

Effect of morphometric factors in prioritizing flooding of sub-watersheds in the north of Birjand Plain

Seyyed Mohammad Tajbakhsh Fakhrabadi ¹ , Javad Chezgi ² 

¹ Associate Professor, Natural Resources Department, Faculty of Natural Resources & Environment, University of Birjand, Birjand, Iran

² Assistant Professor, Natural Resources Department, Faculty of Natural Resources & Environment, University of Birjand, Birjand, Iran

Abstract

Introduction

Flood is one of the most important threats to human society, which has increased in recent decades with the increase in population and climate change. Therefore, studying the features of the watershed, which are related to the level of flooding, can help in the correct management of this risk. Watersheds are different in morphological characteristics, so they have different hydrological reactions in the same climatic and environmental conditions. The stability of the morphometric characteristics of the sub-watersheds has made them used in flood studies. So the investigation of the morphometric factors of the watersheds can be of great help to the management and prioritization of flood sub-watersheds. In this research, an attempt has been made to introduce and prioritize flood-prone sub-watersheds using morphometric data in the environment of the geographic information system in the north of Birjand Plain, using the maximum entropy method and VIKOR decision-making model.

Materials and Methods

This plain is located at a longitude of 58° 45' to 59° 30' and a latitude of 32° 30' to 33°. The area of the Birjand Plain watershed is 3155 km², of which 1045 km² are plains (33 %) and the rest are highlands. In this research, morphometric factors (14 factors), entropy method, and VIKOR decision-making method were used to prioritize 22 sub-watersheds in the north of Birjand Plain. Since the morphological factors of the aquifer basin have different effects on the processes of runoff formation, there is a need to determine the effects of the parameters, which Shannon's entropy method is used in this research. In the following, using the VIKOR method, sub-watersheds are prioritized.

Results and Discussion

Morphometric factors are important in identifying and determining flood risk areas. The effect of morphometric factors on flooding is not the same, so it is necessary to determine the importance of each parameter. Shannon's entropy method was used to determine the impact of different morphometric factors (13 parameters) on flooding in the northern Birjand Plain watershed. The results showed that the Vf index with a relative importance of 0.51 has the greatest effect on flooding and prioritization of sub-watersheds in the study area. In prioritizing the flooding of sub-watersheds, all factors are not the same in terms of influence, so some factors have a positive effect and some criteria have a negative effect on flooding, for example, the more the amount of drainage density increases, the more it has a positive effect and causes an increase in flooding. It is possible that if the parameter of the channel maintenance index is lower, the flooding will be more. This attitude and point of view have not been seen in many studies, but in this research, the nature of the parameters was determined based on the opinions of experts and previous studies. In this study, the increase of watershed asymmetry indices, tissue ratio index, channel maintenance index, and valley width to height ratio index have a negative effect, that is, with their increase, there is less flooding, and other factors have a positive effect, that is, with their increase, flooding, and runoff production also increase.

Conclusion

Watershed projects are one of the most important strategies for flood control. The implementation of watershed projects for flood control requires the determination of flood-producing areas and their prioritization. Considering the lack of sufficient hydrometric stations at the level of the sub-watersheds and the lack of recorded statistics and information about floods in the country's watersheds, it is practically impossible to infer the severity of sub-watershed floods from the available data alone. Therefore, it is appropriate to use methods such as morphometric factors that require less hydrometric and quantitative data. There are various methods for determining the amount of runoff and prioritizing sub-watersheds in terms of flooding, and most of these methods are based on graphical methods and the use of empirical formulas, statistical analysis of flood data, and watershed separation. In this research, 14 morphometric parameters were used to prioritize floods in the north of Birjand Plain, because the morphometric characteristics of each sub-watershed are like its fingerprint, and it is possible to prioritize sub-watersheds for flood control based on that. In this research, sub-watersheds 9, 22, and 14 were prioritized from one to three, respectively, based on morphometric criteria.

Keywords: Birjand plain, Flood, Morphological, Maximum entropy, VIKOR method

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: chezgi@birjand.ac.ir

Citation: Tajbakhsh Fakhrebadi, S.M., & Chezgi, J. (2023). Effect of morphometric factors in prioritizing flooding of sub-watersheds in the north of Birjand Plain. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(3), 240-255.

DOI:10.22098/mmws.2022.11855.1179

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.3.17.9

Received: 27 November 2022, Received in revised form: 30 December 2022, Accepted: 30 December 2022, Published online: 30 December 2022

Water and Soil Management and Modeling, Year 2023, Vol. 3, No. 3, pp. 240-255


Publisher: University of Mohagheh Ardabili

© Author(s)





تأثیر عوامل مورفومتری در اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز شمال دشت بیرجند

سیدمحمد تاجبخش فخرآبادی^۱، جواد چزگی^۲ 

^۱ دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
^۲ استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

چکیده

حوضه‌های آبخیز از نظر خصوصیات مورفولوژیکی با هم تفاوت دارند، به طوری که در شرایط اقلیمی و محیطی یکسان واکنش‌های هیدرولوژیکی گوناگونی خواهند داشت. باثبات بودن خصوصیات مورفومتری زیرحوضه‌های آبخیز باعث شده تا در مطالعات سیل‌خیزی مورد استفاده قرار گیرند. بررسی عوامل مورفومتری حوضه‌های آبخیز می‌تواند کمک شایانی به مدیریت و اولویت‌بندی زیرحوضه‌های سیل‌خیز داشته باشد. در این پژوهش از ۱۴ عامل مورفومتری شامل شاخص‌های انتگرال هیپسومتری، سینوسی جهه کوهستان، نسبت کشیدگی، شکل حوزه آبخیز، پستی و بلندی، شیب متوسط، سینوسیته رودخانه اصلی، عدم تقارن حوزه آبخیز، پهنای کف دره به ارتفاع آن، تراکم زهکشی، نسبت انشعابات، نسبت بافت، نگهداشت کانال و تقارن توپوگرافی استفاده شد. در ادامه از روش حداکثر آنتروپی برای تعیین ضریب تأثیر عوامل مختلف مورفومتری و از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ویکور برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز منطقه شمال شهرستان بیرجند بهره گرفته شد. نتایج نشان داد که بر اساس روش حداکثر آنتروپی شاخص پهنای کف دره به ارتفاع آن با اهمیت نسبی ۰/۵۱ بیش‌ترین تأثیر را در بین دیگر عوامل مورفومتری برای تعیین سیل‌خیزی و اولویت‌بندی داشته است. بر اساس روش تصمیم‌گیری ویکور نیز زیرحوضه‌های آبخیز ۹، ۲۲ و ۱۴ از نظر سیل‌خیزی در منطقه مطالعاتی به ترتیب، اولویت اول تا سوم را شامل شده‌اند. بنابراین، برای اجرای پروژه‌های زیستی و مکانیکی آبخیزداری بر اساس عوامل مورفومتری در اولویت قرار دارند.

کلمات کلیدی: حداکثر آنتروپی، دشت بیرجند، روش ویکور، سیل‌خیزی، مورفولوژی

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: chezgi@birjand.ac.ir

استناد: تاجبخش فخرآبادی، سیدمحمدی، و چزگی، جواد (۱۴۰۲). تأثیر عوامل مورفومتری در اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز شمال دشت بیرجند. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۳)، ۲۴۰-۲۵۵.

DOI: 10.22098/mmws.2022.11855.1179

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.3.17.9

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۰۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۹، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۰/۰۹

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۲، دوره ۳، شماره ۳، شماره صفحه ۲۴۰ تا ۲۵۵

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان



۱- مقدمه

به بیان ساده سیل جریانی است که نسبت به میانگین حجم آب در طول رودخانه بالاتر باشد (Wohl, 2000). امروزه سیلاب یکی از مهم‌ترین پدیده‌های طبیعی است که جوامع بشری را تهدید و به اکوسیستم‌های طبیعی خسارت جبران‌ناپذیری وارد می‌کند (Salajegheh et al., 2010). سیل یکی از مهم‌ترین مخاطرات تهدیدکننده جامعه بشری محسوب می‌شود که در دهه‌های اخیر با افزایش جمعیت و تغییر اقلیم، تأثیر آن بیش‌تر شده است. با توجه به این‌که برای جلوگیری از بروز این‌گونه پدیده‌های زیان‌بار در حال حاضر نمی‌توان در عوامل و عناصر جوی تغییراتی ایجاد نمود؛ بنابراین، هرگونه راه‌حل اصولی و چاره‌ساز را باید در روی زمین و اختصاصاً در حوزه‌های آبخیز جست و جو کرد. از این نظر مناطقی که پتانسیل بالایی در تولید سیل دارند، باید به طریقی شناسایی شوند. مسلماً برای انجام این کار نیاز به شناسایی مناطق سیل‌خیز در داخل حوزه آبخیز است. زیرا به دلیل وسعت زیاد و گستردگی حوزه‌های آبخیز انجام عملیات اجرایی و اصلاحی به صورت اصولی امکان‌پذیر نخواهد بود (Arbabi et al., 2017). منظور از سیل‌خیزی، فراوانی وقوع سیل نیست، بلکه منظور استعداد و پتانسیل تولید سیل در سطح زیرحوزه آبخیز از نظر تأثیر و مشارکت در هیدروگراف سیل خروجی است (Jokar, 2002). میزان مشارکت زیرحوزه‌های آبخیز در تولید سیل خروجی حوزه آبخیز، صرفاً به یک عامل بستگی ندارد و اثر متقابل عوامل، تعیین‌کننده سهم مشارکت آن‌ها در سیل‌خیزی حوزه آبخیز است. ویژگی‌های فیزیکی حوزه آبخیز، ویژگی‌ها و اقدامات ناشی از فعالیت‌های بشری (تغییر کاربری اراضی، استفاده بی‌رویه از منابع طبیعی و غیره)، از جمله عواملی هستند که شناخت و دسته‌بندی آن‌ها در هر منطقه‌ای از اصول اولیه مهار سیلاب و خطرهای آن است (Razavi, 2009). برای مدیریت سیلاب، باید عوامل تولید و ایجاد سیل شناسایی شده و سپس مناطق دارای پتانسیل زیاد در تولید سیل تعیین شوند. تعیین پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوزه‌های آبخیز از جمله مطالعات پایه و اساسی است که می‌تواند گامی مهم در زمینه بسترسازی برای کاهش بلایای طبیعی باشد. مشخصات فیزیکی یک حوزه آبخیز از عوامل تعیین‌کننده رخ داد این حادثه بوده و اغلب مسائل هواشناسی، هیدرولوژی و حفاظت آب و خاک با آن در ارتباط مستقیم و غیرمستقیم است. در واقع یکی از مهم‌ترین ابزارها در تجزیه هیدرولوژیکی، بررسی پارامترهای مورفومتری حوزه آبخیز است که ارزیابی رفتار سیستم‌های هیدرولوژیکی حوزه آبخیز را امکان‌پذیر می‌کند (Angillieri, 2008). بهره‌گیری از اصول ژئومورفولوژیکی برای یافتن پتانسیل خطر سیل منجر به شناسایی روابط بین پارامترهای مورفومتری و

