



Vulnerability Zoning of Nir County to Earthquake Risk

Sayyad Asghari Saraskanroud¹  , Elnaz Piroozi², Leila Aghayari³

1. (Corresponding Author) *Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran*

Email: s.asghari@uma.ac.ir

2. *Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran*

Email: e.piroozi@uma.ac.ir

3. *Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran*

Email: aghayary.leila@uma.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:

Received:

2 June 2025

Revised:

1 September 2025

Accepted:

7 October 2025

Available online:

9 November 2025

Keywords:

Vulnerability Zoning,

Earthquake Hazard,

Nir County,

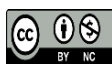
Multi-Criteria Analysis.

ABSTRACT

Earthquakes rank among the most frequent natural hazards in both Iran and worldwide, inflicting substantial human and economic losses each year. Accordingly, assessing seismic vulnerability and identifying strategies to reduce it constitute pressing research priorities. Against this backdrop, the present study evaluates the earthquake vulnerability of Nir County in Ardabil Province. To achieve this objective, nine criteria were considered as independent variables: slope, elevation (DEM), geology, land use, distance from seismic sources, distance from roads, distance from population centers, distance from rivers, and distance from faults. Digital layers for these factors were first prepared. The criterion maps were standardized using the fuzzy membership function, and their relative weights were determined through the CRITIC method. Subsequently, the ARAS multi-criteria decision-making method was applied to generate a vulnerability zoning map classified into five categories. The results indicate that distance from faults (weight=0.131), distance from earthquake epicenters (0.123), and land use (0.110) were the most influential factors. The analysis further revealed that 365.74 km² and 365.87 km² of the county's area fall within the very high and high vulnerability classes, respectively. Given the considerable extent of vulnerable zones, relevant authorities must adopt coordinated, expert-led protective measures and integrate them into their planning agendas. Furthermore, the ROC curve analysis yielded an area under the curve (AUC) value of 0.81, confirming the strong predictive accuracy of the ARAS method in identifying and zoning earthquake-prone areas in Nir County.

Citation: Asghari Saraskanroud, S., Piroozi, E., & Aghayari, L. (2025). Vulnerability Zoning of Nir County to Earthquake Risk. *Geographical planning of space quarterly journal*, 15 (3), 1-19.

<http://doi.org/10.30488/gps.2025.517439.3840>



© The Author(s)

Publisher: Golestan University Press

This is an open access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Extended Abstract

Introduction

Natural hazards are among the leading causes of damage to human settlements, with earthquakes representing the most devastating of these phenomena. The impacts of earthquakes range from minor disturbances to severe consequences for communities, economies, and the environment across wide geographic areas. In this context, developing vulnerability zoning maps offers an effective means of identifying settlements that are most exposed to seismic risk.

Accordingly, this study applies the ARAS multi-criteria decision-making algorithm to assess the vulnerability of settlements in Nir County to earthquake risk. By integrating spatial and descriptive data, the analysis provides an evidence-based estimate of seismic risk, clarifies the relative influence of each criterion on vulnerability levels, and identifies priority zones. These insights support the design of targeted interventions, the optimal allocation of resources, and the formulation of sustainable land management strategies.

Methodology

This study is applied in nature and employs a quantitative-analytical research approach. First, factors influencing earthquake risk in the study area were identified. These included slope, elevation, geology, land use, distance from the epicenters of past earthquakes, distance from transportation routes, distance from population centers (cities and villages), distance from rivers, and distance from faults. Factor identification was based on documentary and library research, a review of relevant literature, expert consultations, and an assessment of the region's natural and human characteristics.

Next, spatial data layers corresponding to each factor were created within a Geographic Information System (GIS) environment. The ARAS multi-criteria decision-making method was then applied within the GIS environment to delineate the earthquake vulnerability zones in Nir County. Finally, the vulnerability zoning map of Nir County was validated using the area under the curve (AUC) metric of the

Receiver Operating Characteristic (ROC) system, one of the most effective and widely used methods for quantitatively assessing model accuracy. The validation was conducted by comparing the predicted vulnerability zones with the epicenters of historical earthquakes.

Results and discussion

Comparison of elevation with the final vulnerability map indicates that highly vulnerable areas are distributed across altitudes above 2000 meters. Slope distribution is a critical topographic parameter, with steeper slopes generally associated with higher earthquake vulnerability. In Nir County, slope values range from 0 to 80 percent, with highly vulnerable areas predominantly occurring in slope classes of 15 to 40 percent.

Regarding land use, residential zones, agricultural lands, and medium-density pastures comprise the largest share of areas classified as highly or very highly vulnerable. Earthquakes are recognized as a primary natural hazard contributing to the destruction of both urban and rural settlements. Transportation arteries, such as streets and thoroughfares, play a crucial role in communication and evacuation during disasters. Limited access to main roads increases potential loss of life by hindering emergency response and relief efforts. In Nir County, distances to main roads range from 0 to 10,000 meters. While some vulnerable areas are situated near main roads, zones with high vulnerability are predominantly located at intermediate distances of 1,000 to 5,000 meters.

Globally, settlements have historically developed near water sources, which support sustained population density. However, excessive proximity to water bodies and construction in riverbeds can exacerbate casualties and property damage during natural disasters. Distances from rivers in Nir County range from 0 to 11,000 meters. The major rivers include Baliqlo-Chay, Nir-Chay (Aq-Laghan-Chay), Qori-Chay, Buyuk-Chay, Kamal-Chay, and Jurab-Chay. Analysis of river proximity indicates that highly vulnerable areas are located within 0–800 meters of rivers,

coinciding with areas of higher population density in nearby settlements.

According to the seismic hotspot index, the intensity of vulnerability decreases with increasing distance from the earthquake epicenter, as areas within 2,000 meters of the epicenter are more susceptible to seismic energy. Geological characteristics are a key determinant of earthquake damage. Looser geological formations amplify seismic wave propagation, whereas more consolidated or harder formations attenuate wave transmission, reducing the destructive potential of earthquakes.

Conclusion

The results of this study indicate that distance from the earthquake epicenter, land use, geological formation, and distance from faults are the most influential factors determining earthquake vulnerability in the study area. The analysis further revealed that 365.74 km² and 365.87 km² of the county's area fall within the very high and high vulnerability classes, respectively.

Given the extensive areas of high and very high vulnerability in Nir County and the potentially severe human and economic losses from earthquakes, it is imperative to implement comprehensive risk-reduction measures. These include preparing detailed hazard maps and risk assessments, restricting settlements and construction on faults, verifying fault boundary maps, regulating and retrofitting buildings in unsafe zones, controlling population density and settlement patterns in high-risk areas, strengthening both rural and urban infrastructure, and promoting public awareness and preparedness before and during seismic events. Such measures are essential to enhance the county's disaster risk management and resilience and require coordination among responsible organizations, including the Ardabil Governorate, the General Directorate of Crisis Management, the General Directorate of Roads and Urban Development, the Islamic Revolution Housing Foundation, and local municipalities.

Funding

This article is an extract from a research project with contract number 26716/D/1403, funded by the Vice Chancellor for Research and Technology of the University of Mohaghegh Ardabili.

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

This article is an extract from a research project funded by the Vice Chancellor for Research and Technology of the University of Mohaghegh Ardabili. Therefore, we express our gratitude and appreciation.

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهرستان نیر در مقابل خطر زلزله

صیاد اصغری سراسکانرود^۱✉، الناز پیروزی^۲، لیلا آقاییاری^۳۱- نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: s.asghari@uma.ac.ir۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: e.pirouzi@uma.ac.ir۳- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: aghayary.leila@uma.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۲	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۱۰	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۵	
تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۰۸/۱۸	
واژگان کلیدی: پهنه‌بندی آسیب‌پذیری، مخاطره زمین‌لرزه، شهرستان نیر، تحلیل چندمعیاره.	زمین‌لرزه یکی از رایج‌ترین سوانح طبیعی در ایران و دنیا می‌باشد که هر ساله منجر به خسارات مالی و جانی فراوان می‌شود. بنابراین، بررسی میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای و ارائه راهکارهای برای کاهش آسیب‌پذیری از موضوعات مهم روز محسوب می‌گردد. با توجه به این موضوع، هدف از پژوهش حاضر پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهرستان نیر، در برابر خطر زمین‌لرزه می‌باشد. در راستای تحقق اهداف پژوهش، معیارهای شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از کانون‌های لرزه‌ای، فاصله از راه، فاصله از مراکز جمعیتی، فاصله از رودخانه و گسل به‌عنوان متغیرهای مستقل انتخاب شد. پس از تهیه لایه‌های رقومی عوامل مؤثر، استانداردسازی نقشه‌های معیار با استفاده از تابع عضویت فازی و وزن دهی معیارها با بهره‌گیری از روش کرتیک انجام گردید. در نهایت با بهره‌گیری از روش تحلیل چندمعیاره آراس، نقشه پهنه‌بندی در پنج طبقه تهیه شد. نتایج نشان می‌دهد که متغیرهای فاصله از گسل (با وزن ۰/۱۳۱)، فاصله از کانون زلزله (با وزن ۰/۱۲۳) و کاربری اراضی (با وزن ۰/۱۱۰)، از بیشترین میزان اهمیت برخوردار هستند. با توجه به نتایج حاصل از پژوهش، به ترتیب ۳۶۵/۷۴ و ۳۶۵/۸۷ کیلومترمربع از کل مساحت شهرستان، دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بسیار زیاد و زیاد است. با توجه به وسعت بالای پهنه‌های آسیب‌پذیر، لازم است تا سازمان‌های متولی و مسئول با انجام اقدامات مسئولانه و هم‌افزایی لازم، اقدامات حفاظتی مناسب و کارشناسی شده را در دستور کار خود قرار دهند. به‌علاوه، با توجه به بهره‌گیری از روش منحنی راک و سطح زیر منحنی (۰/۸۱)، دقت روش آراس در شناسایی و پهنه‌بندی مناطق آسیب‌پذیر شهرستان نیر در مقابل خطر زلزله، خیلی خوب می‌باشد.
استناد: اصغری سراسکانرود، صیاد؛ پیروزی، الناز و آقاییاری، لیلا. (۱۴۰۴). پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهرستان نیر در مقابل خطر زلزله. <i>مجله آمایش جغرافیایی فضا</i> ، ۱۵ (۳)، ۱-۱۹.	
http://doi.org/10.30488/gps.2025.517439.3840	
© نویسندگان	

مقدمه

مخاطرات طبیعی یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب سکونتگاه‌های انسانی شناخته شده‌اند و در میان مخاطرات طبیعی، زلزله مخرب‌ترین پدیده طبیعی می‌باشد (حیدری، ۱۳۹۷:۱۰۲). اثرات زلزله می‌تواند از تأثیرات جزئی تا پیامدهای چشمگیر بر جوامع، اقتصاد و محیط‌زیست در مناطق بزرگ متفاوت باشد (Sousa & Tsionis, 2025:1). امروزه آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های انسانی نسبت به مخاطرات طبیعی، در نتیجه تمرکز و افزایش جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی، به‌طور مداوم افزایش یافته است و با توجه به افزایش وقوع بلایای طبیعی و به‌خصوص زلزله در صدسال اخیر در نقاط مختلف جهان و به دنبال آن افزایش مقدار تلفات و خسارات، موضوع کاهش خسارت‌های ناشی از سوانح، افزایش مقاومت و آمادگی در برابر این بلایا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (کریمی قطب‌آبادی و زنگی‌آبادی، ۱۴۰۴: ۳۱۲). در این راستا، تهیه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌ها در برابر زلزله راهکاری مؤثر جهت شناسایی مناطق آسیب‌پذیر و در معرض خطر است (حیدری‌مظفر و تاج‌بخشیان، ۱۴۰۱: ۷۵).

