Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Prioritizing watershed management practices in the Ferizi and Rig-Sefid watersheds using Fuzzy-TOPSIS Method

Seyed Mohammad Tajbakhsh[1]*, Zahra Gohari [2], Asadollah Mahmoodzadeh Vaziri [3]

[1] Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Natural Resources & Environment, University of Birjand, Birjand, Iran
[2] Ph.D. Graduated Student, Department of Natural Resources, Faculty of Desert Studies, University of Semnan, Semnan, Iran
[3] Assistant Professor, Department of Mathematics, Faculty of Mathematics and Statistics, University of Birjand, Birjand, Iran

Abstract

Introduction
Watershed management projects with different objectives require some kinds of prioritization due to the natural condition prevailing in the watershed, including socio-economic issues, technical and financial constraints. The main purpose of the paper is to provide and apply the concept and techniques of multi-criteria decision-making (MCDM) under a fuzzy environment in the prioritization and selection of projects in portfolio management. In order to priority watershed management practices and evaluate the ecological potential of Ferizi and Rig-Sefid watersheds (Chenaran city, Khorasan Razavi province), the Fuzzy-TOPSIS method has been used as a powerful tool in multi-criteria decision making.

Materials and Methods
In this study, the preference weights of the criteria were identified using fuzzy AHP. Then, the weights are embraced in fuzzy-TOPSIS to improve the gaps of projects (alternatives) to achieve the organizational objectives as well as interactions between projects. The hybrid Fuzzy-AHP and Fuzzy TOPSIS methods made it more systematic and helpful for the decision maker to choose the best alternative from watershed management practices. In this respect, there are three phases performed in this study, the first phase of data is collected via questionnaire by experts. Next, determining criteria weights via Fuzzy-AHP was the main purpose of the second phase. In the third phase, the output obtained from Fuzzy-AHP with regard to criteria weights is used as input to be applied in fuzzy-TOPSIS for defining the optimal alternative and capturing the complex relationships between the assessment criteria and alternatives.

Results and Discussion
The comparison of the prioritization with the Fuzzy-TOPSIS method in this study and studies in 2010 indicate their similarity to some items, while in the second category priorities, the differences are more than the third and fourth priorities. The results indicate that multi-criteria decision models suggest the best location due to the usage of several criteria quantitatively and qualitatively with respect to objectives. In addition, it can be provided valuable information on prioritizing executive operations for integrated watershed management. It is also revealed that in the Fuzzy-TOPSIS technique, calculating the weights of criteria is essential and they can adjust the rating for other projects. Therefore, Fuzzy-TOPSIS will additionally help to select the optimal management project for the decision-making process.

Conclusion
It was found that many researchers applied many kinds of MCDM methods to help the decision makers understand and have more concentration on the high rank of criteria and also provide the ranking of the best alternatives in different problems and situations.

Keywords: Ecological potential, Modeling, Multi-criteria decision making, Planning.

Article Type: Research Article

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

Citation: 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 Modeling*, 2(4), 64-76.
DOI: 10.22098/MMWS.2022.10465.1084
DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.4.5.6

Received: 07 March 2022, Received in revised form: 27 June 2022, Accepted: 27 June 2022, Published Online: 27 June 2022
Water and Soil Management and Modeling, Year 2022, Vol. 2, No. 4, pp. 64-76

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili
© Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۵۴۶-۲۷۸۳

اولویت‌بندی اقدامات آبخیزداری در حوزه‌های آبخیز فریزی و ریگ سفید با استفاده از روش فازی-تاپسیس

سید محمد تاج‌بخش[1*]، زهرا گوهری[2]، اسداله محمودزاده وزیری[3]

[1] دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

[2] دانش‌آموختهٔ دکتری، گروه مناطق خشک و بیابانی، دانشکدهٔ کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

[3] استادیار، گروه علوم ریاضی، دانشکدهٔ علوم پایه، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

چکیده

پروژه‌های آبخیزداری با اهداف گوناگون به‌دلیل شرایط طبیعی حاکم بر حوزهٔ آبخیز، از جمله مسائل اقتصادی- اجتماعی و محدودیت‌های فنی و مالی، نیازمند اولویت‌بندی است. برای بررسی ارزیابی توان بوم‌شناختی حوضه‌های آبخیز فریزی و ریگ سفید (شهرستان چناران خراسان رضوی) جهت اولویت-بندی عملیات اجرایی آبخیزداری، از روش فازی- تاپسیس به‌عنوان ابزار قدرتمند در تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شده است. با ورود اطلاعاتی شامل معیارها (حفاظت خاک، ظرفیت چرا، فرسایش آبی، ارتفاع رواناب، دبی، شیب و بارندگی)، وزن معیارها (اعداد فازی یا قطعی)، نوع معیارها (مثبت یا منفی)، گزینه‌ها و داده‌های ماتریس تصمیم‌گیری، در نرم‌افزار Fuzzy TOPSIS Solver 2013 کلیه مراحل تحلیل انجام شد. زیرحوضه‌های R1، R2، R5 و F`2 در بالاترین اولویت و به همین‌ترتیب زیرحوضه‌های R`7 و R`10 در کمترین اولویت برای انجام عملیات آبخیزداری قرار دارند. زیرحوضه-های R4 از حوزهٔ آبخیز ریگ سفید و F3، F4 و F`5 از حوضهٔ آبخیز فریزی، در اولویت دوم انجام عملیات و با عنوان اولویت زیاد قرار دارند. زیرحوضه-های R`6، R9 و F1 در اولویت متوسط و زیرحوضهٔ R`3 در اولویت کم برای انجام عملیات آبخیزداری قرار گرفتند. با مقایسه اولویت‌بندی با روش فازی- تاپسیس و مطالعات توجیهی سال ۱۳۸۹ می‌توان تا حدودی به شباهت نتایج آنها اشاره نمود، لیکن در اولویت‌های رده دوم تفاوت‌ها به نسبت اولویت‌های سوم و چهارم بیشتر مشاهده می‌شود. نتایج حاکی از آن است که مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره بهدلیل قابلیت استفاده از چندین معیار به‌صورت کمی و کیفی و پیشنهاد بهترین مکان با توجه به هدف، می‌تواند اطلاعات با ارزشی را در زمینه اولویت‌بندی عملیات اجرایی در راستای مدیریت جامع حوضهٔ آبخیز ارائه نماید. لذا، پیشنهاد می‌شود در تلفیق و برنامه‌ریزی مطالعاتی از این روش که دارای استناد منطقی و روند اصولی برای تعیین اولویت‌ها دارد، استفاده شود؛ زیرا در این روش هم عوامل و هم زیرحوضه‌ها برای کنترل و برنامه‌ریزی طبقه‌بندی می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، توان بوم‌شناختی، مدل‌سازی

نوع مقاله: پژوهشی

[*] مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: tajbakhsh.m@birjand.ac.ir

استناد: تاج‌بخش، س.م.، گوهری، ز. و محمودزاده وزیری، ا. (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)، ۶۴-۷۶.

