

## مقایسه مدل‌های VIKOR، ELECTRE، SAW، TOPSIS به منظور بررسی

### اولویت فرسایش پذیری و سیل خیزی زیرحوزه‌های آبخیز

مهدی تیموری<sup>\*۱</sup>

[M.teimouri@um.ac.ir](mailto:M.teimouri@um.ac.ir)

احسان الوندی<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۲۳

تاریخ دریافت: ۹۸/۳/۱۹

#### چکیده

**زمینه و هدف:** تعیین مناطق مولد سیل و اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها از نظر قابلیت سیل‌خیزی و رسوب‌زایی می‌تواند در مدیریت بهتر حوزه آبخیز نقش مهمی داشته باشد. بدین منظور هدف این تحقیق اولویت‌بندی قابلیت سیل‌خیزی و رسوب‌زایی زیرحوزه‌های آبخیز بنکوه با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره VIKOR، ELECTRE، SAW، TOPSIS بود.

**مواد و روش‌ها:** در مطالعه حاضر شاخص‌های ارزیابی مساحت، ارتفاع متوسط حوضه، تراکم زهکشی، شماره منحنی، درصد پوشش، تولید رسوب، ضریب گراولپوس، نسبت تحویل رسوب، شیب متوسط حوضه، ارتفاع رواناب و زمان تمرکز استفاده شد. سپس با استفاده از روش AHP وزن هریک از شاخص‌ها برآورده شده است. در ادامه پس از تشکیل ماتریس تصمیم با ۱۸ گزینه (زیرحوضه) و ۱۱ معیار (شاخص ارزیابی) به منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از فنون VIKOR، ELECTRE، SAW، TOPSIS استفاده شد. به منظور تلفیق رتبه فنون پیشنهادی از روش‌های بردا و کپلند استفاده شد. از روش مجموع مربعات خطا (RSS)، برای تعیین نزدیک‌ترین روش به نتیجه نهایی استفاده شد. همچنین به منظور اعتبارسنجی مدل‌ها به برآورد درصد تغییرات و شدت تغییرات پرداخته شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد، شاخص ارتفاع رواناب بیشترین وزن (۰/۱۸) و شاخص ضریب گراولپوس کمترین وزن (۰/۰۲۸) را از نظر کارشناسان به خود اختصاص داده است. نتایج اولویت‌بندی نشان داد، در روش‌های VIKOR، SAW، TOPSIS و ELECTRE زیرحوضه‌های ۹، ۴ و ۲ اولویت‌های اول تا سوم را به خود اختصاص داده‌اند و در حالت بحرانی تری قرار دارند، اما در روش ELECTRE زیرحوضه‌های ۹، ۴، ۲ و ۷ در حالت بحرانی تری قرار گرفته‌اند. با توجه به نتایج حاصل از تلفیق رتبه فنون پیشنهادی، زیرحوضه‌های ۹، ۴ و ۲ به ترتیب در اولویت‌های اول تا سوم قرار دارند و از وضعیت بحرانی تری نسبت به بقیه زیرحوضه‌ها برخوردار هستند. مطالعات میدانی نتایج تحقیق را به خوبی نشان می‌دهد، چرا که زیرحوضه ۹، ۴ و ۲ دارای بیشترین حد فرسایش، شیب زیاد و بارندگی شدید هستند. همچنین پهنه‌های دارای قابلیت سیل‌خیزی و رسوب‌زایی در منطقه نشان داد که ۳۲٪ منطقه در خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. نتایج مجموع مربعات

۱- استادیار مجتمع آموزش عالی شیروان.

۲- فارغ‌التحصیل دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. \* (مسوول مکاتبات)

خطا نشان داد، روش VIKOR کمترین خطا و روش ELECTRE بیشترین خطا را نسبت به رتبه‌بندی نهایی دارا است. همچنین روش‌های TOPSIS و VIKOR با کمترین درصد تغییرات (۵۹/۷۲ درصد) در رتبه اول و روش ELECTRE با بیشترین درصد تغییرات (۶۵/۲۷ درصد) در رتبه آخر قرار دارند. کمترین شدت تغییرات نیز در روش VIKOR (۴/۵۹) و بیشترین مقدار شدت تغییرات در روش ELECTRE (۵/۶۱) مشاهده شد.

**بحث و نتیجه‌گیری:** فنون تصمیم‌گیری چند معیاره، یک رویکرد عملی و مناسب برای تصمیم‌گیری بهتر بر مبنای علوم ریاضیات و بهینه‌سازی هستند. بنابراین می‌توان گفت به منظور مدیریت زیر حوضه‌ها از نظر اجرای عملیات زیستی و سازه‌ای کنترل سیل با چند تابع هدف و با توجه به عملیات پرهزینه آبخیزداری، می‌توان از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده کرد تا اولویت‌بندی بر اساس یک منطق ریاضی انجام گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** سیل‌خیزی، فرسایش پذیری، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، حوضه رودخانه حبله رود.

## **Comparison of Models TOPSIS, SAW, ELECTRE and VIKOR in order to the prioritization of sedimentation and flood hazard of watersheds**

**Mehdi Teimouri**<sup>1\*</sup>

[M.teimouri@um.ac.ir](mailto:M.teimouri@um.ac.ir)

**Ehsan Alvandi**<sup>2</sup>

Admission Date: January 13, 2020

Date Received: June 9, 2019

### **Abstract**

**Background and Objective:** To determine and zonation of flood prone hazardous area and prioritization the sub-basins in terms of flood potential can have great contributions in promising watershed management. The present research aims to prioritize flood and sedimentation potential in the sub-basins of the Bonekooch watershed using TOPSIS, SAW, ELECTRE and VIKOR methods.

**Material and Methodology:** In this present study, we used area estimation indices, drainage density, gravel coefficient, basin average height, basin average slope, curve number, sediment yield, cover percentage, sediment delivery ratio, runoff height and concentration time as an important indicators affecting water permeability, runoff production and, consequently, the potential for flooding and sedimentation. Then, using the Analytic Hierarchy Process (AHP) method, the weight of each index is met. Following the formation of decision matrix with 18 options (sub-basins) and 11 criteria (evaluation index), Technique for order Preference by Similarity to ideal Solution (TOPSIS), Simple Additive Weighting (SAW), Elimination Et Choice Translation Reality (ELECTRE) and Vise Kriterijumska Optimizacija Kompromisno Resenje (VIKOR) techniques were used to prioritize sub-basins. Borda and Copland methods were used to combine the rank of proposed techniques. The residual sum of squares (RSS) method was used to determine the closest method to the final result. Also, in order to validate the models, we estimated the percentage change and the intensity of the changes.

**Findings:** The results showed that the highest runoff height index (0.18) and the gravel coefficient had the lowest weight (0.028), according to experts. Prioritization results showed that in SAW, TOPSIS and VIKOR methods, sub-zones 9, 4, and 2 ranked first to third priorities respectively and are in a more critical situation, but in the ELECTRE approach sub-basins 9, 4, 2 and 7, respectively, have the first to third priorities. Considering the results of the combined ranking of the proposed techniques, sub-basins 9, 4 and 2 are in first to third priority, respectively, and have a more critical situation than the rest of the sub-basins. Also, zones with flood and sedimentation potential in the area showed that 32% of the area in high and very high risk. The results of the sum squared error showed that the VIKOR method had the least error and the ELECTRE method had the most error than the final

---

1- Assistant Professor Higher Education Complex of Shirvan, Khorsasn Shomali, Shirvan, Iran.

2- Ph.D. Graduate in Watershed Management Sciences and Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Gorgan, Iran. \*(Corresponding Author)

ranking. Also, the TOPSIS and VIKOR methods with the lowest percentage of change (59.72%) were ranked first and the ELECTRE method with the highest percentage change (65.27%) is the last rank. The lowest intensity was also observed in the VIKOR method (4.59) and the highest intensity variation was observed in ELECTRE method (5.61).

**Discussion and Conclusion:** Therefore, it can be said that multi-criteria decision-making techniques are a practical and appropriate approach for better decision-making based on mathematical sciences and optimization. Therefore, these types of low-cost and fast-track research can be prioritized to protect watersheds.

**Key words:** Flooding, Sedimentation, multi-criteria decision making, Hablehroud River Basin.

#### مقدمه

مدیریت جنگل استفاده کردند. آهانی و همکاران (۱۱) در تحقیقی تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فضایی با سیستم اطلاعات جغرافیایی را به منظور شناسایی مناطق مناسب برای ذخیره‌سازی و بازیابی آبخوان را مورد مطالعه قرار دادند. گوگاته و همکاران (۱۲) ارزیابی گزینه‌های مدیریت سیلاب در مناطق شهری را با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره مورد مطالعه قرار دادند.

اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز در زمینه‌های مختلف مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است (۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶). جاود و همکاران (۱۷) به اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها بر اساس آنالیز مورفومتریک و کاربری اراضی با استفاده از فنون سنجش از دور و GIS در حوضه کانرا پرداختند. نتایج نشان داد، استفاده از پارامترهای مورفومتریک و تلفیق آنها با فنون سنجش از دور و GIS به عنوان یک رویکرد مناسب به منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها تلقی می‌شود. آهار و همکاران (۱۸) اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها به منظور برنامه‌ریزی، مدیریت در مناطق خشک و نیمه خشک هند را با استفاده از رویکرد ترکیبی سنجش از دور و GIS انجام دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که ۵۱/۶۶ درصد از زیرحوضه‌های آبخیز مورد مطالعه در زون‌های متوسط تا بسیار حساس قرار دارند، که این مناطق حساس در اولویت اقدامات حفاظتی پیشنهاد می‌شوند. چاندرا و همکاران (۱۹)، با استفاده از ۲۴ پارامتر مورفومتر و سیستم اطلاعات جغرافیایی، میزان فرسایش و اوج رواناب سطحی را در دو زیر حوضه، آبخیز رودخانه آرکاواتی مقایسه کردند. نتایج

حوزه‌ی آبخیز به عنوان یک واحد فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی، بوم‌شناختی و سیاسی، برای برنامه‌ریزی و مدیریت در نظر گرفته می‌شود. از این رو، مدیران و سیاست‌گذاران باید تمام ابعاد متشکله سیستم آبخیز را در برنامه‌ریزی حوزه‌ی آبخیز لحاظ نمایند (۲۰). از آنجا که طرح‌های توسعه منابع طبیعی عمدتاً در حوضه‌های آبخیز اجرایی می‌شود، بنابراین طبقه‌بندی آنها به منظور برنامه‌ریزی و مدیریت مناسب منابع طبیعی برای توسعه پایدار ضروری است (۳ و ۴). اولویت‌بندی حوزه‌های آبخیز شامل رده‌بندی زیرحوضه‌ها بر اساس وضعیت و شرایط منابع موجود و شدت فرسایش است که در نهایت منجر به عملیات اصلاحی و حفاظتی در زیر حوضه‌های حساس و دارای اولویت‌های بالا می‌شود (۵ و ۶).

