

Research Paper



Assessing the flood-susceptibility potential of the Tanguieh basin using morphometric parameters and statistical models



Mohsen Pourkhosravani¹ , Hossein Ghazanfarpour² , Fatemeh Karamian³

1. Professor, Department of Geography Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. pourkhosravani@uk.ac.ir.
2. Professor, Department of Geography Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. ma1380@uk.ac.ir.
3. M.A Student, Department of Geography Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. fatemeh.karamiyan@ens.uk.ac

Keywords

Flood susceptibility, Morphometric analysis, Statistical modeling, Tanguiyeh Basin in Kerman province, Iran.

Receive: 2025/08/04

Accepted: 2025/12/15

Published: 2026/06/22

ABSTRACT

Introduction

With the intensification of climate change, shifting environmental conditions, and altered rainfall patterns, floods have emerged as one of the most significant global threats, causing extensive loss of life and property each year. According to the United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), during the decade from 2010 to 2019, floods accounted for the largest share of all natural disasters in terms of event frequency (30%) and financial damage (40%). The United Nations Development Programme (UNDP) further reports that between 2010 and 2020, an average of 120 flood events per year were recorded in Iran, resulting in approximately 125 million dollars in annual losses. Consequently, watershed management aimed at mitigating flood hazards is of critical importance. Among the various approaches to flood risk assessment, evaluating a watershed's natural characteristics and morphometric parameters provides valuable insights into hydrological and geomorphological processes such as flooding, erosion, and mass movement (Azizi & Effiong, 2008). Therefore, this study seeks to evaluate and analyze the flood potential of the Tanguiyeh watershed in Sirjan using morphometric parameters and statistical models.

Methodology

This research is applied in nature and was conducted using descriptive and analytical methods. Following the delineation of the various sub-watersheds, fifteen morphometric parameters were calculated for each. The relationships among these parameters, as well as the relative weight of their influence, were analyzed using the Pearson correlation test and Weighted Sum Analysis (WSA). Subsequently, the Sub-watershed Prioritization Index (SWPI) was employed to rank the sub-watersheds for watershed management and flood control operations; this index was derived using the Weighted Linear Combination (WLC) method. Finally, Analysis of Variance (ANOVA) and statistical mean-comparison tests were applied to classify the sub-watersheds into distinct groups.

*Correspondin Author: Mohsen Pourkhosravani: pourkhosravani@uk.ac.ir

How to cite this article: Pourkhosravani, Mohsen., Ghazanfarpour, Hossein., & Karamian, Fatemeh. (2025). Assessing the flood-susceptibility potential of the Tanguieh basin using morphometric parameters and statistical models. *Hydrogeomorphology*, 13(47): 60–79.
DOI: [10.22034/hyd.2025.68487.1807](https://doi.org/10.22034/hyd.2025.68487.1807)



Copyright: © by the authors

Publisher: University of Tabriz

Results and Discussion

The first step in assessing flood potential using morphometric parameters is the delineation of sub-watersheds. For this purpose, the Tanguiyeh watershed was subdivided into three sub-watersheds using 1:50,000 topographic maps, a digital elevation model, and the drainage network. The correlation analysis among morphometric parameters indicates that the strongest correlation (0.999) is observed between perimeter and both bifurcation ratio and mean elevation; between drainage network density and both stream frequency and mean slope; between circularity ratio and compactness coefficient; and between time of concentration and infiltration number. Based on the SWPI index, Sub-basin No. 1 (724.31) is assigned first priority, Sub-basin No. 2 (617.8) second priority, and Sub-basin No. 3 (570.196) third priority for flood-control activities. According to the CV index, Sub-basin No. 1, with an average score of 2.13, exhibits the highest flood potential, followed by Sub-basin No. 3 (2.07) and Sub-basin No. 2 (1.8). Furthermore, the results of Duncan's multiple-range test reveal that, although the evaluation of morphometric parameters suggests differences among the sub-basins, no statistically significant difference exists, and all three fall within the same group.

Conclusions

Analysis of morphometric parameters indicates that Sub-basin No. 1, with a higher mean elevation (2,658.64 m), a steeper mean slope (9.98°), and a larger area (618.88 km²)—which increases the total runoff volume produced— together with a higher bifurcation ratio (4.85) that facilitates faster runoff concentration and a sharper flood peak, as well as a Gravelius coefficient of 1.59 and a lower infiltration coefficient (0.621), possesses greater flood potential than the other two sub-basins. Although Sub-basin No. 3 has a smaller area, lower mean elevation, and gentler mean slope compared to the others, its circularity ratio (0.378), elongation ratio (0.52), shape factor (0.21), ruggedness coefficient (30.78), and time of concentration (3.25) contribute to a higher flood potential than Sub-basin No. 2. In other words, the more circular form of Sub-basin No. 3, combined with its shorter time of concentration, enhances its flood potential, as confirmed by the statistical analyses. The statistical results further demonstrate that Sub-basin No. 1, with an SWPI value of 724.31, holds the highest priority for implementing flood-control measures. It also exhibits the greatest flood potential, with an average CV score of 2.13.



ارزیابی پتانسیل سیل خیزی حوضه آبریز تنگویی با استفاده از پارامترهای مورفومتری و مدل‌های آماری



محسن پورخسروانی^۱، حسین غضنفرپور^۲، فاطمه کرمان^۳

۱- استاد بخش جغرافیای دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. pourkhosravani@uk.ac.ir

۲- استاد بخش جغرافیای دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. ma1380@uk.ac.ir

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد بخش جغرافیای دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. fatemeh.karamiyan@ens.uk.ac

چکیده

کلیدواژه‌ها

پارامترهای مورفومتری علاوه بر توصیف ویژگی‌های فیزیکی حوضه، عوامل کمی سیلاب مانند دبی، زمان وقوع، زمان تمرکز، زمان تأخیر و شکل هیدروگراف را کنترل می‌کنند؛ از این رو تحلیل‌های مورفومتری به عنوان روشی کم‌هزینه، سریع و قابل اعتماد برای ارزیابی خطر سیلاب مورد استفاده قرار می‌گیرند. پژوهش حاضر سعی دارد پتانسیل سیل خیزی زیرحوضه‌های مختلف حوضه تنگویی را با استفاده از پارامترهای مورفومتری و مدل‌های آماری ارزیابی نماید. بدین منظور بعد از تعیین زیرحوضه‌های مختلف، پارامترهای مساحت، محیط، ضریب گراویلیوس، نسبت انشعاب، تراکم زهکشی، فراوانی آبراهه، شماره نفوذ، ضریب شکل، نسبت کشیدگی، نسبت دایره‌ای، ضریب ناهمواری، شاخص شدت فرسایش، زمان تمرکز، شیب متوسط و ارتفاع متوسط برای هر یک از آنها محاسبه گردید. سپس ارتباط بین پارامترهای مورفومتری و تعیین وزن تأثیر هر یک از آنها با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون و آنالیز مجموع وزنی WSA تحلیل شد. در مرحله بعد برای اولویت بندی زیرحوضه‌ها به منظور انجام عملیات آبخیزداری و کنترل سیلاب از شاخص اولویت بندی زیرحوضه‌ها (SWPI) استفاده شد که این شاخص بر اساس روش ترکیب خطی وزنی (WLS) محاسبه شد. در نهایت جهت گروه‌بندی زیرحوضه‌ها از آزمون آنالیز واریانس و آزمون آماری مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که، بر اساس شاخص SWPI زیرحوضه شماره ۱ (۷۲۴/۳۱) اولویت اول، زیرحوضه شماره ۲ (۶۱۷/۸) اولویت دوم و زیرحوضه شماره ۳ (۵۷۰/۱۹۶) اولویت سوم را برای انجام فعالیت‌های کنترل سیلاب به خود اختصاص داده‌اند. همچنین بر اساس شاخص CV، زیرحوضه شماره ۱ با میانگین امتیاز ۲/۱۳ بیشترین پتانسیل سیل خیزی را دارد. بعد از آن زیرحوضه شماره ۳ با میانگین امتیاز ۲/۰۷ و زیرحوضه شماره ۲ با میانگین امتیاز ۱/۸ در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. نتایج آزمون مقایسه میانگین‌های دانکن نشان می‌دهد که اگر چه ارزیابی پارامترهای مورفومتری در ظاهر تفاوت‌هایی را بین زیرحوضه‌ها نشان می‌دهد اما از نظر آماری بین سه زیرحوضه اختلاف معناداری وجود ندارد و هر سه در یک گروه قرار می‌گیرند.

سیل خیزی، مدل آماری، مورفومتری، حوضه تنگویی در استان کرمان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱

*محسن پورخسروانی، محسن؛ غضنفرپور، حسین؛ کرمان، فاطمه (۱۴۰۵). ارزیابی پتانسیل سیل خیزی حوضه آبریز تنگویی با استفاده از پارامترهای مورفومتری و مدل‌های آماری. هیدروژنومورفولوژی، ۱۳ (۴۷): 60-79.

