

Research Paper



Analyzing the factors influencing flooding in the Hor Roud catchment areas and identifying high-risk zones using the fuzzy-TOPSIS model



Mohamad Sharifi Paichoon¹ , Leyla Mousavi²

1. Associate Prof. of geomorphology, Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran, Email: mscharifi@yazd.ac.ir

2. Master of Science in Geomorphology, Yazd University, Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran,

Email: leylaa.moosavi@gmail.com

Keywords

Flood risk, zoning, TOPSIS, Fuzzy logic, Hor Roud, Lorestan.

ABSTRACT

Introduction

Flooding, while a natural phenomenon that contributes to the formation of fertile plains and agricultural terraces, is now recognized as one of the most significant natural disasters globally. In Iran, floods are notable for both their frequency and severity, with approximately 40 floods occurring annually across various regions. The increasing frequency and impact of floods, including financial losses and human casualties, have heightened interest in flood studies and risk assessment across multiple disciplines. Currently, identifying the factors that influence flooding and quantifying their effects in different parts of river basins is crucial for flood prediction efforts. This research focuses on evaluating the key factors contributing to flooding and assessing their impact within the Hor Roud catchment. Geographically, the catchment spans from 48°15' to 49° east longitude and 32°22' to 32°52' north latitude, located north and northeast of Khorramabad, south and southwest of Al-Shater, and west and southwest of Borujerd. Geomorphologically, the Hor Roud catchment is part of the elevated Zagros unit and belongs to the Karkheh basin.

Methodology

Initially, the key indicators influencing flooding were identified based on prior research and expert knowledge, including factors such as precipitation, soil type, lithology, land use, drainage network, elevation, slope, and slope orientation. Geographic maps corresponding to these indicators were then created and formatted as informational layers. These layers were converted to raster format and reclassified based on their data values and relevance to flooding. Since all parameters contribute to flooding but with varying intensity and significance, and because the boundaries between the classes of layers on the ground are not always clearly defined, the information layers were fuzzified for improved accuracy. Depending on the characteristics of each layer and its effect on flooding, linear and triangular functions were applied for fuzzification. The fuzzy layers were then integrated using multiplication and gamma (0.7 and 0.9) operators. When compared with actual flood data, the gamma 0.9 operator yielded the highest accuracy. However, the final map still did not fully align with the flood data for the area. To address this discrepancy, the multi-criteria decision-making technique "TOPSIS" was employed to identify the most

Received: 2025/01/12

Accepted: 2025/03/11

Published: 2025/10/20

*Correspondin Author: Name and surname E-mail: mscharifi@yazd.ac.ir

How to cite this article: Sharifi Paichhon, Mohamad& Mousavi, Leyla (2025). Analyzing the factors influencing flooding in the Hor Roud catchment areas and identifying high-risk zones using the fuzzy-TOPSIS model. *Hydrogeomorphology*, 12(44): 36 – 54.

DOI: [10.22034/hyd.2025.65399.1774](https://doi.org/10.22034/hyd.2025.65399.1774)



Copyright: © by the authors

Publisher: University of Tabriz

Results and Discussion

The results indicated that all the defined parameters influence flooding, though with varying degrees of impact and significance. According to the flood zone map, the most critical factors contributing to flooding in the Hor Roud basin include slopes ranging from 0-10%, aspects between 315-360 degrees, elevation classes of 1500-1800 meters, hydrological group D soils, cultivated land use, conglomerate stones, the proximity of 300 meters from main streams, and precipitation levels between 500-800 mm. The fuzzy method map revealed that the highest flooding intensity occurs at lower elevations and slopes, particularly near the mainstream of the basin, where extensive areas are used for cultivation. Thus, the flood map derived from the fuzzy-TOPSIS method highlights the relative importance and prioritises the parameters influencing flooding.

Conclusions

The final results, obtained from a fuzzy logic map and a multi-criteria decision-making technique, indicated that distance to the mainstream, lithology, and land use were the most influential factors contributing to flooding in the Hor Roud catchment. The maximum flooding occurs along the banks of the main rivers, where conglomerate, marl, and clay soils are cultivated. These areas align with the low-slope and low-elevation zones in the central part of the basin. However, at lower elevations and with shallower slopes, where flooding is typically more severe, the presence of limestone and the lack of an adequate drainage system on these rocks have led to significantly lower flooding. This map closely reflects the actual flooding patterns in the region, suggesting that the model used demonstrates high accuracy, particularly in mountainous basins. Furthermore, when determining membership degrees in fuzzy logic, linear and triangular membership functions, especially the latter, offer higher precision, and the Gamma 0.9 operator is the most effective for data integration. Nonetheless, the TOPSIS method is valuable for identifying the most significant flooding criteria.

مقاله پژوهشی



بررسی عوامل موثر بر سیل خیزی حوضه آبریز هر رود لرستان و تعیین مناطق پر ریسک با استفاده از مدل Fuzzy-TOPSIS

محمد شریفی پیچون^۱، لیلا موسوی^۲۱- دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران. mscharifi@yazd.ac.ir۲- کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران. leylaa.moosavi@gmail.com

چکیده

کلیدواژه‌ها

مطالعات پهنه‌بندی خطر وقوع سیل و ارزیابی میزان خطرات آن امروزه به دلیل افزایش فراوانی و شدت آن از یک سو و اثرگذاری و پیامدهای خسارت بار مالی و جانی آن از سوی دیگر، مورد توجه علوم مختلف قرار گرفته است. در حال حاضر تعیین مؤلفه‌های مؤثر بر سیل خیزی و مقدار اثرگذاری هر کدام از آن‌ها در بخش‌های مختلف حوضه‌ها از مهم‌ترین مسائل در زمینه برآورد خطر وقوع سیل است. بر پایه این نظر، این پژوهش به دنبال بررسی اثرات عوامل مهم ایجاد سیل، تعیین اهمیت آنها و شدت اثرات هر عامل در بخش‌های مختلف حوضه آبریز هر رود در استان لرستان است. برای این مهم از روش فازی-تاپسیس استفاده شده است. ابتدا مهم‌ترین شاخص‌ها بر حسب مطالعات قبلی و تجربه شامل بارش، لیتولوژی، خاک، کاربری اراضی، شبکه زهکشی، ارتفاع، شیب و جهت شیب مشخص شدند. سپس، این شاخص‌ها به شکل لایه‌های اطلاعاتی درآمده و بازطبقه‌بندی گردیدند. به منظور فازی‌سازی لایه‌ها، برای هر یک از آن‌ها بر حسب نوع اثرگذاری، توابع عضویت خاصی تعریف گردید. یافته‌ها نشان داد که توابع عضویت خطی شامل مثلثی و ذوزنقه‌ای عملکرد بهتری در فازی‌سازی داده‌ها داشته‌اند و عملگر فازی گامای ۰.۹ همبستگی بالاتری را بین مؤلفه‌های تعریف شده در سیل‌خیزی نشان داد. بر اساس این نقشه، شیب‌های ۰-۱۰ درصد، جهت شیب ۳۱۵-۳۶۰ درجه، طبقات ارتفاعی ۱۵۰۰-۱۸۰۰ متر، خاک‌های گروه هیدرولوژیکی D، کاربری‌اراضی کشت دیم، سنگ‌های کنگلومرا، فاصله ۳۰۰ متری آبراهه‌های اصلی و بارش‌های ۵۰۰-۸۰۰ میلی‌متر مهم‌ترین سطوح در ایجاد پهنه‌های سیل‌خیز حوضه بوده‌اند. نتیجه نقشه حاصله از مدل فازی-تاپسیس نشان داد که جنس زمین و کاربری زمین بویژه در ساحل رودخانه اصلی در مناطق میانی حوضه، مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده سیل‌خیزی از نظر فراوانی و شدت است که با واقعیت‌های حوضه مطابقت دارد.

پهنه‌بندی خطر وقوع سیل،
منطق فازی، تاپسیس،
حوضه آبریز هر رود، لرستان.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۲۸

ارجاع به این مقاله: شریفی پیچون، محمد؛ موسوی، زینب (۱۴۰۴). عنوان مقاله، بررسی عوامل موثر بر سیل‌خیزی حوضه آبریز هر رود لرستان و تعیین مناطق پر ریسک با استفاده از مدل Fuzzy-TOPSIS. هیدروژنومورفولوژی، ۱۲ (۴۴): ۵۴-۲۶.

