

## Spatial analysis of the vulnerability of human settlements against earthquakes (Case study: West Azarbaijan province)

Mir Najaf Mousavi <sup>a\*</sup>, Nima Bayramzadeh <sup>b</sup>

<sup>a.</sup> \*Professor of Department of Geography, Faculty of Literature and Human Sciences, Urmia University, Urmia, Iran.

<sup>b.</sup> Research Assistant, Department of Geography, Faculty of Literature and Human Sciences, Urmia University, Urmia, Iran.

<https://doi.org/10.22034/ispdrc.2024.2019678.1076>

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

#### Keywords:

West Azerbaijan,  
Vulnerability,  
Earthquake,  
Human settlements.

The main purpose of this research is to analyze the spatial vulnerability of human settlements against earthquakes in West Azerbaijan province.

The present research is descriptive-analytical regarding its practical purpose and investigation method. The method of data collection is library and field. The statistical population of the research is 19 townships of West Azarbaijan province. The analysis of research data has been carried out quantitatively using GIS software. Several methods have been used to spatially analyze data, such as the IDW interpolation model, Kernel density function, Line density function, Fuzzy Overlay model, and AND function.

The findings of this research show that Salmas, Khoi, Chaypare, Chaldiran and Mako townships are in the north of the province, Takab township is in the southeast of the province, and in the south of the province, the townships of Sardasht, Mirabad, Piranshahr and oshnaviyeh are among the cities with a high vulnerability rate. According to the available data, it can be acknowledged that the southeast of the province is less vulnerable than the south and the north of the province. In a general summary, about 46% of the area of the province and 18% of the population of the province are in the area with high vulnerability. Today, following the recent hazards, especially the earthquakes, it is necessary to pay attention to the improvement of resilience in human settlements; therefore, based on the results obtained in this research, it is suggested to form pre-crisis management before the earthquake in centers with very high vulnerability.

#### Received:

6 January 2024

#### Received in revised form:

5 February 2024

#### Accepted:

13 March 2024

pp. 1-13

Corresponding author (Email: [m.mousavi@urmia.ac.ir](mailto:m.mousavi@urmia.ac.ir))

## **Extended Abstract**

### **Introduction**

Investigating the vulnerability of each province, including West Azarbaijan province, against earthquakes can play a positive role in reducing the vulnerability of human settlements. This province is located in the northwest of Iran and in an area with moderate seismicity, but the occurrence of destructive earthquakes in the past in Salmas, 70 km from Urmia, as well as the occurrence of destructive earthquakes in the city of Tabriz, which is a short distance from this province, along with the presence of active faults such as the Piranshahr-Selmas, Tabriz, Mahabad Dam faults and active faults in neighboring countries such as Turkey make it necessary to investigate the vulnerability caused by earthquakes in this province. therefore, based on the mentioned cases, The main purpose of this research is to analyze the spatial vulnerability of human settlements against earthquakes in West Azerbaijan province. to evaluate the vulnerability of this province based on fault data and point data while investigating various events in this area. in this regard, the main research question under the title "Which human settlements in West Azarbaijan Province are the most vulnerable?" has been mentioned.

### **Methodology**

The current research is descriptive-analytical regarding its practical purpose and investigation method. in this research, the method of data collection has been done in the library and field, so that at first, the information of the literature part of the research was collected from scientific sources such as books and scientific articles, and then the information related to the analytical data part, which includes Slope, Elevation, linear data of faults and point data of earthquakes from the year It is collected from 1930 to 2018. the statistical population of this research is 19 townships of West Azerbaijan province. the analysis of research data has been carried out quantitatively using GIS software. Several methods have been used to spatially analyze data, such as the IDW interpolation model, Kernel density function, Line density function, Fuzzy Overlay model, and AND function. in this research, clustering is considered as a 5-point Likert scale, which includes very low, low, medium, high, and very high degrees.

### **Results and discussion**

The findings of the research show that The vulnerability rate of the earthquakes that occurred in West Azarbaijan province shows that the biggest earthquake of this province with 7.1 Richter occurred in Salmas in 1930.

Also, the vulnerability rate of the earthquakes that occurred in this province shows that the western half of the province has suffered a lot of vulnerability compared to its eastern half. Also According to the results, Salmas, Khoi, Chaypare, Chaldiran and Mako townships are in the north of the province, Takab township is in the southeast of the province, and in the south of the province, the townships of Sardasht, Mirabad, Piranshahr and Oshnaviyeh are among the cities with a high vulnerability rate. According to the results, it can be acknowledged that the southeast of the province is less vulnerable than the south and the north of the province. In a general summary, about 46% of the area of the province and 18% of the population of the province are in the area with high vulnerability.

### **Conclusion**

Nowadays, evaluating the vulnerability of human settlements on one hand and evaluating the vulnerability of existing faults on the other hand can help the science of crisis management, so that by evaluating the current situation and history of natural hazards in the area, critical areas can be identified and early policies can be adopted in this regard. day by day, this issue adds to the importance of increasing resilience in human settlements, following the recent hazards, especially the recent earthquakes in Iran and neighboring countries, we have witnessed unfortunate events; therefore, based on the results obtained in this research, it is suggested to form pre-crisis management before the earthquake in centers with very high vulnerability and by increasing the level of resilience to reduce the vulnerability of these human settlements, it reduced the amount of people who need help during natural hazards because the occurrence of this hazards is always accompanied by a lot of damage, which can be reduced by adopting appropriate policies in the amount of material and life losses in these settlements.

### **Funding**

There is no funding support.

**Authors' Contribution**

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

**Conflict of Interest**

Authors declared no conflict of interest.

**Acknowledgments**

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.



انجمن علمی برنامه‌ریزی و مدیریت شهرسازی ایران

## مجله شهر ایمن

شابا الکترونیکی: 2676-556X

Journal Homepage: [www.ispdrc.ir](http://www.ispdrc.ir)

مقاله پژوهشی

## تحلیل فضایی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های انسانی در برابر زلزله (نمونه موردی: استان آذربایجان غربی)

میرنجف موسوی\* - استاد گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

نیما بایرام‌زاده - دستیار پژوهشی گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

<https://doi.org/10.22034/ispdrc.2024.2019678.1076>

اطلاعات مقاله	چکیده
واژگان کلیدی: آذربایجان غربی آسیب‌پذیری زلزله سکونتگاه‌های انسانی	هدف اصلی این پژوهش تحلیل فضایی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های انسانی در برابر زلزله و در استان آذربایجان غربی می‌باشد. پژوهش حاضر به لحاظ هدف کاربردی و روش بررسی آن توصیفی-تحلیلی است. روش گردآوری داده‌ها به صورت کتابخانه‌ای و میدانی است. جامعه آماری پژوهش شهرستان‌های ۱۹ گانه استان آذربایجان غربی است. تجزیه و تحلیل داده‌های پژوهش به صورت کمی و با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت گرفته است. در جهت تحلیل فضایی داده‌ها از روش‌های متعددی نظیر مدل درون‌یابی IDW، تابع تراکم Kernel، تابع تراکم Line، مدل همپوشانی Fuzzy Overlay و تابع AND استفاده شده است. یافته‌های این پژوهش نشانگر این است که در شمال استان شهرستان‌های سلماس، خوی، چابپاره، چالدران و ماکو، در جنوب شرقی استان شهرستان تکاب و در جنوب استان شهرستان‌های سردشت، میرآباد، پیرانشهر و اشنویه در زمره شهرستان‌ها با میزان آسیب‌پذیری بالا قرار دارند. مطابق داده‌های موجود می‌توان ادعان داشت که جنوب شرقی استان به نسبت جنوب و شمال استان از آسیب‌پذیری کمتری برخوردار است. در یک جمع‌بندی کلی نیز در حدود ۴۶ درصد از مساحت استان و ۱۸ درصد از جمعیت استان در محدوده با آسیب‌پذیری بالا قرار دارند. امروزه پیرو مخاطرات اخیر به خصوص زلزله‌های اتفاق افتاده، لزوم توجه به ارتقاء تاب‌آوری در سکونتگاه‌های انسانی را می‌افزاید؛ بنابراین بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، پیشنهاد می‌گردد تا قبل از وقوع زلزله در مراکز با آسیب‌پذیری خیلی بالا مدیریت قبل از بحران شکل گیرد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۳ صص. ۱۳-۱	

