Assessment and Zoning of Flash Flood Hazard Using the MFFPI Model in the Sarand Chai Drainage Basin, East Azerbaijan

Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam [a,*], **Abdullah Behboudi**[b], **Lili Asl Mohammadi**
[a] *Professor, Department of Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz and Iranian Hazardology Association, Tabriz, Iran*
[b] *Graduated in Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran*
[c] *Master's student in Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.*

Research Full Paper
Article History (Received: 2025/04/3 Accepted: 2025/09/21)

1- Introduction

Flooding is a natural phenomenon that human societies have accepted as an unavoidable event. However, the occurrence, magnitude, and frequency of floods are influenced by multiple factors that vary depending on the climatic, natural, and geographical conditions of each region. Consequently, the relationship between rainfall and runoff differs significantly from one watershed to another. The study area is located in the northwestern part of Iran, within East Azerbaijan Province. The Sarand watershed is a sub-basin of the Aji Chai River, situated in the northeast of Tabriz. The watershed's outlet is positioned to the west of Khajeh County, while its northern boundary extends toward the city of Varzeqan. Additionally, the Heris County is located to the southeast of this watershed. This research aims to identify and map areas susceptible to flash floods in the Sarand chai watershed. By employing the Modified Flash Flood Potential Index (MFFPI) model and analyzing physiographic parameters, a flood potential map has been developed, and the role of key contributing factors to flood occurrence has been assessed. The findings of this study can be utilized for optimizing water resource management, minimizing flood-related damages, and supporting regional development planning.

2- Research Methodology

For the purpose of this study, the parameters of slope, flow accumulation, soil texture, curvature, land use, and land permeability were selected. Subsequently, the weight of each parameter was applied to its five sub-parameters, and the final score for each layer was calculated within the GIS environment. In the first stage, the integration of the six weighted layers resulted in the generation of a flash flood potential map. In the next step, approximately 200 random points were selected from the watershed using the "Create Random Points" tool in ArcGIS. The values for these points were extracted from all six layers as well as from the flash flood potential map within the GIS environment. The normality of the data was assessed using the Kolmogorov-Smirnov statistical test in SPSS software. Subsequently, correlation and multiple linear regression analyses were conducted to determine the strength of the relationship between dependent and independent variables. In the final stage, based on the results of the statistical analyses, the most influential parameters were identified, and the final flash flood potential map was generated using the significant parameters. In total, 380 points (including flooded and non-flooded areas) were extracted and organized in ArcGIS. Seventy percent of the data was used for model training and the remaining 30 percent for validation. The model's performance was evaluated using Accuracy, Sensitivity, and Specificity indices.

[*] **Corresponding Author: rezmogh@tabrizu.ac.ir**

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.44]

3- Results

In the first stage of model implementation, the parameters of slope, slope curvature, drainage density, lithology, soil texture, and land use were used. In the second stage, based on the results from the multiple regression analysis, layers with minimal influence were removed. The layers of slope, lithology, and soil texture, which had the greatest impact, were then used to produce the final flash flood map. According to the final map, 36% of the Sarand chai watershed area lies in the very high and high flood risk zones. Based on the spatial distribution of risk zones, areas with very high and high risk are primarily located in riverbeds and low-gradient sedimentary plains perpendicular to the river's axis. In contrast, areas with medium risk are more common in upper terraces, while low and very low-risk areas are mostly found in mountainous and hilly elevations. This pattern highlights the significant role of slope, elevation, and geomorphological characteristics in determining the potential for flash floods in the region.

4- Discussion & Conclusions

The flash flood susceptibility map for the Sarand Chai watershed was generated using physiographic parameters and the Modified Flash Flood Potential Index (MFFPI) model within the ArcMap software environment. The map was classified into five susceptibility zones: very low, low, moderate, high, and very high. To examine the relationships between the variables, Spearman's correlation coefficient test and multiple linear regression analysis were performed using SPSS software. In this analysis, the physiographic parameters were considered as independent variables, while the flash flood susceptibility layer was treated as the dependent variable. The results of the correlation analysis revealed that slope, lithology, and soil texture had the greatest influence on flash flood occurrence, whereas flow accumulation and curvature had the least impact in this watershed. In the final stage, the three most influential parameters—slope, lithology, and soil texture—were identified and selected. A new flash flood susceptibility map was then produced by applying the respective weights to these layers. The results of the susceptibility zoning map analysis showed that areas with very high, high, moderate, low, and very low flood risk accounted for 19.3%, 16.5%, 25.4%, 24.3%, and 14.3% of the total watershed area, respectively. The assessment of the MFFPI model's accuracy and performance demonstrated that the model performed well in generating the flood hazard susceptibility map, with coefficients of 87.59% and 88.59% for the training and validation datasets, respectively.

Key Words: Flood, Zoning, MFFPI Model, Sarand Chai.

Cite this article: Rezaei Moghaddam, M.H., Behboudi, A., & Asl Mohammadi, L. (2026). Assessment and Zoning of Flash Flood Hazard Using the MFFPI Model in the Sarand Chai Drainage Basin, East Azerbaijan . *Journal of* Environmental *Erosion Research. 2026; 15 (4):44-65*. http//doi.org/10.61186/jeer.15.4.44

© The Author(s).
Published by Hormozgan University Press.
DOI: http//doi.org/10.61186/jeer.15.4.44 URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.44]

ارزیابی و پهنه بندی خطر سیلاب ناگهانی با استفاده از مدل MFFPI در حوضه آبریز سرندچای آذربایجان شرقی

محمد حسین رضائی مقدم* : *استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز و انجمن مخاطره‌شناسی ایران، تبریز، ایران*

عبداله بهبودی : *دانش آموخته دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران*

لی‌لی اصل محمدی : *دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران*

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۸)

DOI: http//doi.org/10.61186/jeer.15.4.44

چکیده

سیلاب یکی از رایج‌ترین مخاطرات طبیعی جهان قلمداد می‌شود که سالانه موجب خسارات جانی و مالی فراوانی در سراسر جهان می‌گردد. حوضه آبریز سرند یکی از زیرحوضه‌های آبریز آجی‌چای است که در شمال شرقی شهر تبریز قرار دارد. این پژوهش با هدف ارزیابی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع سیلاب ناگهانی در حوضه آبریز سرندچای و با استفاده از نسخه به‌روزشده و بهینه‌شده شاخص MFFPI صورت گرفته است. برای تهیه لایه‌های شیب، تراکم جریان و انحنای دامنه، از مدل رقومی ارتفاعی با دقت مکانی ۱۰ متر سازمان نقشه‌برداری استفاده شد. همچنین، لایه نفوذپذیری، با استفاده از نقشه‌های سازمان زمین‌شناسی کشور و لایه‌های مربوط به کاربری اراضی و بافت خاک نیز بر اساس نقشه‌های موجود در سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری استخراج گردید. وزن دهی براساس روشی که در نسخه نهایی مدل MFFPI مشخص گردیده است، صورت گرفت و سپس نقشه پتانسیل سیلاب ناگهانی تهیه گردید. برای بررسی روابط بین پارامترهای تاثیرگذار و نقشه پتانسیل سیلاب ناگهانی از آزمون همبستگی اسپیرمن و رگرسیون خطی چندمتغیره استفاده شد. بر اساس نتایج تحلیل‌های آماری، پارمترهای شیب، لیتوژی و بافت خاک در این حوضه بیشترین تأثیر را در ایجاد سیل داشتند، بنابراین با استفاده از این پارامترها نقشه نهایی پتانسیل سیلاب ناگهانی تهیه شد. با توجه به نقشه پهنه بندی به‌ترتیب ۱۹/۳، ۱۶/۵، ۲۵/۴، ۲۴/۳ و ۱۴/۳ درصد از مساحت حوضه سرندچای در پهنه‌های با خطر خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم قرار دارد. مناطق با پتانسیل خطر خیلی کم و کم منطبق بر ارتفاعات حوضه هستند و به علت شیب زیاد، امکان نگهداری آب در آنجا وجود ندارد و مناطق با پتانسیل خطر خیلی زیاد و زیاد بیشتر منطبق بر بستر اصلی رودخانه سرند چای و دشت‌های رسوبی اطراف است. نتیجه بررسی میزان دقت و کارایی مدل MFFPI نشان داد که این مدل به ترتیب با ضرایب ۸۷/۵۹ و ۸۸/۵۹ برای داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی، عملکرد خوبی در تهیه نقشه حساسیت خطر وقوع سیل داشته است.

واژگان کلیدی: سیلاب، پهنه‌بندی، مدل MFFPI، سرندچای.

* نویسندهٔ مسئول: **rezmogh@tabrizu.ac.ir**

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.44]

