



University of Tehran

Environmental

Hazards

Management



Home Page: <https://jhsci.ut.ac.ir>

Online ISSN: 2383-0530

Ranking of the Siah Cheshmeh drainage basin in terms of flooding to manage flood hazards

Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam^{1*} | Tohid Rahimpour²

1. Corresponding Author, Department of Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Iran. Email: rezmogh@tabrizu.ac.ir

2. Department of Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Iran. Email: t.rahimpour@tabrizu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:

Research Article

Article History:

Received 28 February 2023

Received 01 April 2023

Accepted 19 April 2023

Published 20 May 2023

Keywords:

Flooding,

Hydrogeomorphic,

Ranking,

Siah Cheshmeh basin,

SWARA model.

ABSTRACT

The present study investigates and analyzes the role of hydrogeomorphic parameters in flood susceptibility of sub-basins of the Siah Cheshmeh basin located in West Azerbaijan province. For this purpose, first, the study area was divided into 6 sub-basins based on topographic and drainage characteristics using a digital elevation model (DEM) with a spatial resolution of 12.5 m. In the next step, 8 hydrogeomorphic parameters including Stream order, Streams length, Drainage density, Compactness coefficient, Circularity ratio, Form factor, Basin relief and Ruggedness number were prepared using Horton, Schumm, and Strahler geomorphological rules in ArcGIS software. Then, to weight the parameters, the SWARA multi criteria decision-making method was used, and the relative weight of each of the eight parameters was determined for the 6 studied sub-basins. The results of weighting and prioritization showed that sub-basins 2 and 4 with the weight of 0.276 and 0.250, respectively, have the highest weight and have very high flood susceptibility. In contrast, sub-basins 3, and 5 with weights of 0.105, and 0.061, respectively, had the lowest weights in terms of 8 parameters, and therefore, in terms of Flood susceptibility is very low in the class. The total area of the sub-basins that are in high and very high classes (sub-basins 2, and 4) is about 327 Km², which includes 33.8% of the total area of the basin.

Cite this article: Rezaei Moghaddam, M. H., Rahimpour, T. (2023). Ranking of the Siah Cheshmeh drainage basin in terms of flooding to manage flood hazards. *Environmental Hazards Management*, 10 (1), 1-14.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2023.356121.768>



© Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam, Tohid Rahimpour **Publisher:** University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2023.356121.768>

Introduction

Flood is a disaster that causes a lot of economic damage to farmlands, forests, gas and power transmission lines, roads, engineering structures, and buildings [2]. The current study investigates and analyses the role of hydrogeomorphic parameters in flood susceptibility of sub-basins of the Siah Cheshmeh basin located in West Azerbaijan province. For this purpose, using a digital elevation model (DEM) with a spatial resolution of 12.5 m, the study area was divided into 6 sub-basins based on topographic and drainage characteristics. In the next step, Using Horton, Schumm, and Strahler geomorphological rules in ArcGIS software, 8 hydrogeomorphic parameters, including Stream order, Streams length, Drainage density, Compactness coefficient, Circularity ratio, Form factor, Basin relief, and Ruggedness number were produced.

Study area

The Siah Cheshmeh basin is the study area that is located in the Western Azerbaijan province and the Northwest of Iran between 38°- 56'-50" and 39°- 16'-36" N and between 44°- 05'- 53" and 44°- 37'- 54" E. This basin is one of the sub-basins of the Aras River basin. Basin elevation variations are from 1673m to 3129m above sea level.

Materials and Methods

The Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) multi-criteria decision-making method was used in this study to weight the parameters, and the relative weight of each of the eight parameters was calculated for the 6 studied sub-basins. This model is one of the multi-criteria decision methods which was developed by Keršuliene et al (2010) [1].

Discussion and Results

A digital elevation model (DEM) with 12.5m spatial resolution and ArcGIS 10.8.2 software were utilized in the current study to produce the data layers maps. In the next step, The SWARA model was applied to the weighting of data layers. It was revealed that Sub-basins 2, and 4 (weighted as 0.273, and 0.191, respectively) have the highest impact on the occurrence of floods based on a comparison of the parameters for each Sub-basin. On the other hand, sub-basins 6 and 5 have the lowest weights (0.140 and 0.076 respectively).

Conclusion

Destructive floods occur every year in the Siah Cheshmeh basin, which is located in Chalderan county and West Azerbaijan province, when spring arrives, the snow in the mountains melts, and the spring rains begin. The aim of the current study was to investigate and evaluate how hydrogeomorphic parameters affect this basin's susceptibility to flooding. According to the findings of this study, subbasins 1, 2, and 4 are very susceptible to flooding. According to an evaluation of the SWARA model's accuracy based on the location of floods in the area, sub-basin 2 is where more than 50% of all floods occurred. Consequently, it can be said that the SWARA model has an acceptable level of accuracy in creating the flood map for the area's sub-basins. Therefore, based on the study's findings, it is necessary that the managers and planners of the area take the required measures to prevent the occurrence of dangerous floods in the sub-basins with high susceptible.

References

- [1]. Keršuliene, V., Zavadskas, E.K., Turskis, Z. (2010). "Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA)", *Journal of Business Economics and Management*. 11(2): 243–258. <https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12>.
- [2]. Rezaei Moghaddam, M.H., Hejazi, S.A., Valizadeh Kamran, K., Rahimpour, T. (2020). "Analysis of Hydrogeomorphic Properties of Aland Chai Basin to Prioritize Sub-Basins in terms of Flood Sensitivity", *Geography and Environmental Hazards*. 33: 15-20. <https://doi.org/10.22067/geo.v9i1.84675>.



رتبه‌بندی حوضه زهکشی سیه‌چشمه از نظر سیل‌خیزی به‌منظور مدیریت مخاطرات سیلاب

محمدحسین رضائی‌مقدم^{۱*} | توحید رحیم‌پور^۲

۱. نویسنده مسئول، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، ایران، رایانامه: rezmogh@tabrizu.ac.ir

۲. گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، ایران، رایانامه: t.rahimpour@tabrizu.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

یادداشت پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۳/۲۰

کلیدواژه:

حوضه آبریز سیه‌چشمه،

رتبه‌بندی،

سیل‌خیزی،

مدل SWARA

هیدروژئومورفیک.

در این تحقیق تأثیر شاخص‌های هیدروژئومورفیک بر حساسیت سیل‌خیزی زیرحوضه‌های حوضه آبریز سیه چشمه واقع در استان آذربایجان غربی بررسی و تحلیل شده است. ابتدا منطقه پژوهش براساس خصوصیات توپوگرافی و زهکشی و با استفاده از مدل رقمی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر به شش زیرحوضه تقسیم شد. در مرحله بعد هشت شاخص هیدروژئومورفیک شامل رتبه آبراهه، طول آبراهه، تراکم زهکشی، ضریب فشردگی، نسبت مدور بودن، ضریب شکل، برجستگی حوضه و عدد سختی یا زبری با استفاده از قوانین ژئومورفولوژیکی هورتن، شوم و استرالر در محیط نرم‌افزار ArcGIS محاسبه و لایه‌های اطلاعاتی هر یک از این شاخص‌ها تهیه شد. در ادامه برای وزن‌دهی شاخص‌ها از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره SWARA استفاده و وزن نسبی هر یک از شاخص‌های هشت‌گانه برای شش زیرحوضه تعیین شد. نتایج وزن‌دهی و رتبه‌بندی نشان داد که زیرحوضه‌های ۲ و ۴ به‌ترتیب با وزن ۰/۲۷۳ و ۰/۱۹۱ بیشترین وزن را دارند و از حساسیت سیل‌خیزی زیادی برخوردارند. در مقابل زیرحوضه‌های ۶ و ۵ به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۱۴۰ و ۰/۰۷۱ کمترین وزن را از نظر هشت شاخص داشته و در نتیجه در طبقات کم و خیلی کم از نظر حساسیت سیل‌خیزی قرار دارند. مجموع مساحت زیرحوضه‌های واقع در طبقات زیاد و خیلی زیاد (زیرحوضه‌های ۱، ۲ و ۴) حدود ۶۰۹ کیلومتر مربع است که ۶۳ درصد از کل مساحت حوضه را شامل می‌شود. از این‌رو ضرورت دارد که این زیرحوضه‌ها از نظر اقدامات آبخیزداری برای کاهش پتانسیل سیل‌خیزی در اولویت قرار گیرند.

