نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و هفتم / شماره چهارم / زمستان ۱۴۰۲/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۲۹۹ تا ۳۲۴

مکان‌یابی عملیات مکانیکی آبخیزداری با رویکرد MCDM و روش AHP و ANP (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سقزچی‌چای استان اردبیل)

روح‌اله دبیری[۱*]، هیراد عبقری[۱] و اردوان قربانی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۳۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۱۶)

چکیده

مدیریت آبخیزها و توسعه‌پایدار امروزه نیازمند مناسب‌ترین و سریع‌ترین روش تهیه و تلفیق اطلاعات برای مدیریت بهینه و برنامه‌ریزی هست. یکی از چالش‌های آبخیزداری در مرحله تهیه طرح و اجرای عملیات اصلاحی و احیایی، انتخاب محل مناسب و صحیح آن است تا حداکثر بهره‌وری و اثربخشی لازم را داشته باشند که به‌دلیل هزینه زیاد عملیات مکانیکی و کمبود منابع مالی، انتخاب محل مناسب احداث بندهای اصلاحی مکانیکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین، هدف از این پژوهش مکان‌یابی عملیات مکانیکی آبخیزداری با رویکرد چند معیاره و با استفاده از روش‌های پشتیبان تصمیم‌گیری AHP و ANP و مقایسه دو روش با هم در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی در سطح حوزه آبخیز سقزچی بوده است. معیارها و زیر معیارهای پژوهش ۱۴ متغیر شامل: خاک (عمق و بافت)، اقلیم (نوع اقلیم و میزان بارش)، کاربری اراضی و پوشش سطحی (NDVI)، عوامل هیدرولوژیک و حفاظت خاک (تجمع جریان، میزان رسوب‌دهی و شماره منحنی)، پستی و بلندی (ارتفاع و شیب) و اقتصادی و اجتماعی (فاصله از روستا، فاصله از منابع قرضه و فاصله از جاده) بوده است. قضاوت‌های کارشناسی برای وزن‌دهی، از طریق پرسش‌نامه و به روش میدانی با جامعه آماری ۲۹ نفر از متخصصان و اساتید دانشگاه جمع‌آوری شد. نتایج این پژوهش نشان داد، در اولویت‌بندی مکانی عملیات سنگی ملاتی طبق آزمون همبستگی پیرسون، روشANP در سطح ۹۵ درصد و با شدت ۰/۸۳۹، همبستگی معنی‌داری با روش AHP دارد و با مقایسه اولویت‌بندی دو روش با سازه‌های سنگی ملاتی اجرا شده در حوزه آبخیز سقزچی چای مشخص شد، روش ANP به‌دلیل شبکه‌ای بودن و افزایش دامنه تغییرات، با صحت و قدرت تفکیک بیشتری به اولویت‌بندی پرداخته است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی مکانی، اولویت‌بندی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، مدیریت حوزه آبخیز

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۲. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Dabiri.watershed@gmail.com

مقدمه

بحران آب و فرسایش خاک از مهم‌ترین تهدیداتی است که امنیت آب و خاک کشور را به خطر انداخته است. به‌منظور حل این مشکلات، اقداماتی مانند احداث سدهای مخزنی، تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی، پخش سیلاب و حفاظت آب‌وخاک در سطح حوزه در قالب برنامه‌های آبخیزداری انجام شده است. اقدامات حفاظت آب‌وخاک در کاهش فرسایش، تولید محصول، کاهش رسوب ورودی به مخازن سدها و افزایش تغذیه آب‌های زیرزمینی نقش مؤثری دارند (۲۱). این اقدامات شامل استحصال آب (استفاده بهینه از جریان مازاد سطحی برای کشاورزی)، اجرای اقدامات سازه‌ای (تراس، پشته، سدهای ذخیره‌ای و اصلاحی) و مدیریت خاک و اقدامات زراعی (مالچ و پوشش گیاهی) است (۲۶). فرسایش بارانی نقش مهمی در تلفات خاک به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک با پوشش گیاهی فقیر ایفا می‌کند (۱۸). تعیین و اولویت‌بندی مناطق مناسب برای اجرای اقدامات حفاظت آب‌وخاک، از تصمیمات مهم در پروژه‌های آبخیزداری است که نیاز به تحلیل اطلاعات مکانی حوزه و انطباق آن با استانداردهای اقدامات است (۱۵). آبخیزداری به مجموعه اقدامات مدیریتی، بیولوژیکی، مکانیکی و بیومکانیکی که در یک حوزه آبخیز به‌منظور ارتقاء وضعیت اقتصادی و اجتماعی ساکنین حوزه و با توجه به بهره‌برداری پایدار از منابع آن صورت می‌گیرد، اطلاق شده و بدون شک آبخیزداری یکی از فعالیت‌های عمده و زیربنایی است که به مدیریت جامع منابع آب و خاک و پوشش گیاهی، بهره‌برداری بهینه از این منابع و حفظ سرمایه اصلی می‌پردازد (۱). انتخاب روش مدیریت و نوع عملیات اصلاحی بایستی بر اساس وضعیت مرتع و شرایط اکولوژیکی منطقه باشد (۵). ارزیابی و گزینش سرزمین یا مکان مناسب برای فعالیت‌های مختلف، به مجموعه‌ای از معیارها و زیرمعیارها نیاز دارد (۹). عملیات آبخیزداری باید طوری تعریف شوند که با استراتژی مدیریت و توسعه پایدار ارتباط داشته و اهداف آن‌ها به‌درستی تعیین شوند. درون حوزه آبخیز عوامل مختلفی وجود دارد که دارای روابط بسیار پیچیده هستند و روی میزان موفقیت عملیات آبخیزداری تأثیر می‌گذارند.

از طرفی میزان کم بارندگی، تبخیر زیاد، مدیریت ضعیف آبخیزداری در حوزه‌های آبخیز، میزان بسیار زیاد رسوب، مواد آلی و شیمیایی و در نهایت اثرات مخرب زیست‌محیطی و اجتماعی، بسیاری از سدهای بزرگ کشور را دچار بحران کرده است (۱۰). برخی از مدل‌های مورداستفاده در ارزیابی چندعامله اراضی که امکان نمایش دقیق از سرزمین را فراهم می‌کنند شامل مدل‌های آماری خطی، فازی، AHP، ANP و ANN هستند (۲۷). استفاده از سیستم GIS (Geographic Information Systems) و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی بر اساس شرایط لازم برای انجام برنامه‌های اصلاحی، می‌تواند در تعیین مکان مناسب برنامه‌های اصلاحی مفید باشد (۵). مدیریت منابع تجدیدشونده و توسعه‌پایدار امروزه نیازمند مناسب‌ترین و سریع‌ترین روش تهیه و تلفیق اطلاعات برای مدیریت بهینه و برنامه‌ریزی می‌باشد. با توجه به هزینه‌های تعلق‌گرفته به اجرای طرح‌های منابع طبیعی، انجام مطالعه‌های دقیق و کاربردی ضروری است؛ زیرا عدم پاسخ مثبت طرح‌های انجام‌شده، هدررفت سرمایه انسانی و بودجه مالی و عدم اعتماد ساکنین حوزه‌های آبخیز به مجریان طرح‌ها و ادارات منابع طبیعی را در پی‌خواهد داشت (۲۲). عملیات آبخیزداری باید طوری تعریف شوند که با استراتژی مدیریت و توسعه پایدار ارتباط داشته و اهداف آن‌ها به‌درستی تعیین شوند. درون حوزه آبخیز عوامل مختلفی وجود دارد که دارای روابط بسیار پیچیده هستند و روی میزان موفقیت عملیات آبخیزداری تأثیر می‌گذارند؛ بنابراین به‌دلیل اهمیتی که پروژه‌ها دارند، روش‌ها و معیارهای گوناگونی برای مکان‌یابی عملیات آبخیزداری وجود دارد از جمله روش‌ها، استفاده از روش AHP (Analitical Hierarchy Process) و ANP (Analitical Network Process) است که با رویکرد MCDM (Multi Criteria Decision Making) به یکپارچه کردن معیارهای کمّی و کیفی پرداخته تا بتواند مناسب‌ترین پروژه‌ها را برای بهترین مکان‌ها انتخاب نماید و محدودیت‌های موجود را برحسب ذخایر بالقوه، هزینه پیاده‌سازی و زمان اتمام پروژه‌ها را جبران کند (۳۵).

مکان‌یابی عملیات مکانیکی آبخیزداری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سیستم اطلاعات جغرافیایی موردتوجه بسیاری از پژوهشگران در داخل و خارج از کشور قرار گرفته است. تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی، یکی از تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی است که لایه‌ها را بر اساس موقعیت مکانی آن‌ها تلفیق می‌کند؛ بنابراین این روش می‌تواند به مکان‌یابی دقیق و مناسب سدهای زیرزمینی کمک فراوانی کند. این روش در مکان‌یابی سازه‌های مختلف و علوم مختلف استفاده شده و نتیجه مطلوبی داده است (۲۰). عظیمی و همکاران (۶) به بررسی مناطق مناسب پخش سیلاب با استفاده از GIS و تحلیل تصمیم چندمعیاره AHP در حوزه آبخیز گرگان‌رود پرداخت که نتایج نشان داد، مدل AHP روشی مناسب برای مکان‌یابی عرصه‌های پخش سیلاب در شمال و شمال شرقی حوزه آبخیز معرفی شده است. عرب عامری و همکاران (۲) به‌منظور مکان‌یابی سد زیرزمینی با استفاده از تکنیک GIS و روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به این نتیجه رسیدند که عوامل شیب، عمق آب زیرزمینی، ضخامت آبرفت، فاصله از آبراهه، نفوذپذیری پی‌سنگ، فاصله از گسل و کاربری اراضی در مکانیابی سد زیرزمینی مؤثر بودند. رحیمی و همکاران (۳۶) به‌منظور مکان‌یابی بندهای اصلاحی در حوزه آبخیز قورچای رامیان گرگان بر اساس روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره بیان کردند، از بین عوامل مطالعاتی، معیارهای زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و عوامل اقتصادی و اجتماعی، بیشترین وزن را در مکان‌یابی محل احداث بندهای سنگی - ملاتی و گابیونی دارند. زارع بیدکی و همکاران (۴۳) در مکان‌یابی مناطق مستعد احداث سدهای خاکی کوتاه با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به اولویت‌بندی و تعیین وزن نسبی این معیارها پرداختند و به این نتیجه رسیدند که معیار ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی با کسب بیشترین وزن، اهمیت بیشتری در تعیین مکان مناسب برای احداث سد خاکی دارد. چودهاری و همکاران (۱۱) استفاده از فناوری GIS و RS، روش MCDM و معیارهای شیب، قابلیت انتقال، ضریب زهکشی و زمین‌شناسی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی را در منطقه مدیناپورغربی تعیین کردند و نتایج این روش را دارای کارایی مناسب در تلفیق با GIS بیان داشتند. محمد و همکاران (۳۰) به بررسی پتانسیل‌یابی تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی در کشور عمان پرداختند و ۹ فاکتور مؤثر را معرفی و با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره اقدام به وزن‌دهی و نتیجه‌گیری کردند. در این پژوهش، از منطق فازی بعنوان روش مناسب در مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره بهره گرفته شد. نتایج پژوهش آن‌ها ارتباط و همبستگی بالا میان تغذیه منابع آب و حجم برداشت را نشان داد. چو و همکاران (۱۰) با اولویت‌بندی مکان‌های مناسب برای ساخت سد در حوزه‌ای در کره‌ی جنوبی بر مبنای امتیازدهی توسط AHP به این نتیجه رسیدند، این روش برای مکان‌یابی ساخت سد مناسب است. عثمان و همکاران (۳۴) در ارزیابی عملکرد روش‌های مختلف تصمیم‌گیری تحلیل چندمعیاره (MCDA) با استفاده از سنجش از دور و داده‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای شناسایی مکان‌های مناسب دفن زباله به این نتیجه رسیدند، بهترین دقت با استفاده از رویکرد AHP به‌دست می‌آید. ژانگ همکاران (۴۴) در تخمین خطر سیلاب با استفاده از روش مبتنی بر AHP در حوزه چائوهو در آنهویی در چین به این نتیجه رسیدند که این روش به بهبود دقت نقشه‌های خطر سیل در مقیاس حوزه کمک می‌کند. بر اساس مطالعه آروین و همکاران در شناسایی و اولویت‌بندی محرک‌های بهره‌گیری از شهر فشرده در شهر اهواز با استفاده از تکنیک ANP برای اولویت‌بندی محرک‌ها، محرک افزایش‌جمعیت بیشترین امتیاز و بعد اجتماعی بیشترین وزن را کسب کرده است (۳). باقری و همکاران در پژوهشی خطر فرسایش خاک در ۱۲ زیرحوضه آبخیز رود زرد در سال ۱۴۰۰ را با استفاده از آنالیز پارامترهای مورفومتری و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره که برای وزن‌دهی از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده کرده‌اند را اولویت بندی کردند. نتایج کلی پژوهش نشان داد، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و آنالیز مورفومتری ابزاری مناسب برای شناسایی مناطق حساس به فرسایش خاک هستند (۸). همچنین مفیدی و همکاران در شناسایی محل‌های مناسب برای عملیات ذخیره نزولات آسمانی در حوزه آبخیز نازلو چای ارومیه، ابتدا معیارهای شیب، مقدار بارندگی، کاربری اراضی، بافت و عمق

خاک به‌عنوان عوامل تأثیرگذار بر ذخیره‌ی آب باران مشخص‌کرده و با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی، معیارها را وزن‌دهی کردند و به این نتیجه رسیدند که تلفیق روش AHP با تاپسیس، روش مناسبی برای مکان‌یابی عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی است (۲۹) و در پژوهشی باقلانی و همکاران از متغیرهای شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، خطوط ارتباطی، زمین‌شناسی، شبکه هیدروگرافی، بارش و پوشش گیاهی برای مکان‌یابی سازه‌های اصلاحی به روش فازی و وزن‌دهی روش سلسله‌مراتبی در حوزه آبخیز شهری شهر ایلام استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که این روش در امر مکان‌یابی به‌دلیل درنظرگرفتن اکثر عوامل مؤثر در مکان‌یابی، مناسب است (۷).

در حال حاضر مشکل اصلی، موفقیت کم بیشتر پروژه‌های آبخیزداری پیشنهادی مشاوران منابع طبیعی و آبخیزداری آن‌هم با صرف هزینه‌های زیاد است که نتوانسته است جلوی سیلاب‌ها را بگیرد و خسارات ناشی از سیل نیز افزایش یافته است. طبق مرور منابع، گزارش‌های موجود در ارتباط با مجموعه اقدامات اصلاحی، احیایی و توسعه‌ای در حوزه‌های آبخیز، همگی بر این موضوع تأکید دارند که بازدهی و عملکرد اقدامات یادشده آن‌چنان موفق نیست (۳۲) دراین‌خصوص یکی از دلایل این امر، عدم مکان‌یابی صحیح عملیات اصلاح و احیاء، بدون درنظرگرفتن شرایط محیطی و خصوصیات فیزیکی حوزه آبخیز است.