\* نویسنده مسئول

رایانامه: [m.mousavi@urmia.ac.ir](mailto:m.mousavi@urmia.ac.ir)

## مقدمه

و به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص خود و به عنوان یکی از کشورهای واقع در کمربند زمین لرزه دنیا (آلب-همالیایا) همواره در طول تاریخ مقهور خشم طبیعت بوده است (خدمت‌زاده و همکاران، ۱۴۰۰: ۴۴). در این راستا بررسی وضعیت آسیب‌پذیری هر یک از استان‌ها از جمله استان آذربایجان غربی در برابر زلزله می‌تواند در امر کاهش آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های انسانی مثر ثمر واقع شود. این استان در شمال غرب ایران و در ناحیه با لرزه‌خیزی متوسطی قرار دارد ولی وقوع زلزله‌های مخرب در گذشته در سلماس در ۷۰ کیلومتری ارومیه و همچنین وقوع زلزله‌های مخرب در شهر تبریز که فاصله کمی با این استان دارد به همراه وجود گسل‌های فعالی همچون گسل پیرانشهر-سلماس، تبریز، سد مهاباد و گسل‌های فعال در کشورهای همسایه نظیر ترکیه بررسی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله را در این استان را ضروری می‌سازد (عشقی چهاربرج و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۰۳)؛ بنابراین بر اساس موارد ذکر شده، هدف اصلی این پژوهش تحلیل فضایی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های انسانی در برابر زلزله و در استان آذربایجان غربی می‌باشد تا ضمن بررسی رخدادهای مختلف در این محدوده میزان آسیب‌خیزی سکونتگاه‌های انسانی در این استان بر اساس داده‌های محیطی ارزیابی گردد. در این راستا سؤال اصلی پژوهش تحت عنوان «کدام یک از سکونتگاه‌های انسانی در استان آذربایجان غربی بیشترین آسیب‌پذیری را دارند؟» مطرح گردیده است.

## مبانی نظری

امروزه بلایای طبیعی منجر به خسارات جانی و اقتصادی قابل توجهی در سراسر جهان شده است (Galbusera et al, 2018) و این بحران‌ها می‌توانند در هر نقطه و مکانی رخ دهند (موسوی و همکاران، ۱۴۰۲: ۱۳۰)؛ بنابراین به کارگیری اصول و ضوابط برنامه‌ریزی شهری می‌تواند در کاهش خسارات نقش عمده‌ای را ایفا نماید به طوری که یکی از اهداف برنامه‌ریزی شهری کاهش شدید اثرات ناشی از بلایای طبیعی و افزایش ایمنی است و در کشورهای در حال توسعه، توسعه کنترل نشده، انتخاب‌های ضعیف برنامه‌ریزی، مسائل طراحی و شکست ساختاری مانع از پیشرفت بشریت برای تجهیز بشر به اقداماتی در برابر چالش‌های پیچیده ناشی از زلزله شده است (Yariyan, 2020). به‌طور کلی مهم است که ماهیت چند بعدی آسیب‌پذیری شناخته شود و رویکردی کل‌نگر برای رسیدگی مؤثر به آن اتخاذ گردد (Majumder et al., 2023) در این راستا تاکنون چهار نظریه اصلی در ارتباط با آسیب‌پذیری شهرها مطرح شده است که شامل نظریه‌های: ۱) اکولوژی انسانی، ۲) اقتصاد سیاسی، ۳) انطباق اجتماع مبنا و ۴) تاب‌آوری (زنگی‌آبادی و دادبود، ۱۴۰۰: ۲۵-۲۶). در ارتباط با تاب‌آوری می‌توان مفهومی مشترک بین جامعه‌شناسی، اقتصاد و اکولوژی

در دهه‌های اخیر، مخاطرات طبیعی باعث مرگ بیش از ۷۸۰ هزار نفر در جهان شده است که از آن میان حدود ۶۰ درصد ناشی از زلزله بوده، به گونه‌ای که وقوع زلزله همواره با تأثیرات مخرب بر سکونتگاه‌های انسانی همراه است و هزینه‌های هنگفت را بر جامعه انسانی وارد می‌سازد (نجفی کانی، ۱۴۰۰: ۱۷۰). در این راستا مفهوم آسیب‌پذیری در علوم اجتماعی سرچشمه گرفته است که ابتدا توسط اوکیف و همکاران (۱۹۷۶) مورد استفاده قرار گرفت به گونه‌ای که برای توصیف مفاهیم مرتبط با بلایای طبیعی آسیب‌پذیری به عنوان معیاری از میزان نامطلوب آسیب‌پذیری سیستم اجتماعی-اقتصادی گروه‌های انسانی توسط بلایای طبیعی تعریف می‌شود و با حساسیت، قرار گرفتن در معرض و تاب‌آوری تعیین می‌شود (Liu et al, 2022- O'Keefe et al, 1976).

آسیب‌پذیری و تاب‌آوری ایده‌های مهمی هستند که به روش‌های مختلف توسط محققانی که کاهش خطر بلایا و سازگاری با تغییرات آب و هوایی را مطالعه می‌کنند، مفهوم‌سازی شده‌اند (Oulahen et al, 2019) در این راستا بین عناصر طبیعی و سازمان فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی جامعه آسیب‌دیده رابطه مهمی وجود دارد به طوری که احتمال اینکه یک بلای طبیعی اثرات مخرب بیشتری در یک مکان داشته باشد نسبت به مکان دیگر بستگی به میزان آسیب‌پذیری آن مکان دارد (Frigerio & De Amicis, 2016). به طور کلی درک آسیب‌پذیری سیستمیک سکونتگاه‌های انسانی، کلید تضمین ایمنی آن‌ها است، به خصوص اگر در مناطق با لرزه‌خیزی بالا واقع شده باشند. متأسفانه، در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، به دلیل عوامل متعددی (مانند منابع مالی ناکافی، عدم توجه مقامات و جامعه مدنی) این موارد نادیده گرفته می‌شود (Albulescu, 2023).

