



Evaluation of seismic risk and structural and population vulnerability a case study of Haji Abad city - Hormozgan Province

Maryam Mirshekarpour¹, Reza Hassanzadeh^{*2}, Amin Hosseinpour Mill Aghardan³

1- M.Sc. Student in Geographic Information System, Graduate University of Advanced Technology, Kerman. Email: maryam.mirshekarpor007@gmail.com

2- (*Corresponding author) Assistant professor, Department of Ecology, Institute of Sciences and High Technology and Environmental Science, Graduate University of Advanced Technology, Kerman. Email: Hassanzadeh22@yahoo.com

3- Assistant professor. Department of Surveying, Graduate University of Advanced Technology, Kerman. Email: amin_hoseinpour@ut.ac.ir

Article Info

Date of receive:

2024/01/26

Date of last review:

2024/09/22

Date of accept:

2024/09/24

Date of online publication:

2024/09/28

Keywords:

Earthquake,
Building vulnerability,
Analytical Network Process
(ANP) method,
Fuzzy Logic,
Geographical Information
System (GIS),
Haji Abad City,
Hormozgan

Extended Abstract

Introduction

Earthquake is one of the natural disasters that occurs suddenly and directly affects human life and urban and rural environment. Among the earthquake damages, we can mention human casualties, destruction of buildings and bridges, accumulation of building debris in the boundaries of roads and streets, destruction of electric poles, disruption of movement in the transportation system (Rikalovic, 2014). In order to determine the level of earthquake risk in a region, conducting seismicity studies has a high priority. Also, in order to identify vulnerable places in a city in order to make major decisions in the field of building improvement and retrofitting, it is necessary to carry out structural and demographic seismic vulnerability research (Ansal et al., 2009; Coburn & Spence, 2002).

The occurrence of severe earthquakes in the region (two earthquakes with a magnitude of 6.4 and 6.3 on the Richter scale on November 14, 2021 near the city of Fin, Hormozgan province) and the presence of active faults such as Main Zagros and Zagros Thrust in the vicinity of Haji Abad city showed the region is exposed to the very high risk of an earthquake occurrence that can cause the destruction of buildings and population losses in this city. Therefore, the purpose of this research is to assess the seismic risk, buildings and population vulnerability of the city due to a probable earthquake in order to determine the vulnerable areas against earthquake hazard.

Methods and Materials

In order to carry out this research, geological, topographical and hydrological data and demographic data were collected from related organizations in Hajiabad city. ... ► Page 46

How to Cite:

Mirshekarpor, M. Hassanzadeh, R. Hosseinpour Mill Aghardan, A. (2025). Evaluation of seismic risk and structural and population vulnerability a case study of Haji Abad City - Hormozgan Province. Scientific - Research Quarterly Geographical Data (SEPEHR). 33(132), 45-64.

Based on field studies, the number of buildings and the type of structures in each neighborhood were collected, and a map of the distribution of buildings and their types was depicted. Then, these data were prepared in the GIS system and prioritized and weighted using multi-criteria decision-making methods such as Analytical Network Process (ANP) and Fuzzy Logic.

The sub-geological criteria include: distance from the fault, thickness of alluvium and the type of soil and sediments, hydrology includes: depth of underground water and topography includes: slope and irregularity of topography. After weighting these criteria and sub-criteria of each, they were combined using weighted linear combination (WLC) method, and an earthquake hazard map considering an earthquake scenario with a magnitude of 1.7 on the Richter scale was produced in the city. Later, the degree of buildings vulnerability based on the fragility curves that were developed based on past research in Iran were estimated in the classes of without destruction to completely collapsed, and the vulnerability of the population was calculated based on the statistics of the Bam earthquake in the classes of the number of healthy people, injured, injured and hospitalized, and dead people.

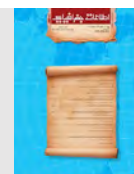
Results & Discussion

The results of seismic microzonation map showed that 3.68 square kilometers of the city is in a very high risk area. Then, based on building vulnerability assessment methods and fragility curves, the destruction level of buildings in the city was evaluated, and it was found that due to an earthquake with a magnitude of 7.1 on the Richter scale, about 80% of the buildings in the city were destroyed over 70% destruction level, and about 11,000 people from the city's population were seriously injured or killed as a result of this earthquake occurrence.

Conclusion

According to the results of this research, we found that the city of Hajiabad is surrounded by two main faults including Main Zagros and the Trust Zagros faults, which has made it impossible to imagine any safe area in the

city. On the other hand, the increase in population and urbanization has caused the extensive development of the city. Therefore, we need efficient disaster and urban management from the relevant organizations to prevent damage and overcome these crises. These measures includes rehabilitating worn-out buildings with low-quality materials, preventing construction in the high-risk areas of the city, making suitable plans to increase the resistancy against earthquakes in the city. Moreover, in order to increase security and speed up relief and response operations, in the areas where the risk is very high, according to the regulations, medical and fire stations should be built. In the vulnerable areas of the city where the population density is high, parks and open spaces should be built for temporary and safe accommodation after the earthquake. Therefore, the results of this research can help experts and urban planners in the field of urban management and crisis management to implement macro policies to reduce the risk of earthquakes, improve preparedness against earthquakes, and prioritize the retrofitting of buildings in this city.



ارزیابی خطر پذیری لرزه‌ای و آسیب‌پذیری سازه‌ای و جمعیتی مطالعه موردی: شهر حاجی‌آباد، استان هرمزگان

مریم میرشکارپور^۱، رضا حسن‌زاده^{۲*}، امین حسین‌پور میل‌آغاردان^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان maryam.mirshkarpor007@gmail.com
۲- (*نویسنده مسئول) استادیار گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان Hassanzadeh22@yahoo.com
۳- استادیار گروه مهندسی نقشه برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان amin_hoseinpoor@ut.ac.ir

چکیده

رخداد زلزله در کشور باعث تخریب شهرها و روستاهای زیادی شده است. وقوع زمین‌لرزه‌های شدید در منطقه مورد مطالعه (دو زمین‌لرزه به بزرگی ۶/۴ و ۶/۳ ریشتری در تاریخ ۲۳ آبان ۱۴۰۰ در نزدیکی شهر فین استان هرمزگان) و وجود گسل‌های فعال (اصلی زاگرس و ترستی زاگرس) در مجاورت شهر حاجی‌آباد می‌تواند باعث تخریب سازه‌ها و تلفات جمعیتی در این شهر شوند. بنابراین، هدف از انجام این تحقیق ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای، آسیب‌پذیری سازه‌ای و جمعیتی شهر در اثر وقوع زمین‌لرزه احتمالی است تا نواحی آسیب‌پذیر در برابر خطرات زمین‌لرزه مشخص شوند. به منظور اجرای این تحقیق داده‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و آب‌شناسی و داده‌های جمعیتی از سازمان‌های مرتبط در محدوده شهر حاجی‌آباد جمع‌آوری و براساس مطالعات میدانی تعداد سازه‌ها و نوع سازه در هر محله برداشت شد. سپس نقشه پراکندگی سازه‌ها و نوع آن‌ها ترسیم شد. در مرحله بعد این داده‌ها در سامانه GIS آماده‌سازی و با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند روش فرآیند تحلیلی شبکه‌ای (ANP) و روش منطق فازی (Fuzzy Logic) اولویت بندی و وزن‌دهی شدند. زیرمعیارهای زمین‌شناسی شامل: فاصله از گسل، ضخامت آبرفت و جنس خاک و رسوبات؛ آب‌شناسی شامل: عمق آب‌های زیرزمینی و توپوگرافی شامل: شیب و بی‌نظمی توپوگرافی هستند. پس از وزن‌دهی این معیارها و زیر معیارهای هر یک با استفاده از روش ترکیب وزنی خطی (WLC) تلفیق شده، نقشه خطرپذیری زمین‌لرزه سناریو با بزرگی ۷/۱ ریشتر در شهر تولید شد. نتایج نشان می‌دهد ۳/۶۸ کیلومتر مربع از وسعت شهر در محدوده خطرپذیری خیلی زیاد قرار دارد. سپس با استفاده از روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری سازه‌ای و منحنی‌های شکنندگی توسعه‌یافته در ایران میزان تخریب سازه‌ها در شهر مورد ارزیابی قرارگرفت که مشخص شد در اثر وقوع زلزله‌ای به بزرگی ۷/۱ ریشتر، حدود ۸۰ درصد ساختمان‌های موجود در شهر دچار تخریب بالای ۷۰ درصد شده و حدود ۱۱۰۰۰ نفر از جمعیت شهر نیز دچار جراحت شدید یا کشته خواهند شد. نتایج این تحقیق می‌تواند کارشناسان و برنامه‌ریزان شهری را در حوزه مدیریت شهری و مدیریت بحران برای اجرای سیاست‌های کلان کاهش خطر زمین‌لرزه، ارتقا آمدگی در برابر وقوع زمین‌لرزه و اولویت‌بندی مقاوم‌سازی سازه‌ها در این شهر یاری رساند.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۱۱/۰۶

تاریخ آخرین بازنگری:

۱۴۰۳/۰۷/۰۱

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۷/۰۳

تاریخ انتشار:

۱۴۰۳/۰۷/۰۷

واژه‌های کلیدی:

زلزله؛
آسیب‌پذیری سازه‌ای؛
مدل چندمعیاره ANP؛
منطق فازی؛
GIS؛
شهر حاجی‌آباد؛
هرمزگان

استناد به این مقاله:

میرشکارپور، م؛ حسن‌زاده، ر؛ حسین‌پور میل‌آغاردان، ا (۱۴۰۳). ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای و آسیب‌پذیری سازه‌ای و جمعیتی - مطالعه موردی: شهر حاجی‌آباد، استان هرمزگان. فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر) ۳۳ (۱۳۲)، ۴۴-۴۵

۱- مقدمه

زمین لرزه یکی از بلایای طبیعی است که به طور ناگهانی رخ می‌دهد و به طور مستقیم بر زندگی انسان‌ها و محیط شهری و روستایی تأثیر می‌گذارد. از جمله آسیب‌های زمین لرزه می‌توان به تلفات انسانی، تخریب سازه‌ها و پل‌ها، تجمع آوار ساختمان‌ها در حریم معابر و خیابان‌ها، تخریب تیرهای برق، مختل شدن حرکت در سیستم حمل و نقل اشاره نمود (Rikalovic, 2014). شناسایی محل‌های آسیب‌پذیر در یک شهر برای اتخاذ تصمیمات کلان در زمینه بهسازی و مقاوم‌سازی ساختمان، اجرای تحقیقات آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌ای و جمعیتی ضروری است (Ansal et al., 2009; Coburn & Spence, 2002).

