

## Research Paper

**Flood susceptibility mapping in northern regions of Iran using advanced data mining algorithms (Case study: Haraz watershed)**Himan Shahabi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>. Associate Professor, Department of Geomorphology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran (Department of Zrebar Lake Environmental Research, Kurdistan Studies Institute, University of Kurdistan)

Received: 2020/05/14

Accepted: 2020/06/30

PP: 167- 184

Use your device to scan and  
read the article online

**Keywords:**

Bagging, Shannon entropy,  
Haraz watershed, Flood  
susceptibility.

**Abstract**

Floods are one of the phenomena in nature that human beings have been witnessing for a long time. In Iran, due to the large area, different climates, temporal and spatial density of rainfall in most watersheds, we see huge floods every year. Flood susceptibility mapping is one of the basic strategies to reduce the loss of life and property due to floods. In this study, Bagging and Shannon Entropy methods have been used to prepare flood susceptibility maps. In the current study, 201 floodplain locations were prepared. Of the 201 positions, 70% were used for modeling and map preparation. The remaining 30%, which were randomly generated, were used to validate the maps produced. Furthermore, ten effective factors including slope, land curvature, distance to river, elevation, rainfall, stream power index (SPI), topographic wetness index (TWI), lithology, land use and normalized difference vegetation index (NDVI) were used. The mentioned models determined the effect weight of each factor affecting the occurrence of floods. The ROC curve was drawn and the area below the curve (AUC) was calculated to validate the flood susceptibility map. The results showed that Bagging model has a higher accuracy than Shannon Entropy model. Therefore, the high accuracy of this model indicates that it is reliable for preparing a flood susceptibility map in areas without statistics.

**Citation:** Himan Shahabi (2021): Flood susceptibility mapping in northern regions of Iran using advanced data mining algorithms (Case study: Haraz watershed), Journal of Regional Planning, Vol 11. Issue 41, Marvdasht, PP 165- 184.

**DOI:** 10.30495/jzpm.2021.4246

\* **Corresponding author:** Himan Shahabi

**Address:** Associate Professor, Department of Geomorphology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

**Tell:** +9371611038

**Email:** h.shahabi@uok.ac.ir

## Extended Abstract

### Introduction

Due to the importance of flood hazards and its growing trend in recent years, the preparation of flood maps and flood sensitization zoning has received special attention from researchers and experts. To prepare flood maps there are different hydraulic (by HEC-RAS) and hydrological methods and in recent years many statistical and probabilistic models have been tested for flood susceptibility maps. Also GIS software as a basic analysis tool has been used for spatial management and data manipulation due to its ability to handle large amounts of spatial data and the combination of statistical and probabilistic models with RS and GIS has attracted a lot of attention from researchers. Northern regions of Iran, due to its special natural and climatic conditions, in terms of population and forest cover, they are one of the most densely populated areas in the country. In addition to high population density and forest cover, in these areas every year, considerable crops, livestock, orchards, etc. are produced and it shows the importance of this region in various indicators of local and regional development. However, every year there are different natural hazards. We are among the floods in the northern regions of the country, including the Haraz watershed in some cases, in addition to extensive financial losses, there are casualties. To prevent these accidents and reduce these damages and casualties, identify places and areas prone to floods and in general, sensitive areas in this area, it seems necessary and logical. In this study, an attempt has been made based on various factors such as slope, curvature of the earth, distance from the river, elevation, precipitation, river power index and ..., flood susceptibility zoning map in the watershed of Haraz. Using advanced data mining algorithms be prepared and validated. Therefore, the basic questions that the researcher in this research seeks to investigate as follows: In which part of the Haraz watershed are areas with high flood susceptibility? and to prepare a flood susceptibility map in Haraz watershed, which of entropy Shannon's and Bagging models work best?

### Methodology

The aim of this applied research, is a preparation flood susceptibility mapping in Haraz watershed using the advanced data mining algorithms that done with the quantitatively method, required data according to the objectives of the research collected from relevant organizations and agencies (Regional Water Company, Natural Resources Department, etc.) and to analyze this data ArcGIS software is used. Overall the research process is as follows: First prepared list of past floods in the study area and so on the effective parameters in the occurrence of flooding have been identified and using two models, Shannon and Bagging entropy, it is provided flood susceptibility zoning map in Haraz watershed in northern Iran. Then using the ROC curve, the accuracy and validation of the models have been investigated.

### Results and discussion

Validation of sensitivity maps prepared in this study obtained by calculating the relative characteristics index or ROC. This curve is one of the most efficient methods in providing the ability to determine, identify potential and predict systems that estimates the accuracy of the model quantitatively. In this way, area below the curve or AUC it has values between 0.5 and 1, and it is used to evaluate the accuracy of the model. Best model has a level below the curve close to 1, while values close to 0.5 indicates the inaccuracy in the model. The results indicate that that Bagging model (0.96) it has a higher accuracy than the Shannon entropy model (0.88). Although both models are acceptable, but the Bagging model it has the highest acceptable accuracy in preparing flood susceptibility maps in Haraz watershed.

### Conclusion

Due to floods in the northern parts of the country and their growing trend, preparation of flood susceptibility map, it is a background for cognition factors affecting flood occurrence, its occurrence, risk management and risk prevention methods. The purpose of the present study prioritize the factors that affect the occurrence of floods using Shanghai bagging and entropy models. After preparing the location map of the floods, 10 factors included the slope, curvature of the earth,

elevation, Distance from the river, Rainfall, TWI, SPI, lithology, land use and NDVI, they were selected as the factors influencing the flooding of Haraz watershed in Mazandaran province. Prioritize the factors influencing the occurrence of floods Using the Shannon Entropy Index, it showed The NDVI layers weigh (2.03), Distance from the river (1/1), SPI (1.09), Elevation classes (0.995), Slope (0.847), Rainfall (0.54), Lithology (0.421), TWI (0.309), Land use (0.223) and Earth's curvature (0.136) Respectively Have had the most to the least impact on the occurrence of floods. Based on ROC curve results, bagging model It has the highest accuracy in predicting flood susceptibility maps in Haraz watershed and Then there is the Shannon entropy model. According to the final flood susceptibility map, Around the Haraz River Has a high sensitivity to flooding. So it should Refrain from the construction of residential areas or Fruit orchards and even agricultural lands around the river and to Residential areas and existing gardens be made Precautions such as flood walls or graves until the Avoid causing too much damage to these parts. Thus Preparation of sensitivity maps for natural disasters such as floods, landslides, etc. It is necessary for future management and planning until the Be prevented from the loss of life and property to these sectors. Use the results of this research It is necessary to offices and organizations Agricultural Jihad, Natural Resources, Regional Water, Ministry of Energy, Housing and Urban Development, Islamic Revolution Housing Foundation and all researchers and decision makers, and even urban and rural managers, to think about the necessary arrangements to prevent and reduce the destructive effects of floods and their side effects.



## مقاله پژوهشی

## پهنه‌بندی حساسیت وقوع سیل در مناطق شمالی ایران با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته داده‌کاوی (منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز هراز)

هیمن شهابی<sup>۱</sup>

۱. دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، عضو گروه پژوهشی مطالعات محیطی دریاچه زریبار، پژوهشکده کردستان شناسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

## چکیده

سیل یکی از مخاطرات محیطی است که از دیرباز تا کنون جامعه بشری شاهد وقوع آن می‌باشد. در ایران به دلیل وسعت زیاد، اقلیم‌های متعدد، تراکم زمانی و مکانی بارش‌ها در اکثر حوزه‌های آبخیز از جمله حوزه آبخیز هراز، همه ساله شاهد سیلاب‌های عظیمی می‌باشیم که خسارات جانی، مالی و محیطی متعددی را به همراه دارد. یکی از راهکارهای اساسی جهت کاهش خسارت ناشی از سیل، تهیه و استفاده از نقشه‌های حساسیت به وقوع سیل در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های عملیاتی و اجرایی می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته داده‌کاوی (مدل‌های بگینگ و آنتروپی شانون) جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت به وقوع سیل استفاده شده است. فرایند انجام پژوهش به این صورت است که ابتدا داده‌های ۲۰۱ موقعیت نقاط سیلابی آماده گردید. در ادامه از ۲۰۱ موقعیت، ۷۰ درصد آن جهت مدل‌سازی و تهیه نقشه استفاده شد و از ۳۰ درصد باقی‌مانده، که به صورت تصادفی تهیه شدند، جهت اعتبارسنجی نقشه‌های تولید شده استفاده گردید. در این تحقیق از ده فاکتور موثر شامل 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 شده است و وزن تاثیر هر فاکتور با استفاده از الگوریتم‌های داده‌کاوی مشخص شد و منحنی  $ROC$  ترسیم و سطح زیرمنحنی ( $AUC$ ) برای اعتبارسنجی نقشه حساسیت به وقوع سیل محاسبه گردید. نتایج پژوهش نشان داد که جهت تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل، مدل بگینگ نسبت به مدل آنتروپی شانون، از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد و صحت بالای این مدل حاکی از قابل اعتماد بودن آن به ویژه در حوزه‌های فاقد آمار می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۰

صفحات: ۱۶۷-۱۸۴

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



## واژه‌های کلیدی:

بگینگ، آنتروپی شانون، حوزه هراز، حساسیت به وقوع سیل.