رایانامه: pourkhosravani@uk.ac.ir

شناسه دیجیتال مقاله: 10.22034/hyd.2025.68487.1807



سیلاب‌ها به‌طور گسترده به‌عنوان شایع‌ترین مخاطره طبیعی در جهان شناخته می‌شوند و بیشترین خسارات اقتصادی و اجتماعی را در مقایسه با سایر مخاطرات طبیعی ایجاد می‌کنند (فیدلر^۱، ۲۰۲۴: ۵). سیلاب زمانی رخ می‌دهد که میزان جریان آب در رودخانه از ظرفیت طبیعی بستر آن فراتر رود. به بیان دیگر، هرگاه حجم آب بیش از حدی باشد که مجرای رودخانه یا مسیل بتواند به‌طور معمول تخلیه و هدایت کند، پدیده سیل شکل می‌گیرد. در چنین شرایطی، آب از کانال اصلی سرریز شده و موجب آب‌گرفتگی اراضی پیرامون رودخانه می‌شود (لاوسون و همکاران^۲، ۲۰۲۵: ۳). این پدیده معمولاً ناشی از بارش شدید، ذوب برف، شکست سدها یا ترکیب چندین عامل هیدرولوژیکی است. باید توجه داشت در سال‌های اخیر تغییرات اقلیمی نقش مهمی در تغییر الگوهای بارشی و نیز فراوانی و شدت سیلاب‌ها داشته است. به‌طور کلی سیل خیزی به معنای درجه حساسیت یا استعداد یک منطقه برای وقوع سیلاب است. این مفهوم نه تنها به شرایط طبیعی مانند شیب زمین، تراکم زهکشی و ویژگی‌های مورفومتری وابسته است، بلکه عوامل انسانی مانند تغییر کاربری اراضی، شهرنشینی و مدیریت ناکارآمد منابع آب نیز نقش مهمی دارند (علی و همکاران، ۲۰۲۵: ۴). در سال‌های اخیر، سیلاب‌ها همچنان از مرگبارترین و پرهزینه‌ترین مخاطرات طبیعی بوده‌اند. پایگاه EM-DAT در جمع‌بندی تازه‌اش نشان می‌دهد سیلاب‌ها در دهه‌های اخیر میلیون‌ها نفر را تحت‌تأثیر قرار داده و هر ساله هزاران کشته برجای می‌گذارند، در حالی که روند بلندمدت با رشد جمعیت شهری و دارایی‌های در معرض خطر، افزایش پیوسته تلفات و خسارت را تثبیت کرده است (EM-DAT/CRED & UNDRR, 2024). طبق گزارش مرکز تحقیقات اپیدمیولوژی بلایا (CRED^۳) و دفتر کاهش خطر بلایای سازمان ملل متحد (UNDRR) از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵، ۲۶۶۰ حادثه سیل در سراسر جهان رخ داده است که در اثر وقوع این سیلاب‌ها، نزدیک به ۵۸۷۰۰ نفر جان خود را از دست داده‌اند. مجموع خسارت‌های مالی ناشی از سیلاب در این بازه زمانی بیش از ۶۲۷ میلیارد دلار بوده است. در همین راستا طبق گزارش برنامه توسعه سازمان ملل (UNDP^۴) طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ سالانه به‌طور متوسط ۱۲۰ رخداده سیل در ایران ثبت شده است که سالانه حدود ۱۲۵ میلیون دلار خسارت به دنبال داشته است. طبق گزارش سازمان مدیریت بحران کشور در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ در ایران، سیلاب‌ها بیش از ۲۵۰۰ کشته و حدود ۱۲۵۰ مصدوم برجای گذاشته‌اند. به همین علت مدیریت حوضه‌های آبریز در راستای کاهش سیل خیزی از اهمیت زیادی برخوردار است. به‌طور کلی، تحلیل‌های جهانی سال ۲۰۲۴ از افزایش قرارگیری جمعیت در پهنه‌های سیلابی و تداوم رویدادهای مرگبار بزرگ خبر می‌دهند که ترکیب زیرساخت‌های فرسوده، پوشش بیمه‌ای ناکافی و سامانه‌های هشدار ناکارآمد، شدت تلفات انسانی و زیان اقتصادی را تشدید می‌کند (UNDRR, 2024; WMO, 2024). در میان رویکردهای مطالعه مخاطره سیل، سنجش ویژگی‌های طبیعی و پارامترهای مورفومتری حوضه آبریز به‌طور مستقیم رفتار هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی سامانه را آشکار می‌کند؛ در همین رابطه، اندازه‌گیری و تحلیل ریاضی ابعاد و شکل لندفرم‌ها و شبکه زهکشی، که بازتابی از ساختار زمین‌شناسی، تاریخچه فرآیندهای ژئومورفیک و ریخت‌شناسی حوضه‌ها است، مورفومتری نامیده می‌شود. به عبارتی، مورفومتری اندازه‌گیری و آنالیز ریاضی ابعاد لندفرم‌ها و اشکال سطح زمین است. در واقع مورفومتری منعکس‌کننده شرایط زمین‌شناسی و فرآیندهای ژئومورفولوژی در طول زمان می‌باشد. این مفهوم به تبیین پویایی‌هایی مانند سیلاب، فرسایش و حرکات دامنه‌ای کمک می‌کند (موسوی، ۱۴۰۴: ۶۰). شاخص‌هایی مانند مرتبه و نسبت انشعاب آبراهه‌ها، تراکم زهکشی، گرادیان و جهت شیب، توزیع ارتفاعی و هیپسومتری، شکل و کشیدگی حوضه، و پارامترهای طول مسیر جریان، از طریق ارتباط با زمان تمرکز، ظرفیت ذخیره/تخلیه و کارایی زهکشی، حساسیت سیل خیزی را پیش‌بینی‌پذیرتر می‌سازند (منبری و همکاران، ۱۴۰۲: ۲۳۰). پارامترهای مورفومتری به عوامل مختلفی مانند، ویژگی‌های زمین‌شناسی،

1. Fidler

2. Lawson et al

3. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters

4. United Nations Development Programme

ژئومورفولوژی، پوشش گیاهی و اقلیم بستگی دارد (رایپوت و همکاران^۱، ۲۰۱۵: ۷۰) و در تحقیقات هیدروولوژیکی مانند سیل خیزی، مدیریت منابع آب، مدیریت حوضه‌های آبریز و به طور کلی مطالعات محیطی اهمیت زیادی دارند (رای و همکاران^۲، ۲۰۱۸: ۲۱۸). تحلیل‌های مورفومتری از جنبه‌های مهم مطالعات هیدروولوژی می‌باشند که نقش مهمی در شناخت پتانسیل سیل خیزی حوضه‌های آبریز دارند. در حقیقت مورفومتری مجموعه‌ای از شاخص‌های کمی است که ضمن توصیف ویژگی‌های فیزیکی حوضه، پارامترهای کمی سیلاب مانند، دبی، زمان وقوع، زمان تمرکز، زمان تأخیر و هیدروگراف سیل را کنترل می‌نماید (رجبی و همکاران، ۱۴۰۱: ۱۲۷). به همین علت استفاده از پارامترهای مورفومتری جهت پایش پتانسیل سیل خیزی حوضه‌های مختلف توسط محققین مختلف انجام شده است. از جمله، رضائی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی تحت عنوان، بررسی حساسیت سیل خیزی حوضه آبریز الندیچای که با استفاده از شاخص‌های هیدروژئومورفیک انجام شده است نتیجه می‌گیرند که، پارامترهای مورفومتری مانند، شماره نفوذ، تراکم زهکشی و بافت زهکشی، نقش مهمی در تعیین حساسیت سیل خیزی زیرحوضه‌ها دارند به طوریکه، زیرحوضه‌هایی که شماره نفوذ بیشتری دارند در رتبه‌های بالای سیل خیزی قرار می‌گیرند (رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۹: ۸۳). در پژوهشی دیگر، قدیمی و همکاران (۱۴۰۱) پتانسیل سیل خیزی حوزه آبخیز کن را با استفاده از پارامترهای مورفومتری ارزیابی نموده و نتیجه می‌گیرند که، این مدل دارای دقت بالا بوده و مورفومتریک زیرحوضه‌ها تأثیر زیادی در سیل خیزی دارند به طوری که زیر حوضه امام زاده داوود و سنگان جزء مناطق پرخطر در این حوضه محسوب می‌شوند و سیلاب‌های بیشتری در این مناطق رخ داده است (قدیمی و همکاران، ۱۴۰۱: ۵۳۹). عبدالجواد و همکاران^۳ (۲۰۲۴) نقشه‌های خطر سیلاب در منطقه ساحلی دریای سرخ در کشور مصر را با استفاده از پارامترهای مورفومتری و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه نمودند. آنها نتیجه می‌گیرند که ۴۷٪ از منطقه دارای خطر سیل بسیار بالا است. مناطق پرخطر دارای شیب زیاد، زهکشی متراکم، و شکل کشیده بودند. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که، تحلیل‌های مورفومتری با مدل‌های هیدروولوژیکی هم‌راستا بود (عبدالجواد و همکاران، ۲۰۲۴: ۵). همچنین الرفایی و همکاران^۴ (۲۰۲۵) پتانسیل سیل خیزی حوضه وادی رانونا (Wadi Ranuna) در عربستان سعودی را با استفاده از پارامترهای مورفومتری و مدل‌های یادگیری ماشین ارزیابی نمودند. آنها نتیجه می‌گیرند که، استفاده از پارامترهای مورفومتری و تلفیق آن با مدل‌های یادگیری ماشین، توانست مناطق دارای پتانسیل سیل خیزی زیاد را با دقت بالا ($R^2=0.92$) شناسایی و پهنه‌بندی نماید (الرفایی و همکاران، ۲۰۲۵: ۲۱۰۸). مائو و همکاران^۵ (۲۰۲۵) خطر سیل خیزی در حوضه وادی سف (Wadi Saf Saf) در الجزایر را با استفاده از ۲۲ پارامتر مورفومتری و روش‌های آماری پهنه‌بندی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که مناطق مرکزی و شمالی حوضه دارای بیشترین خطر وقوع سیلاب هستند (مائو و همکاران، ۲۰۲۵: ۱۳). برآورد اولیه هیدروولوژیکی معتبر برای پیش‌بینی رفتار یک حوضه آبریز از طریق تحلیل کمی پارامترهای مورفومتری قابل حصول است؛ ویژگی‌هایی مانند مساحت و شکل حوضه، شیب و توزیع ارتفاعی، تراکم و الگوی شبکه زهکشی، نسبت انشعاب، ضریب فشردگی و طول مسیرهای جریان به‌طور مستقیم بر زمان تمرکز، ظرفیت ذخیره سطحی و کارایی تخلیه تأثیر گذاشته و بنابراین شدت و زمان‌بندی پاسخ سیلاب را تعیین می‌کنند، از این‌رو استفاده از شاخص‌های مورفومتری در مطالعات مخاطره سیلاب و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی یک روش کم‌هزینه، کارآمد و مؤثر در مدیریت حوضه‌های آبخیز است (پادالا^۶، ۲۰۲۴: ۱۵). حوضه تنگوئی، بخشی از حوضه آبریز ایران مرکزی است که در استان کرمان واقع شده و از منظر سیل خیزی دارای پتانسیل بالایی است اما تاکنون مطالعات سیستماتیک و منتشرشده‌ای که به‌طور مستقیم سیل خیزی این حوضه را بررسی کنند موجود نیست. فقدان ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی و نبود داده‌های پیوسته دبی و بارش، انجام تحلیل‌های هیدروولوژیک مبتنی بر مشاهدات را غیرممکن یا با عدم قطعیت فراوان همراه ساخته است؛ در چنین وضعیتی، استخراج و