تحقیقات بسیار زیادی در زمینه ارزیابی خطرپذیری و آسیب‌پذیری لرزه‌ای در جهان و ایران انجام شده است. مثلاً، Nyimbili (۲۰۱۸) به منظور ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین لرزه در شهر استانبول از معیارهای تأثیرگذار شامل توپوگرافی، فاصله تا مرکز زلزله، طبقه‌بندی خاک، روان‌گرایی و سازوکار کانونی زمین لرزه و برای تعیین وزن این پارامترها از روش AHP^۱ و به منظور برآورد مؤلفه‌های ریسک آسیب‌پذیری سازه‌ای و جمعیتی از روش TOPSIS^۲ در تلفیق با GIS استفاده نموده است. Jena و همکاران (۲۰۱۹) در یک رویکرد مبتنی بر تصمیم‌گیری کارشناسان با استفاده از روش ANP^۳ به ارزیابی آسیب‌پذیری در اثر وقوع زمین لرزه احتمالی در یکی از شهرهای اندونزی پرداخته‌اند. Kamranzadeh و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی ریسک زلزله در شهر تهران پرداختند. در این تحقیق شاخص‌های خطرپذیری و آسیب‌پذیری لرزه‌ای مانند لرزه‌خیزی، زمین‌شناسی، گسل‌های فعال، توزیع جمعیت، کاربری زمین، بافت شهری، ارتفاع ساختمان‌ها، سن ساختمان، نوع سازه و قدمت و همچنین مجاورت با برخی زیرساخت‌های حیاتی در سامانه اطلاعات جغرافیایی ارزیابی شد و سپس نقشه‌های آسیب‌پذیری از نظر تراکم

جمعیت و آسیب‌پذیری فیزیکی را تولید نمودند. Sauti (۲۰۲۱) از مدل‌سازی فضایی در GIS برای ارزیابی خطر لرزه‌ای منطقه پاهانگ مالزی از معیارهایی مانند قرار گرفتن در معرض خطر، تاب‌آوری و ظرفیت‌های موجود در شهر استفاده نموده و سپس با تعیین وزن شاخص‌ها، نقشه آسیب‌پذیری با استفاده از مدل مبتنی بر GIS را به‌دست آوردند. Erdogan (۲۰۲۲) ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مبتنی بر GIS را در منطقه تاریخی استانبول انجام دادند. معیارهای مهم ارزیابی آسیب‌پذیری در چهار گروه اصلی مانند تأسیسات ساختاری، اجتماعی-اقتصادی، زیرساختی و تأسیسات بحرانی شهری جمع‌آوری شده و سپس براساس روش AHP وزن‌دهی شده و سپس با تلفیق این معیارها در GIS نقشه آسیب‌پذیری لرزه‌ای منطقه تولید شد.

تحقیقات متعددی به منظور ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها و جمعیت در شهرهای مختلف ایران انجام شده است. مثلاً، Heidarifar و همکاران (۲۰۲۱) به تحلیل آسیب‌پذیری کاربری اراضی شهری جانورود در برابر زلزله با استفاده از تحلیل شبکه‌ای (ANP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پرداختند. Gholami و همکاران (۲۰۲۳) به ارزیابی نسبی آسیب‌پذیری نواحی شهری خرم‌آباد از نظر زلزله به روش تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. Lalepour و همکاران (۲۰۲۲) ارزیابی آسیب‌پذیری محلات شهری در برابر بحران زلزله را برای محلات شهر ورزقان انجام دادند. در این پژوهش، شاخص‌های ۱۳ گانه شامل تراکم مسکونی، کاربری اراضی، تعداد طبقات، دانه‌بندی بافت، کیفیت بنا، جنس مصالح، عمر ساختمان، شبکه ارتباطی، فاصله از آتش‌نشانی، فاصله از فضای باز، فاصله از مراکز درمانی، لیتولوژی و درصد شیب مورد بررسی قرار گرفتند. وزن و اهمیت نسبی لایه‌ها با استفاده از روش ANP و تلفیق نهایی آن‌ها در GIS انجام و نقشه آسیب‌پذیری محلات شهری تهیه شد. Afifi (۲۰۲۲) تاب‌آوری بافت فرسوده شهر در برابر زلزله را با استفاده از GIS و روش AHP در منطقه ۲ شهرداری بندرعباس ارزیابی کرده است. معیارهای مؤثر در اجرای تحقیق شامل

1- Analytic Hierarchy Process

2- Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

3- Analytic Network Process

۶/۳ ریشتری در تاریخ ۲۳ آبان ۱۴۰۰ در نزدیکی شهر فین استان هرمزگان) و وجود گسل‌های فعال (اصلی زاگرس و تراستی زاگرس) مؤید احتمال رخداد زمین‌لرزه شدید در این منطقه است. همچنین، بررسی میدانی سازه‌های موجود در شهر حاجی‌آباد نشان‌دهنده وجود تعداد زیاد سازه‌های با کیفیت ساخت بسیار پایین خصوصاً در حوزه‌های مرکزی شهر و وجود بافت فرسوده شهری در این منطقه است. آمار جمعیتی سال‌های اخیر نیز روند شتابان رشد جمعیت در این شهر را نشان می‌دهد. اما با وجود چنین شرایطی، تاکنون تحقیقی مبنی بر میزان اثرگذاری زلزله بر جمعیت و ساختمان‌های شهر انجام نشده است. بنابراین، انجام این تحقیق برای ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای و آسیب‌پذیری کالبدی و جمعیتی شهر حاجی‌آباد ضروری است. پژوهش حاضر برای رسیدن به اهدافی مانند پهنه بندی خطر لرزه‌ای شهر حاجی‌آباد، ارزیابی آسیب‌پذیری سازه‌ها و ارزیابی آسیب‌پذیری جمعیتی و تلفات انسانی انجام شده است.

۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی شهر حاجی‌آباد یکی از شهرهای جنوب ایران و شمالی‌ترین شهر استان هرمزگان است که در بخش مرکزی شهرستان حاجی‌آباد قرار دارد. شهر حاجی‌آباد در فاصله ۱۶۵ کیلومتری شمال بندرعباس و ۱۴۵ کیلومتری جنوب سیرجان، در کنار جاده بندرعباس - تهران واقع شده است. بر پایه سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵ جمعیت این شهر ۲۸۹۷۷ نفر بوده است (نگاره ۱).

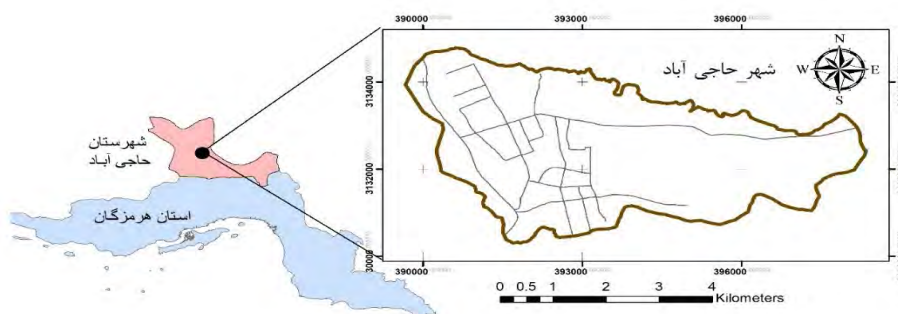
۳- مواد و روش‌ها

در این تحقیق، براساس روش‌های کمی و کیفی ارزیابی خطرپذیری و آسیب‌پذیری لرزه‌ای با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و آمار فضایی در GIS در محدوده مطالعاتی شهر حاجی‌آباد به انجام رسیده است (نگاره ۲).

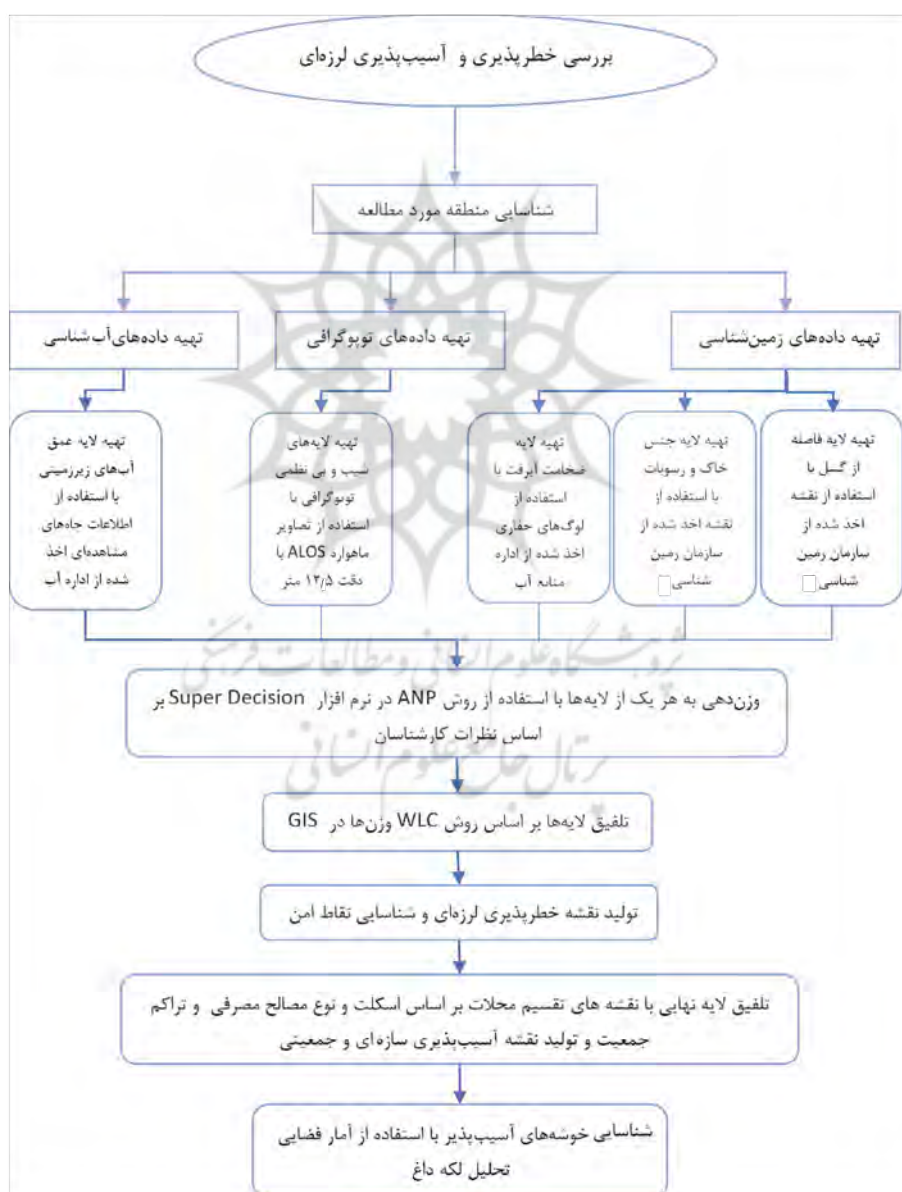
جنس مصالح مصرفی، فاصله از گسل، زمین‌شناسی، تراکم جمعیت، مساحت قطعات، شیب، دسترسی به فضای باز و دسترسی به معابر هستند. Aghayari و همکاران (۲۰۲۴) تحلیلی بر تاب‌آوری اجتماعی و اقتصادی شهری در برابر خطرپذیری لرزه‌ای برای شهر خلخال را انجام دادند. Ekhlaspour و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی خطر زمین‌لرزه استان در کرمان با کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی و به‌کارگیری روش منطق فازی پرداختند. Ghazanfar Pour و همکاران (۲۰۲۳) به تحلیل خطر لرزه‌ای و آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های انسانی در شهرستان باشت با استفاده از روش فازی - دیماتل مبتنی بر GIS پرداخته‌اند.

