مجله آمایش جغرافیایی فضا،
فصلنامه علمی- پژوهشی دانشگاه گلستان
سال دهم/ شماره مسلسل سی و ششم/ تابستان ۱۳۹۹ / صفحات: ۱۴۶-۱۲۳

ارزیابی توان اکولوژیک واحدهای هیدرولوژیک حوضه‌های آبخیز به منظور اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری. مطالعه موردی: حوضه آبخیز دشت مختاران، بیرجند

بهروز ابراهیمی[۱]، هادی معماریان[۲]، سیدمحمد تاجبخش[۳]، امیرحسین آقاخانی افشار[۴*]

[۱]کارشناسی ارشد علوم و مهندسی 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
[۳]استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
[۴]دکتری عمران، گرایش سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۸/۲۷

چکیده

توجه به حوضه‌های آبخیز به عنوان اصلی‌ترین عامل جهت توسعه پایدار در مباحث مدیریتی حائز اهمیت می‌باشد. ارزیابی توان اکولوژیکی و اولویت‌بندی حوضه‌های آبخیز با توجه به معیارهای مختلف اکولوژیکی، از موارد مهم در برنامه‌ریزی و مدیریت جامع حوضه‌های آبخیز می‌باشد. در این مطالعه، از روش ترکیبی Fuzzy-TOPSIS جهت تصمیم‌گیری چند شاخصه در حوضه آبخیز دشت مختاران واقع در شهرستان بیرجند استفاده گردید. ۱۳ معیار محیط زیستی شامل کمیت و کیفیت آب زیرزمینی منابع پایین‌دست و بالادست، شدت سیل‌خیزی، حفاظت خاک، کمیت آب سطحی، علوفه تولیدی، تبخیر و تعرق پتانسیل، ترکیب گیاهی، فرسایش آبی و بادی، ظرفیت چرا در حوضه مطالعاتی اندازه‌گیری و حوضه به ۳ بلوک ارتفاعات شمالی، جنوبی و دشت حوضه که هر کدام دارای معیارهای خاص خود می‌باشند نیز تقسیم‌بندی گردید. سپس معیارهای هر بلوک با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی وزن‌دهی و هر یک از ۱۳ معیار محیط زیستی نیز فازی‌سازی و مشکل اصلی هر زیرحوضه با توجه به مطالعات انجام شده در حوضه تعیین و براساس نوع مشکل، زیرحوضه‌ها در هر بلوک گروه‌بندی شدند. براساس روش ارزش‌گذاری طیف لیکرت، اهمیت نسبی زیرحوضه‌ها نسبت به هر یک از معیارها به صورت اعداد فازی مثلثی مشخص و ضریب نزدیکی زیرحوضه‌های هر گروه برآورد و نقشه اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری کل حوضه ترسیم گردید. نتایج نشان داد که زیرحوضه‌های دارای اولویت کم و خیلی کم ۵۴/۰۵ درصد محدودهٔ مورد مطالعه را در برگرفته‌اند، که بیشتر بر دشت حوضه و ارتفاعات شمالی حوضه منطبق هستند و زیرحوضه‌های دارای اولویت زیاد و خیلی زیاد ۳۹/۵۲ درصد محدودهٔ مورد مطالعه را در برگرفته‌اند، که بیشتر بر ارتفاعات شمالی و ارتفاعات جنوبی حوضه و بخش‌هایی از دشت حوضه منطبق می‌باشند و همچنین زیرحوضه‌های دارای اولویت متوسط ۶/۴۲ درصد محدوده مورد مطالعه را در برگرفته‌اند، که بیشتر بر ارتفاعات جنوبی حوضه و دشت حوضه منطبق هستند.

واژه‌های کلیدی: توسعه پایدار، اکولوژی، تصمیم‌گیری چند شاخصه، معیارهای محیط زیستی، حوضه آبخیز مختاران، شهرستان بیرجند

مقدمه

ارزیابی توان اکولوژیکی حوضه‌های آبخیز و رتبه‌بندی آنها با توجه به معیارهای مختلف اکولوژیکی جهت اقدامات آبخیزداری، یکی از موارد مهم در برنامه‌ریزی و مدیریت جامع حوضه‌های آبخیز می‌باشد (میرداودی و همکاران، ۱۳۷۸). رتبه‌بندی حوضه‌ها باعث تخصیص مؤثر بودجه، تجهیزات و منابع انسانی و سایر منابع حوضه‌ای می‌شود. اهمیت ارزیابی توان

*نویسنده مسئول: a.h.aghakhani@tabrizu.ac.ir

اکولوژیک یک منطقه به گونه‌ای می‌باشد که در یک منطقه بالقوه که فاقد توان اکولوژیکی مناسب جهت اجراء کاربرد خاصی باشد، اجراء آن طرح نه تنها سبب بهبود وضعیت محیط زیستی منطقه نمی‌گردد، بلکه تخریب بیشتر محیط را به همراه خواهد داشت (اورگر و همکاران[1]، ۲۰۰۰).

مدیران و برنامه‌ریزان حوضه‌های آبخیز در تصمیم‌گیری‌های خود غالباً با مشکلات پیچیده و متعددی مواجه (نظیر تعدد متغیرهای تأثیرگذار بر تصمیم‌گیری‌ها و تضاد برخی اهداف با یکدیگر در فرآیند تصمیم‌گیری) می‌باشند. از طرف دیگر، تعداد گوناگونی از متغیرهای مؤثر وجود دارند که باید در تصمیم‌گیری‌ها لحاظ شوند و از آنجا که اثرات و وابستگی‌های داخلی این عوامل متفاوت می‌باشند. بنابراین، مدیران جهت درک مسئله با مشکل مواجه می‌شوند. مقدار اطلاعات و اندرکنش فاکتورها سبب می‌شود که بشر در رابطه با برنامه‌ریزی جهت استفاده از زمین (آمایش سرزمین) قادر به درک کاملی از مسائل تصمیم‌گیری نباشد (ویتلوکس[2]، ۲۰۰۵). در این رابطه روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره راهکار مناسبی جهت حل این گونه مسائل می‌باشد. در واقع با استفاده از این روش‌ها و با توجه به معیارهای مختلف تصمیم‌گیری، می‌توان بهترین گزینه را از بین گزینه‌های موجود انتخاب و اجرایی نمود. مدیران و برنامه‌ریزان باید هم مسئله مطرح در تصمیم‌گیری و هم اهداف کلان آنرا شناسایی و ارزش نهایی ارزیابی را مشخص نمایند تا در طبقه‌بندی گزینه‌ها، راه‌حل مشخصی برای آنها اتخاذ گردد (دستورانی و همکاران، ۱۳۹۱).

روش های تصمیم‌گیری چند معیاره و اولویت‌بندی اقدامات آبخیزداری در مطالعات فراوانی به کار برده شده‌اند. خان[3] و همکاران (۲۰۰۱)، با استفاده از ابزار GIS[4] و سنجش از دور و شاخص رسوب، زیرحوضه‌های آبخیز را در حوضه گوهیا در کشور هند اولویت بندی نمودند. در این تحقیق ۶۸ زیرحوضه براساس مقدار شاخص فرسایش پذیری و رسوب‌دهی مورد ارزیابی قرار گرفتند و براساس شاخص رسوب‌دهی، زیرحوضه‌ها به اولویت‌های خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم دسته بندی گردیدند. لوی[5] (۲۰۰۵)، در رودخانه یانگ تسه با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) و سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری (DSS[6]) مدیریت سیلخیزی را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که تصمیم‌گیری چندمعیاره برای استخراج و مدل‌سازی اولویت‌بندی سیلاب‌های خسارت بار و برای بهبود و هماهنگ‌سازی بین آژانس‌های سیل، سازمان‌ها و شهرهای تحت تأثیر در دشت های سیلابی بسیار مفید می‌باشد. همچنین نشان داد که روش‌های DSS و MCDM می‌توانند برنامه‌ریزی‌ها جهت خطر سیلاب را بهبود بخشند و با ارائه خروجی‌ها و نتایج مناسب، به مدیریت خطر سیل کمک کنند. چانگ و لی[7] (۲۰۰۹)، با استفاده از برنامه شبیه‌ساز هیدرولوژیکی HSPF و تصمیم‌گیری چند معیاره به اولویت‌بندی پایدار منابع آب در حوضه آبخیز آنانچئون در کشور کره پرداختند. در این تحقیق حوضه به چهار منطقه براساس اطلاعات کاربری اراضی، موقعیت، شیب و اقلیم جهت بهینه سازی و تطبیق، تقسیم‌بندی گردید و به منظور تصمیم‌گیری چند معیاره نیز از آمار کیفی و کمی آب استفاده شد. سعدالدین[8] و همکاران (۲۰۱۰)، با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره به ارزیابی سناریوهای مدیریت بیولوژیک در مدیریت جامع حوضه آبخیز رامیان در استان گلستان پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که این تکنیک‌ها از قابلیت قابل توجهی در کمک به تصمیم‌گیران در اخذ تصمیمات مدیریتی در مدیریت جامع و یکپارچه حوضه آبخیز برخوردار می‌باشند. فرناندز[9] و لوتز[10] (۲۰۱۰)، با کمک GIS و سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره اقدام به ارزیابی و

1. Aurger et al.
2. Witlox
3. Khan et al.
4. Geographic Information System, GIS

3. Levy
4. Decision Support System
7. Chung and Lee
8. Sadoddin
9. Fernandez
10. Lutz

پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری در یکی از استان‌های کشور آرژانتین نمودند. آنها از پارامترهای فاصله تا کانال‌های زهکشی، ارتفاع منطقه، شیب منطقه، عمق آب زیرزمینی و کاربری اراضی استفاده کردند و با وزن‌دهی به هر یک از این عوامل پنج‌گانه به کمک سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره، منطقه مورد نظر خود را در پنج پهنه با خطر زیاد تا خطر خیلی کم پهنه‌بندی نمودند. چاوداری[1] و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره و مدل ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی و شاخص تولید رسوب در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به اولویت‌بندی اجرای عملیات مدیریتی در حوضه‌های آبخیز کوچک، در حوضه آبخیز مایوراکشی هندوستان پرداختند. آهر[2] و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از ارزیابی چندمعیاره از طریق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی، ویژگی های مورفولوژیکی هشت زیرحوضه، حوضه آبخیزی در نزدیکی روستای پیمپالگائون در غرب هندوستان را به لحاظ میزان آسیب‌پذیری اولویت‌بندی نمودند. نتایج نشان داد که ۶۰/۸۵ درصد از مساحت حوضه جزء مناطق حساس متوسط به بالا محسوب می‌شوند. پورابراهیم[3] و همکاران (۲۰۱۱)، در تحلیل مکانی مناسب و یکپارچه جهت آمایش سرزمین در مناطق ساحلی نشان دادند که استفاده از ارزیابی چند معیاره[4] (MCE) و به ویژه فرآیند تحلیل شبکه[5] (ANP) امکان یکپارچه‌سازی نظرات متخصصین بر روی معیارهای اقتصادی-اجتماعی و محیط زیستی در چارچوب برنامه‌ریزی را فراهم می‌نماید و رویکرد مکانی کارآمد را به منظور توسعه کاربری‌های ساحلی ارائه می‌نماید. بختیاری‌فر و همکاران (۱۳۸۷)، در مدلسازی تعیین کاربری اراضی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی، با توجه به معیارهای محیطی و براساس چهار روش تصمیم‌گیری مکانی شامل TOPSIS[6]، ELECTRE[7]، SAW[8]، AHP[9] مدل مناسب کاربری‌ها را توسعه دادند. دستورانی و همکاران (۱۳۹۱)، از کاربرد روش TOPSIS در ارزیابی توان اکولوژیکی حوضه‌های آبخیز به منظور مدیریت جامع آنها استفاده نمودند. نتایج نشان داد که برنامه‌ریزی مناسب کاربری اراضی در حوضه کمک شایانی به مدیریت بهینه و توسعه پایدار منابع آنها خواهد نمود. اسدی نلیوان و همکاران (۱۳۹۲)، در حوضه آبخیز زیدشت طالقان به ارزیابی توان اکولوژیک حوضه آبخیز با استفاده از روش تاکسونومی جهت مدیریت جامع حوضه آبخیز پرداختند. در این مطالعه، چهار شاخص تأثیرگذار در طرح‌های مدیریتی حوضه های آبخیز (شامل شاخص ترکیب گیاهی، شاخص حفاظت خاک، شاخص فرسایش و رسوب و شاخص کمیت آب) انتخاب گردید. نتایج حاکی از آن بود که تأثیرگذارترین متغیر، شاخص حفاظت خاک می‌باشد که با توجه به این شاخص، ۴ زیرحوضه انتخابی جهت اجرای طرح‌های مدیریتی اولویت‌بندی گردید. اسدی نلیوان و همکاران (۱۳۹۴)، در تحقیق دیگری نیز در حوضه آبخیز زیدشت طالقان به اولویت‌بندی اقدامات آبخیزداری در حوضه با استفاده از روش تاپسیس و ۱۰ شاخص محیط زیستی پرداختند. در نهایت با استفاده از روش نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده آل، زیرحوضه‌ها جهت اقدامات آبخیزداری اولویت‌بندی گردیدند.

