مکان‌یابی عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی در عرصه‌های طبیعی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز نازلو چای، ارومیه)

مرتضی مفیدی چلان، حبیب نظرنژاد[1] و الهام محرم‌پور

استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.**mofidi.morteza@gmail.com**

دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.**h.nazarnejad@urmia.ac.ir**

کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.**el.moharampour@yahoo.com**

دریافت: تیر ۱۴۰۰ و پذیرش: آذر ۱۴۰۰

چکیده

شناسایی محل‌های مناسب برای عملیات ذخیره نزولات آسمانی، گامی مهم در راستای تأمین آب در حوزه‌های آبخیز است. این تحقیق باهدف شناسایی عوامل تأثیرگذار بر نفوذ و ذخیره‌ی آب باران برای شناسایی محل‌های مناسب برای استفاده از روش‌های ذخیره نزولات آسمانی در حوزه آبخیز نازلو چای ارومیه انجام شد. برای انجام تحقیق؛ ابتدا معیارهای شیب، مقدار بارندگی، کاربری اراضی، بافت و عمق خاک به‌عنوان عوامل تأثیرگذار بر ذخیره‌ی آب باران مشخص‌شده و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی وزن معیارهای انتخاب‌شده برای هر کدام از عملیات اصلاحی به دست آمد. سپس با استفاده از مدل تاپسیس، زیرحوزه‌ها نسبت به اجرای عملیات اصلاحی پیتینگ، بانکت، تراس‌بندی و کنتورفارو اولویت‌بندی شدند. نتایج نشان داد اجرای عملیات پیتینگ در حوزه موردمطالعه از اولویت بالاتری برخوردار است، به‌طوری‌که آماره حاصل از مدل تاپسیس برای عملیات اصلاحی پیتینگ در زیرحوزه‌های یک تا هفت به ترتیب ۰/۹۴، ۰/۲۸، ۰/۲۰، ۰/۳۱، ۰/۰۸، ۰/۰۲، ۰/۰۱ به دست آمد که نشان داد، زیر حوزه‌ی شماره ۱ برای اجرای عملیات اصلاحی پیتینگ نسبت به سایر زیرحوزه‌ها از اولویت بالاتری برخوردار است. همچنین برای عملیات اصلاحی بانکت‌بندی، تراس‌بندی و کنتورفارو، اولویت-بندی زیرحوزه‌ها به ترتیب شامل زیر حوزه‌های سه، دو و چهار به دست آمد. با توجه به این‌که اجرای روش‌های جمع‌آوری آب باران به دلیل پرهزینه بودن و عدم توجیه اقتصادی در اولویت قرار ندارند، اجرای عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی با توجه کم‌هزینه بودن و اهداف چندمنظوره آن می‌تواند بهترین گزینه برای جمع‌آوری آب باران در حوزه آبخیز نازلو چای باشد. همچنین معیارها و مدل تلفیقی AHP- TOPSIS به کار گرفته‌شده در این تحقیق می‌تواند در خصوص انتخاب عملیات اصلاحی مناسب برای جمع‌آوری آب باران در حوزه‌های آبخیز برای بخش اجرایی کشور راهگشا باشد.

واژه‌های کلیدی: پیتینگ؛ بانکت بندی؛ شیب؛ کنتورفارو؛ مدل تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس

[1] -آدرس نویسنده مسئول: گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

مقدمه

کشور ایران به علت قرار گرفتن بر روی کمربند مناطق خشک جهان همواره با پدیده خشکی و کمبود بارش در مناطق وسیعی مواجه است. میانگین بلندمدت بارندگی سالیانه آن در حدود ۲۳۵ میلی‌متر است (سازمان هواشناسی کشور؛ ۱۳۹۹) که این مقدار بارش کم‌تر از یک‌سوم متوسط بارندگی سالیانه جهان است (جعفری و همکاران، ۱۳۹۴). از طرفی توزیع بارندگی در کشور از نظر زمانی و مکانی یکنواخت نبوده ازاین‌رو بیش‌تر نقاط کشور همواره با مشکل فرسایش و کم‌آبی مواجه است. اصولاً الگوی بارش در مناطق خشک به‌گونه‌ای است که در زمانی کوتاه رگبارها با شدت زیاد می‌بارد و این موضوع باعث ایجاد رواناب در سطح حوزه شده که علاوه بر حمل خاک سطحی با ارزش، فرصت نفوذ آب در خاک نیز از دست می‌رود (دهداری و همکاران، ۱۳۹۷). در حال حاضر؛ رشد جمعیت و افزایش نیاز به مواد غذایی، تخریب منابع آب، خاک و نابسامانی محیط‌زیست را سبب شده است بنابراین حفاظت خاک، تأمین آب و بهره‌وری بهینه از این عنصر حیاتی، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است.

مهار و بهره‌برداری بهینه از آب کلید حل مسئله کم‌آبی محسوب می‌شود (معتمدی و شیدای کرکج، ۱۳۹۷). حتی اگر متوسط بارندگی منطقه بالا باشد، در مناطق کوهستانی و پرشیب به‌دلیل پاسخ سریع دامنه‌ها به بارش و جاری شدن رواناب و کم بودن عمق خاک، مقدار قابل‌توجهی از آبی که حوزه دریافت می‌کند از دسترس خارج می‌شود در نتیجه توانایی مدیریت صحیح رواناب در این مناطق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (دورگا و همکاران، ۲۰۰۳؛ میبلینی و همکاران، ۲۰۰۷)؛ بنابراین رواناب حاصل از رگبارها در یک حوزه آبخیز، یک منبع بالقوه آب است که در صورت مدیریت صحیح، می‌تواند به‌عنوان یک مکمل برای رفع نیازهای آبی استفاده شود (واینار و همکاران، ۲۰۰۷). در این خصوص اویس و هاشم، (۲۰۰۶) به‌منظور مکان‌یابی جمع‌آوری آب در سیستم‌های کشاورزی در غرب آسیا و شمال آفریقا در محیط GIS از لایه‌های اطلاعاتی عمق خاک، بافت خاک، بارندگی و پوشش گیاهی استفاده کرده و گزارش دادند که لایه عمق خاک و بارندگی دارای اهمیت بالایی هستند. راماکریشنا و همکاران، (۲۰۰۹) گزارش دادند معیار نفوذپذیری به‌عنوان مهم‌ترین عامل در افزایش ذخیره سازی آب است. در خصوص مکان‌یابی و اولویت‌بندی عملیات اصلاحی جمع‌آوری آب باران در حوزه‌های آبخیز آلادنولا و ادبوی (۲۰۱۰) در شمال اردن با تکنیک GIS و سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره، مناطق مناسب جهت ساخت گوراب‌ها را شناسایی کردند. در این راستا پراسادو همکاران (۲۰۱۴) در حوزه آبخیز پیسانگان هند در آنالیز تناسب سایت برای احداث سازه‌های جمع‌آوری آب، با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیارِ در محیط GIS گزارش دادند، معیار شیب تأثیر بیش‌تری نسبت به سایر معیارها دارد. همچنین آلبالاونه و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبیAHP به انتخاب مکان مناسب برای اجرای تراس‌بندی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد فیزیوگرافی مهم‌ترین معیار برای پیاده‌سازی عملیات اصلاحی تراس‌بندی است. نظریان و همکاران (۱۳۹۴) برای مکان‌یابی عرصه‌های مستعد جمع‌آوری آب باران، از پارامترهای بارش، بافت خاک، شیب و کاربری اراضی در حوزه آبخیز آق امام استان گلستان استفاده کرده و گزارش دادند که عرصه‌های مناسب برای جمع‌آوری باران در هر زیر حوزه دارای توزیع مکانی یکنواختی نیست و شیب بیش‌ترین تأثیر را در مکان‌یابی عرصه‌های مستعد جمع-آوری باران دارد. در امر مدیریت رواناب‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک، چنانچه عرصه‌های ذخیره بارش و روش ذخیره‌سازی صحیح انتخاب شوند، تأثیر بسزایی بر کمیت و کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی خواهند داشت. حال آن‌که عدم انتخاب صحیح و علمی می‌تواند منجر به‌صرف هزینه‌های گزاف و نهایتاً سود کم این پروژه‌ها شود.

