

Assessment of the Vulnerability of Cities in Lorestan Province to Earthquake Hazards

Negahban, S.¹  | Ganjaeian, H.²  | Akbarian, M.³  | Hamidi, H.² 

1. Department of Geography, Faculty of Economics, Management and Social Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran.

2. Department of physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran.

3. Department of physical Geography, Faculty Earth sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Corresponding Author E-mail: snegahban@shirazu.ac.ir

(Received: 9 Sep 2025, Revised: 14 Dec 2025, Accepted: 30 June 2026, Published online: 5 Sep 2026)

Summary

The geographical location of Iran has placed many of its cities at risk from earthquakes. Lorestan, located in the western Zagros of Iran, is among the regions with high seismic risk. Positioned on the seismically active Alpine–Himalayan belt and at the collision zone between the Arabian and Iranian plates, the area experiences frequent and significant earthquakes. The central and western parts of the province are closely linked to the active Zagros faults, facing a high likelihood of seismic events. Beyond tectonic conditions, construction practices in Lorestan also contribute to increased vulnerability. Despite awareness of Lorestan's seismicity and its history of severe earthquakes, evidence indicates that preventive measures and urban planning aligned with the existing risks have not been adequately implemented. Non-engineered buildings, substandard materials, high building density in deteriorated urban areas, and the absence of early warning systems are among the main weaknesses in reducing vulnerability.

In this study, the main data sources included 1:100,000 geological maps of the area, layers of earthquake epicenters occurring in the region between 1907 and 2023, Landsat 8 and Sentinel-1 satellite imagery, the 30-meter SRTM digital elevation model, and statistical information on the population and percentage of deteriorated urban fabric in the studied cities. The primary tools used were ArcGIS (for preparing the required maps), Google Earth Engine (for mapping urban land use and determining the percentage of open spaces), SuperDecisions (for weighting parameters using the Analytic Network Process model), and SPSS (for statistical data analysis). Based on the subject and objectives, the research was conducted in several stages. In the first stage, data layers related to the selected parameters were prepared, and after producing the layers for each parameter, the status of 11 cities in Lorestan Province (county centers) was evaluated according to each parameter. In the second and third stages, the information layers were normalized and weighted, respectively.

The analysis of earthquake epicenters show that the cities of Poldokhtar, Chaghabel, and Khorramabad have the highest concentration of earthquake epicenters and, therefore, the greatest potential vulnerability in this regard. In terms of distance from major faults, the cities of Aleshtar and Dorud, due to their proximity to main fault lines, have the highest vulnerability potential. Regarding slope, the cities of Nourabad and Dorud, with an average slope of 7 percent, have the highest mean slope percentage and thus the highest vulnerability potential for this parameter. In terms of population and population density, Khorramabad, Borujerd, and Dorud, with populations of 373,416, 264,947, and 112,638 respectively, have the highest population and consequently the highest potential vulnerability. In terms of population density, Nourabad, Aligodarz, and Borujerd, with densities of 10,254, 9,174, and 9,168 people per square kilometer respectively, show the greatest vulnerability. Regarding the percentage of deteriorated urban fabric, Borujerd (15%) and Aligodarz and Cheghabel (14% each) rank highest in vulnerability. For open space percentage, Aligodarz (13%), Dorud (14%), and Khorramabad (15%) have the lowest open space ratios and thus greater vulnerability. Additionally, in terms of compactness ratio, Borujerd, Aligodarz, and Aleshtar, with ratios of 1.24, 1.37, and 1.46 respectively, have the lowest ratios, indicating the highest compactness and greater vulnerability for this parameter.

A comprehensive assessment of seismicity parameters, distance from faults, slope percentage, population and population density, deteriorated urban fabric, open space percentage, and compactness ratio in the cities of Lorestan Province revealed significant differences in their vulnerability to earthquakes. The findings indicate that Lorestan, due to its location in the Zagros belt and proximity to active faults—particularly in cities such as Khorramabad, Dorud, and Borujerd—has a high seismic hazard potential. Khorramabad, with the highest vulnerability score (75.1), ranks first because of its high population density, closeness to major fault lines, and concentration of earthquake epicenters. Following it, Dorud (74.1) and Borujerd (72.1) show high vulnerability, resulting from a combination of natural and human factors such as high average slope, population density, and compact urban fabric. In contrast, Cheghabel (score 40) and the cities of Sarabdoreh (47) and Azna (52) exhibit lower vulnerability due to smaller populations, greater distances from main faults, and fewer earthquake epicenters. This analysis highlights that, in addition to geomorphological and seismic factors, urban physical and demographic characteristics play a decisive role in vulnerability levels. It also shows that deteriorated urban fabrics, a shortage of open spaces, and high population density significantly increase risk.

Keywords: Earthquake, Vulnerability, Cities of Lorestan Province.

Cite this article: Negahban, S., Ganjaeian, H., Akbarian, M., & Hamidi, H. (2026). Assessment of the Vulnerability of Cities in Lorestan Province to Earthquake Hazards. *Journal of the Earth and Space Physics*, 52(2), 211-224. DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2026.401598.1007720>

E-mail: (2) h.ganjaeian@ut.ac.ir | h.hedie90@gmail.com (3) akbarian@ut.ac.ir



© Authors Retain the Copyright and Full Publishing Rights.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2026.401598.1007720>

Print ISSN: 2538-371X
Online ISSN: 2538-3906

ارزیابی وضعیت آسیب پذیری شهرهای استان لرستان در برابر مخاطره زمین لرزه

سعید نگهبان^۱ ✉ | حمید گنجائیان^۲ | مرتضی اکبریان^۳ | هدیه حمیدی^۲

۱. گروه جغرافیا، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

۲. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: snegahban@shirazu.ac.ir

(دریافت: ۱۴۰۴/۶/۱۸، بازنگری: ۱۴۰۴/۹/۲۳، پذیرش نهایی: ۱۴۰۵/۴/۹، انتشار آنلاین: ۱۴۰۵/۶/۱۴)

چکیده

موقعیت جغرافیایی ایران سبب شده است تا بسیاری از شهرهای آن در معرض مخاطره زمین لرزه باشد. با توجه این که مخاطره زمین لرزه با خسارات جانی و مالی زیادی همراه است، در این پژوهش ارزیابی وضعیت آسیب پذیری شهرهای استان لرستان در برابر این مخاطره پرداخته شده است. از جمله مناطقی که پتانسیل آسیب پذیری بالایی در برابر این مخاطره دارد، شهرهای استان لرستان است که به بررسی آن پرداخته شده است. در این پژوهش از نقشه های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه، لایه کانون زمین لرزه های رخ داده در منطقه در طی سال های ۱۹۰۷ تا ۲۰۲۳، تصاویر ماهواره لندست ۸ و سنتینل ۱، مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM و اطلاعات آماری مربوط به جمعیت و درصد بافت فرسوده شهرهای مورد مطالعه، به عنوان مهم ترین داده های تحقیق استفاده شده است. مهم ترین نرم افزارهای پژوهش، ArcGIS، سامانه گوگل ارث انجین و SuperDecisions بوده است. در این پژوهش با استفاده از ۸ پارامتر فاصله از کانون های زمین لرزه و گسل، میانگین شیب، جمعیت و تراکم جمعیت، درصد بافت فرسوده و فضای باز و همچنین ضریب فشردگی، به ارزیابی وضعیت آسیب پذیری شهرهای استان لرستان در برابر مخاطره زمین لرزه پرداخته شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، شهر خرم آباد با میانگین امتیاز ۷۵/۱، دارای بالاترین پتانسیل آسیب پذیری در برابر زمین لرزه است. این شهر به دلیل جمعیت و تراکم جمعیت زیاد، نزدیکی به خطوط گسل و تراکم کانون های زمین لرزه، پتانسیل آسیب پذیری بالایی دارد. بعد از خرم آباد نیز شهرهای درود و بروجرد به ترتیب با ۷۴/۵ و ۷۲ امتیاز دارای بالاترین پتانسیل آسیب پذیری هستند. با توجه به نتایج این پژوهش، پیشنهاد می شود که اولویت اصلی مدیریت شهری و برنامه ریزی کاهش خطر در استان لرستان، تمرکز بر شهرهای با بالاترین پتانسیل آسیب پذیری یعنی خرم آباد، درود و بروجرد باشد.

