

تحلیل ریسک خطر زلزله در منطقه آذربایجان با استفاده از روش شبکه عصبی

میلاد فرشباف خلیلی^۱، سید جواد سید فتاحی^{۲*}، روزبه دبیری^۳

^۱ گروه مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، تبریز، ایران.
۰۹۰۱۳۲۵۲۷۸۰ milad_farshbaf@yahoo.com

^{۲*} گروه مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز، ایران.
۰۹۱۴۳۱۵۶۱۴۱- S.Sayyedfattahi@iaut.ac.ir

^{۳*} گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز، ایران.
۰۹۱۴۱۱۶۱- Rouzbeh_dabiri@iaut.ac.ir

چکیده. در این تحقیق پیش‌بینی زمین لرزه و تحلیل ریسک خطر در منطقه آذربایجان با استفاده از روش شبکه عصبی صورت گرفته است. رویکرد پیش‌بینی مبتنی بر استفاده از هوش مصنوعی بر پایه داده‌های زمین‌لرزه‌های صورت گرفته در زمانهای قبل در یک بازه ۱۰۰ ساله است. پنج ویژگی رویداد زمین‌لرزه از داده‌های سالهای قبل استخراج شده است. مدل پیش‌بینی زمین‌لرزه بر اساس پنج ویژگی انتخاب شده با سه الگوریتم مختلف با شبکه عصبی پیشخور ایجاد شده است. نتایج اعتبار سنجی نشانگر توانایی بالای مدل در پیش‌بینی زمین‌لرزه در منطقه مورد مطالعه است. نتایج حاصل از مدل‌های ایجاد شده جهت تحلیل ریسک خطر در منطقه آذربایجان استفاده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده منطقه آذربایجان مستعد وقوع زمین لرزه‌ای بالا است که لزوم رعایت دقیق استانداردها در ساخت و ساز بناها را می‌رساند. نتایج تحقیق حاضر نشان داده است که الگوریتم بیزین بهترین عملکرد را در پیش‌بینی خطر زلزله ارائه نموده است.

Abstract: In this research, earthquake prediction and hazard risk analysis in Azerbaijan region have been done using neural network method. The forecasting approach is based on the use of artificial intelligence based on seismic data from previous times over a period of 100 years. Five characteristics of an earthquake event are extracted from data from previous years. The earthquake prediction model is based on five selected features with three different algorithms with feed forward neural network. Validation results indicate the high ability of the model to predict earthquakes in the study area. The results of the created models have been used to analyze the risk in the region of Azerbaijan. According to the obtained results, the region of Azerbaijan is prone to high earthquakes, which necessitates strict observance of standards in the construction of buildings. The results of the present study show that the Bayesian algorithm has the best performance in predicting earthquake risk.

واژگان کلیدی: تحلیل خطر، زلزله، منطقه آذربایجان، هوش مصنوعی، شبکه عصبی.

Earthquake Risk Analysis in Azerbaijan Region Using Neural Network Method

Keyword: Risk Analysis, Earthquake, Azerbaijan Region, Artificial Intelligence, Neural Network.

۱-مقدمه: تبریز از شهرهای مهم صنعتی ایران با تراکم جمعیت بالا در منطقه آذربایجان قرار دارد که در جوار گسل شمال تبریز و یکی از پرخطرترین مناطق از نظر لرزه خیزی می باشد. عدم وقوع زلزله در سالهای اخیر در محدوده گسل تبریز، نشان از بی خطر بودن بودن این سامانه گسلی نیست. احتمال لغزش سرشتی (Characteristics) برای این سامانه گسلی بنابر نظر برخی از محققین وجود دارد. زمین لرزه های تاریخی بیشماری در در منطقه تبریز و آذربایجان رخ داده است. سه زمین لرزه ویرانگر ۱۰۴۲ میلادی با بزرگی ۷/۶، ۱۷۲۰ و ۱۷۸۰ میلادی با بزرگی ۷/۷ از جمله آنها هستند و با گسیختگی در طول گسل شمال تبریز همراه بودند [1]. با توجه به اینکه آخرین زمین لرزه تاریخی به نسبت بزرگ در سال ۱۷۸۰ میلادی یعنی حدود ۲۳۰ سال پیش رویداده است، وقوع زمین لرزه های متوسط تا بزرگ در آینده نزدیک در این منطقه محتمل است. از دیگر زمین لرزه های مخرب در این ناحیه، زمین لرزه دوگانه اهر- وورزقان هستند که در ۲۱ مرداد سال ۱۳۹۱ شمسی به وقوع پیوسته اند. طبق آمار رسمی، این زمین لرزه ها حدود ۳۰۰ نفر کشته و بیش از ۲۰۰۰ نفر مجروح در پی داشته اند و به چندین روستا خسارت های بالای

