Hydrogeomorphology Vol. 12, No. 42, 2025

Research Paper

Evaluation of hydrogeomorphometric parameters of Bastam watershed with emphasis on flooding

Sayyed Hojjat Mousavi[1]

1. Associate Professor, Department of Geography and Tourism, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran. hmousavi15@kashanu.ac.ir

Keywords

Watershed, Management, Measurable, Parameters, Hydrogeomorphometry, Flooding, Bastam Watershed.

Received: 2024/06/26

Accepted: 2024/12/07

Published: 2025/04/19

A B S T R A C T

Introduction

Watersheds, as one of the natural open systems and the most important source of water and hydroelectric power, require comprehensive planning in various fields. Hydrological, climatic, geological, geomorphological features and population centers located in watersheds and their influence area play an important role in the type of planning and management of the basin. The mutual effects caused by different resources and living and non-living components in a watershed necessitates the implementation of an integrated and systematic management model in it with the aim of optimal utilization of resources and coordination and movement in the direction of sustainable development. Considering the studies and the lack of consideration of the comprehensive management of watersheds in most of the programs, as well as the failure to evaluate the hydrogeomorphometric components in the Bastam watershed, the purpose of this research is to determine, measure and analyze the integrated hydrological, morphometric and geometric components of this watershed, in the direction Knowing the hydrological potentials and the comprehensive management of this basin from the perspective of the occurrence of natural hazards such as flooding and the amount of sedimentation and soil erosion. Therefore, the results of this research are of great importance in environmental planning and risk and crisis management of watersheds.

Methodology

First, the area of Bastam watershed was investigated using Google Earth images and basic maps such as 1:50000 topography, and boundaries were determined based on ridges and topographic boundaries and separated from the surrounding areas. Then, its digital elevation model with a cell size of 28.98749021 meters was obtained from the usgs.gov database and was limited to the borders of the study area in the ArcGIS software.

*Correspondin Author: Sayyed Hojjat Mousavi, E-mail: hmousavi15@kashanu.ac.ir

How to cite this article: Mousavi S. H. (2025). Evaluation of hydrogeomorphometric parameters of Bastam watershed with emphasis on flooding. Hydrogeomorphology, 12(42): 39 – 60.

DOI: 10.22034/hyd.2024.62271.1745

Copyright: © by the authors Publisher: University of Tabriz

Regarding the hydrogeomorphometric components of the basins, the roughness components and the elevation distribution of the watershed in the form of height classes, altimetry and hypsometric curves were studied. The layer of slope was calculated using the formula of ratio between height difference and horizontal distance based on the digital elevation model and was classified based on natural breaks and comparison of averages. The aspect (slope direction) layer was classified based on the angular difference of the domain direction with respect to the North Pole and based on the digital elevation model of the region and the eight directions with an angular difference of 45 degrees. The characteristics related to the drainage network of the watershed were extracted from the topographic maps and ranked based on Strahler's method. Accordingly, the digital layer of drainage density and branching ratio component was calculated using the relevant functions and in the ArcGIS software. The digital layer of the buffer waterways was calculated and drawn based on the Euclidean distance in the ArcGIS software. The profile of the main waterways was also extracted and drawn using the data of the digital elevation model and ranking of the waterways and software data, and accordingly, the concentration time was calculated using the Krepich equation. The components related to the shape of the watershed and its physiography, such as the area, perimeter, length and width of the equivalent rectangle, and the compression coefficient, were also calculated through the relations provided by hydrologists.

Results and Discussion

The results of roughness show the elevation range from a minimum of 1351 to a maximum of 3908 meters, and the maximum extent of the watershed with an area of 183.098 square kilometers (13.773 percent of the total) is located in the altitude range of 1400 to 1500 meters. In addition, more than 53.58 percent of the area of the basin (712.2672 square kilometers) is located at altitudes below 2000 meters. The maximum expansion of the watershed area at minimum altitudes indicates the receipt of atmospheric precipitation in liquid form, which requires management measures and the preparation of a comprehensive plan to deal with flooding and soil erosion. The hypsometric curve of the studied watershed is stretched to the left. These conditions indicate that the study area has passed its youth period and its aging period has begun. According to the altimetry chart, more than 52.075% of the area of the basin is located at minimum altitudes between 1351 and 2000 meters. On the other hand, the height range of 2050 to 3854 meters covers only 46.424% of the area of the basin. Therefore, it can be said that the mentioned basin is considered an old basin from the point of view of life cycle and erosion cycle, and with normal rainfall, it has low to moderate flooding. The average height of Bastam watershed was calculated to be 2085.341 meters. In other words, the height ranges from 1351 to 2085.341 meters with a difference of 734.341 meters, which includes 50% of the area of the basin in the catchment and waterways, in contrast to the height range from 2085.341 to 3908 meters with a difference of 1822.659 meters, which is 50% of the basin area. It covers the watershed area; it is almost one third and it is small.

The slope of the watershed varies from a minimum of 0 to a maximum of 184.027%. According to the fact that lands with a slope of less than 10% occupy the largest area of the basin, i.e., 45.12% of its area, it can be concluded that the study basin is relatively flat and has a low slope. Also, based on the results, the average slope of Bastam basin was calculated as 21.7887%, it can be said that the study basin has a low slope and in general, it is considered to be an almost flat area. The slope direction follows more than the east-west trend due to the general trend of the roughness of the Alborz Mountain. Also, the largest area of the region with 321.5795 (24.525%), 257.5144 (19.638%) and 233.0739 square kilometers (17.775%) belongs to the southeast, south and east geographical directions, respectively. The area of land without slope or flat direction in the basin is very small with an area of 2.9107 square kilometers (0.22%).

Drainage density in Bastam watershed with a value of 0.2985 kilometers per square kilometer has very poor drainage conditions, therefore, in times of flooding with a heavy discharge volume, the possibility of runoff flowing out of the waterway bed is very high, which exposes human activities around the waterways to possible flood risks. There are waterways of rank 1 to 4 in the study watershed, which have a total length of 396.8038 km. Category 1 waterways have the highest number of 43 cases, which shows the relatively high density of this type of waterway and the medium to fast evacuation of floods in times of occurrence. The value of the bifurcation coefficient of the study watershed is 3.5278, which is considered a watershed with low to moderate landslides.

Due to the fact that Bastam watershed extends in two completely opposite directions, i.e. west and east, it has several main waterways, some of which drain the eastern half and some others drain the central and western half of the basin. In this basin, the largest main waterway is No. 2, which starts at an altitude of 3339.3383 meters and runs west-east after a distance of 62.6575 kilometers. It is mature and its power of landslides and erosion is low to moderate. The concentration time of Bastam watershed is equal to 6.0656 hours based on the characteristics of the largest main waterway number 2. In other words, the mentioned basin has a maximum flood state with 6-hour continuous rains,

which in case of occurrence requires flood risk management in the region. The value of this coefficient in Bastam watershed is 0.0935 and it indicates that the shape of the basin is close to a rectangle and it is moderate to weak in terms of flooding. Also, the length and width of the rectangle of Bastam watershed are 91.842 and 19.174 km, respectively, and their ratio is 4.7898, which indicates the low flood situation of this basin.

Conclusions

The study and investigation of hydrogeomorphometric parameters of Bastam watershed shows the mode of moderate to slow discharge of runoff by transitional arteries and its low to moderate flooding. Therfore, it can be said that the younger a watershed is in terms of age and the greater the longitudinal slope of its waterways, the faster its runoff discharge is, and its hydrograph faces sudden changes at its peak, which is the opposite of this situation in the study basin. All in all, these cases indicate the maturity and low to moderate flooding of the said basin, and to some extent it requires flood control and flood control operations. Also, from the study of parameters in this basin, it appears that the existing waterways are of a type where the difference in height between the headwater and the downstream is medium to high and they are mainly fed by the origin of rainfall and surface runoff. In the management of these types of waterways, flood control and surface water containment are a priority and requires several plans such as damming, dam construction and hydroelectric power generation, water transfer, flood control, and erosion at the source. In general, the results showed that the Bastam watershed is a mature basin with a relatively moderate and smooth slope, and its slopes in the upstream are exposed to excavation due to its youth. The shape of the basin is similar to a rectangle, as a result, its concentration time is medium to high, and it is a basin with low to medium flooding, which has a maximum flood state with 6-hour rains. Considering the occurrence of maximum runoff in the spring and winter seasons, when the water demand of the ecosystem is minimal, and also the geological structure governing the basin in terms of Quaternary sedimentary materials, it is suggested that the runoff in the basin in these seasons is for artificial feeding and strengthening of underground water tables in the form of flood spreading. In the field of comprehensive management of the watershed, studies are proposed to apply planning methods. In other words, the water resources of the watershed should be considered in terms of consumption, production, storage, meeting the needs of the ecosystem, artificial feeding, and aspects of nature tourism and geotourism. In the end, it is suggested that comprehensive land preparation of the study watershed, knowing the exact status of water resources and investigating its sensitive ecosystems based on systematic approach and scientific principles.

.

مقاله پژوهشی

ارزیابی مولفه‌های هیدروژئومورفومتری حوضه‌ی بسطام با تأکید بر سیل‌خیزی

سیدحجت موسوی*[1]

۱- دانشیار، گروه جغرافیا و گردشگری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

کلیدواژه‌ها

مدیریت حوضه، پارامترهای قابل اندازه‌گیری، هیدروژئومورفومتری، سیل‌خیزی، حوضه بسطام.

تاریخ دریافت :۱۴۰۳/۰۴/۰۶
تاریخ پذیرش:۱۴۰۳/۰۹/۱۷
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۱/۳۰

چکیده

مسائل حوضه‌های آبریز و منابع آب آنها، برنامه‌ریزی جامع و مدیریت یکپارچه را در این سیستم باز طبیعی می‌طلبد که ضروری است در اولویت طرح‌های ملی و منطقه‌ای جهت نیل به اهداف توسعه پایدار، مدیریت ریسک و بحران سیل و رفع مسائل کم آبی قرار گیرد. هدف از این پژوهش ارزیابی و تحلیل سیستماتیک مولفه‌های هیدروژئومورفومتری حوضه بسطام، برای شناخت مسائل محیطی، سیل‌خیزی و فرسایش است. در این رأستا پارامترهای توزیع ارتفاعی، ارتفاع متوسط، منحنی‌های آلتی‌متری و هیپسومتری، شیب، جهت شیب، رتبه‌بندی آبراهه، نسبت انشعاب، تراکم زهکشی، حریم آبراهه، طول آبراهه اصلی، زمان تمرکز، محیط، مساحت، شکل حوضه، ضریب گراویلیوس و مستطیل معادل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد حوضه مطالعاتی با ارتفاع متوسط ۲۰۸۵/۳۴۱ متر و شیب متوسط ۲۱/۷۸۸ درصد، یک حوضه بالغ و نسبتاً هموار بوده و دامنه‌های بالادست آن در ارتفاعات بیش از ۲۱۰۰ متر به علت جوانی ناهمواری‌ها در معرض فرسایش کاوشی قرار دارد. حداکثر گستردگی وسعت حوضه با ۲۴/۵۳ درصد متعلق به دامنه‌های روبه جنوب‌شرق است. شکل حوضه شبیه مستطیل با طول ۹۱/۸۴۲ و عرض ۱۹/۱۷۵ کیلومتر است که قابلیت سیل‌خیزی متوسط تا اندک دارد. مولفه‌های نسبت انشعاب ۳/۵۲۸، تراکم زهکشی ۰/۲۹۸۵ و ضریب فشردگی ۰/۰۹۳۵۲ نشان از سیل‌خیزی اندک تا متوسط این حوضه دارد. زمان تمرکز آن نیز در آبراهه اصلی با طول ۶۲/۶۷۵ کیلومتر برابر با ۶/۰۶۶ ساعت است که حداکثر سیلاب را با بارش‌های ۶ ساعته دارد. در صورتی که حوضه مزبور دارای بیلان آبی مثبت باشد مکان مناسبی برای احداث تاسیسات هیدرولوژیکی و ذخیره آب در بالادست محسوب می‌شود.

*نویسنده مسئول: سیدحجت موسوی

ارجاع به این مقاله: موسوی، سیدحجت (۱۴۰۴). ارزیابی مولفه‌های هیدروژئومورفومتری حوضه‌ی بسطام با تأکید بر سیل‌خیزی، هیدروژئومورفولوژی، ۱۲(۴۲): ۶۰-۳۹.

شناسه دیجیتال مقاله DOI: 10.22034/hyd.2024.62271.1745

رایانامه: hmousavi15@kashanu.ac.ir

Copyright: ©2025 by the authors Publisher: University of Tabriz

مقدمه

حوضه‌های آبریز به‌عنوان یکی از سیستم‌های باز طبیعی و مهمترین منبع تامین‌کننده آب و نیروی هیدروالکتریک، نیازمند برنامه‌ریزی جامع است. ویژگی‌های آب‌شناختی، اقلیمی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، کانون‌های جمعیتی و محدوده نفوذ آنها نقش مهمی در نوع برنامه‌ریزی و مدیریت حوضه ایفا می‌کند (موسوی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۴۰۹). همچنین تأثیر متقابل ناشی از منابع مختلف و اجزای زنده و غیرزنده‌ی موجود در یک حوضه، ضرورت پیاده‌سازی مدل مدیریت یکپارچه و سیستمی در آن را با هدف بهره‌وری بهینه از منابع و حرکت در راستای توسعه‌ی پایدار ایجاب می‌کند.

