

Research Paper



Flood Risk Sensitivity Modeling Using Multi-Criteria Spatial Analysis, Case Study: Gotour Chai, Khoy County



Maryam Bayati Khatibi *¹, Fatemeh Mogadam²

1. Prof. of Geomorphology, Department of RS & GIS, Faculty of Planning and Environment Sciences, University of Tabriz, Tabriz, m_bayati@tabrizu.ac.ir
 2. Phd Student, Department of RS & GIS, Faculty of Planning and Environment Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. f23187987@gmail.com

ABSTRACT

Introduction

Flood event is one of the natural disasters, that causes economic losses and many deaths annually. The aim of this study is to determine the flood risk sensitivity of Gotour Chai Khoy County (from 44°58' to 45°10'E and from 38°33' to 39°50' N). For this purpose, a land use map was extracted using Landsat OLI sensor images and object-oriented classification technique using the maximum similarity algorithm. And were classified into classes (agricultural and garden lands and pastures, saline lands, residential lands, mountains and barren lands and rocky outcrops). In the next stage, by identifying the factors effective in causing flooding in the region and preparing information layers for each criterion in GIS, the standardization of the layers using the fuzzy membership function, the ranking method and weighting of the criteria were carried out using the Super Decision software, and the final modeling was carried out in the Arc Map environment. Then, the sensitivity analysis of the criteria was performed using the training data. Then, by applying different stages of the model on the maps, the flood susceptibility zoning map of the basin of the region was extracted in 3 classes with high risk to low risk. In this research, the ANP analysis process method was considered, which assigned the highest weight to 3 criteria (precipitation rate, soil erosion and land use) and the lowest weight to the criterion (slope direction). To assess the accuracy of the model in this study, sensitivity analysis was used. According to the results and the flood modeling map, it can be said that the largest area resulting from flood sensitivity modeling is related to the medium risk category.

Methodology

In order to achieve the research objective, first, by studying and examining the theoretical foundations of the subject, the factors affecting the occurrence of floods were identified. Then, in this research, in order to investigate the flood risk potential of the study area of Khoy County, Landsat 8 satellite images, which are one of the most valuable satellite images in the world, were used. USGS3 satellite data in TIFF Geo format were obtained from the site.

Keywords

Flood Risk Sensitivity, ANP multi-criteria analysis, Gotour Chai Northwest Iran.

Receive: 2025/05/06

Accepted: 2025/09/28

Published: 2026/04/12

*Corresponding Author: Maryam Bayati akhatibi. m_bayati@tabrizu.ac.ir

How to cite this article: Bayati Khatibi, Maryam, Mogadam, Fatemeh, (2025). Flood Risk Sensitivity Modeling Using Multi-Criteria Spatial Analysis, Case Study: Gotour Chai, Khoy County. *Hydrogeomorphology*, 13(46): 41 – 58.

DOI: [10.22034/hyd.2025.67046.1791](https://doi.org/10.22034/hyd.2025.67046.1791)



Copyright: © by the authors

Publisher: University of Tabriz

In the next step, the indicators were fuzzified and standardized, and the weights of the criteria were obtained using the ANP network analysis process, and finally the layers were combined using the Weighted Overlay function. In this research, ArcMap, eCognition, and Envi 5.3 software were used to process and prepare images, classify, and output final maps, respectively. Then, in this research, classification was done using the object-oriented method and the Maximum likelihood algorithm using ENVI 5.3 software in 5 classes of residential lands, saline lands, agricultural and garden lands, pasture lands, and Weak vegetation. Then, the basin precipitation map was drawn according to meteorological and rain gauge data and using the precipitation gradient equation. Finally, the obtained layers were transferred to Arc GIS software to calculate the area of land uses under flood risk, prepare an appropriate output map, and apply the land use criteria in the flood risk mapping process.

Results and Discussion

In order to calculate the weights of the criteria using the ANP analysis process method, a pairwise comparison matrix was calculated using SuperDecision software. The criteria used in decision-making play a fundamental role in the quality and accuracy of decision-making. In other words, to make a proper decision, in addition to understanding the problem, goals, requirements, and many others, appropriate criteria for evaluating decision-making options must be understood and defined. According to the results, the criteria of precipitation, land use, and soil erosion received the highest weight values, with weight values of 0.19, 0.16, and 0.17, respectively. Also, decisions were made in the Super Decision software because in this region, considering the amount of rainfall and washing of fields near rivers due to the rise and flooding of the river due to sudden rainfall, as well as land uses that cause the loss of qualitative and quantitative properties of the soils of these areas, and considering the purpose of the present study, which is the main study on the susceptibility of the region to flooding. After calculating the weight of the decision-making criteria using the ANP process, the flood sensitivity of each spatial cell in the GIS environment was calculated by integrating the decision-making criteria layer in the Raster Calculator. By calculating the flood risk sensitivity index for all spatial cells of the study area, the final flood risk sensitivity map was prepared. Then, the final flood risk sensitivity map was classified into 3 classes using the Reclassify tool in the GIS environment with low, medium and high sensitivity levels.

Conclusions

Today, flood crisis is recognized as the most important natural crisis, which causes human and financial losses at any scale. In order to manage flood crisis, the use of new methods and models has been considered, the most important of which is the preparation of flood sensitivity maps. Flood sensitivity map is the first step towards flood prevention, control and ultimately flood management. Therefore, the most fundamental component of flood crisis management is the preparation of sensitivity maps. In this model, spatial information management and the required spatial analysis are modeled using GIS and a decision-making framework and strategies using multi-criteria decision-making. The present study was conducted with the aim of investigating the effects of existing criteria on flood susceptibility in an area of Khoy County, using remote sensing techniques and multi-criteria analysis. One way to reduce and prevent potential flood damage is to identify and zone the flood susceptibility map. In this study, an attempt was made to consider the impact of factors involved in the formation of flood risk potential within the framework of RS remote sensing techniques and using GIS software, which is considered one of the prominent techniques of multi-criteria analysis. According to the results of weighting, among the factors causing floods, hydrometeorological factors, soil characteristics including soil erosion and land use and its effects on the intensity and sensitivity of floods, with a weight coefficient of (0.19), land use with a weight coefficient of (0.16), and soil characteristics with a weight coefficient of (0.17), respectively, are important factors in flooding in some parts of this area. Of course, other factors, such as distance from the river, also play a major and important role, because with increasing rainfall, river levels rise, causing overflow and washing away of the useful surface soil of farms and lands around the drainage network.



مدل سازی حساسیت خطر وقوع سیل با استفاده از تحلیل های مکانی چندمعیاره مطالعه موردی: بخشی از حوضه رودخانه قطور در شهرستان خوی



مریم بیاتی خطیبی*، و فاطمه مقدم^۲

۱-استاد ژئومورفولوژی، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. m_bayati@tabrizu.ac.ir
 ۲-دانشجوی دکتری، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. f23187987@gmail.com

کلیدواژه‌ها

پتانسیل خطر سیل، تحلیل چندمعیاره ANP، قطور چای، محدوده شهرستان خوی، شمال غربی ایران.

چکیده

بیشتر قسمت‌های ایران از جمله محدوده مورد مطالعه سیل یکی از بحران‌های طبیعی است که سالانه منجر به خسارات اقتصادی و مرگ بسیاری از مردم می‌گردد. هدف تحقیق حاضر، پهنه‌بندی حساسیت خطر سیلابی رودخانه قطور چای در محدوده شهرستان خوی می‌باشد. (در مختصات با طول جغرافیایی ۴۴ درجه و ۵۸ دقیقه و ۴۵ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی) بدین منظور ابتدا با استفاده از تصاویر لندست سنجنده OLI و تکنیک طبقه بندی شی گرا با استفاده از الگوریتم بیشترین شباهت نقشه کاربری اراضی استخراج شد و به کلاس‌های (اراضی کشاورزی و باغی و مراتع، اراضی شوره زار، اراضی مسکونی، کوه‌ها و اراضی بایر) طبقه بندی شدند. در مرحله بعد، با شناسایی عوامل موثر در ایجاد سیل منطقه و تهیه لایه‌های اطلاعاتی هر معیار در GIS، استانداردسازی لایه‌ها با استفاده از تابع عضویت فازی، روش رتبه دهی و وزن دهی معیارها با استفاده از نرم افزار سوپردسیژن صورت گرفت و مدل سازی نهایی در محیط Arc Map انجام شد. سپس تحلیل حساسیت معیارها با استفاده از داده‌های آموزشی انجام شد. سپس با اعمال مراحل مختلف مدل بر روی نقشه‌ها، نقشه پهنه بندی حساسیت سیل حوضه منطقه در ۳ کلاس مختلف (با خطر زیاد، خطر متوسط تا خطر کم)، استخراج گردید. در این تحقیق روش فرایند تحلیل ANP مد نظر قرار گرفت که بیشترین وزن را به ۳ معیار (میزان بارش، فرسایش خاک و کاربری اراضی) و کمترین وزن را به معیار (جهت شیب) تخصیص داده است. برای ارزیابی دقت مدل در این پژوهش، از روش تحلیل حساسیت استفاده شد. با توجه به نتایج حاصله و نقشه مدل سازی سیل، می‌توان گفت که بیشترین مساحت حاصله از مدل سازی حساسیت سیل مربوط به طبقه خطر متوسط می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۲۳

*نویسنده مسئول: مریم بیاتی خطیبی. ارجاع به این مقاله: بیاتی خطیبی، مریم؛ مقدم، فاطمه؛ (۱۴۰۵). مدل سازی حساسیت خطر وقوع سیل با استفاده از تحلیل مکانی چندمعیاره مطالعه موردی: بخشی از حوضه رودخانه قطور در شهرستان خوی، هیدروژئومورفولوژی، ۱۳(۴۶): ۵۸-۴۱.