۵۰ درصد و حتی ۱۰۰ درصد وارد شده است. زمین لرزه دوگانه اهر- وورزقان نشان داد که زلزله خیزی در منطقه فقط محدود به گسل مهم تبریز نبوده و گسل های دیگر همچون گسل های بزغوش، مغان نیز می توانند سبب لرزه خیزی و آسیب در منطقه باشند. جهت ارزیابی تحلیل خطر زلزله در یک ناحیه در حالت کلی دو روش تعیینی و احتمالاتی موجود می باشد. در طریقه اول، میزان خطر زلزله و حداکثر شتاب سطحی به همراه بزرگای زلزله مستقل از زمان تعیین می گردد. در روش دوم، خطر زمین لرزه در یک ناحیه براساس روش احتمالاتی تعیین شده که تابع زمان می باشد. با توجه به عدم قطعیت هایی که در برآورد حداکثر شتاب سطحی و تحلیل خطر موجود است روش های مختلفی ارائه گردیده و بکار گرفته شده است. از جمله می توان به روشهای هوش محاسباتی اشاره کرد. روشهای هوش محاسباتی و آموزش ماشین دارای سابقه تاریخی وسیعی از موفقیت در زمینه های مختلف علمی است. که از این میان میتوان به پردازش سیگنال، بینایی ماشین، پیش بینی توان بار، حوزه های پزشکی و اقتصاد را نام برد. همه این موارد ذکر شده مسائل بسیار پیچیده و غیر خطی هستند. این گونه روشها در دهه های اخیر همچنین برای پیش بینی زمین لرزه ها

نیز استفاده شده اند. برای مثال میتوان به استفاده از روش های تحلیل شبکه عصبی [2]، تحلیل شبکه عصبی احتمالاتی [3]، فراگیری ماشین [4]، ماشین بردار پشتیبان [5] و تحلیل هوش محاسباتی اشاره نمود [2]. مدل ها و روش های پیش بینی و طبقه بندی مبتنی بر هوش محاسباتی عموماً به این صورت عمل می کنند که یک سری از مشخصات مانند پارامترهای لرزه ای را با در نظر گرفتن اهداف مربوطه مثلاً زمین لرزه را اخذ کرده و یک مدل هوشمند مبتنی بر این مجموعه داده برای پیش بینی زمین لرزه از این داده های لرزه ای ایجاد می کنند. با توجه به اینکه پارامترهای لرزه ای مختلف را می توان برای پیش بینی در نظر گرفت و همچنین برای نقاط مختلف مکانی میتوان پارامترهای مختلف را انتخاب کرد برای استفاده در تحقیق حاضر بعد از بررسی ویژگی های مختلف پنج ویژگی انتخاب و برای آموزش شبکه عصبی استفاده شده است. در این مطالعه سعی شده است با کاربرد روش تحلیل شبکه عصبی امکان پیش بینی حداکثر شتاب سطحی انجام گرفته و مقادیر بدست آمده برای تحلیل ریسک خطر زلزله استفاده شود. لازم به ذکر است در محدوده مورد مطالعه جهت تعیین میزان شتاب حداکثر سطحی مطالعات گسترده ای با روش های مختلف انجام یافته که می توان به تحقیقات صورت گرفته توسط دبیری در سال ۱۳۸۸ با کاربرد روش های آماری [6]، امیرانلو و همکاران در سال ۱۳۹۶ بر مبنای چشمه گسل محدود [7]، تاثیر بزرگنمایی و علیزاده و دبیری

در سال ۲۰۲۰ براساس آنالیز حساسیت و تئوری قابلیت اطمینان [8] و صاحبکرم و همکاران در سال ۲۰۲۱ براساس چشمه گسل محدود اشاره نمود [9]. در ادامه، ابتدا محدوده مورد مطالعه شرح داده شده و سپس به روش تحقیق انجام یافته اشاره می گردد.

۲- لرزه زمین ساخت محدوده مورد مطالعه

با توجه به مطالعه میرزایی و همکاران در سال ۱۹۹۸ میلادی [10]، با بررسی های داده های ژئوفیزیکی، زمین شناسی و تکتونیکی و نیز داده های لرزه خیزی، ایران به پنج بخش لرزه زمین ساختی تقسیم می گردد (شکل ۱). بر این اساس، بخشی از ناحیه مورد مطالعه در قسمت لرزه زمین ساختی البرز- آذربایجان که یک کمربند مهم لرزه خیز می باشد و شمال غرب تا جنوب دریای خزر را پوشش می دهد قرار دارد. گسل شمال تبریز، یکی از گسل های کواترنری است که الگوی لرزه خیزی آن موجب شده که این گسل مرز جدایش بخش های لرزه زمین ساختی البرز- آذربایجان و ایران مرکزی را تشکیل دهد [10]. در شمال غرب ایران، ساز و کار کانونی زمن لرزه ها که معرف گسل های امتداد لغز راست گرد هستند، همگرایی صفحه عربستان و اوراسیا را نشان میدهد. اگرچه گسل های امتداد لغز راست لغز جنوب شرقی ترکیه و شمال غرب ایران پیوسته نیستند، اما شامل چند گسل در امتداد یکدیگر و با این نحوه سازوکار هستند [11]. نحوه قرارگیری گسل های امتداد لغز در شمال غرب ایران (از جمله

