



Flood hazard modeling using the weight of evidences (WOE) method in Azarshahr Chai drainage basin



Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam,^{*1} Davoud Mokhtari,² Tohid Rahimpour,³ Vahideh Taghizadeh Teimourloei⁴

1. Professor of Geomorphology, Department of Geomorphology, University of Tabriz and Iranian Hazardology Association, Tabriz, Iran. rezmogh@tabrizu.ac.ir
2. Professor of Geomorphology, Department of Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran. d_mokhtari@tabrizu.ac.ir
3. Postdoctoral researcher of Geomorphology, Department of Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran Rahimpour1990@gmail.com
4. Ph.D. Student of Geomorphology, Department of Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran. v.taghizadeh1993@yahoo.com

Keywords

Zoning, WoE, Flood, Azarsharchai.

Received: 2024/01/14

Accepted: 2024/06/29

Published: 2025/04/19

ABSTRACT

Introduction

One of the most widely recognized and accepted definitions of a flood has been provided by the National Flood Insurance Program (NFIP), managed by the U.S. Emergency Management Agency in 2020. According to this definition, a flood is characterized as a general and temporary condition involving the partial or complete inundation of two or more hectares of normally dry land areas. This inundation can result from the overflow of inland or tidal waters, the rapid and unusual accumulation of surface runoff from any source, mudflows, or land collapse and subsidence. It also includes land near the edge of a lake or other body of water that has eroded or weakened due to water currents or waves exceeding projected cyclic levels. Floods can significantly alter the structure and composition of ecosystems, restrict access to resources, increase exposure to diseases and pollutants, and lead to fatalities and the relocation of species. Flood damage is often mitigated through structural interventions such as dams and embankments, as well as non-structural measures like forecasting and public education. Accurate flood forecasting and susceptibility measurement are crucial for risk management.

The Azarshahr Chai Basin, located west of the Sahand mountain range, experiences annual spring floods due to rainfall. In April 2017, heavy rainfall (45 mm) caused a severe flood, with the Azarshahrchai River reaching 150 cubic meters per second, leading to significant damage and casualties. A comprehensive flood hazard map is urgently needed to prevent future disasters and reduce losses.

*Correspondin Author: Rezaei Moghaddam, M.H. E-mail: rezmogh@tabrizu.ac.ir

How to cite this article: Rezaei Moghaddam, Mohammad Hossein., Mokhtari, Davoud., Rahimpour, Tohid., Taghizadeh Teimourloei, Vahideh. (2025). Flood hazard modeling using the weight of evidences (WOE) method in Azarshahr Chai drainage basin. *Hydrogeomorphology*, 12(42): 20 – 37.

DOI: [10.22034/hyd.2024.60081.1723](https://doi.org/10.22034/hyd.2024.60081.1723).



Copyright: © by the authors

Publisher: University of Tabriz

Methodology

To create a flood hazard map for the Azarshahr Chai basin using the Weight of Evidence (WoE) method, 14 factors influencing flood occurrence were utilized. These factors include elevation, slope, aspect, slope curvature, distance to the river, distance to the road, river density, Topographic Wetness Index (TWI), Stream Power Index (SPI) derived from a 12-meter resolution Digital Elevation Model (DEM), lithology, soil type, precipitation data provided by the Regional Water Organization of East Azerbaijan Province, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and a land use map extracted from LANDSAT8 satellite images. The data were analyzed and classified using ArcMap 10.3 and ENVI 5.3 software.

Using the LANDSAT8.C2.L2 image, the locations of 82 flood points from the April 2017 flood event in the basin were identified. Of these, 57 flood points were used as training data, while the remaining 25 points were reserved for validation. The Weight of Evidence model was then applied to calculate the positive and negative weights, final weight, and standardized final weight for each of the 14 parameters. By employing a weighted overlay in the ArcMap environment, the composite and final flood hazard map was generated. The accuracy of the model was validated and verified using the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve.

Results and Discussion

In this study, 14 influential factors contributing to flood events in the Azarshahr Chai basin were analyzed using the Weight of Evidence (WoE) model in ArcGIS software. The analysis was conducted across five distinct classes, with each class's flood-prone areas evaluated and weighted individually. Subsequently, the weight of each class, along with its final and standardized weight, was determined.

The flood hazard areas in the Azarshahr Chai basin were categorized into five levels: very high, high, moderate, low, and very low. These classes account for 19.56%, 19.18%, 24.61%, 21.94%, and 14.68% of the basin, respectively. The western regions of the basin, as well as the areas surrounding the Gonbarchai, Almalochai, and Azarshahrchai rivers, exhibit high and very high flood potential. In contrast, the highland areas are characterized by low and very low flood potential.

Conclusions

The present study utilized the Weight of Evidence (WOE) method to generate a flood hazard map for the Azarshahrchai basin. Among the 14 indicators analyzed, slopes ranging from 0 to 15 degrees, concave surfaces, and flat terrains were identified as the most influential factors affecting flood frequency in the basin. The flood hazard potential map was categorized into five classes: very high, high, moderate, low, and very low. These classes account for 19.56%, 19.18%, 24.61%, 21.94%, and 14.68% of the basin area, respectively. Regions with very high flood hazard potential are predominantly situated in the western parts of the basin. In contrast, areas with medium, low, and very low hazard levels are primarily located in the central and eastern sections, including areas adjacent to the river.



مدل سازی خطر وقوع سیل با استفاده از روش آماری وزن شواهد (WOE) در حوضه آبریز آذرشهر چای



محمدحسین رضائی مقدم^{۱*}، داود مختاری^۲، توحیدرحیم پور^۳، وحیده تقی زاده تیمورلویی^۴

۱- استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز و انجمن مخاطره شناسی ایران، تبریز، ایران. rezmogh@tabrizu.ac.ir

۲- استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. d_mokhtari@tabrizu.ac.ir

۳- پسادکتری گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. Rahimpour1990@gmail.com

۴- دانشجوی دکتری، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. v.taghizadeh1993@yahoo.com

چکیده

کلیدواژه‌ها

سیل زمانی اتفاق می افتد که ظرفیت کانال برای انتقال جریان بیش از حد باشد و باعث بالا رفتن آب از سطح کرانه ها و آب گرفتگی دشت سیلابی و مناطق مجاور شود. حوضه آبریز آذرشهر چای واقع در دامنه غربی توده کوهستانی سهند از اتصال آبراهه های متعددی که در دره های عمیق جاری هستند، تشکیل می شود و همه ساله در فصل بهار با شروع بارش ها، شاهد رخداد سیل در این دره ها می باشد. هدف از این پژوهش ارزیابی عملکرد تابع شواهد وزنی (WOE) در تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل در سطح حوضه آبریز آذرشهر چای می باشد. جهت دسترسی به هدف مذکور، ابتدا موقعیت ۸۲ نقطه سیل گیر با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ سنجنده OLI بر اساس سیل فروردین ماه ۱۳۹۶ تهیه و به صورت تصادفی به دو گروه ۷۰ درصد (۵۷ نقطه سیل گیر) برای داده های آموزشی و ۳۰ درصد (۲۵ نقطه سیل گیر) برای داده های اعتبارسنجی استفاده شد. سپس ۱۴ فاکتور مؤثر در وقوع سیل شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنا، شیب، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، تراکم رودخانه، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص قدرت آبراهه، لیتولوژی، جنس خاک، بارش و شاخص پوشش گیاهی در محیط نرم افزاری ArcGIS و کاربری اراضی در محیط نرم افزاری ENVI5.3 آنالیز و موقعیت نقاط سیل گیر در هر ۱۴ فاکتور بررسی و جهت اعتبارسنجی و صحت نتایج به دست آمده از منحنی مشخصه عملیاتی ROC استفاده گردید. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که ۱۹/۵۶ درصد از مساحت حوضه در کلاس پتانسیل خیلی بالا، ۱۹/۱۸ درصد در پتانسیل بالا، ۲۴/۶۱ درصد در کلاس متوسط، ۲۱/۹۴ درصد در کلاس کم و ۱۴/۶۸ درصد در کلاس خیلی کم از لحاظ پتانسیل خطر وقوع سیل قرار دارد.

پهنه بندی، وزن شواهد، سیل، حوضه آبریز آذرشهر چای.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۱/۳۰

ارجاع این مقاله: رضائی مقدم، محمدحسین؛ مختاری، داود؛ رحیم پور، توحید؛ تقی زاده تیمورلویی، وحیده (۱۴۰۴). مدل سازی خطر وقوع سیل با استفاده از روش آماری وزن شواهد (WOE) در حوضه آبریز آذرشهر چای. هیدروژئومورفولوژی، ۱۲(۴۲): ۳۷-۲۰.

نویسنده مسئول: محمدحسین رضائی مقدم
rayanamahe: rezmogh@tabrizu.ac.ir

شناسه دیجیتال مقاله: DOI: 10.22034/hyd.2024.60081.1723



Copyright: © 2025 by the authors

Publisher: University of Tabriz

مقدمه

سیلاب‌ها از عمده‌ترین مخاطرات طبیعی هستند که سالانه خسارت‌های زیادی در سرتاسر جهان برجای می‌گذارند (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۰۲). یکی از تعاریف شناخته‌شده و پذیرفته‌شده سیل توسط سازمان برنامه ملی بیمه سیلاب (NFIP)^۱ که توسط آژانس مدیریت بحران آمریکا^۲ اداره می‌شود، در سال ۲۰۲۰ ارائه شده است. در این تعریف آمده است: سیل یک وضعیت عمومی و موقتی طغیان جزئی یا کامل ۲ یا چند هکتار از مناطق معمولی زمین‌های خشک توسط سرریز آب‌های داخلی یا جزر و مدی، تجمع سریع و غیرعادی رواناب‌های سطحی از هر منبعی، جریان گل‌ولای و فروریختن یا فرونشست زمین در امتداد کرانه دریاچه یا بدنه آبی مشابه در نتیجه فرسایش یا تضعیف ناشی از امواج جریان‌های آبی فراتر از سطوح چرخه‌ای پیش‌بینی شده است (پاکال و همکاران^۳، ۲۰۲۳: ۳۷۵). در سرتاسر سطح جهان، بیش از یک سوم سطح زمین در معرض سیلاب‌ها قرار دارد، جایی که بیش از ۷۰ درصد از جمعیت در آن سکونت دارد (آکسوی و همکاران^۴، ۲۰۱۶).