استناد: شهابی، هیمن (۱۴۰۰): پهنه‌بندی حساسیت وقوع سیل در مناطق شمالی ایران با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته داده‌کاوی (منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز هراز)، فصلنامه برنامه ریزی منطقه ای، سال ۱۱، شماره ۴۱، مردودشت، صص ۱۸۴-۱۶۷.

DOI: 10.30495/jzpm.2021.4246

<sup>†</sup> نویسنده مسئول: هیمن شهابی

نشانی: دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

تلفن: ۰۹۳۷۱۶۱۱۰۳۸

پست الکترونیکی: h.shahabi@uok.ac.ir

**مقدمه:**

احتمالاتی زیادی برای نقشه حساسیت به وقوع سیل آزمایش شده است (Lee et al, 2012). همچنین نرم افزار GIS نیز به عنوان ابزار آنالیز پایه برای مدیریت مکانی و دستکاری داده‌ها به دلیل توانایی آن در هندلینگ مقادیر زیادی از داده‌های مکانی به کار رفته است (Oh and Pradhan, 2011) و ترکیب مدل‌های آماری و احتمالاتی با RS و GIS بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است.

مناطق شمالی ایران، به دلیل شرایط طبیعی و اقلیمی ویژه خود، از نظر جمعیتی و پوشش جنگلی، از پرتراکم‌ترین مناطق کشور هستند. علاوه بر تراکم بالای جمعیت و پوشش جنگلی، در این مناطق هر سال محصولات زراعی، دامی، باغی و ... قابل ملاحظه‌ای تولید می‌شود و نشانگر اهمیت این منطقه در شاخص‌های مختلف توسعه محلی و منطقه‌ای می‌باشد. با این وجود هر سال شاهد وقوع مخاطرات طبیعی مختلفی از جمله سیل در مناطق شمالی کشور از جمله حوزه آبخیز هزار هستیم که در مواردی علاوه بر خسارات مالی گسترده، تلفات جانی نیز به همراه دارد. برای پیشگیری از این حوادث و کاهش این خسارات و تلفات، شناسایی مکان‌ها و پهنه‌های مستعد سیل و به نوعی مناطق حساس در این زمینه، امری ضروری و منطقی به نظر می‌رسد. در این مطالعه سعی شده است بر اساس فاکتورهای مختلف شیب، انحنای زمین، فاصله از رودخانه، طبقات ارتفاعی، بارش، شاخص توان رودخانه، و ... نقشه پهنه-بندی حساسیت وقوع سیل در حوزه آبخیز هزار با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته داده‌کاوی تهیه و اعتبارسنجی شود. لذا سوال‌های اساسی که محقق در این پژوهش به دنبال بررسی آن می‌باشد عبارت‌اند از: پهنه‌های با حساسیت بالای وقوع سیل در چه بخشی از حوزه آبخیز هزار واقع شده‌اند؟ و برای تهیه نقشه حساسیت وقوع سیل در حوزه آبخیز هزار، کدامیک از مدل‌های آنالیز شانون و بگینگ، دقیق‌تر عمل می‌کنند؟

**مبانی نظری پژوهش:**

در اثر تعامل بدون برنامه و منفعت طلبانه 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 یک پدیده طبیعی است که جوامع بشری آن را به‌عنوان یک واقعه اجتناب‌ناپذیر پذیرفته‌اند. سیل در کنار عواملی مانند تغییرات اقلیم، خشکسالی، شوک‌های آب و هوایی، تخریب شدید محیط‌زیست، یکی از عوامل منفی

در میان انواع انواع مخاطرات محیطی، سیل یکی از مخرب‌ترین بالایی طبیعی است که خسارات و آسیب‌های فراوان را به همراه دارد (Youssef et al, 2011). همواره طغیان آب و سرازیر شدن سیل به اماکن مسکونی، از جمله حوادث طبیعی شایع در ایران پس از زلزله است که حیات بشر را به مخاطره می‌اندازد. هرساله در شهرهای شمالی ایران از قبیل استان‌های مازندران، گیلان و گلستان سیل‌های مهیبی اتفاق می‌افتند. 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 (Bubeck et al, 2012) تا خسارات جانی و مالی ناشی از سیلاب‌های آتی را کاهش داد (Kourgialas and Karatzas, 2011). در صورت ریزش بیش از اندازه باران به‌ویژه به شکل رگباری آن با توجه به شرایط ناهمواری و پوشش گیاهی منطقه، قسمت اعظم آن به‌صورت رواناب در آمده و پس از مدت کوتاهی بصورت سیل جاری شده و خسارات زیادی را با خود به همراه می‌آورد. روند رو به افزایش سیل در سال‌های اخیر حاکی از آن است که اکثر مناطق کشور در معرض تهاجم سیلاب‌های ادواری و مخرب قرار دارند و ابعاد خسارات و تلفات جانی و مالی سیل افزایش یافته است، که از دلایل تکرار فراوان این پدیده در نتیجه برهم خوردن تعادل هیدرولوژیکی و اکولوژیکی (Miller et al, 1990) همانند شهرسازی (در طول رودخانه‌ها)، تغییر اقلیم (Kjeldsen, 2010; Tehrany et al, 2015a) و قطع جنگل‌ها می‌باشد (Bronstert, 2003).

سیلاب‌ها علاوه بر هزینه‌های اقتصادی زیاد، باعث انتقال پاتوژن‌ها به محیط‌های شهری و روستایی شده و باعث توسعه میکروبی در ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها می‌شوند (Taylor et al, 2011). برای پیشگیری و مهار سیلاب باید در درجه اول مناطقی که پتانسیل بالایی در تولید سیل دارند شناسایی و سپس عوامل تولید و ایجاد سیل به صورت دقیق تعیین گردند. همچنین اخطار سریع و پاسخ اضطراری به وقوع سیلاب، ضروری و مورد نیاز است (Feng and Wang, 2011) با اجرایی ساختن این اقدامات است که دولت‌ها می‌توانند از بروز خسارت تا حدی که ممکن است جلوگیری نمایند (Tehrany et al, 2014a). با توجه به اهمیت مخاطرات ناشی از سیل و روند روزافزون آن در سال‌های اخیر، تهیه نقشه‌های سیل‌گیری و پهنه‌بندی حساسیت وقوع سیل، مورد توجه ویژه محققان و کارشناسان قرار گرفته است. برای تهیه نقشه‌های سیل‌گیری روش‌های متفاوت هیدرولیکی (توسط HEC-RAS) و هیدرولوژیکی وجود دارد و در سال‌های اخیر مدل‌های آماری و

همچنین *Tehrani et al* (۲۰۱۵) در یک مطالعه دیگر توسط تکنیک *SVM* (Support Vector Machine) با ۴ تابع *Radial Basis Function*، *Polynomial Linear* و *Sigmoid* به بررسی پهنه بندی مناطق حساس به وقوع سیل در مالزی پرداختند. آنها بیان کردند که مساحت سطح زیر منحنی *AUC* به ترتیب برای توابع فوق برابر با ۸۴/۶۳٪، ۸۳/۹۲٪، ۸۴/۹۷٪، ۸۱/۸۸٪ است.

*Khosravi et al* (۲۰۱۶) به بررسی سه مدل آماری دومتغیره شامل آنتروپی شانون، شاخص آماری و فاکتور وزن دهی جهت تهیه نقشه های حساسیت به وقوع سیل در استان مازندران پرداختند و بیان نمودند که روش شاخص آماری با مساحت زیرمنحنی ۹۸/۷ درصد دارای بیشترین صحت جهت پهنه بندی مناطق حساس به وقوع سیل بوده و پس از آن مربوط به روش های فاکتور وزندهی و آنتروپی شانون با مساحت زیرمنحنی های ۹۷/۶ و ۹۲/۴ درصد می باشد. با توجه به مطالب فوق می توان چنین عنوان کرد که محققان برای پهنه بندی مخاطرات طبیعی از جمله سیل از مدل های مختلفی استفاده کرده اند. هدف از این تحقیق ارزیابی کارایی مدل های بگینگ و آنتروپی شانون در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل می باشد. از دیگر اهداف این تحقیق، شناسایی مناطق حساس به وقوع سیل، جهت مدیریت و راهکارهای اساسی، جهت کاهش خسارات جانی و مالی هنگام وقوع سیل های آتی در حوزه آبخیز هراز می باشد.