۱ـ مقدمه

سیل یک پدیده‌ی هیدرولوژیکی و طبیعی پیچیده است که جوامع بشری آن را به عنوان واقعه‌ای اجتناب‌ناپذیر پذیرفته‌اند اما رویداد، اندازه و تکرار سیل ناشی از عوامل متعددی است که بسته به شرایط اقلیمی، طبیعی و جغرافیایی هر منطقه تغییر می‌کند. به همین دلیل رابطه بین بارندگی و رواناب به طور محسوس از حوضه‌ای به حوضه دیگر متفاوت است (Rezaei Moghaddam, 2018, Abedini & Beheshti, 2016). سیل، جریان آبی است که از بستر رودخانه خارج شده و مناطق اطراف را فرا می‌گیرد (Chadee et al, 2014). در واقع، این پدیده زمانی رخ می‌دهد که مسیرهای طبیعی و سیستم‌های زهکشی قادر به تخلیه آب اضافی ناشی از بارندگی شدید نباشند (Osei et al, 2021). طبق گزارش جهانی برنامه عمران سازمان ملل در مورد خطر بلایای طبیعی، سیلاب به همراه زلزله و خشکسالی، بالاترین رتبه را از لحاظ خسارت مالی و جانی به همراه دارد (Ghanavati et al, 2014, Mahmoudzadeh et al, 2017). سیلاب با سهم ۴۴/۲۸ درصدی از مجموع ۷۳۴۸ حادثه فاجعه‌آمیز جهان بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹، خسارتی معادل ۲/۹۷ تریلیون دلار برجای گذاشته و جان ۷ میلیون نفر را گرفته است (Wang et al, 2023, Rezaei Moghaddam, 2025). برآوردها نشان می‌دهند که این میزان خسارت ممکن است تا سال ۲۰۵۰ به ۱ تریلیون دلار در سال برسد. در میان انواع سیلاب، سیلاب‌های ناگهانی به دلیل آغاز سریع، شدت بالا و سرعت زیاد جریان آب، می‌توانند آسیب‌های بسیار شدیدتری به محیط‌های انسانی و طبیعی وارد کنند (Yao et al,2022, Rezaei Moghaddam, 2025). گرمایش جهانی و توسعه در پنج دهه اخیر سبب تغییرات بزرگ در الگوی بارش و افزایش خطرات سیل در بسیاری از مناطق شده است (Guhathakurta et al, 2011, Faramarzi et al, 2019). این امر موجب صدمات بزرگی به جوامع کشاورزی و ساخت و سازهای انسانی می‌شود. تخریب شدید عرصه‌های طبیعی چه به صورت بهره‌برداری بی‌رویه از جنگل‌ها و چه به شکل تغییر کاربری اراضی و تبدیل آنها به زمین‌های کشاورزی نامناسب و یا ساخت مناطق مسکونی بی‌رویه موجب شده‌است سیلاب‌ها از نظر تعداد وقوع و شدت خسارت افزایش یابند (Toda et al, 2017, faramarzi et al, 2019). سطح مناطق سیل‌خیز کشور حدود ۹۱ میلیون هکتار برآورد گردیده است. به عبارتی دیگر ۵۵ درصد از سطح کشور در تولید رواناب مستقیم و سریع نقش داشته که حدود ۴۲ میلیون هکتار آن دارای شدت سیل‌خیزی متوسط تا خیلی زیاد هستند (Shabanlou et al, 2008, Rezaei Moghaddam & Behboudi, 2018). علاوه بر این توزیع نامناسب زمانی و مکانی بارش در مناطق خشک و نیمه‌خشک منجر به وقوع سیلاب‌های مخرب و خسارات گسترده جانی و مالی می‌شود. با توجه به شرایط اقلیمی بخش قابل توجهی از کشور ایران در دسته مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد که همین عامل ایران را در رتبه هفتمین کشور سیل‌خیز جهان قرار داده است (Nosrati, 2000). یکی از حوزه‌های مهم تحقیق در زمینه کنترل خطر سیل، شناسایی نقاط بحرانی در مناطق مختلف است، زیرا عدم آگاهی کافی از این نقاط می‌تواند منجر به خسارت‌های گسترده مالی و جانی شود (Vasu et al, 2016). به همین دلیل، در مرحله اول شناسایی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر مخاطره سیل و سپس تعیین مناطق بحرانی ناشی از آن ضروری است. در این راستا، نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب نقش مهمی در مطالعات مدیریت سیلاب ایفا می‌کنند (Rezaei Moghaddam, et al, 2025). امروزه این نقشه‌ها به‌عنوان یکی از اطلاعات اساسی و پایه در برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های عمرانی در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند (Rajabi et al, 2018,Valizadeh et al, 2019). با وجود پیشرفت‌های اخیر در روش‌های محاسباتی و دسترسی به داده‌های توپوگرافی دقیق، همچنان در بسیاری از مناطق، نقشه‌های

* نویسندهٔ مسئول: rezmogh@tabrizu.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.44]

خطر سیل در دسترس نیستند. این کمبود منجر به ضعف در برنامه‌های مقابله با سیلاب و مدیریت ناکارآمد این بحران شده است (Samela et al, 2018). از این‌رو، شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد خطر سیلاب، اقدامی بنیادین در راستای برنامه‌ریزی توسعه پایدار و صیانت از جوامع انسانی به‌شمار می‌آید. با توجه به این‌که بسیاری از حوضه‌های آبریز کشور فاقد داده‌های کافی برای تحلیل دقیق سیلاب هستند، بهره‌گیری از مدل MFFPI به‌دلیل انعطاف‌پذیری ذاتی آن، امکان‌پذیر بوده و قابلیت کاربرد در حوضه‌های متنوع با شرایط توپوگرافی، اقلیمی و زمین‌شناسی گوناگون را داراست. همچنین با توجه داده‌محور بودن، مدل MFFPI می‌تواند به‌راحتی با داده‌های جدید (مثلاً تصاویر ماهواره‌ای جدید) بروزرسانی شود. همچنین، استفاده از مدل مذکور می‌تواند مبنایی علمی برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در جهت کاهش خطرپذیری و افزایش تاب‌آوری مناطق سیلاب‌خیز فراهم سازد. در مناطق مختلف جهان و ایران برای کاهش خطرات ناشی از سیلاب، همچنین پهنه‌بندی سیلاب و مدیریت حوضه‌های آبریز تحقیقات زیادی با استفاده از مدل‌های مختلف صورت گرفته است که به برخی از کارهای انجام شده اشاره می شود.

Cao و همکاران (۲۰۱۶) در حوضه‌های اطراف شهر پکن در چین، Farhan و همکاران (۲۰۱۷) در چندین حوضه آبریز در کشور اردن، Taha و همکاران (۲۰۱۷) در حوضه آبریز وادی قنا در شرق مصر، Tinko و همکاران (۲۰۱۸) در حوضه تروتوس رومانی، Krishnan و همکاران (۲۰۲۵) بررسی مناطق مستعد سیل در بخشهایی از ناحیه اوتاراکانادا و گوای جنوبی در ساحل جنوب غربی هند، Tian و همکاران (۲۰۲۵) بررسی تغییرات اقلیمی و مدیریت سیلاب در مناطق کوهپایه‌ای ناحیه فانگشان چین، Taloor و همکاران (۲۰۲۴) ارزیابی خطرات سیل در حوضه آبریز تاوی هندوستان با استفاده از مدل MFFPI، Waleed & Sajjad (۲۰۲۵) تهیه نقشه آسیب پذیری سیلاب در کشور پاکستان با استفاده از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، این محققین با استفاده از پارامترهای مورفومتری، فیزیوگرافی، مدل های تصمیم گیری چند متغیره و تاثیر تغییرات اقلیمی، بر سیلاب را بررسی و مطالعه کرده اند. سپس نقشه پهنه‌بندی پتانسیل خطر سیلاب را در حوضه‌های مدنظر خود تهیه کرده‌اند. این پژوهش‌ها نشان می‌دهند که ارزیابی دقیق خطر سیلاب با استفاده از اطلاعات مربوط به ویژگی‌های فیزیکی و هندسی حوضه‌ها، می‌تواند به شناسایی مناطق با بیشترین آسیب‌پذیری کمک کند. نتایج این مطالعات همچنین بیان‌کننده کارایی مدل‌های مورفومتری در ارزیابی خطر سیلاب ناگهانی و نقش آن‌ها در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی جهت کاهش خسارات احتمالی به زیرساخت‌ها و جوامع انسانی است. Popa و همکاران (۲۰۲۰) در حوضه آبریز مولدوا به روش FFPI نشان دادند که مناطق با تغییر کاربری اراضی، آن هم از نوع جنگل‌زدایی، بیشترین خطر سیلاب ناگهانی را دارند. Jemai و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و سنجش از دور به تعیین محدوده در معرض خطر سیل در حوضه گابس در جنوب شرقی تونس پرداختند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که بخش‌هایی از حوضه، که به دلیل ویژگی‌های مورفومتری و کاربری اراضی خاص خود در معرض خطر بیشتری هستند، نیازمند توجه ویژه در طرح‌های مدیریت بحران و توسعه پایدار می‌باشند.

صراف و همکاران(۱۳۹۶)؛ آزادی و همکاران (۱۳۹۸)؛ میرچولی و همکاران (۱۴۰۲) به پهنه بندی سیلاب در رودخانه شاپور خشت، حوضه آبریز کشکان و فامنات گیلان پرداختند و نقشه‌های حساسیت سیل را برای حوضه های مذکور تهیه کردند. پروین (۱۳۹۹) خطر سیلاب ناگهانی را براساس عوامل فیزیوگرافی و شاخص‌های مورفومتریک در حوضه قصرشیرین بررسی ومطالعه کرده‌است. نتایج نشان می‌دهد براساس روش محاسبهٔ درجهٔ خطر، ۹۳ درصد مساحت

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.44]

حوضه قصرشیرین پتانسیل خطر زیاد و خطر شدید سیلاب ناگهانی دارد. فتحعلی‌زاده و همکاران (۱۳۹۹) پژوهشی با عنوان بررسی علل وقوع سیلاب و مخاطرات آن در حوضه آبریز زنوزچای با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و منطق فازی انجام دادند. نتایج نشان می‌دهد که مناطق سیل خیز، منطبق بر زیرحوضه‌های قسمت‌های میانی حوضه‌آبریز زنوزچای می‌باشند. رضایی مقدم و همکاران (۱۴۰۳) پژوهشی با عنوان ارزیابی سیل‌خیزی حوضه آبریز قلعه‌چای با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره MABAC انجام دادند. نتایج اولویت‌بندی نیز نشان داد که واحدهای هیدرولوژیک 2A، 2B و 1C از پتانسیل سیل‌خیزی زیادی برخوردارند. حجازی و همکاران (۱۴۰۳) خطر سیلاب حوضه‌های‌آبریز شهری را با استفاده از مدل‌های فازی ویکور و روش خطی وزنی در حوضه آبریز ایذه – خوزستان مطالعه کردند، نتایج نشان می‌دهد که عامل بارش، ارتفاع و شیب بیشترین تأثیر را بر ایجاد سیل در دارند. در سال‌های اخیر، وقوع سیلاب در حوضه آبریز سرندچای به عنوان یکی از رویدادهای طبیعی مهم و تأثیرگذار منطقه شناخته شده است. این سیلاب‌ها، موجب تخریب گسترده زیرساخت‌های ارتباطی، نابودی باغات و آسیب به اراضی کشاورزی شده‌اند. تکرار این پدیده در بازه‌های زمانی کوتاه، علاوه بر تحمیل خسارات مالی سنگین، پایداری اقتصادی و زیستی جامعه محلی را نیز با چالش مواجه کرده است. با توجه به فقدان پژوهش‌های جامع پیشین در این منطقه، بررسی و تحلیل علمی ابعاد گوناگون این پدیده، از جمله شناسایی عوامل مؤثر در وقوع سیلاب، تحلیل الگوهای هیدرولوژیکی حاکم و ارزیابی راهکارهای مدیریت مخاطرات، ضرورت دارد. این پژوهش با تحلیل جامع پدیده سیلاب در حوضه آبریز سرندچای، برای نخستین‌بار به شناسایی عوامل مؤثر، توسعه مدل‌های بومی هیدرولوژیکی و ارزیابی تاب‌آوری جوامع محلی می‌پردازد و از فناوری‌های نوین RS و GIS، بهره می گیرد. این مطالعه می‌تواند زمینه‌ساز تدوین سیاست‌های مؤثر در کاهش آسیب‌پذیری و افزایش تاب‌آوری جوامع محلی در برابر حوادث طبیعی باشد.

