

Research Paper



Assessment and Zoning of Flash Flood Risk in Ojanchay Catchment Using the MFFPI Model



Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam^{*1}, Fariba Karami², Kolsom Abazari³



This paper is an open access and licenced under the CC BY NC licence.



DOI: 10.22034/HYD.2023.57462.1701

Reference to this article: Rezaei Moghaddam, M.H.; Karami, F.; Abazari, K. (2023). *Assessment and Zoning of Flash Flood Risk in Ojanchay Catchment Using the MFFPI Model*. *Hydrogeomorphology*, 10(36): 138–157.

Keywords

Flood risk potential, Physiographic Parameters, Spearman's correlation coefficient, Ojanchay, Northwestern Iran

Receive Date: 2023/07/10

Accept Date: 2023/09/19

Available: 2023/10/30

A B S T R A C T

The current research aims at evaluating and zoning flash-flood-prone areas in the basin based on physiographic characteristics by the modified flash flood potential index (MFFPI). First, a flash flood potential map was prepared using the slope, flow accumulation, soil texture, profile curvature, land use, and rock permeability parameters by weighting the layers. Then, Spearman's correlation test and multivariate linear regression were established between the parameters and the flash flood potential map. A final flash flood potential map was prepared based on the results of statistical tests and the most influential parameters. According to the results of both maps, the distribution of flash flood risk potential zones follows the topographical conditions of the basin. Areas with low and very low risk potentials are located in mountainous, which are not suitable for water accumulation due to their high slopes. Areas with high to very high-risk potentials of the flash flood are located in flat areas and around the Ojan River because these areas are prone to water accumulation due to topographical conditions (low slope).

*** Corresponding Author: Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam**

E-mail: rezmogh@tabrizu.ac.ir

1. Professor of Geomorphology, Department of Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2. Professor of Geomorphology, Department of Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

3. PhD Student of Geomorphology, Department of Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Extended Abstract

Introduction

Floods are among the most destructive natural disasters that cause huge and frequent human financial and resource losses worldwide (Mishra & Sinha, 2020, 1). Flash floods are caused by heavy rains and the sudden accumulation and release of runoff from upstream to downstream. These types of floods usually occur in spring and summer due to the rapid hydraulic response of the catchment to heavy rainfall, which is the source of many floods, especially in arid and semi-arid areas with high intensity and relatively short duration. (Badri et al, 2016, 143). It is caused by the interaction of topographical, geomorphological, and geological characteristics (Abuzied et al., 2016: 56). Therefore, identification and zoning of areas prone to flood risk are necessary for sustainable development planning and protection of human societies (Farhan & Ayed, 2017, 719). The Ojanchay catchment is one of the main sub-catchments of Ajichai, which has experienced flash floods in recent years due to human activities; one of the most unprecedented floods was in 2016. Therefore, the current research aims to evaluate and zoning flash flood-prone areas in the catchment based on physiographic characteristics, which is the basis of the modified flash flood potential index (MFFPI).

Methodology

In this study, to prepare the layers of the six parameters (slope, flow density, slope curvature, soil texture, rock permeability, and land use) from DEM images (30 meters), geological maps 1:100000, soil texture map prepared by the Natural Resources Organization and Sentinel satellite images² was used. The MFFPI model was used to determine flood zones. The FFPI model was presented by Smith to identify areas prone to flash floods in the United States of America (Smith, 2003). The purpose of the FFPI is to quantitatively assess flood risk in a catchment based on inherent land characteristics such as slope, land cover, land use, and soil/texture type (Tincu et al., 2018, 594). This model was later modified and used in different regions of the world, which is used as the modified flash flood potential index (MFFPI). The MFFPI model uses six physiographic parameters to assess the potential hazard of flash floods. Each of these parameters has its weight and is classified into five classes. Weights 1 and 5 have the least and greatest effect on water accumulation. The weight of each parameter is calculated by the Raster Calculator Tool in Arc Map, and the final map of the flash flood Will be extracted (Tincu et al., 2018, 596).

Results and Discussion

In assessing flash floods in the Ojanchay catchment, after preparing layers of six parameters, these layers are classified (5 classes), and each is multiplied by its weight. In the first step, the flash flood potential map is extracted from the aggregation of six weighted layers by the Raster Calculator tool. Then, in the second step, about 500 random points are selected from the catchment, and their values are extracted in all six layers and the flash flood potential map by the Extract Multi Values to Point tool in the GIS. The normality of extracted data was checked by the Kolmogorov-Smirnov test. The results showed that the data does not follow the normal distribution, and the value of Sig is zero for all the data. Then, Spearman's correlation tests and multivariable linear regression were used to evaluate the correlation between the parameters and the flash flood potential layer. The results showed a correlation between most parameters (Table 1). So, the three parameters of slope, land use, and soil texture have the greatest impact on flash floods, and based on them, the flash flood potential index map is prepared again.

Table: Statistical results between parameters

		slope	Flow accumulation	Profile Curvature	Soil texture	Rocks Permeability	Land use
Spearman's correlation		0.818	0.132	-0.084	0.253	0.123	0.48
Regression	r	0.821	0.118	0.097	0.230	0.086	0.428
	r ²	0.674	0.014	0.009	0.053	0.007	0.183

Both MFFPI maps show that many human settlements in areas with slopes between 0 and 8 degrees are at risk of flash floods. The villages located in the central part of the catchment and along the Ojan River, on Quaternary deposits, are exposed to high to very high risk of sudden floods. On the other hand, agricultural lands, especially in the downstream part of the catchment (east and northeast), are prone to high risk of flash floods. The results of the first map showed that the areas with high and medium risk potential are 26.45% and 20.83%. According to the second map, the areas with high and low-risk potential are the highest and lowest (25.84 and 12.69), and the areas with high and very high-risk potential (25.84 and 20.85 %) correspond to the flat areas and alluvial plains.

Conclusions

This study used a modified flash flood potential index method to evaluate and zoning flash flood in the Ojanchay catchment. The MFFPI model was implemented in two steps, and the results showed that the spatial distribution of flash flood risk zones depends on the topographical conditions of the catchment. Areas with low and very low-risk potential are located in mountainous areas, which are not suitable for the accumulation of water due to the high slope. Areas with high to very high flood risk potential are located in flat areas and around the Ojan River because these areas are prone to water accumulation due to topographical conditions (low slope). Land use is changing, especially agricultural and pasture lands in the region, and the high slope of the south and southwest parts and high areas, which cause the rapid formation of water currents during heavy rain or flash floods in the region, is inevitable. The results of Spearman's correlation and linear regression confirm this (the effect of slope and land use). According to Bayati Khatibi's research (2020) in the study area, the height and volume of runoff have doubled in the last 20 years due to the increase in cultivated area and changes in land use, and on steep surfaces, the occurrence of daily heavy rains causes the formation of deep runoff with a large volume and flash floods in the shortest possible time.

References

- Abuzied, S., Yuan, M., Ibrahim, S., Kaiser, M., Saleem, T. (2016). Geospatial Risk Assessment of flash floods in Nuweiba Area, Egypt, *Journal of Arid Environments*, 133, 54-72.
- Badri, B., Zare Bidaki, R., Honarbakhsh, A., Atashkhar, F. (2016). Prioritization of Flooding Potential in Beheshtabad Subbasins, *Physical Geography Research Quarterly*, Volume 48, Issue 1, pp 143-158
- Bayatikhatibi, M. (2020). Investigating The Role of Land Use Changes in Hydrological Changes of Surfaces in Mountainous Area (Case Study: Ojan Chay Basin), *Hydrogeomorphology*, Volum7, Issue 24, pp127-144.
- Farhan, Y., Ayed, A. (2017) Assessment of Flash Flood hazard in Arid Watersheds of Jordan, *Geographic Information System*, 9(06).717.
- Mishra, K., Sinha, R. (2020). Flood Risk Assessment in The Kosi Megafan Multi- Criteria Decision Analysis: A Hydro-Geomorphic Approach, *Geomorphology* 350, 1-19.
- Smith, G. (2003). Flash Flood Potential: Determining The hydrologic Response of FFMP basins to Heavy rain By Analyzing their Physiographic Characteristics, A White Paper available From the NWS Colorado Basin River Forecast Center Web Site at [http:// www.cbrfc.noaa.gov/papers/ffp_wpap.pdf](http://www.cbrfc.noaa.gov/papers/ffp_wpap.pdf).
- Tincu, R., Lazar, G., Lazar, I. (2018). Modified Flash Flood Potential Index in Order to Estimate Areas with Predisposition to Water Accumulation, *Open Geosciences*, 10(1), 593-606.

...

مقاله پژوهشی



ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب ناگهانی در حوضه آبریز اوجان چای با استفاده از مدل MFFPI



محمد حسین رضایی مقدم^۱، فریبا کرمی^۲، کلثوم ابادری^۳



این مقاله به صورت دسترسی باز و با لایسنس CC BY NC کپی‌تو کامنز قابل استفاده است.



ارجاع به این مقاله: رضایی مقدم، محمدحسین؛ کرمی، فریبا؛ ابادری، کلثوم (۱۴۰۲). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب ناگهانی در حوضه آبریز اوجان چای با استفاده از مدل MFFPI. هیدروژئومورفولوژی، ۱۰ (۳۶): صفحه شروع ۱۵۷-۱۳۸.

DOI: 10.22034/hyd.2023.57462.1701



چکیده

سیلاب به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین حوادث طبیعی باعث وارد آمدن خسارات عظیم جانی، مالی و اتلاف منابع در سراسر جهان می‌شود. منشا بسیاری از سیلاب‌ها به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک بارش‌های رگباری و تعاملات خصوصیات توپوگرافی، ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی است. حوضه آبریز اوجان چای یکی از این حوضه‌هاست. هدف پژوهش حاضر ارزیابی و پهنه‌بندی مناطق مستعد سیلاب ناگهانی در حوضه براساس خصوصیات فیزیوگرافیک با بهره‌گیری از مدل شاخص پتانسیل سیلاب ناگهانی تصحیح شده (MFFPI) است. ابتدا بوسیله پارامترهای شیب، تراکم جریان، بافت خاک، انحنا، دامن، کاربری اراضی و نفوذپذیری زمین و از طریق وزن دهی لایه‌ها، نقشه پتانسیل سیلاب ناگهانی تهیه شد. سپس بین پارامترها و نقشه پتانسیل سیلاب ناگهانی آزمون همبستگی اسپیرمن و رگرسیون خطی چندمتغیره برقرار گردید و براساس نتایج آزمون‌های آماری و پارامترهای با تاثیرگذاری بیشتر نقشه نهایی پتانسیل سیلاب ناگهانی تهیه شد. طبق نتایج حاصل از هر دو نقشه، توزیع فضایی پهنه‌های پتانسیل خطر سیلاب ناگهانی از شرایط توپوگرافی حوضه آبریز تبعیت می‌کند. مناطق دارای پتانسیل خطر کم و خیلی کم در مناطق کوهستانی قرار گرفته‌اند که این سطوح به دلیل شیب زیاد برای انباشت و تجمع آب مناسب نیستند. نواحی دارای پتانسیل خطر زیاد تا خیلی زیاد سیلاب ناگهانی در مناطق هموار و اطراف بستر رودخانه اوجان واقع شده‌اند، زیرا این نواحی به دلیل شرایط توپوگرافی (شیب کم) نسبت به انباشت و تجمع آب مستعد هستند. با در نظر گرفتن نوع خاک، ویژگی‌های توپوگرافی، و اقلیم نیمه‌خشک، تغییرات هیدروژئومورفولوژی ناشی از دخالت‌های انسانی در تغییرات کاربری اراضی و برهم زدن شیب طبیعی دامنه‌ها زیاد بوده است که نتایج حاصل از آزمون‌های آماری تاییدکننده این امر (تاثیر شیب و کاربری اراضی) است و این تغییرات علاوه بر پتانسیل خطر سیلاب ناگهانی در حوضه، پتانسیل وقوع مخاطرات دیگری را هم در منطقه به دنبال دارد.