### مواد و روش تحقیق:

پژوهش حاضر به لحاظ هدف از نوع تحقیقات کاربردی است که به شیوه کمی انجام شده است. داده های مورد نیاز با توجه به اهداف پژوهش از سازمان ها و ارگان های مربوطه (شرکت آب منطقه ای، اداره منابع طبیعی و ...) جمع آوری شده است و برای تجزیه و تحلیل این داده ها از نرم افزار *ArcGIS* استفاده شده است. در مجموع فرایند انجام پژوهش به این صورت است که ابتدا فهرست وقوع سیل های گذشته منطقه مورد مطالعه تهیه شده است و در ادامه پارامترهای مؤثر در وقوع سیل شناسایی شده و با استفاده از دو مدل آنتروپی شانون و *Bagging*، نقشه پهنه بندی حساسیت وقوع سیل در حوزه آبخیز هراز در شمال ایران تهیه شده است. در ادامه با استفاده از منحنی *ROC*، صحت و اعتبارسنجی مدل ها بررسی شده است. هر یک از فرایندهای فوق به صورت خلاصه در ادامه شرح داده شده اند.

### - فهرست وقوع سیل های گذشته:

به منظور ارزیابی پتانسیل سیل، تجزیه و تحلیل سیل های ثبت شده ضروری است (*Manandhar, 2010*). صحت وقایع سیلابی گذشته تاثیر بسیار بالایی بر روی صحت نقشه

اثرگذار بر امنیت غذایی در سطوح مختلف جغرافیایی است (*Jamini et al, 2017: 90*) و رویداد، اندازه، تکرار و میزان ریسک و آسیب پذیری آن در محیط های و جوامع مختلف، متفاوت است. سیل و سیلاب به عنوان مهم ترین فرایند تغییر دهنده چهره زمین، علاوه بر شرایط اقلیمی و ژئومورفولوژیکی از دخالت های انسان در سطح زمین نیز متأثر است (*Sharifi et al, 2019: 76*). در یک تعریف ساده، پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی عبارت است از تعیین و توصیف مناطق دارای پتانسیل از نظر رواناب های سطحی که این عمل بر اساس مشابهت خصوصیات هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی مناطق مورد بررسی صورت می گیرد و از این طریق پتانسیل تولید رواناب در هر وزن مشخص و ارزیابی می شود. در واقع با تعیین محل های دارای پتانسیل بالا به نوعی می توان یک ارزیابی کلی از وضعیت سیل خیزی منطقه نیز به دست آورد. چراکه وجود پتانسیل بالا سیل خیزی در یک منطقه مقدمه ای برای افزایش احتمال وقوع سیل در آن منطقه است (*Kamali et al, 2015: 30*). در سال های اخیر مدل های ریاضی و احتمالاتی زیادی برای نقشه حساسیت به وقوع سیل به کار برده شده است و *GIS* نیز به عنوان ابزار آنالیز پایه برای مدیریت مکانی داده ها به دلیل توانایی آن در اجرایی کردن مقادیر زیادی از داده های مکانی به کار گرفته شده است. ترکیب مدل های ریاضی و احتمالاتی با *سنجش از دور* و *GIS* بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است. دانشمندان و محققان زیادی مدل سازی را توسط مدل های پرکاربردی همچون نسبت فراوانی (*Lee et al, 2012; Tehrany et al, 2014a*)، ترکیب مدل های نسبت فراوانی و رگرسیون لجستیک (*Youssef et al, 2011*)، درخت تصمیم (*Tehrany et al, 2013*)، ماشین بردار پشتیبان (*Tehrany et al, 2014b; Tehrany et al, 2015b*)، آنتروپی شانون (*Pourghasemi et al, 2012*) و سیستم استنتاج عصبی فازی (*Oh and Pradhan, 2011*) در بلایای طبیعی توسط *سنجش از دور* و سامانه های اطلاعات مکانی انجام داده اند.

*Tehrany et al* (۲۰۱۴) در تحقیقی تحت عنوان نقشه حساسیت به وقوع سیل توسط ترکیب مدل های آماری دو متغیره و چند متغیره در کره پرداختند. نتایج نرخ موفقیت و نرخ پیش بینی به ترتیب برابر با ۹۲/۷٪ و ۸۲/۳٪ می باشد. *Tehrany et al* (۲۰۱۴b) در پژوهشی دیگر به ترکیب مدل *SVM* و *WoE* پرداختند. آن ها بیان کردند که در ترکیب این مدل ها با همدیگر نتایج از صحت بالاتری برخوردار می باشد. در تابع *RBF\_SVM-WOE* سطح زیرمنحنی برای نرخ موفقیت و نرخ پیش بینی به ترتیب برابر با ۹۶/۴۸٪ و ۹۵/۶۷٪ می باشد.

با آب مشهور و شناخته شده هستند. که توسط نرم افزار SAGA GIS2 تهیه شدند.  $TWI$  مقدار تجمع جریان در هر مکان در حوزه آبخیز و روند جریان به سمت پایین دست توسط نیروی ثقل تعریف می گردد (Gokceoglu et al, 2005). رابطه ۱ توسط Moore et al و pourghasemi et al (۲۰۱۲) جهت تهیه شاخص رطوبت توپوگرافی مورد استفاده قرار گرفته است:

$$TWI \cong \ln(AS / \tan \varepsilon) \quad (1)$$

که  $AS$  مساحت ویژه حوزه آبخیز ( $m^2/m$ ) و  $\beta$  (radian) زاویه شیب به درجه می باشد. لایه  $TWI$  تهیه و به ۱۰ کلاس طبقه بندی شد که در جدول ۱ نشان داده شده است.  $SPI$  نیز توسط رابطه ۲ تهیه و به ۱۰ کلاس تقسیم بندی گردید (جدول ۱).

$$SPI \cong (AS \partial \tan \varepsilon) \quad (2)$$

از دیگر عامل های مهم در وقوع سیل، عامل بارندگی می باشد که در ارزیابی پتانسیل سیل حوزه های آبخیز دارای اهمیت فراوانی است. به منظور تهیه لایه میانگین بارندگی از داده های بارندگی ۱۷ ایستگاه باران سنخ در یک دوره زمانی ۲۰ ساله (۱۳۹۰-۱۳۷۰) استفاده شد. پس از بررسی دقت روش های مختلف درون یابی در نرم افزار ArcGIS 10.3، لایه توزیع میانگین بارندگی سالانه حوزه آبخیز هراز بر اساس روش کریجینگ ساده به دلیل داشتن کمترین مقدار خطای میانگین ریشه مربعات ( $RMSE$ ) تهیه گردید (جدول ۱). زمین شناسی به طور کلی به علت داشتن سازندهای مختلف نقش مهمی را در وقوع سیل بازی می کند. این لایه با فرمت  $shp$  از سازمان زمین شناسی کشور گرفته شد و به ۳ کلاس سنوزوییک، مزوزوییک و پالئوزوییک تقسیم بندی گردید که در جدول (۱) نشان داده شده است. تهیه لایه کاربری اراضی و  $NDVI$  با استفاده از تصویر سنجنده  $OLI$  مربوط به ماهواره Landsat ۸ تهیه شد. لایه کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی و طبقه بندی نظارت شده در محیط نرم افزار ENVI نسخه ۵/۱ به هفت کلاس مرتع، اراضی لخت و فاقد پوشش، جنگل، باغ، اراضی آبی، مسکونی و پهنه های آبی کلاس بندی شد (جدول ۱). لایه  $NDVI$  نیز که نشان دهنده پوشش سطحی گیاهان و تراکم آنها در تصاویر می باشد، تهیه و در ۱۰ کلاس طبقه بندی شد (جدول ۱). این شاخص بین -۱ تا +۱ می باشد. با افزایش پوشش گیاهی، میزان ارزش حاصل از این نسبت گیری نیز افزایش می یابد. مقادیر  $NDVI$  از طریق معادله زیر محاسبه شدند (Pradhan et al, 2010):

حساسیت به وقوع سیل دارد (Merz et al, 2007). حوزه آبخیز هراز در دهه های اخیر به شدت تحت تأثیر سیل های خطرناک بوده است. یک نقشه از موقعیت ۲۰۱ نقطه سیلابی در حوزه آبخیز هراز تهیه گردید. این ۲۰۱ نقطه به دو گروه تقسیم بندی گردید. ۷۰ درصد از موقعیت نقاط برای آموزش و مدل سازی و ۳۰ درصد موقعیت نقاط که در مدل سازی به کار گرفته نشدند برای اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفتند.