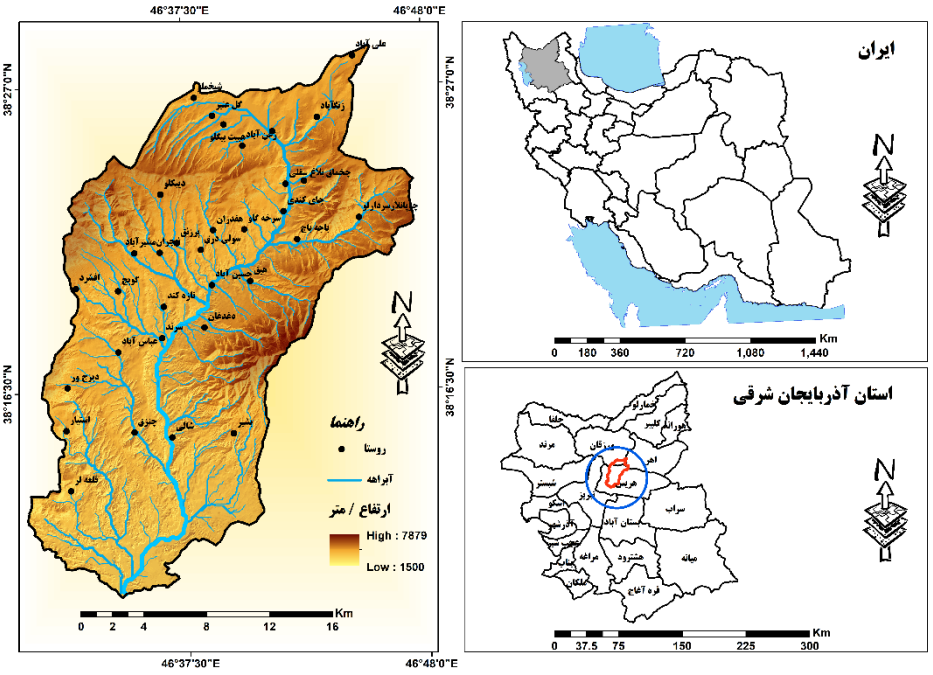
۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال‌غرب ایران و در استان آذربایجان‌شرقی قرار دارد. حوضه‌آبریز سرند یکی از زیرحوضه‌های آجی‌چای است که در شمال‌شرقی شهر تبریز قرار دارد. خروجی حوضه سرند در غرب شهرستان خواجه قرار گرفته است و محدوده حوضه به سمت شمال تا نزدیکی شهر ورزقان امتداد دارد همچنین شهرستان هریس در جنوب‌شرق این حوضه قرار دارد. منطقه مورد مطالعه از نظر مختصات جغرافیایی بین ۴۶ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). حوضه آبریز سرندچای از منظر مورفولوژیکی به سه واحد عمده شامل دشت مرتفع شمالی، فلات جنوبی و ناحیه کوهستانی تقسیم می‌شود. دشت شمالی که در مجاورت روستاهای علی‌بکندی و میرزا علی‌کندی واقع شده، حدود ۱۹۰۰ متر ارتفاع دارد. فلات جنوبی با ارتفاع میانگین ۱۶۶۰ متر و شیبی در راستای شمال - جنوب، به رود آجی‌چای منتهی و به وسیله رود سرند به دو بخش مجزا تفکیک می‌گردد. بخش کوهستانی، که نواحی مرکزی، جنوب‌غربی و شمالی را در بر می‌گیرد، دارای بلندترین نقطه در قله آی‌ناخلی با ارتفاع ۲۸۷۳ متر است. از نظر زمین‌شناسی، این حوضه ترکیبی از سنگ‌های با مقاومت‌های متنوع در برابر فرسایش را شامل می‌شود. در مناطق مرتفع، سنگ‌های آذرین و رسوبات کرتاسه موجب شکل‌گیری قله‌های تند و ناهموار شده‌اند. در نواحی شمالی و شمال‌شرقی، سنگ‌های آتشفشانی و آهکی با مقاومت متوسط

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.44]

مشاهده می‌شود. سنگ‌های سست شامل مارن، رس، ماسه‌سنگ و رسوبات کواترنر در مناطق مختلف حوضه پراکنده‌اند که مستعد فرسایش شدید و شکل‌گیری پدیده‌های ژئومورفیک خاص هستند.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضهٔ آبریز سرند چای

۳ـ مواد و روش

۳ـ۱ـ داده‌ها و مراحل اجرای پژوهش

در این پژوهش از روش محاسبه درجه خطر و مدل شاخص پتانسیل سیلاب ناگهانی برای ارزیابی و پهنه‌بندی استفاده گردید. سپس در محیط نرم‌افزار ArcGIS، با استفاده از افزونه ARC SWAT محدوده حوضه و شبکه زهکشی آن از DEM منطقه مورد مطالعه استخراج شد. سپس شبکه آبراهه‌ها براساس روش استرالر رتبه‌بندی شد. بنابراین در این پژوهش از مدل رقومی ارتفاعی ، نقشه زمین شناسی، نقشه خاک و کاربری اراضی به شرح (جدول ۱) استفاده شد.

جدول ۱: داده‌های مورد استفاده در پژوهش

داده	رزولیشن / ماهیت	کاربرد	منابع داده‌ها
مدل رقومی ارتفاعی	۱۰×۱۰	شیب، تراکم جریان، انحناء دامنه	سازمان نقشه برداری
بافت خاک	۱:۱۲۵۰۰۰	عامل نفوذپذیری	منابع طبیعی و ابخیزداری آذربایجان شرقی
کاربری اراضی	۱:۱۲۵۰۰۰	لایه کاربری اراضی اصلاح شده	منابع طبیعی و ابخیزداری آذربایجان شرقی
کاربری اراضی	۱:۱۰۰۰۰۰	عامل نفوذپذیری	سازمان زمین شناسی

۳-۲- مدل MFFPI

مدل MFFPI ، از شش پارامتر شامل شیب، تراکم جریان، انحناء دامنه، بافت خاک، نفوذپذیری سنگ و کاربری اراضی استفاده می‌شود. درنسخه نهایی اصلاح شده هر پارامتر وزن خاص خود را دارد و به پنج کلاس طبقه‌بندی می‌شوند. وزن‌های ۱ و ۵ به ترتیب کمترین و بیشترین تأثیر را بر انباشت آب و در نتیجه پتانسیل سیلاب ناگهانی دارند (جدول۲)

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-24]
[DOI: 10.61186/jeer.15.4.44]

جدول ۲: نحوه امتیازدهی پارامترهای مدل MFFPI (تینکو و همکاران، ۲۰۱۸)

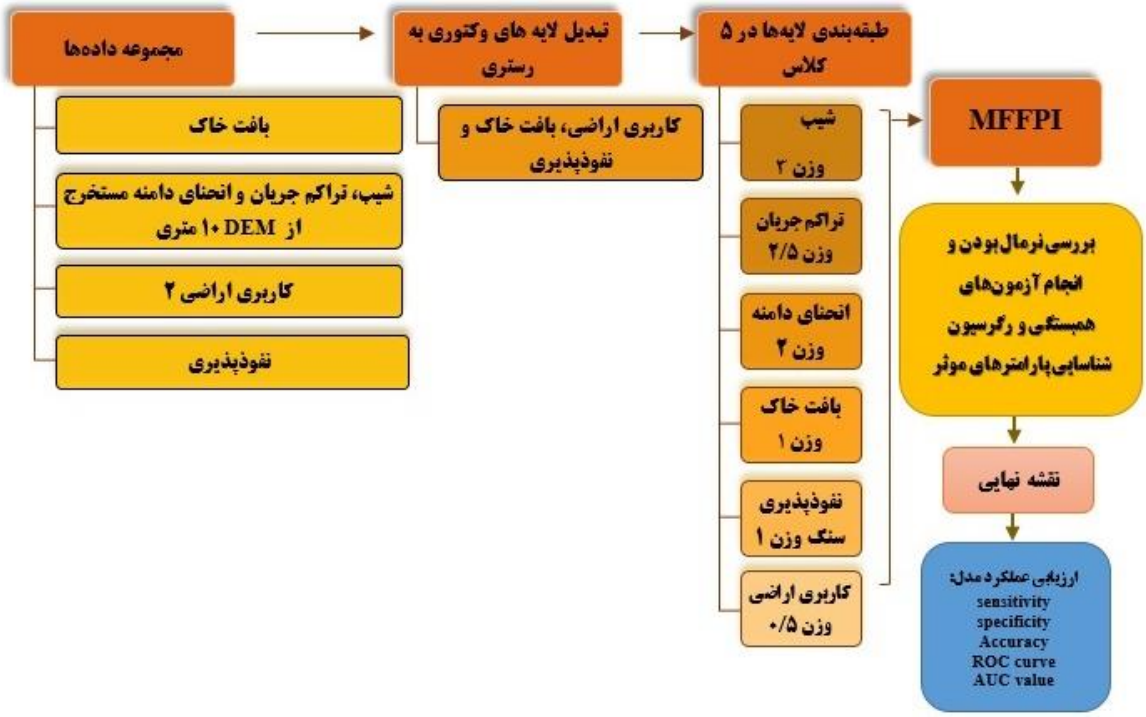
پارامتر	وزن پارامتر	طبقه	وزن هر طبقه	امتیاز نهایی
شیب (درجه)	۳	۶۰ - ۱۰	۱	۳
		۱۰ - ۸	۲	۶
		۸ - ۶	۳	۹
		۶ — ۳	۴	۱۲
		۳ - ۰	۵	۱۵
تراکم جریان	۲/۵	۱ — ۰	۱	۲/۵
		۲ — ۱	۲	۵
		۳ — ۲	۳	۷/۵
		۴ — ۳	۴	۱۰
		۵/۶ - ۴	۵	۱۲/۵
انحنای دامنه	۲	(-۴۹) — (-۱۸)	۱	۲
		(-۰/۵) — (-۹)	۲	۴
		(-۰/۵) — (-۰/۵)	۳	۶
		۱/۵ — ۰/۵	۴	۸
		۲۳ — ۱/۵	۵	۱۰
بافت خاک	۱	ماسه — رسی	۱	۱
		ماسه‌ای — لومی — رسی	۲	۲
		بافت‌های مختلف	۳	۳
		رسی	۴	۴
		رسی — سیلتی — مواد رس‌دار	۵	۵
نفوذپذیری سنگ	۱	نهشته‌های آبرفتی	۱	۱
		سازندهای ماسه‌سنگ، کنگلومرا	۲	۲
		سازندهای مارنی	۳	۳
		سازندهای آهکی	۴	۴
		سنگ‌های آذرین	۵	۵
پوشش / کاربری زمین	۰/۵	جنگل	۱	۰/۵
		مراتع متراکم و نیمه‌متراکم	۲	۱
		زمین زراعی	۳	۱/۵
		مراتع کم‌تراکم	۴	۲
		سطوح آبی	۵	۲/۵

لایه‌های موردنظر به پنج کلاس دسته‌بندی و به فرمت رستری تبدیل می شوند. سپس، وزن هر پارامتر در زیرپارامترهای پنج‌گانه اعمال شده و امتیاز نهایی هر لایه در محیط GIS محاسبه می گردد. از تجمیع شش لایه وزن‌دهی‌شده، نقشه پتانسیل سیلاب ناگهانی تولید می شود. در مرحله بعدی، ۲۰۰ نقطه تصادفی از حوضه با ابزار create random points در نرم افزار

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.44]

ArcGISانتخاب شده و مقادیر آن‌ها در هر شش لایه و همچنین لایه پتانسیل سیلاب ناگهانی، در محیطGIS استخراج می‌گردد. در نهایت، پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها و انجام آزمون‌های همبستگی و رگرسیون، پارامترهای مؤثر شناسایی و نقشه نهایی پتانسیل سیلاب تهیه می شود. در (شکل ۲) مراحل انجام این تحقیق به صورت فلوچارت نمایش داده شده است.