DOI: 10.22098/MMWS.2022.10465.1084

DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.4.5.6

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۴/۰۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۶، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۴/۰۶

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۱، دوره ۲، شماره ۴، صفحه ۶۴ تا ۷۶

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱- مقدمه

اولویت‌بندی حوزه‌های آبخیز باعث هدایت صحیح مؤثر بودجه، منابع انسانی، تجهیزات و سایر منابع درون حوضه‌ای می‌شود که توان و پتانسیل بیش‌تر برای اقدام مشابه به سایر حوضه‌ها در منطقه را دارد. اهمیت ارزیابی توان بوم‌شناختی سرزمین به گونه‌ای است که اگر سرزمین بالقوه فاقد توان بوم‌شناختی مناسب برای اجرای کاربرد خاصی باشد، اجرای آن طرح نه تنها سبب بهبود وضعیت محیط زیست منطقه نمی‌شود، بلکه تخریب بیش‌تر محیط را به همراه خواهد داشت (Auger et al., 2000). مدیران و برنامه‌ریزان حوزه‌های آبخیز اغلب با مشکلاتی در تصمیم‌گیری‌های پیچیده مواجه هستند. این پیچیدگی‌ها به‌خاطر این واقعیت است که تعداد زیادی از عوامل و متغیرهای مؤثر وجود دارند که باید در تصمیم‌گیری لحاظ شوند. در این زمینه، رویکردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره راهکار مناسبی برای حل این گونه مسائل است. در واقع با استفاده از این رویکردها و با توجه به معیارهای مختلف تصمیم‌گیری، می‌توان بهترین گزینه یا گزینه‌ها را از بین گزینه‌های موجود، انتخاب و اجرایی نمود (Witlox, 2005). در مبحث ارزیابی بوم‌شناختی و رتبه‌بندی حوزه‌های آبخیز جهت اقدامات آبخیزداری، وجود معیارها و گزینه‌های فراوان در امر تصمیم‌گیری مدیران را با پیچیدگی‌های زیادی روبه‌رو می‌سازد؛ لذا، ضرورت یک تکنیک قوی و آسان که بتواند کارشناسان را در این زمینه یاری کند، کاملاً محسوس است. از این‌رو، بهره‌گیری از افراد مختلف با تخصص‌ها، تجربیات و دیدگاه‌های علمی گوناگون، همراه با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری گروهی و چندمعیاره ابزاری مناسب جهت رتبه‌بندی و اتخاذ تصمیمات صحیح‌تر و علمی به‌شمار می‌رود (Asadi Nalivan et al., 2013). روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) در مطالعات زیادی به کار گرفته شده‌اند که از جمله این آن‌ها می‌توان به فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) (Levy, 2005) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) اشاره نمود که توسط Sinha et al. (2008)، Ghanavati et al. (2012)، Malekian et al. (2012)، Jun et al. (2013) و Walczykiewicz (2015) مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

بررسی‌های Arabameri et al. (2018) به‌منظور مقایسه چهار روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)، VIKOR، ارزیابی شباهت به گزینهٔ ایده‌آل (TOPSIS) و مجموع ساده وزنی (SAW) برای اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز قائم‌شهر در استان مازندران از نظر فرسایش‌پذیری، بیان‌گر آن است که مدل VIKOR از دقت پیش‌بینی بهتری نسبت به سه مدل دیگر برخوردار است. هم‌چنین، Amiri et al. (2019) برای اولویت‌بندی سیل‌گیری زیرحوزه‌های آبخیز مهارلو در استان فارس بر اساس ۱۳ متغیر ریخت‌شناسی و یک متغیر اقلیمی (بارش سالانه) از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس استفاده نمودند. هم‌چنین برای وزن‌دهی متغیرها AHP مورد استفاده قرار داده و در نهایت زیرحوزه‌های آبخیز حساس به سیل را شناسایی نمودند. به‌طور کلی، روش‌های MCDM از دههٔ ۱۹۸۰ به بعد کاربرد وسیعی در زمینه‌های مختلف مهندسی و مدیریت داشته‌اند که از آن جمله می‌توان کاربرد آن را در مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز (Duckstein, 1980)، برنامه‌ریزی سیستم جامع منابع آب (Benedini, 1988) و مدیریت منابع آب (Stewart and Scott, 1995) نام برد.

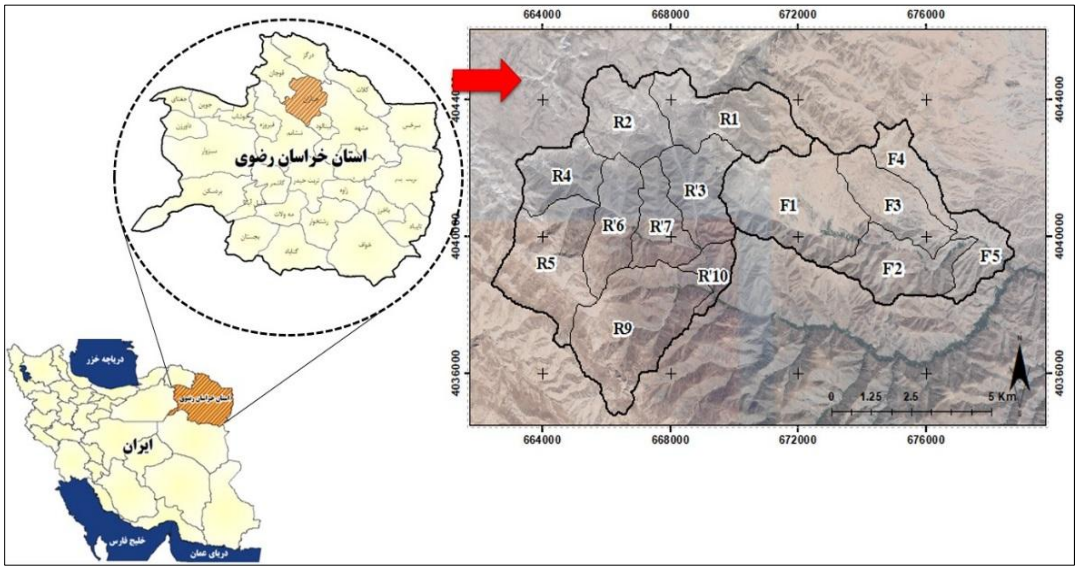
انجام عملیات آبخیزداری با اهداف گوناگون در یک حوزهٔ آبخیز به‌خاطر شرایط طبیعی حاکم بر حوضه، مسائل اقتصادی-اجتماعی و هم‌چنین محدودیت‌های فنی و مالی، نیازمند نوعی اولویت‌بندی است. به‌همین دلیل، پژوهش حاضر با هدف روش اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری از طریق ارزیابی توان بوم‌شناختی در سطح حوزهٔ آبخیز و کارایی استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی-تاپسیس جهت مدیریت حوزهٔ آبخیز انجام پذیرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

محدودهٔ مورد مطالعه شامل حوزه‌های آبخیز فریزی و ریگ سفید با مساحت به‌ترتیب ۲۷۹۱ و ۵۲۶۶ هکتار در محدودهٔ جغرافیایی ″۵۸°۴۸′۲۷ تا ″۵۹°۰۶′۳۲ طول شرقی و ″۳۶°۱۹′۵۷ تا ″۳۶°۳۴′۰۵ عرض شمالی در شهرستان چناران و در استان خراسان رضوی واقع شده است (شکل ۱). حداقل و حداکثر ارتفاع حوزهٔ آبخیز فریزی به‌ترتیب ۱۵۴۵ و ۲۵۴۵ متر و حوزهٔ آبخیز ریگ سفید ۱۸۸۰ و ۳۰۵۰ متر است. هم‌چنین، ارتفاع متوسط در حوزهٔ آبخیز فریزی ۱۹۶۹ متر و در حوزهٔ آبخیز ریگ سفید ۲۳۳۷ متر از سطح دریا است. متوسط بارندگی سالانه و درجهٔ حرارت سالیانه در محدودهٔ مطالعاتی به‌ترتیب ۳۱۱ میلی‌متر و ۱۱/۷ درجهٔ سانتی‌گراد است. بر اساس تقسیمات هیدرولوژیک، حوزهٔ آبخیز فریزی به پنج زیرحوضه و ریگ سفید به نه زیرحوضه تقسیم شدند که بر اساس نام حوزه‌های آبخیز مورد بررسی با حروف اختصاری F و R نمایش داده شدند. به لحاظ زمین‌شناسی، محدودهٔ مطالعاتی در پهنه رسوبی-ساختاری بینالود قرار دارد که بیش‌ترین وسعت آن را سری مایان و معادل سازند چمن بید تشکیل می‌دهد. سری مایان شامل فیلیت،

شیل و ماسه‌سنگ با روند جنوب شرق–شمال‌غرب، بخش ارتفاعات حوضه‌ها را تشکیل می‌دهد (Tajbakhsh et al., 2021).