کلیدواژه‌ها

پتانسیل خطر سیلاب، عوامل فیزیوگرافی، ضریب همبستگی اسپیرمن، اوجان چای، شمالغرب ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۸/۰۸

* نویسنده مسئول: محمد حسین رضایی مقدم

رایانامه: Rezmogh@tabrizu.ac.ir

^۱ - استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۲ - استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۳ - دانشجوی مقطع دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز

مقدمه

بسیاری از مخاطرات طبیعی مانند: سیلاب، زمین‌لرزه، رانش زمین و غیره هر ساله در سراسر جهان مشاهده می‌شوند (اوسای^۱ و همکاران، ۲۰۲۱: ۱) که سیلاب یکی از مخرب‌ترین آنهاست و باعث وارد آمدن خسارات عظیم و مکرر جانی، مالی و اتلاف منابع در سراسر جهان می‌شود (میشرا و سینها^۲، ۲۰۲۰: ۱) و جوامع بشری آن را به عنوان یک واقعه اجتناب ناپذیر پذیرفته اند (شریفی پیچون و همکاران، ۱۳۹۸: ۷۶). سیل به هرگونه تراز جریانی گفته می‌شود که بیش از ظرفیت حمل طبیعی مجرای رودخانه بوده، از کناره‌های آن سرریز شده و اراضی کم ارتفاع مجاور را غرقاب می‌سازد (چادی^۳ و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۳۸). در حقیقت این پدیده بدلیل ناتوانی مسیرهای طبیعی و سیستم‌های زهکشی در انتقال آب اضافی پس از بارندگی شدید ایجاد می‌شود (اوسای^۴ و همکاران، ۲۰۲۱: ۱). آمارهای مختلف نشان می‌دهد که خطر وقوع سیلاب در طی زمان افزایش یافته است. به گزارش پایگاه حوادث اضطراری (EM-DAT)، سیلاب ۴۴/۲۸ درصد از ۷۳۴۸ مورد از حوادث فاجعه‌آمیز جهان را تشکیل می‌دهد که در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ میلادی باعث خسارت ۲/۹۷ تریلیون دلاری و مرگ ۷ میلیون نفر شده است (وانگ^۵ و همکاران، ۲۰۲۳: ۱) و این مقدار می‌تواند به ۱ تریلیون دلار خسارت در هر سال تا سال ۲۰۵۰ میلادی برسد. در میان انواع سیلاب، سیلاب‌های ناگهانی بدلیل شروع سریع، شدت بالا و حرکت سریع جریان آب می‌توانند خسارات به مراتب شدیدتری را به محیط‌های انسانی و طبیعی وارد کنند (یائو و همکاران، ۲۰۲۲: ۱). سیلاب‌های ناگهانی در اثر بارش‌های سنگین و به واسطه تجمع و رها شدن ناگهانی رواناب از بالادست به پایین دست به وجود می‌آیند (مالک و احمد، ۲۰۱۴: به نقل از کرمی و همکاران، ۱۳۹۶: ۳). وقوع این نوع سیلاب‌ها معمولاً در فصل بهار و تابستان ناشی از عکس‌العمل سریع هیدرولیکی حوضه‌آبریز نسبت به بارش شدید می‌باشد که منشا بسیاری از سیلاب‌ها به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک رگبارهای با شدت زیاد و تداوم نسبتاً کوتاه (بدری و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۴۳) و نیز ناشی از تعاملات خصوصیات توپوگرافی، ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی است (ابوزید^۷ و همکاران، ۲۰۱۶: ۵۶). آمار در مورد سیلاب‌های ناگهانی گویای اینست که در طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ میلادی، ۶۹۵ مورد رخداد سیلاب ناگهانی در سراسر جهان اتفاق افتاده است که باعث مرگ ۵۷۰۰۰ نفر و ۶۶/۹ میلیارد دلار خسارت اقتصادی شده است (یائو و همکاران، ۲۰۲۲: ۱) و در ایران نیز وقوع سیلاب‌های ناگهانی در مارس ۲۰۱۹ باعث کشته شدن ۷۸ نفر، آسیب دیدگی ۱۰۷۶ نفر و آواره شدن ۳۰۰۰۰۰ نفر شد (شهابی^۸ و همکاران، ۲۰۲۱: ۱). بنابراین آنچه بر اهمیت وقوع رخداد سیلاب می‌افزاید قرارگرفتن مراکز انسانی در محدوده‌های سیلابی است، وجود چنین مراکزی در محدوده حوضه‌های سیلابی علاوه بر اینکه موجب افزایش تولید رواناب می‌گردد، باعث بروز خطرات فراوانی نیز می‌شود. خسارات سیلاب به عنوان یک معضل طبیعی زمانی می‌تواند به حداقل برسد که قبل از وقوع آن، اقدامات اساسی و برنامه‌ریزی شده برای پیشگیری از وقوع و کنترل آن به عمل آید (محمدی و همکاران، ۱۴۰۱: ۱۲۸). لذا شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد خطر سیلاب برای برنامه‌ریزی، توسعه پایدار و حفاظت از جوامع انسانی لازم است (فرهان و آیتد^۹، ۲۰۱۷: ۷۱۹). در زمینه سیلاب مطالعات زیادی با بکارگیری تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مناطق مختلف دنیا صورت گرفته است: اسمیت^{۱۰} (۲۰۱۰) در ارزیابی سیلاب‌های ناگهانی در حوضه‌آبریز کلرادو آمریکا به روش FFPI نشان داد که حواشی آبراهه‌های اصلی مستعد خطر بیشتری هستند. مینیا^{۱۱} (۲۰۱۳) در بررسی حوضه‌آبریز باسکا^{۱۲} در رومانی با FFPI به این نتیجه رسید که بیشترین خطر سیلاب در قسمت‌های پایین دست حوضه با تراکم جمعیت بالاست. لاسات^{۱۳} و همکاران (۲۰۱۴) در تحلیل سیلاب ناگهانی در شمال غربی مدیترانه در دوره ۳۰ ساله شاهد افزایش رخداد آن ناشی از تغییر کاربری اراضی و گسترش سکونتگاه‌های انسانی بودند. الخراچی^{۱۴} (۲۰۱۵) در شهر نجران عربستان با استفاده از AHP و GIS مشخص کرد که نیمی از منطقه با تاثیرگذاری بیشتر شیب و شدت تراکم، مستعد خطر متوسط سیلاب ناگهانی است. برکن و ریتگن^{۱۵} (۲۰۱۶) در حوضه‌آبریز تلیجن^{۱۶} با مدل FFPI نشان

¹-Osei²-Mishra & Sinha³-Chadee⁴-Osei⁵-Wang⁶-Yao⁷-Abuzied⁸-Shahabi⁹-Farhan & Ayed¹⁰-Smith¹¹-Minea¹²-Basca¹³-Llasat¹⁴-Elkhrachy¹⁵-Borcan & Retegan¹⁶-Teleajen

دادند که بیشترین خطر سیلاب منطبق بر مناطق با پوشش گیاهی کم است. آزمیری^۱ و همکاران (۲۰۱۶) در حوضه‌های کوهستانی اندونزی مشخص کردند که ۸۷ درصد از مناطق روستایی در پهنه‌های خطر متوسط تا زیاد سیلاب ناگهانی قرار دارد. کوستاچ و زاهاریا^۲ (۲۰۱۷) در رومانی با بهره‌گیری از روش‌های WOE، FR و FFPI نشان دادند که بیش از یک سوم منطقه مستعد خطر بالای سیلاب ناگهانی است. بیشت^۳ و همکاران (۲۰۱۸) در پراداش^۴ هند با بهره‌گیری از GIS & RS دریافتند که بخش وسیعی از حوضه مستعد خطر زیاد سیلاب است. محمد^۵ (۲۰۱۹) در ارزیابی مناطق در معرض سیلاب ناگهانی به روش AHP-GIS در مصر دریافت که بخش‌های با جمعیت بالا، در پهنه‌های با خطر زیاد سیلاب قرار دارند. پوپا^۶ و همکاران (۲۰۲۰) در حوضه آبریز مولدوا^۷ به روش FFPI نشان دادند که مناطق با تغییر کاربری اراضی، آنهم از نوع جنگل‌زدایی بیشترین خطر سیلاب ناگهانی را دارند. اوسای^۸ و همکاران (۲۰۲۱) در کشور غنا، السود و عثمان^۹ (۲۰۲۲) در مکه، یائو^{۱۰} و همکاران (۲۰۲۲) در ایالت جیانخی^{۱۱}، یاسین^{۱۲} و همکاران (۲۰۲۳) به روش (FFPI) در مالزی از دیگر محققینی هستند که با استفاده از مدل‌های وزنی و تکنیک‌های GIS RS & در محدوده موضوع مطالعاتی، در بخش‌های مختلف دنیا کارهای پژوهشی ارائه کرده‌اند. در مطالعات داخلی سیلاب ناگهانی با مدل MFFPI پژوهش‌های خیلی کمتری صورت گرفته است؛ برای مثال اولین بار پروین (۱۳۹۸) مدل MFFPI را در ارزیابی خطر سیلاب ناگهانی در حوضه اسلام آباد غرب بکار برد و به این نتیجه رسید که ۴۵ درصد از مساحت حوضه، مستعد خطر زیاد سیلاب است. پهنه‌بندی خطر سیلاب‌های ناگهانی براساس عوامل فیزیوگرافی و مورفومتریک در قصر شیرین مطالعه دیگری است که توسط پروین (۱۳۹۹) انجام شده و بر اساس مدل MFFPI پهنه‌های با پتانسیل خطر زیاد و خیلی زیاد سیلاب ناگهانی، ۶۰ درصد از مساحت این حوضه را در بر گرفته‌اند و از سایر مطالعات داخلی که براساس تکنیک‌های وزن‌دهی به پارامترهای فیزیوگرافی، مورفومتری، توپوگرافی و بهره‌گیری از روش‌های RS & GIS اقدام به ارزیابی و تعیین پهنه‌های سیلابی در بخش‌های مختلف کشور کرده‌اند، میتوان به؛ مختاری و همکاران (۱۳۹۹) در حوضه آبریز گمناب‌چای، کیا و همکاران (۱۳۹۹) در چشمه کیله تنکابن، حنفی و همکاران (۱۴۰۰) در خوزستان، علمداری (۱۴۰۰) در حوضه قلعه‌چای عجب‌شیر، محمدی و همکاران (۱۴۰۱) در تنکابن اشاره کرد که اقدام به ارزیابی و تعیین پهنه‌های سیلابی کرده‌اند.