واژه های کلیدی: زمین لرزه، آسیب پذیری، شهرهای استان لرستان.

۱. مقدمه

(نوجوان و همکاران، ۱۳۹۹). به بیان دیگر، حتی یک زمین لرزه با شدت متوسط می تواند در یک شهر با ساختمان های فرسوده و زیرساخت های ناکارآمد، خساراتی مشابه یک زلزله شدید در شهری مقاوم ایجاد کند (فارفل و همکاران، ۲۰۱۱؛ داگلاس و همکاران، ۲۰۱۳؛ امی و همکاران، ۲۰۱۶). زمین لرزه به عنوان یکی از پر خسارت ترین بلایای طبیعی، به ویژه در مناطق لرزه خیز جهان، همواره تهدیدی جدی برای حیات و توسعه پایدار به شمار می رود (رضایی و پناهی، ۲۰۱۵؛ ساماندا و سواين، ۲۰۱۹؛ پودل و همکاران، ۲۰۲۲؛ وانگ و همکاران، ۲۰۲۲).

در طی سال های اخیر، روند افزایشی جمعیت و توسعه ساخت وسازها، نقش مهمی در افزایش آسیب پذیری شهرها در برابر مخاطرات طبیعی داشته است (حریری اردبیلی و همکاران، ۲۰۲۲؛ حسین و همکاران، ۲۰۲۳). آسیب پذیری در برابر مخاطرات طبیعی مفهومی چندبعدی است که نشان می دهد یک جامعه، منطقه یا سیستم تا چه اندازه می تواند تحت تأثیر یک پدیده طبیعی دچار خسارت جانی، مالی و عملکردی شود (اسدی و همکاران، ۲۰۲۲). این مفهوم، علاوه بر شدت و فراوانی رخداد، وابسته به ویژگی های اجتماعی، اقتصادی، کالبدی و مدیریتی منطقه نیز هست

استناد: نگهبان، سعید؛ گنجائیان، حمید؛ اکبریان، مرتضی و حمیدی هدیه (۱۴۰۵). ارزیابی وضعیت آسیب پذیری شهرهای استان لرستان در برابر مخاطره زمین لرزه. مجله فیزیک

زمین و فضا، ۵۲(۲)، ۲۱۱-۲۲۴. DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2026.401598.1007720>

رایانامه: (۲) h.ganjacain@ut.ac.ir | (۳) h.hedie90@gmail.com | (۴) akbarian@ut.ac.ir



ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2026.401598.1007720>

موضوع، در این پژوهش به ارزیابی وضعیت آسیب پذیری شهرهای استان لرستان در برابر مخاطره زمین لرزه پرداخته شده است.

در ارتباط با موضوع مورد مطالعه، تحقیقات مختلفی صورت گرفته است که از جمله آنها می توان به هریال و همکاران (۲۰۱۷) اشاره کرد که با استفاده از شاخص ICCR، به بررسی وضعیت آسیب پذیری استان یوگیا کارتا در برابر مخاطرات زمین لرزه پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که راهکار سازه ای، مهم ترین راهکار کاهش میزان آسیب پذیری محسوب می شود. ژو و ليو (۲۰۱۸) به بررسی عوامل مؤثر در آسیب پذیری شهرها در برابر مخاطره زمین لرزه پرداختند و نشان دادند که وضعیت ساخت و سازها، نقش مؤثر در تعیین میزان آسیب پذیری دارد. اسدالله نژاد و بهنام (۲۰۲۵) با استفاده از روش های تصمیم گیری چند معیاره و جنگل تصادفی، به ارزیابی وضعیت آسیب پذیری منطقه ۶ شهر تهران در برابر زمین لرزه پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که حدود ۶۰ درصد از این منطقه، پتانسیل آسیب پذیری بالایی در برابر زمین لرزه دارد. دوگان و همکاران (۲۰۲۵) به ارزیابی وضعیت آسیب پذیری شهر ازمیر در برابر زمین لرزه پرداختند. در این تحقیق، با استفاده روش های تصمیم گیری چند معیاره، مناطق دارای بالاترین پتانسیل آسیب پذیری شناسایی شده است. افسری (۱۴۰۲) به ارزیابی وضعیت آسیب پذیری مراکز نظامی شهر تهران در برابر مخاطرات سیل و زلزله پرداخته است. در این تحقیق از توابع فازی و روش میانگین وزنی مرتب شده استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داده است که ۳۷ مرکز نظامی، دارای پتانسیل آسیب پذیری بالایی است. آقایی و همکاران (۱۴۰۳) با استفاده از روش های آماری به ارزیابی آسیب پذیری شهر خلخال در برابر زمین لرزه با رویکرد ارتقاء تاب آوری پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که بخش مرکزی شهر خلخال، دارای پتانسیل آسیب پذیری بالاتری است. گنجائیان (۱۴۰۳) به ارزیابی وضعیت آسیب پذیری کلانشهرهای ایران پرداخته است. در این تحقیق از سیستم اطلاعات

ماهیت ناگهانی وقوع، ناتوانی در پیش بینی دقیق زمان و مکان و توان تخریبی بالا سبب شده است که کاهش آسیب پذیری در برابر زلزله به یکی از مهم ترین اهداف مدیریت بحران و برنامه ریزی شهری تبدیل شود (پن و همکاران، ۲۰۱۹؛ دگویی و همکاران، ۲۰۲۲؛ نیکولیچ و همکاران، ۲۰۲۲؛ پرویزیان و ملکی، ۱۴۰۱؛ تحریری و صفاری، ۱۴۰۲).

موقعیت جغرافیایی ایران سبب شده است تا بسیاری از شهرهای آن در معرض مخاطره زمین لرزه باشد (نگهبان و همکاران، ۱۳۹۹؛ لاله پور و همکاران، ۱۴۰۱). استان لرستان، واقع در زاگرس غربی ایران، از جمله مناطق با ریسک لرزه ای بالا به شمار می آید. این منطقه به دلیل قرارگیری بر روی کمربند لرزه خیز آلپ-همالیا و برخورد صفحات عربستان و ایران، در معرض زلزله های مکرر و قابل توجه قرار دارد (گورابی و امامی، ۱۳۹۶). بخش های مرکزی و غربی استان ارتباط نزدیکی با گسل های فعال زاگرس دارند و در خطر بالای وقوع زلزله قرار گرفته اند. علاوه بر وضعیت تکتونیکی، شرایط ساخت و سازها در لرستان نیز در افزایش آسیب پذیری نقش دارد. ساخت و سازهای سریع با نظارت ناکافی، استفاده از مصالح نامرغوب و عدم رعایت استانداردهای لرزه ای به خصوص در خرم آباد، توجه کارشناسان را به خود جلب کرده است. این مسائل می تواند در زلزله های شدید، خسارات جبران ناپذیری ایجاد کند. در واقع، با وجود آگاهی از موقعیت لرزه خیزی لرستان و سابقه تاریخی زمین لرزه های شدید، شواهد نشان می دهد که اقدامات پیشگیرانه و برنامه ریزی های شهری متناسب با ریسک موجود، به اندازه کافی عملیاتی نشده اند. ساخت و سازهای غیرمهندسی، استفاده از مصالح نامرغوب، تراکم ساختمانی بالا در بافت های فرسوده شهری و نبود سیستم های هشدار سریع، از مهم ترین نقاط ضعف در کاهش آسیب پذیری محسوب می شوند، در نتیجه، وقوع هر زمین لرزه متوسط تا شدید می تواند به بحرانی انسانی و اقتصادی در سطح استان تبدیل شود. با توجه به اهمیت