با توجه به مرور و بررسی منابع علمی مختلف در جهان و ایران، مشخص شد که در این تحقیق می‌بایست از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند ANP و فازی استفاده نمود. از مزایای روش‌های ارزیابی چندمعیاره، سنجش سازگاری قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان، ایجاد مقایسات زوجی برای انتخاب گزینه بهینه، توان در نظر گرفتن معیارها و زیرمعیارها در ارزیابی گزینه‌ها، ایجاد قابلیت دستیابی به بهترین گزینه از طریق مقایسات زوجی را می‌توان نام برد. معیارهای تأثیرگذار در ارزیابی خطر زلزله و آسیب‌پذیری سازه‌ای و جمعیتی ناشی از تأثیر معیارهای اصلی زمین‌شناسی، توپوگرافی، آب‌شناسی، ژئومورفولوژی و نوع سازه‌ها و کیفیت مصالح مصرف شده در ساختمان‌ها و همچنین تراکم جمعیتی در منطقه مطالعاتی هستند. بنابراین، با اجرای این نوع از تحقیقات می‌توان نقاط پرخطر لرزه‌ای را شناسایی نمود و نقاط آسیب‌پذیر سازه‌ای و جمعیتی را تعیین و راهکارهای لازم برای کاهش آسیب و کاهش تلفات ناشی از زلزله احتمالی را ارائه نمود.

براساس نقشه‌های زمین‌شناسی، منطقه مطالعاتی شهر حاجی‌آباد تحت تأثیر دو گسل اصلی و فعال زاگرس است که در فاصله نزدیکی از شهر قرار دارند. رخداد زمین‌لرزه‌های شدید در منطقه مورد مطالعه (دو زمین‌لرزه به بزرگی ۶/۴ و



نگاره ۱: منطقه مورد مطالعه

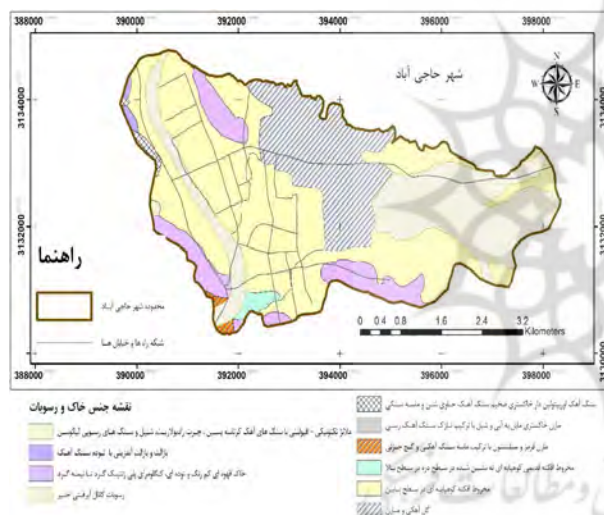


نگاره ۲: مراحل انجام تحقیق

جدول ۱: اطلاعات اخذ شده از سازمان‌ها و ادارات مرتبط

ردیف	داده‌های مورد نیاز	سازمان مربوطه
۱	زمین‌شناسی	سازمان زمین‌شناسی کشور
۲	آب‌شناسی، لوگ‌های زمین‌شناسی و عمق آب زیرزمینی	اداره کل منابع آب منطقه‌ای استان هرمزگان
۳	توپوگرافی	https://search.asf.alaska.edu سایت ماهواره ALOS
۴	اطلاعات مکانی طرح جامع شهری، نوع سازه‌ها	شهرداری حاجی‌آباد
۵	اطلاعات مربوط به جمعیت و سازه‌ها در حوزه‌های آماری	سازمان برنامه و بودجه استان هرمزگان

نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ حاجی‌آباد ژئورفرنس شده و سپس واحدهای سنگ‌شناسی آن در محدوده مطالعاتی رقوم‌سازی شد. (نگاره ۳).



داده‌های مؤثر در خطرپذیری لرزه‌ای سه شاخه اصلی معیارهای زمین‌شناسی، توپوگرافی و آب‌شناسی هستند که از سازمان زمین‌شناسی کشور، سایت ماهواره ALOS و اداره کل منابع آب منطقه‌ای استان هرمزگان جمع‌آوری و با استفاده از روش وزن‌دهی ANP به هر یک از لایه‌ها وزن اختصاص داده شد و با استفاده از روش WLC نقشه خطرپذیری تهیه شد. برای ارزیابی آسیب‌پذیری زلزله از اطلاعات مکانی طرح جامع شهری، نوع سازه‌ها و اطلاعات مربوط به جمعیت و سازه‌ها در حوزه‌های آماری استفاده شد که از شهرداری حاجی‌آباد و سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان هرمزگان اخذ شدند. سپس با استفاده از منحنی‌های شکنندگی نقشه آسیب‌پذیری سازه و در پی آن نقشه آسیب‌پذیری جمعیت تولید شد.

نگاره ۳: نقشه لیتولوژی و خاک منطقه مورد مطالعه

براساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ حاجی‌آباد

(Geological survey of Iran, 2002)

ب) اطلاعات گسل‌های منطقه

با بررسی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ حاجی‌آباد مشخص شده که دو گسل اصلی و فعال به نام‌های گسل تراستی زاگرس و گسل اصلی زاگرس از بخش‌های شمالی و جنوب شرقی شهر حاجی‌آباد عبور می‌کنند. برای تعیین فاصله شهر از گسل از ابزار Euclidean Distance در محیط GIS استفاده شد (نگاره ۴).

۳-۱- داده‌های مورد نیاز و پیش‌پردازش‌ها

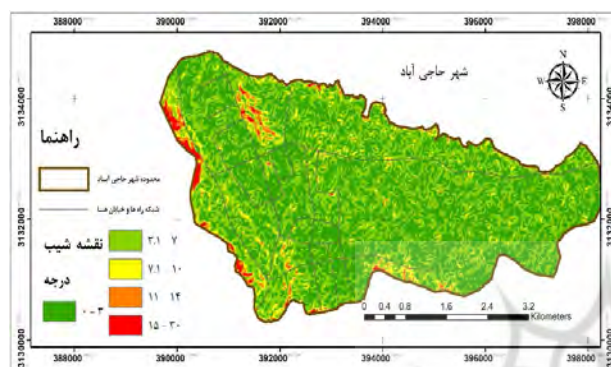
داده‌های مؤثر بر خطرپذیری لرزه‌ای در سه شاخه اصلی معیارهای زمین‌شناسی (فاصله از گسل، ضخامت آبرفت و جنس خاک و رسوبات)، آب‌شناسی (عمق آب‌های زیرزمینی) و توپوگرافی (شیب و بی‌نظمی توپوگرافی) قراردارند. این داده‌ها از سازمان‌های مرتبط جمع‌آوری شدند (جدول ۱).

الف) اطلاعات زمین‌شناسی

اطلاعات مربوط به جنس خاک و رسوبات از طریق نقشه رقوم‌ی زمین‌شناسی منطقه استخراج شد. به این منظور ابتدا

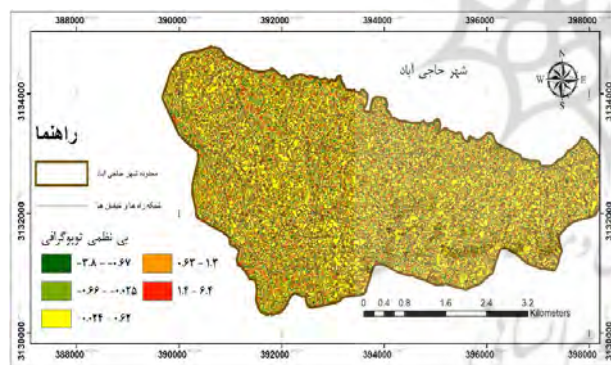
اخذ شد. سپس با استفاده از ابزار Slope نقشه شیب تولید شد (نگاره ۶). اطلاعات بی‌نظمی‌های توپوگرافی با اعمال دستور Curvature بر روی DEM محدوده مطالعاتی به‌دست آمد و نقشه بی‌نظمی‌های توپوگرافی تولید شد (نگاره ۷).

الف)



نگاره ۶: نقشه شیب

ب)



نگاره ۷: نقشه بی‌نظمی توپوگرافی (Curvature)

و) اطلاعات عمق آب زیرزمینی

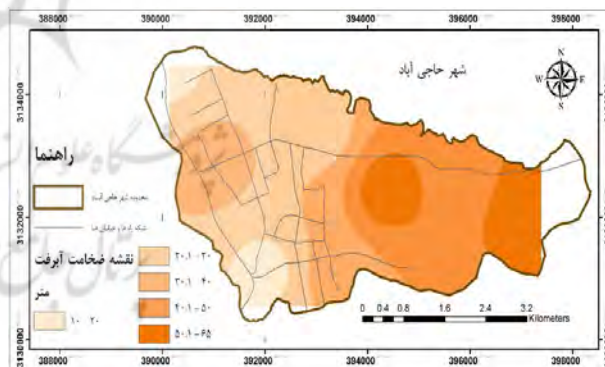
اطلاعات مربوط به آب‌های زیرزمینی و اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای شهر حاجی‌آباد از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان هرمزگان اخذ و عمق آب‌های زیرزمینی در محدوده مطالعاتی با روش IDW تولید شد (نگاره ۸).



نگاره ۴: گسل‌های اصلی در اطراف شهر حاجی‌آباد

ج) اطلاعات ضخامت آبرفت

ابتدا اطلاعات ستون‌های زمین‌شناسی یا لوگ‌های زمین‌شناسی از چاه‌های حفاری شده در محدوده شهری از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان هرمزگان اخذ شد. سپس براساس اطلاعات کروکی موقعیت مکانی تعیین و براساس اطلاعات رسوب‌شناسی میزان ضخامت آبرفت در هر یک مشخص و در نهایت با استفاده از روش IDW نقشه ضخامت آبرفت در محدوده مطالعاتی ترسیم شد (نگاره ۵).