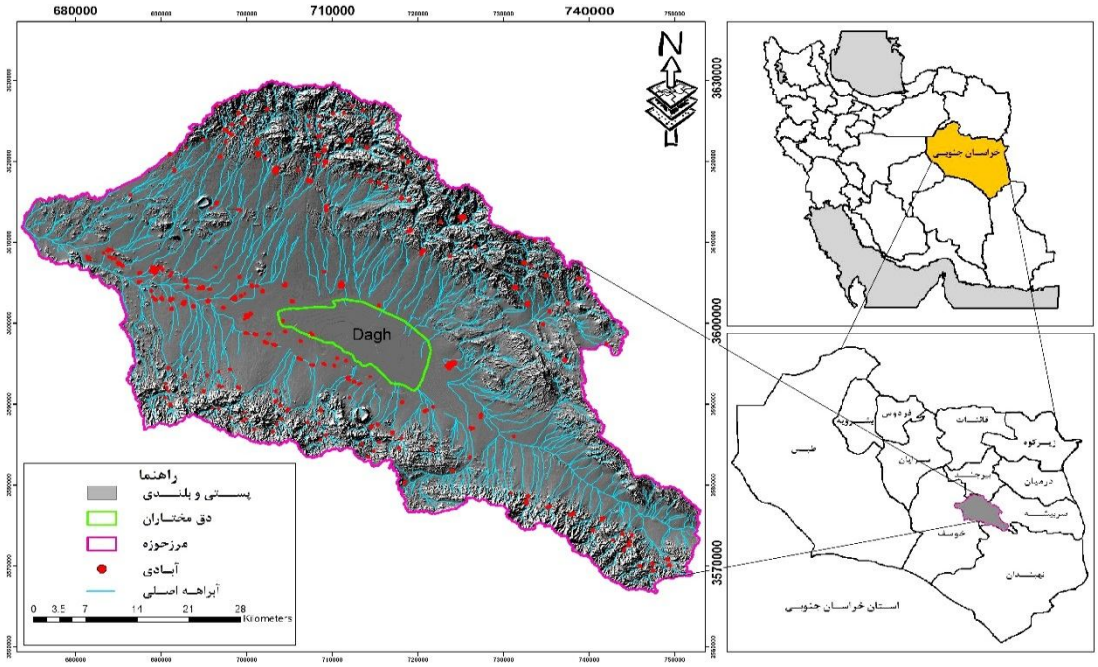
در حوضه آبخیز دشت مختاران محدودیت‌ها و مشکلاتی وجود دارد که به لحاظ ارائه راهکارهای اجرایی در اولویت می‌باشند. از جمله این مشکلات می‌توان به کم‌آبی و محدودیت‌های مرتبط با منابع آب زیرزمینی (اکبرپور و همکاران، ۱۳۸۹)، هجوم جبهه آب شور به آب شیرین در حاشیه کویر، سیل‌خیزی زیاد در برخی از زیرحوضه‌ها، فرسایش و کاهش

1. Chowdhury
2. Aher
3. Pourebrahim et al.
4. Multiple Criteria Evaluation, MCE
5. Analytic Network Process, ANP
6. Technique for Order- Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS
7. Elimination and Choice Expressing Reality
8. Simple Additive Weighting, SAW
9. Analytical Hierarchy Process, AHP

حاصلخیزی خاک، رسوب‌زایی و تولید حجم زیاد رسوبات (صفدری و همکاران، ۱۳۸۷)، فرسایش بادی و توسعه اراضی ماسه‌ای (صفدری و همکاران، ۱۳۸۹)، وجود دق و شوره زار، توسعه و پیشروی کویر و روند بیابانی شدن می‌باشند. براساس مطالعات انجام شده در این حوضه مشکل کم آبی در منطقه حائز اهمیت می‌باشد (جان‌پرور و علوی مقدم، ۱۳۹۴). در حوضه آبخیز دشت مختاران مشکلات و محدودیت‌ها اغلب شامل کم آبی و محدودیت‌های مربوط به منابع آب زیرزمینی، هجوم جبهه آب شور به آب شیرین در حاشیه کویر، سیلخیزی زیاد در برخی از زیرحوضه ها، فرسایش و کاهش حاصلخیزی خاک، رسوب‌زایی و تولید حجم زیاد رسوبات، فرسایش بادی و توسعه اراضی ماسه‌ای، وجود دق و شوره‌زار، توسعه و پیشروی کویر و روند بیابانی شدن می‌باشند. بنابراین، با توجه به وجود این محدودیت‌ها در حوضه آبخیز دشت مختاران انجام ارزیابی توان اکولوژیک واحدهای هیدرولوژیک جهت اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری را برای منطقه مطالعاتی لازم و ضروری می‌باشد. و از طرفی انجام عملیات آبخیزداری با اهداف گوناگون در یک حوضه آبخیز به خاطر شرایط طبیعی حاکم بر حوضه، مسائل اقتصادی-اجتماعی و همچنین محدودیت‌های فنی و مالی، نیازمند اولویت‌بندی می‌باشد. هدف اصلی این تحقیق با توجه به مرور منابع انجام پذیرفته و با توجه به وسیع بودن حوضه آبخیز دشت مختاران اولویت‌بندی در بلوک‌های تقسیم شده براساس شرایط زمین‌شناسی، اقلیم و توپوگرافی می‌باشد و همچنین استفاده از شاخص‌های زیست محیطی و تکنیک تلفیقی Fuzzy-AHP و Fuzzy-TOPSIS جهت اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری با توجه به خصوصیات و پتانسیل‌های حوضه آبخیز دشت مختاران می‌باشد.

روش تحقیق

محدوده و قلمرو پژوهش: حوضه آبخیز مختاران با مساحت ۲۴۲۷۰۲ هکتار در محدوده جغرافیایی َ۴۶ و ْ۵۸ تا َ۴۴ و ْ۵۹ طول شرقی و َ۱۴ و ْ۳۲ تا َ۴۶ و ْ۳۳ عرض شمالی در مرز شهرستان‌های بیرجند، سربیشه، نهبندان و خوسف و در استان خراسان جنوبی واقع شده است و بخش اعظم مساحت حوضه در دو شهرستان خوسف و سربیشه واقع گردیده است (شکل۱). در میانه حوضه مهمترین عارضه ژئومرفولوژیکی، منطقه دق مختاران می‌باشد که منطقه‌ای مسطح و عاری از هر گونه پوشش گیاهی بوده و در صورت بالا آمدن آب به حد کافی امکان زهکشی آن به سمت خروجی حوضه وجود دارد. حداقل و حداکثر ارتفاع حوضه به ترتیب ۱۲۵۸ و ۲۷۰۰ متر از سطح دریا و ارتفاع متوسط حوضه ۱۷۲۸ متر می‌باشد. از نظر ارتفاعی منطقه دارای چهار واحد دشت در مرکز (دق مرکزی)، دشت سر در محیط اطراف دشت (حد واسط کوههای شمال و جنوب)، تپه ماهور و کوهستان به صورت رشته‌کوههای شمال و جنوب می‌باشد (فال سلیمان و همکاران، ۱۳۹۲). متوسط بارندگی سالانه حوضه ۱۷۲ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه آن نیز، ۱۴/۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با استفاده از روش دومارتن اصلاح شده، ۴۴۱ کیلومترمربع (۱۸ درصد) از وسعت حوضه دارای اقلیم فراخشک سرد و ۱۹۸۶ کیلومترمربع (۸۲ درصد) آن دارای اقلیم خشک سرد می‌باشد. از نظر وضعیت باد، منطقه مورد مطالعه در چندین دالان باد موسمی قرار دارد که مهمترین آنها از جهات شمال شرق، شرق و غرب می‌باشند. همچنین، براساس تقسیمات هیدرولوژیکی، محدوده مطالعاتی به ۵۱ زیرحوضه هیدرولوژیکی و ۲۰ زیرحوضه غیرهیدرولوژیکی تقسیم‌بندی شده است. (صفدری و همکاران، ۱۳۸۷). حوضه آبخیز مختاران به لحاظ ساختار زمین‌شناسی در فصل مشترک دو منطقه فلیش شرق ایران و بلوک لوت واقع شده است. در شمال و شرق منطقه مطالعاتی، با گسترش ملانژهای افیولیتی انتساب این بخش از حوضه به زون فلیش شرق ایران قطعی می‌گردد. همچنین، در جنوب و غرب ناحیه مورد مطالعه وجود ولکانیسم فراوان ترشیری بیانگر قرابت منطقه‌ای آن با بلوک لوت است (صفدری و همکاران، ۱۳۸۹).



شکل ۱: حوضه آبخیز دشت مختاران و موقعیت قرارگیری آن در استان خراسان جنوبی

مواد و روش‌ها

تکنیک تاپسیس و تئوری فازی: تاپسیس یکی از معروف‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه[1] (MADM) می‌باشد (یانگ و هیونگ[2]، ۲۰۰۷) و یکی از مدل‌های زیرگروه سازشی و مدل جبرانی می‌باشد. همچنین، در مدل تاپسیس بهترین گزینه یک گزینه ذهنی بوده که ارجح‌ترین ارزش و به عبارتی دیگر مطلوبیت هر مشخصه را تأمین می‌نماید (اصغرپور، ۱۳۷۷). هوانگ و یون[3] (۱۹۸۱)، تکنیکی را پیشنهاد دادند که انتخاب گزینه باید کوتاه‌ترین مسافت را از راه‌حل ایده آل مثبت و در عین حال دورترین مسافت را از راه‌حل ایده آل منفی داشته باشد. بدین صورت بهترین ارزش موجود از یک شاخص نشان دهنده ایده آل مثبت آن بوده و بدترین ارزش موجود از آن مشخص کننده ایده آل منفی برای آن خواهد بود (شنگ و همکاران[4]، ۲۰۰۲). در تصمیم‌گیری چند معیاره تاپسیس، وزن معیارها کاملاً شناخته شده می‌باشد، اما به دلیل وجود ابهام و عدم قطعیت در اظهارات تصمیم‌گیرنده، بیان داده‌ها به صورت قطعی مناسب نمی‌باشد. لذا، تئوری مجموعه‌های فازی در روش‌های ارزیابی چند معیاره ارائه شده است (چن و هوانگ[5]، ۱۹۹۲). تئوری فازی در شرایط متغیر و غیرقابل مقایسه بودن مناسب می‌باشد و می‌تواند به ابهام موجود در عبارت‌های زبانی نظردهندگان (مساوی، نسبتاً قوی، خیلی قوی، بی‌نهایت قوی و...) کمک نماید (سمیح و همکاران[6]، ۲۰۰۹). از طرف دیگر، روش تاپسیس از مقادیر گسسته استفاده نموده و حدود و درجات یک واقعیت را در نظر نمی‌گیرد. با توجه به اینکه تاپسیس روشی معروف برای روش کلاسیک تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM[7]) می‌باشد، بسیاری از محققین از آن جهت حل مسائل FMCDM[8] استفاده می‌کنند. محققین فرض نموده‌اند که روش تاپسیس باید در محیط فازی تعمیم یابد (راج و کومار[9]، ۱۹۹۸؛ چن[10]، ۲۰۰۰). بنابراین، روش

1. Multiple Attribute Dicision Making, MADM
2. Yand and Hung
3. Hwang and Yoon
4. Sheng et al.
5. Chen and Hwang
6. Semih et al.
7. Multiple Criteria Decision Making, MCDM
8. Fuzzy Multiple Criteria Decision Making, FMCDM
9. Raj and Kumar
10. Chen

فازی-تاپسیس برای حل مسائل تصمیم‌گیری گروهی و چند شاخصه بسیار مناسب است.

الگوریتم فازی-تاپسیس: در این الگوریتم ابتدا ماتریس تصمیم به کمک داده‌های فازی و بردار وزن شاخص‌ها نسبت به هدف که به‌عنوان ورودی‌های الگوریتم می‌باشند، تشکیل داده می‌شود. در الگوریتم فازی-تاپسیس گام‌های زیر جهت اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها صورت می‌پذیرد:

گام اول- نرمال‌سازی ماتریس تصمیم که ابتدا بایستی ماتریس تصمیم نرمال‌سازی شود تا عناصر آن بی‌مقیاس شود. جهت این کار از روش نرمالیزه کردن خطی استفاده می‌شود (چن و هوانگ، ۱۹۹۲).

گام دوم- بدست آوردن ماتریس نرمالیزه شده وزن‌دار.