سیل می‌شود (Patton, 1988). در واقع پارامترهای مورفومتری به شناسایی و درک ویژگی‌های فیزیکی حوزه آبخیز و ارتباط آن‌ها با سیل کمک می‌کند (Bhatt and Ahmed, 2014). به کارگیری پارامترهای مورفومتری در مطالعات مخاطره سیل و تهیه نقشه پهنه‌بندی با استفاده از آن یک روش مفید، کارآمد و کم هزینه در مدیریت حوزه‌های آبخیز است. زیرا نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل، که به راحتی قابل استفاده بوده، باعث کاهش اثرات زیان‌بار سیل می‌شوند (Ganugula and Sinha, 2005). مفهوم مورفومتری دربرگیرنده اندازه‌گیری و تحلیل عددی سطح زمین، شکل، ابعاد و فرم اراضی است (Strahler, 1964). در رابطه با سیل‌خیزی، مورفومتری حوزه آبخیز دربرگیرنده شاخص‌های کمی و توصیف‌کننده خصوصیات فیزیکی حوزه آبخیز است که الگو و ویژگی‌های کمی سیل مانند مقدار، زمان وقوع، زمان تأخیر و هیدروگراف جریان را کنترل می‌کند. افزایش جمعیت و به دنبال آن تغییر کاربری اراضی منجر به برهم‌خوردن تعادل هیدرولوژیکی و افزایش سیل‌خیزی حوزه‌های آبخیز شده است. سیل از مهم‌ترین پدیده‌های طبیعی است که باعث هدررفت منابع طبیعی در حوزه‌های آبخیز می‌شود (Zavoianca, 1985). تجزیه مورفومتری حوزه آبخیز، کارکرد مهمی در جمع‌آوری داده‌های ناقص دارد و به تجزیه رفتار هیدرولوژیکی حوزه آبخیز کمک می‌کند. بنابراین، مطالعات مورفومتری شامل ارزیابی عوامل آبراهه به‌واسطه اندازه‌گیری مشخصات انواع مختلف آبراهه است (Kumar et al., 2000). برنامه‌ریزی حوزه‌های آبخیز از لحاظ توسعه پایدار و مدیریت سرزمین بسیار ضروری است. بنابراین، اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز و شناسایی خصوصیات مورفومتری به منظور شناسایی رفتار هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز و طراحی راهبردهای مدیریتی اهمیت زیادی دارند (Rahmati et al., 2015). از آن‌جا که سیلاب‌ها، چالش برانگیزترین و خسارت‌آورترین پدیده طبیعی هستند، شناسایی مناطق مستعد سیل در راهبرد جامع مدیریت سیلاب جایگاه ویژه‌ای دارد. (Alvarado-Aguilar et al., 2012; Markantonis et al., 2013; Marfai et al., 2015; Papaioannou et al., 2015). بنابراین، تهیه نقشه مناطق مستعد سیل، گام اساسی در مدیریت کلی خطر سیل برای کاهش تأثیرات سیل است (Rahmati and Pourghasemi, 2017).

مطالعات زیادی با روش‌های تصمیم‌گیری برای تعیین مناطق مستعد سیل انجام شده، که در ادامه ارائه شده است. مطالعه Papaioannou et al. (2015) چارچوبی را برای نقشه‌برداری از مناطق احتمالی سیل ارائه می‌دهد. این روش شامل سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، منطق فازی و تکنیک‌های خوشه‌بندی و روش‌های ارزیابی چندمعیاره است. این گروه‌ها به ویژگی‌های ژئوفیزیکی، ریخت‌شناسی، اقلیم‌شناسی/

اولويت‌بندی زيرحوزه‌های آبخيز براجين قزوين تأکيد نموده است. بدین‌منظور پتانسیل سيل‌خیزی زيرحوزه‌های آبخيز با به‌کارگیری تحليل سلسله مراتبی تعیین و نتایج سيل‌خیزی حاصل از HEC-HMS به‌عنوان داده‌های مشاهداتی مقایسه شد. نتایج نشان داد که علاوه بر تطابق کامل بین نقشه‌های طبقه‌بندی شده دو روش، همبستگی معناداری بین رتبه پتانسیل سيل‌خیزی حاصل از AHP و رتبه دبی پیک سيلاب با دوره برگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله زيرحوزه‌ها وجود دارد. در مطالعه‌ای (Odiiji et al. (2021) با هدف ارزیابی ویژگی‌های مورفومتري و اولويت‌بندی حوزه آبخيز بالایی رودخانه بنوه انجام شد. ۲۸ پارامتر مورفومتري در دو دسته خطی و مساحتی نقشه‌برداری شد. در اولويت‌بندی حوزه آبخيز از متغیرهای مورفومتري برای محاسبه و طبقه‌بندی عامل مرکب استفاده شد. اولويت‌بندی در سه کلاس زیاد، متوسط و کم طبقه‌بندی شد و نتایج نشان داد که زيرحوزه‌های آبخيز ۱۲، ۱۶، ۱۸، ۲۴، ۲۶ و ۲۷ در اولويت‌های بسیار بالایی قرار گرفتند.

اکثر پژوهش‌گران از روش‌های مختلف مانند تصمیم‌گیری، تجزیه منطقه‌ای و غیره برای سيل‌خیزی در مناطق که محدودیت داده هیدرومتری وجود دارد، استفاده می‌کنند، عدم وجود اطلاعات هیدرولوژیکی در حوزه‌های آبخيز به‌ویژه در شرق کشور و منطقه مورد مطالعه سبب شده تا در این پژوهش برای اولويت‌بندی زيرحوزه‌های آبخيز مستعد سيل از داده‌های مورفومتري و با استفاده از روش آنتروپی^۱ و مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره ویکور^۳ (VIKOR) در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی برای شمال دشت بیرجند استفاده شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخيز دشت بیرجند در بین محدوده جغرافیایی ۵۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۳۰ ثانیه طول جغرافیایی و ۳۲ درجه و ۳۰ ثانیه تا ۳۳ درجه عرض جغرافیایی واقع شده است. وسعت این محدوده ۳۱۵۵ کیلومتر مربع است که ۱۰۴۵ کیلومتر مربع دشت (۳۳ درصد) و بقیه آن را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. از نظر توپوگرافی مرتفع‌ترین نقطه آن مربوط به ارتفاعات شمالی منطقه بند دره با ارتفاع ۲۷۸۷ متر و پست‌ترین نقطه آن در خروجی دشت در روستای فدشک با ارتفاع ۱۲۴۰ متر بالاتر از سطح دریاهای آزاد قرار دارد. متوسط بارندگی سالانه منطقه ۱۷۸ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد است. رودخانه شاهرود مهم‌ترین زهکش سطح دشت بیرجند

