



Hakim Sabzevari University



Assessment the Vulnerability of Neyshabur city to earthquakes using machine learning and GIS

Hadi Soleimani Moghadam^{1✉} | Majid Shajiei²

1. Corresponding Author, Department of Urban and rural planning, Faculty of Geography and Environmental Science, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran. h.soleymani@hsu.ac.ir

2. Department of Urban and rural planning, Faculty of Geography and Environmental Science, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran. Majidshajiei1379@gmail.com

Article Information

Research Paper

Vol: 17
No: 64
P: 105-120
Received: 2025-05-31
Revised: 2025-10-07
Accepted: 2025-10-12
Published: 2026-08-01

Keywords:

- Evaluation
- Earthquake
- Machine Learning
- Neyshabur
- GIS

Cite this Article:

Soleimani Moghadam, Hadi & Shajiei, Majid. (2026). Assessment the Vulnerability of Neyshabur city to earthquakes using machine learning and GIS. *Journal of Arid Regions Geographic Studies* 17(64): 105. 120

Publisher: Hakim Sabzevari University

The Author(s) retain the copyright and full publishing rights.



Abstract

Aim: Given the heavy damage caused by natural hazards such as earthquakes to the man-made environment, the present study aims to assess the vulnerability of the city of Neyshabur to the risk of earthquakes. First, it zones the earthquake-prone areas of the city and then assesses the vulnerability of various urban areas.

Materials & Methods: The present research is applied in terms of purpose and descriptive-analytical in terms of type and nature. Data collection was library-based and field-based. The most important software used in this research is Weka data mining software, for the purpose of implementing machine learning algorithms, and ArcMap software, in order to prepare the data for algorithm implementation. The data used in this research include two indicators: natural factors and human factors.

Finding: The findings of this research indicated that the four supervised algorithms used—Random Tree, Rep Tree, MP5, and Random Forest—were able to accurately zone areas at risk of earthquakes in the city of Neyshabur. In the maps obtained from the vulnerability assessment of the urban area, by integrating human factors, the vulnerability of the city of Neyshabur is higher in the central areas than in other areas.

Conclusion: Based on the research findings, it can be stated that approximately 42 percent of the area of the city of Neyshabur is located in a zone of high to very high vulnerability. Therefore, the city of Neyshabur, especially in the central areas, is highly vulnerable to the natural phenomenon of earthquakes.

Innovation: In the present study, machine learning algorithms were integrated in the Weka data mining environment to increase classification accuracy. Furthermore, more influential natural factors were used to accurately predict the occurrence of earthquakes. Finally, the seismic risk in the city of Neyshabur was assessed by integrating human-induced factors that exacerbate earthquakes.

Extended Abstract

1. Introduction

Earthquake, as a natural phenomenon, poses a significant challenge that humanity has grappled with for centuries. The rapid increase in urban population in recent years has amplified the potential for damage, worsened by the fact that half of these cities are situated near earthquake belts. The location of 90 percent of Iranian cities within the hazard zone of fault lines (20 kilometers) makes them vulnerable to even a 5-Richter scale earthquake. Like other cities in the country, earthquake is the most significant natural disaster for Neyshabur, and its historical background over the past 200 years demonstrates its seismicity. There are three active compressional faults near the city of Neyshabur, which are of great importance. This is because compressional faults contain more energy than strike-slip and normal faults. Two faults are located in the northern part of the city, south of the Binalud Mountain, and another fault is located in the eastern area, less than 20 kilometers from the city. Based on a comparison of population census statistics from 1956 to 2016, Neyshabur has experienced a significant increase in urbanization. The migration of villagers to the city, followed by an increase in the urban population, has led to urban population density. Also, in recent years, high-rise construction has caused population density in urban neighborhoods. Given the conditions of Neyshabur in terms of human characteristics and the possibility of earthquakes, based on the prevailing geographical conditions in the region, this city may be vulnerable to earthquakes. Considering the lack of accurate knowledge of the earthquake return period and the lack of sufficient studies in this field, if urban sprawl is improperly planned, an earthquake could cause severe financial and human losses. It could also seriously damage urban infrastructure.

2. Materials and Methods

In the present study, 5 influential criteria in the intensity of earthquakes at the city level and the 30-year occurrence of earthquakes in Neyshabur city are used. Human factors influencing the intensity of earthquakes are population density, gross residential density, net urban density, average number of building stories, and the quality of buildings in Neyshabur city, each of which plays a role in increasing the city's vulnerability to earthquakes. In this research, Weka data mining software was used to implement various algorithms in assessing the city's vulnerability to earthquakes. Also, GIS software was used to output the final maps of the research. The models used in this research are from the Weka software models. The Bagging model with the RepTree algorithm, the ClassificationViaRegression model with the MP5 algorithm, the Random Committee model with the RandomTree algorithm, and the Trees model with the Random Forest algorithm are among the models and algorithms used in this research.

3. Results and Discussion

Research findings indicate that supervised tree-based machine learning algorithms possess the capability to delineate and monitor areas at risk of earthquakes with sufficient accuracy. The four aforementioned algorithms have demonstrated an assessment accuracy exceeding 85 percent. Furthermore, following the integration of human factors exacerbating earthquake damage within the urban area with the results obtained from the algorithms, the vulnerability assessment output of the urban area of Neyshabur was obtained. The final output indicates that Neyshabur is earthquake-prone and its urban area is relatively vulnerable to it.

4. Conclusions

In this research, after assessing the areas at risk in the city and integrating factors exacerbating earthquake vulnerability at the city level, and based on the findings, we concluded that, by integrating the predictions of four algorithms, approximately 42% of the area of the city of Neyshabur is located within areas with very high and high vulnerability. According to the input factors to the software, the findings show that the central areas of Neyshabur are more vulnerable than its other areas, and vulnerability decreases as you move from the city center towards the periphery. Also, the north of the city is relatively safe from earthquake vulnerability. The high population density in the city center, the small area of various urban land uses resulting in high urban fabric density, the small area of residential land use resulting in high gross residential density, the concentration of commercial and administrative land use in this part of the city resulting in a high density of both resident and non-resident population, and the presence of the city's core

in this area are the main reasons for identifying the city center as the most vulnerable point in the current assessment. Therefore, comparing the predictions made in the research with the reality of the current situation in the city of Neyshabur, the overall conclusion is that the research findings are logical. Furthermore, the implemented algorithms were evaluated using accuracy assessment techniques, and the results show the high accuracy of the algorithms in classifying earthquake-prone areas. Therefore, in general, half of the city's area is located within a very vulnerable and high-risk zone for earthquakes.

5. Acknowledgment & Funding

We sincerely appreciate the Nishabur Municipality Organization for their assistance in advancing this research.

6. Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflicts of interest.

ارزیابی آسیب پذیری شهر نیشابور در برابر زلزله با استفاده از یادگیری ماشین

و GIS

هادی سلیمانی مقدم^۱ , مجید شجعی^۲

۱- نویسنده مسئول، گروه برنامه ریزی شهری و روستایی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران. h.soleymani@hsu.ac.ir

۲- گروه برنامه ریزی شهری و روستایی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران. Majidshajiei1379@gmail.com

چکیده

هدف: با توجه به خسارات سنگین مخاطرات طبیعی چون زلزله، به محیط انسان ساخت، تحقیق حاضر با هدف ارزیابی آسیب پذیری شهر نیشابور در برابر خطر زلزله، ابتدا به پهنه بندی مناطق زلزله خیز شهرستان و سپس، به ارزیابی میزان آسیب پذیری نواحی مختلف شهری می پردازد.

روش و داده: تحقیق حاضر به لحاظ هدف کاربردی و از لحاظ نوع و ماهیت، توصیفی - تحلیلی است. شیوه جمع آوری داده ها، به صورت کتابخانه ای و میدانی بوده است. مهم ترین نرم افزارهای به کار رفته در این تحقیق، نرم افزار داده کاوی وکا، با هدف اجرای الگوریتم های یادگیری ماشین و نرم افزار Arc map، به منظور آماده سازی داده ها برای اجرای الگوریتم است. از داده های مورد استفاده در این تحقیق می توان به دو شاخص عوامل طبیعی و عوامل انسانی اشاره کرد.

یافته ها: یافته های این پژوهش نشان داد که چهار الگوریتم نظارت شده به کار رفته Random tree، Rep tree، MP5 و Random Forest، توانستند با دقت کافی به پهنه بندی مناطق تحت خطر زلزله در شهرستان نیشابور بپردازند. در نقشه های به دست آمده از ارزیابی آسیب پذیری محدوده شهری با تلفیق عوامل انسانی، میزان آسیب پذیری شهر نیشابور در نواحی مرکزی بیشتر از نواحی دیگر است.

نتیجه گیری: بر مبنای یافته های تحقیق می توان عنوان کرد که حدود ۴۲ درصد از مساحت شهر نیشابور، در پهنه آسیب پذیری زیاد تا بسیار زیاد قرار دارد؛ بنابراین شهر نیشابور، به خصوص در نواحی مرکزی شهر، در برابر رخداد طبیعی زلزله، بسیار آسیب پذیر است.

