

Research Paper

Application of artificial neural network, frequency ratio and evidential belief function models in preparing of flood susceptibility map in Haraz watershed: A plan for urban flood risk studies

Himan Shahabi^{1*}

1. Assistance professor, Department of Geomorphology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
(Board Member of Department of Zrebar Lake Environmental Research, Kurdistan Studies Institute, University of Kurdistan)

Received: 2020/05/17

Accepted: 2020/07/03

PP: 181- 202

Use your device to scan and read the article online



Keywords:

Data mining, Artificial neural network, Evidential belief function, frequency ratio, Urban flood risk.

Abstract

In this study, artificial neural network (ANN), frequency ratio (FR) and evidential belief function (EBF) methods were used to prepare the flood susceptibility map. For this purpose, the parameters of ten, slope, land curvature, topographic moisture index, distance from river and geology and type of lands in Haraz watershed in Mazandaran province were performed. Eleven conditioning factors including slope, land curvature, distance to river, river density, elevation, rainfall, stream power index (SPI), topographic wetness index (TWI), lithology, land use and normalized difference vegetation index (NDVI) were used in Haraz watershed in Mazandaran province. In addition, 211 floodplains were located in the area. The points were randomly divided into groups of 151 points (70%) and 60 points (30%) for training and validation, respectively. Furthermore, the probability of flooding for each class of each factor was calculated. Hence, the weights obtained for each class in the Geographic Information System (GIS) were applied in the respective layers, and the flood susceptibility maps of the study area were obtained. Based on the flood susceptibility map, the area was divided into 5 classes with very high, high, medium, low and very low sensitivity. These methods were evaluated by area under the curve (AUC) method. The results indicate that the lower and near elevation to river have a high probability and sensitivity to flooding. The results of the current study showed that the frequency ratio (AUC = 0.97) and evidential belief function (AUC = 0.94) and artificial neural network (AUC = 0.87) methods had the highest accuracy in predicting flood occurrence, respectively. The results suggest that these models can be useful and reliable in predicting flood risk potential, especially in different areas, including urban spaces, due to their high efficiency.

Citation: Himan Shahabi. (2021): Application of artificial neural network, frequency ratio and evidential belief function models in preparing of flood susceptibility map in Haraz watershed: A plan for urban flood risk studies. *Journal Research and Urban Planning*, Vol 12, No 45, PP 181- 202

DOI: 10.30495/JUPM.2021.4245

Corresponding author: Himan Shahabi

Address: Assistance professor, Department of Geomorphology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Tell: 09371611038

Email: h.shahabi@uok.ac.ir

Extended Abstract

Introduction:

To prevent, control and control floods and Prevention of possible damages, areas with high flood potential first should be considered and foremost identified and then Identify the factors that produce and create floods. In this regard, the level of flood-prone and flood-prone areas in the country has increased and Many cities, villages, industrial and agricultural facilities and residential areas They are at risk of flooding. In the event of a flood There are many factors involved. Generally Climatic factors, regional factors and human factors play a role in creating floods. Climatic factors can be He pointed to Dry area, heavy rainfall and relatively short continuity. One of the most important factors in the field can be mentioned Geological condition, vegetation, basin area, basin shape and form, basin slope and focal point. Also human intervention in the natural water cycle via Destruction of vegetation in watersheds, Irregular land use, Development of impenetrable levels and the like Increased the likelihood of flooding in various areas. In Sail management, some of these factors are controllable and In design, flood control They need more attention.

Due to the increasing trend of floods in the country and the growing negative effects of its occurrence in the northern parts of the country, its necessary to reduce the risk of loss of life, property and environmental risk, Necessary measures should be considered. among the various watersheds in the north of the country, in this study, Haraz watershed has been selected as the study area That The reason for choosing it on the one hand It is located and adjacent to key cities in the north of the country, including The cities of Amol, Mahmoud Abad, Babol, Babolsar, Ghaemshahr, Sari, Pol-e Sefid, Shirgah, Neka, Behshahr, Galugah and Bandar-e-Gaz and also Hundreds of rural points and thousands of hectares of agricultural and garden lands and Part of the road along the Caspian Sea (Rasht to Gorgan) and Parts of the mountainous roads of Amol to Tehran and Ghaemshahr to Tehran in this

basin and on the other hand There has been a growing flood in recent years in this geographical area that Numerous social, economic and environmental damages and challenges. So these are the reasons The preparation of a flood susceptibility map in the Haraz watershed makes it even more necessary. according to the above and Description of flood hazards in the northern regions of the country, the questions in this study are: What are the most dangerous parts of Haraz watershed in terms of flood sensitivity? Efficiency of which of the artificial neural network models, Frequency ratio and Is the function of definitive evidence more to prepare a flood susceptibility map in Haraz watershed?

Methodology

Current research in terms of purpose Is a type of applied research and done by quantitative method. According to the objectives of the research, the required data Has been collected from the relevant organizations and organs (Regional Water Company, Natural Resources Department, etc.) and to analyze this data Used the ArcGIS software. Overall, the research process is as follows First Prepared List of past floods in the study area and so on has been identified Effective parameters in flood occurrence and using Three models of definite evidence function (EBF), frequency ratio (FR) and artificial neural network (ANN), A flood sensitization map of Haraz watershed has been prepared. The following is a review Model Validation Using the ROC curve.

Results and discussion

The weights obtained in each method, for each class of each factor Applied in Geographic Information System (GIS) and Flood susceptibility maps were prepared for Haraz watershed. Flood susceptibility maps Launched in ArcGIS10.3 software environment in five classes, the sensitivity is very low, low, medium, high and very high. In order to assess the accuracy of the flood prediction map, 60 flood events were used (Experimental data) Related to previous courses and These events have not been entered to predict flood potential in probabilistic models. Given that the area below the curve for the model, the frequency ratio is 0.97 So this model is more efficient Definitive

Evidence for Model Function Models (0.93) and The neural network is artificial (0.78).

Conclusion

The present study is done with the aim of preparing a map of the possibility of floods in the watershed of Haraz and Evaluate the efficiency of frequency-ratio models, the function of definitive evidence, and the artificial neural network in the preparation of flood susceptibility maps. To do this, 201 flood points were recorded and 141 Flood situation for modeling and 60 positions were set aside for model validation. To prepare these maps, the first step is to prepare the factors that affect the occurrence of floods. The findings of this study indicate the accuracy of the probability frequency ratio model in identifying areas with flood susceptibility in Haraz watershed in Mazandaran province. Therefore, the use of probability frequency model It is useful and reliable in assessing the risk of flooding. But since The accuracy of predicting models of definite evidence and artificial neural networks is also acceptable. These methods can also be used, but in general, the frequency ratio has a higher accuracy in predicting flood areas. In the maps produced, Parts with low and low elevation classes Exit area, they have the highest amount of tracking. generally, Areas with low elevation and low slope, they are most likely to be flooded. The predictive results also showed that Slope parameters, height, land curvature, lithology, land type, river distance,

river carrying capacity and topographic moisture index are influential on Potential flooding potential and using them is useful in probabilistic models, flood potential assessment.

Flood formation mechanism and landslide flooding in the form of spatial analysis, it can be extended to other parts of the watershed. The approach presented in this research in fact, some variables affecting the occurrence of floods have been used Which are very important in the flood risk prediction map in the study area which can be used using the results of these maps, He took appropriate management measures to reduce the damage and casualties caused by the floods. To be careful in predicting flood occurrence It is necessary to use other machine learning models or a combination of these models Which will increase the accuracy of the flood prediction. The above findings, in addition to having practical and operational aspects for management devices and institutions in particular, the Crisis Management Headquarters of the northern provinces of the country, can be used as a suitable template, By researchers and those interested in flood urban crisis management planning. Prepare a hybrid susceptibility map for multiple hazards (Flood, earthquake, drought, etc.) Using hybrid models for the study area and other watersheds of the country Especially in areas with high urban population density. Recommended as a basis for future studies.

مقاله پژوهشی

کاربرد مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، نسبت فراوانی و تابع شواهد قطعی در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در حوزه آبخیز هراز: الگویی برای مطالعات مخاطرات سیلاب شهری

هیمن شهابی^۱

۱. گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

چکیده

در این تحقیق برای تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در حوزه آبخیز هراز در استان مازندران از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، نسبت فراوانی (FR) و تابع شواهد قطعی (EBF) استفاده شده است و برای دستیابی به هدف پژوهش از ده پارامتر موثر در وقوع سیلاب از قبیل شیب، انحنای زمین، فاصله از رودخانه، طبقات ارتفاعی، بارش، شاخص توان رودخانه (SPI)، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، لیتولوژی، کاربری اراضی و شاخص تفرق پوشش گیاهی ($NDVI$) استفاده گردید. همچنین، موقعیت جغرافیایی ۲۱۱ نقطه سیل‌گیر در منطقه تهیه شده و نقاط به صورت تصادفی به گروه‌هایی متشکل از ۱۵۱ نقطه (۷۰٪) و ۶۰ نقطه (۳۰٪) به ترتیب برای واسنجی و اعتبارسنجی تقسیم شده‌اند. سپس احتمال رخداد سیل برای هر کلاس از هر پارامتر محاسبه گردید. وزن‌های محاسبه شده برای هر کلاس در سیستم اطلاعات جغرافیایی در لایه‌های مربوطه اعمال گردیده و نقشه‌های حساسیت به وقوع سیل منطقه مورد مطالعه به دست آمد. براساس نقشه پتانسیل سیل‌خیزی، منطقه به ۵ کلاس با حساسیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم گردید. روش‌های مذکور توسط روش منحنی مشخصه عملکرد سیستم (AUC) ارزیابی شدند. نتایج حاکی از آن است که طبقات ارتفاعی پایین و نزدیک رودخانه دارای احتمال و حساسیت بالایی نسبت به وقوع سیل می‌باشند. همچنین نتایج نشان داد که تکنیک نسبت فراوانی ($AUC=0.97$)، تابع شواهد قطعی ($AUC=0.94$) و شبکه عصبی مصنوعی ($AUC=0.87$) به ترتیب اولویت، دارای بیشترین دقت در پیش‌بینی وقوع سیل بوده‌اند. از این رو مدل‌های مذکور به منظور پیش‌بینی پتانسیل خطر سیل به‌ویژه در نواحی مختلف از جمله فضاهای شهری به دلیل کارایی بالا، می‌تواند مفید و قابل اعتماد باشند.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۲

شماره صفحات: ۲۰۲۰-۱۸۱

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید.



واژه‌های کلیدی:

داده‌کاوی، شبکه عصبی مصنوعی، تابع شواهد قطعی، نسبت فراوانی، مخاطرات سیلاب شهری.

استناد: هیمن شهابی (۱۴۰۰): کاربرد مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، نسبت فراوانی و تابع شواهد قطعی در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در حوزه آبخیز هراز: الگویی برای مطالعات مخاطرات سیلاب شهری، فصلنامه پژوهش و برنامه ریزی شهری، سال، ۱۲، شماره ۴۵، صص ۲۰۲۰-۱۸۱.

DOI: 10.30495/JUPM.2021.4245

* نویسنده مسئول: هیمن شهابی

نشانی: گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تلفن: ۰۹۳۲۱۶۱۱۰۳۸

پست الکترونیکی: h.shahabi@uok.ac.ir

مقدمه :

حدود ۲۸ روستا در بخش چهاردانگه با مساحت ۸۰ هکتار تخریب و در بخش کلیجانرستاق حدود ۱۵۰ هکتار زمین کشاورزی تخریب شد. پس با توجه به خسارات و ضرر و زیان سیلاب‌ها تشخیص و تعیین مناطق حساس ضروری می‌باشد (Khosravi et al, 2018).

برای پیشگیری، مهار و کنترل سیل و جلوگیری از خسارات احتمالی باید در درجه اول مناطقی که پتانسیل بالایی در تولید سیل دارند، تعیین و سپس عوامل تولید و ایجاد سیل شناسایی شوند (Talebi et al, 2019: 337). از این نظر سطح مناطق سیل‌خیز و سیل‌گیر در کشور فزونی یافته و بسیاری از شهرها، روستاها، تاسیسات صنعتی و کشاورزی و اماکن مسکونی در معرض خطر سیل‌گیری قرار گرفته‌اند. در وقوع سیلاب عوامل زیادی دخیل می‌باشند. به‌طور کلی عوامل اقلیمی، عوامل حوزه‌ای و عوامل انسانی در ایجاد سیل نقش دارند. از عوامل اقلیمی می‌توان به خشک بودن منطقه، بارش رگباری با شدت زیاد و تداوم نسبتاً کوتاه اشاره کرد. از مهم‌ترین عوامل حوزه‌ای می‌توان به وضعیت زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، مساحت حوضه، شکل و فرم حوضه، شیب حوضه و نقطه تمرکز اشاره کرد (Esfandiary Darabad et al, 2019: 156). همچنین دخالت انسان در چرخه طبیعی آب از طریق تخریب پوشش گیاهی در عرصه‌های آبخیز، کاربری غیراصولی اراضی، توسعه سطوح غیرقابل نفوذ و امثال آن احتمال سیل‌خیزی را در مناطق گوناگون افزایش داده است (Khosroshahi, 2016: 59). در مدیریت سیل برخی از این عوامل قابل کنترل هستند که در طرح‌های کنترل سیل بیشتر باید آنها را مد نظر قرار داد.