هواشناسی و هیدرولوژیکی حوزه آبخيز و به کاربری زمین مربوط می‌شوند. روش‌های تجزیه چندمعیاره (MCA) از روند سلسله مراتبی تحلیلی و فازی تشکیل شده و با روش‌های مختلف استانداردسازی بهبود می‌یابند. برای اعتبارسنجی از روش داده‌های تاریخی طغیان سيل استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که چندین روش تجزیه چندمعیاره باید در بررسی‌های اولیه با هزینه کم در مناطق مستعد سيل و یا در تجزیه اولیه نقشه‌برداری خطر سيل در نظر گرفته شود. در پژوهشی، (Shirani and Chavoshi (2019) برای اولويت‌بندی ۲۴ زيرحوزه آبخيز زهره-جراحی از پارامترهای مورفومتري و مدل ترکیبی نوین تاپسیس-رگرسیون چندمتغیره خطی استفاده کردند. آن‌ها ۱۲ عامل مورفومتري شامل نگهداشت ثابت، تراکم زهکشی، عدد ناهمواری، ضریب نفوذ، شاخص توان آبراهه، فراوانی آبراهه، شیب، بافت زهکشی، نسبت ناهمواری، ضریب فرم، نسبت انشعاب و رطوبت توپوگرافی به همراه عامل اقلیمی بارندگی مورد مطالعه قرار دادند. به‌منظور تعیین وزن عوامل از مدل رگرسیون چندمتغیره و آمار پراکنش مکانی سيلاب‌های رخ داده در منطقه استفاده کردند و روش تصمیم‌گیری تاپسیس برای اولويت‌بندی زيرحوزه‌های آبخيز مورد استفاده قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که عوامل ناهمواری، شیب و مقدار متوسط بارندگی با کمیت به ترتیب ۰/۰۶۸، ۰/۰۲۴ و ۰/۰۱۶ بیش‌ترین تأثیر را در رخداد سيلاب دارند. همچنین، (Rahmati and Pourghasemi (2017) به بررسی کاربردهای جدید تابع باور آشکار (EBF)، جنگل تصادفی (RF) و مدل‌های درختان رگرسیون تقویت شده (BRT) برای شناسایی مناطق مستعد سيل در منطقه گالیکش ایران پرداختند. این پژوهش در سه مرحله اصلی از جمله آماده‌سازی داده‌ها، نقشه‌برداری از حساسیت سيل با استفاده از مدل‌های EBF، RF و BRT و اعتبارسنجی مدل‌های ساخته شده با استفاده از منحنی مشخصه عملکرد گیرنده (ROC) انجام شده است. عوامل مؤثر سيل در نظر گرفته شده در منطقه مورد مطالعه عبارتند از: ارتفاع، جهت شیب، زاویه شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی، انحنای نقشه، زمین‌شناسی، استفاده از زمین، فاصله از رودخانه‌ها، تراکم زهکشی و بافت خاک. در ادامه از آن، نقشه‌های FPA با استفاده از مدل‌های EBF، RF و BRT در محیط GIS تهیه شد. نتایج با استفاده از منحنی ROC و سطح زیر منحنی (AUC) تجزیه شد و نشان داد که مدل‌های EBF با $AUC=78/67$ و EBF با $AUC=78/22$ عملکرد بهتری نسبت به مدل RF با $73/37$ AUC = دارند.

بررسی‌های (Mosffaei et al. (2019) در جهت کارایی روش تحليل سلسله مراتبی برای پهنه‌بندی سيل‌خیزی و

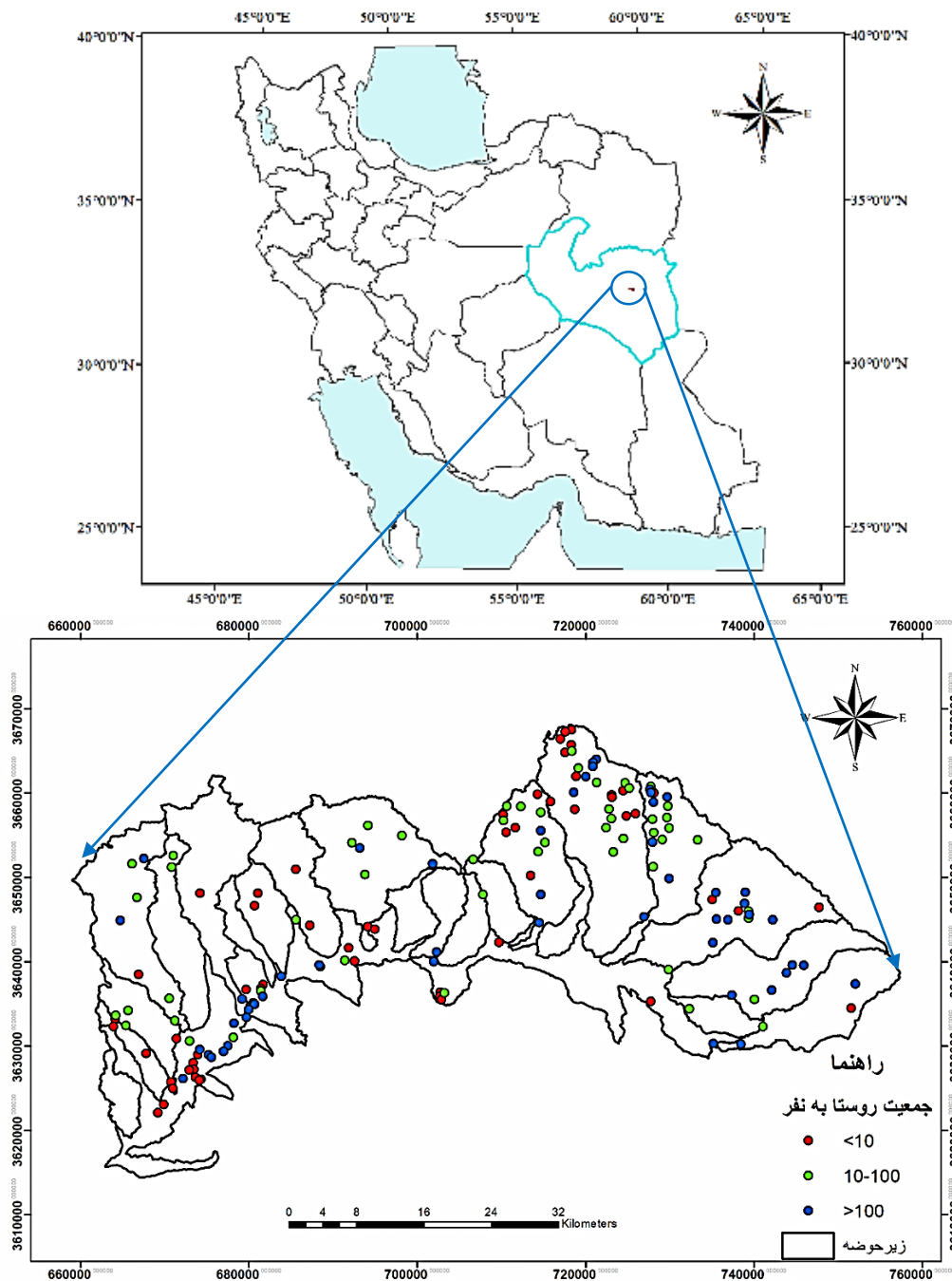
¹ Benue

² Entropy

³ Vise kriterijumsk optimiza kompromisno resenje

(شکل ۱). ۲۷ مورد از این روستاها کم‌تر از ۱۰ خانوار و یا خالی از سکنه هستند.

است که از ارتفاعات شرقی دشت سرچشمه گرفته و با طی مسیر ۱۰۸ کیلومتر به کویر لوت می‌ریزد (Sadeghiyan et al., 2013). بر اساس تعداد خانوار، در منطقه ۱۶۱ روستا وجود دارد



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
Figure 1- Geographical location of the study area

متفاوتی دارند، نیاز به تعیین اثرگذاری پارامترها وجود دارد که در این پژوهش از روش آنترابی شانون استفاده شد. همچنین، با استفاده از روش ویکور برای اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز در نرم‌افزار Excel بهره گرفته شد.

۲-۲- روش تحقیق

در این پژوهش برای اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز ۲۲ گانه شمال دشت بیرجند از ۱۴ عوامل مورفومتری، روش آنترابی و روش تصمیم‌گیری ویکور استفاده شد. از آنجایی که عوامل مورفولوژیکی حوزه آبخیز در فرآیندهای تشکیل رواناب تأثیر

این شاخص اندازه نسبت قطر دایره به بیش‌ترین طول حوزه آبخیز است (رابطه ۳) (Bull and McFadden, 1977).

$$Re = Dc / L \quad (3)$$

Dc؛ قطر دایره هم سطح با حوزه آبخیز و L؛ طول حوزه آبخیز است.

۲-۱-۴-۲-۴- شاخص ضریب شکل^۴ (RF)

ضریب شکل عبارت است از نسبت مساحت حوزه آبخیز به مجذور طول حوزه آبخیز و با علامت RF نشان داده می‌شود. شکل حوزه آبخیز معمولاً در روش‌های طراحی هیدرولوژیکی به‌طور مستقیم استفاده نمی‌شود (رابطه ۴) (Bull and McFadden, 1977).

$$RF = A / L^2 \quad (4)$$

A؛ مساحت حوزه آبخیز (کیلومتر مربع)، L؛ طول حوزه آبخیز (کیلومتر).

۲-۱-۵-۲-۲- شاخص پستی و بلندی^۵ (Bh)

برجستگی نسبی نقش مهمی در توسعه شبکه زهکشی، حرکت آب‌های سطحی و زیرزمینی، تراوایی، توسعه اشکال سطحی زمین و ویژگی‌های فرسایش عوارض زمینی دارد و مقدار بالای آن نشان‌دهنده شدت جریان آب، نفوذ پایین و مقدار بالای رواناب است. این شاخص، نشان‌دهنده ارتفاع نسبی یک حوزه آبخیز است و مقدار بالای برجستگی نسبی، بیان‌گر نرخ بالآمدگی بیش‌تر است که به دلیل فعالیت زمین‌ساختی بیش‌تر است (رابطه ۵) (Keller and Pinter, 2002).

$$BH = h_{max} - h_{min} \quad (5)$$

h_{max} ؛ حداکثر ارتفاع و h_{min} ؛ حداقل ارتفاع است.

۲-۱-۶-۲-۲- شاخص پیچ و خم رودخانه^۶ (S)

متناسب با تغییرات زمین‌ساختی که منجر به تغییر شیب دره رودخانه می‌شود، جهت حفظ تعادل شیب رودخانه، پیچ و خم رودخانه نیز جابه‌جا می‌شود. از نظر چارچوب نظری، در رودخانه‌هایی که تقریباً به حالت تعادل رسیده‌اند، رودخانه جهت حفظ تعادل بین شیب با دبی و رسوب‌گذاری، پیچ می‌خورد. در حالی که مستقیم بودن مسیر رودخانه بیش‌تر حاکی از جوان بودن منطقه و فعالیت نو زمین‌ساختی است. برای ارزیابی این شاخص از رابطه (۶) استفاده می‌شود:

$$S = c/v \quad (6)$$

S؛ میزان پیچ و خم آبراهه، c؛ طول رودخانه و v؛ طول دره است.