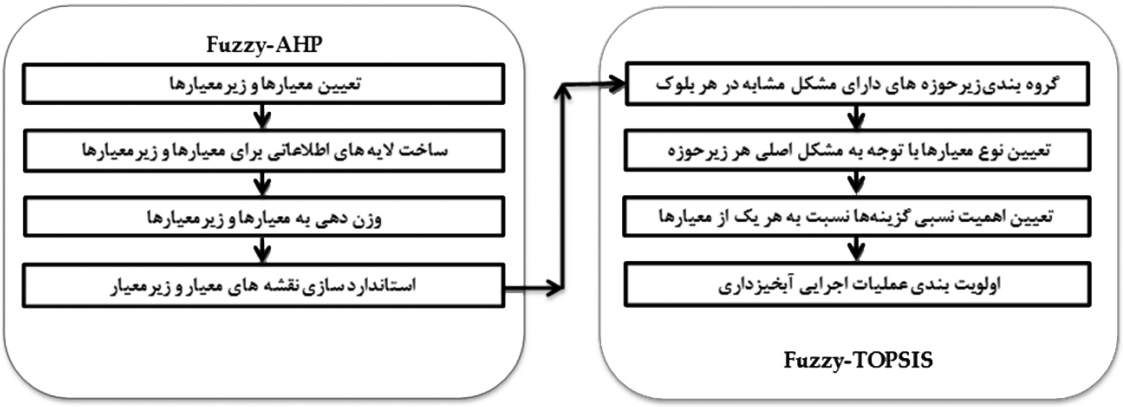
گام سوم- بدست آوردن جواب ایده آل مثبت و منفی.

گام چهارم- به دست آوردن فاصله هر گزینه نسبت به ایده آل‌های مثبت و منفی برای داده‌های فازی.

گام پنجم- محاسبه نزدیکی نسبی هر گزینه به ایده آل‌ها.

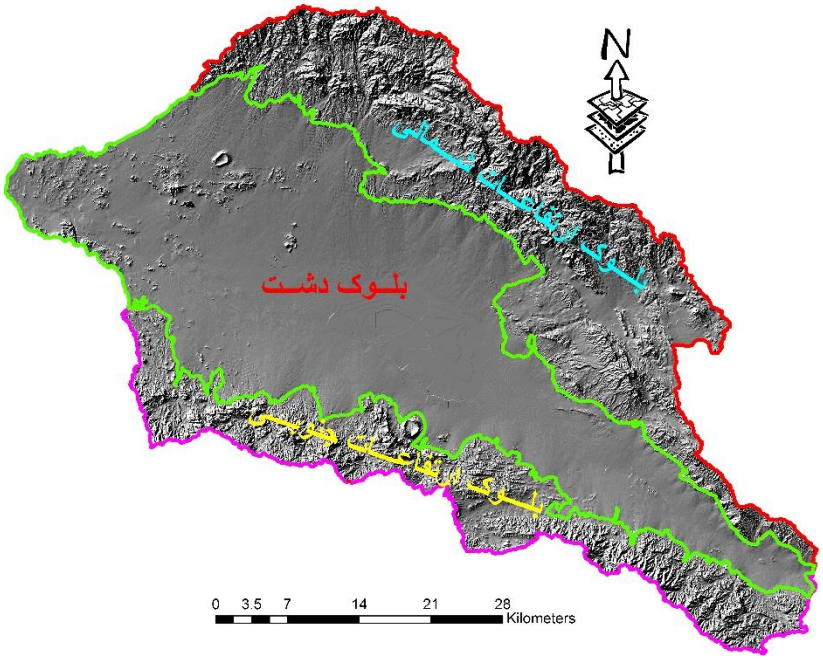
گام ششم- رتبه‌بندی گزینه‌ها با توجه به گام قبل که براساس ترتیب نزولی نزدیکی نسبی هر گزینه به ایده آل‌ها، می‌توان گزینه‌ها را رتبه‌بندی نمود به طوری که گزینه‌هایی که شاخص شباهت (ضریب نزدیکی) بیشتری دارند، رتبه بالاتری به دست می‌آورند.

مراحل اجرای روش ترکیبی فازی-تاپسیس: از آنجایی که مراحل الگوریتم فازی-تاپسیس کاری سخت و وقت‌گیر می‌باشد در این تحقیق به منظور مطالعه و بررسی ارزیابی توان اکولوژیک حوضه آبخیز دشت مختاران جهت اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری از نرم افزار Fuzzy Topsis Solver 2013 استفاده گردید. بدین صورت که، ابتدا از روش Fuzzy-AHP جهت وزن‌دهی به معیارهای در نظر گرفته شده برای هر بلوک و سپس از نرم افزار فازی-تاپسیس جهت اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری استفاده گردید. در شکل ۲ مراحل ارزیابی توان اکولوژیک حوضه آبخیز دشت مختاران به منظور اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری نشان داده شده است.

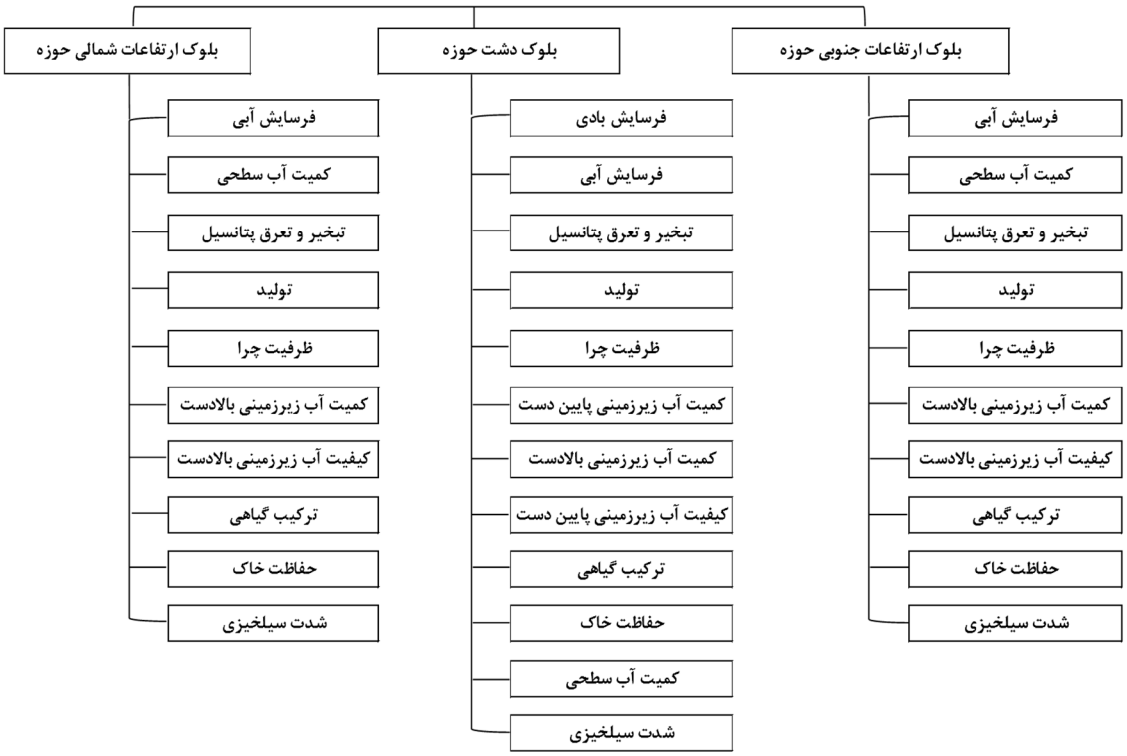


شکل۲: مراحل روش فازی-تاپسیس در ارزیابی توان اکولوژیک حوضه آبخیز دشت مختاران

تعیین معیارها و زیرمعیارها: با توجه به خصوصیات و پتانسیل‌های حوضه آبخیز دشت مختاران ۳ بلوک شامل بلوک ارتفاعات شمالی، بلوک ارتفاعات جنوبی و بلوک دشت حوضه در نظر گرفته شده است (شکل ۳).



شکل ۳: موقعیت قرارگیری سه بلوک ارتفاعات شمالی، ارتفاعات جنوبی و دشت حوضه مختاران



شکل ۴: فلوچارت مربوط به معیارهای سه بلوک ارتفاعات شمالی، ارتفاعات جنوبی و دشت حوضه مختاران

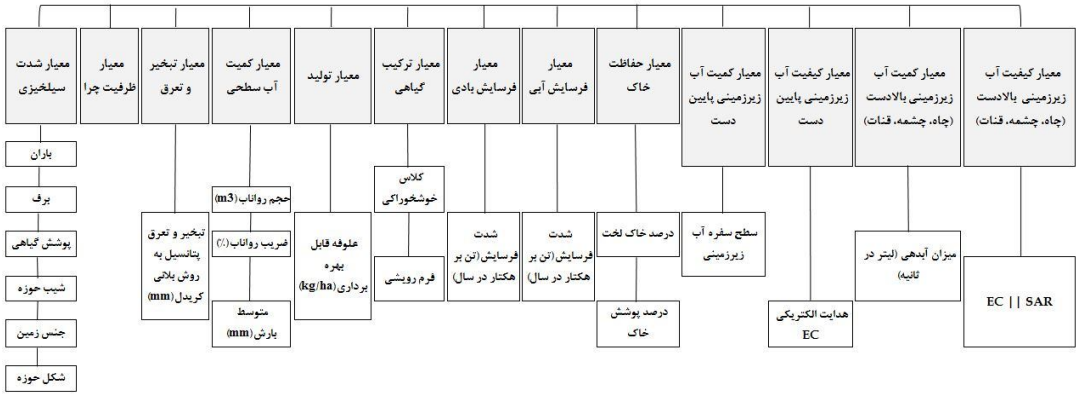
ساخت لایه‌های اطلاعاتی برای معیارها و زیرمعیارها: جهت این منظور از دو نرم افزار ArcGIS و IDRISI استفاده گردید که در زیر جزئیات هر یک از این معیارها مطابق شکل ۵ شرح داده خواهد شد:

- معیار حفاظت خاک: برای این معیار متغیرهای درصد پوشش خاک و درصد خاک لخت انتخاب گردید (اسدی نلیوان و همکاران، ۱۳۹۴).

- معیار فرسایش آبی: در این حوضه به دلیل عدم وجود ایستگاههای هیدرومتری جهت برآورد فرسایش آبی از روش تجربی MPSIAC[11] استفاده گردید (احمدی، ۱۳۷۴).
- معیار ترکیب گیاهی: متغیرهای کلاس خوشخوراکی (I,II,III) و فرم رویش (فورب، گندمیان، بوته‌ای) برای معیار مورد نظر با استفاده از فرم‌های ارزیابی پوشش گیاهی اندازه‌گیری شد (اسدی نلیوان و همکاران، ۱۳۹۴).
- معیار تولید: در این مطالعه جهت تعیین علوفه تولیدی در سطح مراتع از روش مستقیم (قطع و توزین علوفه) استفاده گردید و برای تعیین آن از ضریب بهره‌برداری مجاز کمک گرفته شد (مصداقی، ۱۳۷۷).
- معیار ظرفیت چرا: ظرفیت چرا عبارت است از تعداد دامی که در مرتع مشخص در زمان معین می‌توان به آن اجازه چرا داد (مصداقی، ۱۳۷۷).
- معیار کمیت آب سطحی: در این بخش متغیرهای حجم رواناب، متوسط بارش و ضریب رواناب اندازه‌گیری گردید. جهت برآورد رواناب سالیانه زیرحوضه‌ها، با توجه به تفاوت در رژیم آبی، اقلیمی و نیز توپوگرافی زیرحوضه‌های بخش شمالی و جنوبی حوضه آبخیز دشت مختاران از مناسب‌ترین روش استفاده گردید. سپس با استفاده از ارتفاع رواناب و مساحت زیرحوضه حجم رواناب هر زیرحوضه برآورد و در نهایت متغیر ضریب رواناب از نسبت ارتفاع رواناب به بارش زیرحوضه‌ها حاصل گردید (علیزاده، ۱۳۷۸).
- معیار تبخیر و تعرق پتانسیل: برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق پتانسیل از روش تجربی بلانی کریدل استفاده گردید (علیزاده، ۱۳۷۸).
- معیار شدت سیلخیزی: برای این معیار متغیرهای گروه هیدرولوژیک، ضریب گراولیوس، باران، برف، شیب و پوشش گیاهی انتخاب گردید. گروه هیدرولوژیک با استفاده از روش SCS و باران و برف به ترتیب از جمع نمودن ارتفاع بارندگی در ماههای اسفند و فروردین و جمع نمودن ارتفاع آب حاصل از ذوب برف به روش چاندرا در ماههای اسفند و فروردین و نیز ضریب گراولیوس با استفاده از رابطه تجربی برآورد گردید (علیزاده، ۱۳۷۸). همچنین، نقشه شیب براساس نقشه مدل رقومی ارتفاع در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه گردید. در نهایت اطلاعات پوشش گیاهی براساس درصد تاج پوشش گیاهی در گستره تیپ‌های گیاهی با استفاده از فرم‌های ارزیابی پوشش گیاهی به دست آمد (اسدی نلیوان و همکاران، ۱۳۹۴).
- معیار فرسایش بادی: برای اندازه‌گیری فرسایش بادی از روش تجربی اریفر[12] استفاده گردید (اختصاصی و احمدی، ۱۳۷۵).
- معیار کمیت آب زیرزمینی منابع بالادست (چاه، چشمه و قنات): برای این معیار متغیر حجم آبدهی انتخاب گردید که شامل مجموع حجم آبدهی چاه، چشمه و قنات در هر زیرحوضه می‌باشد.
- معیار کیفیت آب زیرزمینی منابع بالادست (چاه، چشمه و قنات): از آنجایی که در این مطالعه هدف از تعیین کیفیت آب زیرزمینی منابع بالادست، تعیین کیفیت آب آبیاری برای کشاورزی می‌باشد، از شاخص ویلکاکس استفاده گردید (غلامعلی زاده آهنگر، ۱۳۸۱).
- معیار کمیت و کیفیت آب زیرزمینی منابع پایین‌دست: برای معیار کمیت متغیر سطح سفره آب زیرزمینی و برای معیار کیفیت متغیر هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در قسمت پایین‌دست حوضه انتخاب گردید. تعیین سطح سفره آب زیرزمینی و اندازه‌گیری هدایت الکتریکی پایین‌دست حوضه با استفاده از روش درون‌یابی مربع فاصله معکوس[13] (مورفی و همکاران[14]، ۲۰۱۱) و اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای و نمونه-برداری شده انجام پذیرفت.