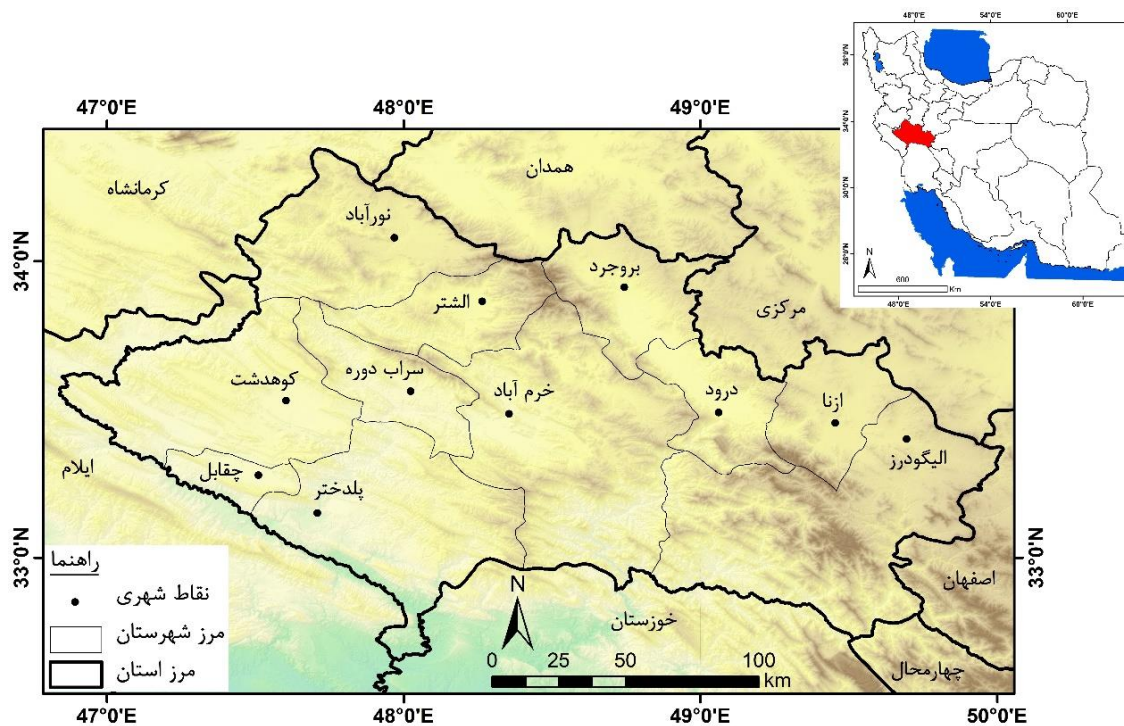
در برابر مخاطره زمین لرزه پرداخته شده است.

۲. منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی تحقیق حاضر شامل مراکز شهرستان‌های استان لرستان است. استان لرستان در غرب کشور قرار دارد و با وسعت ۲۹۳۰۸ کیلومترمربع، ۱۷۶۰۶۴۹ نفر جمعیت دارد (مرکز آمار کشور، ۱۳۹۵). استان لرستان دارای ۱۱ شهرستان است و از اطراف با استان‌های کرمانشاه، همدان، مرکزی، اصفهان، چهارمحال و بختیاری، خوزستان و ایلام همسایه است (شکل ۱). این استان از نظر تقسیمات مورفوتکتونیکی در واحد زاگرس قرار دارد و همین مسئله سبب شده است تا بخش زیادی از وسعت آن را واحد کوهستان و دامنه‌های پرشیب دربرگیرد. همچنین با توجه به اختلاف ارتفاع و عرض جغرافیایی، از نظر اقلیمی دارای تنوع زیادی است به طوری که از این نظر می‌توان استان لرستان را به ۳ ناحیه سرد کوهستانی، معتدل مرکزی و گرم جنوبی تقسیم کرد.

جغرافیایی و روش‌های وزن‌دهی استفاده شده است و نتایج این تحقیق نشان داده است که در بین کلانشهرهای کشور، کلانشهر شیراز دارای بالاترین پتانسیل آسیب‌پذیری در برابر زمین‌لرزه است. مواساتی و همکاران (۱۴۰۴) به ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری کلانشهر تبریز در برابر مخاطرات طبیعی با تاکید بر زمین‌لرزه پرداختند. در این تحقیق از روش‌های وزن‌دهی و پهنه‌بندی استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داده است که مناطق مرکزی شهر تبریز، دارای بالاترین پتانسیل آسیب‌پذیری هستند.

نتایج ارزیابی تحقیقات پیشین نشان داده است که در بیشتر این تحقیقات، یا بر مبنای پارامترهای طبیعی مناطق آسیب‌پذیر شناسایی شده است و یا بر مبنای عوامل انسانی از جمله کیفیت ساخت و سازها این اقدام صورت گرفته است. در این تحقیق، بر خلاف تحقیقات پیشین، با استفاده از یک رویکرد جامع و بر مبنای پارامترهای مختلف طبیعی و انسانی، به ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری‌های استان لرستان



شکل ۱. نقشه موقعیت استان لرستان.

۳. شیوه پژوهش

در این تحقیق از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه، لایه کانون زمین‌لرزه‌های رخ داده در منطقه در طی سال‌های ۱۹۰۷ تا ۲۰۲۳، تصاویر ماهواره لندست ۸ و سنتینل ۱، مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM و اطلاعات آماری مربوط به جمعیت و درصد بافت فرسوده شهرهای مورد مطالعه، به‌عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای تحقیق، ArcGIS (تهیه نقشه‌های موردنظر)، سامانه گوگل ارث انجین (تهیه نقشه مربوط به کاربری نواحی شهری و تعیین درصد فضاهای باز)، SuperDecisions (وزن‌دهی به پارامترها با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای) و SPSS (تجزیه و تحلیل اطلاعات آماری) بوده است. با توجه به موضوع و اهداف موردنظر، این تحقیق در چند مرحله انجام شده است که در ادامه به تشریح آنها پرداخته شده است:

- مرحله اول (تهیه لایه‌های اطلاعاتی و تجزیه و تحلیل آنها): در این مرحله ابتدا بر مبنای مطالعات کتابخانه‌ای، نظرات کارشناسان و وضعیت منطقه، ۸ پارامتر به‌منظور شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر زمین‌لرزه انتخاب شده است. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر پارامتر (جدول ۱)، به ارزیابی وضعیت ۱۱ شهر استان لرستان (مراکز شهرستان‌های این استان) از نظر هر کدام از این پارامترها پرداخته شده است. لازم به ذکر است که در این پژوهش،

آسیب‌پذیری جانی در برابر زمین‌لرزه مورد نظر است. مرحله دوم (نرمال‌سازی پارامترها): پس از ارزیابی وضعیت پارامترها برای هر شهر، اطلاعاتی به‌دست‌آمده نرمال‌سازی شده است. به‌منظور نرمال‌سازی پارامترها، امتیاز پارامترها برای هر شهر بین صفر تا ۱۰۰ محاسبه شده است. به‌طور مثال، شهری که دارای بالاترین تراکم جمعیت است، دارای امتیاز ۱۰۰ است و امتیاز سایر شهرها به نسبت آن محاسبه شده است. یا به شهری با میانگین شیب ۳۰ درصد که دارای بالاترین درصد است، امتیاز ۱۰۰ داده شده است و به شهری که میانگین شیب ۱۵ درصد دارد، امتیاز ۵۰ داده شده است. - مرحله سوم (وزن‌دهی به پارامترها): با توجه به این که ارزش و اهمیت پارامترهای مورد استفاده یکسان نیست، در این مرحله با استفاده از نظرات کارشناسان (۵ کارشناس ژئومورفولوژی و ۵ کارشناس برنامه‌ریزی شهری) و روش تحلیل شبکه‌ای (ANP)، به پارامترها وزن داده شده است. در این مرحله، ابتدا ساختار شبکه‌ای پارامترها تهیه شده است و پس مقایسه معیارها و زیرمعیارها، در نهایت وزن هر معیار (پارامتر) محاسبه شده است. - مرحله چهارم (اعمال وزن پارامترها و ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری شهرها): پس از اعمال وزن هر پارامتر بر روی آن، در نهایت مجموع امتیاز پارامترها برای هر شهر محاسبه شده است و شهرهایی که دارای امتیاز بالاترین هستند به‌عنوان شهرهای آسیب‌پذیر شناسایی شده‌اند.

جدول ۱. نحوه تهیه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر پارامتر.

