



<https://gеп.ui.ac.ir/?lang=en>
Geography and Environmental Planning
E-ISSN: 2252- 0910
Document Type: Research Paper
Vol. 35, Issue 1, No.93, Spring 2024, pp. 1- 2
Received: 09/01/2023 Accepted: 16/12/2023

Forecasting Magnitudes and Locations of Potential Earthquakes along Railway Lines in Hormozgan Province Using Artificial Neural Network (ANN)

Mohsen Pourkhosravani ¹ *, Ali Mehrabi ², Zahra Amirjahanshahi ³

Associate professor, Department of Geography, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
pourkhosravani@uk.ac.ir

Associate professor, Department of Geography, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
mehrabi@uk.ac.ir

Master's degree in Natural Hazards, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
dulty.geomorphology@gmail.com

Abstract

Predicting the magnitude and location of earthquakes can significantly mitigate the impact of this natural phenomenon. Anticipating potential earthquake locations can enhance infrastructure resilience and reduce vulnerability. This study aimed to forecast and analyze the magnitude and location of potential earthquakes along the railway lines in Hormozgan Province using intelligent Artificial Neural Network (ANN) algorithms. The model utilized earthquake location, magnitude, and depth data from the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, as well as fault lengths in the region as the input variables. The findings revealed 32 potential earthquake points in the study area with projected magnitudes ranging from 4.3 to 5.2 on the Richter scale. The earthquake prediction-based zoning of Hormozgan Province indicated that the southern and central parts (north of the Strait of Hormuz) were at a high risk. Consequently, the rail lines in this area were more susceptible. Specifically, Tunnel No. 23 was situated in a high-risk zone and Tunnels 21, 22, and 23 were in close proximity to earthquakes with magnitudes exceeding 5 on the Richter scale.

Keywords: Forecast, Railway Lines, Earthquake, Artificial Neural Network (ANN), Hormozgan Province.

*Corresponding Author

Pourkhosravani, M., Mehrabi, A., & Amirjahanshahi, Z. (2023). Prediction of magnitudes and location of possible earthquakes in Hormozgan province railway lines using artificial neural network. *Geography and Environmental Planning*, 35 (1), 1 -2.



2252-0910 © University of Isfahan

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



10.22108/GEP.2023.136336.1569

Introduction

Earthquakes represent one of the most intricate and nonlinear natural phenomena. Their complex nature and system variability make predicting their magnitudes and locations seemingly impossible. However, forecasting these aspects of earthquakes can significantly mitigate the damage caused by such events. Anticipating the locations of potential earthquakes can bolster infrastructure and facilities in these areas, reducing their vulnerability. Consequently, the quest for reliable methods to predict the timing, location, and magnitude of earthquakes has been a focal point of recent research. Artificial Neural Networks (ANNs) have emerged as powerful tools for earthquake prediction, offering several key advantages. Firstly, they excel at learning complex, nonlinear environments. Secondly, they make no assumptions about data distribution and thirdly, they exhibit flexibility in handling incomplete or missing data (Vellido et al., 1999, p. 53). Overall, ANNs have demonstrated success in various domains, including system identification, approximation and estimation, optimization, and behavior prediction (Cigizoglu & Kisi, 2006, p. 236). Hormozgan Province situated in the folded Zagros belt harbors numerous faults and has experienced destructive earthquakes in the past, indicating its high seismic potential. Therefore, this study sought to address the following questions: What is the likelihood of high-magnitude earthquakes occurring in Hormozgan Province? And where are the potential locations of these earthquakes?

Materials & Methods

This applied study aimed to forecast the magnitudes and locations of potential earthquakes in Hormozgan Province using the ANN algorithm. The simulation utilized earthquake location, depth, and magnitude data for events exceeding 4 on the Richter scale in the study area, along with fault length, as the model inputs. The prediction of earthquake magnitudes was carried out using the Perceptron neural network, while the Cohen's neural network was employed to forecast potential earthquake locations. Specifically, the Perceptron neural network was utilized for magnitude prediction and the Self-Organizing Feature Map (SOFM) neural network was employed for location prediction.

Research Findings

In general, the seismic potential of faults to generate earthquakes is influenced by seismic history, tectonic movement, and fault dimensions. Through the application of ANNs, a total of 32 potential earthquake locations were predicted with projected magnitudes ranging from 4.3 to 5.2.

Discussion of Results & Conclusion

The study's findings indicated the prediction of 32 potential earthquake locations in the study area with projected magnitudes ranging from 4.3 to 5.2 on the Richter scale. Consequently, zoning of Hormozgan Province based on these predictions revealed that the southern and central parts of the province (north of the Strait of Hormuz) were situated in high-risk zones. This heightened risk could make the rail lines in this area more susceptible to potential seismic events. Notably, Tunnel No. 23 was located in a high-risk area and Tunnels 21, 22, and 23 were in close proximity to earthquakes with magnitudes exceeding 5 on the Richter scale.

پیش‌بینی بزرگا و محل وقوع زلزله‌های احتمالی در محدوده خطوط ریلی استان هرمزگان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

محسن پورخسروانی*¹، دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

pourkhosravani@uk.ac.ir

علی مهرابی، دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

mehrabi@uk.ac.ir

زهره امیرجهانشاهی، دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات طبیعی دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

dulty.geomorphology@gmail.com

چکیده

پیش‌بینی بزرگا و محل وقوع زلزله تأثیر زیادی در کاهش خسارت‌های ناشی از این پدیده خواهد داشت؛ زیرا پیش‌بینی محل وقوع زلزله‌های احتمالی موجب بهسازی و مقاوم‌سازی تأسیسات و زیرساخت‌ها در این مکان‌ها و کاهش آسیب‌پذیری آنها خواهد شد. بر همین اساس، در پژوهش حاضر کوشش شده است تا با استفاده از الگوریتم شبکه‌های هوشمند عصبی مصنوعی بزرگی و محل وقوع لرزه‌های احتمالی در محدوده خطوط ریلی استان هرمزگان پیش‌بینی و تحلیل شود. بدین منظور پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله از موقعیت مکانی، بزرگا و عمق زلزله‌های ثبت‌شده در محدوده مطالعاتی و نیز از طول گسل‌های موجود در منطقه به‌عنوان متغیرهای ورودی به مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه استفاده کرده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که در منطقه مطالعاتی ۳۱ نقطه برای وقوع لرزه‌های احتمالی پیش‌بینی شده است که نهایت بزرگای محتمل برای این نقاط ۴/۳ و ۵/۲ ریشتر خواهد بود. بر همین اساس، پهنه‌بندی استان هرمزگان براساس لرزه‌های پیش‌بینی شده حاکی از آن است که بخش‌های جنوبی و مرکزی استان (شمال تنگه هرمز) در پهنه با خطر زیاد قرار دارند که موجب آسیب‌پذیری بیشتر خطوط ریلی در این بخش از استان خواهند شد. همچنین، تونل شماره ۲۳ در محدوده پرخطر (در منطقه نهایت بزرگای محتمل) قرار دارد و نیز تونل ۲۱، ۲۲، ۲۳ به زلزله‌های با بزرگای بیش از ۵ ریشتر بسیار نزدیک است.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی، خطوط ریلی، زلزله، شبکه عصبی مصنوعی، استان هرمزگان.

*نویسنده مسؤول

پورخسروانی، محسن، مهرابی، علی، امیرجهانشاهی، زهره. (۱۴۰۲). پیش‌بینی بزرگا و محل وقوع زلزله‌های احتمالی در محدوده خطوط ریلی استان هرمزگان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۵ (۱)، ۱۲۸-۱۱۱.



مقدمه

نگرش سیستمی بر روندهای حاکم بر طبیعت دستاوردهای چشمگیری را داشته است. درک مشخصه‌های عمومی کارکردها و ساختار پیچیده براساس الگوی انتزاعی از روابط (منجر به تبیین و پیش‌بینی پویایی سیستم‌ها در وضعیت آشفته‌گی شده بود) باعث تدوین استراتژی‌های کل‌گرا برای حفاظت و مدیریت یکپارچه در محیط می‌شود. به‌طور کلی، روابط موجود در درون سیستم در قالب مدل‌های متعددی جمع‌بندی می‌شود که این مدل‌ها ابزار مهم برای تبیین پدیده‌هایی است که در سیستم‌ها دیده می‌شود؛ بنابراین در مطالعات ژئومورفولوژی سیستم‌های متعددی قابلیت تمیز و مطالعه را دارند. ازجمله این سیستم‌ها، سیستم‌های گسلی و ساختار تکتونیکی حاکم بر محیط طبیعی است که با توجه به نحوه عملکرد و وقوع این پدیده، پیش‌بینی قطعی آن تاکنون امکان‌پذیر نبوده است؛ به همین دلیل، دستیابی به روش‌های مطمئن برای پیش‌بینی مکانی، زمانی و بزرگای زمین‌لرزه‌ها هدف اصلی پژوهش‌های اخیر بوده است.