مدیریت جامع حوضه‌های آبریز یکی از رویکردهای نوین در راستای شناخت، مطالعه و مدیریت اصولی به لحاظ مسایل مختلف تاثیرگذار بر رفتار و عملکرد حوضه‌ها است (صادقی و همکاران، ۱۴۰۱: ۱). امروزه این رهیافت مدیریتی به عنوان الگویی مرجع و قابل استناد مورد پذیرش خبرگان علمی، مدیران اجرایی، برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران است. از دیدگاه بسیاری از خبرگان و کارشناسان، منابع طبیعی و محیط زیست گستره سرزمینی ایران در محاصره مجموعه مخاطرات مرتبط با حوضه‌های آبریز است. در شرایطی که هر یک از این مخاطرات به تنهایی می‌تواند موجب بروز بحران‌های زیستی و چالش‌های اقتصادی و اجتماعی شود. لذا تحلیل علمی و ارایه پیوست‌های اجرایی جهت مدیریت جامع حوضه‌ها به عنوان مهمترین واحد مدیریتی پذیرفته شده در طبیعت، اهمیت و ضرورت بسیار دارد (بی‌نیاز و تمسکی، ۱۴۰۲: ۳۸). حال آنکه این الگوی مدیریتی کم‌تر مورد توجه برنامه‌ریزان و مدیران ذی‌ربط قرارگرفته است.

نگرش‌های متعددی در مورد بررسی مسائل هیدرولوژیکی حوضه آبریز ارائه شده، به‌طوریکه نمی‌توان آنها را به دلیل دامنه وسیع علمی و تخصصی بودن از هم تمیز داد (شورای منابع طبیعی[1] ۱۹۸۲)، اما می‌توان آنها را به دو گروه عمده علمی و سیستمی تقسیم کرد. نگرش علمی روش‌های عینی، علّی، پویا، نظری و منطق بولین را در بر می‌گیرد. اما نگرش سیستمی روش‌های کابردی، پارامتریک، عملیاتی، جعبه خاکستری و منطق فازی را شامل می‌شود (سینگ[2] ۲۰۰۲: ۷). از آنجایی که مدیریت جامع حوضه‌ها، ارزیابی مولفه‌ها و متغیرهای متعددی را در داخل حوضه و مناطق همجوار به صورت سیستماتیک مدنظر قرار می‌دهد، بنابراین متناسب با پارامترهای قابل اندازه‌گیری حوضه، می‌توان سناریوهایی جهت مدیریت یکپارچه آن ارائه نمود. در نتیجه نگرش سیستمی به حوضه و ارائه سناریوهای حل مسئله توسط این نگرش یک ابزار کارآمد در جهت مدیریت ریسک و بحران به ویژه در زمینه سیل‌خیزی حوضه می‌باشد (موسوی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۴۱۸). یکی از راه‌های شناخت جامع و مدیریت سیستمی حوضه‌های آبریز مطالعه و ارزیابی پارامترهای هیدروژئومورفومتری است. در هیدرولوژی حوضه آبریز، هر مشخصه‌ای از حوضه را که قابلیت اندازه‌گیری، سنجش و مدرج شدن دارد، پارامتر یا مشخصه‌ی مورفومتریک نامیده می‌شود (تلوری، ۱۳۷۵: ۲۱؛ راغوناث[3] ۱۹۹۱). این پارامترها نمایانگر وضع ظاهری حوضه بوده و به دلیل ارتباط و همبستگی آنها با رواناب و سیل‌خیزی، اهمیت بالایی دارند (علیزاده، ۱۳۸۹: ۴۹۲). لذا مطالعه و ارزیابی این مولفه‌ها به مدیران و برنامه‌ریزان محیطی کمک می‌کند تا شناختی یکپارچه از حوضه به دست آورند. از سویی دیگر، خصوصیات هیدروژئومورفومتری حوضه نیز در پایداری، تعادل و آستانه حوضه، دامنه‌ها و شریان‌های انتقالی آن و کیفیت، کمیت، ثبات و سرعت آب موثر هستند (سینگ، ۲۰۰۲: ۵). در این راستا رویکرد مدیریت یکپارچه حوضه‌ی آبریز امکان بهینه‌کردن مشارکت بخش‌ها و مولفه‌های مختلف در دستیابی به اهداف توسعه پایدار را فراهم می‌کند.

مولفه‌های قابل اندازه‌گیری یک حوضه را می‌توان در سطوح جداگانه مورد بررسی قرار داد. نخست اینکه می‌توان کل حوضه را یک واحد لحاظ کرد و به مطالعه و سنجش خصوصیات هیدروژئومورفومتری آن پرداخت یا اینکه این مولفه‌ها را تنها برای تمام سرشاخه‌های شبکه زهکشی با زیرحوضه‌های آنها ارزیابی کرد. هر یک از این مولفه‌ها بخشی از رفتار هیدرولوژیکی حوضه را مشخص می‌سازد. به عبارتی اندازه یک حوضه بر میزان آبدهی آن اثرگذار است. مولفه‌های مرتبط با شکل، طول و اختلاف ارتفاع نیز می‌تواند بر میزان رسوب‌دهی حوضه مؤثر باشد (مسعودیان، ۱۳۷۲: ۳۶).

1 National Resources Council 2 Singh 3 Raghunath

هیدرومورفومتری را می‌توان به عنوان یک تحلیل بنیادی برای حوضه‌های آبریز با استفاده از روش‌های محاسباتی در شبکه‌های زهکشی، شکل حوضه‌ها، کانال‌ها و دره‌ها، و ژئومورفولوژی را در قالب ارزیابی فرسایش و رسوب‌گذاری مواد مرتبط با نوع سنگ‌ها و فرایندهای شکل‌زا توصیف کرد. این ویژگی‌ها نقش مهمی در ارتباط بین شکل حوضه با هیدرولوژی آن دارند. همچنین سیستم شبکه زهکشی تأثیر زیادی بر حجم، شکل و وسعت حوضه دارد (رفعت و حامد[1] ۲۰۲۳: ۱۱۹). روابط بین رواناب و خصوصیات جغرافیایی و ژئومورفیک حوضه‌های زهکشی توسط هیدرولوژیست‌ها و ژئومورفولوژیست‌ها تایید شده است. به گونه‌ای که ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه‌ها شامل اندازه، شکل، شیب، تراکم زهکشی، تعداد و طول آبراهه‌ها و غیره، با انواع پدیده‌های کلیدی هیدرولوژیکی کاملاً مرتبط است (سریدوی[2] و همکاران، ۲۰۰۹). لذا روابط پارامترهای ضروری برای تعیین مورفولوژی حوضه نظیر افزایش طول، شکل‌شناسی، تراکم زهکشی، رتبه‌بندی آبراهه، زمان تمرکز، زمان تاخیر سیل و نسبت ناهمواری‌ها ضروری است. بنابراین تحلیل‌های مورفومتریک امکان مدیریت جامع حوضه را در رابطه با خصوصیات فیزیکی آن فراهم می‌کند و در مطالعات مختلفی از جمله محیط زیست، فرسایش خاک، برداشت آب، تأثیر عوامل زمین‌شناسی بر ایجاد سیستم‌های مختلف آبراهه‌ای و برنامه‌ریزی کاربری اراضی مورد استفاده قرار می‌گیرد (آراویندا و بالاکریشنا[3] ۲۰۱۳؛ فتاح[4] و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین روندهای مختلفی شناسایی شده که به سایر ویژگی‌های جغرافیایی در یک شبکه زهکشی مرتبط هستند و تاثیر خصوصیات سنگ‌شناسی در الگوی زهکشی را منعکس می‌کند (چارلتون[5] ۲۰۰۸)، برای نمونه شبکه دندریتی نمایانگر سنگ سست و شبکه موازی نشان‌دهنده سنگ سخت است. توپوگرافی، نوع خاک، سنگ بستر، شرایط اقلیمی و پوشش گیاهی، در حجم رسوب و آب ورودی، خروجی و انتقال در زهکشی حوضه اثرگذار هستند (ژانگا و گیلبرت[6] ۲۰۱۳). در جایی که شیب قابل توجهی در سطح وجود دارد، الگوهای زهکشی موازی توسعه می‌یابد و به دنبال شیب سطحی، سرشاخه‌های فرعی معمولاً در الگوهای موازی امتداد دارند (شوم[7] و همکاران، ۲۰۰۰؛ ریتر[8] ۲۰۰۶). شبکه‌های دندریتی که اغلب به عنوان الگوهای درختی شناخته می‌شوند، در مناطقی که کنترل زمین‌شناسی کمتری وجود دارد رایجتر هستند (چارلتون، ۲۰۰۷). الگوهای دندریتی ممکن است در سنگریزه‌های کریستالی رسوبی افقی یا یکنواخت مقاوم با شیب محلی ملایم نیز دیده شوند. عمده‌ترین تمایز شکل هندسی آنها زاویه تند ادغام شاخه‌ها است (ژانگا و گیلبرت، ۲۰۱۳). در مجموع می‌توان بیان کرد که رفتار حوضه‌های آبریز توسط عوامل مختلفی کنترل می‌شود که یکی از مهمترین این عوامل مولفه‌های هیدروژئومورفومتری هستند. بنابراین شناخت و ارزیابی این پارامترها می‌تواند نمایانگر علمکرد حوضه‌ها از جهات سیل‌خیزی، حجم سیلاب، فرسایش و مقدار رسوبدهی باشد. لذا ضرورت بررسی آن در حوضه‌های آبریز نیز وجود دارد و مقدمه‌ای برای مدیریت جامع حوضه‌ها محسوب می‌شود.

در خصوص مطالعات انجام شده با موضوعیت هیدروژئومورفومتری حوضه‌های آبریز با تاکید بر هیدرولوژی می‌توان به پژوهش‌های کاربرد منحنی هیپسومتری بی‌بعد در تعیین پهنه‌های فرسایشی و رسوب‌گذاری در حوضه خیرآباد (نخعی و قنواتی، ۱۳۸۵: ۶۵)، پهنه‌بندی حوضه شاهرود- بسطام برای تغذیه مصنوعی آبخوان‌های زیرزمینی (رامشت و عرب‌عامری، ۱۳۹۱: ۱۳۴)، بررسی خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوضه خیرآباد (عزتیان و دانش‌آموز، ۱۳۹۱: ۱۱۳)، پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی حوضه شاهرود-بسطام (رحیمی و موسوی، ۱۳۹۲: ۱۳۹)، شناسایی مناطق مستعد ایجاد سیلاب بر مبنای سازندهای زمین‌شناسی در حوضه شاهرود بیرجند (زراعتکار و حسن‌پور، ۱۳۹۴: ۲۳)، تخمین رسوب تولیدی در حوزه‌های زنوزچای و زیلبرچای با بهره‌گیری از هیدروژئومورفولوژی (کاشی زنوزی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۶۶)، مطالعه رفتار فرکتالی حوضه‌های آبریز دامنه‌ی شمالی بینالود و ارتباط آن با خصوصیات هیدرومورفومتری (خسروی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱)، ارزیابی عوامل موثر در آستانه شروع رواناب در حوضه‌های آبخیز کوچک (عباسی و پرهمت، ۱۳۹۵: ۳۳)، مکان‌یابی پهنه‌های بهینه تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی در حوضه شاهرود-بسطام (عرب‌عامری و شیرانی، ۱۳۹۶: ۱۴۹) بررسی تأثیر شاخص‌های مورفومتریک بر حجم رسوب در حوضه تبارک آباد قوچان (جوانبخت و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۱۳)، اولویت‌بندی

1 Rafaat & Hamed
2 Sreedevi
3 Aravinda & Balakrishna
4 Fatah
5 Charlton
6 Zhanga & Guilbert
7 Schumm
8 Ritter

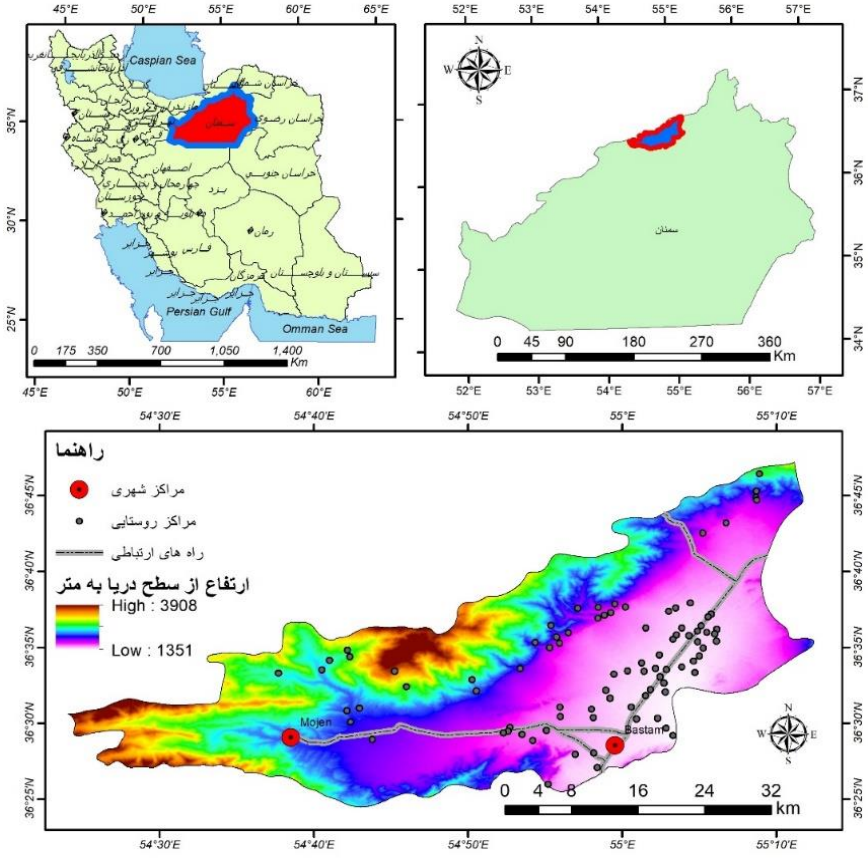
فرسایش خطی با شاخص‌های مورفومتری و ژئومورفولوژیکی در حوضه‌ی قشلاق-سنندج (نیری و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۹۱) مدل‌سازی سیلاب حوضه‌های آبریز با تحلیل آماری ویژگی‌های مورفومتری (منبری و همکاران، ۱۴۰۱: ۸۷) و بازخوانی مطالعات تفضیلی-اجرایی حوزه فخران خراسان جنوبی مبتنی بر مدیریت جامع (صادقی و همکاران، ۱۴۰۱: ۱) اشاره کرد.