استناد: رضائی‌مقدم، محمدحسین؛ رحیم‌پور، توحید (۱۴۰۲). رتبه‌بندی حوضه زهکشی سیه‌چشمه از نظر سیل‌خیزی به‌منظور مدیریت مخاطرات سیلاب. مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۰ (۱)، ۱-۱۴. DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2023.356121.768>

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2023.356121.768>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© محمدحسین رضائی‌مقدم، توحید رحیم‌پور.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2023.356121.768>



مقدمه

مخاطرات هیدروژئومورفولوژیک همچون سیل، مخاطراتی ترکیبی هستند که منشأ اقلیمی، ژئومورفولوژیک، اجتماعی و هیدرولوژیک دارند [۶]. سیلاب‌ها ناگهان شروع می‌شوند و در چند ساعت به سرعت شدت می‌یابند [۱۴]. افزایش جمعیت و رشد سریع توسعه شهری و ساخت‌وساز در کنار رودخانه، خطر سیل‌گیری را در بسیاری از مناطق افزایش داده است [۱۰]. در سراسر جهان، بیش از یک‌سوم سطح زمین در معرض سیلاب‌ها قرار دارد که بیش از ۷۰ درصد از جمعیت در آن سکونت دارند [۱۱]. تعدادی از رویکردهای کمی و کیفی در ادبیات علمی برای مدل‌سازی سیلاب در داخل حوضه آبریز وجود دارد [۲۷]. تحلیل ژئومورفومتریکی، روشی کمی برای ارزیابی خصوصیات زیرحوضه است [۲۱]. ویژگی‌های حوضه آبریز اثر اساسی در بیان کمی و تحلیل شاخص‌های ژئومورفومتریکی برای پیش‌بینی سیلاب و شدت فرسایش و رسوب دارند [۱۸]. آبراهه‌های فرعی و حوضه‌های آنها تأثیر مهمی در وقوع سیلاب‌های پایین‌دست دارند. هر زیرحوضه به دلیل مورفومتری زهکشی متنوع، تأثیر متمایزی بر کانال اصلی دارد [۳۱]. افزون‌بر این، تغییرات مورفولوژیکی در کانال‌های رودخانه‌ای ناشی از دخالت انسان یا به‌صورت طبیعی، گاهی ممکن است به تغییراتی در جریان رودخانه و ایجاد سیل منجر شود [۳۹]. در روش تحلیل مورفومتریکی، خصوصیات فیزیوگرافیکی و مورفولوژیکی حوضه آبریز براساس مدل رقومی ارتفاعی (DEM) بررسی می‌شود [۱۹]. اگرچه جلوگیری از وقوع سیل امکان‌پذیر نیست، می‌توان آن را از طریق تجزیه و تحلیل‌های مناسب، پیش‌بینی و کنترل کرد [۱۵]. برای پیش‌بینی احتمال وقوع سیل و کاهش و مدیریت سیلاب‌های آینده، تهیه نقشه حساسیت سیل گامی ضروری است [۲۵]. پیش‌بینی آسیب‌پذیری سیل می‌تواند تلفات سیل و خسارت‌های اقتصادی را کاهش دهد [۱۷].

تحقیقات مختلفی در زمینه بررسی حساسیت سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز در داخل و خارج از کشور انجام گرفته که برخی از تازه‌ترین آنها در جدول ۱ ارائه شده است:

جدول ۱. مرور منابعی از تحقیقات مرتبط با رتبه‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها

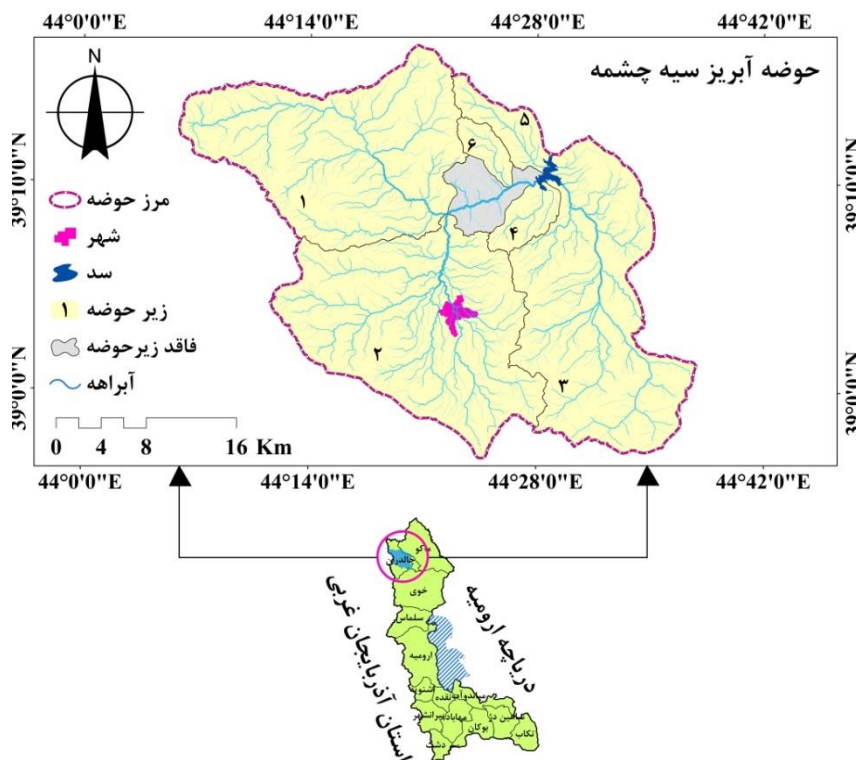
پژوهشگران	مدل تحقیق	منطقه پژوهش	یافته‌های تحقیق
بدری و همکاران (۱۳۹۵)	روش SCS و روش ماسکینگام	زیرحوضه‌های آبخیز بهشت‌آباد استان چهارمحال و بختیاری	زیرحوضه درکش ورکش بیشترین سهم را در دبی اوج سیلاب خروجی از حوضه بر عهده دارد [۲].
قضاوی و همکاران (۱۳۹۸)	روش AHP و PCA	زیرحوضه‌های شهری ارومیه	روش PCA از دقت بیشتری در وزن‌دهی معیارها برخوردار است [۷].
رضائی مقدم و همکاران (۱۳۹۹)	روش SWARA	حوضه آبریز الوندچای	هفت زیرحوضه از پانزده زیرحوضه بررسی شده از حساسیت سیل‌خیزی زیاد و خیلی زیاد برخوردارند [۴].
رضائی مقدم و همکاران (۱۳۹۹)	روش MACBETH	حوضه آبریز الوندچای	سه زیرحوضه از پانزده زیرحوضه در طبقه خیلی زیاد و چهار زیرحوضه در طبقه زیاد قرار دارند [۵].
محمدی و همکاران (۱۴۰۱)	روش AHP و TOPSIS، روش آنالیز مورفومتریکی و روش تجزیه و تحلیل منطقه‌ای	حوضه آبریز دهبار	سه زیرحوضه از ده زیرحوضه بررسی شده از لحاظ ضرورت اقدامات آبخیزداری در اولویت قرار دارند [۸].
پرساد و پانی (۲۰۱۷)	مدل تحلیل مجموع وزنی (WSA)	حوضه آبریز رودخانه بوهی در هند	زیرحوضه‌های واقع در طبقه خیلی زیاد و زیاد، کمترین زمان تأخیر و بیشترین دبی حداکثری را در هر واحد از حوضه آبریز دارند [۳۳].
محمود و رحمان (۲۰۱۹)	روش تحلیل هم‌پوشانی وزنی	حوضه آبریز پنج‌کورا در پاکستان	۲۷ درصد از مساحت منطقه در طبقه خطر خیلی زیاد و ۳۶/۵ درصد نیز در طبقه خطر زیاد از نظر حساسیت خطر سیل قرار دارد [۲۸].