با توجه به اهمیت موضوع ارزیابی خطر زلزله، تاکنون در ایران و سایر نقاط جهان توسط محققان مختلف تحقیقات گسترده‌ای صورت گرفته است که از جمله این پژوهش‌ها، می‌توان به موارد زیر اشاره داشت. خدادادی و همکاران (۱۳۹۹)، به تحلیل آسیب‌پذیری شهر کرج در برابر خطر زلزله با روش الکترو پراختند و نتایج نشان‌دهنده آسیب‌پذیر بودن مناطق ۶، ۸، ۱ و ۷ شهرداری کرج در برابر زلزله می‌باشد و حدود ۲۰ درصد از شهر کرج به دلیل نزدیکی به گسل و وجود تراکم بالای جمعیتی، ساختمانی، در مناطق با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. صمدزاده و همکاران (۱۴۰۰)، با استفاده از روش مبتنی بر نمایه خطرپذیری به ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی - اقتصادی بافت‌های فرسوده شهر اردبیل در مقابل خطر زمین‌لرزه پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داده است که با توجه به قدمت زیاد، آسیب‌پذیری در ساختمان‌های واقع در بافت‌های فرسوده شهر بسیار زیاد است و آسیب‌پذیرترین بافت‌ها در مناطق یک و دو شهری قرار گرفته‌اند. آرامی و همکاران (۱۴۰۱)، با استفاده از مدل ویکور مناطق آسیب‌پذیر در سکونتگاه‌های روستایی واقع در بخش مرکزی شهرستان اردبیل را شناسایی کردند و بر اساس نتیجه‌گیری نهایی، محدوده شمالی بخش مرکزی شهرستان اردبیل (شامل: دهستان‌های ارشق شرقی و غربی که روستاهای نمونه خواجه بلاغی، گل تپه و آق قلعه را در بر گرفته است)، بیشتر در معرض مخاطره زلزله قرار دارند. پیروزی و همکاران (۱۴۰۲)، آسیب‌پذیری شهرستان خلخال در برابر مخاطره زلزله را مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داده است که عوامل فاصله از گسل، کاربری اراضی و فاصله از کانون زلزله، به ترتیب با ضریب وزنی ۰/۱۳۳، ۰/۱۲۰ و ۰/۱۱۳ بیشترین تأثیرگذاری را در وقوع زمین‌لرزه منطقه دارند و ۲۴/۵۳ و ۱۵/۸۳ درصد از مساحت شهرستان، دارای پتانسیل آسیب‌پذیری زیاد و بسیار زیاد است. اصغری سراسکانرود و پیروزی (۱۴۰۳)، با استفاده از روش مارکوس به پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهرستان اردبیل در برابر خطر زلزله پرداختند. با توجه به نتایج حاصل از پژوهش، ۱۶/۶۷ درصد، از کل شهرستان اردبیل، دارای پتانسیل آسیب‌پذیری زیاد و ۳۰/۲۷ درصد، دارای احتمال آسیب‌پذیری نسبتاً زیاد است. یاریان و همکاران (۲۰۲۰)، آسیب‌پذیری شهر سنندج، در برابر زلزله را با استفاده از مدل‌های ترکیبی و شبکه عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار دادند و ۱۵ عامل به‌عنوان عوامل مؤثر در سنجش آسیب‌پذیری لرزه‌ای انتخاب شدند. بر اساس نتایج، مدل هیبریدی میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی، به‌عنوان مدل بهینه و مؤثر تأیید شده است و بر اساس نتایج این روش، ۳۲ درصد از فضای شهر سنندج در طیف خطرپذیر قرار دارد. فرجی سبکبار و همکاران (۲۰۲۱)، با استفاده از سیستم استنتاج فازی به ارزیابی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی تهران در برابر زمین‌لرزه پرداختند. نتایج نشان‌دهنده پتانسیل بالای آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در مقابل زلزله است و پهنه‌بندی فضایی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در منطقه مورد مطالعه، بیشترین شباهت را با شاخص

آسیب‌پذیری واحدهای مسکونی دارد. فرهمند و همکاران (۲۰۲۲)، با استفاده از مدل سلسله‌مراتبی فازی به پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهر ارومیه در برابر زلزله پرداختند و بر اساس نتایج حاصله، به ترتیب حدود ۱۵۱۵۷۴ و ۱۱۵۳۸۳۵۹ مترمربع از مساحت شهر ارومیه دارای درجه آسیب‌پذیری بسیار بالا در برابر زمین‌لرزه است. شادمند (۲۰۲۳)، با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، به بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ناحیه سیلپت بنگلادش پرداختند و با توجه به نتایج حاصله مشخص شده است که از نظر آسیب‌پذیری فیزیکی به ترتیب ۲۳٪، ۳۸٪، ۲۳٪، ۷٪ و ۹٪ از کل منطقه در طبقات بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم قرار دارد. هلال و همکاران (۲۰۲۴)، با استفاده از مدل‌سازی شدت لرزه‌ای، آسیب‌پذیری خطر زلزله در شهر نادر، واقع در شمال شرقی مراکش را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاکی از این موضوع بوده است که مناطق آسیب‌پذیر در قسمت جنوبی نادر قرار دارد، جایی که تقریباً ۵۰ درصد از سطح شهری با وسعت ۱۷۸۰/۵ هکتار به دلیل تشکیلات زمین‌شناسی و رسوبات غیر یکپارچه آسیب‌پذیر، در معرض خطر زلزله قرار دارد.

ساختمان ژئومورفولوژیکی ایران تحت تأثیر فازهای آلی و فشار پلیت‌ها (فشار پلیت عربستان در جنوب غربی، صفحه اوراسیا در شمال و صفحه هند در جنوب شرقی)، حالت ناهنجاری دارد و به پایداری نسبی نرسیده است (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۱: ۱۴۵). لذا به دلیل تداوم حرکت صفحه‌ها در این ناحیه پهناور فشارشی، شاهد فعالیت‌های لرزه‌ای به‌عنوان مهم‌ترین مخاطره و بالای طبیعی هستیم (اسدی و زارع، ۱۳۹۴: ۷۱). به‌طوری‌که، طبق گزارش‌های سازمان ملل، مهم‌ترین سوانح طبیعی در ایران زلزله می‌باشد و در هر ده سال یک‌بار، شاهد زلزله ویرانگری می‌باشد که باعث بی‌خانمانی و کشته شدن عده زیادی می‌گردد (محمدپور، ۱۳۹۸: ۷۸). شهرستان نیر واقع در استان اردبیل، نیز همانند بسیاری از مناطق ایران، از حادثه‌خیزترین و پرخطرترین نقاط کشور از نظر زمین‌لرزه می‌باشد. به‌عنوان مثال؛ در شهرستان نیر در ۱۰ اسفند سال ۱۳۷۵ زمین‌لرزه‌ای به وقوع پیوست که عمق این زلزله ۴۴ کیلومتر و بزرگی آن ۶/۱ در مقیاس Mw اعلام شده است. این زمین‌لرزه علاوه بر تخریب منازل و تأسیسات زیربنایی، به ۱۳۷ روستا هم در شهرستان‌های نیر، سرعین، اردبیل، گرمی مغان و مشکین‌شهر زیان‌هایی وارد کرد. شمار کشته‌شدگان این زلزله حدود ۱۱۰۰ نفر و تعداد مجروحان نیز ۲۶۰۰ نفر برآورده شده است. بررسی پیشینه تحقیقاتی نشان داده است که تاکنون مطالعه‌ای به‌منظور پهنه‌بندی شهرستان نیر از لحاظ خطر زمین‌لرزه انجام نشده است. لذا در مطالعه حاضر، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های این شهرستان در برابر خطر زلزله، با استفاده از الگوریتم چندمعیاره آراس مدنظر قرار گرفته است تا برآورد مناسبی از خطرپذیری شهرستان نیر در برابر زلزله با استفاده از داده‌های مکانی و توصیفی انجام گیرد و با شناسایی مناطق آسیب‌پذیر از لحاظ خطر زلزله، اقدامات لازم جهت کنترل، برنامه‌ریزی در راستای استفاده اصولی و بهینه از منابع و راهبردهای آمایش سرزمین پایدار انجام شود.

مبانی نظری

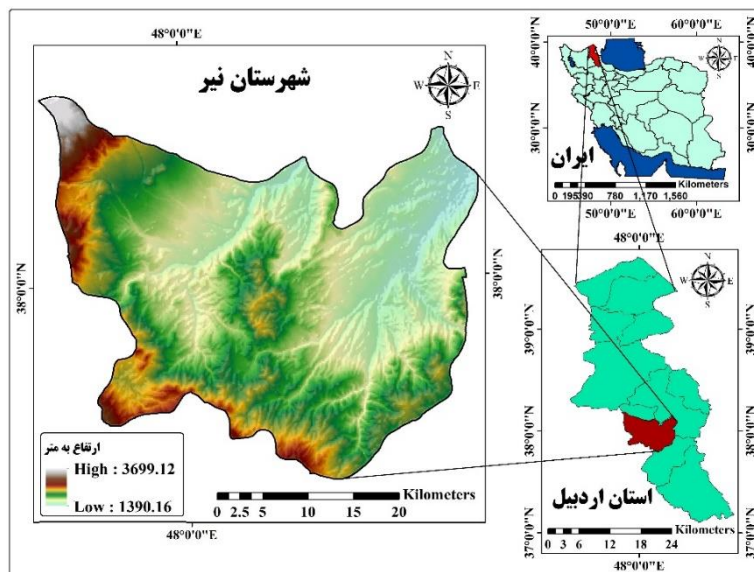
مخاطرات یک تهدید بالقوه برای زندگی و رفاه انسان هستند. مخاطرات ممکن است طبیعی (مانند زلزله و خشک‌سالی) یا انسانی (مانند حوادث صنعتی) باشد (افسری و همکاران، ۱۴۰۱: ۱۵۱). در این میان، زلزله از دیرباز یکی از فاجعه‌بارترین و مخرب‌ترین انواع مخاطرات طبیعی محسوب می‌شود. زلزله فرایندی است که با انباشت طولانی‌مدت انرژی و آزاد شدن ناگهانی آن در طبیعت مرتبط می‌باشد (Yang, 2009: 206). به‌عبارت‌دیگر به دلیل ذخیره شدن مقدار زیادی انرژی در درون زمین و طبق نظریه رانش قاره‌ها، تغییرات عمده‌ای در قسمت سطحی زمین رخ می‌دهد که زلزله یکی از این تغییرات است (عابدینی و سرمستی، ۱۳۹۵: ۳۴). زلزله می‌تواند منجر به اختلال در عملکرد جامعه و اثرات متعدد انسانی،

اقتصادی و زیست‌محیطی منجر شود و پیامدهای زلزله چه از نظر فراوانی و چه از نظر آسیبی که ایجاد می‌کند جامعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (محمدی و همکاران، ۱۴۰۲:۱۹۱).