با توجه به مطالعات انجام شده و عدم لحاظ مدیریت جامع حوضه‌های آبریز در اکثر برنامه‌ها و همچنین نپرداختن به ارزیابی مولفه‌های هیدروژئومورفومتری در حوضه بسطام، هدف از این پژوهش تعیین، اندازه‌گیری و تحلیل یکپارچه مولفه‌های هیدرولوژی، مورفومتری و ژئومتری این حوضه برای شناخت پتانسیل‌های هیدرولوژیک و مدیریت جامع آن از منظر رخداد مخاطرات طبیعی از جمله سیل‌خیزی، رسوبدهی و فرسایش می‌باشد. لذا نتایج حاصل از این پژوهش در برنامه‌ریزی محیطی و مدیریت ریسک و بحران حوضه‌های آبریز از اهمیت به‌سزایی برخوردار است.

مواد و روش

منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی پژوهش پیش رو، حوضه آبریز بسطام است که در دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز و در شمال شهرستان شاهرود واقع شده است. این حوضه با مساحت ۱۳۲۹/۴۲۵ کیلومترمربع یکی از زیرحوضه‌های دشت کویر (h۴/۷) واقع در کلان حوضه آبریز ایران مرکزی (h۴) است. این گستره‌ی جغرافیایی محل حاکمیت رودخانه‌های تاش و مجن است که در مواقع سیلابی، خسارت‌هایی را متوجه کانون‌های انسانی موجود در اطراف خود می‌کنند. مهمترین مراکز شهری موجود در این حوضه می‌توان به شهرهای بسطام با جمعیت ۴۴۰۵۲ نفر و مجن با جمعیت ۷۹۳۳ نفر (مطابق با آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵) را ذکر کرد که در مجموع حاوی ۸۸ مرکز روستایی و آبادی هستند. حوضه آبریز بسطام از نظر جغرافیای در محدوده‌ای به طول ۵۴ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۱۴ دقیق شرقی و عرض ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۹ دقیقه شمالی گسترده‌گی دارد (شکل ۱).



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز بسطام

Figure (1): Geographical location of Bastam watershed

روش‌شناسی

ابتدا محدوده حوضه آبریز بسطام با استفاده از تصاویر گوگل ارث و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ با شماره سری (I)۶۸۶۲، (II)۶۸۶۳، (I و IV)۶۹۶۲، (II و III)۶۹۶۳، (IV)۷۰۶۲ و (III و IV)۷۰۶۳ مورد بررسی قرار گرفت و براساس خطالراس‌ها و مرزهای توپوگرافی تعیین حدود شد. سپس مدل رقومی ارتفاع آن با اندازه سلول ۲۸/۹۸۷۵ متر از پایگاه usgs.gov دریافت شد و در محیط نرم‌افزار ArcGIS به مرز حوضه‌ی مطالعاتی محدود گردید. در خصوص مولفه‌های هیدروژئومورفومتری حوضه‌ها، ابتدا مولفه‌های پست و بلندی و توزیع ارتفاعی حوضه مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا طبقات ارتفاعی با دامنه ۱۰۰ متر بااستفاده از مدل رقومی ارتفاع استخراج شد که به تبع آن منحنی‌های آلتی‌متری و هیپسومتری ترسیم شد. ارتفاع متوسط حوضه (H) نیز ازطریق روش میانگین‌گیری وزنی محاسبه شد. بدین صورت که ارتفاع متوسط هر طبقه بین دو منحنی میزان اصلی (h) در مساحت همان طبقه (a) ضرب و حاصل جمع آنها به سطح کل حوضه (A) تقسیم شد (رابطه ۱). این مولفه نشانگر ارتفاعی است که ۵۰٪ سطح حوضه بالاتر و پایین‌تر از آن گستردگی دارد که از طریق آن می‌توان مقادیر دما، بارندگی و تبخیر متوسط در سطح حوضه را تخمین زد (علیزاده، ۱۳۸۹: ۵۰۲).

$$\bar{H} = \frac{\sum(a \times h)}{A} \quad (۱)$$

شیب حوضه عبارت است از تانژانت زاویه‌ای که سطح دامنه با خط افق می‌سازد و اثر بسیار زیادی بر واکنش‌های هیدرولوژیک حوضه دارد (نجمایی، ۱۳۶۸: ۱۵). لایه طبقات شیب (S) با استفاده از فرمول نسبت بین اختلاف ارتفاع (ΔH) و فاصله افقی (L) (رابطه ۲) برمبنای داده پایه مدل رقومی ارتقاع از طریق نرم‌افزار ArcGIS محاسبه و بر مبنای شکست‌های طبیعی و مقایسه میانگین‌ها طبقه‌بندی شد.

$$S = \frac{\Delta H}{L} \times 100 \quad (۲)$$

جهت شیب یا جهت جغرافیایی عبارت است از اختلاف زاویه‌ای و آزیموت سطح دامنه نسبت به قطب شمال که مقدار آن تا ۳۶۰ درجه نوسان دارد. لایه جهت شیب حوضه بسطام از طریق نرم‌افزار ArcGIS از طریق مدل رقومی ارتفاع و براساس اختلاف زاویه‌ای جهت دامنه با قطب شمال تهیه شد و برمبنای جهت‌های هشت‌گانه با اختلاف زاویه‌ای ۴۵ درجه طبقه‌بندی گردید.

مشخصه‌های مربوط به شبکه آبراهه‌ای حوضه مطالعاتی از نقشه‌های توپوگرافی استخراج شد و براساس روش استرالر[1]رتبه‌بندی گردید. براساس روش رده‌بندی استرالر سرشاخه‌های آغازین را به نام درجه ۱ رتبه‌بندی می‌کنند که از تلاقی دو شاخه درجه ۱، شاخه درجه ۲ ایجاد می‌شود. همچنین با برخورد دو شاخه درجه ۲، شاخه‌ی درجه ۳ تشکیل می‌شود که می‌تواند به صورت مداوم به درجات بالاتر ارتقاء یابد. به تبع آن نیز مولفه‌های نسبت انشعاب و تراکم زهکشی محاسبه و لایه‌های رقومی آن‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. نسبت انشعاب (BR) از طریق رابطه (۳) محاسبه شد که در آن i: آخرین رده آبراهه موجود در حوضه و n1، n2 و ni به ترتیب تعداد آبراهه‌های رده ۱، رده ۲ و i هستند. اگر مقدار عددی این ضریب بین ۳ تا ۵ قرار گیرد، رودخانه از نظر شبکه آبراهه‌ای دارای زهکشی معمولی است و هراندازه از عدد ۳ کمتر باشد تعداد آبراهه‌ها بیشتر شده و به تبع آن رودخانه سیلابی‌تر می‌شود.

$$BR = \left(\frac{n1}{n2} + \frac{n2}{n3} + \frac{n3}{n4} + \ldots + \frac{ni-1}{ni}\right) \times \frac{1}{i-1} \quad (۳)$$

تراکم شبکه آبراهه‌ای از طریق رابطه (۴) محاسبه شد که در آن μ: تراکم زهکشی بر حسب کیلومتر بر کیلومترمربع، A: مساحت حوضه بر حسب کیلومترمربع و Li: طول تمام آبراهه‌های موجود در حوضه بر حسب کیلومتر است (علیزاده، ۱۳۸۹: ۴۸۵). اگر عددμ کوچکتر از ۱ باشد زهکشی ضعیف و در صورتی که بین ۱ و ۲ باشد زهکشی معمولی و اگر بزرگتر از ۳ باشد زهکشی عالی است (مراتب، ۱۳۸۱).

$$\mu = \frac{\sum li}{A} \quad (۴)$$

نیم‌رخ آبراهه‌های اصلی نیز با استفاده از داده‌های مدل رقمی ارتفاع و رتبه‌بندی آبراهه‌ها و داده‌های نرم‌افزاری استخراج شد. به تبع آن مولفه زمان تمرکز از طریق معادله کرپیچ[2](رابطه ۵) که در سال ۱۹۴۰ براساس داده‌های حاصل از ۶ حوضه ارائه شد، محاسبه گردید.

1 Strahler 2 Kirpich

در این رابطه tc: زمان تمرکز حوضه بر حسب ساعت، L: طول بلندترین آبراهه اصلی به کیلومتر و H: اختلاف ارتفاع بین نقطه خروجی و بلندترین نقطه آبراهه اصلی بر حسب متر است (علیزاده، ۱۳۸۹: ۵۲۰).

$$tc = 0.949\left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385} \quad (۵)$$

مولفه‌های مربوط به شکل‌حوضه و فیزیوگرافی آن از قبیل مساحت، محیط، طول و عرض مستطیل معادل، و ضریب گراویلیوس یا فشردگی، نیز از طریق روابط ارائه شده توسط هیدرولوژیست‌ها محاسبه گردید. برای تعیین شکل حوضه از ضرایب خاصی استفاده می‌شود که یکی از مهمترین آنها، ضریب فشردگی یا گراویلیوس است. این ضریب عبارت است از نسبت محیط حوضه به محیط دایره فرضی که مساحت آن با مساحت حوضه برابر است که از طریق رابطه (۶) محاسبه می‌شود. در این رابطه C: ضریب فشردگی، P: محیط به کیلومتر و A: مساحت به کیلومترمربع است. دامنه عددی ضریب گراویلیوس حوضه‌ها معمولاً بین ۱/۵ تا ۲/۵ در نوسان است. اگر حوضه‌ای به شکل دایره کامل باشد این ضریب برابر با یک است، که در این حالت حوضه به شدت سیلابی بوده و قدرت فرسایش آن بسیار زیاد است (علیزاده، ۱۳۸۹: ۴۹۸).

$$c = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} \quad (۶)$$

مستطیل معادل یکی از روش‌های معمول جهت نشان‌دادن شکل حوضه است. این پارامتر نمایانگر حوضه‌هایی است که محیط آنها به شکل مستطیل تغییر می‌یابد اما مساحت آنها برابر با مساحت حوضه است. به عبارتی مستطیل معادل دارای مساحت و ضریب فشردگی مساوی حوضه است. ابعاد آن از طریق رابطه (۷) محاسبه می‌شود که در این رابطه A: مساحت حوضه، C: ضریب گراویلیوس یا فشردگی، L: طول مستطیل معادل و B: عرض مستطیل معادل هستند. هرچه نسبت طول به عرض مستطیل بیشتر باشد، زمان تمرکز حوضه بیشتر و سیلابی بودن و قدرت شکل‌زایی کمتر آن نیز است (علیزاده، ۱۳۸۹: ۵۰۰).

$$L, B = \frac{C\sqrt{A} \pm \sqrt{(C^2 \times A) - (1.2544 \times A)}}{1.2} \quad (۷)$$

درپایان نیز بعداز محاسبه مولفه‌های مذکور و تهیه لایه‌های رقومی آنها، یافته‌ها و بحث صورت گرفت که منجر به نتیجه‌گیری نهایی شد.

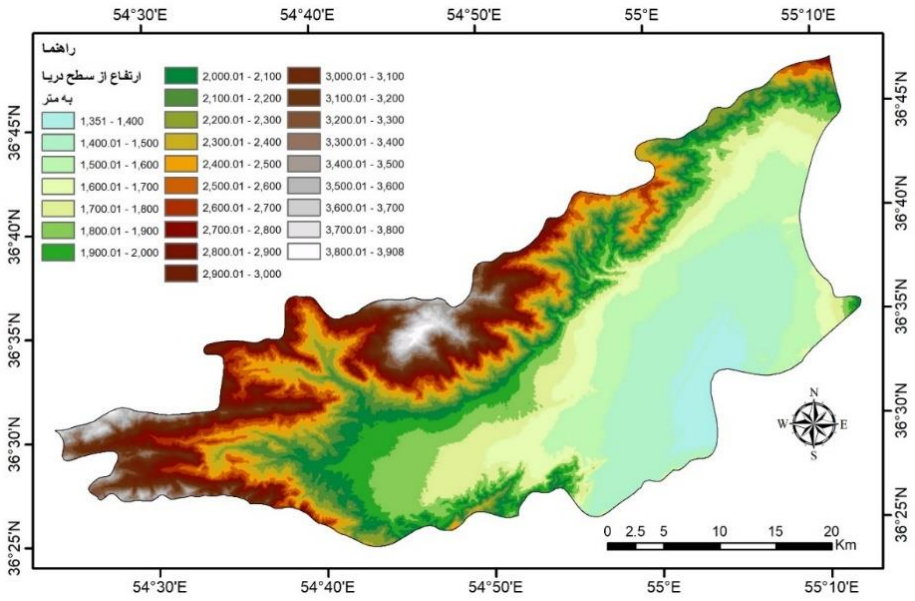
یافته‌ها و بحث

خصوصیات هیدروژئومورفومتری حوضه آبریز، به مجموعه مولفه‌های قابل اندازه‌گیری فیزیکی گفته می‌شود که مقادیر آنها برای هر حوضه نسبتاً ثابت است و مبین وضعیت شکل ظاهری حوضه است. مهمترین پارامترهای هیدروژئومورفومتری حوضه که به آنها مشخصه‌های کوه‌آبنگاری نیز گفته می‌شود، شامل توزیع ارتفاعی و مقدار متوسط آن (H)، وضعیت پستی و بلندی (نمودارهای آلتی‌متری و هیپسومتری)، شیب (S)، جهت شیب (As)، شبکه آبراهه‌ای و تراکم آن، طول آبراهه اصلی (L)، مساحت (A)، محیط (P)، ضریب فشردگی (C)، مستطیل معادل و زمان تمرکز (tc) هستند. نتایج حاصل از ارزیابی مولفه‌های مزبور در حوضه بسطام در زیر گزارش شده است.