همه‌ساله با شروع فصل بهار و آغاز بارش‌های بهاری از یک‌سو و ذوب تدریجی برف‌های ارتفاعات منطقه از سوی دیگر، سیلاب‌های مخربی در سطح حوضه آبریز سیه‌چشمه روی می‌دهد که خسارات فراوانی را به مردم منطقه و به‌خصوص کشاورزان وارد می‌آورد. طبق گزارش‌های سازمان هواشناسی استان آذربایجان غربی، از سیل‌های بزرگ و مخرب سال‌های اخیر که موجب

وارد آمدن خسارات جانی و مالی زیادی در منطقه شده‌اند می‌توان به سیل‌های ۲۵ تیرماه ۱۳۹۰، ۲۰ تا ۲۳ تیرماه ۱۳۹۵، تیرماه ۱۳۹۹ و مردادماه ۱۴۰۰ اشاره کرد. تحقیق حاضر با هدف رتبه‌بندی زیرحوضه‌های این حوضه زهکشی از نظر حساسیت سیل‌خیزی با استفاده از شاخص‌های هیدروژئومورفیک و روش تصمیم‌گیری SWARA و با بهره‌گیری از توانایی سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام گرفته است. شناسایی زیرحوضه‌های با حساسیت سیل‌خیزی زیاد و رتبه‌بندی آنها، کمک شایانی به مدیران و برنامه‌ریزان منطقه در اجرای عملیات آبخیزداری و اقدامات حفاظتی به منظور جلوگیری از وقوع سیل در این زیرحوضه‌ها می‌کند.

منطقه پژوهش

منطقه پژوهش حوضه آبریز سیه چشمه (نام محلی = قره‌عینی) است که از نظر موقعیت سیاسی در استان آذربایجان غربی و شهرستان چالدران واقع شده است (شکل ۱). حوضه سیه چشمه از نظر موقعیت جغرافیایی بین $39^{\circ}00'00''N$ تا $39^{\circ}10'00''N$ و $44^{\circ}00'00''E$ تا $44^{\circ}42'00''E$ طول شرقی و $38^{\circ}56'50''$ تا $39^{\circ}16'36''$ عرض شمالی واقع شده است. منطقه پژوهش با مساحت تقریبی ۹۶۶ کیلومترمربع از زیرحوضه‌های حوضه آبریز رود ارس محسوب می‌شود. میانگین بارش سالانه منطقه بیش از ۴۰۰ میلی‌متر، حداکثر ارتفاع منطقه ۳۱۲۹ متر در ارتفاعات شمال غربی منطقه و حداقل ارتفاع نیز در خروجی حوضه ۱۶۷۳ متر از سطح دریاست. آب‌های سطحی منطقه توسط آبراهه‌های موجود در سطح حوضه به طرف خروجی حوضه زهکشی شده و پس از پیوستن به رودخانه ارس به دریای خزر می‌ریزند.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه پژوهش

مدل SWARA

مدل SWARA یا تحلیل نسبت ارزیابی وزن‌دهی تدریجی توسط کرسولین و همکاران در سال ۲۰۱۰ ارائه شد. این مدل به‌عنوان یکی از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) است که برای محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارها استفاده می‌شود. روش تعیین وزن با استفاده از SWARA در گام‌های زیر ذکر شده است:

گام اول: ایجاد یک مدل تصمیم‌گیری براساس رابطه بین شاخص‌ها. در این مرحله معیارهای مورد استفاده در تهیه نقشه حساسیت سیل‌خیزی براساس اهمیت به صورت نزولی مرتب می‌شوند. برای تعیین اهمیت هر شاخص از روش قضاوت کارشناس که توسط کندال [۲۳]، زاوادسکاس و ویلاتین [۴۱] و زاوادسکاس و همکاران [۴۰] ارائه شده است استفاده می‌شود.

گام دوم: وزن معیارها به صورت زیر محاسبه می‌شوند: از معیار دوم شروع می‌شود، پاسخ‌دهنده اهمیت نسبی معیار z را در ارتباط با معیار قبلی ($z - 1$) بیان و این کار را برای هر معیار تکرار می‌کند. [۲۴]. این نسبت اهمیت مقایسه‌ای مقدار میانگین S_j نامیده می‌شود که از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$S_j = \frac{\sum_i^n A_i}{n} \quad (1)$$

n تعداد کارشناسان؛ A_i رتبه‌های ارائه‌شده توسط کارشناسان برای هر شاخص و z تعداد شاخص‌هاست.

گام سوم: ضریب K_j از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$K_j = \begin{cases} 1 & j=1 \\ S_j + 1 & j>1 \end{cases} \quad (2)$$

گام چهارم: وزن مجدد q_j از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$q_j = \begin{cases} 1 & j=1 \\ \frac{k_j - 1}{k_j} & j>1 \end{cases} \quad (3)$$

گام پنجم: وزن نسبی معیارها از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$W_j = \frac{q_j}{\sum_{j=1}^n q_j} \quad (4)$$

که در آن W_j نشان‌دهنده وزن نسبی معیار z و n نشان‌دهنده تعداد کل معیارهاست [۲۴].

شاخص‌های هیدروژئومورفیک از سه جنبه خصوصیات شبکه زهکشی، شاخص‌های شکلی حوضه و خصوصیات برجستگی حوضه آبریز بررسی شده قرار گرفته است (جدول ۲). برای محاسبه مقادیر شاخص‌ها و تهیه لایه‌های اطلاعاتی هر یک از آنها از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر استفاده شد. لایه DEM منطقه از وب‌سایت ناسا به نشانی (<https://vertex.daac.asf.alaska.edu>) تهیه شد.