نواوری، کاربرد نتایج: در تحقیق حاضر به منظور افزایش دقت طبقه بندی، از تلفیق الگوریتم های یادگیری ماشین در محیط داده کاوی وکا استفاده شده است. همچنین با هدف پیش بینی دقیق رخداد زلزله، از عوامل طبیعی تاثیرگذار بیشتری استفاده شده است. در نهایت با استفاده از تلفیق عوامل انسان ساخت تشدید کننده زلزله، به ارزیابی خطر زلزله در شهر نیشابور پرداخته شد.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

شماره:	۱۷
دوره:	۶۴
صفحه:	۱۰۵-۱۲۰
تاریخ دریافت:	۱۴۰۴/۰۳/۱۰
تاریخ ویرایش:	۱۴۰۴/۰۷/۱۵
تاریخ پذیرش:	۱۴۰۴/۰۷/۲۰
تاریخ انتشار:	۱۴۰۵/۰۵/۱۰

کلیدواژه ها:

- ارزیابی
- زلزله
- یادگیری ماشین
- نیشابور
- GIS

نحوه ارجاع به این مقاله:

سلیمانی مقدم، هادی و شجعی، مجید. (۱۴۰۵). ارزیابی آسیب پذیری شهر نیشابور در برابر زلزله با استفاده از یادگیری ماشین و GIS. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۱۷(۶۴): ۱۰۵-۱۲۰.

ناشر: دانشگاه حکیم سبزواری



نویسندگان حق نشر و حقوق کامل انتشار را حفظ می کنند.

۱- مقدمه

بلایای طبیعی در جهان هر ساله موجب خسارات مالی و جانی جبران ناپذیری می‌شوند و افزایش جمعیت شهرنشین جهان در دهه‌های اخیر و به دنبال آن تراکم جمعیت در یک منطقه، موجب افزایش خسارات شده و برنامه‌ریزی در این زمینه را به یک معضل تبدیل کرده است (rangzan et al., 2016. K.m.Afim et al., 2015). برای پیش‌بینی و جلوگیری از آسیب‌های احتمالی زلزله، متفاوت از سایر بلایای طبیعی، ساز و کار خاصی وجود ندارد؛ در نتیجه خسارات ناشی از آن سنگین است (k.m.afim et al., 2015). مهم‌ترین نقش برنامه‌ریزی شهری در مقابله با بحران‌ها، افزایش ایمنی در مناطق مسکونی است. توجه به ایمنی در کشورهای توسعه‌یافته، یکی از اهداف مهم در طرح‌های توسعه شهری است؛ اما در کشورهای در حال توسعه، توجه به این مسئله به منظور ساخت محیطی امن، نیازمند توجه بیشتری است (soleymani et al., 2024). در دهه‌های اخیر، با هجوم جمعیت روستا به شهر و گسترش شهرنشینی و رشد طبیعی جمعیت، طبیعتاً با افزایش سریع گستره کالبدی شهرها روبه‌رو بوده‌ایم. در صورتی که رشد فیزیکی شهر بدون برنامه باشد، مشکلات زیادی به بار می‌آورد (khakpoor et al., 2013). عدم توجه به موانع طبیعی چون گسل و نقاط تحت زمین لغزش و رشد شهر در گستره آن، عامل اصلی تشدید خسارات ناشی از مخاطرات طبیعی است (kamali et al., 2019). از جمله این رخدادهای طبیعی می‌توان به زلزله اشاره کرد که بیشترین خسارات را در سطح شهرها به خود اختصاص داده است (ahmadi & skandarinegad., 2018). زمین لرزه یکی از رخدادهای طبیعی زمین است که به علت کثرت وقوع، غیر قابل پیش‌بینی بودن و همچنین وسعت و شدت خساراتی که وارد می‌کند، به عنوان یکی از مخرب‌ترین رخدادهای طبیعی زمین شناخته شده است (pashapoor et al., 2017). زلزله به عنوان یکی از پدیده‌های طبیعی، چالش بزرگی است که بشر قرن‌ها با آن دست به گریبان بوده است. افزایش سریع جمعیت شهرنشین در سال‌های اخیر، خطر آسیب‌های احتمالی را افزایش داده است و بدتر از آن، قرارگیری نیمی این شهرها در نزدیکی کمربند زلزله‌خیز است (sardarshibani., 2011). کشور ایران به دلیل موقعیت ویژه جغرافیایی به لحاظ ژئوفیزیکی، در سیطره انواع مخاطرات طبیعی قرار دارد (naserpoor et al., 2019). ایران به عنوان یک کشور زلزله خیز، تقریباً ۶۹ درصد از مساحت آن را گسل‌های مختلف تشکیل داده است و ۳۵ درصد مساحت آن به طور جدی در معرض خطر زلزله قرار دارد (lalehpoor et al., 2021). از خصوصیات بارز کشورهای در حال توسعه، نرخ بالای رشد جمعیت و توسعه فیزیکی سریع شهرهاست و طبق آمار، ۹۵ درصد قربانیان بلایای طبیعی جهان در این کشورها بوده است (ghanbari et al., 2013). از آنجایی که گسل، عامل اصلی بروز زمین لرزه است (sardarshibani., 2011)، قرارگیری ۹۰ درصد از شهرهای ایران در محدوده خطر گسل‌ها (۲۰ کیلومتر)، موجب شده که در برابر یک زمین لرزه ۵ ریشتری آسیب‌پذیر باشد (pashapoor et al., 2017). به یقین شهر نیشابور از این قاعده مستثنی نیست. زمین لرزه برای نیشابور همانند شهرهای دیگر در کشور، مهم‌ترین بلای طبیعی است و پیشینه تاریخی آن در ۲۰۰ سال گذشته، نشان‌دهنده لرزه‌خیزی آن است (fattahi et al., 2009). بر اساس مقایسه سرشماری آمار جمعیت از سال ۱۳۳۵ تا ۱۳۹۵، نیشابور با رشد چشمگیر شهرنشینی مواجه بوده است. مهاجرت روستائیان به شهر و به دنبال آن، افزایش جمعیت شهرنشین، منجر به تراکم جمعیت شهری شده است. یکی از بهترین روش‌ها در جهت جلوگیری از رشد فیزیکی شهر در مناطق تحت خطر زلزله، شناسایی نقاطی است که در صورت وقوع مخاطره، بیشترین آسیب را محتمل می‌شوند. پارامترهای مورد نظر جهت شناسایی این نقاط، مشخصات فیزیکی زمین‌شناسی و نوع خاک، نزدیکی به گسل، عمق سنگ بستر و... است؛ زیرا از دلایل مهم تأثیرگذار بر شدت زلزله، عوامل طبیعی و انسان ساخت در محدوده مورد مطالعه است (Bruce E. Bolt., 2005). از دیدگاه ژئوفیزیکی، شهر نیشابور در منطقه‌ای حساس قرار دارد؛ زیرا عوامل طبیعی تأثیرگذار در زلزله، چون وجود گسل‌های فعال و شکستگی‌های مختلف، در این ناحیه دارای فراوانی است. همچنین عوامل انسانی چون تراکم جمعیت نسبتاً بالا و پایین بودن کیفیت ابنیه در اکثر نواحی، به احتمال آسیب‌پذیر بودن شهر را در برابر خطر زلزله می‌افزاید. در صورت عدم برنامه‌ریزی صحیح و آگاهی از مناطق مستعد خطر زلزله، با توجه شرایط انسانی در شهر نیشابور، احتمال تخریب و تلفات جانی و مالی بسیار بالا خواهد بود. همچنین نبود ساز و کار خاص در جلوگیری از زلزله، ناکارآمدی روش‌های سنتی پیشین در پهنه‌بندی مناطق تحت خطر، عدم محاسبه عوامل مختلف در شدت تخریب زلزله، نشان‌دهنده ضرورت دستیابی به روش‌های نوین در این زمینه می‌باشد (ratiran jan. jena., 2020; jena et al., 2020).

تاکنون تحقیقاتی مفید در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر زلزله در داخل و خارج از کشور انجام شده است که می‌توان به این موارد اشاره کرد. گرامی، سیوندی‌پور و تقدیسی در مقاله‌ای با عنوان «پیش‌بینی آماری پهنه‌بندی خطر زلزله احتمالی