شکل ۲: فلوچارت مراحل تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل

۳-۳- ایجاد مجموعه داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی

در این مرحله، برای ایجاد مجموعه داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی، از طریق بازدیدهای میدانی، و بهره‌گیری از امکانات نرم‌افزاری Google Earth، همچنین اطلاعات شرکت مدیریت منابع آب ایران، مناطق درگیر با خطر سیل‌گرفتگی (۱۹۰ نقطه) و مناطق بدون سیل (۱۹۰ نقطه) تهیه شده و وارد پایگاه داده در محیط نرم‌افزار ArcGIS شد (شکل ۱۲). سپس از این مجموعه داده‌ها، ۷۰ درصد برای آموزش مدل و ۳۰ درصد برای اعتبارسنجی نتایج استفاده شد. به منظور بررسی و ارزیابی عملکرد مدل استفاده‌شده در تحقیق، از سه شاخص آماریSpecificity، Sensitivity و Accuracy برای داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی استفاده شد. برای محاسبه این شاخص‌ها از رابطه‌های زیر استفاده شد:

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN}$$ رابطه ۱

$$Specificity = \frac{TN}{FP+TN}$$ رابطه ۲

$$Accuracy = \frac{TP}{TP+FN+FP+FN}$$ رابطه ۳

که در آن TN تعداد مناطق بدون سیل که درست تشخیص داده شده‌اند؛ FP تعداد نقاط سیل که اشتباه تشخیص داده شده‌اند؛ TP تعداد نقاط سیل که درست تشخیص داده شده‌اند؛ و FN تعداد نقاط بدون سیل که اشتباه تشخیص داده شده‌اند.

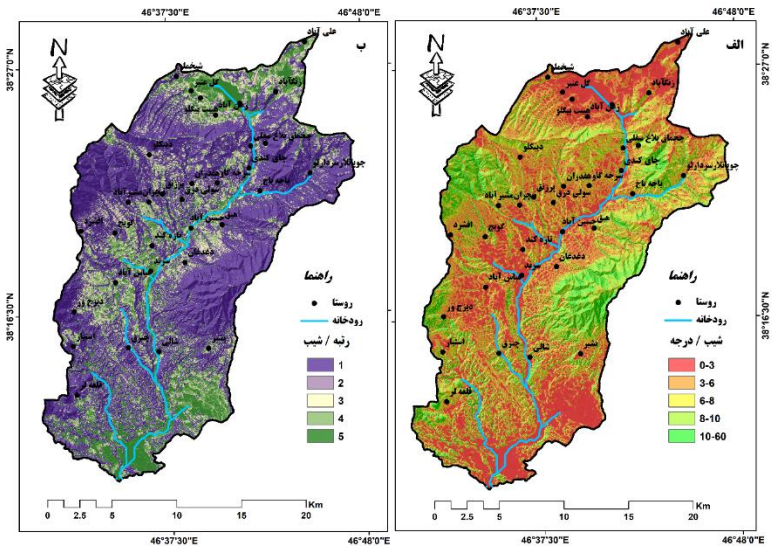
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.44]

۴-یافته‌ها

بررسی پارامترهای مؤثر

شیب: شیب یکی از پارامترهای کلیدی است که در تعیین بسیاری از ویژگی‌ها و فرآیندهای هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی نقش دارد و تأثیر مستقیمی بر رواناب سطحی، فرسایش خاک، میزان رطوبت خاک، تشکیل خاک، پتانسیل فرسایش، جریان آب زیرزمینی و در نتیجه نفوذپذیری دارد (Kavzoglu & Gomz, 2019, Jahngir et al, 2019, Kale, 2022, Taloor et al, 2024). برای بررسی نقش عامل شیب در تولید سیلاب‌های ناگهانی سرندچای، با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ۱۰ متری، نقشه شیب منطقه در ۵ کلاس تهیه گردید. بر اساس (جدول ۲) مناطق با شیب ۱۰ تا ۶۰ درجه به دلیل تأثیر قابل‌توجه در افزایش سرعت رواناب، دارای تجمع آب کمتری بوده و در کلاس ۱ قرار می‌گیرند. شیب‌های ۸ تا ۱۰ درجه در کلاس ۲، شیب‌های ۶ تا ۸ درجه در کلاس ۳ و شیب‌های ۳ تا ۶ درجه در کلاس ۴ دسته‌بندی می‌شوند. در مقابل، نواحی با شیب ۰ تا ۳ درجه به دلیل ایجاد شرایط مناسب برای انباشت آب، بیشترین امتیاز (۵) را دریافت می‌کنند (شکل ۳).

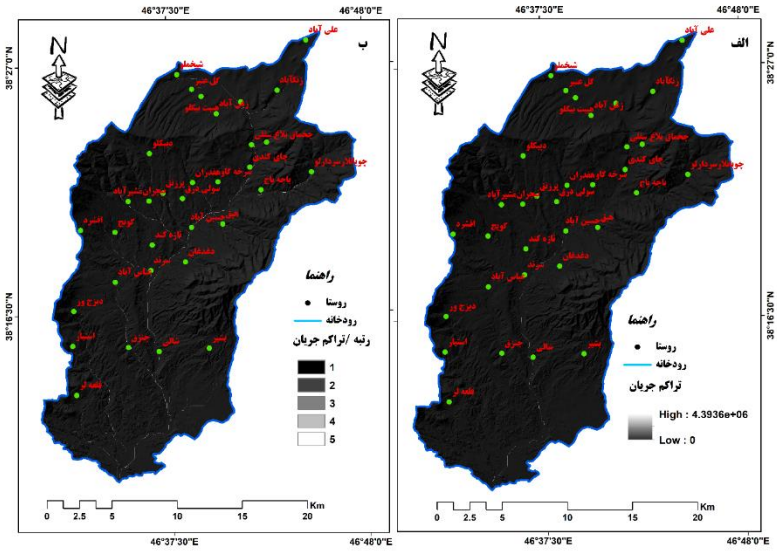


شکل ۳: الف) نقشه شیب ؛ ب) نقشه لایه وزن‌دار شیب حوضه آبریز سرندچای

تراکم جریان: جریان آب به مساحت حوضه آبریز، میزان بارندگی، شیب و چگالی زهکشی وابسته است. لایه تجمع جریان با استفاده از مدل رقومی ارتفاع ایجاد شده و به شناسایی مسیر جریان کمک می‌کند تا جهت جریان از هر پیکسل تعیین شود. این فرآیند با محاسبه تعداد سلول‌هایی که در هر سلول در پای شیب خاتمه می‌یابند، انجام می‌شود. مقدار تعیین‌شده برای هر سلول نشان‌دهنده تعداد کل پیکسل‌هایی است که به یک سلول خاص جریان می‌یابند (Taloor et al, 2024). لایه تراکم جریان از لایه DEM تهیه گردید و سپس جهت جریان حوضه مشخص شد. بر اساس امتیازدهی ارائه‌شده در (جدول ۲)، این داده‌ها در پنج طبقه دسته‌بندی شدند. در حوضه مطالعاتی، آبراهه‌های با رتبه بالاتر، به دلیل تجمع بیشتر جریان آب، بیشترین امتیاز (۵) را دریافت کرده‌اند، در حالی که آبراهه‌های با رتبه پایین‌تر کمترین امتیاز (۱) را کسب کرده‌اند (شکل ۴).

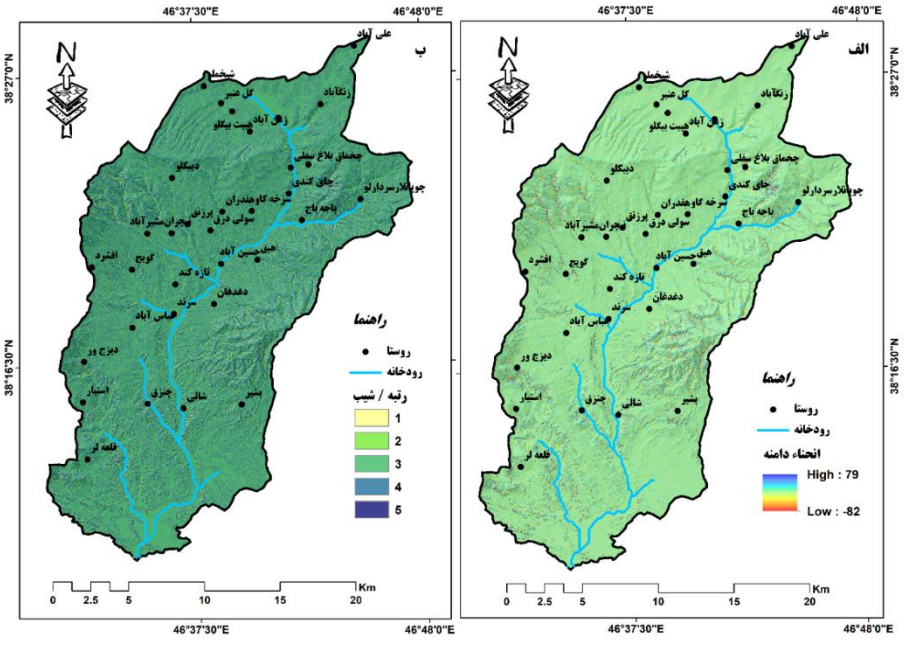
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.44]



شکل ۴: الف) نقشه تراکم جریان ب) نقشه وزنی تراکم جریان حوضه آبریز سرندچای

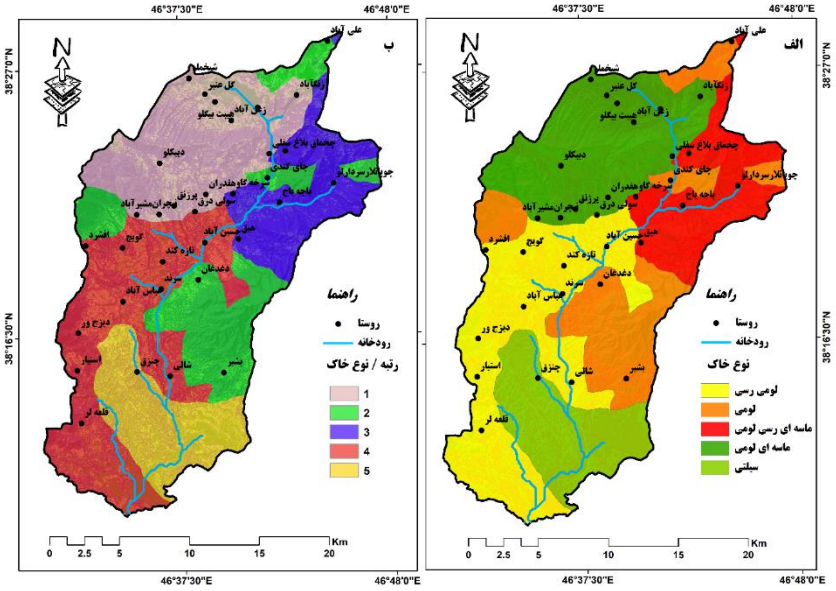
انحنا دامنه: نشان‌دهنده میزان انحراف سطح از صاف بودن و یا به عبارت دیگر، محدب و مقعر بودن دامنه است. با استفاده از مقادیر عددی و مشتقات حاصل از DEM، از قبیل شیب انحناء، پروفیل انحناء، پلان انحنای عرضی و انحنای کلی دامنه، ویژگی‌های مورفومتری لندفرم‌ها استخراج می‌گردد (Fisher et al, 2004, Pike, 2000, wood, 1996). مشتقات درجه دوم در ارتباط با تحدب و تقعر و به‌طور کلی شکل سطح هستند که با نام انحناء شناخته می‌شوند و می‌توان از انحناء برای اندازه‌گیری میزان ناهمواری سطح زمین استفاده نمود. محاسبه انواع انحناء در مدل رقومی ارتفاع رستری به صورت پیکسل به پیکسل انجام می‌شود. دامنه این پارامتر در حوضه آبریز سرندچای تقریباً بین ۷۹ تا ۸۲- است و طبق امتیازدهی (جدول ۲) پارامتر انحنای دامنه در ۵ طبقه کلاس‌بندی شد. مقادیر مثبت در طبقات ۵ و ۴ و مقادیر منفی در طبقات ۱، ۲ و ۳ قرار دارد (شکل ۵).