رخدادهای سیل در کشور ایران مختص به منطقه و موقعیت خاصی نبوده و تمام کشور از این پدیده متاثر است، ولی با توجه به خصوصیات هر منطقه، تفاوت در نوع سیل و میزان خسارات وارد شده وجود دارد (ثقفیان و همکاران، ۱۳۹۸: ۳۴۹). طی چهار دهه گذشته تعداد وقوع سیل (۱۷۰۰ واقعه سیل) در کشور بیش از ۵ برابر نسبت به دهه ۱۳۴۰-۱۳۳۰ هست (گرگانجی دوجی و همکاران، ۱۳۹۷: ۵۳۷). در سال ۲۰۱۵، بلایای طبیعی در ایران ۱۰۷ کشته و ۲۶،۴۸۱ مجروح یا آسیب‌دیده داشت. اخیراً تعداد سیلاب‌ها افزایش یافته و مناطق مختلف کشور را تحت تأثیر قرار داده است. سیل سال ۲۰۱۹ در ایران یکی از شدیدترین بلایای طبیعی در دهه‌های اخیر بوده است که بسیاری از استان‌ها را تحت تأثیر قرار داد. خسارات مالی قابل توجهی به بسیاری از شهرهای استان خوزستان در ۸ ژانویه ۲۰۱۹ وارد کرد. دوره جدیدی از بارندگی‌های شدید که از ۵ اسفند ۱۳۹۷ آغاز شد، نواحی شمالی ایران را سیلابی کرد و بسیاری از شهرهای استان‌های گلستان و مازندران را محاصره کرد. تداوم بارندگی در مناطق مرکزی و غربی ایران سرانجام ۲۵ استان را تحت تأثیر قرار داد. این در حالی است که بیش‌ترین خسارت در استان‌های گلستان، خوزستان و لرستان با ۷۶ کشته و هزینه‌ای بالغ بر ۸۰۰ هزار دلار (۳۵۰ هزار میلیارد ریال) به ثبت رسیده است (محمدی‌نیا و همکاران، ۲۰۲۱: ۷۴).

سیل زمانی اتفاق می‌افتد که ظرفیت کانال برای انتقال جریان بیش از حد باشد و باعث بالا رفتن آب از سطح کرانه‌ها و آبگرفتگی دشت سیلابی و مناطق مجاور شود (تاریو و همکاران، ۲۰۲۳: ۲) و اغلب در رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی اتفاق می‌افتد که بیانگر خطر بالاتر در این مناطق است (جیانگ و همکاران^۵، ۲۰۰۹: ۱۴۲۰). سیل می‌تواند ساختار و ترکیب اکوسیستم‌ها را تغییر دهد، دسترسی به منابع را کاهش دهد، قرار گرفتن در معرض عوامل بیماری‌زا و آلاینده‌ها را افزایش دهد و باعث مرگ‌ومیر و جابجایی گونه‌ها شود (ابراهیمی و همکاران، ۲۰۲۳: ۲). برای کاهش خسارات ناشی از سیل، اغلب از اقدامات سازه‌ای مانند ساخت سدها و خاکریزها و اقدامات غیرسازه‌ای مانند پیش‌بینی و آموزش استفاده می‌شود (جلمر^۶، ۲۰۱۳: ۲۱). پیش‌بینی و ارزیابی آسیب‌پذیری سیل نقش مهمی در درک و مدیریت خطرات مرتبط با سیل دارد (آدلکان^۷، ۲۰۱۱: ۲۱۶).

از نقشه‌های پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب می‌توان به‌عنوان ابزاری مفید و کارآمد در برنامه‌ریزی مسیر توسعه یک منطقه چه از لحاظ ساخت‌وساز و توسعه زمین‌های کشاورزی و باغ و چه از لحاظ مدیریت مخاطره سیلاب استفاده کرد (رضائی مقدم و رحیم‌پور، ۱۴۰۲: ۲۹۴).

مطالعات زیادی در زمینه پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌ها در جهان و ایران انجام شده است که نمونه‌ای این مطالعات و پژوهش‌ها در ادامه آمده است: پائول و همکاران^۸ (۲۰۱۹: ۱۲۰) با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی (FR^۹)، وزن شواهد (WOE^{۱۰})، آنتروپی شانون (SE^{۱۱})، احتمال شرطی (CP^{۱۲}) و ضریب قطعیت (CF^{۱۳}) مناطق سیل‌خیز رودخانه گنگ-باگیراتی در زیرحوضه بانسلوی را بررسی و مدل وزن

1- National flood insurance program

2- FEMA

3- Pakhale et al

4- Aksoy et al

5- Jiang et al

6- Jelmer

7- Adelekan

8- Paul et al

9- Frequency ratio

10- Weight of evidence

11- Shannon Entropy

12- Conditional probability

13- Certainty Factor

شواهد (WOE) با امتیاز ۹/۴۷ کمترین سازگاری را نسبت به مدل‌های ذکر شده در این زیرحوضه دارا می‌باشد. سینگ و پاندی (۲۰۲۱: ۹۱۳۲) با ادغام ۵ مدل نسبت فراوانی، ارزش عضویت فازی، وزن شواهد، شاخص آماری و ارزش اطلاعات با شاخص آنتروپی (IOE^۱) ۴۰ درصد از ایالت اوتارکند هیمالیا را مناطق با حساسیت بالا از منظر وقوع سیل‌های ناگهانی طبقه‌بندی کردند. آرورا (۲۰۲۳: ۱۸۵۸) با استفاده از مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP^۲)، مدل چندمعیاره تصمیم-تحلیل (MCDA^۳)، تابع شواهد قطعی (EBF^۴)، وزن شواهد (WOE) و نسبت فرکانس در حوضه رودخانه گنگ در حوضه پایین‌دست رودخانه کاسی در هند، عوامل ژئومورفولوژی، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI^۵)، کاربری زمین و تراکم رودخانه را غالب‌ترین عوامل برای ایجاد سیل در این حوضه دانست. مدل وزن شواهد (WOE) با امتیاز ۰/۷۸۷ کمترین دقت را نسبت به مدل‌های ذکر شده در پیش‌بینی سیل در این حوضه به خود اختصاص داده است. مائولانا و همکاران^۶ (۲۰۲۳: ۱۷) با مقایسه روش‌های نسبت فراوانی (FR) و وزن شواهد (WOE) نقشه مناطق سیل‌خیزی ناحیه گندینگ مالزی را به تصویر کشیدند و بیان کردند مدل نسبت فراوانی (FR) نسبت به وزن شواهد در پیش‌بینی مناطق مستعد سیل این ناحیه عملکرد بهتری دارد. شرفات چودهوری (۲۰۲۴: ۲۶) مناطق مستعد سیل در نواحی شمال شرقی بنگلادش را با مدل‌های نسبت فرکانس (FR)، وزن شواهد (WOE)، ضریب قطعیت (CF)، آنتروپی شانون (SE) و مقدار اطلاعات (IV^۷) بررسی و عوامل توپوگرافی و هیدرولوژیکی را از عوامل مهم در وقوع سیل ناگهانی در این منطقه دانست. همچنین مدل WOE بهترین مدل در پیش‌بینی مناطق سیل‌خیزی این مناطق دانست. سیاه‌کمری و زینی‌وند (۱۳۹۵: ۱۱۶) حوضه آبخیز مادرسو استان گلستان را از منظر سیل‌خیزی با استفاده از ۲ مدل شاخص آماری و وزن شواهد بررسی و ارتفاعات کمتر از ۵۰۰ متر، جهت شیب مسطح، تراکم زهکشی بیش از ۰/۳۳ (کیلومتر بر کیلومتر مربع)، فاصله ۲۰۰-۵۰۰ متری رودخانه، تیپ خاک مالی سول، سنگ‌های دوران کواترنری و همچنین اراضی کشاورزی با بیشترین وزن‌ها، مهم‌ترین عوامل علتی وقوع رخداد سیل و آب‌گرفتگی این حوضه دانستند. رضوی‌ترمه و همکاران (۱۳۹۷: ۶۷) نقشه پتانسیل سیل‌گیری شهرستان جهرم را با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند-معیاره تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، تاپسیس و مدل آماری وزن واقعه (WOE) و مقایسه دقت آن‌ها به تصویر کشیدند و بیان کردند مدل آماری وزن واقعه نسبت به دو مدل دیگر از قدرت پیش‌بینی بیشتری در ناحیه برخوردار است. صفاری و همکاران (۱۴۰۱: ۱۴۷) با مقایسه قابلیت اعتماد مدل‌های آنتروپی شانون، نسبت فراوانی و وزن شواهد در حوضه چشمه کیله در تنکابن، بیان کردند که تکنیک نسبت فراوانی (FR)، وزن شواهد (WOE) و آنتروپی شانون (SE) به ترتیب اولویت، دارای بیشترین دقت در پیش‌بینی وقوع سیلاب این حوضه هستند. رضائی‌مقدم و رحیم‌پور (۱۴۰۳: ۹۱) با استفاده از روش آماری وزن شواهد (WOE) حوضه آبریز آجی‌چای را از منظر پتانسیل وقوع سیل بررسی و نقشه پتانسیل سیل این حوضه را تهیه کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که بیش از ۳۰ درصد از مساحت حوضه در پهنه‌های زیاد و خیلی زیاد از نظر خطر وقوع سیل قرار دارند. کلان‌شهر تبریز نیز به‌عنوان مهم‌ترین مرکز جمعیتی داخل حوضه به دلیل قرارگیری در مسیر رودخانه‌های آجی‌چای و مهران‌رود در پهنه‌های پرخطر قرار دارد که آسیب‌پذیری آن را در هنگام وقوع سیلاب‌های مخرب نشان می‌دهد.