11. Modified Pacific South-West inter-Agency committee, MPSIAC

12. Iran Research Institute of Forest and Rangeland
13. Inverse Distance Weight, IDW
14. Murphy et al.



شکل ۵: فلوچارت معیارهای انتخابی و متغیرهای مربوط به آنها

جدول ۱: مقادیر ترجیحات برای مقایسات زوجی در AHP (Vernes, 1984)

ترجیحات	مقدار عددی	ترجیحات	مقدار عددی
اهمیت یکسان	۱	ترجیح خیلی زیاد	**۷**
نسبتاً مرجع	۳	ترجیح فوق‌العاده	**۹**
ترجیح زیاد	۵	ارزش بینابینی	**۸،۶،۴،۲**

وزن‌دهی به معیارها و زیرمعیارها: جهت اینکار از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد (ستی[15]، ۱۹۸۰). در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی عناصر هر سطح نسبت به عناصر مربوط به خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و وزن آنها محاسبه می‌گردد. که این وزن‌ها را وزن نسبی می‌نامند. سپس با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه مشخص می‌گردد که آن را وزن مطلق می‌نامند. کلیه مقایسه‌ها به صورت زوجی انجام می‌پذیرد. مطابق جدول ۱، وزن لایه‌ها از ۱ تا ۹ متغیر می‌باشند و به عبارت دیگر برای عامل بسیار ضعیف و بسیار مؤثر به ترتیب اعداد ۱ و ۹ تعلق می‌گیرد (ورنس[16]، ۱۹۸۴). بنابراین، ابتدا به معیارهایی که دارای بیش از یک زیرمعیار می‌باشند از جمله حفاظت خاک، کمیت آب سطحی و شدت سیلخیزی به هر یک از زیرمعیارهای آنها از ۱ تا ۹ بسته به درجه اهمیت آن امتیاز داده می‌شود و بدین ترتیب ماتریس مقایسات زوجی هر یک از معیارها حاصل می‌گردد. سپس به همین شیوه به معیارهای هر بلوک (ارتفاعات شمالی، ارتفاعات جنوبی و دشت حوضه) امتیاز داده شد و با استفاده از مقایسات زوجی و تحلیل آن وزن نسبی و ماتریس مقایسات زوجی مربوط به هر بلوک در حوضه آبخیز دشت مختاران شناسایی می‌گردد.

به منظور رضایت بخش بودن مقایسه‌ها، باید نرخ ناسازگاری (CR) کمتر از ۰/۱ باشد. در واقع CR تعیین کننده صحت وزن‌دهی انجام شده می‌باشد. به منظور تعیین نرخ ناسازگاری باید مراحل زیر دنبال گردد:

$$CR = \frac{CI}{RI} \qquad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن CI شاخص سازگاری و RI شاخص تصادفی است که مقدار آن به تعداد فاکتور مورد مقایسه بستگی دارد (معماریان و همکاران[17]، ۲۰۱۵).

استانداردسازی معیارها: اغلب شاخص‌ها در روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه (MCDM) دارای مقیاس‌های مختلف بوده و غالباً در تعارض با یکدیگر می‌باشند. همچنین، برخی شاخص‌ها جنبه مثبت و برخی جنبه منفی دارند. لذا به منظور قابل مقایسه شدن مقیاس‌های مختلف اندازه‌گیری می‌بایست بدون بعد گردند که از روش فازی استفاده

15. Saaty
16. Vernes
17. Memarian et al.

مـی‌گـردد. پـس از فـازی‌سـازی و تهیـه نقشـه فـازی معیارهـایی کـه فقـط دارای یـک زیرمعیـار بودنـد، نقشه‌های فازی مربوط به معیارهـایی کـه دارای چنـد زیرمعیار مـی‌باشـند از جملـه معیـار ترکیـب گیـاهی، کمیت آب سطحی، حفاظت خاک و شدت سـیلخیزی تهیه گردید. سـپس بـه منظـور تلفیـق زیرمعیارهـای مربوط به هر یک از معیارهای مذکور از روش ترکیـب خطی وزنی (WLC) استفاده گردید.

گروه‌بندی زیرحوضه های دارای مشـکل مشـابه در هر بلوک: در هر یک از سه بلـوک، مشـکل اصـلی هـر زیرحوضه با استناد به مطالعات و گزارش‌هایی از جمله گزارش تلفیق و برنامه‌ریزی مطالعات توجیهی حوضـه مختـاران و مطالعـات اجتمـاعی و اقتصـادی طـرح توجیهی آبخیزداری منطقه مختاران که قبلاً در حوضه مطالعاتی انجام گرفته بـود تعیـین گردیـد (اداره کـل منابع طبیعی و آبخیـزداری اسـتان خراسـان جنـوبی، ۱۳۸۴).

تعیین نوع معیارها براساس مشکل اصلی هر گـروه از زیرحوضه‌ها: با توجه به این که در حوضه مطالعـاتی ۴ نوع مشکل اصلی از قبیل کـم آبـی، فرسـایش آبـی، فرسایش بادی و سیل وجود دارد، لذا، با توجه به نحوه ارتباط (افزایشی یا کاهشی) بین مشکل هـر گـروه بـا معیارهـا، در هـر یـک از ۳ بلـوک (ارتفاعـات شـمالی، جنوبی و دشت حوضه) نـوع معیارهـا بـرای هـر گـروه تعیین گردید.

تعیین اهمیت نسبی گزینه‌ها نسبت به هـر یـک از معیارها: در این پـژوهش، ابتـدا در محـیط ArcGIS از معیارها به صورت زیرحوضه‌ای میانگین گرفتـه شـد و سپس براساس طیف لیکرت (جدول۲) به صورت اعداد فازی مثلثی تبدیل گردیدند.

جدول ۲: عبارات کلامی مرتبط با عملکرد زیرحوضه‌ها (گزینه‌ها) نسبت به معیارها (جوانمردی و همکاران، ۱۳۹۲)

مقدار عددی	عبارت‌های کلامی	اعداد فازی مثلثی	مقدار عددی	عبارت‌های کلامی	اعداد فازی مثلثی
۱	خیلی ضعیف	(۳و۱و۰)	۴	زیاد	(۹و۷و۵)
۲	ضعیف	(۵و۳و۱)	۵	خیلی زیاد	(۱۰و۹و۷)
۳	متوسط	(۷و۵و۳)	-	-	-

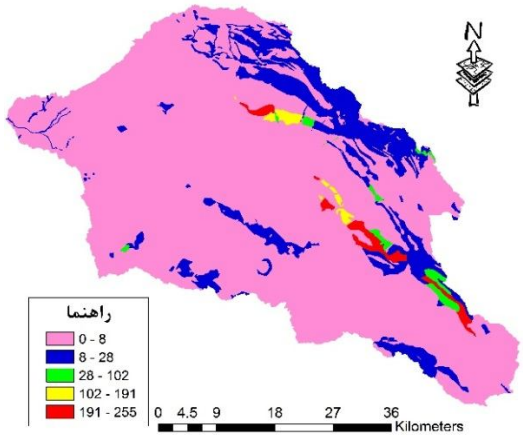
اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری حوضه توسط نرم افزار Fuzzy Topsis Solver انجام گردید.

نتایج و بحث

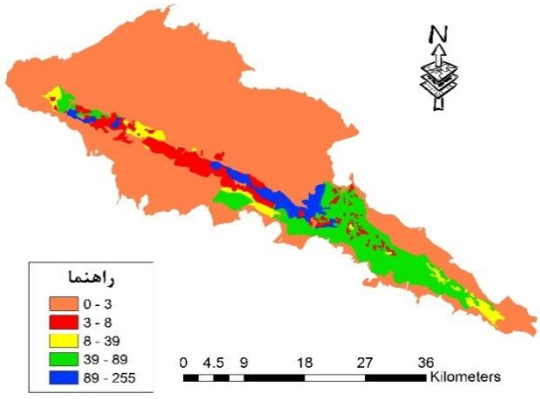
وزن نهایی مربوط به معیارهای هر بلوک همراه با نرخ ناسازگاری آن در جدول ۳ ارائه شده است. همچنین، نقشه‌های استاندارد شده به روش فازی برای ۱۳ معیار محیط زیستی به صورت اشکال ۶ تا ۱۸ نشان داده شده است.

جدول ۳: وزن نهایی مربوط به معیارهای ۳ بلوک ارتفاعات شمالی، ارتفاعات جنوبی و دشت حوضه مختاران

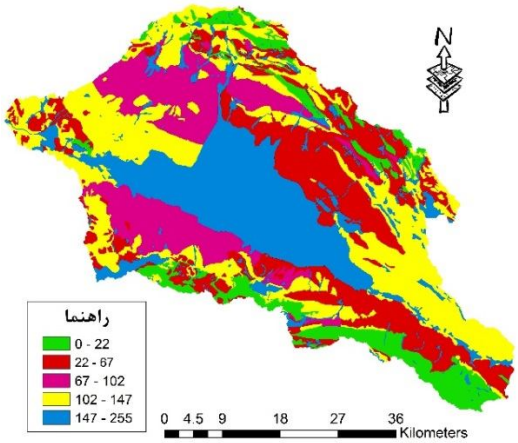
موقعیت بلوک‌ها	کمیت آب سطحی	کمیت آب زیرزمینی پایین‌دست	تبخیر و تعرق پتانسیل	کمیت آب زیرزمینی بالادست	حفاظت خاک	فرسایش بادی	کیفیت آب زیرزمینی پایین‌دست	تولید	ظرفیت چرا	ترکیب گیاهی	شدت سیلخیزی	کیفیت آب زیرزمینی بالادست	فرسایش آبی	نرخ ناسازگاری (CR)
ارتفاعات شمالی	۰/۷۰	-	۰/۳۰	۰/۵۰	۰/۶۹	-	-	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۷۰	۰/۱۸	۰/۰۲	۰/۶۹	۰/۰۲
ارتفاعات جنوبی	۰/۱۸	-	۰/۶۹	۰/۱۸	۰/۷۰	-	-	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۷۰	۰/۰۲
دشت حوضه	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۷۸	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۸۰	۰/۰۲	-	۰/۰۲	۰/۰۲



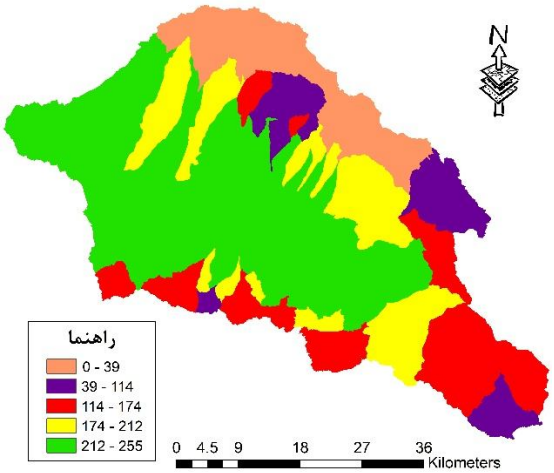
شکل ۶: نقشه استاندارد شده معیار فرسایش آبی