یکی از کاربردهای روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره اولویت‌بندی بر اساس اصول ریاضی است. حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره دارای پیچیدگی است، به‌ویژه آن‌که اغلب معیارهای مزبور با یکدیگر تضاد داشته، افزایش مطلوبیت یکی می‌تواند باعث کاهش مطلوبیت دیگری شود. بدین دلیل روش‌هایی تحت عنوان تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM) توسعه داده شد، که به حل مسائل مزبور کمک می‌کند (۷، ۸).

کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در زمینه‌های مختلف مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. ویون و همکاران (۹)، از روش MCDM فازی برای انتخاب بهترین طرح‌های محیط‌زیستی حوزه‌ی آبخیز و نیز کایا و همکاران (۱۰) از رویکردهای VIKOR و AHP فازی برای تصمیم‌گیری در

عملیات حفاظتی و مدیریتی، حائز اهمیت است. بدین منظور هدف این تحقیق اولویت‌بندی قابلیت سیل‌خیزی و رسوب‌زایی زیرحوضه‌های آبخیز بنکوه با توجه به مدل‌های MADM جبرانی و علم ریاضیات و بهینه‌سازی است، تا بتوان با استفاده از روش‌های مختلف زیر حوضه‌ها را از نظر قابلیت سیل‌خیزی و رسوب‌زایی اولویت‌بندی کرده و نتایج حاصله را مورد بررسی و ارزیابی قرار داد. بدین ترتیب برنامه‌ریزان و مدیران آبخیز می‌توانند با کمک این اولویت‌بندی‌ها، تصمیمات مناسبی برای حل مشکلات این حوضه اتخاذ نمایند.

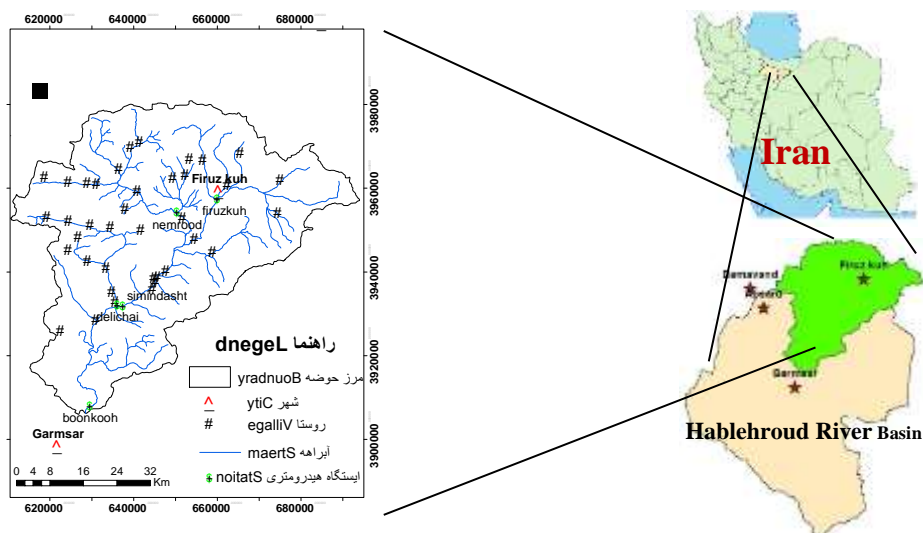
#### مواد و روش:

##### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز بنکوه با مختصات عرض جغرافیایی  $35^{\circ}$  تا  $36^{\circ} 10'$  شمالی و طول جغرافیایی  $51^{\circ} 39'$  تا  $53^{\circ} 8'$  شرقی و با مساحت  $3269$  کیلومترمربع در استان تهران واقع شده است (شکل ۱). فیزیوگرافی و توپوگرافی این محدوده شامل بخش‌های کوهستانی و دشتی است. بخش شمالی آن عمدتاً کوهستان‌ها و تپه‌ها و همچنین دشت‌های میانکوهی در محدوده استان تهران واقع شده است. بارندگی متوسط سالیانه این حوضه  $318$  میلی‌متر و دمای متوسط سالیانه آن  $7/8$  درجه سانتی‌گراد است. ارتفاع بلندترین نقطه این محدوده  $4053$  متر از سطح دریا است. عمده‌ترین کاربری‌های اراضی شامل مراتع و چراگاه‌های فصلی، اراضی کشاورزی دیم، باغات و اراضی بایر هستند (۲۵).

تجزیه و تحلیل مورفومتریک نشان داد که در حوضه آبخیز مانجانا، فرسایش خاک زیاد و دبی اوج کم است، اما در حوضه آبخیز نلیگود فرسایش خاک کم و دبی اوج متوسط است. آرامی و همکاران (۲۰) اولویت‌بندی آبخیزها به منظور انجام اقدامات مدیریتی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج ارزیابی نشان داد که  $44/44\%$  زیرحوضه‌ها در زون متوسط و  $22/22\%$  زیرحوضه‌ها در زون زیاد تا خیلی زیاد قرار گرفته اند، که نشان از آن دارد که اقدامات مدیریتی و حفاظتی به منظور پایداری در این مناطق، ضروری است. عرب عامری و همکاران (۲۱) اولویت‌بندی فرسایش پذیری زیرحوضه‌ها با استفاده از تحلیل پارامترهای مورفومتری و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج اولویت بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از مدل‌های TOPSIS و CF نشان داد که زیرحوضه شماره ۳۰ با امتیاز ۰ و  $13/33$  به ترتیب در رتبه اول قرار دارد و این زیرحوضه به عنوان مستعدترین زیرحوضه فرسایشی شناخته شده است. یکی از اصول انجام هر طرحی اعم از تحقیقی یا اجرایی در زمینه‌های مختلف، اولویت‌بندی است، همچنین به منظور اعمال اقدامات مدیریتی یا حفاظتی در حوزه‌های آبخیز اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها با توجه به محدودیت زمان و منابع یک امر مهمی تلقی می‌شود (۲۲، ۲۳، ۲۴).

حوزه آبخیز بنکوه طی سالهای گذشته دستخوش تغییرات گسترده‌ای در کاربری اراضی شده است، که این مسئله منجر به افزایش دبی‌های اوج سیلاب و تولید رسوب شده است. لذا مطالعه سیل‌خیزی و رسوب‌زایی زیرحوضه‌های آبخیز بنکوه و اولویت‌بندی آن‌ها، با هدف کاهش خطرات سیل از طریق



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز بنکوه - حوزه رودخانه حبله رود

Figure 1. Location of the Bonekooch Watershed and Hablehroud River Basin

### روش تحقیق

مساحت: در این تحقیق به منظور برآورد مساحت حوزه از نرم افزار ArcGIS9.3 استفاده شد. مساحت، از مهمترین عامل فیزیکی بوده که دبی حداکثر، حداقل، متوسط سالانه و همچنین شکل هیدروگراف به آن بستگی دارد (۲۸).

**ضریب گراولیوس:** شکل حوزه نیز تاثیر فراوانی روی هیدروگراف سیلاب دارد (۲۹) به طوری که با ثابت بودن سایر شرایط فیزیکی، دبی حداکثر سیلاب در حوضه‌های گرد بیش‌تر از حوضه‌های کشیده است. در این تحقیق به منظور برآورد ضریب گراولیوس از رابطه ۱ استفاده شد.

$$C_c = 0.28 \times \left( \frac{P}{\sqrt{A}} \right) \quad (1)$$

که در آن  $C_c$ : ضریب گراولیوس،  $P$ : محیط حوضه به کیلومتر و  $A$ : مساحت حوضه به کیلومتر مربع است. این ضریب معمولاً بین ۱ تا ۳ است.

**شیب متوسط زیرحوضه:** در این تحقیق ابتدا نقشه شیب در محیط ArcGIS9.3 تهیه شد و سپس شیب متوسط ۱۸ زیرحوضه مورد نظر محاسبه شد. شیب منطقه نقش اساسی در میزان رواناب، مقدار نفوذ، شدت سیلاب و میزان فرسایش دارد (۳۰).

در این تحقیق به بررسی اولویت قابلیت سیل‌خیزی و رسوب‌زایی زیرحوضه‌های، آبخیز بنکوه حوزه رودخانه حبله رود با توجه به شاخص‌های ارزیابی و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره پرداخته شده است. ابتدا منطقه مورد مطالعه با توجه به وضعیت توپوگرافی از روی نقشه DEM در محیط نرم افزار ArcSWAT9.3 به ۱۸ واحد فیزیوگرافی تقسیم شد. در ادامه در سطح هر یک از این ۱۸ زیر حوضه شاخص‌هایی همچون شیب متوسط حوضه، ارتفاع متوسط حوضه، مساحت، شماره منحنی، ضریب گراولیوس، تراکم زهکشی، درصد پوشش، نسبت تحویل رسوب، تولید رسوب، ارتفاع رواناب و زمان تمرکز برآورد شد. شایان ذکر است با توجه به بررسی منابع انجام شده، این شاخص‌ها از شاخص‌های تاثیر گذار بر فرسایش و سیل‌خیزی حوزه‌های آبخیز هستند (۱۸، ۲۰، ۲۶، ۲۷). از مجموع شاخص‌هایی که برای اولویت‌بندی قابلیت سیل‌خیزی و رسوب‌زایی زیر حوضه‌ها در نظر گرفته شده‌اند، شاخص‌های درصد پوشش، ضریب گراولیوس و زمان تمرکز مثبت هستند؛ یعنی هرچه مقدار این شاخص‌ها برای زیر حوضه بیشتر باشد، آن زیر حوضه از وضعیت بهتری برخوردار است. در ادامه به معرفی و شیوه برآورد شاخص‌های ارزیابی به صورت مختصر پرداخته شده است.