*نویسنده مسئول شریفی پیچون، محمد
رایانامه: mscharifi@yazd.ac.ir

شناسه دیجیتال: 10.22034/hyd.2025.65399.1774



Copyright: © 2025 by the authors

Publisher: University of Tabriz

مقدمه

سیل به عنوان یک رخداد طبیعی یک موهبت طبیعت نیز بوده و بسیاری از دشت‌ها و تراس‌های حاصل‌خیز کشاورزی و منابع آب در بسیاری از مناطق دنیا از پیامدهای این رخداد هستند. با این وجود، امروزه سیل به عنوان بزرگ‌ترین بلای طبیعی در جهان به شمار می‌رود و تنها در یک دهه، از سال ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۷ حدود ۳۹۰۰۰۰ نفر در اثر بلایای طبیعی در سطح جهان کشته شدند که ۵۸ درصد آن مربوط به سیلاب می‌شود (وزارت نیرو، ۱۳۹۵). این حادثه در ایران نیز هم از نظر فراوانی و هم از نظر شدت چشمگیر بوده و براساس مطالعات انجام گرفته سالانه نزدیک به ۴۰ رخداد کوچک و بزرگ سیل در اقصی نقاط ایران زمین به وقوع می‌پیوندد (وزارت نیرو، ۱۳۸۵). در سال‌های اخیر، رشد شهرها و صنایع در دشت‌های سیلابی به ویژه در حاشیه رودخانه‌ها موجب شده تا ساکنین و اماکن موجود در منطقه در معرض خطر سیل باشند (نووتنی و اولم^۱، ۱۹۹۴). از این رو، در کنترل و مبارزه با این پدیده، شناخت عوامل و پارامترهای موثر بر سیلاب اهمیت بسیار زیادی دارد (اسمیت^۲، ۱۹۹۲). فراوانی رخداد سیل و خسارات‌های مالی و جانی آن در دنیا سبب توجه محققین زیادی به آن به ویژه در چند دهه اخیر شده است که عمده آن‌ها پارامترهای اثرگذار بر سیل را با استفاده از مدل‌ها و تکنیک‌های مختلف بررسی و مناطق پرخطر را مشخص نموده‌اند. جیمز و همکاران^۳ (۱۹۸۰) به پهنه‌بندی خطر سیل در ایالت یوتای آمریکا اقدام و اظهار داشتند که مناطق سیل گیر طی زمان‌های مختلف از نظر خطر تغییر پیدا می‌کنند. وندرسندز^۴ و همکاران^۵ (۲۰۰۳) با استفاده از تصویر ماهواره‌ای ایکونوس، سیلاب را با استفاده از مدل LISFOOD در بخش‌های جنوبی هلند جهت برآورد خطر و خسارت‌های احتمالی ناشی از آن طبقه‌بندی نمودند. مارتینز^۶ و همکاران^۷ (۲۰۰۷) حرکت سیلاب‌ها را در مقاطع مختلف در حوضه آمازون مورد بررسی قرار دادند. تورگرسن^۸ و همکاران^۹ (۲۰۰۷) به ارزیابی اثرات سیلاب در محدوده‌های شهری با استفاده از تکنیک مدل‌سازی چند متغیره (حداقل مربعات) پرداختند. سیرینیوس^{۱۰} و همکاران^{۱۱} (۲۰۰۸) به منظور ارزیابی تناوب سیل‌گیری منطقه‌ای روشی تلفیقی را با استفاده نقشه عوارض خود سازمان‌یافته و الگوریتم c-mean خوشه‌بندی فازی مورد استفاده قرار دادند. اسپاشینگر^{۱۲} و همکاران^{۱۳} (۲۰۰۸) بر روی ریسک سیلاب برای تهیه نقشه خطر سیل مطالعه‌ای را انجام و بیان کردند که مدل‌های هیدرولوژیکی برای پیش‌بینی سیل و سیستم هشدار سیل بسیار حیاتی هستند. کوک^{۱۴} و همکاران^{۱۵} (۲۰۰۹) به بررسی تاثیر داده‌های توپوگرافیکی، پیکربندی ژئومتریک و انواع روش‌های مدل‌سازی بر روی نقشه طغیان سیلاب بر روی رودخانه استرودوس^{۱۶} و برازوس^{۱۷} اقدام کردند. فرناندز و لوتز^{۱۸} (۲۰۱۰) نقشه خطر سیل را در استان تاسمان در آرژانتین بر اساس شاخص‌های فاصله تا شبکه زهکشی، توپوگرافی، کاربری اراضی و سطح آبهای زیرزمینی تهیه و ترسیم نمودند. چن^{۱۹} و همکاران^{۲۰} (۲۰۱۱) با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای فازی و مساحت تحت تاثیر قرار گرفته، تعداد تلفات جانی، تعداد خانه‌های تخریب شده و میزان خسارات اقتصادی مستقیم ناشی از سیل را در طبقه‌بندی خطر سیلاب در ۳۰ استان چین به کار گرفتند. گلشن^{۲۱} و همکاران^{۲۲} (۲۰۱۶) به پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از HEC-RAS در محیط GIS در منطقه آب‌وهوایی نیمه‌خشک پرداختند. کوچکا^{۲۳} و همکاران^{۲۴} (۲۰۱۶) و زین^{۲۵} و همکاران^{۲۶} (۲۰۱۸) نیز به ارزیابی خطر سیل با استفاده از تکنیک‌های مختلف برای تهیه نقشه‌های خطر و پهنه‌بندی آن مطالعاتی را انجام داده‌اند. لی^{۲۷} و همکاران^{۲۸} (۲۰۱۶) پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از یک قاعده استخراج شده مبتنی بر کلونی مورچه‌ها را انجام دادند و بیان داشتند که نقشه پهنه‌بندی سیل بر اساس این روش کارآمد بوده و از دقت و سرعت زیادی برخوردار است. کیتی‌پونگ‌ویسس^{۲۹} و همکاران^{۳۰} (۲۰۲۰) برای ارزیابی خطر سیل در جوامع نزدیک به سایت میراث جهانی آیوتا در تایلند از روش AHP-GIS استفاده نمودند و نشان دادند که رواناب و احداث جاده‌های جدید از عوامل اصلی سیلاب‌های اخیر در منطقه بوده است. گنجی و همکاران^{۳۱} (۲۰۲۲) به ارزیابی آسیب‌پذیری سیلاب رودخانه آق‌قلا و پهنه‌بندی مناطق سیل‌خیز با استفاده از شاخص‌های توپوگرافی، آب و هواشناسی، عامل انسانی، زمین‌شناسی و مورفولوژی و روش تصمیم‌گیری چندشاخصه

1 Novotney & Olem

2 Smith

3 VanderSandz

4 Martinez

5 Torgersen

6 Srinivas

7 Spachinger

8 Cook

9 Strouds

10 Brazos

11 Fernands

12 Chen

13 Golshan

14 Kvočka

15 Zin

16 Lai

17 Kittipongvises

سلسله مراتبی فازی از یک سو و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از دیگر سو اقدام نمودند. مطالعات آن‌ها نشان داد که استفاده از داده‌های سنجنش از دور و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به طور همزمان نتایج قابل اعتمادی را به همراه دارد. گائو^۱ و همکاران (۲۰۲۳) به ارزیابی خطر و پهنه‌بندی فاجعه سیل در منطقه وچنگ‌خيو^۲ در چین پرداختند و بیان داشتند که روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تهیه نقشه منطقه‌بندی خطر اهمیت زیادی دارد. بر این اساس و همچنین بر اساس تراکم جمعیت، میزان خطرات تهدید سیل در بخشهای مختلف منطقه مورد مطالعه را مشخص نمودند. گاکول (۲۰۲۴) در یک مطالعه‌ای به شناسایی مناطق خطر سیل با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی در محیط GIS در سانتافه فیلیپین پرداختند. ایشان در پژوهش خود از شاخص‌هایی مانند میانگین بارندگی سالانه، ارتفاع، شیب، نوع خاک، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده و انواع سازه ساختمان‌ها را در نظر داشتند و بر پایه‌ی این پارامترها مناطق پرخطر را در منطقه سانتافه ارزیابی نمودند. ژو و لیو^۳ (۲۰۲۴) به بررسی ارتقای ارزیابی ریسک سیل و پهنه‌بندی دینامیکی با استفاده از مدل هیدرولوژیکی-هیدرودینامیکی و روش وزن‌دهی اطلاعات مکانی و زمانی پرداختند و بیان داشتند که این نوع مدل‌سازی‌ها پیش‌بینی سیلاب را در مقیاس بزرگ افزایش داده و تجزیه و تحلیل دقیق تغییرات خطر سیل در طول زمان در حوضه‌ها را ارائه می‌دهد.

در ایران نیز در دو دهه اخیر مطالعات نسبتاً خوبی در زمینه پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در حوضه‌های آبریز با روش‌ها، رویکردها، مدل‌ها و تکنیک‌های مختلفی انجام گرفته است که چند مورد از مهم‌ترین آن‌ها در اینجا اشاره شده است. قنواتی (۱۳۸۲) به بررسی سیلاب در حوضه رودخانه گاماسیاب با استفاده از روش آماری رگرسیون چند متغیره پرداخته است. خلیلی‌زاده (۱۳۸۲) در پژوهشی به ارزیابی خطر وقوع سیل در طول بخشی از رودخانه زیارت در شهر گرگان GIS پرداخته و در نهایت به پهنه‌بندی خطر وقوع سیل با استفاده از GIS اقدام نمود. جهانفر (۱۳۸۵) به برآورد خطر وقوع سیل در حوضه اسلام‌آباد غرب پرداخته و با استفاده از پارامترهای اصلی اثرگذار میزان خطرات آن را پهنه‌بندی نمود. حسین‌زاده و جهادی (۱۳۸۶) تاثیر گسترش شهر مشهد را بر الگوی زهکشی طبیعی و تشدید سیلاب‌های شهری مطالعه نمودند. اعلمی و همکاران (۱۳۸۷) میزان خطرات وقوع سیل رودخانه قرنفو را با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی برای دوره‌های بازگشت سیلاب در دوره‌های ۲، ۱۰ و ۱۰۰ ساله مورد بررسی قرار دادند. شعبانلو و همکاران (۱۳۸۷) به پهنه‌بندی خطر سیل در شبکه رودخانه‌های استان گلستان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی اقدام نمودند. امیراحمدی و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از روش شبیه‌سازی هیدرولوژیکی HEC-HMS سیلاب را در دشت کارون مورد بررسی قرار دادند. قنواتی و همکاران (۱۳۹۰) به پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در شهر کرج با استفاده از مدل فازی پرداختند. ملکیان و همکاران (۱۳۹۱) به پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیل حوضه آبخیز اخترا‌باد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتب فازی پرداختند. حسینی و همکاران (۱۳۹۴) به پیش‌بینی سیلاب‌های تاریخی رودخانه کشکان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS پرداختند. عابدینی و فتحی جوکدان (۱۳۹۵) به پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در حوضه آبریز کرگانرود با استفاده از GIS پرداختند و بیان داشتند که حوضه مورد مطالعه به دلیل بارش و شیب زیاد، سازندهای نفوذناپذیر و شکل گرد و دایره‌ای پتانسیل سیل‌خیزی زیادی دارند. موسوی و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از منطق فازی-تاپسیس در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی خطر سیل را در حوضه آبخیز شهر باغملک خوزستان پهنه‌بندی نمودند. شریفی و پرنون (۱۳۹۷) رودخانه قره‌سو در کرمانشاه را با استفاده از منطق فازی ارزیابی و سهم هر یک از پارامترهای مؤثر در خطر وقوع سیل را به شکل فضایی مشخص نمودند. اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۸) به پهنه‌بندی سیلاب در حوضه آبریز آجرلوچای با استفاده از روش L-THAI و منطق فازی پرداختند و بیان داشتند که نیمه‌های شرقی و شمال شرقی حوضه با شیب و ارتفاع کمتر و تراکم زهکشی بیشتر مستعد سیل‌خیزی بیشتری هستند. شریفی‌پيچون و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای و رگرسیون چندمتغیره به ارزیابی پتانسیل‌سنجی سیلاب در حوضه آبریز رودخانه مارون پرداختند و با استفاده از متغیرهای هیدروژئومورفولوژیکی و روش تحلیل خوشه‌ای، مناطق همگن سیلاب را با دوره‌های بازگشت مختلف تعیین نمودند. زیاری و همکاران (۱۴۰۰)، جلالیان (۱۴۰۰)، رضائی مقدم و همکاران (۱۴۰۰)، رجبی و همکاران (۱۴۰۱)، رضایی‌مقدم و رحیم‌پور (۱۴۰۲)، رضایی‌مقدم

¹ Gao² Wuchengxiyu³ Zhou & Liu

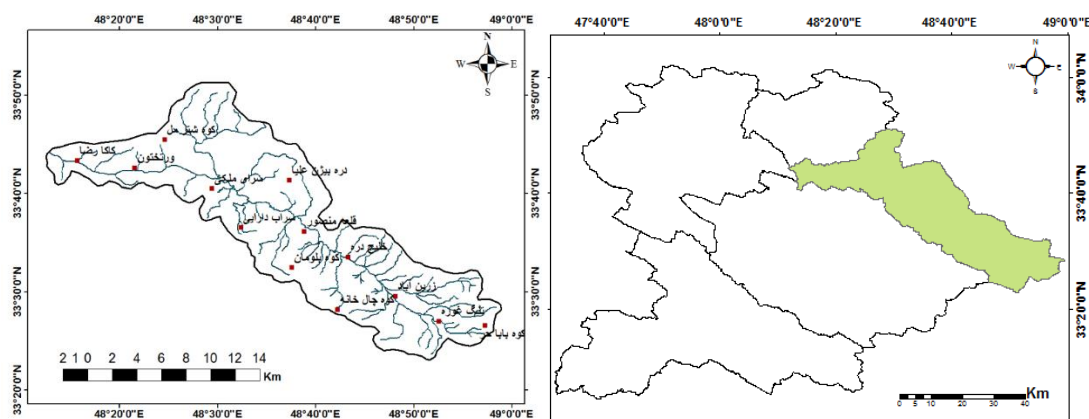
و همکاران (۱۴۰۳)، نگهبان و مکرم (۱۴۰۳) و عابدینی و همکاران (۱۴۰۳) هر یک به طور جداگانه پتانسیل خطر وقوع سیل را در حوضه‌های مختلف آبریز مناطق مختلف ایران مورد مطالعه قرار دادند.