جدول ۲. شاخص‌های بررسی‌شده و فرمول محاسبه آنها

منبع	فرمول	شاخص
[۲۱]	$Dd = Lu/A$ طول کل آبراهه‌های حوضه آبریز = Lu مساحت حوضه آبریز = A	تراکم زهکشی
[۲۱]	$Cc = 0.2812 \times P/A^{0.5}$ محیط حوضه آبریز = P	ضریب فشردگی
[۳۷]	$Rc = 4 \times 3.14 A/P^2$	نسبت مدور بودن
[۲۱]	$Ff = A/Lb^2$	ضریب شکل
[۳۴]	$Bh = hmax - hmin$ حداکثر ارتفاع حوضه آبریز = $hmax$ حداقل ارتفاع حوضه آبریز = $hmin$	برجستگی حوضه
[۳۸]	$Rn = Bh \times Dd$	عدد سختی یا زبری

داده‌ها و تحلیل

مورفومتری حوضه آبریز توصیف کاملی از ارتباط بین فرایندهای مختلف روی زمین و اجزای متنوع سیستم زمین از قبیل ژئومورفولوژی، هیدرولوژی و زمین‌شناسی ارائه می‌دهد [۲۲]. این نوع تحلیل ابزار مهمی برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بدون در نظر گرفتن نقشه‌های خاک است [۱۳]. در تحقیق حاضر هشت شاخص هیدروژئومورفیک به‌منظور بررسی تأثیر این شاخص‌ها در حساسیت سیل‌خیزی حوضه آبریز سیه‌چشمه تجزیه و تحلیل شد (جدول ۳). منطقه پژوهش با استفاده از خصوصیات توپوگرافی و زهکشی به شش زیرحوضه تقسیم شد.

رتبه آبراهه (Stream order)

تقسیم و رتبه‌بندی سلسله‌مراتبی آبراهه‌ها به‌منظور توضیح ویژگی هیدرودینامیکی حوضه زهکشی ضروری است [۲۶]. این شاخص مهم نشان‌دهنده اندازه رودخانه، دبی و مساحت زهکشی است [۳۵]. زیرحوضه‌های با رتبه آبراهه بزرگ‌تر با دبی بیشتر و شدت و سرعت جریان بیشتری همراه‌اند [۱۶]. بنابراین زیرحوضه‌هایی که رتبه‌های بالاتری از آبراهه‌ها را نشان می‌دهند از حساسیت سیل‌خیزی زیادی برخوردارند [۵]. در زیرحوضه‌های منطقه پژوهش کوچک‌ترین رتبه با عدد ۳ مربوط به زیرحوضه‌های ۴، ۵ و ۶ است و زیرحوضه ۲ بزرگ‌ترین رتبه یعنی ۶ را به خود اختصاص داده است.

طول آبراهه (Streams length)

طول آبراهه فاصله از دهانه حوضه تا دورترین بخش از شبکه زهکشی [۲۱] و مقداری از سیمای هیدرولوژیکی سنگ بستر و وسعت زهکشی است [۲۶]. هر جا که تشکیلات سنگ بستر نفوذپذیر باشد، تعداد کمی از آبراهه‌های طویل شکل می‌گیرد. آبراهه‌های بیشتر با طول کمتر در مناطق کمتر نفوذپذیر توسعه می‌یابند [۳۶]. طول آبراهه‌های منطقه پژوهش بین ۲۳ تا ۵۰۰ کیلومتر متغیر است. زیرحوضه ۶ کمترین و زیرحوضه ۲ بیشترین مقدار را داشته‌اند.

تراکم زهکشی (Drainage density)

تراکم زهکشی از شاخص‌های ریخت‌سنجی مهم برای حوضه‌هایی است که آبراهه‌های آنها بیانگر فرایندهای حاکم بر حفر چشم‌اندازهاست [۳۵]. مقدار تراکم زهکشی از نسبت مجموع طول تمام آبراهه‌های حوضه به مساحت حوضه به‌دست می‌آید [۲۱]. به‌طور کلی مقادیر کم تراکم زهکشی در مناطق بسیار مقاوم و دارای مواد نفوذپذیر زیر خاک، دارای پوشش گیاهی زیاد است و در مناطقی که برجستگی کم است مشاهده می‌شود، اما مقادیر زیاد تراکم زهکشی نشان‌دهنده این است که منطقه شامل واحدهای سنگی با مقاومت کم یا نفوذناپذیر، با پوشش گیاهی اندک و پستی و بلندی زیاد است [۳]. تراکم زهکشی زیرحوضه‌های منطقه پژوهش بین ۱/۳۹ تا ۱/۶۵ محاسبه شده است که زیرحوضه ۵ کمترین تراکم و زیرحوضه ۲ بیشترین تراکم زهکشی را دارد.

ضریب فشردگی (Compactness coefficient)

ضریب فشردگی عبارت است از نسبت محیط حوضه به محیط دایره فرضی که مساحت آن برابر با مساحت حوضه است. ضریب فشردگی ۱ نشان می‌دهد که حوضه دایره کامل است. مقدار بزرگ‌تر از ۱ نشان‌دهنده کشیدگی حوضه است. حوضه دایره‌ای از نظر زهکشی حساس‌تر است، زیرا کمترین زمان تمرکز را قبل از روی دادن اوج جریان در حوضه به‌دست خواهد آورد [۳۰]. در منطقه پژوهش، کمترین ضریب فشردگی با ۱/۵۵ مربوط به زیرحوضه ۴ و بیشترین ضریب با ۲/۰۷ مربوط به زیرحوضه ۳ است.

نسبت مدور بودن (Circularity ratio)

نسبت مدور بودن عبارت است از نسبت مساحت حوضه به مساحت دایره‌ای که محیط آن مساوی محیط حوضه است [۲۹]. نسبت مدور بودن از عامل‌های تراکم زهکشی، تناوب زهکشی، ساختار زمین‌شناسی، برجستگی، شیب، پوشش گیاهی و پوشش

زمین حوضه آبریز تأثیر می‌پذیرد و مقادیر آن از صفر برای شکل کاملاً کشیده تا ۱ برای شکل دایره‌ای کامل متغیر است [۱۲]. هر چه مقادیر این شاخص به ۱ نزدیک‌تر باشد حساسیت سیل خیزی حوضه بیشتر خواهد بود [۵]. در منطقه پژوهش، زیرحوضه ۳ با ۰/۲۳ کمترین و زیرحوضه‌های ۶ و ۴ به ترتیب با ۰/۳۹ و ۰/۴۱ بیشترین ضریب را داشته‌اند.

ضریب شکل (Form Factor)

ضریب شکل، شکل‌گیری سیل، درجه فرسایش و ظرفیت حمل بار رسوبی حوضه را نشان می‌دهد. این عامل شکل حوضه را تعیین می‌کند و مقادیر آن از صفر برای حوضه کشیده تا ۱ برای حوضه دایره‌ای کامل متغیر است. حوضه دایره‌ای نشان‌دهنده اوج جریان زیاد در مدت زمان کوتاه‌تر است، درحالی که حوضه کشیده، اوج جریان آرام را در مدت زمانی طولانی‌تر نشان می‌دهد. در حوضه کشیده، جریان سیل نسبت به حوضه دایره‌ای به راحتی می‌تواند مدیریت شود [۱۲]. در منطقه پژوهش، زیرحوضه ۵ با ۰/۳۰ و زیرحوضه ۲ با ۰/۶۹ به ترتیب کمترین و بیشترین ضریب شکل را داشته‌اند.

برجستگی حوضه (Basin Relief)

این شاخص شیب آبراهه را کنترل می‌کند و در نتیجه بر مقدار حمل رسوب و الگوهای سیل تأثیر می‌گذارد [۲۰]. برجستگی حوضه از اختلاف بین مرتفع‌ترین و پست‌ترین ارتفاعات حوضه به دست می‌آید [۳۴]. به طور معمول رواناب در حوضه‌های با نسبت برجستگی بزرگ و شیب تندتر، سریع‌تر جریان می‌یابد. بنابراین حوضه‌هایی با نسبت برجستگی بزرگ‌تر، زمان تأخیر کمتر، اوج زیاد و سرعت جریان بیشتری را تجربه می‌کنند و از این رو از حساسیت زیادی برای سیل برخوردارند [۹]. در منطقه پژوهش کمترین برجستگی با ۵۱۵ متر مربوط به زیرحوضه ۴ و بیشترین مقدار نیز با ۱۳۶۶ متر مربوط به زیرحوضه ۱ است.