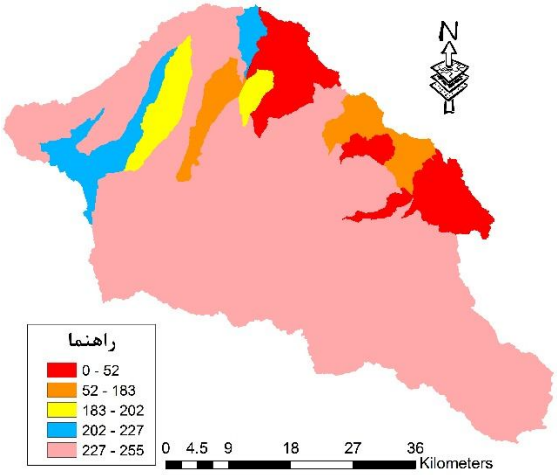
شکل ۷: نقشه استاندارد شده معیار فرسایش بادی



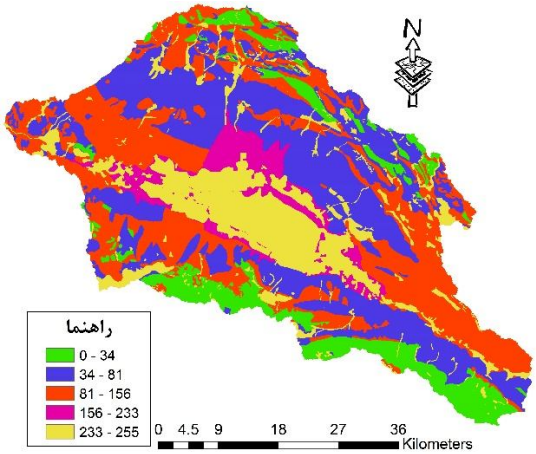
شکل ۸: نقشه استاندارد شده معیار تولید



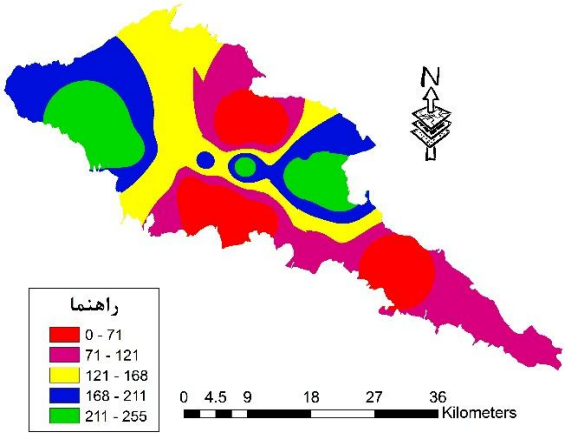
شکل ۹: نقشه استاندارد شده معیار تبخیر و تعرق پتانسیل



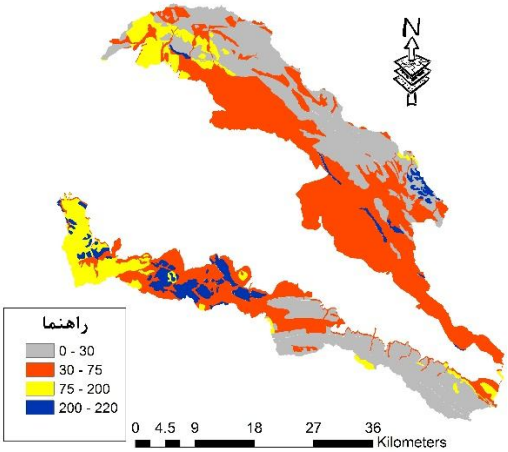
شکل ۱۰: نقشه استاندارد شده معیار کمیت آب زیرزمینی بالادست



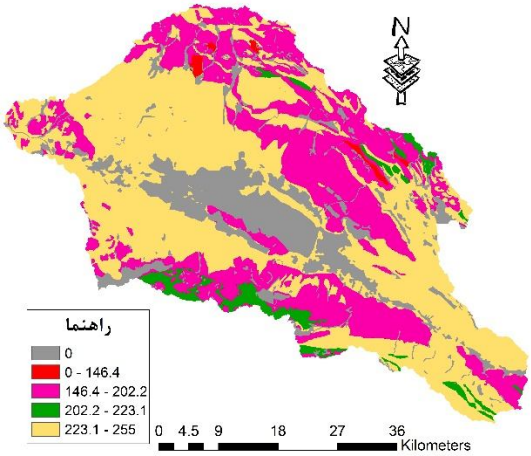
شکل ۱۱: نقشه استاندارد شده معیار ظرفیت چرا



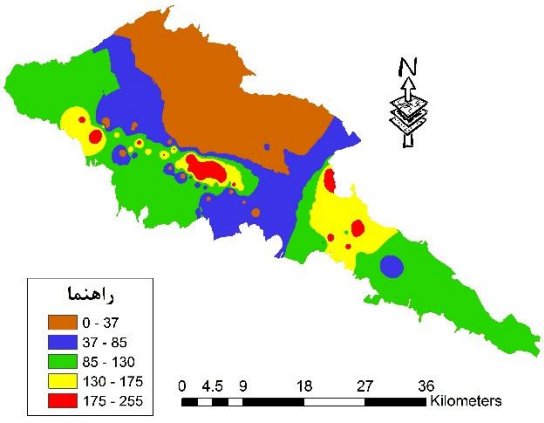
شکل ۱۲: نقشه استاندارد شده معیار کمیت آب زیرزمینی پایین‌دست



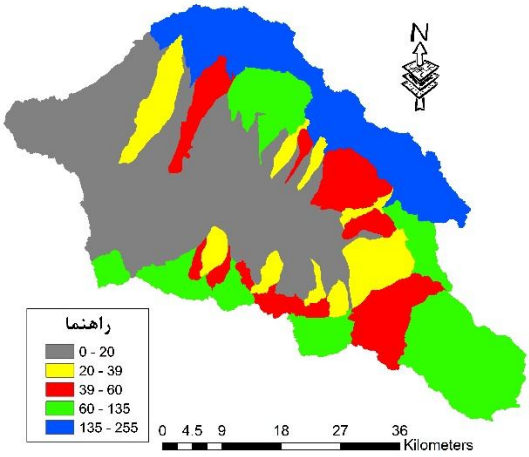
شکل ۱۳: نقشه استاندارد شده معیار کیفیت آب زیرزمینی بالادست



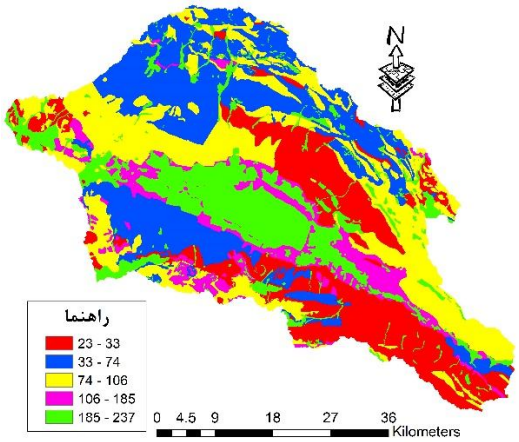
شکل ۱۴: نقشه استاندارد شده معیار ترکیب گیاهی شکل



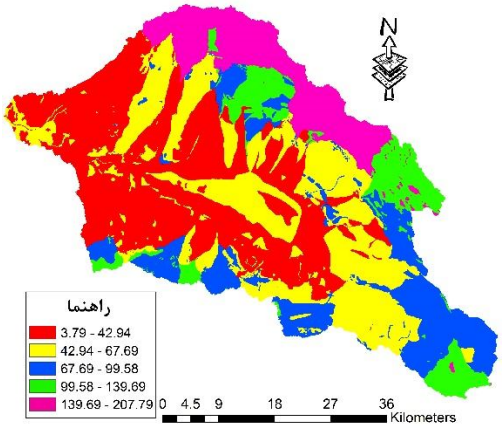
شکل ۱۵: نقشه استاندارد شده معیار کیفیت آب زیرزمینی پایین‌دست



شکل ۱۶: نقشه استاندارد شده معیار کمیت آب سطحی



شکل ۱۷: نقشه استاندارد شده معیار حفاظت خاک



شکل ۱۸: نقشه استاندارد شده معیار شدت سیلخیزی

همان طور که قبلاً بیان گردید با توجه به مطالعات قبلی انجـام شـده در حوضـه آبخیـز دشـت مختـاران، مشکل اصلی هر یک از زیرحوضه‌ها تعیین و در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴: مشکلات اصلی حوضه آبخیز دشت مختاران به تفکیک زیرحوضه

زیرحوضه	مشکل اصلی	نام بلوک	زیرحوضه	مشکل اصلی	نام بلوک	زیرحوضه	مشکل اصلی	نام بلوک
M1	کم‌آبی	دشت حوضه	M26	سیل	ارتفاعات شمالی حوضه	M50	سیل	ارتفاعات جنوبی حوضه
M2	سیل	ارتفاعات جنوبی حوضه	M27	کم‌آبی	دشت حوضه	M51	کم‌آبی	ارتفاعات جنوبی حوضه
M4	فرسایش آبی	ارتفاعات شمالی حوضه	M28	سیل	ارتفاعات شمالی حوضه	M'1	کم‌آبی	دشت حوضه
M5	سیل	ارتفاعات شمالی حوضه	M29	کم‌آبی	دشت حوضه	M'2	کم‌آبی	دشت حوضه
M6	فرسایش آبی	ارتفاعات شمالی حوضه	M30	کم‌آبی	دشت حوضه	M'3	کم‌آبی	دشت حوضه
M7	سیل	ارتفاعات شمالی حوضه	M31	کم‌آبی	ارتفاعات جنوبی حوضه	M'4	فرسایش آبی	ارتفاعات شمالی حوضه

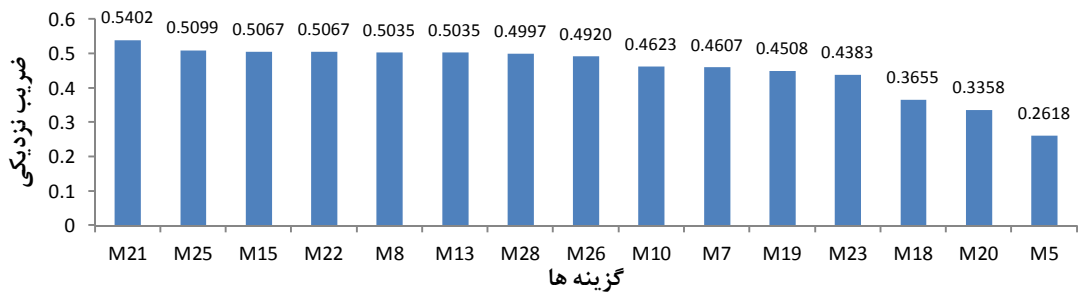
M8	سیل	ارتفاعات شمالی حوضه	M32	کم‌آبی	دشت حوضه	M'5	فرسایش آبی	ارتفاعات شمالی حوضه
M9	فرسایش آبی	ارتفاعات شمالی حوضه	M33	کم‌آبی	ارتفاعات جنوبی حوضه	M'6	فرسایش آبی	ارتفاعات شمالی حوضه
M10	سیل	ارتفاعات شمالی حوضه	M34	فرسایش بادی	دشت حوضه	M'7	کم‌آبی	دشت حوضه
M11	فرسایش آبی	ارتفاعات شمالی حوضه	M35	کم‌آبی	ارتفاعات جنوبی حوضه	M'8	کم‌آبی	دشت حوضه
M12	کم‌آبی	دشت حوضه	M36	کم‌آبی	دشت حوضه	M'9	کم‌آبی	دشت حوضه
M13	سیل	ارتفاعات شمالی حوضه	M37	سیل	ارتفاعات جنوبی حوضه	M'10	کم‌آبی	دشت حوضه
M14	کم‌آبی	دشت حوضه	M38	فرسایش بادی	دشت حوضه	M'11	کم‌آبی	دشت حوضه
M15	سیل	ارتفاعات شمالی حوضه	M39	کم‌آبی	دشت حوضه	M'12	کم‌آبی	دشت حوضه
M16	فرسایش آبی	ارتفاعات شمالی حوضه	M40	سیل	ارتفاعات جنوبی حوضه	M'13	فرسایش بادی	دشت حوضه
M17	فرسایش آبی	ارتفاعات شمالی حوضه	M41	سیل	ارتفاعات جنوبی حوضه	M'14	کم‌آبی	دشت حوضه
M18	سیل	ارتفاعات شمالی حوضه	M42	کم‌آبی	ارتفاعات جنوبی حوضه	M'15	کم‌آبی	دشت حوضه
M19	سیل	ارتفاعات شمالی حوضه	M43	سیل	ارتفاعات جنوبی حوضه	M'16	کم‌آبی	دشت حوضه
M20	سیل	ارتفاعات شمالی حوضه	M44	سیل	ارتفاعات جنوبی حوضه	M'17	کم‌آبی	دشت حوضه
M21	سیل	ارتفاعات شمالی حوضه	M45	سیل	ارتفاعات جنوبی حوضه	M'18	کم‌آبی	دشت حوضه
M22	سیل	ارتفاعات شمالی حوضه	M46	کم‌آبی	دشت حوضه	M'19	فرسایش بادی	دشت حوضه
M23	سیل	ارتفاعات شمالی حوضه	M47	کم‌آبی	دشت حوضه	M'20	فرسایش بادی	دشت حوضه
M24	کم‌آبی	دشت حوضه	M48	کم‌آبی	دشت حوضه	DAGH	فرسایش بادی	دشت حوضه
M25	سیل	ارتفاعات شمالی حوضه	M49	کم‌آبی	دشت حوضه	-	-	-

پس از تعیین مشکل اصلی هر زیرحوضه براساس نتایج به دست آمده در جدول ۴، در هر بلوک زیرحوضه‌هایی که از نظر مشکل اصلی، مشابه یکدیگر می‌باشند، در یک گروه قرار گرفتند (در بلوک ارتفاعات شمالی حوضه ۲ گروه سیل و فرسایش آبی، در بلوک ارتفاعات جنوبی ۲ گروه سیل و کم آبی و در بلوک دشت حوضه ۳ گروه فرسایش بادی، کم آبی شمالی دشت و کم آبی جنوبی دشت). همچنین، نتایج تعیین نوع معیارها (مثبت یا منفی) با توجه به مشکل اصلی هر گروه در ۳ بلوک ارتفاعات شمالی، جنوبی و دشت حوضه در جدول ۵ نشان داده شده است.