بر اساس گزارش دفتر برنامه‌ریزی سازمان ملل متحد در سال ۲۰۰۲ میلادی، ایران در میان دیگر کشورهای جهان، رتبه نخست را از نظر تعداد زلزله‌هایی با شدت بالای ۵/۵ ریشتر در سال دارد و یکی از بالاترین رتبه‌ها را در زمینه آسیب‌پذیری ناشی از وقوع زلزله و تعداد تلفات این سانحه را به خود اختصاص داده است (غضنفرپور و همکاران، ۱۴۰۲: ۲۲). در این کشور با توجه به موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناختی خود، جز ده کشور برتر جهان در زمینه لرزه‌خیزی محسوب می‌شود و علاوه بر آن بر اساس آمارهای رسمی در ۱۰۰ سال گذشته، بیشتر از ۱۳ زلزله به بزرگی هفت ریشتر در کشور رخ داده است (ریاحی و مقدسی، ۱۴۰۲: ۱۸۷). در واقع افزایش و تجمع نیروها در فلات ایران در اثر حرکت شبه جزیره عربستان به سمت شمال شرق و حرکت شبه قاره هند به سمت شمال غرب سبب عمده زلزله‌خیزی منطقه شده است (نوروزی و همکاران، ۱۴۰۰: ۸۲)؛

بحران‌های ناشی از زلزله در مقیاس منطقه‌ای کمک می‌کنند. علاوه بر آن، این مقاله یک چارچوب روش‌شناختی شفاف ارائه می‌کند که می‌تواند برای قرار دادن شهرهایی در مناطق با لرزه‌خیز بالا بر روی نقشه ارزیابی‌های آسیب‌پذیری سیستمی تکرار شود و زمینه را برای تغییرات مثبت در کشورهایی فراهم کند که چالش‌های مرتبط با خطر لرزه‌ای در سطح بالا وجود دارد. علیزاده و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهش خود تحت عنوان «ارزیابی آسیب‌پذیری زلزله برای مناطق شهری با استفاده از ANN و مدل ترکیبی *SWOT-QSPM*» در ابتدا، با مروری بر ادبیات به منظور بررسی شاخص‌هایی با تأثیر قابل توجه بر ابعاد آسیب‌پذیری فوق‌الذکر در برابر زلزله انجام شد. سپس، بیست شاخص شناسایی شده در نرم‌افزار *GIS* مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پس از طبقه‌بندی لایه‌ها، نقشه‌های استاندارد شده به عنوان ورودی به شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (*MLP*) و نقشه خود سازماندهی (*SOM*) ارائه شد. نتایج این پژوهش نشانگر این است که نقشه‌های آسیب‌پذیری زلزله (*EVMs*) حاصل پنج دسته آسیب‌پذیری از خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم را نشان می‌دهد. بر این اساس، از مجموع ۹ منطقه شهرداری تبریز، منطقه یک آسیب‌پذیرترین و منطقه هفت کمترین آسیب‌پذیری در برابر زلزله قرار گرفتند. آسیب‌پذیری ساختمان‌های مسکونی در برابر زلزله نیز شناسایی شد. فرجی‌سبکبار و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهش خود تحت عنوان «ارزیابی فضایی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله با استفاده از *Fuzzy Inference System* (مطالعه موردی: سکونتگاه‌های روستایی در کلان‌شهر تهران)» با استفاده از سیستم استنتاج فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی به ارزیابی فضایی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در کلان‌شهر تهران پرداخته‌اند که نتایج این بررسی نشانگر این است که بخش عمده‌ای از محدوده مورد مطالعه دارای پتانسیل بالایی برای آسیب‌پذیری است و تنها مناطق محدودی دارای پتانسیل کم و متوسط برای آسیب‌پذیری در برابر خطر زلزله هستند. حدائی و فیضی (۲۰۲۱) در پژوهش خود تحت عنوان «تحلیل نقش پراکندگی سکونتگاه‌های روستایی در برابر مخاطرات طبیعی در استان خراسان جنوبی» اشاره کرده‌اند که بر اساس نتایج یکپارچه دو خطر (یعنی زلزله و سیل)، مشاهده شده است که ۵۲۳ سکونتگاه روستایی در پهنه بسیار پرخطر قرار دارند که ۱۴٫۷ درصد از کل سکونتگاه‌های استان خراسان جنوبی را نسبت به کل سکونتگاه‌های روستایی تشکیل می‌دهد. همچنین بیشترین فراوانی پراکندگی سکونتگاه‌های روستایی در ناحیه آسیب‌پذیری متوسط است. این پهنه با هزار و ۳۴۴ آبادی حدود ۳۷/۷ درصد از کل آبادی‌های استان را شامل می‌شود. ریاحی و مقدسی (۱۴۰۲) در پژوهش خود تحت عنوان «تحلیل میزان

دانست زیرا مخاطرات واقعی هستند که با تهدید یک اجتماع و عرصه‌های مختلف آن شامل اقتصاد، فرهنگ محیط زیست و غیره پیامدهایی به همراه دارد، این مفهوم بر این موضوع اشاره دارد که جامعه محلی بدون اینکه از تلفات مخرب و خسارت‌ها صدمه ببیند و قدرت و میزان کیفیت زندگی آن کاهش یابد و یا کمکی بیرون از جامعه دریافت کند، در برابر حوادث طبیعی ایستادگی نماید (فخرقازی و همکاران، ۱۴۰۱: ۳۱۰) به طوری که امروزه به دلیل رشد فزاینده شهرنشینی و خسارت‌های فراوان ناشی از مخاطره‌های طبیعی و انسانی به محیط و کالبد سکونتگاه‌های انسانی، مفهوم تاب‌آوری برای کاهش آثار مخاطرات، به حوزه‌ای مهم در عرصه مدیریت بحران تبدیل شده است (رجایی و همکاران، ۱۴۰۰: ۲). تاب‌آوری یک ویژگی صرف یک سیستم است، در حالی که ثبات به عنوان توانایی یک سیستم برای بازگشت به تعادل پس از شوک‌های زمانی تعریف می‌شود. با این حال، این مفاهیم در ادبیات تاب‌آوری شهری مدرن آمیخته شدند و اکنون در یک مفهوم متعارف واحد در هم تنیده شده‌اند (Cariot et al., 2019; Folke, 2006; Masnaviet al., 2016; Meerow et al., 2019). از این رو، تاب‌آوری شهری با هدف مطالعه ظرفیت شهرها، جوامع یا جوامع برای مقاومت، جذب، سازگاری و بازیابی به موقع و مؤثر از اثرات مخاطرات پدید آمده است (Benito del Pozo & López-González, 2020). در دو دهه اخیر، اصطلاح آسیب‌پذیری به مفهومی حیاتی و پرکاربرد برای تحقیقات خطر و توسعه استراتژی‌های کاهش مناسب در مقیاس محلی، ملی و بین‌المللی تبدیل شده است (Oulahen et al., 2019- Frigerio & De Amicis, 2016). به طوری که در رابطه با موضوع پژوهش، پژوهش‌های متعددی در خارج و داخل کشور صورت گرفته است در این راستا می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره کرد:

لیو و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهش خود تحت عنوان «ارزیابی آسیب‌پذیری فضایی سکونتگاه‌های روستایی در نواحی تپه‌ای با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی *BP*» اشاره کرده‌اند که هر چقدر بخش‌ها و شهرستان‌ها به منطقه شکستگی زمین‌شناسی بین کوه لانگمن و کوه لانگ کوان نزدیک‌تر باشند، آسیب‌پذیری فضایی سکونتگاه‌های روستایی بیشتر می‌شود. آسیب‌پذیری مکانی سکونتگاه‌های روستایی در غرب نواحی تپه‌ای بیشتر از شرق است و در آنجا آسیب‌پذیری مکانی بیشتر است. تفاوت کمی بین شمال و جنوب است. آلبولسکو (۲۰۲۳) در پژوهش خود تحت عنوان «راه‌حل‌های مبتنی بر داده‌های منبع باز برای شناسایی الگوهای آسیب‌پذیری سیستمیک زلزله شهری در مناطق با لرزه‌خیزی بالا» اشاره کرده است که توسعه طرح‌های کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای بهبود یافته، متناسب با مناطق و همچنین تخصیص منابع مالی و انسانی مورد نیاز برای مدیریت