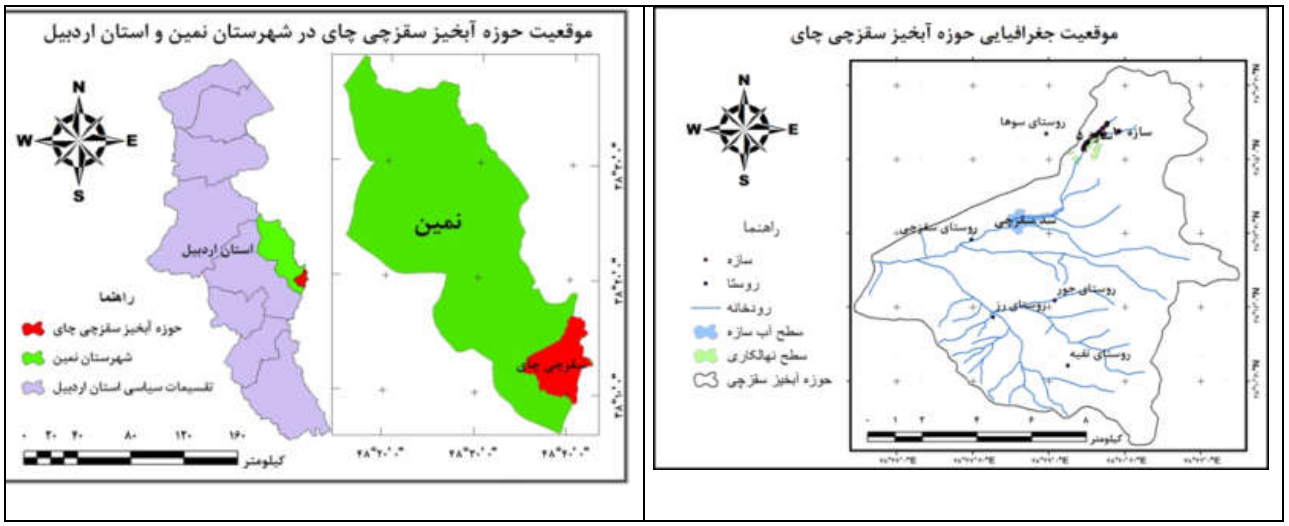
در پژوهش حاضر با استفاده از ۱۴ معیار تأثیرگذار و به کمک دو تکنیک قوی پشتیبان تصمیم‌گیری AHP وANP ، اقدام به مکان‌یابی عملیات مکانیکی (خشکه‌چین، گابیون، سنگی ملاتی، دیوار ساحلی و سد خاکی) شده است. نتایج هر دو تکنیک با هم مقایسه شده و میزان دقت هر یک از روش‌ها توسط هر یک از عملیات اجرا شده در سطح حوزه، ارزیابی شده است.

حوزه آبخیز سقزچی‌چای به علت دارابودن پتانسیل‌های طبیعی، به‌عنوان منبع تولید محصولات دامی و گیاهی، وجود سد مخزنی خاکی در منطقه و باتوجه‌به اهمیت موضوع و وضعیت پوشش گیاهی منطقه، همچنین برای جلوگیری از فرسایش و تخریب بیشتر منابع، قبل از هر اقدامی ضرورت دارد اولویت‌بندی مکان‌های مناسب برای اجرایی عملیات آبخیزداری انجام شود. هدف اصلی این پژوهش، استفاده از نرم‌افزارهای روز از جمله GIS به‌منظور استفاده از منطق فازی و وزن‌دهی مناسب بین AHP و ANP باتوجه‌به پیچیدگی و تأثیر متقابل متغیرهای تأثیرگذار در زیست‌محیطی، برای مکان‌یابی دقیق و موفقیت‌آمیز عملیات مکانیکی آبخیزداری در سطح حوزه‌های آبخیز با صرف کمترین هزینه و زمان است.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

حوزه آبخیز سقزچی‌چای مطابق شکل ۱ از لحاظ مکانی با مساحت تقریباً ۷۶۰۰ هکتار در شهرستان نمین، دارای مختصات ″۱۴ ′۳۵ °۴۸ تا ″۴۹ ′۴۲ °۴۸ طول شرقی و ″۱۱ ′۹ °۳۸ تا ″۵۲ ′۳۸ °۱۶ عرض شمالی است. سقزچی‌چای منطقه‌ای است که در شرق استان اردبیل واقع شده است. این منطقه بسیار سرسبز و دارای آب‌وهوای کوهستانی بوده و به‌دلیل شرایط اقلیمی، به‌طور عمده دامداری و کشاورزی در این منطقه، مهم‌ترین وسیله معاش مردم هستند. مناطق مسکونی داخل حوزه عبارت‌اند از: سقزچی، حور، رز و تفیه. کمترین ارتفاع حوزه ۱۴۰۰ متر و بیشترین ارتفاع حوزه ۲۳۸۰ متر از سطح دریا و متوسط بارندگی منطقه ۳۵۰ میلی‌متر است. از نظر تقسیمات کشور، روستاهای حوزه موردمطالعه در شهرستان نمین، بخش ویلکیج در دهستان ویلکیج جنوبی واقع شده است که یک منطقه مرزی محسوب می‌شود و در قسمت‌هایی با اراضی جنگلی استان گیلان منطقه تالش همجوار است. منطقه مورد بهره‌برداری شدید چرای دام و قاچاق چوب قرار گرفته و به دنبال آن، فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز سقزچی‌چای با پسروی جنگل، در حال افزایش هست. از نظر موضوعی در این پژوهش، مکان‌یابی عملیات مکانیکی آبخیزداری با رویکرد MCDM و روش AHP و ANP و به‌صورت موردی در حوزه آبخیز سقزچی‌چای بررسی شده است.



شکل ۱. موقعیت مکانی حوزه‌آبخیزسقزچی و عملیات آبخیزداری در سطح شهرستان نمین و استان اردبیل

سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره و عملیات مکانیکی آبخیزداری

الف: روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است؛ زیرا این تکنیک، امکان فرموله‌کردن مسئله را به‌صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان درنظرگرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی در مسئله را دارد (۱۹). از مزایای مهم روش AHP استفاده از آن در تصمیم‌گیری گروهی است، به‌طوری که می‌توان بر اساس معیارها و گزینه‌های مؤثر در تصمیم‌گیری، گزینه مناسب‌تر را انتخاب کرد (۴)

کاربرد AHP بر سه اصل استوار است (۲۸):

الف) برپایی یک ساختار و قالب رده‌ای برای مسئله

ب) برقراری اولویت‌ها از طریق مقایسه‌های زوجی

ج) برقراری سازگاری منطقی از اندازه‌گیری‌ها

در روش AHP در نرم‌افزار Expert Choice فرد تصمیم‌گیرنده باید برای هر جفت از معیارهای دخیل در تصمیم‌گیری یک مقایسه انجام دهد که این قیاس در مرحله اول به شکل توصیفی و در مرحله بعد به شکل کمیتی در یک مقیاس از یک تا نه انجام می‌شود که درنهایت از این قیاس جفتی یک ماتریکس به‌دست می‌آید. به‌واسطه مقایسه دودویی در روش AHP از طریق قضاوت‌هایی که به‌صورت شفاهی، عددی یا حتی گرافیکی انجام می‌گیرد، وزن‌ها یا اولویت‌ها برای معیارهای دخیل در تصمیم‌گیری باتوجه‌به هدف، طبق جدول ۱ استخراج می‌شود که به شکل اعداد نسبی هستند (نه به شکل عدد صحیح) (۳۸). روش AHP یکی از معمول‌ترین روش‌های مورداستفاده در ارزیابی حساسیت محیط‌زیستی است (۴۲).

ب: روش تحلیل شبکه‌ای (ANP)

فرض اصلی روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) وجود استقلال زیرمعیارها یا معیارها با هم است بااین‌حال، یکی از مشکلات بارز این روش، فرض سلسله‌مراتبی برای تمام مسائل است و روابط درونی بین معیارها و همچنین میان معیارها و گزینه‌ها در نظر گرفته نمی‌شود. بنابراین ساعتی گام را فراتر نهاد و با معرفی فرایند تحلیل شبکه نسبت به رفع این ضعف اقدام کرد (۴۱).

فرایند ANP، نظریه جدیدی است که در آن ساختار شبکه‌ای، جانشین ساختار سلسله‌مراتبی شده است. این ویژگی سبب می‌شود که به‌صورت نظام‌مند، وابستگی‌ها و بازخوردهای بین معیارها و زیرمعیارها بررسی شود. فرایند تحلیل شبکه‌ای، یک تئوری ریاضی است که به‌طور سیستماتیک با انواع وابستگی‌ها سروکار داشته و به‌طور موفقیت‌آمیزی در زمینه‌های گوناگون به‌کار گرفته شده است. برای روش ANP از نرم‌افزار Super Decisions شده است که یک روش پشتیبان تصمیم شبکه است. روش ANP یک قالب کلی را ایجاد می‌کند که در آن به وابستگی بین عناصر بالاتر به پایین و

جدول ۱. تعیین ارزش معیارها نسبت به یکدیگر با استفاده از نظرات افراد

ارزش نظری بر مبنای مقایسه بین دو معیار		ارزش عددی
دارای ارزش یکسان و برابر	Equal preference	۱
ارزش یکی نسبت به دیگری کمی بیشتر است	Weak preference	۳
ارزش یکی نسبت به دیگری بیشتر است	Strong preference	۵
ارزش یکی نسبت به دیگری مسلماً بیشتر است	Demonstrated preference	۷
ارزش یکی نسبت به دیگری مطلقاً بیشتر است	Absolute preference	۹
ارزش‌های بینابین	Intermediate values	۲،۴،۶،۸

وابستگی عناصر بین خودشان تأکید می‌کند (۳۱). علت موفقیت مدل، همبستگی بسیار نتایج آن با دنیای واقعی و تصمیم‌گیری مردمی و در دنیای واقعی با پیچیدگی‌هایش است. این مدل برای پر کردن خلأ عدم ایجاد ارتباطات بین عناصر و معیارها در مدل سلسله‌مراتبی به وجود آمد و اساس آن شکل‌دهی یک شبکه‌ای از ارتباطات و وابستگی‌ها و پیوندها و بین عناصر و خوشه‌ها است.

ج: عملیات مکانیکی آبخیزداری

اهداف مدیریت منابع آبخیز(اهداف آبخیزداری) عبارت‌اند از: تحت کنترل درآوردن عملیات کشاورزی، دامپروری، ساختمان‌سازی، راه‌سازی، قطع درختان و به‌طورکلی هرگونه عملی چه مفید و چه مضر، چه مثبت و چه منفی، ارزیابی آن‌ها و توجه به وضعیت آبخیز بر اساس خصوصیات زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، پوشش گیاهی، اقلیم‌شناسی، هیدرولوژی و ارائه رهنمودها و پیشنهادها برای اجرا و مدیریت صحیح در مورد همه عوامل طبیعی و زیستی هر اکوسیستم در واحدهای طبیعی خاص و اعمال مدیریت بر روی عواملی که در توزیع آب و کیفیت هیدرولوژیک تأثیر دارند، تا به‌صورت مطلوب و علمی، خاک حوضه آبخیز از فرسایش حفظ شود. هنر بهره‌وری از آب، خاک، گیاه و جانوران به‌وسیلهٔ انسان بدون واردکردن خسارت به طبیعت یا با حداقل خسارت ممکن و به بیان دیگر استفادهٔ مبتنی بر دانایی محوری از منابع تجدیدشونده در راستای توسعهٔ پایدار را آبخیزداری می‌نامند. براین‌اساس عمده‌ترین اقدامات عملی مرتبط با آبخیزداری شامل عملیات مدیریتی، عملیات بیولوژیکی، عملیات مکانیکی و عملیات بیومکانیکی است (۱۶).

عملیات مکانیکی در پروژه‌های آبخیزداری بر اساس کاربری خاص اراضی در عرصه‌های آبخیز کشورمان طراحی و اجرا می‌شود. یکی از راه‌های مبارزهٔ مستقیم با فرسایش، احداث بندهای اصلاحی از جمله خشکه‌چین، گابیون، سنگی ملاتی، سد خاکی و دیوار ساحلی است. این سازه‌ها در بستر آبراهه‌ها و عمود بر جریان ساخته می‌شوند تا سرعت آب و قدرت فرسایش رواناب را در اثر کاهش شیب بستر کاهش دهند. این بندها بسته به شرایط محیطی، نوع سازه و مصالح مورداستفاده در آن‌ها، به‌طور معمول طول عمر بین ۳ تا ۸ سال دارند. توصیه شده است که به‌جای آن که تعدادی بند اصلاحی بلند احداث شود، از تعداد بیشتر بند اصلاحی کوتاه استفاده شود. در این حالت پس از پر شدن بندهای اصلاحی از رسوب، پوشش گیاهی در محل مستقر می‌شود و ریزش آب از روی سازه‌های کوتاه خطر فرسایش کمتری ایجاد می‌کند. در احداث بندهای اصلاحی باید توجه داشت که قبل از آن که اقدامات تثبیتی آبراهه‌ها شروع شود، اقدامات حفاظتی دامنه‌ها (مثل بانکت‌بندی و...) انجام شده باشد. همچنین احداث این بندهای اصلاحی باید از بالابه‌پایین شروع شود. به‌طور معمول، پروژه‌های سازه‌ای آبخیزداری بیشتر از یک سال طول می‌کشد؛ بنابراین چنانچه قسمت‌های بالایی تثبیت نشود، اقدامات انجام شده در

پایین‌دست به‌تنهایی کارایی لازم را ندارند. این موضوع نباید با نظریات برخی منابع که صرف اصلاح یک خندق کوچک را معیار اظهارنظر قرار داده‌اند، مقایسه شود. قسمت‌هایی از آبراهه که به‌صورت صخره‌ای هستند، نیاز به تثبیت ندارند (۱۶).

در صورت یکسان بودن سایر شرایط، شیب‌های تند (البته تا حدی از درجه شیب) فرسایش بیشتری ایجاد می‌کنند؛ زیرا در شیب‌های تند آب با سرعت بیشتری به‌طرف پایین جاری می‌شود و در نتیجه انرژی جنبشی و قدرت فرسایش آن بیشتر می‌شود. اگر شیب زمین ۴ برابر شود، سرعت جریان ۲ برابر می‌شود با دوبرابر شدن سرعت جریان آب، انرژی جنبشی و در نتیجه قدرت فرسایش آن ۴ برابر می‌شود. بررسی‌ها نشان داده است، مقدار فرسایش خاک با درجه شیب زمین رابطه خطی ندارد، بلکه رابطه بین آن‌ها به‌صورت نمایی است و رابطه ریاضی آن به‌صورت روبرو است. $E = f.S^a$

در رابطه بالا، E مقدار فرسایش، S درصد شیب و a یک نما با مقدار حدود ۱/۴ است. بندهای اصلاحی با بالاآوردن کف بستر از تخریب کناره‌ها و کف بستر جلوگیری می‌کنند. به بیان ریاضی، شیب آبراهه را به شیب حد نزدیک می‌کنند. برای طراحی بندها، باید مطالعات بخش‌های مختلف آبخیزداری (از قبیل هیدرولوژی، هواشناسی، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و...) انجام شده باشد. بین مقدار سیلت یک خاک و فرسایش‌پذیری آن ارتباط نزدیکی وجود دارد. هر چه مقدار سیلت خاک بیشتر باشد، فرسایش‌پذیری آن افزایش می‌یابد و به‌طورکلی ذرات سیلت و شن خیلی ریز (ذراتی بین ۲۰۰-۲ میکرون)، فرسایش‌پذیری زیادی دارند. در ساخت بندها به مصالح موجود در منطقه باید توجه زیادی شود و تاحدامکان از منابع قرضهٔ موجود در محل استفاده شود. در بیشتر پروژه‌های آبخیزداری باتوجه‌به کوچک بودن بندها، احداث جاده‌ای دسترسی مقرون‌به‌صرفه نیست و خود نوعی لطمه به منابع طبیعی محسوب می‌شود. طراحی بندها باید از محلی شروع شود که پی محکمی دارد. اما اجرای آن‌ها در منطقه باید از بالابه‌پایین انجام شود (۱۶).

عمده‌ترین بندهای اصلاحی مرتبط با آبخیزداری شامل:

۱. بندهای خشکه‌چین: بندهای خشکه‌چین از سنگ‌های زاویه‌دار که به‌صورت خشکه‌چین بر روی‌هم قرار می‌گیرند، ساخته می‌شود. این‌گونه سازه‌ها به علت ناپایداری سنگ‌ها تا ارتفاع یک متر از بستر طراحی و اجرا می‌شوند و کاربرد محدودتری دارند و به‌دلیل انعطاف‌پذیری مناسب این نوع سازه‌ها در آبراهه‌های کم‌اهمیت که میزان دبی آن‌ها از مقدار مشخصی بیشتر نمی‌شود، ساخته می‌شوند. میزان خلل‌وفرج موجود در فضای بین سنگ‌ها همانند بندهای توری سنگی بوده و برای تله اندازی رسوبات دانه‌درشت بیشتر کاربرد خواهند داشت و در مناطقی که سنگ بیشتری دارد، با هزینه کمتری قابل‌اجرا است (۱۶).