گسل شمال تبریز، گسل اهر و زون های گسلش سلماس و مراغه) از یک الگوی مکانی در تغییر شکل منطقه پیروی می کند و به درک ما از فرآیندهای ژئودینامیکی ناحیه مورد مطالعه می افزاید [12]. گسل های فعال در منطقه شمال غرب ایران، واحد های سنگی پرکامبرین را جابجا کرده که نشان دهنده وجود این واحد سنگی در زیر خردده قاره شمال غرب ایران می باشد و همچنین واریانس تنش کلومب در حین گسیختگی یکی از گسل ها ممکن است باعث فعال شدن مجدد سایر گسل ها در منطقه شود [10].



شکل ۱: بخش های لرزه زمین ساختی ایران براساس مطالعات میرزایی و همکاران (۱۹۹۸).

۳- معرفی شهرستان تبریز و گستره طرح

تبریز کلانشهری در شمالغرب ایران و مرکز استان آذربایجان شرقی است. این شهر، بزرگترین قطب اقتصادی منطقه شمالغرب ایران و مناطق آذری نشین بوده و مرکز اداری، ارتباطی، بازرگانی، سیاسی، صنعتی، فرهنگی و نظامی این منطقه شناخته می شود. این شهر در طول جغرافیایی ۴۶/۲۶ درجه

و در عرض جغرافیایی ۳۸/۰۵۲ درجه واقع شده است (شکل ۲). تبریز در غرب استان آذربایجان شرقی و در منتهی الیه مشرق و جنوب شرق جلگه تبریز قرار گرفته است. این شهر از سمت شمال به کوه های پکه چین و عون بن علی، از سمت شمال شرق به کوه های گوزنی و باباباگی، از سمت شرق به گردنه پایان و از سمت جنوب به دامنه های رشته کوه سهند محدود شده است. تبریز از سمت شمال، جنوب و شرق به کوهستان و از سمت غرب به زمین های هموار دشت تبریز و شوره زارهای تلخه رود (آجی چای) محدود شده و به شکل یک چاله نسبتاً بزرگ یا یک جلگه بین کوهی درآمده است. ارتفاع این شهر از سطح دریا از ۱۳۴۸ متر در سهراهی مرند تا ۱۵۶۱ متر در محله زعفرانیه متغیر بوده و شیب عمومی زمین های تبریز به سمت مرکز شهر و سپس به سمت مغرب است. مسافت جاده ای بین این شهر تا اردبیل ۲۱۹ کیلومتر، تا زنجان ۲۸۰ کیلومتر، تا ارومیه ۱۴۹ کیلومتر و تا تهران ۵۹۹ کیلومتر است.

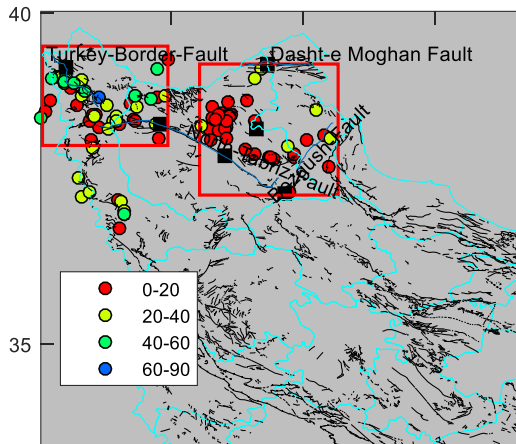


شکل ۲: گستره شهر تبریز و محدوده مورد مطالعه.

۴- جمع آوری کاتالوگ زلزله در گستره طرح

اطلاع از وضعیت زلزله های رخ داده در گستره طرح، پیش نیازی

شکل (۳): نقشه گسل های فعال آذربایجان.



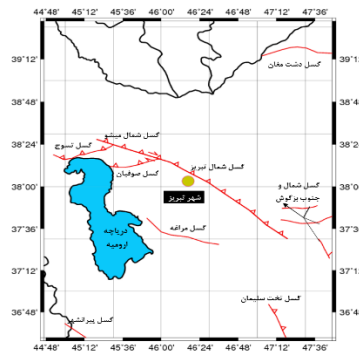
شکل ۴: نقشه موقعیت سرچشمه های لرزه خیزی به همراه فاصله وقوع زمین لرزه ها از مرکز شهر تبریز.