بررسی پژوهش‌های صورت گرفته بیانگر اهمیت بررسی مناطق مستعد سیل در سطح جهان و ایران بوده است. حوضه آبریز آذرشهرچای واقع در دامنه غربی توده کوهستانی سه‌هند از اتصال شاخاب‌های متعدد که در دره‌های عمیقی جاری هستند، تشکیل می‌شود و همه ساله در فصل بهار با شروع بارش‌ها، شاهد رخداد سیل در این دره‌ها می‌باشد. در فروردین ماه ۱۳۹۶ در پی افزایش بی‌سابقه بارش به ۴۵ میلی‌متر و افزایش دبی رودخانه آذرشهرچای به ۱۵۰ مترمکعب بر ثانیه، سیل در این حوضه رخ داد و موجب وارد آمدن تلفات و خسارات زیادی شد (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۶) لذا با توجه به سیل‌خیز بودن منطقه، نیاز به یک نقشه جامع شناسایی مناطق در معرض خطر وقوع سیل جهت جلوگیری از رخداد این پدیده و کاهش خسارات و تلفات احساس می‌شود. بنابراین در پژوهش حاضر تلاش گردید با استفاده از مدل آماری WOE و ۱۴ پارامتر موثر در رخداد سیل مناطق مستعد سیل در این حوضه شناسایی شوند.

1- Entropy Index
2- Analytical Hierarchy Process
3- Multi-Criteria Decision Making

4- evidential belief function
5- topographic wetness index
6- Maulana et al

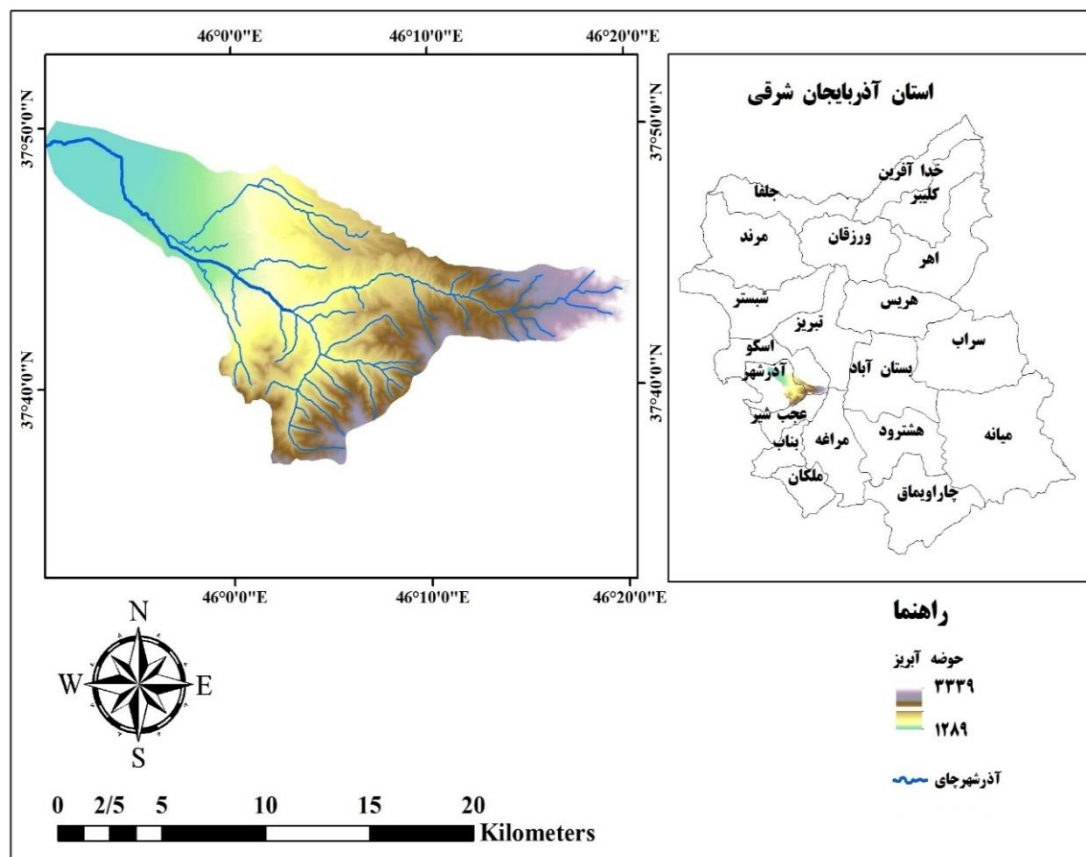
7- Intravenous

بر اساس بررسی‌های انجام شده تاکنون با استفاده از مدل WOE مناطق مستعد سیل در این حوضه آبریز مورد بررسی قرار نگرفته است که به نوبه خود نوعی نوآوری در این حوضه است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز آذرشهرچای از نظر مختصات جغرافیایی در $36^{\circ} 37'$ الی $37^{\circ} 49'$ عرض شمالی، $44^{\circ} 20'$ الی $45^{\circ} 49'$ طول شرقی واقع شده است. ارتفاعات کوهستان سهند، انتهای شرقی و جلگه آذرشهر، بخش انتهای غربی آن را تشکیل می‌دهد. میانگین بارش سالانه حوضه طبق اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی موجود در سطح منطقه حدود ۳۶۰ میلی‌متر می‌باشد. در فصول سرد سال بارش‌ها بیشتر به صورت برف در ارتفاعات منطقه ذخیره شده و با شروع فصل بهار و ذوب برف‌ها، رودخانه‌های منطقه حالت طغیانی به خود می‌گیرند. این حوضه شامل دو دره گنبر و آملو است که در بخش کوهستانی دره‌ها به صورت عمیق و پیچ‌وخم‌دار است و در بخش پایانی و محدوده توپوگرافی کوهستانی، شیب ملایم شده، از شدت ناهمواری کاسته می‌شود (بیاتی خطیبی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۳). شکل حوضه آبریز آذرشهرچای هرم نامنظم بوده که قطر بزرگ آن در جهت شرقی-غربی و قطر کوچک آن در جهت شمال-جنوب است. با حوضه‌های آسکو در دامنه شمالی و با حوضه قلعه‌چای و عجب‌شیر در دامنه جنوبی دارای خط‌الراس مشترک است و در غرب در ارتفاع ۱۲۷۴ متری به دریاچه ارومیه می‌ریزد. این حوضه از اتصال شاخ‌های متعدد که دره‌های عمیقی جاری هستند، تشکیل می‌شود؛ اما اصلی‌ترین شاخ آن گنبرچای است که از قلل قرمیش‌داغ و میدان‌داغی سرچشمه می‌گیرد. در نزدیکی روستای گواهیر شاخ‌عمده دیگری به نام‌های آملوچای و امیردیزج چای دریافت می‌کند و از روستای گواهیر به بعد آذرشهرچای نام می‌گیرد و در نهایت در ادامه مسیر خود به دریاچه ارومیه می‌ریزد (بیاتی خطیبی و همکاران، ۱۳۸۳: ۱۱۲).



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز آذرشهرچای

Fig (1): The geographical location of the Azarshahrchai Basin

مدل آماری وزن شواهد (WOE)

WOE یا روش وزن شواهد یک اصطلاح رایج در ادبیات علمی است که اغلب در زمینه ارزیابی ریسک به کار برده می‌شود (داگلاس^۱، ۲۰۰۵: ۱۵۵۱). این روش درواقع یک آنالیز دومتغیره است که از ارتباط میان متغیرهای پیش‌بینی‌کننده یک پدیده و وقوع آن پدیده تشکیل شده است و بر نسخه خطی تئوری عمومی بیزین استوار است (باستا و براهیم^۲، ۲۰۱۸: ۳). مقادیر وزن را می‌توان بر اساس سهم عوامل ایجاد کننده در بروز سیل با استفاده از فرمول شرح داده شده توسط کارتر و همکاران محاسبه کرد که در آن وزن مثبت و منفی برای درک همبستگی مکانی در حضور یا عدم حضور عوامل ایجادکننده سیل است:

$$W^+ = \ln \frac{\frac{N_{pix1}}{N_{pix1}+N_{pix2}}}{\frac{N_{pix3}}{N_{pix3}+N_{pix4}}} \quad (1)$$

$$W^- = \ln \frac{\frac{N_{pix2}}{N_{pix1}+N_{pix2}}}{\frac{N_{pix4}}{N_{pix3}+N_{pix4}}} \quad (2)$$

N_{pix1} : تعداد پیکسل‌های وقوع سیل در هر کلاس
 N_{pix2} : تعداد پیکسل‌های سیل در هر نقشه-تعداد پیکسل‌های وقوع سیل در هر کلاس
 N_{pix3} : پیکسل‌های هر کلاس - تعداد پیکسل‌های وقوع سیل در هر کلاس
 N_{pix4} : تعداد کل پیکسل‌های هر نقشه - تعداد کل پیکسل‌های وقوع سیل در هر نقشه-تعداد پیکسل‌های هر کلاس + تعداد پیکسل‌های وقوع سیل در هر کلاس (مرشا و متن^۳، ۲۰۲۰: ۱۰).