این پژوهش به دنبال بررسی و پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز هر رود در لرستان با استفاده از روش فازی-تاپسیس است. این منطقه بسیار مرتفع از بارندگی‌های نسبتاً زیادی برخوردار بوده و در چند دهه گذشته تغییرات کاربری زیادی توسط انسان در بیشتر بخش‌های حوضه بویژه در بخش‌های میانی و در اطراف رودخانه انجام گرفته است. این عوامل باعث طغیان‌های متعدد رودخانه شده و برخی از این طغیان‌ها به شکل سیلاب‌های عظیم هر چند سال یک‌بار خسارت‌های زیادی، که بعضاً با تلفات انسانی نیز همراه است، بر ساکنان محل تحمیل می‌نماید. بر این اساس، این پژوهش به دنبال بررسی و مطالعه عوامل اثرگذار بر سیل‌خیزی رودخانه و پهنه‌بندی خطر سیل در رودخانه هر رود بوده که گامی اساسی در راستای برنامه‌ریزی و مدیریت رودخانه و جلوگیری از مخاطرات سیلاب در این حوضه است. منطقه‌ای که مطالعات خطر وقوع سیل تا به حال در آن مطالعه نشده است.

منطقه مورد مطالعه

موقعیت جغرافیایی

حوضه آبریز هر رود در استان لرستان بین ۴۸ درجه و ۱۵ ثانیه تا ۴۹ درجه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۲۲ ثانیه تا ۳۲ درجه و ۵۲ ثانیه عرض شمالی، در شمال و شمال شرق خرم‌آباد، جنوب و جنوب غرب الشتر و غرب و جنوب غرب بروجد قرار گرفته است. جهت کلی قرارگیری حوضه آبریز هر رود جنوب شرق-شمال غرب است. حوضه آبریز هر رود از نظر ژئومورفولوژی جزء واحد زاگرس مرتفع محسوب شده و بخشی از سرشاخه‌های رودخانه کرخه است. بیشترین ارتفاع حوضه حدود ۳۰۰۰ متر و کمترین ارتفاع آن در نقطه خروجی رودخانه هر رود حدود ۱۵۰۰ متر است. کوه ازگن در جنوب غرب حوضه با ۲۸۵۰ متر، کوه تخت در شمال شرق حوضه با بیش از ۳۰۰۰ متر، کوه پشته سفلی با ۲۵۰۰ متر و کوه‌های دیگری مانند باباخر، شاه‌نشین، باغ پشم، کوه تنگ‌ستر و ده‌ها کوه بزرگ و کوچک دیگری حوضه را احاطه کرده‌اند. در واقع، حوضه هر رود در داخل کوه‌های اطراف از هر سو احاطه شده است (شکل ۱).



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز هر رود در استان لرستان

Fig (1): The geographical location of the harood basin in lorestan province

مواد و روش

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه رقومی ارتفاعی (با قدرت تفکیک ۳۰ متر) تهیه شده توسط سازمان فضایی ایران، نقشه خاک، نقشه کاربری‌اراضی، نقشه بارش، سنگ‌شناسی و نقشه شبکه زهکشی. با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی این داده‌ها به شکل لایه‌های اطلاعاتی درآمدند. به دلیل آنکه بیشتر این لایه‌ها به شکل وکتوری بودند، با استفاده از گزینه Conversion در ArcToolbox به رستر تبدیل شدند و سپس بر حسب نوع داده‌ها و چگونگی

دخالت کردن و اثرگذاری آن‌ها در سیل‌خیزی بازطبقه‌بندی و ارزش‌های جدیدی گرفتند. از آنجا که همه پارامترها بر سیل‌خیزی اما با شدت و درجات مختلف اثر می‌گذارند و همچنین، مرز طبقات لایه‌های اطلاعاتی در روی زمین و به شکل واقعی خیلی دقیق نیست؛ از این رو برای دستیابی به نتایج بهتر و دقیق‌تر لایه‌های اطلاعاتی فازی‌سازی شدند. برای فازی‌سازی آن‌ها بسته به ویژگی لایه و نوع اثرگذاری آن بر سیل‌خیزی، از توابع عضویت خطی مثلثی و دوزنقه‌ای استفاده شده است. سپس، با استفاده از عملگرهای ضرب و گامای 0.9 و 0.7 ، لایه‌های فازی‌سازی شده با هم تلفیق یافتند که با انطباق آن‌ها با داده‌های سیل‌خیزی رودخانه هر رود، گامای 0.9 از دقت بالاتری برای حوضه مرتفع و کوهستانی هر رود برخوردار بود. به طور کلی، عملگر گامای فازی به دلیل اختلاف زیاد بین خروجی استفاده از عملگرهای جمع جبری فازی و ضرب جبری فازی و تعدیل حساسیت این دو استفاده می‌شود. بنابراین، این عملگر بر حسب حاصل ضرب جبری فازی و حاصل جمع جبری فازی به ترتیب با نمایه‌های y و $y-1$ به شکل زیر تعریف می‌شود که در آن گاما بین صفر و یک ($0 < y < 1$) تغییر می‌کند (رابطه ۱):

$$uc = (\prod_{i=1}^n u(x))^y \times (1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu(x)))^{1-y} \quad (1)$$

$$\mu c = (sum \text{ fuzzy})^y \times (pf)^{1-y}$$

در این روابط المان y ، پارامتر تعیین شده در محدوده صفر و یک است. وقتی y برابر یک باشد ترکیب، همان جمع جبری فازی و زمانی که y برابر با صفر باشد، ترکیب برابر حاصل ضرب جبری فازی است. انتخاب صحیح پارامتر y مقادیری را در خروجی بوجود می‌آورد که با اثر افزایشی جمع جبری و اثر کاهشی ضرب جبری فازی سازگاری دارد. مقدار گاما از طریق قضاوت کارشناسی مبتنی بر نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های مشاهده شده یا تجربیات حاصل شده در باره موضوع تعیین می‌شود. اما نقشه‌نهایی هنوز فاصله زیادی با دقت داده‌های خطرات سیل منطقه داشت. به همین دلیل از تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره یعنی TOPSIS استفاده گردید. این روش از اهمیت بیشتری به نسبت سایر تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برخوردار است. الگوریتم تاپسیس یک تکنیک چند شاخصه جبرانی بسیار قوی برای اولویت‌بندی گزینه‌ها از طریق شبیه نمودن به جواب ایده‌آل است. در روش تاپسیس، گزینه انتخاب شده می‌باید کوتاه‌ترین فاصله را از جواب ایده‌آل و دورترین فاصله را از ناکارآمدترین جواب داشته باشد. در این روش، ماتریس $n \times m$ که دارای m گزینه و n شاخص بوده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بعلاوه، معیارهای کمی و کیفی را توأم در تلفیق لایه‌ها دخالت می‌دهد؛ خروجی آن می‌تواند ترتیب اولویت گزینه‌ها را مشخص و این اولویت را به صورت کمی بیان کند؛ تضاد و تطابق بین شاخص‌ها را در نظر می‌گیرد؛ روش کار ساده و سرعت آن مناسب است؛ نتایج این مدل کاملاً منطبق با روش‌های تجربی است. در این پژوهش، لایه‌های اطلاعاتی به شکل یک ماتریس اولیه با m گزینه و n معیار درآمدند، سپس، استاندارد شده و با استفاده از روش آنتروپی شانون وزن‌دهی شدند. از این رو، وزن معیارهای به کار گرفته شده در نقشه پهنه‌بندی خطر سیل مشخص گردید و سپس بر اساس گامهای بعدی روش تاپسیس، ایده‌آل‌های مثبت و منفی تعیین گردیدند که این ایده‌آل‌ها به ترتیب به عنوان مؤثرترین و کم‌اثرترین شاخص‌ها در وقوع سیل لحاظ شدند و مقادیر حاصل شده از ایده‌آل‌ها دوباره به عنوان شاخص‌های اولیه در نقشه فازی شده گامای 0.9 ضرب و نقشه‌نهایی فازی-تاپسیس ترسیم گردید.