۵- روش پیش بینی زمین لرزه:

شکل (۵) نمایشگر روند مورد استفاده برای ایجاد مدل پیش‌بینی زمین لرزه است. همانطور که در بخش قبل اشاره شد برای محاسبه ویژگی‌های مورد استفاده از کاتالوگ‌های لرزه‌ای استفاده شده است. تمام ویژگی‌های بدست آمده نرمالیزه شده و وارد شبکه عصبی می‌شوند و لذا ورودی شبکه عصبی با توجه به ویژگی‌های محاسبه شده متغیر می‌باشد. بیشینه شتاب به وقوع پیوسته در هر زمین لرزه محاسبه و برای آزمون آماده می‌شوند. در نهایت اغتشاش سنجی شبکه صورت می‌گیرد تا اطمینان از اینکه داده‌های اعتبار سنجی از صحت خوبی برخوردارند، حاصل شود.



مهم جهت تعیین وضعیت لرزه خیزی یک منطقه است. بدین منظور لازم است که ابتدا، فهرستی از زلزله‌های رخ داده در گستره طرح همراه با ذکر مشخصات آنها تهیه شود که به چنین فهرستی کاتالوگ زلزله‌ها گفته می‌شود. نقشه گسل‌های فعال منطقه مطابق شکل (۳) قابل مشاهده می‌باشد. بطور کلی دو نوع کاتالوگ زلزله قابل تهیه است [1]، کاتالوگ زلزله‌های تاریخی و کاتالوگ زلزله‌های دستگاهی. زلزله‌های تاریخی به زلزله‌های قبل از سال ۱۹۰۰ اطلاق می‌شود و منظور از زلزله‌های دستگاهی، به زلزله‌های بعد از این تاریخ گفته می‌شود. در این تحقیق، مجموعه داده‌های لرزه خیزی در محدوده زمانی ۱۹۳۰ تا ۲۰۱۹ میلادی به شعاع ۱۵۰ کیلومتر از مرکز تبریز با بزرگای ۴ و بیش از ۴ از سامانه پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی انتخاب گردیدند. مجموع داده‌ها در زمانبندی اشاره شده برابر با ۲۳۴ زمین لرزه بود که پس از حذف پس لرزه‌ها و پیش لرزه‌ها از کاتالوگ، تعداد ۸۷ زلزله اصلی باقی ماند. محدوده مورد مطالعه شامل دو سرچشمه لرزه‌ای ناحیه‌ای شده است که در شکل (۴) قابل مشاهده است.



شکل (۵): فلوچارت روند کلی ایجاد مدل پیش‌بینی زمین‌لرزه

آستانه مورد انتخاب و به صورت $T = t_n - t_1$ تعریف می‌شود که در آن t_n عبارت است از زمان اتفاق افتادن رویداد n و t_1 عبارت است از زمان اتفاق رویداد اول [2].

همچنین صورت رابطه (۱) عبارت است از ریشه میانگین انرژی $E^{1/2} = \sum (10^{11.8+1.5M})^{1/2}$ که دامنه ریشتر توسط رابطه تجربی (۲) محاسبه شده است:

$$E = 10^{(11.8+1.5M)} \text{ ergs} \quad (2)$$

که در آن M ریشتر زمین لرزه است.

مشخصه دیگر عمق زمین لرزه بر حسب کیلومتر است. فاصله از گسل و فاصله از مرکز تبریز دو پارامتر دیگر انتخاب شده هستند که اهمیت هر کدام از آنها و تاثیر آنها در قدرت تخریب زمین لرزه مشخص است.

در نهایت پارامتر پنجم احتمال سالانه رخداد در منطقه است که تابع چگالی احتمال به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود:

$$a = 4.3 \quad b = 0.59 \quad M_0 = 4 \quad M_{\max} = 7$$

$$f_M(m) = \frac{b \exp(-b(M - M_0))}{1 - \exp(-b(M_{\max} - M_0))}$$

$$= \frac{0.59 \exp(-0.59(M - 4))}{1 - \exp(-0.59(7 - 4))}$$

$$= 0.71$$

$$\times \exp((-0.59(M - 4)) \quad (3)$$

۷- شبکه عصبی و آموزش آن:

شبکه‌های عصبی مصنوعی به صورت وسیعی در زمینه‌های مختلف علمی برای جداسازی، رگرسیون و اهداف تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرند. شبکه‌های عصبی مصنوعی در واقع عبارت است از یک معماری

۶- محاسبه ویژگی‌های لرزه‌ای و انتخاب آنها:

برای محاسبه ویژگی‌های لرزه‌ای عموماً باید تعدادی از داده‌های کاتالوگ حذف شود که شامل پیش‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌ها است. روش حذف این رخدادها بر مبنای مدت زمان وقوع آنها و گستره زمین لرزه می‌باشد. برای مثال زمین لرزه‌ای با بزرگای $4 < M < 5$ اگر بین ۱ الی ۷ روز و گستره ۰ الی ۵ کیلومتر اتفاق افتاده باشد باید از داده‌ها حذف شود. با این روند همانطور که در بخش چهار گفته شد ۸۷ زمین لرزه اصلی برای محاسبه ویژگی‌های مورد نظر استفاده شده است.

