:

https://www.civilica.com/Paper-ICIWG04-ICIWG04_109

مرکز آمار ایران، اطلاعات جمعیتی نقاط سکونتگاهی ایران در سرشماری ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵، (۱۳۹۶).

وزارت کشور، نقشه‌های تقسیمات سیاسی ایران، (۱۳۹۰). بازیابی از: archive.mrud.ir

ریاضی‌راد، زهره سادات؛ کی‌نژاد، آناهیتا و قمی‌اویلی، جعفر. (۱۳۸۸). بررسی لرزه‌زمین‌ساخت و لرزه‌خیزی در نوشهر و تعیین مناطق پتانسیل خطر بالا،

نشریه زمین، دوره ۴، شماره ۴. بازیابی از: <http://fa.journals.sid.ir/ViewPaper.aspx?id=131667>

Ambraseys, N. N. and Jackson, J. A., (1998). Faulting associated with historical and recent earthquakes in the eastern Mediterranean region, *Geophys. J. Int.*, 133, 390-406. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-246X.1998.00508.x/abstract>

Bendimerad, F., (2001). Modeling and quantification of earthquake risk: Application to emerging economies, in: *Mitigation and Financing of Seismic Risks*, edited by: Kleindorfer, P. R. and Sertel, M.R., Kluwer Acad. Publ., 13-39. https://link.springer.com/chapter/10.1007/2F978-94-010-0806-8_2

Cornell, C.A., (1968). Engineering seismic risk analysis, *Bull. Seismo.Soc.Am.*, 58:1,583-1,606. https://courses.washington.edu/ess502/Cornell_1968.pdf

Di Pasquale, G., Orsini, G., and Romeo, R. W., (2005). New developments in seismic risk assessment in Italy, *Bull. Earthq. Eng.*, 3, 101-128. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10518-005-0202-1>

Donovan, N., (1973). Earthquake hazards for buildings, *Building practices for disaster mitigation, building science series 46*, Nat. Bur of standards, U. S. Dept. of commerce, Washington D. C., P. 82-111. nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/BSS/nbsbuildingscience46.pdf

Giovinazzi, S. and Lagomarsino, S., (2004). A macroseismic method for the vulnerability assessment of buildings, in: *Proc. of the 13th World Conference on Earthquake Engineering (13 WCEE)*, Vancouver, BC, Canada, 1-6 August, paper no. 896. www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_896.pdf

Ghodrati Amiri, G., Khorasani, M., Mirza Hessabi, M. and Razavian Amrei, S. A., (2010). Ground motion prediction equations of spectral ordinates and Arias intensity for Iran, *Journal of Earthquake Engineering*, 14, 1-29. https://www.civilica.com/Paper-OMIK03-OMIK03_131=Ground-Motion-Prediction-Equations-of-Spectral-Ordinates-and-Arias-Intensity-for-Iran.html

Grandori, G. and Benedetti, D., (1973). On the choice of the acceptable seismic risk, *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, 2, 3-9. <http://>

این امر می‌باشد که با تلفیق نقشه‌های خطر لرزه‌ای و نقشه‌های مربوط به جمعیت و فعالیت، با استفاده از GIS، در سطوح منطقه‌ای و حتی ملی می‌توان از هزینه‌های مربوط به خطر زمین‌لرزه احتمالی تا حدود زیادی کاست و مدیریت بحران کاراتر و موثرتری نسبت به خطر زلزله احتمالی داشت. این امر به‌ویژه در بحث مربوط به برنامه‌ریزی منطقه‌ای و آمایش سرزمین که نقش توزیع جمعیت و فعالیت در پهنه‌ی سرزمین را برعهده دارد، نقش موثرتری را ایفا می‌کند.

بر اساس نتایج به‌دست آمده از تحقیق، پیشنهادات زیر ارائه می‌گردد:

- تشکیل بانک‌های اطلاعات جغرافیایی مناطق، با استفاده از GIS در زمینه خطرات لرزه‌ای، اطلاعات اجتماعی و اقتصادی و زیست‌محیطی برای شناسایی اثرات قبل از وقوع بحران و انجام اقدامات مناسب و کارا
- استفاده از ریزپهنه بندی خطر لرزه‌ای در طرح‌های منطقه‌ای و آمایشی

منابع

احمد نژاد، محسن؛ زلفی، علی؛ نوروزی، محمد جواد و جلیلی، کریم. (۱۳۹۰). ارزیابی آسیب‌پذیری اجتماعی شهرها در برابر زلزله نمونه موردی (شهر خرمدره)، فصلنامه چشم‌انداز جغرافیایی چشم‌انداز زاگرس، دوره ۳، شماره ۷. بازیابی از:

<http://fa.journals.sid.ir/ViewPaper.aspx?id=220634>

احمد نژاد روشتی، محسن؛ روستایی، شهریورو کاملی فر، محمد جواد. (۱۳۹۴). ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه معابر شهری در برابر زلزله با رویکرد مدیریت بحران مطالعه موردی: منطقه ۱ شهر تبریز، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی سپهر، دوره ۲۴ شماره ۹۵. بازیابی از:

<http://www.ensani.ir/fa/content/350759/default.aspx>

ارفع نیا، رامین. (۱۳۹۳). جنبش شناختی ساختارهای گسلی در منطقه اقلید، حاشیه زاگرس بلند، مجله علوم زمین، سال بیست و چهارم، شماره ۹۴، صفحه ۱۰۳-۱. بازیابی از:

http://www.gsjournal.ir/article_43384_17e7d8307c724ededd67fd74c4417e6e.pdf

امینیان، امیر احمد؛ صیامی، قدیر و تقی‌نژاد، کاظم. (۱۳۹۲). آسیب‌شناسی لرزه‌ای پهنه‌های شهری با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس (IHWP) و GIS مطالعه موردی: شهر گرگان، اولین همایش ملی جغرافیا، شهرسازی و توسعه پایدار. بازیابی از:

https://www.civilica.com/PdfExport-GUPSD01_0884

حاتمی‌نژاد، حسین؛ فتحی، حمید و عشق‌آبادی، فرشید. (۱۳۸۸). ارزیابی میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای در شهر نمونه مورد مطالعه: منطقه ۱۰ شهرداری تهران، نشریه پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره ۴۱، شماره ۶۸. بازیابی از:

<http://fa.journals.sid.ir/ViewPaper.aspx?ID=99873>

زنگی‌آبادی، علی؛ صفایی، همایون؛ محمدی، جمال و قائد رحمتی، صفر. (۱۳۸۷). تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری مسکن شهری در برابر خطر