شکل ۵: الف) نقشه انحناء دامنه. ب) نقشه وزنی انحناء دامنه حوضه آبریز سرندچای

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-24]
[DOI: 10.61186/jeer.15.4.44]

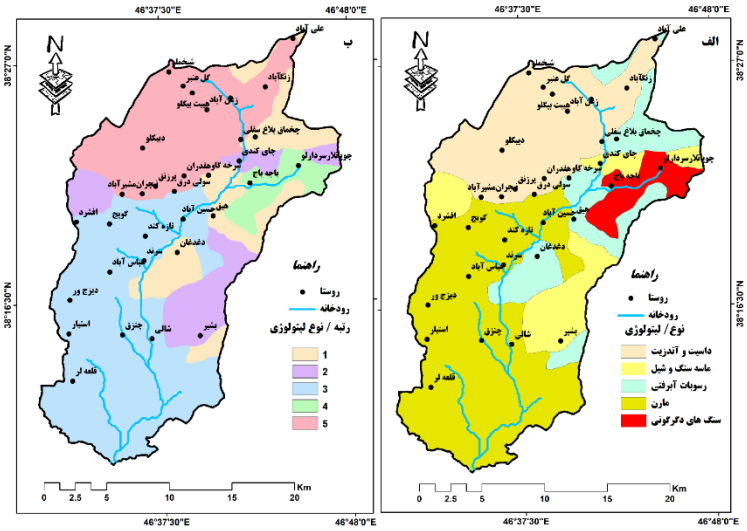
بافت خاک: بافت خاک و ساختار آن با کنترل میزان نفوذ آب و نگهداشت آن، تأثیر زیادی بر سیلاب دارد. خاک‌های با بافت درشت‌دانه به میزان زیادی آب‌های حاصل از بارندگی را به زمین نفوذ داده و باعث تغذیه سفره‌های زیرزمینی و کاهش رواناب و سیلاب می‌شوند. در حالی که اراضی با بافت ریز و فشرده باعث می‌شوند که آب نتواند در زمین نفوذ کند و بخش اعظمی از آب به‌صورت رواناب در سطح زمین جاری می‌گردد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۴۰۲). بررسی خاک‌های منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که بافت خاک این حوضه بیشتر از نوع متوسط تا سنگین با ساختمان فشرده می‌باشد. براساس نتایج حاصل از پروفیل‌های برداشت شده قسمت وسیعی از حوضه را رس و سیلت تشکیل می دهد و این نوع ساختار، خاک را در برابر جریانات آبی حساس‌تر می‌کند. در این منطقه ۵ نوع بافت متفاوت مشاهده می‌شود و بافت ماسه‌ای لومی با ۱۱۱/۷۵ و لومی ماسه‌ای رسی با ۶۵/۳۷ کیلومتر مربع به‌ترتیب بیشترین و کمترین مساحت را به خود اختصاص داده است. همچنین امتیازدهی به هریک از طبقات براساس (جدول ۲) صورت گرفته است (شکل ۶).



شکل۶: الف) نقشه بافت خاک. ب) نقشه وزنی بافت خاک حوضه آبریز سرندچای

نفوذپذیری: نفوذ پذیری، توانایی یک محیط متخلخل را برای عبور دادن آب نشان می‌دهد. یکی از ویژگی‌های مهم رسوبات و سنگ‌ها از نظر حرکت آب زیرزمینی و تشکیل لایه‌های آبدار، ضریب نفوذپذیری آنهاست. واحد ضریب نفوذپذیری، سانتی‌متر بر ثانیه یا متر بر ثانیه است که در عمل به علت کوچک‌بودن این واحدها، غالباً آن را بر حسب متر بر روز بیان می‌کنند (علیزاده، ۱۳۹۸). براساس نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه، این حوضه را از نظر نفوذپذیری می‌توان در ۵ گروه طبقه‌بندی کرد که سنگهای آندزیت و بازالت، ماسه‌سنگ و شیل، رسوبات‌آبرفتی، مارن و سنگ‌های دگرگونی به‌ترتیب ۲۵/۱۳، ۱۱/۹۳، ۱۴/۶۲، ۴۳/۲۲ و ۵/۰۷ درصد حوضه تشکیل داده‌اند (شکل ۷).

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-24]
[DOI: 10.61186/jeer.15.4.44]



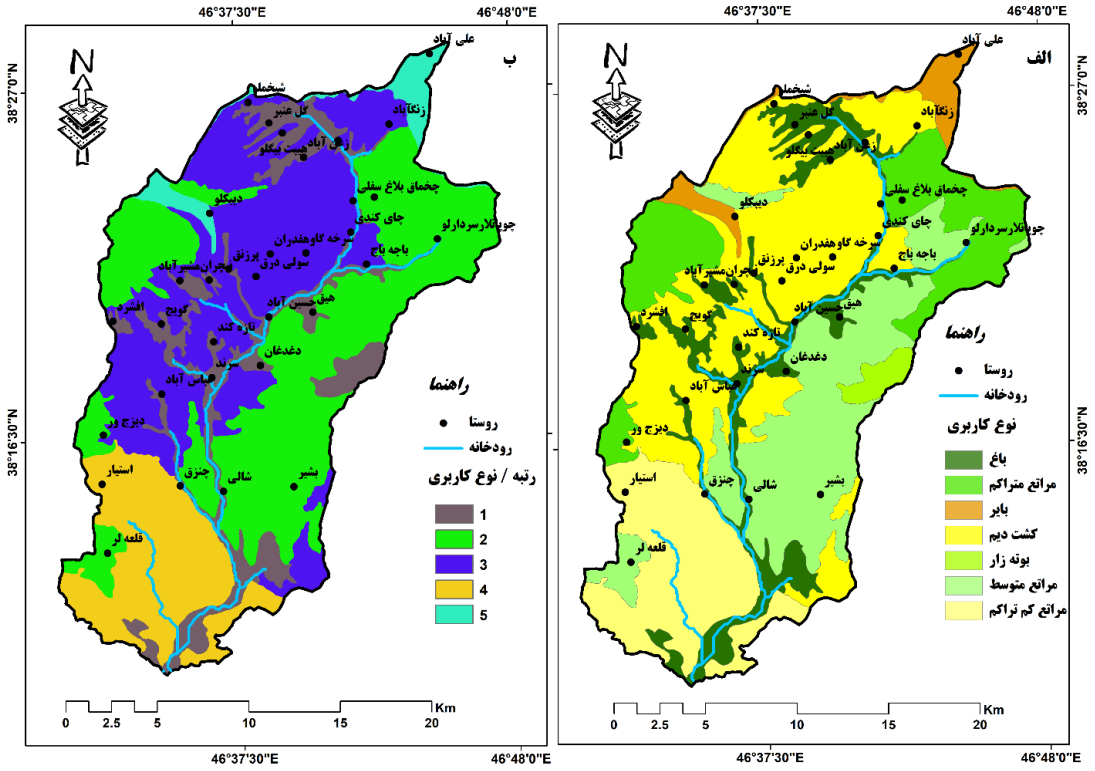
شکل ۷: الف) نقشه لیتولوژی. ب) نقشه وزنی لیتولوژی حوضه آبریز سرندچای

کاربری اراضی: تغییرات کاربری اراضی یکی از عوامل مهم در افزایش خطر وقوع سیلاب‌های ناگهانی محسوب می‌شود. تبدیل اراضی طبیعی به مناطق شهری و کشاورزی موجب کاهش نفوذپذیری خاک، افزایش رواناب سطحی و کاهش زمان تمرکز جریان می‌شود. حذف پوشش گیاهی و گسترش سطوح غیرقابل‌نفوذ، جذب و ذخیره‌سازی آب را کاهش داده و به افزایش شدت و فراوانی سیلاب منجر می‌شود. بنابراین برنامه‌ریزی مناسب کاربری‌اراضی و اجرای راهکارهای مدیریت یکپارچه حوضه‌های آبریز، نقش مهمی در کاهش مخاطرات ناشی از سیلاب‌های ناگهانی ایفا می‌کند. با توجه به نقشه کاربری اراضی ۷ کلاس کاربری در این حوضه وجود دارد و بیشترین مساحت منطقه، مرتع و کشت به صورت دیم می‌باشد (جدول ۳). همچنین تهیه نقشه وزنی براساس (جدول ۱) صورت گرفته است (شکل ۸).