شکل ۱- موقعیت محدودهٔ مطالعاتی در ایران و استان خراسان رضوی

Figure 1- Location of the study area in Iran and Khorasan Razavi Province

۲-۲- تکنیک فازی-تاپسیس

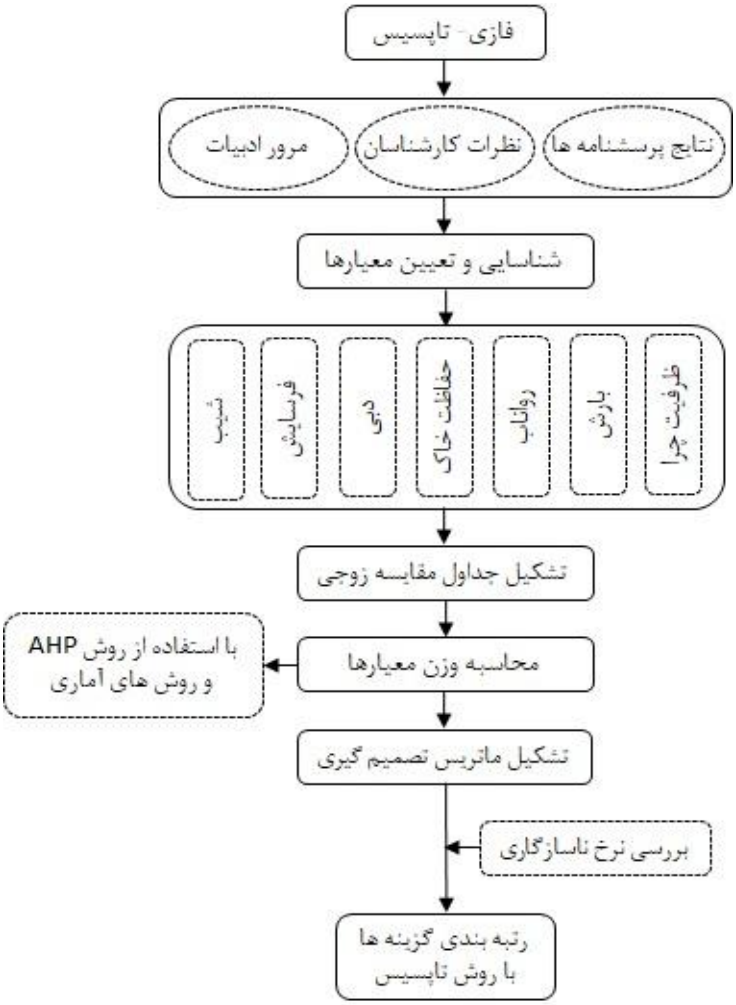
برای ارزیابی توان بوم‌شناختی حوزه‌های آبخیز فریزی و ریگ سفید جهت اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری، از روش فازی–تاپسیس استفاده شده است. روش فازی–تاپسیس برای رتبه‌بندی گزینه‌های حاصل از تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده می‌شود و برای رتبه‌بندی گزینه‌ها از خاصیت فازی و غیرقطعی استفاده می‌کند. در این مدل وزن‌ها و ماتریس تصمیم‌گیری به‌صورت اعداد فازی تعریف می‌شوند و همانند تاپسیس کلاسیک بر اساس فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی رتبه‌بندی می‌شوند (Yeh and Deng, 2004). در این راستا، ابتدا تیم تصمیم‌گیری، متشکل از ۲۰ نفر از کارشناسان (افراد خبره که آشنایی با پروژه و موقعیت آن داشتند) تشکیل و گزینه‌ها و معیارهای ارزیابی تعیین شدند. شایان ذکر است که معیارها بر اساس اطلاعات و عوامل تأثیرگذار در حوزهٔ آبخیز که در مطالعات اجرایی به‌عنوان مشکل نیز به آن‌ها اشاره شده، انتخاب شده‌اند و سپس اهمیت معیارها توسط هر تصمیم‌گیرنده یا خبره امتیاز داده شده است. روش فازی–تاپسیس خود حاصل تلفیق دو روش AHP و TOPSIS در محیط فازی است. در این بررسی بدین‌صورت انجام شد که ابتدا از روش فازی–AHP جهت وزن‌دهی معیارها و سپس از روش فازی–تاپسیس جهت اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری استفاده شد.

از آن‌جایی که تکنیک فازی–تاپسیس فرآیندی زمان‌بر است، پس از انجام مراحل روش فازی–AHP به‌منظور افزایش دقت و آسان‌تر نمودن روش، نرم‌افزار Fuzzy Topsis Solver 2013 مورد استفاده قرار گرفته است. این نرم‌افزار به‌عنوان یک ابزار قدرتمند جهت حل تصمیم‌گیری چندمعیاره به کمک اعداد فازی مثلثی طراحی شده و هم‌چنین با دریافت اطلاعاتی شامل معیارها، وزن معیارها (اعداد فازی یا قطعی)، نوع معیارها (مثبت یا منفی)، گزینه‌ها و داده‌های ماتریس تصمیم‌گیری (به‌صورت اعداد فازی مثلثی)، کلیه مراحل روش فازی– تاپسیس را به‌صورت خودکار انجام می‌دهد که در ادامه شرح این مراحل خواهد آمد (Ebrahimi et al., 2016).

به‌منظور تولید لایه‌ها و نقشه‌های پایه مربوط به هر یک از معیارها از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد که این معیارها (هفت عامل) عبارتند از: حفاظت خاک، ظرفیت چرا، فرسایش آبی، ارتفاع رواناب، دبی، شیب و بارندگی. پس از مرحلهٔ تعیین معیارها و ساخت لایه‌های اطلاعاتی، برای وزن‌دهی به معیارها از AHP استفاده شده است. پس از محاسبه وزن نسبی معیارها شرط قابل تایید بودن مقایسه‌ها آن است که باید نرخ ناسازگاری (CR) معادل ۰/۱ یا کم‌تر از آن باشد. در غیر این‌صورت وزن‌دهی به معیارها مجدد انجام می‌شود (در واقع نرخ ناسازگاری تعیین‌کنندهٔ صحت وزن‌دهی انجام شده است). بنابراین به‌منظور تعیین نرخ ناسازگاری برای مقایسه‌ها، رابطهٔ ۱ استفاده شده است:

$$CR=CI/RI \quad (۱)$$

که در آن CI شاخص سازگاری و RI شاخص تصادفی است و مقدار آن به تعداد عوامل مورد مقایسه بستگی دارد. در شکل ۲ مراحل ارزیابی توان بوم‌شناختی حوزه‌های آبخیز فریزی و ریگ سفید به‌منظور اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری نشان داده شده است. لایه‌های اطلاعاتی متناسب با معیارها و زیرمعیارهای انتخابی در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شده است. در ادامه هر یک از معیارها توصیف شده‌اند.



شکل ۲- مراحل روش فازی-تاپسیس در ارزیابی توان بوم‌شناختی حوزه‌های آبخیز فریزی و ریگ سفید

Figure 2- Steps of Fuzzy-TOPSIS method in evaluating the ecological potential of the Ferizi and Rig-Sefid watersheds

۲-۲-۱- معیار شیب

لایه اطلاعاتی این معیار با استفاده از مدل رقومی ارتفاع تهیه و در هشت کلاس طبقه‌بندی شد (شکل ۳). بر اساس شکل ۳، میزان شیب در بخش‌های شمالی و غربی محدودهٔ مطالعاتی بیش‌تر بوده که با شرایط واقعی منطقه نیز مطابقت دارد.