برآورد تولید رسوب و نسبت تحویل رسوب: در این تحقیق به منظور برآورد فرسایش سالانه خاک از مدل RUSLE استفاده شد. سپس با استفاده از رابطه ۲ نسبت تحویل رسوب در هر زیر حوضه تعیین گردید. در نهایت با استفاده از رابطه ۳ مقدار تولید رسوب هر زیر حوضه محاسبه شده است (۳۲).

$$SDR = 0.51 * A^{-0/11} \quad (۲)$$

$$SY = SDR * SE \quad (۳)$$

که در آن‌ها A مساحت زیر حوضه ( $km^2$ )، SY تولید رسوب ( $ton\ ha^{-1}\ yr^{-1}$ )، SDR نسبت تحویل رسوب و SE هدر رفت سالانه خاک ( $ton\ ha^{-1}\ ya^{-1}$ ) است.

**برآورد ارتفاع رواناب:** در این تحقیق برای برآورد ارتفاع رواناب از روش شماره منحنی سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) در محیط نرم‌افزار ArcGIS9.3 استفاده شد. بدین‌منظور ابتدا با استفاده از نقشه کاربری اراضی و نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک منطقه، نقشه شماره منحنی حوضه در شرایط رطوبت پیشین متوسط (حالت II) تهیه شد. سپس با استفاده از نقشه شماره منحنی، نقشه ضریب نگهداشت سطحی تهیه شد. در نهایت با استفاده از نقشه ضریب نگهداشت سطحی و نقشه بارندگی، میران ارتفاع رواناب برای حوضه برآورد شد (۲۸).

در ادامه پس از تعیین و محاسبه مقادیر شاخص‌های ارزیابی، اولویت‌بندی قابلیت سیل‌خیزی و رسوب‌زایی زیرحوضه‌ها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) انجام شد.

#### تعیین وزن شاخص‌های مورد نظر

پس از برآورد مقدار هر یک از شاخص‌های ارزیابی برای ۱۸ زیر حوضه، لازم است اهمیت نسبی هر شاخص برآورد شود. در این تحقیق با استفاده از روش AHP به وزن‌دهی هر یک از شاخص‌ها پرداخته شده است. در این مرحله به منظور وزن‌دهی شاخص‌ها، با مراجعه به ۱۵ نفر از متخصصین در رشته مربوطه وزنی برای هر یک از شاخص‌ها با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استخراج شده است. در روش AHP،

ارتفاع متوسط زیرحوضه: نقش مهمی در مقدار و نوع بارندگی، میزان تبخیر و تعرق و وضعیت پوشش گیاهی حوضه داشته و در نتیجه روی ضریب رواناب اثر می‌گذارد (۲۸). نقشه ارتفاع حوضه با استفاده از نرم افزار ArcGIS9.3 استخراج شد و سپس ارتفاع متوسط هر یک از زیرحوضه‌ها محاسبه گردید.

**تراکم زهکشی:** از تقسیم طول کل شبکه هیدروگرافی شامل رودخانه‌های فرعی و آبراهه‌ها به مساحت در هر یک از زیر حوضه‌ها بدست می‌آید و با دبی‌های حداکثر زیرحوضه همبستگی دارد (۳۰). در این تحقیق طول کل شبکه‌های هیدروگرافی زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه، با استفاده از نرم افزار الحاقی ArcHydro در نرم افزار ArcGIS9.3 بدست آمد.

**شماره منحنی (CN):** یک عامل بدون بعد است که مقدار آن بین صفر تا ۱۰۰ متغیر است. در CN برابر صفر روانایی از بارندگی حاصل نیامده و در CN برابر ۱۰۰، تمامی بارش در سطح زمین جریان می‌یابد (۲۸). در تحقیق حاضر با تلفیق نقشه کاربری اراضی و نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک منطقه، نقشه شماره منحنی حوضه در شرایط رطوبت پیشین متوسط (حالت II) تهیه شد. سپس CN وزنی زیرحوضه‌ها محاسبه شد.

**زمان تمرکز:** مدت زمانی است که آب از دورترین نقطه حوضه به نقطه خروجی می‌رسد (۲۸). زمان تمرکز از پارامترهای مهم تاثیر گذار بر سیل‌خیزی حوضه است (۳۱). در این تحقیق با استفاده از روش کریچ، زمان تمرکز از روی طول آبراهه اصلی و شیب آبراهه اصلی برآورد شده است.

**درصد پوشش:** به منظور استخراج درصد پوشش از تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. برای تهیه لایه کاربری اراضی، تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سال ۲۰۱۲ منطقه در محیط نرم افزار ArcGIS9.3 ژئورفرنس شده است. برای تهیه لایه کاربری اراضی از طریق تصاویر ماهواره‌ای لندست از شاخص پوشش گیاهی NDVI استفاده شد. سپس با استفاده از امکانات نرم افزار ILWIS3.8 کاربری اراضی منطقه مشخص گردید.

همچنین در روش VIKOR برای استانداردسازی داده‌ها از روش فازی استفاده شده است، که این روش در فرمول‌های محاسباتی روش VIKOR انجام شده است.

#### اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها با روش‌های مختلف

پس از بی‌مقیاس‌سازی داده‌ها به اولویت‌بندی قابلیت سیل-خیزی و رسوب‌زایی زیر حوضه‌ها با روش‌های پیشنهادی پرداخته شده است. در روش SAW که یکی از قدیمی‌ترین روش‌های به کارگیری شده در MADM است، پس از تعیین ضریب اهمیت شاخص‌ها و با توجه به ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده، ضریب اهمیت هر یک از زیرحوضه‌ها با استفاده از رابطه ۶ برآورد شده است.

$$A^* = \{A_i \mid \max \sum_{j=1}^n w_j r_{ij}\} \quad (۶)$$

در این رابطه  $w_j$  وزن اختصاص یافته به هر یک از شاخص‌ها و  $A^*$  مناسب‌ترین گزینه (زیرحوضه) است.

در روش TOPSIS با استفاده از وزن هر شاخص ماتریس بی-مقیاس موزون برآورد شده است. این تکنیک بر این مفهوم بنا شده است که گزینه انتخابی باید کمترین فاصله با راه‌حل ایده-آل مثبت (بهترین حالت ممکن،  $A_i^+$ ) و بیشترین فاصله با راه-حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن،  $A_i^-$ ) را داشته باشد (۳۵). بدین منظور ابتدا راه‌حل ایده‌آل مثبت و راه‌حل ایده-آل منفی با استفاده از رابطه‌های ۷ و ۸ برآورد شده است.

$$= A^+ = \{(\max v_{ij} \mid j \in J_1), (\min v_{ij} \mid j \in J_2) \mid i = 1, 2, \dots, m\} \quad (۷)$$

گزینه ایده‌آل منفی

$$= A^- = \{(\min v_{ij} \mid j \in J_1), (\max v_{ij} \mid j \in J_2) \mid i = 1, 2, \dots, m\} \quad (۸)$$

سپس اندازه فاصله براساس نرم اقلیدسی به ازاء راه‌حل ایده‌آل منفی و گزینه مثبت و همین اندازه را به ازاء راه‌حل ایده‌آل مثبت و گزینه منفی با استفاده از رابطه‌های ۹ و ۱۰ برآورد شده است.

$$d_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$d_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

تصمیم گیرنده می‌باید هر زوج از معیارهای تصمیم‌گیری را با همدیگر مقایسه کند. مقایسه اهمیت نسبی هر زوج معیار نسبت به یکدیگر، در ابتدا به صورت کیفی انجام شده و سپس در مقیاس عددی (۱ تا ۹) کمی می‌شود (۳۳).

#### استاندارد سازی شاخص‌ها ارزیابی

داده‌های ورودی در فنون MADM داده‌های بی‌مقیاس شده هستند. بنابراین ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری  $D$  با ۱۸ گزینه (زیر حوضه‌ها) و ۱۱ معیار (شاخص‌های ارزیابی) تشکیل شد. به منظور آماده‌سازی ماتریس تصمیم  $D$  و قابل مقایسه بودن زیر حوضه‌ها باید همه شاخص‌ها به مقیاس واحدی تبدیل شوند. لذا به منظور معنادار شدن محاسبات و نتایج از طریق روش‌های علمی به استاندارد کردن داده‌ها اقدام شد. بدین منظور در این تحقیق در روش SAW از روش نرم خطی برای استاندارد سازی داده‌ها (رابطه ۴) استفاده شده است (۳۴).

$$n_{ij} = \frac{r_{ij} - \text{Min}(r_{ij})}{\text{Max}(r_{ij}) - \text{Min}(r_{ij})} \quad (۴)$$

در روش‌های TOPSIS و ELECTRE از روش نرم اقلیدسی برای استانداردسازی داده‌ها (رابطه ۵) استفاده شده است.

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\left( \sum_{i=1}^m r_{ij}^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (۵)$$

گزینه ایده‌آل مثبت

$$A_i^+ = (v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+)$$

$$A_i^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-)$$

به‌طوری‌که

$$J_1 = \{ 1, 2, \dots, n \mid \text{شاخص‌ها مثبت} \}$$

$$J_2 = \{ 1, 2, \dots, n \mid \text{شاخص‌ها منفی} \}$$

$$(i=1, 2, \dots, m) \quad (۹)$$

$$(i=1, 2, \dots, m) \quad (۱۰)$$



آن‌ها اولویت‌بندی شده است.

در نهایت به نزدیکی نسبی زیر حوضه‌ها از راه حل ایده‌آل با استفاده از رابطه ۱۱ پرداخته و زیر حوضه‌ها با توجه به فاصله

$$(i=1,2,\dots,m) \tag{11}$$

$$C_i = \frac{d_i^-}{(d_i^- + d_i^+)}$$

به صورت زوجی نسبت به تمام شاخص‌ها ارزیابی شده و مجموعه هماهنگ و ناهماهنگ با توجه به رابطه‌های ۱۲ و ۱۳ تشکیل شده است.