با توجه به روند افزایشی وقوع سیلاب در سطح کشور و اثرات فزاینده منفی وقوع آن در بخش‌های شمالی کشور، لازم است برای کاهش خسارت جانی و مالی و زیست‌محیطی این مخاطره، تدابیر لازم اندیشیده شود. در میان حوزه‌های آبخیز مختلف شمال کشور، در این مطالعه حوزه آبخیز هراز به عنوان محدوده مطالعاتی انتخاب شده است، که دلیل آن از یک طرف قرارگیری و مجاورت شهرهای کلیدی شمال کشور از جمله شهرهای آمل، محمودآباد، بابل، بابلسر، قائمشهر، ساری، پل سفید، شیرگاه، نکا، بهشهر، گلوگاه و بندرگز و همچنین صدها نقطه روستایی و هزاران هکتار

امروزه شهرنشینی به صورت یک مسأله مهم و پیچیده در سطوح مختلف برنامه‌ریزی فضایی ظهور کرده و افزایش سریع آن در دهه‌های اخیر برنامه‌ریزان را بر آن داشته است که به مسائل مختلف آن در ابعاد زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی توجه بیشتری معطوف نمایند و درصدد باشند تا محیط مناسب و سرزنده‌ای را برای ساکنان آن فراهم آورند (Shamsoddini and Nasibi, 2019: 86). با این وجود در حال حاضر جهان با مخاطرات بی‌سابقه‌ای مواجه است به طوری که در حد فاصل سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۳، به‌طور متوسط هر سال ۲۵۵ میلیون نفر در معرض مخاطرات طبیعی قرار گرفته‌اند (Porhemmat, 2016: ۱). در میان انواع مخاطرات طبیعی، سیلاب یکی از حوادث طبیعی است که بسیاری از کشورها با آن مواجه هستند و هر ساله موجب خسارات جانی و مالی قابل توجهی در دنیا می‌شود (Nozari et al, 2017: 806).

همواره طغیان آب و سرازیر شدن سیل به اماکن مسکونی، از جمله حوادث طبیعی شایع در ایران پس از زلزله است که حیات جامعه بشری را به مخاطره می‌اندازد. هر ساله در شهرهای شمالی ایران از قبیل استان‌های مازندران، گیلان و گلستان سیل‌های مهیبی رخ می‌دهد. با توجه به وقوع این سیل‌ها مکان‌های با بیشترین پتانسیل برای وقوع سیل (مناطق حساس) باید قبل از برنامه‌ریزی توسط نقشه‌های حساسیت به وقع سیل مشخص گردند (Smith, 2001) تا خسارات جانی و مالی ناشی از سیلاب‌های آتی را کاهش داد (Korn, 2002).

تکرار وقوع سیل در استان مازندران و مناطق شمالی کشور که در دهه‌های اخیر به اوج خود رسیده است، میزان زیان‌ها و وسعت خرابی‌های آن به گونه‌ای فاجعه‌آمیز سال به سال بیشتر می‌شود. نمونه‌هایی از سیلاب‌های اخیر در استان مازندران می‌توان به سیل‌های سال‌های ۷۳، ۸۲ و ۹۱ در نوشهر، سال ۱۳۷۸ در نکا و ۱۳۹۲ در بهشهر و همچنین سیل شهر ساری در سال ۱۳۹۲ اشاره داشت. در سیل نکا بالغ بر ۳ میلیارد تومان خسارات به بخش‌های کشاورزی نظیر گندم، جو و شالیزارهای اراضی پایین دست وارد گردید. در سیلاب بهشهر خسارت بسیار شدید بوده به طوری ۸ قربانی به جا گذاشته و بسیاری از خانه‌های روستاهای اطراف از نو ساخته شدند. در مناطق اطراف شهر ساری نیز زمین‌های زراعی

حوزه آبخیز و تعیین نواحی مستعد از نظر تولید سیل و عوامل تأثیرگذار بر شدت آن می‌تواند به‌عنوان یکی از رویکردهای عمده در کاهش شدت سیل مورد توجه قرار گیرد. با توجه به اینکه در بیشتر حوزه‌های آبخیز کشور، وقوع سیل و خسارت‌های ناشی از آن دارای روند افزایشی است، لذا، اجرای پروژه‌های کنترل سیل و مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز کاری ضروری و حیاتی است (Nazaripouya, 2019: 49).

امروزه با تلاش متخصصین و محققان این امکان فراهم آمده تا بتوان ضمن رعایت اصل همزیستی و با شناخت قوانین حاکم بر طبیعت، روش‌ها و الگوهای طراحی شده‌ای را جهت مبارزه با این خطرات که بعضاً پاسخ و عکس‌العمل طبیعی حوزه‌های آبخیز به فعالیت‌ها و رفتار انسان در طبیعت است، به کار گرفت. امروزه بحثی که سازمان ملل متحد مطرح کرده زندگی کردن و کنار آمدن با سیل است و بایستی به وسیله روش‌های اصولی از خسارت سیل پیشگیری نمود. روش‌های پیشگیری می‌بایست ضمن برخورداری از قابلیت‌های لازم در تلفیق مطالعات انجام شده دارای جنبه‌های کاربردی بوده و اجرای آن نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش خسارات و تلفات و همچنین بهبود زندگی و اقتصاد معیشتی مردم داشته باشد (SCWMRI, 2015: 8).

در سال‌های اخیر مدل‌های آماری و احتمالاتی زیادی برای نقشه حساسیت به وقوع سیل آزمایش شده است و GIS نیز به‌عنوان ابزار آنالیز پایه برای مدیریت مکانی و دستکاری داده‌ها به دلیل توانایی آن در هندلینگ مقادیر زیادی از داده‌های مکانی به کار رفته است. ترکیب مدل‌های آماری و احتمالاتی با RS و GIS بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است. دانشمندان و محققان زیادی مدل‌سازی را توسط مدل‌های پرکاربرد همچون درخت تصمیم (Tehrany et al, 2013)، ماشین بردار پشتیبان (Tehrany et al, 2014b; Tehrany et al, 2015)، نسبت فراوانی (Lee et al, 2012; Tehrany et al, 2014a)، تابع شاهد قطعی (Althuwaynee et al, 2012, Nampak et al, 2014)، رگرسیون لجستیک (Althuwaynee et al, 2014)، ترکیب مدل‌های نسبت فراوانی و رگرسیون لجستیک (Youssef

اراضی زراعی و باغی و بخشی از جاده کنار دریای خزر (رشت به گرگان) و قسمت‌هایی از جاده‌های کوهستانی آمل به تهران و قائمشهر به تهران در این حوضه است و از طرف دیگر وقوع روبه‌رشد سیل در سال‌های اخیر در این پهنه جغرافیایی که آسیب‌ها و چالش‌های متعدد اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی کلانی را به همراه دارد، لزوم تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در حوزه آبخیز هراز را بیش از پیش ضروری جلوه می‌دهد. با توجه به مطالب عنوان شده و تشریح مخاطرات ناشی از سیلاب در مناطق شمالی کشور، سوالاتی که در این زمینه می‌توان طرح نمود عبارت‌اند از: پرمخاطره‌ترین بخش‌های حوزه آبخیز هراز به لحاظ حساسیت به وقوع سیل کدامند؟ کارایی کدام‌یک از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، نسبت فراوانی و تابع شواهد قطعی جهت تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در حوزه آبخیز هراز بیشتر است؟

پیشینه و مبانی نظری تحقیق:

در اثر تعامل بدون برنامه و منفعت‌طلبانه جوامع بشری با منابع طبیعی و محیطی، امروزه با چالش‌ها و مخاطرات مختلف انسانی و طبیعی مواجه هستیم. تاجایی که بسیاری از سکونتگاه‌های انسانی و طبیعی در اثر بروز این چالش‌ها و مخاطرات، به سمت ناپایداری پیش می‌روند (Shamsodini et al, 2016: 489-490). در میان انواع مختلف چالش‌ها و مخاطرات طبیعی موجود در جهان فعلی ما، سیل در کنار عواملی مانند تغییرات اقلیمی، خشکسالی، شوک‌های آب و هوایی، تخریب شدید محیط‌زیست، یکی از عوامل منفی اثرگذار بر امنیت غذایی، به عنوان یک شاخص ترکیبی توسعه (Jamini et al, 2017: 90) و تهدیدکننده فضاهای شهری از طریق ایجاد اختلال در کارکرد اجتماع و اثرات منفی گسترده انسانی، مادی، اقتصادی و زیست‌محیطی است (Zarghami et al, 2016: 78-79).

افزایش سیل در سال‌های اخیر نشان می‌دهد بیشتر مناطق کشور در معرض تهاجم سیلاب‌های ادواری و مخرب قرار دارند و ابعاد خسارت‌ها و تلفات جانی و مالی سیل افزایش یافته است (Nasiri and Talebi, 2020: 48). بررسی شدت سیل‌خیزی در یک

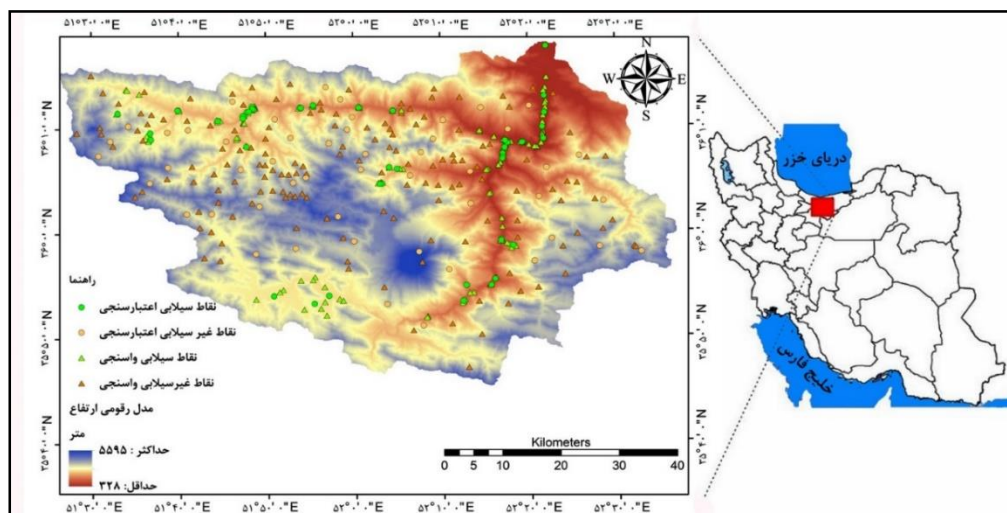
سیل به ندرت استفاده شده و استفاده از این مدل‌ها و ارزیابی کارایی آنها پیشنهاد می‌گردد. هدف از تحقیق حاضر تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در حوزه آبخیز هراز در استان مازندران جهت تخفیف سیل‌های آتی با توجه به وقوع سیل‌های مکرر در منطقه مورد مطالعه توسط مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و تابع شواهد قطعی می‌باشد و در نهایت کارایی این مدل‌ها با مدل مشهور و پرکاربرد نسبت فراوانی سنجیده و مقایسه می‌گردد. همچنین با توجه به خلأ مطالعاتی استفاده از مدل‌های مذکور برای مدیریت بحران ناشی از سیلاب در فضاهای شهری، نتایج این پژوهش می‌تواند الگو و مبنایی برای تصمیم‌سازی سیاست‌گذاران توسعه شهری و مطالعات آتی برای سایر محققان و پژوهشگران کشور باشد.