زمین‌لرزه از جمله پدیده‌های طبیعی است که بشر هنوز روش قابل‌اعتمادی برای پیش‌بینی زمان، مکان و بزرگی آن‌ها ارائه نکرده است. بنابراین، اگرچه کنترل تمامی خسارات ناشی از زلزله امکان‌پذیر نیست، اما با شناسایی مناطق مستعد خطر لرزه‌ای، رعایت اصول ایمنی و افزایش آمادگی جامعه، می‌توان از شدت حادثه تا حد زیادی کاست (جعفری حاجتی و آتابای، ۱۳۹۱:۱۱۴). در این راستا انتخاب روش مناسب برای پهنه‌بندی به صرفه‌جویی در زمان و کاهش هزینه‌ها منجر می‌شود. به همین علت در دهه‌های اخیر مدل‌های مختلف و مدرن متنوعی برای پهنه‌بندی و ارزیابی خطر زلزله مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به اینکه زلزله از جمله مخاطراتی است که گزینه‌ها و معیارهای متعددی دارد، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره از جمله روش‌هایی می‌باشد که امروزه بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است. از سوی دیگر، با توجه به پیشرفت و فناوری، استفاده از تکنیک‌های جدید مانند GIS برای تعیین مناطق آسیب‌پذیر ضروری است. بنابراین استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با رویکردی یکپارچه می‌تواند به برنامه‌ریزی و مدیریت سریع خطرات احتمالی منجر شود (پیروزی و همکاران، ۱۴۰۳:۲۴۹).

محدوده مورد مطالعه

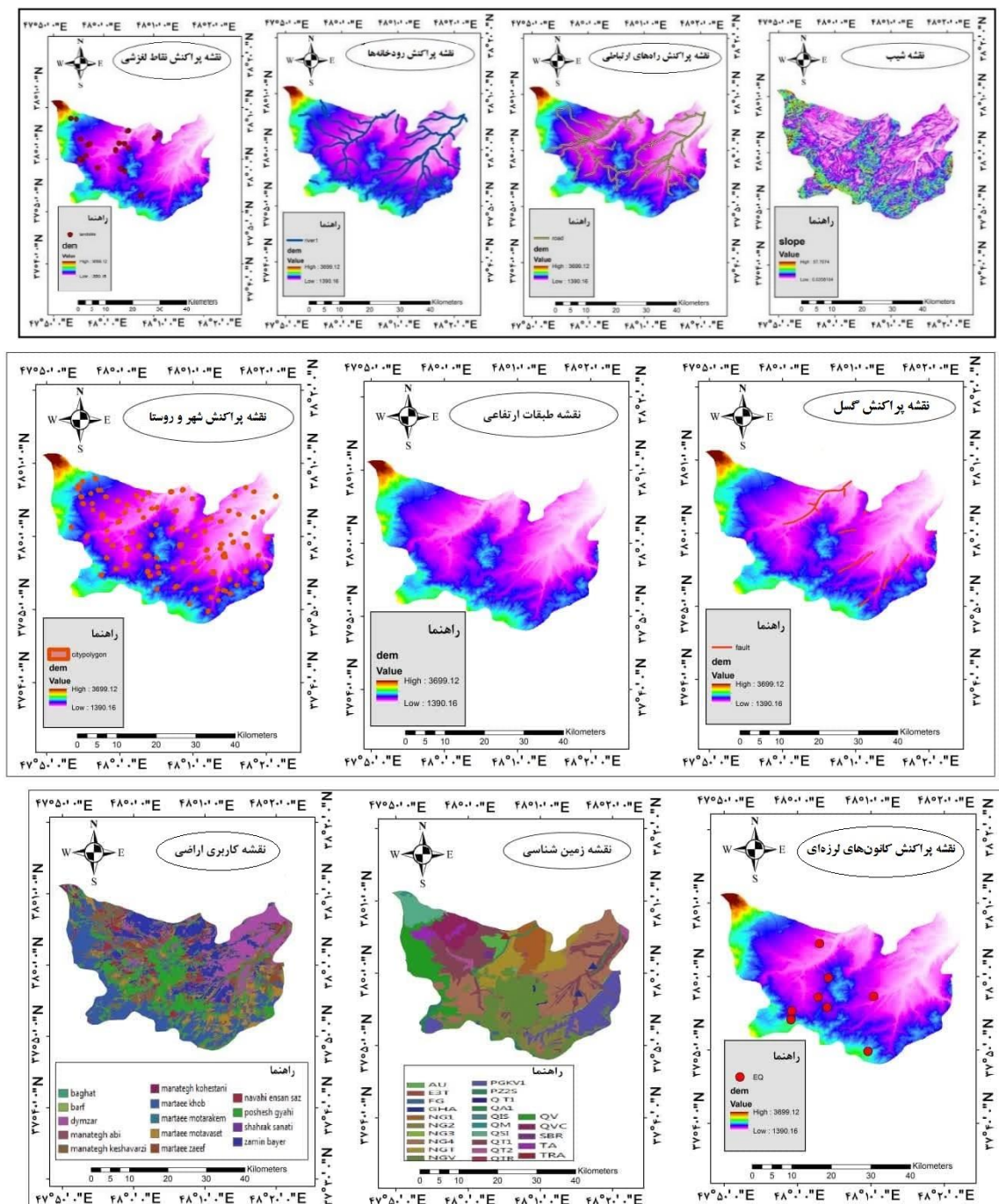
شهرستان نیر با مساحت ۱۲۲۴ کیلومتر مربع، در طول شرقی ۴۷ درجه تا ۵۱ دقیقه و ۴۸ درجه ۲۱ دقیقه و عرض شمالی ۳۷ درجه ۴۷ دقیقه تا ۳۸ درجه ۴۷ دقیقه عرض شمالی جای گرفته است (شکل ۱). این شهرستان متشکل از دو بخش مرکزی و کورائیم می‌باشد. متوسط ارتفاع در شهرستان، ۱۶۸۷ متر است و به ترتیب کوه سبلان، کوه قصر (قصرداغی) و کوه‌های بزغوش در شمال، شمال غرب، غرب و جنوب غرب این شهرستان واقع شده‌اند. از رودهای مهم جاری در سطح شهرستان نیر می‌توان به بالیقلوچای، بیوک‌چایی، آق‌لاقان‌چای، کمال‌چایی، قوری‌چایی و جوراب‌چایی اشاره داشت. اقلیم منطقه بیشتر تحت تأثیر دو توده‌هوای سیبری و جریان‌های غربی می‌باشد و استقرار ارتفاعات سبلان در منطقه نیز مهم‌ترین عامل محلی مؤثر در اقلیم محدوده است. از نظر آب‌وهوایی این شهرستان دارای آب‌وهوای سرد در فصل زمستان و اقلیم معتدل در فصل تابستان می‌باشد. در نتیجه فرمول دمارتن نیز اقلیم شهرستان با نظر به ضریب خشکی ۱۸/۶۱، به صورت نیمه‌خشک است. به ترتیب متوسط بارش سالانه و میانگین دمای سالانه شهرستان ۳۵۶/۴۲ میلی‌متر و ۹/۱۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.



شکل ۱. نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه

روش پژوهش

نوع تحقیق حاضر، کاربردی و روش پژوهش معیاری-تحلیلی است. در این پژوهش، در مرحله نخست با نظر به مطالعه و مرور منابع مرتبط و مشابه انجام‌شده به‌عنوان پیشینه پژوهش، پیمایش نظرات کارشناسان، با لحاظ نمودن شرایط طبیعی و انسانی منطقه و داده‌های در دسترس، معیارهای شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از کانون زلزله‌های پیشین، فاصله از راه ارتباطی، فاصله از مراکز جمعیتی (شهر و روستاها)، فاصله از رودخانه و فاصله از گسل به عوامل مؤثر شناسایی شدند و در مرحله بعدی لایه‌های هر یک از عوامل، در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی استخراج گردید. لایه‌های پراکنش مراکز جمعیتی، راه‌های ارتباطی و شبکه آبراهه، با بهره‌گیری از نقشه پراکنش مراکز جمعیتی، خطوط ارتباطی و رودخانه‌های استان، تهیه گردید. نقشه مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک (۱۲/۵×۱۲/۵ متر) از سایت دانشگاه آلاسکا دریافت و محدوده مورد مطالعه استخراج گردید و سپس لایه شیب با بهره‌گیری از نقشه Dem (مدل رقومی ارتفاعی)، تهیه شد. با بهره بردن از نقشه زمین‌شناسی استان (با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰)، لایه‌های مربوط به معیارهای سنگ‌شناسی و پراکنش خطوط گسلی، به دست آمد. با استفاده از تصاویر سنجنده (OLI)، ماهواره لندست هشت و با بهره‌گیری از روش شیء‌گرا در نرم‌افزار Ecognition نقشه معیار کاربری اراضی تهیه گردید. نقشه پراکنش زمین‌لغزش شهرستان با توجه به اطلاعات مربوط به بانک زمین‌لغزش استان اردبیل (۱۳۹۲)، استخراج شد. نقشه کانون زلزله‌های پیشین نیز با بهره‌گیری از نقشه نقاط لرزه‌ای کشور، اخذ شده از پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله به دست آمد. نقشه معیارهای مطرح در پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهرستان نیر در برابر زلزله در شکل ۲، نمایش داده شده است.



شکل ۲. نقشه معیارهای موردبررسی در ارزیابی آسیب‌پذیری شهرستان نیر در برابر خطر زلزله

مراحل استخراج نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه با استفاده از تکنیک آراس (ارزیابی نسبت جمعی)

روش آراس یک روش تصمیم‌گیری چند شاخصه است که به منظور انتخاب بهترین گزینه بر اساس معیارهای متفاوت استفاده می‌شود (آناردنژاد و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۴). پیاده‌سازی الگوریتم آراس، شامل ۵ مرحله می‌باشد. اولین مرحله در این روش تعیین عوامل و گزینه‌های پژوهش و تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری است. نرمال‌سازی ماتریس تصمیم یا استانداردسازی، دومین مرحله از این روش هست. در پژوهش حاضر، مرحله استانداردسازی، با توجه به تابع عضویت فازی

(جدول ۱)، انجام شده است. در مجموعه‌های فازی، هر یک از اعضا با میزانی مشخص بین ۰ تا ۱ به آن مجموعه تعلق دارند که در این رابطه یک بیانگر حداکثر عضویت و صفر نشان‌دهنده حداقل عضویت می‌باشد (Bhattacharyya & Mukherjee, 2021:412; Badola et al., 2023: 3).

جدول ۱. نوع توابع فازی ساز لایه‌های موضوعی تأثیرگذار

متغیر	توضیحات	نوع تابع فازی
شیب	با افزایش شیب، میزان آسیب‌پذیری در برابر خطر زمین‌لرزه افزایش می‌یابد.	تابع خطی افزایشی
طبقات ارتفاعی	با افزایش ارتفاع، میزان آسیب‌پذیری در برابر خطر زمین‌لرزه افزایش می‌یابد.	تابع خطی افزایشی
کاربری اراضی	اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در میزان آسیب‌پذیری در برابر خطر زمین‌لرزه و سپس فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
فاصله از راه	در مناطق دورتر از راه ارتباطی، میزان آسیب‌پذیری در برابر خطر زمین‌لرزه افزایش می‌یابد.	تابع خطی افزایشی
زمین‌شناسی	اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در میزان آسیب‌پذیری در برابر خطر زمین‌لرزه و سپس فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
فاصله از گسل	در مناطق مجاور گسل، میزان آسیب‌پذیری در برابر خطر زمین‌لرزه افزایش می‌یابد.	تابع نزدیک فازی
فاصله از رودخانه	در مناطق مجاور رودخانه، میزان آسیب‌پذیری در برابر خطر زمین‌لرزه افزایش می‌یابد.	تابع نزدیک فازی
فاصله از مراکز جمعیتی	در مناطق مجاور مراکز جمعیتی، میزان آسیب‌پذیری در برابر خطر زمین‌لرزه افزایش می‌یابد.	تابع نزدیک فازی
فاصله از کانون زلزله	در فواصل نزدیک کانون زلزله، میزان آسیب‌پذیری در برابر خطر زمین‌لرزه افزایش می‌یابد.	تابع نزدیک فازی
فاصله از نقاط لغزشی	در مناطق مجاور نقاط لغزشی، میزان آسیب‌پذیری در برابر خطر زمین‌لرزه افزایش می‌یابد.	تابع نزدیک فازی

منابع: (پیروزی و همکاران، ۲۰۲۱:۱۴۰۲؛ اصغری سراسکانرود و پیروزی، ۲۰۲۳:۱۴۰۳).