انرژی آزاد شده در هر رویداد یکی از ویژگی‌های لرزه مهم است. اگر آزاد شدن انرژی زمین لرزه متوقف شود در بازه زمانی طولانی شروع به ذخیره شدن در گسل شده و این وضعیت به عنوان دوران خاموشی لرزه‌ای نامیده می‌شود. انرژی ذخیره شده در گسل ممکن است توسط یک زمین لرزه بزرگ آزاد شود بنابراین این پارامتر به عنوان یک پارامتر پیش‌بینی ارزشمند شناخته می‌شود. نرخ میانگین مربع انرژی زمین لرزه توسط عبارت (۱) محاسبه می‌شود.

$$dE^{1/2} = \frac{\sum (10^{11.8+1.5M})^{1/2}}{T} \quad (1)$$

که در این رابطه T عبارت است از زمان سپری شده روی n رویداد با دامنه بزرگتر از

محاسباتی که شامل تعداد زیادی واحد بنام نرون است که به صورت ساختار لایه‌ای ایجاد می‌شود. هرکدام از لایه‌ها شامل نرون می‌شود که به نرون‌های لایه بعدی متصل هستند.

انواع مختلف شبکه عصبی برای اهداف گوناگون طراحی و توسعه پیدا کرده‌اند که هرکدام از آنها با توپولوژی (ساختار داخلی) و الگوی آموزشی آن مشخص می‌شوند. در این تحقیق از شبکه عصبی با پیشخور (feed forward neural network) برای تخمین و پیش‌بینی شدت زمین لرزه در ناحیه مورد مطالعه استفاده شده است. در این توپولوژی نرون‌ها در هر لایه به تمام نرون‌ها در لایه بعدی توسط اتصالات وزن دار متصل هستند. در واقع آموزش شبکه عصبی عبارت است از به روز کردن این وزن‌ها به صورت تکراری در فرایند آموزش است. از آنجا که نرون‌ها در این توپولوژی دارای هیچگونه اتصال داخلی و حلقه بازگشتی نیستند بنابراین امکان ذخیره حالت فعلی را ندارند و فقط سیگنال می‌تواند به جلو حرکت کند. در این روش از آزمون تحت نظارت استفاده شده است، به این صورت که بردار مشخصات زمین لرزه ورودی را ایجاد کرده و زمین لرزه واقعی در زمان بعدی به عنوان هدف خروجی مورد نظر را میدهد.

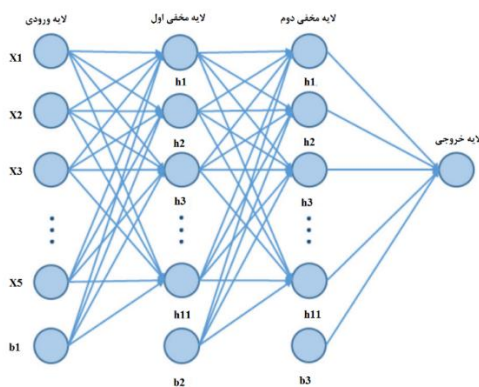
در این تحقیق از روش انتشار معکوس لونبرگ - مارکوارد Levenberg-Marquardt Back Propagation (LMBP) و روش بیزین (Bayesian Regularization) (و روش گرادیان مزدوج (scaled conjugate gradient)

استفاده شده است. در طول آموزش ویژگی‌ها در لایه ورودی به سمت لایه بعدی توسط اتصالات وزن دار انتقال می‌یابند. این داده پردازش شده در نهایت با گذر از لایه‌های مخفی به نرون خروجی میرسند. خطا بین خروجی شبکه و هدف واقعی محاسبه میشود و خطا بعداً به سمت عقب انتشار یافته و وزن لایه‌ها نتیجتاً به روز می‌شود. فرایند آموزش زمانی متوقف می‌شود که دیگر هیچ تغییری در به روز رسانی وزن‌ها ایجاد نشود. در روش لونبرگ، خطاها توسط الگوریتم لونبرگ به حداقل میرسند. همچنین تابع انتقال هر لایه، رفتار شبکه عصبی را مشخص میکند. تابع انتقال استفاده شده برای لایه مخفی اول و دوم به ترتیب tan-sigmoid و log-sigmoid می باشد که به ترتیب در روابط (۴) و (۵) نشان داده شده اند. و برای لایه خروجی نیز از تابع انتقال log-sigmoid استفاده شده است.