محدوده مورد مطالعه:

حوزه آبخیز هراز بین $43^{\circ} 51'$ تا $36^{\circ} 52'$ طول شرقی و $45^{\circ} 35'$ تا $23^{\circ} 36'$ عرض شمالی واقع شده است. منطقه مورد مطالعه در جنوب شهرستان آمل و استان مازندران قرار دارد و از نظر تقسیمات سیاسی جزء شهرستان آمل می‌باشد. وسعت این حوزه آبخیز 4014 کیلومتر مربع می‌باشد و حداقل ارتفاع حوزه 300 متر و حداکثر ارتفاع آن 5600 متر می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه برای سال 2006 برابر با $723/07$ میلی‌متر و برای سال 2012 برابر با $831/38$ میلی‌متر می‌باشد. علت اصلی وقوع سیل در این حوزه بارش باران با شدت زیاد در مدت زمان کوتاه (ناشی از تغییر اقلیم)، تغییر کاربری اراضی مرتعی و به خصوص جنگلی به ویلاسازی، اراضی کشاورزی و باغی و همچنین عدم اقدامات اساسی جهت جلوگیری از سیل می‌باشد. در شکل (۱) نقاط سیلابی و غیر سیلابی حوزه مطالعاتی نشان داده شده است.

(*et al, 2014*) آنتروپی شانون (*Pourghasemi et al, 2012*)، شبکه عصبی مصنوعی (*Islam et al, 2001; Dixon; 2005*)، (*Kia et al, 2011*)، تحلیل سلسله مراتبی (*Billa et al, 2006*) و سیستم استنتاج عصبی فازی (*Oh and Pradhan, 2011; Pradhan, 2013*) در بلایای طبیعی توسط *RS* و *GIS* انجام داده‌اند. *Tehrany et al (2015)* توسط تکنیک ماشین بردار پشتیبان با ۴ تابع مختلف شامل *Radial Basis Function*، *Polynomial*، *Linear* و *RBF* و *Sigmoid* به بررسی پهنه‌بندی مناطق حساس به وقوع سیل در مالزی پرداختند. آنها بیان کردند که مساحت سطح زیر منحنی (*AUC*) به ترتیب برای توابع فوق برابر با $84/63\%$ ، $83/92\%$ ، $84/97\%$ ، $81/88\%$ است. آن‌ها توسط شاخص *Cohen's kappa* بیان کردند که کل فاکتورهای در نظر گرفته شده به جز رواناب سطحی (که باعث کاهش صحت نتایج نهایی می‌شود) دارای تاثیر مثبت در سیلاب می‌باشند. طبق نتایج آن‌ها شیب و طبقات ارتفاعی در همه انواع توابع، از موثرترین فاکتورها بودند. *Khosravi et al (2016)* بیان داشتند که مدل *WOE* دارای صحت بالاتری نسبت به روش *FR* و *AHP* در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در حوزه آبخیز هراز در استان مازندران می‌باشد. در پژوهشی دیگر *Khosravi et al (2018)* به مقایسه و کارایی روش‌های درخت تصمیم در تهیه نقشه‌های حساسیت به وقوع سیل پرداختند و در نهایت بیان کردند که روش درخت تصمیم متناوب (*ADT*) دارای کارایی بالاتری نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد.

از نتایج تحقیقات بالا می‌توان به این نتیجه رسید که اولاً برای مناطق سیل‌خیز و سیل‌گیر کشور تهیه نقشه‌های مناطق حساس به وقوع سیل ضروری می‌باشد و دوم اینکه، روش تابع شواهد قطعی و شبکه عصبی مصنوعی در تهیه نقشه حساسیت به وقوع



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز هراز و نقاط سیل‌گیر

۲۰۱ نقطه سیلابی و ۲۰۱ نقطه غیرسیلابی تهیه شد. مناطق غیر سیلابی از روی نقشه‌ی توپوگرافی و نرم افزار *Google Earth* با توجه به مناطقی مانند تپه‌ها و کوه‌ها که سیلاب قادر به پیشروی در آنجا نیست، انتخاب گردید (Khosravi et al., ۲۰۱۶). نقشه فهرست سیلاب به صورت تصادفی به ترتیب به دو بخش ۷۰٪ و ۳۰٪ به ترتیب برای آموزش (*Training*) و اعتبارسنجی (آزمایش) (*Validation*) تقسیم گردید (Tunuslioglu et al., 2008; Pourghasemi and Beheshtirad, 2014). نقشه موقعیت‌های سیلاب در منطقه مورد مطالعه برای تشریح رابطه و همبستگی بین سیلاب و عوامل تاثیرگذار (*Conditioning factors*) حیاتی می باشد (Tehrany et al., 2015).

انتخاب پارامترهای موثر در تهیه نقشه‌های پتانسیل سیل برای تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل و یا به طور کلی تولید مدلی برای ارزیابی در معرض آسیب بلایای طبیعی، مجموعه‌ای از فاکتورهای موثر باید تعریف گردد (Kia et al., 2012). مجموعه فاکتورهای موثر بر سیلاب در سه گروه توپوگرافی، هیدرولوژی و فیزیکی طبقه‌بندی شده‌اند که به ۱۰ عامل موثر در وقوع سیل تقسیم شده‌اند که عبارت‌اند از: طبقات ارتفاعی، شیب، انحنای زمین، شاخص توان آبراهه (*SPI*)، شاخص رطوبت توپوگرافی (*TWI*)، فاصله از رودخانه، زمین شناسی، کاربری اراضی، شاخص

مواد و روش تحقیق:

پژوهش حاضر به لحاظ هدف از نوع تحقیقات کاربردی است که به شیوه کمی انجام شده است. داده‌های مورد نیاز با توجه به اهداف پژوهش از سازمان‌ها و ارگان‌های مربوطه (شرکت آب منطقه‌ای، اداره منابع طبیعی و ...) جمع‌آوری شده است و برای تجزیه و تحلیل این داده‌ها از نرم‌افزار *ArcGIS* استفاده شده است. در مجموع فرایند انجام پژوهش به این صورت است که ابتدا فهرست وقوع سیل‌های گذشته منطقه مورد مطالعه تهیه شده است و در ادامه پارامترهای مؤثر در وقوع سیل شناسایی شده و با استفاده از سه مدل تابع شواهد قطعی (*EBF*)، نسبت فراوانی (*FR*) و شبکه عصبی مصنوعی (*ANN*)، نقشه پهنه‌بندی حساسیت وقوع سیل در حوزه آبخیز هراز تهیه شده است. در ادامه با استفاده از منحنی *ROC*، صحت و اعتبارسنجی مدل‌ها بررسی شده است. هر یک از فرایندهای فوق به صورت خلاصه در ادامه شرح داده شده‌اند.

تهیه نقشه وقوع سیلاب‌های گذشته

برای برآورد سیل‌های آینده در منطقه مورد مطالعه، تجزیه و تحلیل رخداد سیلاب‌های گذشته ضروری می‌باشد (Merz et al., 2007). صحت وقایع سیلابی گذشته تاثیر بسیار بالایی بر روی صحت نقشه حساسیت به وقوع سیل دارد (Ohlmacher and Davis 2003). در این تحقیق نقشه فهرست سیلاب براساس سیلاب ثبت شده در تاریخ‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۱ توسط اسناد و مدارک و سایر بررسی‌ها تهیه شد. برای این تحقیق

نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) و بارندگی (Tehrany et al, 2015).

الف) فاکتورهای توپوگرافی

مدل رقومی ارتفاع (DEM) برای تهیه فاکتورهای توپوگرافی مختلف مانند طبقات ارتفاعی، زاویه شیب و انحنا زمین به کار گرفته شد. طبقات ارتفاعی به ۹ کلاس، شیب به ۵ کلاس و انحنا زمین به ۳ کلاس (محدب، صاف و مقعر) طبقه‌بندی شدند. مناطق مسطح، با شیب کم و طبقات ارتفاعی پایین پتانسیل بالایی در وقوع سیل دارند (جدول ۱ و ۲).

ب) فاکتورهای مرتبط با هیدرولوژی

فاکتورهای مختلف مانند *TWI* و *SPI* از *DEM* منطقه مورد مطالعه به وسیله نرم افزار *SAGA GIS* ۲ تهیه شدند. *TWI* به طور گسترده به عنوان تأثیر توپوگرافی بر روی موقعیت و اندازه تولید رواناب به کار گرفته شده است (Fernández and Lutz, 2010) و یا به عبارت دیگر، مقدار تجمع جریان در هر مکان در حوزه آبخیز و روند جریان به سمت پایین دست توسط نیروی ثقل می‌باشد (Moore et al, 1991). رابطه ۱ به وسیله Moore et al (1991) برای محاسبه *TWI* پیشنهاد گردید:

$$TWI = \ln(AS / \tan \beta) \quad (1)$$

که در آن *AS* مساحت ویژه حوزه آبخیز (m^2/m) و β (radian) زاویه شیب به درجه می‌باشد. لایه *TWI* تهیه و به ۹ کلاس طبقه بندی شد که در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است. شاخص توان آبراهه نشان‌دهنده *SPI* است، که اندازه‌گیری قدرت فرسایش جریان آب می‌باشد که در رابطه ۲ محاسبه شده است (Moore et al, 1991).

$$SPI = (AS \times \tan \beta) \quad (2)$$

برای تهیه لایه فاصله از رودخانه، از نقشه رقومی رودخانه استخراج شده از لایه *DEM* توسط دستور *Multiple ring buffer* در نرم افزار *ArcGIS10.3* استفاده شد و به ۶ کلاس ۵۰۰ متر، ۱۰۰۰ متر، ۱۵۰۰ متر، ۲۰۰۰ متر، ۲۵۰۰ متر و بیشتر از ۲۵۰۰ متر تقسیم‌بندی گردید (جدول ۱ و ۲). فاصله از رودخانه نقش اساسی را در پخش و بزرگی سیلاب در منطقه دارد. در سال‌های اخیر به دلیل تغییر اقلیم بارندگی‌ها بیشتر به صورت رگباری (شدت زیاد در مدت کم) تبدیل گشته و در مدت زمان بسیار کمی، مقدار زیادی باران نازل گشته و به علت کمبود پوشش

گیاهی، سفت شدن خاک سطحی و شیب زیاد منطقه، اجازه نفوذ باران باریده شده وجود ندارد و باعث جاری شدن حجم زیادی از رواناب از دامنه کوه‌ها به صورت سیل به داخل رودخانه می‌شود که در ارتفاعات پایین‌تر، در جاهایی که شیب کمتر می‌گردد و انحنا زمین به صورت مسطح می‌باشد، سیل‌های مهیبی رخ می‌دهد. *Kia et al* (2012) بیان کرده‌اند که توپوگرافی نقش عمده و اساسی را در سیلاب بازی می‌کند.

داده‌های بارندگی ۲۰ ساله (۱۳۷۰-۱۳۹۰) برای ۱۷ ایستگاه باران سنجی در داخل و خارج منطقه مورد مطالعه جهت تهیه لایه بارندگی استفاده گردید. از روش‌های درون‌یابی شامل کریجینگ (ساده و معمولی)، عکس فاصله با توان‌های ۱ تا ۵، تابع شعاعی با تابع کرنل‌های *Completely Regularized spline* و *Spline with tension* برای درون‌یابی لایه بارندگی استفاده شد و در نهایت روش کریجینگ ساده به دلیل داشتن خطای میانگین ریشه مربعات (*RMSE*) کمتر مورد استفاده قرار گرفت. لایه بارندگی منطقه پس از درون‌یابی به ۹ کلاس طبقه‌بندی شد (جدول ۱ و ۲).

ج) فاکتورهای فیزیکی

به طور کلی، زمین‌شناسی نقش عمده و اساسی را در مطالعات حساسیت به وقوع سیل، به علت حساسیت متفاوت واحدهای مختلف لیتولوژی، بازی می‌کند. *Miller et al* (1990) بیان کرده‌اند که لیتولوژی نقش عمده و اساسی در تغییرات زمانی و مکانی هیدرولوژی حوزه آبخیز و تولید رسوب دارد. مناطق با سنگ‌های سخت و مقاوم و یا با خاک‌های نفوذپذیر، دارای تراکم آبراهه پایین می‌باشد (Dai et al, 2001). این لایه با فرمت *Shp* از سازمان زمین‌شناسی اخذ شد. ۳۸/۸۵ درصد از سطح حوزه هراز توسط سازندهای دوران سنوزویک، ۵۶/۴۱ درصد توسط سازندهای دوران مزوزویک و ۴/۷۳ درصد توسط سازندهای دوران پالئوزویک پوشیده شده است. سر انجام لایه زمین‌شناسی منطقه به ۳ گروه کلاس‌بندی شد که در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است.