حوضه آبریز اوجان‌چای یکی از زیرحوضه‌های اصلی آبی‌چای است که با توجه به نوع خاک، ویژگی‌های توپوگرافی و اقلیم حاکم (نیمه خشک) از محدوده‌های مهم کشت انواع محصولات دیمی و آبی و همچنین از محل‌های مهم چرا در کوهستان سهند بشمار می‌آید. در این حوضه علاوه بر شهر بستان‌آباد، در حدود ۷۱ سکونتگاه روستایی نیز وجود دارد. طبق نتایج مطالعات رضایی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۹) و (۱۴۰۰)، بیاتی خطیبی (۱۳۹۹) و بیاتی خطیبی و کرمی (۱۳۹۸)، متأسفانه در سال‌های اخیر بدون مطالعه و توجه به محدودیت‌ها در منطقه مورد مطالعه اقدام به برنامه ریزی و انجام فعالیت‌های مختلف (تغییر کاربری اراضی، زراعت غیر اصولی و افراطی و اجرای برنامه‌های عمرانی) شده است که نتیجه این اقدامات افزایش رواناب‌ها و وقوع سیلاب‌های ناگهانی در منطقه است بطوریکه یکی از بی‌سابقه‌ترین سیلاب‌ها مربوط به سال ۱۳۹۶ در این حوضه است که یک واقعه حداکثری هم از بابت بارش و هم از بابت سیلاب در این حوضه بوده است و طبق گزارش خبرگزاری جمهوری اسلامی و ایرنا سیلاب‌های ناگهانی در اثر بارش‌های رگباری در اواخر اردیبهشت ماه و اواخر تیرماه سال جاری باعث وارد آمدن خسارات اقتصادی به محصولات کشاورزی، دامی و مناطق مسکونی شهر بستان‌آباد و روستاهای همجوار خصوصاً شیرین‌بلاغ و قره‌اونه شده‌است. لذا با توجه به اهمیت این حوضه از نظر مرتعی، کشاورزی، دامی و قرارگیری سکونتگاه‌های روستایی، مطالعات متعددی در زمینه تغییرات کاربری اراضی، رواناب، فرسایش و... انجام شده است و هدف پژوهش حاضر ارزیابی و تعیین پهنه‌های سیلابی در حوضه آبریز اوجان‌چای با توجه به پیشینه مطالعاتی (از نظر تغییرات کاربری اراضی و دستکاری‌های انسانی) می‌باشد. لذا بررسی و شناسایی مناطق مستعد وقوع سیلاب در این حوضه می‌تواند هرگونه برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در زمینه بهره‌برداری از حوضه را جهت‌دهی داده و هزینه‌های قبل از وقوع حادثه را کاهش دهد. اما وجه تمایز و جنبه نوآوری پژوهش حاضر با مطالعات قبلی

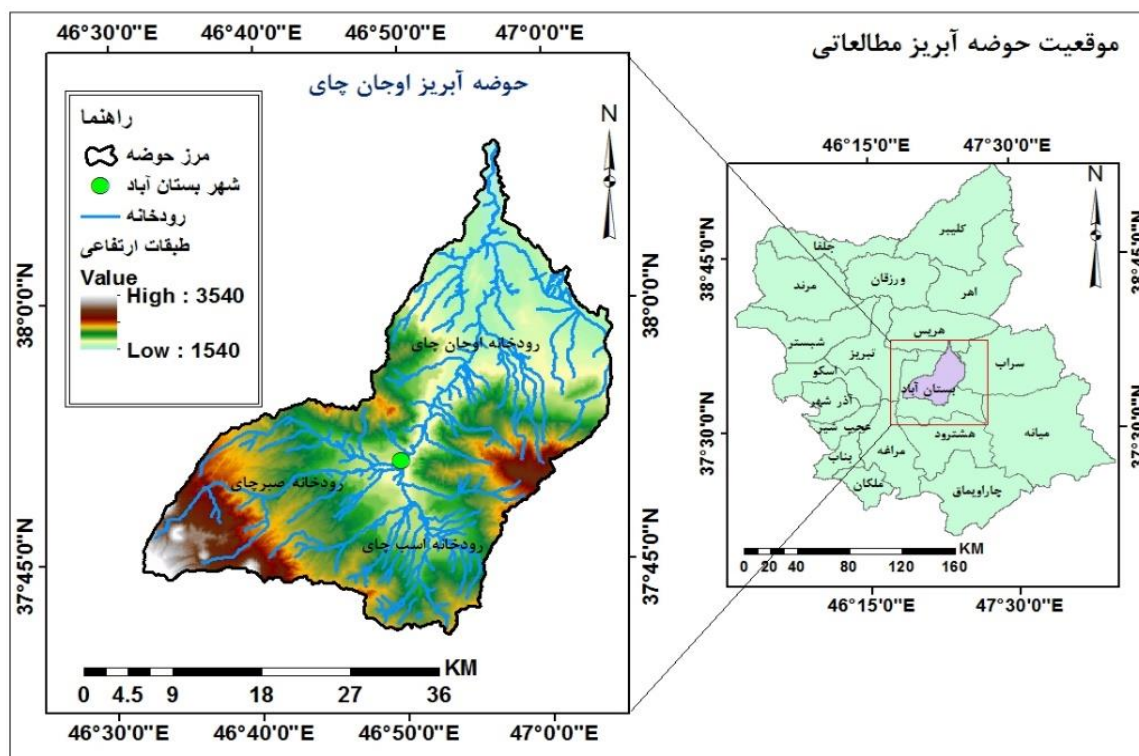
¹ -Azmeri² - Costache & Zaharia³ -Bisht⁴ - Pradesh⁵ -Mohamed⁶ -Popa⁷ -Moldova⁸ -Osei⁹ -El-Saoud & Othman¹⁰ -Jao¹¹ -Jiangxi¹² -Yassin

در این حوضه، اینست که تاکنون شاخص پتانسیل سیلاب ناگهانی تصحیح‌شده (MFFPI) برای ارزیابی سیلاب‌های ناگهانی در حوضه اوجان‌چای انجام نشده است.

مواد و روش

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه‌ی آبریز اوجان‌چای که در منطقه شمال‌غرب کشور و در دامنه‌های شرقی کوهستان سهند قرار گرفته، از زیر حوضه‌های مهم آجی‌چای است که در موقعیت جغرافیایی $31^{\circ}46'$ الی $3^{\circ}47'$ طول شرقی و $44^{\circ}37'$ الی $5^{\circ}38'$ عرض شمالی واقع شده است (بیاتی خطیبی و کرمی، ۱۳۹۸: ۴۰). این حوضه از غرب به حوضه‌ی آبریز سعیدآباد، از شرق به شهر شربیان، از جنوب به شهرستان هشترود و از شمال به شهرستان هریس منتهی می‌شود و شامل دو زیر حوضه صبرچای و اسب‌چای است که در نزدیکی شهر بستان‌آباد به رودخانه اوجان‌چای می‌پیوندند. حداکثر ارتفاع آن در بخش جنوب و جنوب‌غربی یعنی بزداغ با ارتفاع ۳۵۴۰ متر قرار گرفته و حداقل ارتفاع آن در محل پیوست رودخانه اوجان‌چای به آجی‌چای دیده می‌شود (شکل ۱). حوضه‌ی آبریز مطالعاتی به مساحت ۱۰۸۲ کیلومتر مربع از نظر زمین‌شناسی و لیتولوژی بسیار متنوع است و از محدوده‌های مهم کشت انواع محصولات دیمی و آبی کوهستان سهند بشمار می‌آید. سنگ‌های رسوبی و آذرین و خاک‌هایی با ضخامت زیاد بخش‌های مختلف آن را پوشش می‌دهند. تشکیلات ولکانوسدیمانترها (ایگنمبریت‌ها) بخش وسیعی از حوضه اوجان‌چای را در بر گرفته است. سنگ‌های رسوبی میوسن شامل سازند قرمز تحتانی و واحدهای متشکل از مارن ژئپسی و ماسه سنگ است (بیاتی خطیبی، ۱۳۹۹: ۱۳۰). رسوبات کواترن به شکل تراس‌ها و مخروط افکنه‌ها بطور عمده در قسمت‌های شمالی حوضه دیده می‌شوند. جنس این آبرفت‌ها از نوع رودخانه‌ای همراه با گل ولای، رس و ماسه‌های تخریب شده از سنگ‌های حوضه محسوب می‌شوند. آب و هوای حوضه‌ی آبریز اوجان‌چای از نوع نیمه خشک بوده، متوسط دمای سالانه آن $13/5^{\circ}\text{C}$ درجه سانتیگراد و میزان بارش سالانه بین ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی متر است. در ماه‌های اردیبهشت حوضه بیشترین بارندگی را دریافت می‌کند و مرداد و تیر از خشک‌ترین ماه‌های سال محسوب می‌شوند (بیاتی خطیبی و کرمی، ۱۳۹۸: ۳).



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig. (1): The study area

روش پژوهش

مدل $FFPI^1$ اولین بار توسط اسمیت جهت شناسایی مناطق مستعد سیلاب ناگهانی در ایالات متحده آمریکا ارائه شد (اسمیت، ۲۰۰۳) و در چندین چشم انداز جغرافیایی مانند کلرادو، مرکز نیویورک و شمال شرقی پنسیلوانیا مورد ارزیابی قرار گرفت. هدف $FFPI$ ارزیابی کمی خطر سیلاب در یک حوضه مشخص براساس ویژگی‌های ذاتی زمین همچون شیب، پوشش زمین، کاربری زمین و نوع خاک/بافت است (تینکو و همکاران، ۲۰۱۸: ۵۹۴). اسمیت پارامترهای شیب، پوشش/کاربری زمین، بافت خاک و درصد پوشش گیاهی را بکار برد و هریک از پارامترهای مذکور را در ۱۰ کلاس طبقه‌بندی کرد که کلاس ۱ کمترین و کلاس ۱۰ بیشترین وزن موثر در رخداد سیلاب ناگهانی را دارند که معادله زیر را ارائه کرد:

$$FFPI = (1.5M + L + S + V) / 4.5 \quad (1)$$

در فرمول مذکور، M شیب، L کاربری اراضی، S بافت خاک و V میزان پوشش گیاهی است. بعدها بروستر^۲ (۲۰۰۹) به پارامتر پوشش گیاهی ضریب ۰/۵ را افزود اما کروزدلو و سئرو^۳ (۲۰۱۰) برای همه پارامترها وزن یکسان (کلاس ۱ تا ۱۰) را در نظر گرفتند. سپس سئرو (۲۰۱۲) با در نظر گرفتن ضریب ۲ برای پارامترهای شیب و کاربری اراضی، اصلاحاتی به معادله اولیه مدل $FFPI$ افزود که این تغییرات در جدول (۱) قابل مشاهده است.

جدول (۱): معادلات مدل $FFPI$ Table (1): Equations used for $FFPI$

مدل	معادله مورد استفاده
(Brewster, 2009)	$(1.5M + L + S + 0.5V) / 4$
(Kruzdlo & Ceru, 2010)	$(M + L + S + V) / 4$
(Ceru, 2012)	$(2M + 2L + S + V) / 6$

آخرین اصلاحات مدل $FFPI$ توسط تینکو و همکاران (۲۰۱۸) صورت گرفت که در نسخه اصلاح شده آن شش پارامتر شیب، تراکم جریان، انحنا، دامن، بافت خاک، نفوذپذیری سنگ، پوشش زمین/کاربری اراضی بکار رفته است که به عنوان شاخص پتانسیل سیلاب ناگهانی تصحیح شده^۴ ($MFFPI$) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نسخه نهایی اصلاح شده هر پارامتر وزن خاص خود را داشته و به پنج کلاس طبقه‌بندی می‌شوند. وزن‌های ۱ و ۵ به ترتیب کمترین و بیشترین تاثیر را بر انباشت آب و در نتیجه پتانسیل سیلاب ناگهانی را دارند (جدول ۲) (تینکو و همکاران، ۲۰۱۸: ۵۹۶).