$$T_1(n) = \text{Tanh}(cn) = \frac{e^{cn} - e^{-cn}}{e^{cn} + e^{-cn}} \quad (4)$$

$$T_2(n) = \frac{1}{1 + e^{-cn}} \quad (7)$$

ساختار کلی شبکه در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل ۶: ساختار شبکه عصبی پیشخور FFNN مورد استفاده

تعداد وزن های نامعلوم w یا اتصالات سیناپسی در این ساختار شبکه عصبی، از رابطه (۸) بدست می آید.

$$W = (I + 1)H_1 + (H_1 + 1)H_2 + (H_2 + 1)O \quad (8)$$

که در آن I تعداد نرون های ورودی و O نرون خروجی، H_1 و H_2 نشانگر نرون های لایه مخفی اول و دوم شبکه عصبی می باشد. داده های ورودی ما بصورت ۸۷ نمونه از ۵ ویژگی می باشند. داده های هدف نیز ۸۷ نمونه از ۱ ویژگی (بیشینه شتاب سطحی) می باشد. مرحله اول آموزش شبکه عصبی می باشد. ۶۰٪ داده ها را بصورت تصادفی برای هدف آموزش انتخاب و بقیه داده ها یعنی ۲۰٪ جهت آزمایش و ۲۰٪ برای اعتبارسنجی انتخاب می شوند.

۸- نتایج و تحلیل داده ها:

آزمون آماری که بعد از استاندارد کردن داده ها انجام می شود یکی از مهم ترین آزمون ها بعد از پیش بینی شبکه عصبی می باشد. عملیات پیش بینی لرزه ای، بعنوان یک مسئله باینری انجام می پذیرد و تنظیمات، برای پیش بینی زلزله های با بزرگای ۴ و بیشتر انجام شده است. بطور کلی ۸۷ بردار ویژگی وجود دارد که ۶۰٪ نمونه جهت آموزش و بقیه آن جهت تست و اعتبارسنجی استفاده شده اند. در طول مدت آموزش در روش نظارت شده، هر دوی ورودی ها و خروجی های هدف، ارائه میشود.

وقتی برای بار اول مدل آموزش می بینند، میتوان آن را بر روی داده های غیر قابل مشاهده از گذشته، با عبور از بردارهای ویژگی، آزمایش کرد. نتایج بدست آمده برای داده های آموزشی و آزمایشی، قبلا توسط معیارهای ارزیابی عملکرد مورد آزمون قرار داده شده اند. معیار های عملکرد اولیه برای مسائل باینری طبقه بندی شده است که عبارتند از: مثبت واقعی (TP)، مثبت غیرواقعی (FP)، منفی واقعی (TN) و منفی غیرواقعی (FN). بعلاوه معیار های دیگری هم وجود دارند که با استفاده از چهار معیار بالا تعریف می شوند که عبارتند از: پارامتر S_n نشانگر نرخ پیش بینی مثبت صحیح توسط الگوریتم رابطه (۹). S_p نشانگر نرخ پیش بینی منفی صحیح توسط الگوریتم رابطه (۱۰). NPV, PPV به ترتیب عبارتند از نسبت نرخ مثبت صحیح به کل مثبت ها و نرخ منفی صحیح به کل منفی ها به ترتیب روابط (۱۱) و (۱۲).

$$S_n = \frac{TP}{TP + FN} \quad (9)$$

$$S_p = \frac{TN}{TN + FP} \quad (10)$$

$$PPV = \frac{TP}{TN + FN} \quad (11)$$

$$NPV = \frac{TN}{TN + FN} \quad (12)$$

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \quad (13)$$

برای یک الگوریتم مناسب که پیش بینی های قابل قبولی ارائه میدهد این پارامتر ها باید بالا باشند. پارامتر صحت رابطه (۱۳) معیار عمومی برای بررسی اکثر الگوریتم های

S_n	۰٫۹۵	0.97	۰٫۸۸
S_p	۰٫۷۵	0.95	۰٫۷۵
PPV	۰٫۹۲	0.98	۰٫۹۲
NPV	۰٫۸۳	0.90	۰٫۶۵
Accuracy	۰٫۸۸	0.94	۰٫۷۸
MCC	۰٫۷۶	0.88	۰٫۵۷
R	۰٫۷۶	0.88	۰٫۵۸

همانطور که قابل مشاهده است برای هر سه الگوریتم نتایج مناسب هستند و بین نتایج پیش‌بینی و مقادیر واقعی ارتباط قوی وجود دارد. البته در این میان الگوریتم BY بهترین جواب را بدست می‌دهد.