بسیاری از بهره‌برداران و مصرف‌کنندگان آب در سرتاسر جهان پتانسیل برداشت از آب باران را به‌منظور افزایش بهره‌وری بیش‌تر از آب حائز اهمیت می‌دانند (قضاوی و همکاران، ۲۰۱۵). ال‌عبادی و همکاران (۲۰۱۷) از پنج معیار گروه‌های هیدرولوژیک، پوشش گیاهی، عمق رواناب سطحی، شیب و فاصله از رودخانه برای مکان‌یابی مناطق مستعد ذخیره باران استفاده کردند و گزارش دادند معیار عمق رواناب بیش‌ترین تأثیر را دارد. همچنین راجاسخار و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از پارامترهای ژئومورفولوژی، سطح آب‌های زیرزمینی، بافت خاک، تراکم زهکشی، شیب، کاربری اراضی به تعیین مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی در منطقه نیمه‌خشک حوزه جیلدوباندرو[2] با استفاده از روش‌های AHP و فازی AHP پرداختند و یافته‌های آن‌ها نشان داد پارامتر ژئومورفولوژی بیش‌ترین تأثیر را در ذخیره آب باران دارد. در این راستا شاد و همکاران (۲۰۲۰) از بین پارامترهای کاربری اراضی، بافت خاک، تراکم زهکشی، شیب، بارندگی، منحنی CN و تبخیر و تعرق، برای شناسایی مکان‌های مناسب جمع‌آوری آب باران برای کشاورزی پایدار استفاده کردند و گزارش دادند پارامتر بارندگی بیش‌ترین تأثیر را در مکان‌یابی مناطق ذخیره آب باران دارد.

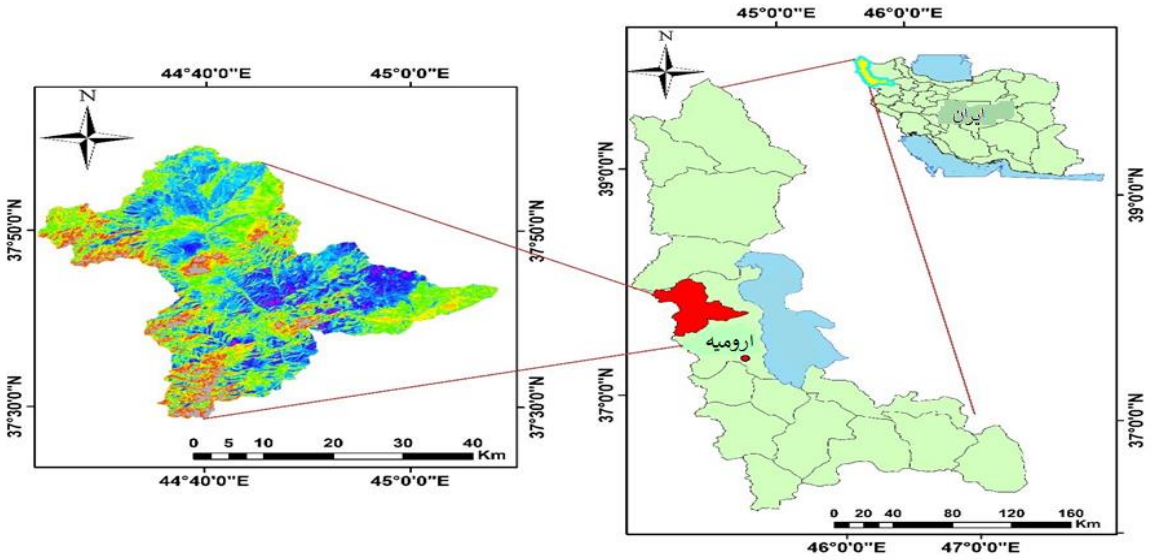
حوزه نازلو چای ارومیه در منطقه نیمه‌خشک قرارگرفته و از مشخصات اقلیمی این حوزه کمبود میزان بارش، توزیع نامناسب فصلی بارش، بالا بودن میزان تبخیر منطقه (حدود ۷۰٪ بارش به‌صورت تبخیر از دسترس خارج می‌شود) و همچنین وقوع بارش‌هایی با شدت بالا است که باعث ایجاد سیل‌های مخرب و هدر رفت خاک و آب می‌شود. از طرفی با توجه به خشک‌سالی سال‌های اخیر در سطح کشور و چالش خشکی دریاچه ارومیه در استان آذربایجان غربی و برداشت بی‌رویه آب در منطقه بخصوص در بخش کشاورزی جمع‌آوری و نفوذ آب باران می‌تواند کمک شایانی به تغذیه آب‌های زیرزمینی در این حوزه نماید به‌طوری‌که احداث سیستم‌های استحصال و ذخیره آب در این حوزه ضروری به نظر می‌رسد نماید. لذا این پژوهش با هدف اولویت‌بندی زیر حوزه‌های نازلو چای ارومیه برای جمع‌آوری آب باران و پیشنهاد عملیات اصلاحی مناسب برای ذخیره آب باران با توجه به ویژگی-های منطقه انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