روش ELECTRE از مهم‌ترین فنون جبرانی است، کاربرد این روش بر مبنای مفهوم روابط غیر رتبه‌ای است. جواب بدست آمده از این روش بر اساس یک مجموعه از رتبه‌ها است. در این روش ابتدا با توجه به مقادیر وزن شاخص‌ها ماتریس بی‌مقیاس موزون را بدست می‌آوریم. سپس کلیه گزینه‌ها (زیرحوضه‌ها)

$$\begin{cases} S_{ki} = \{j | r_{kj} \geq r_{ij}\} & \text{بازاء } r_{ij} \text{ مطلوبیت افزایشی دارد} \\ S_{ki} = \{j | r_{kj} \leq r_{ij}\} & \text{بازاء } r_{ij} \text{ مطلوبیت کاهشی دارد} \end{cases} \tag{12}$$

$$\begin{cases} D_{ki} = \{j | r_{kj} < r_{ij}\} & \text{بازاء } r_{ij} \text{ مطلوبیت افزایشی دارد} \\ D_{ki} = \{j | r_{kj} > r_{ij}\} & \text{بازاء } r_{ij} \text{ مطلوبیت کاهشی دارد} \end{cases} \tag{13}$$

$$NI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m I_{ki}}{m(m-1)} \tag{17}$$

در نهایت با توجه به رابطه ۱۸ ماتریس کلی و موثر ایجاد شده است.

$$F_{ki} = H_{ki} \times G_{ki} \tag{18}$$

روش VIKOR یک ابزار موثر در تصمیم‌گیری چند معیاره است و در حل مسائلی که با معیارهای ناسازگار و تناسب ناپذیر همراه هستند استفاده می‌شود (۳۶). در این روش پس از تشکیل ماتریس تصمیم، به تعیین بهترین و بدترین مقدار از میان مقادیر موجود برای هر شاخص در ماتریس تصمیم با استفاده از روابط ۱۹ و ۲۰ پرداخته شده است.

$$f_i^* = \max_j f_{ij} \quad f_i^- = \min_j f_{ij} \tag{19}$$

$$f_i^- = \max_j f_{ij} \quad f_i^* = \min_j f_{ij} \tag{20}$$

اکثریت (S) و تأسف فردی حداقل از طرف مقابل (R) با استفاده از روابط ۲۱ و ۲۲ پرداخته شده است.

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) \tag{21}$$

$$R_j = \max_i [w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_{ij}^*)] \tag{22}$$

صورت معادله با هم یکی می‌کند. در پایان رتبه‌بندی زیر حوضه‌ها و انتخاب زیر حوضه نهایی انجام شده است.

پس از ایجاد مجموعه هماهنگ و ناهماهنگ، ماتریس هماهنگی و ناهماهنگی را ایجاد می‌کنیم. ماتریس هماهنگی، ماتریسی به ابعاد  $m \times m$  است و با استفاده از رابطه ۱۴ برآورد شده است. ماتریس ناهماهنگی با NI تعریف می‌شود که یک ماتریس  $m \times m$  است و با استفاده از رابطه ۱۵ برآورد شده است.

$$I_{ki} = \sum w_j \tag{14}$$

$$NI_{ki} = \frac{j \in D_{ki}}{\max |v_{ki} - v_{ij}|} \tag{15}$$

سپس برای تعیین ماتریس هماهنگی موثر و ناهماهنگی موثر، ابتدا حد آستانه با توجه به روابط ۱۶ و ۱۷ برآورد شده است.

$$I = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m I_{ki}}{m(m-1)} \tag{16}$$

که در آن  $f_i^+$  بهترین مقادیر و  $f_i^-$  بدترین مقادیر هستند. در مرحله بعد به محاسبه مقادیر مطلوبیت گروهی بیشینه از

در این رابطه‌ها  $w_i$  وزن شاخص‌ها است. در نهایت مقدار Q که یک تابع ترکیبی است و تابع مزیت نامیده می‌شود با استفاده از رابطه ۲۳ برآورد شده است، که این تابع S و R را با وزن به

$$Q_j = V(S_j + S^+) / (S^- - S^+) + (1 - V)(R_j - R^+) / (R^- - R^+) \tag{23}$$

**درصد تغییرات:** درصد تغییرات رتبه‌ی هر زیرحوضه در هر یک از روش‌ها از طریق رابطه ۲۵ برآورد شده است.

$$\Delta P = \frac{N - NN_{\text{constant}}}{N} \times 100 \quad (25)$$

که در این رابطه؛  $P =$  درصد تغییرات در مقایسه‌ی دو روش،  $N =$  تعداد کل زیرحوضه‌های مورد مطالعه، و  $NN_{\text{constant}} =$  تعداد زیرحوضه‌هایی که در مقایسه‌ی دو روش، رتبه‌ی آن‌ها ثابت است.

**شدت تغییرات:** شدت تغییرات دو روش در مقایسه‌ی با یکدیگر بر مبنای رتبه‌ی زیرحوضه‌ها در هر روش، از طریق فرمول ۲۶ محاسبه شد.

$$\Delta I = \frac{\sum_{I=1}^N \text{rank}_i(r1)}{\sum_{I=1}^N \text{rank}_i(r2)} \quad (26)$$

که در آن؛  $I =$  شدت تغییرات دو روش،  $\text{RankI}(1) =$  رتبه زیرحوضه  $I$  در روش اول،  $\text{RankI}(2) =$  رتبه زیرحوضه  $I$  در روش دوم و  $N =$  تعداد زیرحوضه‌ها است.

#### نتایج

نتایج حاصل از شاخص‌های ارزیابی برآورد شده به منظور اولویت‌بندی قابلیت سیل‌خیزی و رسوب‌زایی زیرحوضه‌های آبخیز بنکوه در جدول ۱ ارائه شده است. همانطور که مشخص است از نظر شاخص ارتفاع رواناب زیرحوضه ۱۷ بهترین و زیرحوضه ۹ بدترین وضعیت را دارند. از نظر شاخص نسبت تحویل رسوب زیر حوضه ۶ بهترین و زیرحوضه ۱۳ بدترین وضعیت را دارند. از نظر شاخص تولید رسوب زیرحوضه ۶ بهترین و زیرحوضه ۹ بدترین وضعیت را دارند. از نظر شاخص درصد پوشش زیرحوضه ۱۷ بهترین و زیرحوضه ۷ بدترین وضعیت را دارند. اما از نظر شاخص‌های ارتفاع متوسط حوضه زیرحوضه ۱۸ بهترین و زیرحوضه ۲ بدترین عملکرد را دارند.

که در آن  $S_j^- = \text{Max}_j S_j$  ،  $S_j^+ = \text{Min}_j S_j$  ،

$R^- = \text{Max}_j R_j$  و  $R^+ = \text{Min}_j R_j$  است و  $V$  به

عنوان وزنی است که بر اساس میزان حداکثر توافق گروه تعیین می‌شود.

#### تلفیق روش‌های پیشنهادی

در این تحقیق برای تلفیق رتبه فنون پیشنهادی از روش بردا و روش کپلند استفاده شده است. برای اجرای روش بردا یک ماتریس غیر قطری  $m \times m$  شکل می‌گیرد که توضیح سطر به ستون از نظر تعداد برد مشخص می‌شود. اگر تعداد بردها در فنون بیشتر باشد آن با  $M$  کد گذاری می‌شود و در آن سطر به ستون ارجحیت دارد و اگر ستون به سطر ارجحیت داشته باشد یا آراء تعداد بردها مساوی بود آن با  $X$  کد گذاری می‌شود. در نهایت مجموع بردها در هر سطر مبنای رتبه بندی قرار می‌گیرد. هر چه تعداد بردها بیشتر باشد رتبه بالاتر خواهد بود. در روش کپلند نه تنها تعداد بردها، بلکه تعداد باخت‌ها را نیز برای هر گزینه (زیرحوضه) محاسبه می‌کند. در این روش تفاضل بردها به باخت‌ها مبنای رتبه‌بندی قرار خواهد گرفت (۸).

#### محاسبه مجموع مربعات خطا (RSS)

برای این که بتوان نزدیک‌ترین روش به نتیجه نهایی را به دست آورد، از روش مجموع مربعات خطا استفاده می‌کنیم (رابطه ۲۴).

$$RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 \quad (24)$$

که در این رابطه،  $y_i$  رتبه نهایی به دست آمده و  $f(x_i)$ ، رتبه به دست آمده توسط هر یک از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه می‌باشد.

#### اعتبارسنجی مدل‌ها

در این تحقیق به منظور اعتبارسنجی مدل‌ها به برآورد درصد تغییرات و شدت تغییرات پرداخته شده است (۳۷).

## جدول ۱- شاخص‌های ارزیابی برآورد شده به منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز بنکوه

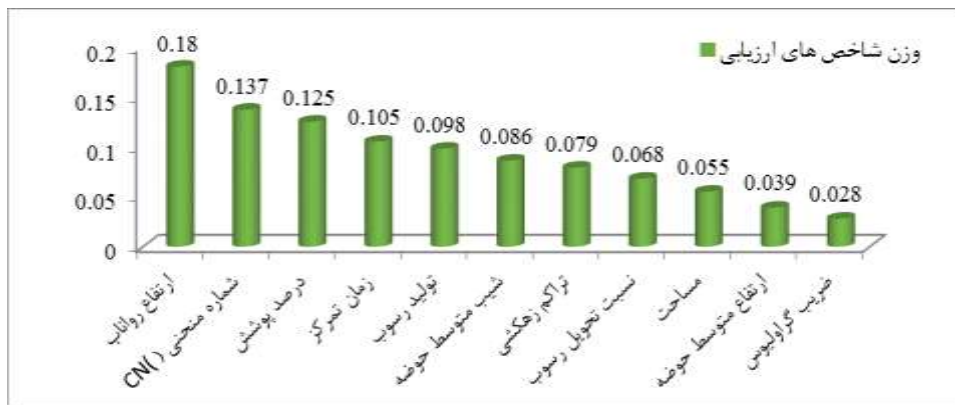
Table 1. Estimates of assessment indicators for prioritizing sub basins in the Bonekooch Watershed