در نهایت نتایج بدست آمده از داده‌های اعتبار سنجی شبکه عصبی بزرگای پیش‌بینی شده با استفاده از روابط استاندارد جونیور-بور و رابطه کرنل تبدیل به بیشینه شتاب سطحی، متوسط شتاب سطحی و سرعت شده‌اند. در جدول (۲) تنها ریسک زمین لرزه هایی که در فاصله ۰ تا ۲۰ کیلومتری عمق زمین اتفاق افتاده اند را برای گسل های منطقه آذربایجان محاسبه و نمایش داده شده‌اند.

جدول (۳) مربوط به انجمن زلزله شناسی آمریکا که از زمین لرزه های سراسر جهان جمع آوری شده است که شتاب هر زمین لرزه را در حوضه سرعت افقی و انواع شدت پتانسیل تخریب ثبت شده. با توجه به این جدول ریسک تخریب برای گسل تبریز به شدت بالا است و باید طبق توصیه استاندارد ۲۸۰۰ راه و شهرسازی ویرایش چهارم موارد به دقت مورد نظر قرار گیرند.

پیش‌بینی است و طبق تعریف نسبت کل پیش‌بینی‌های درست (مثبت و منفی) به کل پیش‌بینی‌ها را حساب میکند و البته در حالتی که مجموعه داده ها غیرمتوازن باشد یعنی یک کلاس دارای نسبت فراوانی خیلی زیاد باشد معیار مناسبی نخواهد بود لذا برای اجتناب از نتایج اشتباه در این شرایط از پارامترهای دیگر برای ارزیابی استفاده میشود مانند مقادیر R و MCC که به ترتیب در روابط (۱۴) و (۱۵) نشان داده شده اند.

$$R = \frac{TP \times TN - FP \times FN}{(TP + FN)(FP + TN)} \quad (14)$$

MCC

$$= \frac{TP \times TN - FP \times FN}{\sqrt{(TN + FN)(TP + FP)(TP + FN)(TN + FP)}} \quad (15)$$

MCC و R بین ۱- و ۱ متغیر است. ۱+ نشانگر مدل پیش بینی کامل و ۱- بیانگر اختلاف کلی بین مقادیر پیش بینی و مقادیر حقیقی، و ۰ نشانگر تصادفی بودن تکنیک پیش بینی می باشد. محدوده تفسیر به این صورت است که نتایج در بازه 0.01-0.19 نشانگر ارتباط قابل صرف نظر کردن، در بازه 0.20-0.29 نشانگر رابطه مثبت ضعیف، محدوده 0.30-0.39 نشانگر ارتباط خوب و بیشتر از آن بیانگر ارتباط قوی بین نتایج پیش‌بینی و مقادیر حقیقی است. در این تحقیق برای سه الگوریتم اشاره شده نتایج ارزیابی پیش‌بینی ها در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱) نتایج ارزیابی سه الگوریتم مورد استفاده

	الگوری تم LM	الگوری تم BY	الگوری تم SCG
--	-----------------	-----------------	------------------

۹- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری:

همچنان که در بخش‌های گذشته اشاره گردید هدف از تحقیق حاضر استفاده از روش‌های هوش محاسباتی در جهت ارزیابی میزان ریسک و خطر وقوع زلزله در منطقه آذربایجان می‌باشد. بدین منظور تعداد ۸۷ زمین‌لرزه به شعاع ۱۵۰ کیلومتر به مرکز شهر تبریز جمع‌آوری و سپس با استفاده از سه الگوریتم انتشار معکوس لونبرگ - مارکوارد (Levenberg-Marquardt Back Propagation (LMBP) و روش بیزین (Bayesian Regularization) (scaled conjugate gradient) مدلی برای پیش‌بینی وقوع زمین‌لرزه ایجاد شد. نتایج بدست آمده نشان داد که هر سه این الگوریتم‌ها پیش‌بینی خوبی ارائه نمودند که در این میان الگوریتم BY بهترین عملکرد را دارد. همچنین در نگاه کلی می‌توان به این نتیجه رسید که گسل‌های منطقه آذربایجان سرعت‌های بین

۸/۱ تا ۳۴ متر بر ثانیه را دارا می‌باشند که پتانسیل تخریب این محدوده از شتاب کم، متوسط و متوسط رو به زیاد می‌باشند. همچنین باید در نظر داشت که با توجه به نوع سازه‌های این مناطق که اکثراً از مناطق روستایی تشکیل می‌شوند و خانه‌ها از دیواره‌های ضخیم با مصالح بنایی که با ملات‌های محلی ساخته شده‌اند و با یک سرعت ۸/۱ تا ۱۸ سانتی‌متر بر ثانیه می‌توانند کاملاً تخریب شوند. در ضمن سقف این نوع سازه‌ها از الوارهایی چوبی که هر ساله با مستحکم کردن آنها به وزنشان اضافه می‌شود تشکیل شده‌اند و ریسک تخریب آنها به هنگام خاصیت چکشی زمین‌لرزه بسیار بالا می‌باشد. در نهایت پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده از روش‌های فازی، عصبی-فازی و سایر روش‌های هوش مصنوعی جهت پیش‌بینی و ایجاد مدل‌های پیش‌بینی استفاده شود.