عدد سختی یا زبری (Ruggedness number)

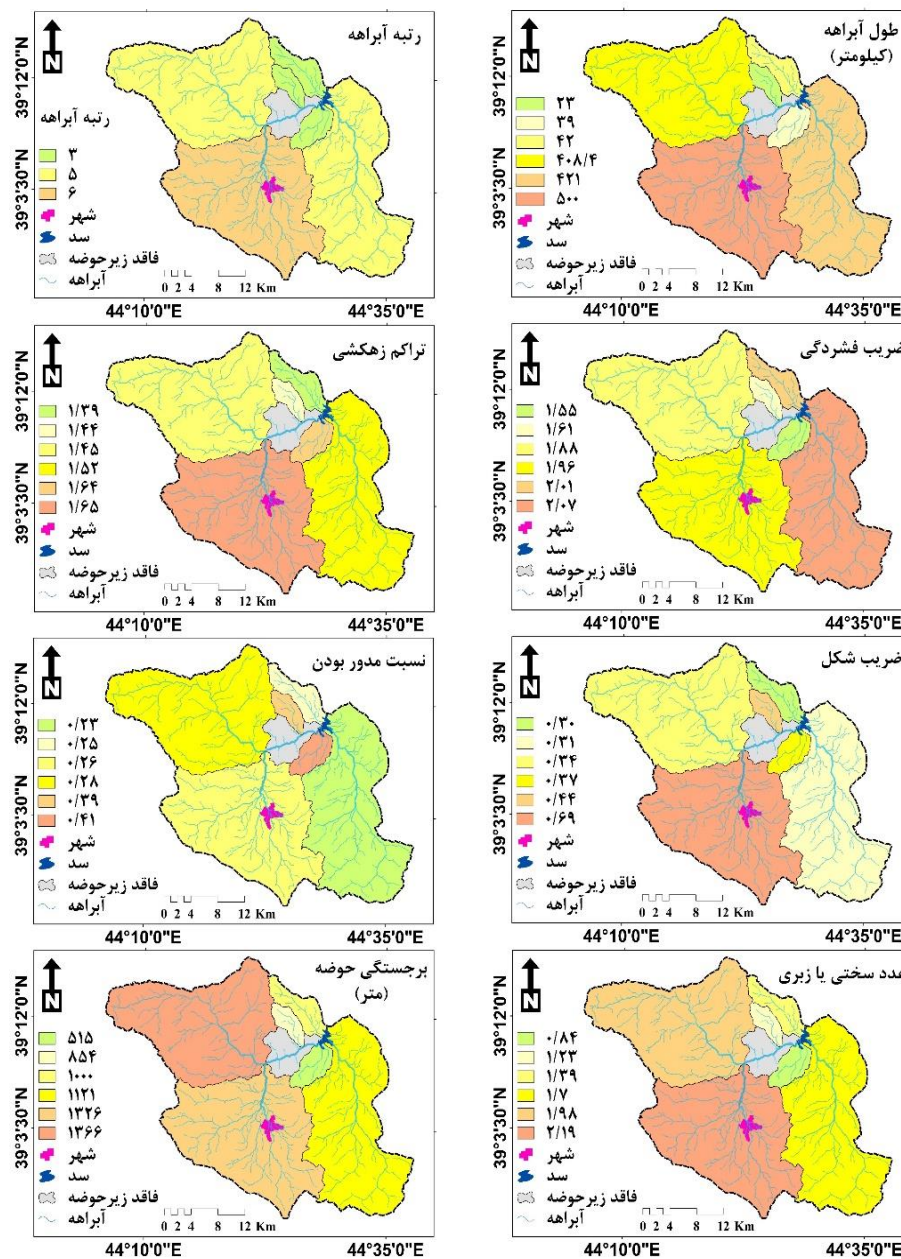
این شاخص برای اندازه‌گیری پتانسیل سیل آبراهه‌ها استفاده می‌شود [۳۲]. ضریب زبری اثر مستقیم بر زمان پیمایش و مقدار تلفات رواناب سطحی دارد. با افزایش ضریب زبری، میانگین و زمان پیمایش افزایش می‌یابد و افزایش ضریب زبری نیز موجب افزایش تنش برشی و تلفات و در نتیجه کند شدن موج سیل می‌شود [۱]. کمترین مقدار این شاخص با ۰/۸۴ برای زیرحوضه ۴ و بیشترین مقدار نیز برای زیرحوضه ۲ با ۲/۱۹ محاسبه شده است.

جدول ۳. مقادیر محاسبه‌شده شاخص‌های هیدروژئومورفیک برای هر یک از زیرحوضه‌ها

Rn	Bh	Ff	Rc	Cc	Dd	Lu	So	No
۱/۹۸	۱۳۶۶	۰/۳۴	۰/۲۸	۱/۸۸	۱/۴۵	۴۰۸/۴	۵	۱
۲/۱۹	۱۳۲۶	۰/۶۹	۰/۲۶	۱/۹۶	۱/۶۵	۵۰۰	۶	۲
۱/۷	۱۱۲۱	۰/۳۱	۰/۲۳	۲/۰۷	۱/۵۲	۴۲۱	۵	۳
۰/۸۴	۵۱۵	۰/۳۷	۰/۴۱	۱/۵۵	۱/۶۴	۳۹	۳	۴
۱/۳۹	۱۰۰۰	۰/۳۰	۰/۲۵	۲/۰۱	۱/۳۹	۴۲	۳	۵
۱/۲۳	۸۵۴	۰/۴۴	۰/۳۹	۱/۶۱	۱/۴۴	۲۳	۳	۶

No شماره زیرحوضه، So رتبه آبراهه، Lu طول آبراهه، Dd تراکم زهکشی، Cc ضریب فشردگی، Rc نسبت مدور بودن، Ff ضریب شکل، Bh برجستگی، Rn عدد

سختی یا زبری



شکل ۲. نقشه لایه‌های اطلاعاتی شاخص‌های هیدروژئومورفیک

وزن‌دهی شاخص‌ها و رتبه‌بندی زیر حوضه‌ها

پس از تکمیل اطلاعات هیدروژئومورفیک هر یک از زیرحوضه‌ها و بررسی تأثیر این شاخص‌ها در حساسیت سیل‌خیزی حوضه آبریز، به‌منظور وزن‌دهی شاخص‌ها از مدل SWARA استفاده شد. برای وزن‌دهی شاخص‌ها از نظر کارشناسان، استادان ژئومورفولوژی و نتایج محققان دیگر استفاده شد و وزن‌دهی شاخص‌ها براساس تأثیر هر کدام از آنها در سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها صورت گرفت. همان‌طور که در بخش روش تحقیق گفته شد، در این مدل شاخص‌ها به‌ترتیب نزولی مرتب شده و به شاخصی که بیشترین تأثیر را دارد رتبه ۱ داده می‌شود. شاخص‌های دیگر نیز براساس اهمیتشان در حساسیت سیل‌خیزی در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. نتایج وزن‌دهی شاخص‌های استفاده‌شده برای شش زیرحوضه یادشده در جدول‌های ۴ و ۵ آورده شده است. براساس نتایج این جدول‌ها، زیرحوضه‌های ۱، ۲ و ۴ وزن‌های بیشتری را از نظر هر شاخص به خود اختصاص داده‌اند که سیل‌خیزی این زیرحوضه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۴. مقادیر محاسبه شده qj