رایانامه: m_bayati@tabrizu.ac.ir

شناسه دیجیتال: 10.22034/hyd.2025.67046.1791



Copyright: ©2025 by the authors

Publisher: University of Tabriz

سیل یکی از مهم‌ترین و پرخطرترین بحران‌های طبیعی است که سالانه منجر به خسارات اقتصادی و مرگ بسیاری از مردم می‌گردد (پورقاسمی و همکاران، ۲۰۲۰: ۵۸۲). در میان بلایای طبیعی، سیل از مرگبارترین بحران‌ها محسوب می‌شود. گستردگی کشور ایران به همراه تنوع آب و هوایی و تغییرات مکانی زمانی بارندگی‌ها در حوضه‌های آبریز آن، هر ساله موجب وقوع سیل‌های عظیم در این کشور می‌گردد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر، افزایش بارندگی ناشی از تأثیر تغییرات آب و هوایی، علت اصلی خطرات سیل بوده است (بیلی^۱ و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۳۷۳). امروزه، دخالت عوامل مختلف انسانی، همانند رشد جمعیت، گسترش شهرها، استفاده نامناسب از زمین و بسیاری دیگر نیز موجب افزایش وقوع سیل شده است (ارنا و ورکو^۲، ۲۰۱۸: ۱۹). سیل وضعیتی نامیده می‌شود که در آن جریان رودخانه و سطح آب به صورت غیر قابل پیش‌بینی افزایش می‌یابد و باعث خسارت‌های مالی و انسانی گردد (علیزاده، ۱۳۹۰: ۱). در مقایسه با سایر مخاطرات طبیعی جهان، سیل‌ها با میزان بسیار زیاد، در حجم فضای وسیع رخ می‌دهند (گرین^۳ و ورکو^۴: ۲۰۱۴: ۱۵۲۰). پدیده سیلاب یکی از بلایای مهم طبیعی می‌باشد که بسیاری از نقاط دنیا از قبیل کشورهای توسعه‌یافته را مورد تأثیر قرار داده است (اسفندیاری و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۳۵). بعضی از دلایل وقوع انواع سیلاب را می‌توان باران‌های شدید یا طولانی، آب شدن برف‌ها، شکستن سدهای احداث شده و لغزش و رانش زمین، امواج مرتفع و خطرناک، بستن کانال‌های زهکشی، میزان شدت بارندگی، نوع بارندگی، زمان و حجم بارش، شرایط بستر رودخانه، زهکشی نامناسب حوضه، کاربری‌های نامتناسب و قطع و شکستن درختان جنگلی در سرچشمه رودخانه‌ها اشاره کرد (کلانول^۴، ۲۰۱۸: ۱۷). از گام‌های اصلی در جهت کاستن آثار ضربه‌بار ناشی از سیل، شناخت منطقه‌های سیل‌گیر و درجه‌بندی این مناطق از لحاظ میزان خطر سیلاب است تا بر اساس نتایج حاصله بتوان در رابطه با نحوه استفاده از زمین‌ها و کاربری‌های مختلف از جمله توسعه بهینه آینده شهرها و روستاها، کشاورزی، خدماتی و تولیدی تصمیم‌گیری کرد و ضررهای ناشی از وقوع سیلاب را کم کرد. نقشه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی یکی از روش‌هایی است که جهت کاهش خطرات ناشی از وقوع سیلاب می‌توان اتخاذ کرد (رضایی مقدم و همکاران، ۲۰۲۱). با رشد و توسعه فناوری‌های تازه روش‌های موجود، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیلاب و محیط ارائه نمایش این نقشه‌ها نیازمند استفاده از ابزارهای کارآمدتری است. همچنین از یک سو در چند دهه اخیر، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، در زمینه نقشه‌بندی خطر سیل بسیار مورد مقبولیت قرار گرفته است و برای شناسایی طیف گسترده‌ای از گزینه‌ها از نظر تداخلات عینی و معیارهای گوناگون، از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده می‌شود و از طرف دیگر، استفاده از نرم افزار (GIS)، به منظور مدیریت، تفسیر و آماده سازی داده‌های مکانی برای مدل‌سازی هیدرولوژیکی، فرصت‌ها و مسئله‌های زیادی را برای مدل‌سازان هیدرولوژیکی فراهم می‌کند (چو^۵ و همکاران، ۲۰۱۸: ۱۵۱۹) و توانایی زیادی جهت ساخت نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب و نمایش بصری آن‌ها در اختیار کاربران می‌گذارد. بنابراین، استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، با یک رویکرد تلفیقی، می‌تواند باعث سرعت بخشیدن در روند برنامه‌ریزی در شناخت موارد بحرانی شده و منجر به ایجاد نتایج متناسبی گردد. پژوهش‌های زیادی در نقاط مختلف دنیا انجام شده و توانایی تحلیل‌های مکانی بر اساس تصمیم‌گیری چند معیاره، برای ارزیابی و نقشه‌بندی خطر سیلاب نشان داده است. به عنوان مثال: مدل‌سازی حساسیت خطر وقوع سیل در حوضه زهکشی اندچای شهرستان خوی نشان داد (رحیم پور و همکاران، ۲۰۲۳: ۳)، عوامل شیب، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و ارتفاع بیشترین تأثیر را در وقوع سیل داشتند و همچنین مناطق پایین دست حوضه حساسیت بالایی را از نظر خطر وقوع سیل داشتند. ایشان اشاره کردند که این مناطق محل تمرکز مهمترین اجتماعات انسانی حوضه آبریز (شهر خوی) و زمین‌های کشاورزی و باغات است که سیلاب به‌عنوان یک مخاطره ژئومورفیک، تهدید جدی برای این مناطق محسوب می‌شود. نتایج تحقیق عابدینی و همکاران (۱۳۹۶: ۱۲)، پهنه بندی خطر سیلاب در

1 -Billi and et al.,

2 -Erena and Worku

3 - Green

4 - Kolawole

5 - Cho and et al.,

حوضه خیاوچای نشان داد، که عوامل مدل رقمی ارتفاع، سنگشناسی، بارندگی و شیب به ترتیب بیشترین تاثیر را بر ایجاد خطر سیلاب در منطقه مطالعاتی داشتند و به ترتیب ۲۳/۳۷ و ۵۲/۵۰ کیلومترمربع از مساحت محدوده، در طبقه بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارند. نتایج مطالعه اولویت بندی پتانسیل سیل خیزی در حوضه آبخیز حاجی بختیار، استان ایلام (خورشیدی و همکاران، ۱۴۰۰: ۶۶)، ۳۱ درصد از مساحت منطقه در پتانسیل سیل خیزی متوسط، ۵۳ درصد در پتانسیل خطر زیاد و ۱۶ درصد در پتانسیل خیلی زیاد قرار گرفته است. محققان دیگر به منظور مدل سازی مناطق حساس سیل در مالزی از تلفیق GIS، سنجش از دور و فرآیند تحلیل شبکه (دانو^۱ و همکاران، ۲۰۱۹: ۶۱۵) و یا به منظور تحلیل مناطق مستعد سیل، از تلفیق GIS و روشهای وزندهی تصمیم گیری چند معیاره فرایند تحلیل سلسله مراتبی، وزندهی با رتبه و وزندهی نسبتی استفاده کرده اند (چابرا و لی، ۲۰۲۰: ۱۲۶).

به منظور ارزیابی عملکرد روش های وزندهی ذکر شده، نتایج این تحقیق با نقشه های سیل برآورد شده با نقاط حقیقی مورد مقایسه قرار گرفت. ارزیابی نتایج بیانگر دقت بالاتر روش فرایند ANP نسبت به دو روش دیگر بوده است. ویگنش^۲ و همکاران (۲۰۲۱: ۷۶۷) به منظور تحلیل آسیب پذیری از سیل در هند، از تلفیق فرایند تحلیل سلسله مراتبی و فنون مکانی استفاده کرده اند. در این تحقیق به منظور ارزیابی نتایج، نتایج تحقیق با نتایج تحقیقات قبلی مقایسه شده است. نسانگو^۴ و همکاران (۲۰۲۲: ۱) به منظور مدل سازی حساسیت سیل شهری در آفریقا از ترکیب GIS و فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده کرده اند. نتایج این تحقیق بیانگر دقت ۸۴ درصدی روش ارائه شده بوده است. ارزیابی نتایج تحقیق بیانگر تشابه با نتایج تحقیقات پیشین بوده است.

محدوده شهرستان خوی، منطقه به دلیل قرار گرفتن در دامنه شمالی ارتفاعات کوه های آذربایجان و شرایط توپوگرافیکی و اکولوژیکی و از لحاظ شرایط خاص منطقه، مانند توپوگرافی، شیب و وضعیت سنگ شناسی (وجود سازندهایی با نفوذپذیری کم) و وضعیت فرسایندهی خاک منطقه مورد مطالعه و شرایط اقلیمی (بارش های ناگهانی و فصلی، رگبارهای بهاری، ذوب برف-ها و طغیان رودخانه ها در بهار و پاییز) از پتانسیل بالایی برای وقوع سیل قرار گرفته است. وقوع سیل در سطح محدوده، علاوه بر، تخریب و هدررفت گسترده اطراف رودخانه ها، تغییرات مورفولوژیکی، جابجایی و ناپایداری بستر رودخانه زیان های مالی را نیز به دنبال داشته است. بنابراین لازم می باشد که در مورد دلایل و عوامل اصلی ایجاد کننده سیل در این منطقه و نقشه بندی آن مطالعاتی انجام بگیرد. در تحقیق حاضر نقشه بندی مکانی از لحاظ پتانسیل خطر وقوع سیلابی شدن با استفاده از روش تحلیل چندمعیاره ای ANP و به روش رتبه دهی با استفاده از سیستم های اطلاعات جغرافیایی و تحلیل مکانی مورد نظر قرار گرفته است. تا با شناسایی مناطق اولویت دار از نظر خطر سیلاب، اقدامات لازم جهت کنترل، برنامه ریزی بهره برداری بهینه از منابع و استراتژی های مدیریت پایدار زمین به عمل آید. نتایج حاصل از این تحقیق می تواند برای محققان، مسئولین و سیاست گذاران در راستای ارزیابی پتانسیل سیلاب این محدوده و تصمیم گیری های مهندسی و عمرانی آتی (به خصوص در حوضه های پراهمیت از جمله حوضه آبریز قطور و الوند) به دلیل مسیر پرتدد خوی-وان و قرار گرفتن روستاهای زیادی در این دو حوضه بسیار موثر باشد.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شهرستان خوی، به مساحت حدود ۳۲۵۹/۹۱ کیلومترمربع، در مختصات با طول جغرافیایی ۴۴ درجه و ۵۸ دقیقه و ۴۵ درجه و ۱۰ دقیق شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی، در شمال استان آذربایجان

1 -Dano and et al.,

2 -Cabrera and lee

3 -Vignesh and et al.,

4 -Nsangou and et al.,

غربی قرار گرفته است. جلگه خوی در دامنه جنوب شرقی فلات ارمنستان واقع شده و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۱۳۹ متر است. ارتفاع شهر خوی از سطح دریاچه ارومیه ۱۳۵ متر پایین تر است. از تمام جلگه های مجاور حتی از دریاچه ارومیه پست تر است. شیب این جلگه از جنوب باختری به شمال خاوری است و شیب شهر به طور کلی از غرب به شرق می باشد. حداکثر ارتفاع شهر در غرب به ۱۱۵۰ متر و حداقل آن در شرق به ۱۰۸۰ متر می رسد. به عبارت دیگر اختلاف ارتفاع غربی ترین نقطه شهر تا شرقی ترین آن ۹۰ متر می باشد. منطقه خوی بخشی از منطقه کوهزایی زاگرس است که کم و بیش شامل رسوبات اواخر کرتاسه تا میوسن است. حداکثر ارتفاع حوضه ۳۶۰۹ متر (کوه اورین) و حداقل ارتفاع آن ۹۸۱ متر (محدوده) از سطح دریا می باشد.

شهرستان خوی بواسطه شرایط خاص جغرافیایی دارای چشمه های آب معدنی و یک منطقه کشاورزی مناسب است. رودخانه قطور در حوضه آبریز ارس می باشد و حوضه آبخیز آن با مساحت ۳۴۷۱/۹ کیلومتر مربع از چین خوردگی های شمال غربی سلسله جبال زاگرس بوجود آمده بطوریکه اراضی محدوده ای دارای شیب تند بوده و کمتر اراضی مسطح در این منطقه مشاهده شده است (شکل ۱).