تهیه لایه کاربری اراضی و *NDVI* با استفاده از تصویر سنجنده *OLI* مربوط به ماهواره *Landsat 8* (بر گرفته از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح) تهیه شد. نقشه کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی و طبقه‌بندی نظارت شده در

محیط نرم افزاری *ENVI 5.1* به هفت کلاس مرتع، اراضی لخت و فاقد پوشش، جنگل، باغ، اراضی آبی، مسکونی و پهنه های آبی کلاس بندی شد. همچنین لایه *NDVI* نیز که نشان دهنده پوشش سطحی گیاهان و تراکم آنها در تصاویر می باشد تهیه و در ۱۰ کلاس طبقه بندی شد. مقدار این شاخص بین ۱- تا ۱+ می باشد (جدول ۱ و ۲).

جدول ۱- فاکتورهای استفاده شده به منظور تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در منطقه مورد مطالعه

گروه اصلی	فاکتور	منبع استخراج داده	نوع داده GIS	مقیاس/قدرت تفکیک
توپوگرافی	طبقات ارتفاعی	DEM	Grid	30 m × 30 m
	شیب	DEM	Grid	30 m × 30 m
	انحنای زمین	DEM	Grid	30 m × 30 m
هیدرولوژی	شاخص توان رودخانه (<i>SPI</i>)	DEM	Grid	30 m × 30 m
	شاخص رطوبت توپوگرافی (<i>TWI</i>)	DEM	Grid	30 m × 30 m
	فاصله از رودخانه	DEM	Grid	30 m × 30 m
	بارندگی	داده های بارندگی ۲۰ ساله (۱۳۷۰-۱۳۹۰) برای ۱۷ ایستگاه باران سنجی	Grid	30 m × 30 m
فیزیکی	زمین شناسی	نقشه زمین (برگرفته از سازمان زمین شناسی کشور)	Vector	1:100,000
	کاربری اراضی	سنجنده <i>OLI</i> مربوط به ماهواره لندست ۸	Grid	30 m × 30 m
	شاخص تفرق پوشش گیاهی (<i>NDVI</i>)	سنجنده <i>OLI</i> مربوط به ماهواره لندست ۸	Grid	30 m × 30 m

- مدل‌های پهنه بندی سیلاب

الف) روش تابع شواهد قطعی (*EBF*)

از مزیت‌های این مدل این است که پهنه‌های سیلابی، لغزشی و غیره پیش بینی شده را به همراه درجه عدم قطعیت همان پهنه ارائه می کند (Pradhan and Lee, 2010). مدل *EBF* شامل *Bel* (درجه اطمینان)، *Dis* (درجه عدم اطمینان)، *Unc* (درجه عدم قطعیت) و *Pls* (درجه معقولیت) در محدوده بین صفر تا یک می باشد (Althuwaynee et al, 2012; Pradhan et al, 2014). این روش جهت پیش بینی رابطه مکانی بین وقوع سیلاب و کلاس‌های هر یک از فاکتورهای موثر به کار گرفته شد (Jung et al, 2011). جهت محاسبه این روش روابط زیر به کار گرفته شد:

$$l(Tp) = [N(L \cap Eij) / N(L)] / [N(Eij) - N(L \cap Eij) / (N(A) - N(L))] \quad (3)$$

$$Bel = l(Tp)Eij / \sum l(Tp)Eij \quad (4)$$

که در آن $N(L \cap Eij)$ تعداد پیکسل‌های سیلابی در هر کلاس، $N(L)$ برابر است با تعداد کل نقاط سیلابی، $N(Eij)$ برابر است با تعداد پیکسل‌های هر کلاس، $N(A)$ تعداد کل پیکسل‌ها می باشد. برای محاسبه *Dis* روابط زیر به کار گرفته شد:

$$l(T\bar{P})Eij = K / H = [N(L) - N(L \cap Eij)] / N(L) / [N(A) - N(L) - N(Eij)] / [N(A) - N(L)] \quad (5)$$

$$r-Dis = (1 - Dis = l(T\bar{P})Eij / (\sum l(T\bar{P})Eij) \quad (6)$$

Pls) or (1-Unc)

$$r-Dis + Unc = 1$$

دست آمده در جهت بیش‌بینی پاسخ‌های خروجی از سامانه‌های پیچیده هستند. ایده اصلی این گونه شبکه‌ها تا حدودی الهام گرفته از شیوه کارکرد سیستم عصبی زیستی برای پردازش داده‌ها و اطلاعات به منظور یادگیری و ایجاد دانش قرار دارد. عنصر کلیدی این ایده، ایجاد ساختارهایی جدید برای سامانه پردازش اطلاعات است.

این سیستم از شمار زیادی عناصر پردازشی فوق‌العاده بهم‌پیوسته با نام نورون تشکیل شده که برای حل یک مسئله با هم هماهنگ عمل می‌کنند و توسط سیناپس‌ها (ارتباطات الکترومغناطیسی) اطلاعات را منتقل می‌کنند. در این شبکه‌ها اگر یک سلول آسیب ببیند بقیه سلول‌ها می‌توانند نبود آن را جبران کرده و نیز در بازسازی آن سهیم باشند. این شبکه‌ها قادر به یادگیری‌اند. مثلاً با اعمال سوزش به سلول‌های عصبی لامسه، سلول‌ها یاد می‌گیرند که به طرف جسم داغ نروند و با این الگوریتم سیستم می‌آموزد که خطای خود را اصلاح کند. یادگیری در این سیستم‌ها به صورت تطبیقی صورت می‌گیرد، یعنی با استفاده از مثال‌ها وزن سیناپس‌ها به گونه‌ای تغییر می‌کند که در صورت دادن ورودی‌های جدید، سیستم پاسخ درستی تولید کند.

یک شبکه عصبی مصنوعی، از سه لایه ورودی، خروجی و پردازش تشکیل می‌شود. هر لایه شامل گروهی از سلول‌های عصبی (نورون) است که عموماً با کلیه نورون‌های لایه‌های دیگر در ارتباط هستند، مگر این که کاربر ارتباط بین نورون‌ها را محدود کند؛ ولی نورون‌های هر لایه با سایر نورون‌های همان لایه، ارتباطی ندارند. در شکل ۲ ساختار شبکه عصبی مصنوعی با دو لایه پنهان نشان داده شده است.

ب) روش نسبت فراوانی (FR)

مجموعه نقاط سیل گروه واسنجی به عنوان متغیر وابسته و پارامترهای انتخاب‌شده (طبقات ارتفاعی، شیب و غیره) به عنوان متغیرهای مستقل به تکنیک نسبت فراوانی معرفی شدند. با استفاده از تکنیک نسبت فراوانی، احتمال رخداد سیل قرار گرفته در هر کلاس برای تمام پارامترها محاسبه گردید. تکنیک نسبت فراوانی نشان‌دهنده احتمال حضور یک پدیده با مشخصاتی ویژه است. به منظور تعیین میزان تأثیر هر کلاس از هر متغیر مستقل از رابطه (۷) استفاده می‌گردد (Khosravi et al. 2016):

$$W_i = \frac{F_i}{P_i} \quad (7)$$

که در آن W_i میزان تأثیر هر کلاس از هر پارامتر، F_i درصد نقاط قرارگرفته در کلاس i و P_i درصد پیکسل‌های کلاس i در کل حوزه آبخیز است و از روابط (۸) و (۹) بدست می‌آید:

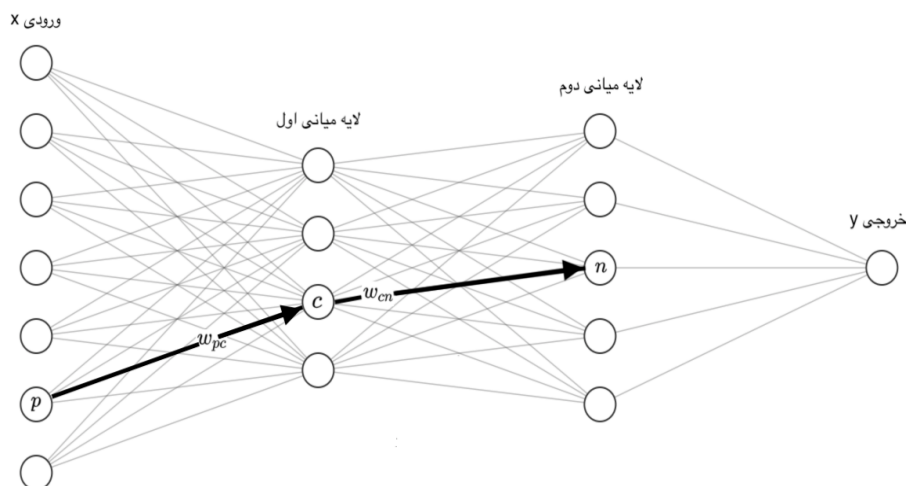
$$F_i = \frac{n}{N} \times 100 \quad (8)$$

$$P_i = \frac{a}{A} \times 100 \quad (9)$$

که در آن n تعداد نقاط سیل در کلاس i ، N تعداد کل نقاط سیل، a تعداد پیکسل‌های کلاس i و A تعداد کل پیکسل‌های حوزه آبخیز سفید رود می‌باشد. در نهایت نرخ‌های بدست‌آمده برای هر کلاس در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در لایه‌های مربوطه اعمال‌گردیده و با استفاده از تابع روی‌هم‌گذاری Raster calculator، نقشه پیش‌بینی پتانسیل سیل حوزه آبخیز هراز بدست آمد.

ج) روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

شبکه‌های عصبی، سیستم‌ها و روش‌های محاسباتی نوین برای یادگیری ماشینی، نمایش دانش و در انتها اعمال دانش به



شکل ۲- ساختار شبکه عصبی با ۲ لایه پنهان

اعتبارسنجی نقشه‌های پیش‌بینی پتانسیل سیل

به منظور اعتبارسنجی نقشه پیش‌بینی پتانسیل سیل، مجموعه نقاط اعتبارسنجی تکنیک (۶۰ نقطه، ۳۰ درصد مجموع نقاط) استفاده شدند. در این مرحله ۶۰ نقطه در محیط GIS با نقشه حساسیت سیل روی هم‌گذاری شدند، سپس با استفاده از دستور *Sample* هر کدام از نقاط که در کلاس‌های نقشه پیش‌بینی قرار گرفتند نمونه‌برداری شدند و در نهایت توسط روش منحنی مشخصه عملکرد سیستم (*ROC*) که یکی از پرکاربردترین روش‌های در زمینه اعتبارسنجی می‌باشد، کارایی مدل‌های اجرا شده مقایسه و در نهایت بهترین مدل جهت انجام تحقیقات آتی انتخاب گردید. از مهمترین مزیت‌های این روش این است که کارایی مدل‌ها به صورت کمی بیان می‌شود.

بحث و ارائه یافته‌ها:

متناسب با اهداف در نظر گرفته شده و فرایند تشریح شده در بخش روش تحقیق، یافته‌های پژوهش در بندهای زیر ارائه شده است:

- وزن تأثیر هر کلاس از پارامترهای مؤثر در پتانسیل سیل توسط روش *EBF*

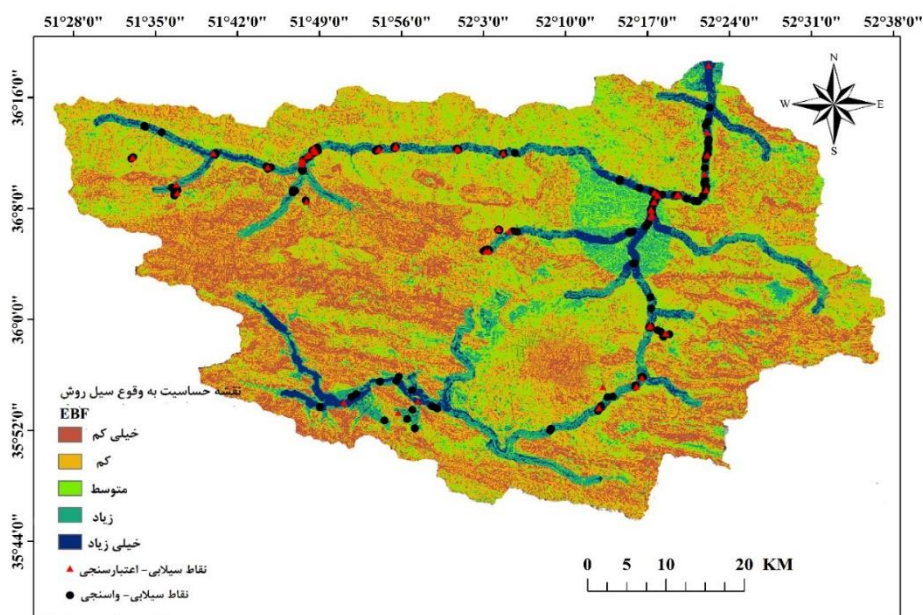
روش *EBF* برای تعیین سطح همبستگی بین موقعیت‌های سیلاب رخ داده و فاکتورهای مؤثر در سیل به کار گرفته شد (جدول ۲). نتایج این روش نشان‌دهنده وزن هر کلاس از هر فاکتور مؤثر در سیلاب می‌باشد. در لایه شیب تهیه شده ۲ کلاس