### - انتخاب پارامترهای مؤثر در وقوع سیل

مهمترین عوامل و فاکتورهای مؤثر در وقوع سیل شامل شیب، انحنای زمین، فاصله از رودخانه، طبقات ارتفاعی بارندگی، شاخص رطوبت توپوگرافی ( $TWI$ )، شاخص توان رودخانه ( $SPI$ )، کاربری اراضی و  $NDVI$  می باشد (Tehrany et al, 2015a,b; Tehrany et al, 2014 a,b; Tehrany et al, 2013). شیب زمین از عوامل تاثیرگذار در وقوع سیل حوزه های آبخیز به شمار می رود. هرچه شیب زمین بیشتر باشد قدرت نفوذ رواناب کمتر و رواناب تشکیل شده دارای سرعت و قدرت بیشتری می باشد. جهت تهیه لایه شیب از مدل رقومی ارتفاع ( $DEM$ ) (با قدرت تفکیک ۲۰ متر) و نرم افزار ArcGIS 10.3 استفاده شد. پس از تهیه این لایه، به ۵ کلاس تقسیم بندی گردید (جدول ۱). دومین عامل در نظر گرفته شده در این تحقیق که بر وقوع سیل و سیل گیری مؤثر می باشد، انحنای زمین است. لایه انحنای زمین توسط مدل رقومی ارتفاع و نرم افزار SAGA GIS2 تهیه شد. لایه مزبور به سه کلاس انحنای مقعر، انحنای محدب و تخت (بدون انحنای) کلاس بندی شد (جدول ۱). برای تهیه لایه فاصله از رودخانه، از نقشه رقومی رودخانه در نرم افزار ArcGIS 10.3 استفاده شد و به ۶ کلاس ۵۰۰ متر، ۱۰۰۰ متر، ۱۵۰۰ متر، ۲۰۰۰ متر، ۲۵۰۰ متر و بیشتر از ۲۵۰۰ متر تقسیم بندی گردید (جدول ۱). در منطقه فاصله از رودخانه نقش اساسی را در پخش و بزرگی سیلاب دارد. در سال های اخیر به دلیل تغییر اقلیم بارندگی ها 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 کوه ها به صورت سیل به داخل رودخانه می شود که در ارتفاعات پایین تر، در جاهایی که شیب کمتر می گردد و انحنای زمین به صورت مسطح می باشد سیل های مهیبی رخ می دهد. جهت تهیه فاکتور مؤثر طبقات ارتفاعی از  $DEM$  در نرم افزار ArcGIS 10.3 استفاده شد. این فاکتور مؤثر بر اساس روش شکست طبیعی به ۹ کلاس تقسیم بندی گردید (جدول ۱). دو فاکتور مهم  $SPI$  و  $TWI$  به فاکتورهای در ارتباط



(۳)

$$NDVI \cong (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$$

که  $NIR$  و  $VIS$  به ترتیب اندازه گیری بازگشت طیف نور مرئی و مادون قرمز نزدیک می باشد.

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	۳۰ [۳۰] × [۳۰]
	شیب	DEM	Grid	۳۰ [۳۰] × [۳۰]
هیدرولوژی	انحنای زمین	DEM	Grid	۳۰ [۳۰] × [۳۰]
	شاخص توان رودخانه (SPI)	DEM	Grid	۳۰ [۳۰] × [۳۰]
	شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)	DEM	Grid	۳۰ [۳۰] × [۳۰]
بارندگی	فاصله از رودخانه	DEM	Grid	۳۰ [۳۰] × [۳۰]
	بارندگی	داده های بارندگی ۲۰ ساله (۱۳۹۰-۱۳۷۰) برای ۱۷ ایستگاه باران سنجی	Grid	۳۰ [۳۰] × [۳۰]
	زمین شناسی	برگرفته از سازمان زمین شناسی (نقشه زمین شناسی کشور)	Vector	۱:۱۰۰,۰۰۰
شاخص تفرق پوشش گیاهی (NDVI)	کاربری اراضی	سنجده OLI مربوط به ماهواره لندست ۸	Grid	۳۰ [۳۰] × [۳۰]
	شاخص تفرق پوشش گیاهی (NDVI)	سنجده OLI مربوط به ماهواره لندست ۸	Grid	۳۰ [۳۰] × [۳۰]

استفاده از مدل های آماری دومتغیره و احتمالاتی نظیر بیزین (Bayesian)، تمامی عوامل موثر بر وقوع سیل وزن یکسانی دارند لذا چنانچه یکی از عوامل تاثیر بیشتری داشته باشند، میزان اثر آن نادیده گرفته می شود (Ramakrishna et al, ۲۰۰۵). بنابراین تئوری مذکور می تواند به عنوان یک رویکرد مدیریتی تاثیر بسزایی در شناسایی عوامل موثر و میزان تاثیرگذاری آنها داشته باشد (Sharma et al, 2010). معادلات به کار رفته شده برای محاسبه ضریب اطلاعات (Vj) نشان دهنده میزان ارزش پارامتر از کل می باشد که بر اساس معادله زیر تعیین شده است (Naghbi et al, 2014; pourghasemi et al, 2015):

$$E_{ij} \cong \frac{FR}{\prod_{j=1}^{M_j} FR} \quad (4)$$

که در آن  $FR$  نسبت فراوانی و  $E_{ij}$  چگالی احتمال می باشد.

$$H_j \cong 0 \prod_{i=1}^{M_j} E_{ij} \log_2 E_{ij}, j \cong 1, \dots, n \quad (5)$$

$$H_{jmax} \cong \log_2 M_j, M_{j0} \text{ number of classes} \quad (6)$$

### مدل آنتروپی شانون جهت تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل

شاخص آنتروپی مقیاسی از مقدار برابری است که در آن گروه ها به طور مساوی و یکنواخت در بین واحدهای سازمانی توزیع شده اند.  $Theil$  (۱۹۷۲) شاخص آنتروپی را به عنوان اندازه گیری اختلاف متوسط بین سهم گروه های واحد از سیستم ها به عنوان یک کل تعریف می کند. آنتروپی یکی از رویکردهای مدیریتی است که به منظور برخورد با بی نظمی، بی ثباتی، اغتشاش و عدم یقین های موجود در یک سیستم مورد استفاده قرار می گیرد. رابطه یک به یکی بین کمیت و مقدار آنتروپی سیستم و درجه بی نظمی وجود دارد که اصول بولتزمن نامیده می شود که برای نمایش وضعیت ترمودینامیک یک سیستم مورد استفاده قرار می گیرد (Yufeng and Fengxiant, 2009). آنتروپی در حقیقت بیان گر آن است که چگونه از بین عوامل موثر یک هدف، می توان مهمترین عوامل را تخمین زد یا به عبارتی متغیرهایی که بیشترین تاثیر را در رخداد یک واقعه دارند برای ما مشخص می نماید (pourghasemi et al, 2015). از آن جایی که در پهنه بندی حساسیت به وقع بلایای طبیعی نظیر لغزش، سیلاب و ... بسته به شرایط منطقه معمولاً فاکتورهای مختلفی تاثیرگذار بوده و همچنین در تعیین میزان خطر با

مدل این است که به سادگی می توان رابطه بین متغیرهای وابسته و مستقل را به صورت کمی محاسبه نمود.

### روش Bagging -

این الگوریتم یکی از قدیمی ترین الگوریتم های تجمیعی شناخته شده است و به عنوان الگوریتم تجمیعی خود راه انداز (*Bootstrap Aggregation*) مطرح می باشد که چندین نوع از دسته بندی را استخراج می کند. این الگوریتم برای نخستین بار توسط بریمن در سال ۱۹۹۶ ارائه گردید. این الگوریتم به دلیل حساسیت کم به تنوع در داده های آموزشی (تعداد کم داده های آموزشی)، توانایی افزایش صحت پیش بینی مدل سازی حساسیت به وقوع سیل را دارد. در روش *Bagging* یک زیرمجموعه از مجموعه داده اصلی به هر کدام از طبقه بندیها داده می شود. یعنی هر طبقه بندی یک قسمت از مجموعه داده را مشاهده کرده و باید مدل خود را بر اساس همان قسمت از داده ها که در اختیارش قرار گرفته است، بسازد (شکل ۱ به عنوان مثال)