۲. بندهای توری سنگی (گابیون): بندهای توری سنگی جزء سازه‌های عرضی محسوب شده و برای رسوب‌گذاری طراحی و اجرا می‌شوند. این‌گونه سازه‌ها با استفاده از سنگ و توری‌های گالوانیزه ساخته شده، دارای انعطاف‌پذیری مناسبی هستند و به علت داشتن تخلخل (فضای خالی بین سنگ‌ها)، در مواقع سیلابی حالت غوطه‌وری دارند. بندهای توری سنگی به علت سادگی و اجرای آسان، کاربرد زیادی در پروژه‌های آبخیزداری دارد، اما برخلاف سهولت در ساخت و انعطاف‌پذیری سازه‌ها، درصورتی‌که از لحاظ مکان‌یابی و یا طراحی مشکل داشته باشند، به‌راحتی آسیب خواهند دید (۱۶).

۳. بندهای سنگی ملاتی: باتوجه‌به اینکه بندهای ملاتی از مصالح سنگ و سیمان ساخته می‌شوند، نسبت به بندهای توری سنگی تا ارتفاع مشخصی (۳ متر ارتفاع مفید) پرهزینه‌تر هستند. اما درصورتی‌که ارتفاع بندها افزایش یابد، هزینه‌های ساخت آن‌ها کاهش خواهد یافت. این‌گونه سازه‌ها نسبت به بندهای توری سنگی دارای انعطاف‌پذیری کمتری هستند. به همین دلیل برای اجرا در مناطقی که دارای ساختار زمین‌شناسی و خاک‌شناسی سستی هستند، مناسب نخواهند بود. بندهای ملاتی نیز همانند بندهای گابیون در عرض آبراهه‌ها ساخته می‌شوند و

تأثیرگذاری آن‌ها مشابه بندهای توری سنگی است. با این تفاوت که به‌دلیل نبود خلل‌وفرج در بندهای ملاتی، رسوبات ریزدانه امکان تله‌اندازی خواهند داشت؛ بنابراین در حوزه‌های آبخیز با رسوبات بار کف به نسبت زیاد و یا آبراهه‌هایی که دارای فرسایش کناره‌ای و فرسایش بستر باشند، بندهای توری سنگی کاربرد مناسب‌تری خواهند داشت (۱۶).

۴. بندهای خاکی: این‌گونه سازه‌ها که با مصالح خاکی ساخته می‌شوند، درصورتی‌که تا ارتفاع مفید ۵ متر اجرا شوند، از نظر رسوب‌گیری اهمیت خواهند داشت. اما اگر ارتفاع مفید آن‌ها بین ۵ تا ۱۵ متر باشد، بیشتر ازنقطه‌نظر ایجاد تأخیر در رواناب و ذخیرهٔ آب مدنظر خواهند بود. به‌هرحال استفاده از بندهای خاکی با ارتفاع کمتر، در پروژه‌های آبخیزداری متداول‌تر است. بندهای خاکی به علت دارابودن خصوصیات ویژه، سرریزهای متفاوتی دارند؛ بنابراین نصب سرریز اضطراری در آن‌ها که برای عبور جریان‌های سیلابی در نظر گرفته می‌شود، ضروری خواهد بود. مصالح موردنیاز بندهای خاکی از مواد بستر آبراهه‌ها یا منابع نزدیک تأمین می‌شود (۱۶).

۵. دایک: به دیواره‌های کنترل‌کننده یا محدودکنندهٔ سواحل و آبراهه‌های بزرگ فصلی و دائمی رودخانه‌ها دایک اطلاق می‌شود. این سازه‌ها به‌طور معمول به‌موازات هم در دو طرف رودخانه‌ها ایجاد شده و هدف نهایی آن‌ها جلوگیری از خطرپذیری تأسیسات ساحلی است. احداث دایک برای مناطق شهری که تخریب سواحل رودخانه باعث ایجاد خسارت‌های فراوان می‌شود، مناسب است. برحسب اهمیت اراضی و نوع خسارت‌های احتمالی، جنس مصالح این دایک‌ها می‌تواند از خاک، سنگریزه، سنگ‌های بزرگ، انواع ملات‌ها، بتن‌ها و حتی بتن مسلح باشد (۱۶).

روش پژوهش

برخی اظهارنظرها در مجامع علمی، روش‌های سازه‌ای را به‌کلی نفی می‌کنند و یا روش‌های بیولوژیک را بی‌اثر می‌دانند. هیچ‌کدام از این عقاید بدون درنظرگرفتن ملاحظات فنی (که در حیطه علمی متخصصین علم آبخیزداری است) نمی‌تواند صحیح باشد. حوزه آبخیز به‌عنوان یک واحد برنامه‌ریزی متأثر از عوامل متعددی هست که نیاز به مطالعه و بررسی دقیق دارد. انتخاب روش پس از انجام مطالعات مختلف چون خاک‌شناسی، هیدرولوژی، زمین‌شناسی، هواشناسی و غیره انجام می‌شود و بر اساس عملیات انتخابی، تکنیک‌های توصیه و محاسبات فنی، اقتصادی و اجرایی آن انجام می‌شود (۱۶).

در هر پژوهش تهیه چارچوب علمی تحقیق، روند کار پژوهشی را روشن‌تر کرده و میزان دستیابی به اهداف ازپیش‌تعیین‌شده را افزایش می‌دهد. این پژوهش به لحاظ تحلیل عددی داده‌ها به‌منظور مکان‌یابی عملیات مکانیکی آبخیزداری با رویکرد MCDM ، تحقیق کمّی است. پژوهش حاضر به لحاظ هدف از نوع کاربردی است و برحسب روش گردآوری داده‌ها، از نوع پیمایشی و ستادی است. در این پژوهش از میان انواع روش‌های سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری (Spatial Decision Support System)، از روش ANP و AHP استفاده شده که برای روش AHP از نرم‌افزار Expert Choice و روش ANP از نرم‌افزار Super Decisions استفاده شده است (۳).

هدف این پژوهش مکان‌یابی عملیات مکانیکی آبخیزداری (خشکه‌چین، گابیون، سنگی ملاتی، سد خاکی و دیوار ساحلی)، تعیین معیارهای تأثیرگذار در مکان‌یابی و بهترین روش پشتیبان تصمیم‌گیری است. در ابتدا اطلاعات فیزیوگرافی حوزه آبخیز و نقشه‌های پایه تهیه و تولید شد که در این راستا باتوجه‌به اهمیت و دقت در مکان‌یابی نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه تهیه و شبکه زهکشی، خطوط تراز، شبکه راه دسترسی، نقاط ارتفاعی، مرز حوزه آبخیز و زیرحوزه‌ها در ۹ واحد هیدرولوژیک تولید شد. ارزیابی صحت و دقت نقشه پایه از طریق Google Earth بررسی شد. با استفاده از خطوط کنتور تراز، نقاط ارتفاعی، شبکه زهکشی و مرز حوزه آبخیز نقشه، شبکه نامنظم مثلثی سه بعدی (Triangulated Irregular Network) تهیه و با استفاده از لایه TIN، نقشه مدل رقومی ارتفاع (Digital Elevation Model) با اندازه سلول ۵ در ۵ متر به‌دست آمد و با استفاده از آن نقشه‌های شیب، جهت جغرافیایی و تجمع جریان تهیه شد.

سایر معیارهای لازم برای بیشتر عملیات آبخیزداری از قبیل نقشه‌های همباران، نقشه فرسایش و رسوب حوزه آبخیز، تاج پوشش گیاهی، عمق خاک و بافت خاک، کاربری اراضی فعلی (آب، منطقه مسکونی، باغات، زراعت آبی، زراعت دیم کاربری نامناسب و مرتع، جنگل و حریم رودخانه مناسب برای مکان‌یابی)، گروه هیدرولوژیک خاک و نقشه شماره منحنی (Curve Number) تهیه شد. نقشه هم‌باران از روی رابطه گرادیان ارتفاعی به روش کریجینگ تهیه شد. صلاحی و همتی (۴۰) با مطالعات خود به‌منظور برآورد مکانی دما و بارش برای استانداری اردبیل، گرادیان بارش را با سه متغیر طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع به‌دست آوردند که در سطح ۹۵ درصد، همبستگی خوبی با مشاهدات واقعی در ایستگاه‌های اندازه‌گیری داشته است. گرادیان بارش و دما در حوزه آبخیز سقزچی‌چای به‌صورت رابطه (۱ و ۲) است که در آن X طول جغرافیایی، Y عرض جغرافیایی و Z ارتفاع از سطح دریا است.

$$p = (X \times 13/641) + (Y \times 9.765) + (Z \times 0.055) - 783/461 \quad (1)$$

$$T = -(X \times 0.950) + (Y \times 0.160) - (Z \times 0.003) + 54.222 \quad (2)$$

بنابراین، با استفاده از نتایج پژوهش صلاحی و همتی (۴۰)، گرادیان بارش و دما برای حوزه‌ی آبخیز سقزچی‌چای برآورد شده است. بر این اساس هر چه میزان بارندگی بیشتر باشد، برای اجرای عملیات اصلاح و احیاء مناسب‌تر است. نقشه همباران از روی رابطه گرادیان ارتفاعی به روش کریجینگ تهیه شد. تقسیم‌بندی اقلیمی دومارتن بر اساس مقادیر عددی شاخص خشکی (IA) بنا نهاده شده است. دومارتن با تغییراتی در فرمول ترانسوا و جایگزین کردن عامل تبخیر با نمایه‌ای از دمای هوا، شاخص خشکی دومارتن را به‌صورت رابطه (۲) پیشنهاد کرد که در آن P متوسط بارندگی سالانه میلی‌متر و T متوسط دمای سالانه (°C) هستند. اقلیم نمای دومارتن حوزه‌ی آبخیز سقزچی‌چای به‌صورت شکل ۲ بوده و داراس سه نوع اقلیم مدیترانه‌ای فراسرد، نیمه خشک فراسرد و نیمه خشک سرد است.

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad (3)$$

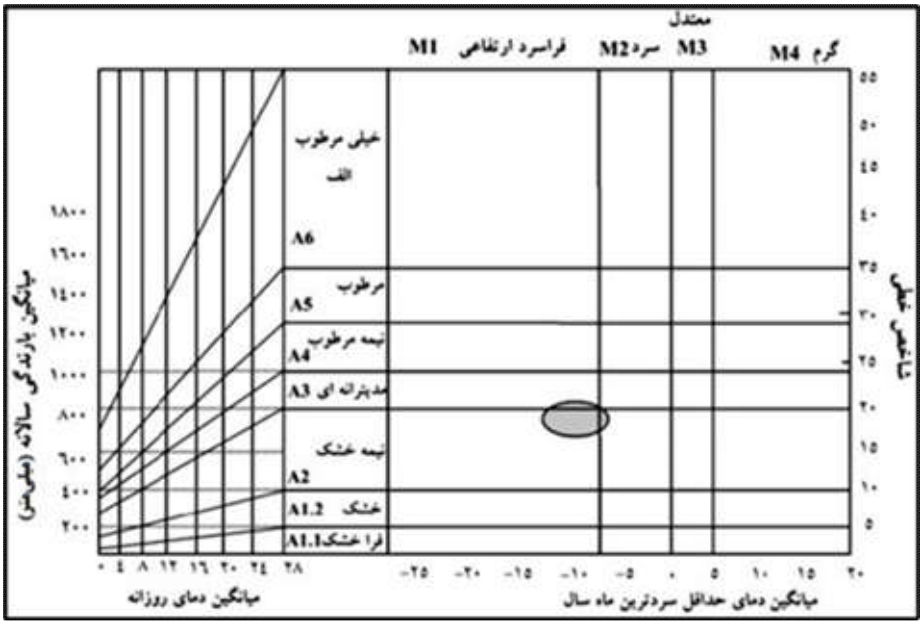
نقشه فرسایش و رسوب حوزه آبخیز موردمطالعه با روش MPSIC در سطح حوزه آبخیز سقزچی‌چای تهیه شد. طبق جدول ۲ نتایج پژوهش دبیری و همکاران (۱۳) نشان می‌دهد، در زیر حوزه‌های آبخیز فاقد عملیات آبخیزداری، میانگین فرسایش و رسوب به‌ترتیب ۱/۴۸ و ۰/۶۷ تن در هکتار در سال افزایش دارد. درحالی‌که در زیرحوزه‌های آبخیز دارای عملیات آبخیزداری اجرا شده، این مقدار میانگین فرسایش و رسوب تقریباً ثابت مانده است که نشان‌دهنده تأثیر مثبت عملیات آبخیزداری در حفاظت خاک بوده و نقش مهمی در جلوگیری از کاهش حجم مخزن سد سقزچی دارد.

برای تعیین میزان سبزینگی یا شاخص تاج پوشش گیاهی (Normalized Difference Vegetation Index) سطح حوزه، تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به خرداد سال ۲۰۱۴ تهیه و سپس از آن استفاده شده است. نقشه مربوط به خصوصیات خاک (گروه هیدرولوژیک خاک، عمق خاک و بافت خاک) از مطالعات تفضیلی اجرایی اداره منابع طبیعی استان اردبیل استخراج شده است. همچنین نقشه کاربری اراضی حوزه از روی مطالعات تهیه جامع کاربری اراضی استان اردبیل با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ توسط کاکه‌ممی و همکاران (۲۵) استخراج شده است. برای تهیه نقشه شماره منحنی حوزه آبخیز، نقشه کاربری اراضی و نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک با یکدیگر تلفیق شده و شماره منحنی هر یک از واحدهای همگن باتوجه‌به جدول شماره منحنی سازمان حفاظت خاک آمریکا تهیه شده است. همچنین هر چه منابع قرضه و جاده دسترسی به محل انجام عملیات مکانیکی نزدیک‌تر باشد، انجام عملیات آبخیزداری اقتصادی‌تر و محل در اولویت اجرایی قرار داشته است. درضمن، موقعیت مکانی بندهای سنگی ملاتی، سد خاکی و محل روستاها به روش میدانی و با دستگاه سیستم موقعیت‌یاب جهانی (Global Positioning System) برداشت شده است.

نمودار شاخه درختی معیارها و زیرمعیارهای اجرای عملیات مکانیکی آبخیزداری ارائه شده است. مدل مفهومی تصمیم‌گیری در این پژوهش دارای ۵ سطح است. (شکل ۳).

سطح۱: هدف کلی، در بالاترین سطح قرار می‌گیرد. در اینجا هدف اصلی یافتن بهترین مکان برای اجرای عملیات مکانیکی است.