شبکه‌های عصبی مصنوعی از ابزارهای رایج در مدل‌سازی است. نتایج حاصل از این قبیل مدل‌ها براساس بهترین تابع برازش‌دهنده بین متغیرهاست که این خصوصیت عامل ایجاد محدودیت در توزیع زمانی-مکانی متغیرها و مستلزم تبعیت داده‌ها از تابع یا معادله‌ای خاص است (ولی و همکاران، ۱۳۹۰، ص. ۲۰). Frank rosen blat در سال 1962 شبکه عصبی مصنوعی را به‌طور ابتدایی و سپس Romel hart and Mc kland در سال 1986 به شکل جدی و تأثیرگذار به‌همراه ابداع و ارائه مدل پرسپترون (perceptron) بهبود یافته به جهان معرفی کرد. این شیوه از ساختاری نرونی و هوشمند با الگوبرداری مناسب از نرون‌های موجود در مغز انسان سعی می‌کند تا با توابع تعریف‌شده ریاضی رفتار درون سلولی نرون‌های مغز را شبیه‌سازی کند و سپس با وزن‌های محاسباتی موجود در خطوط ارتباطی نرون‌های مصنوعی، عملکرد سیناپسی را در نرون‌های طبیعی به مدل درآورد (ولی و همکاران، ۱۳۸۸، ص. ۲۶).

شبکه‌های عصبی سه مزیت عمده دارند: اول اینکه، شبکه‌های عصبی توانایی یادگیری هرگونه محیط پیچیده و غیرخطی را دارند؛ دوم اینکه، شبکه هیچ‌گونه پیش‌فرضی را درباره توزیع داده‌ها ندارد و سوم اینکه، شبکه‌های عصبی در برابر داده‌های ناقص و از دست رفته بسیار انعطاف‌پذیر هستند (Vellido et al., 1999, p. 53). ماهیت و ذات تجربی و منعطف این روش باعث می‌شود تا در مسائلی مانند مقوله پیش‌بینی که یک چنین نگرشی در ساختار آنها مشاهده می‌شود و رفتار غیرخطی دارد، به‌خوبی درخور استفاده باشد. در واقع یک مدل، طرحی کرداری یا روشی است که به‌طور مشخص در سیستم‌های استقرایی برای پیش‌بینی نتایج یک رشته از فعالیت‌ها به کار گرفته می‌شود (پورخسروانی و همکاران، ۱۳۹۴، ص. ۱۸). به‌طور کلی، شبکه‌های عصبی مصنوعی در برخورد با مسائلی از قبیل شناسایی سیستم، تقریب و تخمین، بهینه‌سازی، شبیه‌سازی و پیش‌بینی رفتار و نظایر آن نتایج موفقیت‌آمیزی داشته است (Cigizoglu & Kisi, 2006, p. 236). در همین راستا و با توجه به اهمیت مدل‌سازی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی و تخمین بزرگا و محل وقوع زلزله تاکنون محققان مختلف پژوهش‌هایی را در این زمینه انجام داده‌اند؛ ازجمله، ارجمند و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی با عنوان «پیش‌بینی بزرگای زلزله با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه» بیان می‌کنند این مدل توانایی زیادی در پیش‌بینی بزرگای زلزله دارد. حیاتی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی با عنوان «پیش‌بینی محل وقوع زلزله احتمالی در استان خراسان رضوی با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی» نتیجه گرفتند بیشترین احتمال وقوع زلزله در منطقه مرکزی متمایل به غرب استان و جنوب شرق

استان شده است. [شمشیری و آخوندزاده هنزائی \(۱۳۹۴\)](#) در پژوهشی با عنوان «تشخیص آنومالی‌های TEC قبل از وقوع زلزله‌های بزرگ که با استفاده از تلفیق شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات (PSO)» نتیجه گرفتند که برخی از این ناهنجاری‌ها ناشی از وقوع زلزله است؛ به طوری که به‌کارگیری الگوریتم‌های هوشمند توانسته است کارایی مناسبی را در راستای پیش‌بینی سری‌های زمانی غیرخطی داشته باشد. [گرامی و همکاران \(۱۳۹۱\)](#) در پژوهشی با عنوان «پیش‌بینی آماری پهنه‌بندی خطر زلزله احتمالی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی» اشاره کردند که بیشترین احتمال وقوع زلزله در استان قم در منطقه مرکزی این استان با احتمال ۳۱/۶ درصد و در محدوده شمالی استان سمنان با احتمال ۲۸/۹ درصد پیش‌بینی شده است.

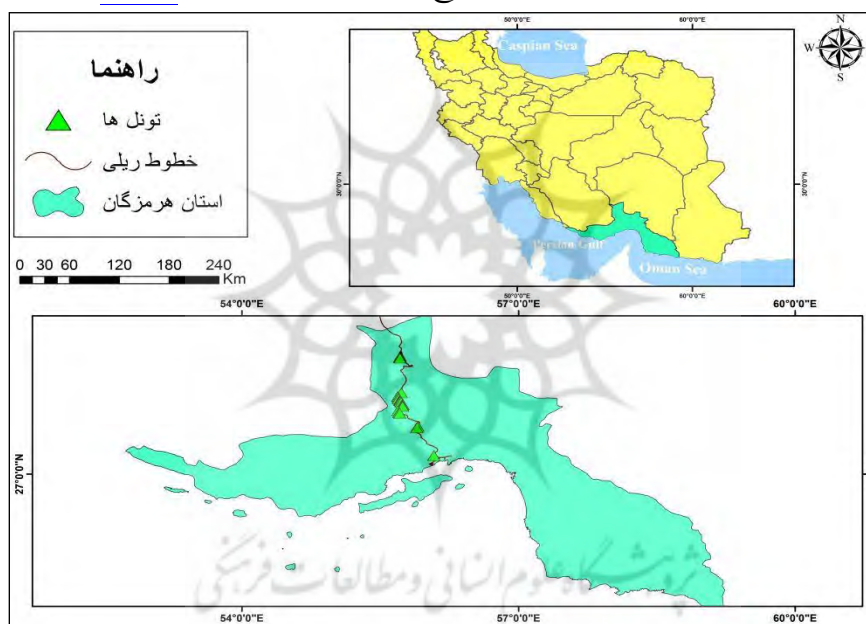
بیلال و همکاران در پژوهشی با عنوان «یک سیستم هشدار اولیه برای پیش‌بینی زلزله از داده‌های لرزه‌ای با استفاده از شبکه عصبی کانولوشنال گراف نرمال‌شده دسته‌ای با مکانیسم توجه» ضمن استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی زلزله بیان می‌کنند که این مدل قابلیت زیادی در پیش‌بینی بزرگا و عمق زلزله‌ها در منطقه‌های مختلف دارد ([Bilal et al., 2022](#)). مانگالا و ناویون در پژوهشی با عنوان «پیش‌بینی بزرگی زلزله با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی» بیان می‌کنند که مدل شبکه عصبی مصنوعی دقت پیش‌بینی بیشتری را برای زلزله‌های بزرگ‌تر از ۳/۵ تا ۵/۴ ریشتر فراهم می‌کند ([Mangala Gowri & Naveen, 2021](#)). کومار و راجا در پژوهشی با عنوان «یک مدل شبکه عصبی مصنوعی BP برای پیش‌بینی بزرگی زمین‌لرزه در هیمالیا، هند» ضمن ارزیابی عملکرد تکنیک‌های شبکه عصبی در پیش‌بینی زمین‌لرزه‌های موجود در منطقه کمربند هیمالیا نتیجه گرفتند که این تکنیک قدرت بیشتری را در پیش‌بینی زلزله‌های بین ۴ تا ۶ ریشتر دارد ([Kumar & Raja, 2016](#)). اعظم و همکاران در پژوهشی با عنوان «تکنیک‌های مبتنی بر هوش مصنوعی برای پیش‌بینی زلزله» ضمن پیش‌بینی زلزله با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در اسلام‌آباد پاکستان بیان می‌کنند که شبکه عصبی مصنوعی با مدل‌سازی ساختارهای پیچیده و غیرخطی از بهترین روش‌ها برای پیش‌بینی زلزله است ([Azam et al., 2014](#)). عبدالرحمان و همکاران در پژوهشی با عنوان «پیش‌بینی زلزله با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در منطقه شمالی دریای سرخ با استفاده از اطلاعات زلزله‌های رخ‌داده» نتیجه گرفتند که شبکه‌های عصبی حداقل ۳۲ درصد بهتر از سایر روش‌ها توانسته‌اند پیش‌بینی محل‌های محتمل را انجام دهند ([Abdulrahman et al., 2012](#)).

استان هرمزگان به دلیل قرارگیری در کمربند چین‌خورده رانده زاگرس خطواره‌ها و گسل‌های پی‌سنگی فراوان و نیز به دلیل رخداد زلزله‌های بزرگ در بیشینه لرزه‌خیزی خود استعداد لرزه‌خیزی زیادی را دارد؛ بنابراین در برخی منطقه‌ها انتظار وقوع زلزله‌هایی با بزرگای بسیار زیاد می‌رود. به همین علت، حراست و حفاظت از شبکه‌های ارتباطی و به‌ویژه شبکه ریلی (سازه‌ها، پل‌ها، تونل‌ها و ابنیه مسیر) به‌عنوان زیرساخت‌های مهم و شریان حیاتی جوامع در این استان در برابر مخاطره‌های لرزه‌ای اهمیت بسیار زیادی دارد. زلزله از جمله فرآیندهای پیچیده و غیرخطی حاکم بر طبیعت است که به‌علت ساختار پیچیده، نحوه وقوع و تغییرپذیری سیستم، امکان پیش‌بینی بزرگا و محل وقوع این فرآیند را ندارد. پیش‌بینی رخداد زلزله تأثیر بسیار زیادی بر کاهش خسارت‌های احتمالی خواهد داشت. امروزه پژوهشگران با ابداع علومی همانند روش‌های هوشمند که ابزاری توانمند و انعطاف‌پذیر است، به دنبال راه‌هایی فراتر از روش‌های معمول برای شناخت و پیش‌بینی زلزله هستند. شبکه‌های عصبی مصنوعی که زیرمجموعه سیستم‌های هوشمند

هستند، قادرند با تکنیک‌های قوی آموزشی خصوصیات سیستم را از داده‌های وسیع موجود به دست آورند. بر همین اساس، محققان در پژوهش حاضر کوشیده‌اند تا بزرگا و محل وقوع زلزله‌های احتمالی را در محدوده خطوط ریلی استان هرمزگان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی کنند.