جدول ۳: مقادیر مساحت واحدهای کاربری حوضه آبریز سرند چای

نوع کاربری	باغ	مراتع خوب	بایر	کشت دیم	بوته زار	مراتع متوسط	مراتع فقیر
مساحت/کیلومتر مربع	۵۸/۵	۶۴/۷	۱۵/۹	۱۴۷/۷	۶/۳	۱۰۲/۵۵	۷۰/۳۱
درصد / مساحت	۱۲/۵	۱۳/۸	۳/۴	۳۱/۶	۱/۳۵	۲۲	۱۵/۰۸

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-24]
[DOI: 10.61186/jeer.15.4.44]

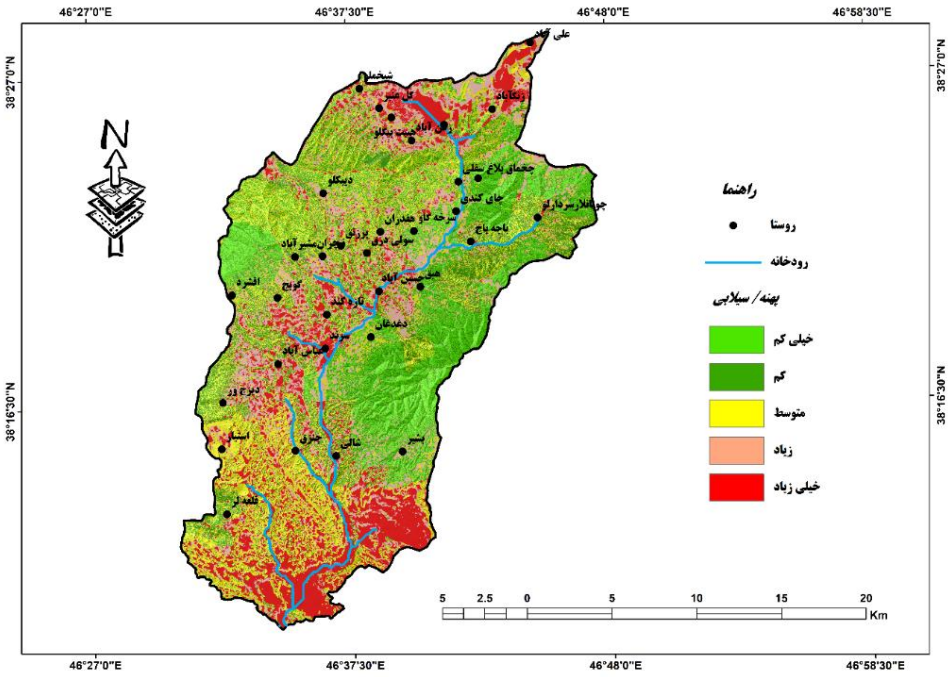


شکل ۸: الف) نقشه کاربری اراضی. ب) نقشه وزنی کاربری اراضی حوضه آبریز سرندچای

پهنه بندی سیلاب ناگهانی براساس مدل MFFPI

نقشه پتانسیل سیلاب ناگهانی در حوضه آبریز سرندچای با استفاده از پارامترهای فیزیوگرافی و مدل MFFPI در محیط نرم‌افزاری ArcMap تهیه و در پنج پهنه با سطوح خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد (شکل ۹). نتایج تحلیل نقشه پهنه‌بندی نشان می‌دهد که مناطق دارای پتانسیل خطر خیلی‌زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم به ترتیب ۱۸/۱، ۱۷/۶۸، ۲۶/۵۵، ۲۲/۸۱، ۱۴/۸۳درصد از مساحت کل حوضه را تشکیل می‌دهند. بررسی توزیع مکانی این پهنه‌ها نشان می‌دهد که مناطق با خطر خیلی‌زیاد و زیاد عمدتاً در بستر رودخانه‌ها و دشت‌های رسوبی با شیب ملایم که به‌صورت عمود بر محور رودخانه قرار دارند، مشاهده می‌شوند. در مقابل، مناطق با خطر متوسط بیشتر در تراس‌های فوقانی و نواحی با خطر کم و خیلی‌کم عمدتاً در مناطق کوهستانی و تپه‌ای واقع شده‌اند. این نتایج نشان‌دهنده تأثیر قابل‌توجه شیب، ارتفاع و ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی بر پتانسیل وقوع سیلاب ناگهانی در منطقه است. همچنین، تحلیل دقیق‌تر داده‌ها نشان می‌دهد که عوامل هیدرولوژیکی و زمین‌شناسی، ازجمله نفوذپذیری خاک و پوشش‌گیاهی، نیز در تعیین میزان خطر سیلاب تأثیرگذار بوده و نقش مهمی در کاهش یا افزایش شدت آن ایفا می‌کنند.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-24]
[DOI: 10.61186/jeer.15.4.44]



شکل ۹: نقشه نهایی پهنه بندی سیلاب ناگهانی با ۶ پارامتر براساس مدل MFFPI

ارزیابی تأثیر معیارها در پتانسیل سیلاب ناگهانی

برای ارزیابی میزان تأثیر هر یک از پارامترها، از آزمون آماری کولموگروف-اسمیرنوف در نرم‌افزار SPSS استفاده شد. همچنین برای بررسی ارتباط بین متغیرها از آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن و رگرسیون خطی چندمتغیره در نرم‌افزار SPSS استفاده گردید. بنابراین پارامترهای فیزیوگرافی به‌عنوان متغیرهای مستقل و لایه پتانسیل سیلاب ناگهانی به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. نتایج تحلیل همبستگی نشان داد که پارامترهای شیب، لیتولوژی و بافت خاک بیشترین تأثیر را بر وقوع سیلاب ناگهانی دارند، درصورتی‌که تراکم جریان و انحناء دامنه کمترین تأثیر را در این حوضه دارند (جدول ۴). مطالعه پیشینه پژوهش نشان می دهد که نتایج حاصل از این پژوهش با یافته های پروین (۱۳۹۸)، عابدینی و فتحی جوکدان، (۱۳۹۸) و رضایی مقدم و همکاران (۱۴۰۲) که در حوضه های مختلف به بررسی و پهنه بندی سیلاب پرداخته اند مطابقت می‌کند. زیرا این محققین نیز در مطالعات خویش به تأثیر بیشتر شیب توپوگرافی، بافت خاک و لیتولوژی اشاره نموده‌اند.

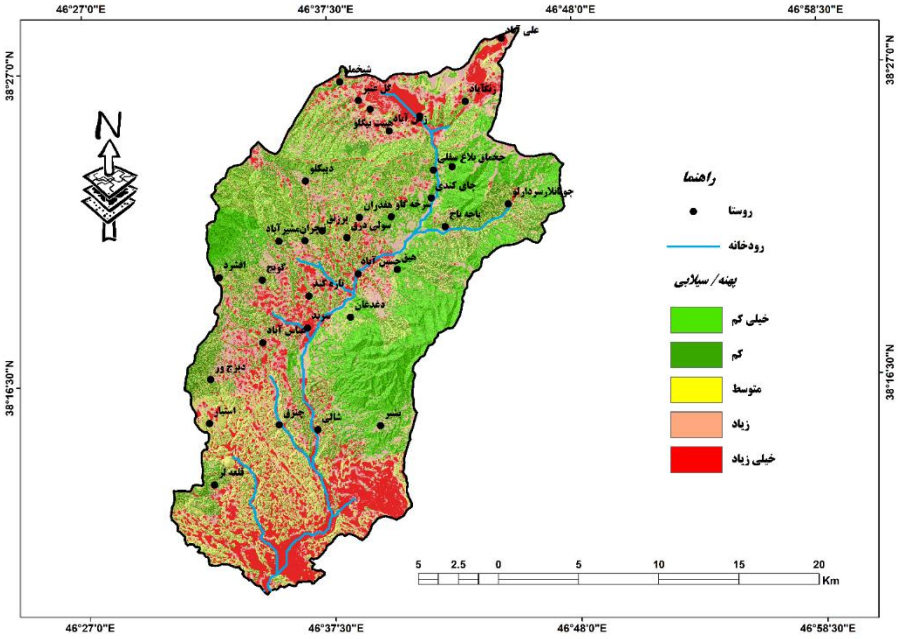
جدول۴: نتایج آماری بین متغییرهای پهنه بندی سیلاب ناگهانی در حوضه آبریز سرندچای

پارامتر		شیب	تراکم جریان	انحناء دامنه	بافت خاک	نفوذپذیری	کاربری اراضی
همبستگی اسپیرمن		۰/۹۱۵	۰/۴۶۷	۰/۴۷۶	۰/۵۵	۰/۶۵۶	۰/۵
رگرسیون خطی چند متغییره	R	۰/۹۱	۰/۴۵	۰/۵	۰/۵۵	۰/۶۲	۰/۴۹
	R^2	۰/۸۳	۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۳۱	۰/۳۸	۰/۲۳۷

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.44]

در مرحله نهایی، پارامترهای شیب، لیتولوژی و بافت خاک که بیشترین تأثیر را در وقوع سیلاب‌های ناگهانی در حوضه آبریز سرند داشتند، شناسایی و انتخاب شدند. سپس وزن هر لایه براساس روش پیشنهادی تینکو و همکاران (۲۰۱۸) و ویژگی های زمین شناسی و ژئومورفولوژی منطقه اعمال گردید و نقشه جدید پهنه‌بندی سیلاب ناگهانی تهیه گردید. این فرآیند به منظور شبیه‌سازی دقیق‌تر خطرات سیلاب و مدیریت منابع آبی به‌طور مؤثر صورت گرفت. این پژوهش می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و اتخاذ تدابیر پیشگیرانه برای کاهش خسارات ناشی از سیلاب‌ها نقش حیاتی ایفا کند (شکل ۱۰).

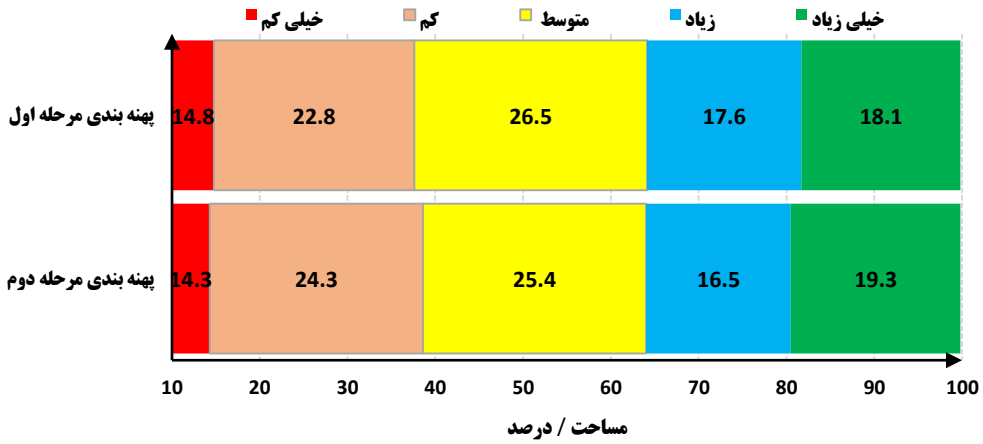


شکل ۱۰: نقشه نهایی پهنه بندی سیلاب ناگهانی براساس پارامتر(شیب، لیتولوژی و بافت خاک)

بررسی و مقایسه نقشه‌ها نشان می‌دهد که تغییرات قابل توجهی در مساحت پهنه‌های خطر مشاهده نمی‌شود. با این حال، تحلیل‌ها حاکی از آن است که از مساحت پهنه‌های با خطر خیلی‌کم، متوسط و زیاد کاسته شده و در عوض مساحت پهنه‌های با خطر کم و خیلی‌زیاد افزایش یافته است این تغییرات می تواند ناشی از حذف تاثیر پارامترهای انحناء دامنه، کاربری اراضی و تراکم آبراهه باشد. (شکل ۱۱). بنابراین، لازم است تا با دقت بیشتری به این تغییرات توجه شود تا بتوان تدابیر لازم برای مدیریت بهتر مناطق پرخطر اتخاذ کرد.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.44]