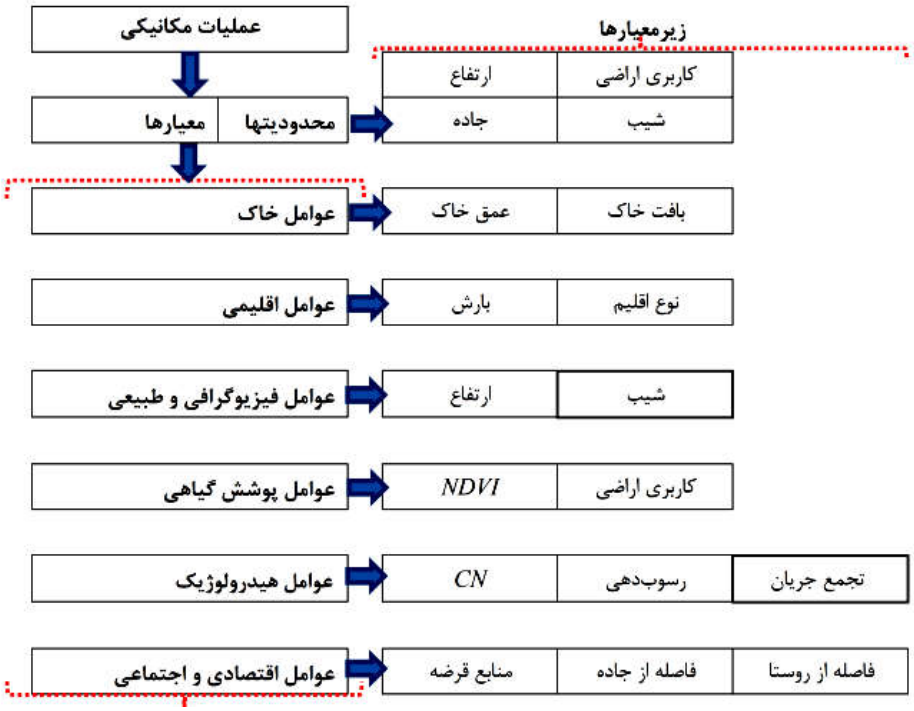
سطح۲: در این سطح معیارهایی که برای انتخاب مکان‌های مناسب عملیات مکانیکی آبخیزداری مدنظر هستند، تعیین می‌شود



شکل ۲. اقلیم نمای دومارتن حوزه‌ی آبخیز سقزچی‌چای

جدول ۲. میزان فرسایش و رسوب‌دهی زیرحوزه‌های آبخیز سقزچی چای قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری

زیر حوزه	واحد	مساحت (ha)	قبل اجرا	بعد اجرا	تغییرات رسوب	قبل اجرا	بعد اجرا	تغییرات فرسایش
			ton/ha.y	ton/ha.y		ton/ha.y	ton/ha.y	
s ۱–۱–۱	D_1	۱۹۳۰/۵۰	۱/۴۰	۱/۴۳	+	۳/۴۳	۳/۵۱	+
s ۲–۱–۱	D_2	۹۴۲/۴۳	۰/۸۸	۲/۵۳	+	۱/۹۵	۵/۵۹	+
s ۱–۱–int	D_3	۴۰۹/۴۰	۰/۹۹	۰/۹۶	–	۱/۹۴	۱/۸۹	–
s ۱–۲–۱	D_4	۱۰۷۶/۹۴	۰/۹۰	۱/۹۸	+	۲/۰۴	۴/۴۵	+
s ۲–۱–int	D_5	۷۸۶/۹۴	۱/۰۱	۱/۹۸	+	۲/۱۸	۴/۲۶	+
s۱–int	D_6	۳۰۱/۸۲	۰/۸۴	۰/۸۶	+	۱/۵۸	۱/۶۱	+
s ۱–۲	D_7	۷۴۹/۶۷	۱/۹۹	۱/۹۲	–	۴/۲۷	۴/۱۱	–
s۲–int	D_8	۸۶۲/۱۴	۱/۹۸	۱/۷۰	–	۴/۳۳	۳/۷۲	–
s –int	D_9	۵۳۴/۱۵	۱/۵۱	۱/۴۸	–	۳/۰۸	۳/۰۱	–



شکل ۳. عوامل و معیارهای مکانیابی عملیات مکانیکی آبخیزداری

که ۶ معیار شامل عوامل فیزیوگرافی و طبیعی، عوامل اقلیمی، عوامل خاک‌شناسی، عوامل هیدرولوژیک، عوامل پوشش گیاهی و عوامل اقتصادی و اجتماعی هستند.

سطح۳: در این سطح معیارهای سطح ۲ به معیارهای جزئی‌تری تقسیم شده تا امکان مدل‌سازی فضایی و یافتن مکان‌های مناسب برای اجرای عملیات مکانیکی آبخیزداری تعیین شود. طبق جدول ۳ در این سطح معیارهایی نظیر ارتفاع، شیب (در شیب‌های بیش از ۲۰ درصد ماشین‌آلات کارایی ندارند و اقدامات حمل مصالح و پی کنی باید به‌صورت دستی انجام شود که مستلزم زمان و هزینه زیاد اجرایی است.). راه ارتباطی (یکی از عوامل تعیین کننده در کاهش هزینه‌های اجرایی و ارزش اقتصادی مکان است و نوع و نحوه دسترسی به راه‌های ارتباطی اهمیت بسیاری در مکان‌یابی‌ها دارد) و نوع کاربری زمین (تغییر در نوع کاربری و مالکیت اراضی، خاک‌های سست و مناطق دارای فرسایش زیاد) خیلی مهم است. عوامل یادشده بخشی از سومین سطح تحلیلی را تشکیل می‌دهند که برای نمونه به اختصار بیان شدند.

سطح۴: باتوجه‌به معیارهای سطح ۳ و ماهیت این معیارها، مقایسه آن‌ها به‌صورت زوج مشکل است. برای نمونه در مقایسه ارتفاع و بارش، هر مکان دارای ارتفاع معینی است که وزن‌های متفاوتی می‌تواند به آن اختصاص یابد. برای بارش نیز چنین موضوعی صادق است؛ بنابراین برای هر کلاس ارتفاعی و بارش، باید یک مقایسه انجام داد و از سویی باید به ارتباط آن با سایر ترکیبات نیز توجه داشت (موضوعی که بسیار سخت است). در این حالت برای کاهش تعداد سطوح و عناصر و معیارها باید از نوعی مقیاس‌بندی استفاده شود تا علاوه بر درنظرگرفتن زیر معیارها از پیچیدگی آن کاسته شود. در اینجا باتوجه‌به داده‌های موجود از ۹ کلاس (بسیار عالی ۹، عالی ۸، بسیار خوب ۷، خوب ۶، نسبتاً خوب ۵، متوسط ۴، نسبتاً ضعیف ۳، ضعیف ۲ و خیلی ضعیف ۱) استفاده شد.

سطح۵: پایین‌ترین سطح، گزینه‌های مختلف برای انتخاب مکان‌ها است که در اینجا کل منطقه بر اساس مدل رقومی ارتفاع (DEM) شبکه‌های منظمی پیکسل بوده و مقادیر معیارهای مرحله قبل به‌صورت منطق فازی (طیفی) برای تمام آن‌ها محاسبه شده است؛ بنابراین باتوجه‌به اندازه سلول‌ها و وسعت منطقه، تعداد زیادی مکان در مدل کاندید هستند.

جدول ۳. معیارهای پژوهش در مکان‌یابی عملیات مکانیکی آبخیزداری

معیارها	محدودیت	خشکه چین	گابیون	سنگی ملاتی	سد خاکی	دیوار ساحلی
ارتفاع	بالای ۳۰۰۰ متر از سطح دریا	هر چه بیشتر در اولویت اجرایی (اقدامات آبخیزداری از بالادست به سمت پایین دست انجام می‌شود)	هر چه بیشتر در اولویت اجرایی (اقدامات آبخیزداری از بالادست به سمت پایین دست انجام می‌شود)	هر چه بیشتر در اولویت اجرایی (اقدامات آبخیزداری از بالادست به سمت پایین دست انجام می‌شود)	هر چه بیشتر در اولویت اجرایی (اقدامات آبخیزداری از بالادست به سمت پایین دست انجام می‌شود)	هر چه بیشتر در اولویت اجرایی (اقدامات آبخیزداری از بالادست به سمت پایین دست انجام می‌شود)
شیب	بالای ۷۵ درصد	هر چه کمتر سازه پایدارتر و حجم مخزن زیاد	هر چه کمتر سازه پایدارتر و حجم مخزن زیاد	هر چه کمتر سازه پایدارتر و حجم مخزن زیاد	هر چه کمتر سازه پایدارتر و حجم مخزن زیاد	هر چه کمتر سازه پایدارتر و حجم مخزن زیاد
تجمع جریان	—	هر چه بیشتر در اولویت	هر چه بیشتر در اولویت	هر چه بیشتر در اولویت	هر چه بیشتر در اولویت	هر چه بیشتر در اولویت
بارش	—	هر چه بیشتر در اولویت	هر چه بیشتر در اولویت	هر چه بیشتر در اولویت	هر چه بیشتر در اولویت	هر چه بیشتر در اولویت
نوع اقلیم	—	مدیترانه‌ای برابر ۱۰ نیمه خشک فراسرد برابر ۵ نیمه خشک سرد برابر ۱	مدیترانه‌ای برابر ۱۰ نیمه خشک فراسرد برابر ۵ نیمه خشک سرد برابر ۱	مدیترانه‌ای برابر ۱۰ نیمه خشک فراسرد برابر ۵ نیمه خشک سرد برابر ۱	مدیترانه‌ای برابر ۱۰ نیمه خشک فراسرد برابر ۵ نیمه خشک سرد برابر ۱	مدیترانه‌ای برابر ۱۰ نیمه خشک فراسرد برابر ۵ نیمه خشک سرد برابر ۱
عمق خاک	—	هر چه عمق خاک بیشتر در اولویت اجرایی	هر چه عمق خاک بیشتر در اولویت اجرایی	هر چه عمق خاک بیشتر در اولویت اجرایی	هر چه عمق خاک بیشتر در اولویت اجرایی	هر چه عمق خاک بیشتر در اولویت اجرایی
بافت خاک	—	لومی برابر ۱۰ شنی —لومی برابر ۵ رسی برابر ۱	لومی برابر ۱۰ شنی —لومی برابر ۵ رسی برابر ۱	لومی برابر ۱۰ شنی —لومی برابر ۵ رسی برابر ۱	لومی برابر ۱۰ شنی —لومی برابر ۵ رسی برابر ۱	لومی برابر ۱۰ شنی —لومی برابر ۵ رسی برابر ۱
شماره منحنی	—	هر چه بیشتر در اولویت اجرایی	هر چه بیشتر در اولویت اجرایی	هر چه بیشتر در اولویت اجرایی	هر چه بیشتر در اولویت اجرایی	هر چه بیشتر در اولویت اجرایی
رسوبدهی	—	هر چه بیشتر در اولویت اجرایی	هر چه بیشتر در اولویت اجرایی	هر چه بیشتر در اولویت اجرایی	هر چه بیشتر در اولویت اجرایی	هر چه بیشتر در اولویت اجرایی
پوشش گیاهی	—	هر چه پوشش گیاهی کمتر در اولویت اجرایی	هر چه پوشش گیاهی کمتر در اولویت اجرایی	هر چه پوشش گیاهی کمتر در اولویت اجرایی	هر چه پوشش گیاهی کمتر در اولویت اجرایی	هر چه پوشش گیاهی کمتر در اولویت اجرایی
کاربری اراضی	اراضی شخصی	اراضی ملی (مرتع و جنگل) در اولویت اجرایی	اراضی ملی (مرتع و جنگل) در اولویت اجرایی	اراضی ملی (مرتع و جنگل) در اولویت اجرایی	اراضی ملی (مرتع و جنگل) در اولویت اجرایی	مناطق مسکونی، باغ و زمین کشاورزی به ترتیب در اولویت اجرایی
فاصله از منابع قرضه	—	هر چه فاصله کمتر در اولویت اجرایی	هر چه فاصله کمتر در اولویت اجرایی	هر چه فاصله کمتر در اولویت اجرایی	هر چه فاصله کمتر در اولویت اجرایی	هر چه فاصله کمتر در اولویت اجرایی
فاصله از جاده	بستر جاده	هر چه فاصله کمتر در اولویت اجرایی	هر چه فاصله کمتر در اولویت اجرایی	هر چه فاصله کمتر در اولویت اجرایی	هر چه فاصله کمتر در اولویت اجرایی	هر چه فاصله کمتر در اولویت اجرایی
فاصله از روستا	—	هر چه فاصله کمتر در اولویت اجرایی	هر چه فاصله کمتر در اولویت اجرایی	هر چه فاصله کمتر در اولویت اجرایی	هر چه فاصله کمتر در اولویت اجرایی	هر چه فاصله کمتر در اولویت اجرایی
درجه آبراهه	خارج از بستر آبراهه	آبراهه درجه ۱ و ۲	آبراهه درجه ۱ و ۲ و۳	آبراهه درجه ۲ و ۳ و۴	آبراهه درجه ۴ و ۵ و ۶	آبراهه درجه ۳ و ۴ و ۵ و ۶

در مرحله آخر نیز به‌ترتیب برای هر عملیات به‌طور جداگانه در محیط نرم‌افزاری GIS، وزن نهایی هر معیار در داده‌های لایه آن اعمال شده و برای هر واحد کاری (پیکسل) یک وزن به‌دست می‌آید که بیشترین وزن اولویت دارد. نتایج به‌دست آمده در شش اولویت (بسیار مناسب ۱، مناسب ۲، نسبتاً مناسب ۳، متوسط ۴، نامناسب ۵ و کاملاً نامناسب ۶) طبقه‌بندی شده است.

نتایج

برای انجام این پژوهش ۱۶ لایه اطلاعاتی مورد نیاز بوده که نقشه کلیه معیارها به‌صورت منطق فازی به‌صورت زیر در شکل ۴ تهیه گردید:

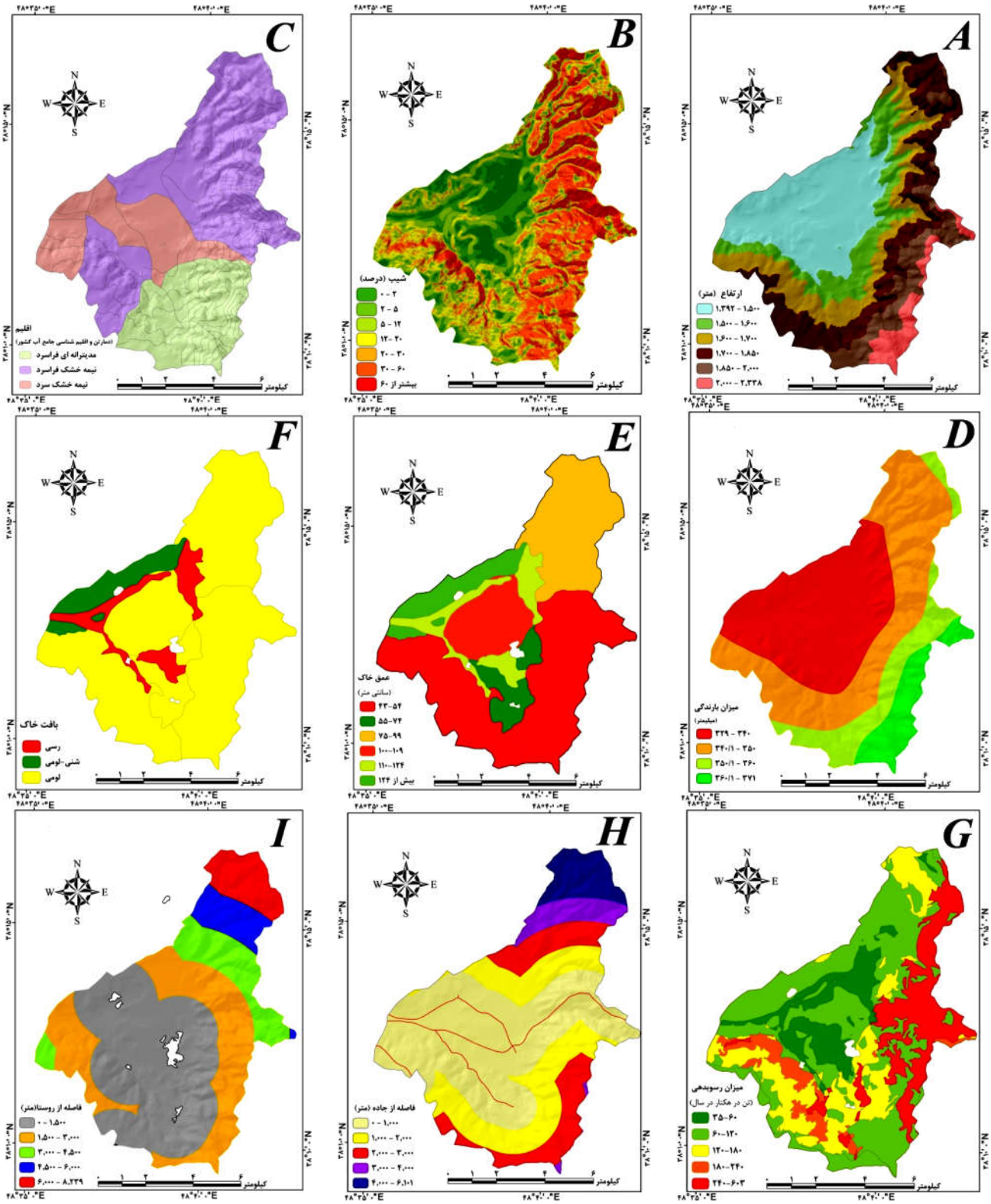
باتوجه‌به نتایج جدول ۴ و شکل ۵ که ضرایب حاصل از مقایسات زوجی در نرم‌افزار Expert Choice و نرم‌افزار Super Decisions بر متغیرهای هر یک از مکان‌یابی‌ها ضرب شد و طبق شکل ۶، نقشه اولویت‌بندی حاصل در مکان‌یابی عملیات خشکه‌چین با روش AHP معیارهای تجمع جریان، فاصله از جاده، شیب بیشترین و اقلیم کمترین وزن را به‌ترتیب ۰/۳۱، ۰/۱۹، ۰/۱۱، ۰/۰۰۵ با نرخ ناسازگاری ۰/۰۲ داشتند و با روش ANP، معیارهای تجمع جریان، رسوب‌دهی، فاصله از جاده بیشترین و ارتفاع کمترین وزن به‌ترتیب ۰/۲۱، ۰/۱۸، ۰/۱، ۰/۰۰۹ با نرخ ناسازگاری ۰/۰۰ دارد. طبق شکل ۷، نقشه اولویت‌بندی حاصل در مکانیابی عملیات گابیون با روش AHP، معیارهای تجمع جریان، فاصله از روستا، شیب بیشترین و اقلیم کمترین وزن را به‌ترتیب ۰/۳۱۵، ۰/۱۹۷، ۰/۱۰۳، ۰/۰۰۵ با نرخ ناسازگاری ۰/۰۱ داشتند و در روش ANP، معیارهای رسوب‌دهی، تجمع جریان، فاصله از روستا بیشترین و ارتفاع کمترین وزن به‌ترتیب ۰/۱۹۳، ۰/۱۸۶، ۰/۱۲۷، ۰/۰۰۹ با نرخ ناسازگاری ۰/۰۰ را داشتند. طبق شکل ۸ نقشه اولویت‌بندی حاصل در مکان‌یابی در عملیات سنگی ملاتی با روش AHP، معیارهای فاصله از روستا، تجمع جریان، فاصله از جاده بیشترین و تاج پوشش کمترین وزن را به‌ترتیب ۰/۳۳۸، ۰/۱۶، ۰/۰۹۲، ۰/۰۰۹ با نرخ ناسازگاری ۰/۰۰ داشتند و با روش ANP، معیارهای تجمع جریان، رسوب‌دهی، فاصله از منابع قرضه بیشترین و ارتفاع کمترین وزن را به‌ترتیب ۰/۱۸، ۰/۱۴، ۰/۱۲، ۰/۰۰۷ با نرخ ناسازگاری ۰/۰۰ داشتند. طبق شکل ۹ نقشه اولویت‌بندی حاصل در مکان‌یابی در عملیات سد خاکی با روش AHP، معیارهای فاصله از روستا، تجمع جریان، فاصله از جاده و بافت خاک بیشترین و اقلیم کمترین وزن را به‌ترتیب ۰/۳۶۵، ۰/۱۶، ۰/۱، ۰/۰۰۴ با نرخ ناسازگاری ۰/۰۲ داشتند و با روش ANP، معیارهای تجمع جریان، شیب، بارش بیشترین و ارتفاع کمترین وزن را به‌ترتیب ۰/۲۱، ۰/۱۳۴، ۰/۱۲، ۰/۰۰۸ با نرخ ناسازگاری ۰/۰۰ داشتند. طبق شکل ۱۰ نقشه اولویت‌بندی حاصل در مکان‌یابی در عملیات دیوار ساحلی با روش AHP، معیارهای فاصله از روستا، تجمع جریان، فاصله از جاده و شیب بیشترین و اقلیم کمترین وزن را به‌ترتیب ۰/۳۴۸، ۰/۱۶۲، ۰/۱، ۰/۰۰۶ با نرخ ناسازگاری ۰/۰۰ داشتند و با روش ANP معیارهای تجمع جریان، فاصله از روستا، فاصله از جاده و منابع قرضه بیشترین و ارتفاع کمترین وزن را به‌ترتیب ۰/۲۲، ۰/۱۸، ۰/۱، ۰/۰۱ با نرخ ناسازگاری ۰/۰۰ داشتند.

طبق شکل ۱۱، مشاهدات میدانی بندهای سنگی - ملاتی اجرا شده در حوزه سقزچی‌چای با نقشه‌های حاصله برای مکان‌یابی عملیات بندهای سنگی - ملاتی مقایسه شد. در روش AHP برای عملیات سنگی – ملاتی به‌طور میانگین امتیاز ۵/۶۶، ۶/۲۵، ۳/۹۸ و با روش ANP به‌ترتیب ۴/۹۸، ۸/۴۵ و ۴/۰۸ به‌دست آمد (شکل ۱۲).

همچنین نتایج نشان داد، با اولویت‌بندی مکانی اجرای عملیات سنگی ملاتی طبق آزمون همبستگی پیرسون، روشANP در سطح ۹۵ درصد و با شدت ۰/۸۳۹ همبستگی معنی‌داری با روش AHP دارد.

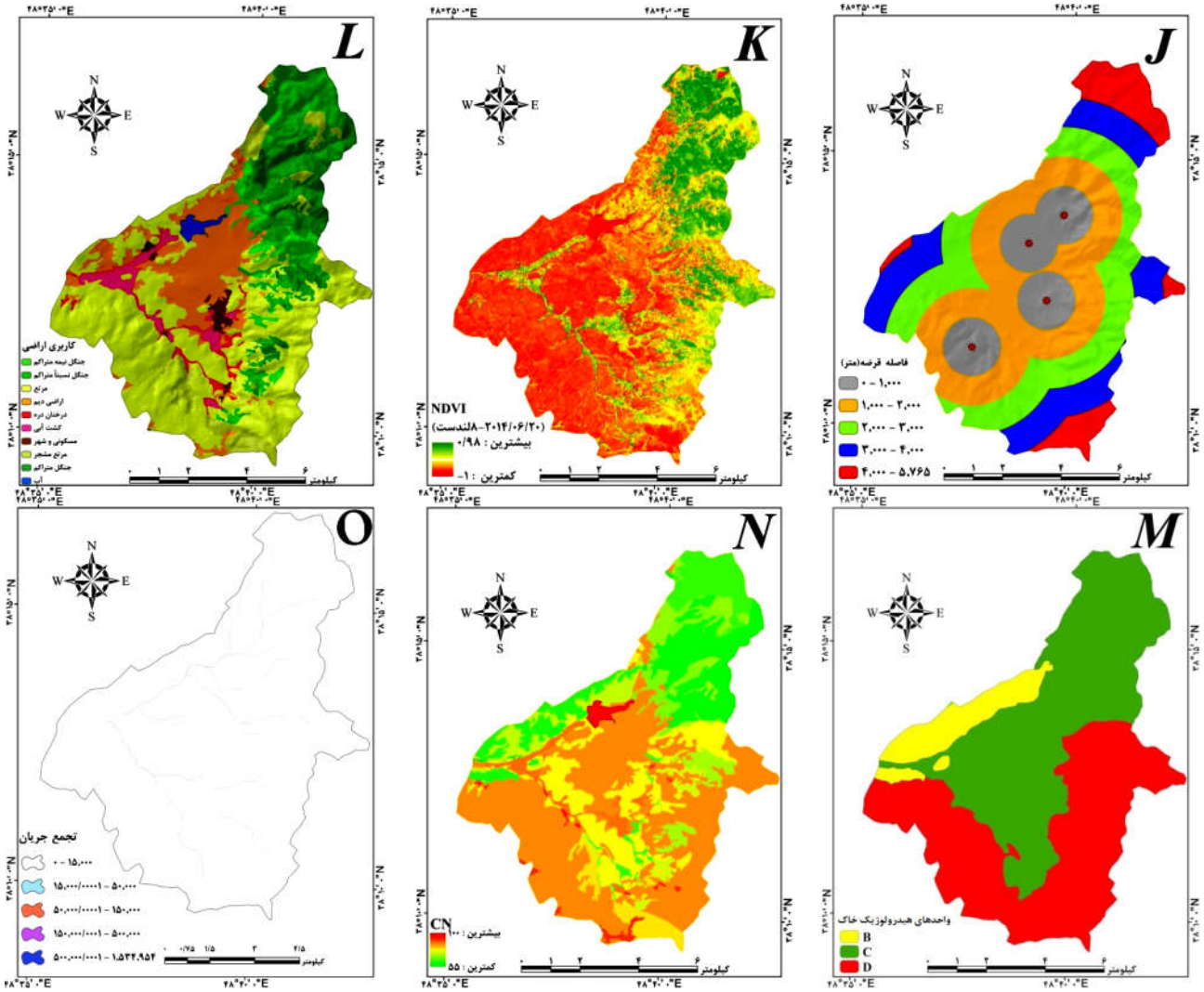
بحث

باتوجه‌به بررسی اولویت مکانی عملیات اجرا شده در سطح نقشه‌های مکان‌یابی، روش ANP نسبت به روش AHP دامنه نتایج بیشتر و مکان‌های مناسب عملیات آبخیزداری با تفکیک بیشتری را تعیین می‌کند. روش ANP به‌دلیل شبکه‌ای بودن و



A. مدل رقومی ارتفاع، B. طبقات شیب، C. اقلیم‌شناسی، D. بارندگی متوسط سالانه، E. عمق خاک، F. بافت خاک، G. رسوب‌دهی، H. فاصله از جاده، I. فاصله از روستا، J. فاصله از منابع قرضه، K. درصد تاج پوشش گیاهی، L. کاربری اراضی، M. گروه‌های هیدرولوژیک خاک، N. شماره منحنی، O. تجمع جریان در حوزه آبخیز سقزچی‌چای

شکل ۴. نقشه معیارهای مؤثر در مکان‌یابی عملیات آبخیزداری



A. مدل رقومی ارتفاع، B. طبقات شیب، C. اقلیم‌شناسی، D. بارندگی متوسط سالانه، E. عمق خاک، F. بافت خاک، G. رسوب‌دهی، H. فاصله از جاده، I. فاصله از روستا، J. فاصله از منابع قرضه، K. درصد تاج پوشش گیاهی، L. کاربری اراضی، M. گروه‌های هیدرولوژیک خاک، N. شماره منحنی، O. تجمع جریان در حوزه آبخیز سقزچی‌چای

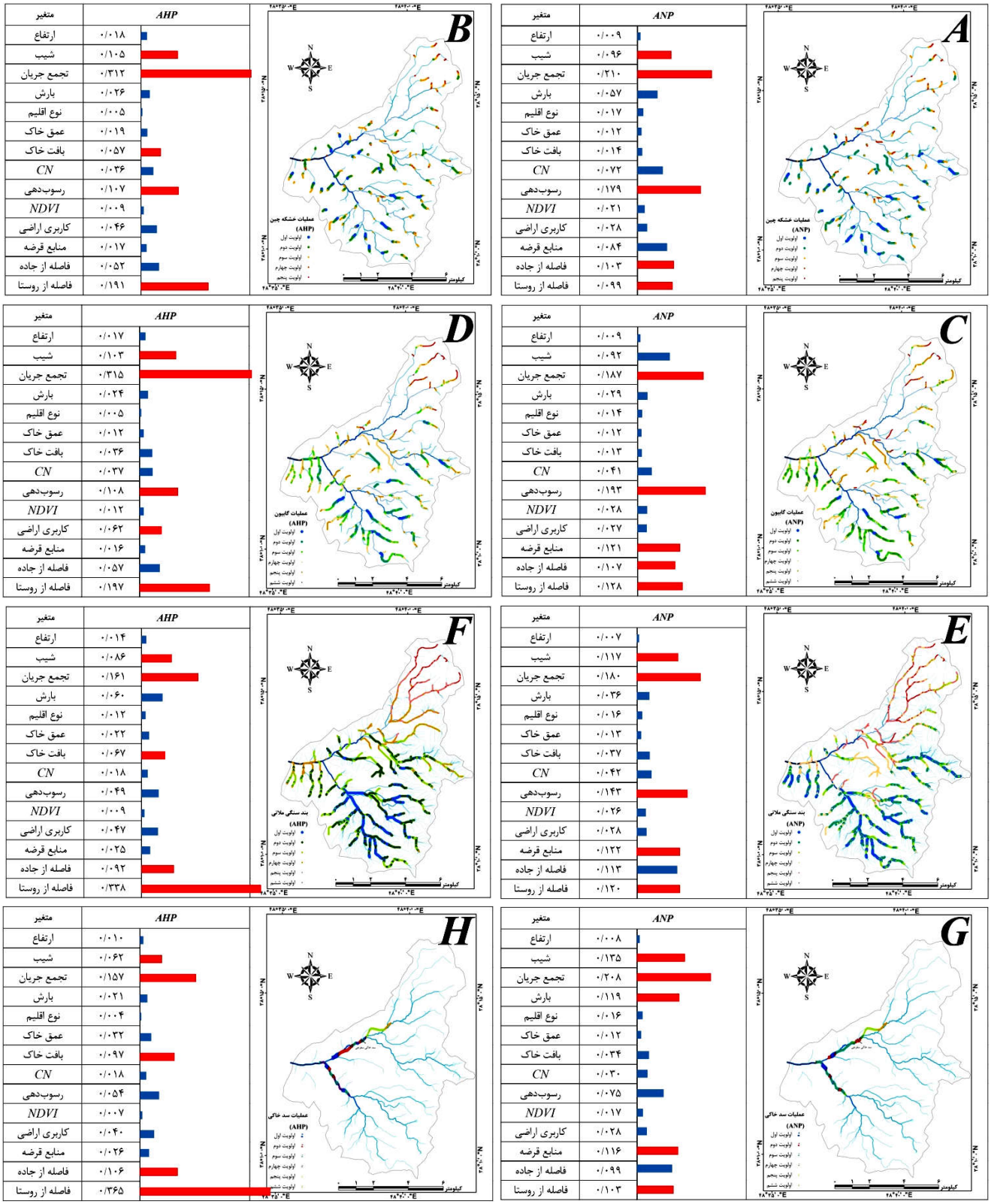
شکل ۴. نقشه معیارهای مؤثر در مکان‌یابی عملیات آبخیزداری (ادامه)

افزایش دامنه تغییرات، با قدرت تفکیک بیشتری به اولویت‌بندی پرداخته است. باتوجه‌به نتایج دبیری و همکاران (۱۲)، اجرای عملیات آبخیزداری باعث کاهش فرسایش و رسوب حوزه سقزچی‌چای شده است. جمالی و همکاران (۲۳) در تعیین مکان‌های مناسب برای کنترل بیولوژیک فرسایش خاک در منطقه حبله‌رود، با تهیه نقشه‌های عوامل و محدودیت‌ها از نقشه‌ای خام اولیه و وزن‌دهی آن‌ها به روش تحلیل سلسله‌مراتبی بهره گرفت و به این نتیجه رسید که در تصمیم‌گیری‌ها با مدنظر قراردادن نظرات خبرگان و تصمیم‌گیرندگان، از طریق ایجاد سوپر ماتریس وزنی ANP می‌توان توانایی روش را دوچندان کرد؛ بنابراین باتوجه‌به نتایج قابل‌قبول روش ANP و همچنین انعطاف‌پذیری و مدنظر قراردادن ارتباط متقابل گزینه‌ها و معیارها، این روش می‌تواند جایگزینی مناسب و قابل‌اعتماد برای روش‌های کلاسیک تصمیم‌گیری باشد. فرجی سبک‌بار و همکاران (۱۷) در سنجش میزان پایداری نواحی روستایی بر مبنای مدل تحلیل شبکه، با استفاده از تکنیک برداری در نواحی روستایی شهرستان فسا بیان کردند،