یافته‌های تحقیق

برای ارزیابی وقوع خطر سیل در حوضه آبریز هر رود، ابتدا بر اساس مطالعات و تجربیات قبلی در مناطق کوهستانی پرباران، پارامترهای مؤثر بر میزان سیل‌گیری مشخص گردیدند. این پارامترها شامل بارش، شیب، جهت شیب، ارتفاع، کاربری زمین، فاصله از آبراهه‌ها، سنگ‌شناسی و خاک بودند. با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، هر یک از این پارامترها به شکل نقشه‌های جغرافیایی ترسیم و در ادامه به شکل لایه‌های اطلاعاتی در آمدند. این لایه‌ها رستری و بازطبقه‌بندی شدند. در این مرحله امتیاز بیشتری به بخشهایی از طبقات نقشه که مؤثرتر بودند، داده شد. به طور کلی، مقدار و درجه اثرگذاری هر پارامتر بر سیل‌خیزی به یک میزان نیست. پارامترها، اغلب به

عنوان طیف عمل و دو سر طیف اثرگذاری متفاوتی را بر جای می‌گذارند. با وجود آنکه در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر از جمله سیل، هر پارامتر را به چند طبقه تقسیم می‌کنند (مانند طبقات شیب، ارتفاع، بارش و غیره)، اما خود طبقات نیز به شکل طیف بوده و دارای مقادیر حداقل و حداکثر هستند و نمی‌توان یک طبقه را به عنوان یک واحد مشخص با اثرگذاری یکسان در نظر داشت؛ برای اینکه نوع اثرگذاری پارامترها بر سیل خیزی متفاوت و منحصر به فرد است. از این رو، برای هر پارامتر بر حسب نوع و شکل اثرگذاری‌اش توابع عضویت متفاوتی در نظر گرفته شد. در زیر به بررسی این پارامترها و نحوه تعیین درجه عضویت آنها در خطر وقوع سیل پرداخته شده است:

شیب: با افزایش شیب عمومی سطح حوضه، فرصت لازم برای نفوذ کاهش یافته و می‌توان گفت که با افزایش شیب حوضه، زمان تمرکز کاهش پیدا می‌کند. شیب‌های زیاد، باعث ایجاد اوج‌های بالا در آبنمود می‌شوند و این امر سبب حرکت سریع‌تر آب به سمت پایین دست حوضه و در نتیجه سیل‌گیری محدوده‌های پایین دست می‌شود. از این رو، عامل شیب با پدیده سیلاب رابطه معکوس دارد؛ با کاهش مقدار شیب احتمال خطر سیلاب افزایش می‌یابد. بنابراین از یک رابطه خطی کاهنده جهت تعیین عضویت این لایه استفاده شده است (جدول (۲) ردیف ۲). بر اساس این رابطه نقشه فازی شده شیب ترسیم گردید (شکل ۵).

جهت شیب: اهمیت جهت شیب در رابطه با جهت قرارگیری دامنه‌ها در برابر توده‌های هوای مرطوب و همچنین تابش خورشید است. شیب‌های غربی در منطقه بارش بیشتر و شیب‌های جنوبی انرژی بیشتری دریافت می‌کنند. در نتیجه با افزایش میزان انرژی، میزان رطوبت خاک کاهش یافته و خاک پس از بارش دیرتر اشباع شده و نفوذپذیری و جذب آب توسط خاک افزایش می‌یابد (ریاحی و زمانی، ۱۳۹۴). بنابراین، شیب‌های شمالی و غربی اثرات بیشتری بر خطر وقوع سیل منطقه دارند. بر این اساس، برای فازی‌سازی لایه جهت شیب از تابع عضویت مثلثی استفاده شد (جدول (۲) ردیف ۳). بر اساس این تابع نقشه جهت شیب فازی‌سازی شد (شکل ۱).

ارتفاع: ارتفاع حوضه نسبت به سطح دریا نشان‌دهنده موقعیت اقلیمی آن حوضه است. در حوضه‌های مناطق مرتفع نه تنها بارندگی بیش از حوضه‌های پست است؛ بلکه در قله ارتفاعات غالباً نزولات جوی به صورت برف بوده که هیدرولوژی آن متفاوت با رگبارها است. برای تهیه نقشه ارتفاعی حوضه، از نقشه رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک ۳۰ متر، تهیه شده توسط سازمان فضایی ایران، استفاده گردید. در ارتفاعات بالای حوضه هر رود به دلیل بارش برف بیشتر و تجمع کمتر آب امکان سیل خیزی نسبت به ارتفاعات پایین دست کمتر است. از این رو، عامل ارتفاع با مخاطره سیل خیزی رابطه معکوس داشته و در تعیین عضویت فازی رابطه معکوس برای این عامل با مخاطره سیلاب در نظر گرفته شده است. یعنی طبقات ارتفاعی بالا کمترین مقدار و طبقات ارتفاعی پایین بیشترین مقدار را در نقشه فازی شده ارتفاع به خود اختصاص داده‌اند (جدول (۲) ردیف ۱). بر پایه این تابع نقشه ارتفاع فازی‌سازی گردید (شکل ۳).

بارش: از مهمترین عوامل شکل‌گیری سیلاب میزان و نوسان بارش است. هر چه طول دوره بارش بیشتر باشد یا بارندگی‌ها از شدت بالاتری برخوردار باشند سیل خیزی افزایش پیدا می‌کند. در بررسی بارش محدوده مورد مطالعه از آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی، کلیماتولوژی و نیز سینوپتیک منطقه شامل ایستگاه‌های الشتر، بروجرد، دورود، سیلاخور، خرم‌آباد و ریمله برای دوره آماری ۲۳ ساله (۱۳۷۵-۱۳۹۸) که در داخل محدوده و یا فاصله مناسبی از مطالعه قرار گرفته‌اند استفاده شده است. همبستگی بین میانگین بارش سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه با ارتفاع ایستگاه‌ها در اکسل به دست آمد و سپس در نرم افزار ArcGIS بر حسب DEM منطقه و با استفاده از روش Kriging درون‌یابی شده و بدین ترتیب لایه بارشی حوضه تهیه شده است. پس از بازطبقه‌بندی لایه بارش، با استفاده از تابع عضویت خطی فازی سازی گردید (جدول (۲)، ردیف ۴). به دلیل اینکه متوسط بارشهای منطقه از حدود ۵۰۰ میلیمتر کمتر نبود، از این رو، حداقل مقادیر عضویت فازی نیز به جای صفر، حدود ۰.۳۲ در نظر گرفته شد. بدین شکل نقشه فازی شده ارتفاع ترسیم شد (شکل ۳).

فاصله از آبراهه: به طور طبیعی سیل‌ها در داخل رودخانه‌ها و سواحل آنها بوجود می‌آیند. در واقع، آب بیشتری در رودخانه‌های اصلی حوضه‌های آبریز جمع شده و پایین‌دست این رودخانه‌ها معمولاً حداکثر دبی ممکن را خواهد داشت. بر این اساس، آبراهه‌ها بیشترین خطر وقوع سیل را در داخل حوضه‌های آبریز دارند. هرچه فاصله از آبراهه در حوضه افزایش یابد، خطر سیلاب نیز کاهش می‌یابد و برعکس. فاصله از آبراهه بر مبنای لایه آبراهه‌ها استخراج شده است. سپس در الحاقیه Distance در نرم افزار ArcGIS لایه فاصله از آبراهه‌ها تهیه شده است. در این مطالعه، کمترین فاصله از آبراهه ۳۰۰ متر و بیشترین فاصله ۲۵۰۰ متر در نظر گرفته شده است. پس

از تهیه نقشه فاصله از آبراهه، نقشه حاصله به رستر تبدیل و سپس بازطبقه‌بندی شد. در ادامه با استفاده از تابع عضویت خطی، نقشه بازطبقه‌بندی شده در سیستم اطلاعات جغرافیایی فازی‌سازی شد (شکل ۷). در این تابع عضویت، برای نزدیکترین فاصله به آبراهه‌ها مقدار عضویت ۱ و برای بیشترین فاصله ها مقدار ۰.۴ تعیین گردید (جدول (۲)، ردیف ۱).

زمین‌شناسی: مهمترین عوامل زمین‌شناسی موثر بر سیل‌خیزی عبارت از خصوصیات سنگ‌شناسی حوضه آبریز و میزان نفوذپذیری آنها، ویژگی گسلها، درز و شکاف در سنگهای منطقه مورد مطالعه است (فیض‌نیا، ۱۳۸۰). در صورت ثابت‌بودن سایر شرایط، در سنگ‌های نفوذپذیر مانند سنگهای آهکی بارندگی بیشتر نفوذ، رواناب کمتری تولید شده و مناطق پوشیده از این سنگها خطر وقوع سیل کمتری دارند. در سنگهای نفوذناپذیر مانند مارن‌ها بیشتر بارش‌ها به رواناب سطحی تبدیل شده و خطر سیل بیشتری دارند (فیض‌نیا و همکاران، ۱۳۹۵). بررسی و مشاهده نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشتر سنگهای تشکیل‌دهنده منطقه در وهله اول انواع سنگهای آهکی (بیش از ۵۰ درصد) و در مرحله بعد کنگلومرای پلیوسن و پلیستوسن (حدود ۴۰ درصد) هستند. عمده این سنگ‌ها در بخشهای بالادست و میانی حوضه قرار گرفته‌اند. آهک‌ها بر خلاف کنگلومراها از جذب و نفوذپذیری بسیار بالایی برخوردار هستند و بنابراین سیل‌خیزی پایین‌تری دارند. جایی که آهکها حضور دارند، شبکه رودخانه‌ها دارای تراکم بسیار کمی هستند. برای بررسی اثرات سنگ‌شناسی در سیل‌خیزی، ابتدا لایه اطلاعاتی سنگ‌شناسی تهیه و به رستر تبدیل و سپس بازطبقه‌بندی گردید. بر این اساس، سنگهای آهکی کمترین مقدار و آبرفت‌ها بیشترین مقادیر را به خود اختصاص دادند. سپس، با استفاده از تابع عضویت مثلثی (جدول (۲)، ردیف ۵)، نقشه سنگ‌شناسی فازی‌سازی شد (شکل ۴).

کاربری اراضی: بی‌تردید وجود پوشش گیاهی در سطح حوضه به دلیل اثراتی که در مؤلفه‌های سیکل هیدرولوژی دارد، از عوامل کاهش سیل‌خیزی به شمار می‌رود. از این رو، در حوضه‌های سیل‌خیز حفاظت، اصلاح و ایجاد پوشش گیاهی به دلیل تأثیر زیاد آنها در افزایش نفوذپذیری، زمان تمرکز و کنترل رواناب سطحی بسیار حائز اهمیت است. قطع درختان و تخریب پوشش گیاهی باعث کاهش ظرفیت نفوذ خاک و یا افزایش ظرفیت زهکشی حوضه می‌شود که منجر به افزایش دبی سیلابی خواهد شد. بنابراین یکی از پارامترهای مهم و مؤثر در مخاطره سیلاب، کاربری اراضی است. نقشه کاربری اراضی منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و ۹ (با روش طبقه‌بندی نظارت شده) منطقه تهیه گردیده است. در منطقه مورد مطالعه حدود ۱۷ نوع کاربری وجود دارد. با بازطبقه‌بندی لایه، آنهایی که عملکردهای شبیه و نزدیک هم داشته‌اند، در یک گروه قرار داده شدند. بدین ترتیب، نقشه کاربری اراضی به ۵ طبقه تقسیم شده و برای آنهایی که بر حجم سیلاب بیشترین اثر داشتند، عدد ۵ و مناطق جنگلی عدد ۱ در نظر گرفته شد. در ادامه با استفاده از تابع عضویت مثلثی (جدول (۲)، ردیف ۸) مقدار عضویت بخش‌های مختلف این لایه در نقشه پهنه‌بندی خطر سیل مشخص گردید و بر مبنای آن نقشه فازی‌سازی شده کاربری اراضی تهیه گردید (شکل ۶).