در مرحله سوم از اجرای عملیاتی روش آراس، وزن هر معیار تعیین می‌گردد. در این پژوهش، به‌منظور وزن دهی هر یک از عوامل موردبررسی از روش کرتیک استفاده شده است. در این روش، نظر کارشناسان دخالته ندارد و وزن دهی معیارها بر اساس همبستگی و انحراف معیار بین داده‌های ماتریس تصمیم محاسبه می‌گردد (Arshad et al., 2023:78؛ اصغری سراسکانرود و پیروزی، ۲۰۲۳:۱۴۰۳). در راستای اجرای عملیاتی مراحل وزن دهی کرتیک، ابتدا در محیط نرم‌افزار ادیسی و با استفاده از دستور REGRESS، انحراف معیار و همبستگی میان لایه‌ها، به دست آمد. در گام بعدی، نسبت به محاسبه ماتریس تضاد، میزان اطلاعات و وزن نهایی با استفاده از نرم‌افزار اکسل اقدام گردید. در چهارمین مرحله از روش آراس، مطلوبیت کلی هر گزینه با توجه به رابطه (۱) تعیین می‌شود. برای محاسبه تابع S_i یا x_{ij} یا همان اعداد وزنی نرمال شده را با هم جمع نموده و طبق نتایج بزرگ‌ترین مقدار S_i بهترین و کمترین آن بدترین خواهد بود.

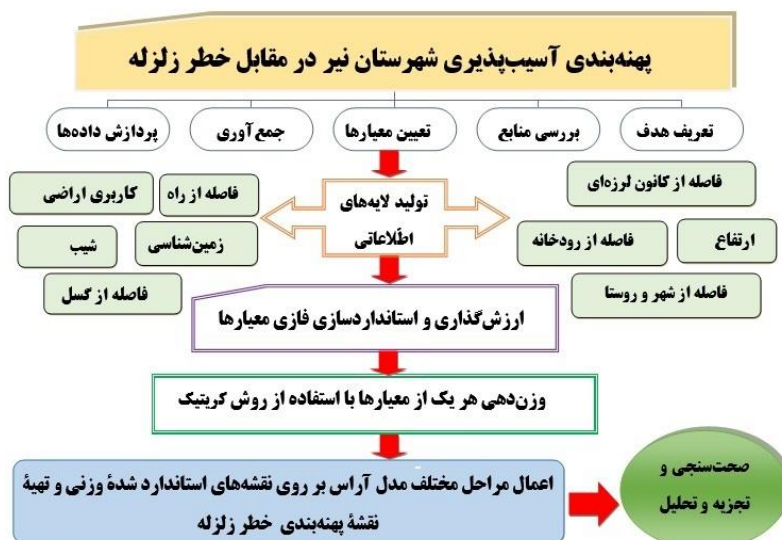
$$S_i = \sum_{j=1}^n \hat{x}_{ij}; i = \overline{0.m.} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در مرحله آخر، مقدار مطلوبیت نسبی هر گزینه و رتبه‌بندی آن‌ها مشخص می‌گردد. برای محاسبه درجه مطلوبیت K_i از یک گزینه a_i از معادله (۲)، استفاده می‌شود (دیانی و همکاران، ۲۰۱۷:۱۳۹۷).

$$K_i = \frac{S_i}{S_0}; i = \overline{0.m.} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در نهایت پس از استخراج نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهرستان نیر در برابر خطر زلزله، با توجه به این امر که یکی از کارآمدترین و رایج‌ترین روش‌های بررسی میزان دقت مدل‌ها به‌صورت کمی، شاخص سطح زیر منحنی مشخصه عملکرد سیستم (ROC) می‌باشد (سیلاخوری و همکاران، ۲۰۲۱:۱۲۸)، در این مطالعه نیز با در نظر گرفتن نقشه کانون‌های زلزله، صحت نتایج با استفاده از این روش انجام شد. در این راستا، با استفاده از دستور ROC در نرم‌افزار ادیسی، لایه نقشه نهایی پهنه‌بندی به‌عنوان ورودی، نقشه پراکنش کانون‌های لرزه‌ای به‌عنوان نقشه مرجع یا رفرنس و لایه مرز محدوده به‌عنوان نقشه ماسک یا برش معرفی شد. تعداد آستانه (تعداد نقاط) نیز ۱۰۰ در نظر گرفته شد. در نهایت، نتیجه

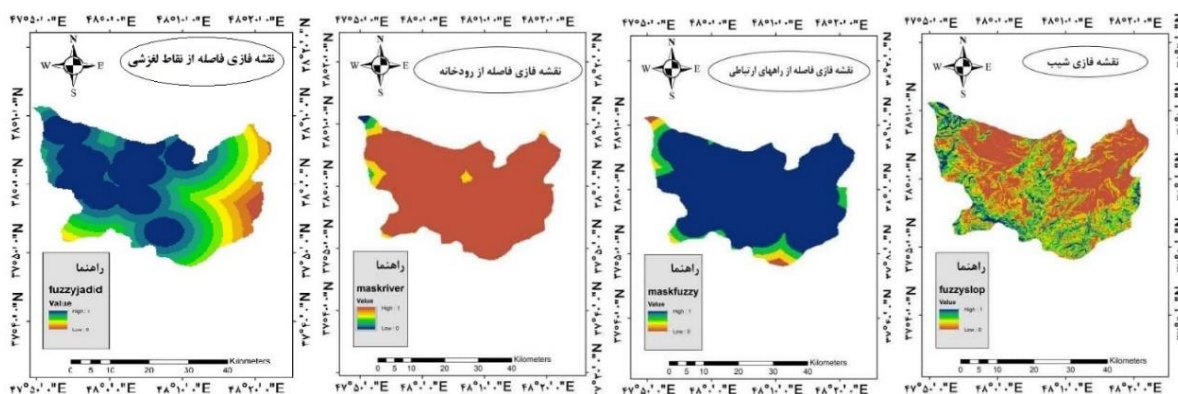
حاصل از محاسبه که به صورت جدول اطلاعاتی می‌باشد در اکسل فراخوانی شده و سپس با توجه به مقادیر دو ستون مثبت درست (True positive) و مثبت غلط (False positive)، نسبت به ترسیم منحنی اقدام گردید. روند پژوهش در شکل ۳، قابل مشاهده می‌باشد.

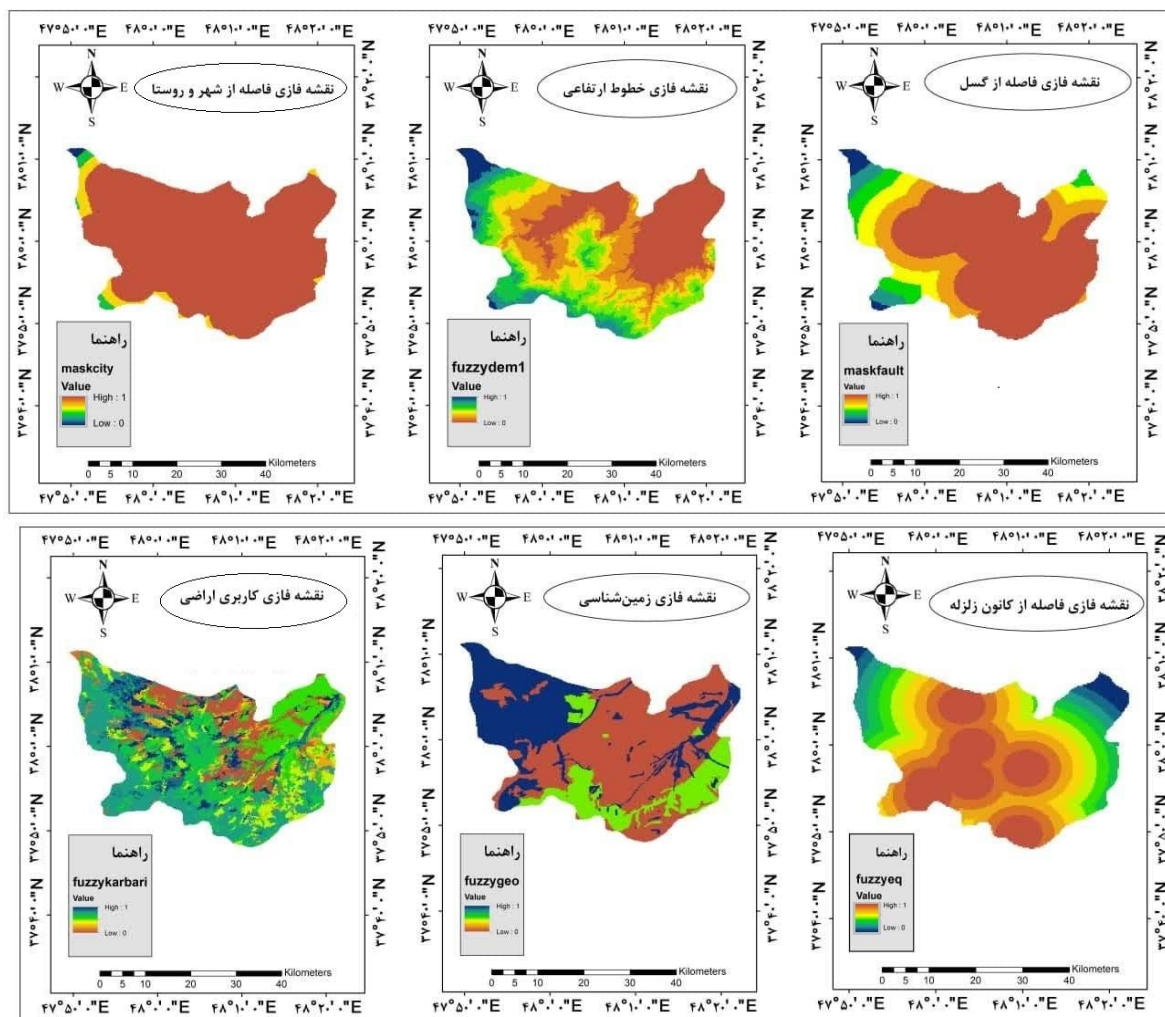


شکل ۳. روند نمای مربوط به فرآیند تحقیق

یافته‌ها

پس از تعیین معیارهای مؤثر در پهنه‌بندی و تعیین وزن معیارها، لایه‌های اطلاعاتی باید با روش مناسب ترکیب شوند. در این مطالعه از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره آراس برای ترکیب لایه‌ها استفاده شده است. بنابراین پس از تهیه نقشه‌های فازی استاندارد شده مربوط به هر یک از معیارها (شکل ۴) و با اعمال ضرایب وزنی مربوطه (جدول ۲) و اعمال سایر مراحل، نقشه خروجی نهایی در ۵ کلاس از آسیب‌پذیری بسیار زیاد تا آسیب‌پذیری بسیار کم به دست آمد (شکل ۵).