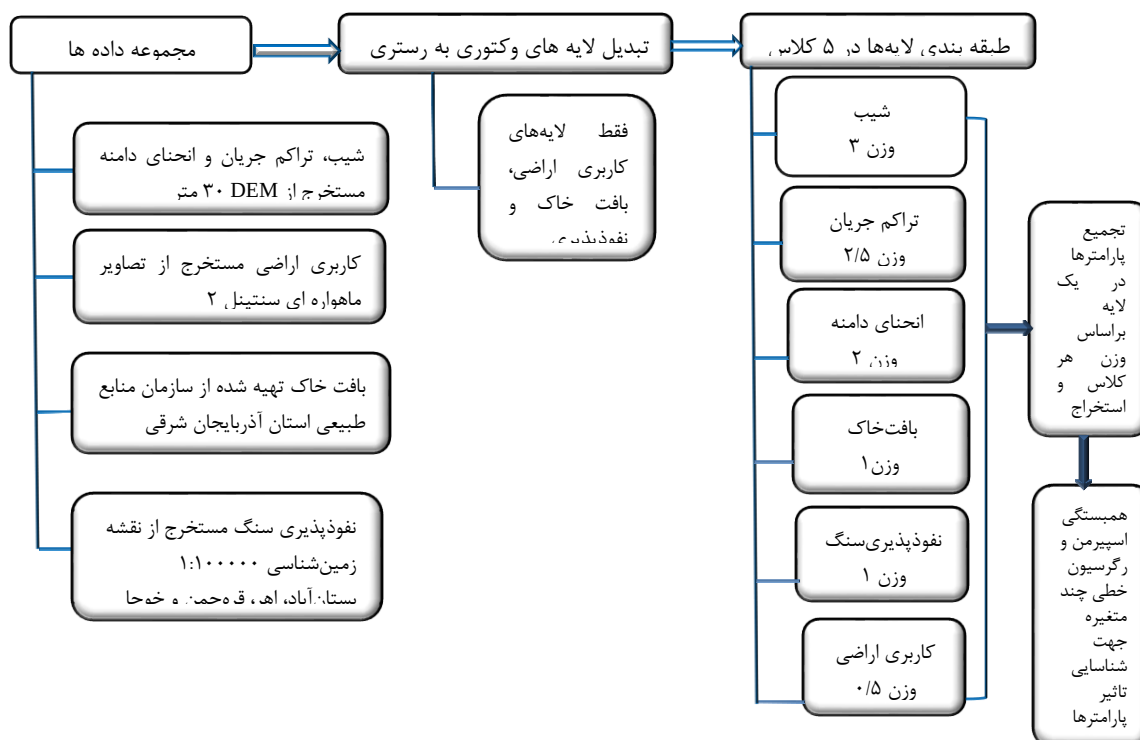
¹ -Flash Flood Potential Index² -Brewster³ -Kruzdlo & Ceru⁴ -Modified Flash Flood Potential Index

جدول (۲): نحوه امتیاز دهی پارامترهای مدل MFFPI (تینکو و همکاران، ۲۰۱۸: ۵۹۷)

Table (2): The final score of each class used to calculate the MFFPI

پارامتر	وزن پارامتر	طبقه	وزن هر طبقه	امتیاز نهایی
شیب (درجه)	۳	۶۰-۱۰	۱	۳
		۱۰-۸	۲	۶
		۸-۶	۳	۹
		۶-۳	۴	۱۲
		۳-۰	۵	۱۵
تراکم جریان	۲/۵	۰-۱	۱	۲/۵
		۱-۲	۲	۵
		۲-۳	۳	۷/۵
		۳-۴	۴	۱۰
		۴-۵/۶	۵	۱۲/۵
انحنای دامنه	۲	(-۴۹)-(-۱۸)	۱	۲
		(-۹)-(-۰/۵)	۲	۴
		(-۰/۵)-(-۰/۵)	۳	۶
		۰/۵-۱/۵	۴	۸
		۱/۵-۲۳	۵	۱۰
بافت خاک	۱	ماسه - رسی	۱	۱
		ماسه ای - لومی - رسی	۲	۲
		بافت های مختلف	۳	۳
		رسی	۴	۴
		رسی - سیلتی - مواد رس دار	۵	۵
نفوذ پذیری سنگ	۱	نهشته های آبرفتی	۱	۱
		سازندهای ماسه سنگ، کنگلومرا	۲	۲
		سازندهای مارنی	۳	۳
		سازندهای آهکی	۴	۴
		سنگ های اذرین	۵	۵
پوشش / کاربری زمین	۰/۵	جنگل	۱	۰/۵
		مراعات متراکم و نیمه متراکم	۲	۱
		زمین زراعی	۳	۱/۵
		مراعات کم تراکم	۴	۲
		سطوح آبی	۵	۲/۵

جهت تهیه لایه‌های اطلاعاتی پارامترهای شش گانه شیب، تراکم جریان، انحنای دامنه، بافت خاک، نفوذپذیری سنگ و کاربری اراضی، از تصاویر DEM ۳۰ متر، نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه بافت خاک تهیه شده توسط سازمان منابع طبیعی و تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ بکار رفت که لایه‌های استخراجی در ۵ کلاس طبقه‌بندی شده و تبدیل به لایه رستری می‌شوند. سپس وزن هر پارامتر در هر یک از زیر پارامترهای پنج گانه ضرب و امتیاز نهایی هر لایه در محیط GIS به کمک ابزار Raster Calculator محاسبه می‌شود (شکل ۲).



شکل (۲): چهارچوب مفهومی مدل MFFPI

Fig. (2): The conceptual framework of MFFPI

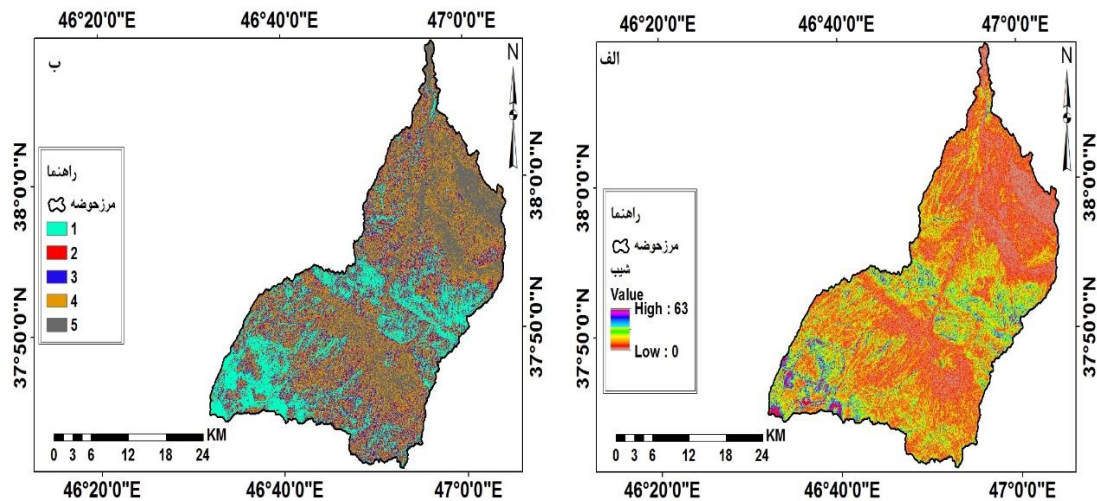
در مرحله اول از تجميع شش لایه وزن دهی شده در ابزار Raster Calculator، نقشه پتانسیل سیلاب ناگهانی استخراج می شود. سپس در مرحله دوم حدود ۵۰۰ نقطه تصادفی از حوضه انتخاب شده و مقادیر آنها در هر شش لایه و لایه پتانسیل سیلاب ناگهانی به کمک ابزار Extract Multi Values to Point tool در محیط GIS استخراج می شود. نرمال بودن داده های استخراجی با استفاده از آزمون آماری کولموگروف-اسمیرنوف در نرم افزار SPSS بررسی شده و براساس آن ها آزمون های همبستگی و رگرسیون خطی چند متغیره در محیط نرم افزار مذکور انجام می شود. در نهایت مطابق با نتایج آزمون های آماری، پارامترهای با تاثیرگذاری بیشتر در نقشه نهایی پتانسیل سیلاب ناگهانی دخالت داده می شوند.

یافته ها و بحث

پارامترها

۱- شیب: شیب اراضی، تعیین کننده نحوه و میزان جریان و سرعت حرکت آب می باشد و ماهیت توپوگرافی منطقه را منعکس می کند. شیب های تند به دلیل تاثیرشان در ایجاد رواناب سریع، محرک مهمی در ایجاد سیلاب ناگهانی اند (برکن و ریگن، ۲۰۱۶: ۲۸). درواقع مناطق مسطح به شدت تحت تاثیر سیلاب های ناگهانی اند بطوری که با کاهش شیب، خطر سیلاب افزایش می یابد. بنابراین جریان سطحی در مناطق با شیب زیاد افزایش می یابد و در مناطق مسطح تجمع می یابد (التانی و همکاران، ۲۰۲۳: ۱۸). برای ارزیابی تاثیر عامل شیب

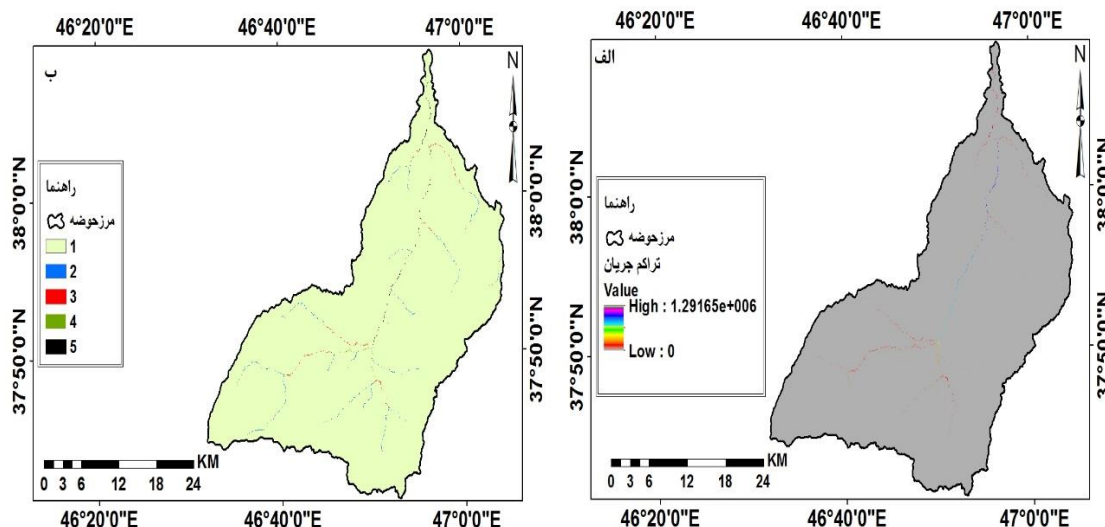
در تولید سیلابهای ناگهانی اوجان چای، با استفاده از DEM ۳۰ متری حوضه، شیب منطقه بصورت درجه در ۵ کلاس تهیه شد. براساس امتیازدهی جدول (۲) مناطق با شیب بین ۱۰ تا ۶۰ درجه به علت تاثیرشان در افزایش سرعت رواناب، تجمع آب کم شده و در کلاس ۱ قرار می‌گیرند؛ شیب ۸ تا ۱۰ درجه در کلاس ۲، شیب ۶ تا ۸ درجه در کلاس ۳ و شیب ۳ تا ۶ درجه در کلاس ۴ قرار می‌گیرند. در حالی که در نواحی با شیب ۰ تا ۳ درجه انباشت آب صورت گرفته که بیشترین امتیاز (۵) را به خود اختصاص می‌دهد (شکل ۳).