ردیف	پارامتر	نحوه تهیه لایه اطلاعاتی
۱	نزدیکی به کانون‌های زمین‌لرزه	تهیه شده از سایت USGS
۲	نزدیکی به خطوط گسلی	تهیه شده بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه
۳	شیب	تهیه شده بر اساس مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM
۴	جمعیت	تهیه شده از سایت مرکز آمار کشور
۵	تراکم جمعیت	تهیه شده بر اساس اطلاعات جمعیتی و وسعت شهرها
۶	فضای باز	تهیه شده در سامانه گوگل ارث انجین و بر اساس تصاویر لندست ۹ و سنتینل ۱
۷	بافت فرسوده	تهیه شده از سازمان مسکن و شهرسازی استان لرستان
۸	ضریب فشردگی	تهیه شده بر اساس وسعت بناها و محیط شهرها

۴. نتایج و بحث

۴-۱. ارزیابی وضعیت شهرهای استان لرستان از نظر پارامترهای مورد استفاده

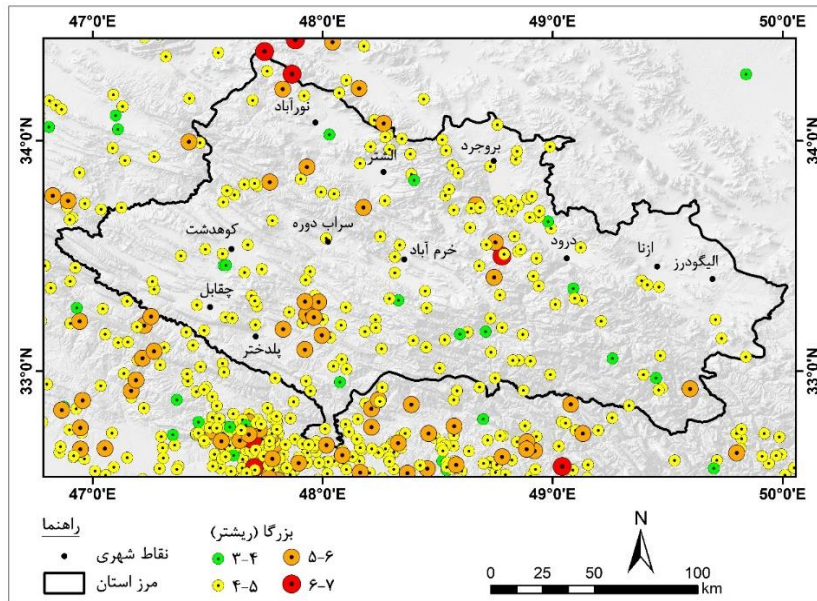
به منظور ارزیابی وضعیت آسیب پذیری شهرهای استان لرستان در برابر مخاطره زمین لرزه، از پارامترهای مختلفی استفاده شده که در ادامه به تشریح آنها پرداخته شده است:

- تراکم کانون های زمین لرزه: نوار زاگرس تحت تأثیر وضعیت تکنیکی فعالی که دارد، دارای بالاترین تراکم کانون های زمین لرزه در کشور است (گنجائیان و همکاران، ۲۰۲۴). قرار گرفتن استان لرستان در نوار زاگرس سبب شده است تا این استان دارای پتانسیل لرزه خیزی بالایی باشد. با توجه به اهمیت ارزیابی وضعیت لرزه خیزی منطقه در بررسی وضعیت آسیب پذیری شهرها، بر مبنای اطلاعاتی به دست آمده از سایت USGS، وضعیت کانون های زمین لرزه های رخ داده در حریم ۵۰ کیلومتری از شهرهای استان لرستان (در طی سال های ۱۹۰۷ تا ۲۰۲۳) ارزیابی شده است (جدول ۲ و شکل ۲). بر اساس نتایج به دست آمده، در حریم ۵۰ کیلومتری شهر الشتر، در مجموع ۴۱ زمین لرزه ثبت شده است که ۵ مورد از آنها بیش از ۵ ریشتر بوده است. در حریم شهر الیگودرز، در مجموع ۱۰ زمین لرزه ثبت شده است که ۱ مورد از آنها بیش از ۵ ریشتر بوده است. در حریم شهر الیگودرز، در مجموع ۱۰ زمین لرزه ثبت شده است که ۱ مورد از آنها بیش از ۵ ریشتر بوده

است. در حریم شهر ازنا، در مجموع ۱۳ زمین لرزه ثبت شده است که همه آنها کمتر از ۵ ریشتر بوده اند. در حریم شهر بروجرد، در مجموع ۴۶ زمین لرزه ثبت شده است که ۳ مورد از آنها بیش از ۵ ریشتر بوده است. در حریم شهر چقابل، در مجموع ۷۱ زمین لرزه ثبت شده است که ۱۳ مورد از آنها بیش از ۵ ریشتر بوده است. در حریم شهر درود، در مجموع ۴۹ زمین لرزه ثبت شده است که ۴ مورد از آنها بیش از ۵ ریشتر بوده است. در حریم شهر خرم آباد، در مجموع ۶۶ زمین لرزه ثبت شده است که ۹ مورد از آنها بیش از ۵ ریشتر بوده است. در حریم شهر کوهدشت، در مجموع ۴۸ زمین لرزه ثبت شده است که ۹ مورد از آنها بیش از ۵ ریشتر بوده است. در حریم شهر نورآباد، در مجموع ۳۹ زمین لرزه ثبت شده است که ۱۰ مورد از آنها بیش از ۵ ریشتر بوده است. در حریم شهر پلدختر، در مجموع ۱۴۵ زمین لرزه ثبت شده است که ۲۲ مورد از آنها بیش از ۵ ریشتر بوده است. همچنین در حریم شهر سراب دوره، در مجموع ۵۷ زمین لرزه ثبت شده است که ۱۱ مورد از آنها بیش از ۵ ریشتر بوده است. با توجه به این که زمین لرزه های با بزرگای بیشتر، دارای توان آسیب پذیری بیشتری هستند، بر مبنای بزرگای زمین لرزه، به آنها ضریب داده شده است. مجموع نتایج به دست آمده از این بخش نشان داده است که شهرهای پلدختر، چقابل و خرم آباد، دارای بیشترین تراکم کانون های زمین لرزه بوده اند و از این نظر دارای بالاترین پتانسیل آسیب پذیری هستند.

جدول ۲. تعداد زمین لرزه های رخ داده در حریم ۵۰ کیلومتری شهرهای استان لرستان به تفکیک ریشتر.

ردیف	شهر	۴ تا ۳	۵ تا ۴	۶ تا ۵	۷ تا ۶	مجموع (با اعمال ضریب اهمیت)
		ضریب اهمیت ۱	ضریب اهمیت ۲	ضریب اهمیت ۳	ضریب اهمیت ۴	
۱	الشتر	۲	۳۴	۵	-	۸۵
۲	الیگودرز	۱	۸	۱	-	۲۰
۳	ازنا	۳	۱۳	-	-	۲۹
۴	بروجرد	۲	۴۳	۲	۱	۹۸
۵	چقابل	۴	۵۴	۱۳	-	۱۵۱
۶	درود	۳	۴۲	۳	۱	۱۰۰
۷	خرم آباد	۵	۵۲	۸	۱	۱۳۷
۸	کوهدشت	۳	۳۶	۹	-	۱۰۲
۹	نورآباد	۳	۲۶	۷	۳	۸۸
۱۰	پلدختر	۱۰	۱۱۳	۲۱	۱	۳۰۳
۱۱	سراب دوره	۶	۴۰	۱۱	-	۱۱۹
۱۲	مجموع	۴۲	۴۶۱	۸۰	۷۰	۵۹۰

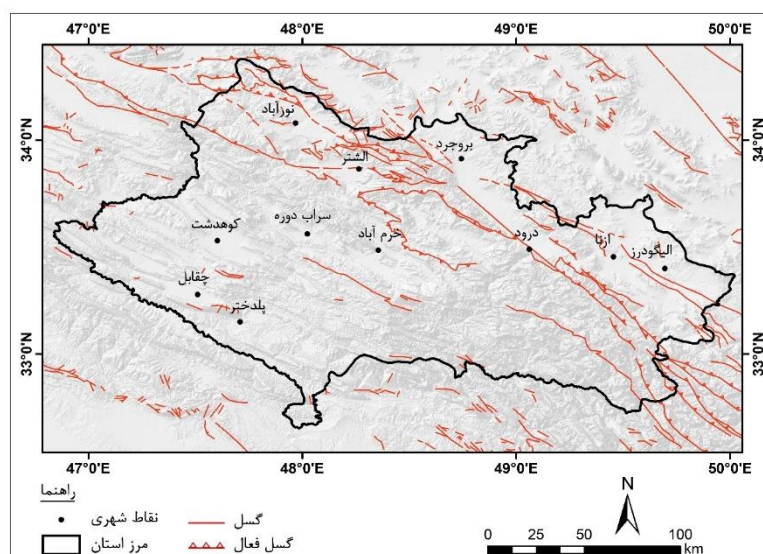


شکل ۲. نقشه کانون‌های زمین‌لرزه‌های رخ داده در استان لرستان.