1. Rajpoot et al

2. Rai et al

3. Abdelgawad et al

4. AlRifai et al

5. Maou et al

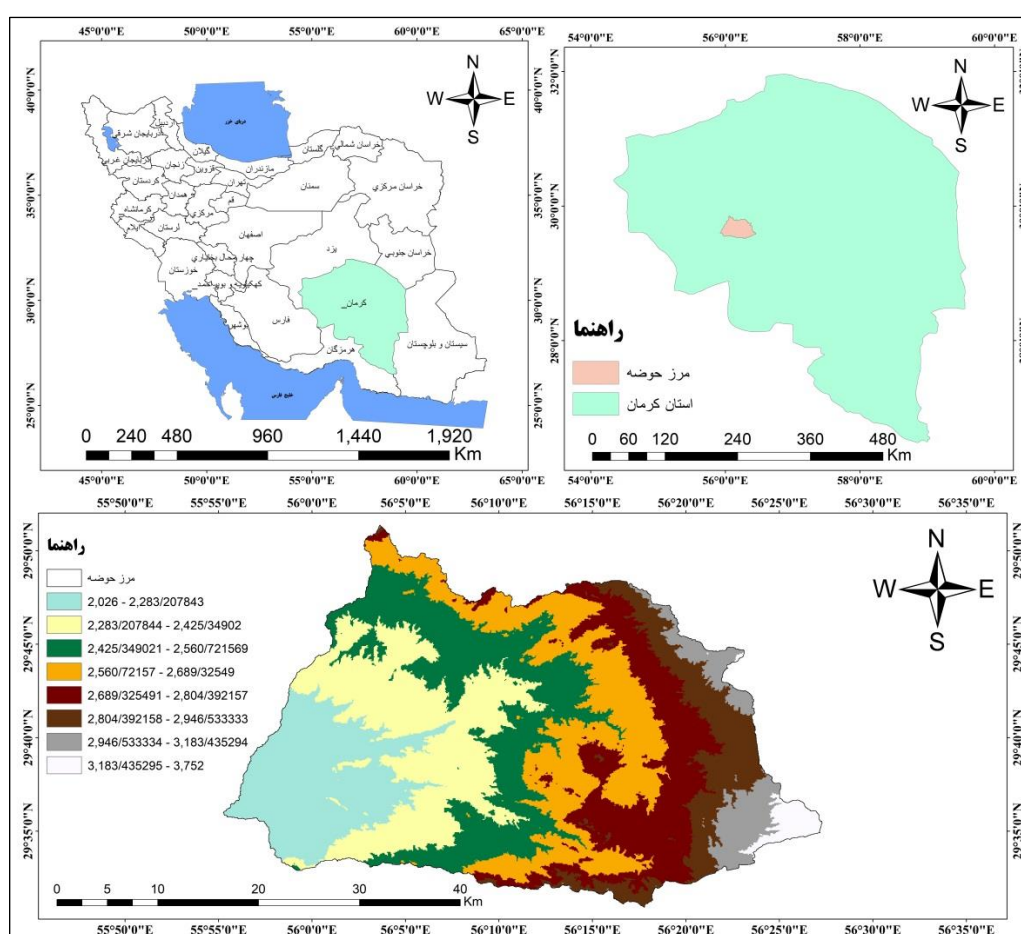
6. Padala

تحلیل پارامترهای مورفومتری حوضه بهترین راه حل برای سنجش پتانسیل سیل خیزی این حوضه محسوب می‌شود. به همین علت این پژوهش سعی دارد پتانسیل سیل خیزی حوضه آبریز تنگوییہ سیرجان را با استفاده از پارامترهای مورفومتری و مدل‌های آماری ارزیابی و تحلیل نماید.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه موسوم به حوضه آبریز تنگوییہ در استان کرمان و شمال شرق شهرستان سیرجان، در محدوده $29^{\circ} 51'$ تا $29^{\circ} 31'$ عرض شمالی و $55^{\circ} 56'$ تا $56^{\circ} 27'$ طول شرقی واقع شده است. این محدوده یکی از زیرحوضه‌های مهم حوضه ایران مرکزی است که به وسیله دو رودخانه اصلی سوخته‌چال و پلنگی زهکش می‌شود. این حوضه از نظر تقسیمات واحدهای ژئومورفولوژی بخشی از واحد دگرگونی سندانج- سیرجان می‌باشد (شکل ۱).



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه
Figure (1): Location of the Study Area

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی، و از نظر ماهیت و روش جزء پژوهش‌های توصیفی و تحلیلی می‌باشد. از آنجایی که بررسی پارامترهای مورفومتری بر اساس واحدهای هیدرولوژیک صورت می‌گیرد به همین علت ابتدا با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک ۱۰ متر، شبکه آبراهه‌ها و نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰، زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (Arc GIS) و افزونه Arc Hydro تعیین حدود گردید. سپس پارامترهای مورفومتری موثر بر سیل خیزی مشخص و این پارامترها برای هر یک از زیرحوضه‌ها محاسبه گردید (جدول ۱). در مرحله بعد همبستگی آماری پارامترهای مورفومتری با استفاده از آزمون آماری پیرسون در نرم‌افزار SPSS انجام گرفت. ماتریس همبستگی ضمن تعیین رابطه بین پارامترهای مورفومتری، امکان تعیین

وزن نسبی هر یک از این پارامترها را بدون دخالت کارشناسان فراهم می‌کند. در مرحله بعد بر اساس ضرایب ماتریس همبستگی وزن هر یک از پارامترهای مورفومتری با روش آنالیز مجموع وزنی^۱ (WSA) محاسبه شد. طبق رابطه (۱) وزن تاثیر (Wi) یک پارامتر از نسبت مجموع ضرایب همبستگی آن بر مجموع کل ضرایب ماتریس همبستگی به دست می‌آید.

$$W_i = \frac{\sum C_i}{\sum T} \quad (1)$$

در این رابطه $\sum C_i$ مجموع ضرایب همبستگی پارامتر i ام و $\sum T$ مجموع کل ضرایب ماتریس همبستگی است. به منظور تعیین شاخص اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها (SPWI^۲) از روش ترکیب خطی وزنی (WLC) استفاده شد. وزن‌های بدست آمده برای پارامترهای مورفومتری به عنوان متغیرهای ورودی شاخص اولویت‌بندی استفاده شد، و در نهایت شاخص SPWI برای هر یک از زیرحوضه‌ها طبق رابطه (۲) محاسبه گردید.

$$SPWI = \sum_{j=1}^n (W_j \times N_{ij}) \quad (2)$$

در این رابطه W_j وزن تاثیر و N_{ij} مقدار هر یک از پارامترهای مورفومتری می‌باشد. هرچه مقدار این شاخص در یک زیرحوضه بیشتر باشد آن زیرحوضه از اولویت بیشتری جهت اجرای طرح‌های آبخیزداری برخوردار است. در مرحله بعد برای مقادیر پارامترهای مورفومتری محاسبه شده در هر زیرحوضه امتیاز تعیین گردید. امتیاز تعیین شده بر اساس تعداد کل زیرحوضه‌ها بوده و از آنجا که تعداد ۳ زیرحوضه در این مطالعه وجود داشت، هر پارامتر امتیاز بین ۱ تا ۳ را به خود اختصاص داد. مقادیر بالا که دارای تاثیر بیشتری در سیل‌خیزی بودند امتیاز بیشتر و مقادیر کمتر نیز امتیاز کمتر را به خود اختصاص می‌دهند (التاف و همکاران^۳، ۲۰۱۴: ۸۴۰۲). در ادامه شاخص (CV^۴) که حاصل میانگین امتیاز ۱۵ پارامتر مورفومتری می‌باشد، محاسبه گردید. براساس نتایج آن زیرحوضه‌ها به سه پهنه‌ی با پتانسیل خطر سیل‌خیزی زیاد، متوسط و کم دسته‌بندی شدند (جدول ۷). در نهایت از طریق آزمون آنالیز واریانس اختلافات موجود بین میانگین صفات مورفومتری در زیرحوضه‌های مختلف مورد آزمون قرار گرفت سپس با استفاده از پس آزمون‌های مقایسه میانگین‌ها گروه‌بندی زیرحوضه‌ها بر اساس هر یک از صفات تفکیک شد. برای این منظور از آزمون مقایسه میانگین دانکن در سطح احتمال خطای ۵ درصد ($\alpha=0/05$) استفاده شده است.

جدول (۱): پارامترهای مورفومتری و فرمول محاسبه آنها

Table (1): Morphometric Parameters and Their Calculation Formulas

فرمول	پارامتر
Arc GIS محاسبه در	مساحت (Area)
Arc GIS محاسبه در	محیط (perimeter)
$BR: \left(\frac{n1}{n2} + \frac{n2}{n3} + \frac{n3}{n4} + \dots + \frac{ni-1}{ni} \right) \frac{1}{i-1}$	نسبت انشعاب (Bifurcation ratio)
$C = \frac{0/28P}{\sqrt{A}}$	ضریب گراویلیوس (Gravilius coefficient)
$D_d = \frac{L_\mu}{A}$	تراکم زهکشی (Drainage density)
$F_s = \frac{N_\mu}{A}$	فراوانی آبراهه (Stream Frequency)
$I_f = D_d \times F_s$	شماره نفوذ (Infiltration number)
$R_f = \frac{A}{L_b^2}$	ضریب شکل (Form ratio)
$Re = \frac{(1.128\sqrt{A})}{L_b}$	نسبت کشیدگی (Elongation ratio)
$Rc = 12.56 \left(\frac{A}{P^2} \right)$	نسبت دایره‌ای (Circularity ratio)

1. Weighted Sum Analysis

2. Sub-basin Priority Weighting Index

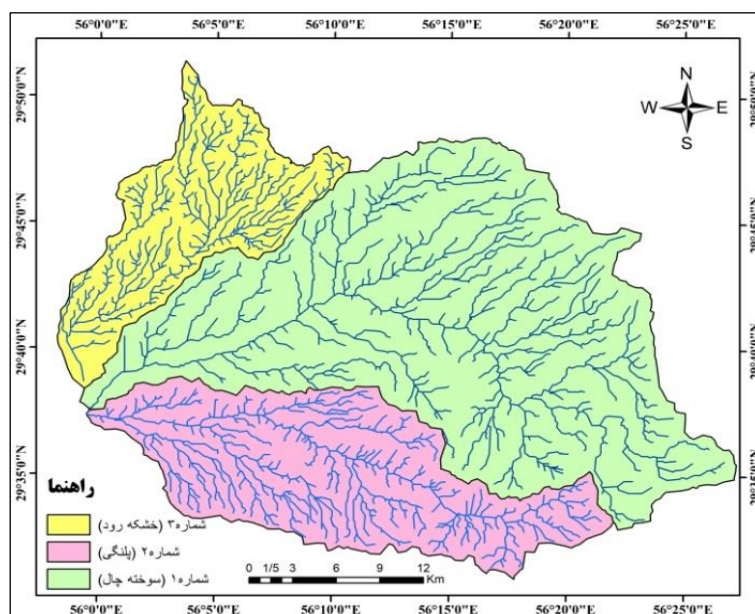
3. Altaf et al

4. Coefficient of Variation

$R_r = \frac{H}{L_p}$	ضریب ناهمواری (Relief ratio)
$D_i = \frac{H}{R_a}$	شاخص شدت فرسایش (Erosion intensity index)
$T_c = 0/949 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$	زمان تمرکز (concentration time)
$\bar{S} = \frac{\sum(a.s)}{A}$	شیب متوسط (Medium slope)
$\bar{H} = \frac{\sum(a.H)}{A}$	ارتفاع متوسط (Medium height)

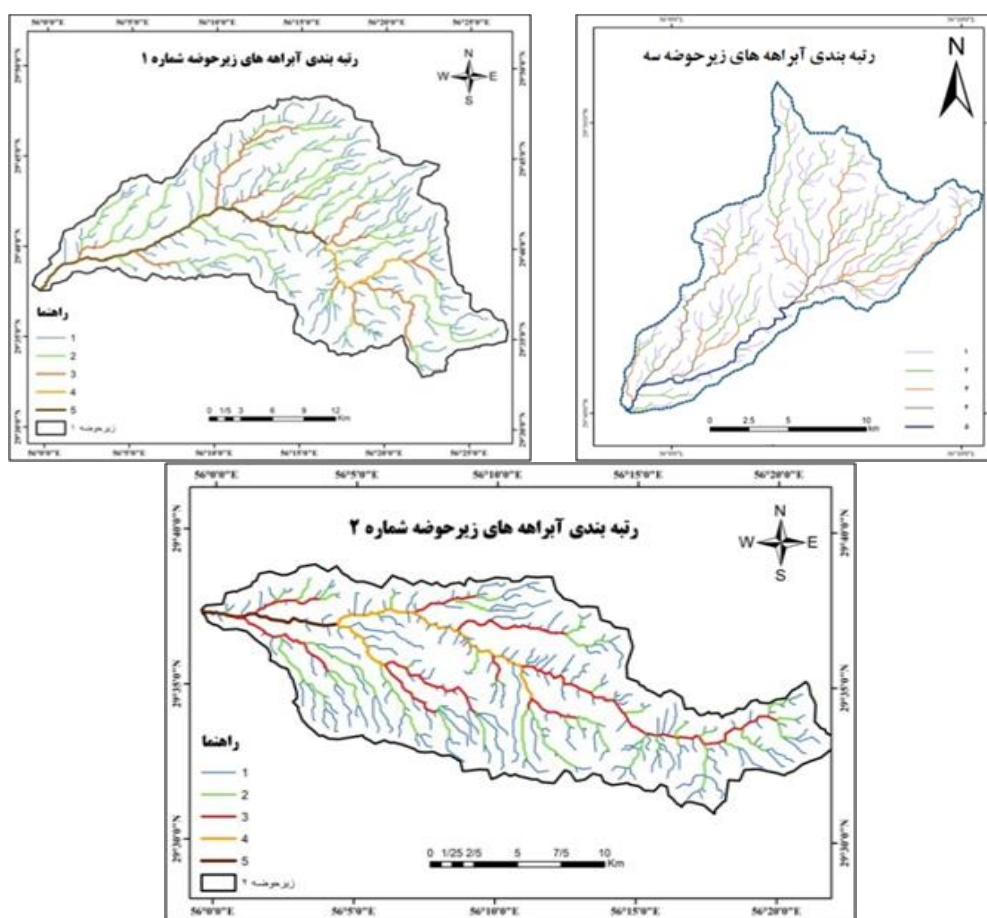
یافته‌های تحقیق

اولین گام جهت ارزیابی سیل خیزی با استفاده از پارامترهای مورفومتری تفکیک زیرحوضه‌ها می‌باشد. بدین منظور با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰، مدل رقومی ارتفاعی (DEM) و شبکه آبراهه‌ها اقدام به تفکیک واحدهای هیدرولوژیک و زیرحوضه‌های حوضه آبریز تنگوئییه گردید (شکل ۲).