حوزه آبخیز نازلو چای در استان آذربایجان غربی و در غرب دریاچه ارومیه، در شمال غربی شهرستان ارومیه در محدوده ″۲۴ °۴۴ تا ″۵۳ °۴۵ طول شرقی و ″۳۰ °۳۷ تا ″۵۸ °۳۷ عرض شمالی واقع‌شده است. این حوزه یکی از زیر حوزه‌های دریاچه ارومیه به شمار می‌آید و با کشور ترکیه دارای مرز مشترک بوده و مساحت کل آن ۱۵۲۲۶۷ هکتار است. ارتفاع متوسط اراضی ۱۴۲۰ متر از سطح دریای آزاد و بارندگی متوسط سالانه حوزه در بازه زمانی (۱۳۷۰-۱۳۹۱) ۳۰۰ میلی‌متر است (شکل ۱). این حوزه در منطقه نیمه‌خشک قرارگرفته و از مشخصات اصلی این اقلیم کمبود میزان بارش، توزیع نامناسب فصلی بارش، بالا بودن میزان تبخیر منطقه (حدود ۷۰٪ بارش به‌صورت تبخیر از دسترس خارج می‌شود) و همچنین وقوع بارش‌هایی با شدت بالا است که باعث ایجاد سیل-های مخرب و هدر رفت خاک و آب می‌شود. به‌طوری‌که نیاز به احداث سیستم‌های استحصال آب و روش‌های ذخیره نزولات آسمانی جهت مقابله و تعدیل مشکلات فوق ضروری به نظر می‌رسد (نظریان و همکاران، ۱۳۹۴).

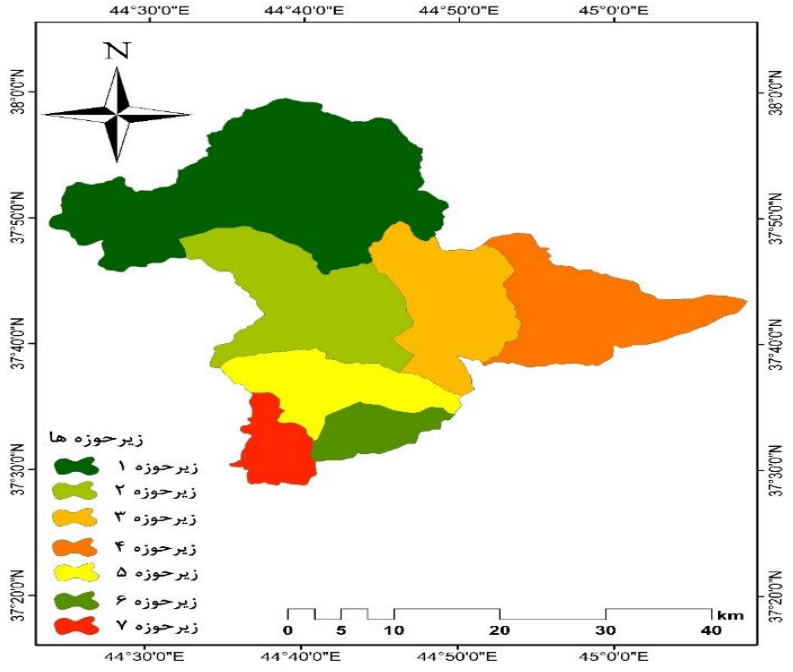
[2]- Jilledubanderu



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز نازلو چای در استان آذربایجان غربی

زیرحوزه‌های نازلو چای

مرز زیرحوزه‌ها در حوزه نازلو چای با استفاده از الحاقیه Arc Hydro بسته‌شده است که نقشه زیرحوزه-ها در شکل (۲) ارائه‌شده است.



شکل ۲- زیر حوزه‌های موردمطالعه در حوزه آبخیز نازلوچای ارومیه

انجام تحقیق

۱- مطالعات کتابخانه‌ای و جمع‌آوری آمار و اطلاعات موردنیاز

۲- شناسایی و انتخاب عملیات اصلاحی ذخیره آب و پارامترهای مناسب در مکان‌یابی مناطق مستعد ذخیره نزولات آسمانی در منطقه

۳- تهیه پرسشنامه برای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی جهت تعیین وزن معیارهای مهم مکان‌یابی عملیات ذخیره نزولات آسمانی

۴-تکمیل پرسشنامه‌های تهیه‌شده توسط ۳۰ نفر (شامل اعضای هیئت‌علمی و کارشناسان متخصص اجرایی با مدرک کارشناسی ارشد و بالاتر و خبرگان محلی) به‌منظور مقایسه زوجی معیارهای اصلی

۵- تعیین وزن نسبی و نهایی معیارها در محیط نرم‌افزار Expert Choice (با توجه به نرخ سازگاری) و اولویت‌بندی عملیات اصلاحی با استفاده از مدل تاپسیس

روش‌های ذخیره نزولات آسمانی

با توجه به شرایط اقلیمی و توپوگرافی منطقه، چهار نوع عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی؛ شامل پیتینگ، بانکت‌بندی، تراس‌بندی و کنتورفارو برای بررسی و مکان‌یابی در نظر گرفته شد. با توجه به پیشینه تحقیق و مطالعات صورت گرفته توسط محققین داخلی و خارجی ذکرشده در مقدمه، در زمینه جمع‌آوری آب باران پارامترهای بارندگی، بافت خاک، عمق خاک، شیب زمین و کاربری اراضی به‌عنوان معیارهای تأثیرگذار در شناسایی بهترین منطقه برای عملیات اصلاحی در نظر گرفته شدند. در مناطقی که شیب زمین در آن‌ها کم‌تر از پنج درصد باشد، به‌علت پایین آمدن ضریب رواناب و مشکل انتقال رواناب ناشی از بارندگی، روش‌هایی توصیه می‌شود که نیاز به سیستم انتقال نداشته و آب در محل بارش جمع-آوری شود (نگهداری آب در محل) از این روش‌ها می-توان به شخم عمیق برای کشت دیم محصولات زراعی و روش چاله‌های کوچک برای افزایش پوشش گیاهی مراتع (پیتینگ) استفاده کرد. پیتینگ عبارت از ایجاد چاله‌های کوچک در خاک به‌منظور افزایش نفوذپذیری آب و ذخیره بارش در داخل چاله‌ها و خاک اطراف آن و جلوگیری از جریان سطحی آب‌های حاصل از بارندگی که به افزایش رطوبت قابل‌استفاده گیاهان و افزایش تولید علوفه می‌شود. پیتینگ نقش مؤثری در اصلاح سطوح سله بسته و خاک‌های کوبیده شده مراتع دارد. این روش برای احیای اراضی تخریب‌شده بسیار مناسب است. برای اجرای پیتینگ منطقه موردنظر باید داری باران‌های سیل‌آسا و رواناب کافی بوده و بارندگی سالانه هم بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر باشد. این عملیات در اراضی با شیب کم و ملایم تا تپه‌ماهورهای کم ارتفاع (اراضی دارای ناهمواری‌های زیاد و نامنظم) با شیب سه تا پنج درصد قابل انجام است. پیتینگ به‌طور معمول در خاک‌های رسی، رسی شنی، لومی و آهکی که نفوذپذیری خاک کم است اجرا می‌شود (باباخانلو و احمدی، ۱۳۸۷؛ آذرنیوند و زارع چاهوکی، ۱۳۸۷) (شکل ۳).