۲-۱-۲-۲- انتخاب عوامل مورفولوژی

عوامل مورفولوژی تأثیر مهمی در فرآیندهای هیدرولوژیکی و هدررفت منابع آب و خاک حوزه آبخیز دارند که ممکن است جنبه‌های خطی یا سطحی داشته باشند. شاخص‌های مورفومتري زیادی در خصوص حوزه‌های آبخیز وجود دارد که بر اساس اهمیت نسبی و داده‌های موجود مهم‌ترین آن‌ها برای اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز انتخاب می‌شوند. به‌طور کلی شاخص‌های مورفومتري در دو دسته کمیت‌های توپوگرافی، شامل شاخص انتگرال هیپسومتري (Hi)، سینوسی جبهه کوهستان (Smf)، نسبت کشیدگی (Re)، شکل حوزه آبخیز (Rf)، پستی و بلندی (Bh)، شیب متوسط (Sl)، برای حوزه‌های آبخیز و جبهه کوهستان و شاخص زهکشی مانند شاخص سینوسیته رودخانه اصلی (S)، عدم تقارن حوزه آبخیز (Af)، پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf)، تراکم زهکشی (Dd)، نسبت انشعابات (Br)، نسبت بافت (Te)، شاخص نگهداشت کانال (C) و شاخص تقارن توپوگرافی (T) مورد استفاده قرار گرفتند (Shafei Bafti, 2018).

۲-۱-۱-۲-۲- شاخص انتگرال هیپسومتري^۱ (Hi)

منحنی‌های هیپسومتري، توزیع سطوح ارتفاعی یک منطقه از زمین، یک حوزه آبخیز تا تمام سطح سیاره زمین را می‌توانند مورد ارزیابی و توصیف (ارتفاع نسبی) قرار دهند و در مقابل مساحت کل (مساحت نسبی) حوزه آبخیز ترسیم می‌شود (Keller and Pinter, 2002) (رابطه ۱).

$$(1) \quad \frac{\text{ارتفاع حداقل حوزه آبخیز} - \text{ارتفاع متوسط حوزه آبخیز}}{\text{ارتفاع حداقل حوزه آبخیز} - \text{ارتفاع حداکثر حوزه آبخیز}} = \text{انتگرال هیپسومتري}$$

۲-۱-۲-۲- شاخص سینوسی جبهه کوهستان^۲ (Smf)

شاخص سینوسی جبهه کوهستان، بیانگر تعادل بین نیروهای فرسایش‌دهنده و نیروهای زمین‌ساخت است (رابطه ۲) (Keller and Pinter, 2002).

$$Smf = Lmf / LS \quad (2)$$

Smf؛ شاخص سینوسی جبهه کوهستان، Lmf؛ طول مسطحاتی منحنی شکل جبهه کوهستان در امتداد تقاطع دشت سرو کوه یا همان خط کنیک کوهستان و Ls؛ طول مستقیم جبهه کوهستان است.

۲-۱-۳-۲-۲- شاخص نسبت کشیدگی حوزه آبخیز^۳ (Re)

⁴ Form factor

⁵ Basin relief

⁶ Sinuosity index of river

¹ Hypometric integral index

² Mountain front sinosity

³ Drainage basin elongation ratio

پیوستن دو جریان مرتبه اول حاصل می‌شود و عنوان شماره دو تعیین می‌شود. دو جریان مرتبه دوم به‌عنوان یک جریان مرتبه سوم و در ادامه رتبه‌های دیگر شکل می‌گیرد. ترتیب جریان می‌تواند با ترتیب سلسله مراتبی یک جریان در حوزه آبخیز زهکشی تعیین شود. یک حوزه آبخیز می‌تواند شامل چندین آبراهه باشد. بخش‌های مختلف حوزه آبخیز می‌توانند خصوصیات مورفومتری متفاوت داشته باشد. بنابراین، برای قرار دادن موقعیت نسبی یک بخش در حوزه آبخیز که در آن سیستم سلسله مراتبی آبراهه‌ها از قطعه جریان متصور می‌شود، لازم می‌شود (Talling and Sowter, 1999).

$$Br = N_{\mu} / N_{\mu+} \quad (10)$$

۲-۲-۱-۱۱- شاخص نسبت بافت^۵ (Te)

نسبت بافت به‌عنوان رابطه بین جریان‌های مرتبه اول و محیط حوزه آبخیز است (Gangalakunta et al., 2004). مقدار این شاخص به ژئولوژی زیرین، ظرفیت نفوذ سنگ بستر و پستی و بلندی زیرحوزه‌های آبخیز بستگی دارد.

$$T = R/P \quad (11)$$

R: طول اولین آبراهه و P: محیط حوزه آبخیز است.

۲-۲-۱-۱۲- شاخص نگهداشت کانال^۶ (C)

این شاخص به نوع سنگ، نفوذپذیری، رژیم اقلیمی، پوشش گیاهی، پستی و بلندی و فرسایش وابسته است (Karmi, 2018). فاکتور C به‌عنوان معکوس تراکم زهکشی بیان شده است.

$$C = A/L \quad (12)$$

۲-۲-۱-۱۳- شاخص تقارن توپوگرافی^۷ (T)

برای حوزه آبخیزی که کاملاً متقارن است، شاخص T مساوی عدد صفر خواهد بود. هرچقدر عدم تقارن توپوگرافی حوزه آبخیزی افزایش یابد، مقدار شاخص نیز بالا می‌رود و به عدد یک نزدیک می‌شود. لذا شاخص T برداری است با یک جهت که بزرگی آن از صفر تا یک متغیر است (رابطه ۱۳) (Karmi, 2018).

$$T = DA/Dd \quad (13)$$

DA: فاصله از خط وسط حوزه آبخیز به کمر بند متاندر فعال و Dd: فاصله از خط وسط حوزه آبخیز به خط تقسیم آب است.

۲-۳- تعیین اهمیت نسبی عوامل مورفولوژی

۲-۲-۱-۷- شاخص عدم تقارن حوزه آبخیز زهکشی^۱ (AF)

از شواهد تکتونیک فعال، مقایسه مساحت حوزه آبخیز دربرگیرنده آبراهه‌ها و زهکش‌های فرعی در دو سوی یک آبراهه اصلی است. اگر در یک حوزه آبخیز آبی تکتونیک در یک سمت آبراهه اصلی فعال باشد، در سمت دیگر آبراهه، فرونشست ایجاد می‌شود. در نتیجه مساحت حوزه آبخیز دربرگیرنده آبراهه‌های فرعی در سمت راست دارای فرسایش فعال بیش از سمت مقابل خواهد بود. این شاخص از رابطه زیر به‌دست می‌آید. (Zovoili et al., 2004):

$$AF = 100 (Ar / At) \quad (14)$$

Ar: مساحت حوزه آبخیز در سمت راست آبراهه اصلی (به طرف پایین دست حوزه آبخیز)، At: مساحت کل حوزه آبخیز.

۲-۲-۱-۸- شاخص نسبت پهنای دره به ارتفاع آن^۲ (VF)

این شاخص به‌صورت زیر تعریف می‌شود (Zovoili et al., 2004):

$$Vf = 2 vfw / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)] \quad (15)$$

Vf: نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن، vfw: پهنای کف دره (متر)، Erd و Eid به ترتیب ارتفاع دیواره سمت چپ و دیواره سمت راست دره و Esc: ارتفاع دره می‌باشد.

۲-۲-۱-۹- تراکم زهکشی^۳ (Dd)

تراکم زهکشی شاخص ژئومورفولوژیکی مهمی برای حوزه‌هایی به‌شمار می‌آید که آبراهه‌های آن منعکس‌کننده چشم‌اندازهاست (Schumm, 1997). این شاخص ممکن است نشان‌دهنده تأثیر زمین‌ساخت فعال در منطقه باشد (Talling and Sowter, 1999). تراکم زهکشی از نسبت مجموع طول تمام آبراهه‌های یک حوزه آبخیز به مساحت آن محاسبه می‌شود (Horton, 1945). این شاخص از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$Dd = Lu / A \quad (16)$$

Dd: تراکم زهکشی، Lu: مجموع طول آبراهه و A: مساحت حوزه آبخیز زهکشی است.

۲-۲-۱-۱۰- شاخص نسبت انشعابات^۴ (BR)

نسبت انشعابات (Rb) مربوط به الگوی انشعاب شبکه زهکشی، به‌عنوان نسبت تعداد یک جریان از یک دستور معین (N_{μ}) به تعداد مرتبه بالاتر بعدی ($N_{\mu+1}$) بیان شده و از رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود. به‌عبارتی دیگر قطعه جریانی است که از

¹ Asymmetry factor

² Valley floor to valley height Ratio

³ Drainage density

⁴ Bifurcation ratio

⁵ Texture ratio

⁶ Constant of channel maintenance

⁷ Transverse topography symmetry

گونه است: ۱) تشکیل ماتریس تصمیم (جدول ۱)، ۲) نرمال‌سازی داده‌ها (جدول ۲)، ۳) محاسبه آنتروپی هر شاخص (آنتروپی E_j به صورت رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود و k به عنوان مقدار ثابت مقدار E_j را بین صفر و یک نگه می‌دارد.

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \times \ln p_{ij} = 1.2.000. m \quad (14)$$

در آن $p(x)$ توزیع احتمال متغیر تصادفی X است. افزایش در آنتروپی شانون باعث افزایش عدم اطمینان و کاهش اطلاعات در مورد دانش متغیر تصادفی می‌شود. جنبه جالب دیگر آنتروپی شانون ویژگی حداکثر آنتروپی آن برای توزیع یکنواخت است.