مراجع و منابع

1. Ambraseys, N. N., Melville, C. P. (1982). A history of Persian earthquakes, Cambridge, Cambridge University press, 219 pages.
2. A. Panakktat and H. Adeli. (2007). Neural Network Models for Earthquake Magnitude Prediction Using Multiple Seismicity Indicators. *International Journal of Neural Systems*, Vol. 17, No. 1, 13–33.
3. H. Adeli and A. Panakktat. (2009). A probabilistic neural network for earthquake magnitude prediction. *Neural Networks*, 22, 1018-1024.
4. K. Asim, M. Awais, F. M. Alvarez, T. Iqbal. (2017). Seismic activity prediction using computational Intelligence techniques in northern Pakistan. *Acta Geophysica*, 65, 919–930.
5. K. Asim, A. Idris, T. Iqbal, F. M. Álvarez. (2018). Earthquake prediction model using support vector regressor and hybrid neural networks. *PLOS ONE*, 13(7): e0199004.
۶. دبیری، روزبه، ۱۳۸۸، مطالعه مقدماتی لرزه ای و تحلیل خطر منطقه آذربایجان (مطالعه موردی شهر تبریز)، نشریه عمران ۲، سال اول، شماره اول، ص ۱۱-۱۴.
۷. امیرانلوی، هادی، پورکرمانی، محسن، دبیری، روزبه، قرشی، منوچهر، بوذری، سهیلا، ۱۳۹۶، محاسبه بیشینه شتاب لرزه ای گسل شمال تبریز با استفاده از شبیه سازی لرزه ای چشمه گسل محدود، فصلنامه علوم زمین، سال ۲۷، شماره ۱۰۵، ص ۱۹۳-۱۹۸.
8. M. Alizadeh Mansouri, and R. Dabiri. (2020). Evaluation of Soil Liquefaction Potential by Sensitivity Analysis, Reliability and Data validation. (Case Study: Tabriz City), *Engineering geology* (accepted)
9. A. Sahebkarlam Alamdari, R. Dabiri, R. Jani and F. Behrouz Sarand. (2021). Seismic zoning of Tabriz area by stochastic finite fault model considering site-specific soil effects. 44, 1, pp.1-13.
10. N. Mirzaei, M. Gao and Y. T. Chen. (1998). Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: Major Seismotectonic provinces; *J. Earthquake Prediction Researches*, 7, pp.465– 495.
11. J. Jackson. (1992). Partitioning of strikeslip and convergent motion between Eurasia and Arabia in Eastern Turkey and the Caucasus. *Journal Geophysics Research*, 97, pp.12471-12479.
12. K. Taghipour, M. Mahdi Khatib, M. Heyhata, E. Shabanian and A. Vaezihir. (2018). Evidence for distributed active strike-slip faulting in NW Iran: The Maragheh and Salmas fault zone. *Tectonophysics*, 742-743.

جدول (۲) ریسک تخریب زمین لرزه های با عمق کمتر از ۲۰ کیلومتر

گسل	عمق	متوسط بیشینه شتاب سطحی جونپور-بور	بیشینه شتاب سطحی جونپور-بور	متوسط بیشینه شتاب سطحی کرنل	بیشینه شتاب سطحی کرنل
گسل تبریز	۰ تا ۲۰ کیلومتر	0.046	0.131	0.0546	0.3482 = 34 cm/s
گسل دشت مغان	۰ تا ۲۰ کیلومتر	0.058	0.095	0.0519	0.0843 = 8.43 cm/s
گسل بزقوش	۰ تا ۲۰ کیلومتر	0.033	0.095	0.0285	0.0843 = 8.43 cm/s
گسل شمال آغ	۰ تا ۲۰ کیلومتر	0.019	0.023	0.0154	0.0195 = 2 cm/s

جدول (۳) ریسک شتاب در حوضه سرعت افقی طبق برآورد انجمن زلزله شناسی آمریکا

Instrumental Intensity	Acceleration (g)	Velocity (cm/s)	Perceived shaking	Potential damage
I	< 0.0017	< 0.1	Not felt	None
II-III	0.0017 – 0.014	0.1 – 1.1	Weak	None
IV	0.014 – 0.039	1.1 – 3.4	Light	None
V	0.039 – 0.092	3.4 – 8.1	Moderate	Very light
VI	0.092 – 0.18	8.1 – 16	Strong	Light
VII	0.18 – 0.34	16 – 31	Very strong	Moderate
VIII	0.34 – 0.65	31 – 60	Severe	Moderate to heavy
IX	0.65 – 1.24	60 – 116	Violent	Heavy
X+	> 1.24	> 116	Extreme	Very heavy