۲-۲-۲- معیار فرسایش آبی

نقشهٔ فرسایش آبی از گزارش‌های پایهٔ مطالعات توجیهی آبخیزداری استخراج شد. در محدودهٔ مطالعاتی به‌دلیل عدم وجود ایستگاه هیدرومتری جهت برآورد فرسایش آبی از روش تجربی EPM استفاده شده است (شکل ۴). بر این اساس با توجه به بالا بودن شیب و مقدار بارش در بخش‌های شمالی و غربی محدودهٔ مطالعاتی کمیت فرسایش نیز در این مناطق نیز نسبت به مناطق جنوبی و مرکزی آن بالاتر است.

۲-۲-۳- معیار دبی

دبی اوج سیلاب در دورهٔ زمانی قبل و پس از اجرای سازه‌های آبخیزداری با استفاده از روش انجمن حفاظت خاک آمریکا

(S.C.S) محاسبه شده است (شکل ۵). طبق این نقشه به‌جز است. شایان ذکر است که دبی ۱۰ ساله ملاک عمل بررسی برای سازه‌ها بوده است.

۲-۲-۴- معیار حفاظت خاک

برای معیار مورد نظر، دو متغیر درصد پوشش خاک (درصد لاشبرگ، درصد سنگریزه و درصد تاج پوشش) و درصد خاک لخت انتخاب شد. سپس تمامی اطلاعات مربوط به این دو متغیر از گزارش‌های پایهٔ مطالعات توجیهی آبخیزداری حوضه استخراج شدند (شکل ۶). مناطق شمالی و غربی محدودهٔ مطالعاتی از شرایط پوشش گیاهی نسبتاً مناسب‌تری برخوردار هستند.

۲-۲-۵- معیار رواناب

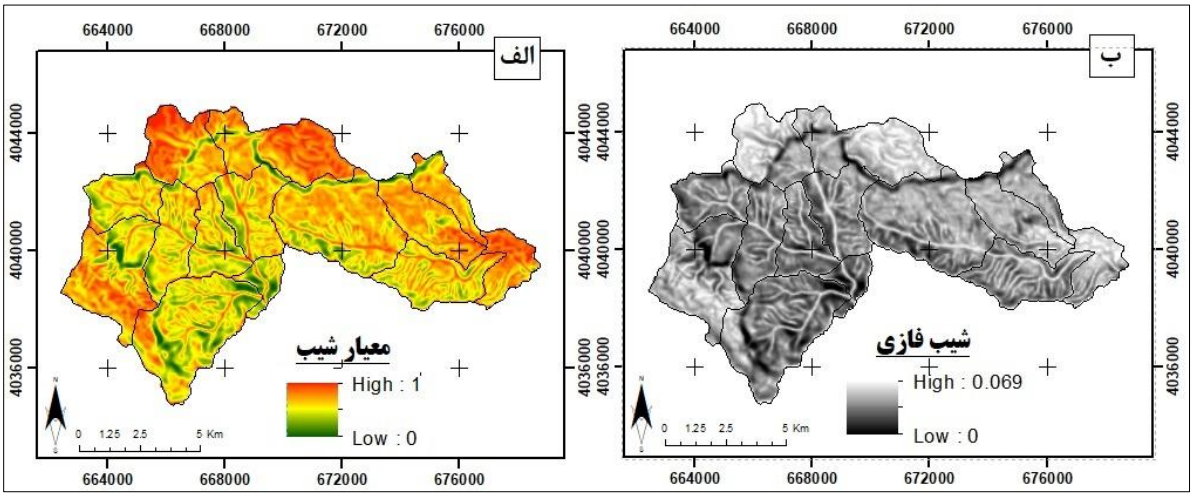
برای این معیار، حجم رواناب، متوسط بارش و ضریب رواناب اندازه‌گیری شده است. با استفاده از ارتفاع رواناب و مساحت زیرحوضه‌ها حجم رواناب هر زیرحوضه برآورد و در نهایت متغیر ضریب رواناب از نسبت ارتفاع رواناب به بارش زیرحوضه‌ها حاصل شد (Alizadeh, 2015؛ شکل ۷). نقشه مربوط نشان می‌دهد که بخش‌های مرکزی و شرقی به سمت خروجی محدودهٔ مطالعاتی از زیرحوضه‌های F5 و R9 دبی در زیرحوضه‌های دیگر نسبتاً بالا کمیت بیش‌تری برخوردار هستند. البته با توجه به تمرکز جریان به سمت خروجی محدودهٔ مطالعاتی این امر طبیعی است.

۲-۲-۶- معیار بارش

بارش محدودهٔ مطالعاتی با استفاده از آمار بارش ایستگاه باران‌سنجی فریزی در طول دورهٔ آماری (۱۳۹۷-۱۳۶۷) به‌عنوان ایستگاه معرف محدودهٔ طرح به‌منظور بررسی و تجزیه و تحلیل وضعیت بارش انتخاب شده است (شکل ۸). بر این اساس، متوسط بارش سالانه در محدودهٔ طرح، برابر با ۳۱۱/۱ میلی‌متر است که به‌طور متوسط ۴۲ درصد از بارش‌ها در فصل زمستان و ۳۶، ۲۰ و ۳ درصد از بارش‌ها به‌ترتیب در فصل‌های بهار، پاییز و تابستان رخ می‌دهد.

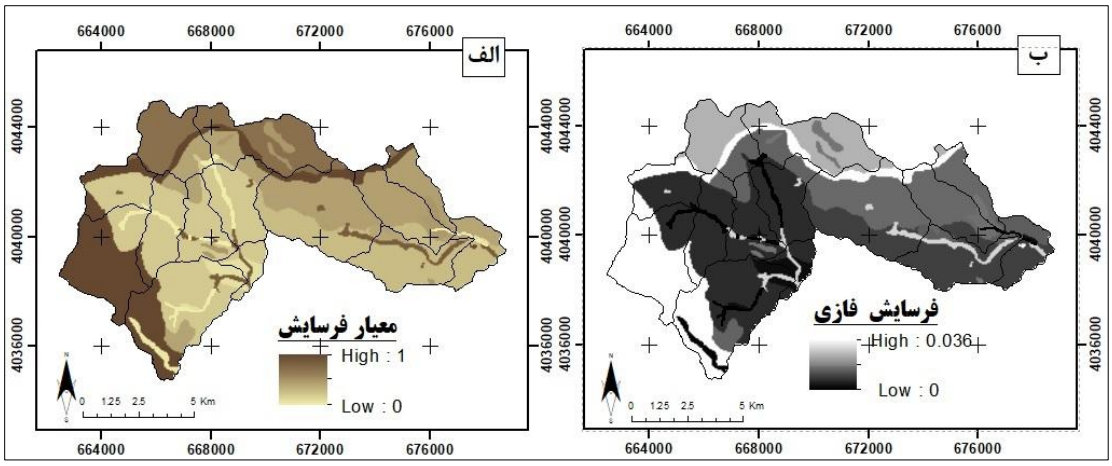
۲-۲-۷- معیار ظرفیت چرا

نقشهٔ ظرفیت چرایی حوضه در گسترهٔ تیپ‌های گیاهی از گزارش‌های پایهٔ مطالعات توجیهی آبخیزداری استخراج شد. ظرفیت چرا عبارت است از تعداد دامی که در مرتعی مشخص در زمان معین می‌توان به آن اجازه چرا داد (Mesdaghi, 2015) (شکل ۹). بنابراین، ظرفیت چرا در بخش‌های شمالی و مناطق مرتفع محدودهٔ مطالعاتی نسبتاً مطلوب بوده است.