نگاره ۵: نقشه ضخامت آبرفت براساس داده‌های

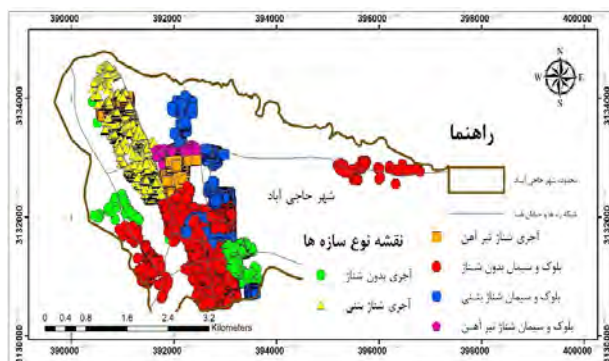
شرکت سهامی آب منطقه‌ای هرمزگان

(Regional Water Company of Hormozgan, 1993)

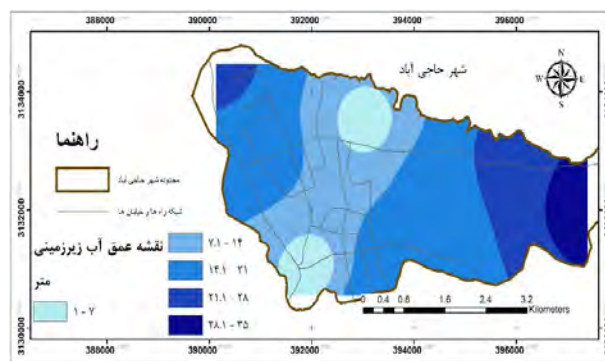
د) اطلاعات توپوگرافی، شیب و بی‌نظمی توپوگرافی^۱

برای به‌دست آوردن نقشه شیب منطقه مورد نظر ابتدا داده‌های DEM مربوط به ماهواره ALOS با دقت ۱۲/۵ متر

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مهر)
 ارزیابی خطر پذیری لرزه‌ای و آسیب‌پذیری سازه‌ای و جمعیتی ... / ۵۳



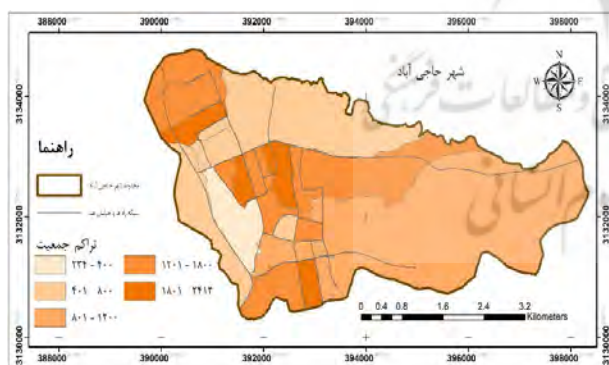
نگاره ۹: نقشه توزیع مکانی سازه‌ها در شهر حاجی آباد
 براساس داده‌های شهرداری حاجی آباد
 (Municipality of Haj Abad, 2021)



نگاره ۸: نقشه عمق آب‌های زیرزمینی براساس داده‌های
 شرکت سهامی آب منطقه‌ای هرمزگان
 (Regional Water Company of Hormozgan, 2020)

ز) اطلاعات جمعیتی

برای اخذ اطلاعات جمعیتی شهر حاجی آباد به سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان هرمزگان مراجعه شد و مطابق حوزه‌های آماری، جمعیت و تعداد سازه‌ها در این حوزه‌ها نقشه مورد نظر به‌دست آمد. جمعیت شهر ۲۸۹۷۷ نفر هستند که عمدتاً در نواحی شمال غربی، مرکز، جنوب شهر زندگی می‌کنند (نگاره ۱۰).



نگاره ۱۰: نقشه بلوک‌های جمعیتی در منطقه مطالعاتی براساس
 داده‌های سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان هرمزگان
 (Management and Planning Organization of Hormozgan Province, 2015)

ه) اطلاعات سازه‌ها

برای به‌دست آوردن اطلاعات مربوط به سازه‌ها ابتدا نقشه طرح جامع شهر از شهرداری حاجی آباد اخذ شد و پس از ژئورفرنس نمودن آن، با تعریف Shapfile جدید در مرکز هر سازه به عنوان نماینده سازه، نقطه‌ای انتخاب شده و در نهایت نوع اسکلت سازه‌ها، مصالح مصرفی و تعداد سازه‌های شهر مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲ و نگاره ۹). همچنین، اطلاعات مربوط به سازه‌ها از سازمان برنامه و بودجه استان هرمزگان در حوزه‌های آماری نیز اخذ شد.

جدول ۲: تعداد سازه‌ها براساس نوع مصالح و اسکلت‌بندی
 براساس نقشه طرح جامع شهر از شهرداری حاجی آباد براساس
 داده‌های شهرداری حاجی آباد
 (Municipality of Haj Abad, 2021)

تعداد	نوع سازه	تعداد	نوع سازه
۳۱۵	بلوکی با شناژ تیرآهن	۲۶۷۸	بلوکی بدون شناژ
۸۳۳	بلوکی با شناژ بتن	۵۲۲	آجری بدون شناژ
۶۳۴۲	تعداد سازه‌ها	۶۶۶	آجری با شناژ تیرآهن
		۱۳۲۸	آجری با شناژ بتن

جدول ۳: اوزان به دست آمده از روش ANP

ردیف	معیار / لایه	وزن	ردیف	معیار / لایه	وزن
۱	ضخامت آبرفت	۰/۲۲۳	۴	شیب	۰/۰۷
۲	فاصله از گسل	۰/۲۷	۵	بی‌نظمی توپوگرافی	۰/۰۵
۳	عمق آب‌های زیرزمینی	۰/۱۴	۶	نوع خاک و رسوبات	۰/۲۲۵

جدول ۴: منطق فازی سازی زیرمعیارهای هر معیار

زیرمعیار	تابع عضویت	زیرمعیار	تابع عضویت
فاصله از گسل	کاهشی	عمق آب‌های زیرزمینی	کاهشی
ضخامت آبرفت	افزایشی	شیب	افزایشی
جنس خاک و رسوبات	افزایشی	بی‌نظمی توپوگرافی	بخش اول کاهشی و بخش دوم افزایشی

۳-۲- روش‌های تحلیلی

۳-۲-۱- روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

زیر اشاره شده است که شامل: توابع فازی خطی، مثلثی که پیکسل با مقدار خاص بیشترین اهمیت را دارد، دوزنقه‌ای که مقادیر بین دو عدد خاص بالاترین اهمیت را دارند، گوسی که فقط صفر مقدار بیشینه است و مقادیر منفی و مثبت نزولی هستند، کاهشی که پیکسل با ارزش کوچک‌تر اهمیت بیشتری دارد و افزایشی که پیکسل با ارزش بزرگ‌تر اهمیت بیشتری دارد، هستند (Yager & Zadeh, 2012). تمامی لایه‌های اطلاعات مکانی در محیط GIS براساس منطق تأثیرگذاری در ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای طبقه‌بندی و آماده‌سازی و سپس با استفاده از توابع عضویت فازی، فازی سازی می‌شوند (جدول ۴).

براساس روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) بازخورد و ارتباط متقابل بین معیارها، زیرمعیارها با همدیگر امکان‌پذیر است (Saaty, 2004). بنابراین، پس از تعیین معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در خطرپذیری لرزه‌ای، به منظور وزن‌دهی آن‌ها و تعیین میزان اهمیت هر یک نسبت به معیار دیگر ابتدا پرسشنامه‌ای طراحی و از نظرات ۱۰ کارشناس مجرب و متخصص در زمینه زمین‌شناسی، عمران و آب‌های زیرزمینی برای مقایسه زوجی معیارها و زیرمعیارهای هر معیار استفاده شد. سپس بر مبنای اصول روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ANP و استفاده از نرم‌افزار Super Decision وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها محاسبه شد (جدول ۳).

۳-۲-۳- روش ترکیب خطی وزنی (WLC)

در این روش تحلیل‌گر مستقیماً بر مبنای "اهمیت نسبی" هر معیار مورد بررسی، وزن‌هایی به معیارها می‌دهد. سپس از طریق ضرب کردن وزن نسبی در مقدار آن خصیصه، یک مقدار نهایی برای هر گزینه به دست می‌آید. پس از آنکه مقدار نهایی هر گزینه مشخص شد، گزینه‌هایی که بیشترین مقدار را داشته باشند، مناسب‌ترین گزینه برای هدف موردنظر خواهند بود (Malczewski & Rinner, 2015).

$$A_i = \sum_{j=1}^n W_j * X_{ij}$$

رابطه (۱)

۳-۲-۲- روش منطق فازی

نظریه مجموعه‌های فازی قادر است بسیاری از مفاهیم و متغیرها و سیستم‌هایی را که نادقیق هستند، صورت‌بندی ریاضی ببخشد و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان ممکن سازد (Zadeh, 1965, 1975). ساخت توابع فازی مبتنی بر ذهن و تجربه کارشناسان خبره در هر حوزه است و بر این اساس توابع فازی شکل می‌گیرند. به کاربردی‌ترین و متداول‌ترین توابع در

پس از انجام این محاسبات پی بردیم که گسل فعال اصلی زاگرس شمالی که در فاصله ۴/۸ کیلومتری شهر و با طول مؤثر ۳۸/۲۸ کیلومتر واقع است، زلزله‌ای حداکثر با بزرگای ۶/۹ ریشتر و شدت تخریب ۹ مرکالی اصلاح‌شده؛ گسل تراستی جنوبی که در فاصله ۲/۳ کیلومتری شهر و با طول مؤثر ۵۵/۶ کیلومتر واقع است، زلزله‌ای حداکثر با بزرگای ۷/۱ ریشتر و شدت تخریب ۹/۳ مرکالی اصلاح‌شده را ایجاد می‌کنند. بنابراین گسل سناریوی ما، گسل تراستی جنوب حاجی‌آباد است زیرا تأثیر آن بر شهر و قدرت تخریب آن بیشتر است. براساس روابط میرایی مشخص شد که شهر حاجی‌آباد در محدوده شدت ۸/۵ مرکالی اصلاح‌شده قرار می‌گیرد. از طرفی عوامل مؤثر بر خطرپذیری (فاصله از گسل، ضخامت آبرفت، جنس خاک و رسوبات، عمق آب‌های زیرزمینی، شیب و بی‌نظمی توپوگرافی) می‌توانند ضریب تشدید را ۰/۵ تا ۱/۵ برابر بیشتر کنند (Hassanzadeh et al., 2019; Michel et al., 2017). به همین دلیل میزان شدت را برای نواحی با خطرپذیری خیلی کم و کم ۰/۵ + ۸/۵ و برای نواحی متوسط ۱ + ۸/۵ و برای نواحی با خطرپذیری زیاد و خیلی زیاد ۱/۵ + ۸/۵ در نظر گرفته شد. در نهایت این نقشه با نقشه خطرپذیری لرزه‌ای ترکیب شده و نقشه میزان شدت تنش ناشی از وقوع زلزله احتمالی با شدت‌های تخریب تهیه شد.