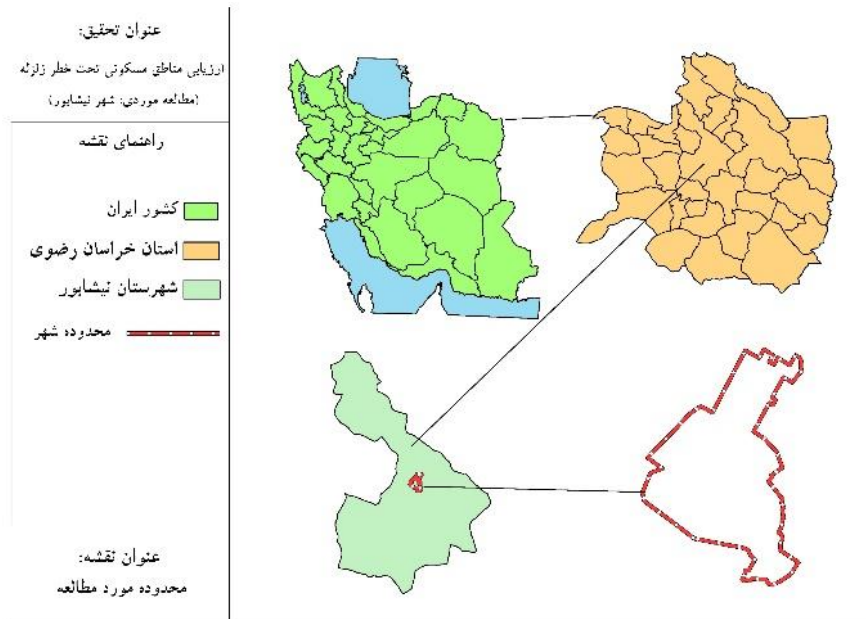
با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی» پیش‌بینی کردند که در بخش مرکزی استان قم، ۳۱/۶ درصد و بخش شمالی استان سمنان، ۲۸/۹ درصد احتمال وقوع زلزله وجود دارد (Sivandipoor et al., 2012). قنبری و همکاران در تحقیقی تحت عنوان «پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری شهرها در مقابل خطر زمین لرزه، نمونه موردی: شهر تبریز» به این نتیجه رسیدند که بیشتر نواحی پرتراکم شهری تبریز، به طور خاص بخش‌های مرکزی و شمالی، در پهنه‌های آسیب‌پذیر و با خطر بالا و بسیار بالا قرار دارند (Ghanbari et al., 2013). رنگزن و همکاران، در تحقیق «پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله و مکان‌یابی مناطق امن در زمان مخاطرات طبیعی با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی و GIS، منطقه موردی: منطقه یک اهواز»، بر اساس نتایج حاصل، روش استنتاج فازی ۸۵٪ و روش سلسله مراتبی ۴۱٪ با نظر کارشناسان مطابقت داشت؛ بنابراین روش اول در پهنه‌بندی از دقت بیشتری برخوردار بوده است. همچنین در زمینه مسیریابی، شواهد نشان داد که دو مدل الگوریتم ژنتیک و دایجسترا، مناسب و قابل استفاده هستند (Rangzan et al., 2016). پاشاپور و همکاران، در مقاله‌ای با عنوان «پهنه‌بندی خطر زلزله با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، مطالعه موردی: کلان شهر تبریز» به این نتیجه رسیدند که ۵۹ درصد از مساحت شهری که شامل مناطق مرکزی، غرب و جنوب غربی می‌شود، در محدوده پر خطر زلزله قرار می‌گیرند (Pashapoor et al., 2017). پرادان و همکاران، در پژوهشی با موضوع «ارزیابی خطر زلزله در شمال شرقی هند با استفاده از یادگیری عمیق و تجزیه و تحلیل جغرافیایی» نتیجه‌گیری کردند که تکنیک کانولوشن، بهترین و دقیق‌ترین مدل جهت طبقه‌بندی خطرات زلزله است. در نقشه‌برداری احتمال زلزله از نتایج تحلیل، مساحت کل خطر ۲۱۴۱۲ کیلومتر مربع، مساحت آسیب‌پذیر ۴۸۰ کیلومتر مربع و مساحت مناطق ریسک زلزله ۳۴۵۸۰ کیلومتر مربع برآورد شد (Pradan et al., 2021). لی و همکاران در تحقیقی تحت عنوان «یک مدل پیش‌بینی تلفات زلزله منطقه‌بندی بر اساس یادگیری ماشین» با توسعه یک مدل رگرسیون بردار پشتیبان منطقه‌بندی با پارامترهایی که اغلب در زلزله مؤثرند، به این نتیجه رسیدند که (Z-SVR) از سایر روش‌های یادگیری ماشین بهتر عمل کرده و دقت پیش‌بینی تلفات را افزایش می‌دهد (Lee et al., 2021). حمدی و همکاران، در مقاله‌ای با موضوع «شناسایی قرار گرفتن منطقه شهری در معرض خطر لرزه‌ای خاص با استفاده از یادگیری ماشین و GIS، مطالعه موردی: قاهره بزرگ» به این نتایج رسیدند که روش‌های درون‌یابی GIS مانند Spline، Natural و Trend، مناسب تولید نقشه خطر زمین لرزه نیستند (Hamdi et al., 2022). در حالی که کریجینگ پیش‌بینی کافی را نشان می‌دهد. همچنین مدل ML، با دقت ۹۶ درصدی، از روش‌های کلاسیک GIS بهتر عمل می‌کند. بر اساس تحقیقات پیشین، به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در شناسایی خسارات ناشی از زلزله بسیار کاربردهای متنوعی دارد. تحقیقات قبل از نظر روش تقریباً با تحقیق حاضر مشابهت دارد؛ اما در تحقیق حاضر، از الگوریتم‌های یادگیری ماشین نظارت شده به صورت تلفیقی استفاده شد و همچنین بین عوامل طبیعی و عوامل انسانی به منظور ارزیابی مناطق آسیب‌پذیر، از یکدیگر متمایز شدند؛ بنابراین به دلیل استفاده از ماهیت کل به جز در تحقیق حاضر، ارزیابی مناطق آسیب‌پذیر با دقت بهتری انجام شد. در این تحقیق حاضر به منظور افزایش دقت طبقه‌بندی، از تلفیق الگوریتم‌های یادگیری ماشین در محیط داده کاوی وکا^۱ استفاده شده است. همچنین با هدف پیش‌بینی دقیق رخداد زلزله، از عوامل طبیعی تأثیرگذار بیشتری استفاده شده است. در نهایت با استفاده از تلفیق عوامل انسان ساخت تشدیدکننده زلزله، به ارزیابی خطر زلزله در شهر نیشابور پرداخته شد.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

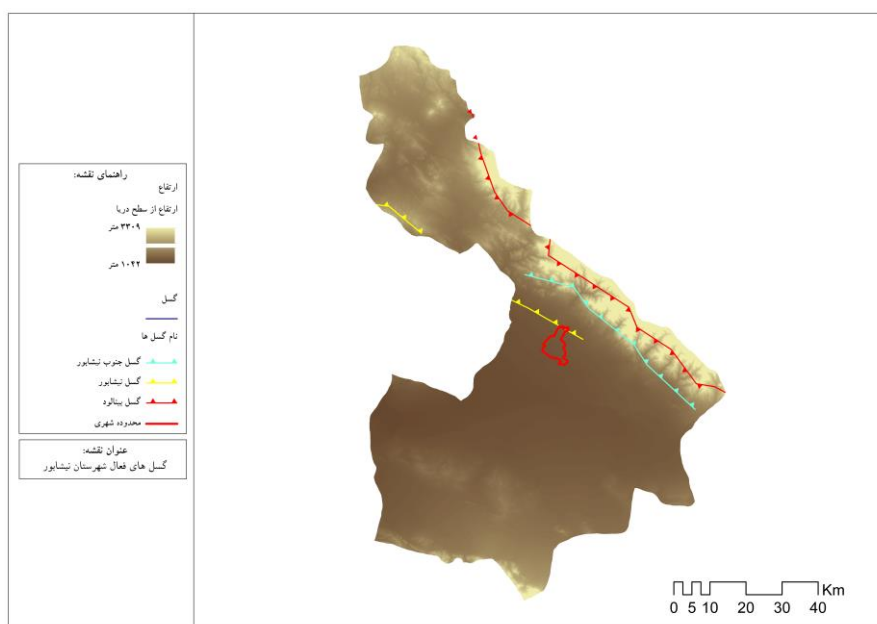
شهر نیشابور با قرارگیری در مرکز استان خراسان رضوی، در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۵۰ دقیقه، در مرکز شهرستان نیشابور واقع شده است. ارتفاع شهر از سطح دریا ۱۲۱۲ متر است. این شهر از مشهد ۱۲۲ کیلومتر و از سبزوار ۱۱۵ کیلومتر است که جاده منتهی به این شهر تنها جاده مستقیم خارج شده از نیشابور است. فاصله نیشابور با تربت حیدریه ۱۷۰ کیلومتر، با چناران ۱۹۶ کیلومتر، با قوچان ۱۸۲ کیلومتر و با درود ۲۴ کیلومتر است (طرح جامع نیشابور، ۱۳۹۴). در شکل ۱، موقعیت شهرستان نیشابور در استان و کشور، قابل مشاهده است.

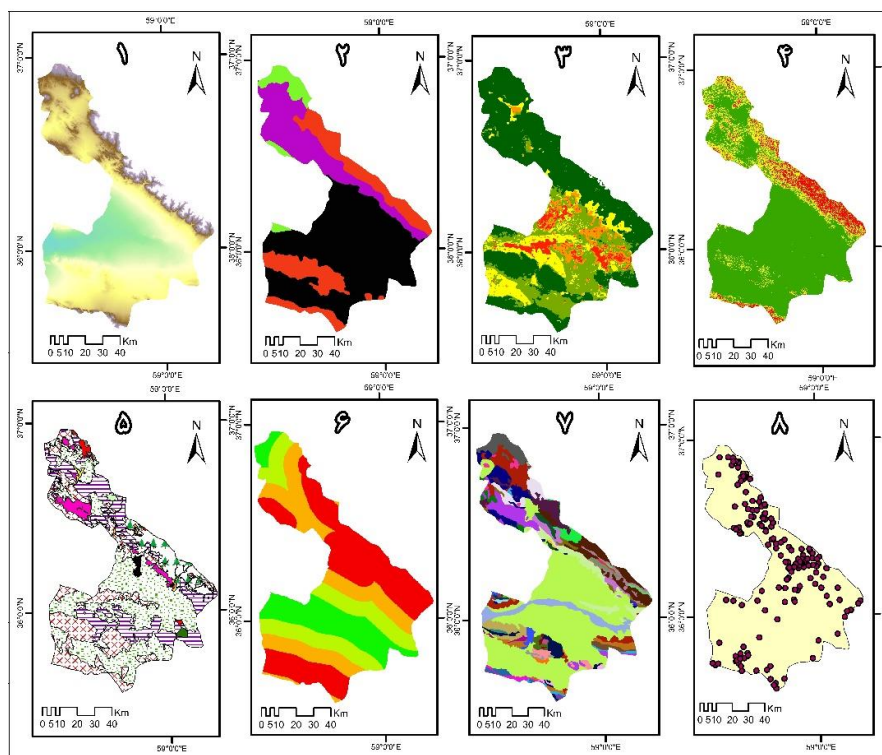
^۱. Weka



شکل ۱. نقشه منطقه مورد مطالعه (منبع: نگارندگان).