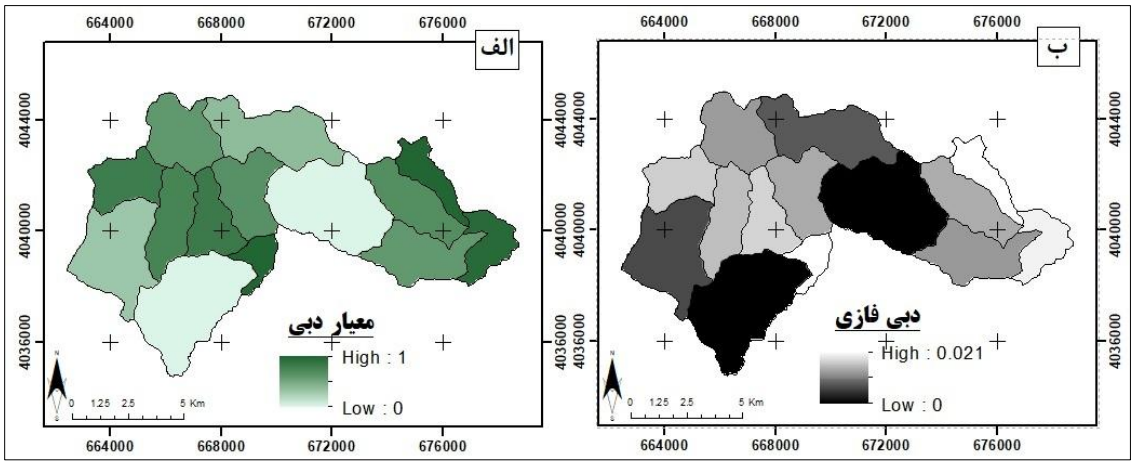
شکل ۳- نقشهٔ استاندارد شده و وزن‌دار شده معیار شیب به روش فازی

Figure 3- Standardized and weighted slope criterion map by fuzzy method



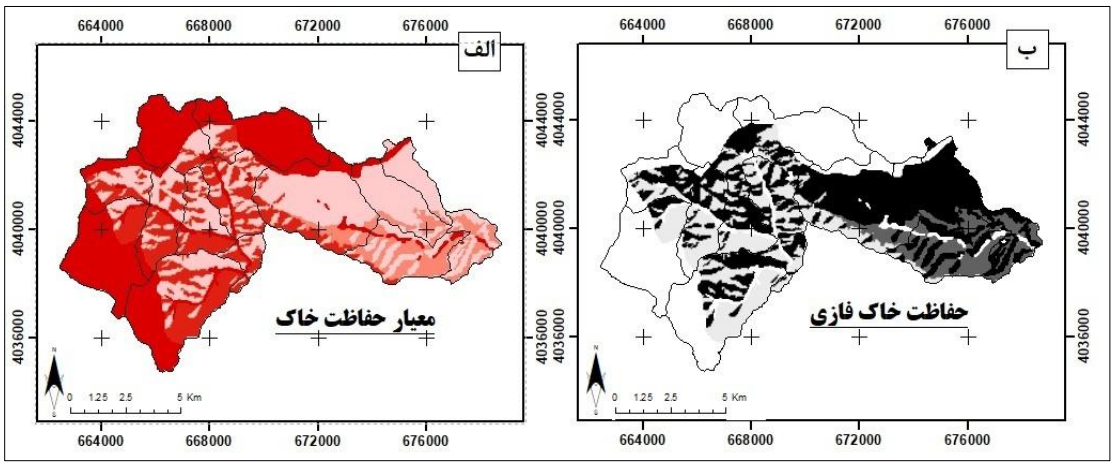
شکل ۴- نقشهٔ استاندارد شده و وزن‌دار شده معیار فرسایش آبی به روش فازی

Figure 4- Standardized and weighted map of water erosion criteria by fuzzy method



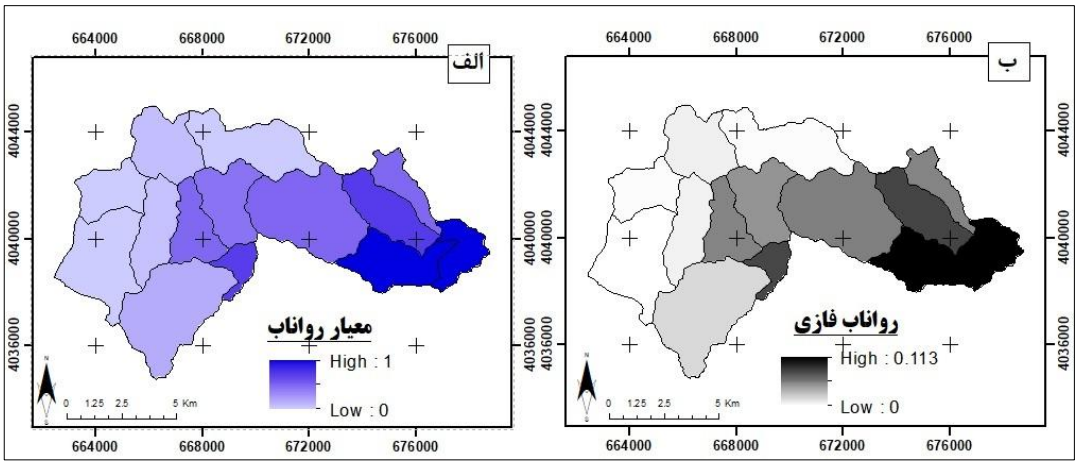
شکل ۵- نقشهٔ استاندارد شده و وزن‌دار شده معیار دبی به روش فازی

Figure 5- Standardized and weighted map of Dubai standard by fuzzy method



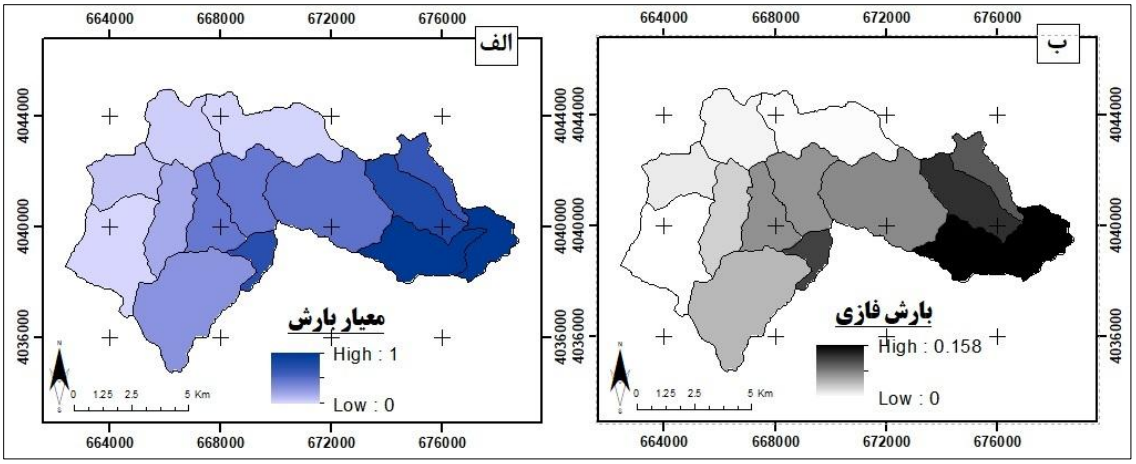
شکل ۶- نقشهٔ استاندارد شده و وزن‌دار شده معیار حفاظت خاک به روش فازی

Figure 6- Standardized and weighted map of soil protection criteria by fuzzy method