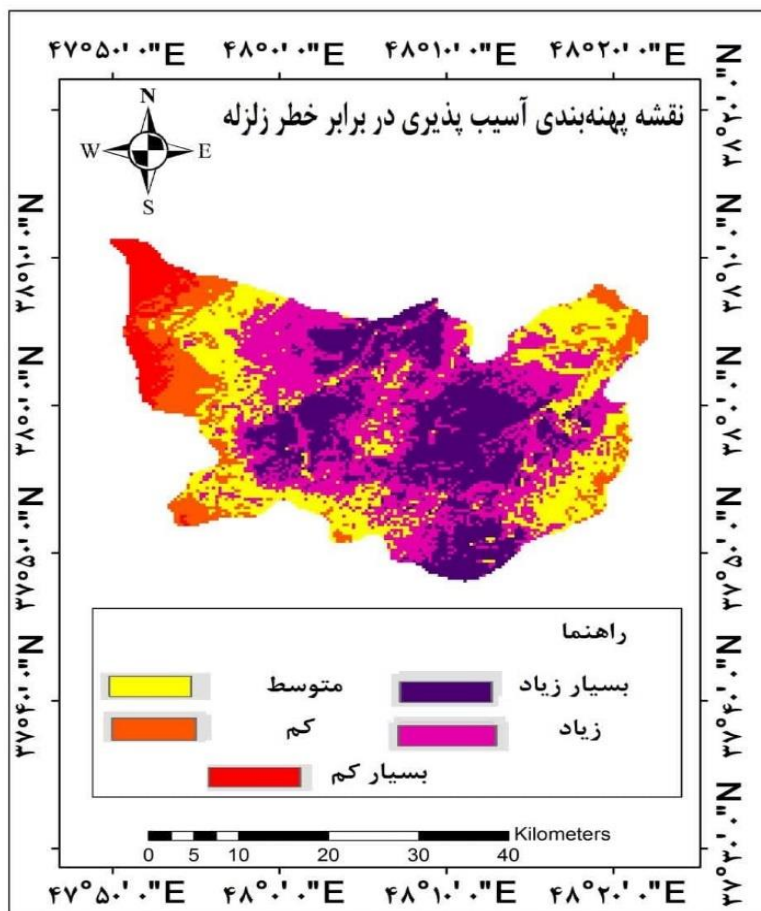
شکل ۴. نقشه استانداردشده معیارها

جدول ۲. ماتریس همبستگی، ماتریس تضاد و محاسبه وزن نهایی معیارها با استفاده از روش کریتیک

ماتریس همبستگی										
معیار	شیب	ارتفاع	کانون زلزله	رودخانه	راه ارتباطی	شهر و روستا	زمین‌شناسی	گسل	کاربری	نقاط لغزش
شیب	۱	۰/۳۵۲	۰/۳۸۷	-۰/۱۳۲	-۰/۲۸۸	۰/۱۹۶	-۰/۳۰۷	-۰/۱۴۱	۰/۳۴۸	۰/۱۱۷
ارتفاع	۰/۳۵۲	۱	۰/۲۰۲	-۰/۰۹۶	-۰/۲۳۱	۰/۳۱۲	-۰/۱۰۱	۰/۱۳۲	۰/۰۸۷	۰/۰۸۶
کانون زلزله	۰/۳۸۷	۰/۲۰۲	۱	-۰/۳۹۸	-۰/۱۸۶۵	۰/۶۵۸	-۰/۴۲۷	۰/۳۵۵	۰/۴۰۳	۰/۳۱۱
رودخانه	-۰/۱۳۲	-۰/۰۹۶	-۰/۳۹۸	۱	۰/۴۲۵	-۰/۲۳۶	۰/۱۵۴	-۰/۱۸۹	-۰/۱۰۳	-۰/۰۸۶
راه ارتباطی	-۰/۲۸۸	-۰/۲۳۱	-۰/۱۸۶۵	۰/۴۲۵	۱	-۰/۸۷۵	۰/۶۱۶	-۰/۱۶۸	۰/۰۵۳	۰/۰۹۵
شهر و روستا	۰/۱۹۶	۰/۳۱۲	۰/۶۵۸	-۰/۲۳۶	-۰/۸۷۵	۱	-۰/۳۰۵	۰/۰۸۱	۰/۲۳۱	۰/۱۲۱
زمین‌شناسی	-۰/۳۰۷	-۰/۱۰۱	-۰/۴۲۷	۰/۱۵۴	۰/۶۱۶	-۰/۳۰۵	۱	۰/۳۱۱	-۰/۱۵۳	-۰/۱۱۴
گسل	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۳۵۵	-۰/۱۸۹	-۰/۱۶۸	۰/۰۸۱	-۰/۳۱۱	۱	۰/۱۱۷	۰/۲۰۲
کاربری	۰/۳۴۸	۰/۰۸۷	۰/۴۰۳	-۰/۱۰۳	۰/۰۵۳	۰/۲۳۱	-۰/۱۵۳	۰/۱۱۷	۱	۰/۲۱۴
نقاط لغزش	۰/۱۱۷	۰/۰۸۶	۰/۳۱۱	-۰/۰۸۶	۰/۰۹۵	۰/۱۲۱	-۰/۱۱۴	۰/۲۰۲	۰/۲۱۴	۱
ماتریس تضاد										
معیار	شیب	ارتفاع	کانون زلزله	رودخانه	راه ارتباطی	شهر و روستا	زمین‌شناسی	گسل	کاربری	نقاط لغزش
شیب	۰	۰/۶۴۸	۰/۶۱۳	۱/۱۳۲	۱/۲۸۸	۰/۸۰۴	۱/۳۰۷	۱/۱۴۱	۰/۶۵۲	۰/۸۸۳

ارتفاع	۰/۶۴۸	۰	۰/۷۹۸	۱/۰۹۶	۱/۲۳۱	۰/۶۸۸	۱/۱۰۱	۰/۸۶۸	۰/۹۱۳	۰/۹۱۴
کانون زلزله	۰/۶۱۳	۰/۷۹۸	۰	۱/۳۹۸	۱/۸۶۵	۰/۳۴۲	۱/۴۲۷	۰/۶۴۵	۰/۵۹۷	۰/۶۸۹
رودخانه	۱/۱۳۲	۱/۰۹۶	۱/۳۹۸	۰	۰/۵۷۵	۱/۲۳۶	۰/۸۴۶	۱/۱۸۹	۱/۱۰۳	۱/۰۸۶
راه ارتباطی	۱/۲۸۸	۱/۲۳۱	۱/۸۶۵	۰/۵۷۵	۰	۱/۸۷۵	۰/۳۸۴	۱/۱۶۸	۰/۹۴۷	۰/۹۰۵
شهر و روستا	۰/۸۰۴	۰/۶۸۸	۰/۳۴۲	۱/۲۳۶	۱/۸۷۵	۰	۱/۳۰۵	۰/۹۱۹	۰/۷۶۹	۰/۸۷۹
زمین‌شناسی	۱/۳۰۷	۱/۱۰۱	۱/۴۲۷	۰/۸۴۶	۰/۳۸۴	۱/۳۰۵	۰	۰/۶۸۹	۱/۱۵۳	۱/۱۱۴
گسل	۱/۱۴۱	۰/۸۶۸	۰/۶۴۵	۱/۱۸۹	۱/۱۶۸	۰/۹۱۹	۰/۶۸۹	۰	۰/۸۸۳	۰/۷۹۸
کاربری	۰/۶۵۲	۰/۹۱۳	۰/۵۹۷	۱/۱۰۳	۰/۹۴۷	۰/۷۶۹	۱/۱۵۳	۰/۸۸۳	۰	۰/۷۸۶
نقاط لغزش	۰/۸۸۳	۰/۹۱۴	۰/۶۸۹	۱/۰۸۶	۰/۹۰۵	۰/۸۷۹	۱/۱۱۴	۰/۷۹۸	۰	۰
مجموع تضاد، انحراف معیار، میزان اطلاعات و وزن نهایی										
معیار	شیب	ارتفاع	کانون زلزله	رودخانه	راه ارتباطی	شهر و روستا	زمین‌شناسی	گسل	کاربری	نقاط لغزش
مجموع تضاد	۸/۴۶۸	۸/۲۵۷	۸/۳۴۷	۹/۶۶۱	۱۰/۲۳۸	۸/۸۱۷	۹/۳۲۶	۸/۳۰۰	۷/۸۰۳	۸/۰۵۴
انحراف معیار	۰/۲۷۶	۰/۲۵۳	۰/۳۴۱	۰/۱۸۷	۰/۱۸۹	۰/۲۱۶	۰/۲۸۷	۰/۳۶۷	۰/۳۲۷	۰/۲۳۵
میزان اطلاعات	۲/۳۳۷	۲/۰۸۹	۲/۸۵۵	۱/۸۰۶	۱/۹۳۴	۱/۹۰۴	۲/۶۷۶	۳/۰۴۶	۲/۵۵۱	۱/۸۹۲
وزن نهایی	۰/۱۰۱	۰/۰۹۰	۰/۱۲۳	۰/۰۸۷	۰/۰۸۳	۰/۰۸۲	۰/۱۱۵	۰/۱۳۱	۰/۱۱۰	۰/۰۸۱

با توجه به خروجی حاصل از روش آراس، به ترتیب؛ $۳۶۵/۷۴$ و $۳۶۵/۸۷$ کیلومترمربع از مساحت کل شهرستان در طبقه با آسیب‌پذیری بسیار زیاد و زیاد قرار گرفته است و $۲۵۶/۸۵$ کیلومترمربع از مساحت شهرستان، دارای پتانسیل آسیب‌پذیری متوسط هستند. به ترتیب؛ $۱۲۵/۱۰$ و $۶۲/۰۷$ دارای پتانسیل آسیب‌پذیری کم و نسبتاً کم در مقابل خطر زلزله می‌باشند (جدول ۳).



شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهرستان نیر در برابر خطر زلزله

جدول ۳. اطلاعات طبقات حاصل از به‌کارگیری الگوریتم چند معیاره آراس

مقدار آسیب‌پذیری	بسیار زیاد	زیاد	متوسط	کم	بسیار کم
مساحت (KM ²)	۳۶۵/۷۴	۳۶۵/۸۷	۲۵۶/۸۵	۱۲۵/۱۰	۶۲/۰۷

بحث

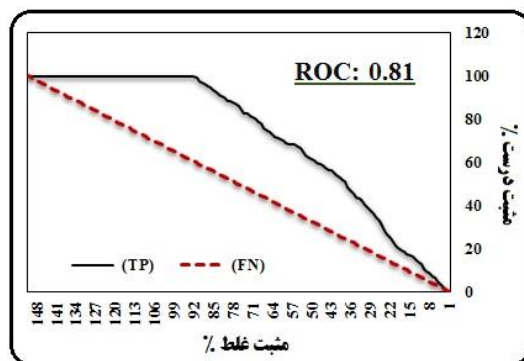
ارتفاعات در تعیین تراکم جمعیت و ارزیابی میزان خسارت جانی و مالی ناشی از وقوع زلزله، نقش بسزایی دارند. پیروزی و همکاران (۱۴۰۲)، اصغری سراسکانرود و پیروزی (۱۴۰۳)، نیز بر نقش عامل ارتفاع در بررسی آسیب‌پذیری در برابر زلزله تأکید داشته‌اند ارتفاع شهرستان نیر بین ۱۳۹۰ تا ۳۷۰۶ متر است. کوه سبلان، کوه قصر (قصرداغی) و برقوش به ترتیب در شمال و شمال غربی، غرب نیر و جنوب غربی آن قرار دارد. مناطق مسطح شهرستان نیر در بخش مرکزی این شهرستان قرار دارد که توسط رسوبات جوان کواترنر پوشیده شده است. دشت نیر دارای شیب بین صفر تا ۱۰ درصد است. از این رو دشتی ناهموار و تا حدودی شیب‌دار است و از نظر سنی نیز دشتی جوان به حساب می‌آید که هنوز به مسطح و پستی کامل نرسیده است و همچنان در سطح دشت بی‌نظمی‌هایی وجود دارد که به‌صورت تپه‌های شاهد دیده می‌شود. بررسی مقایسه‌ای عامل ارتفاع با نقشه نهایی حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که پهنه‌های آسیب‌پذیر در سطوح مختلف ارتفاعی بالاتر از ۲۰۰۰ متری گسترده شده‌اند. در بررسی شیب یک منطقه، توزیع شیب نسبت به سطح آن در مطالعات توپوگرافی منطقه حائز اهمیت است و همان‌طور که غضنفرپور و همکاران (۱۴۰۲)، نیز بیان داشته‌اند که با افزایش شیب،