توزیع ارتفاعی

ارتفاع حوضه از سطح دریا تعیین‌کننده و مبین وضعیت اقلیمی و هیدرولوژی آن است. به عبارتی، در مناطق مرتفع نه تنها بارش بیش از نواحی کم ارتفاع است، بلکه در ارتفاعات غالباً نزولات آسمانی به صورت جامد و برف حادث می‌شود. به طور کلی ارتفاع نقش مهمی در میزان کاهش دما، کاهش تبخیر و تعرق، بارش دریافتی، وضعیت پوشش گیاهی و فرایند فرسایشی حوضه داشته و در نتیجه روی رواناب آن نیز اثر می‌گذارد (علیزاده، ۱۳۸۹: ۵۰۱). نتایج حاصل از بررسی عوامل پستی و بلندی در قالب مولفه طبقات ارتفاع از سطح دریا در حوضه بسطام به صورت شکل (۲) و جدول (۱) است. همانگونه مشاهده می‌شود مقدار ارتفاع از حداقل ۱۳۵۱ تا حداکثر ۳۹۰۸ متر نوسان دارد که حداکثر گستردگی وسعت حوضه با مساحت ۱۸۳/۰۹۸ کیلومترمربع (۱۳/۷۷۳ درصد از کل) در دامنه ارتفاعی ۱۴۰۰ تا ۱۵۰۰ واقع شده‌است. علاوه براین بیش از ۵۳/۵۸ درصد وسعت حوضه (۷۱۲/۲۶۷ کیلومترمربع) در ارتفاعات زیر ۲۰۰۰ متر قرار دارد.

گستردگی حداکثری وسعت حوضه در ارتفاعات حداقلی مبین دریافت نزولات جوی به صورت مایع است که نیازمند اقدامات مدیریتی و تدوین برنامه جامع جهت مقابله با سیل‌خیزی و فرسایش خاک است.



شکل (۲): نقشه توزیع ارتفاعی حوضه آبریز بسطام

Figure (2): Elevation distribution map of Bastam watershed

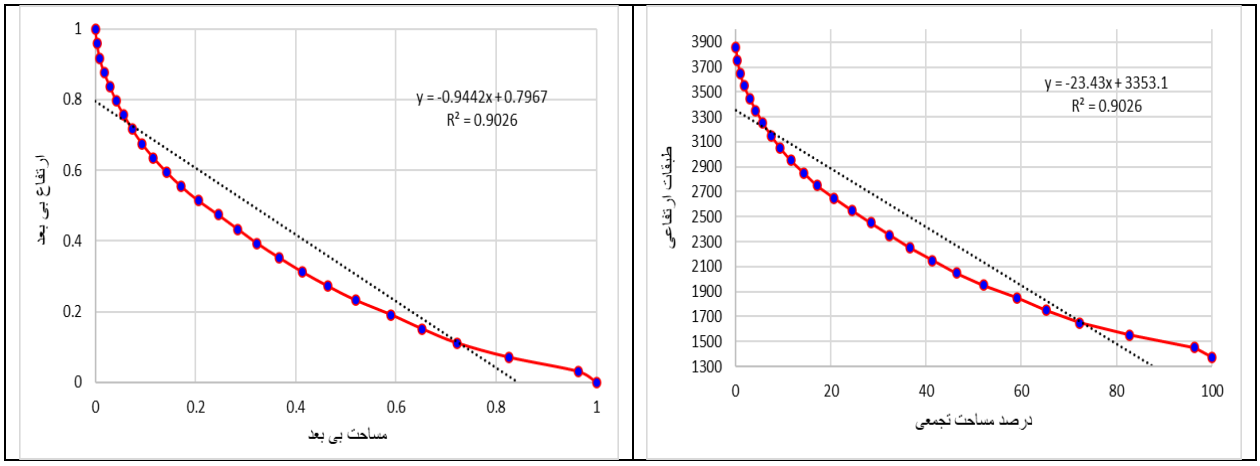
جدول (۱): مولفه‌های مربوط به ارتفاع و ناهمواری در حوضه آبریز بسطام (منبع: محاسبات نویسنده)

Table (1): Parameters related to the elevation and in roughness Bastam watershed (source: author's calculations)

طبقات ارتفاعی (m)	ارتفاع متوسط (m)	مساحت بین دو خط تراز (km^2)	درصد مساحت بین دو خط تراز	درصدی از مساحت حوضه که بالاتر از .... قرار گرفته است	حاصلضرب ارتفاع متوسط طبقه در مساحت آن
۱۳۵۱-۱۴۰۰	۱۳۷۵/۵	۴۷/۷۵۴	۳/۵۹۲	۱۰۰	۶۵۶۸۶/۲۹۴
۱۴۰۰-۱۵۰۰	۱۴۵۰	۱۸۳/۰۹۸	۱۳/۷۷۳	۹۶/۴۰۸	۲۶۵۴۹۲/۶۱۳
۱۵۰۰-۱۶۰۰	۱۵۵۰	۱۳۷/۶۱۶	۱۰/۳۵۱	۸۲/۶۳۵	۲۱۳۳۰۴/۷۵۵
۱۶۰۰-۱۷۰۰	۱۶۵۰	۹۳/۴۳۸	۷/۰۲۸	۷۲/۲۸۴	۱۵۴۱۷۳/۵۸۱
۱۷۰۰-۱۸۰۰	۱۷۵۰	۸۲/۹۶۸	۶/۲۴۱	۶۵/۲۵۶	۱۴۵۱۹۳/۷۷۷
۱۸۰۰-۱۹۰۰	۱۸۵۰	۹۲/۲۶۴	۶/۹۴۰	۵۹/۱۴۸	۱۷۰۶۸۸/۰۸۶
۱۹۰۰-۲۰۰۰	۱۹۵۰	۷۵/۱۲۸	۵/۶۵۱	۵۲/۰۷۵	۱۴۶۴۹۹/۸۱۶
۲۰۰۰-۲۱۰۰	۲۰۵۰	۶۷/۸۶۴	۵/۱۰۵	۴۶/۴۲۴	۱۳۹۱۲۱/۰۷۱
۲۱۰۰-۲۲۰۰	۲۱۵۰	۶۱/۴۵۹	۴/۶۲۳	۴۱/۳۱۹	۱۳۲۱۳۷/۶۳۲
۲۲۰۰-۲۳۰۰	۲۲۵۰	۵۷/۹۵۵	۴/۳۵۹	۳۶/۶۹۶	۱۳۰۳۹۷/۸۰۲
۲۳۰۰-۲۴۰۰	۲۳۵۰	۵۱/۴۹۸	۳/۸۷۴	۳۲/۳۳۷	۱۲۱۰۲۰/۰۸۶
۲۴۰۰-۲۵۰۰	۲۴۵۰	۵۱/۶۹۱	۳/۸۸۸	۲۸/۴۶۳	۱۲۶۶۴۳/۳۷۱
۲۵۰۰-۲۶۰۰	۲۵۵۰	۵۳/۰۰۱	۳/۹۸۷	۲۴/۵۷۵	۱۳۵۱۵۲/۹۵۸
۲۶۰۰-۲۷۰۰	۲۶۵۰	۴۵/۴۴۰	۳/۴۱۸	۲۰/۵۸۸	۱۲۰۴۱۶/۹۷۸
۲۷۰۰-۲۸۰۰	۲۷۵۰	۳۸/۴۶۷	۲/۸۹۳	۱۷/۱۷۰	۱۰۵۷۸۴/۰۵۹
۲۸۰۰-۲۹۰۰	۲۸۵۰	۳۴/۷۳۰	۲/۶۱۲	۱۴/۲۷۷	۹۸۹۸۱/۱۵۳
۲۹۰۰-۳۰۰۰	۲۹۵۰	۳۰/۳۷۵	۲/۲۸۵	۱۱/۶۶۴	۸۹۶۰۶/۵۰۴
۳۰۰۰-۳۱۰۰	۳۰۵۰	۲۵/۵۵۹	۱/۹۲۳	۹/۳۷۹	۷۷۹۵۶/۳۹۱
۳۱۰۰-۳۲۰۰	۳۱۵۰	۲۲/۵۶۲	۱/۶۹۷	۷/۴۵۷	۷۱۰۷۰/۹۷۱

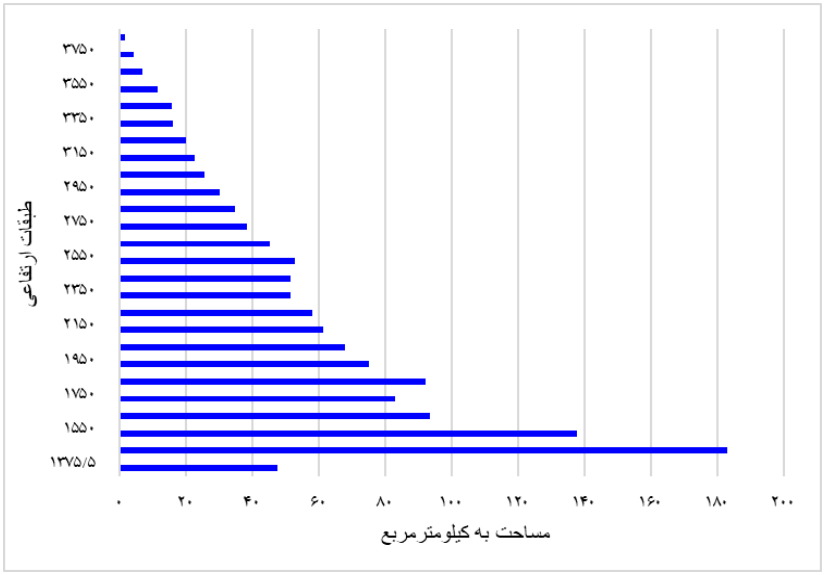
طبقات ارتفاعی (m)	ارتفاع متوسط (m)	مساحت بین دو خط تراز (km^2)	درصد مساحت بین دو خط تراز	درصدی از مساحت حوضه که بالاتر از .... قرار گرفته است	حاصلضرب ارتفاع متوسط طبقه در مساحت آن
۳۳۰۰-۳۲۰۰	۳۲۵۰	۲۰/۲۱۵	۱/۵۲۱	۵/۷۶۰	۶۵۶۹۹/۸۰۹
۳۴۰۰-۳۳۰۰	۳۳۵۰	۱۶/۱۸۵	۱/۲۱۷	۴/۲۳۹	۵۴۲۱۸/۱۷۲
۳۵۰۰-۳۴۰۰	۳۴۵۰	۱۵/۸۴۲	۱/۱۹۲	۳/۰۲۲	۵۴۶۵۳/۸۵۴
۳۶۰۰-۳۵۰۰	۳۵۵۰	۱۱/۴۰۵	۰/۸۵۸	۱/۸۳۰	۴۰۴۸۷/۹۱۷
۳۷۰۰-۳۶۰۰	۳۶۵۰	۶/۹۰۱	۰/۵۱۹	۰/۹۷۲	۲۵۱۸۹/۲۸۹
۳۸۰۰-۳۷۰۰	۳۷۵۰	۴/۴۰۵	۰/۳۳۱	۰/۴۵۳	۱۶۵۱۷/۶۹۸
۳۹۰۸-۳۸۰۰	۳۸۵۴	۱/۶۲۱	۰/۱۲۲	۰/۱۲۲	۶۲۴۶/۹۰۹

توزیع طبقات ارتفاعی در حوضه‌های آبریز معمولاً با ترسیم دو نمودار منحنی‌های ارتفاعی هیپسومتری و آلتی‌متری تبیین می‌شود. منحنی هیپسومتری بیانگر وضعیت آبی حوضه در زمان‌های مختلف است که از طریق آن می‌توان سطوح پوشیده از برف را برآورد کرد. اگر منحنی هیپسومتری به سمت راست کشیدگی داشته باشد، بدین معنی است که مساحت بخش آبخیز حوضه کمتر از مساحت بخش آبریز است. در مقابل اگر کشیدگی به سمت چپ باشد یعنی نسبت بخش آبخیز بیشتر از آبریز حوضه است. درنتیجه حوضه نسبت به وسعت خود بارش بیشتری دریافت می‌کند و تولید و صادرات آب دارد. در منحنی آلتی‌متری کشیدگی به سمت راست بیانگر این است که وسعت محدوده پرشیب کمتر از بخش کم شیب است. همچنین هر چه محدوده یا وسعت بین دو منحنی زیاد باشد شیب آن بخش کمتر است. در بخش پر شیب، نفوذ کمتری انجام می‌شود، لذا حجم رواناب بیشتر از نواحی کم‌شیب است. به‌طور کلی در آبریزها شیب کمتر و در آبخیزها شیب بیشتر است. بنابراین در برنامه‌ریزی‌ها بایستی دانست که وسعت بین کدام محدوده‌ی ارتفاعی بیشتر است تا در طرح‌های اجرایی مدیریت جامع حوضه این بخش را مدنظر قرار داد. نتایج حاصل از ترسیم و تحلیل منحنی‌های هیپسومتری و آلتی‌متری حوضه آبریز بسطام به صورت شکل‌های (۳) و (۴) است. همانگونه که مشاهده می‌شود منحنی هیپسومتری حوضه مورد مطالعه به سمت چپ کشیدگی دارد. این شرایط بیانگر این است که حوضه مطالعاتی دوره جوانی را پشت سر گذاشته و دوره زیست پیری آن شروع شده است. طبق نمودار آلتی‌متری نیز تقریباً بیش از ۵۲/۰۷۵ درصد وسعت حوضه در ارتفاعات حداقلی و بین ۱۳۵۱ تا ۲۰۰۰ متر قرار دارد. در مقابل دامنه ارتفاعی ۲۰۵۰ تا ۳۸۵۴ متر تنها ۴۶/۴۲۴ درصد مساحت حوضه را پوشش می‌دهد. لذا می‌توان گفت که حوضه مزبور از منظر چرخه زیست و سیکل فرسایشی یک حوضه پیر و مسن محسوب می‌شود و با بارش‌های معمولی دارای سیل‌خیزی اندک تا متوسط است.