گروه هیدرولوژیک خاک‌های منطقه: در پیدایش رواناب نوع خاک و خصوصیات آن از عوامل اصلی و تأثیرگذار بوده و باید در محاسبات مربوط به آن در نظر گرفته شود. ویژگیهای زیادی از خاک در ایجاد رواناب مؤثر است که شامل عمق موثر خاک، مقدار متوسط رس در کل پروفیل خاک، نفوذپذیری سطحی و نفوذپذیری عمقی خاک می‌باشند. اما از طرفی می‌توان تمامی این ویژگی‌ها را تحت یک عامل یا گروه هیدرولوژیکی خلاصه نمود. هر گروه هیدرولوژیک نشان‌دهنده حداقل سرعت نفوذپذیری خاک در حالت مرطوب بودن طولانی مدت آن است. تمامی خاک‌ها را می‌توان بر اساس پتانسیل تولید رواناب یا حداقل شدت نفوذپذیری به چهار گروه A, B, C و D تقسیم‌بندی کرد. جدول (۱) حداقل شدت نفوذپذیری و نیز توانایی تولید رواناب را بر حسب گروه‌های هیدرولوژیکی براساس تقسیم‌بندی سازمان حفاظت خاک آمریکا (S.C.S.) نشان می‌دهد.

جدول (۱): گروههای هیدرولوژیکی خاکها و شدت نفوذپذیری آنها (سازمان حفاظت خاک آمریکا، نقل از علیزاده، ۱۳۸۹)

Table (1): Hydrological soil groups and their infiltration rates (SCS, cited by Alizadeh, 2005)

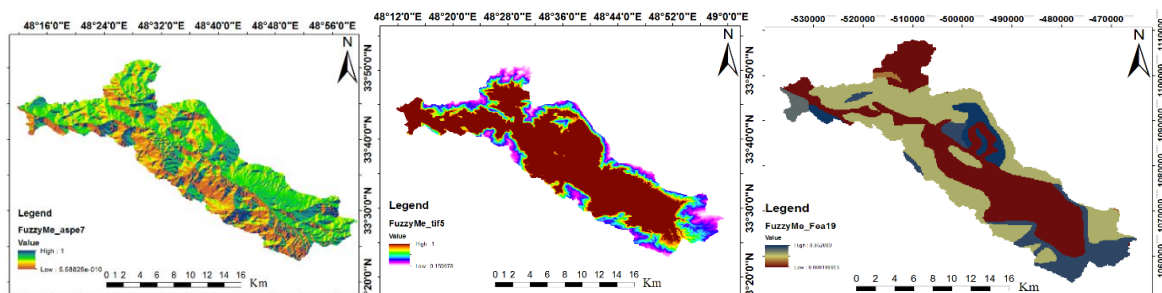
گروه هیدرولوژیکی خاک	شدت نفوذ (cm/h)	توانایی تولید رواناب	نوع خاک
A	$> 7/6$	کم	شنی، شنی لومی
B	$3/8-7/6$	متوسط	لومی شنی، لومی
C	$1/3-3/8$	نسبتاً زیاد	لومی سیلتی، لومی رسی شنی
D	$< 1/3$	خیلی زیاد	لومی رسی، لومی رسی سیلتی، رسی شنی، رسی سیلتی، رسی و خاکهای شور

بر این اساس، نقشه گروه هیدرولوژیک خاکهای منطقه مورد مطالعه از سازمان جهاد کشاورزی استان با مقیاس ۵۰۰۰۰ اخذ گردید. حاصل و بازطبقه‌بندی شد. در این نقشه خاکهایی با نفوذپذیری کمتر و ایجاد رواناب بیشتر امتیاز بیشتری گرفتند و آنهایی که دارای نفوذپذیری بالا و به تبع آن توان تولید رواناب کمتری داشتند حداقل امتیاز را به خود اختصاص دادند. سپس، با استفاده از تابع عضویت خطی (جدول (۲)، ردیف ۶)، لایه خاک فازی‌سازی شد (شکل ۹).

جدول (۲): نمایش توابع عضویت پارامترهای موثر در پهنه‌بندی خطر وقوع سیل حوضه آبریز هر رود

Table (2): Membership functions of parameters influencing Flood Hazard Zoning in the Hor Rood watershed

ردیف	پارامتر	توابع عضویت	نمودار وابسته به توابع
۱	ارتفاع	$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{If } 1500 < x \leq 2500 \\ \frac{2500 - x}{2500 - 1500}, & \text{If } x \geq 2500 \end{cases}$	
۲	شیب	$f(x) = f(x) = \begin{cases} 1, & \text{If } x \leq 10 \\ \frac{99 - x}{99 - 10}, & \text{If } 10 < x \leq 99 \end{cases}$	
۳	جهت شیب	$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{If } x \geq 202 \\ \frac{202 - x}{202 - 157}, & \text{If } 157 < x \leq 202 \end{cases}$	
۴	بارش	$f(x) = \begin{cases} \frac{x - 507}{830}, & \text{If } x \leq 830 \end{cases}$	
۵	زمین‌شناسی	$f(x) = \begin{cases} \frac{x - 1}{10}, & \text{If } x \leq 10 \end{cases}$	
۶	خاک	$f(x) = \begin{cases} \frac{x - 1}{5}, & \text{If } x \leq 5 \end{cases}$	
۷	فاصله از آبراهه	$f(x) = \frac{2500 - x}{2500}, \text{ If } x \leq 2500$	
۸	کاربری اراضی	$f(x) = \begin{cases} \frac{x - 1}{13}, & \text{If } x \leq 13 \end{cases}$	



شکل (۲): لایه فازی شده جهت شیب

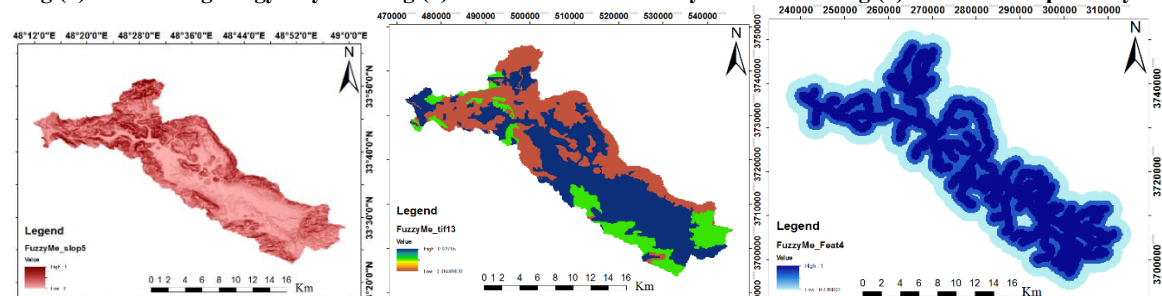
شکل (۳): لایه فازی شده ارتفاع

شکل (۴): لایه فازی شده زمین‌شناسی

Fig (2): Fuzzified Aspect Layer

Fig (3): Fuzzified elevation Layer

Fig (4): Fuzzified geology Layer



شکل (۵): لایه فازی شده شیب

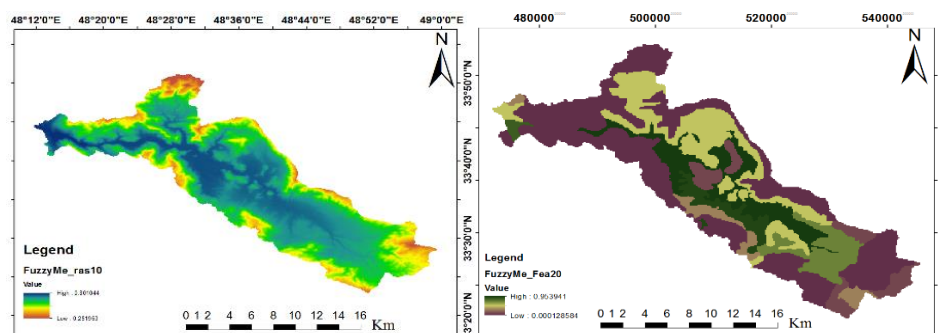
شکل (۶): لایه فازی شده کاربری اراضی

شکل (۷): لایه فازی شده شبکه آبراهها

Fig (5): Fuzzified slope Layer

Fig (6): Fuzzified land use Layer

Fig (7): Fuzzified stream network



شکل (۸): لایه فازی شده بارش

شکل (۹): لایه فازی شده خاک

Fig (8): Fuzzified precipitation Layer

Fig (9): Fuzzified soil layer

پهنه‌بندی خطر وقوع سیل با استفاده از منطق فازی

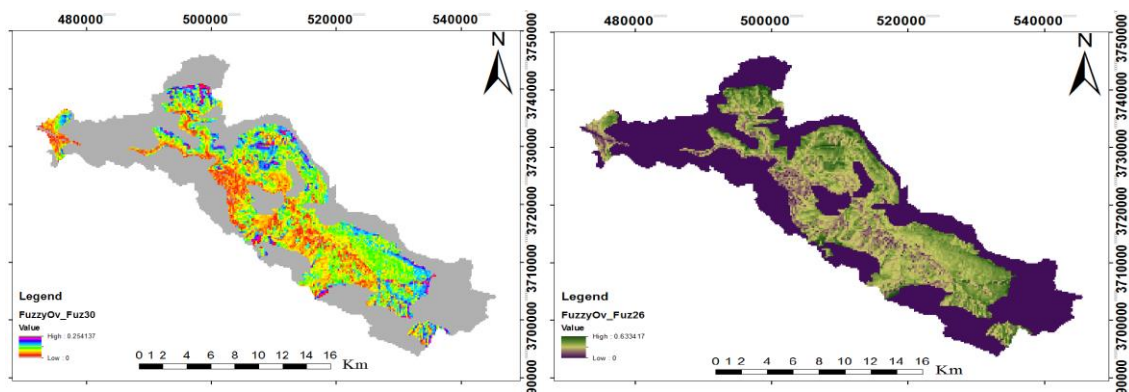
پس از تعریف نوع رابطه هر یک از پارامترها با پدیده سیلاب، برای هر یک از لایه‌های وابسته به این پارامترها طبق توضیحات ارائه شده، توابع عضویت تعیین و به لایه‌ها اعمال شده است. پس از اعمال توابع ارائه شده به لایه‌های مورد نظر، این لایه‌ها وارد مدل فازی شدند. برای اجرای تکنیک تاثیر نقشه‌های مختلف فازی‌سازی شده نیاز به عملگرهایی نظیر اجتماع، اشتراک، ضرب جبری، جمع جبری و گاما است. در این مطالعه عملگرهای جمع جبری، ضرب جبری و گاما با ضرایب مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. عملگر ضرب جبری موجب می‌شود تا اعداد مجموعه‌ها کوچک‌تر شده و به سمت صفر میل کنند. اما عملگر جمع جبری موجب می‌شود تا اعداد مجموعه‌ها بزرگ‌تر شده و به سمت یک میل نمایند. بنابراین جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر ضرب جبری و دقت کم عملگر جمع جبری عملگر دیگری به نام گاما شکل گرفته شده است. مقدار گاما از طریق قضاوت کارشناسان بر پایه نتایج

حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های مشاهده شده یا تجربیات حاصل شده در باره موضوع بین صفر و یک تعیین می‌شود. گامای صفر معادل ضرب فازی و گامای یک معادل جمع فازی است (دادرسی سبزواری، ۱۳۷۸). این عملگر به دلیل اختلاف زیاد بین خروجی استفاده از عملگرهای جمع جبری فازی و ضرب جبری فازی و تعدیل حساسیت این دو استفاده می‌شود. بنابراین، این عملگر بر حسب حاصل ضرب جبری فازی و حاصل جمع جبری فازی به ترتیب با نمایه های y و $y-1$ به گونه ای تعریف می‌شود که در آن گاما بین صفر و یک ($0 < y < 1$) تغییر می‌کند. در این پژوهش، جهت تعیین مناسب‌ترین گاما در پهنه‌بندی خطر وقوع سیل از رابطه همبستگی میان لایه‌های اطلاعاتی اولیه و نقشه نهایی گاما در نرم افزار ArcGIS 10/3 استفاده شده است. برای این کار از الحاقیه Band collection statistics استفاده شده است. نتیجه همبستگی در جدول (۳) قید شده است. بر این اساس، بر حسب میزان همبستگی بین داده‌ها با گامای ۰/۷ و ۰/۹ و همچنین نتایج عملگر ضرب فازی، گامای ۰/۹ بهترین و بهینه‌ترین عملکرد را در ارتباط با پهنه‌بندی خطر وقوع سیل حوضه آبریز هر رود نشان می‌دهد. بدین روی، نقشه گامای ۰/۷ و ۰/۹ ترسیم گردید (شکل‌های ۱۰ و ۱۱).

جدول (۳): نمایش مقادیر همبستگی بین عملگرهای ضرب و گامای فازی

Table (3): Correlation coefficients Between Fuzzy functional including multiplication and gamma

الگوریتم	ارتفاع	شیب	جهت شیب	بارش	زمین شناسی	خاک	فاصله از آبراهه	کاربری اراضی
گامای ۰/۹	۰/۸۲	۰/۷۶	۰/۴۹	۰/۶۸	۰/۴۱	۰/۳۲	۰/۸۳	۰/۵۷
گامای ۰/۷	۰/۷۵	۰/۶۹	۰/۴۷	۰/۶۱	۰/۳۷	۰/۲۸	۰/۸۰	۰/۵۲
ضرب فازی	۰/۶۵	۰/۵۱	۰/۳۸	۰/۵۴	۰/۳۴	۰/۲۹	۰/۶۶	۰/۵۴



شکل (۱۱): نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیل بر اساس گامای ۰/۹

Fig (11): Flood Hazard Zoning Map Using Gamma 0.9

شکل (۱۰): نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیل با استفاده از گامای ۰/۷

Fig (10): Flood Hazard Zoning Map Using Gamma 0.7

نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیل هر رود بر اساس مدل فازی-تاپسیس

تاپسیس یکی از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره^۱ (MCDM) برای اتخاذ تصمیمات بهینه در شرایط واقعی است که در چند دهه اخیر مورد توجه محققین در حوزه‌های مختلف دانشی قرار گرفته است. تاپسیس روشی کاربردی در تصمیم‌گیری است که گزینه‌ها را با توجه به مقادیر داده‌های آن در هر معیار و وزن معیار مورد مقایسه قرار می‌دهد و مؤثرترین و حتی کم اثرترین آنها را به عنوان ایده‌آل‌های

¹ Multiple Criteria Decision Making

مثبت و منفی در نظر می‌گیرد. به منظور استفاده از تکنیک تاپسیس در پهنه‌بندی سیلاب از نقشه گامای فازی ۰/۹ استفاده گردید. در ابتدا مناطق با خطرات متفاوت حاصل از پهنه‌بندی فازی به عنوان گزینه و پارامترهای اثرگذار در سیلاب به عنوان معیار در نظر گرفته شدند و ماتریس اولیه تشکیل داده شد. سپس، ماتریس استاندارد و ماتریس استاندارد شده با استفاده از روش آنتروپی و به شرح زیر وزن‌دهی گردید (رابطه ۲). به این دلیل که همه عوامل و پارامترهای دخیل و موثر در وقوع سیل دارای اهمیت یکسانی نمی‌باشند. برخی پارامترها مانند بارش و ارتفاع از اهمیت بیشتری برخوردار هستند و برخی مانند جهت شیب دارای اهمیت کمتری هستند. از این رو، باید اهمیت عوامل یا وزن هر یک از شاخصها را به شکل دقیق و کمی به دست آورد. روش‌های مختلفی برای وزن‌دهی ماتریس‌ها مانند روش CRITIC، روش AHP، روش ENTROPY و روش حداقل مربعات و غیره وجود دارند که در اینجا از روش آنتروپی به دلیل دقت و کارایی بالا استفاده شده است. این روش بر اساس رابطه زیر (رابطه ۲) عمل می‌کند:

$$E_1 = -K \sum_{i=1}^m [P_{ij} \ln P_{ij}] \quad (2)$$

که مقادیر E برای هر یک از پارامترها در حوضه آبریز هر رود به شرح زیر به دست آمد:

$$E_1 = -0.621[0.627 \ln(0.627) + 0.557 \ln(0.557) + 0.418 \ln(0.418) + 0.279 \ln(0.279) + 0.209 \ln(0.209)] = 1.03$$

$$E_2 = -0.621[0.728 \ln(0.728) + 0.458 \ln(0.458) + 0.405 \ln(0.405) + 0.243 \ln(0.243) + 0.162 \ln(0.162)] = 0.984$$

$$E_3 = -0.621[0.170 \ln(0.170) + 0.225 \ln(0.225) + 0.425 \ln(0.425) + 0.511 \ln(0.511) + 0.681 \ln(0.681)] = 0.994$$

$$E_4 = -0.621[0.159 \ln(0.159) + 0.637 \ln(0.637) + 0.556 \ln(0.556) + 0.398 \ln(0.398) + 0.318 \ln(0.318)] = 0.995$$

$$E_5 = -0.621[0.625 \ln(0.625) + 0.487 \ln(0.487) + 0.417 \ln(0.417) + 0.347 \ln(0.347) + 0.278 \ln(0.278)] = 1.187$$

$$E_6 = -0.621[0.272 \ln(0.272) + 0.453 \ln(0.453) + 0.543 \ln(0.543) + 0.543 \ln(0.543) + 0.362 \ln(0.362)] = 1.081$$

$$E_7 = -0.621[0.156 \ln(0.156) + 0.468 \ln(0.468) + 0.389 \ln(0.389) + 0.468 \ln(0.468) + 0.623 \ln(0.623)] = 1.030$$

سپس با استفاده از رابطه $E_j - 1$ ، عدم اطمینان (d_j) شاخص‌ها به شرح جدول (۴) به دست آمد:

جدول (۴): مقادیر عدم اطمینان شاخص‌ها در تکنیک تاپسیس

Table (4): Uncertainty values of indicators in the topsis technique

$d_1 = -0.032$	$d_2 = 0.016$	$d_3 = 0.006$	$d_4 = 0.005$	$d_5 = -0.187$	$d_6 = -0.081$	$d_7 = -0.030$
----------------	---------------	---------------	---------------	----------------	----------------	----------------

در این مرحله اوزان شاخصها به دست آمد (جدول ۵):

جدول (۵): وزن شاخصهای مورد استفاده با استفاده از تکنیک تاپسیس

Table (5): Weights of indicators used with the topsis technique

$w_1 = 0.089$	$w_2 = 0.044$	$w_3 = 0.016$	$w_4 = 0.014$	$w_5 = 0.523$	$w_6 = 0.226$	$w_7 = 0.084$
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

و در ادامه میزان ارجحیت هر کدام از شاخصها به شرح جدول (۶) به دست آمد.

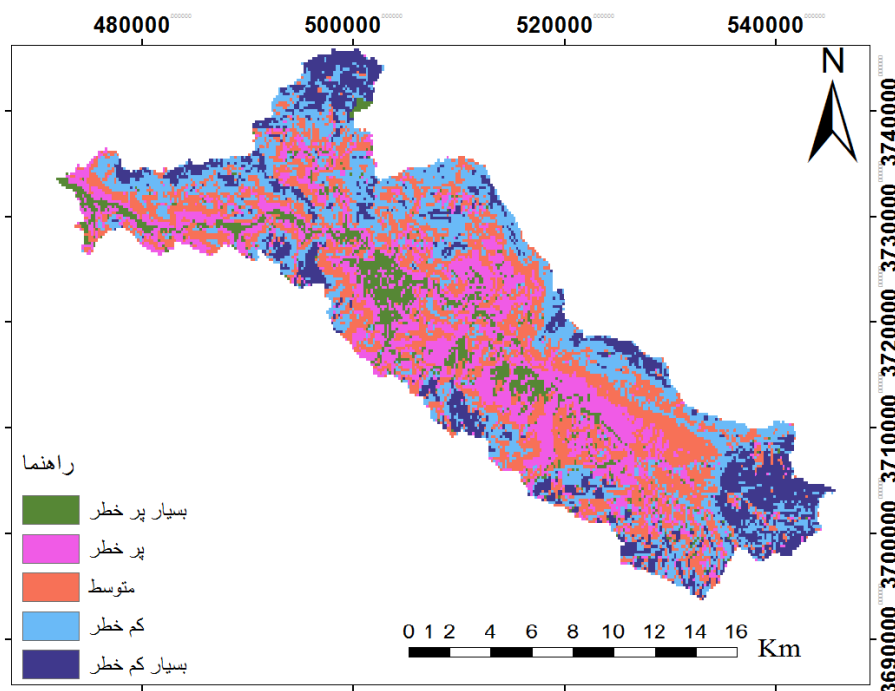
جدول (۶): تعیین میزان ارجحیت هر یک از مناطق بر اساس روش تاپسیس

Table (6): Determination of the priority level of each area based on the topsis method

منطقه	ایده آل مثبت	ایده آل منفی	D	P
1	۰.۰۷۵۹۲۷۵	۰.۱۸۷۶۶۴	0.2635915	0.71195
2	۰.۱۴۶۰۲۳۹۷	۰.۱۰۰۴۶۳۹	0.24648787	0.40760
3	۰.۰۱۲۶۷۹۵۱	۰.۰۹۹۹۷۴	0.11265351	0.88744
4	۰.۱۵۱۶۴۱	۰.۰۷۷۲۰۱	0.228841	0.33735
5	۰.۱۹۲۳۷۲	۰.۰۴۳۸۷۴۸	0.2362468	0.18576

تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیل با استفاده از تکنیک تاپسیس فازی

پس از به دست آوردن مقادیر ایده‌آل‌های هر شاخص، این مقادیر در نقشه گامای فازی حاصل شده بر حسب نوع گزینه‌ها ضرب و نقشه نهایی پهنه‌بندی سیل به دست آمد. در این صورت، مقادیر به دست آمده از منطق فازی تا حد زیادی دچار تغییر گردید و شدت خطر سیل مناطق مختلف تفاوت چشمگیری نشان داد. این نقشه بر اساس واقعیت‌های موجود از صحت و دقت بسیار بالاتری به نسبت نقشه سیل خیزی منطق فازی برخوردار می‌باشد.