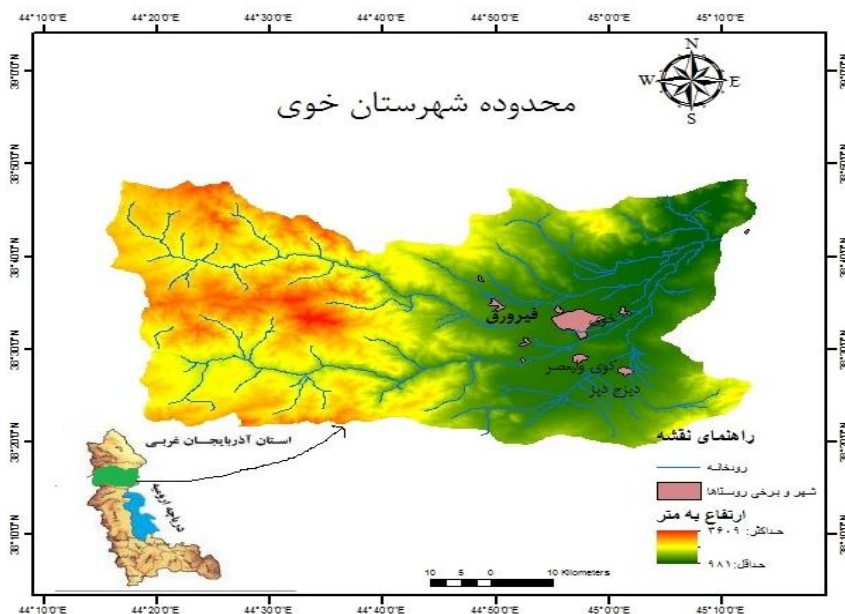


Figure (1): Location map of the study area

سرشاخه های متعددی نظیر چیلیک، کلندسو، آورش، قیله لیک، سربیک، غازان، آند و قودوغ بوغان در محل بویلاپوش وارد دشت خوی شده و مورد استفاده قرار می گیرد و سپس با تغییر جهت بسوی شمال به مسیر خود ادامه می دهد و وارد دشت ایواوغلی می گردد. رودخانه زیلبر چای نیز پس از عبور از این دشت در نقطه ای پس از مظفرآباد ایواوغلی در داخل منطقه حفاظت شده مراکان وارد قطور چای می گردد. رودخانه آند از شاخه های مهم رودخانه قطور بوده که در شهر خوی جریان دارد. این رودخانه از کوه های مرزی ایران و ترکیه بنام کانی زیارت، نظر بیک و حاجی بیک سرچشمه می گیرد. این کوهها در فاصله تقریبی ۵۷ کیلومتری خوی واقع اند. شاخه های اولیه این رودخانه در روستای بدلان بنام رودخانه بدلان وارد آند می گردد. این شاخه (بدلان) از کوه اورین بزرگ که بلندترین قله حوضه آبریز رود آند می باشد و ۳۶۲۲ متر از سطح دریا ارتفاع دارد سرچشمه می گیرد. کوه اورین در ۳۴ کیلومتری غرب خوی قرار دارد. آب حاصل از ذوب برف های این کوه وارد رودخانه بدلان شده و از طریق آن به رودخانه آند می ریزند. پس از الحاق شاخه بدلان، رودخانه قوسی به سوی شمال تغییر جهت داده و در پستک پایین واقع در باختر خنی وارد جلگه خوی می شود. طول رودخانه آند تا این نقطه ۷۰ کیلومتر و حوضه آبریز ۷۱۲ کیلومتر مربع است. رودخانه آق چای این رودخانه از کوه های مرزی ایران و ترکیه سرچشمه گرفته و حوضه آبریز این رودخانه ۱۳۳۱ کیلومتر مربع است. رودخانه زیلبرچای این رودخانه از کوه های میشوداغ و کوه های پیام و زوز سرچشمه

گرفته و از شرق به غرب جریان داشته (در محل به قزل چای نیز معروف است) و در داخل منطقه حفاظت شده مراکان در محل مظفرآباد به رودخانه قطور می‌پیوندد. مساحت حوضه آبریز این رودخانه ۲۶۵۰ کیلومتر مربع با میزان دبی آب ۱۵/۴۴۱ میلیون متر مکعب می‌باشد. حوضه آبریز الندچای ساختاری کوهستانی دارد، به طوری که بیش از ۶۰ درصد مساحت آن را نواحی کوهستانی و مرتفع تشکیل می‌دهد. کوه اورین با ارتفاعی نزدیک به ۳۶۳۸ متر مهم ترین عارضه توپوگرافی در سیمای ناهمواری‌های داخل حوضه آبریز الندچای می‌باشد (رحیم‌پور و همکاران، ۲۰۲۳: ۵).

۲-۲- مواد و روش و مراحل تحقیق

تحقیق حاضر از جمله پژوهش‌های کاربردی و تحلیلی می‌باشد که نتایج آن در مدیریت و سیاستگذاری مناطقی که از حساسیت بالایی نسبت به خطر سیلابی شدن متاثر هستند، حائز اهمیت می‌باشد. به منظور دست یافتن به هدف پژوهش، ابتدا با مطالعه و بررسی مبانی نظری موضوع این تحقیق، عوامل تاثیر بر وقوع سیل شناسایی شد. سپس به منظور بررسی پتانسیل خطر سیل در شهرستان خوی، از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، سنجنده OLI برای سال ۲۰۲۴ از سایت زمین‌شناسی آمریکا اطلاعات لازم اخذ شد (جدول ۱).

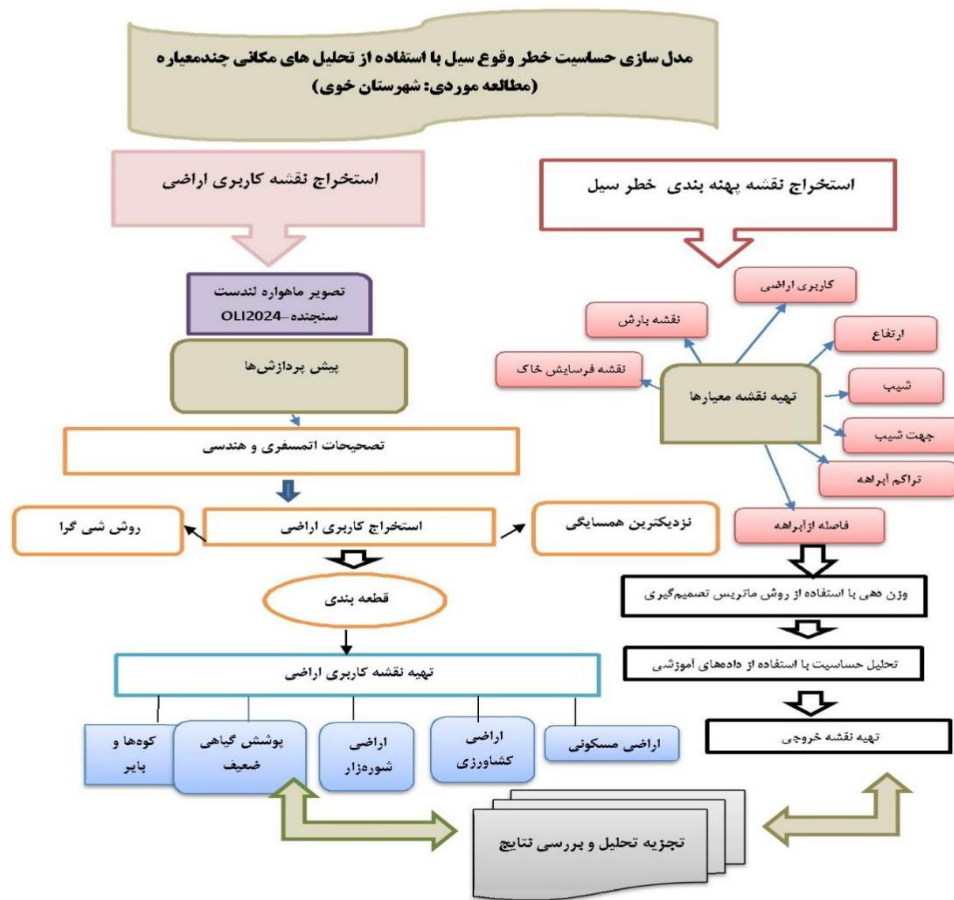
جدول (۱): خصوصیات تصویرسنجنده (TIRS و OLI) از ماهواره لندست (منبع: متادیتای تصاویر)

Table (1): Sensor image characteristics (TIRS and OLI) from landsat 8 satellite (source: Image metadata)

تصویر	تاریخ اخذ	ردیف/گذر	تعداد باندها	قدرت تفکیک	زاویه آزیموت خورشید	زاویه ارتفاع خورشید
لندست OLI	۲۰۲۴/۱۰/۰۳	۱۶۷/۳۴	۹ باندها	۳۰ متر	۱۲۲/۲۵	۶۵/۹۰
لندست TIRS	۲۰۲۴/۱۰/۰۳		۲ باندها	۱۵ متر		

در این تحقیق برای پردازش و آماده‌سازی تصاویر، طبقه‌بندی و خروجی گرفتن نقشه‌های نهایی به ترتیب از نرم افزارهای ArcMap و Envi 5.3 و eCognition استفاده گردید. سپس به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی، با استفاده از نرم افزار Envi 5.3 اقدام شد. برای تهیه این نقشه از ترکیب باندهای (سبز، قرمز و زرد) و مادون قرمز ماهواره لندست، برای طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق طبقه‌بندی با روش شی گرا و با الگوریتم بیشترین شباهت توسط نرم افزار ENVI 5.3، در ۵ کلاس اراضی مسکونی، اراضی شوره زار، اراضی کشاورزی و باغی مراتع، اراضی کوه‌ها و بایر و اراضی پوشش گیاهی ضعیف انجام شد. به منظور تهیه نقشه بارش محدوده، از داده‌های ایستگاه‌های بارانسنجی سینوپتیک برای سال‌های دارای اطلاعات بارش و ایستگاه سینوپتیک شهرستان خوی برای یک دوره ۳۰ ساله (۱۳۷۰-۱۳۹۹) استفاده شده است. با توجه به اینکه هدف اصلی این پژوهش بررسی حساسیت خطر سیل با استفاده از هشت پارامتر اصلی نظیر نقشه باران، فرسایش خاک، کاربری اراضی، مدل رقومی ارتفاع، شیب و جهت شیب منطقه، نقشه تراکم رودخانه‌ها و فاصله از رودخانه‌ها است. بنابراین برای محاسبه وزن‌ها از نرم افزار SUPER DECISION 2.10.0 استفاده شد تا اهمیت پارامترها با توجه به هدف پژوهش و مدلسازی مکانی، کلاس‌ها مشخص شود. بنابراین بر اساس هدف تحقیق، بالاترین وزن به پارامتر میزان بارش و فرسایندها داده شد چون هدف عمده این تحقیق و تمرکز اصلی آن بر اهداف ارزیابی پتانسیل سیلاب و مدیریت پایدار و حفاظت مناطق تحت تاثیر سیلاب و بالا آمدن آب می‌باشد. در نهایت لایه‌های به دست آمده برای محاسبه مساحت کاربری‌های تحت خطر

سیل، تهیه نقشه خروجی مناسب و اعمال نمودن معیار کاربری در فرآیند نقشه بندی خطر سیل، به نرم افزار Arc GIS انتقال داده شدند. در شکل (۲) فرایند کلی تحقیق نشان داده شده است.