جدول ۴. وزن معیارهای مکان‌یابی عملیات مکانیکی آبخیزداری به روش ANP و AHP

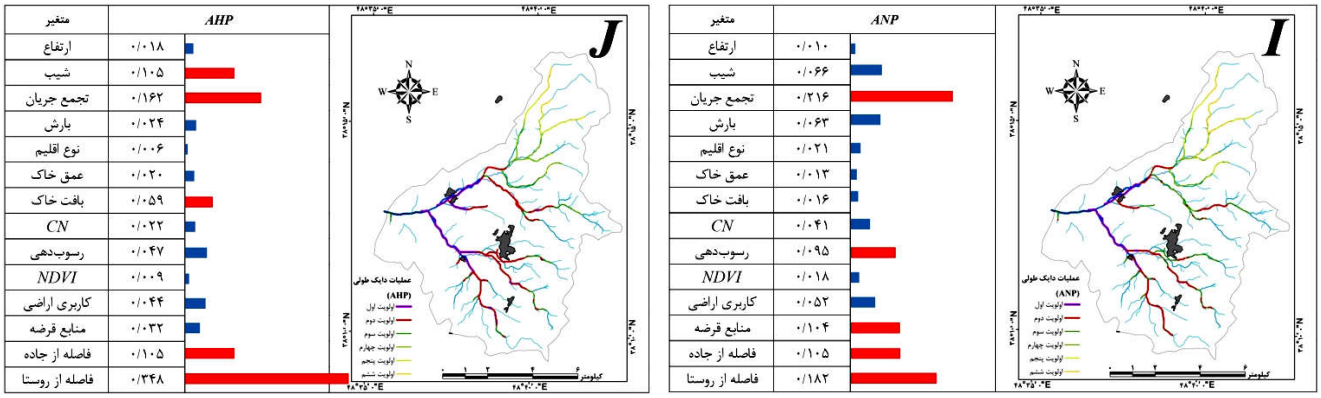
Dike Wall		Earth Dam		Masonry Check Dams		Gabion Check Dams		Loose Stone Check Dams		criteria	متغیر
دیوار ساحلی		سد خاکی		بندهای اصلاحی سنگی ملاتی		بندهای اصلاحی گابیون		بندهای اصلاحی خشکه‌چین			
ANP	AHP	ANP	AHP	ANP	AHP	ANP	AHP	ANP	AHP		
۰/۰۱۰	۰/۰۱۸	۰/۰۰۸	۰/۰۱۰	۰/۰۰۷	۰/۰۱۴	۰/۰۰۹	۰/۰۱۷	۰/۰۰۹	۰/۰۱۸	Elevation	ارتفاع
۰/۰۶۶	۰/۱۰۵	۰/۱۳۵	۰/۰۶۲	۰/۱۱۷	۰/۰۸۶	۰/۰۹۲	۰/۱۰۳	۰/۰۹۶	۰/۱۰۵	Slope	شیب
۰/۲۱۶	۰/۱۶۲	۰/۲۰۸	۰/۱۵۷	۰/۱۸۰	۰/۱۶۱	۰/۱۸۷	۰/۳۱۵	۰/۲۱۰	۰/۳۱۲	Flow Accumulation	تجمع جریان
۰/۰۶۳	۰/۰۲۴	۰/۱۱۹	۰/۰۲۱	۰/۰۳۶	۰/۰۶۰	۰/۰۲۹	۰/۰۲۴	۰/۰۵۷	۰/۰۲۶	Precipitation	بارش
۰/۰۲۱	۰/۰۰۶	۰/۰۱۶	۰/۰۰۴	۰/۰۱۶	۰/۰۱۲	۰/۰۱۴	۰/۰۰۵	۰/۰۱۷	۰/۰۰۵	Type Climate	نوع اقلیم
۰/۰۱۳	۰/۰۲۰	۰/۰۱۲	۰/۰۳۲	۰/۰۱۳	۰/۰۲۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۹	Soil Depth	عمق خاک
۰/۰۱۶	۰/۰۵۹	۰/۰۳۴	۰/۰۹۷	۰/۰۳۷	۰/۰۶۷	۰/۰۱۳	۰/۰۳۶	۰/۰۱۴	۰/۰۵۷	Soil texture	بافت خاک
۰/۰۴۱	۰/۰۲۲	۰/۰۳۰	۰/۰۱۸	۰/۰۴۲	۰/۰۱۸	۰/۰۴۱	۰/۰۳۷	۰/۰۷۲	۰/۰۳۶	Curve Number	شماره منحنی
۰/۰۹۵	۰/۰۴۷	۰/۰۷۵	۰/۰۵۴	۰/۱۴۳	۰/۰۴۹	۰/۱۹۳	۰/۱۰۸	۰/۱۷۹	۰/۱۰۷	Sediment	رسوب‌دهی
۰/۰۱۸	۰/۰۰۹	۰/۰۱۷	۰/۰۰۷	۰/۰۲۶	۰/۰۰۹	۰/۰۲۸	۰/۰۱۲	۰/۰۲۱	۰/۰۰۹	NDVI	پوشش گیاهی
۰/۰۵۲	۰/۰۴۴	۰/۰۲۸	۰/۰۴۰	۰/۰۲۸	۰/۰۴۷	۰/۰۲۷	۰/۰۶۲	۰/۰۲۸	۰/۰۴۶	Land use	کاربری اراضی
۰/۱۰۴	۰/۰۳۲	۰/۱۱۶	۰/۰۲۶	۰/۱۲۲	۰/۰۲۵	۰/۰۲۱	۰/۰۱۶	۰/۰۸۴	۰/۰۱۷	Distance from Borrow Pits	فاصله از منابع قرضه
۰/۱۰۵	۰/۱۰۵	۰/۰۹۹	۰/۱۰۶	۰/۱۱۳	۰/۰۹۲	۰/۱۰۷	۰/۰۵۷	۰/۱۰۳	۰/۰۵۲	Distance from road	فاصله از جاده
۰/۱۸۲	۰/۳۴۸	۰/۱۰۳	۰/۳۶۵	۰/۱۲۰	۰/۳۳۸	۰/۱۲۸	۰/۱۹۷	۰/۰۹۹	۰/۱۹۱	Distance from village	فاصله از روستا
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۲	Discord rate	نرخ ناسازگاری

مدل ANP به‌خاطر توجه به ساختار شبکه‌ای و متقابل شاخص‌ها و معیارها در این مدل، دارای کارایی بالایی است. سعیدی و نجفی (۳۹) کاربرد فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در ارزیابی و تعیین اولویت خروج دام از جنگل و ساماندهی جنگل‌نشینان در منطقه سری باباکوه، معیارها و زیرمعیارهایی برای تعیین اولویت دامداران جنگل‌نشین در قالب یک مدل تدوین شده و به کمک تصمیم‌سازی گروهی و با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای، کارایی مطلوب این روش را تأیید کردند. ریگی‌کوته (۳۷) برای انتخاب بهترین روش اصلاح مراتع با استفاده از فنون تحلیل چندمعیاره تحلیل شبکه (ANP) و تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، از چندین معیار (اکولوژیکی، فنی، فرهنگی، آموزشی، سیاسی و اقتصادی) برای انتخاب روش‌های مناسب (قرق، کپه‌کاری، چرای تناوبی و کودپاشی) به‌منظور اصلاح مراتع استفاده کردند و بیان کردند، تفاوت معنی‌داری در انتخاب روش‌های مدیریتی اصلاح مرتع، بین نتایج AHP و ANP وجود ندارد. امیدی و همکاران (۳۳) در ارزیابی بهره‌وری آب با رویکرد استفاده از روش‌های AHP، ANP، FAHP و FANP به این نتیجه رسیدند که مدل‌های AHP و ANP، ابزارهای کاربردی و قدرتمندی برای تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره به شمار می‌روند و روش ANP



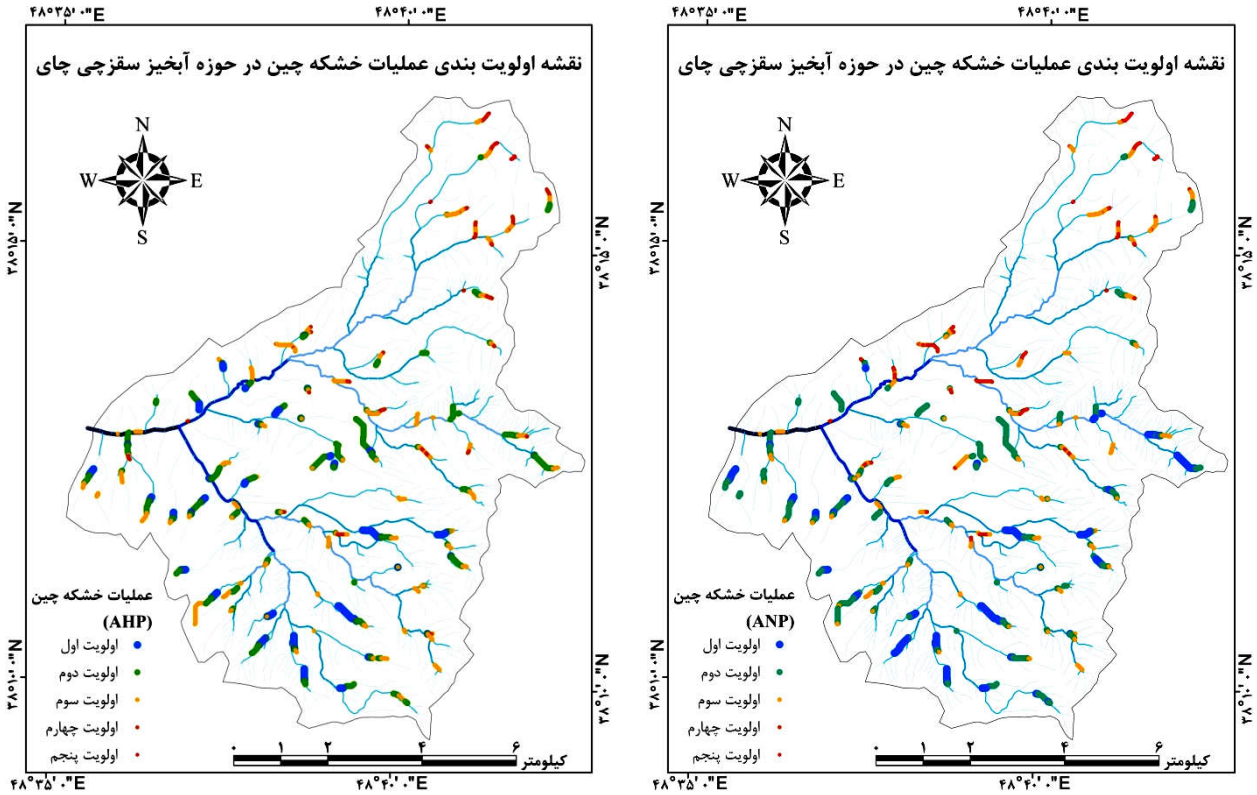
خشکه‌چین، C. گابیون، E. سنگی – ملاتی، G. سد خاکی، I. دیوار ساحلی به روش ANP و B. خشکه‌چین، D. گابیون، F. سنگی – ملاتی، H. سد خاکی، J. دیوار ساحلی به روش AHP در حوزه آبخیز سقزچی‌چای).

شکل ۵. نمودار وزن معیارها و نقشه مکان‌یابی عملیات مکانیکی به روش AHP و ANP



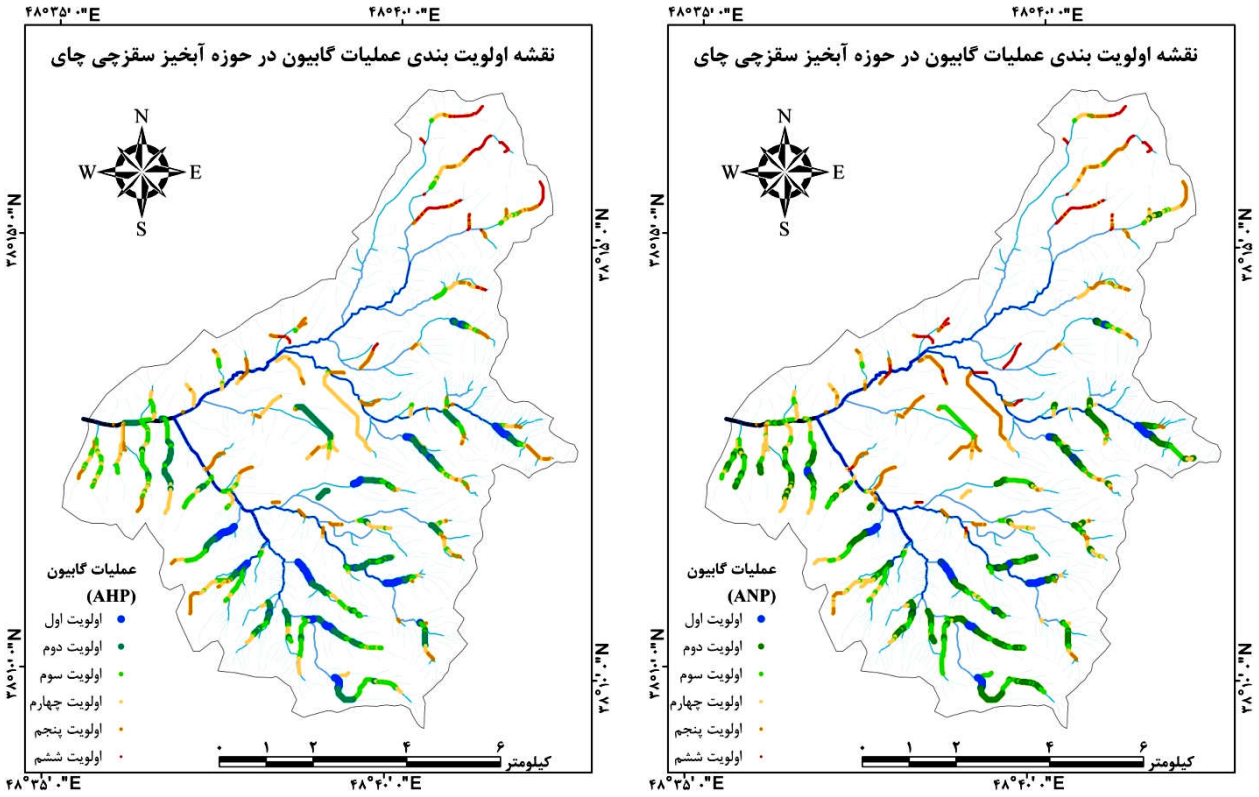
خشکه‌چین، C. گابیون، E. سنگی – ملاتی، G. سد خاکی، I. دیوار ساحلی به روش ANP و B. خشکه‌چین، D. گابیون، F. سنگی – ملاتی، H. سد خاکی، J. دیوار ساحلی به روش AHP در حوزه آبخیز سقزچی‌چای).