زیرحوضه	مساحت (ha)	زمان تمرکز (hr)	ارتفاع رواناب (mm)	نسبت تحویل رسوب	تولید رسوب (ton ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	درصد پوشش (%)	شماره منحنی (CN)	ارتفاع متوسط حوضه (m)	شیب متوسط حوضه (%)	تراکم زهکشی	ضریب گراولوس
SW1	۱۶۲/۸	۰/۸۲	۲۱۴/۲	۰/۲۹۱۲	۱/۳۸۳	۰/۹۲۱	۶۴	۲۸۰۱	۳۵/۱	۲/۳۱۶	۱/۹۳
SW2	۱۶۶/۳	۰/۵۹	۲۴۴/۶	۰/۲۹۰۶	۱/۴۸۳	۰/۹۲۰	۶۵	۲۹۱۹	۳۴/۰۱	۲/۲۷۲	۱/۴
SW3	۱۸۱/۱	۰/۴۷	۲۰۰/۸	۰/۲۸۷۹	۱/۸۰۶	۰/۹۵۳	۶۵	۲۳۷۴	۲۲/۹۳	۲/۳۷۴	۱/۳
SW4	۱۱۴/۳	۰/۵۴	۲۶۶/۳۹	۰/۳۰۲۸	۱/۴۹۱	۰/۹۲۲	۶۶	۲۸۹۵	۳۲/۲۷	۲/۵۷۲	۱/۴۷
SW5	۱۷۷/۸	۰/۶۴	۲۲۲/۹	۰/۲۸۸۵	۰/۹۶۱	۰/۹۲۰	۷۳	۲۲۳۷	۱۹/۴۴	۲/۱۵۸	۱/۲۴
SW6	۳۲۴/۹	۰/۶۸	۱۷۸/۴۴	۰/۲۶۹۹	۰/۷۹۷	۰/۹۷۵	۷۰	۲۵۲۸	۲۲/۸	۲/۲۴۸	۱/۵
SW7	۱۶۸/۳	۰/۷۵	۱۶۷/۳۷	۰/۲۹۰۲	۱/۲۷۶	۰/۹۱۹	۷۱	۲۱۶۲	۲۶/۱۶	۲/۲۷	۱/۸۱
SW8	۲۱۰/۱	۰/۷۰	۲۳۱/۷۱	۰/۲۸۳۲	۱/۰۹۰	۰/۹۲۹	۷۳	۲۲۶۱	۲۸/۲۹	۲/۱۳۷	۱/۷۸
SW9	۱۴۴/۲	۰/۵۳	۲۸۱/۹	۰/۲۹۵۲	۱/۸۲۰	۰/۹۲۲	۶۹	۲۸۶۱	۳۸/۰۹	۲/۳۸۵	۱/۴۶
SW10	۲۳۰/۸	۰/۹۷	۲۲۸/۹	۰/۲۸۰۳	۱/۷۲۱	۰/۹۳۸	۶۶	۲۶۴۸	۴۰/۳۸	۲/۳۵۷	۱/۶۷
SW11	۲۳۱/۱	۰/۹	۱۵۱/۴	۰/۲۸۰۳	۱/۰۸۱	۰/۹۸۳	۷۲	۲۵۴۸	۲۵/۰۷	۲/۱۱۵	۱/۳۹
SW12	۱۵۷/۸	۰/۴۱	۱۷۹/۲	۰/۲۹۲۳	۱/۳۳۸	۰/۹۸۴	۷۱	۲۰۷۱	۲۸/۳۶	۲/۱۹۹	۱/۴۷
SW13	۱۰۸/۹	۰/۵۱	۱۸۸/۶	۰/۳۰۴۴	۱/۷۹۷	۰/۹۵۳	۶۵	۲۰۸۸	۳۱/۸۸	۲/۴۰۵	۱/۷۱
SW14	۱۶۰/۹	۰/۷۲	۱۸۳/۳	۰/۲۹۱۶	۰/۹۶۵	۰/۹۸۸	۶۸	۲۰۹۶	۲۱/۴	۲/۱۳۸	۱/۵۵
SW15	۲۱۳/۱	۰/۴۵	۱۳۱/۹	۰/۲۸۲۸	۱/۵۳۸	۰/۹۶۷	۶۹	۲۱۸۴	۳۲/۳۴	۲/۴۳۱	۱/۳۳
SW16	۱۴۳/۶	۰/۵۹	۱۲۷/۵	۰/۲۹۵۳	۱/۵۰۰	۰/۹۸۱	۷۴	۱۸۳۴	۳۱/۸۶	۲/۲۲۸	۱/۷۴
SW17	۱۸۹/۸	۰/۶۸	۱۱۵/۵	۰/۲۸۶۴	۱/۱۲۶	۰/۹۹۷	۷۳	۲۰۱۵	۳۳/۶۵	۲/۱۹۲	۱/۳۴
SW18	۱۸۴/۷	۰/۵۷	۱۲۸/۵	۰/۲۸۷۲	۱/۴۵۸	۰/۹۹۵	۷۴	۱۵۹۰	۳۹/۰۸	۲/۲۴۱	۱/۳۲

تجربه نشان داده است که اگر نرخ سازگاری (C.R.) کمتر از ۰/۱۰ باشد، می‌توان سازگاری مقایسات را پذیرفت، در غیر اینصورت باید مقایسات مجدداً انجام گیرد. نتایج تحقیق نشان داد نرخ سازگاری (C.R.) مقایسات ۰/۰۵ است و از ۰/۱۰ کمتر است، بنابراین می‌توان سازگاری مقایسات را پذیرفت.

همانطور که اشاره شد در این تحقیق با استفاده از روش AHP وزنی برای هر یک از شاخص‌ها ارزیابی برآورد شد، در شکل ۲ مقدار این اوزان بیان شده است. همانطور که مشخص است شاخص ارتفاع رواناب (۰/۱۸) بیشترین وزن و شاخص ارتفاع متوسط حوضه (۰/۰۲۸) کمترین وزن را به خود اختصاص داده است.

لازم به ذکر است، نرخ سازگاری (C.R.) نشان می‌دهد که تا چه اندازه می‌توان به اولویت‌های حاصل از اعضای گروه اعتماد کرد.



شکل ۲- وزن برآورد شده برای هر یک از شاخص های ارزیابی با استفاده از روش AHP

Figure 2. Estimated weight for each of the evaluation indicators using the AHP method

اولویت های اول تا سوم را به خود اختصاص داده اند و در حالت بحرانی تری قرار دارند، اما در روش ELECTRE زیر حوضه های ۹، ۴، ۲ و ۷ در حالت بحرانی تری قرار گرفته اند.

در جدول ۲ نتایج حاصل از اولویت بندی قابلیت سیل خیزی و رسوب زایی زیرحوضه های آبخیز بنکوه با استفاده از روش های SAW، TOPSIS، VIKOR و ELECTRE ارائه شده است. همانطور که در جدول ۲ مشخص است در روش های SAW، TOPSIS و VIKOR زیرحوضه های ۹، ۴ و ۲

جدول ۲- اولویت بندی زیرحوضه های آبخیز بنکوه با استفاده از روش های تصمیم گیری چند معیاره

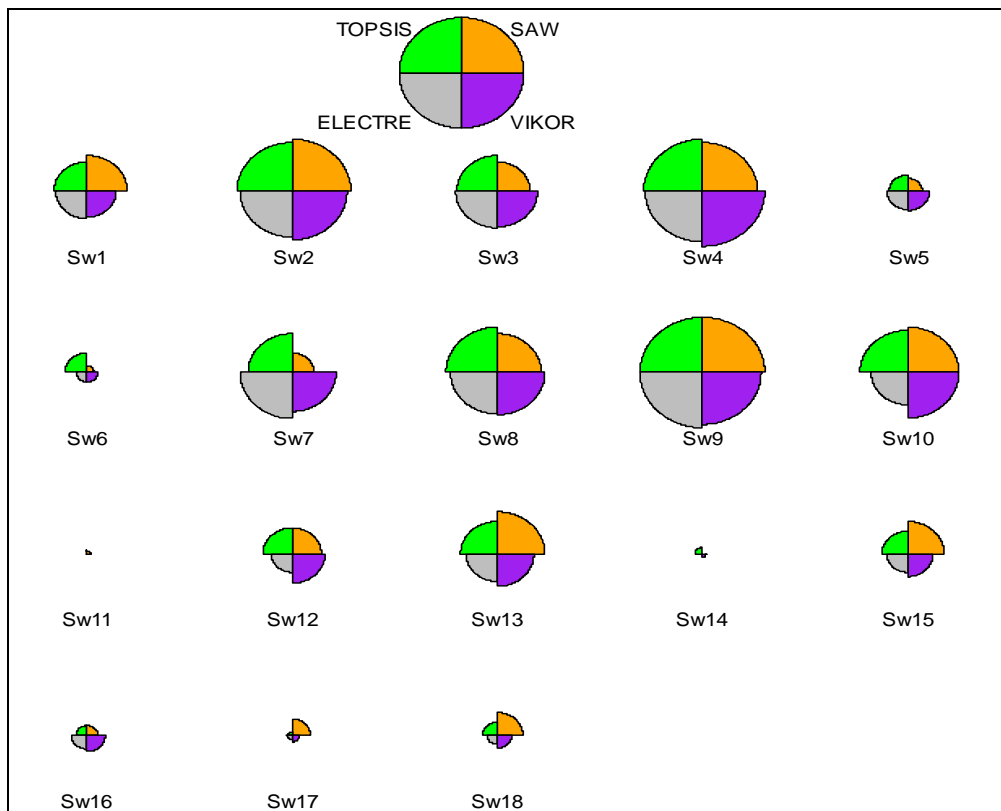
Table 2. Prioritization of sub-basins in the Bonekooh Watershed using multi-criteria decision-making methods

نام زیرحوضه	اولویت بندی بر مبنای روش ELECTRE	امتیاز بر مبنای روش VIKOR	اولویت بندی بر مبنای روش VIKOR	امتیاز بر مبنای روش TOPSIS	اولویت بندی بر مبنای روش TOPSIS	امتیاز بر مبنای روش SAW	اولویت بندی بر مبنای روش SAW
SW1	۷	۰/۷۱۶	۱۰	۰/۵۰۳	۹	۰/۴۸۷	۷
SW2	۳	۰/۹۳۳	۳	۰/۳۷۴	۲	۰/۴	۲
SW3	۵	۰/۸۴۲	۷	۰/۴۹۹	۷	۰/۵۳۱	۹
SW4	۲	۰/۹۷۹	۱	۰/۳۷	۲	۰/۴۲۲	۳
SW5	۹	۰/۵۷۷	۱۲	۰/۶۰۴	۱۳	۰/۶۲	۱۴
SW6	۱۱	۰/۲۲۹	۱۵	۰/۵۸۹	۱۲	۰/۶۵۲	۱۶
SW7	۳	۰/۸۷۶	۶	۰/۴۹۸	۶	۰/۵۶	۱۲
SW8	۴	۰/۹۰۳	۵	۰/۴۲۸	۴	۰/۴۷۴	۶
SW9	۱	۰/۹۶۸	۲	۰/۲۹۹	۱	۰/۲۷	۱
SW10	۶	۰/۹۱۰	۴	۰/۴۷۱	۵	۰/۴۲۵	۴