میزان آسیب‌پذیری افزایش می‌یابد. مقدار شیب موجود در شهرستان نیر بین ۰ تا ۸۰ درصد می‌باشد. مقایسه بین نقشه پهنه‌بندی شده با نقشه شیب نیز، نشان می‌دهد که نواحی آسیب‌پذیر در طبقات شیب ۱۵ تا ۴۰ درصد قرار دارند. کاربری زمین از عوامل اصلی در تهیه نقشه خطر زمین‌لرزه می‌باشد و کاربری‌های مختلف، پتانسیل آسیب‌پذیری متفاوتی دارند. انواع کاربری در شهرستان نیر به صورت مراتع خوب با وسعت ۲۸۳/۳۱ کیلومترمربع، مراتع متراکم با سطح پوشش ۵/۹۱ کیلومترمربع، مراتع متوسط با ۱۰۶/۵۷ کیلومترمربع، مراتع ضعیف با مساحت ۵۷/۸۷ کیلومترمربع، نواحی انسان‌ساخت با وسعت ۷۸/۲۱ کیلومترمربع، پوشش برف دائمی با سطح ۱/۳۰ کیلومترمربع، زراعت دیمی با مساحت ۱۵۵/۵۱ کیلومترمربع، مناطق کوهستانی با سطح پوششی ۲۰/۴۸ کیلومترمربع، مناطق زراعت آبی با ۸۴/۳۵ کیلومترمربع، باغات و پوشش جنگلی با مساحت ۲۵۰/۶۴ کیلومترمربع، شهرک صنعتی با ۰/۱۱۶ کیلومترمربع، مناطق آبی با وسعت ۳/۹۵ کیلومترمربع و اراضی بایر با مساحت ۱۷۶/۷۷ کیلومترمربع می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که مناطقی با کاربری‌های مسکونی، زراعی و مراتع متوسط، دارای احتمال آسیب‌پذیری زیاد و بسیار زیاد هستند. پیروزی و همکاران (۱۴۰۲)، اصغری سراسکانرود و پیروزی (۱۴۰۳)، نیز بدین نتیجه دست‌یافته‌اند که از لحاظ معیار کاربری اراضی، نواحی انسان‌ساخت (مناطق مسکونی شهری و روستایی)، اراضی زراعی بیشترین مقدار از مساحت مناطق داری احتمال پتانسیل آسیب‌پذیری زیاد و نسبتاً زیاد را به خود اختصاص داده است. مخاطرات طبیعی زلزله به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب سکونتگاه‌های شهری و روستایی شناخته می‌شوند. البته لازم به ذکر است که با توجه به گستردگی مناطق روستایی کشور و به دلیل قدمت، ساخت نامناسب، نداشتن دانش فنی و اجرایی کافی و استفاده از مصالح بی‌کیفیت، حوزه تأثیر بیشتر زلزله‌ها در مناطق روستایی کشور بوده است. لذا، شناخت و تحلیل ریسک زلزله در نواحی روستایی در کاهش خسارات و تلفات آن‌ها، عامل تعیین‌کننده‌ای است. مقایسه نقشه فاصله از مراکز جمعیتی با نقشه پهنه‌بندی، نشان می‌دهد که پهنه‌های آسیب‌پذیر در فواصل نزدیک به این مناطق (از فاصله صفر تا فاصله ۱۰۰۰ متری)، واقع شده است. شریان‌های ارتباطی مانند خیابان‌ها و معابر به‌عنوان نقاط ارتباطی و گریز در مناطق شهری و روستایی در مواقع وقوع بلایای طبیعی نقش بسیار اساسی دارند و هر چه دسترسی به جاده‌های اصلی کمتر باشد، با توجه به اینکه امکان امدادسانی به این مناطق کاهش می‌یابد، تلفات جانی بیشتر می‌شود. در شهرستان نیر فاصله از راه ارتباطی بین صفر تا ۱۰۰۰۰ متر می‌باشد. از لحاظ معیار فاصله از راه ارتباطی، هر چند برخی از پهنه‌های آسیب‌پذیر شهرستان در نواحی نزدیک به راه‌های ارتباطی می‌باشند، ولی بایستی اذعان داشت که نواحی دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بالا، در فواصل نسبی دور از راه‌های ارتباطی و در فاصله ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ متری از راه ارتباطی، قرار دارند. در تمام نقاط جهان شهرها یا روستاها همواره در کنار و نزدیک منابع آبی ساخته شده‌اند و منابع آبی ضامن تداوم تراکم جمعیت در یک منطقه است. اما نزدیکی بیش‌ازحد به منابع آبی و ساخت‌وساز در بستر رودخانه‌ها در هنگام بلایای طبیعی باعث تلفات جانی و مالی می‌شود. فاصله از رودخانه شهرستان در حد فاصل صفر تا ۱۱۰۰۰ متر می‌باشد با نظر به معیار فاصله از رودخانه می‌توان نتیجه گرفت، مناطق بسیار آسیب‌پذیر در فاصله نزدیک از رودخانه (صفر تا ۸۰۰ متر)، قرار دارند و تراکم جمعیتی شهرها و یا روستاها نیز، در کنار و نزدیکی به منابع آبی واقع شده است. آرامی و همکاران (۱۴۰۱)، پیروزی و همکاران (۱۴۰۲)، اصغری سراسکانرود و پیروزی (۱۴۰۳)، نواحی نزدیک به رودخانه و مناطق دور از راه ارتباطی را به‌عنوان پهنه‌های با آسیب‌پذیری بالا معرفی نموده‌اند.

همان‌گونه که غضنفرپور و همکاران (۱۴۰۲)، بیان داشته‌اند، در شاخص نقاط لرزه‌خیز، لرزه‌هایی که تا ۲ هزارمتری کانون‌های زلزله‌های رخ داده‌اند، مقاومت بسیار کم‌تری در برابر انرژی آزادشده زلزله خواهند داشت و با فاصله گرفتن از کانون زلزله از شدت آسیب‌پذیری کاسته خواهد شد. بر اساس نقشه پهنه‌بندی حاصل از پژوهش، پهنه‌های با

آسیب‌پذیری بسیار زیاد و زیاد، در فواصل نزدیک به کانون‌های لرزه‌ای پیشین و به‌ویژه، در فاصله صفر تا ۱۰۰۰ متری از این کانون‌ها قرار دارند. عوامل زمین‌شناسی یکی از پارامترهای اصلی در ایجاد خسارات ناشی از زلزله محسوب می‌شوند. اگر سری زمین‌شناسی سست‌تر باشد، قدرت موج لرزه‌ای را تشدید می‌کند و هر چه سری زمین‌شناسی سخت‌تر باشد، قدرت انتقال امواج لرزه‌ای کمتر و در نتیجه قدرت تخریب زلزله ضعیف می‌شود. سازندهای شیل، مارن، ماسه‌سنگ و کنگلومرا (با ۳۲۰/۷۲۲ کیلومتر مربع مساحت) و آندزیت نیمه‌آتشفشانی و داسیت (با ۳۱۲/۵۷۱ کیلومتر مربع مساحت) بیش‌ترین مساحت از سطح شهرستان را پوشش می‌دهند. در این شهرستان واحد آذرآواری کواترنری (شامل کنگلومرا، لاهار، توف و خاکستر) منشاء آتش‌فشانی دارد که سن آن‌ها به دوران پیش از کواترنر نسبت داده می‌شود و رسوبات قدیمی را به‌صورت افقی پوشش می‌دهند. از دیگر واحدهای مهم زمین‌شناسی موجود در شهرستان می‌توان به یادگانه‌های آبرفتی قدیمی و جوان و نهشته‌های مخروط‌افکنه‌ای اشاره نمود. در رابطه با نقشه زمین‌شناسی می‌توان گفت که طبقات بسیار آسیب‌پذیر، به‌طور عمده در سازندهای مارن، شیل، ماسه‌سنگ و کنگلومرا قرار دارند. گسل‌ها می‌توانند نقش عمده‌ای در افزایش شدت و حتی در به وجود آوردن زلزله‌ها داشته باشند و لذا با نزدیک شدن به محدوده گسل انتظار بالا رفتن مقدار آسیب‌پذیری بیشتر می‌شود (خدادادی و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۰۷). به ترتیب نزدیک‌ترین و دورترین فاصله از گسل در سطح شهرستان بین صفر تا ۳۰۰۰۰ متر می‌باشد و بر اساس یافته‌های این مطالعه، پهنه‌های با آسیب‌پذیری بسیار زیاد و زیاد، عمدتاً در فواصل صفر تا ۲۵۰۰ متری از گسل‌ها جای گرفته‌اند. مخاطرات زمینی دارای رفتار و خصوصیت منفرد می‌باشند، لیکن هر یک از آن‌ها می‌توانند در پهنه محیطی منشاء و عامل رخداد و همزادی مخاطره دیگری نیز باشند. به‌طور مثال؛ در بسیاری از زلزله‌های رخ داده در مناطق کوهستانی خسارات حاصل از زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله، برابر یا حتی بیش از خسارات مستقیم ناشی از زلزله بوده است. زمین‌لغزش، علاوه بر تخریب سازه‌ها، می‌تواند جاده‌ها را مسدود کند و به خطوط انتقال آب، برق، نفت و گاز آسیب برساند. همچنین وقوع رانش زمین می‌تواند، موجب قطع عملیات امدادرسانی به زلزله‌زدگان شده و میزان خسارات را افزایش دهد (اصغری سراسکانرود و پیروزی، ۳۰:۱۴۰۳). فاصله از نقاط لغزشی شهرستان نیر، در حد فاصل صفر تا ۲۲۰۰۰ متر می‌باشد و طبقات با آسیب‌پذیری زیاد و بسیار زیاد به‌طور عمده در فاصله ۴۰۰۰ تا ۸۰۰۰ از نقاط پراکنش لغزشی قرار دارند.

با نظر به اینکه در این منحنی، مقادیر مختلف سطح زیر منحنی بین ۰/۵ و ۱ است. اگر مساحت زیر منحنی برابر با ۰/۵ باشد، نشان‌دهنده تصادفی بودن مدل است. اگر این مقدار برابر با ۱ باشد، مدل به بهترین وجه می‌تواند بین حضور و عدم حضور تمایز قائل شود. اگر سطح زیر منحنی بین ۰/۷ تا ۰/۸ باشد، مدل تحت عنوان مدل خوب در نظر گرفته می‌شود. اگر بین ۰/۸ تا ۰/۹ باشد مدل بسیار خوب است و اگر سطح زیر منحنی بیشتر از ۰/۹ باشد، مدل با قدرت تفکیک بسیار عالی در نظر گرفته می‌شود (رستمی‌زاد و دسترنج، ۳۰۵:۱۴۰۳). اعتبارسنجی نتایج حاصل از به‌کارگیری روش آراس، به‌وسیله منحنی ROC، مقدار سطح زیر منحنی (۰/۸۱) را نشان می‌دهد و لذا دقت روش آراس در تشخیص مناطق دارای احتمال وقوع خطر زلزله شهرستان نیر، در طبقه خیلی خوب قرار دارد (شکل ۶).