در این فرمول وزن مثبت بیانگر نقش فاکتور در رخداد سیل است و بزرگی آن نشانگر همبستگی مثبت بین آنهاست. وزن منفی عدم نقش داشتن عامل در بروز سیل و بزرگی آن نشانگر همبستگی منفی می‌باشد (گیتاچ و همکاران^۴، ۲۰۲۱: ۱۲). اختلاف میان وزن مثبت و منفی قدرت رابطه میان عوامل ایجادکننده و سیل را اندازه‌گیری می‌کند (مرشا و متن^۳، ۲۰۲۰: ۱۱). جهت تعیین وزن نهایی هر کلاس از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$C = W^+ - W^- \quad (3)$$

$$W_{final} = C/S_c \quad (4)$$

C : تفاضل وزن‌های مثبت و منفی
 W_{final} : وزن نهایی استاندارد شده
 S_c : انحراف استاندارد که برابر با جذر واریانس هر یک از وزن‌های مثبت و منفی است (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۹۲). و از رابطه زیر محاسبه می‌شود (لی و چوی^۵، ۲۰۰۳: ۷۸۹):

$$S_c = \sqrt{SW^+ + SW^-} \quad (5)$$

واریانس وزن‌های مثبت و منفی از روابط زیر حاصل می‌شود:

$$SW^+ = 1/\text{تعداد نقاط سیل در هر کلاس} \quad (6)$$

$$SW^- = 1/\text{تعداد نقاط سیل در هر کلاس} - \text{تعداد نقاط سیل در حوضه آبریز} \quad (7)$$

ارزیابی و اعتبارسنجی

به‌منظور ارزیابی نقشه خطر وقوع سیل به‌دست آمده از مدل مورد استفاده، از منحنی مشخصه عملیاتی دریافت‌کننده یا منحنی مشخصه

1- Douglas
 2- Bousta, Brahim

3- Mersha, Meten
 4- Getachew et al

5- Lee, Choy

عملکرد سیستم (ROC^۱) و سطح زیر منحنی (AUC^۲) استفاده شده است. در منحنی ROC روی محور X مقدار تشخیص پذیری یا ویژگی (Specificity) نسبت پیکسل های بدون سیل که به درستی به عنوان سیل طبقه بندی شده اند و روی محور Y مقدار حساسیت (Sensitivity) نسبت پیکسل های سیل که به درستی به عنوان سیل طبقه بندی شده اند، مشخص می باشد. مقادیر Specificity و Sensitivity با استفاده از روابط زیر محاسبه می شوند:

$$\text{specificity} = \text{TN} / (\text{FP} + \text{TN}) \quad (۸)$$

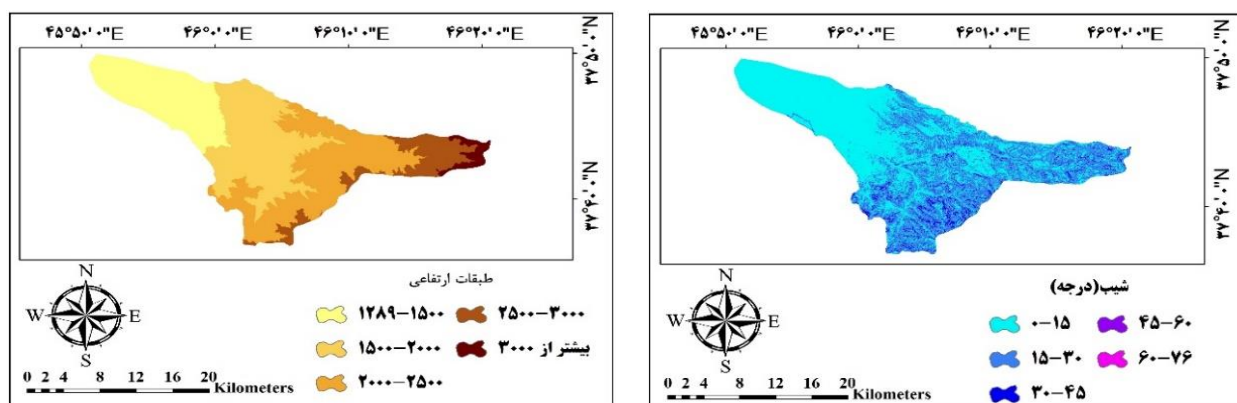
$$\text{sensitivity} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FN}) \quad (۹)$$

که در آن TN تعداد مناطق بدون سیل که درست تشخیص داده شده اند؛ FP تعداد نقاط سیل که اشتباه تشخیص داده شده اند؛ TP تعداد نقاط سیل که درست تشخیص داده شده اند و FN تعداد نقاط بدون سیل که اشتباه تشخیص داده شده اند. جهت نشان دادن عملکرد هر یک از مدل های ترکیبی از شاخص آماری صحت (Accuracy) نیز استفاده شده است. این شاخص نسبت نقاط سیل گیر و بدون سیل که به درستی طبقه بندی شده اند را نشان می دهد (رحیم پور و همکاران، ۱۴۰۲: ۸).

$$\text{Accuracy} = (\text{TP} + \text{TN}) / (\text{TP} + \text{TN} + \text{FP} + \text{FN}) \quad (۱۰)$$

تهیه لایه های اطلاعاتی

در پژوهش حاضر ۱۴ پارامتر مؤثر در وقوع سیل شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای شیب، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، تراکم رودخانه، شاخص قدرت آبراهه، شاخص رطوبت توپوگرافی، لیتولوژی، جنس خاک و بارش، شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI^۳) و کاربری اراضی انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. سپس لایه های اطلاعاتی هر شاخص به تفکیک با استفاده از نرم افزارهای ArcGIS و ENVI5.3 تهیه شدند. شاخص های ارتفاع، شیب، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، تراکم رودخانه، شاخص قدرت آبراهه، شاخص رطوبت توپوگرافی جهت سهولت در بررسی در ۵ طبقه و پارامتر جهت شیب در ۹ طبقه (با توجه به جهات جغرافیایی) و انحنای شیب در ۳ طبقه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM^۴) با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر تهیه شد. نقشه بارش منطقه با استفاده از داده های شرکت آب منطقه ای و سازمان هواشناسی استان آذربایجان شرقی و با روش درون یابی IDW تهیه گردید. جهت تهیه نقشه های شاخص پوشش گیاهی و کاربری اراضی منطقه از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ به تاریخ ۱۴ ژوئیه ۲۰۲۳ (۲۳ تیر ۱۴۰۲) استفاده شده و انواع کاربری ها با روش طبقه بندی نظارت شده و الگوریتم حداکثر احتمال، شناسایی شدند.



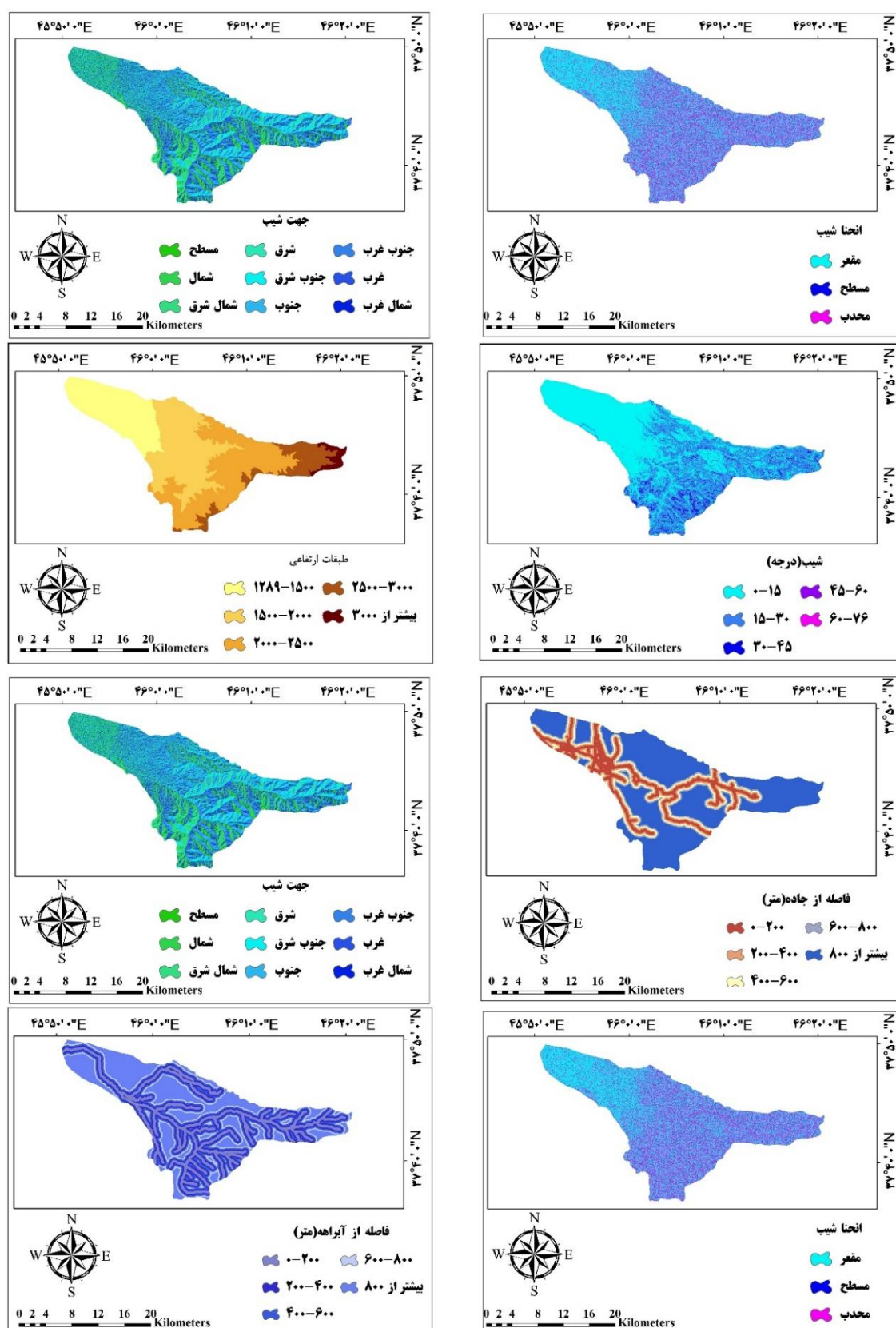
شکل (۲): نقشه پارامترهای مؤثر در پتانسیل خطر وقوع سیل