۴) محاسبه مقدار درجه انحراف (d_j) که بیان‌گر آنست که (d_j) چه میزان اطلاعات مفید برای تصمیم‌گیری در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد. هرچه مقادیر اندازه‌گیری شده شاخصی به هم نزدیک باشند نشان‌دهنده آن است که گزینه‌های دیگر از نظر آن شاخص تفاوت چندانی با یک‌دیگر ندارند (رابطه ۱۵).

$$d_j = 1 - E_j \quad (15)$$

۵) محاسبه مقدار وزن (W_j). در واقع وزن معیار برابر با هر d_j تقسیم بر مجموع d_j ها است (جدول ۲ ردیف ۲) (رابطه ۱۶).

$$W_j = d_j / E_j \quad (16)$$

یکپارچه‌سازی داده‌ها در محیط GIS برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سيل از آغاز قرن ۲۱ به‌طور مداوم ارتقاء یافته است (Zerger and Smith, 2003). از آنجایی که عوامل مورفولوژی حوزه آبخیز در فرآیند تشکیل رواناب تأثیر متفاوتی دارند، لذا به تعیین تأثیر عوامل نیاز است که در این پژوهش از روش آنتروپی شانون استفاده شده است.

۲-۳-۱- آنتروپی شانون

روشی برای سنجش وزن عوامل مؤثر بر اساس میزان پراکندگی و فراوانی‌های مشاهده شده از عناصر ماتریس است. از این روش بیش‌تر برای سنجش میزان اهمیت معیارها در یک ماتریس تصمیم در تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده می‌شود (جدول ۱). پژوهش‌گران در تحلیل محتوا نیز از آنتروپی شانون استفاده می‌کنند. در واقع آنتروپی مفهومی در تئوری اطلاعات است که به میزان اطلاعات دریافتی از هر داده اشاره دارد. شانون در مفهوم آنتروپی به میزان عدم اطمینان موجود در داده دریافتی اشاره دارد و آن را با یک تئوری احتمال بیان کرده است. آنتروپی در تئوری اطلاعات، شاخصی برای اندازه‌گیری عدم اطمینان که به‌وسیله یک توزیع احتمالی بیان می‌شود، است (Blanc and Ermine, 2006). مراحل انجام روش آنتروپی شانون به این

جدول ۱- ماتریس تصمیم
Table 1- Decision matrix

زیرحوزه آبخیز	Smf	Af	T	Hi	Bh	Dd	S	Re	Te	C	Rf	Vf	Br	Sl
B1	1.13	2.99	0.39	0.30	283	1.68	1.07	0.55	0.88	0.60	0.25	1.39	1.63	5.30
B2	1.10	7.26	0.46	0.31	310	2.00	1.20	0.20	0.66	0.50	0.14	0.90	1.77	6.11
B3	1.19	17.91	0.53	0.22	817	1.83	1.15	0.45	0.89	0.55	0.17	2.19	2.78	11.07
B4	1.42	29.92	0.77	0.39	919	1.75	1.16	0.27	1.67	0.57	0.24	0.37	1.87	7.53
B5	1.12	6.31	0.35	0.26	893	1.82	1.12	0.22	1.04	0.55	0.15	20.60	1.97	9.75
B6	1.06	2.75	0.36	0.38	1091	1.60	1.15	0.22	1.11	0.63	0.17	1.10	1.63	9.40
B7	1.09	7.08	0.73	0.29	665	1.96	1.18	0.19	0.62	0.51	0.13	1.84	1.68	13.19
B8	1.11	9.56	0.42	0.28	820	2.16	1.16	0.28	1.55	0.46	0.25	5.34	2.14	11.31
B9	1.17	7.77	0.39	0.40	735	1.69	1.07	0.29	1.40	0.59	0.28	0.54	8.66	7.90
B10	1.00	0.08	0.24	0.33	831	1.81	1.10	0.33	1.80	0.55	0.42	3.22	1.83	6.51
B11	1.04	24.95	0.36	0.33	461	1.99	1.13	0.25	0.91	0.50	0.27	0.62	1.84	8.16
B12	1.04	11.35	0.39	0.32	801	2.08	1.09	0.59	1.23	0.48	0.29	1.04	1.89	12.96
B13	1.12	19.91	0.67	0.22	795	2.16	1.17	0.35	1.09	0.46	0.27	0.34	1.77	13.68
B14	1.18	13.88	0.72	0.31	721	1.98	1.12	0.65	1.44	0.50	0.33	0.77	2.35	11.54
B15	2.12	19.18	0.31	0.35	849	1.91	1.08	0.62	1.96	0.52	0.30	1.31	2.42	7.73
B16	1.12	4.72	0.69	0.28	378	2.15	1.15	0.48	0.82	0.47	0.19	1.26	2.24	7.08
B17	2.03	21.88	0.52	0.41	853	1.88	1.16	0.61	2.73	0.53	0.30	1.96	3.58	5.72
B18	0.88	21.17	0.68	0.44	947	1.80	1.10	0.53	1.44	0.55	0.22	1.11	2.01	8.52
B19	1.01	13.34	0.24	0.43	1035	1.77	1.15	0.58	2.14	0.56	0.29	0.43	1.82	7.52
B20	1.26	22.87	0.51	0.36	1030	1.95	1.18	0.49	1.58	0.51	0.20	1.28	7.24	8.80
B21	1.17	2.51	0.24	0.39	296	2.07	1.15	0.57	1.26	0.48	0.24	0.54	1.58	5.21
B22	1.37	3.82	0.26	0.36	1021	1.96	1.04	0.50	1.46	0.51	0.20	0.16	2.14	9.81

معرفی کامل این مدل پرداخته شده است. روش ویکور یکی از مدل‌های پرکاربرد در تصمیم‌گیری و انتخاب گزینه برتر است.

۲-۳-۲- مدل ویکور (VIKOR)

مدل ویکور از جمله مدل‌های تصمیم‌گیری است که با توجه به اهداف و نیاز پژوهش در این مطالعه استفاده شده که در ادامه به

مدل‌ها، در این مدل‌ها مقایسات زوجی بین معیارها و گزینه‌ها صورت نمی‌گیرد و هر گزینه مستقلاً توسط یک معیار سنجیده و ارزیابی می‌شود (Duckstein and Opricovic, 1980). مراحل انجام روش ویکور به شرح زیر است:

مرحله ۱) در این مرحله ماتریس تصمیم یا ماتریس امتیازدهی گزینه‌ها بر اساس معیارها تشکیل می‌شود. ماتریس تصمیم با X و هر درایه آن با x_{ij} نشان داده می‌شود (جدول ۱).

مرحله ۲) نرمال‌سازی داده‌ها دومین مرحله در حل تمامی تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر ماتریس تصمیم است. در این روش از نرمال‌سازی خطی استفاده شد (جدول ۲).

مرحله ۳) تعیین نقطه ایده‌آل مثبت و منفی (جدول ۳). برای هر معیار، بهترین و بدترین را در میان همه گزینه‌ها تعیین کرده و به ترتیب f^+ و f^- می‌نامیم.

مرحله ۴) تعیین سودمندی (S) و تأسّف (R) (جدول ۴). مقدار سودمندی (S) و مقدار تأسّف (R) به ترتیب بیان‌گر فاصله نسبی گزینه نام از نقطه ایده‌آل و حداکثر ناراحتی گزینه نام دوری از نقطه ایده‌آل است.

این مدل از سال ۱۹۸۴ بر مبنای روش توافق جمعی و با داشتن معیارهای متضاد تهیه شده و عموماً برای حل مسائل گسسته کاربرد دارد و برای بهینه‌سازی چندمعیاره سیستم‌های پیچیده توسعه یافته است (Duckstein and Opricovic, 1980). روش ویکور روی دسته‌بندی و انتخاب از یک مجموعه گزینه‌ها تمرکز داشته و جواب‌های سازشی را برای یک مسأله با معیارهای متضاد تعیین می‌کند، به طوری که قادر است تصمیم‌گیران را برای دستیابی به یک تصمیم نهایی یاری دهد. در این‌جا جواب سازشی نزدیک‌ترین جواب موجه به جواب ایده‌آل است که کلمه سازش به یک توافق متقابل اطلاق می‌شود. در واقع مدل ویکور از طریق ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیارها، گزینه‌ها را اولویت‌بندی یا رتبه‌بندی می‌کند. در این مدل معیارها وزن‌دهی نمی‌شوند، بلکه معیارها از طریق روش‌های دیگر ارزیابی می‌شود و سپس گزینه‌ها بر اساس معیارها و با ترکیب در ارزش معیارها، ارزیابی شده و رتبه‌بندی می‌شوند. در این مدل همواره چند گزینه مختلف وجود دارد که این گزینه‌ها بر اساس چند معیار به صورت مستقل ارزیابی می‌شوند و در نهایت گزینه‌ها بر اساس ارزش، رتبه‌بندی می‌شوند. تفاوت اصلی این مدل با مدل‌های تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی یا شبکه‌ای این است که برخلاف آن