اول دارای بیشترین تعداد نقاط سیلابی می‌باشند (بیشترین احتمال وقوع سیل) و از نظر واقعیت و تئوری نیز مناطق با شیب کم و ارتفاع از سطح دریای پایین‌تر سیل‌گیرتر می‌باشند. نتایج تجزیه و تحلیل نقشه انحناى زمین نشان داد که بیشترین تأثیر را انحناى مقعر و سپس مسطح دارد که تأثیر این دو انحنا زیاد، ولی تأثیر انحناى محدب کم می‌باشد. فاصله از رودخانه یکی از مهمترین فاکتورها در تهیه نقشه‌های مناطق حساس به وقوع سیل می‌باشد (Tehrany et al, 2013). نتایج نقشه فاصله از رودخانه و موقعیت سیل‌های رخ داده نشان داد که با فاصله گرفتن از رودخانه احتمال سیل‌گرفتنی اراضی کاهش می‌یابد، به طوری که ۸۵٪ از سیل‌های رخ داده در کلاس اول یا ۵۰۰-۰ متر (مقدار *Bel* برابر با ۰/۸۶۹) قرار دارد. پس مناطق حاشیه رودخانه دارای احتمال سیل‌گرفتنی بیشتری نسبت به سایر مناطق می‌باشد و با دور شدن از رودخانه احتمال وقوع سیل کاهش می‌یابد. از تجزیه و تحلیل نقشه طبقات ارتفاعی و همچنین موقعیت نقاط سیل‌گیر به خوبی مشخص است که سیل بیشتر در طبقات ارتفاعی پایین‌تر رخ می‌دهد که به خوبی با نتایج پژوهش حاضر منطبق می‌باشد. هرچه از کلاس‌های پایین طبقات ارتفاعی به سمت کلاس‌های بالای طبقات ارتفاعی می‌رویم نسبت فراوانی سیل‌های ثبت شده کاهش می‌یابد به طوری که در کلاس‌های ۱۰۰۰ متر به بعد هیچ‌گونه سیلی رخ نداده است. با توجه به رابطه بین نقشه کاربری اراضی و موقعیت نقاط سیل‌گیر ثبت شده، مشخص گردید که کلاس خاک لخت (۰/۶۶۴) و پهنه‌های آبی (۰/۱۴۴) دارای

بیشترین طبقات مستعد سیلاب در لایه کاربری اراضی در این پژوهش می‌باشد. در فاکتور بارش، بر طبق روش *EBF* بیشترین احتمال وقوع مربوط به کلاس ۲۶۷-۳۲۹ میلی‌متر می‌باشد و از این مقدار بارش به بعد مقدار *EBF* رو به کاهش می‌گذارد زیرا همراه با افزایش ارتفاع، بارش بیشتر می‌گردد، اما احتمال وقوع سیلاب کاهش می‌یابد. تاثیر کلاس‌های *SPI* در احتمال وقوع سیل نیز بررسی شد. بیشترین احتمال وقوع مربوط به کلاس ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ می‌باشد. برای فاکتور *TWI*، مقادیر بیشتر دارای احتمال وقوع سیلاب بالاتری نسبت به مقادیر کمتر دارند. لیتولوژی حوزه از ۳ کلاس مزوزوئیک، سنوزوئیک و پالئوزوئیک تشکیل شده است. تقریباً ۵۷ درصد از سیل‌های رخ داده شده در لیتولوژی مزوزوئیک، ۳۷ درصد در سنوزوئیک و ۶ درصد در پالئوزوئیک رخ داده است، اما از نظر احتمال وقوع به روش *EBF* تقریباً برابر می‌باشند. مقادیر *EBF* در کلاس‌های نقشه *NDVI* از روند خاصی تبعیت نمی‌کنند، بیشترین احتمال وقوع مربوط به رنج ۰/۳۵ - ۰/۶۹ و کمترین احتمال مربوط به رنج ۰/۷۳ - ۰/۴۸ می‌باشد.

نتایج مدل *EBF* در شکل ۳ ارائه شده است. نقشه *bel* نشان‌دهنده توزیع وقوع سیل می‌باشد. نقشه اطمینان با نقشه عدم اطمینان مقایسه گردید، که نشان داد هر منطقه‌ای که مقادیر *bel* بیشتر باشد، مقدار *dis* کمتر می‌باشد و برعکس. این مطلب نشان‌دهنده این موضوع می‌باشد که مناطق با حساسیت بیشتر به وقوع سیل، مناطقی هستند که در آنجا درجه بالایی از اطمینان و درجه پایینی از عدم اطمینان برای رخداد واقعه وجود دارد. از نقشه *Unc* اطلاعات دقیقی را نمی‌توان استخراج نمود. *Unc* مناطقی را که *bel* دارای بیشترین حساسیت به وقوع سیل می‌باشد را کمترین مقدار نشان داده است. مناطق حاشیه رودخانه (مناطق حاشیه مناطق سیلابی دارای بیشترین مقدار عدم قطعیت) (بیشترین مقدار *Uuc*) می‌باشد. نقشه *Pls* تقریباً مشابه با *bel* می‌باشد با این تفاوت که کنتراست بین درجه‌های پایین و بالا نسبت به نقشه *bel* نمود کمتری دارد. نتایج این تحقیق با یافته‌های *Pradhan et al* (۲۰۱۴) و *Nampak et al* (۲۰۱۴) همسو است. در نهایت نقشه حساسیت به وقوع سیل (*FSM*) توسط مدل *EBF* توسط رابطه زیر در نرم‌افزار *ArcGIS10.3* تهیه گردید.

$$FSM = (Altitude_{Bel}) + (Slope_{Bel}) + (TWI_{Bel}) + (SPI_{Bel}) + (Landuse_{Bel}) + (Lithology_{Bel}) + (NDVI_{Bel}) + (Distance\ from\ river_{Bel}) + (Curvature_{Bel}) + (Rainfall_{Bel}) \quad (10)$$



شکل ۳- نقشه حساسیت به وقوع سیل در حوزه آبخیزهراز توسط روش تابع شواهد قطعی (*EBF*)

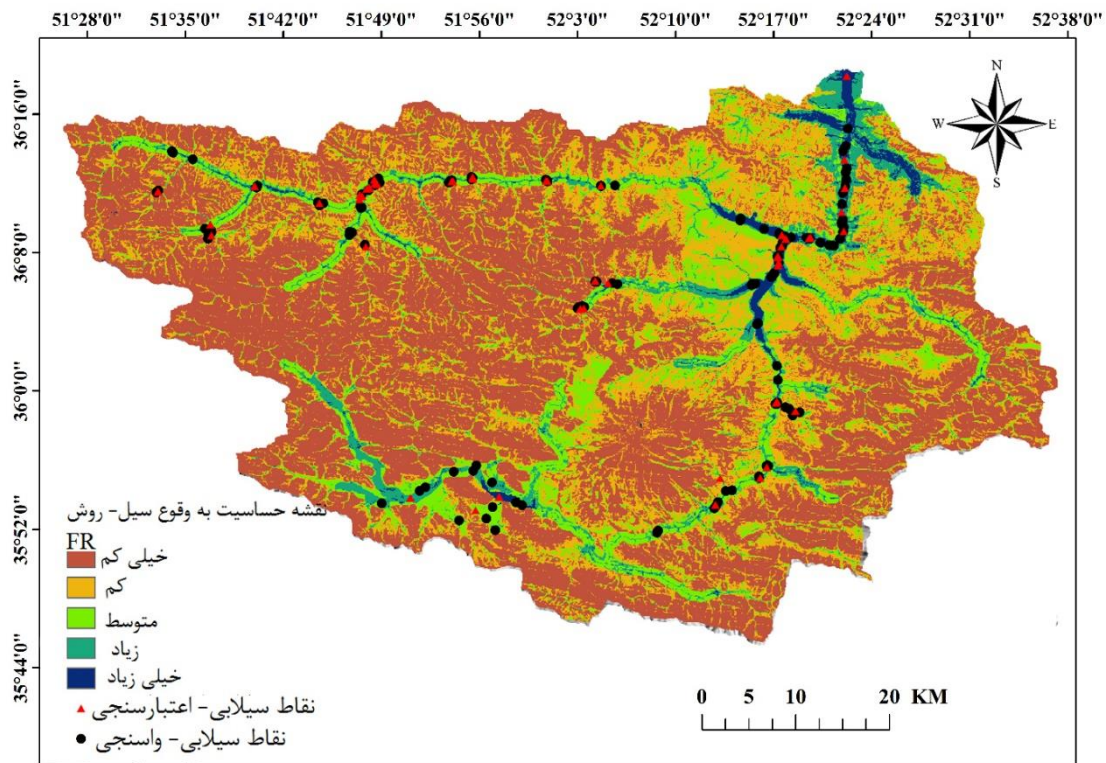
وزن تأثیر هر کلاس از پارامترهای مؤثر در پتانسیل سیل توسط روش FR

نتایج به دست آمده از روش FR نشان‌دهنده وزن‌های به دست آمده برای هر یک از کلاس‌های فاکتورهای مؤثر است. برای ۱۰ فاکتور مؤثر، بر طبق روابط آن‌ها با وقوع سیلاب محاسبه گردید که در جدول ۲ نشان داده شده است. نسبت مساحتی که سیلاب در آن جا رخ داده به کل مساحت محاسبه گردید. هرچه نسبت فراوانی بیشتر باشد نشان‌دهنده ارتباط قوی بین فاکتورهای مؤثر و رخداد سیلاب خواهد بود و برعکس (Tehrany, 2013) به طوری که هرچه از ۱ بیشتر باشد نشان‌دهنده ارتباط قوی و هرچه از ۱ کمتر باشد نشان‌دهنده ارتباط ضعیف می‌باشد (Pradhan et al, 2011). تجزیه و تحلیل روش FR نشان داد که برای کلاس اول و دوم شیب مقدار FR به ترتیب برابر است با ۷/۸۴ و ۳/۹ و برای شیب‌های بیشتر این مقدار ۳/۹ می‌باشد. بر اساس واقعیت و طبیعت هرچه مقدار شیب کمتر باشد، احتمال وقوع سیل در آن شیب‌ها بیشتر و با افزایش شیب احتمال وقوع سیل کمتر می‌گردد. برای انحنای زمین، انحنای مقعر دارای بیشترین تأثیر با مقدار ۱/۴۴۳ و پس از آن مناطق مسطح با مقدار ۱/۴۰۲ دارای ارتباط قوی با رخداد سیلاب می‌باشند. کلاس محدب با مقدار ۰/۳۷۴ دارای تأثیر بسیار کمی در وقوع سیلاب می‌باشد. فاکتور مهم و مؤثر دیگر بر سیلاب، طبقات ارتفاعی می‌باشد. پایین‌ترین کلاس طبقات ارتفاعی (۳۵۰-۳۲۸) دارای بیشترین نسبت فراوانی (۳۰) و در نتیجه بیشترین تأثیر بر روی سیلاب می‌باشد. در حالت کلی از طبقات اول به آخر طبقات ارتفاعی، نسبت فراوانی کاهش می‌یابد به طوری که پایین‌ترین (*lowest*) ارتفاع دارای بیشترین تأثیر و بالاترین ارتفاع دارای کمترین تأثیر می‌باشد. یکی از مهمترین فاکتورهای مؤثر بر سیل، فاصله از رودخانه می‌باشد. نتایج نشان داد که کلاس ۰-۵۰ با نسبت ۸/۹۷۸ مؤثرترین کلاس می‌باشد و بقیه کلاس‌های فاصله از رودخانه دارای تأثیر بسیار ناچیز بر سیلاب می‌باشند. به طور

(۱۱)