کنتورفارو، به ایجاد نهر یا فارو بر روی مراتع شیب‌دار و تخریب‌شده به‌منظور کنترل فرسایش و افزایش نفوذپذیری آب در خاک اطلاق می‌گردد. عملیات کنتورفارو در شیب‌های ملایم (۱۲-۸) موفق‌تر است، اما تا شیب حداکثر ۲۰ درصد نیز نتایج مطلوبی به بار می‌آورد. احداث کنتورفارو در مناطقی با خاک کم‌عمق (کمتر از ۳۰ سانتی‌متر) و غیر حاصلخیز و فاقد استعداد طبیعی بالا، در افزایش تولید علوفه و پوشش گیاهی نتیجه‌بخش نخواهد بود. در خاک‌های شنی و سنگ‌ریزه دار و نیز خاک‌های فشرده خیلی رسی و رسی آهکی خیلی سنگین نباید اقدام به ایجاد فارو نمود، مگر اینکه ایجاد شیار تنها به‌منظور کنترل هرز آب‌های شدید انجام‌گرفته باشد. همچنین، در اراضی شدیداً ناهموار و سنگلاخی که قرار دادن کامل شیارها بر روی خطوط تراز تا انتهای مسیر، تقریباً غیرممکن است و نیز در مناطقی که در خطر فرسایش توده‌ای خاک وجود دارد، نباید عملیات کنتورفارو اعمال گردد. به‌طورکلی، احداث کنتورفارو بهترین نتیجه را در خاک‌هایی با بافت متوسط تا نسبتاً سنگین و با سطح کوبیده شده و یا خاک‌هایی با یک‌لایه کم‌عمق رسی، خواهد داشت. (باباخانلو و احمدی، ۱۳۸۷؛ آذرنیوند و زارع چاهوکی، ۱۳۸۷؛ رفاهی، ۱۳۹۴) (شکل ۳).

شکل ۳- جمع‌آوری آب باران با استفاده از روش پیتینگ (نیمه پایین تصویر) و کنتورفارو (نیمه بالای تصویر) در مراتع

تراس‌بندی در حفاظت خاک به عملیاتی اطلاق می‌شود که در آن درجه شیب با انجام خاک‌برداری تغییر کرده و زمین حالت پلکانی پیداکرده و سکوهای خاکی عمود بر جهت شیب ایجادشده و زمین شیب‌دار به حالت پله‌پله تبدیل می‌شود تراس‌های سکویی به‌منظور کاهش شیب دامنه و به‌منظور سدکردن مسیر رواناب و در نتیجه جلوگیری از فرسایش خاک احداث می‌شوند. در این روش، منطقه شیب‌دار به چند پله تقسیم‌شده که باعث ایجاد مناطق مسطحی می‌شود که می‌توان به کار کشاورزی اختصاص داد. در حقیقت با این عمل یک شیب فرسایش‌پذیر به اراضی مزروعی تبدیل می‌شود؛ اما باید توجه داشت که احداث تراس‌ها بسیار پرهزینه است و زمانی استفاده می‌شوند که یا زمین بهتری برای کشاورزی در دسترس نباشد و یا آنکه بهره‌وری زمین موردنظر با انجام تراس‌بندی ارتقا یابد. برای اجرای تراس‌بندی؛ باید منطقه دارای شیب ۶ تا ۳۳ درصد باشد و دارای بارندگی سالانه بیش از ۴۰۰ میلی‌متر با شدت بارندگی بالا باشد و تراس‌بندی به‌عنوان تنها راه حل ممکن برای کنترل فرسایش در نظر گرفته شود. خاک محل باید عمیق باشد و بیرون‌زدگی سنگی در آن وجود نداشته باشد. خاک محل از نظر بافت و ساختمان مناسب بوده و معمولاً بافت لومی رسی مناسب‌تر است. محل موردنظر بالقوه مستعد لغزش نباشد و منطقه موردنظر شیب یکنواختی داشته باشد (منوری و صفاری، ۱۳۸۸؛ علمی و همکاران، ۱۳۹۲) (شکل ۴).

شکل ۴- جمع‌آوری آب باران با سیستم تراس‌بندی روی خطوط تراز و توسعه باغات دیم

بانکت‌بندی یکی از روش‌های متداول آبخیزداری است که با حفر شیارها و کانال‌هایی به‌منظور کاهش شیب دامنه با اهدافی چون کنترل فرسایش، کنترل رواناب، افزایش رطوبت نسبی، ایجاد بستر رشد گیاه ایجاد می‌شود. این عملیات بیشتر در اراضی جنگلی و مرتعی و درشیب‌های ۷۰-۲۰ درصد (بسته به نوع بانکت) در امتداد خطوط تراز با فاصله ۱۰-۵ متر از یکدیگر ایجاد می‌شوند. برای ایجاد بانکت باید منطقه دارای بارندگی‌های شدید و رواناب کافی باشد بانکت‌ها بایستی بر روی خطوط تراز احداث گردند و در اراضی که عمق خاک آن‌ها کمتر از ۴۵ سانتی‌متر باشد، قابل‌اجرا نیستند. همچنین بانکت ها نبایستی آبراهه‌های بزرگ را که عمق آن‌ها بیش از ۶۰ سانتی‌متر است، قطع نمایند. بانکت‌بندی نباید موجب ظاهر شدن سنگ‌بستر شود. همچنین در خاک‌های فشرده و رسی که قابلیت نفوذ اندکی دارند نباید به ایجاد بانکت اقدام کرد. فاصله بانکت ها از هم نیز بستگی به شیب دامنه، نفوذپذیری خاک، تاج پوشش گیاهی و شدت و تکرار بارندگی دارد. (باباخانلو و احمدی، ۱۳۸۷؛ اسمعیلی و عبداللهی، ۱۳۹۰) (شکل ۵).

شکل ۵- اجرای عملیات بانکت بندی برای جمع‌آوری آب باران در عرصه‌های مرتعی

معیارهای اصلی جهت مکان‌یابی مناطق مستعد برای جمع-آوری آب باران

بارندگی

مقدار بارندگی یکی از مهم‌ترین معیارها جهت مکان‌یابی مناطق مستعد برای عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی است. برای تهیه نقشه بارندگی ۲۴ ساعته از داده‌های شش ایستگاه (چهار ایستگاه در داخل حوزه و دو ایستگاه در خارج از حوزه) استفاده شد. با داشتن بارش متوسط در دوره آماری ۲۱ ساله (۱۳۹۱-۱۳۷۰) و معادله خطی بین ارتفاع زیرحوزه‌ها و متوسط مقدار بارندگی در هر زیرحوزه، نقشه بارندگی حوزه تهیه شد.