۱۷	۰/۶۷۸	۱۸	۰/۷	۱۸	۰/۱۹۷	۱۳	SW11
۱۰	۰/۵۳۴	۱۰	۰/۵۵	۹	۰/۷۹۲	۹	SW12
۵	۰/۴۵۸	۸	۰/۵	۸	۰/۹۳۷	۷	SW13
۱۸	۰/۶۹۲	۱۶	۰/۶۶۴	۱۷	۰/۱۹۹	۱۳	SW14
۸	۰/۴۹۳	۱۱	۰/۵۶۷	۱۱	۰/۶۸۴	۹	SW15
۱۵	۰/۶۳۱	۱۵	۰/۶۳۷	۱۳	۰/۴۷۶	۱۰	SW16
۱۳	۰/۵۷	۱۷	۰/۶۸۲	۱۶	۰/۲۱۴	۱۲	SW17
۱۱	۰/۵۴۳	۱۴	۰/۶۱۵	۱۴	۰/۳۹۴	۱۱	SW18

روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، زیرحوضه‌های ۹، ۴ و ۲ بیشترین سیل‌خیزی و رسوب‌زایی را دارند و در وضعیت بحرانی تری قرار گرفته‌اند.

نتایج حاصل از اولویت‌بندی ۱۸ زیرحوزه‌ی آبخیز بنگوه با استفاده از روش‌های SAW، TOPSIS، VIKOR و ELECTRE به منظور مقایسه به صورت نمودار قطاعی ارائه شده است (شکل ۳). همانطور که مشخص است از نظر کلیه



شکل ۳- اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از چهار روش پیشنهادی (SAW, TOPSIS, VIKOR, ELECTRE)

Figure 3. Prioritization of sub-basins using four proposed methods (SAW, TOPSIS, VIKOR, ELECTRE)

اولویت اول قرار دارد و زیرحوضه یازدهم در اولویت انتهایی قرار گرفته است.

در جدول ۳ نتایج حاصل از تلفیق رتبه فنون پیشنهادی با استفاده از روش بردا و کپلند ارائه شده است، همانطور که مشخص است با استفاده از فنون تلفیق نیز زیر حوضه نهم در

جدول ۳- تلفیق رتبه فنون پیشنهادی (SAW, TOPSIS, VIKOR, ELECTRE) با استفاده از روش های بردا و کپلند  
Table 3. Ranking of recommended techniques (SAW, TOPSIS, VIKOR, ELECTRE) using Brada and Copland methods

اولویت بندی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
روش بردا	SW9	SW4	SW2	SW10, SW8	SW7	SW3, SW13	SW1	SW12
روش کپلند	SW9	SW4	SW2	SW10, SW8	SW7	SW3, SW13	SW1	SW12
اولویت بندی	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
روش بردا	SW15	SW5	SW18	SW16	SW6	SW17	SW14	SW11
روش کپلند	SW15	SW5	SW18	SW16	SW6	SW17	SW14	SW11

مجموع مربعات خطا (RSS) روش های پیشنهادی (SAW, TOPSIS, VIKOR, ELECTRE) در جدول ۴ ارائه شده است. روشی که دارای مجموع مربعات خطا کمتری باشد، خطای کمتری نسبت به رتبه بندی نهایی دارد. بنابراین همانطور که مشخص است روش VIKOR کمترین خطا و روش ELECTRE بیشترین خطا را نسبت به رتبه بندی نهایی دارا است.

جدول ۴- محاسبه مجموع مربعات خطا (RSS) روش های پیشنهادی

Table 4. Calculating Total Squared Error (RSS) Proposed Methods

مدل تصمیم گیری	مجموع مربعات خطا (RSS)
روش SAW	66
روش TOPSIS	33
روش VIKOR	25
روش ELECTRE	98

درصد تغییرات هر یک از روش ها در مقایسه با یکدیگر در جدول ۵ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می شود کمترین درصد تغییرات مقایسه ای دو روش، بین روش TOPSIS و روش VIKOR و بیشترین درصد تغییرات بین دو روش در بین روش ها، روش های ELECTRE و TOPSIS است. در بین روش ها، روش های TOPSIS و VIKOR با کمترین درصد تغییرات به میزان ۵۹/۷۲ درصد در رتبه اول و روش ELECTRE با بیشترین درصد تغییرات به میزان ۶۵/۲۷ درصد در رتبه آخر قرار دارد.

جدول ۵- درصد تغییرات چهار روش پیشنهادی نسبت به یکدیگر

Table 5. The percentage of variations of the four suggested methods relative to each other

روش	روش	روش TOPSIS	روش VIKOR	روش ELECTRE	میانگین درصد تغییرات
روش SAW	۰	۸۸/۸۸	۸۳/۳۳	۷۷/۷۷	۶۲/۵
روش TOPSIS	۸۸/۸۸	۰	۶۱/۱۱	۸۸/۸۸	۵۹/۷۲
روش VIKOR	۸۳/۳۳	۶۱/۱۱	۰	۹۴/۴۴	۵۹/۷۲
روش ELECTRE	۷۷/۷۷	۸۸/۸۸	۹۴/۴۴	۰	۵۶/۲۷

از روش‌ها از طریق مقایسه زوجی روش‌ها ارائه شده است. کمترین میزان تغییرات در روش VIKOR و بیشترین مقدار تغییرات در روش ELECTRE مشاهده می‌شود.

میزان شدت تغییرات دو روش در مقایسه با یکدیگر اگر برابر یک باشد نشان دهنده‌ی عدم وجود تغییرات است. هرچه از عدد یک فاصله بگیرد شدت تغییرات دو روش در مقایسه با یکدیگر رو به افزایش است. در جدول ۶ شدت تغییرات هر یک

#### جدول ۶- شدت تغییرات چهار روش پیشنهادی در مقایسه با یکدیگر

Table 6: The severity of the changes in the four suggested methods compared to each other

شدت تغییرات	روش ELECTRE	روش VIKOR	روش TOPSIS	روش SAW	روش
۴/۷۹	۱/۵۸	۱/۰۷	۱/۱۳	۱	روش SAW
۴/۶۹	۱/۵۳	۱/۰۲	۱	۱/۱۳	روش TOPSIS
۴/۵۹	۱/۴۹	۱	۱/۰۲	۱/۰۷	روش VIKOR
۵/۶۱	۱	۱/۴۹	۱/۵۳	۱/۵۸	روش ELECTRE

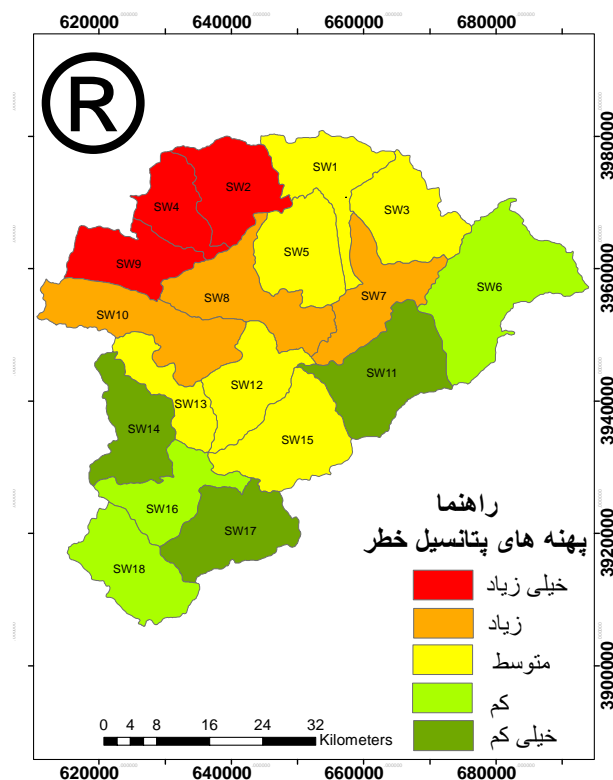
نرم افزار ArcGIS و استفاده از اولویت‌های بدست آمده از روش‌های تلفیق (بردا و کپ‌لند)، پهنه‌های دارای قابلیت سیل-خیزی و رسوب‌زایی زیرحوزه‌های آبخیز بنکوه در شکل ۴ ارائه شده است.

بعلاوه، زیرحوضه‌ها بر اساس وزن کلی برآورد شده، در پنج کلاس خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شدند (جدول ۷). با توجه به طبقه‌بندی فوق، مشخص شد که ۳۱/۶۲ منطقه جزء زون زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. در نهایت با روی هم گذاری لایه‌های نقشه زیر حوضه‌ها در محیط

#### جدول ۷- طبقه‌بندی خطر سیل‌خیزی و رسوب‌زایی زیرحوزه‌های آبخیز بنکوه

Table 7. Risk of flood formation and sedimentation in the sub-basins of the Bonekoooh Watershed

درصد مساحت	زیرحوضه	کلاس اولویت‌بندی	ردیف
۱۷/۷۸	SW11, SW14, SW17	خیلی کم	۱
۱۹/۹۷	SW6, SW16, SW18	کم	
۳۰/۶۱	SW1, SW3, SW5, SW13, SW12, SW15	متوسط	۲
۱۸/۶۲	SW7, SW8, SW10	زیاد	۳
۱۲/۹۹	SW9, SW4, SW2	خیلی زیاد	۴



شکل ۴- پهنه‌های قابلیت خطر سیل‌خیزی و رسوب‌زایی زیرحوضه‌های آبخیز بنکوه

Figure 4. Potential hazard zones for flood formation and sedimentation in sub-basins in the Bonekooch Watershed

#### بحث و نتیجه‌گیری

وزن زیاد و قابل ملاحظه آن، در اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها تاثیر به‌سزایی دارد و تغییرات این شاخص بیشترین تغییرات را در اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها به وجود می‌آورد. این نتایج با یافته‌های تحقیقات دهمرده قلعه نو و همکاران (۲۳) و آرامی و همکاران (۲۰) همخوانی دارد.