شکل ۱۱. نمودار مقایسه پهنه های خطر با ۶ پارامتر و ۳ پارامتر

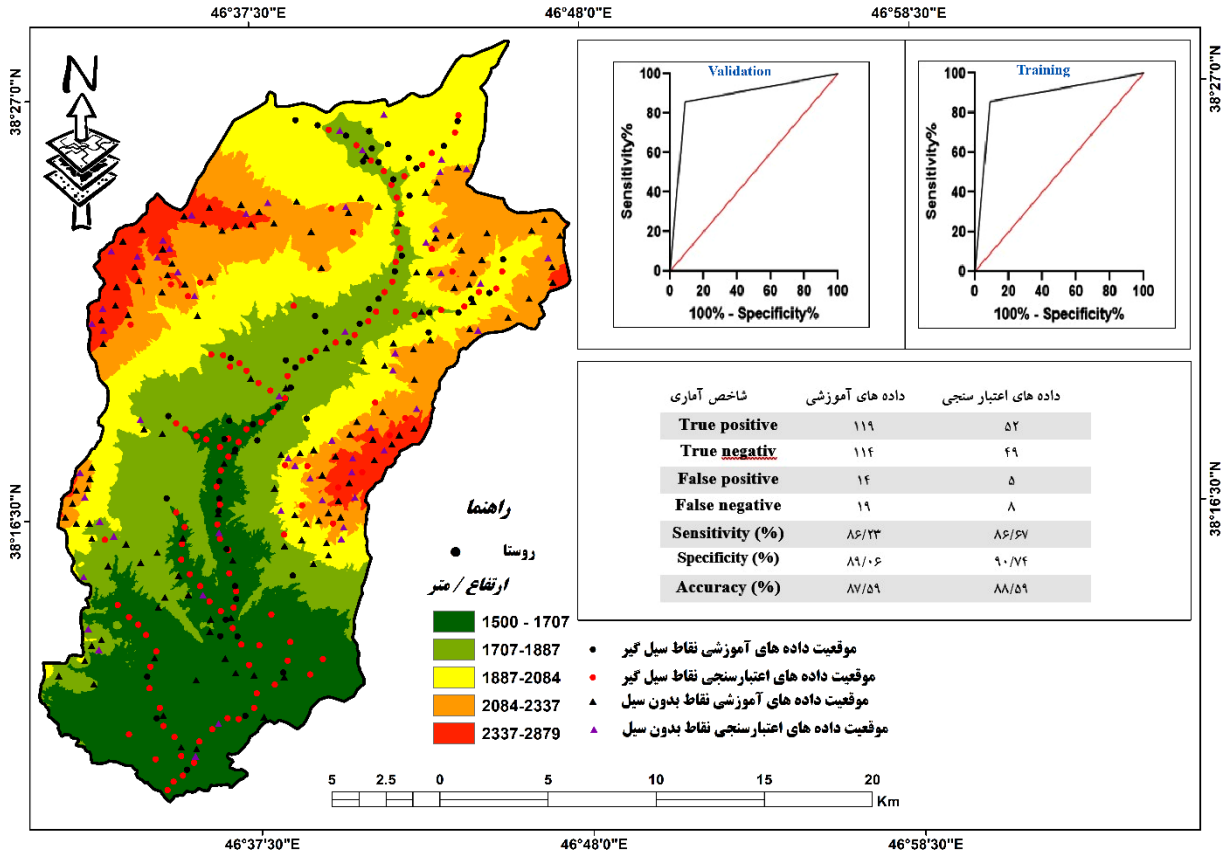
با توجه به نقشه نهایی تعداد زیادی از سکونتگاه‌های انسانی در مناطق کم‌ارتفاع و با شیب کمتر از ۱۰ درجه، به‌ویژه در مناطق حاشیه‌ای رودخانه‌ها و مسیل‌ها، در معرض خطر سیلاب‌های ناگهانی قرار دارند. این مناطق به دلیل ویژگی‌های طبیعی خود، مانند سرعت پایین جریان آب و عدم توانایی در هدایت سیلاب‌ها، به‌طور قابل توجهی آسیب‌پذیر هستند. همچنین، زمین‌های زراعی منطقه مورد مطالعه در نواحی شمالی، پایین‌دست حوضه و نیمه‌غربی آن که عمدتاً به کشت محصولاتی نظیر گندم، جو و عدس اختصاص دارند، در پهنه‌های با خطر زیاد و خیلی زیاد سیلاب قرار دارند. این مناطق به دلیل موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های توپوگرافی، بیشتر در معرض آسیب‌های ناشی از سیلاب‌های ناگهانی و جریان‌های سطحی قرار دارند.

ارزیابی عملکرد مدل MFFPI

نتایج بررسی شاخص های ارزیابی نشان می دهد که مدل MFFPI با ضریب ۸۷/۵۹ دقت خوبی را از نظر داده های آموزشی داشته است. نتایج اعتبار سنجی نیز از نظر سه شاخص آماری ضرایب مطلوب بوده است که بیانگر عملکرد خوب این مدل بوده است. همچنین برای ارزیابی دقت نقشه نهایی حساسیت خطر وقوع سیل در حوضه آبریز سرندچای از منحنی ROC و سطح زیر منحنی در نرم‌افزار SPSS استفاده شد (شکل ۱۲). منحنی ROC نمایشی گرافیکی از موازنه بین نرخ مثبت صحیح و نرخ مثبت غلط برای هر مقدار احتمالی از خطای برش‌ها می باشد. سطح زیر منحنی ROC که به اختصار AUC نامیده می‌شود. بیانگر توانایی یک مدل برای پیش‌بینی پیکسل‌های سیل و بدون سیل باشد. دقت مقادیر سطح زیر منحنی را برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها به صورت زیر طبقه‌بندی کرده است: ۰/۶ -۰/۵، ضعیف؛۰/۷ — ۰/۶، متوسط؛ ۰/۸ — ۰/۷ خوب؛ ۰/۹ — ۰/۸ خیلی خوب؛ و ۱ — ۰/۹عالی. منحنی ROC برای دو نوع داده‌های آموزشی (۱۳۳ نقطه سیل‌گیر و ۱۳۳ نقطه نبود (سیل) و اعتبار سنجی (۵۷ نقطه سیل‌گیر و ۵۷ نقطه نبود سیل) ترسیم شد. نتایج نشان داد که در مورد داده‌های آموزشی، مدل MFFPI با سطح زیر منحنی برابر با ۰/۸۷۵ از دقت خوبی برخوردار است. برای داده‌های اعتبار سنجی نیز این مقدار برابر با ۰/۸۸۳ است که نشان‌دهنده عملکرد خوب این مدل در تهیه نقشه حساسیت خطر وقوع سیل است.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.44]



شاخص آماری	داده های آموزشی	داده های اعتبار سنجی
True positive	۱۱۹	۵۲
True negativ	۱۱۴	۴۹
False positive	۱۴	۵
False negative	۱۹	۸
Sensitivity (%)	۸۶/۲۳	۸۶/۶۷
Specificity (%)	۸۹/۰۶	۹۰/۷۴
Accuracy (%)	۸۷/۵۹	۸۸/۵۹

شکل ۱۲. نقشه موقعیت داده های آموزشی، اعتبارسنجی و نتایج عملکرد مدل MFFPI

۵ـ بحث و نتیجه گیری

برای پهنه بندی سیلاب ناگهانی در حوضه آبریز سرندچای از مدل MFFPI استفاده گردید. برای اجرای این مدل از پارامترهای شیب، انحنای دامنه، تراکم جریان، لیتولوژی، بافت خاک و کاربری اراضی استفاده گردید. در مرحله دوم براساس نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون چند متغیره، لایه‌های شیب، لیتولوژی و بافت‌خاک که بیشترین تأثیر را داشتند جهت تولید نقشه نهایی سیلاب ناگهانی استفاده شد. نتایج حاصل از هر دو نقشه MFFPI نشان داد که توزیع فضایی پهنه‌های پتانسیل خطر سیلاب ناگهانی از ویژگی های توپوگرافی حوضه آبریز سرند چای تبعیت می‌کند. مناطق دارای پتانسیل خطر کم و خیلی کم مناطق مرتفع وکوهستانی تشکیل می دهند. 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 سرندچای واقع شده‌اند، زیرا این نواحی به دلیل شرایط توپوگرافی شیب (کم نسبت به انباشت و تجمع آب) مستعد هستند. همچنین یافته های خطیبی (۱۳۹۸) در حوضه مجاور منطقه مورد مطالعه نشان می دهد که هرچند متوسط بارش سالانه در طی سال‌های اخیر کاهش یافته، اما بررسی بارش‌های روزانه در ایستگاه‌های هواشناسی نشان‌دهنده افزایش بارش‌های رگباری است. بنابراین رخداد بارش‌های شدید روزانه باعث شکل‌گیری رواناب‌های عمیق با حجم زیاد و در نتیجه سیلاب ناگهانی در کمترین زمان می‌گردد. علت تأثیرگذاری بیشتر پارامترهای لیتولوژی و بافت خاک پس از عامل شیب، در مقایسه با سایر عوامل را می‌توان به ویژگی‌های زمین‌شناسی و خاک‌شناسی منطقه نسبت داد. در نواحی مرتفع

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-24]
[DOI: 10.61186/jeer.15.4.44]

و کوهستانی، حضور لیتولوژی مقاوم مانند سنگ‌های آذرین و سازندهای کرتاسه از یک سو، و وجود رس و مارن در بافت خاک از سوی دیگر، موجب اختلال در تعادل میان فرآیندهای رواناب سطحی و نفوذ آب به داخل خاک می گردد. این شرایط سبب کاهش نفوذپذیری خاک و کاهش آستانه سطح تمرکز رواناب در واحد سطح می‌گردد که در نهایت، در هنگام وقوع بارش‌های رگباری، منجر به افزایش رواناب سطحی می‌شود. همچنین می توان بیان کرد که تغییرات کاربری اراضی، برهم زدن شیب دامنه ها همچون جاده سازی، فرسایش خندقی و غیراصولی بودن شخم در امتداد شیب هیدرولیکی در دامنه های کم شیب حوضه آبریز سرند چای از جمله عواملی هستند که در شکل گیری سریع جریان های آبی در زمان ریزش باران های شدید و رگباری نقش مهمی ایفا می کنند. نتیجه بررسی میزان دقت و کارایی مدل MFFPI نشان داد که این مدل به ترتیب با ضرایب ۸۷/۵۹ و ۸۸/۵۹ برای داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی، عملکرد خوبی در تهیه نقشه حساسیت خطر وقوع سیل داشته است. بنابراین مدیریت حوضه های آبریز کوهستانی خصوصا 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. یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های این پژوهش، کمبود یا فقدان داده‌های هیدرولوژیکی دقیق و قابل اعتماد در منطقه مورد مطالعه است. این کمبود موجب می‌شود امکان مقایسه نتایج حاصل از مدل مورد استفاده با نتایج سایر مدل‌های هیدرولوژیکی فراهم نباشد و در نتیجه، ارزیابی دقیق‌تری از میزان کارایی مدل انجام نگیرد.