به کار رفته در پژوهش‌های مختلف پرداخته شده است به طوری که وانگ و همکاران (۲۰۲۳) از اطلاعات تراکم گسلی، فاصله تا گسل، فاصله تا رودخانه، ارتفاع، زاویه شیب، جهت شیب و انحنای منطقه مورد مطالعه برای ارزیابی پیش‌بینی فضایی زمین لغزش‌های ناشی از زلزله استفاده کرده‌اند. چو و همکاران (۲۰۲۱) از توزیع تاریخی زمین لرزه‌ها، توپوگرافی شهری، شیب و ارتفاع، اطلاعات صفحه و اطلاعات پایداری سنگ و خاک در مورد منطقه مورد مطالعه برای ارزیابی خطر لرزه‌ای استفاده کرده‌اند. احمد و همکاران (۲۰۱۷) از بزرگی زمین لرزه‌های گذشته، کانون‌ها و تراکم این نقاط، گسل‌ها، مدل رقومی ارتفاع و اطلاعات شیب منطقه مورد مطالعه برای ارزیابی خطرات لرزه‌ای استفاده کرده‌اند. در نهایت در این تحقیق از عوامل اصلی موثر در آسیب‌پذیری زلزله استفاده می‌کنیم که بر اساس دسترسی به داده‌ها انتخاب می‌شوند. آزاده و تقوایی (۱۳۹۶) از معیارهای گسل‌های فعال و فاصله از گسل‌های فعال برای پهنه‌بندی خطر زلزله در استان گیلان اقدام نموده‌اند. در نهایت در یک جمع‌بندی کلی در جهت بررسی این پژوهش از معیارهای تراکم نقاط زلزله‌های رخ داده، تراکم خطی گسل‌های فعال، شیب و ارتفاع استفاده شده است.

### روش پژوهش

پژوهش حاضر به لحاظ هدف کاربردی و روش بررسی آن توصیفی-تحلیلی است. در این پژوهش روش گردآوری داده‌ها به صورت کتابخانه‌ای و میدانی صورت گرفته است، به طوری که در ابتدا اطلاعات بخش ادبیات پژوهش از منابع علمی نظیر کتاب‌ها و مقالات علمی گردآوری شده است و سپس اطلاعات مربوط به بخش داده‌های تحلیلی که شامل داده‌های شیب، ارتفاع، داده‌های خطی گسل‌ها و داده‌های نقطه‌ای زلزله‌ها از سال ۱۳۰۹ تا ۱۳۹۷ است، جمع‌آوری شده است. جامعه آماری این پژوهش شهرستان‌های ۱۹ گانه استان آذربایجان غربی است. تجزیه و تحلیل داده‌های پژوهش به صورت کمی و با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت گرفته است. در جهت تحلیل فضایی داده‌های پژوهش از روش‌های متعددی نظیر مدل درون‌یابی *IDW*، تابع تراکم *Kernel*، تابع تراکم *Line*، مدل همپوشانی *Fuzzy Overlay* و تابع *AND* استفاده شده است. در این پژوهش خوشه‌بندی به صورت طیف لیکرت ۵ درجه که شامل درجه‌های خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد است، در نظر گرفته شده است.

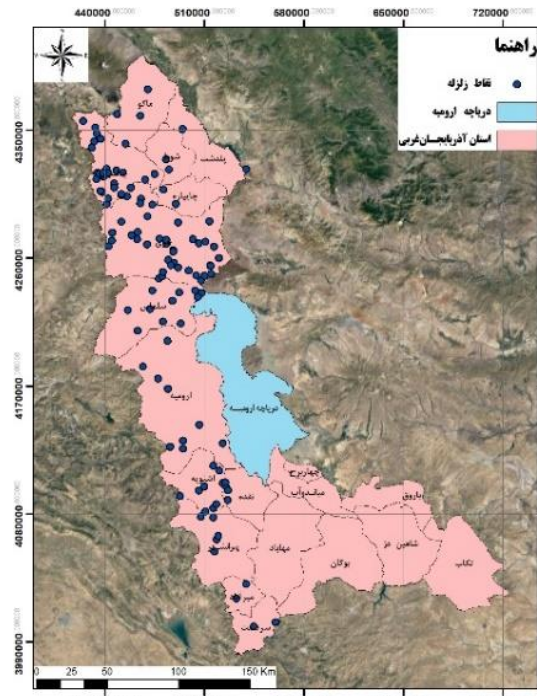
### محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش استان آذربایجان غربی واقع در شمال غربی کشور است. این استان در سال ۱۴۰۰ مطابق با آمار مرکز آمار ایران، دارای مساحت ۳۷۵۴۲ کیلومتر مربع و

آسیب‌پذیری روستاهای شهرستان اشتهارد در برابر زلزله» از طریق تحلیل فضایی و تحلیل آماری به بررسی آسیب‌پذیری روستاهای شهرستان اشتهارد در برابر زلزله پرداخته‌اند که نتایج این پژوهش نشانگر این است که در محدوده مورد مطالعه، شاخص‌های عرض معابر، کیفیت مصالح به کار رفته و تراکم واحدهای مسکونی وضعیت مناسبی ندارند و در آسیب‌پذیر کردن خانه‌های روستایی در برابر زلزله نقش مهمی دارند و در مقابل شاخص‌های قدمت بنا و تعداد طبقات واحدهای مسکونی شرایط مطلوبی دارند و تا حدودی آسیب‌پذیری مسکن در چهار روستا را تعدیل کرده‌اند. نوروزی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهش خود تحت عنوان «تحلیل ناپایداری سکونتگاه‌های انسانی در پهنه سرزمین با تأکید بر مدیریت ریسک خطر زلزله (موردپژوهشی: شهرستان گچساران)» با هدف پهنه‌بندی و ارزیابی میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های شهری و روستایی به بررسی و تحلیل شهرستان گچساران در برابر خطر وقوع زمین‌لرزه پرداخته‌اند. نتایج این بررسی نشانگر این است که از مساحت ۳۰۳۶ کیلومترمربع شهرستان گچساران، ۸۱۲/۰۷ کیلومترمربع، دارای خطر لرزه‌خیزی بسیار بالا، ۸۱۵/۱۵ کیلومترمربع از شهرستان گچساران دارای خطر لرزه‌خیزی بالا، ۷۸۰/۹۷ کیلومترمربع دارای خطر لرزه‌خیزی متوسط، ۴۴۱/۷۸ کیلومترمربع معادل ۱۴/۵۵ درصد از کل شهرستان دارای خطر لرزه‌خیزی کم و همچنین ۱۸۶/۱۱ کیلومتر از کل شهرستان بدون خطر زلزله است. زنگی آبادی و دادبود (۱۴۰۰) در پژوهش خود تحت عنوان «تحلیل فضایی خوشه‌های آسیب‌پذیر بافت کالبدی شهر گرگان در برابر زلزله (با استفاده از آمار فضایی)» با استفاده آماره فضایی *Getis-Ord* به تحلیل فضایی خوشه‌های آسیب‌پذیر بافت کالبدی پرداخته‌اند که نتایج این پژوهش نشانگر این است که شاخص مصالح ساختمانی با وزن ۰/۴۵۲ و شاخص ریزدانی (مساحت قطعات) با وزن ۰/۱۲۶ به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیرگذاری را در ارزیابی آسیب‌پذیری بلوک‌های شهر گرگان دارند. همچنین، بیشترین میزان آسیب‌پذیری از لحاظ کالبدی مربوط به مناطق مرکزی و جنوبی و حاشیه‌های شرقی و تا حدودی غربی شهر گرگان است. تحلیل *Hotspot* به طور واضح شکاف بین مرکز و جنوب را با سایر مناطق شهر گرگان نشان می‌دهد. در واقع، پهنه‌های آسیب‌پذیر شهر گرگان عمدتاً بر بافت‌های تاریخی و مناطق حاشیه‌نشین منطبق است.