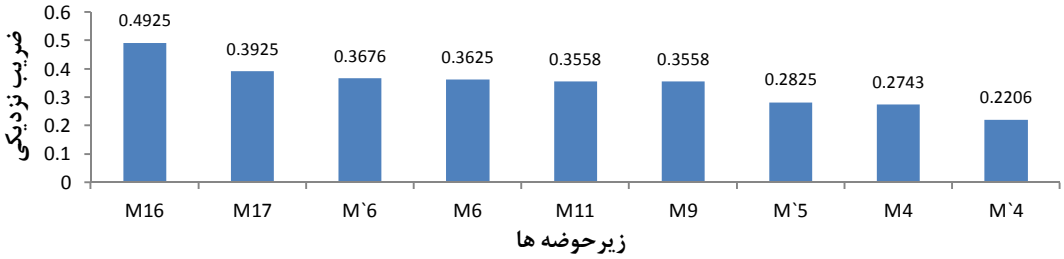
جدول ۵: تعیین نوع معیارها در گروه‌های سه بلوک ارتفاعات شمالی، جنوبی و دشت حوضه

نام بلوک: نام گروه	نام معیار												
	حفاظت خاک	فرسایش آبی	ترکیب گیاهی	تولید	ظرفیت چرا	کمیت آب سطحی	تبخیر و تعرق	شدت سیل خیزی	فرسایش بادی	کمیت آب زیرزمینی پایین‌دست	کیفیت آب زیرزمینی پایین‌دست	کمیت آب زیرزمینی بالادست	کیفیت آب زیرزمینی بالادست
بلوک ارتفاعات شمالی: گروه فرسایش آبی	منفی	مثبت	منفی	منفی	منفی	مثبت	مثبت	مثبت	-	-	-	منفی	مثبت
بلوک ارتفاعات شمالی: گروه سیل	منفی	مثبت	منفی	منفی	منفی	مثبت	مثبت	مثبت	-	-	-	منفی	مثبت
بلوک ارتفاعات جنوبی: گروه سیل	منفی	مثبت	منفی	منفی	منفی	مثبت	مثبت	مثبت	-	-	-	منفی	مثبت
بلوک ارتفاعات جنوبی: گروه کم آبی	منفی	مثبت	منفی	منفی	منفی	منفی	مثبت	مثبت	-	-	-	منفی	مثبت
بلوک دشت: گروه کم آبی شمالی	منفی	مثبت	منفی	منفی	منفی	منفی	مثبت	مثبت	مثبت	منفی	مثبت	منفی	-
بلوک دشت: گروه کم آبی جنوبی	منفی	مثبت	منفی	منفی	منفی	منفی	مثبت	مثبت	مثبت	منفی	مثبت	منفی	-
بلوک دشت: گروه فرسایش بادی	منفی	مثبت	منفی	منفی	منفی	منفی	مثبت	مثبت	مثبت	منفی	مثبت	منفی	-

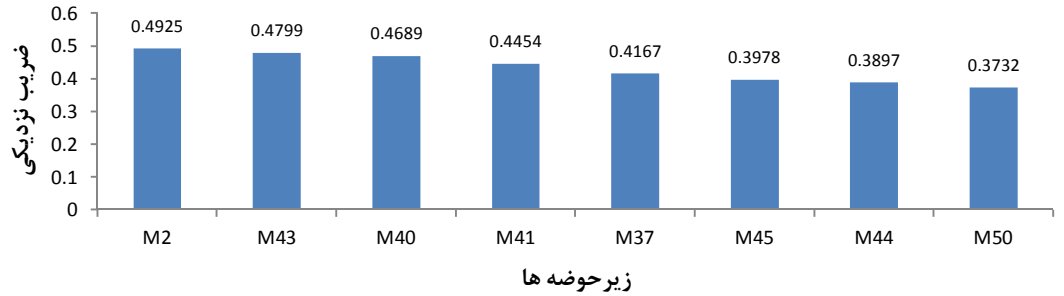
بدین ترتیب از تمام ۱۳ لایه فازی‌سازی شده در محیط ArcGIS و به صورت زیرحوضه‌ای میانگین گرفته شد و از محدوده ۰ تا ۲۵۵ به زیرحوضه‌های هر نقشه معیار، یک عدد تعلق گرفت که براساس طیف لیکرت (جدول ۲) هر یک از اعداد به دست آمده در یکی از ۵ کلاس تعیین شده قرار گرفتند و اعداد فازی مثلثی برای زیرحوضه‌های هر معیار حاصل گردید. در نهایت با وارد نمودن تمامی اطلاعات مربوطه در نرم افزار فازی-تاپسیس برای هر گروه از زیرحوضه‌ها در هر بلوک، اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری براساس ضریب نزدیکی به دست آمده انجام پذیرفت که نتایج مربوط به هر گروه در هر بلوک، در اشکال ۱۹ تا ۲۵ نشان داده شده است. همچنین، در هر گروه، زیرحوضه‌ای که دارای بیشترین ضریب نزدیکی می‌باشد در بالاترین اولویت و زیرحوضه‌ای که دارای کمترین ضریب نزدیکی می‌باشد جهت عملیات اجرایی آبخیزداری در پایین‌ترین اولویت قرار گرفت.



شکل ۱۹: نمودار اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری زیرحوضه‌های گروه سیل در بلوک ارتفاعات شمالی

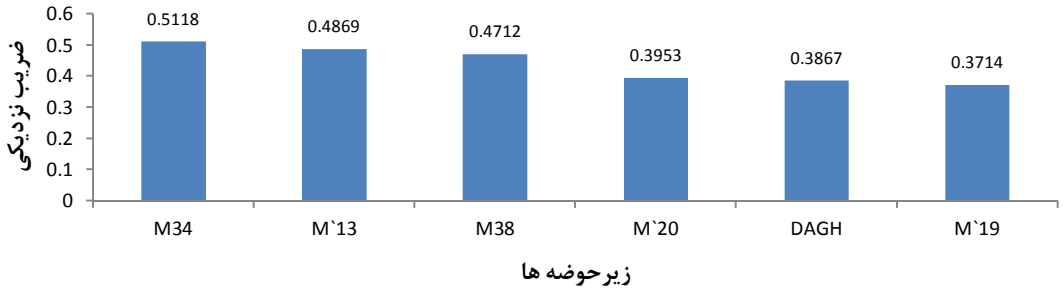


شکل ۲۰: نمودار اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری زیرحوضه‌های گروه فرسایش آبی در بلوک ارتفاعات شمالی

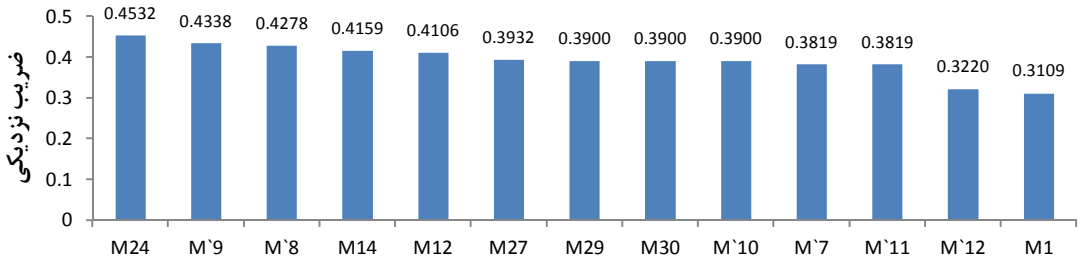


شکل ۲۱: نمودار اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری زیرحوضه‌های گروه سیل در بلوک ارتفاعات جنوبی

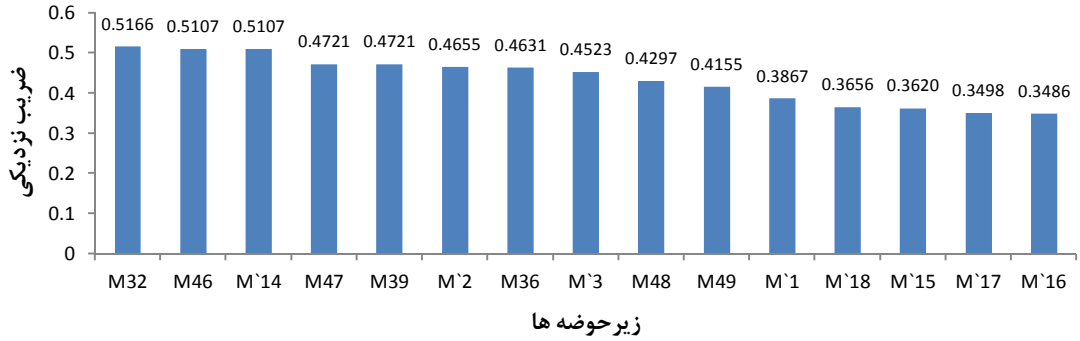
شکل ۲۲: نمودار اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری زیرحوضه‌های گروه کم آبی در بلوک ارتفاعات جنوبی



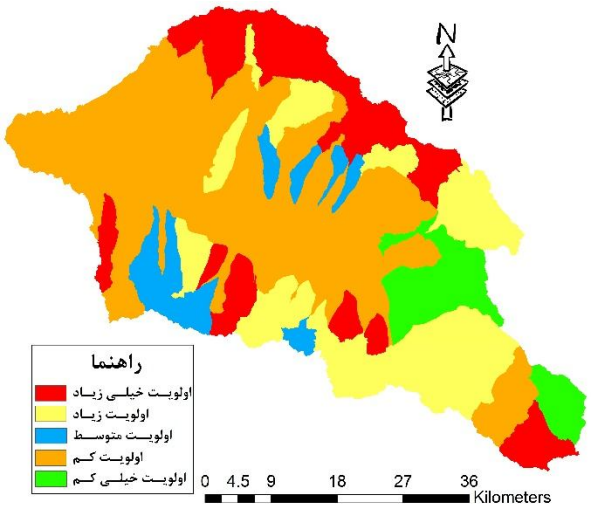
شکل ۲۳: نمودار اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری زیرحوضه‌های گروه فرسایش بادی در بلوک دشت



شکل ۲۴: نمودار اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری زیرحوضه‌های گروه کم آبی شمالی دشت



شکل ۲۵: نمودار اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری زیرحوضه‌های گروه کم آبی جنوبی دشت



شکل ۲۶: نقشه اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری حوضه آبخیز دشت مختاران با روش فازی-تاپسیس

بنابراین، با کمک ضریب نزدیکی به دست آمده برای هر زیرحوضه، در محیط نرم افزار ArcGIS نقشه مربوط به اولویت بندی عملیات اجرایی آبخیزداری با روش فازی-تاپسیس ایجاد و با استفاده از روش بهینه-سازی (رابطه ۱۸) به ۵ منطقه تقسیم‌بندی گردید (شکل ۲۶). در این روش، شکست‌های طبیعی هیستوگرام به گونه‌ای تعیین می‌گردد که مجموع واریانس درون هر طبقه حداقل باشد:

$$GVF = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{K}\sum_{i=1}^{N}(Zij - \bar{Z})^2}{\sum_{i=1}^{N}(Zi - \bar{Z})^2} \qquad (۱۸)$$

در رابطه فوق، i و j به ترتیب نمای کلاس و داده، K تعداد طبقات، N تعداد داده، Zij ارزش استاندارد شده داده i در کلاس j و Zj و Zi ارزش استاندارد شده داده در کلاس j و i و $\overline{Z}$ میانگین استاندارد شده داده‌ها می‌باشد (معماریان و همکاران، ۲۰۰۶).