در شهرستان نیشابور، سه گسل فعال وجود دارد. این گسل‌ها حدود ۱۰۰ کیلومتر، در امتداد جنوبی کوه‌های بینالود گسترده شده‌اند. با توجه به شکل ۲، گسل بینالود و گسل شمال نیشابور، در ناحیه جنوبی کوه‌های بینالود قرار دارند و گسل نیشابور، در دامنه جنوبی کوه‌های البرز - بینالود، در ناحیه غربی شهر نیشابور واقع شده‌اند (Bakhshi et al., 2017). ساز و کار این گسل‌ها بیشتر از نوع فشاری است. گسل‌های فشاری، نسبت به گسل‌های عادی و راستا لغز پرنرژی‌تر هستند. گسل‌های فشاری دوره بازگشت طولانی‌تر و شتاب گرانشی در طول آن‌ها بیشتر است و می‌توانند زمین لرزه‌های بزرگ و شدیدی را ایجاد کنند. نزدیکی گسل نیشابور به شهر، گویای پتانسیل بالا در شکستگی است و همچنین ممکن است در آینده، یک خطر لرزه‌ای برای شهر داشته باشد (Fattahi et al., 2011).





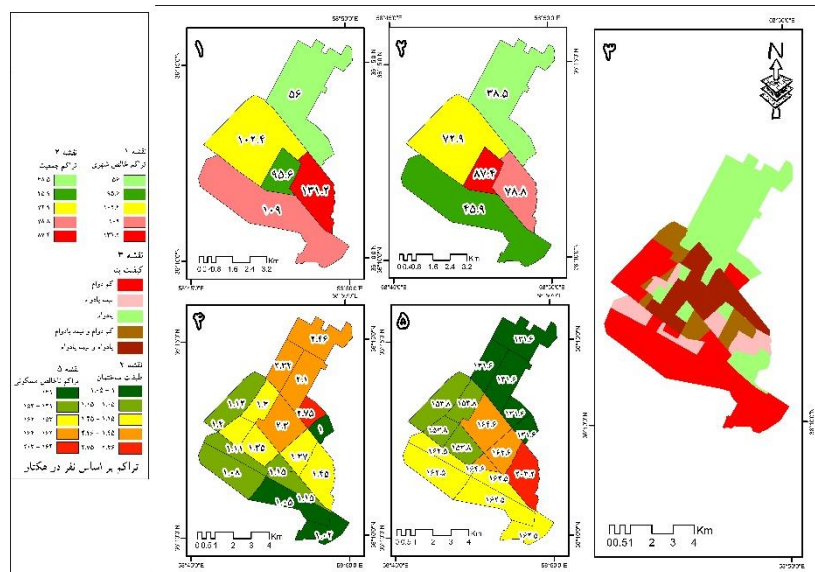
شکل ۳. نقشه موقعیت گسل‌های شهرستان نیشابور (پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور).

داده‌های مرتبط با شاخص عوامل طبیعی مؤثر در زمین لرزه؛ نقشه ۱. داده رقومی ارتفاعات (منبع: USGS). نقشه ۲. داده خاک‌شناسی شهرستان (منبع: سایت شهرنگار). نقشه ۳. عمق سنگ بستر شهرستان (منبع: پایگاه اطلاعاتی فائو). نقشه ۴. درجه شیب شهرستان (منبع: نگارنده). نقشه ۵. کاربری اراضی شهرستان (منبع: سایت شهرنگار). نقشه ۶. فاصله از گسل (منبع: نگارنده). نقشه ۷. سازندهای زمین‌شناسی شهرستان (منبع: پایگاه داده‌های زمین‌شناسی کشور). نقشه ۸. نقاط رخداد زلزله ۳۰ ساله شهرستان (منبع: مرکز لرزه‌نگاری کشور).

۲-۲- روش پژوهش

در این تحقیق، به منظور ارزیابی میزان آسیب‌پذیری خطر زلزله در شهر نیشابور، از الگوریتم‌های یادگیری ماشین استفاده شده است. از داده‌های مورد استفاده در این تحقیق می‌توان به دو شاخص عوامل طبیعی و عوامل انسانی اشاره کرد. داده‌های استفاده شده در عوامل طبیعی (شکل ۳) می‌توان به مدل رقومی ارتفاعات، عمق سنگ بستر، درجه شیب، زمین‌شناسی، فاصله از گسل، کاربری اراضی، خاک‌شناسی و کاتالوگ داده ۳۰ ساله زمین‌لرزه شهرستان نیشابور اشاره کرد. همچنین در عوامل انسانی (شکل ۴)، داده‌های تراکم جمعیت شهری، تراکم خالص شهری، تراکم ناخالص مسکونی، میانگین طبقات ساختمانی شهری و کیفیت ابنیه شهری مورد استفاده قرار گرفت.

تحقیق حاضر از نوع توصیفی - تحلیلی است. نوع تحقیق کاربردی است. شیوه جمع‌آوری داده‌ها، به صورت کتابخانه‌ای و میدانی بوده است. مهم‌ترین نرم‌افزارهای به کار رفته در این تحقیق، نرم‌افزار داده کاوی وکا، با هدف اجرای الگوریتم‌های یادگیری ماشین و نرم‌افزار Arc map، به منظور آماده‌سازی داده‌ها برای اجرای الگوریتم است. در بخش جمع‌آوری داده‌ها به صورت کتابخانه‌ای، نمونه تحقیق‌های صورت گرفته در زمینه کاربرد یادگیری ماشین در ارزیابی خطر زلزله، داده کاتالوگ زلزله‌های رخ داده در شهرستان نیشابور در بازه زمانی ۳۰ ساله، تصاویر و جدول‌های آماری، آمار مربوط به خصوصیات انسانی منطقه همچون تراکم جمعیت و ویژگی‌های طبیعی منطقه در قالب نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ از سازمان‌های مربوطه اخذ و مورد استفاده قرار گرفت. همچنین در جمع‌آوری داده‌ها به روش میدانی، به صحت‌سنجی داده‌های جمع‌آوری شده به صورت مشاهده‌ای، پرداخته شد.



شکل ۴. داده‌های مرتبط با شاخص عوامل انسانی مؤثر در شدت زمین‌لرزه؛ نقشه ۱. تراکم خالص شهری. نقشه ۲. تراکم جمعیت شهری. نقشه ۳. کیفیت ابنیه شهری. نقشه ۴. میانگین طبقات ساختمانی. نقشه ۵. تراکم ناخالص مسکونی (منبع: طرح جامع نیشابور).

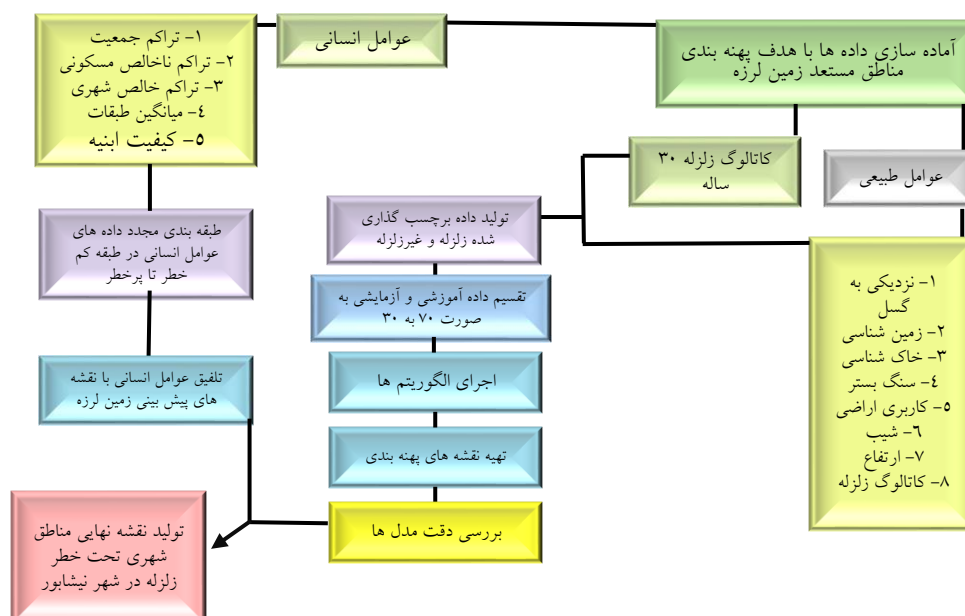
گام اول؛ گردآوری داده‌ها در نرم‌افزار GIS: در گام اول، داده‌های مورد نیاز در ارزیابی خطر زلزله، با استفاده از نظرات کارشناسان، شناسایی شد. سپس داده‌های مورد نیاز، از سازمان‌های مربوطه، مانند اطلاعات مربوط به ۳۰ سال زلزله رخ داده در شهرستان نیشابور، اخذ گردید. برخی دیگر از داده‌ها به روش کتابخانه‌ای و میدانی، گردآوری و صحت‌سنجی شدند. به طور کلی، در دسته عوامل طبیعی مؤثر در زلزله، ۸ معیار و در دسته عوامل انسانی، ۵ معیار مؤثر در شدت زلزله، شناسایی و گردآوری شدند. آن دسته از داده‌های جمع‌آوری شده در قالب اسناد، در نرم‌افزار GIS، رقومی‌سازی و به داده شیپ تبدیل شدند.