شکل (۲): فلوجارت مراحل تحقیق
Figure (2): Research steps flowchart

در روش فرایند تحلیل ANP، از مقایسات زوجی جهت رتبه‌بندی استفاده شد. در این گام معیارها دو به دو بر اساس اعداد ۱ تا ۹ مورد مقایسه قرار گرفت. پس از محاسبه ماتریس مقایسات زوجی، وزن معیارها با استفاده از روش ساعتی محاسبه گردید. در این پژوهش از تکنیک‌های آنالیز چند معیاری MCDM، به عنوان تکنیک بهینه‌سازی طراحی کاربری‌های اراضی و قابلیت ترکیب با GIS بهره‌گیری شد.

اولین گام در این پژوهش تعیین عوامل و گزینه‌های پژوهش بود که با بررسی پیشینه پژوهش و با توجه به شرایط طبیعی و انسانی منطقه؛ عوامل میزان بارندگی، میزان فرسایش خاک، شیب، کاربری اراضی، جهت شیب، فاصله از آبراهه و تغییرات ارتفاعی، به عنوان فاکتورهای تاثیرگذار در ایجاد خطر سیلاب حوضه تعیین گردید. در گام بعد، لایه‌های اطلاعاتی مکانی مربوط به هر معیار، در محیط آرک مپ تهیه شد. لایه تراکم رودخانه‌ها با استفاده از نقشه رودخانه‌های منطقه شهرستان، ترسیم شد. لایه شیب و لایه جهت شیب، به ترتیب در Arc map و با استفاده از مدل رقومی تهیه شد و لایه‌های فاصله از رودخانه و تراکم از رودخانه در محیط Arc map ترسیم شدند. در گام دوم ماتریس تصمیم به صورت معیار-گزینه با ستون‌هایی از معیارهای مسأله و با سطریهایی از گزینه‌ها تشکیل گردید. در

این ماتریس هر سلول در واقع امتیاز هر گزینه نسبت به هر معیار است. در مرحله سوم ایده آل ها و ضد ایده آل ها تعیین گردید. در این بخش بر اساس روابط ۱ و ۲، مقادیر ایده آل (AI) و ضد ایده آل (AAI) در رابطه با نقش معیارها در رابطه با خطر سیلاب مشخص شد.

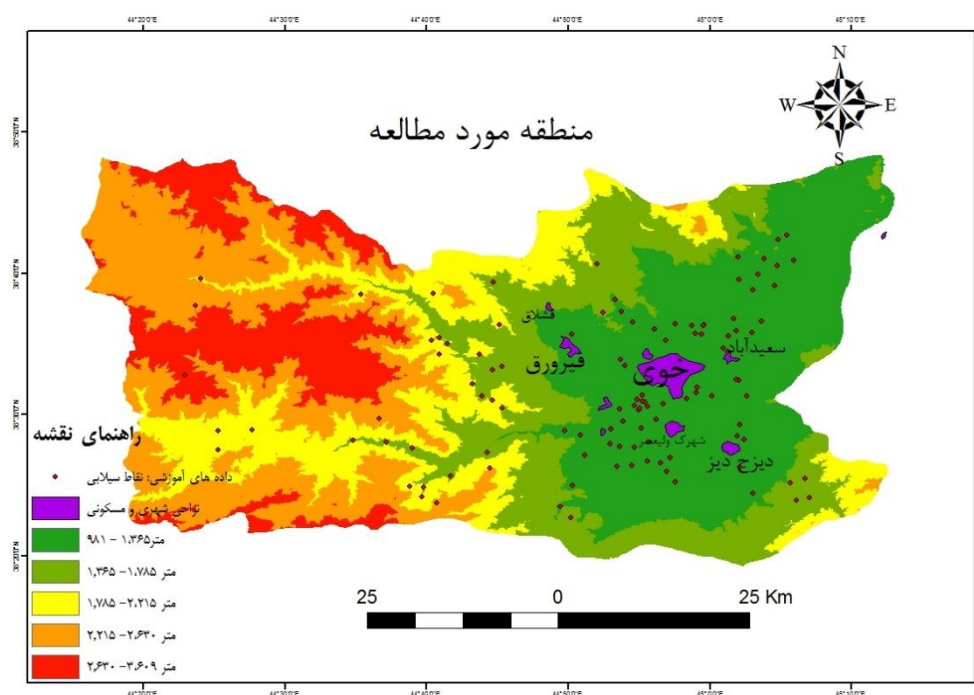
$$AI = \max x_{ij} \text{ if } j \in B \text{ and } \min x_{ij} \text{ if } j \in C \quad (1)$$

$$AAI = \min x_{ij} \text{ if } j \in B \text{ and } \max x_{ij} \text{ if } j \in C \quad (2)$$

در این پژوهش، جهت وزندهی عوامل از روش ANP، استفاده شد. در این روش، وزندهی با توجه به نقشه معیارها و میزان همبستگی، اختلاف و انحراف معیار بین لایه‌های معیارها، تعیین گردید. استفاده از روش ANP، در وزندهی معیارها در این پژوهش با هدف حل معضل استقلال صفات از یکدیگر در زمان مقایسات ماتریس زوجی بر اساس روش فرایند تحلیل ANP، بوده است. در نهایت وزن‌ها استخراج شدند. سپس با اعمال مراحل مختلف مدل بر روی نقشه‌ها، نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب حوضه منطقه در ۳ طبقه خطر زیاد تا خطر کم، استخراج گردید.

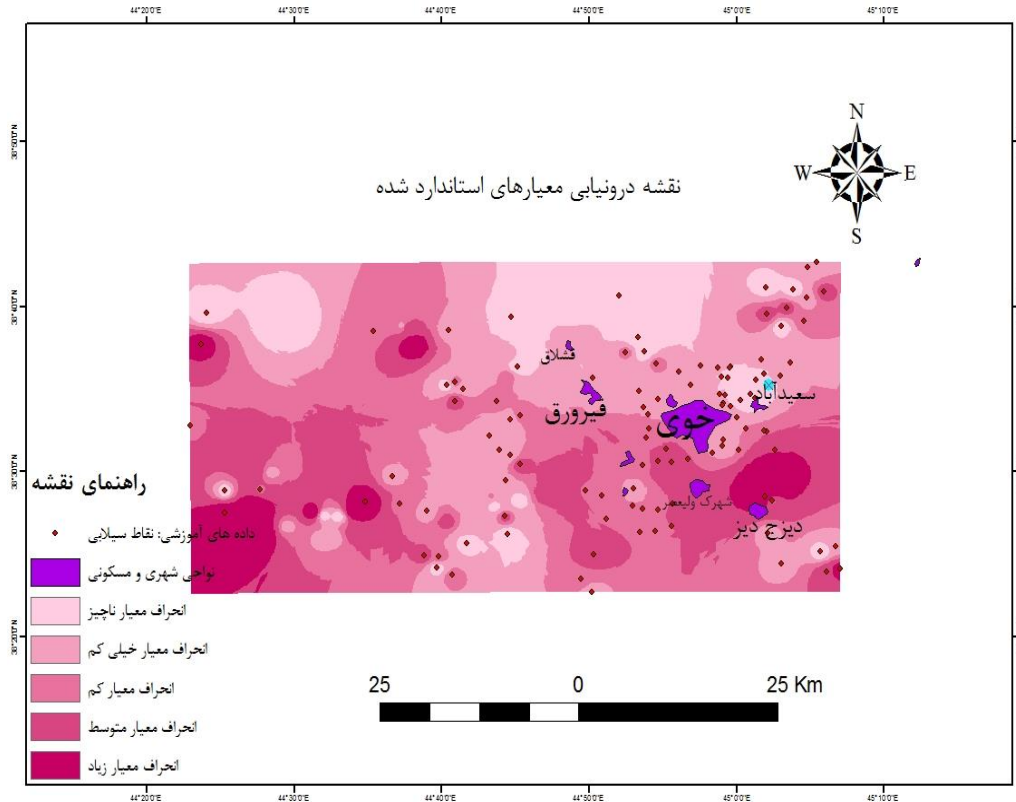
۳- نتایج و بحث

به منظور ارزیابی نتایج به دست آمده و دقت آنالیزها از روش مورد استفاده در این پژوهش تعداد ۲۰۳ نقطه براساس بررسی‌های میدانی و مشورت با افراد بومی (بر اساس تجربه آنها از خطر وقوع سیلاب‌ها) از مناطق مختلف در حاشیه رودخانه‌ها و کوه‌ها و روستاهای تحت تاثیر سیل انتخاب شد (شکل ۳). به منظور ارزیابی مدل مورد استفاده در پژوهش، نقاطی که حساسیت زیاد یا خیلی زیاد داشتند به عنوان نقاط سیلابی در نظر گرفته شدند. بعد از محاسبه رنگ‌ها، نقشه تغییرپذیری مکانی به دست آمد. در نهایت، نقشه خروجی حاصل بر اساس انحراف معیار استاندارد به ۵ کلاس طبقه‌بندی شد (شکل ۳). نقشه خروجی به عنوان نتیجه، نشان دهنده تغییر پذیری رنگ‌ها است. نتایج اعمال مرحله‌ای نشان می‌دهد که معیارهای تحقیق، همبستگی خوبی را با داده‌های آموزشی نشان نمی‌دهند، یعنی در کلاس ۴ و ۵ نتایج از دقت خوبی برخوردار نیستند. شایان ذکر هست که هرچقدر در نقشه مقدار STD کمتر باشد، نشان دهنده دقت بالای انتخاب وزن معیارهاست. در مدل ایجاد شده این پژوهش، اکثر مناطق مقدار STD کمتری دارند (شکل ۴).



شکل (۳): نقاط حقیقی انتخاب شده (مکان‌های خطر وقوع سیلابی شدن با میزان شدت بالا) جهت ارزیابی نتایج مدل مورد استفاده در پژوهش بر روی مدل فرآیند تحلیل ANP

Figure (3): Selected real points (High-severity flood risk locations) to evaluate the results of the model used in the research on the analysis process model ANP



شکل (۴): نقشه خروجی (تحلیل حساسیت): درون یابی معیارهای استاندارد شده و مقایسه آن با داده‌های آموزشی

Figure (4): Output map (sensitivity analysis): Interpolation of standardized measures and comparison with training data

جدول (۲): نمایشی از Rank و معیارهای استاندارد شده

Table (3): View of Ranks and standardized criteria

معیار استاندارد شده میزان بارندگی	معیار استاندارد ارد شده فرسای ش خاک	معیار استاندارد شده کاربری اراضی	معیار استاندارد شده مدل رقومی ارتفاع	معیار استاندارد شده جهت شیب	معیار استاندارد شده تراکم ابراهه	معیار استاندارد شده شیب	معیار استاندارد شده فاصله از آبراهه	متوسط	متوسط Rank	مینیموم Rank	ماکسیموم Rank	انحراف معیار استاندارد Rank
۰/۴	۰/۸	۱	۰/۵	۱	۰/۶	۰/۳۳	۱	۰/۶۸	۸۱	۷۲	۹۳	۵
۰/۴	۰/۸	۱	۰/۵	۱	۰/۶	۰/۳۳	۱	۰/۶۸	۸۰	۷۱	۹۲	۵
۰/۶	۰/۸	۱	۰/۳	۰/۲	۰/۸	۰/۳۳	۱	۰/۷۸	۴۷	۴۲	۵۴	۳
۰/۴	۰/۸	۰/۸	۰/۵	۱	۰/۶	۰/۳۳	۱	۰/۶۸	۷۹	۷۰	۹۱	۵
۰/۴	۰/۸	۰/۸	۰/۵	۱	۰/۸	۰/۳۳	۱	۰/۷۳	۲۵	۲۰	۳۴	۵
۰/۶	۱	۰/۸	۰/۵	۰/۲	۱	۰/۶	۱	۰/۷۷	۷	۷	۹	۴
۰/۶	۱	۱	۰/۵	۰/۲	۱	۰/۶	۱	۰/۷۸	۶	۶	۸	۴