جدول ۶: مساحت طبقات اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری با روش فازی-تاپسیس

طبقات اولویت‌بندی	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت	طبقات اولویت‌بندی	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
اولویت خیلی کم	۱۸۸/۵۸	۷/۷۷	اولویت زیاد	۵۳۳	۲۱/۹۷
اولویت کم	۱۱۲۲/۹۵	۴۶/۲۸	اولویت خیلی زیاد	۴۲۵/۸۶	۱۷/۵۵
اولویت متوسط	۱۵۵/۸۱	۶/۴۲	-		-

همان‌طورکه در شکل ۲۶ و جدول ۶ مشاهده می‌گردد، مناطق دارای اولویت کم و خیلی کم ۵۴/۰۵ درصد محدوده مورد مطالعه را در بر گرفته‌اند، که بیشتر بر دشت حوضه و ارتفاعات شمالی حوضه منطبق می‌باشد و مناطق دارای اولویت زیاد و خیلی زیاد ۳۹/۵۲ درصد محدوده مورد مطالعه را در برگرفته، که بیشتر بر ارتفاعات شمالی و ارتفاعات جنوبی حوضه و بخش‌هایی از دشت حوضه منطبق می‌باشند و همچنین مناطق دارای اولویت متوسط ۶/۴۲ درصد محدوده مورد مطالعه را در برگرفته‌اند، که بیشتر بر ارتفاعات جنوبی حوضه و دشت حوضه منطبق می‌باشند. از طرف دیگر، با توجه به نقشه نهایی به دست آمده می‌توان بیان نمود که زیرحوضه‌های M8، M13، M15، M16، M21، M22، M25، M26، M28 (در محدوده ارتفاعات شمالی حوضه)، M2، M42، M43، M51 (در محدوده ارتفاعات جنوبی حوضه)، M32، M34، M46، M`13 و M`14 (در محدوده دشت حوضه) در بالاترین اولویت قرار داشته و جزء واحدهای هیدرولوژیک بحرانی حوضه محسوب می‌شوند. در حالی که، زیرحوضه‌های M4، M5، M`4، M`5 (در محدوده ارتفاعات شمالی حوضه) و M1 (در محدوده دشت حوضه) در پایین-ترین اولویت نسبت به سایر زیرحوضه‌ها قرار دارند. بنابراین، با توجه به مشکل اصلی هر زیرحوضه، برای زیرحوضه‌های M2، M8، M13، M15، M21، M22، M25، M26، M28 وM43 که دارای مشکل سیل می-باشند عملیات کنترل سیل و آبخیزداری و برای زیرحوضه‌های M32، M42، M46، M51 و M`14 که دارای مشکل کم آبی می‌باشند عملیات تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب و برای زیرحوضه‌های M34 و M`13 که دارای مشکل فرسایش بادی می‌باشند عملیات بیابان‌زدایی و در نهایت برای زیرحوضه M16 که دارای مشکل فرسایش آبی می‌باشد عملیات حفاظت خاک و کنترل رسوب پیشنهاد می‌گردد. نتایج کلی حاکی از آن است که مدل های تصمیم گیری چند معیاره به دلیل قابلیت استفاده از چندین معیار به صورت کمی و کیفی و ارائه بهترین مکان با توجه به هدف مورد نظر، می‌توانند اطلاعات با ارزشی را در زمینه اولویت بندی عملیات اجرایی آبخیزداری در راستای مدیریت جامع حوضه آبخیز ارائه کند. نتایج این تحقیق با نتایج به دست آمده از مطالعات گلکاریان و همکاران (۱۳۹۶)، که به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های حوضه آبخیز دریان سمنان جهت اقدامات آبخیزداری با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده آل (تاپسیس) پرداختند مطابقت دارد. به طوری که ۶ معیار جمعیت، متوسط تولید پوشش گیاهی، منابع آب، سطح اراضی کشاورزی، فرسایش و استحکام سازند جهت اولویت‌بندی انتخاب گردید و سپس وزن هر یک از معیارها با استفاده از روش آنتروپی برآورد گردید. در نهایت به منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز جهت اقدامات آبخیزداری از روش تاپسیس استفاده گردید. نتایج تحقیق بیانگر کارایی مناسب روش تاپسیس در اولویت‌بندی واحدهای هیدرولوژیک منطقه مطالعاتی بود. همچنین، رضوی زاده و شاهدی (۱۳۹۵)، به اولویت‌بندی سیلخیزی زیرحوضه‌های آبخیز طالقان با استفاده از تلفیق AHP و TOPSIS

پرداختند. در این تحقیق ۱۰ معیار مهم و تأثیرگذار در پتانسیل سیلخیزی شامل: مساحت، ضریب گراولیوس، تراکم زهکشی، شیب متوسط زیرحوضه، ارتفاع متوسط زیرحوضه، درصد اراضی نفوذ ناپذیر، شماره منحنی، شیب آبراهه اصلی، طول آبراهه اصلی و زمان تمرکز اندازه‌گیری شد و سپس جهت وزن‌دهی به معیارها از روش AHP و همچنین به منظور اولویت‌بندی سیلخیزی از روش TOPSIS استفاده گردید. نتایج تحقیق نشان داد تلفیق ۲ مدل AHP و TOPSIS در اولویت‌بندی سیلخیزی زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه روشی مناسبی می‌باشد که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. نگهبان و همکاران (۱۳۹۵)، به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلخیزی با استفاده از منطق فازی-تاپسیس در حوضه آبخیز شهر باغملک پرداختند. به این صورت که عوامل مؤثر در ایجاد سیلاب شامل: بارش، ارتفاع، شیب، جهت شیب، سازند، فاصله از آبراهه و کاربری اراضی در محیط ArcGIS ساخته و طبقه‌بندی گردید، سپس این داده‌ها به نرم افزار IDRISI منتقل و استانداردسازی آنها براساس توابع فازی انجام و سپس وزن‌دهی گردید. در نهایت جهت پهنه‌بندی خطر سیلخیزی از روش فازی-تاپسیس استفاده گردید. نتایج تحقیق بیانگر کارایی مناسب مدل فازی-تاپسیس در پهنه‌بندی خطر سیلخیزی منطقه مطالعاتی بود که با نتایج این تحقیق در یک راستا می‌باشد. نتایج پژوهش تقیلو و همکاران (۱۳۹۸) و محمدی و همکاران (۱۳۹۶) نیز بر کارآیی روش‌های ارزیابی چندمعیاره به ویژه تاپسیس در تحلیل تاب‌آوری حوزه‌های شهری و روستایی تأکید می‌نماید (تقیلو و همکاران، ۱۳۹۸، محمدی و همکاران، ۱۳۹۶).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که در بلوک ارتفاعات شمالی حوضه، معیار شدت سیلخیزی بیشترین وزن (۰/۳۱۳) و معیار ظرفیت چرا کمترین وزن (۰/۰۲)، در بلوک ارتفاعات جنوبی حوضه، معیارهای کمیت آب سطحی و کمیت آب زیرزمینی بالادست بیشترین وزن (۰/۲۲۱) و معیار کیفیت آب زیرزمینی بالادست کمترین وزن (۰/۰۱۷) و بالاخره در بلوک دشت حوضه، معیارهای کمیت آب سطحی و کمیت آب زیرزمینی پایین‌دست بیشترین وزن (۰/۱۷۴) و معیارهای شدت سیلخیزی و فرسایش آبی کمترین وزن (۰/۰۲) را به خود اختصاص دادند. همچنین، در بلوک ارتفاعات شمالی حوضه ۲ گروه سیل (با ۱۵ زیرحوضه) و فرسایش آبی (با ۹ زیرحوضه)، در بلوک ارتفاعات جنوبی حوضه ۲ گروه سیل (با ۸ زیرحوضه) و کم آبی (با ۵ زیرحوضه) و در بلوک دشت حوضه ۳ گروه فرسایش بادی (با ۶ زیرحوضه)، کم آبی شمالی دشت (با ۱۳ زیرحوضه) و کم آبی جنوبی دشت (با ۱۵ زیرحوضه) تعیین شدند. در نهایت، در بلوک ارتفاعات شمالی حوضه در گروه سیل، زیرحوضه M21 بیشترین ضریب نزدیکی (۰/۵۴۰۲) و زیرحوضه M5 کمترین ضریب نزدیکی (۰/۲۶۱۸) و در گروه فرسایش آبی، زیرحوضه M16 بیشترین ضریب نزدیکی (۰/۴۹۲۵) و زیرحوضه M'4 کمترین ضریب نزدیکی (۰/۲۲۰۶) را به خود اختصاص دادند. همچنین، در بلوک ارتفاعات جنوبی حوضه در گروه سیل، زیرحوضه M2 بیشترین ضریب نزدیکی (۰/۴۹۲۵) و زیرحوضه M50 کمترین ضریب نزدیکی (۰/۳۷۳۲) و در گروه کم آبی، زیرحوضه M42 بیشترین ضریب نزدیکی (۰/۵۰۴۱) و زیرحوضه‌های M31 و M35 کمترین ضریب نزدیکی (۰/۴۴۴۹) را به خود اختصاص دادند. همچنین، در بلوک دشت حوضه در گروه فرسایش بادی، زیرحوضه M34 بیشترین ضریب نزدیکی (۰/۵۱۱۸) و زیرحوضه M'19 کمترین ضریب نزدیکی (۰/۳۷۱۴)، در گروه کم آبی شمالی دشت، زیرحوضه M24 بیشترین ضریب نزدیکی (۰/۴۵۳۲) و زیرحوضه M1 کمترین ضریب نزدیکی (۰/۳۱۰۹) و در گروه کم آبی جنوبی دشت، زیرحوضه M32 بیشترین ضریب نزدیکی (۰/۵۱۶۶) و زیرحوضه M'16 کمترین ضریب نزدیکی (۰/۳۴۸۶) را به خود اختصاص دادند. همچنین، نتایج نشان داد مناطق دارای اولویت کم و خیلی کم ۵۴/۰۵ درصد محدوده مورد مطالعه را در برگرفته‌اند، که بیشتر بر دشت

حوضه و ارتفاعات شمالی حوضه منطبق می‌باشند و مناطق دارای اولویت زیاد و خیلی زیاد ۳۹/۵۲ درصد محدوده مورد مطالعه را در برگرفته‌اند، که بیشتر بر ارتفاعات شمالی و ارتفاعات جنوبی حوضه و بخش‌هایی از دشت حوضه منطبق می‌باشند و همچنین مناطق دارای اولویت متوسط ۶/۴۲ درصد محدوده مورد مطالعه را در برگرفته‌اند، که بیشتر بر ارتفاعات جنوبی حوضه و دشت حوضه منطبق می‌باشند. از طرف دیگر نتایج نشان داد زیرحوضه‌های M8، M13، M15، M16، M21، M22، M25، M26، M28 (در محدوده ارتفاعات شمالی حوضه)، M2، M42، M43، M51 (در محدوده ارتفاعات جنوبی حوضه)، M32، M34، M46، M'13 و M'14 (در محدوده دشت حوضه) در بالاترین اولویت به لحاظ عملیات اجرایی آبخیزداری قرار داشته و جزء واحدهای هیدرولوژیک بحرانی حوضه محسوب می‌گردند. در صورتی که زیرحوضه‌های M4، M5، M'4، M'5 (در محدوده ارتفاعات شمالی حوضه) و M1 (در محدوده دشت حوضه) در پایین‌ترین اولویت نسبت به سایر زیرحوضه‌ها قرار گرفته‌اند. از طرف دیگر، با توجه به مشکلات اصلی هر زیرحوضه، جهت عملیات کنترل سیل و آبخیزداری اقداماتی نظیر چکدم‌های گابیونی و سنگ و سیمانی کنترل سیلاب، جهت تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب اقداماتی نظیر بندهای خاکی تغذیه‌ای در بالادست قنوات و عملیات پخش سیلاب در دشت سر اپاندژ، جهت عملیات بیابان‌زائی اقداماتی نظیر نهال کاری همراه با هلالی آبگیر و مدیریت جنگل‌های دست کاشت و در نهایت جهت عملیات حفاظت خاک و کنترل رسوب اقداماتی نظیر چکدم‌های کنترل رسوب، دیواره ساحلی و حفاظت بستر رودخانه، کپه‌کاری و بذرپاشی و بانکت‌بندی پیشنهاد می‌شود. نتایج حاصل از این تحقیق عملکرد مطمئن و معتبر روش فازی-تاپسیس را در ارزیابی توان اکولوژیک و اولویت‌بندی واحدهای هیدرولوژیک حوضه آبخیز دشت مختاران نشان داد که این یافته‌ها بوسیله مطالعات تقیلو و همکاران (۱۳۹۸)، گلکاریان و همکاران (۱۳۹۶)، محمدی و همکاران (۱۳۹۶)، رضوی زاده و شاهدی (۱۳۹۵) و نگهبان و همکاران (۱۳۹۵) نیز پشتیبانی می‌گردد.