گام دوم؛ آماده‌سازی داده‌ها: در گام دوم، اطلاعات به دست آمده از کاتالوگ زمین‌لرزه‌های رخ داده در شهرستان نیشابور، با وارد کردن کاتالوگ به صورت فایل Excel، به نرم‌افزار مربوطه، به فرمت شیپ فایل درآمدند. در بازه زمانی ۳۰ ساله، شهرستان نیشابور، طبق اطلاعات به دست آمده از کاتالوگ، ۱۶۳ زمین‌لرزه بالای ۲/۵ ریشتر داشته است. در این بخش، به منظور تقسیم داده‌ها به دو بخش زلزله و بدون زلزله، به صورت ۰ و ۱، ۱۶۳ نقطه به صورت تصادفی، از نقاطی که زلزله در آن‌ها رخ نداده است، انتخاب گردید. این امر به منظور یادگیری دقیق‌تر الگوریتم یادگیری ماشین، انجام می‌شود. به طور کلی، ۳۲۶ نقطه از داده‌های زمین‌لرزه‌های رخ داده و رخ نداده در منطقه، به صورت ۰ و ۱، به دست آمد. در مرحله بعد، با استفاده از ابزار Extract Multi Values to Points، ۸ لایه شیپ فایل در بخش عوامل طبیعی (ارتفاعات، شیب، زمین‌شناسی و...)، در ۳۲۶ ادغام شدند. به طوری که هر نقطه، مقادیر هر ۸ لایه را در همان موقعیتی که قرار دارد، در جدول اطلاعات توصیفی خود قرار می‌دهد. در شکل ۵، می‌توان نمونه این عملکرد را مشاهده کرد. داده به دست آمده، به عنوان داده آموزشی (تعلیمی یا یادگیری)، مورد استفاده قرار می‌گیرد که در گام‌های بعدی به آن می‌پردازیم. ابزار Fishnet، در نرم‌افزار GIS، می‌تواند به صورت تصادفی در هر محدوده‌ای، نقاطی را در تعداد انتخابی کاربر ایجاد کند. این ابزار کاربرد زیادی در نمونه‌برداری تصادفی از مناطق مختلف دارد. در ادامه، با استفاده از این ابزار، تعداد نقاط ۷۰۳۹۰۳ نقطه، در محدوده شهرستان نیشابور، ایجاد شد. سپس، با استفاده از ابزار Extract Multi Values to Points، از ۸ لایه عوامل طبیعی به صورت تصادفی، نمونه‌برداری شد. در نتیجه، داده یادگیری و آزمایشی، برای اجرای الگوریتم‌های یادگیری ماشین آماده‌سازی شد و از جدول اطلاعات توصیفی نرم‌افزار، در فرمت Text، خروجی گرفته شد.

گام سوم؛ ورود داده‌های یادگیری به محیط داده کاوی و کا قبل از اجرای الگوریتم‌ها، نیاز به پیش پردازش داده‌ها است. در جدول اطلاعات توصیفی نرم‌افزار، داده ۰ و ۱ نقاط زلزله و غیرزلزله، انتخاب شدند و از بخش فیلتر، فیلد اطلاعاتی مورد نظر، از فرمت عددی، به فرمت باینری تبدیل شدند و از بخش ویرایش، فیلد موردنظر به عنوان طبقه اصلی معرفی شد. بنابراین ۷ طبقه داده‌های عوامل طبیعی به فرمت عددی ۰ و ۱ طبقه نقاط زلزله و غیرزلزله، به فرمت باینری تبدیل شدند.

گام چهارم؛ اجرای الگوریتم‌های یادگیری ماشین نظارت شده؛ پس از پیش پردازش و آماده‌سازی داده‌های یادگیری و آزمایشی، به نحوه اجرای الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌پردازیم. در علم یادگیری ماشین، برای انجام طبقه‌بندی با نظارت، باید داده‌ها برچسب‌گذاری شده باشند. به این منظور که این برچسب‌ها، الگوی رفتاری مابقی لایه‌های اطلاعاتی را یاد گرفته و در داده آزمایشی، پیاده‌سازی می‌کنند. در داده آزمایشی، داده ۰ و ۱ مناطق زلزله و بدون زلزله، اضافه نشده‌اند؛ زیرا در داده آزمایشی، مناطق زلزله و بدون زلزله باید پیش‌بینی شوند و الگوریتم به صورت اتوماتیک، بر اساس الگویی که از داده یادگیری گرفته است، نقاط ۰ و ۱ را پیش‌بینی و وارد داده کند. به این منظور، یک فیلد خالی به نام p، در داده این مطالعه ایجاد شد.

گام پنجم؛ ورود داده‌های خروجی گرفته شده از نرم‌افزار وکا به GIS و تبدیل نقشه؛ به طور کلی، نوع عملکرد داده کاوی و یادگیری ماشین نظارت شده، به این صورت است که ابتدا باید داده‌ها به دو قسمت یادگیری (آموزشی یا تعلیمی) و آزمایشی تقسیم شوند. وظیفه داده یادگیری، یادگیری رفتار داده‌های رقومی، بر حسب برچسب‌هایی است که به داده‌ها اعمال شده و وظیفه داده آزمایشی، پیاده‌سازی داده تعلیم دیده از الگوی رفتاری داده‌ها، در داده یادگیری است. داده خروجی گرفته شده در فرمت متنی، از حالت رقومی به نقاط فیش نت در نرم‌افزار GIS منتقل گردید. داده پیش‌بینی شده، ارقامی بین ۰ و ۱ هستند که هر چه به ۱ نزدیک‌تر باشند، آن قسمت بیشتر تحت خطر زلزله است و هر چه به ۰ نزدیک باشند، از خطر زلزله کاهش می‌یابد.

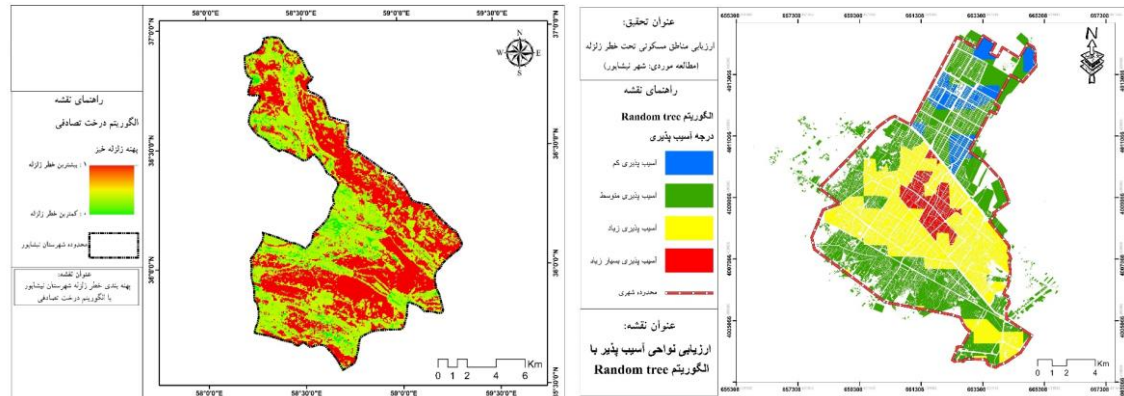


شکل ۵. مراحل انجام تحقیق (منبع: نگارندگان)

۳- یافته‌ها

۳-۱- الگوریتم

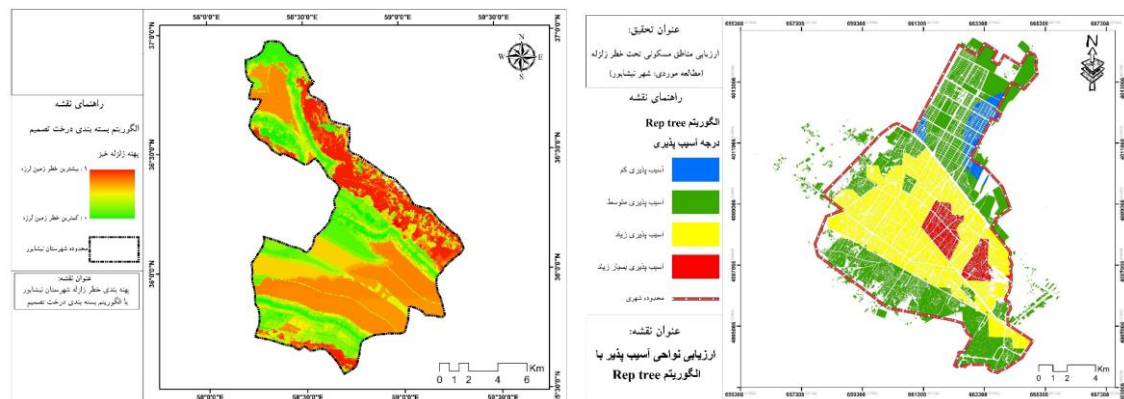
در شکل ۶، نقشه پیش‌بینی زمین‌لرزه شهرستان نیشابور با الگوریتم درخت تصادفی، در مدل پایه تصادفی نرم‌افزار وکا را مشاهده می‌کنیم که با دقت ۸۵/۷۱۴۳، طبقه‌بندی نقاط زلزله‌خیز انجام شده است. در شکل سمت راست، نتایج به دست آمده از الگوریتم اول، یعنی الگوریتم درخت تصادفی در مدل پایه تصادفی در محدوده شهری، حاکی از آن است که آسیب‌پذیری در حوالی مرکز شهر، بیشتر از نقاط دیگر است. یعنی در ناحیه شماره ۱۳ و بخش‌هایی از هسته اولیه شهر در نزدیکی مسجد جامع، زمین‌لرزه می‌تواند بسیار آسیب‌پذیر باشد. همچنین نواحی پیرامون آن در ناحیه ۱، ۲، ۳، ۵، ۸، ۹، ۱۲ و بخش‌هایی از نواحی ۱۱ و ۱۳، در محدوده آسیب‌پذیری زیاد در برابر زمین‌لرزه هستند؛ اما در نواحی جنوبی و شمالی شهر، آسیب‌پذیری زمین‌لرزه، متوسط رو به پایین است. به خصوص در برخی از نواحی شمالی شهر، آسیب‌پذیری کم‌تر از نقاط دیگر شهر است.



شکل ۶. نقشه ارزیابی آسیب پذیری شهر نیشابور (سمت راست) و شهرستان نیشابور (سمت چپ) در برابر خطر احتمالی زلزله، با استفاده از الگوریتم Random Committee با طبقه بندی Random tree (منبع: نگارندگان).