جدول ۱ - مشخصات ایستگاه‌های مورداستفاده برای تهیه نقشه بارندگی حوزه آبخیز نازلو چای

ایستگاه	مشخصات جغرافیایی		
	طول	عرض	ارتفاع
تپیک	۴۴° ۹۰′	۳۷° ۶۶′	۱۴۱۰
مرز سرو	۴۴° ۶۳′	۳۷° ۷۱′	۱۶۵۰
گچی	۴۴° ۷۱′	۳۷° ۸۱′	۱۹۱۹
قره‌باغ	۴۵° ۰۶′	۳۸° ۰۶′	۱۴۹۵
چهریق علیا	۴۴° ۶۰′	۳۸° ۰۸′	۱۶۵۵
آباجالو سفلی	۴۵° ۱۳′	۳۷° ۷۱′	۱۲۹۰

بافت خاک

بهترین بافت خاک برای جمع‌آوری آب باران بافت خاکی است که بتواند حداکثر آب را در ناحیه ریشه (منطقه هدف) ذخیره سازد (اویس، ۲۰۰۴). خاک‌هایی که سرعت نفوذ آب در آن‌ها بالا است، مانند خاک‌های شنی و درشت‌دانه برای اجرای سیستم‌های جمع‌آوری آب باران مناسب نمی‌باشند. در این مطالعه از نقشه‌های بافت خاک تهیه‌شده توسط اداره کل منابع طبیعی استان آذربایجان غربی استفاده شد (گزارش مطالعات تفضیلی خاکشناسی و ارزیابی قابلیت اراضی حوزه آبخیز نازلو چای ارومیه. ۱۳۹۵).

عمق خاک

به‌منظور لحاظ کردن تأثیرگذاری سطوح مختلف عمق خاک در مکان‌یابی مناطق مستعد عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی، ابتدا عمق خاک منطقه موردمطالعه در شش طبقه تقسیم شد و به هر طبقه وزن خاصی داده شد. محدوده خاک رخنمون کمتر از ۱۰ سانتی‌متر، کم‌عمق ۲۵-۱۰ سانتی‌متر، خاک کم‌عمق تا متوسط ۵۰-۲۵ سانتی‌متر، خاک با عمق متوسط ۸۰-۵۰ سانتی‌متر، متوسط تا عمیق ۱۲۰-۸۰ سانتی‌متر و عمیق بالاتر از ۱۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در این مطالعه از نقشه عمق خاک تهیه‌شده توسط اداره کل منابع‌طبیعی استان آذربایجان‌غربی استفاده شد (گزارش مطالعات تفضیلی خاکشناسی و ارزیابی قابلیت اراضی حوزه آبخیز نازلو چای ارومیه. ۱۳۹۵).

کاربری اراضی

مناطق مستعد عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی در حوزه، مناطقی با کاربری دیم، مرتع، اراضی توده سنگی و زراعت آبی در نظر گرفته شد. اراضی دیم بهترین کاربری برای اجرای این روش است زیرا این اراضی از نظر کشت محصولات در موقعیت بهتری (خاک مناسب، حاصلخیزی قابل‌قبول) نسبت به سایر اراضی (اراضی کشت نشده) قرار داشتند، بنابراین بیش‌ترین وزن را به خود اختصاص می‌دهد. مرتع در اولویت بعدی قرار دارد. با توجه به تکمیل فرم تعیین وضعیت مرتع و مشاهدات میدانی، وضعیت مراتع، متوسط تا فقیر بوده و درصد پوشش گیاهی پایینی دارد، در نتیجه ضریب رواناب در این اراضی متراکم، بالاتر است و با توجه به تولید کم در این مناطق اجرای روش‌های جمع‌آوری آب باران تأثیر بیش‌تری در افزایش تولید دارد، در نتیجه مراتع وزن بیش‌تری دریافت می‌کنند. به‌منظور تهیه نقشه کاربری، تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به ۱۹ جولای سال ۲۰۱۷ (فصل رویش گیاهان) انتخاب و از سایت USGS دانلود شد. نقشه کاربری اراضی، پس از انجام تصحیح هندسی، به‌روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و ترکیب باندی ۷۴۲ با استفاده از نرم‌افزارENVI 4.7 در چهار طبقه (زراعت آبی، زراعت دیم، مرتع و اراضی با پوشش کم یا برون‌زدگی سنگی) و با دقت ضریب کاپا ۸۵ درصد تهیه گردید.

شیب

شیب زمین در مکان‌یابی و اجرای عملیات ذخیره نزولات آسمانی مهم است. مناسب‌ترین شیب برای اجرای این روش‌ها شیب ۱۰-۵ درصد است (متی و همکاران، ۲۰۰۶). در شیب‌های کم‌تر از این مقدار، ضریب رواناب به‌شدت کاهش می‌یابد در نتیجه نمی‌توان آب موردنیاز گیاه را از سطح آبگیر جمع‌آوری نمود. در شیب-های پایین‌تر از ۵ درصد روش جمع‌آوری آب باران که نیاز به سیستم انتقال ندارند، مانند سیستم نگهداری آب در محل توصیه می‌شود. در شیب‌های بالاتر نیز به‌علت توزیع نامناسب رواناب و هزینه‌دار بودن اجرای این روش‌ها همچنین به علت احتمال وارد شدن صدمه به سازه‌های سیستم جمع‌آوری آب باران اجرای این روش‌ها کم‌تر توصیه می‌شود. در شیب‌های بالاتر از ۶۰ درصد هم به‌دلیل نبود خاک سطحی مناسب و هزینه بالا، اجرای این

روش‌ها توصیه نمی‌شود. جهت تهیه نقشه شیب از نقشه DEM ۳۰ متری استفاده گردید.

تعیین وزن معیارها و اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها نسبت به عملیات اصلاحی با مدل Topsis

برای تعیین اهمیت هریک از معیارها از روش AHP استفاده شد. وزن دهی به کمک مقایسه زوجی و تکمیل پرسشنامه‌ها توسط ۳۰ کارشناس انجام شد. سپس بر اساس نظرات کارشناسان، وزن دهی معیارها به کمک نرم‌افزار Expert Choice انجام شد. پس از وزن دهی، میزان ناسازگاری وزن‌ها موردبررسی قرار گرفت. باید توجه داشت که میزان ناسازگاری در روش AHP تا حد امکان باید از صفر تا یک‌دهم تغییرات داشته باشد. سپس در نهایت با استفاده از مدل TOPSIS اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها نسبت به انواع عملیات اصلاحی جمع‌آوری آب باران صورت گرفت. در این روش، ماتریس n×m که دارای m گزینه و n معیار است مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این تکنیک بر این مفهوم بناشده است که گزینه انتخابی باید کم‌ترین فاصله را با ایده آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیش‌ترین فاصله را با ایده آل منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد. به‌طورکلی اجرای این روش شامل شش مرحله است (هوانگ و یون، ۱۹۸۱).