شکل (۳): الف. نقشه شیب؛ ب. نقشه لایه وزن دار شیب حوضه اوجان چای

Fig. (3): A, Slope map / B, Slope weighted map

۲- تراکم جریان: پارامتر تراکم جریان، چگونگی تجمع آب در هر سلول از سطوح مجاور را نشان می‌دهد، سلول‌های با انباشت بالا کانال‌ها و شبکه اصلی رودخانه هستند که مقدار قابلیت جریان آب عبور بالاتری را نشان می‌دهند. از آنجایی که دامنه مقادیر برای تراکم جریان خیلی بزرگ است، لایه رستری تراکم جریان بر اساس عملگرهای الگوریتمی در محیط Arc Map مقیاس‌گذاری می‌شوند (تینکو و همکاران، ۲۰۱۸: ۵۹۸). تراکم جریان از طریق لایه DEM و سپس جهت جریان حوضه استخراج شد و طبق امتیازدهی جدول (۲) در ۵ طبقه کلاس‌بندی شد که در حوضه مطالعاتی آبراهه‌های رتبه بالا به دلیل انباشت بیشتر جریان آب بیشترین امتیاز (۵) و آبراهه‌های رتبه پایین کمترین امتیاز را (۱) به خود اختصاص می‌دهند (شکل ۴).

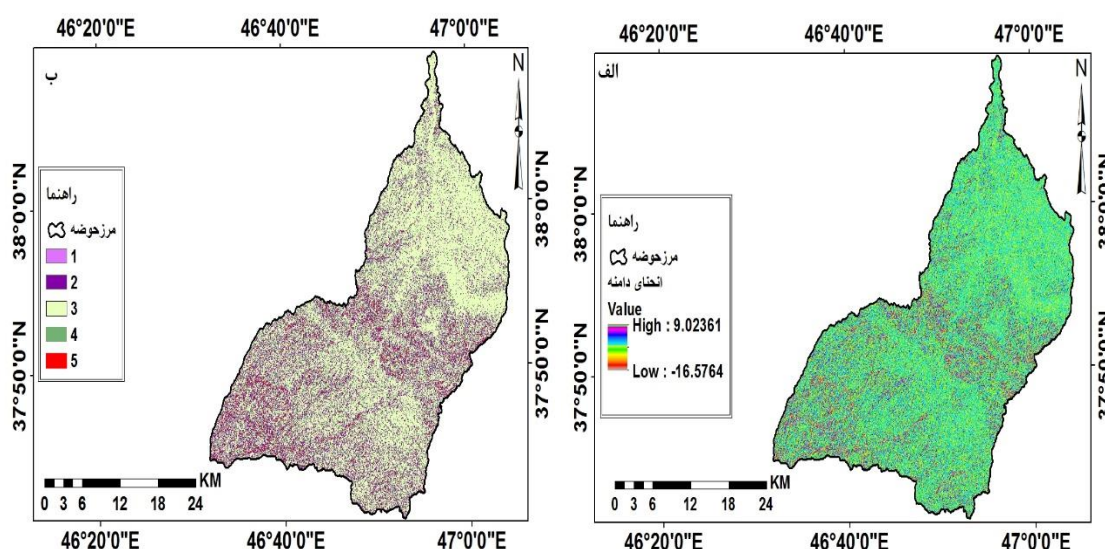


شکل (۴): الف. نقشه تراکم جریان؛ ب. نقشه وزنی تراکم جریان حوضه اوجان چای

Fig. (4): A, Flow accumulation map / B, Flow accumulation weighted map

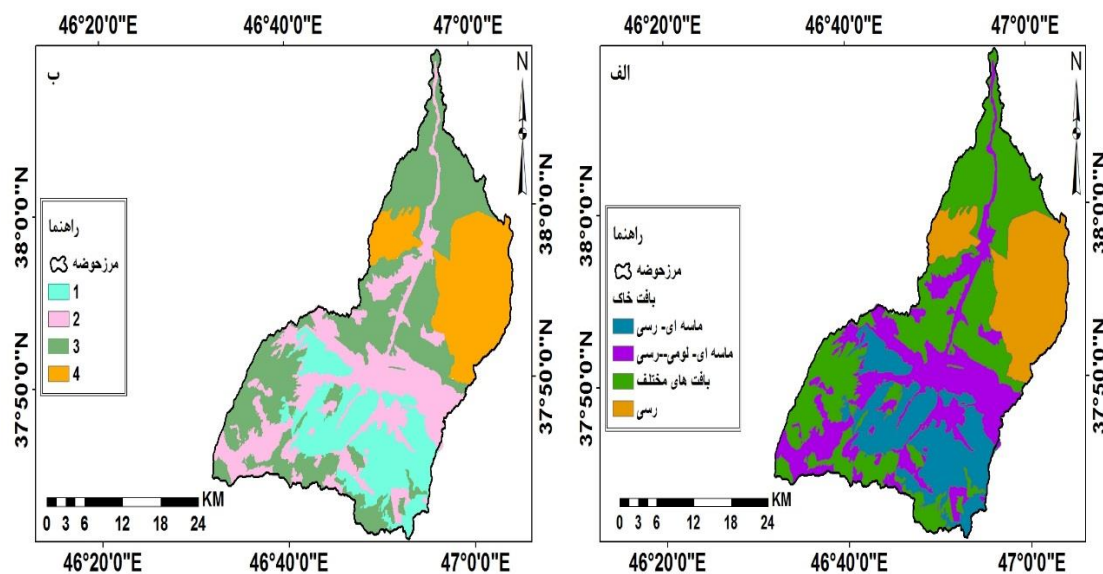
۳- **انحنای دامنه:** میزان محدب و یا معقر بودن دامنه را نشان می‌دهد. مقادیر منفی نشان‌دهنده محدب بودن دامنه است که از نظر هیدرولوژیکی تجمع و سرعت رواناب را افزایش می‌دهد و باعث سیلاب می‌شود. در حالی که مقادیر مثبت نشان‌دهنده معقر بودن دامنه و سیل‌گیر بودن آن است که در نتیجه انباشت آب در این بخش‌ها زیاد است. این پارامتر نیز مانند دو پارامتر قبلی از طریق DEM حوضه استخراج شد که دامنه این پارامتر در حوضه اوجان‌چای تقریباً بین ۱۶- تا ۹+ است و طبق امتیاز دهی جدول (۲)، پارامتر انحنای دامنه در ۵ طبقه کلاس بندی شد. مقادیر مثبت در طبقات ۵ و ۴ و مقادیر منفی در طبقات ۱ و ۲ قرار داده شد (شکل ۵).

۴- **بافت خاک:** بافت و ساختار خاک با کنترل میزان نفوذ آب و نگهداشت آن باعث تاثیر بر سیلاب می‌شود. خاک‌های با بافت درشت‌دانه به میزان زیادی، آب‌های حاصل از بارندگی را به زمین نفوذ داده و باعث تغذیه‌ی سفره‌های زیرزمینی، کاهش رواناب و سیلاب می‌شوند. در حالی که اراضی با بافت ریز و فشرده باعث می‌گردد که آب نتواند در زمین نفوذ نموده، بلکه بخش اعظمی از آب بصورت رواناب در سطح زمین جاری می‌گردد (اصغری مقدم، ۱۳۷۸؛ به نقل از اصغری سراسکانرود و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۳۸). خاک‌های محدوده مورد مطالعه از نوع خیلی عمیق هستند که در بخش‌هایی بدون شوری و قلیایی و در قسمتی از اراضی با شوری و قلیائیت نسبتاً زیاد است. در بخش‌هایی از حوضه، بافت خاک متوسط تا سنگین و ساختمان آن فشرده است و بررسی‌های افقی‌های خاک نیز حاکی از این است که در بخش‌های سطحی درصد سیلت و رس در بافت خاک زیاد است که این ساختار، خاک حوضه را در مقابل جریان‌ات آبی حساس‌تر می‌کند (بیاتی خطیبی و کرمی، ۱۳۹۸: ۴۱). این پارامتر از طریق نقشه بافت خاک با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ که توسط سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری استان آذربایجان شرقی تهیه شده است، استخراج گردید. براساس لایه استخراج شده، بافت خاک در منطقه شامل چهار طبقه است؛ طبق امتیازدهی جدول (۲)، بافت ماسه‌ای-رسی ۱۸/۲۸ درصد، ماسه‌ای لومی رسی ۲۵/۱۶ درصد، بافت‌های مختلف ۳۷/۶۲ درصد و بافت رسی ۱۸/۹۴ درصد از منطقه را فراگرفته‌اند و به ترتیب در کلاس‌های ۱ تا ۴ قرار می‌گیرند (شکل ۶).