۳-۲- الگوریتم^۱

یکی دیگر از پهنه بندی های زمین لرزه شهرستان نیشابور است. در مدل Bagging نرم افزار وکا، با استفاده از الگوریتم درخت تصمیم Rep tree به دست آمده است. این الگوریتم، توانسته است که ۸۴٫۶۹۳۹ درصد از مجموعه داده را به طور صحیح، طبقه بندی کند. این طبقه بندی نشان می دهد که بیشتر مناطق کوهستانی و نزدیک به گسل، مناطقی که از عمق بیشتری در سنگ بستر قرار دارند و مناطقی که دارای خاک سست هستند، بیشتر تحت خطر زمین لرزه هستند. نتایج به دست آمده در الگوریتم دوم یعنی درخت تصمیم با مدل بسته بندی، حاکی از آن است که شهر نیشابور در هسته اولیه و اصلی شهر، در نواحی شماره ۱۳ و ۲ و در شرق نیشابور در ناحیه شماره ۳، در برابر زمین لرزه بسیار آسیب پذیر هستند. پس از آن، نواحی ۱، ۴، ۸، ۹، ۱۰، ۱۲ و بخش هایی از ناحیه ۱۳ که در پیرامون مناطق پرخطرند، از جمله نواحی با آسیب پذیری زیاد در برابر زمین لرزه هستند؛ اما نواحی جنوبی و شمالی شهر، در محدوده با آسیب پذیری متوسط هستند.



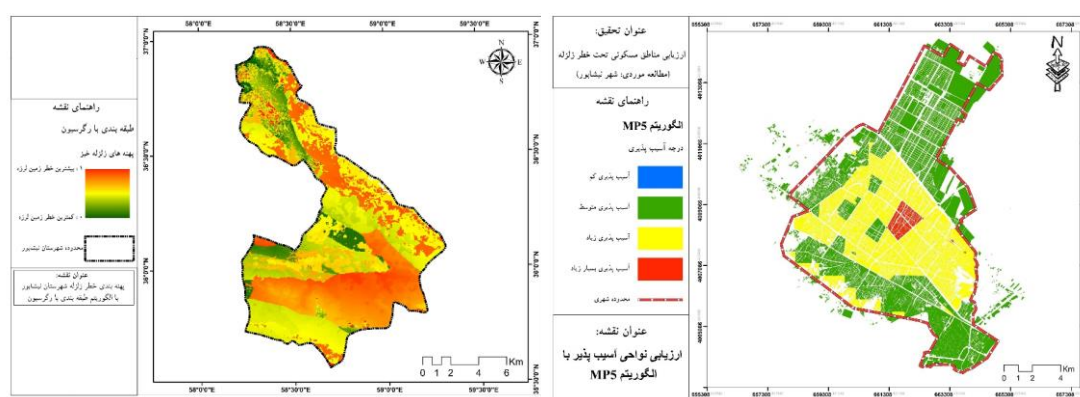
شکل ۶. نقشه ارزیابی آسیب پذیری شهر نیشابور (سمت راست) و شهرستان نیشابور (سمت چپ) در برابر خطر احتمالی زلزله، با استفاده از الگوریتم Bagging با طبقه بندی Rep tree (منبع: نگارندگان).

۳-۳- الگوریتم^۲

مدل ClassificationviRegression، یکی از مدل های دسته ابتکاری Meta در نرم افزاری وکا است. در این مدل، با استفاده از یکی از الگوریتم های درختی به نام MP5، که یک الگوریتم درختی رگرسیونی دودویی است، نقشه پهنه بندی خطر زمین لرزه شهرستان نیشابور به دست آمد. این الگوریتم، توانست ۸۴٫۶۹۳۹ درصد از داده مورد نظر را به درستی طبقه بندی کند. در این نقشه، با مقایسه با عوامل طبیعی مؤثر در زلزله، که به عنوان داده ورودی به نرم افزار داده کاوی معرفی شد، به خوبی می توان متوجه شد مناطقی که از

1. Rep tree
2. MP5

نظر سنگ بستر عمق بیشتر، از نظر زمین‌شناسی سازندهای رسوبی و آهکی و از نظر جنس خاک، خاک بیابانی و ریزدانه‌ای داشته‌اند، زمین‌لرزه بیشتر رخ داده است؛ بنابراین این نواحی می‌توانند در آینده هم از نقاط پرخطر محسوب شوند. در نتایج به دست آمده از الگوریتم سوم و ادغام عوامل شهری تأثیرگذار در آسیب‌پذیری از زمین‌لرزه، نتایج در شکل راست نشان می‌دهد که باز هم هسته اولیه شهر، اما در محدوده کوچک‌تر، در ناحیه شماره ۱۳ در حدود آسیب‌پذیری بسیار زیاد قرار دارد. در پیرامون آن، نواحی شماره ۱، ۲، ۳، ۸، ۹، ۱۰، ۱۲ و ۱۳ در طبقه آسیب‌پذیری زیاد قرار دارند. حتی در بخش‌های کوچکی از جنوب شهر هم می‌توان شاهد آسیب‌پذیری زیاد بود. بقیه نواحی شهر در محدوده وسیعی از شمال و جنوب شهر، در طبقه آسیب‌پذیری متوسط قرار دارند.

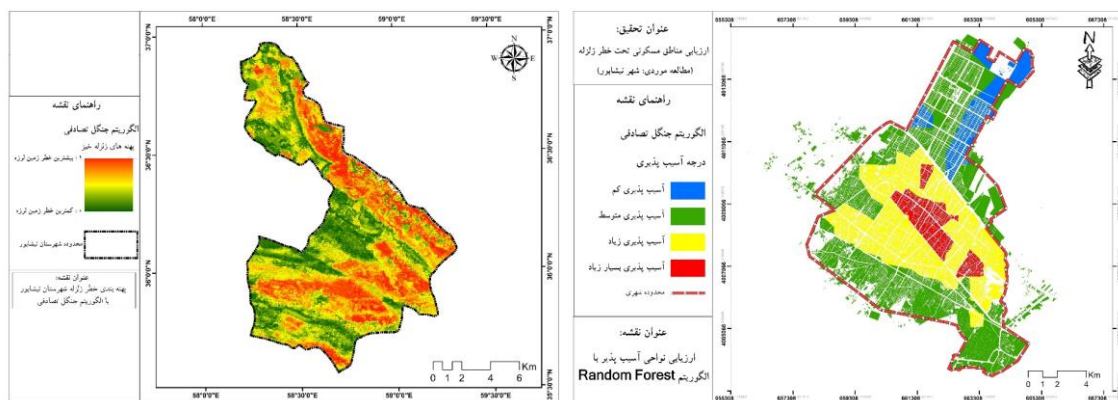


شکل ۷. نقشه ارزیابی آسیب‌پذیری شهر نیشابور (سمت راست) و شهرستان نیشابور (سمت چپ) در برابر خطر احتمالی زلزله، با استفاده از الگوریتم ClassificationViaRegression با طبقه‌بندی MP5 (منبع: نگارندگان).

۳-۳- الگوریتم^۱

در نرم‌افزار داده کاوی وکا، در بخش مدل‌های Trees، الگوریتم Random Forest، یکی از بهترین الگوریتم‌های یادگیری ماشین است. در این تحقیق، با استفاده از جنگل تصادفی، ۸۲/۶۵۳۱ درصد از داده‌ها، به شکل درست طبقه‌بندی شدند. میزان خطا در این مدل، کمتر از ۳ مدل قبلی است. در این مدل، همچنین نقاطی که زلزله در آن بیشتر رخ داده، بیشتر در یادگیری الگوریتم تأثیر داشته است. بنابراین با توجه به نتایج الگوریتم جنگل تصادفی، زمین‌لرزه در مناطق کوهستانی و نزدیک به گسل، مناطق با خاک سست، سازندهای زمین‌شناسی آهک و رسوب و مناطق با خاک ضعیف بیشتر رخ داده است و احتمال رخداد در آینده، در این نقاط بیشتر از نقاط دیگر است. در نتایج حاصل از الگوریتم چهارم و ادغام عوامل شهری تأثیرگذار بر درجه آسیب‌پذیری شهری، نواحی مرکزی شهری و هسته اولیه شهر در ناحیه شماره ۱۳، ناحیه شماره ۲ و ۳، در محدوده آسیب‌پذیری بسیار زیاد هستند. همچنین نواحی ۱، ۹، ۸، ۱۲ و بخش‌هایی از نواحی ۲ و ۳، در محدوده آسیب‌پذیری زیاد هستند. بیشتر نواحی جنوبی و غربی شهر نیشابور، و بخش‌هایی از شمال شهر، در محدوده آسیب‌پذیری متوسط هستند. همچنین ناحیه شماره ۱۶ و ۱۵ در شمال شهر، جزو مناطق با آسیب‌پذیری کم شناسایی شده‌اند.

1. Random Forest



شکل ۸. نقشه ارزیابی آسیب‌پذیری شهر نیشابور (سمت راست) و شهرستان نیشابور (سمت چپ) در برابر خطر احتمالی زلزله، با استفاده از الگوریتم Trees با طبقه‌بندی Random Forest (منبع: نگارندگان).