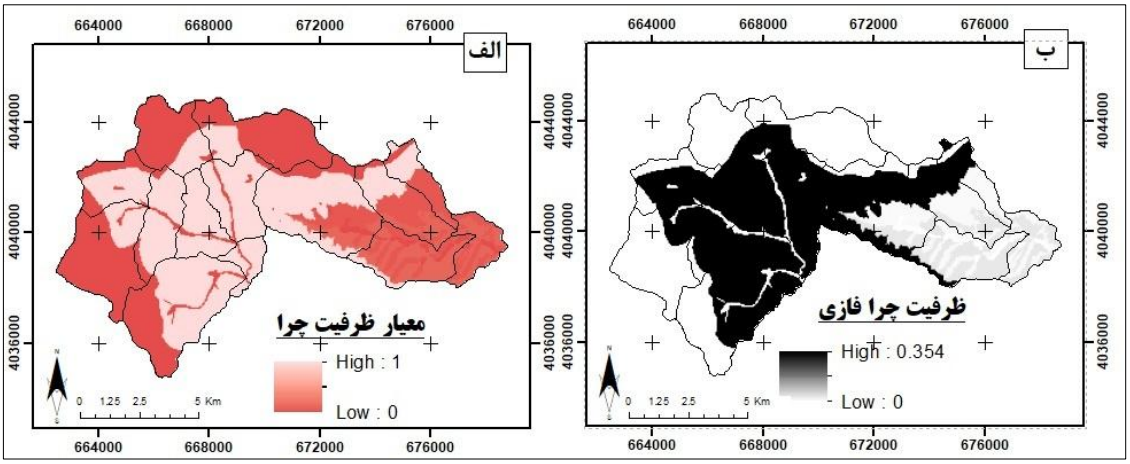
شکل ۷- نقشهٔ استاندارد شده و وزن‌دار شده معیار رواناب به روش فازی

Figure 7- Standardized and weighted map of runoff criteria by fuzzy method



شکل ۸- نقشهٔ استاندارد شده و وزن‌دار شده معیار بارش به روش فازی

Figure 8- Standardized and weighted map of fuzzy precipitation criteria



شکل ۹- نقشهٔ استاندارد شده و وزن‌دار شده معیار ظرفیت چرا به روش فازی

Figure 9- Standardized and weighted map of grazing capacity criterion by fuzzy method

۲-۳- وزن‌دهی به معیارها

وزن‌دهی معیارها با استفاده از AHP به‌دست آمده‌اند (Saaty, 1980). در فرآیند AHP عناصر هر سطح نسبت به عناصر متناظر به خود در سطح بالاتر به‌صورت زوجی مقایسه شده و وزن آن‌ها محاسبه می‌شود که این وزن‌ها را وزن نسبی می‌نامند. سپس با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه مشخص می‌شود که آن را وزن مطلق می‌نامند. کلیه مقایسه‌ها به‌صورت زوجی انجام می‌پذیرد. بر اساس جدول ۱، وزن لایه‌ها از ۱ تا ۹ متغیر هستند و به‌عبارت دیگر برای عامل بسیار ضعیف و بسیار مؤثر به‌ترتیب امتیاز ۱ و ۹ تعلق می‌گیرد (Vernes, 1984). بدین‌منظور، ابتدا به معیارهایی مانند حفاظت خاک که دارای بیش از یک زیرمعیار هستند (درصد پوشش خاک درصد لاشبرگ، درصد سنگریزه، درصد تاج پوشش و درصد خاک لخت)، با در نظر گرفتن درجهٔ اهمیت هر یک از زیرمعیارها به آن‌ها از ۱ تا ۹ امتیاز داده می‌شود. بدین‌ترتیب ماتریس مقایسات زوجی هر یک از معیارها به‌دست می‌آید. به‌منظور رضایت‌بخش بودن مقایسه‌ها، باید نرخ ناسازگاری کم‌تر از ۰/۱ باشد.

جدول ۱- مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی
Table 1- Preference values for pairwise comparisons

ترجیحات	مقدار عددی	ترجیحات	مقدار عددی
اهمیت یکسان	1	ترجیح خیلی زیاد	7
نسبتاً مرجع	3	ترجیح فوق‌العاده	9
ترجیح زیاد	5	ارزش بینابینی	2، 4، 6 و 8

۲-۴- استاندارد سازی معیارها

اغلب شاخص‌ها و معیارها در روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، دارای مقیاس‌های مختلف هستند که برخی شاخص‌ها جنبه مثبت و برخی جنبه منفی دارند. در این راستا، باید مقیاس‌های مختلف اندازه گیری، بدون بعد شود که بدین‌منظور از روش فازی استفاده شده است. هم‌چنین جهت تلفیق زیرمعیارها روش ترکیب خطی وزنی (WLC) مورد استفاده قرار گرفته است. همهٔ مراحل فوق در محیط ArcGIS تهیه و اولویت‌بندی عملیات اجرایی حوضه‌ها در نرم‌افزار FUZZY TOPSIS SOLVER انجام شده است.

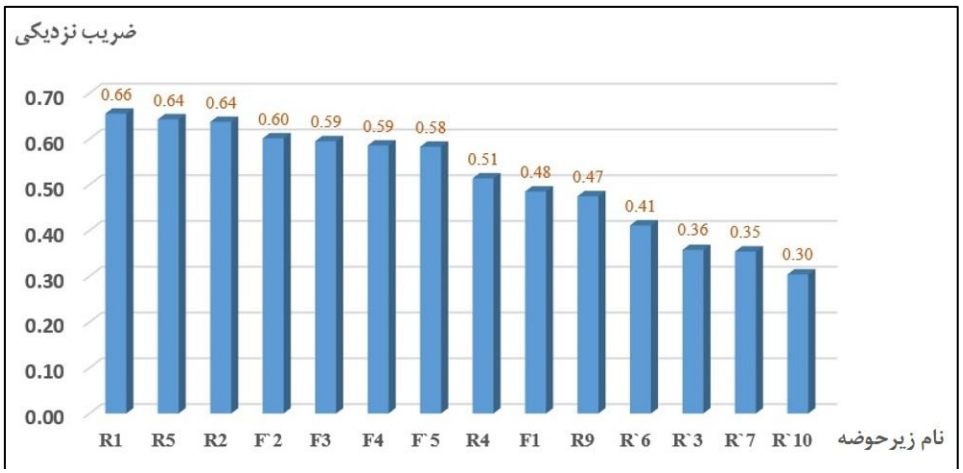
۳- نتایج و بحث

بر اساس روند ارائه شده وزن نهایی متناظر به معیارها با نرخ ناسازگاری ۰/۰۴ برای حوزهٔ آبخیز فریزی تعیین شده است. از آن‌جایی که این مقادیر به‌دست آمده کم‌تر از ۰/۱ است این نتایج بر سطح قابل قبول سازگاری دلالت دارند. از طرفی وزن‌های به‌دست آمده (جدول ۲) نمایان‌گر آن است که معیار ظرفیت چرا، بیش‌ترین وزن (۰/۳۵۴) و معیار دبی کم‌ترین وزن (۰/۰۲۱) را به خود اختصاص داده‌اند. نتایج تعیین نوع معیارها (مثبت یا منفی) نیز در جدول ۳ و نقشه‌های استاندارد شده به روش فازی برای ۷ معیار در شکل‌های ۳ تا ۱۰ ارائه شده است. در راستای اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری پس از قرار دادن تمام ورودی‌های مذکور در نرم-افزار فازی-تاپسیس، اولویت‌بندی عملیات اجرایی بر اساس ضریب نزدیکی به‌دست آمده انجام گرفت. بدین‌ترتیب که زیرحوضه‌هایی که دارای بیش‌ترین ضریب نزدیکی بودند در بالاترین اولویت و زیرحوضه‌هایی که دارای کم‌ترین ضریب نزدیکی هستند جهت عملیات اجرایی آبخیزداری در پائین‌ترین اولویت قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که زیرحوضه‌های R1، R2 و R5 با ضریب نزدیکی به‌ترتیب ۰/۶۶ و ۰/۶۴ بالاترین اولویت و زیرحوضهٔ R`10 با ضریب نزدیکی ۰/۳ در پایین‌ترین اولویت به لحاظ عملیات اجرایی آبخیزداری قرار گرفته‌اند.