نتایج حاصل از اولویت‌بندی قابلیت سیل‌خیزی و رسوب‌زایی زیرحوضه‌های آبخیز بنکوه با استفاده از روش‌های SAW، TOPSIS، VIKOR و ELECTRE نشان داد در روش‌های SAW، TOPSIS و VIKOR زیرحوضه‌های ۹، ۴ و ۲ اولویت‌های اول تا سوم را به خود اختصاص داده‌اند و در حالت بحرانی‌تری قرار دارند، اما در روش ELECTRE زیرحوضه‌های ۹، ۴، ۲ و ۷ در حالت بحرانی‌تری قرار گرفته‌اند. بنابراین همانطور که در نتایج مشخص است در کلیه روش‌های پیشنهادی (SAW، TOPSIS، VIKOR، ELECTRE) برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها و وزن برآورد شده به روش AHP، بی‌نظمی‌هایی در اولویت‌های انتخاب شده مشاهده می-

در این تحقیق اولویت سیل‌خیزی و رسوب‌زایی زیرحوضه‌های آبخیز بنکوه - حوضه رودخانه حبله رود با استفاده روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به منظور کنترل فرسایش و کنترل سیلاب حوضه مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور از شاخص‌های ارزیابی ارتفاع متوسط حوضه، شماره منحنی، ضریب گراولپوس، تراکم زهکشی، شیب متوسط حوضه، مساحت، درصد پوشش، ارتفاع رواناب، تولید رسوب، نسبت تحویل رسوب و زمان تمرکز به عنوان شاخص‌های تصمیم‌گیری برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز بنکوه استفاده شد.

نتایج حاصل از وزن‌دهی شاخص‌های ارزیابی با استفاده از روش AHP نشان داد، شاخص‌های ارتفاع رواناب و شماره منحنی (CN)، بیشترین وزن و شاخص ارتفاع متوسط حوضه کمترین وزن را از نظر کارشناسان به خود اختصاص داده است. بنابراین می‌توان گفت میزان رواناب و درصد پوشش گیاهی از عوامل مهم و موثر در سیل‌خیزی و رسوب‌زایی این حوضه معرفی شده‌اند. به عبارتی دیگر می‌توان گفت، شاخص ارتفاع رواناب به دلیل



قرار دارد. همچنین محاسبه شدت تغییرات در هر یک از روش‌ها نشان می‌دهد که این عامل در روش VIKOR و روش ELECTRE به ترتیب در رتبه اول (مطلوب) و آخر (نامطلوب) قرار می‌گیرند. در برآیند تحلیل مقایسه‌ای نیز چنین به نظر می‌رسد که روش VIKOR به لحاظ این که میزان نوسان نتایج در این روش در مقایسه با روش‌های دیگر، دارای درصد و شدت تغییرات کمتری است، از اعتبار بیشتری در اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها برخوردار است. بنابراین می‌توان گفت روش VIKOR با کمترین میزان شدت تغییرات (۴/۵۹) بهترین عملکرد را در اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از خود نشان داده است و روش ELECTRE با بیشترین شدت تغییرات به میزان ۵/۶۱ نسبت به دیگر روش‌ها بدترین عملکرد را از خود نشان داده است، که این نتایج با تحقیقات آرامی و همکاران (۲۰) و عرب عامری و همکاران (۲۱) همخوانی دارد.

در نهایت نتایج پهنه‌بندی قابلیت سیل‌خیزی و رسوب‌زایی زیرحوضه‌های آبخیز بنکوه نشان داد، حدود ۳۲ درصد از منطقه در وضعیت بحرانی از نظر سیل‌خیزی و رسوب‌زایی قرار گرفته‌اند و باید در اولویت کارهای حفاظتی و مدیریتی قرار گیرند. همچنین ۳۸ درصد منطقه در زون کم قرار گرفته است و از وضعیت مناسبی برخوردار هستند. همانطور که در شکل ۴ مشخص است زیرحوضه‌های ۲، ۴ و ۹ در زون خیلی‌زیاد از نظر سیل‌خیزی و رسوب‌زایی قرار گرفته‌اند که حدود ۱۲/۹۹ درصد از منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. بنابراین همانطور که مشخص است، اکثریت منطقه مورد مطالعه در کلاس حساسیت کم و خیلی کم از نظر سیل‌خیزی و فرسایش قرار گرفته است. از دلایل این امر می‌توان به پوشش تراکم مرتعی در اکثریت منطقه اشاره کرد. بنابراین می‌توان گفت، پوشش گیاهی تأثیر مثبتی بر الگوهای زهکشی و حساسیت به فرسایش یک حوزه آبخیز دارد، که با نتایج آلتاف و همکاران (۴۰) مطابقت دارد. تراکم بالای پوشش گیاهی و درصد بالای زیست توده در کاهش سرعت فرسایش بسیار موثر است (۴۱)، علاوه بر این پوشش گیاهی از برخورد مستقیم و شدید قطرات

شود، ولی با توجه به نتایج حاصل از تلفیق رتبه فنون پیشنهادی، زیرحوضه‌های ۹، ۴ و ۲ به ترتیب در اولویت‌های اول تا سوم قرار دارند و از دیدگاه شدت سیل‌خیزی و تولید رسوب در طبقه خطر خیلی شدید قرار دارند. بنابراین می‌توان گفت نتایج حاصل از تلفیق رتبه تکنیک‌های پیشنهادی نشان داد که زیرحوضه ۹ بیشترین پتانسیل سیل‌خیزی و رسوب‌زایی را دارد و باید در اولویت کارهای حفاظتی و مدیریتی قرار گیرند. همچنین زیرحوضه ۱۱ با کمترین میزان پتانسیل سیل‌خیزی و رسوب‌زایی به عنوان بهترین زیرحوضه معرفی شده است. برای برشمردن دلایل وضعیت موجود در زیرحوضه‌ها ۹، ۴ و ۲ می‌توان به شیب زیاد، جنس خاک و تخریب پوشش گیاهی اشاره کرد. شایان ذکر است زیرحوضه‌های ۱۱ و ۱۴ در اولویت‌های انتهایی قرار گرفته و بهترین زیرحوضه از نظر فرسایش و سیل‌خیزی معرفی شدند. بنابراین باید به زیر حوضه‌های بحرانی از نظر انجام اقدامات اصلاحی و حفاظتی توجه ویژه‌ای شود. همچنین با توجه به اینکه بین شیب و فرسایش خاک رابطه قوی وجود دارد، می‌توان گفت شیب زیاد منطقه نیز در افزایش فرسایش خاک منطقه موثر است، که این نتایج با یافته‌های احمد و همکاران (۳۸) و بیسواز و همکاران (۳۹) همخوانی دارد. بنابراین، زیرحوضه ۱۰ با وجود داشتن پوشش گیاهی مناسب، به دلیل شیب زیاد نسبت به دیگر زیر حوضه‌ها دارای حساسیت به فرسایش خاک و سیل‌خیزی بیشتری است.

با توجه به نتایج مجموع مربعات خطا (RSS)، روش VIKOR دارای کمترین خطا و بیشترین همخوانی و روش ELECTRE دارای بیشترین خطا و کمترین همخوانی را با نتایج حاصل از تلفیق رتبه فنون پیشنهادی داشت. بنابراین می‌توان گفت روش VIKOR با کمترین مجموع مربعات خطا، بهترین نتیجه را به منظور اولویت‌بندی سیل‌خیزی و رسوب‌زایی زیرحوضه‌ها ارائه داده است. در بررسی و تحلیل درصد تغییرات روش‌های مورد مطالعه نسبت به دیگر نتایج نشان می‌دهد که روش‌های TOPSIS و VIKOR با کمترین درصد تغییرات به میزان ۵۹/۷۲ درصد در رتبه اول و روش ELECTRE با بیشترین درصد تغییرات به میزان ۶۵/۲۷ درصد در رتبه آخر

## References

1. Rao, L.A.K. Rehman, A.Z. and Alia, Y. 2011. Morphometric analysis of drainage basin using remote sensing and GIS techniques: a case study of Etmadpur Tehsil, Agra District, U.P. International Journal of Research in Chemistry and Environment. 1(2): 36-45.
2. Nkwunonwo, U.C., Whitworth, M., and Baily, B. 2015. A Review and critical analysis of the efforts towards urban flood reduction in the lagos region of Nigeria, Nat., Hazards Earth Syst., Sci. Discuss. PP. 3897-3923.
3. Wang, G. Gertner, G., Fang, S., and Anderson, A.B. 2003. Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM images and a slope map. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 69(8): 889- 898.
4. Sarangi, A., C.A., Madramootoo, and C., Cox. 2004. A decision support system for soil and water conservation measures on agricultural watersheds. Land Degradation and Development. Land Degradation and Development, 15 (49): 49-63
5. Jang T, Vellidis G, Hyman JB, Brooks E, Kurkalova LA, Boll J, Cho J. 2013. Model for Prioritizing best management practice implementation: sediment load reduction. Environ. Manage. 51. 209-224.
6. Aher, P.D. Adinarayana, J. and Gorantivar, S.D. 2013. Prioritization of Watersheds using multi-criteria evaluation through fuzzy analytical hierarchy process. Agric Eng Int: CIGR Journal. 15(1): 11-18.
7. Zavadskas, EK., Turskis, Z., Kildienė, S., 2014. State of art surveys of

باران با سطح زمین جلوگیری می کند، بنابراین فرسایش را کاهش می دهد (۴۲).