Figure (2): Effective parameters map in flood hazard potential

1- Receiver Operating Characteristics
2- Area Under the ROC Curve

3- Normalized difference vegetation index

4- Digital Elevation Model



ادامه شکل (۲): نقشه پارامترهای مؤثر در پتانسیل خطر وقوع سیل
Figure (2): Effective parameters map in flood hazard potential

بحث

در پژوهش حاضر ۱۴ پارامتر مؤثر در وقوع سیل جهت تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل در سطح حوضه آبریز آذرشهر چای انتخاب و بر اساس مدل آماری وزن شواهد مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج بررسی ارتباط احتمالی بین متغیرهای وابسته و مستقل و همچنین ضرایب وزنی هر یک از کلاس‌های مربوط به لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از روش WOE در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): ارتباط میان هر یک از عوامل مؤثر و نقاط سیل با استفاده از مدل WOE

Table (1): The relationship between each of the effective factors and flood points using the WOE model

پارامتر	کلاس	نقاط سیل	w^+	w^-	C	SW^+	SW^-	SC	WF
ارتفاع (متر)	۱۲۸۹-۱۵۰۰	۳۹	-۱/۴۳	-۰/۷۸۹	-۰/۶۴۱	۰/۰۲۵	۰/۰۵۵	۰/۲۸۴	۶/۷۷۶
	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۱۶	-۰/۰۸۶	۰/۰۳۵	-۰/۱۲۱	۰/۰۶۲	۰/۰۲۴	۰/۲۹۴	-۰/۴۱۳
	۲۰۰۰-۲۵۰۰	۰	-۲/۲۲۷	۰/۳۵۷	-۲/۵۸۴	۰/۵	۰/۰۱۸	۰/۷۱۹	-۳/۵۹۱
	۲۵۰۰-۳۰۰۰	۰	۰	۰/۱۱	-۰/۱۱	۰	۰/۰۱۷	۰	۰
	بیش‌تر از ۳۰۰۰	۰	۰	۰/۰۲۴	-۰/۰۲۴	۰	۰/۰۱۷	۰	۰
شیب (درجه)	۰-۱۵	۵۲	۰/۴۴	-۱/۵۴۸	۱/۹۸۸	۰/۰۱۹	۰/۰۲	۰/۴۶۸	۰
	۱۵-۳۰	۵	-۱/۴۱۹	۰/۳۵۸	-۱/۷۷۷	۰/۲	۰/۰۱۹	۰/۴۶۸	-۳/۷۹۷
	۳۰-۴۵	۰	۰	۰/۰۴۸	-۰/۰۴۸	۰	۰/۰۱۷	۰	۰
	۴۵-۶۰	۰	۰	۰/۰۰۲	-۰/۰۰۲	۰	۰/۰۱۷	۰	۰
	۶۰-۷۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۱۷	۰	۰
انحناسیب	مقعر	۴۵	۰/۲۵۴	-۰/۶۱۱	۰/۸۶۵	۰/۰۲۲	۰/۰۸۳	۰/۳۲۴	۰
	مسطح	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۱۷	۰	۰
	محدب	۱۲	-۰/۶۱۱	۰/۲۵۴	-۰/۸۶۵	۰/۰۸۳	۰/۰۲۲	۰/۳۲۴	-۲/۶۶۴
فاصله از آبراهه (متر)	۰-۲۰۰	۳۲	۰/۹۳۶	-۰/۵۷۵	۱/۵۱۱	۰/۰۳۱	۰/۰۴	۰/۲۶۶	۵/۶۶۴
	۲۰۰-۴۰۰	۳	-۱/۳۱۹	۰/۱۶۵	-۱/۴۸۴	۰/۳۳۳	۰/۰۱۸	۰/۵۹۳	-۲/۵۰۳
	۴۰۰-۶۰۰	۳	-۱/۱۲۹	۰/۱۷	-۱/۲۹۹	۰/۳۳۳	۰/۰۱۸	۰/۵۹۳	-۲/۱۱۳
	۶۰۰-۸۰۰	۳	-۰/۷۹۹	۰/۰۷	-۰/۸۶۹	۰/۳۳۳	۰/۰۱۸	۰/۵۹۳	-۱/۴۶۷
	بیش‌تر از ۸۰۰	۱۶	-۰/۰۷۶	۰/۰۳۱	-۰/۱۰۷	۰/۰۶۲	۰/۰۲۴	۰/۲۹۴	-۰/۳۶۴
فاصله از جاده (متر)	۰-۲۰۰	۱۸	۰/۸۲۰	-۰/۲۲۹	۱/۰۴۹	۰/۰۵۵	۰/۰۲۵	۰/۲۸۴	۳/۶۸۵
	۲۰۰-۴۰۰	۱۲	۰/۷۴۳	-۰/۱۳	۰/۸۷۳	۰/۰۸۳	۰/۰۲۲	۰/۳۲۴	۲/۶۸۹
	۴۰۰-۶۰۰	۵	۰/۰۳۶	-۰/۰۰۳	۰/۰۳۹	۰/۲	۰/۰۱۹	۰/۴۶۸	۰/۰۸۴
	۶۰۰-۸۰۰	۵	۰/۱۷۶	-۰/۰۱۵	۰/۱۹۱	۰/۲	۰/۰۱۹	۰/۴۶۸	۰/۴۰۸
	بیش‌تر از ۸۰۰	۱۷	-۰/۷۰۳	۰/۰۷۳	-۰/۷۷۶	۰/۰۵۸	۰/۰۲۵	۰/۲۸۹	-۴/۳۹۴
تراکم رودخانه (کیلومتر بر کیلومتر مربع)	۰-۰,۲	۱۶	-۰/۰۹۷	۰/۰۴	-۰/۱۳۷	۰/۰۶۲	۰/۰۲۴	۰/۲۹۴	-۰/۴۶۹
	۰,۲-۰,۴	۱	-۱/۶۳۳	۰/۰۷۶	-۱/۷۰۹	۱	۰/۰۱۷	۱/۰۰۸	-۱/۶۹۴
	۰,۴-۰,۶	۴	-۰/۶۱۹	۰/۰۶۶	-۰/۶۸۵	۰/۲۵	۰/۰۱۸	۰/۵۱۸	-۱/۳۲۴
	۰,۶-۰,۸	۱۶	۰/۲۵۴	-۰/۰۸۳	۰/۳۳۷	۰/۰۶۲	۰/۰۲۴	۰/۲۹۴	۱/۱۴۷
	بیش‌تر از ۰,۸	۲۰	۰/۳۲۸	-۰/۱۴۱	۰/۴۶۹	۰/۰۵	۰/۰۲۷	۰/۲۷۷	۱/۶۹۳

ادامه جدول (۱): ارتباط میان هر یک از عوامل موثر و نقاط سیل با استفاده از مدل WOE

Table (1): The relationship between each of the effective factors and flood points using the WOE model