Rn	Bh	Ff	Rc	Cc	Dd	Lu	So	No
۰/۲۰	۱	۰/۱۵	۰/۶۴	۰/۴۸	۰/۱۹	۰/۲۷	۰/۷۱	۱
۰/۱۷	۰/۵۹	۱	۰/۴۶	۰/۳۲	۱	۱	۱	۲
۰/۲۷	۰/۴۵	۰/۰۸	۰/۳۵	۰/۲۲	۰/۳۷	۰/۵۳	۰/۷۱	۳
۱	۰/۰۷	۰/۲۸	۱	۱	۰/۵۶	۰/۰۸	۰/۲۴	۴
۰/۳۵	۰/۲۴	۰/۰۴	۰/۳۸	۰/۲۴	۰/۰۵	۰/۱۶	۰/۲۴	۵
۰/۵۹	۰/۱۳	۰/۵۴	۰/۷۷	۰/۶۷	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۲۴	۶

جدول ۵. وزن نسبی شاخص‌ها برای شش زیرحوضه

Rn	Bh	Ff	Rc	Cc	Dd	Lu	So	No
۰/۰۷۹	۰/۴۰۴	۰/۰۷۱	۰/۱۷۸	۰/۱۶۲	۰/۰۸۵	۰/۱۵۴	۰/۲۲۷	۱
۰/۰۶۶	۰/۲۳۸	۰/۴۷۷	۰/۱۲۷	۰/۱۰۸	۰/۴۳۹	۰/۴۱۶	۰/۳۱۸	۲
۰/۱۰۳	۰/۱۸۳	۰/۰۳۷	۰/۰۹۶	۰/۰۷۵	۰/۱۶۲	۰/۲۷۸	۰/۲۲۷	۳
۰/۳۸۸	۰/۰۲۶	۰/۱۳۵	۰/۲۷۸	۰/۳۴۱	۰/۲۴۳	۰/۰۴۵	۰/۰۷۵	۴
۰/۱۳۴	۰/۰۹۶	۰/۰۱۹	۰/۱۰۶	۰/۰۸۳	۰/۰۲۳	۰/۰۸۱	۰/۰۷۵	۵
۰/۲۲۸	۰/۰۵۰	۰/۲۵۸	۰/۲۱۳	۰/۲۲۷	۰/۰۴۵	۰/۰۲۴	۰/۰۷۵	۶

پس از تعیین وزن نسبی هر یک از شاخص‌ها برای شش زیرحوضه، وزن نهایی هر زیرحوضه از مجموع هشت شاخص مدنظر تعیین شده و زیرحوضه‌ها از نظر وزن نهایی به ترتیب رتبه‌بندی شدند. وزن نهایی شاخص‌ها برای شش زیرحوضه در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج نهایی وزن‌دهی شاخص‌ها نشان می‌دهد که زیرحوضه‌های ۲ و ۴ طبق هشت شاخص هیدروژئومورفیک تحت بررسی، به ترتیب بیشترین وزن را دارند و از حساسیت سیل‌خیزی خیلی زیادی برخوردارند. در مقابل دو زیرحوضه (شامل زیرحوضه‌های ۶ و ۵) کمترین وزن و در نتیجه کمترین حساسیت را از نظر سیل‌خیزی نشان می‌دهند.

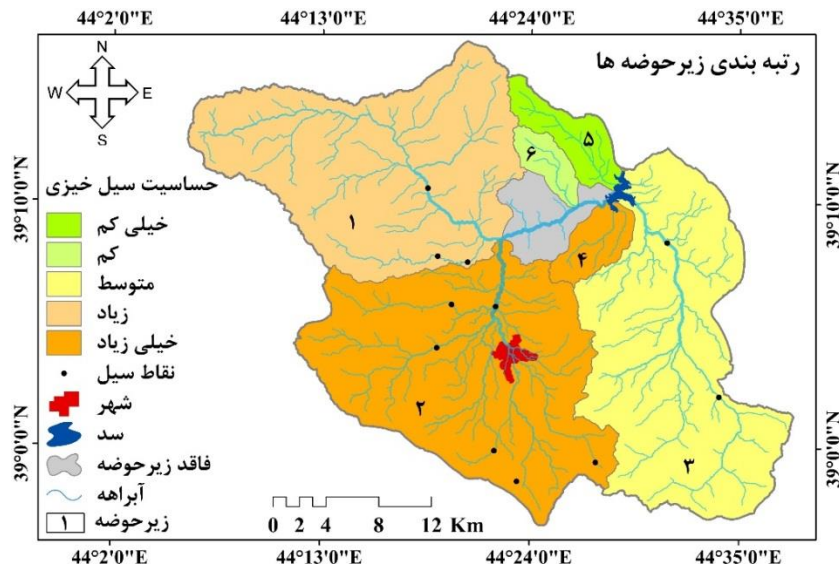
جدول ۶. وزن نهایی شاخص‌ها و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر سیل‌خیزی

زیرحوضه	وزن نهایی هشت شاخص برای هر زیرحوضه	اولویت‌بندی	سیل‌خیزی
۲	۰/۲۷۳	۱	خیلی زیاد
۴	۰/۱۹۱	۱	زیاد
۱	۰/۱۷۰	۲	متوسط
۳	۰/۱۴۵	۳	کم
۶	۰/۱۴۰	۴	خیلی کم
۵	۰/۰۷۶	۵	

شکل ۳ نقشه رتبه‌بندی زیرحوضه‌ها را از نظر حساسیت سیل‌خیزی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود از مجموع شش زیرحوضه، دو زیرحوضه در طبقه خیلی زیاد از نظر حساسیت خطر سیل‌خیزی قرار گرفته‌اند. زیرحوضه ۲ که بیشترین مساحت را نسبت به بقیه زیرحوضه‌ها دارد (۳۰۳ کیلومترمربع)، در این طبقه‌بندی جزو زیرحوضه‌های با حساسیت سیل‌خیزی خیلی زیاد قرار گرفته است که ضرورت دارد اقدامات آبخیزداری مناسب مانند احداث سیل بند در مسیر آبراهه‌های آن، احیای پوشش گیاهی مراتع در سطح دامنه‌های آن، لایروبی بستر آبراهه‌های اصلی، جلوگیری از تجاوز به حریم رودخانه برای ساخت‌وساز و عملیات کشاورزی و ... به‌منظور مدیریت این زیرحوضه از نظر سیل‌خیزی صورت گیرد. با مدیریت مناسب زیرحوضه‌های حساس از نظر سیل‌خیزی مانند زیرحوضه‌های ۴ و ۲ می‌توان از خسارت‌های احتمالی در صورت وقوع سیل جلوگیری کرد یا این خسارت‌ها را به کمترین حد رساند.