شکل (۳): منحنی هیپسومتری (راست) و هیپسومتری بی بعد (چپ) حوضه آبریز بسطام

Figure (3): Hypsometric curve (right) and dimensionless hypsometry (left) of Bastam watershed



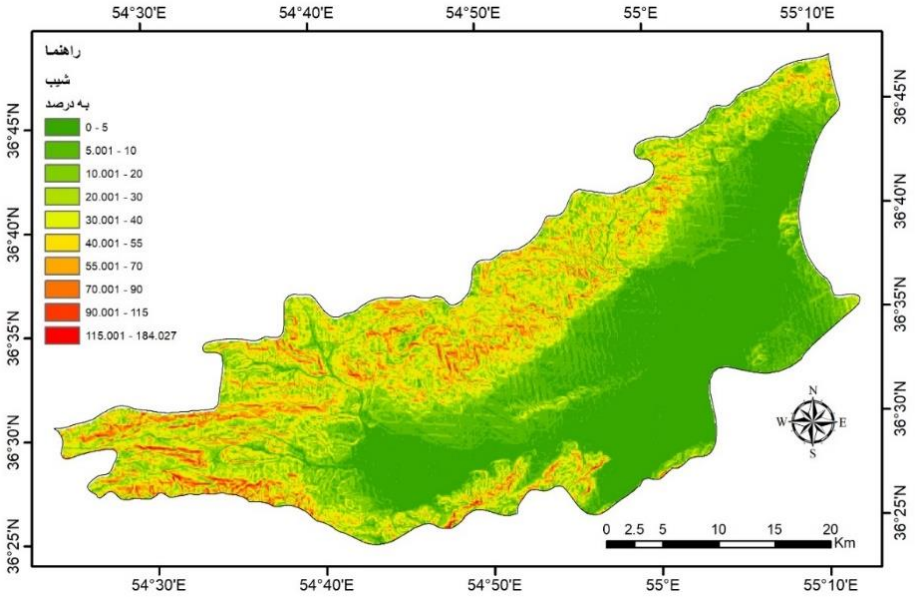
شکل (۴): منحنی آلتی‌متری حوضه آبریز بسطام

Figure (4): Altimetry curve of Bastam watershed

طبق نمودار هیپسومتری حوضه و همچنین رابطه (۱)، ارتفاع متوسط حوضه بسطام ۲۰۸۵/۳۴۱ متر محاسبه شد که ۵۰ درصد مساحت حوضه بالاتر و ۵۰ درصد مساحت دیگر پایین‌تر از این ارتفاع قرار گرفته‌اند. به عبارتی دامنه ارتفاعی ۱۳۵۱ تا ۲۰۸۵/۳۴۱ متر با مقدار اختلاف ۷۳۴/۳۴۱ متر که ۵۰ درصد وسعت حوضه را در بخش آبگیر و آبراه شامل می‌شود، در مقابل دامنه ارتفاعی ۲۰۸۵/۳۴۱ تا ۳۹۰۸ متر با مقدار اختلاف ۱۸۲۲/۶۵۹ متر که ۵۰ درصد از مساحت حوضه در بخش آبخیز را پوشش می‌دهد، تقریباً یک سوم و اندک است. این موضوع مبین پتانسیل حوضه مطالعاتی در راستای تولید آب و دریافت نزولات جوی جامد در فصل سرد سال است. لذا شایان ذکر است که در برابر بارش‌های بهاری با مدت کم و شدت بالا توانایی بسیار زیادی در وقوع سیلاب و فرسایش کاوشی دارد.

شیب و جهت شیب

مولفه‌های شیب و جهت شیب از عوامل مهم مورفوژنز سطح زمین و اشکال ژئومورفیک و فرسایش خاک هستند که در اسکلت‌بندی فضایی ناهمواری‌ها و چیدمان عوارض جغرافیایی و فرم‌های ژئومورفیک موثر است. علاوه‌براین شیب حوضه نقش اساسی در نفوذپذیری و مقدار نفوذ، میزان رواناب، شدت سیلاب، فرسایش‌پذیری و میزان فرسایش، رسوب‌دهی و خاک‌زایی دارد. به عبارتی شیب حوضه از عوامل اصلی و بسیار موثر در توان آبدهی آن است، زیرا با افزایش شیب، سرعت حرکت رواناب افزایش یافته و در نتیجه میزان نیرو و قدرت فرسایندگی آن افزایش و مقدار نفوذ و زمان پیمایش آب کاهش می‌یابد (علیزاده، ۱۳۸۹: ۵۰۹). دامنه‌های پرشیب به دلیل کمبود خاک، از پوشش گیاهی مناسبی برخوردار نیستند، بنابراین نفوذ و ماندگاری آب کمتر شده و رواناب بیشتری تولید می‌شود. نتایج حاصل از ارزیابی پارامتر شیب به صورت شکل (۵) و جدول (۲) است. همانگونه که مشاهده می‌شود مقدار شیب حوضه از حداقل صفر تا حداکثر ۱۸۴/۰۲۷ درصد متغیر است. با توجه به اینکه اراضی با شیب کمتر از ۱۰ درصد بیشترین مساحت حوضه یعنی ۴۵/۱۲ درصد وسعت آن را به خود اختصاص داده‌اند، می‌توان نتیجه گرفت که حوضه‌ی مطالعاتی، نسبتاً هموار و کم‌شیب است. همچنین براساس نتایج، شیب متوسط حوضه ۲۱/۷۸۹ درصد محاسبه شد که ۵۰ درصد وسعت حوضه شیب بیشتر از آن و ۵۰ درصد وسعت دیگر شیب کمتر از آن دارد. در مجموع می‌توان گفت حوضه مطالعاتی دارای شیب پایین بوده و به طور کلی پهنه‌ای تقریبا کم شیب تا هموار محسوب می‌شود.



شکل (۵): نقشه شیب حوضه آبریز بسطام

Figure (5): Map of slope in Bastam watershed

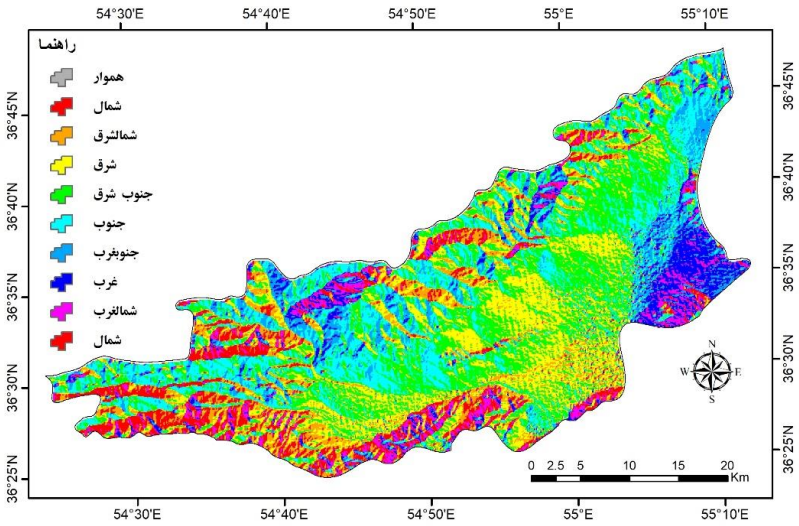
جدول (۲): توزیع مساحتی طبقات شیب در حوضه آبریز بسطام (منبع: محاسبات نویسنده)

Table (2): Area distribution of slope in Bastam watershed (source: author's calculations)

طبقات شیب (٪)	شیب میانه (٪)	مساحت طبقه (Km^2)	درصد مساحت طبقه	درصد مساحت تجمعی معکوس	حاصلضرب شیب متوسط طبقه در مساحت آن
۵-۰	۲/۵	۴۱۸/۹۶	۳۱/۹۵	۱۰۰	۱۰۴۷/۴۲
۱۰-۵	۷/۵	۱۷۲/۱۷	۱۳/۱۳	۶۸/۰۵	۱۲۹۱/۳۳
۲۰-۱۰	۱۵	۱۵۸/۹۲	۱۲۱۲	۵۴/۹۲	۲۳۸۳/۸۶
۳۰-۲۰	۲۵	۱۵۹/۱۷	۱۲/۱۳	۴۲/۸	۳۹۷۹/۳۷
۴۵-۳۰	۳۷/۵	۲۰۴/۱۶	۱۵/۵۷	۳۰/۶۶	۷۶۵۵/۸۹
۶۰-۴۵	۵۲/۵	۱۱۸/۰۹	۹/۰۱	۱۵/۰۹	۶۱۹۹/۷۸
۷۵-۶۰	۶۷/۵	۵۳/۰۵	۴/۰۴	۶/۰۸	۳۵۸۰/۵۸
۹۰-۷۵	۸۲/۵	۱۷/۸۳	۱/۳۶	۲/۰۴	۱۴۷۰/۸۸
۱۱۵-۹۰	۱۰۲/۵	۷/۸	۰/۵۹	۰/۶۸	۷۹۹/۹۹
۱۸۴/۰۲۷-۱۱۵	۱۴۹/۵۱۳۵	۱/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۱۶۱/۳۵

تاثیر جهت شیب در مشخصات کوه‌آبنگاری حوضه و شکل زمین ناشی از نقش آن در بیلان انرژی خورشیدی و دریافت نزولات جوی در دامنه‌هایی با جهت روبه توده باران‌زا است. بدین گونه که زاویه تابش به‌عنوان یکی از مهمترین عوامل موثر در دریافت میزان انرژی خورشید متاثر از جهت دامنه یا جهت شیب است. همچنین دامنه‌هایی که روبه توده باران‌زا هستند معمولاً بارش بیشتری از دامنه‌های سایه بارانی دریافت می‌کند. این اختلاف در میزان انرژی دریافتی و نزولات جوی تاثیرات شگرفی را در ساختار فضایی دامنه‌ها ایجاد کرده و پیامدهای آن را می‌توان در تفاوت نوع اقلیم، حاکمیت سیستم‌های فرسایش، فرایندهای خاک‌ساز، نوع و عمق خاک، تراکم پوشش گیاهی، تبخیر و تعرق، هیدرولوژی و منابع آب زیرزمینی، ژئومورفولوژی، و به تبع آن جانمایی سکونتگاه‌های انسانی، معیشت، و اقتصاد آنها مشاهده کرد. نتایج حاصل از ارزیابی مولفه جهت شب به صورت شکل (۶) و جدول (۳) است که در حوضه‌ی بسطام جهت شیب ناهمواریها بیشتر از روند شرقی - غربی به علت روند کلی ناهمواریهای کوهستان البرز تبعیت می‌کند. همچنین بیشترین وسعت منطقه به‌ترتیب با ۳۲۱/۵۷۹ (۲۴/۵۲۵ درصد)، ۲۵۷/۵۱۴ (۱۹/۶۳۸ درصد) و ۲۳۳/۰۷۴ کیلومترمربع (۱۷/۷۷۵ درصد) به جهات جغرافیایی جنوب شرق، جنوب و شرق تعلق دارد. وسعت اراضی فاقد جهت شیب یا هموار حوضه با مساحت ۲/۹۱۱ کیلومترمربع (۰/۲۲ درصد)

بسیار اندک است. در مجموع در منطقه مطالعاتی به تبع قرارگیری در نیمکره شمالی زمین، دامنه‌ها با جهات رو به جنوب و شرق بیشترین انرژی و دامنه‌ها با جهات روبه شمال و غرب کمترین انرژی را دریافت می‌کنند. همچنین دامنه‌ها با جهات شمالی و غربی به دلیل قرارگیری روبه توده باران‌زا بیشترین بارش و دامنه‌ها با جهات جنوبی و شرقی به علت سایه بارانی بودن کمترین نزولات آسمانی را دریافت می‌کنند. بنابراین دامنه‌های شمالی و غربی دارای نزولات جوی جامد و منابع آب پایدار در طول سال هستند که به تبع آن پوشش گیاهی غنی‌تری نیز دارند.