پیشنهادها

با توجه به نتایج تحقیق حاضر، پیشنهاد می‌گردد که از دیگر تکنیک های تصمیم‌گیری چند معیاره به منظور ارزیابی توان اکولوژیک حوضه جهت اقدامات آبخیزداری استفاده گردد تا امکان مقایسه و تعیین بهترین روش فراهم گردد. همچنین، ارزیابی نقش تغییر اقلیم در آینده بر اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها به منظور پیاده‌سازی عملیات اجرایی آبخیزداری انجام پذیرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مسئولین اداره کل منابع طبیعی استان خراسان جنوبی و ادارات شهرستان‌های بیرجند، خوسف و سربیشه به منظور ارائه آمار و اطلاعات جهت انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

۱. احمدی، حسن. ۱۳۷۴. ژئومورفولوژی کاربردی، جلد اول (فرسایش آبی). چاپ پنجم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

۲. اختصاصی، محمدرضا و احمدی، حسن. ۱۳۷۵. معرفی دو روش جدید برآورد رسوب در فرسایش بادی- روش تجربی برآورد رسوب فرسایش بادی I.R.T.I.F.R و اندازه‌گیری غیرمستقیم با کاربرد دستگاه W.E.meter و آنالیز منطقه‌ای سرعت و تداوم باد. دومین همایش ملی بیابان‌زایی در روش‌های مختلف بیابان‌زایی، معاونت آموزش و تحقیقات وزارت جهاد سازندگی و موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، کرمان.

۳. اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان جنوبی. ۱۳۸۴. گزارشات پایه مطالعات توجیهی آبخیزداری حوضه آبخیز دشت مختاران.

۴. اسدی نلیوان، امید، رستمی خلج، محمد، محسنی ساروی، محسن و سور، انور. ۱۳۹۴. اولویت‌بندی اقدامات آبخیزداری در حوضه آبخیز با استفاده از روش TOPSIS (مطالعه موردی: زیدشت- طالقان).

پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، دوره ششم، شماره ۱۲، ساری.
۵. اسدی نلیوان، امید، رضایی، فاطمه و سقازاده، نرگس. ۱۳۹۲. ارزیابی توان اکولوژیک حوضه آبخیز با استفاده از روش تاکسونومی جهت مدیریت جامع حوضه آبخیز (مطالعه موردی: حوضه آبخیز زیدشت، طالقان). پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال سوم، شماره ۱۱، هرمزگان.
۶. اصغرپور، محمد جواد. ۱۳۷۷. تصمیم‌گیری چند معیاره. چاپ دهم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
۷. اکبرپور، ابوالفضل، آقاحسینعلی، محسن و عزیزی، محسن. ۱۳۸۹. مدیریت بهره‌برداری آبهای زیرزمینی دشت مختاران با استفاده از مدل ریاضی تفاضلات محدود در محیط GMS 6.5. نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، انجمن هیدرولیک ایران، تهران، دانشگاه تربیت مدرس.
۸. بختیاری فر، مهرنوش، سعدی مسگری، محمد و کریمی، محمد. ۱۳۸۷. مدلسازی تعیین میزان مناسب کاربری اراضی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند متغیره مکانی. همایش ژئوماتیک، تهران.
۹. تقیلو، علی اکبر، مفرح بناب، مجتبی، مجنونی توتاخانه، علی و افتاب، احمد. ۱۳۹۸. تحلیل وضعیت تاب‌آوری شاخص‌های کالبدی مساکن شهر تبریز در برابر حوادث غیرمترقبه. آمایش جغرافیایی فضا. دوره ۹، شماره ۳۳، گلستان.
۱۰. جان‌پرور، مهدی و علوی مقدم، محمدرضا. ۱۳۹۴. بررسی امکان تأمین آب شرب شهر بیرجند از آبخوان دشت مختاران و تأثیر آن بر افت سطح آب زیرزمینی آبخوان. اولین همایش ملی پژوهش‌های کاربردی در نگهداشت محیط‌زیست، آب و منابع طبیعی، تهران.
۱۱. جوانمردی، محمد، علیزاده، پردیس، راد درویش، عبدالعزیز و کشایی، سمانه. ۱۳۹۲. رتبه‌بندی حوضه‌های مختلف ریسک زیست محیطی و سلامت انسان در فناوری نانو با استفاده از روش TOPSIS و AHP در محیط فازی. مدیریت شهری و روستایی، دوره ۱۱، شماره ۳۱، تهران.
۱۲. دستورانی، محمد تقی، کریمیان، علی اکبر، براهیمی، محمود رضا و رستم، محمدحسین. ۱۳۹۱. مروری بر روش تاپسیس (TOPSIS) و کاربرد آن در ارزیابی توان اکولوژیکی حوضه‌ها به منظور مدیریت جامع آبخیز. هشتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، لرستان.
۱۳. رضوی زاده، سمانه و شاهدی، کاکا. ۱۳۹۵. اولویت‌بندی سیلخیزی زیرحوضه‌های حوضه آبخیز طالقان با استفاده از تلفیق AHP و TOPSIS. اکوسیستم‌های طبیعی ایران، دوره ۷، شماره ۴، نور.
۱۴. صفدری، علی اکبر، تاجبخش فخرآبادی، سید محمد و محمودی، زهرا. ۱۳۸۹. شناخت مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای ارگ مختاران و تعیین تغییرات آن در طول زمان. دومین همایش ملی فرسایش بادی، انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران، یزد.
۱۵. صفدری، علی اکبر، محمودی، زهرا و معماریان خلیل‌آباد، هادی. ۱۳۸۷. منشأیابی رسوبات بادی منطقه دشت مختاران بیرجند. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، دوره ۱۵، شماره ۳، تهران.
۱۶. علیزاده، امین. ۱۳۷۸. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ چهلم، مشهد، انتشارات آستان قدس رضوی.
۱۷. غلامعلی زاده آهنگر، احمد. ۱۳۸۱. کیفیت و ارزیابی کیفی آب آبیاری. چاپ دوم، تهران، انتشارات علوم کشاورزی.
۱۸. فال سلیمان، محمود، حجی پور، محمد و صادقی، حجت الله. ۱۳۹۲. مقایسه کارایی روش‌های چند شاخصه AHP و تاپسیس به منظور تعیین نواحی مستعد کشت محصول پسته در دشت مختاران شهرستان بیرجند. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۱۳، شماره ۳۱، تهران.
۱۹. گلکاریان، علی، محمدیان، عباسعلی و عبدالهی، ابوالفضل. ۱۳۹۶. اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیزجهت اقدامات آبخیزداری (مطالعه موردی: حوضه آبخیز دریان سمنان). مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)، دوره ۷۰، شماره ۳، کرج.
۲۰. محمدی، سعدی، رستمی، شاه بختی، طالشی، مصطفی و سلطانی مقدس، ریحانه. ۱۳۹۶. سنجش و تحلیل وضعیت پایداری در مناطق روستایی با استفاده از تکنیک AHP، TOPSIS و تحلیل خوشه‌ای (مطالعه موردی شهرستانهای مریوان سروآباد). آمایش جغرافیایی فضا، دوره ۷، شماره ۲۳، گلستان.
۲۱. مصداقی، منصور. ۱۳۷۷. مرتع‌داری در ایران. چاپ هفتم، مشهد، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).
۲۲. میرداودی، حمیدرضا، زاهدی پور، حجت الله، مرادی، حمیدرضا و گودرزی، غلامرضا. ۱۳۷۸. بررسی و تعیین

تـوان اکولوژیـک اسـتان مرکـزی از نظـر کشـاورزی و مرتع‌داری با استفاده از سیسـتم اطلاعـات جغرافیـایی (GIS). تحقیقات مرتع و بیابان ایران، دوره ۱۵، شـماره ۲، تهران.

۲۳. نگهبـان، سـعید، موسـوی، سـیده معصـومه، رخشـانی مقـدم، حیـدر و حسـین زاده، سـید محسـن. ۱۳۹۵. ارزیابی و پهنـه‌بنـدی خطـر سـیلخیزی بـا اسـتفاده از منطق فازی TOPSIS در محیط GIS (مطالعه مـوردی: حوضه آبخیز شهر باغملک). مخاطرات محیط طبیعـی، دوره ۵، شماره ۱۰، زاهدان.

24. Aher, P.D., Adinarayana, J., and Gorantiwar, S.D. 2013. Prioritization of Watersheds Using Multi-Criteria Evaluation Through Fuzzy Analytical Hierarchy Process. Journal of Agric Eng Int: CIGR, 15(1), China.
25. Aurger, P., Charles, S., Viala, M., and Poggiale, J.C. 2000. Aggregation and emergence in ecological modeling: integration of ecological levels. Ecological Modelling, 127, Netherlands.
26. Chen, S., and Hwang, C. 1992. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Berlin, Springer-Verlag.
27. Chen., C.T. 2000. Extensions to the TOPSIS for group decision making under fuzzy environment. Fuzzy Sets and Systems, 114(1), Netherlands.
28. Chowdhury, V.M., Chakraborthy, D., Jeyaram, A., Krishna Murthy, Y.V.N., Sharma, J.R., and Dadhwal, V.K. 2013. Multi-Criteria Decision Making Approach for Watershed Prioritization Using Analytic Hierarchy Process Technique and GIS. Water Resource Management, 27(10), Netherlands.
29. Chung, E.S., and Lee, K.S. 2009. Prioritization of water management for sustainability using hydrologic simulation model and multi-criteria decision making techniques. Journal of Environmental Management, 90(3), United States.
30. Fernandez, D.S., and Lutz, M.A. 2010. Urban Flood Hazard Zoning in Tucumán Province, Argentina, Using GIS and Multicriteria Decision Analysis. Engineering Geology, 111(1), Netherlands.
31. Hwang, C.L., and Yoon, K. 1981. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Berlin, Springer.
32. Khan, M.A., Gupta, V.P., and Moharana, P.C. 2001. Watershed prioritization using RS and GIS: case study from Guhiya, India. Journal of Arid Environments, 49(3), United States.
33. Levy, J.K. 2005. Multiple criteria decision making and decision support systems for flood risk management. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 19, United States.
34. Memarian, H., Balasundram, S.K., Abbaspour, K.C., Talib, J.B., Sung, C.T.B., and Sood, A.M. 2015. Integration of analytic hierarchy process and weighted goal programming for land use optimization at the watershed scale. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 38(2), Turkey.
35. Memarian, H., Tajbakhsh, M., Safdari, A., and Akhondi, E. 2006. Statistical Landslide Risk Zonation on the Shourijeh Formation in GIS Framework (Case study: Estarkhy Watershed in the Northeast of Iran). Geomatics Conference, Tehran.
36. Murphy, R.R., Curriero, F.C., Ball, W.P., and ASCE, M. 2011. Comparison of spatial interpolation methods for water quality evaluation in the Chesapeake Bay. Journal of Environmental Engineering, 136(2), United States.
37. Pourebrahim, S.h., Hadipour, M., and Bin Mokhtar, M. 2011. Integration of spatial suitability analysis for land use planning in coastal areas, case of Kuala Langat Dstrict, Selangor, Malaysia. Landscape and Urban Planning, 101(1), Netherlands.
38. Raj, A.P., and Kumar, N.D. 1998. Ranking multi-criterion river basin planning alternatives using fuzzy numbers. Fuzzy sets and systems, 100(1-3), Netherlands.
39. Saaty, T. 1980. The analytical hierarchical process: planning, priority

setting resourc allocation. New York, Mc Graw-Hill.
40. Sadoddin, A., Sheikh, V., Mostafazadeh, R., and Halili, M.G. 2010. Analysis of vegetation-based management scenarios using MCDM in the Ramian watershed, Golestan, Iran. International Journal of Plant Production. 4(1), Iran.
41. Semih, O., Soner Kara, S., and Isik, E. 2009. Long Term Supplier Selection Using a Combined Fuzzy MCDM Approach: A Case Study for a Telecommunication Company. Expert Systems with Applications, 36, United Kingdom.
42. Sheng, H., Tsaur, T.Y., and Chang-Hua, Y. 2002. The Evaluation of airline service quality by fuzzy MCDM. Tourism Management, 23(2), United Kingdom.
43. 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.
44. Witlox, F. 2005. Expert system in land-use planning: An overview. Expert systems with Applications. 29(2), United Kingdom.
45. Yang, T., and Hung, C. 2007. Multiple attribute decision making methods for plant layout design problem. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 23(1), United Kingdom.