تشکیل ماتریس داده‌ها: در این مرحله با توجه به تعداد گزینه‌ها و شاخص‌ها ماتریس داده‌ها بر اساس m گزینه و n معیار تشکیل می‌شود.

$$A_{ij}=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (۱)$$

تشکیل ماتریس داده‌های هم مقیاس: در این مرحله ماتریس داده‌ها با کمک روش نرم اقلیدسی به یک ماتریس بی مقیاس تبدیل می‌شود.

$$R_{ij}=\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad r_{ij}=\frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{m} a_{kj}^2}} \quad (۲)$$

تشکیل ماتریس هم مقیاس موزون: در این مرحله وزن‌های به‌دست‌آمده در مراحل قبل در هرکدام از شاخص‌ها ضرب می‌گردد.

$$V_{ij}=\begin{bmatrix} w_1r_{11} & w_2r_{12} & \dots & w_nr_{1n} \\ w_1r_{21} & w_2r_{22} & \dots & w_nr_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ w_1r_{m1} & w_2r_{m2} & \dots & w_nr_{mn} \end{bmatrix} \quad (۳)$$

تعیین راه‌حل ایده آل مثبت و راه‌حل ایده آل منفی

$$A^{+}=\{(\max_i v_{ij} \mid j\in J),(\min_i v_{ij} \mid j\in J)\} \quad (۴)$$

$$A^{+}=\{v_1^{+},v_2^{+},\dots v_n^{+}\} \quad (۵)$$

$$A^{-}=\{(\min_i v_{ij} \mid j\in J_b),(\max_i v_{ij} \mid j\in J_C)\} \quad (۶)$$

$$A^{-}=\{v_1^{-},v_2^{-},\dots v_n^{-}\} \quad (۷)$$

تعیین فاصله به ازای راه‌حل ایده‌آل مثبت و راه‌حل ایده‌آل منفی: در این مرحله با استفاده از نرم اقلیدسی فاصله به ازای راه‌حل ایده آل مثبت و گزینه منفی و همین مقدار به ازای راه‌حل ایده آل منفی و گزینه مثبت به‌صورت زیر به دست می‌آید.

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}(v_{ij} - v_j^-)^2}$$

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}(v_{ij} - v_j^+)^2} \qquad (۸)$$

نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل: نزدیکی نسبی هرکدام از گزینه‌ها به راه‌حل ایده آل به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \qquad (۹)$$

رتبه‌بندی گزینه‌ها: در این مرحله رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس ترتیب نزولی نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده آل صورت می‌گیرد.

نتایج

جدول (۲) وزن معیارهای اصلی حاصل از نتایج مدل تحلیل سلسله مراتبی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج جدول، برای عملیات اصلاحی پیتینگ، تراس، کنتورفارو و بانکت‌بندی به ترتیب معیارهای شیب، بارندگی، شیب، بیش‌ترین امتیاز را به خود اختصاص دادند و با توجه به نظرات کارشناسان، متخصصان منابع طبیعی و خبرگان محلی برای اجرای عملیات اصلاحی تأثیر معیار شیب بیش‌تر مدنظر بوده است.

جدول ۲- وزن نسبی معیارهای اصلی جهت مکان‌یابی عملیات ذخیره نزولات آسمانی برحسب درصد

معیارهای اصلی / عملیات اصلاحی	بارندگی	کاربری اراضی	بافت خاک	عمق خاک	شیب
پیتینگ	۱۹/۷	۱۸/۳	۱۴/۸	۸/۲	۳۹
تراس	۳۰/۶	۱۷/۷	۱۵/۱	۱۰/۲	۲۶/۳
کنتورفارو	۲۷/۲	۱۵/۳	۷/۵	۱۴/۴	۳۱/۶
بانکت‌بندی	۲۲/۷	۱۹/۶	۱۵/۴	۱۴/۲	۲۸/۲

در جدول ۳ نتایج اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها برای عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی با استفاده از مدل تلفیقی AHP- TOPSIS آمده است. با توجه به نتایج جدول (۲)، برای عملیات اصلاحی پیتینگ، تراس، کنتورفارو و بانکت‌بندی به ترتیب زیر حوزه‌های شماره یک، دو، چهار و سه از اولویت بالاتری برخوردار هستند.

جدول ۳- اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها برای عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی

عملیات اصلاحی	زیرحوزه‌های مورد بررسی						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
بانکت بندی	۰/۱۶	۰/۲۳	۰/۸۹	۰/۲۸	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۱
رتبه	۴	۳	۱	۲	۵	۶	۷
تراس‌بندی	۰/۲۵	۰/۹۴	۰/۱۹	۰/۲۶	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۱
رتبه	۳	۱	۴	۲	۵	۶	۷
پتینگ	۰/۹۴	۰/۲۸	۰/۲۰	۰/۳۱	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۱
رتبه	۱	۳	۴	۲	۵	۶	۷
کنتورفارو	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۲۲	۰/۷۸	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۱۰
رتبه	۳	۲	۴	۱	۵	۷	۶

بحث و نتیجه‌گیری

در حال حاضر اغلب نواحی کشور به‌خصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، در اثر چرای بی‌رویه پوشش گیاهی آن تخریب یافته است. در این مناطق با وجود بارش‌های شدید به‌علت عدم وجود پوشش گیاهی، سیلاب‌های شدیدی ایجاد می‌شود. از جمله مؤثرترین راه-

های حفظ آب‌وخاک در سرشاخه‌ها ترکیبی از عملیات مکانیکی بیولوژیکی است. در چنین شرایطی با انجام برخی عملیات مکانیکی سرعت جریان آب در دامنه کاهش و مقدار نفوذ و رطوبت افزایش می‌یابد، در نتیجه پوشش گیاهی امکان استقراریافته و با وجود پوشش گیاهی، رواناب کاهش می‌یابد. از جمله روش‌های جمع‌آوری آب، پیتینگ، کنتور فارو، بانکت، تراس است (دلاوری و همکاران، ۱۳۹۶؛ آذرنیوند و زارع چاهوکی، ۱۳۸۶). رواناب سطحی که نتیجه پاسخ‌های بارش در یک حوزه است، منبع آب بالقوه‌ای است که اگر به‌طور صحیح مدیریت شود، می‌تواند برای تأمین تقاضا آب استفاده گردد. جمع‌آوری آب باران گزینه‌ای مناسب برای انحصار و ذخیره رواناب سطحی جهت کاربردهای بعدی به‌ویژه در طول دوره‌هایی است که محدودیت دسترسی به آب وجود دارد. از دهه‌های گذشته انواع روش‌های ذخیره نزولات آسمانی همچون پیتینگ، کنتورفارو و بانکت‌بندی در بعضی از مناطق ایران توسط دستگاه‌های اجرایی بکار گرفته‌شده‌اند، لیکن اغلب آن‌ها با موفقیت مطلوبی همراه نبودند که مهم‌ترین علت آن، عدم آگاهی از تناسب منطقه برای اجرای چنین روش‌هایی بوده است.