شکل (۲): زیرحوضه‌های حوضه آبریز تنگوئییه
Figure (2): Sub-basins of the Tanguiyeh Basin

رتبه‌بندی شبکه زهکش در زیرحوضه‌های مختلف جهت محاسبه پارامترهای مورفومتری به روش استرالر انجام شد (شکل ۳ و جدول ۲).



شکل (۳): رتبه‌بندی آبراهه‌های زیرحوضه‌های مختلف

Figure 3: Ranking of streams in various sub-basins

جدول (۲): رتبه، تعداد و طول آبراهه‌های زیرحوضه‌های مختلف

Table 2: Rank, Number, and Length of Streams in Various Sub-Basins

زیرحوضه ۱	رتبه آبراهه	۱	۲	۳	۴	۵
	تعداد	۳۴۳	۴۷	۱۳	۲	۱
طول	۲۹۶/۵۵	۱۸۱/۴۲	۶۶/۱۸	۱۵/۱	۳۳/۲۷	
زیرحوضه ۲	رتبه آبراهه	۱	۲	۳	۴	۵
	تعداد	۲۶۳	۴۷	۱۰	۲	۱
طول	۲۱۲	۷۵/۷	۵۷/۶۶	۱۹/۴۹	۸/۴۶	
زیرحوضه ۳	رتبه آبراهه	۱	۲	۳	۴	۵
	تعداد	۲۱۱	۴۰	۱۴	۵	۱
طول	۱۳۱/۲۵	۶۸/۸۱	۳۹/۴۵	۲۲/۰۷	۱۴/۶۴	

طبق نتایج جدول (۲)، الگوی شبکه زهکشی هر سه زیرحوضه حاکی از غلبه شاخه‌های مرتبه پایین و میان‌مرتبه است که پیامد آن کاهش زمان تمرکز و افزایش پتانسیل تولید اوج‌دبی‌های ناگهانی در رخداد‌های بارشی شدید است؛ در زیرحوضه شماره یک تعداد بالای شاخه‌های مرتبه‌های ۳ و ۲ همراه با طول‌های نسبی قابل توجه نشان می‌دهد که شبکه توزیع آبراهه‌ها متراکم و دارای مسیرهای کوتاه و متقاطع است که تسریع همگرایی روان‌آب سطحی را محتمل می‌سازد؛ زیرحوضه شماره ۲ با تمرکز تعداد بالای شاخه در مرتبه‌های پایین و طول‌های نسبتاً بزرگ در برخی مرتبه‌ها نمایانگر توانایی تخلیه سریع و در عین حال احتمال تمرکز جریان در چند مسیر اصلی است؛ زیرحوضه شماره ۳ نیز با توزیع نسبتاً یکنواخت‌تر تعداد

ولی طول‌های متفاوت در مرتبه‌های مختلف، ترکیبی از پاسخ سریع و قطعی موضعی فرسایش و حرکت توده‌ای را نشان می‌دهد. این الگوها همگرایی روان‌آب را افزایش و حساسیت به فرسایش و تاب‌آوری پایین شبکه مدیریتی را تقویت می‌کنند.

اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها

تمامی پارامترها برای زیرحوضه‌های مختلف طبق روابط موجود در جدول (۱) محاسبه شد. جدول (۳) مقدار هر یک از پارامترهای مورفومتری را برای هر یک از زیرحوضه‌ها نشان می‌دهد. همچنین جدول (۴) رابطه همبستگی بین پارامترها را با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون نشان می‌دهد. وزن تاثیر (W_i) هر یک از پارامترها بر اساس روش آنالیز مجموع وزنی (WSA) در جدول (۵) آورده شده است.

جدول (۳): نتایج محاسبات آنالیز مورفومتری زیرحوضه‌ها

Table (3): Results of morphometric analysis calculations of sub-basins

پارامتر	زیر حوضه ۱	زیر حوضه ۲	زیر حوضه ۳
مساحت (Km^2)	۶۱۸/۸۸	۲۷۱/۴۶	۱۵۷/۵۵
محیط (Km)	۱۴۱/۲۴	۹۷/۶۵	۷۲/۷۹
نسبت انشعاب	۴/۸۵	۴/۳۲	۳/۹۸
ضریب گراویلیوس	۱/۵۹	۱/۶۶	۱/۶۲
تراکم زهکشی	۰/۹۵۲	۱/۳۷۵	۱/۷۲۸
فراوانی آبراهه	۰/۶۵۲	۱/۱۸۶	۱/۶۹۵
شماره نفوذ	۰/۶۲۱	۱/۶۳۰	۲/۹۳
ضریب شکل	۰/۱۷۴	۰/۱۵۷	۰/۲۱۲
نسبت کشیدگی	۰/۴۷۱	۰/۴۴۷	۰/۵۱۹
نسبت دایره‌ای	۰/۳۹۱	۰/۳۵۷	۰/۳۷۸
ضریب ناهمواری	۲۶/۳۹۱	۲۱/۹۶۸	۳۰/۷۸۳
شاخص شدت فرسایش	۰/۵۹۲	۰/۳۶۳	۰/۳۴۶
زمان تمرکز	۶/۲۷	۵/۰۹	۳/۲۵
شیب متوسط	۹/۹۸	۶/۷۹	۴/۴
ارتفاع متوسط	۲۶۵۸/۶۴	۲۵۱۵/۰۹	۲۴۴۰/۷۶

جدول (۴): ماتریس همبستگی پارامترهای مورفومتری زیرحوضه‌ها

Table (4): Correlation matrix of morphometric parameters of sub-basins

پارامتر	مساحت	محیط	نسبت انشعاب	ضریب فشردگی	تراکم زهکشی	فراوانی آبراهه	شماره نفوذ	ضریب شکل	نسبت کشیدگی	نسبت دایره	ضریب ناهمواری	شاخص شدت فرسایش	زمان تمرکز	شیب متوسط	ارتفاع متوسط
مساحت	۱/۰۰														
محیط	۰/۹۹۲	۱/۰۰													
نسبت انشعاب	۰/۹۸۷	۰/۹۹۹	۱/۰۰												
ضریب فشردگی	۰/۹۶۴	۰/۹۵۳	۰/۹۳۷	۱/۰۰											
تراکم زهکشی	۰/۹۷۳	۰/۹۶۵	۰/۹۹۷	۰/۹۴۴	۱/۰۰										
فراوانی آبراهه	۰/۹۶۴	۰/۹۹۰	۰/۹۹۴	۰/۴۰	۰/۹۹۹	۱/۰۰									
شماره نفوذ	۰/۹۳۷	۰/۹۷۴	۰/۹۹۶	۰/۶۴	۰/۹۹۶	۰/۹۹۶	۱/۰۰								
ضریب شکل	۰/۴۴۱	۰/۵۵۱	۰/۵۵۷	۰/۳۷۹	۰/۶۳۵	۰/۷۲۶	۱/۰۰								
نسبت کشیدگی	۰/۴۴۱	۰/۵۲۹	۰/۵۵۵	۰/۴۰۴	۰/۶۴۴	۰/۷۰۸	۰/۹۹۹	۱/۰۰							
نسبت دایره‌ای	۰/۳۷۸	۰/۳۶۳	۰/۳۵۵	۰/۲۰۴	۰/۶۱۴	۰/۶۴۴	۰/۷۰۸	۰/۹۹۹	۱/۰۰						
ضریب ناهمواری	۲۶/۳۹۱	۲۱/۹۶۸	۲۱/۹۶۸	۰/۴۲۶	۰/۳۹۲	۰/۳۹۲	۰/۳۱۱	۰/۴۲۷	۰/۴۲۷	۱/۰۰					
شاخص شدت فرسایش	۰/۵۹۲	۰/۳۶۳	۰/۳۶۳	۰/۲۰۴	۰/۶۱۴	۰/۶۴۴	۰/۷۰۸	۰/۹۹۹	۰/۴۲۶	۰/۳۹۲	۱/۰۰				
زمان تمرکز	۶/۲۷	۵/۰۹	۵/۰۹	۰/۳۷۹	۰/۶۳۵	۰/۷۲۶	۱/۰۰	۰/۷۲۶	۰/۷۲۶	۰/۷۲۶	۰/۷۲۶	۱/۰۰			
شیب متوسط	۹/۹۸	۶/۷۹	۶/۷۹	۰/۳۷۹	۰/۶۳۵	۰/۷۲۶	۱/۰۰	۰/۷۲۶	۰/۷۲۶	۰/۷۲۶	۰/۷۲۶	۰/۷۲۶	۱/۰۰		
ارتفاع متوسط	۲۶۵۸/۶۴	۲۵۱۵/۰۹	۲۵۱۵/۰۹	۰/۴۲۶	۰/۳۹۲	۰/۳۹۲	۰/۳۱۱	۰/۴۲۷	۰/۴۲۷	۰/۴۲۷	۰/۴۲۷	۰/۴۲۷	۰/۴۲۷	۱/۰۰	
مجموع همبستگی	۲/۴۶۱	۲/۴۶۱	۲/۴۶۱	۲/۴۶۱	۲/۴۶۱	۲/۴۶۱	۲/۴۶۱	۲/۴۶۱	۲/۴۶۱	۲/۴۶۱	۲/۴۶۱	۲/۴۶۱	۲/۴۶۱	۲/۴۶۱	۲/۴۶۱
جمع کل	۱۲/۰۳۹														

نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد که بسیاری از پارامترها ارتباطات بسیار قوی (نزدیک به $1 \pm$) دارند؛ به‌ویژه روابط مثبت قوی بین «مساحت - محیط»، «تراکم زهکشی، فراوانی آبراهه»، و بین شاخص‌های شکل (گردی، فشردگی) که نمایانگر همبستگی هندسی و مقیاسی در حوضه است. همبستگی بسیار بالای «تراکم زهکشی» با «فراوانی آبراهه» و نیز با «عدد نفوذ/نفوذپذیری» نشان می‌دهد که شبکه زهکشی فشرده‌تر به سرعت آب را هدایت کرده و نفوذ کمتری وجود دارد؛ بنابراین شبکه آبراهه سریع‌تر سیلاب را منتقل می‌کنند و شیب هیدرولوژیک حوضه افزایش می‌یابد. همچنین همبستگی‌های منفی، پارامترهای شکل مثل نسبت انشعاب یا دایره‌ای شدن که به صورت منفی با برخی شاخص‌های تراکم یا زمان تمرکز همبسته‌اند، نشان می‌دهد شکل هرچه دایره‌ای‌تر باشد تمایل به تمرکز سریع‌تر روان‌آب دارد و پیک سیل را تشدید می‌کند.