۰/۶	۱	۱	۰/۵	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۱	۰/۷۷	۹	۹	۱۰	۴
۰/۶	۱	۰/۸	۰/۵	۰/۲	۰/۴	۰/۶	۰/۵	۰/۷۳	۲۸	۲۱	۳۳	۵
۰/۶	۱	۰/۸	۰/۵	۰/۲	۱	۰/۳۳	۰/۵	۰/۷۷	۵	۵	۷	۰
۰/۶	۰/۸	۰/۸	۰/۳۳	۰/۲	۱	۰/۳۳	۱	۰/۷۷	۳۸	۳۲	۳۷	۱
۰/۶	۰/۸	۰/۸	۰/۳۳	۰/۲	۰/۴	۰/۳۳	۱	۰/۶۵	۱۳۰	۱۲۹	۱۳۵	۱
۰/۶	۰/۸	۰/۸	۰/۳۳	۰/۲	۰/۴	۰/۳۳	۰/۵	۰/۶۵	۱۲۹	۱۲۸	۱۳۴	۱
۰/۶	۱	۰/۸	۰/۵	۰/۲	۰/۴	۰/۳۳	۱	۰/۷۷	۲۷	۲۰	۳۲	۵
۰/۶	۱	۰/۸	۰/۳۳	۰/۶	۰/۲	۱	۱	۰/۶۹	۷۲	۶۹	۷۵	۱
۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۳۳	۰/۲	۰/۴	۰/۶	۰/۵	۰/۶۸	۸۱	۷۲	۹۰	۵
۱	۱	۰/۸	۰/۲۵	۰/۶	۰/۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۶۸	۹۲	۷۷	۱۰۲	۵
۱	۱	۱	۰/۲۵	۰/۶	۰/۲	۰/۳۳	۰/۵	۰/۶۸	۹۱	۷۶	۱۰۱	۵
۱	۱	۱	۰/۳۳	۱	۰/۲	۰/۳۳	۱	۰/۷۷	۵۷	۷۲	۶۴	۴
۱	۱	۱	۰/۳۳	۱	۰/۲	۰/۳۳	۱	۰/۷۷	۵۶	۷۲	۶۳	۴
۱	۱	۱	۰/۳۳	۱	۰/۲	۰/۳۳	۱	۰/۷۷	۵۵	۷۲	۶۲	۴
۰/۸	۱	۱	۰/۳۳	۰/۴	۰/۴	۰/۳۳	۱	۰/۶۸	۷۷	۷۱	۹۱	۴
۰/۸	۱	۱	۰/۳۳	۰/۴	۰/۴	۰/۳۳	۱	۰/۶۸	۷۶	۷۰	۹۰	۴
۰/۴	۰/۸	۱	۰/۵	۱	۰/۶	۰/۳۳	۱	۰/۶۸	۸۱	۷۲	۹	۴

در محیط Arc GIS ، اولویت معیارها نسبت به همدیگر و جدول های مربوط به بالاترین اشتراک هر کدام از داده‌ها نشان داده شده است (جدول ۳).

جدول (۳): متوسط شیفت در رنک‌ها
Table (3): Average shift in ranks

S	ST	معیار	%S	%ST	معیار
-۰/۰۳۴	۰/۰۲	کاربری اراضی	۲۴/۱	۱۲/۶	میزان بارندگی
۰/۰۸۷	۰/۱۰۱	مدل رقومی ارتفاع	۱۱/۵	۲۴/۰	فرسایش خاک
۰/۳۶۶	۰/۳۱۱	جهت شیب	-۳/۴	۱/۷	کاربری اراضی
-۰/۰۵۶	۰/۱۶۴	تراکم آبراهه	۸/۷	۸/۶	مدل رقومی ارتفاع
-۰/۰۴۲	۰/۰۲۱	شیب	-۳۶/۶	۲۶/۳	جهت شیب
-۰/۲۴۱	۰/۱۴۹	میزان بارندگی	-۵/۶	۱۳/۹	تراکم آبراهه
۰/۱۱۵	۰/۲۸۳	فرسایش خاک	۴/۲	۱/۷	شیب
۰/۰۶۷	۰/۱۳۲	فاصله از آبراهه	۶/۷	۱۱/۲	فاصله از آبراهه

نقشه کاربری اراضی: فراوانی وقوع سیل در یک منطقه می‌تواند به شدت تحت تأثیر الگوهای کاربری زمین و سیر تحول زمانی آن قرار گیرد (بنیتو و همکاران، ۲۰۱۰). که در این پژوهش نیز، طبق مدل به دست آمده معیار کاربری اراضی عامل موثری در ایجاد سیلاب می‌باشد (شکل ۵).

تراکم و تعداد آبراهه: تعداد آبراهه‌ها به طور مستقیم متناسب با اندازه حوضه آبریز و ابعاد کانال می‌باشد. تعداد آبراهه‌های بیشتر نشان‌دهنده کمتر بودن میزان تخلخل و نفوذپذیری حوضه است (کومارای^۱ و همکاران، ۲۰۱۷:۵). در منطقه مورد مطالعه، بیشترین تراکم آبراهه در بخش جنوب و جنوب شرقی محدوده می‌باشد. مناطقی که بالاترین تراکم زهکشی را دارند، بیشتر مستعد سیلابی شدن می‌باشند. همچنین تراکم زهکشی بالا، نشان‌دهنده نفوذپذیری کم منطقه می‌باشد و در نتیجه منجر به پتانسیل بالای تشکیل رواناب فراوان می‌باشد که حساسیت سیل خیزی بالا را نشان می‌دهد (رضایی مقدم و همکاران، ۲۰۲۰:۷).

شیب و جهت شیب: شیب حوضه یک فاکتور مورفومتریک از رابطه هیدرولوژیکی است که نشان‌دهنده شتاب جریان رواناب و زمان تمرکز آن می‌باشد (مزا^۲، ۲۰۰۶:۳). شیب‌های تند از رواناب سطحی بالاتر و میزان نفوذپذیری کمی برخوردار هستند (ورستاپین^۳، ۱۹۸۳). یکی دیگر از پارامترهای اصلی مورفومتریک که با رابطه معکوس در ارتباط با وقوع سیل در نظر گرفته می‌شود، جهت شیب است. دلیل آن این است که جهت شیب می‌تواند شرایط هیدرولوژیکی یک منطقه را تحت تأثیر قرار دهد (کاواک^۴ و کوندو، ۲۰۰۸). جهت شیب به طور غیرمستقیم در وقوع سیل تأثیر دارد. به عنوان مثال مناطق شیبدار یک منطقه که در قسمت سایه قرار دارد، رطوبت خاک نسبتاً بالایی داشته و در نتیجه با رواناب زیاد همراه هستند (توفیق‌لو اسلام و همکاران، ۲۰۲۱).

ارتفاع: ارتفاع یکی از مهمترین متغیرهای تأثیرگذار بر روی سیل می‌باشد (تهرانی و همکاران، ۲۰۱۴). در حالت کلی رابطه معکوسی بین خطر وقوع سیلاب و ارتفاع وجود دارد. فراوانی وقوع سیل با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد، در نتیجه ارتفاعات پایین‌تر از حساسیت بیشتری برای وقوع سیلاب برخوردار هستند (خسروی و همکاران، ۲۰۱۶:۱۴). در تحقیق رحیم‌پور و همکاران (۲۰۲۳) نشان داده شده است که با توجه به اینکه بیش از ۶۰ درصد از کل مساحت منطقه شهرستان خوی را نواحی کوهستانی و ارتفاعات بالای ۲۰۰۰ متر تشکیل می‌دهد، سرعت شکل‌گیری رواناب در این بخش‌ها بالا بوده و در نتیجه احتمال خطر سیل‌گیری مناطق پایین دست حوضه بعد از هر بارندگی افزایش می‌یابد. در مدل ایجاد شده این مطالعه نیز، مناطق پایین دست بیشتر مستعد سیلاب هستند (شکل ۵).

بارش: بارندگی رابطه معنی‌داری با دبی رودخانه داشته و به طور مستقیم وقوع سیل را کنترل می‌کند. بارش‌های غیرمنتظره در مناطق نیمه‌خشک می‌توانند وضعیت سیلابی ایجاد کنند (داس، ۲۰۱۸:۱۰). بنابراین میتوان گفت که یک بارندگی شدید در بازه زمانی کوتاه می‌تواند باعث وقوع سیلاب گردد (رحیم‌پور و همکاران، ۲۰۲۳:۱۴).

فرسایش خاک: فرسایش خاک یکی از عوامل مهم در تشدید سیلاب است. خاک فرسایش یافته، توانایی کمتری برای جذب آب دارد، که این امر منجر به افزایش رواناب و در نتیجه سیلاب‌های شدیدتر می‌شود. فرسایش خاک، به ویژه فرسایش سطحی، لایه‌های بالایی خاک که غنی از مواد آلی و دارای توانایی جذب آب هستند را از بین می‌برد. این امر باعث می‌شود آب باران به جای نفوذ در خاک، به صورت رواناب جاری شود و در نتیجه سیلاب‌ها افزایش یابند. با توجه به این که معیارهای مورد استفاده در تصمیم‌گیری نقشی اساسی در کیفیت و صحت تصمیم‌گیری‌ها دارند و برای اخذ یک تصمیم مناسب علاوه بر درک مسئله، اهداف، نیازمندی‌ها و بسیاری دیگر از معیارهای مناسب جهت ارزیابی گزینه‌های تصمیم‌گیری باید درک و تعریف شوند، لذا میزان تأثیرگذاری پارامترها مد نظر قرار گرفت و