شکل (۵): الف. نقشه انحنای دامنه؛ ب. نقشه وزنی انحنای دامنه حوضه اوجان چای

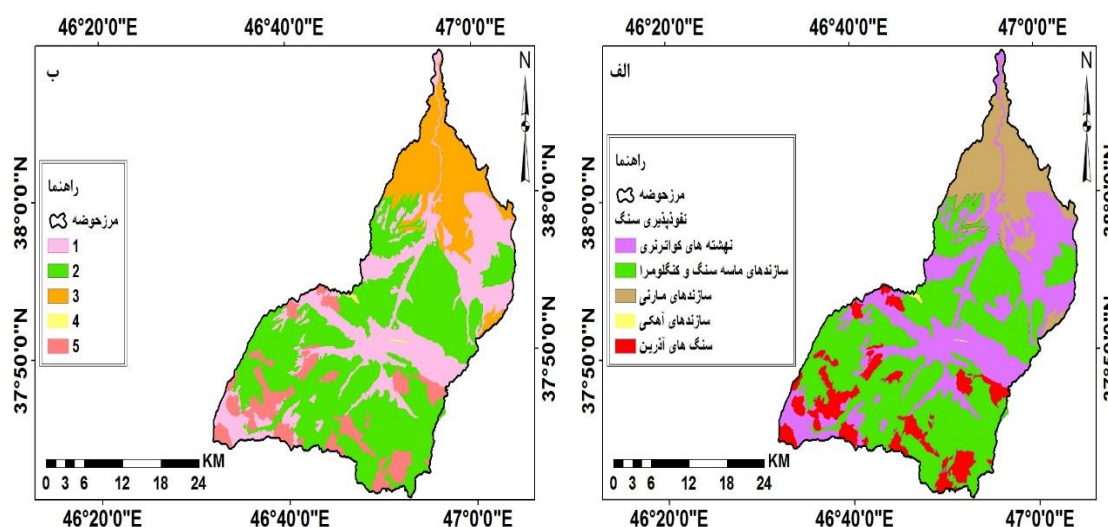
Fig. (5): A, Profile curvature map / B, Profile curvature weighted map



شکل (۶): الف. نقشه بافت خاک؛ ب. نقشه وزنی بافت خاک حوضه اوجان چای

Fig. (6): A, Soil texture map / B, Soil texture weighted map

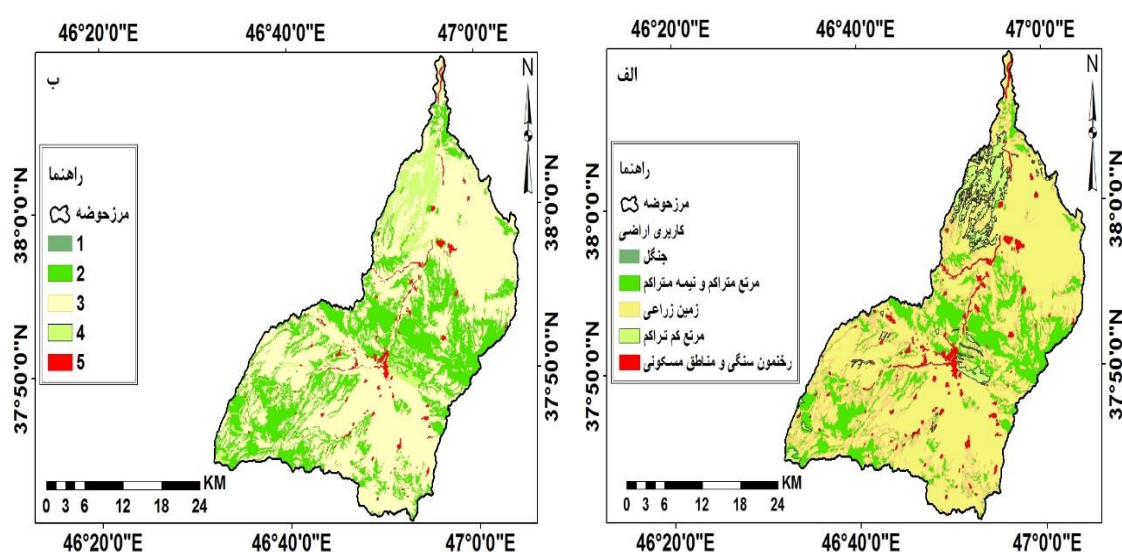
۵- نفوذپذیری سنگ: ویژگی‌های سنگ‌شناسی در میزان نفوذپذیری آب در درون زمین و یا آبگذری مستقیم و در نتیجه تعادل جریان رودخانه و یا سیل خیزی تاثیر بسزایی دارند (کیا و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۴۲). در واقع نفوذپذیری رابطه عکسی با تولید رواناب و ایجاد سیلاب در حوضه آبریز دارد. بررسی نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بستان آباد، اهر، قره چمن و خوجا نشان‌دهنده تنوع لیتولوژیکی منطقه است. نهشته‌های کواترنری بصورت رسوبات بستر رودخانه، تراس‌های آبرفتی جدید و قدیمی ۲۷/۷۵ درصد از مساحت حوضه را دربر گرفته‌اند و براساس امتیازدهی جدول (۲) در کلاس ۱ قرار می‌گیرند. سازندهای ماسه سنگ و گنگومرا بخش وسیعی از حوضه را (۴۸/۰۴ درصد) تشکیل می‌دهند و کلاس ۲ را دارند. سازندهای مارنی با ۱۴/۳۳ درصد در پایین دست حوضه و سنگ‌های آذرین با ۹/۷ درصد در قسمت‌های بالادست حوضه به ترتیب در کلاس‌های ۳ و ۵ جای گرفته‌اند اما سازندهای آهکی با کمتر از ۱ درصد، کلاس ۴ را به خود اختصاص می‌دهد (شکل ۷).



شکل (۷): الف. نقشه لیتولوژی؛ ب. نقشه وزنی لایه لیتولوژی حوضه اوجان چای

Fig. (7): A, Litology map / B, Litology weighted map

۶- کاربری اراضی: کاربری و نوع پوشش زمین یک فاکتور کلیدی وقوع سیلاب است. تغییرات در این عامل، روی کند یا تند شدن جریان رودخانه و وقوع سیلاب تاثیر می‌گذارد. اراضی دارای پوشش گیاهی خطرپذیری کمتری نسبت به زمین‌های بدون پوشش گیاهی داشته و کاربری‌های مسکونی فاقد زهکشی مناسب با افزایش حجم رواناب مطابقت دارند (کیا و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۴۵). نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره ای سنتینل ۲ مربوط به سال ۲۰۲۱ و ضریب کاپای ۰/۸۵ استخراج شد. طبق لایه خروجی، کاربری جنگل در منطقه ناچیز و آنهم بصورت جنگل دست‌کاشت، کمتر از ۱ درصد را شامل می‌شود و براساس امتیازدهی جدول (۲) کلاس ۱ را دارد. مراتع متراکم و نیمه متراکم به ترتیب با ۱۲/۱۸، ۱۶/۵۱ درصد در کلاس ۲ جای می‌گیرند. بخش مهمی از کاربری‌ها، زمین‌های زراعی هستند بطوری‌که زراعت دیم و آبی و باغات مجموعاً ۶۴ درصد از مساحت حوضه را به خود اختصاص داده‌اند که در کلاس ۳ قرار می‌گیرند. بعد از آن مراتع کم‌تراکم نیز ۴/۹ درصد از کاربری اراضی موجود در منطقه است که با کلاس ۴ مشخص می‌شود. از دیگر کاربری‌ها، سطوح آبی، رخنمون‌های سنگی و مناطق مسکونی‌اند که عمدتاً روستاها و شهر بستان‌آباد را شامل می‌شود و این مناطق در کلاس‌بندی در کلاس ۵ قرار می‌گیرند (شکل ۸).

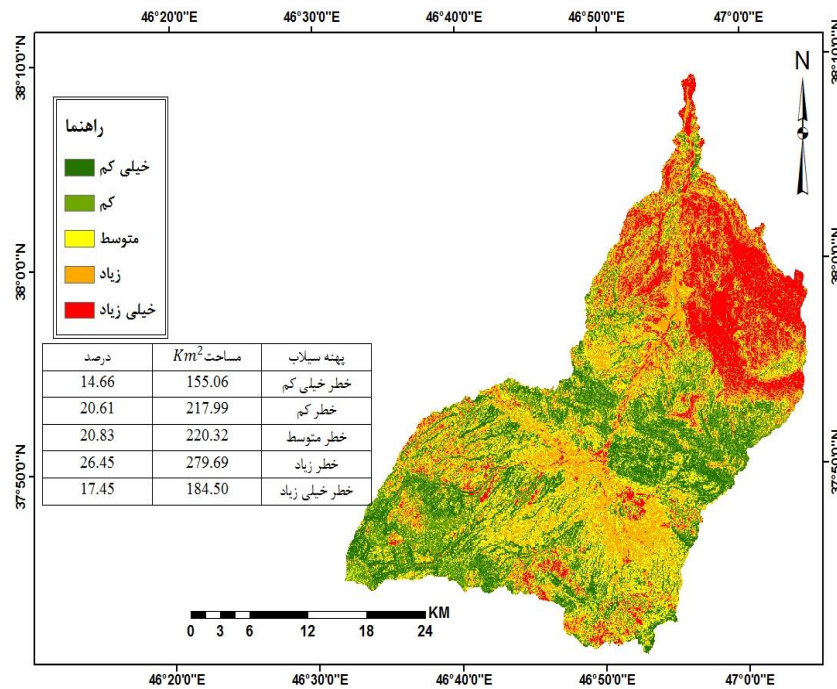


شکل (۸): الف. نقشه کاربری اراضی؛ ب. نقشه وزنی کاربری اراضی حوضه اوجان چای

Fig. (8): A, Land use map / B, Land use weighted map

پهنه بندی سیلاب ناگهانی براساس مدل MFFPI

نقشه پتانسیل سیلاب ناگهانی حوضه آبریز اوجان چای براساس پارامترهای فیزیوگرافی و مدل MFFPI در محیط Arc Map استخراج و در پنج پهنه با پتانسیل خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه شد. بر اساس نقشه خروجی، مناطق با پتانسیل خطر زیاد و متوسط به ترتیب ۲۶/۴۵ و ۲۰/۸۳ درصد از مساحت حوضه را در بر گرفته‌اند. مناطق با خطر خیلی کم و کم سیلاب ناگهانی منطبق بر کوهستان و تپه‌های منطقه با درصدهای ۱۴/۶۶ و ۲۰/۶۱ است. مناطق با خطر متوسط سیلاب ناگهانی عمدتاً تراس‌های فوقانی را شامل می‌شود و مناطق با خطر خیلی زیاد و زیاد، بستر رودخانه‌ها و دشت‌های رسوبی‌اند که شکل این دشت‌ها شبیه نواری کشیده است که با شیب ملایمی که عمود بر رودخانه است، از رودخانه به طرف اراضی پست و یا حوضه‌های آبگیر بسته کشیده می‌شوند (شکل ۹).



شکل (۹): نقشه نهایی پهنه بندی سیلاب ناگهانی براساس مدل MFFPI

Fig. (9): The final flash flood map based on MFFPI

ارزیابی تاثیر پارامترهای شش گانه در پتانسیل سیلاب ناگهانی

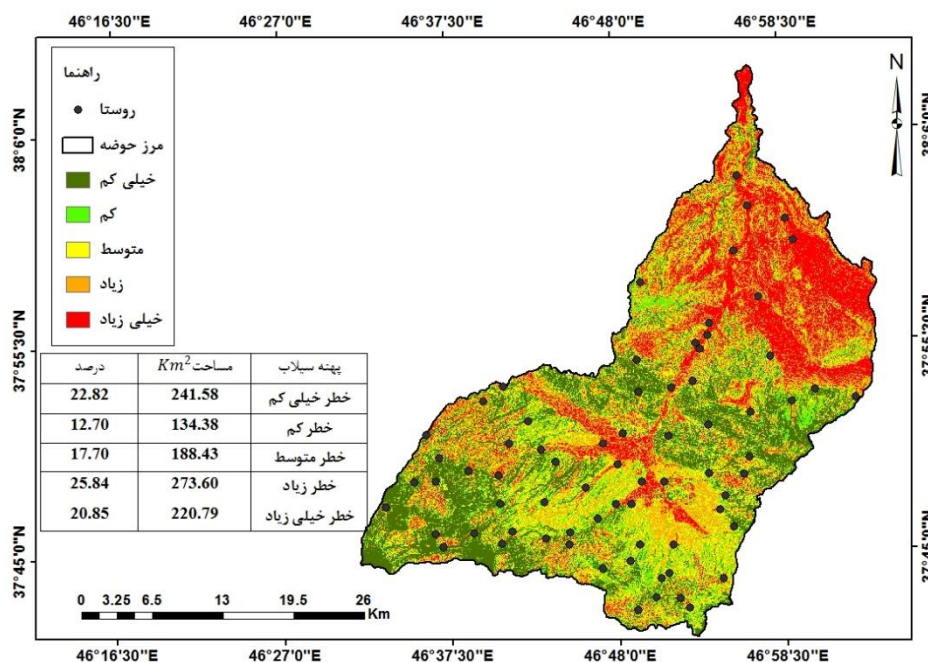
برای ارزیابی میزان تاثیرگذاری هر یک از پارامترها، نحوه توزیع آماری نقاط تصادفی انتخاب شده در Arc Map به کمک آزمون آماری کولموگروف-اسمیرنوف در نرم‌افزار SPSS، نشان داد که داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند و مقادیر Sig برای کل داده‌ها صفر است. لذا با توجه به نرمال نبودن توزیع داده‌ها و رتبه‌ای بودن آنها، از آزمون‌های ضریب همبستگی اسپیرمن و رگرسیون خطی چند متغیره در نرم‌افزار SPSS برای ارزیابی میزان همبستگی بین پارامترها و لایه پتانسیل سیلاب ناگهانی استفاده شد. در این آزمون‌ها مقادیر نقاط تصادفی استخراج شده از لایه‌های پارامترهای شش گانه متغیر مستقل و لایه پتانسیل سیلاب ناگهانی متغیر وابسته در نظر گرفته شده است.