– فاصله از گسل: با توجه به این که خطوط گسلی عامل اصلی وقوع زمین‌لرزه هستند و بیشترین تراکم کانون‌های زمین‌لرزه در مجاورت خطوط گسل اصلی رخ می‌دهد، بنابراین در این بخش به ارزیابی فاصله شهرهای مورد مطالعه از خطوط گسل اصلی پرداخته شده است (جدول ۳ و شکل ۳). بر اساس نتایج به‌دست آمده، شهرهای الشتر و درود به‌دلیل مجاورت با خطوط گسل اصلی، دارای بالاترین پتانسیل آسیب‌پذیری هستند.

جدول ۳. فاصله شهرهای مورد مطالعه از گسل اصلی.

ردیف	شهر	فاصله از گسل (کیلومتر)	ردیف	شهر	فاصله از گسل (کیلومتر)
۱	الشتر	۱	۷	خرم‌آباد	۹
۲	الیگودرز	۲۳	۸	کوه‌دشت	۳۸
۳	ازنا	۱۴	۹	نورآباد	۸
۴	بروجرد	۲۱	۱۰	پلدختر	۵۰
۵	چقابل	۵۸	۱۱	سراب‌دوره	۱۳
۶	درود	۱	–	–	–



شکل ۳. نقشه خطوط گسلی منطقه مورد مطالعه.

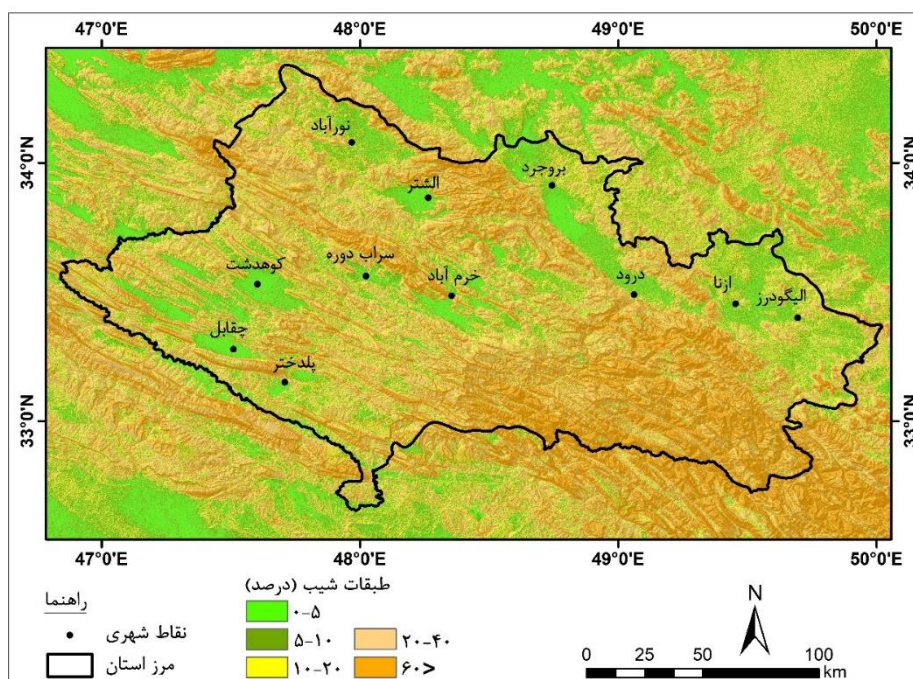
- میانگین درصد شیب: از جمله عواملی که نقش مهمی در تعیین میزان آسیب پذیری در برابر زمین لرزه دارد، درصد شیب است. به طور معمول، مناطقی که دارای شیب زیادی هستند، به دلیل ناپایداری بیشتر، پتانسیل آسیب پذیری بیشتری دارند. در این بخش به منظور بررسی وضعیت شیب شهرهای مورد مطالعه، ابتدا محدوده شهری شهرهای مورد مطالعه ترسیم شده است و سپس به ارزیابی میانگین درصد شیب هر کدام از آنها پرداخته شده است (جدول ۴ و شکل ۴). بر اساس نتایج به دست آمده، شهرهای نورآباد و درود با میانگین شیب ۷ درصد، دارای بالاترین میانگین درصد شیب هستند و از نظر این پارامتر، دارای بالاترین پتانسیل آسیب پذیری هستند.

- جمعیت و تراکم جمعیت: از جمله عوامل مؤثر در تعیین میزان آسیب پذیری در برابر مخاطره زمین لرزه، جمعیت و

تراکم جمعیت است. به طور معمول مناطقی که دارای جمعیت و تراکم جمعیت بیشتری هستند، بالاترین پتانسیل آسیب پذیری را دارند. در این بخش به منظور ارزیابی وضعیت جمعیت و تراکم جمعیت شهرهای مورد مطالعه، از اطلاعات جمعیتی سال ۱۳۹۵ و وسعت محدوده شهری شهرهای مورد مطالعه استفاده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، از نظر جمعیت، شهرهای خرم آباد، بروجرد و درود به ترتیب با ۳۷۳۴۱۶، ۲۶۴۹۴۷ و ۱۱۲۶۳۸ نفر، دارای بالاترین جمعیت و بالاترین پتانسیل آسیب پذیری هستند. همچنین از نظر تراکم جمعیت نیز شهرهای نورآباد، الیگودرز و بروجرد به ترتیب با تراکم ۱۰۲۵۴، ۹۱۷۴ و ۹۱۶۸ نفر در کیلومتر مربع، دارای بالاترین تراکم جمعیت هستند و از این نظر، بالاترین پتانسیل آسیب پذیری را دارند (جدول ۵).

جدول ۴. میانگین شیب محدوده شهری شهرهای استان لرستان.

ردیف	شهر	میانگین شیب (درصد)	ردیف	شهر	میانگین شیب (درصد)
۱	الشت	۳	۷	خرم آباد	۷
۲	الیگودرز	۶	۸	کوهدشت	۳
۳	ازنا	۵	۹	نورآباد	۷
۴	بروجرد	۶	۱۰	پلدختر	۵
۵	چقابل	۳	۱۱	سراب دوره	۵
۶	درود	۷	-	-	-



شکل ۴. نقشه طبقات شیب منطقه مورد مطالعه.

جدول ۵. جمعیت و تراکم جمعیت در شهرهای استان لرستان.

ردیف	شهر	جمعیت	وسعت (کیلومتر مربع)	نفر در کیلومتر مربع
۱	الشتر	۳۳۵۵۸	۴/۸	۶۹۹۱
۲	الیگودرز	۹۲۶۵۸	۱۰/۱	۹۱۷۴
۳	ازنا	۴۷۴۸۹	۷/۱	۶۶۸۹
۴	بروجرد	۲۶۴۹۴۷	۲۸/۹	۹۱۶۸
۵	چقایل	۶۱۲۵	۲/۳	۲۶۶۳
۶	درود	۱۱۲۶۳۸	۱۴/۶	۷۷۱۵
۷	خرم آباد	۳۷۳۴۱۶	۴۱/۹	۸۹۱۲
۸	کوهدشت	۱۰۲۹۵۸	۱۲/۵	۸۲۳۷
۹	نورآباد	۶۲۵۴۷	۶/۱	۱۰۲۵۴
۱۰	پلدختر	۲۶۳۵۲	۴/۱	۶۴۲۷
۱۱	سراب دوره	۲۰۸۷	۰/۵	۴۱۷۴

شهرهای بروجرد با ۱۵ درصد و شهرهای الیگودرز و چقایل با ۱۴ درصد، دارای بالاترین پتانسیل آسیب پذیری هستند. از نظر درصد فضای باز، شهرهای الیگودرز، درود و خرم آباد به ترتیب با ۱۳، ۱۴ و ۱۵ درصد، دارای کمترین درصد فضای باز و بالاترین پتانسیل آسیب پذیری هستند (جدول ۶).