جدول (۵): وزن تاثیر (W_i) پارامترهای مورفومتری

Table 5: Influence weights (W_i) of morphometric parameters

پارامتر	مساحت	محیط	نسبت انشعاب	ضریب فشردگی	تراکم زهکشی	فراوانی آبراهه	شماره نفوذ	شکل ضریب	نسبت کشیدگی	نسبت دایره	ضریب ناهمواری	شدت فرسایش	زمان تمرکز	شیب متوسط	ارتفاع متوسط
وزن تاثیر	۰/۲۴	۰/۲۱	-۰/۱۸	-۰/۳۳	-۰/۱۸	-۰/۱۷	-۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۳۳	۰/۱۷	۰/۲۸	۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۲۱

نتایج جدول (۵) حاکی از آن است که، وزن‌ها با نتایج جدول (۴) همسویی دارند؛ پارامترهایی که همبستگی بالایی با نشانگرهای سیل‌خیزی داشتند، وزن بیشتری گرفتند. این همسویی علمی است زیرا پارامترهای مؤثر هیدروپدینامیکی باید در مدل اولویت‌بندی تاثیر بیشتری داشته باشند. تمرکز روی پارامترهای با وزن بالا (تراکم زهکشی، مساحت، شاخص‌های شکل) به معنای اولویت‌بخشی اقدامات عملیاتی (مثل کنترل روان‌آب سطحی، افزایش نفوذپذیری محلی و مدیریت حوضه‌های با تراکم شبکه بالا) است. در مرحله بعد شاخص اولویت‌بندی (SWPI) برای هر یک از زیرحوضه‌ها تعیین گردید.

جدول (۶): محاسبه SPWI برای زیرحوضه‌های مختلف

Table 6: Calculation of SPWI for different sub-basins

وزن (W_i)	زیرحوضه ۱		زیرحوضه ۲		زیرحوضه ۳		پارامتر
	مقدار (X_i)	$W_j \times X_i$	مقدار (X_i)	$W_j \times X_i$	مقدار (X_i)	$W_j \times X_i$	
۰/۲۴	۶۱۸/۸۸	۱۴۸/۵۳	۲۷۱/۴۶	۶۵/۱۵	۱۵۷/۵۵	۳۷/۸۱۲	مساحت
۰/۲۱	۱۴۱/۲۴	۲۹/۶۶	۹۷/۶۵	۲۰/۵۱	۷۲/۷۹	۱۵/۲۹	محیط
-۰/۱۸	۴/۸۵	-۰/۸۷۳	۴/۳۲	-۰/۷۸	۳/۹۸	-۰/۷۷	نسبت انشعاب
-۰/۳۳	۱/۵۹	-۰/۵۲۴۷	۱/۶۶	-۰/۵۴۸	۱/۶۲	-۰/۵۳۵	ضریب فشردگی
-۰/۱۸	۰/۹۵۲	-۰/۱۷۱۴	۱/۳۷۵	-۰/۲۵	۱/۷۲۸	-۰/۳۱۱	تراکم زهکشی
-۰/۱۷	۰/۶۵۲	-۰/۱۱۱	۱/۱۸۶	-۰/۲۰۲	۱/۶۹۵	-۰/۲۸۸	فراوانی آبراهه
-۰/۱۴	۰/۶۲۱	-۰/۰۸۷	۱/۶۳۰	-۰/۲۳	۲/۹۳	-۰/۴۱	شماره نفوذ
۰/۱۱	۰/۱۷۴	۰/۰۱۹	۰/۱۵۷	۰/۰۱۸	۰/۲۱۲	۰/۰۲۳	ضریب شکل
۰/۱۲	۰/۴۷۱	۰/۰۵۷	۰/۴۴۷	۰/۰۵۴	۰/۵۱۹	۰/۰۶۲	نسبت کشیدگی
۰/۳۳	۰/۳۹۱	۰/۱۲۹	۰/۳۵۷	۰/۱۱۸	۰/۳۷۸	۰/۱۲۵	نسبت دایره‌ای
۰/۱۷	۲۶/۳۹۱	۴/۴۹	۲۱/۹۶۸	۳/۷۴	۳۰/۷۸۳	۵/۲۳۳	ضریب ناهمواری
۰/۲۸	۰/۵۹۲	۰/۱۶۶	۰/۳۶۳	۰/۱۰۲	۰/۳۴۶	۰/۰۹۷	شاخص فرسایش
۰/۱۳	۶/۲۷	۰/۸۱۵	۵/۰۹	۰/۶۶۲	۳/۲۵	۰/۴۲۲	زمان تمرکز
۰/۱۹	۹/۹۸	۱/۸۹۶	۶/۷۹	۱/۲۹	۴/۴	۰/۸۳۶	شیب متوسط
۰/۲۱	۲۶۵۸/۶۴	۵۵۸/۳۲	۲۵۱۵/۰۹	۵۲۸/۱۷	۲۴۴۰/۷۶	۵۱۲/۵۶	ارتفاع متوسط
	۷۲۴/۳۱		۶۱۷/۸		۵۷۰/۱۹۶		SPWI

همانگونه که نتایج جدول (۶) نشان می‌دهد شاخص SPWI با جمع حاصل ضرب وزن پارامترها در مقادیر نرمال شده ($W_j \times N_{ij}$) برای هر زیرحوضه به دست می‌آید؛ در جدول نمونه محاسبات نشان می‌دهد مقادیر بزرگ برای پارامترهای با وزن بالا (مثلاً ضرب‌های مربوط به مساحت و تراکم) بیشترین سهم را در دارند. مقادیر نهایی SPWI برای زیرحوضه‌ها حاکی از رتبه اول (۷۲۴/۳۱) برای زیرحوضه شماره یک، رتبه دوم (۶۱۷/۸) برای زیرحوضه شماره دو و رتبه سوم (۵۷۰/۱۹۶) برای زیرحوضه شماره سه می‌باشد. این اعداد منعکس کننده مجموع وزن‌های تعدیل شده توسط مقادیر مورفومتریکی واقعی هر زیرحوضه‌اند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که، رتبه‌بندی SPWI با شاخص CV که پراکندگی پارامترها را نشان می‌دهد نیز هم‌راستا است؛ زیرحوضه ۱ هر دو معیار را در جهت بیشترین پتانسیل سیل خیزی تأیید می‌کند. به طور کلی چون وزن‌ها از ترکیب تجربی/تحلیلی گرفته شده و همبستگی‌ها قوی هستند، SPWI یک شاخص معتبر برای اولویت‌بندی است.

ارزیابی خطرپذیری زیرحوضه‌ها با استفاده از شاخص CV

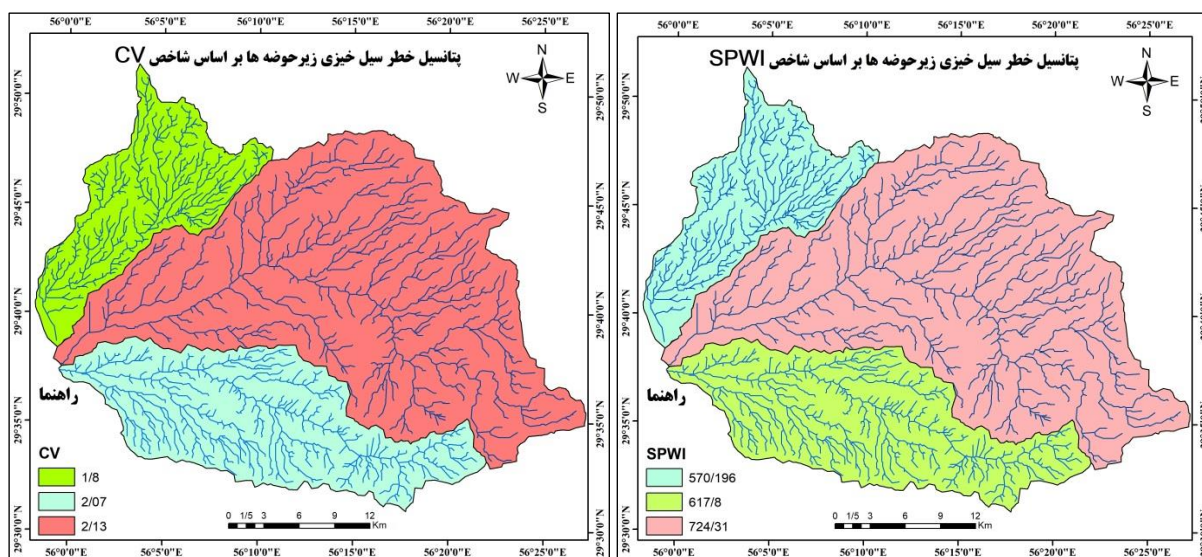
نتایج تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که پارامترهای مورفومتری رابطه مستقیمی با رواناب و پتانسیل سیل خیزی دارند. به همین علت هرچه مقدار این پارامترها بیشتر باشد تاثیر بیشتری بر سیل خیزی دارد پس امتیاز بیشتری هم دریافت می‌کند. در بین پارامترهای محاسبه شده فقط پارامتر زمان تمرکز متفاوت با سایر پارامترها است به طوری که هرچه میزان زمان تمرکز بیشتر باشد مدت زمان بیشتری طول می‌کشد تا هیدروگراف سیل به نقطه اوج برسد به همین جهت امتیاز دهی به پارامتر زمان تمرکز، زیرحوضه‌ای که زمان تمرکز کمتری داشته باشد امتیاز بیشتر دریافت می‌کند.

جدول (۷): شاخص CV برای زیرحوضه‌های مختلف

Table (7): CV index for different sub-basins

پارامتر	زیرحوضه ۱	زیرحوضه ۲	زیرحوضه ۳
مساحت	۳	۲	۱
محیط	۳	۲	۱
نسبت انشعاب	۳	۲	۱
ضریب گراویلیوس	۱	۳	۲
تراکم زهکشی	۱	۲	۳
فراوانی آبراهه	۱	۲	۳
شماره نفوذ	۱	۲	۳
ضریب شکل	۲	۱	۳
نسبت کشیدگی	۲	۱	۳
نسبت دایره‌ای	۳	۱	۲
ضریب ناهمواری	۲	۱	۳
شاخص شدت فرسایش	۳	۲	۱
زمان تمرکز	۱	۲	۳
شیب متوسط	۳	۲	۱
ارتفاع متوسط	۳	۲	۱
شاخص CV	۲/۱۳	۱/۸	۲/۰۷
پتانسیل خطر	اول	سوم	دوم

نتایج جدول (۷) حاکی از آن است که پتانسیل خطر سیلاب در زیرحوضه شماره یک ($CV=2.13$) بیشتر از دو زیرحوضه دیگر می‌باشد. بعد از آن زیرحوضه‌های شماره سه ($CV=2.07$) و شماره دو ($CV=1.8$) در رتبه‌های دوم و سوم از نظر پتانسیل خطر سیلاب قرار می‌گیرند.



شکل (۴): پتانسیل خط سیل خیزی زیرحوضه‌ها بر اساس شاخص‌های CV و SPWI
 Figure 3: Flood hazard potential of the sub-basins based on the CV and SPWI indices

گروه‌بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از آزمون مقایسه میانگین‌ها

جهت آنالیز آماری آزمون مقایسه میانگین‌ها پارامترهای مورفومتری محاسبه شده در سه گروه پارامترهای خطی (محیط، تعداد آبراهه، طول آبراهه و زمان تمرکز)، پارامترهای سطحی (مساحت، نسبت انشعاب، ضریب گراویلیوس، تراکم زهکشی، فراوانی آبراهه، شماره نفوذ، ضریب شکل، نسبت کشیدگی و نسبت دایره‌ای) و پارامترهای ناهمواری (ضریب ناهمواری، ارتفاع متوسط، شیب متوسط و شاخص شدت فرسایش) دسته‌بندی شدند. سپس آنالیز واریانس و آزمون مقایسه میانگین‌ها برای این سه دسته از پارامترهای مورفومتری محاسبه گردید. جدول (۸)، نتایج آنالیز واریانس پارامترهای مورفومتری را در سطح احتمال ۰/۰۵ را نشان می‌دهد. جهت بررسی تمایزات و تشابهات زیرحوضه‌ها نتایج مقایسه میانگین آزمون دانکن در جداول ۹ تا ۱۱ ارائه شده است.