۳-۲-۵- روش محاسبه آسیب‌پذیری سازه‌ای

براساس مطالعات JICA در سال ۲۰۰۳، منحنی‌های شکنندگی مربوط به هر نوع سازه در شدت‌های مختلف و درصد تخریب ناشی از هر شدت در ایران ترسیم شده است. بنابراین، براساس نمودار شکنندگی (نگاره ۱۱) میزان درصد تخریب برای هر نوع سازه با توجه به نوع اسکلت و مصالح مصرفی آن در شهر حاجی‌آباد محاسبه می‌شود. براساس نگاره ۱۱، نمودار سازه‌های بلوک و سیمانی فاقد شناژ به رنگ سبز تیره (۹)، سازه‌های آجری بدون شناژ به رنگ عنابی (۸)، سازه‌های آجری با شناژ بتنی به رنگ نارنجی (۶)، سازه‌های آجری با شناژ تیرآهنی و بلوک و

در رابطه (۱)، w_i وزن معیار λ_m ، x_{ij} مقداری است که مکان λ_m در رابطه با معیار λ_m به خود پذیرفته است. به عبارت دیگر این مقدار می‌تواند بیانگر درجه مناسب بودن مکان λ_m در ارتباط با معیار λ_m باشد. n تعداد کل معیارها بوده و A_i مقداری است که در نهایت به مکان λ_m تعلق می‌گیرد. در این روش WLC براساس ترکیب لایه‌های رستری و با جمع همه لایه‌های تأثیرگذار در مسئله با استفاده از ابزار Raster Calculator و در نظر گرفتن وزن به دست آمده از روش ANP برای هر معیار در لایه فازی شده آن مطابق رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$\text{WLC} = \sum (\text{وزن حاصل از ANP} * \text{لایه فازی شده}) \quad \text{رابطه (۲)}$$

۳-۲-۴- روش‌های محاسبه میزان بزرگی و شدت زمین‌لرزه گسل سناریو

برای بررسی میزان اثرگذاری هر گسل بر روی آسیب‌پذیری سازه‌های شهر، ابتدا گسل‌های فعال اصلی زاگرس در شمال حاجی‌آباد و گسل تراستی در جنوب حاجی‌آباد با توجه به محدوده تأثیر هر کدام، طول قطعه گسلی (L) و فاصله از شهر (R) محاسبه شد. سپس برای بررسی بزرگی (M_s) بر حسب ریشتر و شدت (I) بر حسب مرکالی اصلاح‌شده برای زلزله‌ای که در فواصل مختلف می‌توانند ایجاد کنند از روابط (۳) و (۴) و (۵) استفاده شده است (Ashjai & Nowroozi, 1978).

$$M_s = \log L + 5.4 \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$M_s^1 = \text{بزرگی موج سطحی و } L = \text{طول گسیختگی}$$

$$I = 1.3 * M_s + 0.09 \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$I^2 = \text{درجه شدت در مرکز زلزله}$$

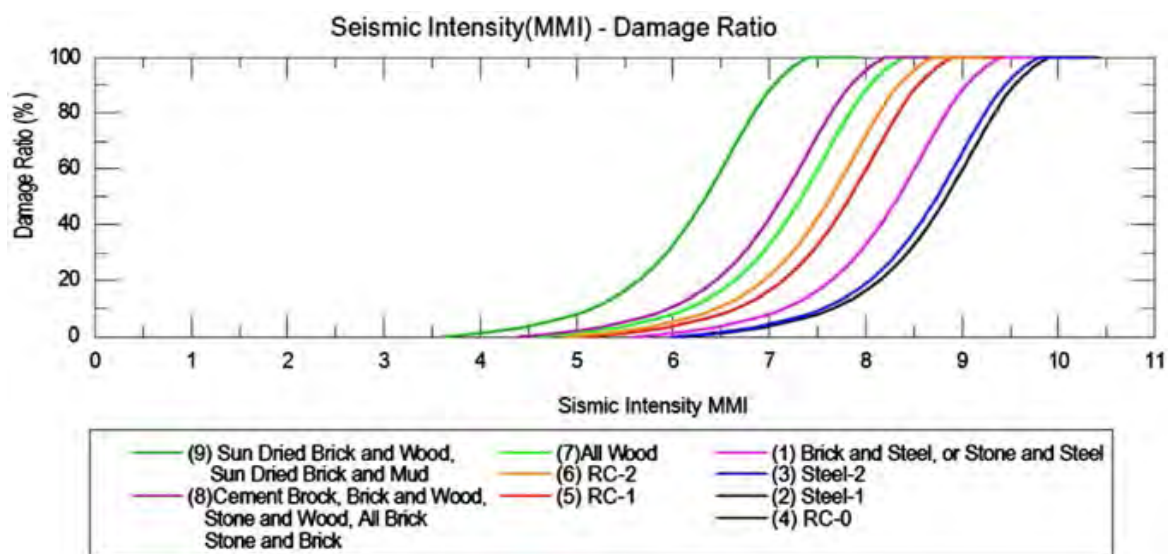
$$I = I^2 + 6.453 - 0.00121R - 4.96 \log(R+20) \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$I^3 = \text{شدت تنش زلزله و } R = \text{فاصله از مرکز زلزله بر حسب کیلومتر}$$

1- Surface Wave Magnitude

2- Intensity Degree in Epicenter

3- Earthquake Intensity



نگاره ۱۱: نمودار شکنندگی (JICA, 2003) انواع سازه‌ها: (۱) آجری و فولادی (بلوکی و آجری با شناژ تیر آهن)، (۲) فولادی (۲، ۳) فولادی (۱، ۴) بتن آرمه‌ای (۰، ۵) بتن آرمه‌ای (۱، ۶) بتن آرمه‌ای (۲) (بلوکی و آجری با شناژ بتن)، (۷) سازه‌های چوبی، (۸) آجری سیمانی، بلوکی، چوبی و سنگی (بلوکی و آجری بدون شناژ)، (۹) سازه‌های خشت و گلی

سیمانی با شناژ تیر آهن به رنگ آبی (۳) و سازه‌های بلوک سیمانی با شناژ بتنی به رنگ مشکی (۴) انتخاب شدند.

۳-۲-۶- روش ارزیابی آسیب‌پذیری جمعیتی
پس از محاسبه درصد تخریب سازه‌ها براساس نمودار شکنندگی و احتمالات تخریب مربوط به هر سازه، آمار کلاس‌های آسیب‌پذیری جمعیتی (فوت شده، بیمارستانی، زخمی سرپایی و سالم) براساس تحقیقات گذشته (Hassanzadeh, 2019; Hassanzadeh et al., 2013) مد نظر قرار گرفت (جدول ۵). میزان آسیب‌پذیری جمعیتی در شهر حاجی‌آباد براساس درصد تخریب سازه‌های شهر حاجی‌آباد در طبقات تخریب متوسط، تخریب زیاد، تخریب بسیار زیاد و تخریب کامل قرار می‌گیرند. بنابراین، محاسبات براساس رابطه (۶) انجام گرفت.

$$PV = \sum A * B / 100 \quad \text{رابطه (۶)}$$

PV = 'آسیب‌پذیری جمعیت، A = جمعیت هر سازه، B = احتمال فوت، بیمارستانی، زخمی سرپایی، سالم برگرفته از نتایج زلزله بم (Hassanzadeh, 2019).

۳-۲-۷- روش تحلیل لکه داغ^۲
در نهایت برای تحلیل فضایی خوشه‌های آسیب‌پذیر بافت کالبدی و جمعیتی از آماره فضایی Getis - Ord (روش تحلیل لکه داغ) استفاده می‌شود (Getis and Ord, 1992 and Ord, 1995). اگر عوارض با وزن‌های بالا در فضا نزدیک به یکدیگر قرار بگیرند، باعث به وجود آمدن لکه داغ یا خوشه‌بندی مثبت می‌شوند و در صورتی که عوارض مورد بررسی دارای وزن‌های پایین و نزدیک به یکدیگر باشند، باعث به وجود آمدن لکه سرد یا خوشه‌بندی منفی می‌شوند.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- نقشه خطرپذیری زمین‌لرزه

نتایج حاصل از تلفیق لایه‌های فاصله از گسل، ضخامت آبرفت، جنس خاک و رسوبات، بی‌نظمی توپوگرافی، شیب و عمق آب‌های زیرزمینی در این قسمت ارائه شده است. نگاره ۱۲ نتایج را نشان می‌دهد که ۲/۰۷ کیلومتر مربع از مساحت شهر در محدوده خطرپذیری خیلی کم، ۴/۶۹ کیلومتر مربع در محدوده خطرپذیری کم، ۵/۱۰ کیلومتر

جدول ۵: آسیب جمعیت مورد انتظار در هر منطقه آسیب پذیر خاص براساس زمین لرزه‌های پیشین (Hassanzadeh, 2019)

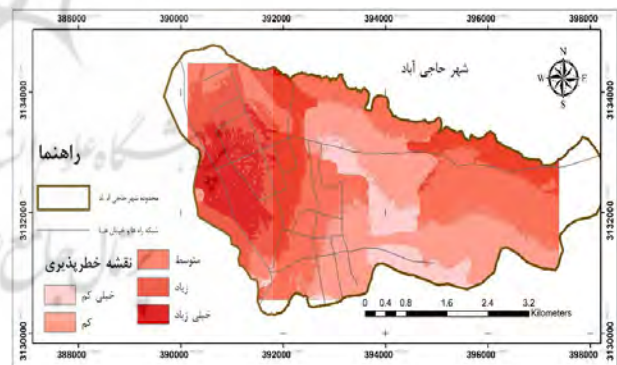
درصد	آسیب پذیری جمعیت	آسیب پذیری سازه	درصد	آسیب پذیری جمعیت	آسیب پذیری سازه
۱۳	فوت شده	تخریب زیاد	۰	فوت شده	بدون تخریب
۱۷	بیمارستانی		۰	بیمارستانی	
۲۳	زخمی سرپایی		۱	زخمی سرپایی	
۴۷	سالم		۹۹	سالم	
۱۶	فوت شده	تخریب بسیار زیاد	۲	فوت شده	تخریب کم
۲۲	بیمارستانی		۵	بیمارستانی	
۲۸	زخمی سرپایی		۹	زخمی سرپایی	
۳۴	سالم		۸۴	سالم	
۴۱	فوت شده	تخریب کامل	۴	فوت شده	تخریب متوسط
۱۶	بیمارستانی		۹	بیمارستانی	
۲۱	زخمی سرپایی		۱۵	زخمی سرپایی	
۲۲	سالم		۷۲	سالم	

خیابان حکمت است. تعداد ۴۲۳ سازه در محدوده تخریب خیلی زیاد (۸۵٪) هستند که شامل محلات غرب میدان فردوسی، شمال و شرق میدان امام خمینی (ره)، شوره‌ای و ابتدای بی بی دختران است. تعداد ۵۶۳۲ سازه در محدوده تخریب کامل واقع شده‌اند (۱۰۰٪) که محلات مسکن مهر ابراهیمی، مسکن شبکه بهداشت و توسلی، فاز ۲، میدان فردوسی، میدان شاهانی، قلعه، جنوب میدان معلم، نیروگاه برق، مهاجرین، زورآباد، علی آباد و بستانویه در این محدوده قرار گرفته‌اند. آمار تخریب سازه‌ها در جدول ۶ و نقشه آسیب پذیری سازه‌ها در نگاره ۱۳ نشان داده شده است.

جدول ۶: نتایج آسیب پذیری سازه‌ها در هر محدوده از تخریب

نوع سازه‌ها / درصد تخریب	٪۶۰	٪۷۰	٪۸۵	٪۱۰۰
بلوکی بدون شناژ	۰	۰	۰	۲۶۷۸
آجری بدون شناژ	۰	۰	۰	۵۲۲
آجری با شناژ تیر آهن	۰	۰	۰	۶۶۶
آجری با شناژ بتن	۰	۰	۰	۱۳۰۷
بلوکی شناژ تیر آهن	۰	۱۰	۰	۳۰۵
بلوکی با شناژ بتن	۲۵۶	۰	۴۲۳	۱۵۴

مربع در محدوده خطر پذیری متوسط، ۴/۵۱ کیلومتر مربع در محدوده خطر پذیری زیاد و ۳/۶۸ کیلومتر مربع در محدوده خطر پذیری خیلی زیاد قرار دارند.