- بافت فرسوده و درصد فضای باز: از جمله عوامل مؤثر در تعیین میزان آسیب پذیری در برابر زمین لرزه، وضعیت بافت فرسوده و درصد فضاهای باز است. به طور معمول، شهرهایی که دارای بافت فرسوده بیشتر و فضای باز کمتری هستند، پتانسیل آسیب پذیری بیشتری دارند. بر اساس نتایج به دست آمده، از نظر درصد بافت فرسوده،

جدول ۶. درصد بافت فرسوده و فضاهای باز شهرهای استان لرستان.

ردیف	شهر	بافت فرسوده (درصد)	فضای باز (درصد)	ردیف	شهر	بافت فرسوده (درصد)	فضای باز (درصد)
۱	الشتر	۹	۱۹	۷	خرم آباد	۷	۱۵
۲	الیگودرز	۱۴	۱۳	۸	کوهدشت	۱۲	۲۰
۳	ازنا	۹	۲۴	۹	نورآباد	۱۱	۱۶
۴	بروجرد	۱۵	۲۱	۱۰	پلدختر	۸	۱۹
۵	چقایل	۱۴	۲۶	۱۱	سراب دوره	۴	۱۸
۶	درود	۱۳	۱۴	-	-	-	-

۴-۲. نرمال سازی پارامترها

با توجه به این که اعداد به دست آمده برای پارامترهای مورد استفاده دارای اختلاف زیادی هستند و نمی توان با جمع آنها، میزان آسیب پذیری شهرهای را محاسبه کرد، ابتدا همه اعداد نرمال شده است. درواقع، مقدار عددی هر پارامتر برای هر شهر بین صفر تا ۱۰۰ محاسبه شده است (جدول ۸). برای پارامترهای تعداد زمین لرزه، میانگین شیب، جمعیت، تراکم جمعیت و بافت فرسوده، به بالاترین عدد امتیاز ۱۰۰ داده شده است و امتیاز سایر اعداد متناسب با آن محاسبه شده است. همچنین برای پارامترهای فاصله از گسل، فضای باز و ضریب فشردگی، به کمترین عدد امتیاز ۱۰۰ داده شده است و امتیاز سایر اعداد متناسب با آن محاسبه شده است. پس از نرمال سازی پارامترها، میانگین امتیاز پارامترهای بر هر شهر محاسبه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، شهرهای خرم آباد، بروجرد و درود به ترتیب با میانگین امتیاز ۷۸، ۷۶/۴ و ۷۵/۵، دارای بالاترین امتیاز هستند.

- ضریب فشردگی: ضریب فشردگی نیز به عنوان یکی دیگر از عوامل مؤثر در تعیین میزان آسیب پذیری در برابر زمین لرزه در نظر گرفته شده است. شهرهایی که فشردتر هستند، به دلیل فضای باز کمتر و تراکم بالای نواحی سکونتگاهی و امداد رسانی سخت تر به آنها، دارای پتانسیل آسیب پذیری بیشتری هستند. در این پژوهش منظور محاسبه ضریب فشردگی، از رابطه زیر (رابطه ۱) استفاده شده است:

$$kc = (0.28 \times P) / \sqrt{A} \quad (1)$$

در این رابطه، A مساحت و P محیط شهرها است. هر چه ضریب به دست آمده به ۱ نزدیک تر باشد، شهر دارای فشردگی بیشتری است. بر اساس نتایج به دست آمده، شهرهای بروجرد، الیگودرز و الشتر به ترتیب با ضریب ۱/۲۴، ۱/۳۷ و ۱/۴۶، دارای کمترین ضریب و بالاترین فشردگی هستند و از نظر این پارامتر، پتانسیل آسیب پذیری بیشتری دارند.

جدول ۷. ضریب فشردگی شهرهای استان لرستان.

ردیف	شهر	وسعت (کیلومتر مربع)	محیط (کیلومتر)	ضریب فشردگی
۱	الشتر	۴/۸	۱۱/۴	۱/۴۶
۲	الیگودرز	۱۰/۱	۱۵/۵	۱/۳۷
۳	ازنا	۷/۱	۱۴/۶	۱/۵۳
۴	بروجرد	۲۸/۹	۲۳/۸	۱/۲۴
۵	چقابل	۲/۳	۱۰/۱	۱/۸۶
۶	درود	۱۴/۶	۲۷/۱	۱/۹۹
۷	خرم آباد	۴۱/۹	۶۰/۳	۲/۶۱
۸	کوهدشت	۱۲/۵	۲۰/۹	۱/۶۶
۹	نورآباد	۶/۱	۱۴/۷	۱/۶۷
۱۰	پلدختر	۴/۱	۱۵/۳	۲/۱۲
۱۱	سراب دوره	۰/۵	۳/۵	۴/۳۸

جدول ۸. نتایج نرمال سازی پارامترها.

ردیف	شهر	تعداد زمین لرزه	فاصله از گسل	شیب	جمعیت	تراکم جمعیت	فضای باز	بافت فرسوده	ضریب فشردگی	میانگین
۱	الشتر	۲۸/۱	۱۰۰	۴۲/۹	۹	۶۸/۲	۷۶/۹	۶۰	۹۵	۶۰
۲	الیگودرز	۶/۶	۶۰/۳	۸۵/۷	۲۴/۸	۸۹/۵	۱۰۰	۹۳/۳	۹۷	۶۹/۷
۳	ازنا	۹/۶	۷۵/۹	۷۱/۴	۱۲/۷	۶۵/۲	۵۷/۷	۶۰	۹۳/۴	۵۵/۷
۴	بروجرد	۳۲/۳	۶۳/۸	۸۵/۷	۷۱	۸۹/۴	۶۹/۲	۱۰۰	۱۰۰	۷۶/۴
۵	چقابل	۴۹/۸	۱/۷	۴۲/۹	۱/۶	۲۶	۵۰	۹۳/۳	۸۵/۸	۴۳/۹
۶	درود	۳۳	۱۰۰	۱۰۰	۳۰/۲	۷۵/۲	۹۶/۲	۸۶/۷	۸۲/۸	۷۵/۵
۷	خرم آباد	۴۵/۲	۸۴/۵	۱۰۰	۱۰۰	۸۶/۹	۹۲/۲	۴۶/۷	۶۸/۷	۷۸
۸	کوهدشت	۳۳/۷	۳۴/۵	۴۲/۹	۲۷/۶	۸۰/۳	۷۳/۱	۸۰	۹۰/۴	۵۷/۸
۹	نورآباد	۲۹	۸۶/۲	۱۰۰	۱۶/۷	۱۰۰	۸۸/۵	۷۳/۳	۹۰/۲	۷۳
۱۰	پلدختر	۱۰۰	۱۳/۸	۷۱/۴	۷/۱	۶۲/۷	۷۶/۹	۵۳/۳	۷۹/۹	۵۸/۱
۱۱	سراب دوره	۳۹/۳	۷۷/۶	۷۱/۴	۰/۶	۴۰/۷	۸۰/۸	۲۶/۷	۲۸/۳	۴۵/۷

شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، شهر خرم آباد با میانگین امتیاز ۷۵/۱، دارای بالاترین پتانسیل آسیب پذیری در برابر زمین لرزه است. این شهر به دلیل جمعیت و تراکم جمعیت زیاد، نزدیکی به خطوط گسل و تراکم کانون های زمین لرزه، پتانسیل آسیب پذیری بالایی دارد. بعد از خرم آباد نیز شهرهای درود و بروجرد به ترتیب با ۷۴/۵ و ۷۲ امتیاز دارای بالاترین پتانسیل آسیب پذیری هستند. همچنین شهر چقابل با ۴۰ امتیاز به دلیل تعداد و تراکم کم جمعیت و همچنین فاصله از خطوط گسل اصلی، پتانسیل آسیب پذیری کمتری نسبت به سایر شهرها دارد. بعد از این شهر نیز شهرهای سراب دوره و ازنا به ترتیب با ۴۷/۵ و ۵۲/۸ امتیاز، دارای کمترین پتانسیل آسیب پذیری هستند.