موقعیت منطقه مطالعه‌شده

منطقه مطالعه‌شده در محدوده $۵۴^{\circ} ۷۶'$ تا $۵۶^{\circ} ۸۷'$ طول شرقی و $۲۷^{\circ} ۰۳'$ تا $۲۸^{\circ} ۷۱'$ عرض شمالی در استان هرمزگان واقع شده است. این منطقه در کمربند چین‌خورده رانده زاگرس در قسمت میانی کمربند کوهزایی آلبی قرار گرفته و از جمله جوان‌ترین کوهزادهای سنوزوئیک است. کمربند چین‌خورده زاگرس با طول ۱۸۰۰ کیلومتر از شمال غرب به جنوب شرق کشیده شده است. این کمربند در جنوب غرب به فروافتادگی خلیج فارس و سپر عربستان محدود و در شمال شرق با گسل اصلی زاگرس از پهنه سندج-سیرجان جدا می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت منطقه مطالعه‌شده (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 1: Location of the studied area

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نوع کاربردی است که در آن با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی، بزرگا و محل وقوع زلزله‌های احتمالی محدوده خطوط ریلی استان هرمزگان پیش‌بینی می‌شود. شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) (Artificial Neural Network) ابزار ریاضی هستند که با الگوبرداری از سیستم عصبی بیولوژیک ساخته شده‌اند و توانایی آنها در استخراج الگوها از داده‌های مشاهده‌شده بدون نیاز به داشتن مفروضاتی درباره روابط بین متغیرهاست (Fulop et al., 1998, p. 754). این شبکه‌ها قدرت انعطاف و تصحیح‌پذیری فراوانی را در انطباق خود با داده‌های موجود دارند (Ranjithan et al., 1995, p. 256). به‌گونه‌ای که قادر هستند با سازماندهی مجهز شده، نظم و هماهنگی

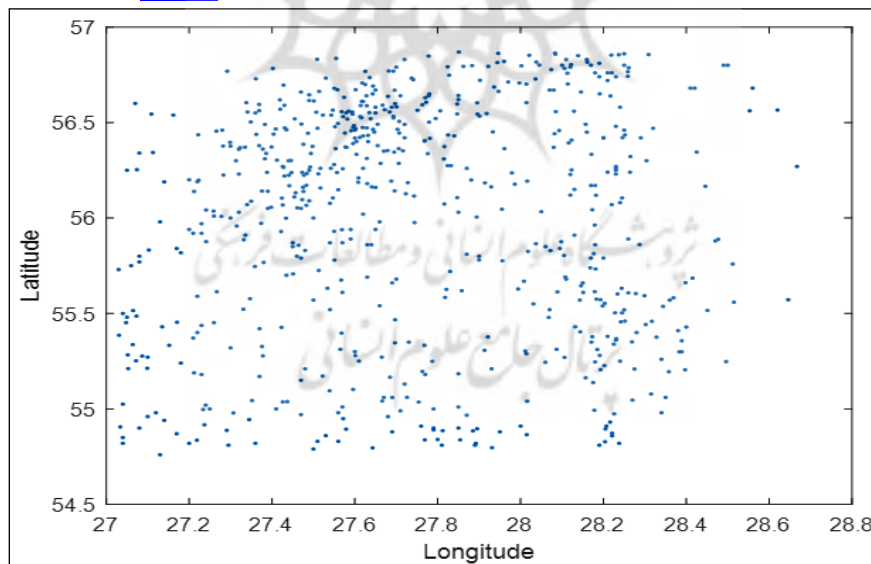
موجود در داخل این داده‌ها را پیدا (منهاج، ۱۳۸۴، ص. ۲۱) و براساس بردارهای ورودی، رخداد و بزرگی یک پدیده را پیش‌بینی کنند (Conrads & Roehle, 1999, p. 3).

روش اول: شبکه عصبی پرسپترون چندلایه

این شبکه بر مبنای الگوریتم پس انتشار خطا آموزش می‌بیند. بدین ترتیب که خروجی‌های واقعی با خروجی‌های دلخواه مقایسه و سپس وزن‌ها با الگوریتم پس انتشار به صورت زیر نظارت تنظیم می‌شود تا الگوی مناسب به وجود آید. شبکه‌های عصبی پرسپترون از چندین لایه از گره‌ها شامل یک لایه ورودی، یک لایه خروجی و یک (چند) لایه پنهان تشکیل شده است که هر کدام از این لایه‌ها به ترتیب شامل گره‌های ورودی، گره‌های خروجی و گره پنهان است (Mangala Gowri & Naveen, 2021, p. 2514).

متغیرهای ورودی به شبکه عصبی

اطلاعات لرزه‌ای استفاده شده در این شبیه‌سازی همه زلزله‌های ثبت شده دستگاهی در محدوده ایران خواهد بود که در پایگاه اطلاعاتی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله موجود است. با توجه به بحث مهندسی سازه زلزله‌های بزرگ‌تر از ۴ ریشتر در مطالعات لرزه‌خیزی اهمیت دارد. به این دلیل در پژوهش حاضر فقط بر روی زلزله‌های با بزرگی ۴ ریشتر و بیشتر تمرکز شده است. در پژوهش حاضر مؤلفه‌های موقعیت مکانی زلزله، عمق زلزله، بزرگا و طول گسل به عنوان ورودی مدل برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است (شکل ۲).



شکل ۲: توزیع فضایی زلزله‌های بیش از ۴ ریشتر به عنوان ورودی مدل (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 2: Spatial distribution of earthquakes above 4 Richter as model input

همچنین، برای ارزیابی دقت مدل شبکه عصبی استفاده شده در پژوهش از روش‌های آماری جذر میانگین مربع خطا، میانگین خطای بایاس و میانگین خطای مطلق استفاده شده است. روش جذر میانگین مربع خطا اندازه واقعی خطای تولید شده را نشان می‌دهد که با رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$RMSE = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

این روش میزان خطای بین دو مجموعه داده را اندازه‌گیری می‌کند. در این مدل بیشتر، مقدارهای پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده با یکدیگر مقایسه می‌شود. در این شاخص ابتدا اختلاف تک‌تک مقدارهای مشاهده شده با مقدارهای پیش‌بینی شده با مدل محاسبه می‌شود و سپس به توان دو می‌رسد. از این اختلافات میانگین گرفته و در نهایت، جذر عدد میانگین ارائه می‌شود که همان RMSE است. این شاخص معیاری برای دقت نتایج است و به‌طور معمول، هرچه مدل بهتر بر داده‌ها منطبق باشد، مقدار آن کمتر می‌شود (خزاعی و همکاران، ۱۳۹۱، ص. ۳۷). میانگین خطای بایاس، درجه تطابق بین میانگین پیش‌بینی و میانگین مشاهده شده را نشان می‌دهد. این معیار که بیانگر میانگین انحراف است، علاوه بر دارا بودن علامت مثبت (بیش‌برآوردی مدل) و یا منفی (کم‌برآوردی مدل) مقدار انحراف از مقدارهای مشاهده شده را نشان می‌دهد. این معیار اگر برابر صفر باشد، نشان می‌دهد که برآورد مدل خوب بوده است و در آن هیچ‌گونه انحرافی نبوده است که می‌توان آن را از رابطه (۲) اندازه‌گیری کرد.

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \quad \text{رابطه (۲)}$$

میانگین خطای مطلق که با رابطه (۳) محاسبه می‌شود، صحت مدل را تعیین می‌کند. مقدار صفر این معیار نشان‌دهنده صحت ۱۰۰٪ است که هر قدر مقدار آن از صفر فاصله داشته باشد، حاکی از کم شدن صحت مدل است (کاظمی پشت‌مساولی و همکاران، ۱۳۹۱، ص. ۲۰۷).

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |P_i - O_i| \quad \text{رابطه (۳)}$$

همان‌گونه که ذکر شد، هدف از انجام دادن این پژوهش پیش‌بینی بزرگای زلزله‌هایی است که احتمال وقوع آنها در منطقه مطالعه شده وجود دارد. در همین رابطه متغیر خروجی این مدل بزرگای زلزله‌های احتمالی است. گفتنی است که این پارامتر به صورت یک متغیر کیفی در نظر گرفته و سپس چهار دسته‌بندی برای هر زلزله اختصاص داده شده است. این کار برای افزایش توانایی پیش‌بینی شبکه عصبی انجام شده است؛ زیرا این شبکه‌ها با خروجی‌های کیفی و طبقه‌بندی شده بسیار سازگارتر هستند. طبقه‌بندی قدرت هر زلزله در [جدول \(۱\)](#) نشان داده شده است.