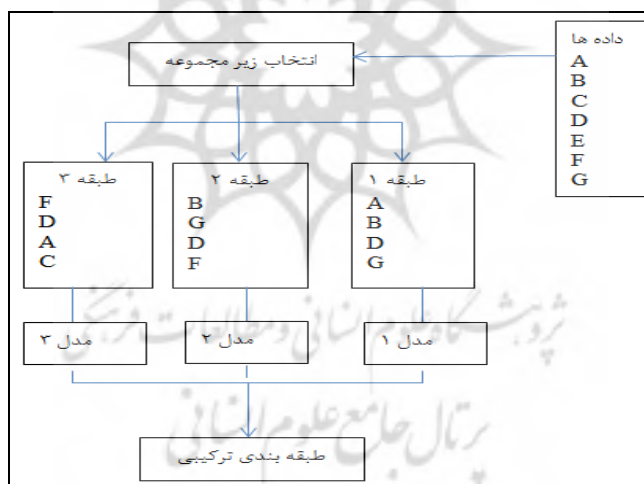
$$I_j \cong \frac{H_j}{H_{jmax}}, I \cong (0,1), j \cong 1, \dots \quad (7)$$

$$V_j \cong I_j FR \quad (8)$$

که  $H_j$  و  $H_{jmax}$  مقادیر (ارزش های) آنتروپی؛  $I_j$  ضریب اطلاعات و  $M_j$  تعداد کلاس ها می باشد. همچنین  $V_j$  نمایش دهنده ارزش وزن برآیند از پارامتر کلی می باشد. دامنه تغییرات بین صفر و ۱ می باشد. مقادیر نزدیک به ۱ ناهمبستگی و عدم تعادل بیشتری دارد. محاسبه کامل تعیین وزن هر یک از عوامل در جدول (۲) نشان داده شده است. بعد از تعیین وزن هر یک از عوامل این وزن در هر یک از عوامل اولیه اعمال گردید. در مرحله بعد برای تهیه شاخص حساسیت به وقوع سیل (*FSI*)، تمامی این عوامل در محیط *ArcGIS 10.3* روی هم قرار گرفته و با استفاده از معادله زیر تهیه شدند:

$$FSI \cong \sum (SE)_i (i \cong 1, 2, 3, \dots, n) \quad (9)$$

که در آن *FSI* نشان دهنده شاخص پتانسیل وقوع سیل، *SE* شانون آنتروپی هر عامل و *n* تعداد کل عوامل می باشد. در نهایت شاخص پتانسیل وقوع سیل بدست آمد. از مزایای این



از داده هایی که در اختیار دارد یک مدل می سازد و بقیه کار انجام می شود. تحقیقات نشان داده است که روش *Bagging* برای الگوریتم هایی مانند شبکه های عصبی یا درخت های تصمیم که به با تغییر کم نمونه ها ممکن است طبقه های مختلفی ایجاد کنند، می تواند مفید باشد. این الگوریتم ها به عنوان الگوریتم های غیر ثابت (*Unstable*) نیز خوانده می شوند.

### ارزیابی و اعتبارسنجی مدل های به کار گرفته شده

با توجه به اینکه برای ارزیابی مدل نمی توان از همان موقعیت نقاط سیلابی استفاده نمود که در پهنه بندی استفاده شده اند (*Komac, 2006*), در مدل سازی ها، داده هایی مورد نیاز است

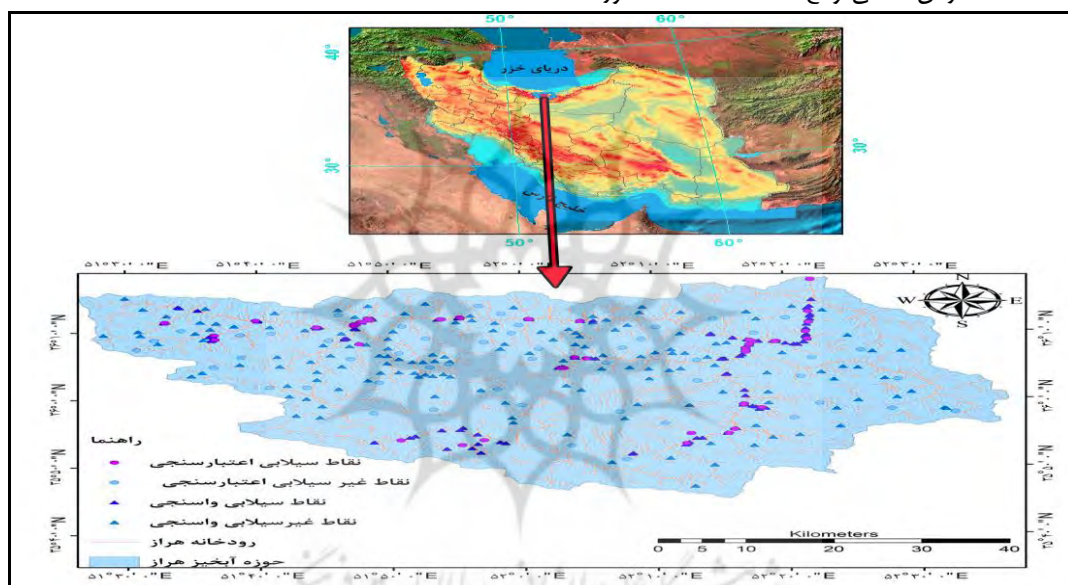
در شکل ۱، مجموعه داده ما دارای ۷ نمونه است. برای هر کدام از طبقه بندی ها، یک زیرمجموعه از داده های اصلی انتخاب می شود. انتخاب این زیر مجموعه با جایگزینی خواهد بود. یعنی یک نمونه می تواند چند بار هم انتخاب شود. برای مثال به طبقه بندی شماره ۱ # نمونه های ۳، ۱، ۱ و ۲ داده شده است. همان طور که مشاهده می شود نمونه ۱ دوبار به طبقه بندی شماره ۱ # داده شده است. طبق روال، هر طبقه بندی با استفاده

مطالعه در جنوب شهرستان آمل و استان مازندران (ایران) واقع شده است. وسعت حوزه آبخیز به صورت تقریبی ۴۰۱۴ کیلومترمربع می باشد. حداقل ارتفاع حوزه ۳۰۰ متر و حداکثر ارتفاع آن ۵۶۰۰ متر می باشد. میانگین بارندگی سالانه برای سال ۲۰۰۶ برابر با ۷۲۳/۰۷ میلیمتر و در سال ۲۰۱۲ برابر با ۸۳۱/۳۸ میلیمتر می باشد. مراکز مهم سکوتی حوزه آبخیز هراز عبارتند از پلور، نشل، تیران، رینه، کندوان، آب اسک، گزنک، بایجان، بلقلم، بلده و نور (شکل ۲). به دلیل اینکه سیل های مخرب و ویرانگر بسیاری در این حوزه رخ داده و باعث خسارات جانی و مالی بسیاری گشته است، این حوزه به عنوان محدوده مطالعاتی انتخاب گردید. در شکل ۲ منطقه مورد مطالعه و همچنین موقعیت نقاط سیلابی نشان داده شده است.

که به دو دسته آموزش و اعتبارسنجی تقسیم بندی می گردند؛ گروه داده های آموزش و گروه داده های پیش بینی. تقریباً ۷۰٪ از نقاط سیلابی به عنوان آموزش جهت کالیبراسیون مدل به کار گرفته شد و ۳۰٪ باقی مانده (در آموزش مدل مورد استفاده قرار نگرفت) به عنوان نقاط اعتبارسنجی برای ارزیابی پیش بینی مدل به کار گرفته شد. سپس با استفاده از منحنی ROC (*Relative Operating Characteristic*) صحت نقشه تهیه شده مورد تایید قرار گرفت (Nefeslioglu et al, 2008; Pradhan et al, 2010). ایده آل ترین مدل، بیشترین سطح زیر منحنی (۱) را دارد.

### منطقه مورد مطالعه:

حوزه آبخیز هراز بین ۴۳° ۵۱' تا ۳۶° ۵۲' طول شرقی و ۳۵° ۳۵' تا ۲۳° ۳۶' عرض شمالی واقع شده است. منطقه مورد



شکل ۲- محدوده مورد مطالعه

### نرخ تأثیر کلاس پارامترهای مؤثر در سیل گرفتگی توسط روش آنتروپی:

تجزیه و تحلیل های مقایسه ای بین موقعیت وقوع سیل های گذشته و پارامترهای محیطی مؤثر بر وقوع سیل توسط روش نسبت فراوانی (*FR*) و آنتروپی شانون انجام گرفت و بر اساس آن، وزن هر یک از پارامترها محاسبه شد. وزن های مؤثر هر یک از پارامترها برای مدل آنتروپی شانون جهت تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در جدول (۲) مشاهده می گردد. برای فاکتور شیب کلاس های ۵/۷-۰ و ۵/۸-۱۵/۹ دارای بیشترین تأثیر بر وقوع سیل می باشند، زیرا دارای *Eij* بیشتری می باشند. وزن لایه شیب جهت تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل طبق مدل آنتروپی شانون ۰/۸۴۷ می باشد. دومین فاکتور مؤثر انحنا

### بحث و ارائه یافته های پژوهش:

در این پژوهش برای ارزیابی عوامل تأثیرگذار در وقوع سیل در منطقه مورد مطالعه از ده فاکتور مؤثر شامل شیب، انحنا، 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 شده است (جدول ۲). سپس نقشه پارامترهای مؤثر در وقوع سیل ورودی الگوریتم های پیشرفته داده کاوی قرار گرفته و نرخ تأثیر کلاس پارامترهای مؤثر در سیل گرفتگی توسط هر دو مدل (آنتروپی شانون و *Bagging*) ارزیابی گردید که در ادامه تشریح شده اند:

زمین می باشد که مناطق مسطح و مقعر دارای تاثیر بیشتر بوده و وزن این لایه در وقوع سیل ۰/۱۳ می باشد. از دیگر فاکتورهای مهم و موثر در وقوع سیل فاصله از رودخانه می باشد که تاثیر کلاس ۵۰۰- متر در وقوع سیل بسیار بیشتر از سایر کلاس ها بوده و وزن خود لایه فاصله از رودخانه در تهیه نقشه نهایی حساسیت به وقوع سیل ۱/۱ می باشد. طبقات ارتفاعی از دیگر فاکتورهای موثر بر وقوع سیل بوده که تاثیر بسیار زیادی بر وقوع سیل دارد. معمولا سیل در طبقات ارتفاعی پایین رخ می دهد. ۴ طبقه اول این لایه (از ۳۲۸ تا ۲۴۵۶ متر) دارای بیشترین تاثیر بر وقوع سیل می باشد. وزن لایه طبقات ارتفاعی طبق مدل آنتروپی شانون ۰/۹۹۵ می باشد. برای فاکتور شاخص رطوبت توپوگرافی، طبق جدول ۲، هرچه مقدار این فاکتور بیشتر گردد، تاثیر آن در وقوع سیل بیشتر می گردد. وزن خود لایه  $TWI$  در وقوع سیل ۰/۳ می باشد. برای فاکتور  $SPI$  طبق جدول ۲، هرچه مقدار این فاکتور کمتر باشد تاثیر آن در وقوع سیل بیشتر می باشد. وزن خود لایه  $SPI$  طبق مدل آنتروپی، ۱/۰۹ می باشد. پارامتر سنگ شناسی به ۳ گروه تقسیم بندی شده است که مزوزوییک و پالئوزوییک تاثیر بیشتری در وقوع سیل دارند.

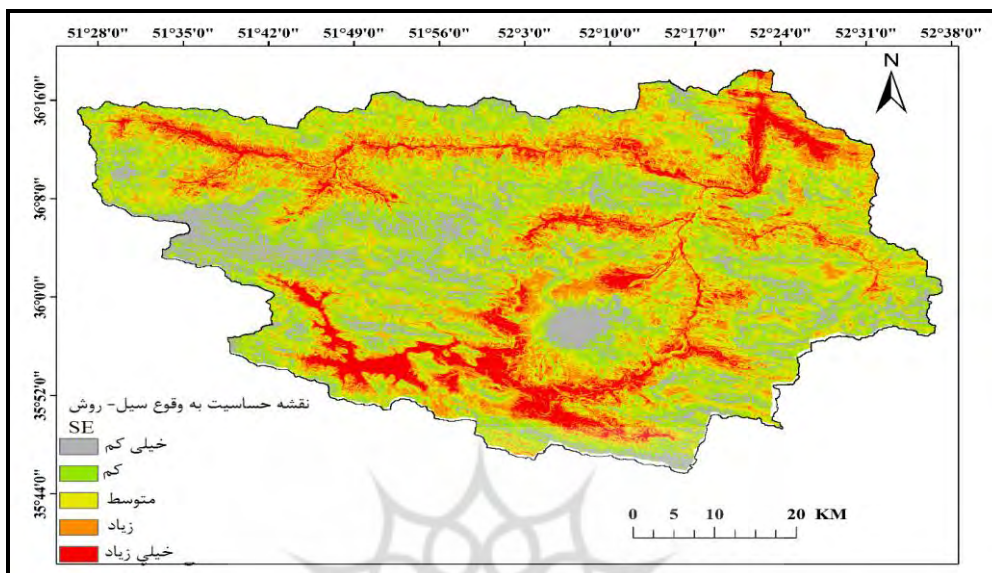
جدول ۲- ارتباط بین سیلاب، عوامل موثر و تعیین میزان تاثیر آنها با استفاده از مدل آنتروپی شانون

پارامتر	کلاس	درصد پیکسل ها	درصد وقوع سیل	$FR$	$E_{ij}$	$H_j$	$H_{jmax}$	$I_j$	$V_j$
شیب (درجه)	۰-۵	۴/۶۹	۳۱/۱۳	۶/۶۴	۰/۶۹۱	۱/۳۰۰	۲/۳۲۲	۰/۴۴	۰/۸۴۷
	۵-۱۰	۲۲/۸۵	۴۶/۳۶	۲/۰۳	۰/۲۱۱	۱/۳۰۰	۲/۳۲۲	۰/۴۴	۰/۸۴۷
	۱۰-۱۵	۳۱/۲۹	۱۴/۵۷	۰/۴۷	۰/۰۴۸	۱/۳۰۰	۲/۳۲۲	۰/۴۴	۰/۸۴۷
	۱۵-۲۵	۲۷/۴۰	۲/۶۵	۰/۱۰	۰/۰۱۰	۱/۳۰۰	۲/۳۲۲	۰/۴۴	۰/۸۴۷
انحنای زمین	>۲۵	۱۳/۷۷	۵/۳۰	۰/۳۸	۰/۰۴۰	۱/۳۸۰	۱/۵۸۵	۰/۱۳۰	۰/۱۳۶
	محدب	۴۰/۶۲	۱۵/۲۳	۰/۳۷	۰/۱۱۹	۱/۳۸۰	۱/۵۸۵	۰/۱۳۰	۰/۱۳۶
	مسطح	۲۵/۶۲	۲۹/۱۴	۱/۱۴	۰/۳۶۰	۱/۳۸۰	۱/۵۸۵	۰/۱۳۰	۰/۱۳۶
	مقعر	۳۳/۷۶	۵۵/۶۳	۱/۶۵	۰/۵۲۱	۱/۳۸۰	۱/۵۸۵	۰/۱۳۰	۰/۱۳۶
فاصله از رودخانه (متر)	۰-۵۰۰	۹/۴۲	۸۴/۷۷	۹/۰۰	۰/۸۶۸	۰/۸۰۰	۲/۵۸۵	۰/۶۹۱	۱/۱۹۴
	۵۰۰-۱۰۰۰	۸/۸۶	۵/۹۶	۰/۶۷	۰/۰۶۵	۰/۸۰۰	۲/۵۸۵	۰/۶۹۱	۱/۱۹۴
	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۸/۵۶	۳/۳۱	۰/۳۹	۰/۰۳۷	۰/۸۰۰	۲/۵۸۵	۰/۶۹۱	۱/۱۹۴
	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۸/۲۶	۱/۳۲	۰/۱۶	۰/۰۱۵	۰/۸۰۰	۲/۵۸۵	۰/۶۹۱	۱/۱۹۴
طبقات ارتفاعی (متر)	۲۵۰۰-۳۰۰۰	۷/۹۷	۰/۶۶	۰/۰۸	۰/۰۰۸	۱/۵۷۰	۳/۱۷۰	۰/۵۰۵	۰/۹۹۵
	>۲۵۰۰	۵۶/۹۴	۳/۹۷	۰/۰۷	۰/۰۰۷	۱/۵۷۰	۳/۱۷۰	۰/۵۰۵	۰/۹۹۵
	۳۲۸-۱۱۴۱	۳/۳۷	۳۹/۰۷	۱۱/۶۰	۰/۶۵۴	۱/۵۷۰	۳/۱۷۰	۰/۵۰۵	۰/۹۹۵
	۱۱۴۱-۱۶۵۸	۶/۵۲	۱۱/۹۲	۱/۸۳	۰/۱۰۳	۱/۵۷۰	۳/۱۷۰	۰/۵۰۵	۰/۹۹۵
$TWI$	۱۶۵۸-۲۰۹۳	۸/۴۰	۲۰/۵۳	۲/۴۴	۰/۱۳۸	۱/۵۷۰	۳/۱۷۰	۰/۵۰۵	۰/۹۹۵
	۲۰۹۳-۲۴۵۶	۱۲/۵۵	۱۴/۵۷	۱/۱۶	۰/۰۶۵	۱/۵۷۰	۳/۱۷۰	۰/۵۰۵	۰/۹۹۵
	۲۴۵۶-۳۷۷۰	۱۹/۷۱	۱۳/۹۱	۰/۷۱	۰/۰۴۰	۱/۵۷۰	۳/۱۷۰	۰/۵۰۵	۰/۹۹۵
	۳۷۷۰-۳۰۷۵	۲۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰	۱/۵۷۰	۳/۱۷۰	۰/۵۰۵	۰/۹۹۵
$TWI$	۳۰۷۵-۳۴۱۷	۱۷/۲۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰	۱/۵۷۰	۳/۱۷۰	۰/۵۰۵	۰/۹۹۵
	۳۴۱۷-۳۹۵۴	۱۰/۹۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰	۱/۵۷۰	۳/۱۷۰	۰/۵۰۵	۰/۹۹۵
	>۳۹۵۴	۱/۲۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰	۱/۵۷۰	۳/۱۷۰	۰/۵۰۵	۰/۹۹۵
	۱/۸-۳/۷	۱۰/۹۱	۱/۹۹	۰/۱۸	۰/۰۰۹	۲/۷۱۰	۳/۱۷۰	۰/۱۴۵	۰/۳۰۹
$TWI$	۳/۸-۴/۱	۲۲/۵۲	۱/۹۹	۰/۰۹	۰/۰۰۴	۲/۷۱۰	۳/۱۷۰	۰/۱۴۵	۰/۳۰۹
	۴/۲-۴/۵	۲۰/۵۱	۵/۳۰	۰/۲۶	۰/۰۱۲	۲/۷۱۰	۳/۱۷۰	۰/۱۴۵	۰/۳۰۹
	۴/۶-۴/۹	۱۸/۴۲	۱۱/۹۲	۰/۶۵	۰/۰۳۰	۲/۷۱۰	۳/۱۷۰	۰/۱۴۵	۰/۳۰۹



طبیعی (Natural break) (Bednarik et al, 2010; ) به ۵ کلاس حساسیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم بندی گردید و در محیط ArcGIS 10.3 استخراج گردید (شکل ۳).