به‌منظور ارزیابی دقت مدل استفاده‌شده در رتبه‌بندی زیرحوضه‌ها و صحت‌سنجی نقشه نهایی، از موقعیت مکانی سیلاب‌های رخ داده در سطح منطقه در طی سال‌های اخیر طبق گزارش‌های سازمان هواشناسی استان آذربایجان غربی و شرکت مدیریت

منابع آب ایران استفاده شده است (جدول ۷). نتایج این ارزیابی نشان می‌دهد که بیش از ۸۰ درصد سیلاب‌ها در زیرحوضه‌های ۱ و ۲ اتفاق افتاده‌اند که از حساسیت سیل‌خیزی زیادی برخوردارند. از جمله این سیلاب‌ها می‌توان به سیل تیرماه ۱۳۹۹ اشاره کرد که در روستاهای سعدل، تازه‌کند و زاویه سفلی واقع در زیرحوضه ۲ رخ داد که براساس گزارش ستاد مدیریت بحران شهرستان چالدران، به بیش از ۱۰۰ هکتار از اراضی این روستاها خسارت وارد کرد.



شکل ۳. نقشه رتبه‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر حساسیت سیل‌خیزی

جدول ۷. ارزیابی نقشه نهایی با استفاده از موقعیت مکانی سیلاب‌ها

حساسیت سیل‌خیزی	تعداد سیل	درصد تعداد سیل
خیلی زیاد	۶	۵۴/۵
زیاد	۳	۲۷/۳
متوسط	۲	۱۸/۲
کم	-	-
خیلی کم	-	-

نتیجه‌گیری

در حوضه آبریز سیه‌چشمه واقع در شهرستان چالدران و استان آذربایجان غربی هر سال با شروع فصل بهار و ذوب شدن برف‌های ارتفاعات و آغاز بارندگی‌های بهاره سیلاب‌های مخرب روی می‌دهد. تحقیق حاضر تلاشی بوده است به‌منظور بررسی و ارزیابی نقش شاخص‌های هیدروژئومورفیک در حساسیت سیل‌خیزی زیرحوضه‌های سیه‌چشمه که با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره SWARA و GIS انجام گرفته است. برای بررسی زیرحوضه‌ها از هشت شاخص هیدروژئومورفیک شامل رتبه آبراهه، طول آبراهه، تراکم زهکشی، ضریب فشردگی، نسبت مدور بودن، ضریب شکل، عدد سختی یا زبری و برجستگی حوضه آبریز استفاده شد. نتایج وزن‌دهی شاخص‌ها برای زیرحوضه‌های تحت بررسی نشان داد که زیرحوضه‌های ۲ و ۴ بیشترین وزن را داشته‌اند. این زیرحوضه‌ها از نظر حساسیت سیل‌خیزی در طبقه خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. زیرحوضه ۱ نیز با وزن ۰/۱۷۰ در طبقه زیاد از نظر حساسیت سیل‌خیزی قرار دارد. مجموع مساحت زیرحوضه‌هایی که در طبقات زیاد و خیلی زیاد از نظر سیل‌خیزی قرار دارند ۶۰۹ کیلومترمربع است که ۶۳ درصد از کل مساحت حوضه آبریز سیه‌چشمه را شامل می‌شود. آبراهه‌هایی که در این زیرحوضه‌ها جریان دارند اغلب از داخل یا مجاورت روستاها عبور می‌کنند که تهدیدی برای این روستاها محسوب می‌شوند. با شناسایی روستاهای در معرض خطر و با اقداماتی مانند ایجاد دیوار ساحلی برای هدایت رواناب‌ها به بیرون از روستاها، می‌توان از وقوع سیل در این روستاها جلوگیری کرد. ارزیابی دقت مدل SWARA در رتبه‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر سیل‌خیزی با

سیلاب‌های رخ داده در منطقه نشان داد که بیش از ۵۰ درصد سیلاب‌ها در زیرحوضه ۲ که از سیل‌خیزی شدیدی برخوردار است، به وقوع پیوسته است. از این رو می‌توان گفت که مدل SWARA از دقت مناسبی در تهیه نقشه سیل‌خیزی زیرحوضه‌های منطقه برخوردار است. نتایج این تحقیق با یافته‌های پژوهشگرانی همچون رضائی‌مقدم و همکاران [۴] در حوضه آبریز الندیچای مطابقت دارد. پژوهشگران یادشده نیز مدل SWARA را روشی مناسب برای تهیه نقشه سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها پیشنهاد کرده بودند. بنابراین با توجه به یافته‌های تحقیق مبنی بر حساسیت سیل‌خیزی زیاد بیش از ۵۰ درصد مساحت منطقه، ضرورت دارد که مدیران و برنامه‌ریزان منطقه به‌منظور جلوگیری از وقوع سیلاب‌های خطرناک یا کاهش وقوع آنها تمهیدات لازم را در زیرحوضه‌های با حساسیت زیاد به کار گیرند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله مراتب قدردانی و سپاس خود را از سازمان هواشناسی استان آذربایجان غربی و شرکت مدیریت منابع آب ایران بابت در اختیار قرار دادن اطلاعات لازم برای اجرای این پژوهش اعلام می‌دارند.

منابع

- [۱]. اکبریور، ابوالفضل؛ و شریفی، محمدباقر (۱۳۸۶). محاسبه رواناب با استفاده از توزیع مکانی شاخص‌های مبتنی بر توپوگرافی، نشریه دانشکده مهندسی، ۱۹(۱)، 85-106.
- [۲]. بدری، بهرام؛ زارع بیدکی، رفعت؛ هنربخش، افشین؛ و آتشخوار، فاطمه (۱۳۹۵). اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبریز بهشت‌آباد از نظر پتانسیل سیل‌خیزی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۸(۱)، ۱۴۳-۱۵۸.
- [۳]. خلج، محمد (۱۳۹۹). تحلیل مخاطرات لرزه‌ای حوضه آبریز تالار و بابل رود بر اساس ارزیابی شاخص‌های مورفوتکتونیک، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۳۳، ۱-۱۶.
- [۴]. رضائی مقدم، محمدحسین؛ حجازی، سید اسدالله؛ ولیزاده کامران، خلیل؛ و رحیم‌پور، توحید (۱۳۹۹). تحلیل خصوصیات هیدروژئومورفیک حوضه آبریز الوندچای به‌منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر حساسیت سیل‌خیزی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۳۳، ۶۱-۸۳.
- [۵]. رضائی مقدم، محمدحسین؛ حجازی، سید اسدالله؛ ولیزاده کامران، خلیل؛ و رحیم‌پور، توحید (۱۳۹۹). بررسی حساسیت سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز با استفاده از شاخص‌های هیدروژئومورفیک (مطالعه موردی: حوضه آبریز الوندچای، شمال غرب ایران)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۹(۲)، ۱۹۵-۲۱۴.
- [۶]. زارع، مهدی؛ و مقیمی، ابراهیم (۱۴۰۱). گونه‌شناسی مخاطرات در علم مخاطره‌شناسی (آیا علم مخاطره‌شناسی گونه‌های خاصی دارد؟)، مدیریت مخاطرات محیطی، ۹(۴)، ۳۸۳-۳۹۰.
- [۷]. قضاوی، رضا؛ بابایی حصار، سحر؛ و عرفانیان، مهدی (۱۳۹۸). اولویت‌بندی زیرحوضه‌های شهری مستعد سیلاب با استفاده از تکنیک PCA به‌عنوان یک روش جدید وزن‌دهی، مخاطرات محیط طبیعی، ۲۰، ۸۳-۱۰۰.
- [۸]. محمدی، مجتبی؛ محمدی‌فر، علی‌اکبر؛ فروزان فرد، معصومه؛ و جلالی، مهدی (۱۴۰۱). اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز دهبار در استان خراسان رضوی با استفاده از مدل TOPSIS، آنالیز مورفومتریک و تجزیه و تحلیل منطقه‌ای سیلاب، مدیریت حوزه آبخیز، ۱۳(۲۵)، ۱۸۸-۱۹۶.
- [9]. Abuzied, S., Yuan, M., Ibrahim, S., Kaiser, M., & Saleem, T. (2016). Geospatial risk assessment of flash floods in Nuweiba area, Egypt, *Journal of Arid Environments*, 133, 54-72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.06.004>.
- [10]. Ahmadisharaf, E., Tajrishy, M., & Alamdari, N. (2016). Integrating flood hazard into site selection of detention basins using spatial multi-criteria decision-making, *Journal of Environmental Planning and Management*, 59, 1397-1417. <https://doi.org/10.1080/09640568.2015.1077104>.
- [11]. Aksoy, H., Kirca, V.S.O., Burgan, H.I., & Kellecioglu, D. (2016). Hydrological and hydraulic models for determination of flood-prone and flood inundation areas, *The 7th International Water Resources Management Conference of ICWRS*, 373, 137-141. doi: 10.5194/piahs-373-137-2016.
- [12]. Bisht, S., Chaudhry, S., Sharma, S., & Soni, S. (2018). Assessment of flash flood vulnerability zonation through Geospatial technique in high altitude Himalayan watershed, Himachal Pradesh India, *Remote Sensing Applications: Society and Environmen*. 12, 35-47. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.09.001>.
- [13]. Biswas, S., Sudhakar, S., Desai, V.R. (2002). Remote sensing and geographic information system based approach for watershed conservation, *Survey Engineering*. 128, 108-124.
- [14]. Borga, M., Gaume, E., Creutin, J.D, Marchi, L. (2008). Surveying flash floods: gauging the ungauged extremes, *Hydrological Processes*. 22, 3883-3885. <https://doi.org/10.1002/hyp.7111>.
- [15]. Cloke, H.L., Pappenberger, F. (2009). Ensemble flood forecasting: a review, *Journal of Hydrology*. 375(3), 613-626. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.005>.
- [16]. Costa, E. (1987). Hydraulics and basin morphometry of the largest flash floods in the conterminous United States, *Journal of Hydrology*. 93(3-4), 313-338.
- [17]. Das, S. (2019). Geospatial mapping of flood susceptibility and hydro-geomorphic response to the floods in Ulhas basin, India, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 14, 60-74. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.02.006>.
- [18]. Gardiner, V. (1990). Drainage basin morphometry; In: *Geomorphological techniques* (ed.) Goudie A. Unwin Hyman, London, 71-81.
- [19]. Grohmann, C.H (2004). Morphometric analysis in geographic information systems: Applications of free software GRASS and R Star, *Computer and Geoscience*. 30(10), 1055-1067.
- [20]. Hadely, R.F, Schumm, S.A. (1961). Sediment sources and drainage basin characteristics in upper Cheyenne River basin. *United States Geological Survey water-supply paper*, 1531-B. Washington, DC: US Government Printing Office, 137-196.