جدول ۲- ماتریس نرمال شده

Table 2- Normalized matrix

زیرحوزه آبخیز	Smf	Af	T	Hi	Bh	Dd	S	Re	Te	C	Rf	Vf	Br	Sl
وزن عوامل	0.02	0.16	0.04	0.01	0.04	0.00	0.00	0.05	0.04	0.00	0.03	0.51	0.10	0.02
B1	0.04	0.01	0.04	0.04	0.02	0.04	0.04	0.060	0.03	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03
B2	0.04	0.03	0.05	0.04	0.02	0.05	0.05	0.022	0.02	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03
B3	0.05	0.07	0.05	0.03	0.05	0.04	0.05	0.049	0.03	0.05	0.03	0.05	0.05	0.06
B4	0.05	0.11	0.08	0.05	0.06	0.04	0.05	0.029	0.06	0.05	0.05	0.01	0.03	0.04
B5	0.04	0.02	0.03	0.04	0.05	0.04	0.05	0.024	0.04	0.05	0.03	0.42	0.04	0.05
B6	0.04	0.01	0.04	0.05	0.07	0.04	0.05	0.024	0.04	0.05	0.03	0.02	0.03	0.05
B7	0.04	0.03	0.07	0.04	0.04	0.05	0.05	0.021	0.02	0.04	0.02	0.04	0.03	0.07
B8	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.030	0.05	0.04	0.05	0.11	0.04	0.06
B9	0.04	0.03	0.04	0.06	0.04	0.04	0.04	0.031	0.05	0.05	0.05	0.01	0.15	0.04
B10	0.04	0.00	0.02	0.05	0.05	0.04	0.04	0.036	0.06	0.05	0.08	0.07	0.03	0.03
B11	0.04	0.09	0.04	0.05	0.03	0.05	0.05	0.027	0.03	0.04	0.05	0.01	0.03	0.04
B12	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.064	0.04	0.04	0.05	0.02	0.03	0.07
B13	0.04	0.07	0.07	0.03	0.05	0.05	0.05	0.038	0.04	0.04	0.05	0.07	0.03	0.07
B14	0.04	0.05	0.07	0.04	0.04	0.05	0.05	0.070	0.05	0.04	0.06	0.02	0.04	0.06
B15	0.08	0.07	0.03	0.05	0.05	0.05	0.04	0.067	0.07	0.04	0.06	0.03	0.04	0.04
B16	0.04	0.02	0.07	0.04	0.02	0.05	0.05	0.052	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04
B17	0.08	0.08	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.066	0.09	0.05	0.06	0.04	0.06	0.03
B18	0.03	0.08	0.07	0.06	0.06	0.04	0.04	0.057	0.05	0.05	0.04	0.02	0.04	0.04
B19	0.04	0.05	0.02	0.06	0.06	0.04	0.05	0.063	0.07	0.05	0.06	0.01	0.03	0.04
B20	0.05	0.08	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.053	0.05	0.04	0.04	0.03	0.13	0.05
B21	0.04	0.01	0.02	0.05	0.02	0.05	0.05	0.062	0.04	0.04	0.05	0.01	0.03	0.03
B22	0.05	0.01	0.03	0.05	0.06	0.05	0.04	0.054	0.05	0.04	0.04	0.00	0.04	0.05

جدول ۳- تعیین نقطه ایده‌آل مثبت و منفی

Table 3- Determine positive and negative idea point

	Smf	Af	T	Hi	Bh	Dd	S	Re	Te	C	Rf	Vf	Br	Sl
f+	0.08	0.00	0.08	0.07	0.07	0.05	0.05	0.07	0.02	0.04	0.08	0.00	0.15	0.07
f-	0.04	0.12	0.03	0.03	0.02	0.04	0.04	0.02	0.09	0.05	0.02	0.42	0.03	0.03

جدول ۴- تعیین سودمندی و تأسف
Table 4- Determine usefulness and regret

	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	B 7	B 8	B 9	B 10	B 11	B 12	B 13	B 14	B 15	B 16	B 17	B 18	B 19	B 20	B 21	B2 2	
Rj	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.0
	10	09	09	15	51	10	10	13	04	09	13	09	15	09	11	09	11	11	09	12	10	9	
Sj	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.2
	26	30	34	35	78	26	29	40	17	30	38	23	30	24	34	24	32	30	28	26	25	2	

مزایای تجزیه بر اساس رابطه آماری و واقعی بین عوامل مورفومتري کاهش خطای ناشی از مقایسه‌های نظری مدیران در اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز بوده و با دقت بیشتر و به واقعیت نزدیک‌تر خواهد شد (Aher et al., 2014; Rahmati et al., 2015).

در اولویت‌بندی سيل‌خیزی زیرحوزه‌های آبخیز همه عوامل از نظر تأثیرگذاری یکسان نیستند؛ به‌طوری‌که بعضی عوامل با افزایش تأثیر مثبت و بعضی تأثیر منفی در سيل‌خیزی دارند. به‌طور مثال هرچه مقدار تراکم زهکشی افزایش پیدا کند تأثیر مثبت دارد و باعث افزایش سيل می‌شود در صورتی‌که پارامتر شاخص نگهداشت کانال هر چه کم‌تر باشد سيل‌خیزی بیشتر می‌شود. این دیدگاه در بسیاری از مطالعات برجسته نشده، لذا در این پژوهش بر اساس نظرات کارشناسان و مطالعات پیشین ماهیت پارامترها تعیین شده است. در این بررسی افزایش شاخص‌های عدم تقارن حوزه آبخیز، شاخص نسبت بافت، شاخص نگهداشت کانال و شاخص نسبت پهنای دره به ارتفاع تأثیر منفی داشته و با افزایش آن‌ها سيل‌خیزی کم‌تر و سایر عوامل تأثیر مثبت دارند به‌طوری‌که با افزایش آن‌ها سيل‌خیزی و تولید رواناب هم افزایش می‌یابد که با پژوهش Esmaili et al. (2016) که همه معیارها با افزایش کمیت تأثیر مثبت ندارند مطابقت دارد.

به‌منظور مدیریت بهینه و صرفه‌جویی در هزینه و زمان، اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز به لحاظ سيل‌خیزی و اقدامات آبخیزداری ضروری است (Rahmati et al., 2017; Razavizadeh and Shahedi, 2017). پژوهش‌گران با روش‌های مختلفی از جمله روش‌های آماری و تصمیم‌گیری از عوامل زیادی استفاده کرده‌اند (Rahmati et al., 2015; Amiri et al., 2017)، که در این پژوهش فقط از عوامل مورفومتري استفاده شد. نتایج نشان داد که روش‌های مبتنی بر تجزیه مورفومتري توانایی خوبی برای اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز فاقد آمار و اطلاعات را دارند (جدول ۵، شکل ۲) که با نتایج Rahmati et al. (2015) هم‌خوانی دارد.

مرحله ۵) محاسبه شاخص ویکور (جدول ۵). در مرحله پایانی با استفاده از تکنیک ویکور، گزینه‌ها بر اساس مقادیر S، R و Q در سه گروه از کوچک به بزرگ مرتب می‌شوند. بهترین گزینه کوچک‌ترین Q را دارد به شرط آن‌که؛ ۱) گزینه A₁ باید حداقل در یکی از گروه‌های R و S به‌عنوان رتبه برتر شناخته شود. در صورت عدم برقراری شرط نخست هر دو گزینه بهترین خواهند بود. اگر شرط دوم برقرار نباشد گزینه A₁ و A₂ هر دو گزینه برتر هستند. ۲) اگر گزینه A₁ و A₂ در میان m گزینه رتبه اول و دوم را داشته باشند، باید رابطه زیر برقرار باشد:

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq \frac{1}{m-1} \quad (17)$$