شکل(۶): نقشه جهت شیب حوضه آبریز بسطام

Figure (6): Map of aspect (slope direction) in Bastam watershed

جدول (۳): توزیع مساحتی مولفه جهت شیب در حوضه آبریز بسطام (منبع: محاسبات نویسنده)

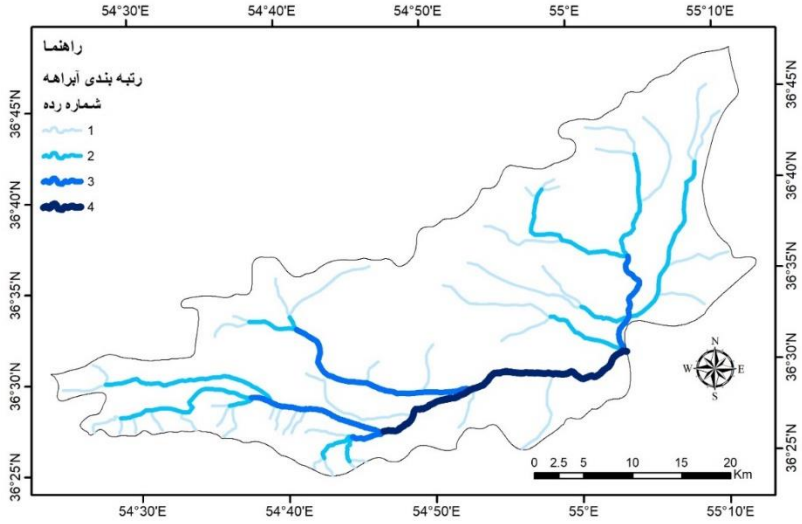
Table (3): Area distribution of aspect (slope direction) in Bastam watershed (source: author's calculations)

جهت جغرافیایی	آزیموت (درجه)	مساحت (KM^2)	درصد مساحت
هموار	۱- تا ۰	۲/۹۱۱	۰/۲۲۲
شمال	۰ تا ۲۲/۵ و ۳۳۷/۵ تا ۳۶۰	۱۱۲/۲۰۹	۸/۵۵۷
شمال شرق	۲۲/۵ تا ۶۷/۵	۱۱۸/۳۲۷	۹/۰۲۴
شرق	۶۷/۵ تا ۱۱۲/۵	۲۳۳/۰۷۴	۱۷/۷۷۵
جنوب شرق	۱۱۲/۵ تا ۱۵۷/۵	۳۲۱/۵۷۹	۲۴/۵۲۵
جنوب	۱۵۷/۵ تا ۲۰۲/۵	۲۵۷/۵۱۴	۱۹/۶۳۹
جنوب غرب	۲۰۲/۵ تا ۲۴۷/۵	۱۱۲/۷۵۶	۸/۵۹۹
غرب	۲۴۷/۵ تا ۲۹۲/۵	۸۲/۰۹۱	۶/۲۶۱
شمال غرب	۲۹۲/۵ تا ۳۳۷/۵	۷۰/۷۹۱	۵/۳۹۹

شبکه زهکشی

شبکه آبراهه‌ای حوضه نمایان‌گر وضعیت آب‌شناسی و چگونگی تخلیه رواناب است، لذا شناخت آن از اقدامات اساسی در هیدرولوژی و کنترل سیلاب محسوب می‌شود. شبکه زهکشی به مجموعه‌ی آبراهه‌هایی گفته می‌شود که در سطح حوضه عمل تخلیه آبهای روان را انجام می‌دهد. هر چه تراکم آبراهه‌ها بیشتر باشد، حوضه زودتر تخلیه می‌شود و به تبع آن فرسایش شدیدتر بوده و میزان رسوبدهی افزایش می‌یابد. شبکه زهکشی با بعضی از رفتارهای هیدرولوژیکی حوضه مانند فرسایش و رسوب پسخوراند مثبت دارد. بدین گونه که با افزایش تراکم شبکه زهکشی میزان فرسایش بیشتر شده و به دنبال آن نیز تراکم آبراهه‌ها افزایش می‌یابد و مقدار بار رسوب حمل شده را بیشتر می‌کند. در مقابل شبکه زهکشی با بعضی از رفتارهای هیدرولوژیکی حوضه پسخوراند منفی دارد. برای نمونه وقتی شیب دامنه

زیاد باشد تراکم زهکشی آن کم‌تر است؛ اما از آنجایی که نیروی جریان آب زیاد است، فرسایش نیز افزایش می‌یابد که این فرسایندگی موجب کاهش شیب شده و هنگامی‌که شیب کاهش یابد تراکم زهکشی نیز بیشتر می‌شود (مراتب، ۱۳۸۱). با توجه به مقدار تراکم زهکشی ۰/۲۹۸۵ کیلومتر در کیلومترمربع برای حوضه بسطام، این حوضه شرایط زهکشی بسیار ضعیف دارد، لذا در مواقع سیلابی با حجم دبی شدید احتمال هجوم رواناب به خارج از بستر آبراهه بسیار زیاد است که فعالیت‌های انسانی اطراف آبراهه‌ها را با خطرات احتمالی سیلاب مواجه می‌کند. برای اطلاع از نحوه‌ی ارتباط انشعابات مختلف شبکه زهکشی از روش رده‌بندی آبراهه‌ها استفاده می‌شود. آبراهه‌ها از نظر موقعیت دارای درجات و رتبه‌های مختلفی هستند. شماره رده آبراهه در نقطه تمرکز نمایانگر درجه تکامل شبکه زهکشی حوضه در بالادست است (علیزاده، ۱۳۸۹: ۴۸۲). بدیهی است هر چه تعداد شاخه‌های رودخانه به خصوص شاخه‌های درجه ۱ نسبت به وسعت حوضه بیشتر باشد توان زهکشی حوضه بالاتر است و چون آب به سرعت از حوضه خارج می‌شود از سرعت نفوذ کاسته شده، لذا حوضه از نظر منابع آب زیرزمینی ضعیف می‌شود (قاسمی، ۱۳۸۹). رتبه‌بندی حوضه بسطام به روش استرالر نشان داد آبراهه‌های رتبه ۱ تا ۴ در این حوضه وجود دارد (شکل ۷) که در مجموع طولی برابر ۳۹۶/۸۰۴ کیلومتر دارند. آبراهه‌های رده ۱ با ۴۳ عدد بیشترین تعداد را به خود اختصاص داده (جدول ۴) که مبین تراکم نسبتاً بالای این نوع آبراهه و تخلیه متوسط تا سریع رواناب است.



شکل (۷): نقشه رتبه‌بندی شبکه‌ی آبراهه‌ای حوضه‌ی آبریز بسطام

Figure (7): Map of ordering the waterway network in Bastam watershed

جدول (۴): مشخصات رده‌بندی آبراهه‌های حوضه آبریز بسطام (منبع: محاسبات نویسنده)

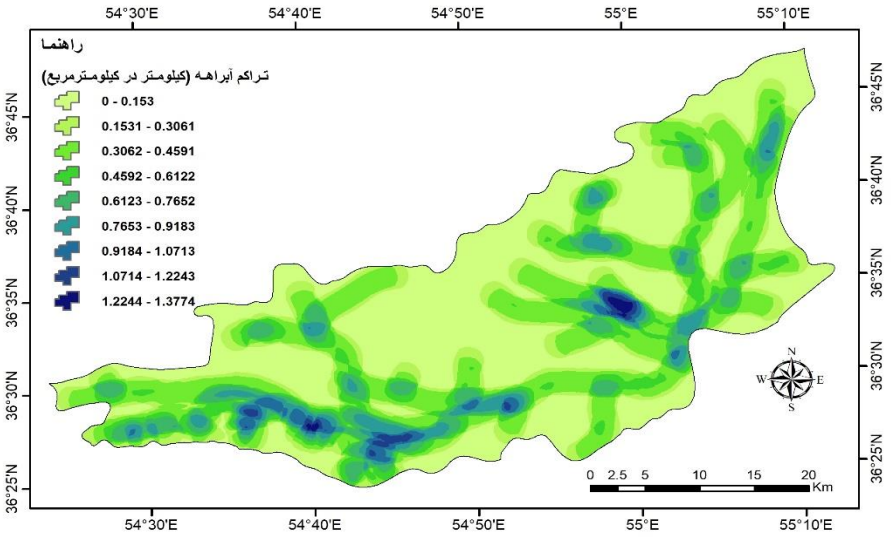
Table (4): Characteristics of ordering waterways in Bastam watershed (source: author's calculations)

شماره رده آبراهه	تعداد آبراهه	مجموع طول آبراهه (کیلومتر)
۱	۴۳	۲۰۹/۰۲
۲	۱۲	۱۰۸/۸۱۹
۳	۴	۵۰/۲۱
۴	۱	۲۸/۷۵۴
مجموع	۶۰	۳۹۶/۸۰۴

برای ارزیابی تاثیر انشعابات شبکه زهکشی بر هیدروگراف سیل از نمایه نسبت انشعاب یا ضریب بیفورکاسیون[1] استفاده شد. هر اندازه این نسبت کوچکتر باشد نشان می‌دهد که منحنی هیدروگراف حوضه در مقایسه با حوضه‌های دیگر در نقطه اوج خود تیزتر است. طبق نتایج، مقدار ضریب بیفورکاسیون حوضه مطالعاتی ۳/۵۲۷۸ است که یک حوضه با سیلخیزی اندک تا متوسط محسوب می‌شود. علاوه بر موارد

1. Bifurcation Ratio

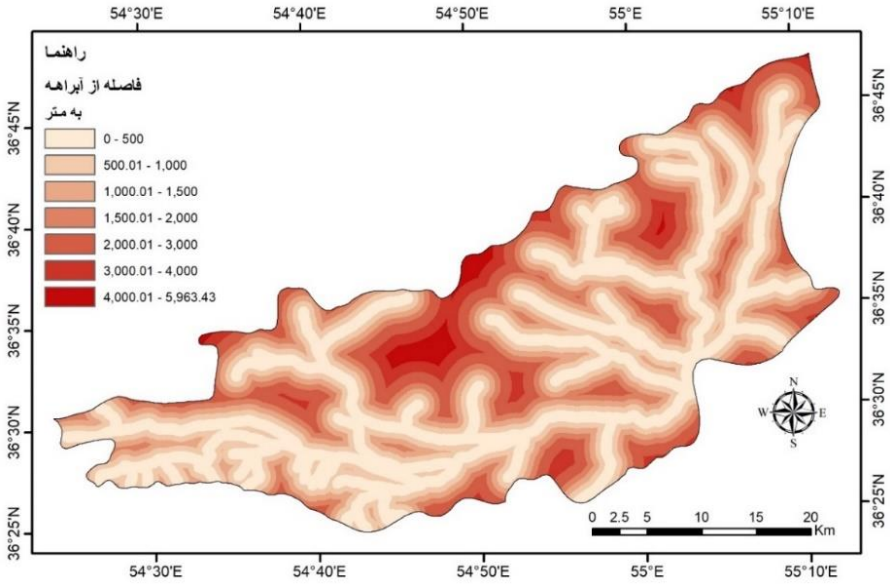
فوق‌الذکر نقشه تراکم شبکه زهکشی تهیه‌شده توسط نرم‌افزار ArcGIS نشان داد که مقدار تراکم زهکشی از حداقل صفر تا حداکثر ۱/۳۷۷ کیلومتر در کیلومترمربع نوسان دارد (شکل ۸).



شکل (۸): نقشه‌ی تراکم زهکشی در حوضه آبریز بسطام

Figure (8): Map of drainage density in Bastam watershed

نقشه فاصه از آبراهه در قالب تبیین حریم‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ متری از آبراهه که بر مبنای فاصله اقلیدوسی محاسبه شد (شکل ۹). این فواصل مبین تعیین حریم آبراهه‌ها در شرایط عادی و شرایط بحرانی وقوع سیل است که بایستی از فعالیت‌های انسانی در این محدوده‌ها خودداری نمود. بیشترین فاصله از آبراهه نیز با مقدار ۵۹۶۳/۴۳ متر در بخش‌های از مرکز حوضه مطالعاتی مشاهده می‌شود که مبین‌عدم رخداد سیل در این بخش‌ها است.

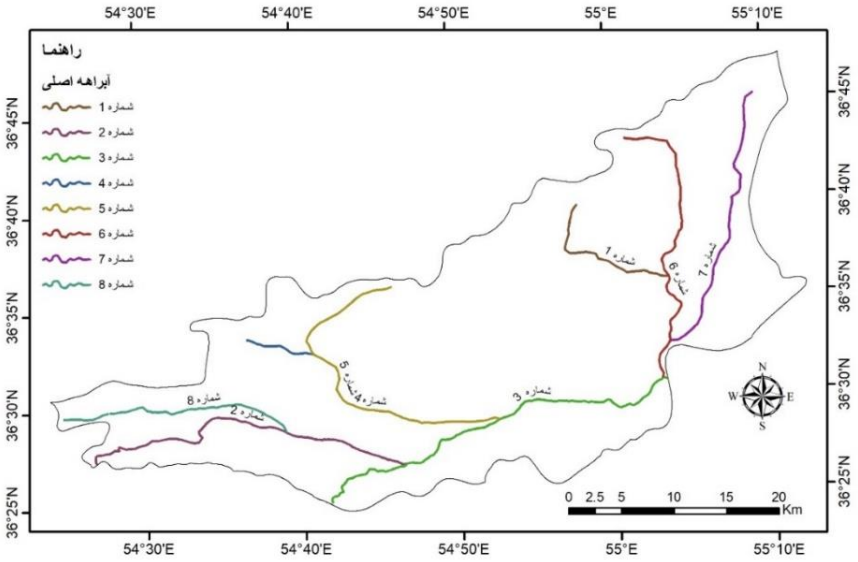


شکل (۹): نقشه‌ی فاصله از آبراهه‌ها و تعیین حریم آنها در حوضه آبریز بسطام

Figure (9): Map of distance from waterways and determining their buffer in the Bastam watershed