جدول (۸) نتایج آنالیز واریانس برای پارامترهای خطی، سطحی و ناهمواری

Table (8) Results of analysis of variance for linear, surface and Relief parameters

پارامتر	عوامل	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	معناداری (Sig.)
خطی	بین گروه‌ها	۳۵۳۷۸/۶۵	۲	۱۷۶۸۹/۳۲	۰/۴۴۳	۰/۶۵۵
	داخل گروه‌ها	۳۵۹۱۲۹/۷۷	۹	۳۹۹۰۳/۳۱	—	—
	مجموع	۳۹۴۵۰۸/۴۲	۱۱	—	—	—
سطحی	بین گروه‌ها	۱۲۶۶۴/۷۵	۲	۶۳۳۲/۳۸	۰/۳۵۷	۰/۷۰۳
	داخل گروه‌ها	۴۲۵۶۰۵/۴۲	۲۴	۱۷۷۳۳/۵۶	—	—
	مجموع	۴۳۸۲۷۰/۱۷	۲۶	—	—	—
ناهمواری	بین گروه‌ها	۶۳۰۲/۴۱	۲	۳۱۵۱/۲۱	۰/۰۰۲	۰/۹۹۸
	داخل گروه‌ها	۱۴۳۸۵۸۲۶/۹۱	۹	۱۵۹۸۴۲۵/۲۱	—	—
	مجموع	۱۴۳۹۲۱۲۹/۳۲	۱۱	—	—	—

جدول (۹) نتایج مقایسه میانگین پارامترهای خطی بر اساس آزمون دانکن

Table (9) Results of comparison of mean linear parameters based on Duncan's test

زیرحوضه	تعداد	زیرگروه‌ها بر اساس $\alpha = 0.05$
زیرحوضه ۳	۴	۱۵۵/۸۲۲۵
زیرحوضه ۲	۴	۱۹۹/۷۶۲۵
زیرحوضه ۱	۴	۲۸۶/۵۰۷۵
معناداری (Sig.)	—	۰/۳۹۹

نتایج جدول (۸) حاکی از آن است که علی‌رغم اختلافات ظاهری در مقدار میانگین پارامترهای خطی از نظر آماری و در سطح 0.05 اختلاف معناداری بین این پارامترها در زیرحوضه‌های مختلف وجود ندارد. به همین علت هر سه زیرحوضه در یک گروه قرار گرفته‌اند.

جدول (۱۰) نتایج مقایسه میانگین پارامترهای سطحی بر اساس آزمون دانکن

Table (10) Results of comparison of mean surface parameters based on Duncan's test

زیرحوضه	تعداد	زیرگروه‌ها بر اساس $\alpha = 0.05$
زیرحوضه ۳	۹	۱۸/۹۵۷۷۸
زیرحوضه ۲	۹	۳۱/۴۰۱۱۱
زیرحوضه ۱	۹	۶۹/۸۴۱۱۱
معناداری (Sig.)	—	۰/۴۵۲

نتایج جدول (۹) نشان می‌دهد که همانند پارامترهای خطی، اختلاف بین مقدار میانگین پارامترهای سطحی در سطح 0.05 معنادار نمی‌باشد. بنابراین از نظر پارامترهای سطحی تمام زیرحوضه‌ها در یک گروه همگن قرار گرفته‌اند.

جدول (۱۱) نتایج مقایسه میانگین پارامترهای ناهمواری بر اساس آزمون دانکن

Table (11) Results of comparison of mean Relief parameters based on Duncan's test

زیرحوضه	تعداد	زیرگروه‌ها بر اساس $\alpha = 0.05$
زیرحوضه ۳	۴	۶۱۹/۰۷۲۵
زیرحوضه ۲	۴	۶۳۶/۰۵۲۵
زیرحوضه ۱	۴	۶۷۳/۹
معناداری (Sig.)	—	۰/۹۵۴

اگرچه به نظر می‌رسد که زیرحوضه‌ها از نظر ظاهری با یکدیگر تفاوت دارند اما طبق نتایج جداول (۹ تا ۱۱) هر سه زیرحوضه از نظر پارامترهای ناهمواری در یک گروه قرار می‌گیرند. به عبارتی از نظر آماری اختلاف معناداری بین میانگین پارامترهای ناهمواری در سطح 0.05 وجود ندارد.

بحث

پارامتر مساحت حوضه آبریز یکی از مهم‌ترین عوامل مورفومتری مؤثر در تحلیل پتانسیل سیل خیزی است، زیرا مستقیماً بر حجم رواناب تولیدی، زمان تمرکز، و شدت سیلاب تأثیر می‌گذارد (دآلمیدا و همکاران^۱، ۲۰۲۱: ۱۲۳). در حوضه تنگوییہ زیرحوضه شماره یک (سوخته‌چال) با مساحت ۶۱۸/۸۸ کیلومترمربع بیشترین مساحت و بعد از آن زیرحوضه شماره دو (پلنگی) با مساحت ۲۷۱/۴۶ کیلومترمربع و زیر حوضه شماره سه (خشکه رود) با مساحت ۱۵۷/۵۵ کیلومترمربع در رتبه دوم و سوم قرار دارند. محیط حوضه که شاخصی از پیچیدگی و ناهمگنی مرزهای حوضه است، نقش دوگانه‌ای در پتانسیل سیل خیزی حوضه ایفا می‌کند. هرچه نسبت محیط به مساحت بیشتر (شکل نامنظم‌تر) باشد، رواناب مدت زمان طولانی‌تری را برای رسیدن به خروجی طی می‌کند که به کاهش شدت قله سیلاب و افزایش طول دوره وقوع منجر می‌شود. در مقابل، حوضه‌های فشرده با محیط کم، رواناب را به سرعت متمرکز کرده و قله‌های

¹ . de Almeida et al

بالا تری ایجاد می کنند. اما به طور کلی نتایج مطالعات نشان می دهد که، ضریب محیط ارتباط قوی و معناداری با ارتفاع قله رواناب دارد (کلانتر و همکاران، ۲۰۱۹: ۳۱۳). در حوضه تنگنویه بیشترین محیط مربوط به زیر حوضه شماره یک با $141/24$ کیلومتر است و زیر حوضه شماره دو با $97/65$ کیلومتر و زیرحوضه شماره سه با $72/79$ کیلومتر دوم و سوم هستند. نسبت انشعاب نشان دهنده تعداد شاخه های فرعی در شبکه زهکشی است؛ افزایش این شاخص به معنای مسیرهای بیشتر و کوتاه تر برای هدایت رواناب است که زمان تمرکز را کاهش و دبی پیک هیدروگراف سیلاب، و سیل خیزی را افزایش می دهد (آتیا و همکاران^۱، ۲۰۲۲: ۱۳۲). به طور کلی نسبت انشعاب نواحی کوهستانی و پرشیب معمولاً بین ۳ تا ۴ می باشد (استرالر، ۱۹۶۴). به علت توپوگرافی نامنظم و شیب زیاد در منطقه مورد مطالعه نسبت انشعاب زیرحوضه های یک و دو بالای ۴ و زیرحوضه شماره سه بالای ۳ است (جدول ۲). ضریب گراویلیوس شاخصی برای سنجش میزان فشردگی یا نزدیکی شکل حوضه به دایره است. هرچه این ضریب به یک نزدیکتر باشد نشان دهنده شکل دایره ای و فشرده حوضه است که موجب افزایش میزان سیل خیزی می شود. مقدار بالاتر از $1/5$ این ضریب نشان دهنده شکل کشیده و نامتقارن حوضه است که موجب کاهش شدت سیلاب و افزایش زمان تمرکز می شود (کاراندیش و همکاران، ۱۳۹۲: ۴). ضریب گراویلیوس هر سه زیرحوضه در منطقه مورد مطالعه بالاتر از $1/5$ می باشد که حاکی از شکل کشیده این زیرحوضه ها است (جدول ۲). شاخص تراکم شبکه زهکشی یک عامل مهم کنترل رواناب سطحی است که بر میزان دبی سیل تاثیرگذار است (پالارد و همکاران، ۲۰۰۹: ۵). این شاخص نشان دهنده میزان توسعه ی شبکه زهکشی در سطح حوضه است و مستقیماً بر سرعت و شدت پاسخ هیدرولوژیکی تأثیر می گذارد. در مناطق کوهستانی با نفوذپذیری کم، شیب زیاد و پوشش گیاهی کم مقدار این شاخص افزایش می یابد. مقدار بالای این شاخص موجب افزایش پتانسیل سیل خیزی در حوضه های مختلف می شود (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۸: ۸۶). مقدار این شاخص در زیرحوضه شماره یک $0/952$ ، در زیر حوضه شماره دو $1/375$ و در زیرحوضه شماره سه $1/728$ می باشد.

شاخص فراوانی آبرهه بیانگر تعداد آبرهه ها در واحد سطح حوضه است که ارتباط مستقیمی با نفوذپذیری، ظرفیت نفوذ، توپوگرافی و رواناب دارد. مقدار بالای این شاخص بیانگر نفوذناپذیری، ناهمواری بالا و ظرفیت نفوذ کم می باشد (پاتون و باکر^۲، ۱۹۷۶: ۸). فراوانی آبرهه یکی از پارامترهای مؤثر در تعیین پهنه های پرخطر سیلابی است (رضایی مقدم و رحیم پور، ۱۴۰۳: ۶). مقدار این پارامتر در زیر حوضه های منطقه مورد مطالعه نشان دهنده پتانسیل متوسط سیل خیزی آنها است (جدول ۲). پارامتر شماره نفوذ بیانگر توان نفوذپذیری سطحی حوضه است. این پارامتر در تعیین ویژگی های نفوذ حوضه نقش مهمی داشته و رابطه معکوسی بین مقدار این پارامتر و میزان نفوذپذیری وجود دارد (هاجم و همکاران^۳؛ ۲۰۱۳: ۸). مقادیر بالای این پارامتر بیانگر نفوذ کم می باشد که افزایش رواناب سطحی و در نتیجه افزایش خطر وقوع سیلاب را به دنبال دارد. هرچند شاخص شماره نفوذ بسته به ویژگی های حوضه در مناطق مختلف متفاوت است اما نتایج حاصل از مطالعات تجربی در حوضه های مختلف حاکی از آن است که اگر این شاخص کوچکتر از $0/5$ باشد بیانگر افزایش میزان نفوذ و کاهش میزان رواناب است پس نقش آن در سیل خیزی کم است. اگر مقدار آن بین $0/5$ تا $1/5$ باشد بیانگر نقش متوسط آن در سیل خیزی است و اگر مقدار آن بیشتر از $1/5$ باشد نقش بالایی در سیل خیزی دارد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۸: ۸۹). بر همین اساس مقدار این پارامتر در زیرحوضه های شماره دو و سه بیشتر از $1/5$ و در زیرحوضه شماره یک کمتر از یک می باشد. پارامتر ضریب شکل یکی از پارامترهای مورفومتری است که نقش مهمی در زمان تمرکز و دبی اوج سیلاب دارد. به طور کلی اگر مقدار ضریب شکل کمتر از $0/30$ باشد، حوضه کشیده و دبی پیک سیلاب بسیار کم خواهد بود. اگر مقدار آن بین $0/30$ تا $0/45$ باشد حوضه نسبتاً کشیده است. مقدار $0/45$ تا $0/60$ این پارامتر بیانگر حوضه نیمه گرد است و در نهایت اگر مقدار آن از $0/60$ بیشتر باشد بدان معناست که حوضه کاملاً به شکل دایره است و دبی پیک سیلاب بسیار بالا است (استرالر^۴، ۱۹۵۷: ۹۱۷). مقدار پارامتر ضریب شکل برای هر سه زیر حوضه در منطقه مورد مطالعه کمتر از $0/30$ می باشد که بیانگر شکل کشیده این زیرحوضه ها است. نسبت کشیدگی، نسبت قطر