منابع

1. Abedini, M., & Beheshti Javid, E. (2016). Flood Risk Zoning in the Liqvan Chai Basin Using Network Analysis Process and Geographic Information System. *Geographical Space Quarterly, 16(55), 293-312.* (in persian)
2. Abedini, M., & Fathi Jokdan, R. (2016). Flood Risk Zoning in the Korganrud Basin Using ArcGIS. *Hydrogeomorphology*, 3(7), 1-17. (in persian)
3. Alizadeh, A. (2011). *Principles of Applied Hydrology*. Ferdowsi University of Mashhad Press. (in persian).
4. Azadi, Fahimeh, Sadouq, Seyed Hassan, Ghahrudi, Manijeh and Shahabi, Heiman. (2019). Zoning of flood risk sensitivity in the Kashkan River watershed using two WOE and EBF models. Geography and Environmental Hazards, 9(1), 45-60. doi: 10.22067/geo. v9i1.83090
5. Bayati Khatibi, Maryam and Karami, Fariba. (2019). Determining the contribution of sudden protrusions in the rate of gully erosion on sloping surfaces: a case study: Ojan Chay sub-basin. Quantitative Geomorphological Research, 8(2), 38-51.
6. Cao, C., Xu, P., Wang, Y., Chen, J., Zheng, L., & Niu, C. (2016). Flash flood hazard susceptibility mapping using frequency ratio and statistical index methods in coalmine subsidence areas. *Sustainability, 8*(9), 948. https://doi.org/10.3390/su8090948
7. Ceru, J. (2012). Flash Flood Potential Index (FFPI) for Pennsylvania. Proceedings. In *2012 ESRI Federal GIS Conference*. https://doi.org/10.1515/geo-2018-0047
8. Chadee, D. D., Sutherland, J. M., & Agard, J. B. (Eds.). (2014). *Flooding and Climate Change: Sectorial Impacts and Adaptation Strategies for the Caribbean Region*. Nova Publishers.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.44]

9. Faramarzi, H., Hosseini, S. M., Pourghasemi, H. R., & Farnaghi, M. (2019). Evaluation and Zoning of Flood Risk in Golestan National Park. *Ecohydrology Journal, 6(4),* 1055-1068. (in persian) doi: 10.22059/ije.2019.285430.1163

10. Farhan, Y., Anaba, O., Salim, A., (2017). Morphometric Analysis and flash floods assessment for drainage basins of the Ras En Naqb Area, South Jordan using GIS, *Applied Morphometry and Watershed Management Using RS, GIS and Multivariate Statistics* (Case Studies), 413 p.

11. Fathalizadeh, B., Abedini, M., & Rajabi, M. (2020). Investigating the causes and hazards of flood in Zunuzchay watershed using HEC-HMS hydrological model and fuzzy logic. *Quantitative Geomorphological Research*, *9*(1), 134-155. (in persian).doi: 10.22034/gmpj.2020.109539

12. Fisher, P., Wood, J., & Cheng, T. (2004). Where is Helvellyn? Fuzziness of multi-scale landscape morphometry. *Transactions of the Institute of British Geographers*, *29*(1), 106-128.

13. Ghanavati, E., Karam, A., & Aghaalikhani, M. (2012). Evaluation and Zoning of Flood Risk in the Farahzad Basin (Tehran) Using the Fuzzy Model. *Journal of Geography and Environmental Planning, 23(4),* 121-138. (in persian)

14. Gomez, H., Kavzoglu, T., 2005. Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin. *Venezuela. Eng. Geol*. 78 (1-2), 11–27.

15. Guhathakurta, P., Sreejith, O. P., & Menon, P. A. (2011). Impact of climate change on extreme rainfall events and flood risk in India. *Journal of earth system science*, *120*, 359-373. doi:10.1007/s12040-011-0082-5

16. Hejazi, A., Negahban, S., Mousavi, M., & Aminzadeh, M. (2024). Assessment and mapping of urban watershed flood by using fuzzy VIKOR and weighted linear combine models (Case study: Catchment Izeh-Khuzestan). *Quantitative Geomorphological Research*, *13*(2), 51-70. (in persian) doi: 10.22034/gmpj.2024.452640.1499

17. Jahangir, M. H., Reineh, S. M. M., & Abolghasemi, M. (2019). Spatial predication of flood zonation mapping in Kan River Basin, Iran, using artificial neural network algorithm. *Weather and Climate Extremes*, *25*, 100215. doi:10.1016/j.wace.2019.100215

18. Jemai, S., Belkendil, A., Kallel, A., & Ayadi, I. (2024). Assessment of flood risk using Hierarchical Analysis Process method and Remote Sensing systems through arid catchment in southeastern Tunisia. *Journal of Arid Environments*, *222*, 105150. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2024.105150

19. Kale, R.V., Jose, P.G., Taloor, A.K., Kumar, R., 2022. Assessment of digital elevation models based on the drainage morphometric parameters for the Tawi River Basin. In: Advanced Modelling and Innovations in *Water Resources Engineering. Springer, Singapore*, pp. 119–140. doi:10.1007/978-981-16-4629-4_10

20. Kruzdlo, R., & Ceru, J. (2010, June). Flash flood potential index for WFO Mount Holly/Philadelphia. In *Eastern region flash flood conference, poster session, NOAA's National Weather Service* (pp. 2-4).

21. Mahmoudzadeh, H., Yari, F., & Vahedi, A. (2017). Application of Remote Sensing and GIS Techniques for Flood Risk Zoning in Urmia City Using a Multi-Criteria Analysis Approach. *Physical Geography Research, 49(3),* 719-730. (in persian) doi: 10.22059/jphgr.2018.210916.1006894

22. Mirchouli, Fahimeh, Gholami, Isa and Borughni, Mehdi. (1402). Zoning of flood susceptibility in the Famnat watershed, Gilan province. Water and Soil, 37(6), 841-853. doi: 10.22067/jsw.2023.84146.1328

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.44]

23. Nosrati, A. (2000). Zoning of Flood Susceptibility in the Gaveh Rud Basin Using Remote Sensing and GIS. *Applied Research in Geographical Sciences,* 3-4, 49-58. (in persian)

24. 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*, 100028. https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100028

25. Parvin, M. (2019). Assessment and Zoning of Flash Flood Risks based on MFFPI Model (Case Study: Islamabad Basin). *Environmental Management Hazards*, *6*(2), 169-184. (in persian) doi: 10.22059/jhsci.2019.283544.480

26. Pike, R. J. (2000). Geomorphometry-diversity in quantitative surface analysis. *Progress in physical geography*, *24*(1), 1-20.

27. Popa, M. C., Simion, A. G., Peptenatu, D., Dima, C., Draghici, C. C., Florescu, M. S., ... & 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*, *13*(4), e12624. https://doi.org/10.1111/jfr3.12624

28. Rajabi, A. M., Rajaee, T., & Fallah Tafti, A. (2018). Flood zoning of Chalus basin using hydrologic model of HEC-RAS and Geographic Information System. *Scientific Quarterly Journal of Iranian Association of Engineering Geology*, *11*(2), 45-60. (in persian)

29. Rezaei Moghaddam, M. H., & Behboudi, A. (2018). Flood Zoning in the Sarand Chai Basin Using GIS. *National Conference on Natural Hazards in Iran: Prediction and Early Warning Methods, December* 22, 2018. (in persian)

30. Rezaei Moghaddam, M. H., Mokhtari, D., & Shafiei Mehr, M. (2021). Flood hazard zoning in the Shahr Chai watershed of Mianeh using the VIKOR model. Hydrogeomorphology, 8(28), 19-37. (in persian) doi: 10.22034/hyd.2021.40169.1536

31. Rezaei Moghaddam, M. H., Rajabi, M., Rahimpour, T., & Farazian, A. (2025). Flooding Assessment of Qaleh Chai Basin Using MABAC Multi Criteria Decision Making Method. *Environmental Management Hazards*, *11*(4), 323-337. (in Persian) .doi: 10.22059/jhsci.2025.387824.861

32. Samela, C., Albano, R., Sole, A., & Manfreda, S. (2018). A GIS tool for cost-effective delineation of flood-prone areas. *Computers, Environment and Urban Systems*, *70*, 43-52. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.01.013

33. Saraaf, I. P., Mohagheghzadeh, G., & Mohagheghzadeh, N. (2017). Flood Zoning of the Shapur Khast River Using Aerial Images. *Geographical Space Quarterly, 17(57),* 175-194. (in persian)

34. Shabanlou, S., Sedghi, H., Saghafian, B., & Mousavi, S. H. (2008). Flood zoning in Golestan's rivers network using GIS. *Iranian Water Researches Journal*, *2*(2), 11-22. (in persian)

35. Smith, G. (2003). Flash flood potential: Determining the hydrologic response of FFMP basins to heavy rain by analyzing their physiographic characteristics. *Salt Lake City: NWS Colorado Basin River Forecast Center*.

36. Taha, M. M., Elbarbary, S. M., Naguib, D. M., & El-Shamy, I. Z. (2017). Flash flood hazard zonation based on basin morphometry using remote sensing and GIS techniques: A case study of Wadi Qena basin, Eastern Desert, Egypt. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *8*, 157-167. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.08.007

37. Taloor, A. K., Sharma, S., Sharma, D., Chib, R., Jasrotia, R., Gupta, S., ... & Kale, R. V. (2024). Estimation of MFFPI for flood hazards assessment using geospatial technology in the Tawi Basin, India. *Geosystems and Geoenvironment*, *3*(1), 100233. https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2023.100233

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.44]

38. Tian, J., Xiao, T., & Zeng, S. (2025). Intelligent identification of flood risks and resilience planning in piedmont areas with nature-based solutions. Ecological Indicators, 172, 113274. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113274

39. 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. https://doi.org/10.1515/geo-2018-0047

40. Toda, L. L., Yokingco, J. C. E., Paringit, E. C., & Lasco, R. D. A LiDAR-based flood modeling approach for mapping rice cultivation areas in Apalit, Pampanga. *Applied Geography*, 2017; 80: 34-47. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.020

41. Valizadeh, K. K., Delire, H. R., & Azari, A. K. (2019). Flood zoning and its impact on land use in the surrounding area using unmanned aerial vehicles (UAV) images and GIS. (in persian) http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1398.10.3.4.5

42. Vasu, N. N., Lee, S. R., Pradhan, A. M. S., Kim, Y. T., Kang, S. H., & Lee, D. H. (2016). A new approach to temporal modelling for landslide hazard assessment using an extreme rainfall induced-landslide index. *Engineering Geology*, *215*, 36-49. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2016.10.006

43. 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 Southestern China, *Ecological Indicators*, 154, pp 1-11. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110686

44. Waleed, M., & Sajjad, M. (2025). High-resolution flood susceptibility mapping and exposure assessment in Pakistan: An integrated artificial intelligence, machine learning and geospatial framework. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *121*(10544), 2. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2025.105442

45. Wood, J. (2023). Scale-based characterisation of digital elevation models. In *Innovations in GIS* (pp. 163-175). CRC Press.

46. Yao, J., Zhang, X., Luo, W., Liu, C., & Ren, L. (2022). Applications of Stacking/Blending ensemble learning approaches for evaluating flash flood susceptibility. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *112*, 102932 https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102932

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.44]