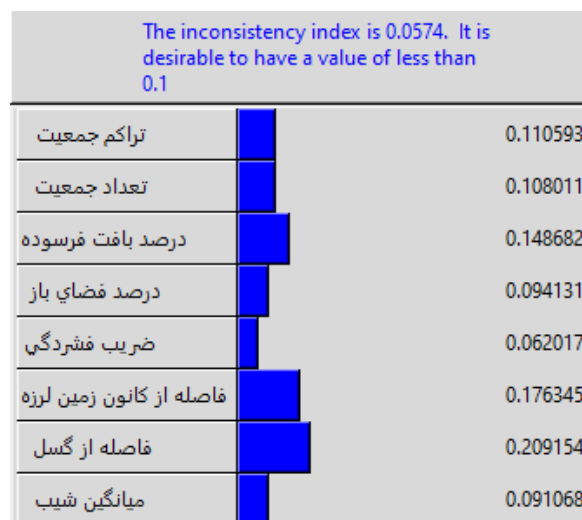
۳-۴. وزن دهی با پارامترها

با توجه به این که ارزش و اهمیت پارامترها یکسان نیست، با استفاده از مدل تحلیل شبکه ای (ANP) و بر اساس نظرات کارشناسان به پارامترها وزن داده شده است (شکل ۵). بر اساس نتایج به دست آمده، پارامترهای فاصله از گسل و فاصله از کانون های زمین لرزه به ترتیب با ضریب ۰/۲۰۹ و ۰/۱۷۶، دارای بالاترین ارزش و اهمیت هستند.

۴-۴. وزن دهی به پارامترها و شناسایی وضعیت

آسیب پذیری شهرها

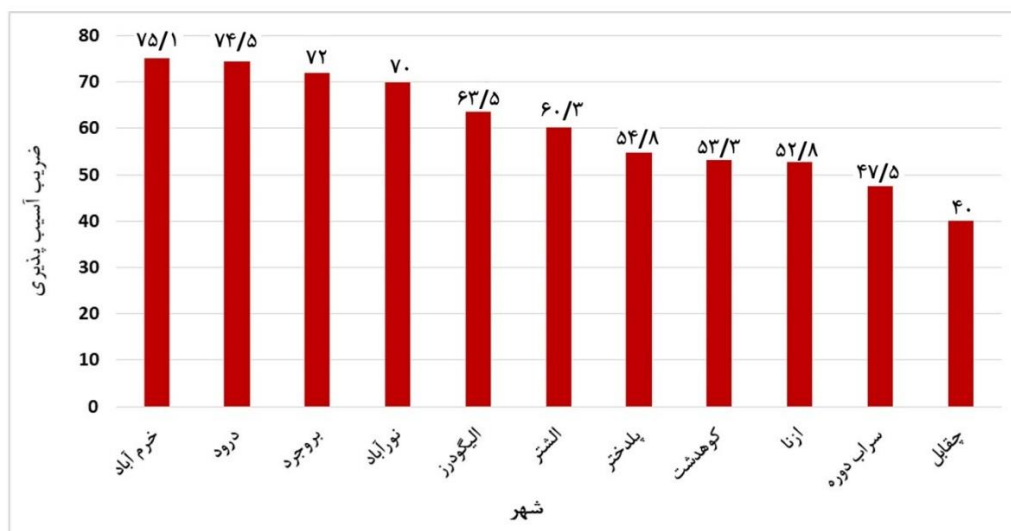
پس از اعمال وزن پارامترها بر روی اعداد نرمال شده، در نهایت امتیاز آسیب پذیری شهرهای مورد مطالعه محاسبه



شکل ۵. وزن نهایی پارامترها بر اساس مدل ANP.

جدول ۹. امتیاز نهایی شهرها بر اساس وضعیت آسیب پذیری.

ردیف	شهر	میانگین شیب (درصد)	ردیف	شهر	میانگین شیب (درصد)
۱	الشتر	۶۰/۳	۷	خرم آباد	۷۵/۱
۲	الیگودرز	۶۳/۵	۸	کوهدشت	۵۳/۳
۳	ازنا	۵۲/۸	۹	نورآباد	۷۰
۴	بروجرد	۷۲	۱۰	پلدختر	۵۴/۸
۵	چقابل	۴۰	۱۱	سراب دوره	۴۷/۵
۶	درود	۷۴/۵	-	-	-



شکل ۶. نمودار وضعیت آسیب پذیری شهرهای استان لرستان در برابر مخاطره زمین لرزه.

۵. نتیجه گیری

بررسی جامع پارامترهای لرزه خیزی، فاصله از گسل، درصد شیب، جمعیت و تراکم جمعیت، بافت فرسوده، درصد فضای باز و ضریب فشردگی در شهرهای استان لرستان نشان داد که وضعیت آسیب پذیری این شهرها در برابر زمین لرزه تفاوت های معناداری دارد. نتایج حاکی از آن است که استان لرستان به دلیل قرارگیری در نوار زاگرس و نزدیکی به گسل های فعال، به ویژه در شهرهایی چون خرم آباد، درود و بروجرد، دارای پتانسیل بالای خطر لرزه ای است. شهر خرم آباد با کسب بالاترین امتیاز آسیب پذیری (۷۵/۱) به دلیل تراکم بالای جمعیت، نزدیکی به خطوط گسل اصلی و تراکم بالای کانون های زمین لرزه در صدر فهرست قرار دارد. پس از آن، شهرهای درود (۷۴/۵) و بروجرد (۷۲) بیشترین آسیب پذیری را نشان دادند که این امر ناشی از ترکیب عوامل طبیعی و انسانی همچون

میانگین شیب بالا، تراکم جمعیت و فشردگی بافت شهری است. در مقابل، شهر چقابل با امتیاز ۴۰ و شهرهای سراب دوره و ازنا با امتیازهای ۴۷/۵ و ۵۲/۸ به دلیل جمعیت کمتر، فاصله بیشتر از گسل های اصلی و تراکم کانون های زلزله پایین تر، آسیب پذیری کمتری دارند. این تحلیل نشان داد که علاوه بر عوامل ژئومورفولوژیک و لرزه خیزی، ویژگی های کالبدی و جمعیتی شهرها نیز در میزان آسیب پذیری نقش تعیین کننده ای دارند. همچنین مشخص شد که وجود بافت های فرسوده، کمبود فضاهای باز و تراکم بالای جمعیت، شدت خطرپذیری را به طور چشم گیری افزایش می دهد. بر اساس این یافته ها، برنامه ریزی کاهش خطر لرزه ای باید با رویکردی چندبعدی انجام شود که همزمان به بهبود شرایط کالبدی، مدیریت کاربری زمین و ارتقاء آمادگی اجتماعی بپردازد. با توجه به نتایج این پژوهش، پیشنهاد می شود که اولویت اصلی

مکانی و زمانی پارامترهای لرزه خیزی در امتداد سامانه گسلی درونه. فصلنامه علمی علوم زمین، ۳۳ (۳)، ۹۶-۸۵.

<https://dorl.net/dor/20.1001.1.10237429.1402.33.3.6.7>

گنجائیان، ح. (۱۴۰۳). ارزیابی استعداد لرزه خیزی کلان شهرهای ایران. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر». ۳۳ (۱۳۲)، ۱۷۳-۱۸۸.

<https://doi.org/10.22131/sepehr.2024.2019284.3047>

گورابی، ا. و امامی، ک. (۱۳۹۶). تأثیرات نوزمینساخت بر تغییرات مورفولوژیک حوضه های زهکشی سواحل مکران، جنوب شرق ایران. پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، ۶ (۱)، ۷۴-۸۹.

<https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1396.6.1.5.2>

لاله پور، م.؛ خیری زاده، م. و ذاکری، م. (۱۴۰۱). ارزیابی آسیب پذیری محلات شهری در برابر بحران زلزله (نمونه موردی: محلات شهر ورزقان). مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱ (۳۱)، ۱-۲۴.

<https://doi.org/10.22111/jneh.2022.33931.1656>

مواستاتی، م.؛ احمدزاده، ح. و پناهی، ع. (۱۴۰۴). تحلیلی بر سطح آسیب پذیری مناطق شهری در برابر مخاطرات طبیعی «زلزله» با تأکید بر رویکرد مدیریت بحران (مطالعه موردی: کلان شهر تبریز). جغرافیا و برنامه ریزی، ۲۹ (۹۱)، ۲۱۸-۲۴۳.