امروزه با ظهور فنون و مدل‌های پیشرفته نرم-افزاری از جمله GIS و سایر نرم‌افزارهای مرتبط، می‌توان با شناخت و معرفی مناطق مناسب برای اجرای این‌گونه عملیات میزان موفقیت را افزایش داده و از خسارات ناشی از عدم تناسب مناطق با روش‌های مختلف عملیات ذخیره آب جلوگیری کرد. در این خصوص تحویلی و همکاران (۱۳۹۶) گزارش دادند نفوذپذیری خاک، بافت خاک، هدایت الکتریکی، عمق خاک، کیفیت آب، درصد پوشش، متوسط بارش سالانه و افت سطح آب زیرزمینی به ترتیب مؤثرترین شاخص‌ها برای استحصال آب باران هستند که در پروژه‌های استحصال آب باران باید در اولویت قرار گیرد. با توجه به نتایج حاصل از وزن دهی معیارهای اصلی در این پژوهش می‌توان گفت در عملیات اصلاحی پیتینگ، تراس، کنتورفارو و بانکت‌بندی مهم‌ترین معیارها به ترتیب شیب و بارندگی هستند. در خصوص عملیات اصلاحی پیتینگ؛ معمولاً در اراضی با شیب کم نتایج مطلوبی دارد و شیب‌های بالاتر به‌دلیل هزینه بیش‌تر مقرون‌به‌صرفه نیستند؛ بنابراین معیار شیب عامل محدودکننده در اجرای این طرح‌ها است و کارشناسان هم بیش‌ترین وزن را به معیار شیب دادند که با نتایج محققین از جمله مبیلینی و همکاران (۲۰۰۷)؛ نظریان و همکاران (۱۳۹۴) و دبیری و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت دارد. نتایج حاصل از مدل تلفیقی AHP- TOPSIS نشان داد که از بین عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی پیشنهادشده برای منطقه نازلو چای عملیات پیتینگ نسبت به سایر عملیات اصلاحی مذکور اولویت بیش‌تری به‌منظور افزایش ذخیره آب در خاک و احیاء پوشش گیاهی منطقه دارد. با توجه به اینکه اجرای روش‌های پرهزینه جهت جمع‌آوری آب باران به‌دلیل عدم توجیه اقتصادی در اولویت قرار ندارند، بنابراین، روش‌های کم‌هزینه‌ای مانند پیتینگ درصورتی‌که به‌طور علمی، صحیح، در مناطق مناسب و نیز اگر توأم با عملیات بیولوژیک انجام گردد، می‌تواند کمک زیادی در ذخیره نزولات جوی در خاک و کنترل رواناب‌ها و فرسایش خاک نماید. با توجه به شرایط ایجاد پیتینگ که در شیب‌های کم تا ۵ درصد و کاربری دیم و مرتع و بارندگی ۳۰۰-۲۵۰ میلی‌متر و بافت خاک با نفوذپذیری نسبتاً کم تا متوسط (لومی و سیلت لوم) و عمق خاک ۸۰-۵۰ سانتی‌متر اجرا می‌شود؛ بنابراین می‌توان گفت چون زیرحوزه یک نسبت به سایر زیرحوزه‌ها دارای شرایط مناسب‌تری است لذا بالاترین اولویت برای اجرای پیتینگ در این زیر حوزه به دست آمد. در این خصوص، آذرنیوند و همکاران (۱۳۸۶) گزارش دادند روش‌های جمع‌آوری آب باران از جمله پیتینگ معمولاً اگر در اراضی با شیب کم و ملایم و تپه‌ماهورهای کم ارتفاع انجام شود نتایج مطلوبی خواهد داشت؛ بنابراین با توجه به اینکه عامل شیب عامل محدودکننده در اجرای پیتینگ است و بیش‌ترین درصد از مساحت زیرحوزه ۱، طبقات شیب‌های ۵-۰ و ۸-۵ درصد

است، لذا عملیات پیتینگ برای این حوزه در اولویت اول قرارگرفته است. در عملیات پیتینگ اهمیت لایه بارندگی کم‌تر از سایر معیارها تشخیص داده شد همچنان که اجرای این عملیات در مناطقی که دارای بارندگی نسبتاً کم و پوشش گیاهی ضعیف باشد توصیه می‌شود. در این خصوص یوسفی و همکاران (۱۳۹۴) و نظریان و همکاران (۱۳۹۴) گزارش دادند که عامل بارندگی کم‌ترین تأثیر را در انتخاب محل مناسب جمع‌آوری آب باران دارد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. برای اجرای عملیات اصلاحی پیتینگ بافت خاک یکی از معیارهای مهم است زیرا روش‌های جمع‌آوری آب باران، در خاک-های با نفوذپذیری نسبتاً کم تا متوسط انجام می‌گیرد، با توجه به بافت (لومی سیلتی و لومی) منطقه که جزو بافت متوسط تا نسبتاً سنگین می‌باشند، لذا محدودیتی در این خصوص مشاهده نمی‌شود که با نتایج دبیری و همکاران (۱۳۹۴) نیز مطابقت دارد.