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر با هدف ارزیابی کردن نواحی تحت خطر و آسیب‌پذیر در برابر زمین لرزه، شهر نیشابور به عنوان شهری آسیب‌پذیر با ۴۲٪ مساحت شهری بسیار آسیب‌پذیر، شناخته شد. با توجه به یافته‌های به دست آمده از تحقیق، با وجود تلفیق ۸ عامل طبیعی در شدت زلزله، تعیین‌کننده نهایی آسیب‌پذیری شهری، وابسته به عوامل انسانی بوده است. همچنین، با ادغام ۵ عامل انسانی، با ۸ عامل طبیعی، پهنه‌بندی خطر در سطح شهر تغییرات محسوس داشته است؛ بنابراین، هر چند که عوامل طبیعی، در بزرگی زلزله نقش دارند، اما تعیین‌کننده نهایی آسیب‌پذیری شهری در برابر زلزله، عوامل انسانی درون شهر است. عواملی چون تراکم جمعیت، تراکم بافت، کیفیت ابنیه شهری، تراکم مسکونی و تراکم شهری، تعیین‌کننده نهایی آسیب‌پذیری شهری در برابر رخدادهای طبیعی است؛ بنابراین درست است که بگوییم رخدادهای طبیعی، در محیط انسان‌ساخت تبدیل به بلایای طبیعی می‌گردند و مطلقاً بالای طبیعی محسوب نمی‌شوند. طبق یافته‌های تحقیق، نزدیک به نیمی از مساحت شهر نیشابور (۴۲٪) و در مرکز آن، در محدوده پر خطر زلزله قرار دارد. از این دیدگاه پر خطر گفته می‌شود که در برابر زمین لرزه، بسیار آسیب‌پذیر است؛ بنابراین نیمی از مساحت شهر، در محدوده بسیار آسیب‌پذیر و پرخطر در برابر زمین‌لرزه قرار دارد. مرکز شهر نیشابور و نواحی پیرامون آن، از نظر کیفیت ابنیه متوسط رو به پایین است و در مرکز هسته اولیه شهر، کیفیت ابنیه بسیار کم است. همچنین مرکز شهر دارای بافت بسیار متراکم و تراکم کاربری مسکونی و دیگر کاربری‌ها است. به دنبال تراکم بالای مسکونی، تراکم جمعیت هم از میانگین کل شهر بالاتر است؛ بنابراین، نتایج به دست آمده از ارزیابی، با واقعیت وضع موجود شهر برابر و منطقی است. تحقیق حاضر را می‌توان با تحقیق‌های انجام شده چون کارمنوا و همکاران^۱ (۱۴۰۱) اشاره کرد که با استفاده از داده کاتالوگ زمین‌لرزه ۱۰ ساله جمهوری قزاقستان و الگوریتم‌های خوشه‌بندی یادگیری ماشین، به تولید نقشه‌های خطر زمین‌لرزه پرداختند. پرادان و همکاران (۱۴۰۰) که با در دست داشتن داده کاتالوگ زمین‌لرزه‌های رخ داده در شمال شرق هند و استفاده از روش‌های یادگیری ماشین عمیق توسعه یافته، به نقشه پهنه‌بندی زلزله در منطقه شمال شرق هند دست یافتند. ک. م. آفیم و همکاران (۱۳۹۵) که با استفاده از داده کاتالوگ زمین‌لرزه رخ داده در منطقه هندوکش و الگوریتم‌های طبقه‌بندی یادگیری ماشین، به تهیه نقشه توصیفی از پهنه‌های زلزله‌خیز پرداختند. ک. م. آفیم و همکاران (۱۳۹۸) که با داده کاتالوگ زمین‌لرزه‌های رخ داده در قبرس و روش‌های یادگیری ماشین، به پهنه‌بندی مناطق تحت خطر زلزله در آن منطقه پرداختند. تحقیقات یاد شده، از نظر روش‌های پیش‌بینی مناطق تحت خطر، به طور کلی با تحقیق حاضر همسان بوده و نتایج به دست آمده در تحقیق‌هایی که بدان اشاره شد، با تحقیق حاضر همسو بوده است. به طور کلی، روش‌های یادگیری ماشین، می‌توانند در تمامی زمینه‌های مسائل روز دنیا، مفید واقع شوند. تحقیق حاضر، به لحاظ پیش‌بینی مکان‌مند، می‌تواند با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین، دقت مورد توجهی را برای پیش‌بینی مخاطرات مختلفی چون سیل و زلزله انجام دهد. در تحقیق حاضر، به لحاظ حیاتی بودن پیش‌بینی زلزله، از آن نظر که پیش‌بینی در علم زلزله‌شناسی، امری مهم است، می‌تواند در برنامه‌ریزی شهری

¹. Karmenova

بسیار مفید باشد؛ زیرا با وقوع رخدادهای طبیعی چون زلزله که بشر از جلوگیری آن ناتوان است، هیچ واکنشی جز برنامه‌ریزی هدمند اقدامات پس از وقوع زلزله، نمی‌تواند آن طور که باید و شاید مفید باشد. بنابراین، شناسایی نواحی شهری آسیب‌پذیر در برابر زلزله، می‌تواند در زمینه برنامه‌ریزی پس از وقوع بسیار مفید باشد. همچنین قبل از وقوع زلزله، می‌توان با استحکام‌سازی بنا، پراکنده ساختن جمعیت متراکم با سیاست‌های مختلف و کاهش عوامل مؤثر در افزایش شدت زلزله در نواحی با آسیب‌پذیری زیاد، خسارات مالی و جانی زلزله تا حد چشمگیر کاهش داد. از طرفی، می‌توان در زمینه مدیریت بحران در نقاط بسیار آسیب‌پذیر شهری، در مدیریت صحیح و جلوگیری از فاجعه پس از وقوع زلزله، موفق شد. تحقیق حاضر، در صورت به کارگیری در سیاست‌های توسعه شهری می‌تواند مفید باشد. از این نظر که در ابتدا، ارزیابی و شناسایی مناطق پرخطر زمین لرزه در سطح شهرستان انجام شده است و اراضی پیرامون محدوده شهری تا کیلومترها، از منظر خطر زلزله، قابل بررسی است؛ بنابراین می‌توان با اعمال سیاست‌های جلوگیری از توسعه شهری در مناطق تحت خطر، از آسیب‌های احتمالی زمین لرزه در آن نقاط جلوگیری کرد و یک قدم به توسعه پایدار شهری، نزدیک شد. چه بسا که بسیاری از خسارات مالی و جانی در شهرهای مختلف کشور، در اثر توسعه شهری در نواحی پرخطر و بی‌توجهی به رخدادهای طبیعی بوده است. با استفاده از یافته‌های تحقیق حاضر، می‌توان برنامه‌ریزی‌های لازم و کاربردی را برای مرکز شهر نیشابور که در برابر زمین‌لرزه بسیار آسیب‌پذیر است و همچنین دیگر نقاط شهری که در محدوده خطر متوسط قرار دارند، در نظر داشت. اقداماتی که در این زمینه می‌توان انجام داد:

- ۱- جلوگیری از توسعه شهری به مناطق پرخطر زلزله با اجرای سیاست‌های سختگیرانه
- ۲- برنامه‌ریزی جهت استحکام سازی بناهای واقع شده در نواحی آسیب‌پذیر شهر
- ۳- برنامه‌ریزی در جهت اجرای سیاست‌های توزیع جمعیت عادلانه در فضای شهری.
- ۴- تا حد ممکن، جلوگیری از سکونت بیشتر و اجرای سیاست‌های تشویقی جابه‌جایی جمعیت در بلند مدت.
- ۵- اجرای سیاست‌های عقب‌نشینی در بافت‌های متراکم و درهم تنیده شهری.
- ۶- تنظیم برنامه‌های واکنش سریع در زمان وقوع شرایط بحرانی، به خصوص در مورد نواحی آسیب‌پذیر در مرکز شهر.

۵- سپاس‌گزاری

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه آقای مجید شجعی مقطع کارشناسی ارشد با عنوان «ارزیابی مناطق مسکونی تحت خطر زلزله با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و GIS (مطالعه موردی: شهر نیشابور)» است که با حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه حکیم سبزواری انجام شده است.

از مسئولین و نهادهای مختلف شهر نیشابور که در انجام این پژوهش یاری نمودند کمال تقدیر و تشکر را داریم.

۶- منابع

- احمدی، فریال؛ اسکندری نژاد، علیرضا (۱۴۰۰). ارزیابی میزان آسیب پذیری بافت مسکونی کلان شهر ساری در مخاطره طبیعی زلزله، فصلنامه آمایش محیط، ۱ (۵۲)، ۱ - ۱۸.
- بخشی، حسین؛ رخشانی مهر، مهراله؛ نوروزی، مسعود (۱۳۹۶). تحلیل خطر لرزه ای و تهیه نقشه هم شتاب شهرستان نیشابور، مجله مدل سازی در مهندسی، ۱۵ (۵۰)، ۲۱۱ - ۲۲۳.
- بولت، بروس ای (۱۳۸۸). زمین لرزه ها (هرمزی، احمد، مترجم). مرکز نشر دانشگاهی.
- پاشاپور، حجت‌الله؛ قربانی، رامین؛ فرهادی، ابراهیم؛ درودی نیا، عباس (۱۳۹۶). پهنه‌بندی خطر زلزله با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: کلان‌شهر تبریز)، فصلنامه آمایش محیط، ۱۲ (۴۵)، ۴۹ - ۶۹.
- خادم پور، فهیمه؛ خاشعی سیوکی، عباس؛ شهیدی، علی (۱۴۰۲). مقایسه مدل های IBK و M5 با روش های زمین آماری در کیفیت آب زیرزمینی، مجله هیدرولوژی، ۸ (۱)، ۵۱ - ۶۰.
- داده‌های پایگاه اطلاعاتی فائو (FAO)، گزارش نقشه عمق سنگ بستر.
- رنگزن، کاظم؛ کابلی زاده، مصطفی؛ کریمی، دانیال؛ منصورنجمی، ابراهیم (۱۳۹۵). پهنه بندی خطر پذیری زلزله و مکانیابی مناطق امن در زمان مخاطرات طبیعی با استفاده الگوریتم های هوش مصنوعی و GIS (مطالعه موردی: منطقه یک شهرداری کلان شهر اهواز)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۷ (۳)، ۴۹ - ۶۶.