شکل (۱۲): نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در حوزه آبریز هر رود با رویکرد فازی تاپسیس

Figure (12): Final Flood Zoning Map of the Horood Watershed with the Fuzzy TOPSIS Approach

همانطور که از نقشه فوق پیداست بیشترین مناطق سیل گیر منطقه در بخش‌های میانی و در پیرامون رودخانه اصلی هر رود است. این بخش از منطقه از نظر جنس و کاربری زمین نیز متفاوت و منحصر به فرد است. به گونه‌ای که از نظر لیتولوژی از کنگلومراهای پلیوسن

و پلیستوسن و همچنین آبرفت‌های عصر حاضر تشکیل شده است و از نظر کاربری بیشتر این بخش‌ها به کشت دیم اختصاص دارد. بنابراین نزدیکی به آبراهه، جنس و کاربری زمین بیشترین اثرگذاری را در ایجاد خطر سیل حوضه آبریز هر رود داشته‌اند.

نتیجه‌گیری

حوضه آبریز هر رود واقع در استان لرستان، از زیرحوضه‌های رودخانه کشکان، از نظر سیل‌خیزی و عوامل و پارامترهای دخیل در آن از ویژگی‌های منحصر به فردی برخوردار است. این منطقه جزء زاگرس مرتفع به شمار رفته و یکی از حوضه‌های بسیار مرتفع و پرشیب است که حداقل ارتفاع آن ۱۵۰۰ متر و حداکثر ارتفاع آن ۳۰۰۰ متر با متوسط ارتفاع حدود ۲۲۰۰ متر با شیب متوسط بالای ۱۲ درصد و بارش متوسط آن بالای ۵۰۰ میلی‌متر در سال است. مقدار بارش در برخی سال‌های تر به حدود ۹۰۰ میلی‌متر می‌رسد. این ویژگیها برای ایجاد سیلاب‌های بزرگ در هر منطقه‌ای کفایت می‌کند. از این نظر، سیل‌های بسیار بزرگی در این حوضه در برخی ایام سال اتفاق می‌افتد و همواره در خطر سیل‌خیزی و ریسک بالا خطر قرار دارد. بعلاوه، در چند دهه گذشته کاربری‌های زمین تغییر زیادی پیدا کرده است و بخش زیادی از مراتع و جنگل‌ها از بین رفته و مقداری از آنها تخریب و بخشی هم به زیر کشت رفته است. از این نظر خطرات سیل افزایش چشمگیری پیدا کرده است که در سالهای آتی با پیامدهای زیادی چه به لحاظ زیانهای اقتصادی و بعضاً تلفات جانی مواجه خواهد شد. بدین روی، در این پژوهش شیب، جهت شیب، ارتفاع، کاربری زمین، فاصله از آبراهه‌ها، سنگ‌شناسی و خاک به منظور پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از مدل فازی-تاپسیس مورد بررسی قرار گرفتند. منطق فازی همه پارامترهای تعریف شده با درجات مختلفی را در تهیه نقشه پهنه‌بندی با یک مرز تدریجی دخالت می‌دهد. بنابراین، بر حسب اثرات شدت و ضعف نوع پارامتر در بخش‌های مختلف حوضه، مقدار عضویت این پارامترها و در نهایت اثرگذاری‌شان در نقشه نهایی تغییر پیدا می‌کند و نقشه نهایی به واقعیت نزدیکتر می‌شود. همچنین، با استفاده از تکنیک چند معیاره تاپسیس می‌توان هم اهمیت و وزن هر پارامتر را مشخص نمود و هم مهم‌ترین عوامل و پارامترهای مؤثر بر وقوع سیل را جهت برنامه‌ریزی و مدیریت بهتر تعیین نمود. بر پایه این نظر، نتایج حاصل از نقشه خطر وقوع سیل با منطق فازی و فازی-تاپسیس نشان داد که همه پارامترهای تعریف شده با درجات متفاوت در وقوع سیل حوضه نقش داشته‌اند. نتایج نشان داد که با افزایش شیب، زمان تمرکز کاهش یافته و خطر سیل‌گیری در مناطق پایین‌دست افزایش چشمگیری پیدا می‌کند. از این رو، شیب رابطه معکوسی با خطر سیل‌خیزی دارد. بعلاوه، شیب‌های شمالی و غربی به دلیل دریافت بارش بیشتر و انرژی خورشیدی کمتر، خطر سیل‌خیزی بیشتری دارند. دبین ترتیب، شیب‌های ۱۰-۰ درصد، جهت شیب ۳۱۵-۳۶۰ درجه، طبقات ارتفاعی ۱۵۰۰-۱۸۰۰ متر بیشترین اثر بر خطر و تشدید سیل در منطقه مورد مطالعه دارند. از نظر نوع خاک و جنس سنگ، خاک‌ها و سنگهای با نفوذپذیری کم (گروه‌های هیدرولوژیکی C و D) و سنگ مارن اثرات بیشتری بر خطر سیل در منطقه مورد مطالعه دارند. بر اساس این نقشه نهایی تولید شده، خاک‌های گروه هیدرولوژیکی D، کاربری اراضی کشت دیم، سنگهای کنگلومرا، فاصله ۰-۳۰۰ متری از آبراهه‌های اصلی و بارش‌های ۵۰۰-۸۰۰ میلی‌متر مهم‌ترین سطوح در ایجاد پهنه‌های خطر وقوع سیل حوضه آبریز هر رود بوده‌اند. بر اساس نقشه حاصله از روش فازی-تاپسیس اهمیت و اولویت پارامترهای اثرگذار در سیل‌خیزی را مشخص نمود. بر اساس این نقشه، شبکه آبراهه‌ها، جنس سنگ و کاربری زمین به ترتیب مهمترین عوامل اثرگذار در ایجاد سیل این حوضه آبریز بوده است. بر این اساس، سواحل رودخانه‌های اصلی، در جایی که جنس سنگ کنگلومرا، مارن و رس بوده و زیر کشت دیم قرار داشته مقدار سیل‌خیزی به بالاترین حد ممکن خود می‌رسد. اما، در ارتفاعات پایین دست با شیب کمتر که انتظار سیل‌خیزی بیشتری می‌رود، سنگهای آهکی و عدم شکل‌گیری شبکه زهکشی مناسب بر روی این سنگها مقدار سیل‌خیزی را به مقادیر بسیار کمتری رسانده است.

این نتایج با پژوهش روشن و همکاران (۱۴۰۲) در حوضه زاگرس همخوانی دارد که بیان داشته بودند بارش، شیب و پوشش گیاهی نقش اساسی در خطر وقوع سیل داشته‌اند. همچنین با نتایج مطالعات میرقاسمی و همکاران (۱۳۹۸) که تغییر کاربری اراضی بستر رودخانه‌ها را از دلایل ریسک بالای سیل‌خیزی در حوضه آبریز ارداک دانسته بودند، سازگاری دارد و موید نتایج مطالعات آنهاست. همچنین، با نتایج

مطالعات دیگری سنخیت زیادی دارد؛ برای مثال، کوک و همکاران (۲۰۰۹) توپوگرافی و پیکربندی ژئومتریک را از عوامل اصلی اثرگذار بر خطر سیل و سیل خیزی به شمار آورده‌اند. فرناندز و لوتز (۲۰۱۰) نیز اثرات توپوگرافی، کاربری اراضی و فاصله تا شبکه زهکشی را در خطر و تهدید سیل مهم‌تر از دیگر عوامل مطرح نمودند. رضایی مقدم و همکاران (۱۴۰۲)، شیب، بارندگی و جهت شیب را از عوامل اصلی موثر بر سیل خیزی معرفی کردند.

از نظر روش‌شناسی نیز در سالهای اخیر مطالعات گسترده‌ای با استفاده از شاخصهای چند معیاره تصمیم‌گیری در سامانه سیستم اطلاعات جغرافیایی و استفاده از توابع عضویت و عملگرهای فازی در سطح جهان و همچنین ایران برای پهنه‌بندی خطر سیل انجام گرفته است (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۸؛ وانگ^۱ و همکاران (۲۰۱۸)؛ سان^۲ و همکاران (۲۰۲۰)؛ صحرایی و همکاران، ۲۰۲۳؛ گائو و همکاران، ۲۰۲۳). یافته‌های همه این مطالعات بیانگر آن است که این روش‌ها نتایج قابل قبول و با دقت زیادی به همراه دارند.

بر مبنای نتایج حاصله از این پژوهش پیشنهاد می‌گردد که اهتمام بیشتری در مدیریت اراضی و جلوگیری از تخریب جنگل و مرتع و تغییر و تبدیل آنها به زمین کشاورزی، که منجر به کاهش نفوذپذیری و فرسایش شدید خاک شده است، به عمل آید. همچنین، از زراعت دیم در مناطق پرشیب جلوگیری و از تراس رودخانه برای زراعت و ایجاد باغ پرهیز گردد. در واقع، دخالت انسان در بستر و حریم رودخانه محدود شده و فضای کافی برای عبور آب در مواقع طغیان باقی بگذارند.