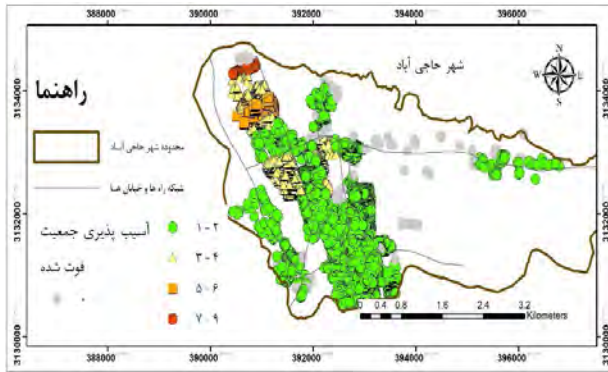


نگاره ۱۲: نقشه خطر پذیری لرزه‌ای شهر حاجی آباد

۴-۲- نقشه آسیب پذیری سازه‌ها

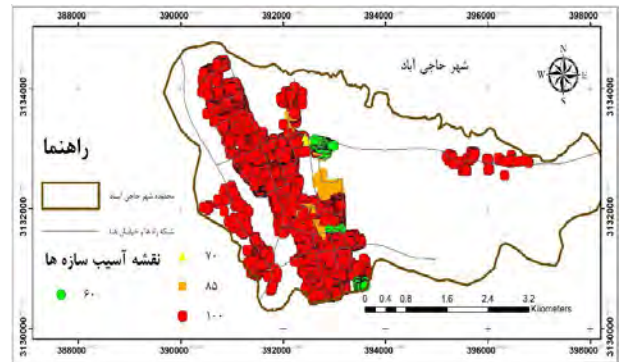
تعداد سازه‌ها در این شهر برابر ۶۳۴۲ عدد بود که ۲۵۶ عدد از این سازه‌ها در محدوده تخریب متوسط (۶۰٪) قرار داشتند. که شامل زمین‌های شهرضایی، مسکن بسیجیان و شرق میدان معلم می‌شود. تعداد ۱۰ سازه در محدوده تخریب زیاد (۷۰٪) قرار می‌گیرند که شامل بخشی از

هستند و نواحی با تعداد زیاد افراد فوت شده، مسکن شبکه بهداشت و کارگران و نواحی با تعداد خیلی زیاد افراد فوت شده، مسکن ابراهیمی را شامل می‌شوند (نگاره ۱۴).



نگاره ۱۴: نقشه آسیب‌پذیری جمعیت بر حسب فوت‌شدگان در هر سازه

نواحی شهری از لحاظ طبقه‌بندی کلاس تعداد مصدومین که نیاز به درمان دارند به پنج طبقه تقسیم می‌شوند. هیچ کدام از محلات شهر در طبقه تعداد مصدومین بیمارستانی خیلی کم قرار نمی‌گیرند. نواحی با تعداد کم مصدومین شامل: شمال بی‌بی دختران، خیابان امام خمینی غربی، شمالی و جنوبی و جنوب میدان معلم است. نواحی با تعداد متوسط مصدومین شامل محلات الغدير، دانشگاه و بلوار ۳۰ متری، شهید بهشتی، فاز ۴، شریعتی، رجائی، فاز ۲، درآگاهی، جهاد، پارک عمران، زورآباد، میدان شاهانی، قلعه، نیروگاه برق، سردخانه خرما، مهاجریم و شوره‌ای است. محلات با تعداد زیاد مصدومین، مسکن شبکه بهداشت و کارگران و محلات با تعداد خیلی زیاد مصدومین، بسیجیان



نگاره ۱۳: نقشه آسیب‌پذیری سازه‌ها

۳-۴- نتایج آسیب‌پذیری جمعیتی

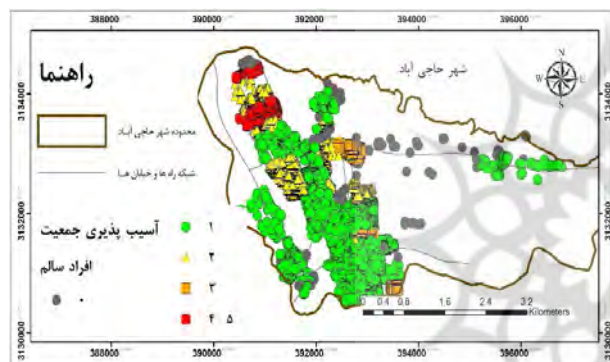
براساس نقشه آسیب‌پذیری سازه‌ها و میانگین جمعیت ساکنین در هر سازه، میزان آسیب‌پذیری جمعیت برای هر سازه مطابق آمار برگرفته از زلزله بم در جدول ۷ به‌دست آمده‌است. نقشه‌های آسیب‌پذیری جمعیت در چهار گروه شامل سالم، زخمی سرپایی، بیمارستانی و فوت شده تهیه شده است.

نواحی از لحاظ طبقه‌بندی کلاس آسیب افراد فوت شده به پنج دسته خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم می‌شوند. نواحی در شهر وجود ندارد که تعداد فوت‌شده در آن خیلی کم یا در طبقه صفر باشد. نواحی با آسیب فوت کم: بلوار شهید بهشتی، بستانوئی، زمین‌های شهرضایی، رجائی، درآگاهی، میدان فردوسی، میدان امام خمینی، قلعه، میدان شاهانی، میدان معلم، زورآباد و نیروگاه برق هستند. نواحی با تعداد متوسط افراد فوت شده: الغدير، بلوار دانشجو و خیابان ۳۰ متری، فاز ۲ و خیابان شریعتی

جدول ۷: گزارش آسیب‌پذیری جمعیت در اثر زلزله با ۷/۱ ریشتر

تخریب	متوسط (۶۰٪)	زیاد (۷۰٪)	خیلی زیاد (۸۵٪)	کامل (۱۰۰٪)	مجموع
افراد فوت شده	۳۸۴	۷	۲۳۴	۱۰۴۰۴	۱۱۰۹
افراد بیمارستانی	۸۶۴	۹	۳۲۲	۴۰۶۰	۵۲۵۵
افراد زخمی سرپایی	۱۴۴	۱۲	۴۱۰	۵۳۲۹	۵۸۹۵
افراد سالم	۶۹۲	۲۴	۴۹۹	۵۵۸۳	۶۷۹۸
کل جمعیت					۲۸۹۷۷

نواحی شهری از لحاظ طبقه‌بندی کلاس تعداد افراد سالم به پنج دسته طبقه‌بندی می‌شوند. نواحی با تعداد کم افراد سالم، شامل شمال بی‌بی دختران، بلوار شهید بهشتی، رجائی، درآگاهی، میدان فردوسی، شمال، جنوب و غرب میدان امام خمینی، جهاد، قلعه، میدان شاهانی، زورآباد، علی‌آباد، جنوب میدان معلم، نیروگاه برق، مهاجرین و بستانوئیه هستند. نواحی با تعداد متوسط افراد سالم، شامل محله شوره‌ای، شریعتی، فاز ۲، دانشجو و بلوار ۳۰ متری و الغدیر و نواحی با تعداد خیلی زیاد افراد سالم، شبکه بهداشت، کارگران و مسکن ابراهیمی هستند (نگاره ۱۷).

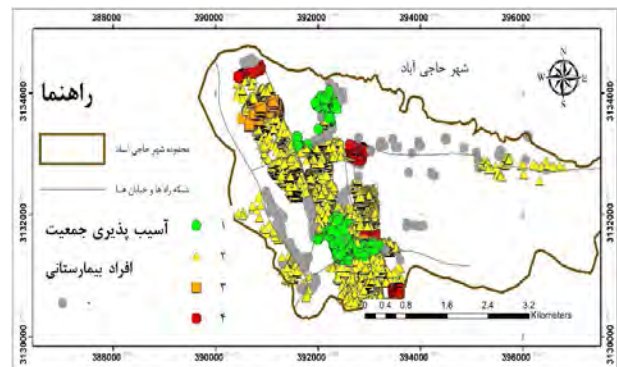


نگاره ۱۷: نقشه آسیب‌پذیری جمعیت بر حسب افراد سالم در هر سازه

۴-۴- نتایج تحلیل لکه داغ مقاومت سازه‌ها و آسیب‌پذیری سازه‌ای

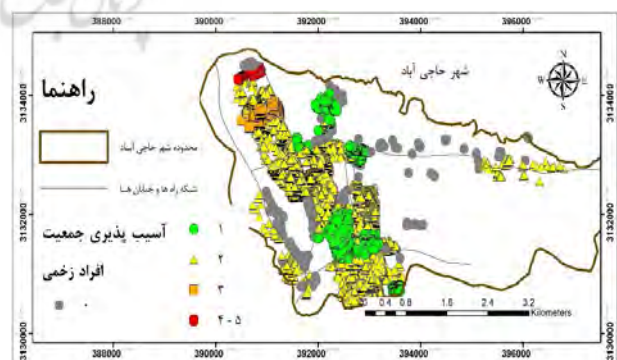
مقاومت سازه‌ها براساس آمار فضایی در نگاره ۱۸- الف نشان داده شده است. این تحلیل براساس نوع مصالح مصرفی و اسکلت سازه‌ها (سازه‌های آجری بدون شناژ، سازه‌های آجری با شناژ بتنی، سازه‌های آجری با شناژ تیرآهنی و بلوک و سیمانی با شناژ تیرآهن، سازه‌های بلوک و سیمانی با شناژ بتنی)، بیشترین مقاومت را با خوشه‌های لکه داغ (قرمز رنگ) و کمترین مقاومت را با لکه سرد (آبی رنگ) نشان داده است. این امر نشان‌دهنده وجود سازه‌های نامقاوم در برابر زلزله به‌صورت خوشه‌ای در بخش‌های زیادی از شهر است و مناطق با سازه‌های مقاوم را به‌صورت

زمین‌های شهرضایی و شرق میدان امام هستند (نگاره ۱۵).



نگاره ۱۵: نقشه آسیب‌پذیری جمعیت بر حسب افراد بیمارستانی در هر سازه

نواحی شهری از لحاظ طبقه‌بندی کلاس تعداد زخمی‌های سرپایی که نیاز به درمان ندارند به پنج طبقه تقسیم می‌شوند. نواحی با تعداد خیلی کم زخمی وجود ندارد و نواحی با تعداد کم زخمی شامل شمال بی‌بی دختران، زمین‌های شهرضایی، بسیجیان، شمال، جنوب و غرب میدان امام خمینی و جنوب میدان معلم هستند. نواحی با تعداد متوسط زخمی شامل الغدیر، دانشجو و بلوار ۳۰ متری، شریعتی، رجائی، جهاد، شوره‌ای، میدان شاهانی، قلعه، جنوب میدان معلم، نیروگاه برق، مهاجرین، زورآباد، علی‌آباد و بستانوئیه هستند. نواحی با تعداد زیاد زخمی، شبکه بهداشت و کارگران و نواحی با تعداد خیلی زیاد زخمی، مسکن ابراهیمی هستند (نگاره ۱۶).