سردار شیبانی، محمدرضا (۱۳۹۰). زمین لرزه و پی آمدهای آن. انتشارات آرسس.

سلیمانی مقدم، هادی؛ شجعی، مجید؛ تاج بخش، مهستی (۱۴۰۳). ارزیابی توزیع فضایی و سطح دسترسی ایستگاه های آتش نشانی شهر نیشابور با استفاده از تحلیل شبکه در GIS، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۱۵(۵۷)، ۸۵ – ۱۰۰.

سازمان زمین شناسی ایالات متحده (USGS)، مدل رقومی ارتفاعات شهرستان نیشابور.

شهرانگار، مرجع تامین و اشتراک دیتای مطالعات شهری – منطقه ای.

فتاحی، مرتضی؛ رستمی مهربان، سمیه؛ طالبیان، مرتضی؛ بحرودی، عباس؛ هالینگورث، جیمز؛ والکر، ریچارد (۱۳۹۰). بررسی فعالیت گسل نیشابور در استان خراسان، فصلنامه علمی علوم زمین، ۲۰(۷۹)، ۵۵ – ۶۰.

قنبری، ابوالفضل؛ سالکی ملکی، محمدعلی؛ قاسمی، معصومه (۱۳۹۲). پهنه بندی میزان آسیب پذیری شهرها در مقابل خطر زمین لرزه (نمونه موردی: شهر تبریز)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۲(۵)، ۲۱–۳۵.

لاله پور، منیژه؛ خیری زاده، منصور؛ ذاکری، مرتضی (۱۴۰۱). ارزیابی آسیب پذیری محلات شهری در برابر بحران زلزله (نمونه موردی: محلات شهر ورزقان) مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱(۳۱)، ۱–۲۴.

مهندسان مشاور رای فن (۱۳۹۴). مطالعات طرح جامع نیشابور (وضع موجود)، اداره کل راه و شهرسازی استان خراسان رضوی؛ مدیریت شهرسازی و معماری.

مرکز لرزه نگاری کشور. داده زمین لرزه های ثبت شده توسط ایستگاه های لرزه نگاری کشور در بازه زمانی ۳۰ ساله شهرستان نیشابور، تهران، دانشگاه تهران.

ناصری پور، علیرضا؛ اربابی سبزواری، آزاده؛ جودکی، حمیدرضا؛ سهرابی، معصومه (۱۴۰۰). ارزیابی میزان آسیب پذیری مسکن شهری در برابر بحران های محیطی با تاکید بر نقش مدیریت بحران (نمونه مورد مطالعه شهر باقر شهر)، پژوهش و برنامه ریزی شهری، ۱۲(۴۶)، ۱۳۰–۱۴۳.

References

- Ahmadi, Faryal; Eskandari Nejad, Alireza (2011). Assessment of the vulnerability of the residential fabric of Sari metropolis to natural earthquake hazards, *Environmental Engineering Quarterly*, 1 (52), 1 – 18. https://journals.iaui.ir/article_682771.html [In Persian]
- Asim, K. M., Martínez-Álvarez, F., Basit, A., & Iqbal, T. (2016). Earthquake magnitude prediction in Hindukush region using machine learning techniques. *Natural Hazards*, 85(1), 471–486. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2579-3>.
- Asim, K. M., Moustafa, S. S., Niaz, I. A., Elawadi, E. A., Iqbal, T., & Martínez-Álvarez, F. (2019). Seismicity analysis and machine learning models for short-term low magnitude seismic activity predictions in Cyprus. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 130, 105932. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105932>
- Bakhshi, Hossein; Rakhshani-Mehr, Mehraleh; Norouzi, Masoud (2017). Seismic hazard analysis and preparation of acceleration map of Neyshabur city, *Journal of Modeling in Engineering*, 15(50), 211 – 223. 10.22075/jme.2017.2562 [In Persian]
- Bolt, Bruce E. (2009). *Earthquakes* (Hormoz, Ahmad. Translator). University Publishing Center. [In Persian]
- FAO database data, Bedrock Depth Map Report. <https://www.fao.org/faostat/en/#home> [In Persian]
- Fattahi, Morteza; Rostami Mehraban, Somayeh; Talebian, Morteza; Bahroudi, Abbas; Hollingworth, James; Walker, Richard (2011). Investigation of the activity of the Neyshabur fault in Khorasan province, *Quarterly Journal of Earth Sciences*, 20(79), 55 – 60. <https://doi.org/10.22071/gsj.2018.55006> [In Persian]
- Ghanbari, Abolfazl; Saleki Maleki, Mohammad Ali; Ghasemi, Masoumeh (2013). Zoning the vulnerability of cities to earthquake risk (case study: Tabriz city), *Geography and Environmental Hazards*, 2(5), 21–35. 10.22067/geo.v2i1.15617 [In Persian]
- Hamdy, O., Gaber, H., Abdalzaher, M. S., & Elhadidy, M. (2022). Identifying exposure of urban area to certain seismic hazard using machine learning and GIS: a case study of Greater Cairo. *Sustainability*, 14(17), 10722. <https://doi.org/10.3390/su141710722>.
- Jena, R. (2021). Development of semi-quantitative earthquake risk assessment models using machine learning, multi-criteria decision-making, and GIS. <https://opus.lib.uts.edu.au/bitstream/10453/150778/2/02whole.pdf>

- Jena, R., Pradhan, B., Al-Amri, A., Lee, C. W., & Park, H. (2020). Earthquake probability assessment for the Indian Subcontinent using Deep Learning. *Sensors*, 20(16), 4369. <https://doi.org/10.3390/s20164369>.
- Jena, R., Pradhan, B., Beydoun, G., Alamri, A. M., Ardiansyah, N., Nizamuddin, N., & Sofyan, H. (2020). Earthquake hazard and risk assessment using machine learning approaches at Palu, Indonesia. *The Science of the Total Environment*, 749, 141582. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141582>
- Jena, R., Pradhan, B., Naik, S. P., & Alamri, A. M. (2021). Earthquake risk assessment in NE India using deep learning and geospatial analysis. *Geoscience Frontiers*, 12(3), 101110. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.11.007>
- Karmenova, M., Tlebalidnova, A., Krak, I., Denissova, N., Popova, G., Zhantassova, Z., Ponkina, E., & Györök, G. (2022). An Approach for Clustering of Seismic Events using Unsupervised Machine Learning. *Acta Polytechnica Hungarica*, 19(5), 7–22. <https://doi.org/10.12700/aph.19.5.2022.5.1>
- Khadempour, Fahimeh; Khashaei-Siouki, Abbas; Shahidi, Ali (2013). Comparison of IBK and M5 models with geostatistical methods in groundwater quality, *Journal of Hydrology*, 8(1), 51 – 60. 10.22034/hydro.2023.42801.1218 **[In Persian]**
- Lalehpour, Manijeh; Kheirizadeh, Mansour; Zakeri, Morteza (2012). Vulnerability assessment of urban neighborhoods against earthquake crisis (case study: neighborhoods of Varzeghan city) *Scientific Research Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(31), 1-24. 10.22111/jneh.2022.33931.1656 **[In Persian]**
- Li, B., Gong, A., Zeng, T., Bao, W., Xu, C., & Huang, Z. (2021). A zoning earthquake casualty prediction model based on machine learning. *Remote Sensing*, 14(1), 30. <https://doi.org/10.3390/rs14010030>.
- Naseripour, Alireza; Arbabi Sabzevari, Azadeh; Joudeki, Hamidreza; Sohrabi, Masoumeh (2017), Assessing the vulnerability of urban housing to environmental crises with emphasis on the role of crisis management (case study of Baghershahr city), *Urban Research and Planning*, 12(46), 130-143. 10.30495/jupm.2021.4244 **[In Persian]**
- Pashapour, Hojjatollah; Ghorbani, Ramin; Farhadi, Ebrahim; Daroudinia, Abbas (2017), Earthquake hazard zoning using geographic information system (case study: Tabriz metropolis), *Quarterly Journal of Environmental Planning*, 12(45), 49-69. https://journals.iau.ir/article_668103.html **[In Persian]**
- Rangzan, Kazem; Kabolizadeh, Mustafa; Karimi, Dania; Mansour Naeimi, Ebrahim (2016). Earthquake hazard zoning and locating safe areas during natural hazards using artificial intelligence and GIS algorithms (case study: District One of Ahvaz Metropolitan Municipality), *Geography and Environmental Planning*, 27(3), 49-66. SID. <https://sid.ir/paper/153216/fa> **[In Persian]**
- Ray Fan Consulting Engineers (2015), Neyshabur Master Plan Studies (Current Status), General Directorate of Roads and Urban Development of Khorasan Razavi Province; Urban Development and Architecture Management. <https://noandishaan.com/> **[In Persian]**
- Sardar Sheibani, Mohammad Reza (2011). Earthquake and its consequences. Arses Publications. **[In Persian]**
- Seismological Center of Iran. Earthquake data recorded by the country's seismological stations over a 30-year period, Neyshabur County, Tehran, University of Tehran. <https://fa.wikipedia.org/wiki> **[In Persian]**
- Shahrnagar, a reference for providing and sharing data for urban-regional studies. <https://www.shahrnegar.com/> **[In Persian]**
- Soleimani Moghadam, Hadi; Shojiei, Majid; Tajbakhsh, Mahasti (2014). Evaluation of spatial distribution and accessibility of fire stations in Neyshabur city using network analysis in GIS, *Geographical Studies of Arid Regions*, 15(57), 85 – 100. 10.22034/jargs.2024.435907.1084 **[In Persian]**
- United States Geological Survey (USGS), digital elevation model of Neyshabur city. <https://earthexplorer.usgs.gov/> **[In Persian]**