1 . Attia et al

2 . Patton and Baker

3 . Hajam et al

4 . Strahler

دایره‌ای فرضی که مساحت آن برابر با مساحت حوضه است، به حداکثر طول حوضه می‌باشد (شوم^۱، ۱۹۵۶، ۶۱۲). این نسبت در مناطق مختلف اقلیمی و زمین‌شناسی بین ۰/۶ تا ۱ متغیر است. مقادیر مختلف نسبت کشیدگی بیانگر اشکال دایره‌ای (۰/۹ تا ۰/۱۰)، بیضوی (۰/۸ تا ۰/۹)، نسبتاً کشیده (۰/۷ تا ۰/۸)، کشیده (۰/۵ تا ۰/۷) و بسیار کشیده (۰ تا ۰/۵) است (استرالر، ۱۹۶۴). مقدار این شاخص برای زیرحوضه شماره یک ۰/۴۷۱، زیرحوضه شماره دو ۰/۴۴۷ و زیرحوضه شماره سه ۰/۵۱۹ می‌باشد که بیانگر کشیده بودن این زیرحوضه‌ها است. ضریب گردی یا نسبت دایره‌ای برابر است با نسبت مساحت حوضه به مساحت دایره‌ای فرضی که مساحت آن برابر با مساحت حوضه است. این شاخص، توسط خصوصیات سنگ‌شناسی، زمین‌شناسی، توپوگرافی، شیب، اقلیم، فراوانی و طول شبکه زهکش کنترل می‌شود (رای و همکاران، ۲۰۱۸: ۱۱). هرچه مقدار این شاخص به ۱ نزدیک‌تر باشد، حوضه شکل گردتری دارد و رواناب پس از بارندگی سریع‌تر به نقطه خروجی حوضه می‌رسد؛ که این امر منجر به پیک قله‌ای تیزتر و افزایش پتانسیل وقوع سیل می‌گردد. در مقابل، مقادیر پایین آن نشان‌دهنده حوضه‌های کشیده با زمان تمرکز بیشتر و پیک سیلاب کمتر است (شوم، ۱۹۵۶: ۶۱۵). ضریب گردی زیرحوضه شماره یک ۰/۳۹۱، زیرحوضه شماره دو ۰/۳۵۷ و زیرحوضه شماره سه ۰/۳۷۸ می‌باشد که نشان می‌دهد هر سه این زیرحوضه‌ها کشیده می‌باشند. ضریب ناهمواری یک شاخص از تفرق ارتفاع و پیچیدگی توپوگرافی حوضه است که شیب کلی و میزان فرسایش یافتگی حوضه آبریز را تعیین می‌کند. مقادیر مختلف ضریب ناهمواری بیانگر، حوضه‌های هموار با شیب ملایم و زمان تمرکز زیاد (کمتر از ۰/۵)، ناهمواری کم تا متوسط (۰/۵ تا ۱)، ناهمواری متوسط تا زیاد (۱ تا ۱/۵) و کاملاً ناهموار با شیب‌های تند (بیشتر از ۱/۵) می‌باشد (اولیویرا و ویرا^۲، ۲۰۱۴). ضریب ناهمواری هر سه زیرحوضه بسیار بیشتر از ۱/۵ می‌باشد که نشان‌دهنده توپوگرافی کاملاً ناهموار با شیب‌های تند در این حوضه‌ها است (جدول ۲). شاخص شدت فرسایش یک پارامتر برای برآورد درجه عمودی فرسایش و فازهای توسعه‌ای لندفرم‌ها در هر حوضه آبخیز است (هاجام و همکاران، ۲۰۱۳: ۸). مقدار این پارامتر بین ۰ تا ۱ متغیر است. مقدار کم این پارامتر حاکی از مسطح بودن و فرسایش کم و مقدار زیاد آن نشان‌دهنده توپوگرافی ناهموار و فرسایش زیاد در حوضه‌های آبخیز است (رای و همکاران، ۲۰۱۸: ۱۴). ارتفاع متوسط زیرحوضه شماره یک ۲۶۵۸/۶ متر و شاخص شدت فرسایش آن ۰/۵۹۲، ارتفاع متوسط زیرحوضه شماره دو ۲۵۱۵ و شاخص شدت فرسایش آن ۰/۳۶۳ و ارتفاع متوسط زیرحوضه شماره سه ۲۴۴۰/۷ متر و شاخص شدت فرسایش آن ۰/۳۴۶ می‌باشد. زمان تمرکز مدت زمانی است که طولانی‌ترین مسیر جریان در شبکه آبراهه حوضه (از دورترین نقطه) تا نقطه خروجی طی می‌کند. این پارامتر معیاری از سرعت واکنش حوضه به بارش است. هرچه این زمان کوتاه‌تر باشد موجب تمرکز رواناب در بازه زمانی فشرده می‌شود؛ آب‌های سطحی تقریباً همزمان به نقطه خروجی می‌رسند و هیدروگراف سیل تیزتر و حوضه سیلابی‌تر خواهد بود. مقادیر مختلف زمان تمرکز نشان‌دهنده، هیدروگراف تیز و قله کوتاه مدت (کمتر از ۰/۵ ساعت)، پیک هیدروگراف بلند و زمان تمرکز کوتاه (۰/۵ تا ۱ ساعت)، رواناب گسترده با پیک متوسط (۱ تا ۳ ساعت) و هیدروگراف پهن، قله کوتاه و تاخیری (بیشتر از ۳ ساعت) است (فرناندو و کاپل^۳، ۲۰۱۲: ۹۰۹). زمان تمرکز هر سه زیرحوضه در منطقه مورد مطالعه بیشتر از ۳ ساعت می‌باشد که بیانگر هیدروگراف پهن و تاخیر در رسیدن رواناب به نقطه خروجی می‌باشد. شیب متوسط معیاری از تندی یا ملایم بودن توپوگرافی حوضه است. افزایش متوسط شیب موجب کاهش نفوذ، افزایش سرعت رواناب، کاهش زمان تمرکز و افزایش ریسک وقوع سیلاب ناگهانی می‌شود. بر همین اساس، شیب کمتر از ۲ درصد (بسیار ملایم)، بین ۲ تا ۴ درصد (ملایم)، بین ۴ تا ۸ درصد (متوسط)، بین ۸ تا ۱۲ درصد (تند) و بیشتر از ۱۲ درصد (خیلی تند) می‌باشد (دویا و همکاران^۴، ۲۰۱۵: ۲۸۷). متوسط شیب زیرحوضه شماره یک ۹/۹۸ درصد (شیب تند)، زیرحوضه شماره دو ۶/۷۹ درصد (شیب متوسط) و زیرحوضه شماره سه ۴/۴ درصد (شیب متوسط) می‌باشد.

نتیجه‌گیری

1. Schumm
2. Oliveira & Vieira
3. Fernando & Chappel
4. Devia et al

پارامترهای مورفومتری نقش مهمی در پاسخ حوضه به رواناب ناشی از بارندگی و سیل ناشی از آن دارند. به همین علت این پارامترها نقش مهمی را در پتانسیل سیل خیزی حوضه‌های آبخیز دارند. در همین راستا پژوهش حاضر سعی نموده است ضمن محاسبه پارامترهای مورفومتری زیرحوضه‌های، حوضه آبریز تنگ‌کویه در جنوب شرق ایران، نقش این پارامترها را در پتانسیل سیل خیزی این زیرحوضه‌ها ارزیابی و تحلیل نماید. بدین منظور، پس از محاسبه پارامترهای مورفومتری زیرحوضه‌های مختلف، پتانسیل سیل خیزی سه زیرحوضه با ترکیب روش‌های تحلیل همبستگی پیرسون، تحلیل مجموع وزنی (WSA)، شاخص اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها (SWPI) مبتنی بر ترکیب خطی وزنی (WLS) و آزمون آماری مقایسه میانگین‌های دانکن ارزیابی شد. تحلیل پارامترهای مورفومتری نشان می‌دهد که زیرحوضه شماره یک با متوسط ارتفاع بیشتر (۲۶۵۸/۶۴)، متوسط شیب بیشتر (۹/۹۸) مساحت بیشتر (۶۱۸/۸۸ کیلومتر مربع) که حجم کل رواناب تولید شده را افزایش می‌دهد، در کنار نسبت انشعاب بالاتر این زیرحوضه (۴/۸۵) که امکان تجمع سریع‌تر رواناب و پیک سیل تیزتر را فراهم می‌کند و همچنین ضریب گراویلیوس (۱/۵۹) و ضریب نفوذ کمتر (۰/۶۲۱) باعث افزایش پتانسیل سیل خیزی این زیرحوضه نسبت به دو زیرحوضه دیگر شده است. هرچند مساحت، ارتفاع و شیب متوسط زیرحوضه شماره سه نسبت به دو زیرحوضه دیگر کمتر است اما پارامترهای نسبت دایره‌ای (۰/۳۷۸)، نسبت کشیدگی (۰/۵۲)، ضریب شکل (۰/۲۱)، ضریب ناهمواری (۳۰/۷۸) و زمان تمرکز (۳/۲۵) این زیرحوضه موجب شده است که پتانسیل سیل خیزی این زیرحوضه نسبت به زیرحوضه شماره دو بیشتر باشد. به عبارت دیگر ویژگی‌های فرمیک زیرحوضه شماره سه که شکل آن را به شکل دایره نزدیکتر می‌کند در کنار زمان تمرکز کمتر این زیرحوضه نسبت به دو زیرحوضه دیگر باعث شده است که پتانسیل سیل خیزی آن افزایش پیدا کند که این مهم در آنالیزهای آماری هم خود را نشان می‌دهد. به طوریکه نتایج تحلیل‌های آماری حاکی از آن است که زیرحوضه شماره یک با مقدار SWPI برابر ۷۲۴/۳۱ بالاترین اولویت را برای انجام اقدامات کنترل سیلاب دارد و با میانگین امتیاز CV برابر ۲/۱۳ بیشترین پتانسیل سیل خیزی را از آن خود کرده است. زیرحوضه‌های ۳ و ۲ به ترتیب با امتیازهای ۲/۰۷ و ۱/۸۰ در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. نزدیک بودن مقدار پارامترهای مورفومتری سه زیرحوضه به یکدیگر موجب شده است که علی‌رغم اختلافات ظاهری در مقادیر پارامترهای مورفومتری، تفاوت معناداری میان سه زیرحوضه از نظر آماری وجود ندارد و هر سه زیرحوضه در یک گروه سیل خیزی قرار می‌گیرند. نتایج آزمون مقایسه میانگین‌های دانکن دلیل بر این مدعا است. به طور کلی یافته‌های این پژوهش که نشان می‌دهد زیرحوضه شماره یک به دلیل ارتفاع، شیب، مساحت و نسبت انشعاب بالاتر بیشترین پتانسیل سیل خیزی را دارد، در کنار نقش شکل نزدیک به دایره و زمان تمرکز کوتاه‌تر زیرحوضه شماره سه، کاملاً با مطالعات مشابه همخوانی دارد. برای نمونه، کایا و درین^۱ (۲۰۲۳: ۱۹۳۵) در پژوهش خود تأکید کرده‌اند که پارامترهای مورفومتری مانند نسبت کشیدگی و نسبت دایره‌ای، محرک‌های اصلی تمرکز سریع رواناب و افزایش خطر سیلاب هستند. همچنین نتایج تحقیق قدیمی و همکاران (۱۴۰۰: ۵۳۹) در رابطه با ارزیابی پتانسیل سیل خیزی حوضه کن با استفاده از پارامترهای مورفومتری، نشان می‌دهد که، نسبت‌های انشعاب و شاخص‌های شکل از مهم‌ترین عوامل تشدید پیک سیلاب می‌باشند که این نتایج با نتایج تحقیق حاضر هم‌راستا می‌باشد. بشیر و السلمان^۲ (۲۰۲۴: ۳۳۳) در مطالعه‌ای بر روی حوضه وادی‌اللیث عربستان، که با استفاده از تحلیل دوگانه مورفومتری و مدل‌های آماری، انجام شد نتیجه می‌گیرند که، ترکیب شاخص‌های شکل و ضریب ناهمواری می‌تواند به‌طور دقیق مناطق با خطر سیلاب بالا را شناسایی کند. همچنین سارکار و همکاران^۳ (۲۰۲۲: ۲۳۷) پتانسیل سیل خیزی زیرحوضه‌های حوضه تیسنا هند را با استفاده از روش PCA-WSA ارزیابی نمودند، نتایج این تحقیق، هم‌راستا با پژوهش حاضر، تأکید می‌کند که، ترکیب تحلیل آماری و وزن‌دهی مورفومتری چارچوبی معتبر برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها فراهم می‌کند. این مجموعه مطالعات تأیید می‌کند که استفاده از شاخص ترکیبی SWPI همراه با آزمون‌های آماری، همانند پژوهش حاضر، رویکردی معتبر و کارآمد برای مدیریت خطر سیلاب و اولویت‌بندی اقدامات کنترلی است.