جدول ۲- وزن نهایی مربوط به معیارهای حوزه آبخیز فریزی
Table 2- Final weight related to criteria for the Ferizi watershed

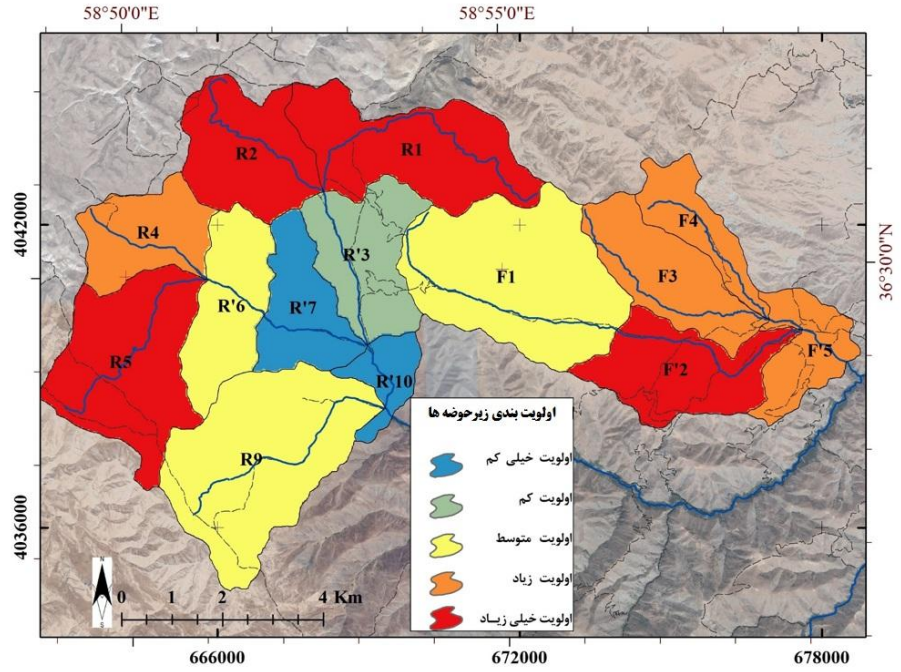
معیار	وزن نهایی	نوع معیار
ظرفیت چرا	0.354	منفی
حفاظت خاک	0.254	منفی
بارندگی	0.158	مثبت
رواناب	0.113	مثبت
شیب	0.069	منفی
فرسایش	0.036	مثبت
دبی	0.021	مثبت
نرخ ناسازگاری	0.04	

با توجه به نتایج به‌دست آمده از ضرایب نزدیکی برای هر زیرحوضه، در محیط نرم‌افزار ArcGIS نقشه رستری مربوط به اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری با روش فازی-تاپسیس تولید شده و با استفاده از روش بهینه‌سازی به پنج منطقه طبقه‌بندی شد. بدین‌ترتیب مناطق با اولویت خیلی زیاد تا مناطق با اولویت خیلی کم شناسایی شدند (شکل ۱۱).



شکل ۱۰- اولویت‌بندی عملیات اجرایی در زیرحوضه‌های آبخیز فریزی و ریگ سفید

Figure 10- Prioritization of executive operations in the Ferizi and Rig-Sefid watersheds



شکل ۱۱- اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری حوزه آبخیز فریزی با روش فازی-تاپسیس

Figure 11- Prioritization of watershed management executive practices using Fuzzy-TOPSIS method

همان‌طور که در شکل ۱۱ نیز مشاهده می‌شود زیرحوضه‌های R1، R2، R5 و F`2 در بالاترین اولویت برای انجام عملیات آبخیزداری قرار دارند و به‌همین‌ترتیب زیرحوضه‌های R`7 و R`10 در کم‌ترین اولویت هستند. زیرحوضه R4 از ریگ سفید و زیرحوضه‌های F3، F4 و F`5 از حوزه آبخیز فریزی، در اولویت دوم انجام عملیات و با عنوان اولویت زیاد قرار دارند. زیرحوضه‌های R`6، R9 و F1 در اولویت متوسط و زیرحوضه R`3 در اولویت کم برای انجام عملیات آبخیزداری قرار گرفت.

با بررسی مقایسه‌ای اولویت‌بندی با روش فازی-تاپسیس در این بررسی و روش تجربی کارشناسی در مطالعات توجیهی سال ۱۳۸۹ می‌توان تاحدودی به نزدیکی نتایج آن‌ها اشاره نمود، لیکن در اولویت‌های رده دوم تفاوت‌ها به نسبت اولویت‌های سوم و چهارم بیش‌تر مشاهده می‌شود. شایان ذکر است که این اولویت‌بندی بر اساس روند منطقی و استنتاج مشخص در حوزه‌های آبخیز می‌تواند کاربرد داشته باشد. بسیاری از مواقع برنامه‌ریزی‌ها در قالب بازدیدها و نظر کارشناسی ارائه می‌شود که البته ممکن است دور از واقعیت نباشد، لیکن بایستی مبنای تئوری اولویت‌بندی مشخص باشد.

جدول ۳- اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها و مقایسهٔ آن‌ها
Table 3- Prioritizing sub-watersheds and their comparing

زیرحوضه	اولویت در مدل فازی-تاپسیس	اولویت نهایی در مطالعات سال 1389
R'3	4	1
R9	3	1
R4	2	1
R1	1	1
R2	1	2
R'6	3	2
R'7	4	3
F1	3	4
F3	2	5
R'10	4	5
R5	1	6
F4	2	7
F'5	2	7
F'2	1	8

نتایج کلی حاکی از آن است که مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌دلیل قابلیت استفاده از چندین معیار به‌صورت کمی و کیفی و ارائه بهترین مکان با توجه به هدف مورد نظر، می‌تواند اطلاعات با ارزشی را در زمینه اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری در راستای مدیریت جامع حوزهٔ آبخیز ارائه کند (Ebrahimi et al., 2016).

نتایج این تحقیق با نتایج به دست آمده از مطالعات دیگری که در سطح کشور انجام شده، هم‌خوانی دارد. به‌عنوان مثال، Mosavi et al. (2016) که به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی با استفاده از منطق فازی-تاپسیس در شهر باغملک پرداختند، در یک راستا بوده و بیان‌گر کارایی مناسب مدل فازی-تاپسیس در پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی منطقه مطالعاتی است. هم‌چنین نتایج به‌دست آمده در این بررسی با مطالعات Golkarian et al. (2017) که به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های دریان سمنان جهت اقدامات آبخیزداری با استفاده از روش تاپسیس پرداختند، مطابقت دارد. هم‌چنین این تحقیق با نتایج Ebrahimi et al. (2016) که در دشت مختاران استان خراسان جنوبی به اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری در بلوک‌های تقسیم شده (بر اساس شرایط زمین‌شناسی، اقلیم و توپوگرافی) با استفاده از شاخص‌های محیط‌زیستی و تکنیک تلفیقی فازی-AHP و فازی-تاپسیس پرداختند، هم راستاست. هم‌چنین، نتایج حاصل از این تحقیق با مطالعات Husam Jasim (2021) در عراق که به‌منظور تعیین اولویت‌بندی عوامل محیطی از طریق منطق فازی عمل کرده بود، مطابقت دارد.