نگاره ۱۶: نقشه آسیب‌پذیری جمعیت بر حسب افراد زخمی سرپایی در هر سازه

متعدد شهر باعث شده تا میزان آسیب به جمعیت بالا باشد. اما به دلیل تراکم جمعیتی بالا در بخش‌هایی از شهر شاهد خوشه‌های کوچکی از وجود افراد سالم در بخش‌های شمالی، شرقی و جنوب شرقی (لکه‌های قرمز رنگ در نگاره ۱۹ الف)، خوشه‌های کوچکی برای افراد زخمی سرپایی در بخش‌های شمالی و مرکزی و پراکنش زیاد این کلاس در همه بخش‌های شهر (لکه‌های قرمز رنگ در نگاره ۱۹ ب)، خوشه‌های کوچکی برای افراد بیمارستانی در بخش شرقی و شمالی (لکه‌های قرمز رنگ در نگاره ۱۹ ج)، خوشه‌های کوچکی برای افراد فوت‌شده در بخش‌های شمالی و غربی و پراکنش در همه بخش‌های شهر مشخص شده‌اند (لکه‌های قرمز رنگ در نگاره ۲۳ د) که همگی تابعی از مقاومت سازه‌ها هستند.

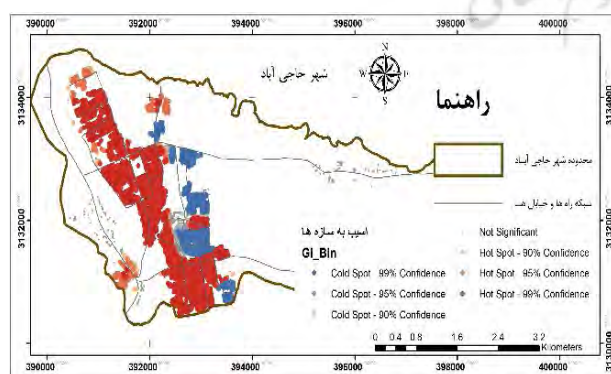
محققین زیادی میزان خطرپذیری لرزه‌ای را برای مناطق مختلف جهان و ایران ارزیابی نموده‌اند. مثلاً Nyimbili (۲۰۱۸) ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در شهر استانبول ترکیه، Jena و همکاران (۲۰۱۹) ارزیابی آسیب‌پذیری در اثر وقوع زمین‌لرزه احتمالی در یکی از شهرهای اندونزی، Kamranzadeh و همکاران (۲۰۲۰) ارزیابی ریسک زلزله در شهر تهران، Lalepour و همکاران (۲۰۲۲) ارزیابی آسیب‌پذیری محلات شهری در برابر بحران زلزله را برای محلات شهر ورزقان انجام دادند. Afifi (۲۰۲۲) تاب‌آوری

خوشه‌ای فقط در بخش‌هایی از شمال و شمال شرقی شهر نشان می‌دهد. برای تحلیل مناطق با آسیب‌پذیری سازه‌ای با استفاده از آمار فضایی همانگونه که در نگاره ۱۸-ب نشان داده‌شده، نواحی با آسیب‌پذیری کم با لکه سرد (آبی رنگ) به‌صورت خوشه‌ای فقط در بخش‌های کوچکی از شرق و جنوب شرقی شهر واقع شده‌اند و نواحی با آسیب‌پذیری زیاد با لکه داغ (قرمز رنگ) عمدتاً در مکان‌های متعدد در شهر گسترده شده‌اند. این مهم نشان دهند این موضوع است که با وجود سازه‌های با مقاومت بهتر در بخش‌های شمالی شهر، اما به دلیل شدت وقوع زمین‌لرزه و واقع شدن این سازه‌ها در مناطق با خطر لرزه‌ای بالا، این سازه‌ها در اثر وقوع زمین‌لرزه احتمالی آسیب بالایی متحمل می‌شوند.

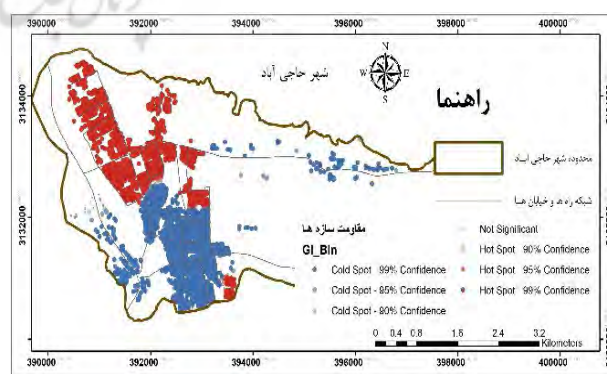
۴-۵- نتایج تحلیل لکه داغ آسیب‌پذیری جمعیتی

با استفاده از آمار فضایی برای بررسی خوشه‌های آسیب‌پذیری جمعیت چهار دسته آسیب شامل افراد فوت‌شده، افراد بیمارستانی، افراد زخمی سرپایی و افراد سالم در نگاره ۱۹ ترسیم شده است.

روند تغییرات خوشه‌بندی‌ها به دلیل پراکنش تراکم جمعیتی در شهر و وقوع زمین‌لرزه احتمالی با بزرگی ۷/۱ ریشتر و همچنین وجود سازه‌های نامقاوم در بخش‌های

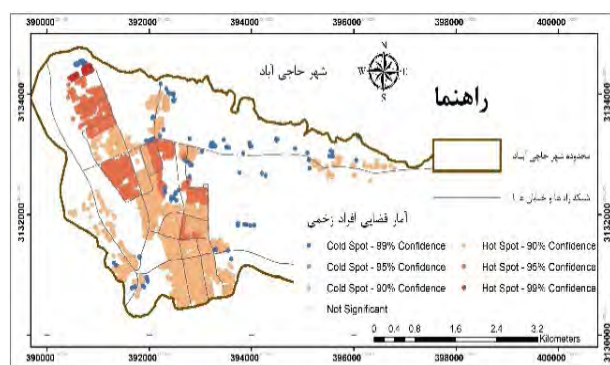


(ب)

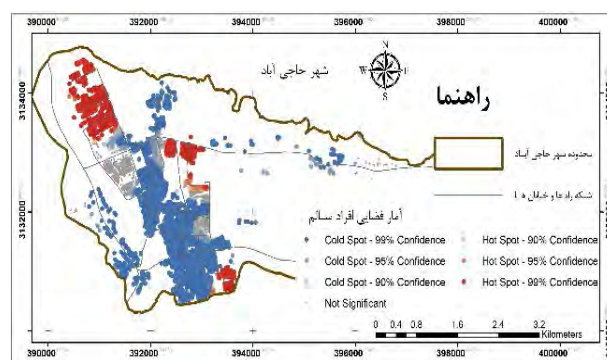


(الف)

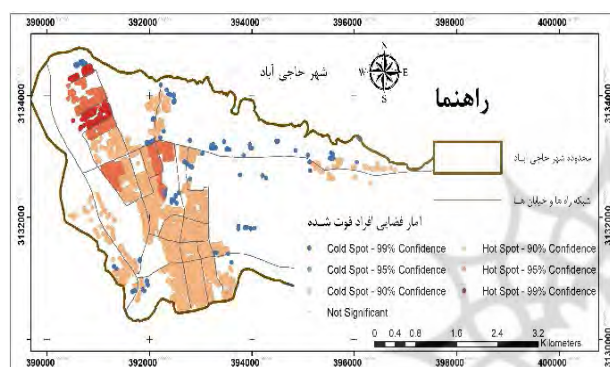
نگاره ۱۸: نقشه آمار فضایی (الف) مقاومت سازه‌ها و (ب) آسیب‌پذیری سازه‌ها



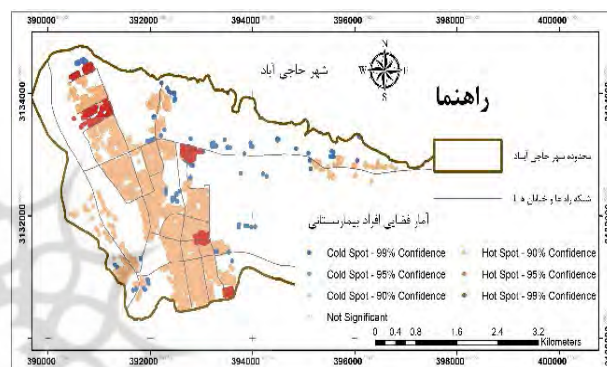
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

نگاره ۱۹: نقشه آمار فضایی: (الف) افراد سالم، (ب) افراد زخمی سرپایی، (ج) افراد با جراحت شدید، (د) افراد فوت شده

۵- نتیجه‌گیری

رخداد زمین‌لرزه‌های شدید در منطقه حاجی‌آباد و وجود گسل‌های فعال (اصلی زاگرس و تراستی زاگرس) در مجاورت شهر حاجی‌آباد می‌تواند باعث تخریب سازه‌ها و تلفات جمعیتی در این شهر شوند. بنابراین، هدف از انجام این تحقیق ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای، آسیب‌پذیری سازه‌ای و جمعیتی شهر در اثر وقوع زمین‌لرزه احتمالی است تا نواحی آسیب‌پذیر در برابر خطرات زمین‌لرزه مشخص شوند. براساس مطالعات انجام شده، گسل سناریوی زلزله شهر حاجی‌آباد، گسل تراستی زاگرس در بخش جنوبی شهر است که قادر به ایجاد زمین‌لرزه‌ای به بزرگی ۷/۱ ریشتر است. به‌منظور تهیه نقشه خطرپذیری لرزه‌ای داده‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و آب‌شناسی مد نظر قرار گرفتند. زیر معیارهای زمین‌شناسی شامل: فاصله از گسل، ضخامت

بافت فرسوده شهری در منطقه ۲ شهرداری بندرعباس در برابر زلزله را ارزیابی کرده است. Ghazanfar Pour و همکاران (۲۰۲۳) به تحلیل خطر لرزه‌ای و آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های انسانی در شهرستان باشت پرداخته‌اند. Hassanzadeh et al در سال ۲۰۱۳ میزان آسیب‌پذیری سازه‌ای و جمعیتی را برای شهر کرمان محاسبه نموده‌اند. در همه این تحقیقات سعی شده از روش‌ها و معیارهای متعددی بهره گرفته شود و منطبق بر روش‌های تصمیم‌گیری چند متغیره و GIS تحلیل‌های خطرپذیری و آسیب‌پذیری انجام شده است. در تحقیق حاضر نیز از این روش‌ها و GIS استفاده شده و بخش تحلیل آماری نیز برای ارزیابی خوشه‌بندی میزان آسیب سازه‌ها و کلاس‌های جمعیت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

شد تا براساس روشی علمی لرزه‌خیزی شهر حاجی‌آباد بررسی و میزان آسیب‌پذیری سازه‌ای و جمعیتی این شهر محاسبه و نقشه‌های آمار فضایی پراکنش آسیب‌پذیری سازه‌ها و جمعیت ترسیم شود.