در مجموع می توان گفت در حوزه آبخیز بنکوه با توجه به شرایط توپوگرافی و مورفولوژیکی حوضه و همچنین عوامل فرسایش طبیعی و انسانی، باید به زیر حوضه های دچار شرایط بحرانی تر توجه ویژه و بیشتری شود تا از هدر رفت منابع خاکی و آبی و پیامدهای ناشی از فرسایش های شدید جلوگیری شود. در این مناطق با توجه به بحرانی بودن وضعیت و همچنین شرایط توپوگرافی و اقلیمی آن ها بهتر است از اقدامات زیستی و مکانیکی، هم زمان استفاده شود. با توجه به اینکه حدود ۳۲ درصد منطقه مورد مطالعه در طبقه سیلخیزی و سوبزایی زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است، ضرورت دارد برای مهار سیلاب و کاهش شدت سیلخیزی، بر اساس اولویت طبقات اقدامات لازم صورت گیرد. نکته مهم و شایان توجه این است که در مناطق بحرانی برای اجرای عملیات حفاظتی باید از نظرها و پیشنهادهای متخصصان و نیز تجارب افراد بومی استفاده کرد. بنابراین می توان گفت به منظور مدیریت زیر حوضه ها از نظر اجرای عملیات زیستی و سازه ای کنترل سیل با چند تابع هدف و با توجه به عملیات پرهزینه آبخیزداری، می توان از روش های تصمیم گیری چند معیاره استفاده کرد تا اولویت بندی بر اساس یک منطق ریاضی انجام گیرد. این موضوع با نتایج آهر و همکاران (۱۸)، جاود و همکاران (۱۷)، آرامی و همکاران (۲۰)، سویزی و همکاران (۴۳) و فناوتی و همکاران (۴۴) همخوانی دارد.

شایان ذکر است، از محدودیت های این پژوهش می توان به کم بودن تعداد ایستگاه های هواشناسی و نبود ایستگاه سینوپتیک در منطقه نام برد. همچنین نبود نقشه خاک با دقت بالا از منطقه در نتایج شبیه سازی بی تاثیر نبوده است. از این رو عدم قطعیت و کاهش قابلیت اطمینان به نتایج تحقیق را افزایش خواهد داد.

## تشکر و قدردانی

این مطالعه بخشی از طرح تحقیقاتی مصوب بوده که با حمایت معاونت پژوهشی مجتمع آموزش عالی شیروان انجام شده است که بدینوسیله از ایشان سپاسگزاری می گردد.

- morphometric analysis for sub-watersheds prioritization of high Oum Er-Rbia basin, Morocco. *Spat. Inf. Res.* 26: 187–202.
15. Balasubramani, K., Gomathi, M., Bhaskaran, G., Kumaraswamy, K. 2019. GIS-based spatial multi-criteria approach for characterization and prioritization of micro-watersheds: A case study of semi-arid watershed, South India. *Appl. Geomat.* 1–19.
  16. Jain, P., Ramsankaran, R. 2019. GIS-based integrated multi-criteria modelling framework for watershed prioritisation in India—A demonstration in Marol watershed. *Journal of Hydrology.* 578, 124131.
  17. Javed A, Khanday MY, Ahmed R. Prioritization of watersheds based on morphometric and landuse analysis using RS and GIS techniques. *Journal of the Indian society of Remote Sensing.* 2009; 37. 261-274.
  18. Aher P, Adinarayana J, Gorantiwar SD. 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.
  19. Chandrashekara, H., Lokeshb, K., Sameenac, M., roopad, J., and rangannae, G. 2015. GIS –Based Morphometric Analysis of Two Reservoir Catchments of Arkavati River, Ramanagaram District, Karnataka. *Aquatic Procedia, INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER RESOURCES, COASTAL AND OCEAN ENGINEERING (ICWRCOE 2015),* vol 4, pp. 1345 – 1353.
  8. Parhizkar, A., A. Ghafarie gilande. 2006. GIS analysis and multi-criteria decision. *Samt Publications.* 597 pp.
  9. Vivien, Y.C., P.L., Hui, H.L., Chui, J.H.L., James, H.T., Gwo, and S.Y., Lung. 2011. Fuzzy MCDM approach for selecting the best environment-watershed plan. *Journal of Applied Soft Computing* 11, 265–275.
  10. Kaya, T., C., Kahraman. 2011. Fuzzy multiple criteria forestry decision making based on an integrated VIKOR and AHP approach. *Journal of Expert Systems with Applications* 38, 7326–7333.
  11. Ahani Amineha, Z., Al-DinHashemian, S.J., Magholi, A. 2017. Integrating Spatial Multi Criteria Decision Making (SMCDM) with Geographic Information Systems (GIS) for delineation of the most suitable areas for aquifer storage and recovery (ASR). *Journal of Hydrology,* 551: 577-595.
  12. Gogate, N., Kalbar, P., Raval, P. 2017. Assessment of stormwater management options in urban contexts using Multiple Attribute Decision-Making. *Journal of Cleaner Production.* 142(4): 2046-2059.
  13. Nitheshnirmal, S., Bhardwaj, A., Dineshkumar, C., and Abdul Rahaman, S. 2019. Prioritization of Erosion Prone Micro-Watersheds Using Morphometric Analysis coupled with Multi-Criteria Decision Making. *Proceedings.* 24(11):1-6.
  14. Aouragh, H.M., Essahlaoui, A. 2018. A TOPSIS approach-based

- catchment. *Ecological Modeling*. 268: 48–54.
26. Nitheshnirmal, S., Thilagaraj, P., Rahaman, S.A., Jegankumar, R. 2019. Erosion risk assessment through morphometric indices for prioritisation of Arjuna watershed using ALOS-PALSAR DEM. *Model. Earth Syst. Environ.* 1–18.
27. Amiri, M., Pourghasemi, H.R., Arabameri, A., Vazirzadeh, A., Yousefi, H., Kafaei, S. 2019. Prioritization of Flood Inundation of Maharloo Watershed in Iran Using Morphometric Parameters Analysis and TOPSIS MCDM Model. *Spatial Model. GIS R Earth Environ. Sci.* 371–390.
28. Mahdavi, M., 1999. *Applied Hydrology*, Tehran University Publishers, 401 pp.
29. Ghaemi, H., 1994. Studies to supplementary identification of watershed project in Karkheh watershed. Watershed management department of the Ministry of Jihad, pp 195. (In Persian).
30. Amani, F., 1998. Feasibility of flooding. Master Thesis, Shahid Beheshti University, pp 182. (In Persian)
31. Salajegheh, A., S. Razavizadeh, & S. Salajegheh, 2010. Priority of flooding in Tangab sub basins in Fars province, using Scalogram model. The first international conference on plant, water, soil 7 weather modeling, Kerman, Iran. (In Persian)
32. Mtibaa, S., Hotta, N., and Irie, M. 2018. Analysis of the efficacy and cost-effectiveness of best management practices for controlling sediment yield: A case study of the Joumine
20. Arami, H., Alvandi, E., Forootan, M., Tahmasebipour, N., Karimi Sangchini, E. 2017. Prioritization of watersheds in order to perform administrative measures using fuzzy analytic hierarchy process, *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 67(1): 13-21.
21. ArabAmeri, A., Pourghasemi, H., Cerda, A. 2018. Erodibility prioritization of sub-watersheds using morphometric parameters analysis and its mapping: A comparison among TOPSIS, VIKOR, SAW, and CF multi-criteria decision making models. *Science of The Total Environment*, 613–614, 1385-1400.
22. Zavadskas, EK., Turskis, Z., 2011. Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: an overview. *Technological and Economic Development of Economy*. 17:397-427.
23. Ghaleno, M.R.D., Meshram, S.G., Alvandi, E. 2020. Pragmatic approach for prioritization of flood and sedimentation hazard potential of watersheds. *Soft Computing*. <https://doi.org/10.1007/s00500-020-04899-4>.
24. Meshram, S.G., Alvandi, E., Singh, V. P., Meshram, Ch. 2019. Comparison of AHP and fuzzy AHP models for prioritization of watersheds. *Soft Computing*. <https://doi.org/10.1007/s00500-019-03900-z>.
25. Keshtkar, A.R., Salajegheh, A., Sadoddin, A., and Allan, M.G. 2013. Application of Bayesian networks for sustainability assessment in catchment modeling and management, case study: The Hablehrood river

39. Biswas, H., Raizada, A., Mandal, D., Kumar, S., Srinivas, S., Mishra, P.K. 2015. Identification of areas vulnerable to soil erosion risk in India using GIS methods. *Solid Earth*. 6, 1247–1257.
40. Altaf, S., Meraj, G., Ahmad Romshoo, S. 2014. Morphometry and land cover based multi-criteria analysis for assessing the soil erosion susceptibility of the western Himalayan watershed. *Environ. Monit. Assess.* 186, 8391–8412.
41. Badar, B., Romshoo, S.A., Khan, M.A. 2013. Integrating biophysical and socioeconomic information for prioritizing watersheds in a Kashmir Himalayan lake: a remote sensing and GIS approach. *Environ. Monit. Assess.* 185, 6419–6445.
42. Romshoo, S.A., Rashid, I. 2012. Assessing the impacts of changing land cover and climate on Hokersar wetland in Indian Himalayas. *Arab. J. Geosci.* 7, 143–160.
43. Souissi, D., Zouhri, L., Hammami, S., Msaddek, M., Zghibi, A., and Dlala, M. 2019. GIS-based MCDM – AHP modeling for flood susceptibility mapping of arid areas, southeastern Tunisia. *Geocarto International*.
44. Ghanavati, E., Ahmadabadi, A., Sadeghi, M. 2019. The Selection of Susceptible Reservoirs to Flood Storage with an Emphasis on Landform Characteristics and Spatial Multi-Criteria Decision-Making Methods in Qomroud Watershed. *Hydrogeomorphology*. 5(18):139-159.
- watershed, Tunisia, *Science of the Total Environment*. 617:1–16.
33. Chen, F.H., Tzeng, G.H., Chang, C.C., 2015. Evaluating the enhancement of corporate social responsibility websites quality based on a new hybrid MADM model. *Int. J. Inf. Technol. Decis. Mak.* 14, 697–724.
34. Sadoddin, A., Shahabi, M., and Bai, M. 2017. Integrated watershed assessment and management Principles and approaches for modeling and decision making. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Publishing. 170 p. (In Persian)
35. Georgiou, D., Mohammed, E.S., Rozakis, S., 2015. Multi-criteria decision making on the energy supply configuration of autonomous desalination units. *Renew. Energy* 75, 459–467.
36. El-Santawy, MF. 2012. A VIKOR Method for Solving Personnel Training Selection Problem. *International Journal of Computing Science*. 1 (2): 9-12.
37. Badri, S.A., 2003. Models of rural planning. Pamphlets Practical Lesson in Geography and Rural Planning. Payame Noor University, p. 126.
38. Ahmad Rather, M., Satish Kumar, J., Farooq, M., Rashid, H. 2017. Assessing the influence of watershed characteristics on soil erosion susceptibility of Jhelum basin in Kashmir Himalayas. *Arab. J. Geosci.* 10, 59.