جدول (۳): نتایج آماری بین متغیرها

Table(3): Statistical results between variables

		شیب	تراکم جریان	انحنای دامنه	بافت خاک	نفوذپذیری سنگ	کاربری اراضی
همبستگی اسپیرمن		۰/۸۱۸	۰/۱۳۲	-۰/۰۸۴	۰/۲۵۳	۰/۱۲۳	۰/۴۸
رگرسیون خطی چند متغیره	r	۰/۸۲۱	۰/۱۱۸	۰/۰۹۷	۰/۲۳۰	۰/۰۸۶	۰/۴۲۸
	ضریب تعیین r^2	۰/۶۷۴	۰/۰۱۴	۰/۰۰۹	۰/۰۵۳	۰/۰۰۷	۰/۱۸۳

بر اساس نتایج حاصل از ضریب همبستگی اسپیرمن، رگرسیون خطی و ضریب تعیین (جدول ۳)، بین بیشتر پارامترها همبستگی وجود داد، بطوری که سه پارامتر شیب، کاربری اراضی و بافت خاک از لحاظ آماری بیشترین تاثیر را در سیلاب ناگهانی دارند. در این مرحله پارامترهایی که نقش معنی‌داری در پتانسیل سیلاب ناگهانی ندارند، حذف می‌شوند. پارامترهای کمتر تاثیرگذار شامل؛ تراکم جریان، انحنای دامنه و نفوذپذیری سنگ است و براساس پارامترهای تاثیرگذار شیب، کاربری اراضی و بافت خاک مجدداً نقشه شاخص پتانسیل سیلاب ناگهانی تهیه شد و به ۵ طبقه (پتانسیل خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) تقسیم شد (شکل ۱۰).



شکل (۱۰): نقشه نهایی پهنه بندی سیلاب ناگهانی براساس سه پارامتر (شیب، کاربری اراضی و بافت خاک) مدل MFFPI

Fig(10): The final flash flood zoning map based on land use, slope and soil texture parameters

تحلیل یافته‌ها

بررسی هر دو نقشه MFFPI نشان می‌دهد که تعداد زیادی از سکونتگاه‌های انسانی در مناطق کم ارتفاع و با شیب بین ۰ تا ۸ در معرض خطر سیلاب‌های ناگهانی‌اند. خصوصاً روستاهایی که در بخش مرکزی حوضه و در امتداد رودخانه اوجان، روی نهشته‌های کواترنری قرار گرفته‌اند، در معرض خطر زیاد تا خیلی زیاد سیلاب ناگهانی‌اند. از سوی دیگر زمین‌های زراعی حوضه- خصوصاً در بخش پایین‌دست حوضه (شرق و شمال شرقی) جای دارند و یکی از مهم‌ترین قطب‌های تولید محصولات کشاورزی (خصوصاً هویج، گندم، سیب‌زمینی و عدس) استان آذربایجان شرقی است. نیز جزو پهنه‌های مستعد خطر خیلی زیاد است که متأسفانه با توجه به ویژگی خاک‌های منطقه به ویژه در سطوح شیبدار، کشت ردیفی و افراطی در این حوضه‌آبریز، علاوه بر اینکه باعث شکل‌گیری و تجمع سریع رواناب‌ها و متعاقباً سیلاب می‌شود، حساسیت سطوح شیبدار نسبت به فرسایش آبی و ناپایداری‌ها را نیز افزایش می‌دهد. براساس نتایج حاصل از ضریب همبستگی اسپیرمن و رگرسیون خطی، در نقشه دوم مناطق با پتانسیل خطر زیاد و کم به ترتیب بیشترین و کمترین (۲۵/۸۴ و ۱۲/۶۹) مساحت از منطقه را در برگرفته‌اند. با دخالت دادن پارامترهای تاثیرگذار در نقشه پهنه‌بندی سیلاب، می‌توان مشاهده کرد که میزان مناطق با پتانسیل خطر خیلی کم از ۱۴/۶۶ درصد در نقشه اولیه پهنه‌بندی سیلاب به ۲۲/۸۱ درصد افزایش یافته است. که این مناطق منطبق بر ارتفاعات حوضه هستند و به علت شیب زیاد، امکان نکه‌داشت آب در آنجا نیست. افزایش مناطق با پتانسیل خطر زیاد بیشتر منطبق بر بستر اصلی رودخانه اوجان‌چای و دشت‌های رسوبی اطراف است (شکل ۱۰).

بحث و نتیجه‌گیری

سیلاب یکی از مهمترین مخاطرات طبیعی است که متاثر از پارامترهای مختلف ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی، اقلیمی، زمین‌شناسی است. بنابراین اگرچه که عامل اصلی ایجادکننده سیلاب عامل اقلیمی (بارندگی) است اما پاسخ هیدرولوژیکی به آن بسته به خصوصیات فیزیوگرافیک حوضه همچون شیب، بافت خاک، پوشش‌زمین، نفوذپذیری سنگ، انحناى دامنه متفاوت است (تینکو و همکاران، ۲۰۱۸: ۵۹۳). در پژوهش حاضر از روش شاخص پتانسیل سیلاب ناگهانی تصحیح‌شده برای ارزیابی و پهنه‌بندی سیلاب ناگهانی در حوضه‌آبریز

اوجان‌چای استفاده شد. مدل مذکور در دو مرحله اجرا شد. در مرحله اول با توجه به ۶ پارامتر فیزیوگرافیک (شیب، انحنای دامنه، تراکم جریان، بافت خاک، نفوذپذیری سنگ و کاربری اراضی) نقشه پتانسیل سیلاب ناگهانی استخراج شد و در مرحله دوم بین پارامترهای فیزیوگرافیک و نقشه اولیه پتانسیل سیلاب ناگهانی استخراج شده همبستگی اسپیرمن برقرار شد و نتایج نشان داد که بین بیشتر متغیرها همبستگی وجود دارد و با استفاده از رگرسیون خطی پارامترهای با تاثیرگذاری کم در این مرحله حذف شدند و سه پارامتر تاثیر گذار شیب، بافت خاک و کاربری اراضی در تهیه نقشه نهایی پتانسیل سیلاب ناگهانی بکار گرفته شد. نتایج حاصل از هر دو نقشه MFFPI نشان داد که توزیع فضایی پهنه‌های پتانسیل خطر سیلاب ناگهانی از شرایط توپوگرافی حوضه آبریز تبعیت می‌کند. مناطق دارای پتانسیل خطر کم و خیلی کم در مناطق کوهستانی قرار گرفته‌اند که این سطوح به دلیل شیب زیاد برای انباشت و تجمع آب مناسب نیستند. نواحی دارای پتانسیل خطر زیاد تا خیلی زیاد سیلاب ناگهانی در مناطق هموار و اطراف بستر رودخانه اوجان واقع شده‌اند، زیرا این نواحی به دلیل شرایط توپوگرافی (شیب کم) نسبت به انباشت و تجمع آب مستعد هستند. با توجه به تاثیرگذاری بیشتر عوامل شیب، کاربری اراضی و بافت خاک، نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های مطالعات کرمی و همکاران (۱۳۸۶)، بیاتی خطیبی و کرمی (۱۳۹۸)، رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۹)، بیاتی خطیبی (۱۳۹۹) و رضایی مقدم و همکاران (۱۴۰۰) همسو است، بطوریکه تغییرات کاربری اراضی به ویژه زراعی و مرتعی در منطقه و شیب بالای بخش‌های جنوب و جنوب غربی و مناطق مرتفع که شکل‌گیری سریع جریان‌های آبی را در زمان ریزش باران‌های شدید و رگباری را موجب می‌شوند، وقوع سیلاب‌های ناگهانی در منطقه اجتناب ناپذیر می‌شود و یافته‌های خطیبی (۱۳۹۹) نیز تاییدکننده این موضوع است که هرچند متوسط بارش سالانه حوضه اوجان‌چای در طی سال‌های اخیر کاهش یافته اما بررسی بارش‌های روزانه در ایستگاه‌های هواشناسی حوضه نشان‌دهنده افزایش بارش‌های رگباری در حوضه است که نتایج حاصل از همبستگی اسپیرمن و رگرسیون خطی بر این امر (تاثیر شیب و کاربری اراضی) صحت می‌گذارد، بطوریکه ارتفاع و حجم رواناب در طی ۲۰ سال اخیر به علت افزایش سطح زیر کشت و تغییرات کاربری اراضی به دو برابر افزایش یافته است و در سطوح شیب دار رخداد بارش‌های شدید روزانه باعث شکل‌گیری رواناب‌های عمیق با حجم زیاد و در نتیجه سیلاب ناگهانی در کمترین زمان ممکن می‌گردد. از طرف دیگر نتایج این تغییرات کاربری اراضی، کشت غیر اصولی، برهم‌زدن شیب دامنه‌ها (همچون جاده سازی) ناشی از دخالت‌های انسانی، مخاطرات دیگری نیز همچون فرسایش آبی (خندقی و خطی) و ناپایداری دامنه‌ها را در حوضه باعث شده است. لذا روستاهای واقع در این حوضه (مانند دیزناب و خاتون‌آباد) علاوه بر مخاطره سیلاب ناگهانی، مستعد دیگر مخاطرات زیست‌محیطی همچون حرکات توده‌ای مواد هستند. بنابراین مدیریت حوضه‌های آبریز کوهستانی خصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک بایستی با در نظر گرفتن خصوصیات ژئومورفولوژیکی و توان محیط صورت گیرد تا در زمان وقوع مخاطرات طبیعی، خسارات و تلفات به حداقل ممکن برسد.