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، پی بردیم که شهر حاجی‌آباد در محاصره دو گسل اصلی و تراستی زاگرس قرار دارد، که این مسئله باعث شده تا نتوان هیچ ناحیه بی‌خطری را در شهر متصور شد. از طرفی افزایش جمعیت و شهرنشینی باعث توسعه شهر شده است. بنابراین به مدیریت کارآمد از جانب سازمان‌های مربوطه برای پیشگیری از آسیب و گذر از این بحران‌ها نیازمندیم تا بافت‌های فرسوده و با کیفیت پایین مصالح را مقاوم‌سازی کنند، مانع ساخت‌وساز در حریم پرخطر گسل‌ها شوند، از طرح‌ها و مواد ساختمانی مناسب برای افزایش مقاومت ساختمان‌ها در برابر زلزله استفاده کنند و توسعه شهر به سمتی باشد که به سازه‌ها کمترین خطر تحمیل شود. برای بحث امنیتی و تسریع امدادرسانی نیز در قسمت‌هایی که خطر بسیار زیاد هست، طبق مقررات، مراکز درمانی و آتش‌نشانی احداث شود. در نواحی آسیب‌پذیر شهر که تراکم جمعیت بالا است، به‌منظور اسکان موقت و امن برای پس از رخداد زلزله پارک‌ها و فضاهای باز احداث شوند. بنابراین، نتایج این تحقیق می‌تواند کارشناسان و برنامه‌ریزان شهری را در حوزه مدیریت شهری و مدیریت بحران برای اجرای سیاست‌های کلان کاهش خطر زمین‌لرزه، ارتقاء آمادگی در برابر وقوع زمین‌لرزه و اولویت‌بندی مقاوم‌سازی سازه‌ها در این شهر یاری رساند.

تشکر و سپاسگزاری

پژوهشگران بر خود لازم می‌دانند که از تمامی مشارکت‌کنندگان در این تحقیق تشکر و قدردانی نمایند.

تعارض منافع

در این پژوهش، حامی مالی و تعارض منافع وجود ندارد.

آبرفت و جنس خاک و رسوبات، آب‌شناسی شامل: عمق آب‌های زیرزمینی و توپوگرافی شامل: شیب و بی‌نظمی توپوگرافی هستند. از معیارهایی که برای خطرپذیری در نظر گرفته شد، فاصله از گسل، ضخامت آبرفت و جنس خاک و رسوبات از تأثیرگذارترین آن‌ها بودند. بنابر نتایج حاصل، اکثر سازه‌ها در محدوده خطرپذیری خیلی زیاد قرار دارند و فقط بخش‌های کمی از شهر شامل برخی از قسمت‌های زورآباد، زمین‌های شهرضایی و برخی از نواحی مجاور نیروگاه برق در محدوده خطرپذیری خیلی کم قرار دارند. براساس مطالعات میدانی تعداد سازه‌ها و نوع سازه در هر محله برداشت شد و نقشه پراکندگی سازه‌ها و نوع آن‌ها ترسیم شد. با توجه به تحلیل‌ها برای شهر حاجی‌آباد با شش نوع سازه (بلوک و سیمانی بدون شناژ، آجری بدون شناژ، آجری با شناژ تیرآهن، آجری با شناژ بتن، بلوک و سیمانی با شناژ تیرآهن و بلوک و سیمانی با شناژ بتن)، نتایج نشان می‌دهد که اکثر سازه‌های این شهر با وقوع زلزله ۷/۱ ریشتری، دچار تخریب کامل خواهند شد و حدود ۸۰ درصد ساختمان‌های موجود در شهر با تخریب بالای ۷۰ درصد مواجه می‌شوند و فقط برخی از قسمت‌ها شامل شمال میدان امام خمینی، زمین‌های شهرضایی و بسیجیان در محدوده خطر متوسط قراردارند. براساس نتایج حاصل از تحلیل آسیب‌پذیری برای شهر حاجی‌آباد پی بردیم که با وقوع زلزله ۷/۱ ریشتر در مرکز گسل تراستی زاگرس در جنوب شهر، حدود ۱۱۰۰۰ نفر از جمعیت شهر دچار جراحت شدید یا فوت می‌شوند. آسیب جمعیت نیز یک دغدغه بسیار مهم است که کیفیت سازه‌ها تأثیر مستقیم بر روی آن دارد. بنابراین با افزایش جمعیت، برای پاسخ به نیاز مسکن باید مناطق با خطرپذیری کم برای توسعه شهرها در نظر گرفته شود. تحقیقات گذشته در ارزیابی لرزه‌خیزی و آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهرها از جمله کرمان توسط Hassanzadeh et al., 2013 و همچنین در شهر بندرعباس (Afifi, 2022)، شهر خلخال (Aghayari et al., 2024) ضرورت انجام اینگونه تحقیقات را نشان می‌دهد. در پژوهش حاضر سعی

12- Hassanzadeh, R. (2019). Earthquake population loss estimation using spatial modelling and survey data: The Bam earthquake, 2003, Iran. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 116, 421-435.

13- Hassanzadeh, R., Honarmand, M., Hossienjani Zadeh, M., & Naseri, F. (2019). New approaches to modelling of local seismic amplification susceptibility using direct characteristics of influencing criteria: case study of Bam City, Iran. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 19(9), 1989-2009.

14- Hassanzadeh, R., Nedovic- Budic, Z., Alavi Razavi, A., Norouzzadeh, M., & Hodhodkian, H. (2013). Interactive approach for GIS-based earthquake scenario development and resource estimation (Karmania hazard model). *The international journal of Computers & Geosciences*, 51, 324-338.

15- Heidarifar, M. R., Mahmoudi, A. (2021). 'Analysis of Javanrud Urban Land Use Vulnerability to Earthquake, Using Network Analysis (ANP) and Geographic Information System (GIS)', *Human Geography Research*, 53(1), pp. 119-137. doi: 10.22059/jhgr.2019.279271.1007898 (In Persian).

16- Japan International Cooperation Agency. (JICA), Center for Earthquake and Environmental Studies of Tehran (CEST), & Tehran Municipality. (2000). *The study on seismic microzoning of the Greater Tehran area in the Islamic Republic of Iran*.

17- Jena, R. and B. Pradhan. Earthquake vulnerability assessment using expert-based approach in GIS. in 2019 6th International Conference on Space Science and Communication (IconSpace). 2019. IEEE.

18- Kamranzad, F., H. Memarian, and M. Zare, Earthquake risk assessment for Tehran, Iran. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2020. 9(7): p. 430.

19- Lalepour, M., Kirizadeh, M., Zakeri, M. (2022). 'Assessing the vulnerability of urban areas to earthquake crises (Case study: Varzeqan city neighborhoods)', *Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(31), pp. 1-24. doi: 10.22111/jneh.2022.33931.1656 (In Persian).

20- Lang, K., & Bachmann, H. (2004). *On the Seismic Vulnerability of Existing Buildings: A Case Study of the*

References

1- Afifi, M. E. (2022). 'Evaluation of Resilience of Urban Decay Texture against Earthquake using GIS (Case study: District 2 of Bandar Abbas Municipality)', *Geographical Studies of Coastal Areas Journal*, 3(2), pp. 69-88. doi: 10.22124/gscj.2022.21511.1142 (In Persian).

2- Aghayari, S. F., samadzadeh, R., masoumi, T. (2025). 'An analysis of urban social and economic resilience against earthquakes (Case study of Khalkhal city)', *Geographical Engineering of Territory*, 9(1), pp. -. doi: 10.22034/jget.2024.383111.1474 (In Persian).

3- Ansal, A., Akinci, A., Cultrera, G., Erdik, M., Pessina, V., Tönük, G., & Ameri, G. (2009). Loss estimation in Istanbul based on deterministic earthquake scenarios of the Marmara Sea region (Turkey) . *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29(4), 699-709.

4- Coburn, A., & Spence, R. (2002). *Earthquake Protection*. John Wiley and Sons.

5- Ekhlaspour P, Abbasnejad A, Nemati M. (2022). 'Earthquake hazard zoning in Kerman Province using GIS and Fuzzy Logic method'. *KJES*; 7 (2) :270-285 (In Persian).

6- Erdocan, S. and F. Terzi, GIS-based seismic vulnerability assessment for the Istanbul Historical

7- Geological survey of Iran, (2002), *Geological map of Hajiabad 1:100000*. (In Persian).

8- Getis, A., & Ord, J. K. (1992). The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical analysis*, 24(3), 189-206.

9- Ghazanfar Pour, H., Hosseinekhah, H., Kamali, E. (2023). 'The analysis of risk and vulnerability Seismic of human settlements in Basht County using fuzzy Dimatel and ArcGIS', *Journal of Natural Environmental Hazards*, 12(35), pp. 21-36. doi: 10.22111/jneh.2022.39945.1845 (In Persian).

10- Gholami H, Shokouhi bidhendi M S. (2023). Relative evaluation of the vulnerability of the areas of Khorramabad city in terms of earthquakes using the hierarchical analysis method. *Disaster Prev. Manag. Know*; 12 (4) : 7 (In Persian).

11- Hajiabad Municipality, (2021), *Comprehensive Planning of Haji Abad City* (In Persian).

- 31- Sauti, N.S., et al., GIS spatial modelling for seismic risk assessment based on exposure, resilience, and capacity indicators to seismic hazard: a case study of Pahang, Malaysia. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2021. 12(1): p. 1948-1972.
- 32- Yager, R. R., & Zadeh, L. A. (Eds.). (2012). An introduction to fuzzy logic applications in intelligent systems (Vol. 165). Springer Science & Business Media.
- 33- Yokoyama, O., & Takahashi, K. (2003). Planning for air pollution abatement in the greater Tehran area (GTA) in the Islamic Republic of Iran (JICA Project 1995-1997). *pure and applied geophysics*, 160(1-2), 17-19.
- 34- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.
- 35- Zadeh, L. A. (1975). Fuzzy logic and approximate reasoning. *Synthese*, 30(3), 407-428.
- City of Basel. *Earthquake Spectra*, 20(1), 43-66.
- 21- Malczewski, J., & Rinner, C. (2015). *Multicriteria decision analysis in geographic information science* (Vol. 1, pp. 55-77). New York: Springer.
- 22- Management and Planning Organization of Hormozgan Province, (2015), *Statistical Survey of Population in 2015*. (In Persian).
- 23- Michel, C., Fäh, D., Edwards, B., & Cauzzi, C. (2017). Site amplification at the city scale in Basel (Switzerland) from geophysical site characterization and spectral modelling of recorded earthquakes. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 98, 27-40.
- 24- Mohajer-Ashjai, A., & Nowroozi, A. A. (1978). Observed and probable intensity zoning of Iran. *Tectonophysics*, 49(3-4), 149-160.
- 25- Nyimbili, P.H., T. Erden, and H. Karaman, *Integration of GIS, AHP and TOPSIS for earthquake hazard analysis*. *Natural hazards*, 2018. 92: p. 1523-1546.
- 26- Ord, J. K., & Getis, A. (1995). Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application. *Geographical analysis*, 27(4), 286-306.
- 27- Regional Water Company of Hormozgan, (1993), *Report on exploration wells' log in Haji Abad Region*. (In Persian).
- 28- Regional Water Company of Hormozgan, (2020), *Information on Depth of water in Haji Abad Region*. (In Persian).
- 29- Rikalovic, A., Cosic, I., & Lazarevic, D. (2014). GIS based multi-criteria analysis for industrial site selection. *Procedia engineering*, 69, 1054-1063.
- 30- Saaty, T. L. (2004). Decision making—the analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP). *Journal of systems science and systems engineering*, 13, 1-35.

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 4.0 International \(CC BY-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/)