پارامتر	کلاس	نقاط سیل	w^+	w^-	C	SW^+	SW^-	SC	WF
لینولوزی	نهشته های پدیمت و تراس های دره ای	۱۹	۰/۷۳۷	-۰/۲۳۱	۰/۹۶۸	۰/۰۵۲	۰/۰۲۶	۰/۲۸	۳/۴۴۹
	نمک دریاچه	۱۸	۱/۳۰۵	-۰/۲۹	۱/۵۹۵	۰/۰۵۵	۰/۰۲۵	۰/۲۸۴	۵/۵۹۹
	سنگ های آذرآواری و رسی با بقایای جانداران	۱۰	-۰/۷۴۷	۰/۲۶۹	-۱/۰۱۶	۰/۱	۰/۰۲۱	۰/۳۴۸	-۲/۹۲۲
	مهره دار								
	سنگ های داسیت و آندزیت نیمه آتش فشانی	۰	۰	۰/۰۰۹	-۰/۰۰۹	۰	۰/۰۱۷	۰	۰
	تراورتن	۲	-۰/۴۰۳	۰/۰۱۸	-۰/۴۲۱	۰/۵	۰/۰۱۸	۰/۷۱۹	-۰/۵۸۶
	جریان های خاکستر همراه با سنگ	۰	۰	۰/۰۹۲	-۰/۰۹۲	۰	۰/۰۱۷	۰	۰
	جریان های خاکستر همراه با سنگ های پیروکلاستیک، کنگلومرا، ماسه سنگ و شیل	۱	-۰/۷۸۱	۰/۰۲۱	-۰/۸۰۲	۱	۰/۰۱۷	۱/۰۰۸	-۰/۷۹۵
	سنگ های آتش فشانی آندزیت و بازالت	۳	-۱/۰۹	۰/۱۱۶	-۱/۲۰۶	۰/۰۳۳۳	۰/۰۱۸	۰/۵۹۳	-۲/۰۳۵
	سنگ های نیمه آتش فشانی ریولیت تا ریوداسیت	۴	۰/۵۷	-۰/۰۳۲	۰/۶۰۲	۰/۲۵	۰/۰۱۸	۰/۵۱۸	۱/۱۶۳
نسب خاک	اینسپتی سول	۱۱	-۰/۶۳۴	۰/۲۳۸	-۰/۸۷۲	۰/۰۹	۰/۰۲۱	۰/۳۳۵	۰
	آریدوسول	۳۷	۱/۰۹۹	-۰/۸۰۳	۱/۰۹۲	۰/۰۲۷	۰/۰۵	۰/۲۷۷	۸/۲۰۸
	برون زدهای سنگی	۹	-۰/۹۷۷	۰/۳۷۲	-۱/۳۴۹	۰/۱۱۱	۰/۰۲	۰/۳۶۳	-۴/۰۵۶
کاربری اراضی	مسکونی	۳	۰/۳۷۸	-۰/۰۱۷	۰/۳۹۵	۰/۳۳۳	۰/۰۱۸	۰/۵۹۳	۰/۶۶۷
	کشاورزی آبی	۳۱	۱۸۴۱	-۰/۶۰۳	۱/۷۸۷	۰/۰۳۲	۰/۰۳۸	۰/۲۶۵	۶/۷۲۳
	باغ-کشاورزی	۱۲	۱/۶۰۴	-۰/۱۹۳	۱/۷۹۷	۰/۰۸۳	۰/۰۲۲	۰/۳۲۴	۵/۵۳۲
	کشاورزی-باغ	۱	-۰/۰۵۲	۰/۰۰۰۹	-۰/۰۵۳	۱	۰/۰۱۷	۱/۰۰۸	-۰/۰۵۳
	آب	۰	۰	۰/۰۰۰۳	-۰/۰۰۰۳	۰	۰/۰۱۷	۰	۰
	بستر رود	۸	۳/۱۵	-۰/۱۴۵	۳/۲۹۵	۰/۱۲۵	۰/۰۲	۰/۳۸۱	۸/۶۴۳
	مرتع	۲	-۲/۹۱۶	۱/۰۰۸	-۳/۹۲۴	۰/۵	۰/۰۱۸	۰/۷۱۹	-۵/۴۵۳
	دیم	۱	-۱/۵۳۳	۰/۰۶	-۱/۵۹۳	۱	۰/۰۱۷	۱/۰۰۸	-۱/۵۰۲
	بایر	۰	۰	۰/۰۰۵	-۰/۰۰۵	۰	۰/۰۱۷	۰	۰
	اراضی شور	۰	۰	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	۰	۰/۰۱۷	۰	۰
شاخص توپوگرافی	۱،۶-۲،۵	۱	-۰/۵۶۳	۰/۰۱۳	-۰/۵۷۶	۱	۰/۰۱۷	۱/۰۰۸	-۰/۵۷۱
	۲،۵-۳،۷	۹	-۱/۲۵۵	۰/۶۳۵	-۱/۸۹	۰/۱۱۱	۰/۰۲	۰/۳۶۳	-۵/۲۰۵
	۳،۷-۵	۲۳	۰/۳۶۳	-۰/۱۸۷	۰/۵۵	۰/۰۴۳	۰/۰۲۹	۰/۲۶۹	۲/۰۴۱
	۵-۷	۲۱	۱/۰۸۳	-۰/۳۲۶	۰/۴۰۹	۰/۰۴۷	۰/۰۲۷	۰/۲۷۴	۵/۱۳۳
	۷-۱۰،۹۴	۲	۱/۲۵۲	-۰/۰۲۵	۱/۲۷۷	۰/۵	۰/۰۱۸	۰/۷۱۹	۱/۷۷۶

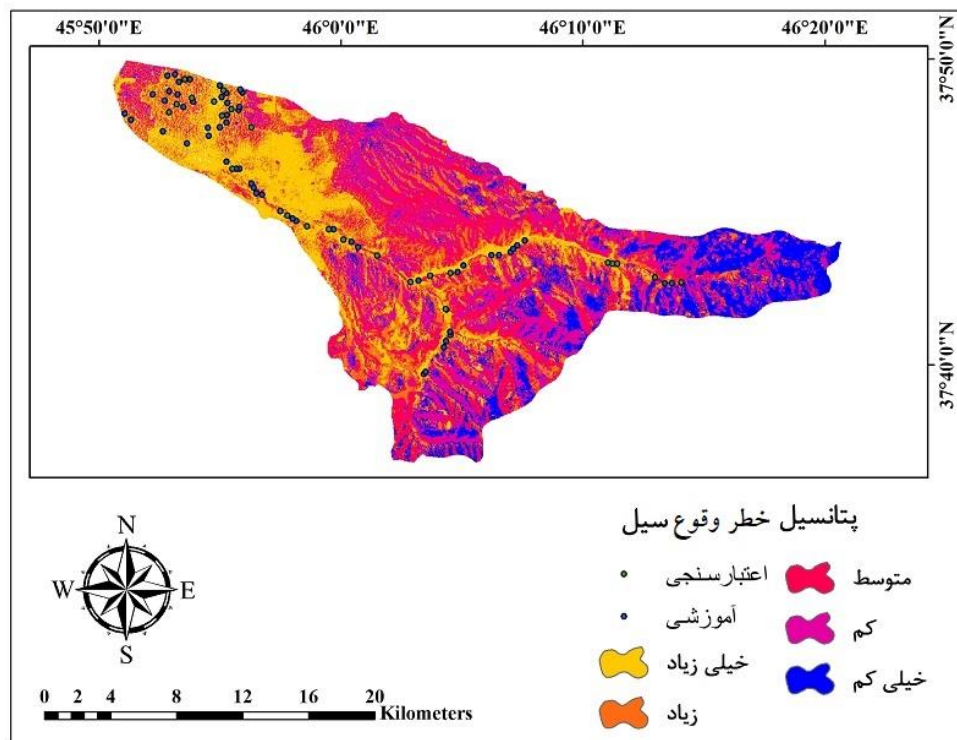
ادامه جدول (۱): ارتباط میان هر یک از عوامل مؤثر و نقاط سیل با استفاده از مدل WOE

Table (1): The relationship between each of the effective factors and flood points using the WOE model

پارامتر	کلاس	نقاط سیل	w^+	w^-	C	SW^+	SW^-	SC	WF
جهت شیب	مسطح	۳	۰/۹۸۱	-۰/۰۳۴	۱/۰۱۵	۰/۳۳۳	۰/۰۱۸	۰/۵۹۳	۱/۷۱۲
	شمال	۷	-۰/۱۶۴	۰/۰۲۵	-۰/۱۹۰	۰/۱۴۲	۰/۰۲۰	۰/۴۰۳	-۰/۴۷۱
	شمال شرقی	۹	۰/۳۰۴	-۰/۰۴۸	۰/۳۵۲	۰/۱۱۱	۰/۰۲	۰/۳۶۳	۰/۹۷
	شرق	۶	۰/۴۴۱	-۰/۰۴۱	۰/۴۸۲	۰/۱۶۶	۰/۰۱۹	۰/۴۳۱	۱/۱۱۸
	جنوب شرقی	۴	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۲۵	۰/۰۱۸	۰/۵۱۸	۰/۰۰۴
	جنوب	۵	-۰/۲۲۲	۰/۰۲۴	-۰/۲۴۶	۰/۲	۰/۰۱۹	۰/۴۶۸	-۰/۵۲۶
	جنوب غربی	۶	۰/۴۶	۰/۰۷۱	-۰/۵۳۱	۱/۱۶۶	۰/۰۱۹	۰/۴۳۱	-۱/۲۳۲
	غرب	۴	-۱/۸۵۲	۰/۰۹۷	-۱/۹۴۹	۰/۲۵	۰/۰۱۸	۰/۵۱۸	-۱/۷۳۹
	شمال غربی	۱۳	۰/۴۳۲	-۰/۰۹۸	۰/۵۳	۰/۰۷۶	۰/۰۲۲	۰/۳۱۵	۱/۶۸۱
	۱۵۰۰-۰	۳۱	۱/۰۲۲	-۰/۵۶۷	۱/۵۸۹	۰/۰۳۲	۰/۰۳۸	۰/۲۶۵	۵/۹۷۵
SPI	۱۵۰۰-۳۰۰۰	۱۰	۰/۱۱۵	-۰/۰۲۲	۰/۱۳۷	۰/۱	۰/۰۲۱	۰/۳۴۸	۰/۳۹۶
	۳۰۰۰-۴۵۰۰	۶	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۱۶۶	۰/۰۱۹	۰/۴۳۱	۰/۰۰۳
	۴۵۰۰-۶۰۰۰	۳	۰/۲۱۶	-۰/۰۱	۰/۲۲۶	۰/۳۳۳	۰/۰۱۸	۰/۵۹۳	۰/۳۸۳
	بیشتر از ۶۰۰۰	۶	-۱/۵۵۹	۰/۵۸۲	-۲/۱۴۱	۰/۱۶۶	۰/۱۹	۰/۴۳۱	-۴/۹۶۲
بارش (میلی متر)	۲۷۳-۳۳۰	۵۵	۰/۳۴	-۲/۱۹	۲/۵۳	۰/۰۱۸	۰/۵	۰/۷۱۹	۳/۵۱۷
	۳۳۰-۳۹۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۱۷	۰	۰
	۳۹۰-۴۵۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۱۷	۰	۰
	۴۵۰-۵۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۱۷	۰	۰
	بیشتر از ۵۰۰	۲	۰/۹۷۲	-۰/۰۲۲	۰/۹۹۴	۰/۵	۰/۰۱۸	۰/۷۱۹	۱/۳۸۲
NDVI	-۰,۱-۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۱۷	۰	۰
	۰-۰,۱	۱۲	-۰/۸۶۵	۰/۴۵۷	-۱/۳۲۲	۰/۰۸۳	۰/۰۲۲	۰/۳۲۴	-۴/۰۷۲
	۰,۱-۰,۲	۱۷	-۰/۱۹۲	۰/۰۹۴	-۰/۲۸۶	۰/۰۵۸	۰/۰۲۵	۰/۲۸۹	-۰/۹۹۳
	۰,۲-۰,۴	۲۲	۱/۱۵۵	-۰/۳۵۸	۱/۵۱۳	۰/۰۴۵	۰/۰۲۸	۰/۲۷۲	۵/۵۶۱
	۰,۴-۰,۵۷	۶	۱/۸۸۲	-۰/۰۹۵	۱/۹۷۷	۰/۱۶۶	۰/۰۱۹	۰/۴۳۱	۴/۵۸۲