جدول ۱: کلاس‌بندی بزرگای زلزله

Table 1: Classification of earthquake magnitudes

محدوده	کلاس
$4 \leq C \leq 4.5$	۱
$4.5 < C \leq 5$	۲
$5 < C \leq 5.5$	۳
$C > 5.5$	۴

منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹

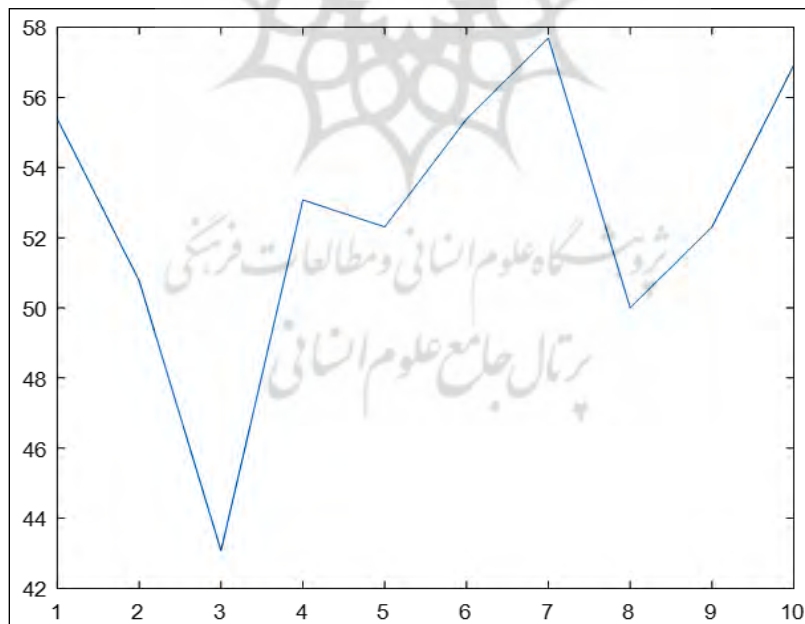
در پیاده‌سازی مدل مدنظر تعداد ۱۰ اجرای، متفاوت و سپس میانگین این ۱۰ اجرا به‌عنوان دقت نهایی الگوریتم در نظر گرفته شده است. در [جدول ۲](#) تعداد نرون‌های لایه مخفی ۱۰ عدد منظور شده است.

جدول ۲: تعداد نرون‌های لایه مخفی

Table 2: Number of hidden layer neurons

اجرا	دقت
۱	۵۵/۳۸۴۶
۲	۵۰/۷۶۹۸
۳	۴۳/۰۷۶۹
۴	۵۳/۰۷۶۹
۵	۵۲/۳۰۷۶
۶	۵۵/۳۸۴۶
۷	۵۷/۶۹۲۳
۸	۵۰
۹	۵۲/۳۰۷۶
۱۰	۵۶/۹۲۳۰
دقت نهایی	۵۲/۶۹۲۳

منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹



شکل ۳: نمایش دقت در ۱۰ اجرای مربوط به داده‌های جدول ۲ (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 3: Showing the accuracy in 10 executions related to the data in Table 2

[شکل ۳](#) نمایش دقت در ۱۰ اجرا متفاوت مربوط به داده‌های [جدول ۲](#) را نشان می‌دهد. در این شکل دقت شبکه عصبی نسبت به اجراهای مختلف و دقت متوسط نمایش داده شده است. در این شبیه‌سازی از ۸۰ درصد داده‌های

موجود برای آموزش و از ۲۰ درصد باقی‌مانده برای داده‌های آزمایش استفاده شده است. سپس برای توانایی پیش‌بینی روش، داده‌های پیش‌بینی شده با مقدارهای واقعی بزرگی زلزله مقایسه شده است.

روش دوم: شبکه عصبی خودسازمان‌دهنده (SOM)

این روش یک روش تجسم‌داده است که پروفسور Teuvo Kohonen اختراع کرده است. در این روش ابعاد، داده‌ها را با کاربرد شبکه عصبی خودسازمان‌دهنده کاهش می‌دهد. مسئله‌ای که تجسم‌داده سعی در حل آن دارد، این است که مغز انسان به‌سادگی نمی‌تواند داده‌های با ابعاد زیاد را تجسم کند. روش‌هایی برای کمک به درک این داده‌ها وجود دارد. هدف اصلی این تکنیک کاهش ابعاد داده‌ها به یک یا دو بُعد است. به این روش، شبکه‌های عصبی خودسازمان‌دهنده نیز می‌گویند؛ زیرا در واقع، زیرمجموعه روش شبکه عصبی مصنوعی است. در یک شبکه خودسازمان‌دهنده، واحدهای پردازش‌گر در گره‌های یک شبکه تک‌بُعدی، دو بُعدی یا بیشتر قرار داده می‌شود. واحدها در یک فرآیند یادگیری رقابتی نسبت به الگوهای ورودی منظم می‌شوند. محل واحدهای تنظیم‌شده در شبکه به‌گونه‌ای نظم می‌یابد که برای ویژگی‌های ورودی، یک دستگاه مختصات معنادار روی شبکه ایجاد می‌شود؛ بنابراین یک نقشه خودسازمان‌دهنده، یک نقشه توپوگرافیک از الگوهای ورودی را تشکیل می‌دهد که در آن، محل قرارگرفتن واحدها، متناظر ویژگی‌های ذاتی الگوهای ورودی است. یادگیری رقابتی که در این قبیل شبکه‌ها به کار گرفته می‌شود، بدین صورت است که در هر قدم یادگیری، واحدها برای فعال شدن با یکدیگر رقابت می‌کنند. در پایان یک مرحله رقابت تنها یک واحد برنده می‌شود که وزن‌های آن نسبت به وزن‌های سایر واحدها به شکل متفاوتی تغییر داده می‌شود. روش یادگیری خودسازمان‌دهنده این نوع یادگیری را یادگیری بدون نظارت (Unsupervised) می‌نامد (منهاج، ۱۳۸۴، ص. ۳۷۹).

دلیل انتخاب شبکه عصبی کوهنن این است که این شبکه‌ها قادر هستند که حجم زیادی از اطلاعات را به‌طور همزمان و به صورت موازی دسته‌بندی کنند و الگوهای لرزه‌ای را به‌خوبی تشخیص دهند. استفاده از این مدل به دلیل وجود مدل‌های آماری در الگوریتم درونی سبب شده است برخلاف اغلب روش‌های آماری نیازی به وجود فرضیه‌های زیاد نباشد. در نهایت، با توجه به بررسی آماری انجام‌شده درصد احتمال وقوع زلزله در منطقه مدنظر ارزیابی شد.

یافته‌های پژوهش و تجزیه و تحلیل

ساختار تکتونیکی استان هرمزگان

قرارگیری استان هرمزگان در فصل مشترک سه پهنه ساختاری رسوبی زاگرس، مکران و ایران مرکزی سبب شده است تا این استان جایگاه زمین‌شناسی و ساختاری ویژه‌ای داشته باشد. به عبارت دیگر، گستره‌های واقع در شمال بندرعباس تا غرب بندر لنگه در پهنه زاگرس، شمال نواحی واقع در شرق میناب تا شرق جاسک در پهنه مکران و پایانه شمالی استان در پهنه ایران مرکزی واقع شده است (شعبانی، ۱۳۹۴، ص. ۳۸). به‌طور کلی، جایگاه ساختاری

استان هرمزگان حاکی از پراکنش گسل‌های متعددی در سطح این استان است که ساختار تکتونیکی فعلی را برای آن به وجود آورده است. [جدول \(۳\)](#) مهم‌ترین گسل‌های این استان را نشان می‌دهد.

جدول ۳: ویژگی‌های گسل‌های استان هرمزگان

Table 3: Characteristics of faults in Hormozgan province

شماره	نام گسل	طول گسل (کیلومتر)	جهت گسل
۱	چارک	۱۲۰	شرقی-غربی
۲	موران	۹۵	شمال شرقی-جنوب غربی
۳	خمیر	۵۰	شمال شرقی-جنوب غربی
۴	زاگرس جبهه کوهستان	۳۲۵	غرب و شمال غربی-شرق و شمال شرقی
۵	خورگو	۶۰	شرقی-غربی
۶	میناب (زندان)	۲۴۰	شمال غربی-جنوب شرقی
۷	زاگرس معکوس اصلی	۲۵۰	شمال غربی-جنوب شرقی
۸	زاگرس مرتفع معکوس	۳۰۰	شمال غربی-جنوب شرقی
۹	مکران	۲۰۵	شرقی-غربی

منبع: نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استان هرمزگان

عملکرد این گسل‌ها موجب شده است که این استان زلزله‌های متعددی داشته باشد. مهم‌ترین زلزله‌های رخ داده در استان هرمزگان عبارت است از:

الف) زمین‌لرزه مکران باختری

در ۲۱ رمضان سال ۸۸۷ هجری قمری مصادف با ۳ نوامبر سال ۱۴۸۲ زمین‌لرزه‌هایی در قسمت‌های غربی مکران آغاز شد. بعضی از این زمین‌لرزه‌ها فقط با عده کمی از مردم در این حوالی احساس و برخی دیگر باعث ترس و وحشت مردم شد. این وضع چند روز ادامه داشت تا اینکه در ۱۰ محرم سال ۸۸۸ هجری قمری مصادف با ۱۸ فوریه سال ۱۴۸۳ زمین‌لرزه ویرانگری در تنگه هرمز رخ داد. این زمین‌لرزه در تمام منطقه‌های اطراف احساس شد. به حدی که در جرون (شهر بندرعباس از روزگاران کهن نام‌هایی چون گاملاو، کامارو، گامبری، گمبرون، گامرون، گمرو و جرون داشته است) برخی از ساختمان‌های بلند، مناره‌های مسجد و بادگیرهای خانه‌ها فرو ریخت و به برخی نیز آسیب جدی رسانید. به‌طور همزمان، زمین‌لرزه‌هایی در قسمت‌های شمال شرقی عمان رخ داد. این زمین‌لرزه آسیب‌های جدی به منطقه‌های مسکونی رساند تا جایی که حدود چند صد نفر زیر آوار کشته شدند. [شعبانی \(۱۳۹۴\)](#) با بررسی جزئیات و مشاهده اثرهای زمین‌لرزه‌های این منطقه‌ها مطرح کردند که به احتمال، زمین‌لرزه‌های با بزرگی زیاد در این منطقه رخ داده است. منطقه رومرکزی زمین‌لرزه فاصله زیادی از جزیره شمال شرقی عمان داشت؛ اما به دلیل نبود داده‌های کافی از زمین‌لرزه عمان امکان تعیین دقیق منطقه‌ای که زمین‌لرزه در آنجا رخ داده، بسیار کم است ([شعبانی، ۱۳۹۴، ص. ۴۴](#)).

ب) زمین‌لرزه سیراف

در ۱۷ ژوئن ۹۷۸ میلادی مصادف با هفت ذی‌قعدة ۳۶۷ هجری قمری زمین‌لرزه‌ای با ویرانگری محلی در بندر سیراف در خلیج فارس رخ داد. بیشتر خانه‌های شهر آسیب دید یا ویران شد و بیش از ۲۰۰۰ تن کشته شدند. پس‌لرزه‌ها به مدت یک هفته ادامه داشت و ساکنان شهر در دریا پناه گرفتند.

پ) زمین‌لرزه سیراف

در سال ۱۰۰۸ میلادی در بهار ۳۹۵ هجری قمری زمین‌لرزه‌ای در سیراف و کناره خلیج فارس روی داد. عده بسیاری کشته شدند و شماری کشتی غرق شد که به احتمال، عامل آن یک موج لرزه‌ای دریا (تسونامی) بوده باشد.

ت) زمین‌لرزه قشم

در سال ۱۳۶۱ میلادی زمین‌لرزه مذکور آسیب فراوان به جزیره قشم رساند.

ث) زمین‌لرزه هرمز

در سال ۱۴۹۷ میلادی سراسر یک شهر در همسایگی هرمز به احتمال زیاد گامبرون (بندرعباس کنونی) به کلی ویران شد و ساکنان شهر زیر آوار جان باختند.

ج) زمین‌لرزه بندرعباس

در ۱۴ اکتبر سال ۱۶۲۲ میلادی زمین‌لرزه بسیار بزرگی در بندرعباس و هرمز اتفاق افتاد. این زمین‌لرزه خانه‌های زیادی را خراب کرد. در اثر این زمین‌لرزه عده بسیاری زیادی جان خود را از دست دادند. این زمین‌لرزه یک برج دژ را در حوالی بندرعباس به طور کلی خراب کرد. پس از زمین‌لرزه به مدت دو روز پس‌لرزه‌های فراوانی در شهر اتفاق افتاد و بر خرابی‌ها افزود. پس‌لرزه‌های اتفاق رخ داده در این منطقه اغلب بزرگ بود.

چ) زمین‌لرزه قیس-هنگام

در سال ۱۷۰۳ میلادی لرزه ویرانگری به جزیره‌های قیس و هنگام آسیب فراوان رسانید.

ح) زمین‌لرزه مکران

حدود سال ۱۷۶۵ میلادی زمین‌لرزه به نسبت بزرگی در رأس کوچری بر کرانه مکران اتفاق افتاد. به نقل قول بیان شده در اثر این زمین‌لرزه روستاهای زیادی خراب شد. تعریف شده است که عده‌ای شترسوار در حال گذر از روی تپه‌ای در آن حوالی بودند که در اثر زمین‌لرزه این افراد به همراه شترانشان به دره افتادند (شعبانی، ۱۳۹۴، ص. ۴۵).

خ) زمین‌لرزه جزیره قشم

باتوجه به فرهنگ جغرافیایی فارسی خلیج فارس در سال ۱۹۰۲ قشم و بندرعباس تحت تأثیر اختلالات لرزه‌ای که در ۹ ژوئن آغاز شد و برای چند روز طول کشید، قرار گرفتند. به طور معمول، آسیب در شهر قشم بیشتر از جاهای دیگر بود. بربریان این زلزله را در ۹ ژوئن سال ۱۹۰۲ با ده نفر کشته و با شدت II در قشم گزارش کرد. تایمز لندن در ۲۶ ژوئیه ۱۹۰۲ گزارش داد که شوک‌های ناشی از زمین‌لرزه‌های بندرعباس به صورت لرزش‌هایی روزانه احساس می‌شد. داده‌های ابزاری نشان می‌دهد که شوک در ۹ جولای در ساعت ۳ و ۳۸ دقیقه و رومرکز در ۲۷ درجه شمالی و ۵۶ درجه شرقی واقع شد که در این میان، بزرگا یا عمق کانونی ثبت نشده است.

د) زمین‌لرزه بندرعباس

باتوجه به فرهنگ جغرافیایی فارسی خلیج فارس در سال ۱۹۰۵ لرزش‌هایی در جزیره هنگام در ۲۵ آوریل و ۲۷ آوریل در جزیره قشم احساس شد که در حوالی بندرعباس در روستای ایسین موجب خسارت دیدن خانه‌ها شد. هیچ داده‌ای برای این زمین‌لرزه ثبت نشده است (شعبانی، ۱۳۹۴، ص. ۴۶).

ذ) زمین‌لرزه بندرعباس ۴ ژوئیه ۱۹۰۷

کنسولگری روسیه در بندرعباس زمین‌لرزه‌هایی را در ساعت نه و پنج دقیقه به وقت محلی با مدت زمان نیم‌دقیقه گزارش کرد. لرزش‌ها با سروصدای خفیف همراه بود. تنها داده‌ای ثبت‌شده در این روز در ساعت ۹ و ۲۱ دقیقه به وقت گرینویچ و مرکز واقع در ۲۷ درجه شمالی و ۵۵ درجه شرقی است.

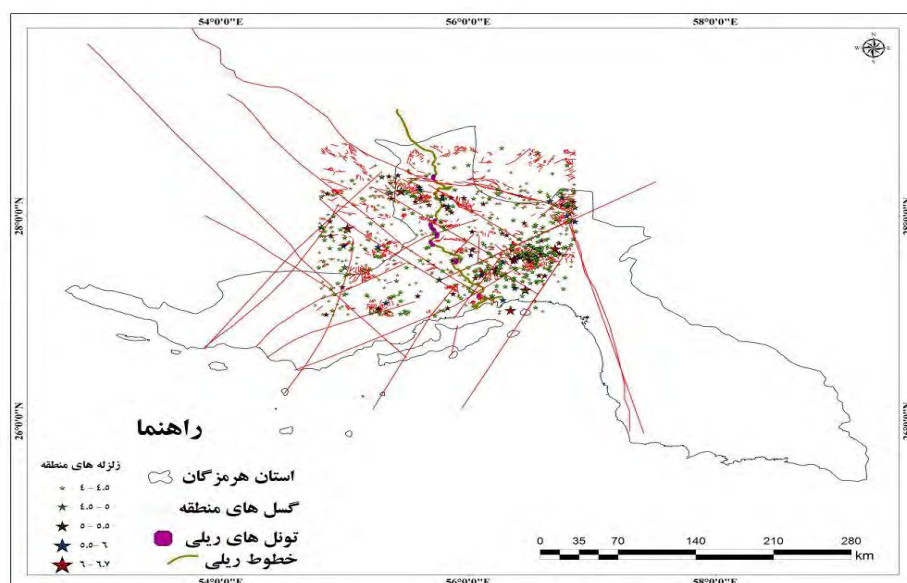
ر) زلزله نخل ناخدا، ۲۴ آوریل ۱۹۴۹

زمین‌لرزه‌هایی در ساعت نه دقیقه و ۴۸ ثانیه به وقت گرینویچ و رومرکز ۲۸ درجه و نه دقیقه شمالی و ۵۵ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی با بزرگای ۵/۵ و عمق کانونی ۴۰ کیلومتر احساس شد. در طی زلزله یکی از دهکده‌ها به‌طور کامل، نابود شد. بندرعباس و ۱۲ روستا آسیب دید. همچنین، پس‌لرزه به مدت ۳ روز احساس شد.