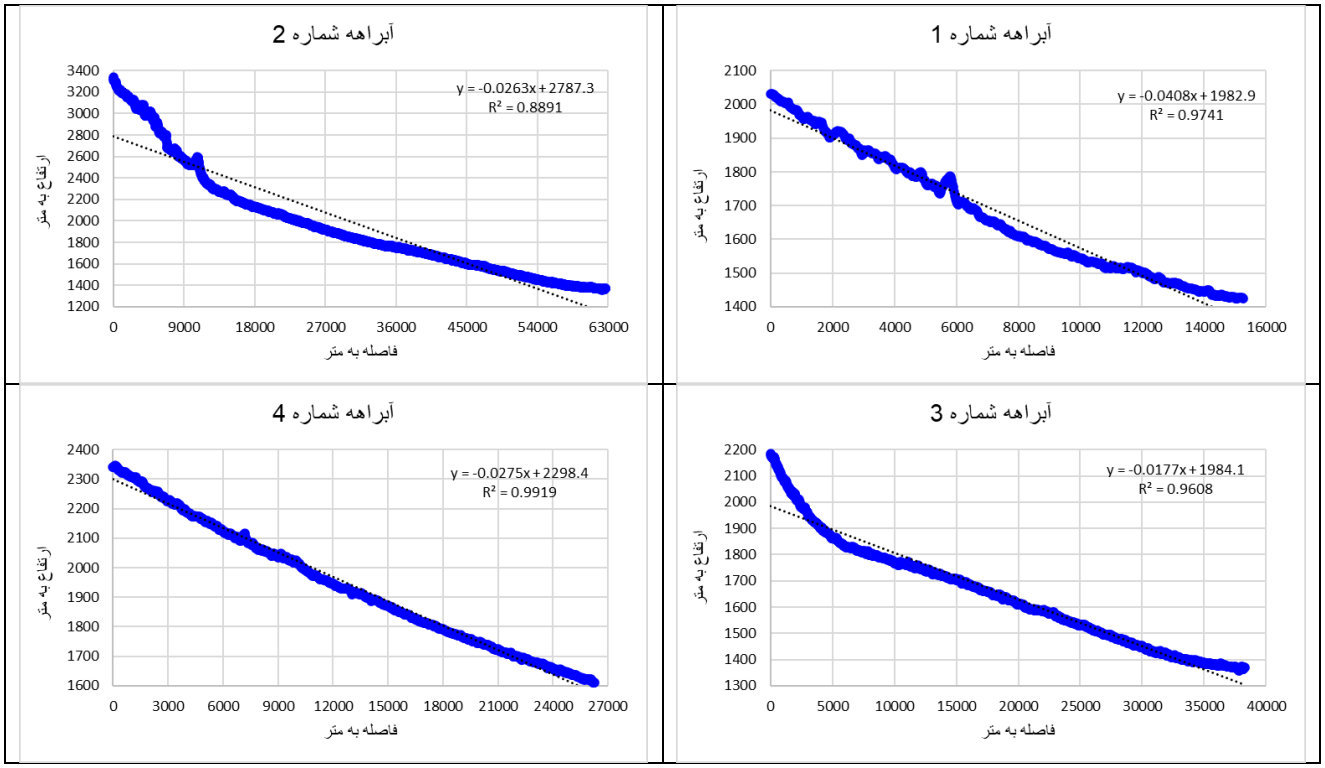
نیمرخ طولی و طول آبراهه اصلی در یک حوضه می‌تواند اطلاعات موثری در مورد سرعت حرکت آب و قدرت فرسایندگی آن در طول زمان را در اختیار محققان قرار دهد. حوضه بسطام به علت اینکه در دو جهت کاملاً مخالف یکدیگر یعنی غربی و شرقی گستردگی دارد،

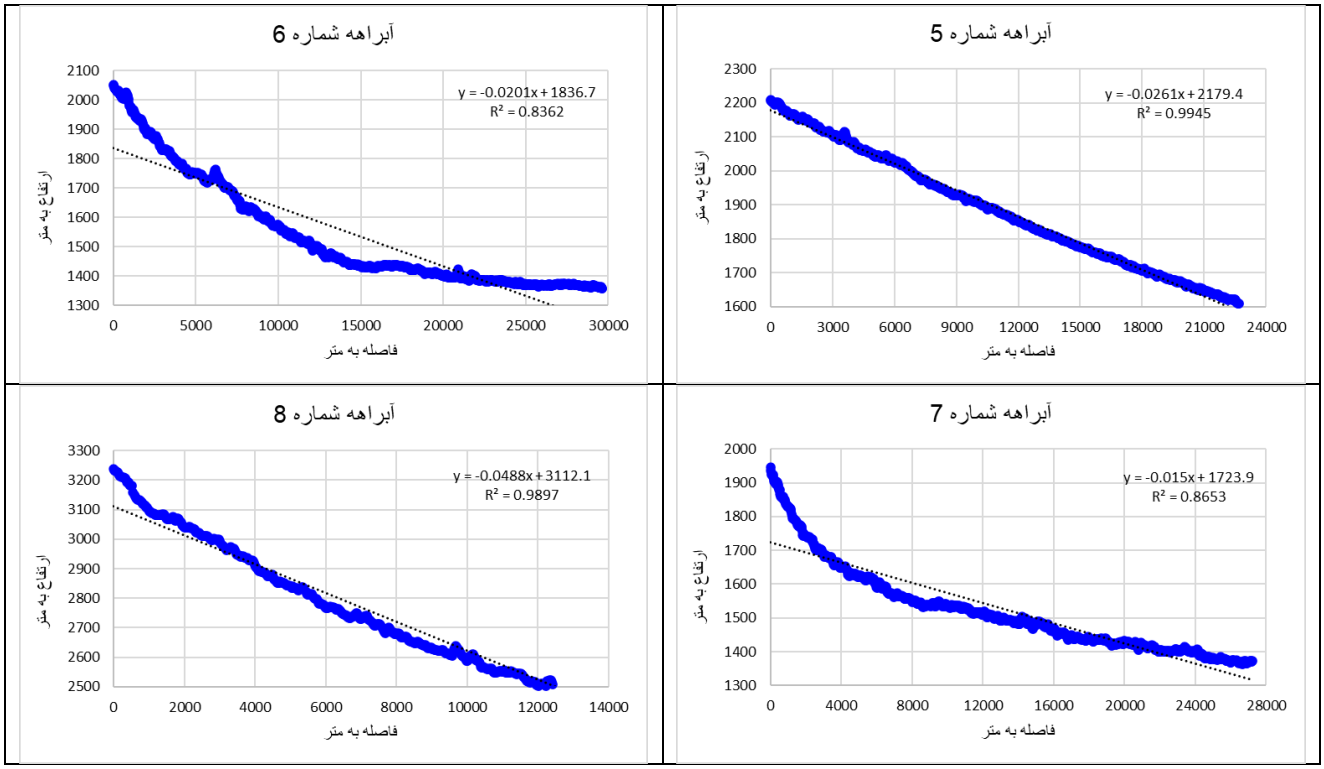
چندین آبراهه اصلی دارد که تعدادی از آنها نیمه شرقی و تعدادی دیگر بخش مرکزی و نیمه غربی حوضه را زهکشی می‌کنند. نیمرخ طولی این آبراهه‌ها اصلی به صورت شکل‌های (۱۰) و (۱۱) و جدول (۵) است. در این حوضه بزرگترین آبراهه اصلی، شماره ۲ است که از ارتفاع ۳۳۳۹/۳۳۸ متری شروع شده و با امتداد غربی-شرقی پس از طی مسافتی به طول ۶۲/۶۵۷ کیلومتر از حوضه خارج می‌شود که به علت کشیدگی نیمرخ طولی آن به سمت چپ، تقریباً در دوره زیست بلوغ قرار دارد و قدرت سیلخیزی و فرسایندگی آن اندک تا متوسط است.



شکل (۱۰): آبراهه‌های اصلی حوضه آبریز بسطام

Figure (10): The main waterways of Bastam watershed





شکل (۱۱): نیمرخ طولی آبراهه‌های اصلی حوضه آبریز بسطام

Figure (11): Longitudinal profile of the main waterways of Bastam watershed

زمان تمرکز یک حوضه عبارت است از فاصله‌ی زمانی که نیاز است تا قطره‌های بارانی که در دورترین نقاط یک حوضه فرو ریخته‌اند به محل خروجی آن برسند (ولایتی، ۱۳۸۴). لذا زمان تمرکز حوضه پارامتر ثابتی نیست. به عنوان مثال اگر شدت بارندگی بیشتر باشد زمان تمرکز کوتاهتر می‌شود. در حقیقت اگر مدت بارش بیشتر از زمان تمرکز حوضه باشد، زمان اوج سیلاب برابر با زمان تمرکز است و معمولاً از این زمان به بعد میزان دبی خروجی از حوضه افزایش نمی‌یابد. لذا زمان تمرکز حوضه در قدرت سیل‌خیزی و فرایندهای فرسایشی و شکل‌زایی حاکم بر آن بسیار اثرگذار است. عوامل زیادی بر زمان تمرکز مؤثر هستند که می‌توان به مواردی مانند مساحت، شکل حوضه، طول و شیب آبراهه اصلی، پوشش گیاهی، جنس مواد، مقدار خاک و نفوذپذیری آن، پوشش زمین و کاربری آن اشاره کرد. نتایج حاصل از محاسبه زمان تمرکز آبراهه‌های اصلی حوضه مطالعاتی به صورت جدول (۶) است که طبق آن زمان تمرکز حوضه بسطام بر اساس مشخصات بزرگترین آبراهه اصلی یعنی آبراهه شماره ۲ برابر ۶/۰۶۶ ساعت است. به عبارتی حوضه مذکور حداکثر حالت سیلابی را با بارش‌های با تداوم ۶ ساعته دارد که در صورت رخداد نیازمند مدیریت ریسک سیل‌خیزی در منطقه است.

جدول (۶): مشخصات مربوط به مهمترین آبراهه‌های حوضه آبریز بسطام و زمان تمرکز آنها (منبع: محاسبات نویسنده)

Table (6): Characteristics of the most important waterways of the Bastam watershed and their concentration time (source: author's calculations)

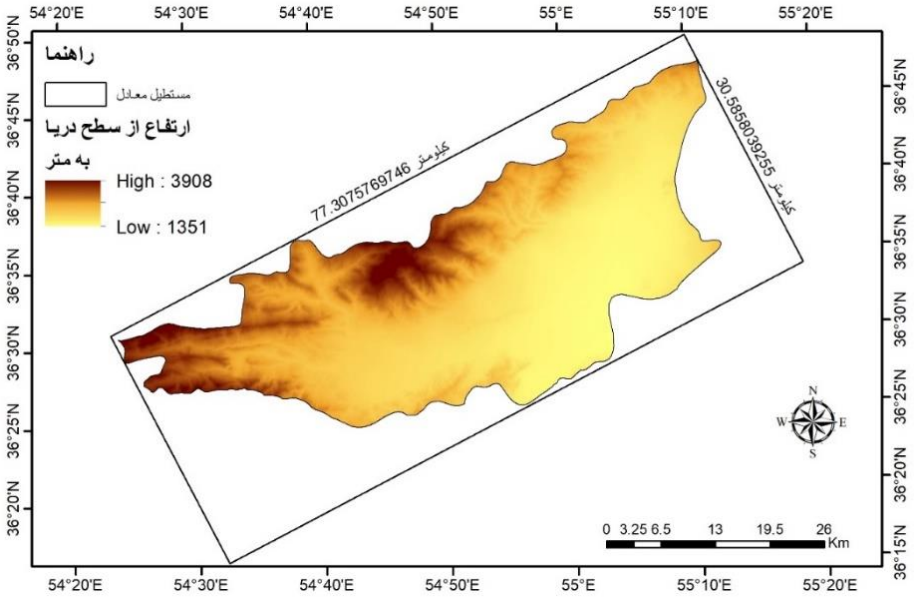
آبراهه	طول (کیلومتر)	ارتفاع سرچشمه (متر)	ارتفاع انتهایی (متر)	اختلاف ارتفاع (متر)	زمان تمرکز (ساعت)	وضعیت
۱	۱۵/۲۶۲	۲۰۳۱/۰۶۸	۱۴۲۳/۶۵۳	۶۰۷/۴۱۵	۱/۸۷۴	عدم کشیدگی به طرفین، دوره زیست جوانی و قدرت سیل خیزی و فرسایندگی تقریباً بالا
۳	۳۸/۲۳۸	۲۱۸۳/۷۸	۱۳۵۱/۳۴۶	۸۳۲/۴۳۴	۴/۷۹۵	
۴	۲۷/۹۹۲	۲۳۴۱/۸۸۴	۱۶۰۹/۵۵۹	۷۳۲/۳۲۵	۳/۵۱۳	
۵	۳۲/۷	۲۲۰۸/۵۶۵	۱۶۰۹/۵۵۹	۵۹۹/۰۰۶	۴/۵۴۲	
۸	۲۲/۶۶۵	۳۲۳۷/۳۷۱	۲۰۴۰/۹۰۷	۱۱۹۶/۴۶۴	۲/۲۷۹	
۲	۶۲/۶۵۷	۳۳۳۹/۳۳۸	۱۳۵۱/۳۴۶	۱۹۸۷/۹۹۲	۶/۰۶۶	کشیدگی به سمت چپ، دوره زیست بلوغ و قدرت سیل‌خیزی و فرسایندگی کم تا متوسط
۶	۲۹/۶۳۴	۲۰۵۰/۸۷۸	۱۳۵۹/۲۷۱	۶۹۱/۶۰۸	۳/۸۳۶	

۷	۲۷/۲۲۱	۱۹۴۴/۹۷۳	۱۳۷۱/۴۰۴	۵۷۳/۵۶۹	۳/۷۳۷	

شکل‌شناسی

بارزترین مشخصه ژئومتری حوضه آبریز مساحت آن است، چرا که با فرض ثابت بودن مدت و شدت بارش، حجم سیلاب و دبی رواناب به طور مستقیم به مساحت حوضه وابسته است. مساحت حوضه بسطام با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شد که برابر ۱۳۲۹/۴۲۵ کیلومترمربع است. حوضه‌ها معمولاً یک محیط توپوگرافی دارند که از خطوط تقسیم آب تبعیت می‌کند و در طبیعت به راحتی قابل رویت است. در مقابل یک محدوده ژئولوژیکی دارند که به جنس مواد، شیب لایه‌های رسوبی و خصوصیات زمین‌شناسی بستگی دارد و به راحتی نمی‌توان روی سطح زمین آن را دید و تمیز داد. محیط توپوگرافی جهت‌دهنده آبهای سطحی و محیط ژئولوژیکی جهت‌دهنده جریان‌های زیرزمینی هستند. محیط توپوگرافی حوضه مورد مطالعه به استفاده از نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شد که برابر ۲۲۲/۰۳۳ کیلومتر است.