نتایج وزن دهی کلاس های هر یک از لایه ها نشان می دهد که در ارتباط با پارامتر طبقات ارتفاعی، کلاس ۱۵۰۰-۱۲۸۹ متر با ضریب ۶/۷۷۶ بیشترین وزن را داشته که بیانگر تأثیر زیاد این طبقه در وقوع سیلاب های منطقه می باشد. در ارتباط با لایه فاصله از آبراهه، کلاس ۰-۲۰۰ متر با ضریب ۵/۶۶۴ بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است. فاصله از آبراهه اغلب به عنوان شاخصی برای حساسیت به سیل استفاده می شود و مناطق نزدیک تر به رودخانه ها خطر سیل بالاتری دارند. نزدیکی به زهکشی معمولاً به عنوان فاصله اقلیدسی بین یک مکان خاص و نزدیک ترین جریان یا کانال رودخانه اندازه گیری می شود (کومار و همکاران، ۲۰۲۳). طبقه ۵-۷ در لایه شاخص رطوبت توپوگرافی بیشترین تأثیر را در وقوع سیل نشان می دهد. در مورد پارامتر کاربری اراضی، کلاس های بستر رودخانه و کشاورزی آبی به ترتیب با ضرایب ۸/۶۴۳ و ۶/۷۲۳ بیشترین وزن را داشته اند که نشان دهنده پتانسیل زیاد این کلاس ها از نظر خطر وقوع سیل می باشد. نتایج تحلیل پارامتر شاخص قدرت آبراهه نشان داد که طبقه ۱۵۰۰-۰ با وزن ۵/۹۷۵ بیشترین وزن را داشته است. برای پارامتر تراکم رودخانه طبقه بیشتر از ۰/۸ بیشترین تأثیر را در سیلاب های منطقه دارد. کلاس های مناطق مسطح و شمال غربی نیز از نظر جهت شیب به ترتیب بیشترین وزن را به خود اختصاص داده اند که نشان دهنده فراوانی وقوع سیلاب های منطقه در این کلاس ها می باشد. در ادامه وزن نهایی هر ۱۴ عامل مؤثر در رخداد سیل با استفاده از همپوشانی وزنی در محیط ArcGIS ترکیب و نقشه نهایی مناطق دارای

پتانسیل وقوع سیل به دست آمد. شکل (۳) مناطق دارای پتانسیل خطر وقوع سیل آذرشهرچای را نشان می دهد که به ۵ طبقه خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم طبقه بندی شده است که هر طبقه به ترتیب ۱۹/۵۶، ۱۹/۱۸، ۲۴/۶۱، ۲۱/۹۴ و ۱۴/۶۸ درصد از حوضه را به خود اختصاص داده اند. مناطق با پتانسیل خیلی زیاد و زیاد در در بخش های غربی حوضه و حریم رودخانه های گنبرچای، آمالوچای و آذرشهرچای واقع شده اند. مناطق با پتانسیل متوسط در محدوده رودخانه و مناطق با پتانسیل کم و خیلی کم در ارتفاعات و سطوح شیب دار واقع شده است.

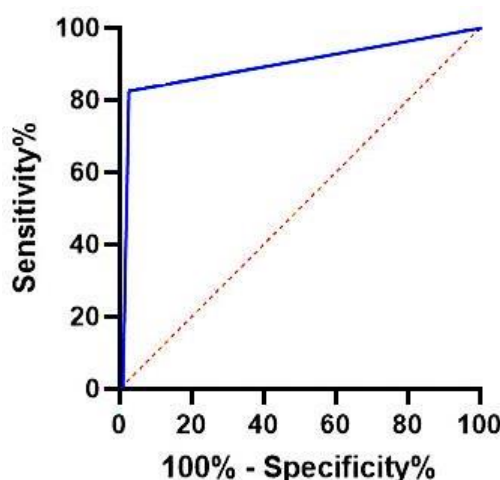


شکل (۳): نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل بر اساس مدل WOE
Figure (3): Flood hazard potential map based on WOE model

جهت حصول اطمینان از یافته های پژوهش با استفاده از نقاط سیل، اعتبارسنجی نقشه نهایی انجام شد. به منظور ارزیابی و اعتبارسنجی نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل در حوضه آبریز آذرشهرچای از روابط specificity و sensitivity و جهت نشان دادن عملکرد مدل از شاخص آماری صحت Accuracy و منحنی ROC استفاده گردید. نتایج این بخش در جدول (۲) و شکل (۴) ارائه شده است.

جدول (۲): نتایج ارزیابی مدل WOE بر اساس داده های آموزشی و اعتبارسنجی
Table (2): WOE model evaluation results based on training and validation data

ROC	Accuracy	sensitivity	Specificity	FN	TN	FP	TP	نوع داده
۰/۹۱	۰/۸۷۲	۰/۹۶	۰/۸۵۹	۲	۵۵	۹	۴۸	آموزشی
	۰/۸۰	۰/۷۲	۰/۷۵۸	۳	۲۲	۷	۱۸	اعتبارسنجی



شکل (۴): منحنی ROC بر اساس داده‌های آموزشی
Figure (4): ROC curve based on training data

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر تلاش شد تا نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل در سطح حوضه آبریز آذرشهر جای تهیه گردد. به همین منظور از مدل آماری وزن شواهد به همراه ۱۴ پارامتر مؤثر در وقوع سیلاب استفاده گردید. بررسی ارتباط بین هر یک از کلاس‌های لایه‌های اطلاعاتی با نقاط سیلابی برداشت شده نشان داد که سطول ارتفاعی ۱۵۰۰-۱۲۸۹ متر، فاصله ۲۰۰-۰ متری از آبراهه‌های منطقه، کلاس‌های کشاورزی آبی و بستر رودخانه در لایه کاربری اراضی، کلاس مقادیر ۵-۷ از نظر شاخص رطوبت توپوگرافی، سطوح مسطح و جهت شیب شمال غربی، مناطق با شاخص پوشش گیاهی ۰/۲-۰/۴، پهنه‌های با بارش ۳۳۰-۲۷۳ میلی‌متر، کلاس بیشتر از مقدار ۰/۸ از نظر پارامتر تراکم آبراهه و کلاس ۱۵۰۰-۰ از نظر شاخص قدرت آبراهه بیشترین تأثیر را در سیلاب‌های منطقه داشته‌اند. نقشه نهایی تهیه شده در ۵ طبقه‌ی خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم از نظر خطر وقوع سیل طبقه‌بندی گردید که این مناطق به ترتیب ۱۹/۵۶، ۱۹/۱۸، ۲۴/۶۱، ۲۱/۹۴ و ۱۴/۶۸ درصد از حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. بررسی نقشه نهایی نشان داد مناطق با پتانسیل خطر وقوع خیلی زیاد و زیاد در در بخش‌های غربی و حریم رودخانه‌ها و مناطق با پتانسیل وقوع متوسط و کم و خیلی کم در مناطق مرکزی و شرقی حوضه واقع شده‌اند. اعتبارسنجی و ارزیابی نتایج مدل استفاده شده جهت تهیه نقشه خطر وقوع سیل با استفاده از روابط sensitivity و specificity و نشان دادن عملکرد مدل از شاخص آماری صحت Accuracy به کار برده شده در این پژوهش و همچنین مدل برداری ROC به ترتیب با مقادیر ۰/۸۵، ۰/۹۶، ۰/۸۷ و ۰/۹۱ برای داده‌های آموزشی و مقادیر ۰/۷۵، ۰/۸۰، ۰/۷۲ برای داده‌های اعتبارسنجی، بیانگر دقت خوب مدل وزن شواهد قطعی (WOE) در تهیه نقشه خطر وقوع سیل در منطقه بوده است. نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر با نتایج محققینی همچون انتظاری و همکاران (۱۳۹۸) در استان کرمانشاه، آزادی و همکاران (۱۳۹۹) در حوضه آبریز رودخانه کشکان واقع در استان لرستان، مطابقت دارد. محققین مذکور در تحقیقات خود به عملکرد خوب مدل‌های آماری در تهیه نقشه‌های پتانسیل خطر وقوع سیل اشاره می‌کنند که نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر نیز بیانگر تأیید نتایج این محققین می‌باشد. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر می‌توان اقدامات حفاظتی را در مناطق پرخطر جهت جلوگیری از وقوع سیل و یا کاهش خسارت‌های احتمالی در صورت وقوع سیل را انجام داد. از جمله محدودیت‌های تحقیق حاضر نیز می‌توان به عدم دسترسی به لایه DEM با قدرت تفکیک بالا در طول مسیر رودخانه آذرشهر جای جهت شبیه‌سازی جریان سیل اشاره کرد.