ز) زمین‌لرزه گهکم ۲۹ ژوئیه ۱۹۶۳

زلزله در ساعت ۶ و ۱۰ دقیقه و ۲۶ ثانیه به وقت گرینویچ و ۹ و ۳۰ دقیقه به زمان محلی با بزرگای ۵/۲ و عمق کانونی ۴۶ کیلومتر رخ داده بود. مرکز این زمین‌لرزه در ۲۸ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و ۵۵ درجه و ۷۲ دقیقه شرقی واقع شده بود. حدود هفت تا هشت خانه در گهکم ویران و بقیه خانه‌ها ترک برداشتند. پنج نفر کشته و هشت نفر زخمی شدند و تا مدت ۴۸ ساعت پس از شوک اصلی لرزه‌ها احساس می‌شد. آب در چاه گهکم افزایش یافت و شوک در حاجی‌آباد، بندرعباس و لار نیز احساس شد.

به‌طور کلی از نظر لرزه زمین‌ساخت، روند لرزه‌خیزی در منطقه منطبق بر ساختارهای اصلی لرزه‌خیز است که راستای گسل‌های میناب، راندگی اصلی زاگرس و شاخه شرقی گسل دهشیر-بافت را در شمال استان تحت‌تأثیر قرار داده است. مرکز سطحی بیشتر زمین‌لرزه‌های رویداده در پهنه استان هرمزگان در محل برخورد گسل میناب و راندگی اصلی زاگرس بوده و مراکز دیگر زمین‌لرزه‌ها نیز منطبق بر گسل قشم و گسل بندر لنگه است. [شکل ۴](#) توزیع فضایی خطوط گسلی و لرزه‌های استان هرمزگان را نشان می‌دهد.

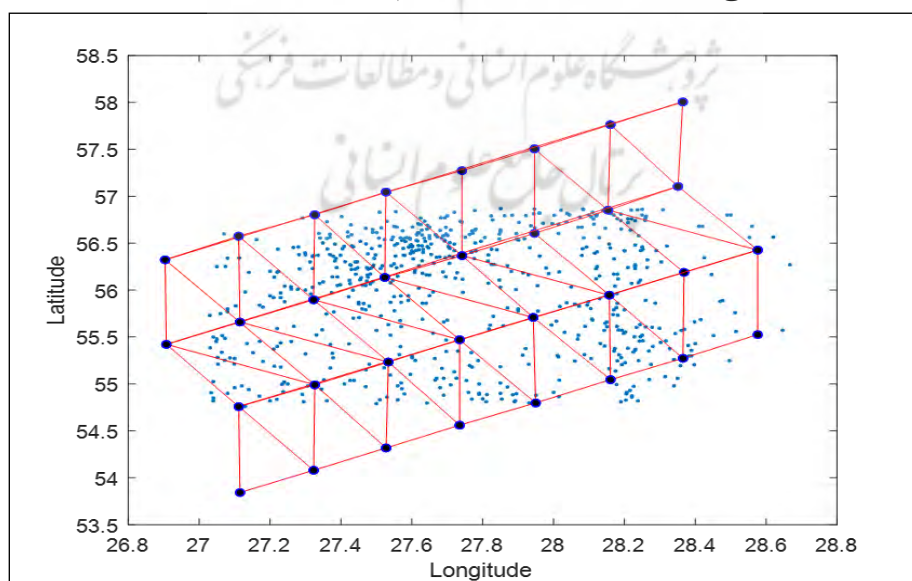


شکل ۴: نقشه توزیع فضایی خطوط گسلی و زمین‌لرزه‌های استان هرمزگان (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 4: Spatial distribution map of fault lines and earthquakes in Hormozgan province

پیش‌بینی مکان وقوع زلزله احتمالی

برای پیش‌بینی مکان وقوع احتمالی زلزله ابتدا وزن‌ها و شبکه اولیه به صورت [شکل \(۵\)](#) در دو بُعد طول و عرض جغرافیایی انتخاب شد. با توجه به شکل ۵ نرون‌ها شروع به حرکت به سمت گروه‌های آموزشی مختلف می‌کنند و سبب همگرا شدن شبکه عصبی می‌شوند. سپس تعلق تعداد نمونه‌ها به هر کدام از نرون‌های 8×8 محاسبه و در نهایت، نیز فاصله همسایگی میان این نرون‌ها مشخص می‌شود. با وجود حجم فزاینده اطلاعات، عمل بازیابی و خلاصه‌کردن داده‌های ورودی، معیار خوبی از تابع چگالی احتمال داده‌ها را فراهم آورده است.



شکل ۵: وزن و شبکه اولیه طراحی شده در نرم‌افزار Matlab (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹).

Figure 5: Weight and initial network designed in Matlab software

توان چشمه‌های لرزه‌زا برای ایجاد زلزله براساس سابقه لرزه‌خیزی، میزان جنبش تکتونیکی و ابعاد گسل‌های موجود در این چشمه‌ها تعیین می‌شود. با داشتن سرچشمه‌های لرزه‌زا با استفاده از خاصیت تجرید در شبکه عصبی کوهن می‌توان گفت که احتمال رخداد زمین‌لرزه در چشمه‌های خوشه‌شده به مراتب بیشتر است. در مدل‌های شبکه عصبی یکی از الگوهای ارائه شده، مکان خوشه‌هاست که در آن راه‌حلی برای یافتن مکان‌های لرزه‌زا و پرخاطر ارائه می‌شود؛ بنابراین به‌طور کامل، بدیهی است که پس از شنا سایی منطقه‌های پرخاطر لرزه‌ای، منطقه عدم قطعیت کاهش پیدا کرده است و مکان پیش‌بینی شده کوچک‌تر شده است؛ بنابراین اگر مکان اعلام خطر تعیین شده با الگوریتم شبکه عصبی کوهن تنها به چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه در آن منطقه محدود شود، عدم قطعیت مکانی الگوریتم کاهش و سپس مکان پیش‌بینی شده کوچک‌تر می‌شود.

برای پیش‌بینی مکان زلزله احتمالی با استفاده از روش شبکه عصبی کوهن مشخصات زلزله‌های اتفاق افتاده در نقاطی که در شکل ۲ مشخص شده است، براساس هدف به وزن‌هایی داده شده است تا بتوان محاسبه‌های مربوط را در نرم‌افزار Matlab انجام داد. در [شکل \(۶\)](#) مکان‌هایی که احتمال وقوع زلزله در آنها بیشتر است و در [جدول \(۴\)](#) مشخصات مربوط به پیش‌بینی زلزله ذکر شده است.

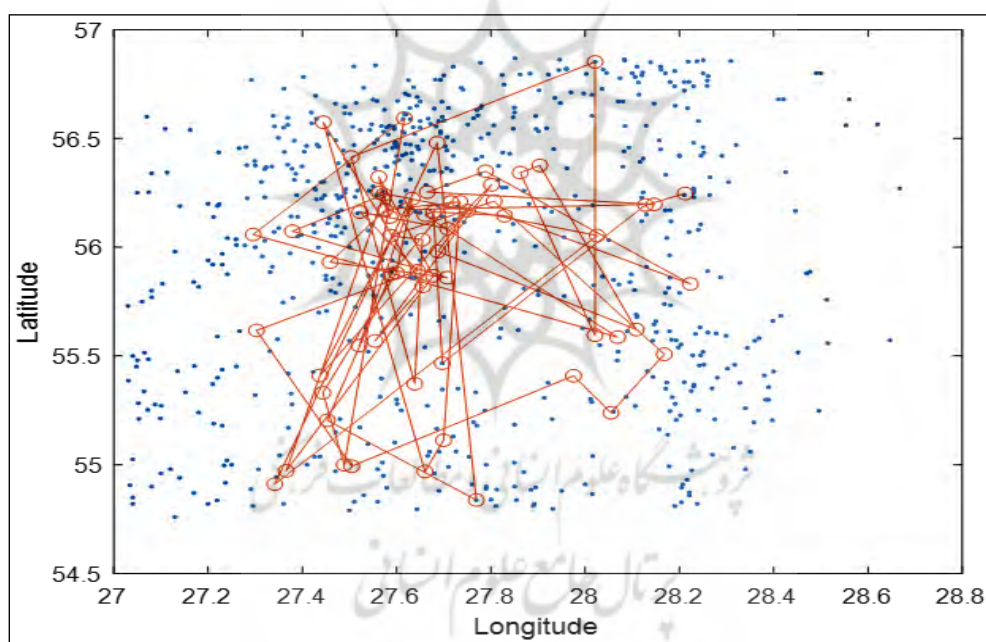
جدول ۴: موقعیت مکانی نقاط با احتمال وقوع زیاد زلزله

Table 4: location of places where the probability of earthquake occurrence is high