منابع

- Abuzied, S., Yuan, M., Ibrahim, S., Kaiser, M., Saleem, T. (2016). Geospatial Risk Assessment of flash floods in Nuweiba Area, Egypt, *Journal Of Arid Environments*, 133, 54-72.
- Al-Tanni, A., Al-Husban, Y., Ayan, A. (2023). Assessment Of Potential Flash Flood Hazards Concerning Land Use/ Land Cover in Aqaba Governorate, Jordan, Using A Multi-Criteria Technique, *The Egyptian Journal Of Remote Sensing And Space Sciences* 26, pp17-24.
- Asgari Saraskanrood, S., Pirooz, A., Zeinali, B. (2016). Flood Zoning In The Aglagan Chay Basin By Vikor Model, *Quantitative Geomorphological Research*, Volume 4, Issue 3, pp 231-245 (in persian).
- Azmeri, Hadihardaja, I.K., Vadiya, R. (2016). Identification of Flash Flood hazard Zones In Mountainous Small Watershed of Aceh Besar Regency, Aceh Province, Indonesia, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 19, pp 143-160.
- Badri, B., Zare Bidaki, R., Honarbakhsh, A., Atashkhar, F. (2016). Prioritization of Flooding Potential In Beheshtabad Subbasins, *Physical Geography Research Quarterly*, Volume 48, Issue 1, pp 143-158 (in persian).

- Bayatikhatabi, M.(2020). Investigating The Role of Land Use Changes In Hydrological Changes of Surfaces In Mountainous Area (Case Study: Ojan Chay Basin), Hydrogeomorphology, Volum7, Issue 24, pp127-144(in persian).
- Bayatikhatabi, M., Karami, F.(2019). The Estimation Of Uplifting Share On Gully Erosion Rates over Slopes, Case Study:Ojan Chay, North Eastern Slopes of Sahand Mountain, Quantitative Geomorphological Research, Volume 8, Issue 2, pp 38-51(in persian).
- Bayatikhatabi, M., Karami, F.(2019). The Time And Runoff Velocity Estimation on Slopes of Ojan Chay watershed, Quantitative Geomorphological Research, Volume 7, Issue 4, pp1-14(in persian).
- Bisht, S., Chaudhry, S., Sharma, S., Soni, S.(2018). Assessment of Flash Flood Vulnerability Zonation Through Geospatial Technique In High Altitude Himalayan Watershed, Himachal Pradesh India, Remote Sensing Applications: Society And Environment, Volume 12, pp 35-47.
- Borcan, M., Retegan, M.(2016). Assessment of The Flood Occurrence Potential In The Upper Teleajen River Basin, Annals of The University of Oradea, Geography Series, 26(1), 25-33.
- Brewster, J.(2009). Development of The Flash Flood Potential Index. A Presentation Retrieved From:<http://www.erh.noaa.gov/bgm/research/ERFFW/presentation/June-02-2010/Brewster-Development of FFPI>.
- Ceru,J.(2012). Flash Flood Potential Index (FFPI) For Pennsylvania, <http://proceedings.esri.com/library/userconf/feduc12/papers/user/JoeCeru.pdf>.
- Chadee,D.D., Sutherland, J.M., & Agard,J.(2014). Flooding and Climate Change,Sectorial Impact and Adaptation Strategies For The Caribbean. Nova Science Publishers,Inc.
- Costache, R., Zaharia, L.(2017). Flash Flood Potential Assessment And Mapping By Integration the Weights-of-Evidence And Frequency Ratio Statistical Methods In GIS Environment- Case Study: Basca Chiojdului River Catchment (Romania), Journal Of Earth System Science, 126, pp 1-19.
- Elkhrachy, I.(2015). Flash Flood Hazard Mapping Using Satellite Images and GIS Tools: A Case Study of Najran City,Kingdom of Saudi Arabia (KSA), The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 18, pp 261-278
- El-Soud, W., Othman, A.(2022). An Integrated Hydrological And Hydraulic Modelling Approach For Flash Flood hazard Assessment In Eastern Makkah City,Saudi Arabia, Journal of King Saud University-Science34,pp1-12.
- Farhan, Y., Ayed, A.(2017) Assessment of Flash Flood hazard in Arid Watersheds of Jordan, Geographic Information System, 9(06).717.
- Hanafi, A., Barani Pesyan, V., Ebadinezhad, S.A.(2021). Flood Risk Assessment And Zoning in Urban Settlements of Kuzestan Border Province By Using The Fuzzy AHP Method, Journal of Border Science And Technology, Volume 10, Issue 2, pp 1-35(in persian).
- Hasan Zadeh Nofoti, M., Khajeh Bafegi, H.(2017). Flood Hazard Zoninig Using Multiple Criteria Decision Analysis System (Case Study: Sheytoor Watershed in Bafgh), Journal of Watershed Management Research, Volum 7, Issue 14, pp 29-37(in persian).
- Karami, F., Bayati Khatibi, M., Mokhtari, D.(2007). Mass Movement Hazard Evaluation And Zonation In Ojan Chay basin, Geography And Development, Volume 5, Issue 9, pp 107-124(in persian).
- Karami, F., BayatiKhatibi, M., Ganbari, A.(2017).Investigating The Effectivness of Hydrological and Hydraulic Models In Determining Flood Zones In Upper Ahar chay, Research Project, Geoghraphy and Planning of Faculty, University Of Tabriz(in persian).
- Kia, A., Khaledi, Sh., Janbazghobadi, Gh.(2021). Determination of Flood Potential Effective Factors In Hydrological Homogenous Regions, Case Study: Se- hezar And Do-hezar watersheds(Cheshmekhileh), Tonekabon, Geographical Planning of Space Quarterly Journal, Volume 10, Issue 38, pp 235-258(in persian).

- Krudlo, R., Ceru, J. (2010). Flash flood Potential Index For WFO Mount Holly/Philadelphia, Retrieved From <http://bgmresearch.eas.cornell.edu/research/ERFFW/posters.pdf>.
- Llasat, M.C., Marcos, R., Botija, M.L., Gilabert, J., Turco, M., Segui, P.Q. (2014). Flash Flood Evolution In North- Western Mediterranean, *Atmospheric Research*, volume 149, pp 230-243.
- Mesri Alamdari, P. (2021). Spatial Analysis of Flood Hazard In Ajabshir Ghaleh Chay Catchment Using GIS and HEC-HMS Model, *Quantitive Geomorphological Research*, Volume 10, Issue 1, pp 93-111 (in persian).
- Minea, G. (2013). Assessment of The Flash Flood Potential of Basca River Catchment (omania) based On Physiographic Factors, *Central European Journal of Geosciences*, 5(3): 344-353.
- Mishra, K., Sinha, R. (2020). Flood Risk Assessment In The Kosi Megafan Multi- Criteria Decision Analysis : A Hydro- Geomorphic Approach, *Geomorphology* 350, 1-19.
- Mohamed, S.A. (2019). Application of Satellite Image Processing And GIS-Spatial modeling For Mapping Urban Areas Prone To Flash Floods In Qena Governorate, Egypt, *Journal of African Earth Sciences*, 158, pp 1-15.
- Mohammadi, S., Saffari, A., Ahmadabadi, A., Darabi, S. (2023). Adaptive flood Zoning In Cheshmekile Watershed Tenkabon, *Hydrogeomorphology*, Volum 9, Issue 33, pp 127-147 (in persian).
- Mokhtari, D., Rezaei Moghaddam, M.H., Rahimpour, T., Moazzez, S. (2020), Preparing The Risk Map of Flood Occurrence In The Ghomanab Chai Basin Using ANP Model and GIS Technique, *Journal of Eco Hydrology*, Volume 7, Issue 2, pp 497-509 (in persian).
- Osei, B.K., Ahenkorah, I., Ewusi, A., Fiadonu, E.B. (2021). Assessment of Flood Prone Zones In The Tarkwa Mining Area of Ghana Using a GIS-Based Approach, *Environmental Challenges*, 3 pp 1-12.
- Parvin, M. (2019). Assessment and Zoning of Flash Flood Risks Based On MFFPI Model(Case Study: Islamabad Basin), *Environmental Hazards Management*, Volume 6, Issue 2, pp 169-184 (in persian).
- Parvin, M. (2020). Assessment and Zoning of The Risk of Flash Flooding Based On Physiographic Factors and Morphometric Indices (Case Study of Qasr-e Shirin Basin), *Geography and Environmental Planning*, Volume 31, Issue , pp 89-104 (in persian).
- Popa, C.M., Simion, A.G., Peptenatu, D., Dima, C., Draghici, C.C., Florescu, M.S., Dobrea, C.R., Diaconu, D.C. (2020). Spatial Assessment of Flash Flood Vulnerability In The Moldova River Catchment (N Romania) Using The FFPI, *Journal of Flood Risk Management*, pp 1-10.
- Rezaei Moghaddam, M, H., Mokhtari, D., Samandar, N. (2021). Extraction And Evaluation Of Land Use Changes By Using Of The Accuracy Of SVM Algorithm With Polynomial Kernel And Maximum Likelihood Method In Ojan Chay Basin, *Journal of Geography And Environmental hazards*, Volume 9, Issue 4, pp 25-44 (in persian).
- Rezaei Moghaddam, M, H., Mokhtari, D., Samandar, N. (2021). Mass Movements Modeling And Motion Sensitive Zone Management Using Statistical Algorithms In Ojan Chay Basin, *Geography and Development*, Volume 19, Issue 63, pp 115-136 (in persian).
- Shahabi, H., Shirzadi, A., Ronoud, S., Asadi, S.H., Pham, B.T., Mansouripour, F., Geertsema, M., Clague, J.J., Bui, D.T. (2021). Flash Flood Susceptibility Mapping Using A Novel Deep Learning model Based On Deep Belief Network, Back Propagation And Genetic Algorithm, *Geoscience Frontiers* 12, pp 1-23.
- Sharifi Paichoon, M., Omidvar, K., Motazzker, K. (2019). Assessment of Flooding Using Cluster Analysis And Multivariable Regression Methods With Emphasis on Hydro Geomorphological Parameters (Case Study: Maroon Catchment), *Journal Of Natural Environmental hazards*, Volum 8, Issue 21, pp 75-92 (in persian).
- Smith, G. (2003). Flash Flood Potential: Determining The hydrologic Response Of FFMP basins to Heavy rain By Analyzing their Physiographic Characteristics, A White Paper available From The NWS Colorado Basin River Forcast Center Web Site at [http:// www.cbrfc.noaa.gov/papers/ffp_wpap.pdf](http://www.cbrfc.noaa.gov/papers/ffp_wpap.pdf).

- Smith,G.(2010). Development of A Flash Flood Potential Index Using Physiographic Data Sets Within A Geographic Information System, Department Of Geography, The university of Utah.
- Tincu, R., Lazar, G., Lazar, I.(2018). Modified Flash Flood Potential Index In Order to Estimate Areas With Predisposition To Water Accumulation, Open Geosciences,10(1),593-606.
- Wang, L., Cui, Sh., Tang, J., Fang, L., Fang, X., Shewstha, S., Manandhar, B., Huang, J., Nitivattananon, V.(2023). Riverine Flood Risk Assessment With A Combined Model Chain In Southeastern China, Ecological Indicators, 154, pp 1-11.
- Yao, J., Zhang, X., Luo, W., Liu, Ch., Ren, L. (2022). Applications Of Stacking /Blending Ensemble Learning Approaches For Evaluating Flash Flood Susceptibility, International Journal Of Applied Earth Observations And Geoinformation,112,pp1-14.
- Yassin, N.A.M., Adnan, N.A., Md Sadek, E.S.S.(2023). Analysis of Flash Flood Potential Index (FFPI) And Scenarios Assessment In Shah Alam Using GIS Approach, Journal of The Malaysian Institute of Planners, Volume 21, Issue 2, pp 1-12