به منظور تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل، ۱۰ فاکتور فوق تهیه شدند و پس از وزن نهایی هر عامل توسط مدل آنتروپی شانون و ضرب آن در کلاس های عامل مذکور، نقشه های وزنی باهم جمع شده و نقشه نهایی حساسیت به وقوع سیل تهیه گردید. سپس نقشه نهایی براساس روش شکست



شکل ۳- نقشه حساسیت به وقوع سیل در حوزه آبخیز هراز توسط مدل آنتروپی شانون

نتایج حاکی از آن است که ۹۲ درصد از نقاط سیلابی به صورت درست پیش بینی شده اند. همچنین نتایج حاکی از آن است که ۹۰ درصد از نقاط غیر سیلابی به صورت صحیح پیش بینی شده اند و صحت کلی مدل ۹۲ درصد می باشد.

### وزن تأثیر هر کلاس از پارامترهای مؤثر در پتانسیل سیل با استفاده از روش Bagging

نتایج مدل بینگ در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج جدول حاکی از آن است که مدل مذکور دارای توانایی نسبتاً خوبی در پیش بینی وقوع سیل در حوزه آبخیز هراز می باشد.

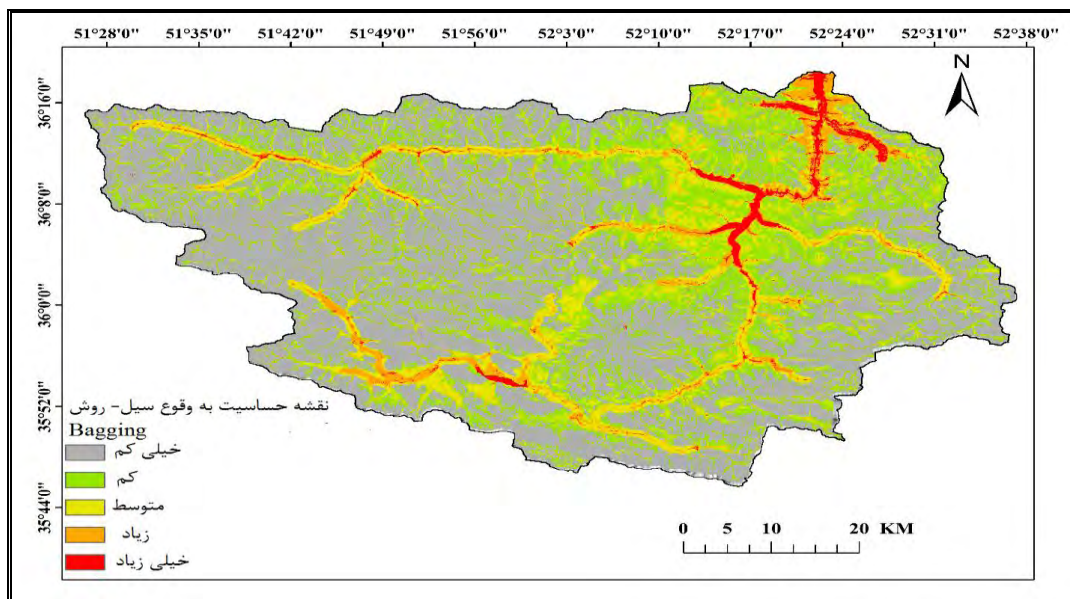
جدول ۳- معیارهای ارزیابی مدل Bagging

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

منبع: یافته های تحقیق، ۱۳۹۸.

و خیلی زیاد تقسیم بندی گردید برای حوزه آبخیز هراز با استفاده از مدل Bagging دست آمد (شکل ۴).

در نهایت وزن های بدست آمده برای هر کلاس در محیط ArcGIS 10.3 در لایه های مربوطه اعمال گردیده و با استفاده از تابع روی هم گذاری Raster Calculator نقشه های حساسیت به وقوع سیل با ۵ کلاس حساسیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد

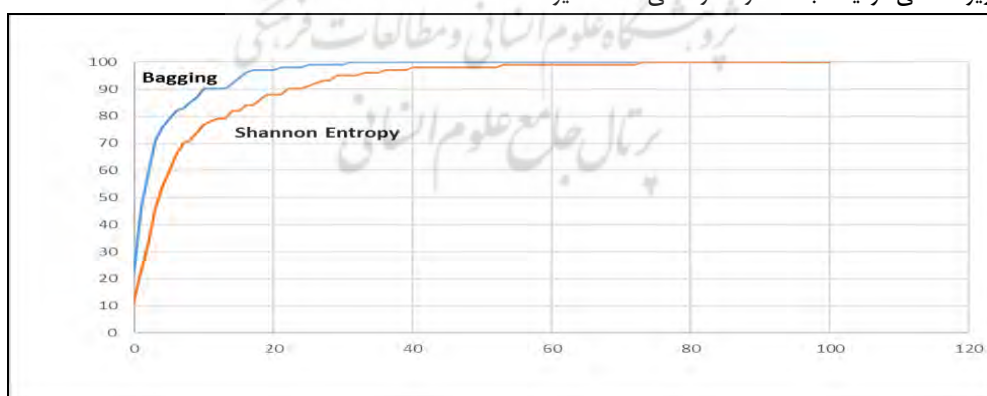


شکل ۴- وزن دهی محدوده

نزدیک به ۰/۵ نشان دهنده عدم صحت در مدل است (Fawcett, 2006). نتایج حاکی از آن است که مدل Bagging (۰/۹۶) از دقت بالاتری نسبت به مدل آنتروپی شانون (۰/۸۸) برخوردار می باشد (شکل ۵). اگرچه که هر دو مدل دارای صحت قابل قبول می باشند، اما مدل Bagging دارای بالاترین صحت قابل قبول در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در حوزه آبخیز هراز می باشد.

### اعتبارسنجی مدل ها:

اعتبارسنجی نقشه های حساسیت تهیه شده در این مطالعه با محاسبه شاخص ویژگی های نسبی یا ROC به دست آمد (شکل ۵) (Oh and Pradhan, 2011; Oh and Lee, 2010; Tehrany et al., 2015 a,b). این منحنی از کارآمدترین روش ها در ارائه خصوصیت تعیین، شناسایی احتمالی و پیش بینی سیستم هاست که میزان دقت مدل را به صورت کمی برآورد می کند (Swets, 1988). در این روش، مساحت زیر منحنی یا AUC دارای مقادیر بین ۰/۵ تا ۱ بوده و از آن برای ارزیابی دقت مدل استفاده می شود (Nandi and Shakoore, 2009). بهترین مدل دارای سطح زیر منحنی نزدیک به ۱ دارد، در حالی که مقادیر



شکل ۵- منحنی ROC جهت اعتبارسنجی مدل های به کار گرفته شده

مدیریت خطر و روش های پیشگیری از خطر و ریسک است. هدف از تحقیق حاضر اولویت بندی عوامل موثر بر وقوع سیل با استفاده از مدل های بگینگ و آنتروپی شانون می باشد. پس از تهیه نقشه موقعیت سیل ها، ۱۰ فاکتور شیب، انحنای زمین، طبقات ارتفاعی، فاصله از رودخانه، بارندگی،  $SPI$ ،  $TWI$ ،

### نتیجه گیری و ارائه پیشنهادها:

به دلیل رخداد وقوع سیل در قسمت های شمالی کشور و روند رو به افزایش آن ها، تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل، پیش زمینه ای در شناخت عوامل موثر بر وقوع سیل، رخداد آن،

آتی لازم و ضروری بوده تا از وارد آمدن خسارات جانی و مالی به این بخش‌ها جلوگیری گردد. نتایج این تحقیق برای اداره جهاد کشاورزی، منابع طبیعی، آب منطقه‌ای، وزارت نیرو، مسکن و شهرسازی، بنیاد مسکن انقلاب اسلامی و تمامی محققان و تصمیم گیرندگان و حتی مدیران شهری و روستایی، جهت اندیشیدن تمهیدات لازم برای پیشگیری و کاهش اثرات مخرب سیل و عوارض جانبی آن ضروری می‌باشد.