حوضه‌های آبریز از نظر شکل ظاهری و هندسی دارای شکل‌های گوناگونی هستند ولی می‌توان سه گروه عمده حوضه‌های کشیده، پهن و بادبزنی را برای آنها تعریف کرد. با توجه به عامل شکل، آبنمود حوضه‌ها هم از نظر حجم و تداوم سیلاب و هم از نظر دبی اوج با یکدیگر متفاوت است. ضریب فشردگی یکی از فاکتورهایی است که نمایانگر شکل حوضه است. مقدار این ضریب در حوضه بسطام که با استفاده از رابطه (۶) محاسبه شد برابر ۰/۰۹۳۵۳ می‌باشد و بیانگر این است که شکل حوضه به مستطیل نزدیک بوده و از نظر سیل‌خیزی نیز متوسط تا ضعیف است. همچنین بر اساس رابطه (۷)، طول و عرض مستطیل معادل حوضه بسطام به ترتیب برابر با ۹۱/۸۴۲ و ۱۹/۱۷۴ کیلومتر و نسبت آنها ۴/۷۸۹۸ است که بیانگر وضعیت سیل‌خیزی اندک این حوضه می‌باشد. برای تکمیل مباحث مربوط به شکل‌شناسی حوضه مطالعاتی، مستطیل معادل آن با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS ترسیم و ابعاد آن محاسبه شد که نتایج آن به صورت شکل (۱۲) است. همانگونه که مشاهده می‌شود طول و عرض مستطیل معادل به ترتیب برابر با ۷۷/۳۰۷ و ۳۰/۵۸۶ کیلومتر و نسبت آنها برابر با ۲/۵۲۷۶ است که نشان از سیل‌خیزی متوسط دارد.



شکل (۱۲): مستطیل معادل حوضه آبریز بسطام

Figure (12): The equivalent rectangle of Bastam watershed

نتیجه‌گیری

مطالعه و بررسی پارامترهای هیدروژئومورفومتری حوضه بسطام، بیانگر نحوه تخلیه متوسط تا آرام رواناب توسط شریان‌های انتقالی و سیل‌خیزی اندک تا متوسط می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که هراندازه یک حوضه از لحاظ سنی جوان‌تر بوده و میزان شیب طولی

آبراهه‌های آن زیادتر باشد، نحوه تخلیه رواناب آن سریعتر بوده و هیدروگراف آن با تغییرات ناگهانی در قله خود مواجه می‌باشد که عکس این حالت در حوضه مطالعاتی حاکم است. این موارد نشان دهنده بلوغ و سیل‌خیزی اندک تا متوسط حوضه مزبور بوده و تا حدودی عملیات آبخیزداری و کنترل سیلاب را می‌طلبد. همچنین از مطالعه مولفه‌های مزبور در این حوضه چنین برمی‌آید که اختلاف ارتفاع بین سرآب و پایاب آبراهه‌های آن متوسط تا زیاد بوده و عمدتاً از منشاء بارش ارتفاعات و رواناب‌های سطحی تغذیه می‌کنند. در مدیریت این نوع آبراهه‌ها، کنترل سیلاب و مهار آب‌های سطحی در اولویت قرار دارد و طرح‌های متعددی نظیر آبخیزداری، سدسازی، انتقال آب، کنترل سیلاب و فرسایش در سرچشمه را طلب می‌کند. به طورکلی نتایج نشان داد که حوضه بسطام، یک حوضه بالغ با شیب نسبتاً متوسط بوده و دامنه‌های آن در بالادست به علت جوانی در معرض فرسایش کاوشی قرار دارند. شکل ظاهری حوضه شبیه به مستطیل است، در نتیجه زمان تمرکز آن متوسط تا بالا و یک حوضه با سیل‌خیزی اندک تا متوسط است که حداکثر حالت سیلابی را با بارش‌های ۶ ساعته دارد. با توجه به وقوع حداکثر رواناب حوضه در فصول بهار و زمستان که نیاز آبی اکوسیستم حداقل است و همچنین ساختار زمین‌شناسی حاکم بر حوضه در خصوص مواد رسوبی کواترنری، پیشنهاد می‌شود رواناب حوضه در این فصول جهت تغذیه مصنوعی و تقویت سفره‌های آب زیرزمینی در قالب پخش سیلاب اختصاص داده شود. به عبارتی به جای ذخیره آب در روی زمین، آب را در زیرزمین ذخیره کرد. زیرا ذخیره آب در آبخوان‌های زیرزمینی علاوه بر هزینه کمتر، نیازمند تأسیسات نگهداری نمی‌باشد و از تبخیر هم مصون می‌ماند. در زمینه مدیریت جامع حوضه‌ی مطالعاتی پیشنهاد می‌شود که راهکارهای برنامه‌ریزی اعمال گردد. به عبارتی، منابع آب حوضه در جهات مصرفی، تولید، ذخیره، رفع نیاز اکوسیستم، تغذیه مصنوعی و جنبه‌های طبیعت‌گردی و ژئوتوریسمی در نظر گرفته شود. در نهایت پیشنهاد می‌شود که آمایش‌سرزمین جامع حوضه مطالعاتی، شناخت آگاهانه از وضعیت دقیق منابع آبی و بررسی اکوسیستم‌های حساس آن بر پایه نگرش سیستمی و اصول علمی صورت گیرد.

References

Abbasi, A. A., & Porhemmat, J. (2015). Effective factors at the threshold of runoff in small watersheds. *Journal of Rain Catchment Surface Systems*, *4*(2), 33 - 38. http://jircsa.ir/article-1-73-fa.html [in persian]

Alizadeh, A. (2010). *Principles of applied hydrology*. Mashhad: University of Imam Reza (As) Press, 29th edition [in persian]

Arab Ameri, A., & Shirani, K. (2016). Delineation of suitable sites for groundwater artificial recharge using integrated AHP-TOPSIS (Case study: Shahrood-Bastam basin). *Water and Soil Sciences (Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources)*, *21*(3), 149-168. http://dx.doi.org/10.29252/jstnar.21.3.149 [in persian]

Aravinda, P. T., & Balakrishna, H. B. (2013). Morphometric analysis of vrishabhavathi watershed using remote sensing and GIS. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, *2*(8), 514-522. http://dx.doi.org/10.15623/ijret.2013.0211077

Biniaz, M., & Tamassoki, E. (2023). Analyzing dimensions of integrity in the concept of integrated watershed management in Iran. *Integrated Watershed Management*, *3*(1), 38 - 53. https://doi.org/10.22034/iwm.2023.2001343.1074 [in persian]

Charlton, R. (2008). *Fundamentals of fluvial geomorphology*. London and New York: Routledge, First published, Pp. 234.

Ezzatian, V., & Daneshamouz, Z. (2012). Investigating the hydrogeomorphological features of the Khairabad watershed. *Town and Country Planning*, *4*(2), 113 - 140. https://doi.org/10.22059/jtcp.2013.30348 [in persian].

Fatah, K. K., Seeyan, S., & Jirjees, S. J. (2020). Morphometric analysis using geo-information techniques for different watersheds in northeastern part of Erbil city, Kurdistan region, north Iraq. *Iraqi Geological Journal*, *53*(2A), 88-104. http://dx.doi.org/10.46717/igj.53.2A.7Rw-2020-08.07

Ghasemi, E. (2009). *Hydrogeomorphology of Marbor watershed*. Master's Thesis in Physical Geography - Geomorphology, Supervisor: Masoud Moayri, Advisor: Abdollah Saif, Department of Geography and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran. [in persian]

Javanbakht, M., Khaiate Kholghi, N., & Rezaei Arefi, M. (2019). The Effect of Morphometric Indexes on the Size of the Sediments in the Tabarak Abad (Quchan) Catchment (North East of Iran). *Hydrogeomorphology, 5*(14), 113-134. https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_7642.html [in persian]

Kashi Zenouzi, L., Ahmadi, H., & Nazari Samani, A. A. (2015). Using statistical hydrogeomorphology method for estimating sediment yield of watersheds (Case study: Zonouz Chay and Zilber Chay watersheds). *Journal of Watershed Management Research, 6*(12), 166 - 174. http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-567-fa.html [in persian]

Khosravi, O., Sepehr A., & Abdullahzadeh, Z. (2015). Fractal behavior and its relationship with hydromorphometric characteristics of watersheds in the northern range of Binaloud. *Hydrogeomorphology*, *3*(9), 1 - 20. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23833254.1395.3.9.1.1 [in persian]

Marateb, M. (2013). *Hydrogeomorphology of Khadangestan watershed*. Master's Thesis, Faculty of Literature and Human Sciences, Department of Geography, University of Isfahan, Isfahan, Iran. [in persian]

Masoudian, S. A. (1994). *Hydroclimate of Marbor basin*. Master's Thesis, Faculty of Literature and Human Sciences, Department of Geography, University of Isfahan, Isfahan, Iran. [in persian]

Menbari, F., Maleki, A., & Nayyeri, H. (2023). Flood modeling in watersheds using statistical analysis and morphometric characteristics (a case study of watersheds in Kurdistan province). *Hydrogeomorphology*, *10*(33), 87-105. https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_15464.html [in persian]

Mousavi, S. H., Pourkhosrvani, M., Dehghanpour Farashah, M., & Hatami Fard, R. (2009). Evaluating the morphometric characteristics of the watershed in the direction of its management (Case study: Chelgerd watershed). *The Second Conference on Identifying Watershed Management Problems and Providing Appropriate Solutions in The Karoun and Zayandehroud Watersheds*, University of Shahr Kord, March 18 and 19, pp. 1408-1420. [in persian]

Najmaie, M. (1990). *Engineering hydrology*. Tehran: University of Science and Technology Press. [in persian]

Nakhaie, M., & Ghanavati, E. (2005). Application of dimensionless hypsometric curves in determining the eroding and sedimentation areas of Khairabad basin. *Geology of Iran, 2*(4), 65-72. https://www.sid.ir/paper/129386/fa [in persian]

National Recourses Council (1982). *Scientific basis of water- recourse management*. Washington, D.C.: National Academy Press.

Nayyeri, H., Salari, M., & Chardawli, Zh. (2021). Prioritization of Linear Erosion Using Morphometric and Geomorphological Indicators Case Study: Gheshlagh Watershed, Sanandaj West of Iran. *Hydrogeomorphology*, *8*(28), 191-214. https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_13883.html [in persian]

Rafaat, O. A., & Hamed, M. H. (2023). Morphometric analysis using geo-information techniques for bastora basin north east of Erbil city Iraqi Kurdistan region. *Zanco Journal of Pure and Applied Sciences, 35*(3), 119-134. https://doi.org/10.21271/ZJPAS.35.3.11

Raghunath, H.M. (1991). *Hydrology (principles, analysis and designs)*. Wiley Eastern Limited publications.

Rahimi, D., & Mousavi, S.H. (2012). Potentiation of underground water resources using AHP model and GIS technique (Case study: Shahroud-Bastam watershed). *Geography and Planning, 17*(44), 139 - 159. https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_21.html [in persian]

Ramesht, M. H., & Arab Ameri, A. (2011). Zoning of Shahroud-Bastam watershed in terms of artificial feeding of underground aquifers using linear assignment method and GIS technique. Geographical Space, 12(40), 134 - 149. http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-71-fa.html [in persian]

Ritter, M. E. (2006). *The physical environment: An introduction to physical geography*. Date visited July, 25, p. 2008.

Sadeghi, S. H., Payfeshoordeh, A., Pirooznia, Z., Pir, S., Hamzeh Bibalani, M., Khairparast, M., Sarouneh, F., Mostafaei Younjali, S., Naderi Marangelu, N., Noori, A., Havasi, M., & Chamani, R. (2023). Revisiting the detailed-implementation studies of the Fakhran watershed in south Khorasan based on the integrated watershed management plan. *Integrated Watershed Management, 2*(4), 1-16. https://doi.org/10.22034/iwm.2023.1986487.1053 [in persian]

Schumm, S.A., Dumont, J.F. & Holbrook, J.M. (2000). *Active tectonics and alluvial rivers*. Cambridge: Cambridge University Press.

Singh, V. P. (2002). *Hydrological systems - rainfall and runoff modeling*. Translated by Mohammad Reza Najafi, Tehran: University of Tehran Press. [in persian]

Sreedevi, P. D., Owais, S. H. H. K., Khan, H. H. & Ahmed, S. (2009). Morphometric analysis of a watershed of south India using SRTM data and GIS. *Journal of the Geological Society of India, 73*(4): 543-552. https://link.springer.com/article/10.1007/s12594-009-0038-4

Tellvri, A. (2015). *Hydrological models in simple language*. Tehran, Ministry of Construction Jahad, Education and Research Institute of Forests and Ranges Research. [in persian]

Velayati, S., (2004). *Geography of water bodies*. First edition, Mashhad: Academic Jahad of Mashhad Publications. [in persian]

Zeraatkar, Z., & Hasanpour, F. (2014). Identification of flood-prone areas using geological formations in Shahrood Biarjand watershed. *Rain Water Catchment Surface Systems, 3*(1), 23 - 36. http://jircsa.ir/article-1-83-fa.html [in persian]

Zhang, L., & Guilbert, E. (2013). Automatic drainage pattern recognition in river networks. *International Journal of Geographical Information Science, 27*(12), 2319-2342. https://doi.org/10.1080/13658816.2013.802794