در یک جمع‌بندی کلی می‌توان نوآوری این پژوهش نسبت به پژوهش‌های پیشین را در استفاده از داده‌های نقطه‌ای زلزله‌های رخ داده در محدوده مورد مطالعه اشاره کرد که در یک بازه زمانی ۸۸ ساله به تحلیل فضایی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های انسانی در برابر زلزله در استان آذربایجان غربی می‌پردازد. در جهت انتخاب پهنه معیارهای پژوهش به بررسی معیارهای

شده است که تشکیل شده از داده‌های نقطه‌ای زلزله‌ها با شدت بالاتر از ۳ ریشتر می‌باشد که پراکنش نقطه‌ای این داده‌ها در نقشه ۳ و وضعیت آماری این داده‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.



نقشه ۳. داده‌های نقطه‌ای زلزله‌های صورت گرفته طی سال‌های ۱۳۰۹-۱۳۹۷

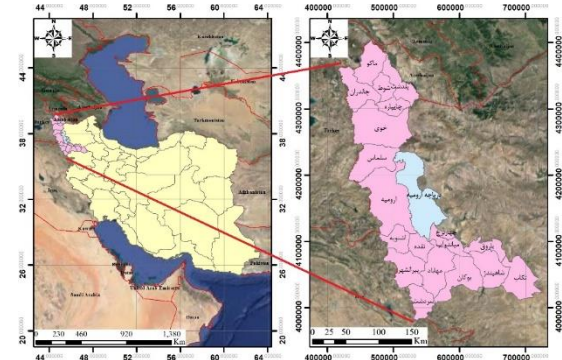
جدول ۱. خلاصه آمار داده‌های زلزله‌های صورت گرفته

طی سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۰۹

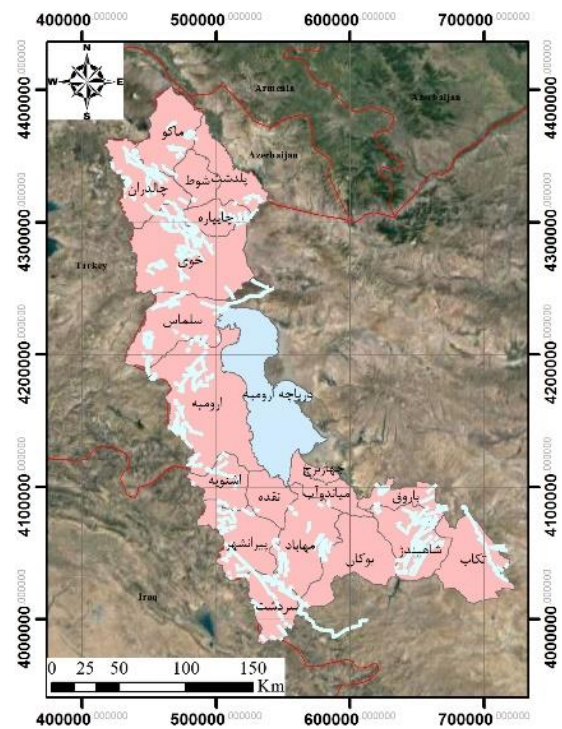
تعداد	کمینه	بیشینه	میانگین
۱۱۷	۳/۲	۷/۱	۴/۳۶
نقطه	شدت	شدت	شدت

مطابق جدول ۱ و نقشه ۳، تعداد ۱۱۷ زلزله در طی سال‌های ۱۳۰۹ الی ۱۳۹۷ در استان آذربایجان غربی رخ داده است که کمینه شدت این زلزله‌ها ۳.۲ ریشتر و بیشینه شدت این زلزله‌ها ۷.۱ ریشتر است. همچنین مطابق نقشه ۳ می‌توان اشاره کرد که پراکنش زلزله‌های صورت گرفته در طی سال‌های مورد بررسی بیشتر در شمال استان متمرکز بوده است و قسمت جنوب شرقی استان در طی سال‌های مورد بررسی زلزله‌ای با بزرگی ۳ ریشتر و بیشتر را تجربه نکرده است. در ادامه، پس از بررسی پراکنش داده‌های نقطه‌ای زلزله‌های رخ داده در استان، میزان آسیب‌پذیری این داده‌های نقطه‌ای از طریق مدل IDW و بر اساس میزان شدت آن‌ها مورد بررسی واقع شده و در نقشه ۴ نشان داده شده است:

برآورد جمعیت ۳۴۴۵۰۰۰ نفری است که در حدود ۲/۳ درصد از مساحت کشور و در حدود ۴/۱ درصد از جمعیت کل کشور را تحت پوشش قرار داده است. استان آذربایجان غربی به عنوان یکی از استان‌های مرزی، دارای ۹۶۷ کیلومتر مرز مشترک با کشورهای ترکیه، عراق و آذربایجان است و بر اساس تقسیمات سیاسی-اداری ۱۴۰۰ مرکز آمار ایران دارای ۱۹ شهرستان است که در نقشه شماره ۱ نشان داده شده است. همچنین وضعیت گسل‌های این استان در نقشه شماره ۲ نشان داده شده است.



نقشه ۱. محدوده مورد مطالعه



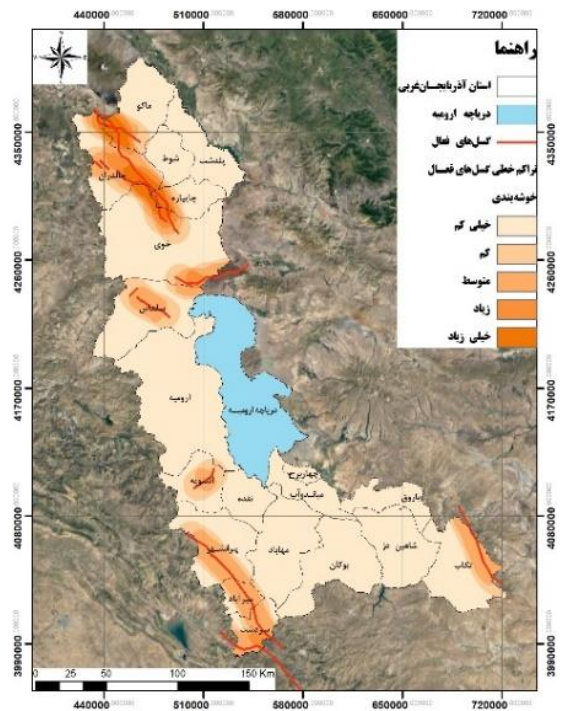
نقشه ۲. گسل‌های موجود در استان آذربایجان غربی

## یافته‌ها

در جهت ارزیابی میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های انسانی، در ابتدا به گردآوری داده‌های نقطه‌ای زلزله‌های رخ داده در درون استان آذربایجان غربی پرداخته شده است. در این راستا تعداد ۱۱۷ داده‌ی نقطه‌ای طی سال‌های ۱۳۰۹ تا ۱۳۹۷ گردآوری

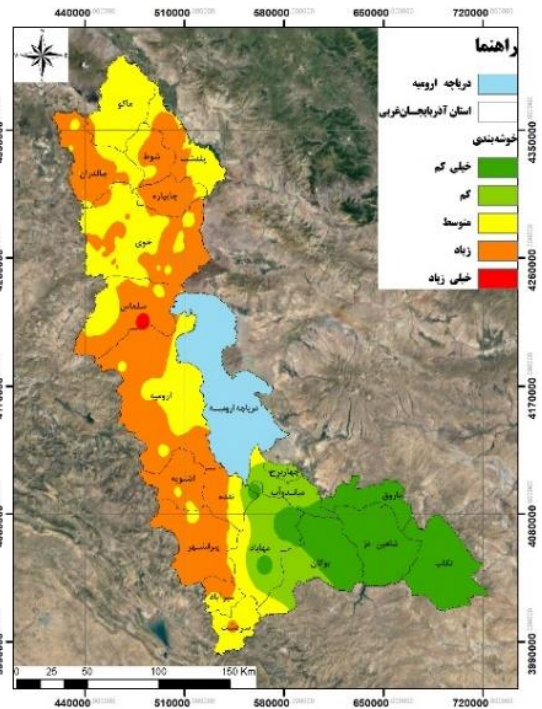
## تحلیل فضایی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های انسانی در برابر زلزله (نمونه موردی: استان آذربایجان غربی)