کلی، بر اساس مرور منابع (Tehrany et al, 2014a; Tehrany et al, 2015) فاکتور مؤثر TWI طبقه ۹ (۷-۸/۱) دارای بیشترین نسبت (۵/۳۶) و طبقه ۲ (۴/۳-۱/۸) دارای کمترین نسبت (۰/۰۹) می‌باشد. از ۱۰ کلاس مربوط به فاکتور TWI ، ۳ طبقه اول دارای نسبت کمتر از ۱ و ۶ طبقه بعدی دارای نسبت بیشتر از ۱ می‌باشند. با این تفاسیر، هرچه مقدار TWI بیشتر، احتمال وقوع سیلاب نیز بیشتر می‌باشد. از دیگر فاکتورهای مؤثر بر سیلاب، SPI می‌باشد. برای طبقه ۵ نسبت فراوانی در حداکثر مقدار خود (۲/۰۵۱) می‌باشد. در مورد فاکتور بارش، طبقه دوم دارای بیشترین نسبت می‌باشد (۱۰/۰۷) ولی از کلاس پنجم بارش بقیه طبقات بارش دارای نسبت کمتر از ۱ بوده و دارای تأثیر بسیار کمی در سیلاب می‌باشند. دلیل اینکه با افزایش بارش بازهم تأثیر آن بر وقوع سیلاب افزایش نمی‌یابد، افزایش ارتفاع می‌باشد، زیرا با افزایش ارتفاع، بارندگی نیز بیشتر می‌گردد، ولی سیل در ارتفاعات پایین رخ می‌دهد. برای فاکتور زمین شناسی گروه سنوزویک دارای تأثیر بسیار کم در سیلاب (نسبت فراوانی) ولی مزوزویک و پالئوزویک به دلیل نسبت‌های بالاتر از ۱ دارای تأثیر زیاد در وقوع سیلاب می‌باشد. با تلفیق نقشه رودخانه‌ها و لیتولوژی مشخص شد که رودخانه‌ها از مناطق دارای گروه مزوزویک و تا حد کمی پالئوزویک می‌گذرد. سنوزویک بیشتر شامل کوهستان‌ها (خصوصاً کوه دماوند) بودند که احتمال وقوع سیل در آن جا بسیار ناچیز می‌باشد. در مورد کاربری خاک لخت و پهنه‌های آبی دارای بالاترین نسبت فراوانی می‌باشند. آخرین فاکتور مؤثر $NDVI$ می‌باشد. رنج این شاخص بین -۱ تا +۱ می‌باشد. کلاس اول این فاکتور که مربوط به خاک لخت یا پهنه‌های آبی می‌باشد دارای بیشترین تأثیر در وقوع سیلاب می‌باشد. در نهایت با استفاده از رابطه زیر در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.3 اجرا گردید و نقشه نهایی حساسیت به وقوع سیل تهیه گردید (شکل ۴).

$$FSM_{FR} = FR_{Slope} + FR_{Curvature} + FR_{Dis-River} + FR_{Altitude} + FR_{Landuse} + FR_{Rainfall} + FR_{SPI} + FR_{TWI} + FR_{Lithology} + FR_{NDVI}$$



شکل ۴- نقشه حساسیت به وقوع سیل در حوزه آبخیز هراز توسط روش نسبت فراوانی (FR)

جدول ۲- رابطه مکانی بین فاکتورهای موثر بر وقوع سیل و موقعیت های سیلابی رخ داده در حوزه آبخیز هراز

FR	Pls	Unc	Dis	EBF (Bel)	درصد نقاط سیلابی	تعداد نقاط سیلابی	درصد پیکسل‌ها	طبقه	فاکتورهای موثر
۳۰/۰۹	۰/۸۹۶	۰/۴۳۸	۰/۱۰۴	۰/۴۵۸	۳/۳۱	۵۵	۰/۱۱	۳۲۸-۳۵۰	طبقات
۱۸/۸۵	۰/۸۹۳	۰/۶۳۸	۰/۱۰۷	۰/۲۵۵	۱/۳۲	۴۶	۰/۰۷	۳۵۰-۴۰۰	ارتفاعی (متر)
۱۵/۳۸	۰/۹۲۳	۰/۶۸۰	۰/۰۷۷	۰/۲۴۳	۳۰/۴۶	۴۳	۱/۹۸	۴۰۰-۴۵۰	
۲/۰۶	۰/۹۱۰	۰/۸۷۸	۰/۰۹۰	۰/۰۳۲	۲۸/۴۸	۵	۱۳/۸۲	۴۵۰-۵۰۰	
۰/۷۳۲	۰/۸۴۶	۰/۸۵۲	۰/۱۳۶	۰/۰۱۲	۳۶/۴۲	۲	۴۹/۷	۵۰۰-۱۰۰۰	
.	۰/۸۹۲	۰/۸۹۲	۰/۱۸۰	.	.	.	۰/۰۲	۱۰۰۰-۲۰۰۰	
.	۰/۸۹۲	۰/۸۹۲	۰/۱۰۸	.	.	.	۰/۰۴	۲۰۰۰-۳۰۰۰	
.	۰/۸۳۸	۰/۸۳۸	۰/۱۶۲	.	.	.	۳۳/۲۴	۳۰۰۰-۴۰۰۰	
.	۰/۸۹۱	۰/۸۹۱	۰/۱۰۹	.	.	.	۱/۰۱	> ۴۰۰۰	
۷/۸۴	۰/۸۶۲	۰/۲۸۵	۰/۱۳۸	۰/۵۷۷	۲۹/۸	۴۵	۳/۸	۰-۵	شیب (درجه)
۳/۹	۰/۸۵۶	۰/۵۶۹	۰/۱۴۴	۰/۲۸۷	۲۹/۸	۴۵	۷/۶۶	۵-۱۰	
۱/۲	۰/۸۱۶	۰/۷۳۹	۰/۱۸۴	۰/۸	۱۵/۳۳	۲۳	۱۲/۶۹	۱۰-۱۵	
۰/۴۶۱	۰/۷۵۴	۰/۷۲۰	۰/۲۴۶	۰/۰۳۴	۱۶/۵۷	۲۵	۳۵/۹۷	۱۵-۲۵	
۰/۲۱۵	۰/۷۱۲	۰/۶۹۶	۰/۲۸۸	۰/۰۱۶	۸/۶	۱۳	۳۹/۸۸	> ۲۵	
۰/۳۷۴	۰/۵۳۱	۰/۴۱۴	۰/۴۶۹	۰/۱۱۶	۱۵/۳۳	۲۳	۴۰/۶۷	محدب	انحنای زمین
۱/۴۰۲	۰/۷۰۶	۰/۲۷۱	۰/۲۹۴	۰/۴۳۶	۲۹/۱۳	۴۴	۲۰/۷۷	مسطح	
۱/۴۴۳	۰/۷۶۳	۰/۳۱۵	۰/۲۳۷	۰/۴۴۸	۵۵/۶۴	۸۴	۲۸/۵۶	مقعر	

کاربرد مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، نسبت فراوانی و تابع شواهد قطعی در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل

شاخص	۱/۸-۲	۱۲/۷	۳	۱/۹۹	-/۰۰۷	-/۱۲۳	-/۸۶۹	-/۸۷۷	-/۱۵۶
رطوبت	۲-۳	۲۵/۳۲	۴	۲/۶۵	-/۰۰۵	-/۱۴۳	-/۸۵۲	-/۸۵۷	-/۱۰۴
توپوگرافی	۳-۴	۲۳/۸۱	۹	۵/۹۶	-/۰۱۲	-/۱۳۶	-/۸۵۳	-/۸۶۴	-/۲۵۰
	۴-۵	۱۶/۸۳	۲۸	۱۸/۵۴	-/۰۵۱	-/۱۰۸	-/۸۴۱	-/۸۹۲	۱/۱۰۱
	۵-۶	۱۰/۶۸	۴۰	۲۶/۴۹	-/۱۱۵	-/۰۹۰	-/۷۹۴	-/۹۱۰	۲/۴۸۰
	۶-۷	۶/۳۴	۳۹	۲۵/۸۳	-/۱۸۹	-/۰۸۷	-/۷۲۴	-/۹۱۳	۴/۰۷۴
	۷-۸	۳/۰۶	۱۸	۱۱/۹۲	-/۱۸۱	-/۱۰۰	-/۷۱۹	-/۹۰۰	۳/۸۹۵
	۸-۱۰	-/۸۷	۸	۵/۳	-/۲۸۳	-/۱۰۵	-/۶۱۲	-/۸۹۵	۶/۰۹۱
	۱۲-۱۰	-/۳۹	۲	۱/۳۲	-/۱۵۶	-/۱۰۹	-/۷۳۵	-/۸۹۱	۳/۳۸۴
شاخص	۰-۱۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱۱۵	-/۸۸۵	-/۸۸۵	۰
قدرت جریان	۱۰-۵۰	-/۰۱	۰	۰	۰	۰/۱۱۵	-/۸۸۵	-/۸۸۵	۰
	۵۰-۱۰۰	-/۰۵	۰	۰	۰	۰/۱۱۵	-/۸۸۵	-/۸۸۵	۰
	۱۰۰-۵۰۰	-/۵۹	۰	۰	۰	۰/۱۱۶	-/۸۸۴	-/۸۸۴	۰
	۵۰۰-۱۰۰۰	-/۹۷	۳	۱/۹۹	-/۴۶۲	-/۱۱۴	-/۴۲۴	-/۸۸۶	۲/۰۵۱
	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲/۸۱	۱	۰/۶۶	-/۰۵۳	-/۱۱۸	-/۸۲۹	-/۸۸۲	-/۲۳۴
	۲۰۰۰-۵۰۰۰	۱۱/۰۹	۸	۵/۳	-/۱۰۷	-/۱۲۳	-/۷۷۰	-/۸۷۷	-/۴۷۷
	۵۰۰۰-۱۰۰۰۰	۱۷/۷۹	۱۱	۷/۲۸	-/۰۹۲	-/۱۳۰	-/۷۷۸	-/۸۷۰	-/۴۰۹
	> ۱۰۰۰۰	۶۶/۶۹	۱۲۸	۸۴/۷۷	-/۲۸۶	-/۰۵۳	-/۶۶۲	-/۹۴۷	۱/۲۷۱
فاصله از رودخانه (متر)	۰-۵۰۰	۹/۴۴	۱۲۸	۸۴/۷۶	-/۸۶۹	-/۰۲۵	-/۱۰۶	-/۹۷۵	۸/۹۷۸
	۵۰۰-۱۰۰۰	۸/۹	۹	۵/۹۶	-/۰۶۵	-/۱۵۶	-/۷۷۹	-/۸۴۴	-/۶۶۹
	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۸/۶۵	۵	۳/۳۱	-/۰۳۷	-/۱۶۰	-/۸۰۳	-/۸۴۰	-/۳۸۲
	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۸/۳۹	۲	۱/۲۴	-/۰۱۵	-/۱۶۳	-/۸۲۲	-/۸۳۷	-/۱۴۷
	۲۰۰۰-۲۵۰۰	۸/۵۷	۱	۰/۶۶	-/۰۰۷	-/۱۶۴	-/۸۲۸	-/۸۳۶	-/۰۷۷
	> ۲۵۰۰	۵۶/۰۵	۶	۴/۰۷	-/۰۰۷	-/۳۳۱	-/۶۶۲	-/۶۶۹	-/۰۷۲
بارندگی (میلیمتر)	۱۸۳-۲۶۷	-/۳۹	۴	۲/۶۵	-/۳۳۹	-/۱۰۸	-/۵۵۳	-/۸۹۲	۶/۷۹۴
	۲۶۷-۳۲۹	۱/۷۱	۲۶	۱۷/۲۲	-/۴۹۷	-/۰۹۳	-/۴۱۰	-/۹۰۷	۱۰/۰۷
	۳۲۹-۳۷۵	۱۶/۰۸	۳۵	۲۳/۱۸	-/۰۷۱	-/۱۰۱	-/۸۲۸	-/۸۹۹	۱/۴۴۱
	۳۷۵-۴۰۹	۳۳/۵۸	۶۲	۴۱/۰۶	-/۰۶۰	-/۰۹۸	-/۸۴۲	-/۹۰۲	۱/۲۲۲
	۴۰۹-۴۳۴	۳۰/۰۷	۱۹	۱۲/۵۸	-/۰۲۱	-/۱۳۸	-/۸۴۱	-/۸۶۲	-/۴۱۸
	۴۳۴-۴۶۸	۱۲/۸۲	۵	۳/۳۱	-/۰۱۳	-/۱۲۳	-/۸۶۵	-/۸۷۷	-/۲۵۸
	۴۶۸-۵۱۴	۱/۹۹	۰	۰	۰	-/۱۱۳	-/۸۸۷	-/۸۸۷	۰
	۵۱۴-۵۷۶	۲/۲۴	۰	۰	۰	-/۱۱۳	-/۸۸۷	-/۸۸۷	۰
	> ۵۷۶	۱/۱۳	۰	۰	۰	-/۱۱۲	-/۸۸۸	-/۸۸۸	۰
زمین‌شناسی	سنوزویک	۲۸/۹۷	۵۵	۳۶/۴۲	-/۲۰۰	-/۱۷۳	-/۶۲۷	-/۸۲۷	-/۹۳۴
	مزوزویک	۵۵/۹۳	۸۷	۵۷/۶۲	-/۲۱۸	-/۱۶۱	-/۶۲۱	-/۸۳۹	۱/۰۳
	پالئوزویک	۵/۱	۹	۵/۹۶	-/۲۶۹	-/۱۶۵	-/۵۶۶	-/۸۳۵	۱/۱۶۸
کاربری اراضی	مرتع	۹۰/۳۰	۹	۵/۹۶	-/۰۱۶	-/۱۱۶	-/۷۴۰	-/۸۸۴	-/۰۶۶
	خاک لخت	۲/۴۰	۱۳۲	۸۷/۴۲	-/۶۶۴	-/۲۱۰	-/۷۷۳	-/۷۹۰	۳۶/۴۲۵
	جنگل	-/۷۱	۵	۳/۳۱	-/۰۱۰	-/۱۲۶	-/۸۶۵	-/۸۷۴	۴/۶۶۱
	باغ	۵/۸۸	۰	۰	-/۱۳۸	-/۱۲۲	-/۷۳۹	-/۸۷۸	۰