شکل ۵. نمودار وزن معیارها و نقشه مکان‌یابی عملیات مکانیکی به روش AHP و ANP (ادامه)

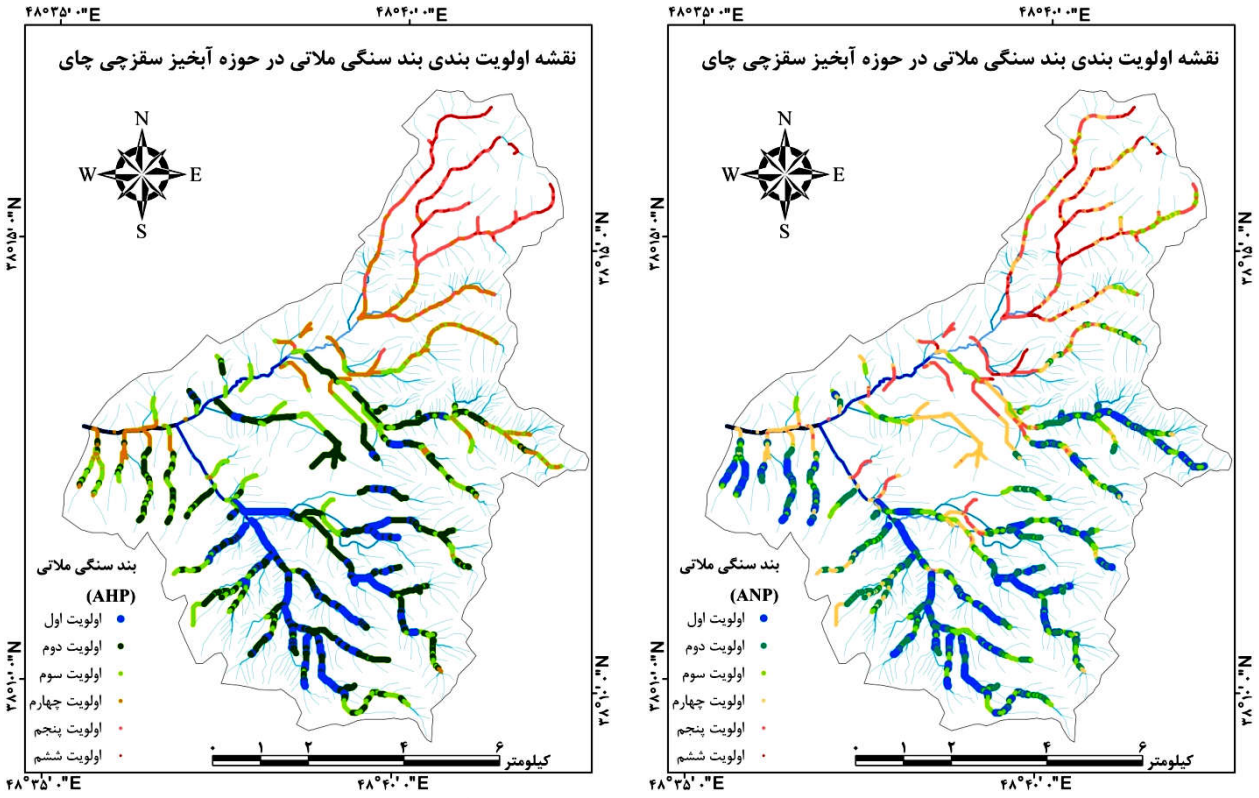


شکل ۶. نقشه اولویت‌بندی مکان‌های مناسب اجرای بند اصلاحی خشکه‌چین به روش AHP و ANP

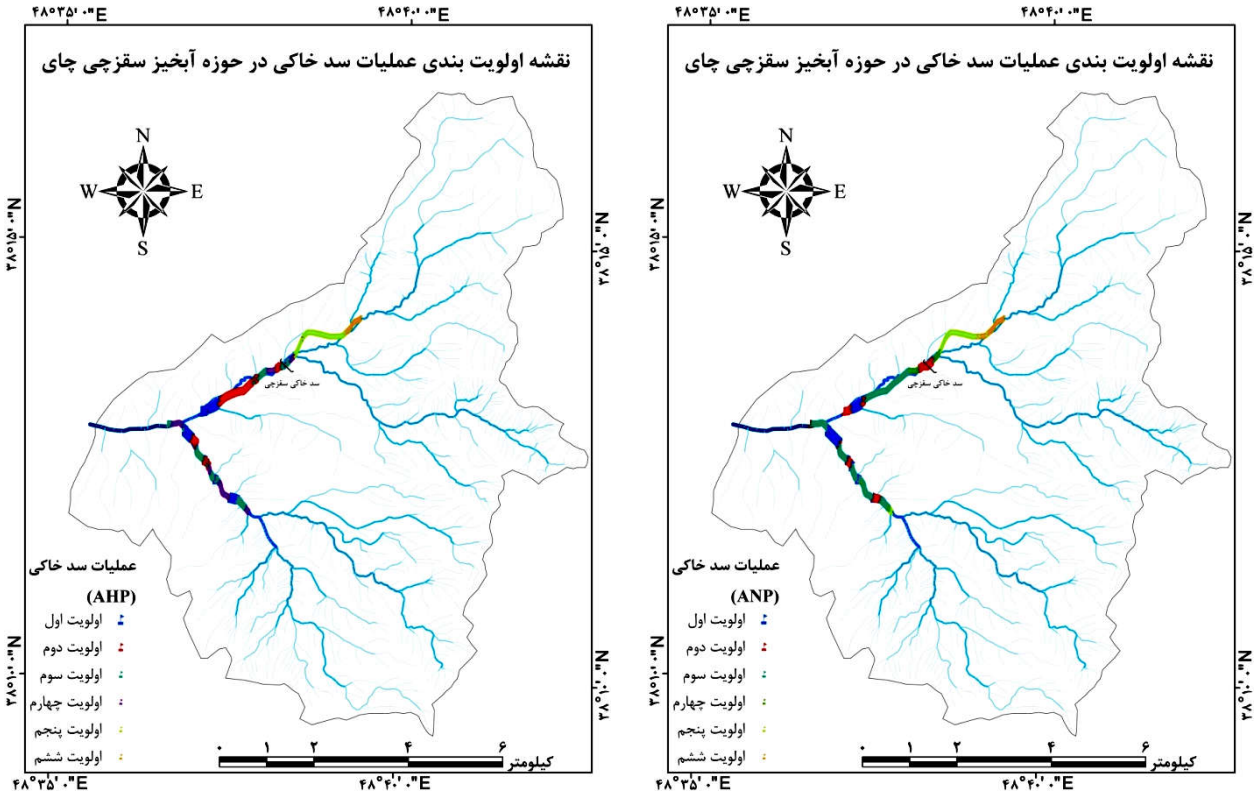
از قدرت تحلیل بهتری در تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره برخوردار است. جوانی و عنابستانی (۲۴) در تحلیل مقایسه‌ای روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و ANP در مکان‌یابی فضاهای سبز روستایی در روستای چنار شهرستان کلات، به این نتیجه رسیدند که نتایج حاصل از ارزیابی دقت این دو روش با استفاده از تعیین ضریب کاپا نشان داده است که مدل ANP با ضریب کاپای ۰/۷۱ نسبت به مدل AHP با ضریب کاپای ۰/۵۹ از دقت بیشتری برخوردار است. دهمرده قلعه نو و همکاران (۱۴) در مکان‌یابی اولیه سدهای زیرزمینی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS و GIS در بخش شرقی حوزه رودخانه گرگان‌رود، علاوه



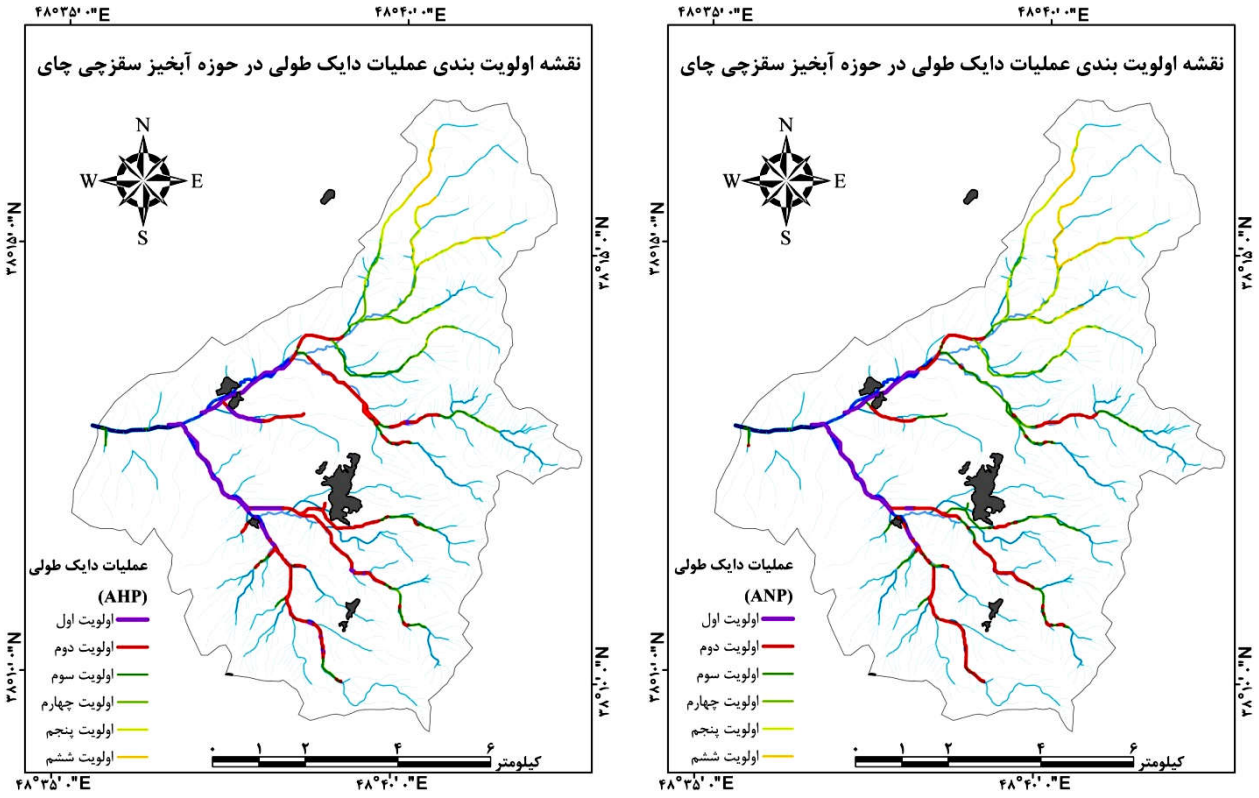
شکل ۷. نقشه اولویت‌بندی مکان‌های مناسب اجرای بند اصلاحی گابیون به روش AHP و ANP



شکل ۸ . نقشه اولویت‌بندی مکان‌های مناسب اجرای بند اصلاحی سنگی ملاتی به روش AHP و ANP

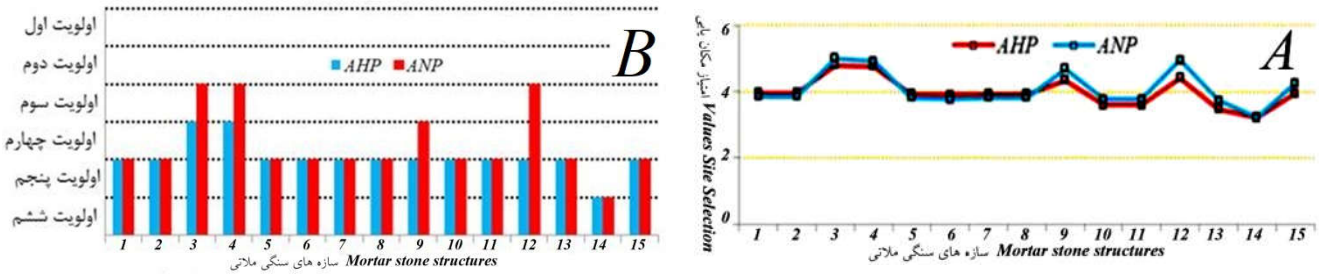


شکل ۹. نقشه اولویت‌بندی مکان‌های مناسب اجرای بند اصلاحی سد خاکی به روش AHP و ANP



شکل ۱۰. نقشه اولویت‌بندی مکان‌های مناسب اجرای بند اصلاحی دایک طولی به روش AHP و ANP

شکل ۱۱. عملیات آبخیزداری اجرا شده در سطح حوزه آبخیز سقزچی‌چای



شکل ۱۲. A دامنه تغییرات و همبستگی عملیات سنگی ملاتی در نتایج مکان‌یابی و B اولویت مکانی عملیات سنگی ملاتی اجرایی در نتایج مکان‌یابی به روش ANP و AHP در حوزه آبخیز سقزچی‌چای

بر تشخیص مناسب بودن این تکنیک بر مکان‌یابی، دو معیار شیب و موقعیت روستا را به‌ترتیب بیشترین و کمترین معیار مؤثر بر روی مکان‌یابی سد زیرزمینی تشخیص دادند که باتوجه‌به توانایی‌های زیاد GIS در مکان‌یابی مناسب سدهای زیرزمینی، هرچه نظرات کارشناسی دقیق‌تر و داده‌ها و اطلاعات به‌روزتر باشند، استفاده از این فنون و ابزار با نتایج بهتری همراه است. زارع بیدکی و همکاران (۴۳) در مکان‌یابی مناطق مستعد احداث سدهای خاکی کوتاه با استفاده از روش AHP در حوزه آبخیز بهشت‌آباد، به این نتیجه رسیدند که معیار ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی با کسب بیشترین وزن، اهمیت بیشتری در تعیین مکان مناسب برای احداث سد خاکی دارد. این معیار خود از چهار زیرمعیار کارست، گسل، زمین‌لغزش و فرسایش ترکیب شده است. پس از این معیار به‌ترتیب توپوگرافی، دسترسی به منابع قرضه، کاربری اراضی، فاصله از منابع آب زیرزمینی، فاصله از جاده و عمق خاک در ترتیب اهمیت قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری

افزایش تخریب پوشش گیاهی و اکوسیستم‌های طبیعی، افزایش سیلاب، افزایش فرسایش و رسوب، به‌خطرافتادن معیشت و جان

جدول ۵: معیارهای مکان‌یابی بندهای اصلاحی آبخیزداری در حوزه آبخیز سقزچی چای

نوع بند اصلاحی	معیارهای دارای بیشترین تأثیر به‌ترتیب (بیش از ۹۰ درصد)	معیارهای دارای کمترین تأثیر به‌ترتیب
خشکه‌چین	تجمع جریان، رسوب‌دهی، فاصله از جاده، فاصله از روستا، شیب، فاصله از منابع قرضه، شماره منحنی، بارش و کاربری اراضی	پوشش گیاهی، نوع اقلیم، بافت خاک، عمق خاک و ارتفاع
گابیون	رسوب‌دهی، تجمع جریان، فاصله از روستا، فاصله از منابع قرضه، فاصله از جاده، شیب، شماره منحنی، بارش و پوشش گیاهی	کاربری اراضی، نوع اقلیم، بافت خاک، عمق خاک و ارتفاع
سنگی ملاتی	تجمع جریان، رسوب‌دهی، فاصله از منابع قرضه، فاصله از روستا، شیب، فاصله از جاده، شماره منحنی، بافت خاک و بارش	کاربری اراضی، پوشش گیاهی، نوع اقلیم، عمق خاک و ارتفاع
بند خاکی	تجمع جریان، شیب، بارش، فاصله از منابع قرضه، فاصله از روستا، فاصله از جاده، رسوب‌دهی، بافت خاک و شماره منحنی	کاربری اراضی، پوشش گیاهی، نوع اقلیم، عمق خاک و ارتفاع
دیوار ساحلی	تجمع جریان، فاصله از روستا، فاصله از جاده، فاصله از منابع قرضه، رسوب‌دهی، شیب، بارش، کاربری اراضی و شماره منحنی	نوع اقلیم، پوشش گیاهی، بافت خاک، عمق خاک و ارتفاع

انسان‌ها و نیاز روزافزون به آب، باعث گسترش روش‌های مختلف مدیریت منابع آب، تغذیه آب‌های زیرزمینی، کنترل فرسایش و رسوب، افزایش زمان تمرکز جریان آب در حوزه آبخیز، کاهش سیلاب و کاهش خسارت به جان و دارایی انسان‌ها شده است. برخی از روش‌های سازه‌ای شامل احداث موانع در مسیر جریان‌های سطحی برای افزایش زمان تمرکز حوزه آبخیز، کنترل سیل و ذخیره‌کردن آب بوده که عملیات مکانیکی آبخیزداری (خشکه‌چین، گابیون، بندهای سنگی ملاتی، دیوار ساحلی و سدهای خاکی) در این دسته قرار می‌گیرند. افزایش کارایی و بهره‌وری عملیات مکانیکی آبخیزداری به عوامل بسیاری بستگی دارد که مهم‌ترین آن‌ها، تعیین مناطق مناسب برای احداث این سازه‌ها بوده و کمبود منابع مالی و هزینه زیاد اجرای عملیات مکانیکی، اهمیت این موضوع را دوچندان کرده است.