References

- Adelekan, I.O. (2011). Vulnerability assessment of an urban flood in Nigeria: Abeokuta flood 2007. *Natural Hazards*, 56(1), 215–231. doi: 10.1007/s11069-010-9564-z

- Aksoy, H., Kirca, V.S.O., Burgan, H.I., & Kellecioglu, D. (2016). Hydrological and hydraulic models for determination of flood-prone and flood inundation areas. The 7th International Water Resources Management Conference of ICWRS, 373, 137–141. DOI: [10.5194/piahs-373-137-2016](https://doi.org/10.5194/piahs-373-137-2016)
- Aksoy, H., Kirca, V.S.O., Burgan, H.I., Kellecioglu, D. (2016). Hydrological and hydraulic models for determination of flood-prone and flood inundation areas, The 7th International Water Resources Management Conference of ICWRS, 373, 137–141. <https://doi.org/10.5194/piahs-373-137-2016>
- Arora, A.(2023). Flood susceptibility prediction using multi criteria decision analysis and bivariate statistical models: a case study of Lower Kosi River Basin, Ganga River Basin, India. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 37, 1855-1875. doi:[10.1007/s00477-022-02370-4](https://doi.org/10.1007/s00477-022-02370-4)
- Azadi, F., Sadouq, S. H., Ghahrodi, M., & Shahabi, H. (2020). Flood risk sensitivity zoning in Kashkan river watershed using WOE and EBF models. Geography and Environmental Hazards Journal. 9(1), 45-60. Doi.org/10.22067/geo.v9i1.83090. (In Persian).
- Bayati Khatibi, M., Karami, F., Zahedi, M., & Mokhtari, D. (2011). Investigating the effects of recent droughts on the intensification of gully erosion and the occurrence of landslides in Azarshahrchai basin, using the artificial neural network method. Geographical Research Quarterly, 2(101), 19-48. (In Persian).
- Bayati Khatibi, M., Rajabi ,M., & Nikjoo ,M.R. (2004). Investigation and analysis of the homogeneity of valley evolution in Sahand mountain massif. Research project of Faculty of Humanities and Social Sciences. 109-118. (In Persian).
- Bousta, M., Brahim, L. (2018). Weights of evidence method for landslide susceptibility mapping in Tangier, Morocco. Geoenvironmental Disasters, 149(1-4), 1-6. doi.org/10.1051/mateconf/201814902042
- Douglas, L. W. (2005). Weight of Evidence: A Review of Concept and Methods. Risk Analysis, 25(6), 1545-1557. doi:[10.1111/j.1539-6924.2005.00699](https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2005.00699)
- Ebrahimi, E., Araújo, M. B., & Niami, B. (2023). Flood susceptibility mapping to improve models of species distributions .Ecological Indicators, 157, 1-14. doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111250
- Entezari, M., Jalilian, T., Darvishi Khatooni, J. (2020). Classification map of the sensitivity of flooding using the method of assessment frequency and weight of evidence in the Kermanshah Province. Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards, 6 (4), 143-162. (In Persian).
- Getachew, N., Meten, M. (2021). Weights of evidence modeling for landslide susceptibility mapping of Kabi-Gebro locality, Gundomeskel area, Central Ethiopia. Geoenvironmental Disasters, 8(6), 1-22. doi.org/10.1186/s40677-021-00177-z
- Gorganji Douji, A., Jandaghi, N., GHarehmahmoudlou, M., & Nikghojagh,Y. (2021). The effect of natural spreading of March 2017 flood on the quantitative and qualitative characteristics of groundwater in the flood plain of the end part of Gorganrood watershed. Ecohydrology, 2(8), 535-550. (In Persian).
- Jelmer, V. (2013) .Flood vulnerability assessment on a commune level in Vietnam. University of Twente, The Netherlands, Bachelor Civil Engineering, 1-54.
- Jiang, W., Deng, L., Chen, L., Jianjun, W., & Jing, L. (2009). Risk assessment and validation of flood disaster based on fuzzy mathematics. Progress in Natural Science, 19(10), 1419-1425. doi:[10.1016/j.pnsc.2008.12.010](https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2008.12.010)

- Kumar, R., Kumar, M., Tiwari, A., Majid, S.I., Bhadwal, S., Sahu, N., & Avtar, R. (2023). Assessment and Mapping of Riverine Flood Susceptibility (RFS) in India through Coupled Multicriteria Decision Making Models and Geospatial Techniques. *Water*, 15(22), 1-31. doi: [10.3390/w15223918](https://doi.org/10.3390/w15223918)
- Lee, S., Choi, J. (2003). Landslide susceptibility mapping using GIS and the weight-of-evidence model. *International Journal of Geographical Information Science*, 18(8), 789–814. doi: [10.1080/13658810410001702003](https://doi.org/10.1080/13658810410001702003)
- Maulana, B.I., Hidayah, E., Halik, G. (2023). Flood Susceptibility Mapping in Gending District by Comparison Frequency Ratio and Weight of Evidence for Mitigation Strategy. *U KaRsT*, 7(1), 17–32. doi: [10.30737/ukarst.v7i2.3999](https://doi.org/10.30737/ukarst.v7i2.3999)
- Mersha, T., Meten, M. (2020). GIS-based landslide susceptibility mapping and assessment using bivariate statistical methods in Simada area, northwestern Ethiopia. *Geoenvironmental Disasters*, 7(20), 1-22. doi: [10.1186/s40677-020-00155-x](https://doi.org/10.1186/s40677-020-00155-x)
- Mohammadi, L., Ahmadi Marzaleh, M., Peyravi, M.R. (2021). Report of Field Assessment in the Flooded Areas of Iran, 2019, *Health in Emergencies and Disasters Quarterly*, 6(2), 73-78. doi: [10.32598/hdq.6.2.190.1](https://doi.org/10.32598/hdq.6.2.190.1). (In Persian)
- Ntajal, J., Lamptey, B.L., Mahamadou, I. B., & Nyarko, B.K. (2017). Flood disaster risk mapping in the Lower Mono River Basin in Togo, West Africa. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 23, 93-103. doi: [10.1016/j.ijdrr.2017.03.015](https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.03.015)
- Pakhale, Gaurav., Rakesh, Khosa., Gosain, Ashwin L. (2023). Are floods really increasing? A case study from Krishna River Basin, India, *Natural Hazards Research*, 3(3), 374-384. doi: [10.1016/j.nhres.2023.06.007](https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.06.007)
- Paul, G.C., Saha, S., Hembram, T. (2019). Application of the GIS-Based Probabilistic Models for Mapping the Flood Susceptibility in Bansloi Sub-basin of Ganga-Bhagirathi River and Their Comparison. *Remote Sensing in Earth Systems Sciences*, 2, 120-146. DOI: [10.1007/s41976-019-00018-6](https://doi.org/10.1007/s41976-019-00018-6)
- Rahimpour, T., Rezaei Moghaddam, M.H., Hejazi, S.A. & Valizadeh Kamran, K. (2023). Flood Susceptibility Modeling in the Aland Chai Basin using New Ensemble Classification Approach (FURIA-GA-LogitBoost). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(1), 1-24. doi: [10.22067/geoh.2022.74170.1141](https://doi.org/10.22067/geoh.2022.74170.1141). (In Persian)
- RazaviTermeh, S.V., Pourghasemi, H.M., Alidadganfard, F. (2018). Preparation of flood potential map using decision-making methods of hierarchical analysis and TOPSIS and event weight statistical model (case study: Jahorm city, Fars province). *Research paper on watershed management*, 17(9), 67-81). (In Persian).
- Rezaei Moghaddam, M. H., hejazi, A., Valizadeh kamran, K., & Rahimpour, T. (2020). Flood Analysis of Subbasins Using WASPAS Model (Case Study: Aland Chai Basin, Northwest of Iran). *Hydrogeomorphology*, 7(24), 83-106. doi: [10.22034/hyd.2020.39815.1534](https://doi.org/10.22034/hyd.2020.39815.1534). (In Persian)
- Rezaei Moghaddam, M. H., Rahimpour, T. (2024). Evaluating of Flood hazard potential using bivariate statistical analysis method (Case study: Aji Chai basin). *Quantitative Geomorphological Research*, 12(4), 91-107. doi: [10.22034/gmpj.2024.429929.1473](https://doi.org/10.22034/gmpj.2024.429929.1473). (In Persian)
- Rezaei Moghaddam, M. H., Rahimpour, T. (2024). Preparation of flood hazard potential map using two methods: Frequency Ratio and Statistical Index (Case study: Aji Chai Basin). *Environmental Management Hazards*, 10(4), 291-308. doi: [10.22059/jhsci.2024.369163.803](https://doi.org/10.22059/jhsci.2024.369163.803). (In Persian)

- Saffari, A., Mohammadi, S., Ahmadabadi, A., Darabi, S. (2022). Adaptive flood zoning in Cheshmekile watershed, Tenkabon. *Hydrogeomorphology*, 33(9), 127-147. (In Persian)
- Saghafian, B., Saedi, A., & Moazzemi, S. (2020). Uncertainty analysis of flood forecasting with group forecasting of seven numerical models for Golestan flood in spring 2018. *Iran's water resources researches*, 1(16), 347-359. (in Persian).
- Sharafat Chowdhury, M.D. (2024). Flash flood susceptibility mapping of north-east depression of Bangladesh using different GIS based bivariate statistical models. *Watershed Ecology and the Environment*, 6, 26-40. doi.org/10.1016/j.wsee.2023.12.002
- SiahKamari, S., Zeinivand, S. (2016). Identifying the potential of flood-prone areas using the statistical index model and weight of evidence (case study: Maderso watershed, Golestan). *Remote Sensing and Geographical Information System in Natural Resources (Application of Remote Sensing and GIS in Natural Resources Sciences)*, 4(7), 116-133.
- Singh, G. (2021). Hybrid ensemble modeling for flash flood potential assessment and susceptibility analysis of a Himalayan river catchment. *Geocarto International*, 37(25), 9132-9159. doi.org/10.1080/10106049.2021.2017007
- Tarrío, D., Ruiz-Villanueva, V., Garrote, J., Benito, G., Calle, M., Lucia, A., & Díez-Herrero, A. (2023). Effects of sediment transport on flood hazards: Lessons learned and remaining challenges. *Geomorphology*, (446), 1-22. doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108976