۵/۰۷۶	۰/۸۷۸	۰/۸۲۹	۰/۱۲۲	۰/۰۴۹	۰/۶۶	۱	۰/۱۳	مسکونی
۰	۰/۸۷۷	۰/۸۷۷	۰/۱۲۳	۰	۰	۰	۰/۲۳	اراضی آبیاری
۷/۵۷۱	۰/۸۸۱	۰/۲۱۶	۰/۱۱۹	۰/۱۴۴	۲/۶۵	۴	۰/۳۵	پهنه‌های آبی
۳/۷۱۹	۰/۹۰۴	۰/۷۰۵	۰/۰۹۶	۰/۱۹۹	۳/۳۱	۵	۰/۸۹	شاخص
۲/۲۶۳	۰/۹۰۴	۰/۷۸۳	۰/۰۹۶	۰/۱۲۱	۴/۶۴	۷	۲/۰۵	نرمال شده
۲/۳۴۷	۰/۹۰۸	۰/۷۸۸	۰/۰۹۲	۰/۱۲۰	۱۱/۲۶	۱۷	۵/۰۱	تفاوت
۰/۲۹۹	۰/۸۶۷	۰/۸۵۱	۰/۱۳۳	۰/۰۱۶	۹/۹۳	۱۵	۳۳/۱۴	پوشش
۰/۶۷۸	۰/۸۸۷	۰/۸۵۱	۰/۱۱۳	۰/۰۳۶	۲۱/۱۹	۳۲	۳۱/۲۲	گیاهی
۲/۹۹۷	۰/۹۱۱	۰/۷۵۱	۰/۰۸۹	۰/۱۶۰	۱۴/۵۷	۲۲	۴/۸۶	
۲/۰۹	۰/۹۰۷	۰/۷۹۵	۰/۰۹۳	۰/۱۱۲	۹/۹۳	۱۵	۴/۷۵	
۲/۶۰۸	۰/۹۱۰	۰/۷۷	۰/۰۹۰	۰/۱۳۹	۱۳/۲۵	۲۰	۵/۰۸	
۱/۵۶۳	۰/۹۰۵	۰/۸۲۲	۰/۰۹۵	۰/۰۸۴	۱۰/۶۰	۱۶	۶/۷۸	
۰/۲۱۱	۰/۸۹۶	۰/۸۸۵	۰/۱۰۴	۰/۰۱۱	۱/۳۲	۲	۶/۲۳	

روش شبکه عصبی مصنوعی

شده است. نتایج حاکی از آن است که مدل مذکور دارای توانایی نسبتاً خوبی در پیش‌بینی وقوع سیل در حوزه آبخیز هراز است.

نتایج اجرای روش شبکه عصبی مصنوعی در جدول ۳ نشان داده

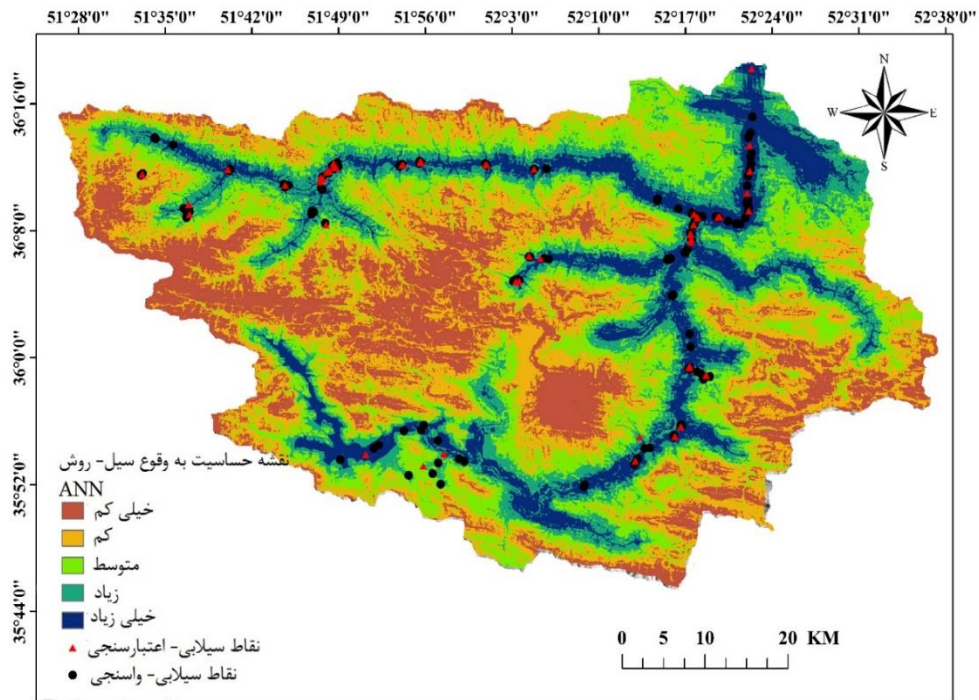
جدول ۳- نتایج مرحله آزمایش (تست) برای مدل شبکه عصبی مصنوعی

مقادیر	معادله	داده تست (اعتبارسنجی)	ردیف
۱۳۵	-	تعداد نقاط سیلابی درست پیش‌بینی شده (TP)	۱
۵	-	تعداد نقاط سیلابی اشتباه پیش‌بینی شده (TN)	۲
۱۳۴	-	تعداد نقاط غیر سیلابی درست پیش‌بینی شده (FP)	۳
۶	-	تعداد نقاط غیر سیلابی اشتباه پیش‌بینی شده (FN)	۴
۹۱/۹	$PPV = TP / (FP + TP)$	مقادیر پیش‌بینی مثبت (PPV)	۵
۹۱/۲	$NPV = TN / (FN + TN)$	مقادیر پیش‌بینی منفی (NPV)	۶
۹۲/۳	$Sensitivity = TP / (TP + FN)$	حساسیت	۷
۹۰/۹	$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$	صحت	۸

تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل

هراز تهیه شد. نقشه‌های حساسیت به وقوع سیل با پنج کلاس حساسیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.3 اجرا گردید (شکل ۵).

در نهایت وزن‌های بدست‌آمده در هر روش، برای هر کلاس از هر فاکتور توسط در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) اعمال- گردیده و نقشه‌های حساسیت به وقوع سیل برای حوزه آبخیز

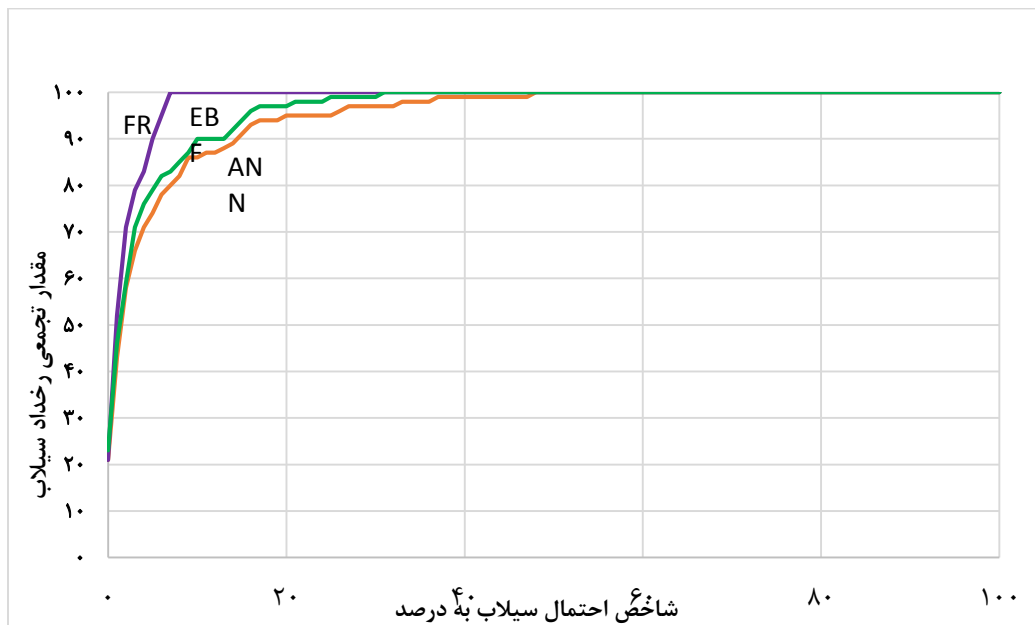


شکل ۵- نقشه حساسیت به وقوع سیل در حوزه آبخیزهراز توسط روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

شکل ۶ ارائه شده است. سطح زیر نمودار منحنی مشخصه عملکرد سیستم نشان‌دهنده کارایی مدل می‌باشد، و هرچه سطح زیر منحنی بیشتر باشد، کارایی مدل بیشتر است. با توجه به اینکه مساحت زیر منحنی برای مدل نسبت فراوانی ۰/۹۷ می‌باشد، پس این مدل دارای کارایی بیشتری نسبت به مدل‌های تابع شواهد قطعی (۰/۹۳) و شبکه عصبی مصنوعی است (۰/۷۸).

اعتبارسنجی مدل‌ها

به منظور ارزیابی دقت نقشه پیش‌بینی استعداد سیل، از ۶۰ واقعه سیل (داده‌های آزمایشی) مربوط به دوره‌های گذشته استفاده شد که این وقایع برای پیش‌بینی پتانسیل سیل در مدل احتمالاتی وارد نشده‌اند. نتایج ارزیابی دقت مدل بصورت هیستوگرام در



شکل ۶- اعتبارسنجی روش‌های استفاده شده توسط روش ROC

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها:

دارای بیشترین احتمال سیل‌گیری هستند. همچنین نتایج پیش-بینی نشان داد که پارامترهای شیب، ارتفاع، انحنا، زمین، سنگ-شناسی، نوع اراضی، فاصله از رودخانه، توان حمل رودخانه و شاخص رطوبت توپوگرافی بر پتانسیل و استعداد سیل‌گرفتگی اراضی تأثیرگذار بوده و بکارگیری آن‌ها در مدل‌های احتمالاتی ارزیابی پتانسیل سیل مفید می‌باشد. مکانیسم تشکیل سیل و سیل‌گرفتگی اراضی در قالب آنالیزهای مکانی قابل‌تعمیم به سایر نقاط حوزه آبخیز است. رویکرد ارائه شده در این تحقیق در واقع برخی از متغیرهای موثر بر وقوع سیل استفاده شده‌اند که اهمیت زیادی در نقشه پیش‌بینی خطر سیل در منطقه مورد مطالعه دارند که می‌توان با استفاده از نتایج این نقشه‌ها اقدامات مدیریتی مناسبی جهت کاهش خسارت‌ها و تلفات ناشی از سیل انجام داد. برای دقت در پیش‌بینی رخداد سیلاب لازم است از سایر مدل‌های یادگیری ماشین و یا ترکیبی از این مدل‌ها استفاده گردد که دقت و صحت پیش‌بینی رخداد سیلاب را افزایش خواهند داد.