شکل ۶. منحنی تشخیص عملکرد نسبی و سطح زیر منحنی پهنه‌بندی خطر زلزله شهرستان نیر

نتیجه‌گیری

زلزله یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی است که هر ساله آسیب‌های فراوانی را برای جوامع انسانی در پی دارد و بعضاً منجر به ایجاد بحران‌ها و فجایع بزرگی می‌شود. جهت مقابله اصولی با این پدیده و کاستن از میزان آسیب‌های آن به مطالعاتی در خصوص ارزیابی آسیب‌پذیری در اثر زلزله‌های احتمالی نیاز است. با نظر به اهمیت موضوع، هدف از پژوهش حاضر شناسایی و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری محدوده‌های در معرض خطر وقوع زلزله در شهرستان نیر می‌باشد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد، عوامل فاصله از کانون زلزله، کاربری اراضی، سازند زمین‌شناسی و فاصله از گسل، به‌عنوان مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در وقوع زلزله در منطقه مورد مطالعه می‌باشند و با توجه به یافته‌های پژوهش، به‌ترتیب؛ ۳۶۵/۷۴ و ۳۶۵/۸۷ کیلومترمربع از کل مساحت شهرستان، دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بسیار زیاد و زیاد است. با توجه به وسعت بالای پهنه‌های با آسیب‌پذیری زیاد و بسیار زیاد در سطح شهرستان نیر و با توجه به این امر که زلزله می‌تواند خسارت‌های جبران‌ناپذیر مالی و جانی به دنبال داشته باشد، لازم است تا اقدامات مدیریتی درون منطقه‌ای به‌صورت راهکارهای فنی (شامل: تهیه نقشه مخاطرات و ارزیابی ریسک، جلوگیری از صدور مجوز و ممانعت از ساخت‌وساز بر روی گسل‌ها، تدقیق نقشه‌های حریم گسل و تعیین تکلیف ساختمان‌های خلاف ضوابط در پهنه‌های گسلی و ناایمن، مقاوم‌سازی ساختمان‌ها، استفاده از مصالح مناسب، تداوم و سرعت دادن به بحث مقاوم‌سازی اماکن روستایی و حتی شهری) و راهکارهای اجتماعی (شامل: تبیین اقدامات صحیح و ارتقای آگاهی مردم در رابطه با اقدامات قبل، حین و بعد از وقوع زلزله از طریق برگزاری کارگاه‌ها و سمینارها، توزیع بروشورها و پوسترها و استفاده از رسانه‌های جمعی، ترغیب و تشویق مردم به نوسازی و مقاوم‌سازی ساختمان‌ها از طریق اعطای تسهیلات مالی و اجرایی)، موردتوجه جدی سازمان‌های متولی و مسئول از جمله؛ استانداری اردبیل، اداره کل مدیریت بحران، اداره کل راه و شهرسازی استان، بنیاد مسکن انقلاب اسلامی و شهرداری‌ها قرار گیرد. به‌علاوه، انجام یک سری از اقدامات برون منطقه‌ای در سطح ملی و فراملی نیز می‌تواند در آمادگی در مقابله از خطر زلزله کمک شایانی نماید که از جمله این راهکارها می‌توان به تقویت همکاری‌های علمی و تحقیقاتی بین‌المللی به‌صورت تبادل اطلاعات و تجربیات در زمینه پیش‌بینی زلزله، مقاوم‌سازی ساختمان‌ها، مدیریت بحران و امدادسانی، برنامه‌ریزی ملی برای مقابله با زلزله، به‌روزرسانی قوانین بازسازی و مقاوم‌سازی ساختمان‌های آسیب‌پذیر در سطح کشور، آموزش در مدارس و دانشگاه‌ها و استفاده از فناوری‌های نوین آموزشی)، اشاره داشت.

حامی مالی

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی به شماره قرارداد ۱۴۰۳/د/۲۶۷۱۶، از محل اعتبارات معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه محقق اردبیلی می‌باشد.

سهام نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمامی بخش‌ها و مراحل پژوهش سهم برابر داشتند.

تضاد نافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی از محل اعتبارات معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه محقق اردبیلی می‌باشد. از این رو تشکر و قدردانی خود را اعلام می‌داریم.

منابع

- آرامی، ابراهیم؛ ایمانی، بهرام و خلیفه ابراهیم. (۱۴۰۱). اولویت‌بندی سکونتگاه‌های روستایی در معرض مخاطرات (مورد مطالعه: بخش مرکزی شهرستان اردبیل). *مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی*، ۳ (۱)، ۱-۲۳۶. <https://doi.org/10.52547/gsma.3.1.219>
- اسدی، زینب و زارع، مهدی. (۱۳۹۴). برآورد توان لرزه‌زایی گسل‌ها و ارزیابی بزرگی زمین‌لرزه‌های پیش‌ازتاریخ از داده‌های زمین‌لغزش مطالعه موردی در دره نور (البرز مرکزی). *علوم زمین*، ۲۴ (۹۵)، ۶۷-۷۸. <https://doi.org/10.22071/gsj.2015.41851>
- اصغری سراسکانرود، صیاد و پیروزی، الناز. (۱۴۰۳). شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل چندمعیاره آراس (منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز قرتقوچای در جنوب شرق استان آذربایجان شرقی). *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۵ (۳)، ۶۵-۹۴. <https://doi.org/10.22108/gep.2024.140985.16396>
- اصغری سراسکانرود، صیاد و پیروزی، الناز. (۱۴۰۳). پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهرستان اردبیل در برابر خطر زلزله. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۸ (۹۰)، ۸۸-۱۱۲. <https://doi.org/10.22034/gp.2023.58617.31906>
- افسری، رسول؛ بالیست، جهانبخش؛ دارابی، حسن و میرزایی، محمدرضا. (۱۴۰۱). ارزیابی پتانسیل تهدید شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای با رویکرد پدافند غیرعامل در استان خوزستان. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۲ (۲)، ۱۴۹-۱۶۷. <https://doi.org/10.30488/gps.2021.265835.3356>
- انامراندژاد، رحیم بردی؛ نیک پور، عامر و حسنی، زهره. (۱۳۹۷). تحلیل کالبدی- فضایی نواحی شهری بر اساس شاخص‌های رشد هوشمند شهری (مطالعه موردی: شهر بابل). *پژوهش و برنامه‌ریزی شهری*، ۹ (۳۴)، ۳۰-۱۹. https://jupm.marvdasht.iau.ir/article_3126.html?lang=en
- پیروزی، الناز؛ اصغری سراسکانرود، صیاد و زینالی، بتول. (۱۴۰۲). ارزیابی و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهرستان خلخال در برابر مخاطره محیطی زمین‌لرزه. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۳ (۳)، ۲۴۵-۲۶۰. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2023.366500.796>
- جعفری حاجتی، فرشته و آق‌آتابای، مریم. (۱۳۹۱). شناسایی مناطق مستعد خطر مرتبط با پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه‌های بزرگ مطالعه موردی: زمین‌لرزه سیلاخور، لرستان. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۲ (۴)، ۱۱۴-۱۲۸.
- حیدری، محمدجواد. (۱۳۹۷). ارزیابی آسیب‌پذیری بافت‌های شهری از خطر زلزله (مطالعه موردی: بافت قدیم شهر زنجان). *مهندسی جغرافیایی سرزمین*، ۲ (۳)، ۱۰۱-۱۱۵.
- حیدری مظفر، مرتضی و تاج‌بخشیان، مرضیه. (۱۴۰۱). پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های شهرستان نهاوند در برابر زلزله. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۱ (۳۴)، ۵۷-۷۸. <https://doi.org/10.22111/JNEH.2022.39334.1830>

- خدادادی، فاطمه؛ انتظاری، مژگان و ساسانپور، فرزانه. (۱۳۹۹). تحلیل آسیب‌پذیری شهری در برابر مخاطره زلزله با روش ELECTRE FUZZY (مطالعه موردی: کلان‌شهر کرج). *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۰ (۵۶)، ۹۳-۱۱۳. <https://doi.org/10.29252/jgs.20.56.93>
- دیانی، لیلیا؛ پورطاهری، مهدی؛ رکن‌الدین افتخاری، عبدالرضا و احمدی، حسن. (۱۳۹۷). رتبه‌بندی سازه‌های اصلی ساماندهی بافت‌های فرسوده روستاهای پیرامون کلان‌شهرها با استفاده از روش ارزیابی نسبت تجمعی (ARAS) (مطالعه موردی: پیرامون کلان‌شهر تهران). *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، ۲۲ (۳)، ۱۴۵-۱۸۱.
- سیلاخوری، زهرا؛ وهابزاد کبریا، قربان و پورقاسمی، حمیدرضا. (۱۴۰۲). تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل بیزین (مطالعه موردی: بخشی از حوضه آبخیز تالار، استان مازندران). *پژوهش‌های فرسایش محیطی*، ۱۳ (۲)، ۱۲۲-۱۴۰.
- صمدزاده، رسول؛ خواجوی، احمد و معصومی، محمدتقی. (۱۴۰۰). ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی - اقتصادی بافت‌های فرسوده شهر اردبیل در مقابل خطرپذیری لرزه‌ای. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۵ (۷۸)، ۱۳۹-۱۵۷. <https://doi.org/10.22034/gp.2021.44630.2786>
- عابدینی، موسی؛ ایرانی، ویدا و اسفندیاری‌درآباد، فریبا. (۱۴۰۱). بررسی اثرات ژئومورفولوژیکی تکنونیک فعال و پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه با تأکید بر توان لرزه‌زایی گسل‌ها (مطالعه موردی: نمین، آستارا، تالش). *نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۶ (۸۲): ۱۶۰-۱۴۵. <https://doi.org/10.22034/GP.2022.48624.2909>
- عابدینی، موسی و سرمستی، نادر. (۱۳۹۵). ارزیابی ضریب آسیب‌پذیری کلان‌شهر تبریز در برابر خطر زلزله و برآورد تلفات انسانی. *جغرافیای طبیعی*، ۹ (۳۲)، ۵۶-۳۲.
- غضنفرپور، حسین؛ حسینی‌خواه، حسین و کمالی باغراهی، اسماعیل. (۱۴۰۲). تحلیل ریسک و آسیب‌پذیری لرزه‌ای سکونتگاه‌های انسانی شهرستان باشت با استفاده از مدل دیماتل فازی و GIS. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۲ (۳۵)، ۳۶-۲۱. <https://doi.org/10.22111/JNEH.2022.39945.1845>
- کریمی قطب‌آبادی، فضل‌اله و زنگی‌آبادی، علی. (۱۴۰۴). سنجش تطبیقی میزان تاب‌آوری سکونتگاه‌های شهری جدید در برابر خطر زلزله (مورد پژوهی: منطقه شهری اصفهان بزرگ). *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۵ (۷۷)، ۳۲۹-۳۰۸. <https://doi.org/10.61186/jgs.25.77.14>
- محمدی، چنور؛ نظم‌فر حسین و اصغری سراسکانرود، صیاد. (۱۴۰۲). تحلیل وضعیت تاب‌آوری نهادی در برابر خطر زلزله در کلان‌شهر کرمانشاه. *جغرافیا و مطالعات شهری و منطقه‌ای*، ۱۲ (۴۵)، ۱۹۱-۱۷۲.
- محمدپور، ابراهیم. (۱۳۹۸). مکان‌یابی مراکز اسکان موقت شهر اردبیل بعد از وقوع زلزله با استفاده از GIS. *فصلنامه پژوهش‌های نوین علوم جغرافیایی، معماری و شهرسازی*، ۱ (۲۱)، ۹۱-۷۷.