- [21]. Horton, R.E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology, *Geol. Soc. Am. Bull.* 56(3), 275–370.
- [22]. Ifabiyi, I.P., & Eniolorunda, N.B. (2012). Watershed characteristics and their implication for hydrologic response in the upper Sokoto basin, Nigeria, *Journal of Geography and Geology.* 4(2), 147.
- [23]. Kendall, M.G. (1970). *Rank correlation methods*, 4th edn. Griffin, London.
- [24]. Keršulienė, V., Zavadskas, E.K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA), *Journal of Business Economics and Management.* 11(2), 243–258. <https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12>.
- [25]. Kourgialas, N.N., & Karatzas, G.P. (2011). Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas—a case study”, *Hydrological Sciences Journal.* 56(2), 212–225. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.555836>.
- [26]. Kumar Rai, P., Narayan Mishra, V., & Mohan, K. (2017). “A study of morphometric evaluation of the Son basin, India using geospatial approach, *Remote Sensing Applications: Society and Environment.* 7, 9-20. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsase.2017.05.001>.
- [27]. Mahmood, Sh., & Rahman, A. (2019). Flash flood susceptibility modelling using geomorphometric approach in the Ushairy Basin, eastern Hindu Kush, *J. Earth Syst. Sci.* 128(97), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s12040-019-1111-z>.
- [28]. Mahmood, Sh., & Rahman, A. (2019). Flash flood susceptibility modeling using geo- morphometric and hydrological approaches in Panjkora Basin, Eastern Hindu Kush, Pakistan, *Environmental Earth Sciences.* 78(43), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-8041-y>.
- [29]. Miller, V.C. (1953). A Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee, *Technical Report (3), Dept. of Geol. New York: Columbia University*, 389–402.
- [30]. Nookaratnam, K., Srivastava, Y.K., Venkateswarao, V., Amminedu, E., & Murthy, K.S.R. (2005). Check dam positioning by prioritization of micro-watersheds using SYI model and morphometric analysis - remote sensing and GIS perspective, *Jour. Indian Soc. Remote Sens.* 33 (1), 25–38.
- [31]. Ozdemir, H., & Bird, D. (2009). Evaluation of morphometric parameters of drainage networks derived from topographic maps and DEM in point of floods, *Environmental Geology*, 56(7), 1405–1415. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1235-y>.
- [32]. Patton, P.C., & Baker, V.R. (1976). Morphometry and floods in small drainage basins subject to diverse hydrogeomorphic controls, *Water Resour. Res.* 12, 941–952.
- [33]. Prasad, R.N., & Pani, P. (2017). Geo-hydrological analysis and sub watershed prioritization for flash flood risk using weighted sum model and Snyder’s synthetic unit hydrograph, *Modeling Earth Systems and Environment.* 3(4), 1491–1502. <https://doi.org/10.1007/s40808-017-0354-4>.
- [34]. Schumm, S.A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey, *Geological Society of America Bulletin.* 67(5), 597–646. [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2).
- [35]. Schumm, S.A. (1997). Drainage density: problems of prediction’. In: Stoddart, D.R. (Ed.), *Process and Form in Geomorphology.* Routledge, London, 15- 45.
- [36]. Sethupathi, A.S., Lakshmi Narasimhan, C., Vasanthamohan, V., & Mohan, S.P. (2011). Prioritization of miniwatersheds based on Morphometric Analysis using Remote Sensing and GIS techniques in a draught prone Bargur – Mathur subwatersheds, Ponnaiyar River basin, India, *International Journal of Geomatics and Geosciences.* 2(2), 403-414.
- [37]. Singh, N., & Singh, K. K. (2017). Geomorphological analysis and prioritization of sub- watersheds using Snyder’s synthetic unit hydrograph method, *Applied Water Science.* 7(1), 275–283. <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0243-1>.
- [38]. Strahler, A.N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basin and channel networks. *Handbook of applied hydrology.*
- [39]. Yousefi, S., Mirzaee, S., Keesstra, S., Surian, N., Pourghasemi, H.R., Zakizadeh, H.R., & Tabibian, S. (2018). Effects of an extreme flood on river morphology (case study: Karoon River, Iran), *Geomorphology.* 304, 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.12.034>.
- [40]. Zavadskas, E.K., Turskis, Z., Ustinovichius, L., & Shevchenko, G. (2010). Attributes weights determining peculiarities in multiple attribute decision making methods, *Economics of Engineering Decisions.* 21(1), 32–43.
- [41]. Zavadskas, E.K., & Vilutiene, T. (2006). A multiple criteria evaluation of multi-family apartment block’s maintenance contractors: I-model for maintenance contractor evaluation and the determination of its selection criteria, *Building and Environment.* 41(5), 621–632.