باتوجه‌به نتایج حاصله از پژوهش، بین نتایج روش AHP و ANP همبستگی پیرسون در سطح ۹۵ درصد و با شدت ۰/۸۳۹ معنی دار است. مناطقی که بند سنگی ملاتی احداث شده است، در نقشه اولویت‌بندی به روش AHP، در اولویت چهارم به بعد (متوسط و نامناسب) قرار دارد در حالی‌که به روش ANP در اولویت سوم به بعد (نسبتاً خوب و متوسط) است. با مقایسه نتایج اولویت‌بندی دو روش با سازه‌های سنگی ملاتی اجرا شده در سطح حوزه آبخیز مشخص شد، روش ANP به‌دلیل شبکه‌ای بودن و افزایش دامنه تغییرات، با صحت و قدرت تفکیک بیشتری به اولویت‌بندی پرداخته است. هدف این پژوهش، استخراج یک چهارچوب عملیاتی نوین و معرفی مناسب‌ترین عملیات آبخیزداری بر اساس روش‌های مبتنی بر اطلاعات، نقشه‌سازی و استفاده از چهارچوب AHP و ANP با حذف نظرات کارشناسی (بخصوص زمانی که کارشناس از تجربه کافی برخوردار نباشد)، در بهترین مکان و در سریع‌ترین زمان بوده است که می‌توان میزان موفقیت پروژه‌ها را با استفاده از این روش، افزایش داد. بر اساس نوع بند اصلاحی آبخیزداری، معیارهایی که بیشترین و کمترین تأثیر را در تعیین مکان مناسب اجرای بند اصلاحی آبخیزداری دارند، به شرح جدول ۵ مشخص شده است.

مکان مناسب اجرای پروژه‌ها برای هر منطقه آب‌وهوایی از کشور باید بر اساس شرایط اکولوژیکی و اقلیمی و سایر شرایط حاکم بر منطقه موردنظر تعیین شود. شایان‌ذکر است که توجه به شرایط منطقه در کنار استفاده از تکنیک‌های مناسب، می‌تواند به مدیران در تصمیم‌گیری مناسب یاری رساند و از اتلاف سرمایه کشور جلوگیری نماید.

سپاس‌گزاری

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آقای روح‌الله دبیری با عنوان مکان‌یابی و مهندسی ارزش عملیات آبخیزداری با رویکرد MCDM و روش AHP و ANP در حوزه آبخیز سقزچی چای استان اردبیل است که با حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه ارومیه انجام شده است.

منابع مورد استفاده

1. Al-Weshah, R. A. and F. El-Khoury. 1999. Flood analysis and mitigation for Petra area in Jordan. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 125(3): 170-177.
2. Arab Ameri, A., M. Sohrabi, K. Rezaei and K. Shirani. 2018. Site Selection of Underground Dam Using GIS and AHP Model. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engine*ering, 12 (41): 51-60 (in Farsi).
3. Arvin, M., A. Pourahmad, K. Ziyari and S. Zangenh Shahraki. 2022. Identify and investigate the drivers to use the compact city (Case study: Ahvaz city). *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 12(45): 36-57 (In Farsi).
4. Azar, A. and A. Memariani. 1995. AHP is a new technique for group decision making .Management Knowledge. 27(28): 22-32 (In Farsi).
5. Azarnivand, H., R. Namjoyan, H. Arzani, M. Jafari and M. A. Zare Chahouki. 2007. Localization of range improvement plants using GIS and comparing with suggested projects of range management plants in Lar region. *Rangeland*, 1(2): 159-169 (in Farsi).
6. Azimi, M. A., Sh. Mansouri and Gh. Rahbar. 2017. Locating and prioritizing suitable flood spreading areas using GIS and AHP multi-criteria decision analysis (case study: Gorganrood watershed, Golestan), *Environmental Science and Technology Quarterly*, 20(4): 182-192 (in Farsi).
7. Baghelani, M., N. Rostami, M. Tavakoli. 2020. The Site Selection of Check Dams Using Fuzzy AHP Method in Urban Watersheds Ilam City Watershed. *Iran-Watershed Management Science and Engineering*; 14(50):68-72 (in Farsi).
8. Bagheri, S., M. Ansari, A. Norouzi . 2022. Prioritization of Erosion Prone Sub-Watersheds using MCDM Methods in Roudzard Watershed, Khuzestan Province. JWSS, 26 (3):35-54 (in Farsi).
9. Belfiore, S. 2003. The growth of integrated coastal management and the role of indicator in integrated coastal management: introducation to the special issue. *Ocean and Coastal Management*, 46(3-4): 225-234.
10. Choo, T. H., S. H. Ahn, D. U. Yang and G. S. Yun. 2017. A Study on the Estimating Dam Suitable Site based on Geographic Information using AHP, Paper presented at 6th International Conference on Developments in Engineering and Technology, Thailand.
11. Chowdhury A., M. K. Jha and V. Chowdary. 2010. Delineation of groundwater recharge zones and identification of artificial recharge sites in West Medinipur district, West Bengal, using RS, GIS and MCDM techniques. Environ. *Environmental Earth Sciences*, 59: 1209-1222.
12. Dabiri, R., H. Abghari, H. Nazarnejad and A. Ghorbani. 2016. The role of watershed operations in controlling erosion and sedimentation in the Saqezchi-Chay watershed of Ardabil province. The 11th National Conference of Iran Watershed Science and Engineering. Iran (in Farsi).
13. Dabiri, R., H. Abghari and A. Ghorbani. 2023. Effectiveness of watershed operations in controlling erosion and sedimentation using MPSIAC experimental model (Case study: Saqezchi-Chay watershed, Ardabil province). *Journal of Geography and Environmental Studies* 12(47): 184-201 (In Farsi).
14. Dahmardeh Ghaleno, M. R., Gh. Mirzaei and E. Alvandi. 2020. The Choice of Location of Underground Dams Using Multi-Criteria Decision-Making Methods TOPSIS and GIS in the Eastern Part of the Watershed of Gorganroud. *Journal of Envirnmental Science and Technology*, 22(7): 389-403 (in Farsi).
15. Dehgan, M., M. Azari and A. Sepehr. 2019. A GIS-based Decision Support System to Identify Potential Sites for

Soil and Water Conservation Measures (Case Study: Kakhk Watershed). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 8(1): 65-82 (in Farsi).
16. Esmali, A. and Kh. Abdollahi. 2014. Watershed management and soil conservation, Publisher: Mohahegh, second edition, Ardabil (In Farsi).
17. Faraji Sabokbar, H. A., S. A. Badri, S. H. Motiee Langroodi, H. Sharafi. 2010. Measuring the Sustainability of Rural Areas Using Analytical Network Process (ANP), Case-study: Rural Areas of Fasa County. *Human Geography Research*, 42(2): 135-156 (in Farsi).
18. Fattah, P., K. Hosseini, A. Hashemi. 2022. Investigation of Sedimentation of Small Catchments under Precipitation Pattern and Basin Characteristics in Arid and Semi-Arid Climate. JWSS, 26 (3):127-142 (in Farsi).
19. Ghodsipour, S.H. 2019. Analytical Hierarchy Process (AHP). Amirkabir University Press, 12th edition, Tehran (In Farsi).
20. Hasanzadeh Nofoute, M., A. jamali and A. fallah. 2016. Site Selection Underground Dams Using Spatial Multi-Criteria Evaluation (SMCE) (Case Study: the Adori Area in Bam city). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 10(32): 69-76 (in Farsi).
21. Hunink, J. E., P. Droogers, S. Kauffman, B. M. Mwaniki and J. Bouma. 2012. Quantitative simulation tools to analyze up- and downstream interactions of soil and water conservation measures: Supporting policy making in the Green Water Credits program of Kenya. *Journal of Environmental Management*. 111: 187-194.
22. Jafarian, Z., S. Parvini and A. Kavian. 2018. Assessment spatial accuracy of restoration programs in the range management plan for the Maikhoran watershed in Kermansha. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 9(2): 33-46 (in Farsi).
23. Jamali, A. A., J. Ghodousi and M. Farahpour. 2007. Suitable Range Determination for Biological soil Erosion Control by Spatial Decision Support System, 14(2): 261-270 (in Farsi).
24. Javani, Kh. and A. A. Anabostani. 2016. Comparative Analysis of Multi Criteria ANP & AHP Decision Making green spaces in rural location. *Journal of Spatial Planning*, 19(4): 1-32 (in Farsi).
25. Kakehmami A., A. Ghorbani and K. Sefidi. 2016. Preparing the land use map of Ardabil province with two methods of visual and digital interpretation and comparing them. Master's thesis, Mohaghegh Ardabili University, Faculty of Agricultural Technologies and Natural Resources, Ardabil (in Farsi).
26. Krois, J. and A. Schulte. 2014. GIS-based multi-criteria evaluation to identify potential sites for soil and water conservation techniques in the Ronquillo watershed, northern Peru. *Applied Geography*. 51:131-241.
27. Makhdoom, M. 2011. Shaloode Amayesh Sarzameen, Tehran, University Publications, 13th edition, 300 Pages (in Farsi).
28. Malczewski, J. 2004. GIS-based land-use suitability analysis; acritical overview. *Progress In Planning*, 62: 3- 65.
29. Mofidi Chelan, M., H. Nazarnejad, E. Moharampour. 2022. Siting Improvement Operations for Rainwater Conservation Schemes in Natural Areas (A Case study of Nazluchai Basin, Urmia), *Journal of land Management*; 9 (2): 247-262 (in Farsi).
30. Mohamed, M. M. and S. I., Elmahdy. 2017. Fuzzy logic and multi-criteria methods for groundwater potentiality mapping at Al Fo'ah area, the United Arab Emirates (UAE): an integrated approach. *Geocarto International,* 32(10): 1120-1138.
31. Momeni, M., and A. Shrifi Salim. 2012. Madm models and software's. Authors Publishing House. first edition, Tehran (In Farsi).
32. Motamedi, J. and E. Sheidai. 2018. Importance of evaluating criteria and indicators to use for allocating management and biological practices for rangeland improvement (Case study: Hendowan mountainous rangelands, Khoy, West Azarbaijan). *Rangeland*. 12(3): 354-369. URL: http://rangelandsrm.ir/article-1-649-fa.html (In Farsi)
33. Omidi, F., H. Babazadeh and M. Sarai Tabrizi. 2014. The water productivity assessment approaching AHP, ANP, FAHP and FANP methods. The First National Conference of Water Use Optimization. Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan, Iran (in Farsi).
34. Othman, A. A., A. K. Obaid, D. A. M. Al-Manmi, M. Pirouei, S.G. Salar, V. Liesenberg, A. F. Al-Maamar, A.T. Shihab, Y. I. Al-Saady and Z. T. Al-Attar. 2021. Insights for Landfill Site Selection Using GIS: A Case Study in the Tanjero River Basin, Kurdistan Region, Iraq. *Sustainability*, 13: 13602.
35. Rajabi, A., M. Ajorlo and M. Dehghani. 2020. Site Suitability Analysis for Rangeland Improvement and Development Practices (A Case Study in the Rangelands of Ghayen Plain, Iran). *Geography and Development*, 18(60): 117-136. doi: 10.22111/gdij.2020.5652 (In Farsi)
36. Rahimi, I., M. Seyedian, H. Rouhani, R. Ahmadi. 2019. Check dam suitable locations for erosion control using hierarchical analysis process. *Environmental Erosion Researches*, 9(1): 1-26 (in Farsi)
37. Rigi Kote, M. R. 2013. Choosing the best method of range improvement using multi-criteria analysis techniques of network analysis (ANP) and hierarchical analysis (AHP). Master thesis, Shahrkord University of Technology, Shahrkord, I.R. Iran (in Farsi).

38. Saaty, T. L. 1980. The Analytical Hierarchy Process, Mathy Modelling, Mc-Graw Hill, New York, 9(3-5): 161-176.
39. Saeidi, H. R., A. Najafi. 2011. of analytic network process (ANP) to determine priority of livestock movement out of forest and forest settlers reorganization (case study: Babakouh district; Guilan). *Iranian Journal of Forest*, 2(4): 309-321 (in Farsi)
40. Salahi, B. and R., Hemmati. 2013. Spatial estimation of temperature and precipitation in Ardabil province. Study Plan of Ardabil Governorate, Ardabil Azad University, Ardabil (in Farsi).
41. Shafabakhsh, Gh., H. Alizadeh, and M. Akbari. 2012. Identifying and prioritizing Hot Spots Using an Analytical Network Process (Case Study of Seven Horizontal Curves of Haraaz Route) (Mazandaran Province). *Traffic Management Studies*, 7(24): 1-18 (in Farsi).
42. Ying, X., G. M. Zeng, G. Q. Chen, L. Tang, K. L. Wang and D. Y. Huang. 2007. Combining AHP with GIS in Synthetic Evaluation of Eco-Environment Quality-A Case Study of Hunan Province, China. *Ecological Modelling*. 209(2-4): 97-109.
43. Zare Bidaki, R., B. Moradi and H. Bahrami. 2021. Locating susceptible areas for short earth fill dams (Case study: Beheshtabad Watershed). *Ecosystem Management*, 1(1): 37-48 (in Farsi).
44. Zhang, H., Sh. Zhenfeng, S. Jisong, H. Xiao and J. Yang. 2022. An Extended Watershed-Based AHP Model for Flood Hazard Estimation: Constraining Runoff Converging Indicators via MFD-Derived Sub-Watershed by Maximum Zonal Statistical Method. *Remote Sensing*, 14(10): 2465.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 27, No. 4, Winter 2024, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Locating of Watershed Management Operations with MCDM Approach and AHP and ANP Methods (Case Study: Saqezchi-Chay Watershed in Ardabil Province)

R. Dabiri[1*], H. Abghari[1], and A. Ghorbani[2]

(Received: May 21-2023 ; Accepted: November 7-2023)

Abstract

Management of watersheds and sustainable development today requires the most suitable and fastest method of obtaining and integrating information for optimal management and planning. One of the challenges of watershed management in the stage of planning and implementation of remedial and rehabilitation operations is choosing the appropriate and correct location; to have the necessary maximum efficiency and effectiveness, due to the high cost of mechanical operations and the lack of financial resources, select the right place to construct mechanical corrective dams has particular importance. Therefore, the objective of this research was to locate mechanical watershed management operations with a multi-criteria approach using AHP and ANP decision methods and compare the two methods in the geographic information system environment at the Saqezchi-Chay watershed. The research criteria and sub-criteria of 14 variables included soil (depth and texture), climate (type and precipitation amount), land use and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), hydrological factors and soil protection (flow accumulation, sedimentation rate, and curve number), topography (elevation and slope) and economic and social (distance from the village, from loan sources and the road). Expert judgments for weighting were collected through a questionnaire and in a field method with a statistical population of 29 experts and university professors. The results of this research showed that the ANP method had a significant correlation with the AHP method at the level of 95% and with an intensity of 0.839 and by comparing the prioritization of the two methods with Masonry Check Dams structures implemented in the Saqezchi-Chay watershed, it was determined that the ANP method prioritizes with more accuracy and resolution due to its network nature and increasing the range of changes.

Keywords: Spatial evaluation, Prioritization, MCDM, Watershed management

1. Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran.
2. Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
*: Corresponding author, Email: Dabiri.watershed@gmail.com