Rafrences

- Arshad, M.W., Mesran, M., Setiawansyah, S., Ryan Randy Suryono, RR., & Rahmanto, Y. (2023). Combination of CRITIC Weighting Method and Multi-Atributive Ideal-Real Comparative Analysis in Staff Admissions. *Journal of Computer Science and Information Technology*, 2 (4), 77-86. <https://doi.org/10.47065/explorer.v4i2.1428>
- Badola, S.H., Mishra, V.N., Parkash, S., & Pandey, M. (2023). Rule-based fuzzy inference system for landslide susceptibility mapping along national highway 7 in Garhwal Himalayas, India. *Quaternary Science Advances*, 11, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.qsa.2023.100093>
- Bhattacharyya, R., & Mukherjee, S. (2021). Fuzzy Membership Function Evaluation by Non-Linear Regression: An Algorithmic Approach. *Fuzzy infomation and engineering*, 12 (4), 412-434. <https://doi.org/10.1080/16168658.2021.1911567>
- Farahmand, G.H., Samet, K., Golmohammadi, N.H., & Patel, N. (2022). vulnerability zoning of urban areas against earthquake (case study: Urmia city). *Geodesy and Cartography*, 48(3): 160-169. <https://doi.org/10.3846/gac.2022.14788>
- Faraji Sabokbar, H., 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). *Journal of Sustainable Rural Development*, 5(2), 175-188. [20.1001.1.25383876.2021.5.2.1.7](https://doi.org/10.1001.1.25383876.2021.5.2.1.7)

- Hlal, M., Azmi, R., Chenal, J., Diop, E.B., Adraoui, M., Ebnou Abdem, A., Serbouti, I., & Bounabi, M. (2024). Earthquake risks assessment and urban vulnerability: Case of Nador city, northeast Morocco, *Journal of Infrastructure Policy and Development*. *Journal of Infrastructure Policy and Development*, 8(14),9381, 1-33. <https://doi.org/10.24294/jipd9381>
- Shadmaan, S., & Popy, S. (2023). An assessment of earthquake vulnerability by multi-criteria decision-making method *Geo, hazard Mechanics*, 1(1), 94-102. <https://doi.org/10.1016/j.ghm.2022.11.002>
- Sousa, M.L., & Tsionis, G. (2025). National seismic risk assessment: an overview and practical guide. *Nat Hazards*, 1-34. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-07008-y>
- Yang, W., Zeng, Z., & Luo, W., (2009). Three- Level tectonic model for intraplate earthquakes, *Earth science frontiers*, 16 (1), 206- 217. [https://doi.org/10.1016/S1872-5791\(08\)60073-1](https://doi.org/10.1016/S1872-5791(08)60073-1)
- Yariyan, P., Avand, M.T., Soltani, F., & Ghorbanzadeh, Blaschke, T., (2020). Earthquake Vulnerability Mapping Using Different Hybrid Models. *Symmetry*, 12 (405), 1-31. <https://doi.org/10.3390/sym12030405>
- Abedini, M., Irani, V., & Esfanyari darabad, F. (2023). Investigation on the geomorphological effects of active tectonics and zoning Earthquake risk with emphasis on seismicity of faults (Case study: Namin, Astara, Talesh). *Geography and Planning*, 26(82), 160-145. <https://doi.org/10.22034/GP.2022.48624.2909> [In Persian].
- Abedini, M., & Sarmasti, N. (2016). Vulnerability factor of Tabriz metropolitan against earthquake risk assessment and estimation of casualties. *Physical Geography Quarterly*, 9(32), 35-56. [Dor:20.1001.1.20085656.1395.9.32.3.7](https://doi.org/10.1001/1.20085656.1395.9.32.3.7) [In Persian].
- Afsari, R., balist, J., Darabi, H. & Mirzaei, M. R. (2022). Assessing the Potential Threat of Road Transport Networks with Passive Defense Approach in Khuzestan Province. *Geographical Planning of Space*, 12(2), 149-167. <https://doi.org/10.30488/gps.2021.265835.3356> [In Persian].
- Anamoranejad, R.B., Nikpour, A., & Hasani, Z. (2018). The Physical-Spatial Analysis of Urban Areas Based on the Indicators of the Urban Smart Growth (A Case Study: Babol). *Journal of Research and Urban Planning*, 9(34), 19-30. [In Persian].
- Arami, E., Imani, B., & Khalifa, E. (2022). Prioritization of rural settlements exposed to hazards (case study: central part of Ardabil city). *geographical studies of mountainous regions*, 3 (12), 219-236. <https://doi.org/10.52547/gsma.3.1.219> [In Persian].
- Arshad, M.W., Mesran, M., Setiawansyah, S., Ryan Randy Suryono, RR., & Rahmanto, Y. (2023). Combination of CRITIC Weighting Method and Multi-Atributive Ideal-Real Comparative Analysis in Staff Admissions. *Journal of Computer Science and Information Technology*, 2 (4), 77-86. <https://doi.org/10.47065/explorer.v4i2.1428>
- Asadi, Z., & Zare, M. (2015). Estimating Seismic Capability and Magnitudes of Prehistoric Earthquakes from Landslide Data: Case Study in Noor Valley (Central Alborz). *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 24(95), 67-78. <https://doi.org/10.22071/gsj.2015.41851> [In Persian].
- Asghari Saraskanroud, S., & Piroozi, E. (2024). Identification and Zoning of Areas Prone to the Occurrence of Landslides Using the Aras Multi-Criteria Analysis Method (Study Area: Qaranqoochay Watershed in the Southeast of East Azarbaijan Province). *Geography and Environmental Planning*, 35(3), 65-94. <https://doi.org/10.22108/gep.2024.140985.16396>. [In Persian].
- Asghari Saraskanroud, S., & Piroozi, E. (2025). Vulnerability zoning of Ardabil city against earthquake risk. *Journal of Geography and Planning*, 28(90), 112-88. <https://doi.org/10.22034/gp.2023.58617.31906> [In Persian].
- Badola, SH., Mishra, V.N., Parkash, S., & Pandey, M. (2023). Rule-based fuzzy inference system for landslide susceptibility mapping along national highway 7 in Garhwal Himalayas, India. *Quaternary Science Advances*, 11, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.qsa.2023.100093>
- Bhattacharyya, R., & Mukherjee, S. (2021). Fuzzy Membership Function Evaluation by Non-Linear Regression: An Algorithmic Approach. *Fuzzy infomation and engineering*, 12 (4), 412-434. <https://doi.org/10.1080/16168658.2021.1911567>
- Dayyani, L., Poor taheri, M., Rokneddin eftekhari, A., & Ahmadi, H. (2018). Ranking of Basic Elements for organizing of Rural Deteriorated Textures on Fringes of Metropolises Using ARAS Method (Case Study: Fringes of Tehran Metropolis. *The Journal of Spatial Planning*, 22 (3), 145-181. [In Persian].

- Farahmand, GH., Samet, K., Golmohammadi, NH., & Patel, N. (2022). vulnerability zoning of urban areas against earthquake (case study: Urmia city). *Geodesy and Cartography*, 48(3): 160-169. <https://doi.org/10.3846/gac.2022.14788>
- Faraji Sabokbar, H., 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). *Journal of Sustainable Rural Development*, 5(2), 175-188. [Dor:20.1001.1.25383876.2021.5.2.1.7](https://doi.org/10.25383876.2021.5.2.1.7)
- 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 Arc GIS. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 12(35), 21-36. <https://doi.org/10.22111/JNEH.2022.39945.1845> [In Persian].
- Heidarimozaffar, M., & TajBakhshian, M. (2022). Zoning the Vulnerability of Nahavand Settlements to Earthquakes. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(34), 57-78. <https://doi.org/10.22111/JNEH.2022.39334.1830> [In Persian].
- Heydari, M. (2018). The vulnerability assessment of urban fabric in earthquake against (a case study: old fabric of Zanjan city). *Geographical Engineering of Territory*, 2(3), 101-115. [In Persian].
- Hlal, M., Azmi, R., Chenal, J., Diop, E.B., Adraoui, M., Ebnou Abdem, A., Serbouti, I., & Bounabi, M. (2024). Earthquake risks assessment and urban vulnerability: Case of Nador city, northeast Morocco, Journal of Infrastructure Policy and Development. *Journal of Infrastructure Policy and Development*, 8(14),9381, 1-33. <https://doi.org/10.24294/jipd9381>
- Jaafari Hajati, F., & Agh Atabai, M. (2012). Identification the Risk-Prone Areas Related to Large Earthquake's Aftershocks (Case Study: Silakhor Earthquake, Lorestan). *Geographical Planning of Space*, 2(4), 114-128. [In Persian].
- Karimi Ghotbabadi, F., & Zangiabadi, A. (2025). Comparative assessment of the resilience of new urban settlements to earthquake risk (Case study: Greater Isfahan urban area). *Jgs*, 25(77), 308-329. <https://doi.org/10.61186/jgs.25.77.14> [In Persian].
- Khodadadi, F., Entezari, M., & Sasanpour, F. (2020). Urban Vulnerability Analysis Against earthquake hazard with the ELECTRE FUZZY method (Case Study: Karaj Metropolis). *Applied researches in Geographical Sciences*, 20 (56), 93-113. <https://doi.org/10.29252/jgs.20.56.93> [In Persian].
- Mohammadi, C., Nazmfar, H., & Asghari Saraskanroud, S. (2023). Analysis of Institutional Resilience Against Earthquake Risk in the Metropolis of Kermanshah. *Journal of Geography, Urban and Regional Studies*, 12(45), 172-191. [In Persian].
- Mohammadpour, E. (2018). Location of temporary housing centers in Ardabil city after the earthquake using GIS, Quarterly Journal of New Researches in Geography. *Architecture and Urban Planning*, 1 (21), 77-91. <https://pantajournals.ir/buy.aspx?id=90089&t=1> [In Persian].
- Piroozi, E., Asghari Saraskanroud, S., & Zeinali, B. (2023). Evaluation and zoning of the vulnerability of Khalkhal City against the environmental hazard of earthquake. *Environmental Management Hazards*, 10(3), 245-260. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2023.366500.796> [In Persian].
- Samadzadeh, R., Khajavy, A. & Masoomi, M. T. (2022). Assessment of physical vulnerability of decayed textures Ardabil Urban against seismic risk. *Journal of Geography and Planning*, 25(78), 139-157. <https://doi.org/10.22034/gp.2021.44630.2786> [In Persian].
- Shadmaan, S., & Popy, S. (2023). An assessment of earthquake vulnerability by multi-criteria decision-making method Geo, *hazard Mechanics*, 1(1), 94-102. <https://doi.org/10.1016/j.ghm.2022.11.002>
- Silakhori, Z., Vahabzadekebriya, G., & Poorghasemi, H. (2023). Landslide Susceptibility Mapping using Bayesian Model: A Case Study of some Regions of Talar Watershed, Mazandaran Province. *Environmental Erosion Research Journal*, 13 (2), 122-140. <http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-683-fa.html> [In Persian].
- Sousa, M.L., & Tsionis, G. (2025). National seismic risk assessment: an overview and practical guide. *Nat Hazards*, 1-34. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-07008-y>

- Yang, W., Zeng, Z., & Luo, W., (2009). Three- Level tectonic model for intraplate earthquakes, *Earth science frontiers*, 16 (1), 206- 217. [https://doi.org/10.1016/S1872-5791\(08\)60073-1](https://doi.org/10.1016/S1872-5791(08)60073-1)
- Yariyan, P., Avand, M. T., Soltani, F., & Ghorbanzadeh Blaschke, T. (2020). Earthquake Vulnerability Mapping Using Different Hybrid Models. *Symmetry*, 12 (405), 1-31. <https://doi.org/10.3390/sym12030405>