1. Kaya & Derin

2. Bashir & Alsalman

3. Sarkar et al

References

- Abdelgawad, A. G., Helal, E., Sobeih, M. F., & Elsayed, H. (2024). Flood hazard mapping using a GIS-based morphometric analysis approach in arid regions: A case study in the Red Sea Region, Egypt. *Applied Water Science*, 14(81). <https://doi.org/10.1007/s13201-024-02130-5>.
- Ali, R., Sajjad, H., Rahaman, M. H., Saha, T. K., Masroor, M., Roshani, & Sharma, A. (2025). A systematic review on climate change-induced flood susceptibility, vulnerability and risk: Future research perspective. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(1127). <https://doi.org/10.1007/s10661-025-14541-1>.
- AlRifai, M. H., Al Kafy, A., & Altuwaijri, H. A. (2025). Quantitative assessment of flood risk through multi-parameter morphometric analysis and GeoAI: A GIS-based study of Wadi Ranuna Basin in Saudi Arabia. *Water*, 17(14), 2108. <https://doi.org/10.3390/w17142108>.
- Altaf, S., Meraj, G., & Romshoo, S. (2014). Morphometry and land cover based multicriteria analysis for assessing the soil erosion susceptibility of the western Himalayan watershed. *Environmental Monitoring and Assessment*, 86(12), 8391-8412. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4012-2>.
- Attia, A., Mohamed, M., & Abdelrahman, M. (2022). Flood susceptibility assessment using morphometric parameters and machine learning: A case study of Wadi Thi, Egypt. *Arabian Journal of Geosciences*, 15, 533. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-08205-3>.
- Bashir, B., & Alsalman, A. (2024). Morphometric characterization and dual analysis for flash flood hazard assessment of Wadi Al-Lith watershed, Saudi Arabia. *Water*, 16(22), 333. <https://doi.org/10.3390/w16223333>.
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) & UNDRR. (2024). *Disaster in numbers: 2004–2023 global trends*. EM-DAT. DOI: N/A. <https://www.emdat.be>.
- De Almeida, G. A. M., Haddad, I., & Salamon, P. (2021). Influence of catchment area and urbanization on flood peaks: A comparative study. *Water*, 13(9), Article 1273. <https://doi.org/10.3390/w13091273>.
- Devia, G. K., Timbe, E., & Sajikumar, V. (2015). A review on hydromorphometric analysis for flood vulnerability mapping. *Journal of Hydrology*, 523, 282–291. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.01.042>.
- Fidler, K. (2024). Flooding and vulnerable communities: Working toward proper preparation and protection via RS and GIS developments. *Science-Policy Brief for the UN SDGs Forum*. Retrieved from, 1-8 [https://sdgs.un.org/sites/default/files/2024-05/Fidler_Flooding %20 and% 20 Vulnerable %20 Communities_0.pdf](https://sdgs.un.org/sites/default/files/2024-05/Fidler_Flooding%20and%20Vulnerable%20Communities_0.pdf).
- Fernando, C., & Chappel, J. (2012). Evaluation of time-of-concentration formulas for small agricultural watersheds. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(10), 902–910. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000523](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000523).
- Ghadimi, M., Hajihasani, N., Malekian, A. and Moghimi, E. (2022). Flood potential assessment of the Kan basin using morphometric parameters. *Journal of Range and Watershed Management*, 75(4), 539-551. doi: 10.22059/jrwm.2021.311132.1537 (In Persian).
- Hajam, R. A., Hamid, A., & Bhat, S. (2013). Application of morphometric analysis for geo-hydrological studies using geo-spatial technology—a case study of Vishav Drainage Basin. *Hydrology: Current Research*, 4(3), Article 157. <https://doi.org/10.4172/2157-7587.1000157>.
- Kalantar, B., Ueda, N., Saeidi, V., Janizadeh, S., Shabani, F., Ahmadi, K., & Shabani, F. (2019). A comparative assessment of flood susceptibility modeling using multi-criteria decision-making analysis and machine learning methods. *Journal of Hydrology*, 573, 311–323. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.073>.

- Karandish, F., Ebrahimi, K., & Porhemmat, J. (2014). Considering the flood intensity of Karoun's sub-basins and effective parameters on it in lumped and semi-distributed management simulation of flood hydrograph. *Journal of Water and Irrigation Management*, 3(2), 1–12. <https://doi.org/10.22059/jwim.2014.50038> (In Persian).
- Kaya, C. M., & Derin, L. (2023). Parameters and methods used in flood susceptibility mapping: A review. *Journal of Water and Climate Change*, 14(6), 1935–1960. <https://doi.org/10.2166/wcc.2023.035>.
- Lawson, K. S., Underwood, K. L., Diehl, R. M., & Rizzo, D. M. (2025). A duration-over-threshold model for flood frequency and flow regime characterization. *Water Resources Research*, 61(3), e2023WR037022, 1-20. <https://doi.org/10.1029/2023WR037022>.
- Maou, A., Souadnia, S., Faqeih, K., AlAmri, A., Hadji, R., Moshrif Alamri, S., Harizi, K., Alamery, E., Sonia, G., Leila, B., & Altwaiher, J. (2025). Assessing flash flood occurrences and hazard zones along the Mediterranean coasts: A GIS and mapping techniques approach in the Wadi Saf Saf Basin, Northeast Algeria. *Frontiers in Earth Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/feart.2025.1594364>.
- Menbari, F., maleki, A. and nayyeri, H. (2023). Factor Analysis of the morphometric indices and Flood modeling: A Case Study of Watersheds in Kurdistan Province. *Quantitative Geomorphological Research*, 12(1), 224-240. [doi: 10.22034/gmpj.2023.381703.1405](https://doi.org/10.22034/gmpj.2023.381703.1405). (In Persian).
- Mousavi, S. H. (2025). Evaluation of hydrogeomorphic parameters of Bastam watershed with emphasis on flooding. *Journal of Hydrogeomorphology*, 12(42), 59-38. [doi: 10.22034/hyd.2024.62271.1745](https://doi.org/10.22034/hyd.2024.62271.1745). (In Persian).
- National Crisis Management Organization. (2021). National Report on Natural Hazards: Flood Data 2000–2020. Tehran: Ministry of Interior. (In Persian).
- Oliveira, D. S., & Vieira, A. (2014). Assessment of flood hazard based on morphometric analysis in the Rio Grande watershed, Brazil. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2, 42–59. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2014.09.002>.
- Padala, R. S., & Mathew, A. (2024). Morphometric analysis of watersheds: A comprehensive review of data sources, quality, and geospatial techniques. *Watershed Ecology and the Environment*, 6, 13–25. <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2024.01.002>.
- Rai, P. K., Chandel, R. S., Mishra, V. N., Singh, P. 2018. Hydrological inferences through morphometric analysis of lower Kosi river basin of India for water resource management based on remote sensing data. *Applied Water Science*, 8(1), 15. [DOI: 10.1007/s13201-018-0660-7](https://doi.org/10.1007/s13201-018-0660-7).
- Rajabi, M., Roostaei, S. and Barzkar, M. (2022). Evaluation of flood potential under basins based on morphometric parameters and correlation test (Case: Zab catchment to Mirabad). *Journal of Geography and Planning*, 26(79), 139-127. [doi: 10.22034/gp.2022.10788](https://doi.org/10.22034/gp.2022.10788) (In Persian).
- Rajpoot, P. S., Kumar, A., Goyal, S., Trivedi, R. K. 2015. Morphometric analysis and hydrogeomorphological implication of Paisuni river basin Chitrakoot, Madhya Pradesh, India. *Journal of Biology and Earth Sciences*, 5(1), 68-73.
- Rezaee-Moghadam, M., Hejazi, A., Valizadeh-Kamran, K., & Rahimpour, T. (2020). Flood susceptibility analysis of sub-basins based on the WASPAS model: A case study of the Alandchay watershed, northwest Iran. *Hydrogeomorphology*, 7(24), 83–106. <https://doi.org/10.22034/hyd.2020.39815.1534> (In Persian).
- Rezaee-Moghadam, M. H., & Rahimpour, T. (2024). Flood hazard potential mapping using frequency ratio and statistical index methods: A case study of the Ajichay watershed. *Journal of Hydrogeomorphology*, 14(27), 1–14. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2024.369163.803> (In Persian).
- Rezaee-Moghadam, M., Hejazi, A., Valizadeh-Kamran, K., & Rahimpour, T. (2020). Flood susceptibility analysis of sub-basins based on the WASPAS model: A case study of the Alandchay watershed, northwest Iran. *Hydrogeomorphology*, 7(24), 83–106. <https://doi.org/10.22034/hyd.2020.39815.1534> (In Persian).
- Sarkar, P., Mondal, M., Roy, K., Seal Sarma, U., & Gayen, S. K. (2022). Morphometric analysis to prioritize for flood risk of sub-watersheds of Teesta through Hazard Degree and PCA-WSA. In *Fluvial*

Systems in the Anthropocene (pp. 237–264). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11181-5_13.

- Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. Eos, Transactions American Geophysical Union, 38(6), 913–920. <https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>.
- 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. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSSA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSSA]2.0.CO;2).
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2024). Global assessment report 2024 (GAR2024): Risk landscapes. DOI: N/A. <https://www.undrr.org>.
- World Meteorological Organization (WMO). (2024). State of climate services 2024: Water. DOI: N/A. <https://library.wmo.int>.