یافته‌های فوق علاوه بر داشتن جنبه کاربردی و عملیاتی برای دستگاه‌ها و نهادهای مدیریتی به‌ویژه ستاد مدیریت بحران استان-های شمالی کشور، می‌تواند به عنوان الگویی مناسب، توسط محققان و علاقه‌مندان به برنامه‌ریزی مدیریت بحران شهری ناشی از سیل، مورد استفاده قرار گیرد. تهیه نقشه ترکیبی حساسیت به وقوع مخاطرات چندگانه (سیل، زلزله، خشکسالی و ...) با استفاده از مدل‌های ترکیبی برای محدوده مطالعاتی و سایر حوزه‌های آبخیز کشور به‌ویژه مناطقی که از تراکم بالای جمعیت شهری برخوردار هستند، به عنوان مبنای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود.

سیل یکی از انواع بلایای طبیعی می‌باشد که هر ساله در قسمت-های شمالی ایران رخ می‌دهد. برای جلوگیری و یا کاهش خسارات جانی و مالی ناشی از وقوع این مخاطره، تهیه نقشه‌های احتمال وقوع سیل ضروری می‌باشد. در این مورد، روش‌های مختلفی توسط محققان برای کنترل و تخفیف سیل در دهه‌های اخیر به کار گرفته شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد با استفاده از نقشه‌های احتمال وقوع سیل، مناطقی که دارای احتمال خطر بالا هستند، به راحتی قابل شناسایی هستند تا از وقوع خسارات جلوگیری کرد و یا خسارات را کاهش داد. پژوهش حاضر با هدف تهیه نقشه احتمال وقوع سیل در حوزه آبخیز و ارزیابی کارایی مدل‌های نسبت فراوانی و تابع شواهد قطعی و شبکه عصبی مصنوعی در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل می‌باشد. برای این کار از ۲۱۱ نقطه سیلابی ثبت شده، ۱۵۱ موقعیت سیل برای مدل‌سازی و ۶۰ موقعیت برای اعتبارسنجی مدل کنار گذاشته شد. برای تهیه این نقشه‌ها، اولین گام آماده‌سازی فاکتورهای موثر در وقوع سیل می‌باشد. یافته‌های این پژوهش حاکی از دقت مدل نسبت فراوانی احتمالاتی در شناسایی مناطق دارای استعداد سیل-گرفتگی حوزه آبخیز هراز در استان مازندران است. بنابراین استفاده از مدل نسبت فراوانی احتمالاتی در ارزیابی خطر سیل-گرفتگی، مفید و قابل اعتماد است. اما از آنجا که دقت پیش‌بینی مدل‌های تابع شواهد قطعی و شبکه عصبی مصنوعی نیز قابل قبول می‌باشد می‌توان از این روش‌ها نیز استفاده نمود، اما در کل روش نسبت فراوانی دارای دقت بالاتری در پیش‌بینی مناطق سیل‌گیر است. در نقشه‌های تولید شده، قسمت‌های دارای طبقات ارتفاعی پایین و نزدیک خروجی حوزه دارای بیشترین مقدار سیل-گیری هستند. در کل، مناطق با طبقات ارتفاعی پایین و شیب کم

تقدیر و تشکر

این کار پژوهشی حاصل بخشی از پروژه بین‌المللی راه ابریشم ما بین صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور و آکادمی علوم چین (CAS) به شماره طرح ۹۶۰۰۴۰۰۰ می‌باشد.

References:

1. Althuwaynee, O.F., Pradhan, B., and Lee, S. (2012): Application of an evidential belief function model in landslide susceptibility mapping. *Comput. Geosci.* 44, 120–135.
2. Althuwaynee, O.F., Pradhan, B., Park, H.J., and Lee, J.H. (2014): A novel ensemble bivariate statistical evidential belief function

with knowledge-based analytical hierarchy process and multivariate statistical logistic regression for landslide susceptibility mapping. *Catena* 114, 21–36.

3. Billa L, Shattri M, Mahmud AR, and Ghazali, AH. (2006): Comprehensive planning and the role of SDSS in flood disaster management in Malaysia. *Disaster Prev Manage* 15:233–240.

4. Dai, FC/, Lee, CF., Li, J., and Xu, ZW. (2001): Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environ Geol* 40:381–391.
5. Dixon, B. (2005): Applicability of neuro-fuzzy techniques in predicting ground-water vulnerability: a GIS-based sensitivity analysis. *J Hydrol* 309:17–38.
6. Esfandiary Darabad, F., Rahimi, M., and Pourmortaza, G. (2019): Flood zonation of Agerloo Cay Basin using the L-THIA method and fuzzy logic, quantitative geomorphological researches, 8(2), pp: 155 - 171. (in Persian)
7. Fernáandez, DS., and Lutz, MA. (2010): Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Eng Geol* 111:90–98.
8. Islam, M.M., Sado, K., Owe, M., Brubaker, K., Ritchie, J., and Rango, A. (2001): Flood damage and management modelling using satellite remote sensing data with GIS: case study of Bangladesh. *IAHS Publication*, pp. 455-457.
9. Jamini, Davood., Amini, Abbas., Ghadermarzi, Hamed and Tavakoli, Jafar (2017): Measurement of Food Security and Investigation of its Challenges in Rural Areas (Case Study: Badr District from Ravansar County), *JOURNAL OF REGIONAL PLANNING*, 7 (27): pp: 87-102. (in Persian)
10. Jung, IW., Chang, H., and Moradkhani, H. (2011): Quantifying uncertainty in urban flooding analysis considering hydro-climatic projection and urban development effects. *Hydrol Earth Syst Sci* 15(2):617–633.
11. Khosravi, K., Pham, B.T., Chapi, K., Shirzadi, A., Shahabi, H., Revhaug, I., Prakash, I., and Bui, D.T. (2018): A comparative assessment of decision trees algorithms for flash flood susceptibility modeling at Haraz watershed, northern Iran. *Science of the Total Environment*, 627, pp.744-755.
12. Khosravi, K., Pourghasemi, H.R., Chapi, K., and Bahri, M. (2016): *Environ Monit Assess*, 188: 656. doi:10.1007/s10661-016-5665-9.
13. Khosroshahi, M. (2016): An overview to identification and prioritization of flood prone areas using SSSE method in sub-watersheds, *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 10(33), pp: 59 – 72. (in Persian)
14. Kia, MB., Pirasteh, S., Pradhan, B., Mahmud, AR., Sulaiman, WNA., and Moradi, A. (2012): An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River Basin, Malaysia. *Environ Earth Sci* 67:251–264.
15. Kron, W. (2002): Keynote lecture: flood risk = hazard * exposure * vulnerability. In: *Proceedings of the flood defence*. Science Press, New York.
16. Lee, M.J., Kang, J.E., and Jeon, S (2012): Application of frequency ratio model and validation for predictive flooded area susceptibility mapping using GIS. In: *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Munich. 895–898.
17. Merz, B., Thielen, AH., and Gocht, M. (2007): Flood risk mapping at the local scale: concepts and challenges. In: *Flood risk management in Europe*. Springer, Amsterdam, pp 231–251.
18. Miller, JR., Ritter DF., and Kochel RC (1990): Morphometric assessment of lithologic controls on drainage basin evolution in the Crawford Upland, south-central Indiana. *Am J Sci* 290:569–599.
19. Moore, ID., Grayson, RB., and Ladson, AR. (1991): Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrol Process* 5:3–30.
20. Nampak, H., Pradhan, B. and Manap, M.A. (2014): Application of GIS based data driven evidential belief function model to predict groundwater potential zonation. *Journal of Hydrology*, 513, pp.283-300.
21. Nasiri, Z., and Talebi, A. (2020): prioritization of sub-watersheds from flooding viewpoint using the Hec-Hms model in upstream of Shiraz Khoshk River, *Iranian Journal of Eco Hydrology*, 7(1), pp: 47-57. (in Persian)
22. Nazaripouya, H. (2019): Evaluation of Factor Analysis Method in Prioritizing Flood in Northern Sub-basins of Alvand Hamedan, *Journal of Watershed Management Research*, 10(20), pp: 49-61. (in Persian)
23. Nozari, H., Marofi, S., and Edirsh, M. (2017): Identification and prioritize of potential areas to flood inundation in the Dez basin using WMS, *Journal of Range and Watershed Management*, 70(3), pp: 805 - 820. (in Persian)

24. Oh, H.J., and Pradhan, B. (2011): Application of a neuro-fuzzy model to landslide- susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. *Computer and Geoscience*, 37, 1264–1276.
25. Ohlmacher, G.C., and Davis, J.C. (2003): Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA. *Eng Geol* 69:331–343.
26. Porhemmat, J. (2016): A model on investigation on flood hazard over watersheds of Iran, *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 10 (34), pp: 1-14. (in Persian)
27. Pourghasemi, H.R., and Beheshtirad, M. (2014): Assessment of a data-driven evidential belief function model and GIS for groundwater potential mapping in the Koohrang Watershed, Iran. *Geocarto International*, 30(6): 662-685.
28. Pourghasemi, H.R., Mohammadi, M., and Pradhan, B. (2012): Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models at Safarood Basin, Iran. *Catena* 97, 71–84, <<http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2012.05.005>>.
29. Pradhan B, and Lee, S. (2010): Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia, by using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models. *Environ Earth Sci* 60:1037-1054.
30. Pradhan, B. (2013): A comparative study on the predictive ability of the decision tree, support vector machine and neuro-fuzzy models in landslide susceptibility mapping using GIS. *Comput. Geosci.* 51, 350–365.
31. Pradhan, B., Abokharima, M.H., Jebur, M.N., and Tehrany, M.S. (2014): Land subsidence susceptibility mapping at Kinta Valley (Malaysia) using the evidential belief function model in GIS. *Natural hazards*, 73(2), pp.1019-1042.
32. Pradhan, B., and Youssef, A.M. (2011): A 100-year maximum flood susceptibility mapping using integrated hydrological and hydrodynamic models: Kelantan River Corridor, Malaysia. *Journal of Flood Risk Management*, 4(3), pp.189-202.
33. Pradhan, B., Hagemann, U., Shafapour Tehrany, M., and Prechtel, N. (2014): An easy to use ArcMap based texture analysis program for extraction of flooded areas from TerraSAR-X satellite image. *Comput. Geosci.* 63, 34-43.
34. SCWMRI (Soil Conservation and Watershed Management Research Institute). (2015): Atlas of the country's watersheds, Publishers: Agricultural Research Education and Extension Organization, Tehran. (in Persian)
35. Shamsoddini, Ali and Nasibi, Sasan (2019): The study of urban furniture layout on the urban area's vitality (case study: the whole area of Shiraz), *Journal of Research and Urban Planning*, 10 (37), pp: 83-96. (in Persian)
36. Shamsodini, A., Jamini, D., and Jamshidi, A. (2016): Measurement and Analyses of Social Stability in Rural Area (Case Study: Javanrood Township). *Journal of Rural Research*. 7(3), 486-503. (in Persian)
37. Smith, K. (2001): *Environmental hazards assessing risk and reducing disaster*, 3rd edn. Routledge, fetter lane, London.
38. Talebi, A., Eslami, Z., and Abbasi, A. (2019): Comparing prioritization from flooding of sub-basins using HEC-HMS model and experimental methods in Eskandari Watershed, *Journal of Watershed Engineering and Management*, 11(2), pp: 336 - 343. (in Persian)
39. Tehrany, M.S., Lee, M.J., Pradhan, B., Jebur, M.N., and Lee, S. (2014b): Flood susceptibility mapping using integrated bivariate and multivariate statistical models. *Environ. Earth sci.* 72(10): 4001-4015.
40. Tehrany, M.S., Pradhan, B., and Jebur, M.N. (2013): Spatial prediction of flood susceptible areas using rule based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS. *Journal of Hydrology*, 504: 69-79.
41. Tehrany, M.S., Pradhan, B., and Jebur, M.N. (2014a): Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. *J. Hydrol.* 512: 332-343.
42. Tehrany, M.S., Pradhan, B., Mansour, Sh., and Ahmad, N. (2015): Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types. 125:91-101.
43. Tunusluoglu, M., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H., and Sonmez, H. (2008): Extraction of potential debris source areas by logistic regression technique: a case study from Barla, Besparmak and Kapi mountains (NW Taurids, Turkey). *Environ Geol* 54:9–22.
44. Youssef, A.M., Pradhan, B., Pourghasemi, H.R., and Abdullahi, S. (2014): Landslide susceptibility assessment at Wadi Jawrah Basin, Jizan region, Saudi Arabia using two bivariate models in GIS. *Geosciences Journal*, 19(1):113-134.
45. Zarghami, S., Teymouri, A., Mohammadian, H and Shamaei, A (2016): Measuring and evaluating urban neighborhood's resilience

against earthquake: the case of Zanjan downtown, Journal of Research and Urban Planning, 7(27): pp: 77-92. (in Persian)