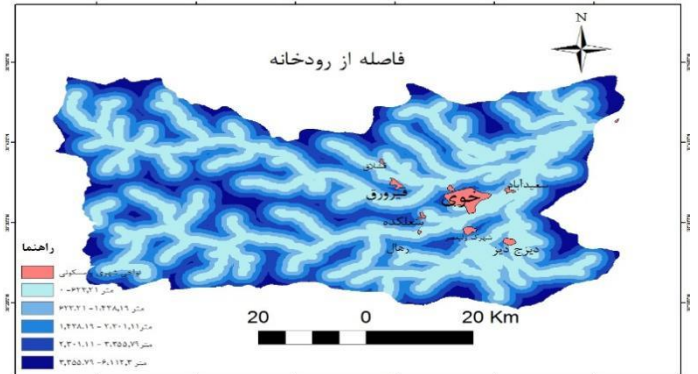
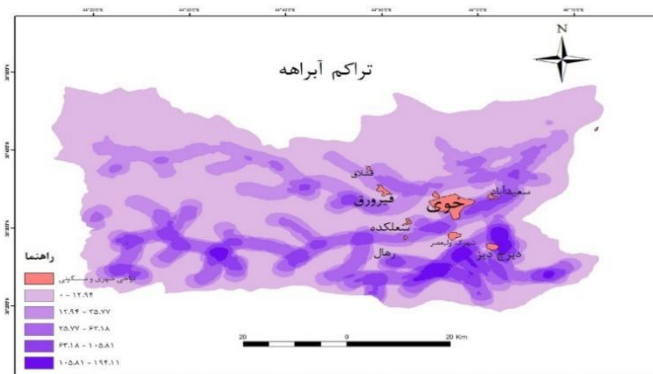
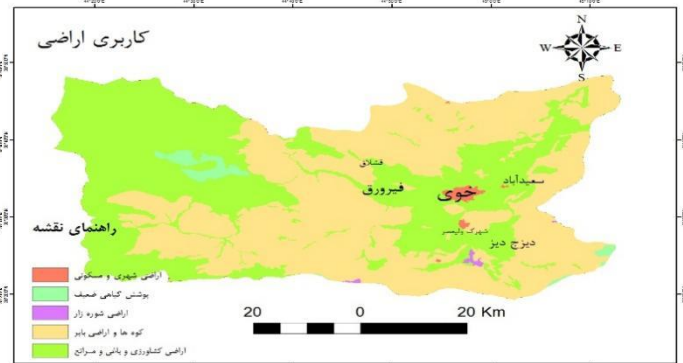
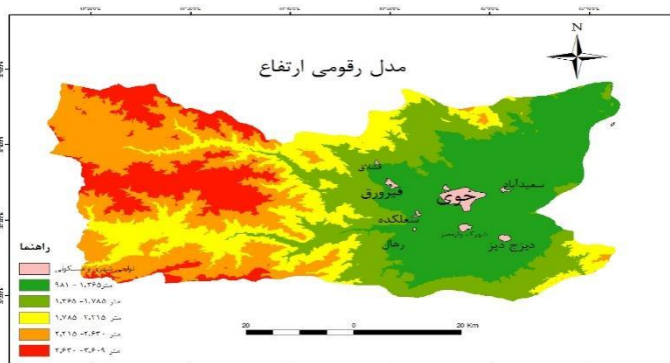
- 1- Kumar Rai and et al.,
- 2 -Mesa
- 3 -Verstappen
- 4 - Kwak and Kondoh

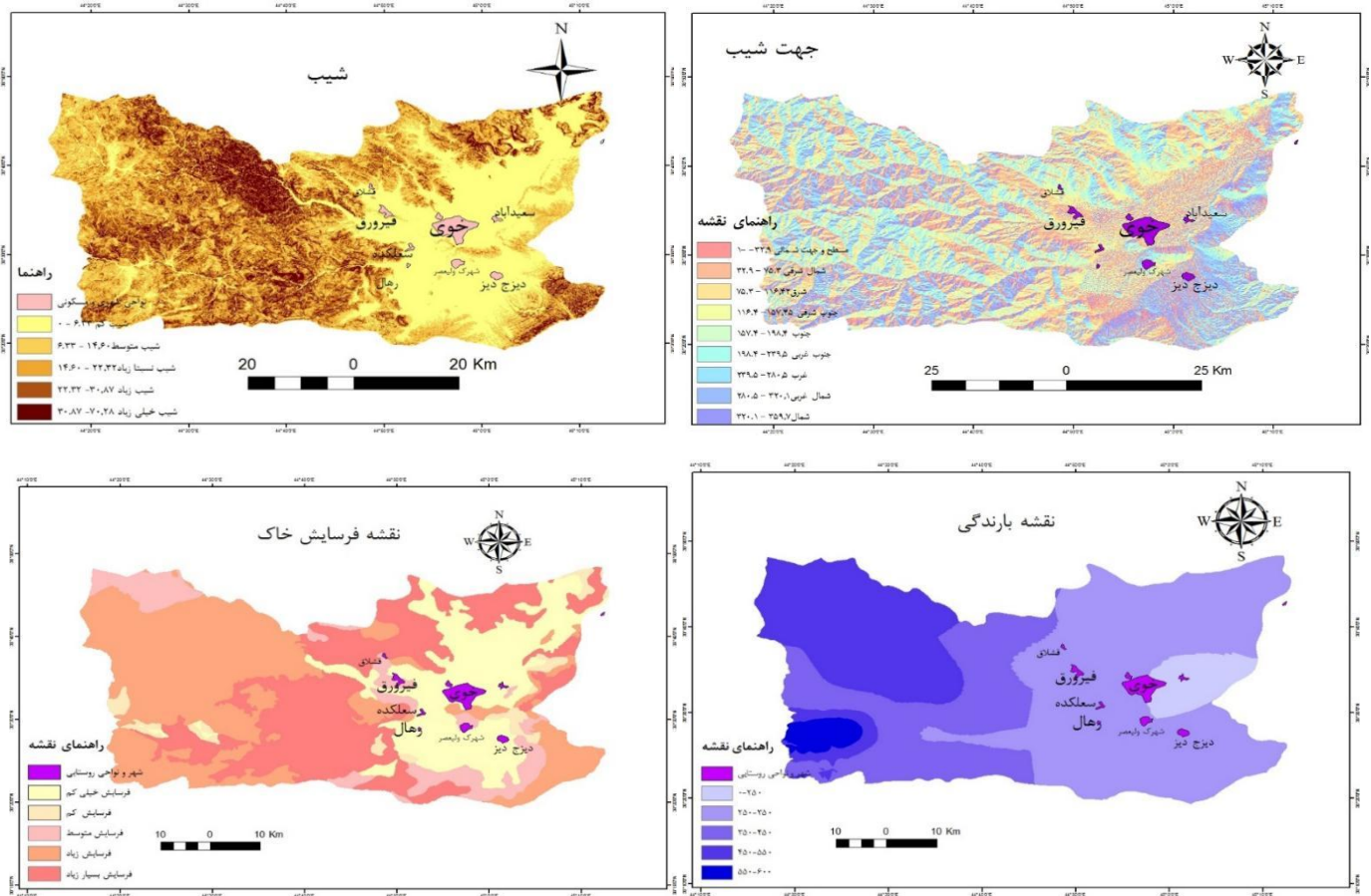
برای نقشه‌بندی حساسیت منطقه به وقوع سیل معیارهای گوناگون وزن‌دهی شدند. در جدول (۵)، مفروض پایه ای (ماتریس همبستگی، میزان اطلاعات) وزن نهایی حاصل از روش وزن‌دهی ANP در بین معیارهای مطرح در پهنه‌بندی و مدلسازی مکانی خطر سیل حوضه، نمایش داده شده است. سپس با اعمال مراحل مختلف مدل بر روی نقشه‌ها، نقشه پهنه‌بندی خطر سیل حوضه منطقه در ۳ طبقه خطر زیاد تا خطر کم، استخراج گردید.

جدول (۴): ماتریس مقایسات زوجی نهایی

Table (4): Final pairwise comparison matrix

سطح خوشه بندی		هیدرولوژی		کاربری اراضی	توپوگرافی			خاک	هواشناسی
		تراکم آبراهه	فاصله از آبراهه	کاربری اراضی	جهت شیب	ارتفاع	شیب	فرسایش خاک	بارندگی
هیدرولوژی	تراکم آبراهه	۰/۰۷۲	۰/۰۷۲	۰/۰۷۲	۰/۰۷۲	۰/۰۷۲	۰/۰۷۱	۰/۰۷۲	۰/۰۷۲
	فاصله از آبراهه	۰/۱۵۴	۰/۱۴۴	۰/۱۵۴	۰/۱۵۴	۰/۱۶۴	۰/۱۳۴	۰/۱۵۴	۰/۱۵۴
کاربری اراضی	کاربری اراضی	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۱۷
توپوگرافی هواشناسی خاک	جهت شیب	۰/۰۵	۰/۰۳۹	۰/۰۴۹	۰/۰۴۹	۰/۰۳۹	۰/۰۴۹	۰/۰۴۹	۰/۰۴۹
	ارتفاع	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱۵	۰/۰۸۳	۰/۰۴	۰/۰۸		
	شیب	۰/۰۹۰	۰/۰۹۰	۰/۰۹۸	۰/۰۹۰	۰/۰۹۰	۰/۰۹۰	۰/۰۹۰	۰/۰۹۰
	فرسایش	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۸
	بارندگی	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸





شکل (۵): نقشه معیارهای مورد استفاده در مدل

Figure (5): maps of factors

فاصله از آبراهه: جریان‌های رودخانه‌ای مسیرهای اصلی برای دبی سیلاب هستند و مناطقی که نزدیک رودخانه‌ها قرار دارند، مستعد سیل‌گیری هستند (آپرمان^۱ و همکاران، ۲۰۰۸).

به منظور محاسبه وزن معیارها با استفاده از روش فرایند تحلیل ANP، ماتریس مقایسات زوجی، با استفاده از نرم‌افزار SuperDecision محاسبه شده است. همانطور که در جدول (۵) مشاهده می‌گردد، روش فرایند تحلیل ANP، بیشترین وزن را به معیار ششم (میزان بارش) و پایین‌ترین وزن را به معیار دوم (جهت شیب) اختصاص داده است.

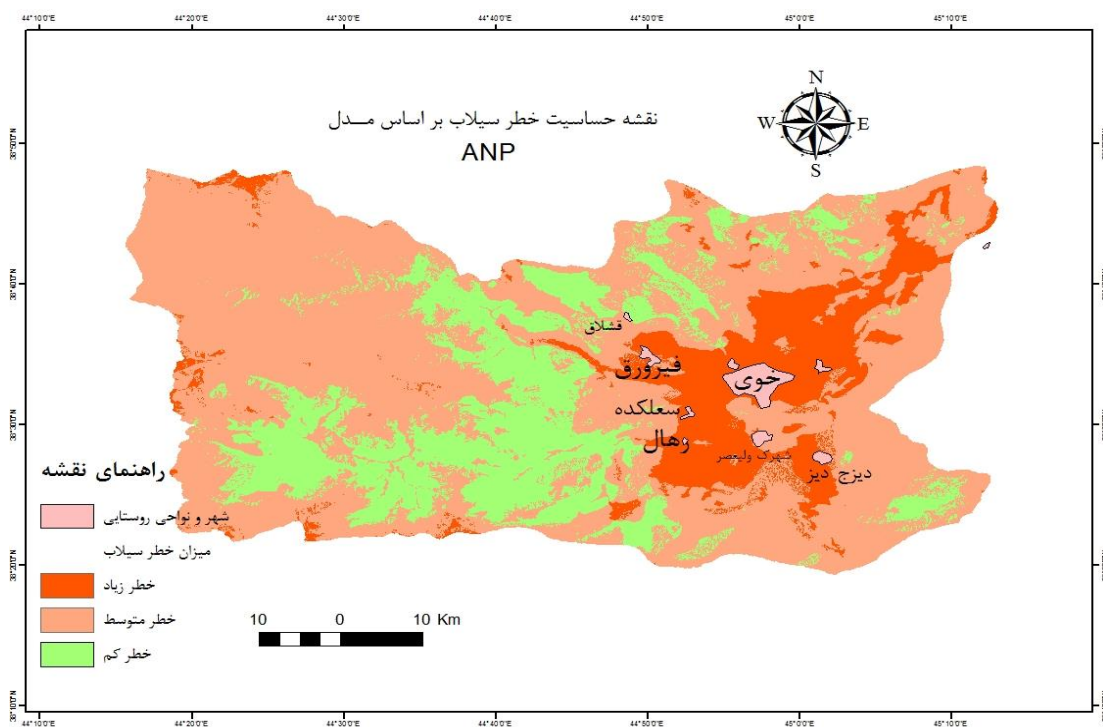
جدول (۵): وزن‌های به دست آمده از تئوری سوپر دسیژن