ردیف	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	عمق (Km)	بزرگای لرزه
۱	۲۸/۲۱۹۹	۵۶/۲۶۰۱۷	۲۸/۷	۴/۷
۲	۲۸/۰۲۰۹۷۶	۵۶/۰۲۴۸۲	۲۸/۵	۴/۶
۳	۲۷/۷۱۴۹۶	۵۵/۸۰۳۶۸۳	۴۴	۴/۵
۴	۲۷/۵۷۷	۵۶/۲۹۳۵۴	۶۱/۵	۴/۵
۵	۲۷/۵۹۹۳	۵۴/۹۴	۶۰	۴/۵
۶	۲۷/۴۱۱۶	۵۵/۳۰۵۳۳	۶۹/۳	۳/۴
۷	۲۷/۷۵۷۹۳	۵۶/۱۵۴۳۳	۶۰/۵	۴/۶
۸	۲۸/۰۲۳۱۴	۵۵/۸۸۲۲۸	۶۷/۴	۳/۴
۹	۲۸/۰۲۵۴	۵۵/۹۶۴۵۸	۲۶/۴	۴/۶
۱۰	۲۷/۶۶۱۱۹	۵۵/۴۹۵۵۸	۲۷/۳	۴/۴
۱۱	۲۸/۰۰۵۲۲۵	۵۵/۶۷۳۲۵	۷۲/۲	۴/۴
۱۲	۲۷/۴۰۶۵	۵۴/۹۷۵۱۶	۳۷/۵	۴/۴
۱۳	۲۷/۴۷۲۵۲	۵۵/۳۹۹۶	۴۰/۸	۴/۴
۱۴	۲۷/۶۴۵۳	۵۶/۲۴۴۴	۳۵/۹	۴/۶
۱۵	۲۷/۵۷۲۶۳	۵۶/۰۴۰	۳۹/۴	۴/۵
۱۶	۲۷/۷۷۵۱۳	۵۶/۳۷۰۷۳	۵۹/۲	۳/۴
۱۷	۲۸/۱۰۰۷۲	۵۵/۵۵۶۷	۱۶/۴	۴/۷
۱۸	۲۷/۷۳۰۸۹	۵۵/۶۵۵۵	۲۲/۲	۴/۶
۱۹	۲۸/۰۱۵۲۱	۵۵/۸۸۲۶	۳۷/۷	۴/۵
۲۰	۲۷/۲۱۰۴۴	۵۶/۳۲۷۶	۳۵/۵	۴/۶

۲۱	۲۷/۵۴۷۴	۵۵/۲۱۲۶	۱۷/۸	۴/۴
۲۲	۲۷/۶۵۱۴	۵۶/۱۹۲۷	۱۴/۱	۵/۱
۲۳	۲۷/۴۹۱۶۲	۵۶/۰۴۵۵	۱۲/۷	۴/۶
۲۴	۲۷/۸۷۴	۵۶/۱۹۲۳	۳۵/۶	۴/۴
۲۵	۲۷/۲۸۳۶	۵۴/۹۷۱	۱۰	۵/۰۲
۲۶	۲۷/۳۱۳۲۸	۵۶/۰۶۳۵۷	۱۴/۷	۴/۸
۲۷	۲۷/۶۷۰۰۳	۵۶/۴۰۹۶	۱۱/۸	۵/۲
۲۸	۲۷/۵۳۲۸	۵۵/۰۲۳۱	۱۰/۵	۴/۵
۲۹	۲۷/۵۱۱	۵۵/۵۴۷۱۶	۶/۵	۴/۵
۳۰	۲۷/۶۸۰۱۹	۵۶/۰۵۹۶۷	۱۳/۷	۴/۶
۳۱	۲۸/۰۲۳	۵۵/۸۹۱۹۱۶	۱۵/۳	۴/۵
۳۲	۲۷/۸۷۱۵	۵۶/۳۶۴۷	۲۰/۴	$\frac{3}{4}$

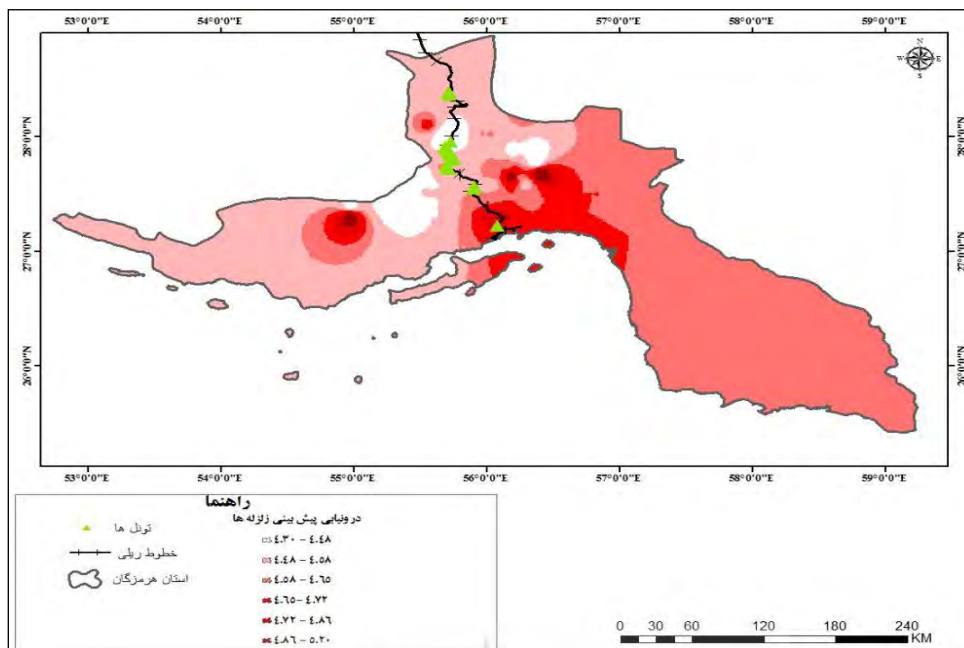
منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹



شکل ۶: مشخصات مکانی زلزله‌های پیش‌بینی شده با شبکه عصبی در منطقه مطالعه شده (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 6: Spatial characteristics of earthquakes predicted by neural network in the study area

باتوجه به موقعیت مکانی و زلزله‌های پیش‌بینی شده با شبکه عصبی مصنوعی، پهنه‌بندی لرزه‌های محتمل برای استان هرمزگان صورت گرفت. شکل ۷ پهنه‌بندی لرزه‌های احتمالی را نشان می‌دهد.



شکل ۷: پهنه‌بندی لرزه‌های احتمالی پیش‌بینی شده با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 7: Zoning of possible earthquakes predicted using artificial neural network

نتیجه‌گیری

شاخص‌های بزرگا، زمان و محل وقوع سه شاخص اصلی یک زلزله است که محققان و پژوهشگران عدم قطعیت آنها را تأیید کرده‌اند. از آنجا که در پیش‌بینی زمان وقوع زلزله هنوز روشی مطمئن که دقت مطلوب را داشته باشد، تأیید نشده است، پس در سال‌های اخیر زلزله‌شنا سان و مهندسان زلزله برای کاهش خسارت‌های ناشی از زلزله پژوهش‌های خود را در زمینه پیش‌بینی زلزله بر روی شاخص‌های بزرگی و محل وقوع زلزله انجام داده‌اند (گرامی و همکاران، ۱۳۹۱، ص. ۱۴۳۰). برآورد احتمال وقوع، بزرگی و محل وقوع زلزله‌ها تأثیر بسزایی در طراحی و بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها و کاهش خسارت‌های ناشی از لرزه‌های احتمالی خواهد داشت. در همین راستا، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی هوشمند از جمله تکنیک‌هایی است که پژوهشگران به‌علت دقت زیاد در پیش‌بینی بزرگا و محل وقوع لرزه‌های احتمالی در محدوده خطوط ریلی استان هرمزگان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی شد. نتایج پژوهش نشان داد که در منطقه مطالعاتی ۳۲ نقطه برای وقوع لرزه‌های احتمالی پیش‌بینی شده است که بیشتر بزرگای محتمل برای این نقاط $\frac{4}{3}$ و $\frac{5}{2}$ ریشتر خواهد بود. بر همین اساس، پهنه‌بندی استان هرمزگان براساس لرزه‌های پیش‌بینی شده حاکی از آن است که بخش‌های جنوبی و مرکزی استان (شمال‌تنگه هرمز) در پهنه با خطر زیاد قرار دارد که موجب آسیب‌پذیری بیشتر خطوط ریلی در این بخش از استان خواهد بود. همچنین، تونل شماره ۲۳ در محدوده پرخطر (منطقه حداکثر بزرگای محتمل) قرار دارد و نیز تونل ۲۱، ۲۲، ۲۳ به زلزله‌های با بزرگای بیش از ۵ ریشتر بسیار نزدیک هستند.

پژوهش حاضر از پایان‌نامه کارشناسی ارشد استخراج شده و با حمایت شرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران به انجام رسیده است. نویسندگان مراتب قدردانی خود را اعلام می‌کنند.