References

- Abedini, M., & Fathi Jokdan, R. (2016). Flood risk zoning in the Korganrud Basin using ArcGIS. *Hydrogeomorphology*, 3(7), pp. 1-17.
- Abedini, M., Babaei Olm, T., & Pasban, A. (2024). Evaluation and zoning of flood risk using the MFFPI model (Case study: Shafarud basin, Gilan province). *Geography and human relationships*, 7(1), pp. 807-821.
- Alizadeh, A. (2005). Principles of applied hydrology. Mashhad: Imam Reza University Press, 18th Edition.
- Chen, J., Zhao, S., & Wang, H., 2011. Risk analysis of flood disaster based on fuzzy clustering method. *Energy Procedia*, 5, 1915-1919.
- Cook, A., & Merwade, V. (2009). Effect of topographic data, geometric configuration and modelling approach on flood inundation mapping. *Journal of Hydrology*, 377(1), 131-142.
- Dadrasi Sabzevari, A. (1999). Comparison of the fuzzy logic model with other GIS-compatible conceptual models for locating flood-prone areas using ETM sensor satellite data. *Geomatics conference*, Tehran.
- Esfandiari Darabad, F., Rahimi, M., & Gholamreza Pour, M. (2019). Flood zoning of the Ajarlo Chai watershed using the L-THIA method and fuzzy logic. *Quantitative geomorphological research*, 8(2), 155-171.
- Fernandez, D., and Lutz, M. A. (2009). Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis, *Engineering Geology* 111(1):90-98.
- Feyz-Nia, S., Mousavian, M., Abdollahian Dehkordi, Z., & Ebrahimi Darcheh, Kh. (2016). Investigating the effect of geology on flood susceptibility (Case study: Junqan watershed, located in Shahrekord). *Iranian journal of natural resources*, 69(4).
- Feyz-Nia, S., (2001). Sediment yield potential in geological formations. Tehran University Press.
- Ganji, K., Gharechelou, S., Ahmadi, A., & Johnson, B. A. (2022). Riverine flood vulnerability assessment and zoning using geospatial data and MCDA method in Aq'Qala. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 82, 103345.

¹ Wang

² Sun

- Ghanavati, E., Karam, A., & Agha Alikhani, M. (2011). The efficiency of the analytic hierarchy process in flood susceptibility studies. *Iranian Geographical Association Scientific-Research Quarterly*, 9(31).
- Ghanavati, E. (2003). A geomorphological model of flooding in the Gamasiab basin. *Geographical research quarterly*, pp. 172-184.
- Gao, C., Zhang, B., Shao, S., Hao, M., Zhang, Y., Xu, Y., ... & Wang, Z. (2023). Risk assessment and zoning of flood disaster in Wuchengxiyu Region, China. *Urban Climate*, 49, 101562.
- Gacul, L. A., Ferrancullo, D., Gallano, R., Fadriquela, K. J., Méndez, K. J., Morada, J. R., ... & Gacu, J. (2024). GIS-Based Identification of Flood Risk Zone in a Rural Municipality Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP). *RIG*, 33.
- Golshan, M.; Jahanshaha, A.; Afzali, A. (2016). Flood hazard zoning using HEC-RAS in GIS environment and impact of manning roughness coefficient changes on flood zones in Semi-arid climate, *Desert* 21, Pp. 24-34, Online at <http://desert.ut.ac.ir>
- Hosseinzadeh, S. R., & Jahadi Toroghi, M. (2007). The effects of Mashhad city expansion on natural drainage patterns and the intensification of urban floods. *Geographical research*, No. 61, Tehran, pp. 145-159.
- Hosseini, S. M., Jafarbeyglu, M., Yamani, M., & Geravand, F. (2015). Prediction of historical floods in the Kashkan River using the hydrological model HEC-HMS. *Quantitative geomorphological research*, 4(1), 118-133.
- Jahanfar, A., (2009). Flood Risk Zoning in the Islamabad-e gharb basin using the AHP model. Master's thesis, Teacher Training University of Sabzevar.
- James, Douglas. Larsen, Dean, and Glover, Terrence. (1980). Floodplain Management Needs Precuiler to Arid Climates. *Water Resources Bulletin* 16(6), 1020-1029.
- Jalalian, S. E. (2021). Evaluation and zoning of flood susceptibility in temporal and spatial Scales: A case study of the Gorganrud River basin, Golestan province. *Geographical spatial planning journal*, 11(42), pp. 143-162.
- Khalilizadeh, M. (2003). Flood risk assessment and management in the city of Gorgan. Master's thesis in watershed management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
- Kvocka, D.; Falconer, R. A.; Bray, M. (2016). Flood hazard assessment for extreme flood events, *Natural Hazards*, Vol. 84, 1569–1599.
- Habibnejad Roshan, M., Shahedi, K., & Roshan, S. H. (2023). Identification and prioritisation of flood-prone areas using GIS-based analytic hierarchy process (AHP) (Case study: Karun Watershed). *Watershed Engineering and Management*, 15(3), 367-385.
- Kittipongvises, S., Phetrak, A., Rattanapun, P., Brundiers, K., Buizer, J. L., & Melnick, R. (2020). AHP-GIS analysis for flood hazard assessment of the communities near the world heritage site on Ayutthaya Island, Thailand. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 48, 101612.
- Lai, C., Shao, Q., Chen, X., Wang, Z., Zhou, X., Yang, B., & Zhang, L. (2016). Flood risk zoning using a rule mining based on an ant colony algorithm. *Journal of Hydrology*, 542, 268-280.
- Malekian et al. (2012). Zoning of flood potential in the Akhtarabad watershed using fuzzy analytic hierarchy process. *Physical geography research*, 44(4), pp. 131-152.
- Martinez, J. M., & Le Toan, T., 2007. Mapping of flood dynamics and spatial distribution of vegetation in the Amazon floodplain using multitemporal SAR data. *Remote sensing of Environment*, 108(3), 209-223.
- Mousavi, M., Negahban, S., Rakhshani Moghaddam, H., & Hosseinzadeh, M., (2016). Evaluation and zoning of flood risk using fuzzy TOPSIS logic in GIS environment: A case study of Baghmalek watershed. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 5(10).

- Negahban, S., & Mokarram, M., (2024). The relationship between landform classification, land use, and flood-prone areas in Bushehr province. *Quantitative geomorphological research*, 13(1), pp. 64-79.
- Novotny, V., & Olem, H. (1994). *Water Quality: Prevention, Identification, and Management of Diffuse pollution*, van Nosttrand Reinhold, New York, 250-258.
- Qin, Q., Tang, H., Chen, H., 2011, Zoning of Highway Flood-Triggering Environment for Highway in Fuling District, Chongqing, *Journal of the International Society for Optical Engineering*, No. 8205, PP. 820530-8.
- Rajabi, M., Rostaei, Sh., & Barzkar, M. (2022). Assessing flood potential of sub-basins based on morphometric parameters and correlation analysis (Case study: Zab to Mirab basin). *Journal of Geography and Planning*, 26(79), pp. 127-139.
- Rezaei Moghaddam, M. H., Mokhtari, D., & Shafiei Mehr, M. (2021). Flood risk zoning in the Shaharchay of Mianeh basin using the VIKOR model. *Hydrogeomorphology*, 8(28), pp. 19-37.
- Rezaei Moghaddam, M. H., Rahimipour, T. (2023). Preparation of flood hazard potential map using two methods: frequency ratio and statistical index (Case study: Aji Chai Basin). *Environmental hazards management*, 10(4), 291-308.
- Rezaei Moghaddam, M. H., Mokhtari, D., Rahimipour, T., Taghizadeh, V. (2024). Preparation of flood hazard potential map using the EBF statistical method: A Case Study of Azarshahr Chay Basin. *Physical geography research*, 56(2), 33-49.
- Riahi, V., & Zamani, L., (2015). Investigating geographical factors influencing flood susceptibility in rural areas: A case study of villages in Sarvabad County. *Regional planning quarterly*, 5(17).91-102.
- Spachinger, K.; Dorner, W.; Metzka, R. (2008). Flood Risk and Flood hazard maps - Visualisation of hydrological risks, *Conference Series Earth and Environmental Science* 4(1).
- Sahraei, R., Kanani-Sadat, Y., Homayouni, S., Safari, A., Oubennaceur, K., & Chokmani, K. (2023). A novel hybrid GIS-based multi-criteria decision-making approach for flood susceptibility analysis in large ungauged watersheds. *Journal of Flood Risk Management*, 16(2), e12879.
- Sun, R., Gong, Z., Gao, G., & Shah, A. A. (2020). Comparative analysis of Multi-Criteria Decision-Making methods for flood disaster risk in the Yangtze River Delta. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 51, 101768.
- Shabanloo, S., Sedghi, H., Saghafian, B., & Mousavi Jahromi, H. (2008). Flood zoning in the river network of Golestan Province using GIS. *Iranian water research journal*, 2(3), pp. 11-22.
- Sharifi Paichon, M., & Parnoon, F. (2018). Spatial evaluation and analysis of flood susceptibility in the Qarasu River using fuzzy logic in GIS environment. *Natural environmental hazards*, 7(15), pp. 17-30.
- Sharifi Paichon, M., Omidvar, K., & Motazakker, K. (2019). Application of cluster analysis and multivariate regression in flood potential assessment with emphasis on hydrogeomorphological parameters (Case Study: Maroon River Basin). *Natural environmental hazards*, 8(21), pp. 75-92.
- Srinivas, V. V., Tripathi, S., Rao, A. R., & Govindaraju, R. S., 2008. Regional flood frequency analysis by combining self-organizing feature map and fuzzy clustering. *Journal of Hydrology*, 348(1), 148-166.
- Smit, K(1992). *Environmental hazards, Assessing risks and reducing disasters*, Routledge.254 Kochel, R.C.Gemorphic impact of large floods, In: Baker. V, R, R, C. Kochal, and P.C patton, (eds), *Flood Geomorphology*, Canada: Toronto, Wiley, 1988.
- Torgersen, G.; Rød, J. K.; Kvaal, K.; Bjerkholt, J. T.; Lindholm, O. G.(2017) *Evaluating Flood Exposure for Properties in Urban Areas Using a Multivariate Modelling Technique*, 9, 318.

- Van der Sande, C. J., De Jong, S. M., & De Roo, A. P. J. (2003). A segmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for land cover mapping to assist flood risk and flood damage assessment. *International Journal of applied earth observation and geoinformation*, 4(3), 217-229.
- Wang, Y., Hong, H., Chen, W., Li, S., Pamučar, D., Gigović, L., ... & Duan, H. (2018). A hybrid GIS multi-criteria decision-making method for flood susceptibility mapping at Shangyou, China. *Remote Sensing*, 11(1), 62.
- Ziari, K., Rajaei, S. A., & Darabkhani, R. (2021). Zoning flood potential using analytic hierarchy process (AHP) and fuzzy logic in GIS Environment: A case study of Ilam city. *Journal of crisis management*, 10(19), pp. 21-30.
- Zin, W. W.; Kawasaki, A.; Akeuchi, W.; San, Z. M.L.T.; Htun, K.Z.; Aye, T.H.; Win, S. (2018). Flood Hazard Assessment of Bago River Basin, Myanmar, *Disaster Research* Vol. 13 No.1.
- Zhou, L., & Liu, L. (2024). Enhancing dynamic flood risk assessment and zoning using a coupled hydrological-hydrodynamic model and spatiotemporal information weighting method. *Journal of Environmental Management*, 366, 121831.