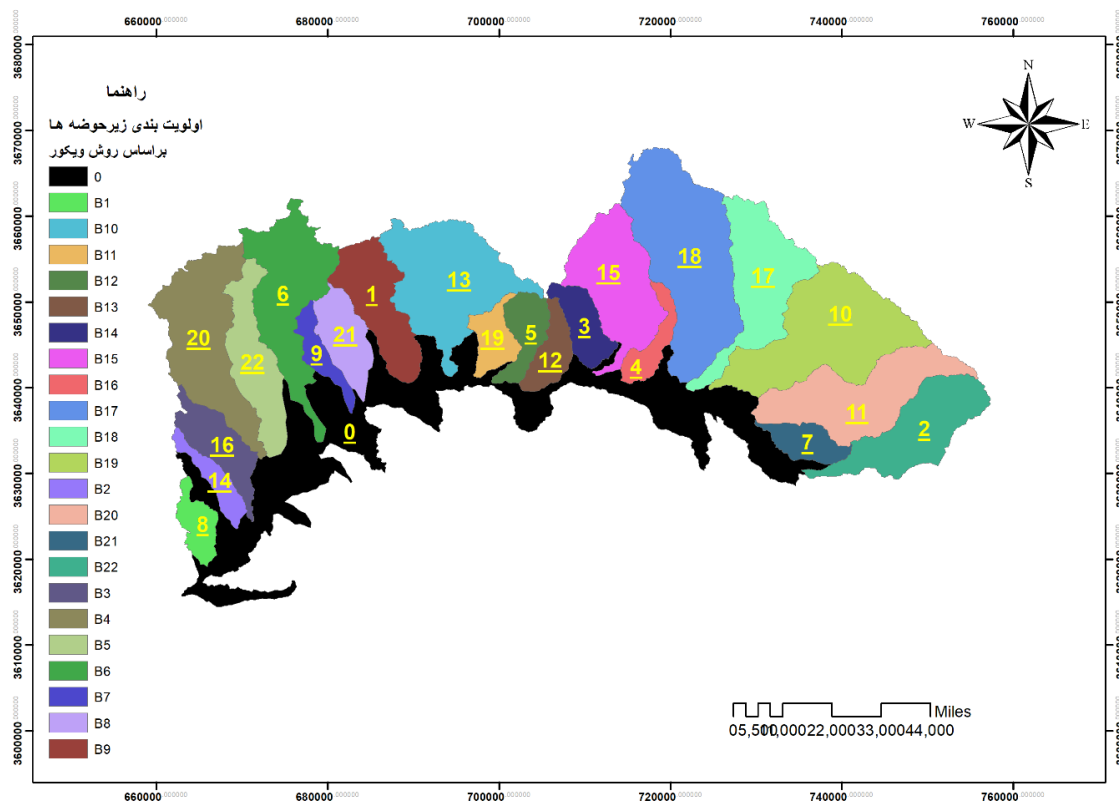
۳- نتایج و بحث

تحلیل‌های مبتنی بر عوامل مورفومتري زیرحوزه‌های آبخیز به‌دلیل ثابت بودن شرایط فیزیوگرافی و مورفومتري همواره قابل دسترس و مورد اعتماد بوده که می‌توان بر اساس آن برای اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز استفاده نمود (Aher et al., 2014). عوامل مورفومتري در شناسایی و تعیین مناطق پرخطر سیلاب حائز اهمیت هستند و تأثیر هر کدام بر سيل‌خیزی یکسان نبوده و ضروری است تا اهمیت هر پارامتر تعیین شود. برای تعیین میزان تأثیر عوامل مختلف مورفومتري (۱۴ پارامتر) در سيل‌خیزی حوزه آبخیز شمال دشت بیرجند از روش آن‌تروپی شانون استفاده شد (جدول ۲، ردیف ۲). نتایج نشان داد که شاخص پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf) با اهمیت نسبی ۰/۵۱ بیش‌ترین تأثیر را در سيل‌خیزی و اولویت‌بندی داشته است که با نتایج (Shirani and Chavoshi, 2019) که عوامل کمیت ناهمواری، شیب و مقدار متوسط بارندگی را مؤثرترین عوامل به‌دست آوردند، (Rahmati et al., 2015) که کمیت ناهمواری و ضریب فرم و (Amiri et al., 2017) که درجه شیب و تراکم زهکشی را به‌عنوان مؤثرترین عوامل به‌دست آوردند، مطابقت ندارد. همچنین، با نتایج (Beheshti Javid et al., 2018) که ادعان می‌دارند مناطق مختلف از نظر سيل‌خیزی با هم متفاوت بوده و تحت تأثیر عوامل مورفومتري زیرحوزه‌های آبخیز و پوشش زمین قرار داشته، مطابقت دارد. شاخص نگهداشت کانال (C) و شاخص پیچ و خم رودخانه (S) کم‌ترین تأثیر را در سيل‌خیزی زیرحوزه‌های آبخیز مورد مطالعه داشته است. یکی از

نتایج جدول ۵ نشان داد که زیرحوزه آبخیز ۹ از نظر سیل‌خیزی در منطقه با استفاده از روش تصمیم‌گیری ویکور در شاخص Q و S رتبه یک و شاخص R رتبه دو که در مجموع از اولویت بیش‌تری نسبت به زیرحوزه‌های آبخیز دیگر برخوردار است. سپس زیرحوزه‌های آبخیز ۲۲ و ۱۴ در رتبه دوم و سوم قرار گرفته‌اند. دلیل آن تأثیر شاخص‌های پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf) و نسبت انشعابات (Br) است. این شاخص‌ها با اهمیت نسبی ۰/۵ و ۰/۱ بیش‌ترین تأثیر را در این روش داشته‌اند. بنابراین، این سه زیرحوزه آبخیز برای اجرای پروژه‌های بیولوژیکی و مکانیکی آبخیزداری بر اساس عوامل مورفومتری برای کنترل سیل در اولویت هستند (جدول ۵). مدل تصمیم‌گیری ویکور توانایی زیادی در تعیین اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز داشت که با نتایج Tajbakhsh et al. (2022) به دلیل قابلیت استفاده از چندین معیار به صورت کمی و کیفی و پیشنهاد بهترین مکان با توجه به هدف که می‌تواند اطلاعات با ارزشی را در زمینه اولویت‌بندی عملیات اجرایی در راستای مدیریت جامع حوزه آبخیز ارائه نماید، هم‌خوانی دارد.

جدول ۵- رتبه‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز بر اساس Q, S, R
Table 5- Ranking of sub-watersheds based on Q, S, R

زیرحوزه آبخیز	Q	رتبه	S	رتبه	R	رتبه
B1	0.14	8	0.27	8	0.13	19
B2	0.17	13	0.31	13	0.11	15
B3	0.18	17	0.33	18	0.11	16
B4	0.27	20	0.36	19	0.10	8
B5	1.00	22	0.79	22	0.09	4
B6	0.14	6	0.27	7	0.10	10
B7	0.16	11	0.30	11	0.13	20
B8	0.28	21	0.41	21	0.10	14
B9	0.00	1	0.18	1	0.09	2
B10	0.17	12	0.31	14	0.10	12
B11	0.26	19	0.38	20	0.12	18
B12	0.14	7	0.27	9	0.04	1
B13	0.17	14	0.31	12	0.10	6
B14	0.11	3	0.24	3	0.09	5
B15	0.18	15	0.31	16	0.09	3
B16	0.11	4	0.25	4	0.16	21
B17	0.20	18	0.33	17	0.12	17
B18	0.18	16	0.31	15	0.10	11
B19	0.15	9	0.29	10	0.10	7
B20	0.15	10	0.26	6	0.10	13
B21	0.13	5	0.25	5	0.52	22
B22	0.09	2	0.22	2	0.10	9



شکل ۲- اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز شمال دشت بیرجند با استفاده از روش ویکور
Figure 2- Prioritization of sub-watersheds in the north Birjand Plain using the Vikor method

۴- نتیجه‌گیری

تجربی، تحلیل آماری داده‌های سیلاب، تفکیک حوزه آبخیز به تعدادی زیرحوزه آبخیز، مدل‌های تصمیم‌گیری، داده‌های دورسنجی و GIS و تلفیق آن‌ها با تجزیه مورفومتری است. خصوصیات مورفومتری هر زیرحوزه آبخیز، مانند اثر انگشت آن است و می‌توان بر اساس آن به اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز برای کنترل سیلاب پرداخت. بررسی سیل‌خیزی شمال دشت بیرجند بر اساس این عوامل نشان داد که زیرحوزه‌های آبخیز ۹، ۲۲ و ۱۴ به ترتیب در اولویت یک تا سه قرار دارند که می‌تواند برای اجرای عملیات آبخیزداری بسیار با اهمیت بوده و مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی به شماره ابلاغیه ۲۱۶۸۶/د/۱۴۰۰ مورخه ۱۲/۱۸/۱۴۰۰ و با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه بیرجند انجام شده است که بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه تقدیر و تشکر می‌شود.

منابع

- اساس آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری، *ا. کوهیدرولوژی*، (۲)۳، ۱۶۱-۱۵۱. doi:10.22059/ije.2015.56241
- رضوی‌زاده، سمانه، و شاهدی، کاکا (۱۳۹۵). اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های حوزه آبخیز طالقان با استفاده از تلفیق AHP و TOPSIS. *ا. کوهیدرولوژی طبیعی ایران*، ۷(۴)، ۳۳-۴۶.
- رضوی، احمد (۱۳۸۷). اصول تعیین حریم منابع آب. چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعت آب و برق تهران، ۳۳۴ صفحه.
- سلاجقه، علی، رضوی‌زاده، سمانه، و سلاجقه، سوسن (۱۳۸۹). اولویت سیل در حوضه‌های فرعی تانگاب در استان فارس با استفاده از مدل اسکالوگرام. اولین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا، کرمان.
- شیرانی، کورش، و چاوشی، ستار (۱۳۹۷). بهینه‌بندی سیل‌خیزی حوضه با تأکید بر تحلیل‌های کمی ژئومورفومتریک. *علوم آب و خاک*، ۲۲(۴)، ۵۹-۷۲. doi:10.29252/jstnar.22.4.59
- صادقیان، آزاده، واقعی، یداله، و محمدزاده، محسن (۱۳۹۲). پیش‌بینی تغییرات مکانی-زمانی سطح آب زیرزمینی در دشت بیرجند به روش کریجینگ. *آب و فاضلاب*، ۲۴(۱)، ۹۴-۱۰۰.
- مصفايي، جمال، کمالی، مهدی، صالح‌پور جم، امین، سلیمانی، کریم، شاهدی، کاکا، و یوسف‌گمرکچی، افشین (۱۳۹۹). بررسی کارایی تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی در اولویت‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوزه‌های آبخیز باراجین. *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۱(۲۱)، ۴۸-۵۸. doi:10.52547/jwmr.11.21.48
- اسماعیلی، رضا، جوکار سرهنگی، عیسی، و روشن نکو، پروین (۱۳۹۵). تعیین پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از روش تاپسیس، مطالعه موردی استان مازندران، حوضه آبریز گلندرود. *جغرافیای طبیعی*، ۱۹(۱)، ۷۷-۸۷.
- امیری، مهدیس، پورقاسمی، حمیدرضا، و عرب‌عامری، علیرضا (۱۳۹۷). اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوزه‌های آبخیز مهارلو در استان فارس با استفاده از پارامترهای مورفومتریک و مدل تصمیم‌گیری VIKOR. *ا. کوهیدرولوژی*، ۵(۳)، ۸۱۳-۸۲۷. doi:10.22059/ije.2018.244246.763
- بهشتی جاوید، ابراهیم، اسفندیاری، فریبا، و روستایی، شهرام (۱۳۹۷). ارزیابی تأثیر مورفومتری لندفرم‌ها بر روی سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز (مطالعه موردی: حوضه‌های شمالی کوهستان سیلان). *هیدروژئومورفولوژی*، ۱۶(۵)، ۱۷۷-۱۹۷. dor: 20.1001.1.23833254.1397.5.16.10.8
- تاج‌بخش، سیدمحمد، گوهری، زهرا، و محمودزاده وزیری، اسداله (۱۴۰۱). اولویت‌بندی اقدامات آبخیزداری در حوزه‌های آبخیز فریزی و ریگ سفید با استفاده از روش فازی-تاپسیس. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۴)، ۶۷-۷۶. doi:10.22098/mmws.2022.10465.1084
- جوکار، جبار (۱۳۸۱). ارزیابی سیل در حوضه‌های فرعی رودخانه شاپور با استفاده از جریان‌های شبیه‌سازی شده سیل. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- رحمتی، امید، طهماسبی‌پور، ناصر، و پورقاسمی، حمیدرضا (۱۳۹۴). اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز استان گلستان بر