پرداخته شده است که نتایج این ارزیابی در نقشه ۵ نشان داده شده است:



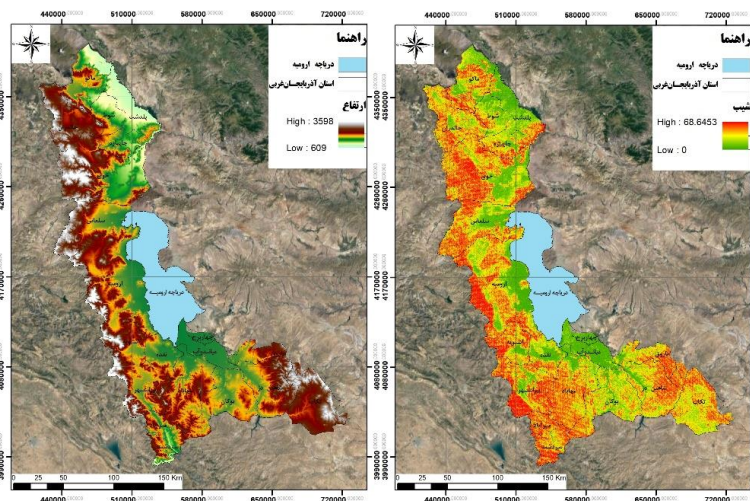
نقشه ۵. تراکم خطی گسل‌های فعال موجود در استان آذربایجان غربی

مطابق نقشه شماره ۵، خوشه‌بندی تراکم گسل‌های موجود در استان نشانگر این است که در شمال استان شهرستان‌های خوی، چایپاره، ماکو و چالدران، در جنوب استان شهرستان‌های اشنویه، سردشت، میرآباد و پیرانشهر و در جنوب شرقی استان شهرستان تکاب بیشترین تراکم گسل را در خود دارند. در ادامه جهت بررسی دقیق‌تر موضوع آسیب‌پذیری این استان پرداخته شده است که نتایج این ارزیابی در نقشه ۶ نشان داده شده است:



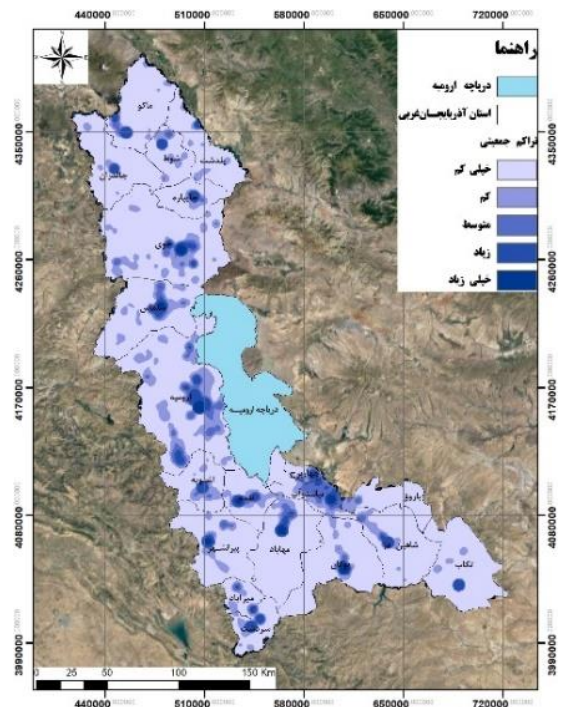
نقشه ۴. آسیب‌پذیری داده‌های نقطه‌ای

مطابق نقشه ۴، میزان آسیب‌پذیری زلزله‌های رخ داده در استان آذربایجان غربی نشانگر این است بزرگ‌ترین زلزله این استان با ۷/۱ ریشتر و در شهرستان سلماس و در سال ۱۳۰۹ رخ داده است، همچنین میزان آسیب‌پذیری زلزله‌های رخ داده در این استان نشانگر این است که نیمه غربی استان نسبت به نیمه شرقی آن خسارت بیشتری متحمل شده است به طوری که به دلیل نبود داده‌های نقطه‌ای زلزله با شدت ۳ ریشتر به بالا در جنوب شرقی استان، این بخش از استان میزان آسیب‌پذیری خیلی کمتری را نسبت به سایر محدوده‌های استان تجربه کرده است. در ادامه به بررسی تراکم گسل‌های فعال موجود بر اساس تراکم خطی این گسل‌ها



نقشه ۶. نقشه شیب و ارتفاع استان آذربایجان غربی

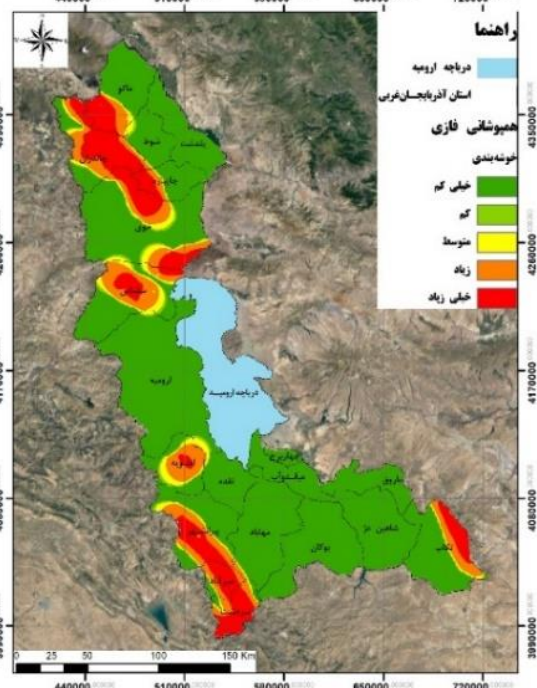
داده‌های نقطه‌ای جمعیتی (۱۳۹۵) پرداخته شده است که نتایج این ارزیابی در نقشه ۸ نشان داده شده است:



نقشه ۸. تراکم جمعیتی استان

مطابق نقشه ۸، تراکم جمعیتی در استان آذربایجان غربی بیشتر در قسمت مرکزی یعنی شهرستان ارومیه متمرکز شده است به طوری که به دلیل مرکزیت سیاسی و اداری شهر ارومیه، وجود کاربری‌های جاذب جمعیت و میزان بالای توسعه یافتگی نسبت به سایر شهرستان‌ها، میزان جمعیت‌پذیری این شهرستان زیاد می‌باشد که در ادامه بر اساس داده‌های نقطه‌ای جمعیت (شهری و روستایی) و بر اساس نتایج هم‌پوشانی لایه‌ها در نقشه ۷، میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های انسانی مورد ارزیابی قرار گرفته است که نتایج این ارزیابی در جدول ۲ نشان داده شده است:

در نهایت بر اساس نقشه‌های تولید شده و با استفاده از مدل *Fuzzy Overlay* و تابع *AND* به بررسی آسیب‌پذیری این استان پرداخته شده است که نتایج این ارزیابی در نقشه ۷ نشان داده شده است:



نقشه ۷. نتایج هم‌پوشانی لایه‌ها

نتایج نقشه ۷ نشانگر این است که در شمال استان شهرستان‌های سلماس، خوی، چایپاره، چالدران و ماکو، در جنوب شرقی استان شهرستان تکاب و در جنوب استان شهرستان‌های سردشت، میرآباد، پیرانشهر و اشنویه در زمره شهرستان‌ها با میزان آسیب‌پذیری بالا قرار دارند که این موضوع لزوم توجه به مدیریت بحران قبل از وقوع مخاطرات را در این شهرستان‌ها دو چندان می‌کند. در نهایت در جهت ارزیابی دقیق‌تر میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های انسانی (شهرها و روستاها) در ابتدا به بررسی تراکم جمعیتی با استفاده از تابع تراکم *Kernel* و اطلاعات آماری

جدول ۲. میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های انسانی

نوع خوشه	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	تعداد سکونتگاه‌های انسانی	درصد	حدود جمعیتی (نفر)	درصد
خیلی کم	۲۷۷۴۵	۴۴/۰۲	۲۶۲۰	۷۰/۶	۲۶۰۸۹۷۷	۷۹/۹
کم	۶۶۱	۳/۳۰	۳۹	۱/۱	۲۶۲۷۹	۰/۸
متوسط	۱۲۲۴	۶/۷۸	۱۰۴	۲/۸	۴۶۰۶۲	۱/۴
زیاد	۳۵۹۲	۳۳/۷۶	۳۳۸	۹/۱	۱۷۷۰۰۶	۵/۴
خیلی زیاد	۴۳۲۰	۱۲/۱۹	۶۱۰	۱۶/۴	۴۰۶۸۷۹	۱۲/۵
مجموع	۳۷۵۴۲	۱۰۰	۳۷۱۱	۱۰۰	۳۲۶۵۲۰۳	۱۰۰

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲)

استان در خوشه با میزان آسیب‌پذیری خیلی کم قرار گرفته است که این میزان مساحت حدود ۷۹/۹ درصد از جمعیت

جدول شماره ۲ نشانگر این است که بر اساس معیارهای پژوهش پیش‌بینی می‌شود که در حدود ۴۴ درصد از مساحت

شهرستان‌های سردشت، پیرانشهر، نقده و اشنویه، از شهرستان‌های آسیب‌پذیر استان به حساب می‌آیند به طوری که در مجموع حدود ۱۲ درصد از مساحت خوشه با میزان آسیب‌پذیری خیلی زیاد در این شهرستان‌ها قرار گرفته است که این محدوده، حدود ۱۱ درصد از جمعیت استان را در بر گرفته است. همچنین مطابق داده‌های موجود می‌توان اذعان داشت که جنوب شرقی استان به نسبت جنوب و شمال استان از آسیب‌پذیری کمتری برخوردار است. با مقایسه نتایج این پژوهش با پژوهش‌های آلبولسکو (۲۰۲۳) در این راستا در مناطق با لرزه‌خیزی بالا باید مدیریت قبل بحران شکل گیرد همسو می‌باشد.

از محدودیت‌های اصلی این پژوهش می‌توان به نبود داده‌های بروز در زمینه داده‌های جمعیتی، داده‌های نقطه‌ای زلزله اشاره کرد که در جهت پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌گردد در صورت موجود بودن از داده‌های جدیدتر استفاده گردد. همچنین پیشنهاد می‌گردد بر اساس نتایج این پژوهش سایر پژوهشگران در پژوهش‌های آتی خود به بررسی وضعیت شهرستان‌ها با آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد بپردازند تا در سطح خرد نیز این موضوع بررسی گردد. بر اساس نتایج به دست آمده از این پژوهش پیشنهادهای کلی به صورت زیر ارائه می‌گردد:

- تشکیل گروه مدیریت قبل از بحران در شهرستان‌ها با میزان آسیب‌پذیری خیلی زیاد و افزایش تاب‌آوری جمعی از طریق برگزاری کارگاه‌های آموزشی به خصوص در شهرستان‌ها با میزان آسیب‌پذیری خیلی زیاد و زیاد،
- شناسایی سکونتگاه‌های انسانی با میزان آسیب‌پذیری بالا به لحاظ ویژگی‌های کالبدی (استحکام بنا ساختمانی)،
- مکان‌یابی بهینه مراکز اقامتی و اسکان موقت به خصوص در شهرستان‌ها با میزان آسیب‌پذیری خیلی بالا،
- ایجاد طرح‌های تشویقی در جهت مقاوم‌سازی بنا و استفاده مصالح بومی و مقاوم،
- نظارت مستمر بر ساختمان‌های در حال ساخت و انتقال تجارب در راستای مقاوم‌سازی بنا.

استان را در بر گرفته است که نشان از این دارد که نیمی از مساحت استان و بیش از هشتاد درصد از جمعیت استان در محدوده‌ای با میزان آسیب‌پذیری خیلی کم و کم سکونت دارند؛ همچنین مطابق نتایج این جدول، در حدود ۱۲ درصد از مساحت استان در زمره مناطق با میزان آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار دارد که این محدوده در حدود ۱۲/۵ درصد از جمعیت استان را در بر گرفته است و این موضوع نیازمند توجه ویژه مدیران و برنامه‌ریزان است به طوری که با احتساب مجموع دو خوشه با آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد در حدود ۴۶ درصد از مساحت استان و ۱۸ درصد از جمعیت استان در محدوده با آسیب‌خیزی بالا سکونت دارند که این مناطق نیازمند بررسی دقیق‌تر و ارزیابی جزئی‌تر آسیب‌پذیری می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

امروزه ارزیابی میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های انسانی از یک طرف و از طرف دیگر ارزیابی میزان آسیب‌خیزی گسل‌های موجود می‌تواند به علم مدیریت بحران کمک شایانی کند به طوری که با ارزیابی وضع موجود و پیشینه رخدادهای مخاطرات طبیعی در محدوده، می‌توان مناطق بحرانی را شناسایی نمود و در این راستا می‌توان سیاست‌های زود هنگام را اتخاذ نمود. این موضوع روزبه‌روز بر اهمیت افزایش تاب‌آوری در سکونتگاه‌های انسانی می‌افزاید به طوری که پیرو مخاطرات اخیر به خصوص زلزله‌های اخیر در ایران و کشورهای همسایه شاهد رخدادهای ناگواری بوده‌ایم؛ بنابراین بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، پیشنهاد می‌گردد تا قبل از وقوع زلزله در مراکز با آسیب‌پذیری خیلی بالا مدیریت قبل از بحران شکل گیرد و با افزایش میزان تاب‌آوری در راستای کاهش میزان آسیب‌پذیری این سکونتگاه‌های انسانی اقدام گردد تا میزان افرادی که در زمان رخدادهای طبیعی نیازمند کمک می‌باشند را کاهش داد زیرا وقوع مخاطرات طبیعی همواره با خسارات زیادی همراه است که می‌توان با اتخاذ سیاست‌های مناسب میزان تلفات مادی و جانی را در این سکونتگاه‌ها کاهش داد.