۴- نتیجه‌گیری

امروزه حوزه‌های آبخیز به‌عنوان واحد اصلی برنامه‌ریزی جهت توسعه پایدار در بسیاری از مباحث مدیریتی مطرح شده‌اند. ارزیابی توان بوم‌شناختی حوزه‌های آبخیز و رتبه‌بندی آن‌ها با توجه به معیارهای مختلف بوم‌شناختی جهت اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری، یکی از موارد مهم در برنامه‌ریزی و مدیریت جامع در نظر گرفته می‌شود. از آن‌جایی‌که تأکید بر اجرای کامل طرح‌های آبخیزداری بوده و بودجه پروژه‌های عمرانی نیز محدود است ضرورت دارد که اقدامات بر اساس اولویت‌ها صورت پذیرد. در این رابطه تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره راهکار مناسبی برای حل این گونه مسائل است. در محدودهٔ مطالعاتی زیرحوضه‌های R1، R2، R5 و F`2 در بالاترین اولویت برای انجام عملیات آبخیزداری و به‌همین‌ترتیب زیرحوضه‌های R`7 و R`10 در کم‌ترین اولویت قرار گرفتند. هم‌چنین، زیرحوضه‌های R4 از حوزهٔ آبخیز ریگ سفید و F3، F4 و F`5 از حوزهٔ آبخیز فریزی، در اولویت دوم انجام عملیات و با عنوان اولویت زیاد جای گرفته‌اند. در ادامه، زیرحوضه‌های R`6، R9 و F1 در اولویت متوسط و زیرحوضهٔ R`3 در اولویت کم برای انجام عملیات آبخیزداری طبقه‌بندی شدند. در این ارزیابی روش ترکیبی فازی-تاپسیس که یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه است به‌عنوان مدل تلفیقی و اولویت‌بندی مناسب معرفی شد. بنابراین، می‌توان در تلفیق و برنامه‌ریزی مطالعاتی در حوزه‌های آبخیز از این روش که دارای استناد منطقی و روند اصولی برای تعیین اولویت‌ها است، استفاده نمود. زیرا، در این روش هم عوامل و هم زیرحوضه‌ها برای کنترل و برنامه‌ریزی طبقه‌بندی می‌شوند.

منابع

ابراهیمی، ب.، معماریان، ه.، و تاجبخش، س.م. (۱۳۹۶). اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری جهت کنترل مخاطرات محیطی در حوزه آبخیز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز دشت مختاران بیرجند). پنجمین همایش ملی ژئومورفولوژی و چالش‌های محیطی، دانشگاه فردوسی مشهد.

اسدی نلیوان، ا.، رضایی، ف.، و سقازاده، ن. (۱۳۹۲). ارزیابی توان اکولوژیک حوزه آبخیز با استفاده از روش تاکسونومی جهت مدیریت جامع حوزه آبخیز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز زیدشت، طالقان). *پژوهش‌های فرسایش محیطی*، ۳(۳)، ۱۵-۲۶.

تاج‌بخش، س.م.، معماریان، ه.، و پارسا، ص.ح. (۱۳۹۹). ارزیابی تاثیر کمی اجرای پروژه‌های آبخیزداری بر سطح آب زیرزمینی

(مطالعه موردی: پروژه جمعاب). *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۸(۴)، ۵۱-۶۲.

علیزاده، ا. (۱۳۹۴). اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ چهلم، انتشارات دانشگاه امام رضا، ۹۴۲ صفحه.

گلکاریان، ع.، محمدیان، ع.ع.، و عبدالهی، ا. (۱۳۹۶). اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز جهت اقدامات آبخیزداری (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز دریان سمنان). *مرتع و آبخیزداری*، ۷۰(۳)، ۷۷۷-۷۸۹.

مصداقی، م. (۱۳۹۴). مرتع‌داری در ایران. چاپ هفتم، دانشگاه غیر دولتی-غیر انتفاعی صنعتی سجاد، ۳۲۸ صفحه.

ملکیان، آ.، افتادگان خوزانی, ا.، و عشوری‌نژاد، غ. (۱۳۹۱). پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبخیز اخترآباد با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۴(۴)، ۱۳۱-۱۵۲.

موسوی، س.م.، نگهبان، س.، رخشانی مقدم، ح.، و حسین‌زاده، س.م. (۱۳۹۵). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی با استفاده از منطق فازی TOPSIS در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهر باغملک). *مخاطرات محیط طبیعی*، ۵(۱۰)، ۷۹-۹۸.

References

Alizadeh, A. (2015). *The principles of applied hydrology*. 40th Edition: Imam Reza (AS) University, 942 pages (in Persian).

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. Pp. 371-390, In: *Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences*, Elsevier.

Arabameri, A., Pourghasemi, H.R., & 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, 1385-1400.

Asadi Nalivan, O., Rezaei, F., & Saghazadeh, N. (2013). Assessment of watershed ecological power with taxonomy method for watershed comprehensive management (Case study: Zydasht Watershed, Taleghan). *Environmental Erosion Research*, 3(3), 15-26 (in Persian).

Auger, P., Charles, S., Viala, M., & Poggiale, J.C., (2000). Aggregation and emergence in ecological modeling: Integration of ecological levels. *Ecological Modelling*, 127, 11-20.

Benedini, M. (1988). Developements and possibilities of optimization models. *Agricultural Management*, 13, 329-358.

Duckstein, L.S.O. (1980). Multiobjective optimization in river basin developement. *Water Resources Research*, 16, 14-20.

Ebrahimi, B., Memarian, H., & Tajbakhsh, S.M. (2016). Prioritization of watershed management practices to control environmental hazards in the watershed (Case study: Mukhtaran Birjand Plain watershed). 5th National Conference on Geomorphology and Environmental Challenges, Mashhad, Iran (in Persian).

Ghanavati, E., Karam, A., & Aghajani, M. (2012). Flood risk zonation in the Farahzad basin (Tehran) using AHP model. *Journal of Geography*, 9(31), 255-275.

Golkarian, A., Mohammadian, A., & Abdollahi, A. (2017). Prioritize the sub basins to watershed management activities (Case study: Watershed Daryan of Semnan province). *Journal of Range and Watershed Managment*, 70(3), 777-789 (in Persian).

Husam Jasim, M. (2021). The optimal project selection in portfolio management using fuzzy multi-criteria decision-making methodology. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 1–17.

Jun, K.S., Chung, E.S., Kim, Y.G., & Kim, Y. (2013). A fuzzy multi-criteria approach to flood risk vulnerability in South Korea by considering climate change impacts. *Expert Systems with Applications*, 40(4), 1003-13.

Levy, J.K. (2005). Multiple criteria decision making and decision support systems for flood risk management. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 19(6), 438-47.

Malekian, A., Oftadegan Khuzani, A., Ashurnejad, G. (2012). Flood hazard zoning in watershed scale using fuzzy logic (Case study: Akhtar Abad Watershed). *Physical Geography Research Quarterly*, 44(4), 131-152 (in Persian).

Mesdaghi, M. (2015). *Range management in Iran*. 7th edition: Sajad Industrial University, 328 pages (in Persian).

Mosavi, S., Negahban, S., Rakhshaninasab, H., & Hossainzadeh, S. (2017). Assessment and zoning Flood risk by using Fuzzy logic TOPSIS in GIS (Case study: Baghmalek urban catchment). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 5(10), 79-98 (in Persian).

Sinha, R., Bapalu, G.V., Singh, L.K., & Rath, B. (2008). Flood risk analysis in the Kosi river basin, north Bihar using multi-parametric approach of analytical hierarchy process (AHP). *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 36(4), 335-349.

Stewart, T.L., & Scott, H. (1995). A scenario-based framework for multicriterion decision analysis in water resources planning. *Water Resources Resesrch*, 31, 2835-2843.

Tajbakhsh, S.M., Memarian, H., & Parsasadr, H. (2021). Evaluation of quantitative impact of watershed management projects on underground water level (Case study: Jamab Project). *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 8(4), 51-62 (in Persian).

Vernes, J. (1984). *Landslide hazard zoning; a review of principles and practice*. The International Assosiation of Engeneering Geology Commision on Landslide and Other Mass Movement on Slope, France, United Nations, 63 pages.

Walczykiewicz, T. (2015). Multi-criteria analysis for selection of activity options limiting flood risk. *Water Resources*, 42(1), 124-132.

Witlox, F. (2005). Expert system in land-use planning: An overview. *Expert systems with Applications*, 29, 437-445.

Yeh, C.H., & Deng, H. (2004). A practical approach to fuzzy utilities comparison in fuzzy multi criteria analysis. *International Journal of Approximate Reasoning*, 35(2), 179-194.