References

- Aher, P., Adinarayana, J., & Gorantiwar, S.D. (2014). Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: A remote sensing and GIS approach. *Journal of Hydrology*, 511, 850-860. doi:10.1016/j.jhydrol.2014.02.028
- Alvarado-Aguilar, D., Jiménez, J.A., & Nicholls, R.J. (2012). Flood hazard and damage assessment in the Ebro Delta (NW Mediterranean) to relative sea level rise. *Natural Hazards*, 62, 1301-1321. doi:10.1007/s11069-012-0149-x
- Amiri, M., Pourghasemi, H.R., & Arabamari, A. (2017). Prioritization of Flood Inundation sub-watersheds of Maharlo Watershed in Fars Province Using Morphometric Parameters and VIKOR Decision Making Model. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 5(3), 813-827. doi:10.22059/ije.2018.244246.763 [In Persian]
- Angillieri, M.Y.E. (2008). Morphometric analysis of Colangüil river basin and flash flood hazard, San Juan. Argentina. *Environmental Geology*, 55(1), 107-111. doi:10.1007/s00254-007-0969-2
- Arbabi, A., Panahi, N., & Mohammad Nejad, V. (2017). Investigating flood potential with SCS method and geographic information system (case study: Chai Castle). *Encyclopedic magazine*, 2(1), 3-16.
- Beheshti Javid, E., Esfandiyari Darabad, F., & Rostei, Sh. (2018). Evaluation of the morphometric effect of landforms on hydrological processes of the basin (case study: Northern slopes of Sabalan). *Hydrogeomorphology*, 5(16), 177-197. doi:10.1007/s11069-018-1397-5
- Bhatt, S., & Ahmed, S.A. (2014). Morphometric analysis to determine floods in the Upper Krishna basin using Cartosat DEM. *Geocarto International*, 29(8), 878-894. doi:10.1080/10106049.2013.868042
- Blanc, B.L. & Ermine, J.L. (2006). A Shannon's theory of knowledge, View the original document on HAL open archive server: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00431639>, 2006. doi:10.1142/9789812707482_0004
- Bull, W.B., & Mc Fadden, L.D. (1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock Fault California, in Doehring, D.O. (Ed), *Geomorphology in Arid regions*. Proceeding of Eighth Annual Geomorphology Symposium, State University of New York, Binghamton, Pp. 115-138
- Duckstein, L. & Opricovic, S. (1980). Multiobjective Optimization in River Basin Development. *Water Resources Research*, 16(1), 14-20.
- Esmaili, R., Jokar Sarhangi, E., & Roshan Neko, P. (2016). Determining the potential of flooding using Topsis method, case study Mazandaran Province, Galandrud catchment. *Physical Geography*, 9(31), 77-87. [In Persian]
- Ganugula, V.B., & Sinha, R. (2005). GIS in flood hazard mapping: A case study of Kosi River Basin, India. *GIS Development Weekly*, 1(13), 1-3. doi:10.13140/RG.2.1.1492.2720
- Gangalakunta, P., Obi, R., Amal, K., & Gajbhiye, S. (2004). Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India – a remote sensing and GIS approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 6, 1-16.
- Horton, R.E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56(3), 275-370. doi:10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2
- Jokar, J. (2002). Flood assessment in the sub-basins of the Shapur River using simulated flood flows. M.Sc. Thesis, University of Tehran, 157 pages. [In Persian]
- Karmi, F. (2018). Geomorphic evaluation of tectonic activities in Saeed Abad Chai drainage basin. *Journal of Natural Geography Research*, 69, 67-82. [In Persian]
- Keller, E.A., & Pinter, N. (2002). Active tectonics: earthquakes, uplift, and landscape. Prentice Hall, New Jersey, 362 pages.
- Kumar, R., Kumar, S., Lohani, A., Nema, R., & Singh, R. (2000). Evaluation of geomorphological characteristics of a catchment using GIS. *GIS India*, 9(3), 13-17.
- Marfai, M.A., Sekaranom, A.B., & Ward, P. (2015). Community responses and adaptation strategies toward flood hazard in Jakarta, Indonesia. *Natural Hazards*, 75, 1127-1144. doi:10.1007/s11069-014-1365-3
- Markantonis, V., Meyer, V., & Lienhoop, N. (2013). Evaluation of the environmental impacts of extreme floods in the Evros river basin using contingent valuation method. *Natural Hazards*, 69, 1535-1549. doi:10.1007/s11069-013-0762-3
- Mostafaei, J., Kamali, M., Salehpour Jam, A., Soleymani, K., Shahedi, K., & Yusuf Gomrakchi, A. (2019). evaluation the efficiency of ahp model in prioritizing of Barajin sub watersheds from flood potential viewpoint. *Journal of Watershed Management*

- Research*, 11(21), 48-58. doi:10.52547/jwmr.11.21.48 [In Persian]
- Odiji, C.A., Aderoju, O.M., Eta, J.B., Shehu, I., Mai-Bukar, A., & Onuoha, H. (2021). Morphometric analysis and prioritization of upper Benue River watershed, Northern Nigeria. *Applied Water Science*, 11, 41. doi:10.1007/s13201-021-01364-x
- Papaoannou, G., Vasiliades, L., & Loukas, A. (2015). Multi-criteria analysis framework for potential flood prone areas mapping. *Water Resources Management*, 29(2), 399-418. doi:10.1007/s11269-014-0817-6
- Patton, P.C. (1988). Drainage basin morphometry and floods. In: Baker, V., Kochel, R. and Patton, P., Eds., *Flood Geomorphology*, Wiley, New York, 51-65.
- Rahmati, O., & Pourghasemi, H.R. (2017). Identification of critical flood prone areas in data-scarce and ungauged regions: a comparison of three data mining models. *Water Resource Manage*, 31,1473-1487. doi:10.1007/s11269-017-1589-6
- Rahmati, O., Tahmasebipour, N., & Pourghasemi, H.R. (2015). Sub-watershed flooding prioritization using morphometric and correlation analysis (case study: Golestan watershed). *Iranian Journal of Ecohydrology*, 2(2), 151-161. doi:10.22059/ije.2015.56241 [In Persian]
- Razavi, A. (2009). *Principles of determining the privacy of water resources*. 1th Edition: Publications of Tehran University of Water and Electricity Industry, 344 pages. [In Persian]
- Razavizadeh, S., & Shahedi, K. (2017). Combination of AHP and TOPSIS methods to prioritize of flooding in Taleghan sub watersheds. *Journal of Natural Ecosystems of Iran*, 7(4), 33-46. [In Persian]
- Sadeghiyan, A., Vagheiy, Y., & Mohammadzadeh, M. (2013). Spatial-temporal prediction of groundwater level in Birjand region using kriging method. *Water and Wastewater*, 24(1), 94-100.
- Salajegheh, A., Razavizadeh, S., & Salajegheh, S. (2010). Flood priority in Tangab sub-basins in Fars province, using scalogram model. Proceedings of the 1th International Conference on Plant, Water, Soil Climate Modeling, Kerman, Iran, 7 pages. [In Persian]
- Schumm, S.A. (1997). Drainage density: problems of prediction. Pp. 15- 45, In: Stoddart, D.R. (Ed.), *Process and Form in Geomorphology*, Routledge, London.
- Shafei Bafti, A. (2018). Investigating active tectonics in the north of Birjand plain watershed using morphometric factors. M.Sc. Thesis in watershed management. University of Birjand, 103 pages. [In Persian]
- Shirani, K., & Chavoshi, S. (2019). Prioritization of catchments prone to flooding by morphometric analysis. *Water and Soil Sciences*, 22(4), 59-72. doi:10.29252/jstnar.22.4.59 [In Persian]
- Strahler, A.N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. Pp. 4-11. In: Chow, V.T. (Ed.), *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw Hill Book Company, New York.
- Tajbakhsh, S.M., Gohari, Z., & Mahmoodzadeh Vaziri, A. (2022). Prioritizing watershed management practices in the Ferizi and Rig-Sefid watersheds using Fuzzy-TOPSIS Method. *Water and Soil Management and Modelling*, 2(4), 64-76. doi:10.22098/mmws.2022.10465.1084 [In Persian]
- Talling, P.J., & Sowter, M.J. (1999). Drainage density on progressively tilted surfaces with different gradients, Wheeler Ridge, California. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24(9), 809- 824. doi:10.1002/(SICI)1096-9837(199908)24:9<809::AID-ESP13>3.0.CO;2-R
- Wohl, E.E. (2000). *Inland Flood Hazards: Human, Riparian, and Aquatic Communities*. Cambridge University Press, 518 pages.
- Zavoiance, I. (1985). *Morphometry of Drainage Basins (Developments in Water Science)*. Elsevier Science NewYork, USA.
- Zerger, A., & Smith, D.I. (2003). Impediments to using GIS for real-time disaster decision support. *Computers Environment and Urban Systems*, 27(2), 123-141. doi:10.1016/S0198-9715(01)00021-7
- Zovoili, E., Konstantinidi, E. & Koukouvelas, I.K. (2004). Tectonic Geomorphology of Escarpments: The case study of Kompotades and Nea Anchialos Faults. Bulletin of the Geological Society of Greece vol. XXXVI, Proceedings of the 10th International Congress, Thessaloniki.