- Engineering, 14:918–933. www.owl.net.rice.edu
- Papadopoulos G. A. and Arvanitides, A., (1996). Earthquake Risk Assessment in Greece, in: Earthquake Hazard and Risk, edited by: Schenk, V., Kluwer Acad. Publ., 221–229. https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-94-009-0243-5_15
- Slemmons, D. B., (1977). Fault and earthquake magnitude. U.S. Army Corps of engineers, Waterways Experimental Station, Miscellaneous papers S, 73. 1. Report 6, 1-129.
- Tocher, D., (1958). Earthquake energy and ground breakage, Bull. Seism. Soc. Am., 48, 147-153. <https://books.google.com/books?id=zKOXAQAACAAJ&dq=editions:OCLC758496391>
- Trendafiloski, G. and Milutinovic, Z., (2004). GIS-oriented method for elaboration of probabilistic earthquake scenarios, in: Proc. of the 13th World Conference on Earthquake Engineering (13 WCEE), Vancouver, BC, Canada, 1–6 August, paper no. 3329. www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_1809.pdf
- Tyagunov, S., Grunthal, G., Wahlström, R., Stempniewski, L., Zschau, J., (2006). Seismic risk mapping for Germany, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 6, 573–586. www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/6/573/2006/nhess-6-573-2006.pdf
- USAID (United States Agency for International Development) and Organization of American States, Caribbean Disaster Mitigation Project (CDMP), Final Report. (1993). Kingston Metropolitan Area Seismic Hazard Assessment, Chapter 3: Ground Motion Modeling for the Kingston Metropolitan Area. pdf.usaid.gov/pdf_docs/PDABD762.pdf
- Wang, Y., Shi, P.-J., and Wang J.-A., (2005). The housing loss assessment of rural villages caused by earthquake disaster in Yunnan Province, Acta Seismol. Sinica, 18, 590–601. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11589-005-0038-4>
- Wells, D., & Coppersmith, J.K., (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, Bulletin of the Seismological Society of America, 84(4), 974-1002. https://www.researchgate.net/publication/215755871_New_Empirical_Relationships_among_Magnitude_Rupture_Length_Rupture_Width_Rupture_Area_and_Surface_Displacement
- Whitman, R. V., Biggs, J. M., Brennan, J. E., Cornell, C. A., Neufville, R. L., and Vanmarcke, E. H., (1975), Seismic design decision analysis, ASCE Struct. Eng. J., 101, 1067–1084.
- Zare, M., and S. Sabzali, (2006). Spectral attenuation of strong motions in Iran, in Proc. of the 3rd International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion, Grenoble, France, 30 August–1 September 2006. <http://www.gmpe.org.uk/gmpereport2014se268.html#x273-2720002.266>
- Zonno, G., Cella, F., Luzi, L., Menoni, S., Meroni, F., Ober, G., Pergalani, F., Petrini, V., Tomasoni, R., Carrara, P., Musella, D., Garc'ia-Fern'andez, M., Jim'enez, M. J., Canas, J. A., Al faro, A.J., Barbat, A. H., Mena, U., Pujades, L. G., Soeters, R., Terlien, M. T. J., Cherubini, A., Angeletti, P., Di Benedetto, A., Caleffi, M., Wagner, J. J., and Rosset, P., (1998). Assessing seismic risk at different geographical scales: concepts, tools and procedures, in: Proc. of the 11th European Conference on Earthquake Engineering, Paris, France, 1998. https://www.researchgate.net/publication/237546683_Assessing_seismic_risk_at_different_geographical_scales_concepts_tools_and_procedures
- onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/eqe.4290020102/full
- Lang, K., (2002). Seismic vulnerability of existing buildings. Dissertation, Inst. of Struct. Eng., Swiss Federal Inst. Technology, Zurich, PP.196.
- e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:25201/eth-25201-01.pdf
- King, S. A., Kiremidjian, A., Anne S., (1994) REGIONAL SEISMIC HAZARD AND RISK ANALYSIS THROUGH GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Department of Civil Engineering Stanford University
- <https://nehrpsearch.nist.gov/static/files/NSF/PB95183612.pdf>
- King, S. A., Kiremidjian, A. S., Bas'oz, N., Law, K., Vucetic, M., Doroudian, M., Olson, R. A., Eidinger, J. M., Goettel, K. A., and Horner, G., (1997). Methodologies for evaluating the socio-economic consequences of large earthquakes, Earthq. Spectra, 13, 565–584. <http://www.earthquakespectra.org/doi/abs/10.1193/1.1585969?code=eeri-site&journalCode=eqsa>
- Kiremidjian, A., (1992). Methods for regional damage estimation, in: Proc. of the 10th World Conference on Earthquake Engineering (10WCEE), Madrid, Spain, 19–25, Balkema, Rotterdam, Vol. 11, 6753–6762, 1994. www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/10_vol11_6753.pdf
- Kiureghian, A., (1975). A Line Source Model for Seismic Risk Analysis. Technical Report UILU-ENG-75-2023. Urbana, IL: University of Illinois. <https://www.ideals.illinois.edu/bitstream/handle/2142/13831/SRS-419.pdf>
- Liu, Huan, Cui, Ximin, Yuan, Debao, Wang, Zehui, Jin, Jingjing, Wang, Mengru, (2011), Study of Earthquake Disaster Population Risk Based on GIS, Procedia Environmental Sciences 11
- <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187802961100987X>
- Lomnitz, C. and Rosenblueth, E., (1986), Seismic Risk and Engineering Decisions, Elsevier, Amsterdam, 425 pp., 1976. <https://nehrpsearch.nist.gov/static/files/NSF/PB282979.pdf>
- McCormack, T. C. and Rad, F. N., (1997) An earthquake loss estimation methodology for buildings based on ATC-13 and ATC-21, Earthq. Spectra, 13, 605–622. <http://www.earthquakespectra.org/doi/abs/10.1193/1.1585971>
- Milne, W. G., and Davenport, A. G., (1969). Distribution of earthquake risk in Canada, Bull. Seismo. Soc. Am., 59, 729–754. <http://www.bssaonline.org/content/59/2/729>
- Mouroux, P., Bertrand, E., Bour, M., Le Brun, B., Depinois, S., Masure Ph. and the RISK-UE team. (2004). The European RISK-UE Project: An advanced approach to earthquake risk scenarios, in: Proc. of the 13th World Conference on Earthquake Engineering (13 WCEE), Vancouver, BC, Canada, 1–6 August, paper no. 3329. www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_3329.pdf
- Nowroozi, A. A. and Mohajer Ashjai, A., (1978). Observed and probable intensity zoning of Iran. Tectonophysics, 49, 149-160. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0040195178901737>
- RADIUS: Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas against Seismic Disasters, (2000). Geneva, Switzerland: IDNDR Secretariat, United Nations, PP.38. <https://www.unisdr.org/we/inform/publications/2752>
- Padgett, Jamie E., Desroches, Reginl and, Nilsson, Emily, (2010). Regional Seismic Risk Assessment of Bridge Network in Charleston, South Carolina, Journal of Earthquake