#### تقدیر و تشکر:

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

#### ملاحظات اخلاقی:

**پیروی از اصول اخلاق پژوهش:** در مطالعه حاضر فرم‌های رضایت نامه آگاهانه توسط تمامی آزمودنی‌ها تکمیل شد.

**حامی مالی:** هزینه‌های مطالعه حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شد.

**تعارض منافع:** بنابر اظهار نویسندگان مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

#### References:

Bednarik, M., Magulova, B., Matys, M., and Marschalko, M. (2010): *Landslide susceptibility assessment of the Kralovany–Liptovsky Mikuláš railway case study. Phys. Chem. Earth* 35: 162–171.

Bronstert, A., (2003): *Floods and climate change: interactions and impacts. Risk Anal.* 23, 545–557.

Bubeck, P., Botzen, W., and Aerts, J., (2012): *A review of risk perceptions and other factors that influence flood mitigation behavior. Risk Anal.* 32, 1481–1495.

Fawcett, T., (2006): *An introduction to ROC analysis. Pattern Recognition Letters*, V. 27, p. 861-874.

Feng, CC., and Wang, YC. (2011): *GIScience research challenges for emergency management in Southeast Asia. Nat Hazards*, 59:597–616.

Gokceoglu, C., Sonmez, H., Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., and Can, T. (2005): *The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity. Eng. Geol.* 81, 65–83.

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)

Kamali, M., Solaimani, K., Shahedi, K., Gord-Noshahri, A., and Gomrokchi, A. (2015):

*Litology, karst, and NDVI as factors in flood occurrence in the Qazvin province, Iran. J. Geosci. Environ. Technol.* 1(1): 1–10.

اولویت‌بندی عوامل موثر در وقوع سیل توسط شاخص آنتروپی شانون نشان داد که لایه‌های NDVI با وزن ۲/۰۳، فاصله از رودخانه (۱/۱)، SPI (۱/۰۹)، طبقات ارتفاعی (۰/۹۹۵)، شیب (۰/۸۴۷)، بارندگی (۰/۵۴)، لیتولوژی (۰/۴۲۱)، TWI (۰/۳۰۹)، کاربری اراضی (۰/۲۲۳) و انحنای زمین (۰/۱۳۶) به ترتیب دارای بیشترین تا کمترین تاثیر بر وقوع سیل می‌باشند. بر اساس نتایج منحنی ROC، مدل بگینگ دارای بالاترین صحت در پیش بینی نقشه‌های حساسیت به وقوع سیل در حوزه آبخیز هراز می‌باشد و پس از آن مدل آنتروپی شانون قرار دارد. بر طبق نقشه نهایی حساسیت به وقوع سیل، اطراف رودخانه هراز دارای حساسیت بالایی نسبت به وقوع سیل می‌باشد. لذا باید از ساخت مناطق مسکونی یا باغات میوه و حتی اراضی کشاورزی در اطراف رودخانه خود داری شود و برای مناطق مسکونی و باغات موجود تمهیداتی مانند دیواره سیل بند یا گوره ساخته شود تا از وارد آمدن خسارات زیاد به این بخش‌ها جلوگیری گردد. پس تهیه نقشه‌های حساسیت به وقوع بلایای طبیعی نظیر سیل، زمین لغزش و ... جهت مدیریت و برنامه‌ریزی‌های *Determining the Flooding Points and Prioritizing Subcatchments of Barajin Catchment of Qazvin Using Hec-HMS and GIS, Iran-Watershed Management Science & Engineering*, Vol. 9, No. 29, pp: 27-34. (in Persian)

Khosravi, K., Pourghasemi, H.R., Chapi, K., and Bahri, M. (2016): *Environ Monit Assess*, 188: 656. doi:10.1007/s10661-016-5665-9.

Kjeldsen, TR. (2010): *Modelling the impact of urbanization on flood frequency relationships in the UK. Hydrol Res* 41:391–405.

Komac, M.A. (2006): *Landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Sloveni. Geomorphology* 74: 17-28.

Kourgialas, N.N., and Karatzas, G.P. (2011): *Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas—a case study. Hydrol. Sci. J.* 56, 212–225.

Lee, M.J., Kang, J.E., and Jeon, S. (2012): *Application of frequency ratio model and validation for predictive flood area susceptibility mapping using GIS. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Munich.* 895–898.

Manandhar, B. (2010): *Flood Plain Analysis and Risk Assessment of Lothar Khola, MSc Thesis, Tribhuvan University, Phokara, Nepal*, pp. 64.

Merz, B., Thielen, A.H., Gocht, M. (2007): *Flood Risk Mapping at the Local Scale: Concepts and Challenges, Flood Risk Management in Europe. Springer, Netherlands*, pp. 231–251.



- 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.
- Moore, I.D., Grayson, R.B., and Ladson, A.R. (1991): Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrol. Proc.* 5, 3-30.
- Naghibi.S.A., Pourghasemi, H.R., Pourtaghi, Z.S., and Rezaei, A. (2014): Groundwater qanat potential mapping using frequency ratio and Shannon's entropy models in the Moghan watershed, Iran. *Earth Sci Inform*, DOI 10.1007/s12145-014-0145-7.
- Nandi, A., and Shakoor, A. (2009): A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses. *Engineering Geology*, V. 110, p. 11-20.
- Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., and Durmaz, S. (2008): Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Easten Black Sea Region of Turkey), *Geomorphology* 94: 401-418.
- Oh, H. J., and Lee, S. (2010): Cross-validation of logistic regression model for landslide susceptibility mapping at Geneoung areas, Korea . *Disaster Advances*, V. 3, p. 44-55.
- 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.
- Pourghasemi, H.R., Moradi, H.R., and Fatemi Aghda, S.M. (2018): Prioritizing Effective Factors in Landslide Occurrence and its Susceptibility Mapping Using Shannon's Entropy Index, *Journal of Hydrology and Soil Science*, Volume:18 Issue: 4, pp: 181-192. (in Persian)
- Pourghasemi, H.R., Moradi, H.R., Fatemi Aghda, S.M., Gokceoglu, C., and Pradhan, B. (2012): GIS-based landslide susceptibility mapping with probabilistic likelihood ratio and spatial multi-criteria evaluation models (North of Tehran, Iran). *arabian journal of geosciences*, 7: 1857-1878.
- Pradhan, B., Oh, H.J., and Buchroithner, M. (2010): Weights-of-evidence model applied to landslide susceptibility mapping in a tropical hilly area. *Geomat. Nat. Haz. Risk*, 1, 199-223.
- Ramakrishna, D., Ghose, M.K., Vinu Chandra, R., and Jeyaram, A. (2005): Probabilistic techniques, GIS and remote sensing in landslide hazard mitigation: a case study from Sikkim Himalayas, India. *Geocartography Int.* 20 (4): 53-58.
- 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)
- Sharifi paichoon, M., Omidvar, K., and Motazaker, K. (2019): Assessment of flooding using cluster analysis and multivariable regression methods with emphasis on hydro geomorphological parameters (Case study: Maroon catchment), *Journal of Natural Environmental Hazards*, Vol 8, Issue 21, pp: 75-92. (in Persian)
- Sharma, L.P., Patel, N., Ghose, M. K., and Debnath, P. (2010): Influence of Shannon's entropy on landslide-causing parameters for vulnerability study and zonation-a case study in Sikkim, India. *Arab. J. Geosci.* 5 (3): 421-431.
- Swets, J.A. (1988): Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Sci.* 240: 1285-1293.
- Taylor, J., Davies, M., Clifton, D., Ridley, I., and Biddulph, P. (2011): Flood management: prediction of microbial contamination in large-scale floods in urban environments. *Environ Int* 37:1019-1029.
- 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.
- Tehrany, M.S., Pradhan, B., and Jebur, M.N. (2013): Spatial prediction of lfood susceptible areas using rule based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS. *J. Hydrol.* 504, 69-79.
- 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.
- Tehrany, M.S., Pradhan, B., and Jebur, M.N. (2015b): Flood susceptibility analysis and its verification using a novel ensemble support vector machine and frequency ratio method. *Stoch Environ Res Risk Assess* 29:1149-1165.
- Tehrany, M.S., Pradhan, B., Mansor, Sh., and Ahmad, N. (2015a): Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types. *Catena* 125, 91-101.
- Theil, H. (1972): *Statistical decomposition analysis*. North-Holland Publishing Company, Amsterdam.
- Youssef, A.M., Pradhan, B., and Hassan, A.M. (2011): Flash flood risk estimation along the St. Katherine road, southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery. *Environ. Earth Sci.* 62, 611-623.
- Yufeng, S., and Fengxiang, J. (2009): Landslide Stability Analysis Based on Generalized Information Entropy. 2009 International Conference on Environmental Science and Information Application Technology: 83-85.