Table (5): Weights obtained from super decision theory

معیار	شیب	جهت شیب	ارتفاع	کاربری اراضی	فاصله از رودخانه	بارندگی	فرسایش خاک	تراکم رودخانه
وزن محاسبه شده	۰/۰۹۰	۰/۰۴۹	۰/۰۸۶	۰/۱۶۴	۰/۱۵۴	۰/۱۹۳	۰/۱۷۴	۰/۰۷۲

با توجه به نتایج حاصله، معیارهای بارش، کاربری اراضی و فرساینده‌گی خاک، به ترتیب با مقادیر وزنی ۰/۱۶، ۰/۱۷ و ۰/۱۷، بیشترین مقدار وزنی رو دریافت کردند. یکی از عوامل مهم حساسیت سیل یعنی شدت بارندگی بوسیله شاخص فورنیه اصلاح شده تهیه میگردد (کنعانی و همکاران، ۱۷:۲۰۱۸). شاخص نرخ ناسازگاری شاخصی است که مقدار آن نشان دهنده تناقضات و ناسازگاری‌های احتمالی در ماتریس مقایسات زوجی است. بنابراین ساعته بنیانگذار روش AHP، چنانچه نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد، سازگاری ماتریس مقایسات مورد تایید بوده و قابل قبول می‌باشند، اما در صورتی که نرخ ناسازگاری بزرگتر از ۰/۱ باشد، نشان دهنده تناقض در ارزیابی‌ها و قضاوت‌های اشخاص می‌باشد. و شاخص معتبری برای سنجش واقعی بودن پاسخ‌ها به پرسشنامه‌های ANP است. که در این تحقیق نرخ ناسازگاری ۰/۰۰۰۱ می‌باشد که قابل اطمینان و مورد قبول است. همچنین تصمیم‌گیری‌هایی که در نرم افزار سوپردسیژن، گرفته شد چون در این منطقه با توجه به میزان بارش و شستشوی مزارع نزدیک به رودخانه‌ها در اثر بالا آمدن و طغیان رودخانه بر اثر بارش‌های ناگهانی و همچنین به کاربری‌های اراضی که سبب از دست رفتن خواص کیفی و فیزیکی خاک‌های این مناطق می‌شوند و با توجه به هدف پژوهش حاضر، که مطالعه اصلی بر روی حساسیت سیلابی شدن منطقه می‌باشد، در نتیجه این وزن‌ها کاملاً مناسب با این مناطق و هدف این تحقیق می‌باشد. پس از محاسبه وزن معیارهای تصمیم‌گیری از روش فرایند ANP، میزان حساسیت سیل هر سلول مکانی در محیط GIS با تلفیق لایه معیارهای تصمیم‌گیری محاسبه شده است. با محاسبه شاخص حساسیت خطر سیل برای تمام سلول‌های مکانی منطقه مورد مطالعه، نقشه نهایی حساسیت خطر سیلاب تهیه شده است. سپس نقشه نهایی حساسیت خطر سیلاب ۳ کلاس با میزان حساسیت متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شده است. با توجه به نقشه پهنه بندی سیل محدوده مورد مطالعه، که با استفاده به ۳ کلاس طبقه‌بندی شدند (خطر سیل زیاد، متوسط و کم). دو کلاس نیز به دلیل وزن‌های داده شده حذف شده است. مشاهده می‌گردد که بیشترین مساحت حاصله از مدل‌سازی خطر سیل مربوط به طبقه سیلابی متوسط بوده که تقریباً شامل کلاس‌های بایر و کوه‌ها و حاشیه رودخانه‌ها و بخشی از زمین‌های کشاورزی می‌باشد (شکل ۶). با توجه به نتایج حاصله و مقدار مساحت طبقات خطر زیاد و متوسط، می‌توان بیان کرد، منطقه شهرستان خوی به لحاظ شرایط محیطی موجود در منطقه، اعم از وجود بارش‌های فصلی ناگهانی، تخریب خاک، آبرفت‌های تحکیم نشده دشت سیلابی، خاک‌های سست و آبرفتی، شیب زیاد و فراوانی شبکه آبراهه (رودخانه اصلی قطورچای یا الوند)، از نظر خطر سیل از پتانسیل بسیار بالایی برخوردار است. در اطراف رودخانه‌های جاری در مراتع بالادست واقع در قسمت‌های شمالی و پرشیب حوضه و همچنین در کل مسیر رودخانه تا خروجی (به ویژه در منطقه فیرورق و بدلان و جاده مرزی قطور و بخش‌های جنوبی این حوضه)، سیلاب‌های تا حد خطر متوسط رخ داده است. به علاوه سبب مسدود شدن برخی از راه‌های ارتباطی روستاها گردیده است. بخصوص در منطقه فیرورق که اغلب زمین‌های کشاورزی باغی هستند، مستعد پتانسیل سیل‌خیزی می‌باشد که این نتایج با یافته‌های رحیم پور و همکاران (۲۰۲۳) مطابقت دارد، ایشان بیان داشتند که به دلیل شیب نسبتاً زیاد این بخش‌ها و نفوذپذیری پایین سازندها، آب‌های حاصل از بارندگی به صورت رواناب‌های متعدد شکل گرفته و باعث افزایش ناگهانی دبی رودخانه الوندچای می‌شوند و در نتیجه در پایین دست حوضه، سیل‌گیری زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی را به همراه دارد، علاوه بر این، اکثراً در مراتع واقع در مناطق مرتفع و پرشیب حوضه نیز سیلاب دیده می‌شود. مخصوصاً در مناطق بالادست محدوده هم بخش‌های جاده خوی چالدران و روستاهای اطراف هم تحت تاثیر سیلاب‌های متعدد قرار می‌گیرند. با توجه به وجود فرسایش خاک و هدررفت آن و از دست دادن قابلیت نفوذپذیری آن و کاهش پوشش گیاهی ناشی از دام‌مازاد و چرای بیش از حد دام، در مراتع مناطقی همچون؛ قطور، فیرورق، بیلاقات و مراتع، سیلاب‌های خفیف و هر از گاهی خطر سیل با شدت بالا نیز مشاهده می‌گردد. علاوه بر وجود شرایط مستعد اقلیمی، زمین‌شناسی و فیزیوگرافی منطقه، به مرور زمان با فعالیت‌ها و اقدامات انسانی از جمله، تغییر کاربری اراضی و تخریب اراضی باغی و زراعی، میزان خطر سیل در سطح حوضه بدلیل ارتفاعات کوهپایه‌ای زیاد افزایش یافته است. همچنین با توجه به نتایج به دلیل وجود زمین‌های مرتعی بیشتر و روستاهای بیشتر این مناطق عمدتاً تحت تاثیر چرای دام‌ها قرار می‌گیرند. لذا، چرای بی رویه دام،

علاوه بر تخریب پوشش گیاهی منطقه، به طور ثانویه سبب ازدیاد سایر مخاطرات محیطی عمدتاً سیلابی شدن و بالآمدن سطح رودخانه‌ها به دلیل خاصیت جذبی کم خاک می‌گردد و همانطور که نتیجه نقشه مدل مکانی بررسی حساسیت سیل ایجاد شده هم گواه آن است که بیشتر سطح محدوده بیشتر از ۴۰ درصد در کلاس خطر متوسط می‌باشد و در مناطق با تراکم بالا و حاشیه رودخانه‌ها (مناطق با تراکم شبکه آبراهه زیاد)، حساسیت سیل در کلاس خطر زیاد قرار گرفته است.



شکل (۶): نقشه پهنه‌بندی خطر سیل حوضه منطقه خوی

Figure (6): Map in the Flood sensitivity zoning of the Khoy region basin

بررسی نقشه نهایی نشان‌دهنده این است که مناطقی که از نظر خطر وقوع سیلاب حساسیت بالایی را نشان می‌دهند عمدتاً قسمت‌های شرقی و جنوب شرقی محدوده را شامل می‌شوند. این بخش‌ها عمدتاً در مناطق پایین‌دست محدوده قرار گرفته‌اند که هم ارتفاع خیلی کم و هم شیب کمی نسبت به ناهمواری‌های اطراف خود دارند. بنابراین رواناب‌هایی که پس از هر بارندگی یا با ذوب برف‌ها تشکیل می‌شوند در این مناطق متمرکزند که باعث سیل‌رفتگی مناطق شهری و روستایی و زمین‌های کشاورزی و باغات می‌شود (رحیم‌پور و همکاران، ۱۹:۲۰۲۳). به‌طور کلی روستاهایی که در مسیر رودخانه‌ها قطورچای و الوندچای شکل گرفته‌اند از آسیب‌پذیری بالایی هنگام وقوع سیلاب برخوردار هستند.

۴- نتیجه گیری

اساسی‌ترین مولفه‌ی مدیریت بحران سیل، تهیه نقشه‌های حساسیت می‌باشد. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیرات معیارهای موجود بر حساسیت سیل در محدوده‌ای از شهرستان خوی، با استفاده از تکنیک‌های دورسنجی و تحلیل چندمعیاره انجام شده است. تعیین و پهنه‌بندی نقشه حساسیت سیل یکی از راه‌های کنترل و ممانعت از خسارت‌های احتمالی خطر سیلابی می‌باشد. در این تحقیق تلاش بر این بود که بر اساس فنون سنسجش از دور RS و با استفاده از نرم افزار GIS که به عنوان یکی از فنون برجسته تحلیل‌های چند معیاری محسوب می‌شود تأثیر پارامترهای موثر در شکل‌گیری پتانسیل خطر سیل مورد توجه صورت گیرد. بنابر نتایج حاصل از وزن‌دهی از بین عوامل ایجاد سیلاب عوامل آب و هواشناسی، خصوصیات خاک از جمله فرسایش خاک و کاربری اراضی و تأثیرات آن بر شدت و میزان