نتایج این پژوهش نشانگر این است که در شمال استان شهرستان‌های چالدران، چایپاره، خوی، در مرکز استان شهرستان‌های سلماس ارومیه و در جنوب استان

### References

- [1] Ahmad, R. A., Singh, R. P., & Adris, A. (2017). [Seismic hazard assessment of Syria using seismicity, DEM, slope, active faults and GIS. Remote Sens. Appl.: Soc. Environ., 6, 59–70.](#)
- [2] Albulescu, A.-C. (2023). [Open Source Data-Based Solutions for Identifying Patterns of Urban Earthquake Systemic Vulnerability in High-Seismicity Areas. Remote Sens., 15\(5\), 1453.](#)
- [3] Alizadeh, M., Zabihi, H., Rezaie, F., Asadzadeh, A., Wolf, I. D., Langat, P. K., ...Pradhan, B. (2021). [Earthquake Vulnerability Assessment for Urban Areas Using an ANN and Hybrid SWOT-QSPM Model.](#)

- Remote Sens.*, 13(22), 4519.
- [4] Azadeh, S., R. & Taghvaei, M. (2017). [Spatial analysis of vulnerability in urban and rural settlements against earthquake hazard Case Study: Guilan Province](#). *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 4(3), 71-84. [in Persian]
- [5] Benito del Pozo, P., & López-González, A. (2020). [Urban resilience and the alternative economy: a methodological approach applied to northern Spain](#). *Geogr. Rev.*, 110 (3) (2020), pp. 322-340,
- [6] Cariolet, J., Vuillet, M., & Diab, Y. (2019). [Mapping urban resilience to disasters – A review](#). *Sustainable Cities and Society*, 51, 101746.
- [7] Chu, J., Zhang, Q., Wang, A., & Yu, H. (2021). [A Hybrid Intelligent Model for Urban Seismic Risk Assessment from the Perspective of Possibility and Vulnerability Based on Particle Swarm Optimization](#). *Sci. Program.*, 2021.
- [8] Eshghi Chaharborj, A., Alavi, S., & Nazmfar, H. (2015). [Assessment the vulnerability of Social - Physical cities against earthquakes \(Case Study: West Azerbaijan Counties\)](#). *Journal of Urban Regional Studies and Research*, 7(27), 101-118. [in Persian]
- [9] Fakhrghazi, M., Pourramzan, E., & Molaei Hashtjin, N. (2022). [Spatial Analysis of Social Resilience of Rural Settlements against Earthquake Risk \(Case study: villages of Avaj city\)](#). *Geographical Engineering of Territory*, 6(2), 309-325. [in Persian]
- [10] Faraji Sabokbar, H. A., Badri, S. A., & Tahmasi, B. (2021). [Spatial Assessment of Vulnerability to Earthquake in Rural Settlements Using a Fuzzy Inference System \(Case Study: Rural Settlements in the Tehran Metropolitan Area, Iran\)](#). *Sustainable Rural Development*, 5(2), 175-188. [in Persian]
- [11] Folke, C. (2006). [Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses](#). *Global Environmental Change*, 16(3), 253-267.
- [12] Frigerio, I., & De Amicis, M. (2016). [Mapping social vulnerability to natural hazards in Italy: A suitable tool for risk mitigation strategies](#). *Environ. Sci. Policy*, 63, 187–196.
- [13] Galbusera, L., & Giannopoulos, G. (2018). [On input-output economic models in disaster impact assessment](#). *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, 30, 186–198.
- [14] 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), 21-36. [in Persian]
- [15] Hodaei, A., & Feizi, V. (2021). [Analysis of the Role of Dispersion of Rural Settlements against Natural Hazards in South Khorasan Province](#). *Journal of Rescue and Relief*, 13(3), 202-2013. [in Persian]
- [16] Jena, R., Shanableh, A., Al-Ruzouq, R., Pradhan, B., Gibril, M. B. A., Khalil, M. A., ...Ghamisi, P. (2023). [Earthquake spatial probability and hazard estimation using various explainable AI \(XAI\) models at the Arabian peninsula](#). *Remote Sens. Appl.: Soc. Environ.*, 31, 101004.
- [17] Khedmatzadeh, A., Mousavi, M., & Yousefzadeh, A. (2021). [Analysis of Urban Vulnerability Indexes with the Approach Seismic Disaster Management Using Fuzzy Network Analysis Process \(FANP\) \(Case study: Urmia city\)](#). *Journal of Studies of Human Settlements Planning*, 16(1), 43-62. [in Persian]
- [18] Liu, Y., Shu, B., Chen, Y., & Zhang, H. (2023). [Spatial vulnerability assessment of rural settlements in hilly areas using BP neural network algorithm](#). *Ecol Indic.*, 157, 111278.
- [19] Liu, Y., Zheng, J., Lu, H., & Li, X. (2022). [Vulnerability Assessment and Spatio-Temporal Dynamics Analysis of Agricultural Flood in China](#). *Front. Environ. Sci.*, 10, 902968.
- [20] Majumder, S., Roy, S., Bose, A., & Chowdhury, I. R. (2023). [Multiscale GIS based-model to assess urban social vulnerability and associated risk: Evidence from 146 urban centers of Eastern India](#). *Sustainable Cities and Society*, 96, 104692.
- [21] Masnavi, M.R., Gharai, F. & Hajibandeh, M. (2019). [Exploring urban resilience thinking for its application in urban planning: a review of literature](#). *Int. J. Environ. Sci. Technol*, 16, 567–582.
- [22] Meerow, S., Newell, J. P., & Stults, M. (2016). [Defining urban resilience: A review](#). *Landscape and Urban Planning*, 147, 38-49.
- [23] Mousavi, M., Zoghi Barani, K., Jahangirzadeh, J., Omidvarfar, S., & Bayramzadeh, N. (2023). [Hospital Site Selection Using the Fuzzy Method and Passive Defense Approach \(Case Study: Urmia City\)](#). *Passive Defense Quarterly*, 14(1), 129-138. [in Persian]
- [24] Najafi Kani, A. (2021). [Analyzing the Resilience of Rural Settlements against Earthquakes: A Case Study of Mountainous and Plain Villages of Amol County in Iran](#). *Village and Development*, 24(3), 172-196. [in Persian]
- [25] Nowroozi, H., Mohamadi, S., Hosseinekhah, H., & Sadghi, A. (2021). [Analysis of Instability of Human Settlements in Land Area with Emphasis on Earthquake Risk Management \(Case study: Gachsaran County\)](#). *Regional Planning*, 11(43), 79-95. [in Persian]
- [26] O'Keefe, P., Westgate, K., and Wisner, B. (1976). [Taking the Naturalness Out of Natural Disasters\[J\]](#). *Nature*, 260 (5552), 566–567.
- [27] Oulahen, G., Mortsch, L., O'Connell, E., Harford, D., & Rutledge, A. (2019). [Local practitioners' use of](#)

- [vulnerability and resilience concepts in adaptation to flood hazards](#). *Clim. Change*, 153(1), 41–58.
- [28] Rajaei, S. A., Mansourian, H., & Soltani, M. (2021). [Spatial analysis of urban resilience against earthquakes Case study: Region 1 of Tehran](#). *Sustainable city*, 4(1), 1-13. [in Persian]
- [29] Riahei, V., & Mogadasi, Y. (2023). [Analysis of the Vulnerability of the Villages of Eshtehard City Against Earthquakes](#). *Geography and Development*, 21(70), 181-206. [in Persian]
- [30] Schilling, J., Hertig, E., Trambly, Y., & Scheffran, J. (2020). [Climate change vulnerability, water resources and social implications in North Africa](#). *Reg. Environ. Change*, 20(1), 1–12.
- [31] Wang, X., Wang, X., Zhang, X., Wang, L., Guo, H., & Li, D. (2023). [Near real-time spatial prediction of earthquake-induced landslides: A novel interpretable self-supervised learning method](#), *International Journal of Digital Earth*, 16:1, 1885-1906.
- [32] Yariyan, P., Zabihi, H., Wolf, I. D., Karami, M., & Amiriyan, S. (2020). [Earthquake risk assessment using an integrated Fuzzy Analytic Hierarchy Process with Artificial Neural Networks based on GIS: A case study of Sanandaj in Iran](#). *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, 50, 101705.
- [33] Zangiabadi, A., & Dadbood, A. (2021). [Spatial Analysis of Vulnerability Clusters in Physical Texture of Gorgan City against Earthquake, Using Spatial Statistics](#). *Human Geography Research*, 53(1), 23-34. [in Persian]