منابع

- ارجمند، محمدعلی، محمودی، جمال، رضایی، مسعود، و محمدی، محمدحسین (۱۳۹۵). پیش‌بینی بزرگای زلزله با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه. *مجله علمی-پژوهشی عمران مدرس*، ۱۶(۴)، ۹-۱.
- <http://mcej.modares.ac.ir/article-16-6306-fa.html>
- پورخسروانی، محسن، ولی، عباسعلی، و محمودی محمدآبادی، طیبه (۱۳۹۴). تحلیل مقایسه‌ای مدل‌های آماری و شبکه عصبی مصنوعی جهت برآورد حجم رسوبات نیکا (مطالعه موردی: نیکاهای درختچه گز در کویر ابراهیم‌آباد سیرجان). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۳(۴)، ۱۷-۲۹.
- https://www.geomorphologyjournal.ir/article_77968.html
- حیاتی، سلمان، غلامی، یونس، اسماعیلی، آسیه، و رضوی‌نژاد، مرتضی (۱۳۹۵). پیش‌بینی محل وقوع زلزله احتمالی در استان خراسان رضوی با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۵(۴)، ۱-۱۹.
- https://geoeh.um.ac.ir/article_30362.html
- خزاعی، الهه، آل شیخی، علی‌اصغر، کریمی، محمد، و وحیدنیا، محمدحسین (۱۳۹۱). مقایسه دو روش مدل‌سازی با استفاده از شبکه عصبی-فازی در پیش‌بینی غلظت آلاینده مونوکسید کربن. *فصلنامه محیط‌شناسی*، ۳۸(۴)، ۲۹-۴۴.
- <https://doi.org/10.22059/jes.2013.29861>
- شعبانی، مهتاب (۱۳۹۴). *تخمین فواصل زمانی زمین‌لرزه‌های مهم و متوالی در بخش‌هایی از استان هرمزگان (بندرعباس، میناب، حاجی‌آباد) بر اساس شبکه‌های عصبی تابع پایه‌ای شعاعی* [پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه هرمزگان]. <https://irandoc.ac.ir> ایرانداک.
- شمشیری، منیژه، و آخوندزاده هنزائی، مهدی (۱۳۹۴). تشخیص آنومالی‌های TEC قبل از وقوع زلزله‌های بزرگ که با استفاده از تلفیق شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات (PSO). *فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی*، ۲۴(۹۴)، ۵-۱۸.
- <https://doi.org/10.22131/sepehr.2015.14473>
- کاظمی پشت مساوی، حسین، طهماسبی سروستانی، زین‌العابدین، کامکار، بهنام، شتایی، شعبان، و صادقی، سهراب (۱۳۹۱). ارزیابی روش‌های زمین‌آمار جهت تخمین و پهنه‌بندی عناصر غذایی پرمصرف اولیه در برخی اراضی کشاورزی استان گلستان. *نشریه دانش آب و خاک*، ۲۲(۱)، ۲۰۱-۲۱۸.
- <http://mcej.modares.ac.ir/article-16-6306-fa.html>
- گرامی، محسن، سیوندی‌پور، عباس، و تقدیسی، هادی (۱۳۹۱). پیش‌بینی آماری پهنه‌بندی خطر زلزله احتمالی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. *زمین‌شناسی مهندسی*، ۶(۱)، ۱۴۲۹-۱۴۴۴.
- <http://jeg.khu.ac.ir/article-1-382-fa.html>
- منهاج، محمدباقر (۱۳۸۴). *مبانی شبکه‌های عصبی (هوش محاسباتی)*. مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

ولی، عباسعلی، معیری، مسعود، رامشت، محمدحسین، و موحدی‌نیا، ناصر (۱۳۸۸). تحلیل مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل‌های رگرسیون پیش‌بینی رسوب معلق (مطالعه موردی: حوضه آبخیز اسکندری واقع در حوضه آبریز زاینده رود). *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۲(۷۱)، ۲۱-۳۰.

https://jphgr.ut.ac.ir/article_21545.html

ولی، عباسعلی، رامشت، محمدحسین، سیف، عبدالله، و قضاوی، رضا (۱۳۹۰). مقایسه کارایی مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون برای پیش‌بینی بار رسوب جریان (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سمندگان). *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۲(۴۴)، ۱۹-۳۴.

https://gep.ui.ac.ir/article_18516.html

References

- Abdulrahman, S. N., Alarifi, A., Nassir, S. N., Alarifi, B., & Saad Al-Humidan, C. (2012). Earthquake's magnitude predication using artificial neural network in northern Red Sea area. *Journal of King Saud University- Science*, 24(13), 301-313. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2011.05.002>
- Arjomand, M. A., Mahmoudi, J., & Rezaei, M., & Mohammadi, M. H. (2016). The earthquake magnitude prediction using multilayer perceptron neural network. *MCEJ*, 16(4), 1-9. <http://mcej.modares.ac.ir/article-16-6306-fa.html> [In Persian].
- Azam, F., Sharif, M., Yasmin, M., & Mohsin, S. (2014). Artificial intelligence-based techniques for earthquake prediction. *Sci.Int.(Lahore)*, 26(4), 1495-1502. https://azkurs.org/pars_docs/refs/95/94928/94928.pdf
- Bilal, M. A., Yanju, J. I., Wang, Y., Akhter, M. P., & Yaqub, M. (2022). An early warning system for earthquake prediction from seismic data using batch normalized graph convolutional neural network with attention mechanism (BNGCNNATT). *Sensors*, 22(17), 6482. <https://doi.org/10.3390/s22176482>
- Cigizoglu, H. K., & Kisi, O. (2006). Methods to improve the neural network performance in suspended sediment estimation. *Journal Of Hydrology*, 317(23), 221-238. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.05.019>
- Conrads, P. A., & Roehle, E. A. (1999). *Comparing physics- based and neural network mosimulating salinity, temperature and dissolved in a complex, tidally affected river basin*. Proceeding Of The South Carolina Environmental Conference, The U.S. geological survey. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:131165580>
- Fulop, I. A., Jozsa, J., & Karamer. T. (1998). A neural network application in estimating wind induced shallow lake motion. *Hydro Informatics*, 98(2), 753-757.
- Grami, M., Seondipour, A., & Taghdisi, H. (2011). Statistical prediction of possible earthquake risk zoning using artificial neural networks. *Journal Of Engineering Geology*, 6(1), 1429-1444. <http://jeg.khu.ac.ir/article-1-382-fa.html> [In Persian].
- Hayati, S., Gholami, Y., Esmaili, A., & Razvinejad, M. (2015). Prediction of possible earthquake location in Razavi Khorasan province using artificial neural network method. *Geography and Environmental Hazards*, 5(4), 1-19. https://geoeh.um.ac.ir/article_30362.html [In Persian].
- Kazemi Posht Mosavi, H., Tahmasbi Sarostani, Z., Kamkar, B., Shataei, Sh., & Sadeghi, S. (2011). Evaluation of geostatistical methods for estimating and zoning primary food elements in some agricultural lands of Golestan province. *Water And Soil Science Journal*, 22(1), 201-218. <http://mcej.modares.ac.ir/article-16-6306-fa.html> [In Persian].
- Khazaee, E., Al-Sheikhi, A.A., Karimi, M., & Vahidnia, M.H. (2011). Comparison of two modeling methods using neural-fuzzy network in predicting carbon monoxide pollutant concentration. *Environmental Quarterly*, 38(4), 29-44. <https://doi:10.22059/jes.2013.29861> [In Persian].
- kumar, N., & Raja, K. (2016). A BP artificial neural network model for earthquake magnitude prediction in himalayas India. *Circuits And Systems*, 7(3), 3456- 3468. <http://dx.doi.org/10.4236/cs.2016.711294>

- Mangala Gowri, S. G., & Naveen. M. (2021). Earthquake magnitude prediction using artificial neural network model. *International Journal of Aquatic Science* 12(2), 2513- 2520.
- Menhaj, M. B. (2004). *Basics of neural networks (computational intelligence)*. Amirkabir university of technology press. [In Persian].
- Pourkhosravani, M., Vali, A. A., & Mahmoudi Mohammadabadi, T. (2014). Comparative analysis of statistical models and artificial neural network to estimate the volume of sediments of Nebka (Case study: Nebkas of gaz trees in ibrahimabad sirjan desert. *Quantitative Geomorphology Research*, 3(4), 17-29. https://www.geomorphologyjournal.ir/article_77968.html [In Persian].
- Ranjithan, J., Eheart, J., & Garrett, J. H. (1995). Application of neural network in groundwater remediation under condition of uncertainty. *New Uncertainty Conception Hydrology and Water Resources*, 13(3), 133-140.
- Shabani, M. (2014). *Estimation of time intervals of important and successive earthquakes in parts of Hormozgan province (Bandar Abbas, Minab, Hajiabad)* [Master thesis, Hormozgan university]. Irandoc. <https://irandoc.ac.ir> [In Persian].
- Shamshiri, M., & Akhundzadeh Hanzaei, M. (2014). Detection of TEC anomalies before the occurrence of large earthquakes using the combination of artificial neural network and particle mass optimization (PSO) algorithm. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Information*, 24(94), 5-18. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2015.14473> [In Persian].
- Vali, A. A., Moayeri, M., Ramsht, M. H., & Movahedi, N. (2008). Comparative analysis of the performance of artificial neural networks and regression models for predicting suspended sediment (Case study: Eskandari watershed located in the Zayandeh Rood watershed). *Journal Of Natural Geography Research*, 42(71), 21-30. https://jphgr.ut.ac.ir/article_21545.html [In Persian].
- Vali, A. A., Ramsht, M. H., Saif, A., & Qazawi, R. (2010). Comparison of the effectiveness of artificial neural network models and regression for predicting the sediment load of samandag watershed case study. *Journal Of Geography And Environmental Planning*, 22(44), 19-34. https://gep.ui.ac.ir/article_18516.html [In Persian].
- Vellido, A., Lisboa, P. J. G., & Vaughan, J. (1999). Neural networks in business: a survey of applications (1992-1998). *Expert Systems with Applications*, 17(2), 51-70. [https://doi.org/10.1016/S0957-4174\(99\)00016-0](https://doi.org/10.1016/S0957-4174(99)00016-0)