<https://doi.org/10.22034/gp.2024.59712.3218>

نگهبان، س.؛ گنجائیان، ح.؛ سعیدی، ش. و قاسمی، ا. (۱۳۹۹). مطالعه جابه جایی قائم حاصل از زمین لرزه ۹۸/۸/۱۷ ترکمانچای با استفاده از روش InSAR، فیزیک زمین و فضا، ۴۶ (۳)، ۴۵۶-۴۴۵.

<https://doi.org/10.22059/jesphys.2020.295046.1007182>

نوجوان، ک.؛ برزگری، ا. و محمدیان، م. (۱۳۹۹). تحلیل خطر احتمالی زمین لرزه با در نظر گرفتن مفهوم ریسک محوری (مطالعه موردی الفین ۱۴). دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۱۰ (۱)، ۷۴-۹۰.

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.23225955.1399.10.1.6.2>

مدیریت شهری و برنامه ریزی کاهش خطر در استان لرستان، تمرکز بر شهرهای با بالاترین پتانسیل آسیب پذیری یعنی خرم آباد، درود و بروجرد باشد. در این راستا، مقاوم سازی ساختمان ها به ویژه در بافت های فرسوده و پرجمعیت باید در دستور کار قرار گیرد. ایجاد و توسعه فضاهای باز شهری می تواند به عنوان پناهگاه های اضطراری در زمان بحران عمل کند. در حوزه برنامه ریزی شهری، کنترل تراکم جمعیت و کاهش فشردگی بافت شهری از طریق توسعه افقی و ساماندهی کاربری ها توصیه می شود. همچنین، اجرای طرح های آموزش عمومی و مانورهای دوره ای آمادگی در برابر زلزله می تواند سطح آگاهی و واکنش سریع شهروندان را افزایش دهد. از نظر پایش و ارزیابی خطر، توسعه شبکه های لرزه نگاری محلی و روزرسانی مستمر داده های لرزه ای ضروری است. در نهایت، ادغام نتایج این نوع ارزیابی ها در طرح های جامع و تفصیلی شهری می تواند رویکردی علمی و عملی برای کاهش ریسک لرزه ای فراهم سازد و از خسارات انسانی و اقتصادی در آینده بکاهد.

مراجع

افسری، ر. (۱۴۰۲). ارزیابی آسیب پذیری مراکز نظامی شهر تهران در برابر مخاطرات طبیعی: با تأکید بر سیل و زلزله. رهبرد دفاعی، ۲۱ (۸۴)، ۶۵-۹۳.

<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.17351723.1402.21.84.3.0>

آقایاری، س. ف.؛ صمدزاده، ر. و معصومی، م. ت. (۱۴۰۳). ارزیابی آسیب پذیری شهر خلخال در برابر زمین لرزه با رویکرد ارتقاء تاب آوری. جغرافیا و برنامه ریزی، ۲۸ (۸۹)، ۸۶-۱۰۹.

<https://doi.org/10.22034/gp.2023.54749.3079>

پرویزیان، ع. ر. و ملکی، س. (۱۴۰۱). آسیب پذیری نواحی شهری در برابر خطر وقوع زلزله بر اساس مدل IHWP (مطالعه موردی: نواحی منطقه ۶ کلان شهر اهواز).

آمایش سرزمین، ۱۴ (۲)، ۵۹۴-۵۷۱.

<https://doi.org/10.22059/jtcp.2022.335903.670284>

تحریری، م. ح. و صفاری، ح. (۱۴۰۲). بررسی تغییرات

- Asadi, Y., Neysani Samany, N., Kiavarz Moqadam, M., Abdollahi Kakroodi, A., & Argany, M. (2022). Seismic vulnerability assessment of urban buildings using the rough set theory and weighted linear combination. *Journal of Mountain Science*, 19, 849–861 <https://doi.org/10.1007/s11629-021-6724-4>
- Asadollahzadeh, D., & Behnam, B. (2025). Machine learning approaches for seismic vulnerability assessment of urban buildings: A comparative study with analytic hierarchy process. *Progress in Disaster Science*, 25. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2024.100398>
- Deguy, P. I., Ripepe, M., Lacanna, G., & Orti, L. (2022). Geodatabase per la valutazione seditiva a larga scala della vulnerabilità sismica di un'area urbana complessa: applicazione alla città di Firenze. *Bollettino della Società Geografica Italiana*, 4(2), 79-87. <http://dx.doi.org/10.36253/bsgi-1453>
- Dogan, A., Başgömez, M. & Aydın, C.C. (2025). Assessment of the seismic vulnerability in an urban area with the integration of machine learning methods and GIS. *Nat Hazards*, 121, 9613–9652. <https://doi.org/10.1007/s11069-025-07185-4>
- Douglas, J., Ulrich, T & Negulescu, C. (2013). Risk-targeted seismic design maps for mainland France. *Natural Hazards*, 65(3), 1999–2013. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0460-6>
- Farfel, A., Assa, A., Amir, I., Bader, I., Bartal, C & Kreiss, Y. (2011). Haiti earthquake 2010: a field hospital pediatric perspective. *Eur J Pediatr*, 170, 519-525. <https://doi.org/10.1007/s00431-011-1423-8>
- Ganjaeian, H., Yamani, M., Goorabi, M., & Maghsoudi, M. (2024). Evaluating the Impacts of Earthquake in Ezgele, Kermanshah (Iran) (Occurred on 2017/11/12). *Current Research in Environmental Science and Ecology Letters*, 1(1), 1-10. <https://doi.org/10.33140/CRESEL.01.01.06>
- Hariri-Ardebili, M. A., Sattar, S., Johnson, K., Clavin, C., Fung, J., & Ceferino, L. (2022). A Perspective towards Multi-Hazard Resilient Systems: Natural Hazards and Pandemics. *Sustainability*, 14(8), 4508. <https://doi.org/10.3390/su14084508>
- Herryal, Z. A., Yustiningrum, E., Andriana, N., Sagala, A., & Anggun, M.S. (2017). Measuring Community Resilience to Natural Hazards: Case Study of Yogyakarta Province. *Disaster Risk Reduction in Indonesia*, 609-633. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-54466-3_25
- Hussain, M. A., Zhang, S., Muneer, M., Moawwez, M. A., Kamran, M., & Ahmed, E. (2023). Assessing and Mapping Spatial Variation Characteristics of Natural Hazards in Pakistan. *Land*, 12(1), 140. <https://doi.org/10.3390/land12010140>
- Nikolic, Z., Benvenuti, E., & Runjic, L. (2022). Seismic risk assessment of urban areas by a hybrid empirical-analytical procedure based on peak ground acceleration. *Applied Sciences*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/app12073585>
- Omi, T., Ogata, Y., Hirata, Y & Aihara, K. (2016). Forecasting large aftershocks within one day after the mainshock. *Scientific Report*, 3. <https://www.nature.com/articles/s41467-019-10763-3>
- Pan, S. T., Cheng, Y.Y & Lin, C.H. (2019). Extrication time and earthquake-related mortality in the 2016 Taiwan earthquake. *Formosan Medical Association*, 11, <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2019.07.013>
- Poudel, A., Argyroudis, S., Pitilakis, D., & Pitilakis, K. (2022). Systemic seismic vulnerability and risk assessment of urban infrastructure and utility systems. Conference: Proceedings of the ASCE-UCLA Lifelines Conference 2021-2022At: University of California, Los Angeles. <http://dx.doi.org/10.1061/9780784484432.081>
- Rezaie, F., & Panahi, M. (2015). GIS modeling of seismic vulnerability of residential fabrics considering geotechnical, structural, social, and physical distance indicators in Tehran using multi-criteria decision-making techniques. *Nat Hazards Earth Syst Sci*, 15(3), 461–474. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-461-2015>
- Samanta A, & Swain A. (2019). Seismic response and vulnerability assessment of representative low, medium, and high-rise buildings in Patna, India. *Structures*, (19), 110–127. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2019.01.002>
- Wang, D., Zhao, X., & Liu, Y. (2022). Effect of spatial variation of earthquake ground motions on seismic vulnerability of urban road network considering building environment. *Buildings*, 12(3). <http://dx.doi.org/10.3390/buildings12030308>
- Xu, J & Lu, Y. (2018). Towards an earthquake-resilient world: from post-disaster reconstruction to pre-disaster prevention. *Environmental Hazards*, 17 (4), 296-275. <http://dx.doi.org/10.1080/17477891.2018.1500878>