حساسیت سیل، به ترتیب با ضریب وزنی (۰.۱۹)، کاربری اراضی با ضریب وزنی (۰.۱۶) و فرسایش خاک با ضریب وزنی (۰.۱۷) به ترتیب عوامل مهم در سیل خیزی برخی نقاط این محدوده هستند. البته سایر عوامل هم مثل فاصله از رودخانه و عامل شیب نقش اصلی و مهمی رو دارند، به دلیل اینکه با افزایش بارندگی سطح رودخانه‌ها بالا می‌آید و سبب سرریز و شستشوی خاک مفید سطحی مزارع و زمین‌های اطراف شبکه زهکشی می‌شود و در نتیجه این عامل سبب پایین آمدن کیفیت خاک، ب‌ازدهی کم محصول و طغیان رودخانه به خیابان‌های نزدیک رودخانه (رود قدوغ بوغان منتهی به شهر) در این مناطق نزدیک به رودخانه می‌شود. عامل ارتفاع هم نقش نسبتاً زیادی در حساسیت سیل بخصوص در روستاهای کوهپایه‌ای منطقه رودخانه قطورچای و بخش عمده‌ای از مزارع و باغات نزدیک حوضه آبریز اند دارد. با توجه به نتایج حاصله؛ وضعیت بیشتر مناطق در کلاس نسبتاً متوسط (کلاس ۲) قرار گرفته‌اند. با توجه به نتایج بدست آمده، نشان‌دهنده ی پتانسیل بیشتر منطقه از لحاظ ایجاد خطر می‌باشد، بنابراین اراضی که در آنها احتمال سیلابی شدن بیشتر است بهتر است کارهای حفاظتی و آبخیزداری مانند کاهش حجم رسوبی آب، کاستن سرعت و شدت جریان آب، ایجاد بندهای آبیگری (سدهای کوچکتر) در دامنه‌های پرخطر، افزایش زمان ماندابی سیل، اقداماتی در راستای حفاظت آب و خاک و کاستن فرسایش خاک، ایجاد پوشش گیاهی مناسب در مناطق پرخطر با هدف نگهداشت و کنترل جریان آب و نفوذ آن به عمق‌های پایین تر خاک و رسیدن آن به آب‌های زیرزمینی صورت گیرد. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج پژوهشگرانی مثل رحیم‌پور و همکاران (۲۰۲۳) در حوضه شهرستان خوی مطابقت دارد. محققین مذکور در پژوهش خود به تهیه نقشه‌های حساسیت خطر وقوع سیلاب و تاثیرات معیارهای عامل ارتفاع و خصوصیات خاک اشاره می‌کنند که نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر نیز بیانگر تأیید نتایج این محققین است. این پژوهش، می‌تواند در تعیین و تشخیص مناطق مناسب برای احداث ساخت و سازها، در طراحی پروژه‌های کشاورزی و عمرانی، مدیریت‌های زیست محیطی، پیاده سازی برنامه‌ها، طرح‌های عمرانی و آبادانی هرگونه سازه‌های مسکونی، تفریحی و تجاری و اقدامات زیرساختی از قبیل احداث جاده‌ها بخصوص جاده ترانزیتی خوی-ترکیه در این محدوده، به منظور انتخاب سیاست‌های مدیریتی متناسب و دوری گزینی از مناطق پرخطر، مورداستفاده قرار بگیرد.

References

- Abedini, M., Sardashti, M. (2025). Flood management map using new random forest algorithm and geographic information system case study :Kandovan –Chalus Axis, Hydrogeomorphology, 12(43):17-33. DOI:10.22034/hyd.2025.6301.1758.
- Abedini, M., Piroozi, E., Aghayari, L., & Ostadi, E. (2017). Zoning of flood risk in Meshkin Mehr County using the VIKOR model, Geographical Land, 14(56): 12-34. [10.22111/jneh.2024.43735.1945](https://doi.org/10.22111/jneh.2024.43735.1945).
- Alizadeh, A. (2011). Principles of Applied Hydrology, 33rd edition, Ferdowsi University of Mashhad, Khorasan Razavi. DOI: [10.22111/jneh.2022.40684.1863](https://doi.org/10.22111/jneh.2022.40684.1863).
- Amani, K., Hosseini, M., Yamani, M., & Maghsoudi, M. (2025). Identification of flood-prone areas in the Sefidrud river basin using remote sensing –based hydrolic models and geomorphological evidences , Hydrogeomorphology, 12(43):58-80. DOI: [10.22034/hyd.2025.64251.1762](https://doi.org/10.22034/hyd.2025.64251.1762).
- Barzilai, J. (1998). "On the decomposition of value functions," Operations Research Letters, 22(4-5):159-170. DOI: [10.1007/s11518-006-0179-6](https://doi.org/10.1007/s11518-006-0179-6).
- Benito, G., Rico, M., Sánchez-Moya, Y., Sopeña, A., Thorndycraft, V.R., Barriendos, M., (2010). The impact of late Holocene climatic variability and land use change on the flood hydrology of the Guadalentín River, southeast Spain. Global and Planetary Change. 70, 53–63. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2009.11.007>.
- Billi, P., Alemu, Y. T. and Ciampalini, R. (2015). "Increased frequency of flash floods in Dire Dawa, Ethiopia: Change in rainfall intensity or human impact?" Natural Hazards, 76(2):1373-1394. DOI: [10.1007/s11069-014-1554-0](https://doi.org/10.1007/s11069-014-1554-0).

- Cabrera, J. S. and Lee, H. S. (2020). "Flood risk assessment for Davao Oriental in the Philippines using geographic information system-based multi-criteria analysis and the maximum entropy model," *Journal of Flood Risk Management*, 13(2), e12607. DOI: [10.1111/jfr3.12607](https://doi.org/10.1111/jfr3.12607).
- Cho, Y., Engel, b.A., Merwade, V.M. (2018). Aspatially distributed clarks unit hydrograph based hybridlogic model (Distributed-Clark), *Hydrological Sciences Journal*, 63: 1519-1539. DOI: [10.1080/02626667.2018.1516042](https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1516042).
- Dano, U. L., Balogun, A. L., Matori, A. N., Wan Yusouf, K., Abubakar, I. R., Said Mohamed, M. A., Aina, Y. A. and Pradhan, B. (2019). "Flood susceptibility mapping using GIS-based analytic network process: A case study of Perlis, Malaysia," *Water*, 11(3): 615. <https://doi.org/10.3390/w11030615>.
- Das, S., Pardeshi, S.D. (2018). Integration of different influencing factors in GIS to delineate groundwater potential areas using IF and FR techniques: a study of Pravara basin, Maharashtra, India. *Applied Water Science*. 8(7), 197. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0848-x>.
- Erena, S., and Worku, H. (2018). "Flood risk analysis: causes and landscape-based mitigation strategies in Dire Dawa city, Ethiopia," *Geoenvironmental Disasters*, 5(1): 1-19. <https://doi.org/10.1186/s40677-018-0110-8>.
- Esfandiari Darabad, F., Layghi, S., Mostafazadeh, R., & Haji Khadijeh. (2021). Zoning of flood risk potential of Qatourchai basin using ANP and WLC multi-criteria decision-making methods, *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 8(2): 135-150. [jsaeh.۸/۲/۱۳۵۱۰/۵۲۵۴۷/](https://doi.org/10.1007/s13201-018-0848-x)
- Green, C., Diepernk, G., EK, K., Hegger, D., Pettersson, M., Priest, S., tapsell, S. (2014). Flood risk management in europe: the flood problem and interventions, *Star flood*. https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=15202.
- Kanani-Sadat, Y., Arabsheibani, R., Karimpour, F. and Nasser, M. (2019). "A new approach to flood susceptibility assessment in data-scarce and ungauged regions based on GIS-based hybrid multi criteria decision making method," *Journal of hydrology*, 572: 17-31. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.034>.
- Khorshidi, Sh., Rostami, N., & Salehpour Jam, A. (2021). Prioritizing flood potential in watersheds without statistics using the AHP-VIKOR method (Case study: Haji Bakhtiar watershed, Ilam province), *Environmental Erosion Research*, 2(11): 66-92. [20.1001.1.22517812.1400.11.2.4.4](https://doi.org/10.1001.1.22517812.1400.11.2.4.4).
- Kolawole, O.M., Olayami, a.b., ajayi, K.T. (2018). Managing flood in Nigerian Cities: Risk Analysis and adaptation and options- Ilorin City as a case Study; *scholars Research Library*, 3(1): 17-24. www.scholarsresearchlibrary.com.
- Kumar Rai, P., Narayan Mishra, V., Mohan, K., (2017). A study of morphometric evaluation of the Son basin, India using geospatial approach, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 7: 9-20. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsase.2017.05.001>.
- Kwak, Y., Kondoh, A., (2008). A Study on the Extraction of Multi-Factor Influencing Floods from Remote Sensing Images and GIS Data: A Case Study in Nackdong Basin, South Korea. Centre for Remote Sensing, Chiba. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. . XXXVII. Part B8. Beijing 2008. https://www.isprs.org/proceedings/xxxvii/congress/8_pdf/2_wg-viii-2/50.pdf.
- Mesa, L.M., (2006). Morphometric analysis of a subtropical Andean basin (Tucumam, Argentina), *Environ Geol*, 50(8): 1235–1242. DOI: [10.1007/s00254-006-0297-y](https://doi.org/10.1007/s00254-006-0297-y).
- Nsangou, D., Kpoumié, A., Mfonka, Z., Ngouh, A. N., Fossi, D. H., Jourdan, C., Mbele H. Z., Mouncherou O. F., Vandervaere, J. and Ngoupayou, J. R. N. (2022). "Urban flood susceptibility modelling using AHP and GIS approach: case of the Mfoundi watershed at Yaoundé in the South-Cameroon plateau," *Scientific African*, 15(e01043): 1-16. DOI: [10.1016/j.sciaf.2021.e01043](https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01043).
- Opperman, J.J., Galloway, G.E., Fargione, J., Mount, J.F., Richter, B.D., Secchi, S., (2009). Sustainable floodplains through large-scale reconnection to rivers. *Science*. 326(5959), 1487–1488. <https://doi.org/10.1126/science.1178256>.
- Pourghasemi, H. R., Razavi-Termeh, S. V., Kariminejad, N., Hong, H. and Chen, W. (2020). "An assessment of metaheuristic approaches for flood assessment". *Journal of Hydrology*, 582, 124536. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2019.124536](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124536).

- Rahimpour, T., Rezaei Moghaddam, M. H., Hejazi, S. A., & Valizadeh Kamran, K. (2023). Flood susceptibility modeling in the Aland Chai Basin based on a new ensemble classification approach (FURIA-GA-LogitBoost). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(1), 1-24. DOI: [10.22067/geoeh.2022.74170.1141](https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74170.1141).
- Rezaei Moghaddam, M H., Hejazi, S., Valizadeh Kamran, KH., Rahimpour, T. (2020). Investigating the flood susceptibility of watersheds using hydrogeomorphic indices (Case study: Alandchay watershed, northwestern Iran), *Quantitative Geomorphology Research*, 2(9):95-214. DOI: [10.22034/hyd.2021.40169.1536](https://doi.org/10.22034/hyd.2021.40169.1536).
- Rezaei Moghaddam, M H., Mokhtari, D., Shafiei Mehr, M. (2021). Zoning of flood risk in the Chay Mianeh city watershed using the VIKOR model, *Hydrogeomorphology*, 8(28): 19-37. [10.22034/hyd.2021.40169.1536](https://doi.org/10.22034/hyd.2021.40169.1536).
- Tehrany, M.S., Pradhan, B., Jebur, M.N., (2014). Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. *Journal of Hydrology*. 512, 332–343. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.008>.
- Towfiqul Islam, A.B., Talukdar, S., Mahato, S., Kundu, S., UddinEibek, K., BaoPham, Q., Kuriqi, A., ThuyLinh, N.T., (2021). Flood susceptibility modelling using advanced ensemble machine learning models, *Geoscience Frontiers*, 12(3): 101075. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.09.006>.
- Verstappen, H., (1983). *The applied geomorphology*, Enschede (The Netherlands): International Institute for Aerial Survey and Earth Science (ITC). <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2029731>.
- Vignesh, K. S., Anandakumar, I., Ranjan, R. and Borah, D. (2021). “Flood vulnerability assessment using an integrated approach of multi-criteria decision-making model and geospatial techniques,” *Modeling Earth Systems and Environment*, 7(2): 767-781. DOI: [10.1007/s40808-020-00997-2](https://doi.org/10.1007/s40808-020-00997-2).