بنا به گزارش‌های مختلف، از مجموع ۳۹۷/۹ میلیارد مترمکعب بارندگی سالانه در کشور، ۶۶ درصد آن پیش از رسیدن به رودخانه‌ها تبخیر می‌شود (محمد جانی و یزدانیان، ۱۳۹۳). با توجه خشک‌سالی‌های گسترده در سالیان اخیر به نظر می‌رسد تهیه نقشه عرصه‌های مناسب جمع‌آوری رواناب حاصل از نزولات آسمانی در بسیاری از حوزه‌های آبخیز مناطق خشک و نیمه‌خشک لازم و ضروری است. در این تحقیق سعی شد تا با استفاده از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیارِ تاپسیس و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بر اساس معیارهای مختلف، مناسب‌ترین مکان برای اجرای عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی در حوزه نازلو چای ارومیه تعیین شود برای ارزیابی نتایج به دست آمده در این تحقیق مطالعات تفصیلی- اجرایی تعدادی از زیرحوزه‌های آبخیز نازلوچای که توسط شرکت مهندسی مشاور مطالعه و به اداره کل ارائه‌شده است مورد بررسی قرار گرفت. مکان‌های پیشنهادی برای اجرای عملیات اصلاحی (تراس، بانکت، فاروئینگ، پیتینگ) در آن گزارش‌ها با محل‌های پیشنهادی تحقیق حاضر تطابق بالایی داشت. از جمله می‌توان به مطالعات تفصیلی اجرایی زیرحوزه‌های مینگل، میرداود، عمرآباد، ملونه، اشکه‌سو در این حوزه اشاره داشت. مکان‌یابی مناطق پیشنهادی در این گزارش‌ها برای اجرای هر یک از عملیات اصلاحی با مکان‌های ارائه‌شده در تحقیق حاضر به‌عنوان مکان‌های مناسب دارای تشابه مکانی بالایی بوده است. لازم به توضیح است که پژوهش حاضر برای کل حوزه نازلوچای بوده است و مطالعات انجام‌شده توسط اداره کل تنها برای تعدادی از زیرحوزه ها است و برای کل حوزه مطالعه جامع انجام‌نشده است. از محل‌های پیشنهادی مطالعات تفصیلی- اجرایی نیز تعدادی از آن‌ها به فاز اجرایی رسیده‌اند (به‌ویژه عملیات پی‌تینگ و کنتورفارو در زیرحوزه‌های میرداود، عمرآباد) و بقیه به دلایل مختلف (از جمله عدم تخصیص بودجه اجرایی) هنوز طراحی و اجرا نشده‌اند. لذا با بازدید از مناطقی که عملیات اصلاحی در آن‌ها انجام‌شده بود و بررسی تطابق آن مناطق با اولویت‌بندی به‌دست‌آمده از تحقیق حاضر، اعتبار نقشه‌ها مورد تائید قرار گرفت و می‌توان گفت معیارها و تکنیک‌های مورداستفاده در این تحقیق به‌خوبی توانسته است عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی در منطقه مطالعاتی را تبیین و اولویت‌بندی نماید.

پیشنهادهای ترویجی

ذخیره نزولات آسمانی در حوزه‌های آبخیز، علاوه بر قطع یا کاهش حجم رواناب سطحی و کاهش فرسایش خاک، باعث افزایش قابلیت نفوذ و قابلیت نگهداری آب در خاک شده و ضمناً تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی را نیز موجب می‌گردد و از خشک شدن چشمه‌ها و قنات‌ها جلوگیری می‌کند؛ بنابراین با توجه به کم‌هزینه بودن، اهداف چندمنظوره و اجرای آسان روش‌های ذخیره نزولات آسمانی در مقایسه با روش‌های استحصال آب پیشنهاد می‌شود اجرای این روش‌ها در حوزه‌های آبخیز کشور با توجه به پتانسیل‌های موجود با

اولویت بیش‌تری موردبررسی قرار گیرد. همچنین معیارها و تکنیک‌های به کار گرفته‌شده در این تحقیق می‌تواند در خصوص مکان‌یابی عملیات اصلاحی مناسب برای ذخیره نزولات آسمانی در حوزه‌های آبخیز به‌خصوص برای بخش اجرایی کشور راهگشا باشد.

فهرست منابع

۱. آذرنیوند، ح.، ر. نامجویان. ح. ارزانی. م. جعفری. م.ع. زارع چاهوکی. ۱۳۸۶. مکان‌یابی برنامه‌های اصلاح و احیاء مراتع با استفاده ازGIS و مقایسه آن با پروژه‌های پیشنهادی در طرح‌های مرتعداری مراتع منطقه لار. نشریه مرتع، دوره۱، شماره۲، صفحات ۱۶۹-۱۵۹.

۲. آذرنیوند، ح.، زارع چاهوکی، م.ع. ۱۳۸۷. اصلاح مراتع. انتشارات دانشگاه تهران. ۱۹۹ صفحه.

۳. اسمعلی، ا.، خ، عبداللهی. ۱۳۹۰. آبخیزداری و حفاظت خاک. انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی، چاپ دوم، ۵۷۴ صفحه.

۴. باباخانلو، ب.، ع. احمدی. ۱۳۸۷. دستورالعمل اصلاح مراتع با استفاده از روش های ذخیره نزولات آسمانی، نشریه شماره ۴۱۹، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری و سازمان جنگلها و مراتع کشور: ۷۰ صفحه.

۵. تحویلی، ز.، آ. ملکیان. ح. خسروی. ش. خلیقی سیگارودی. ۱۳۹۶. مطالعه مکانیابی پتانسیل استحصال آب باران در مناطق خشک با استفاده از روش TOPSIS، مطالعه موردی دشت انارک، نشریه مهندسی آبیاری و آب ایران، دوره۷، شماره ۲۷، صفحات ۷۴-۶۰.

۶. جعفری، م.، ح. آذرنیوند. م. سوری. خ. مهدوی. ۱۳۹۴. مکان‌یابی اجرای پروژه‌های پیتینگ و فاروئینگ به کمک سیستم تصمیم‌یار مکانی (مطالعه موردی: استان کرمانشاه). تحقیقات مرتع و بیابان ایران. دوره ۲۱، شماره (۱)۲۱، صفحات ۱۰۸-۹۵.

۷. دبیری، د.، ع. عباسپور. ع. فتاحی. ب. آزاد. ۱۳۹۴. مکانیابی مکان‌های مستعد جمع‌آوری آب باران بر پایه سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی(GIS) در استان کرمان، مجله بین المللی مهندسی و تحقیقات فناوری پیشرفته،اردیبهشت ماه، جلد،شماره (۴)۳، صفحات ۱۰ تا ۱۴.

۸. دلاوری، ع.و.، ح. بشری، م. ترکش اصفهانی، م.ر. مصدقی. ۱۳۹۶. تاثیر عملیات اصلاحی هلالی‌های آبگیر بر شاخص‌های پوشش گیاهی و مدل‌های توزیع فراوانی گونه‌ای(مطالعه موردی: مراتع نارون- سیستان و بلوچستان) ، نشریه علمی پژوهشی مرتع، سال۱۱، شماره۳، صفحات ۳۴۱-۳۳۱.

۹. دهداری، س.، ن. آرمند. م. فرجی. ن. آرمان. ج. موسویان. ۱۳۹۷. بررسی تاثیر عملیات اصلاح مرتع بر برخی فاکتورهای خاک و پوشش گیاهی (مطالعه موردی: مراتع منطقه چاه ماری بهبهان) ، نشریه علمی پژوهشی مرتع، سال۱۲، شماره۳، صفحات ۳۱۵-۳۰۵.

۱۰. رفاهی، ح. ۱۳۹۴. فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۷۴ صفحه.

۱۱. سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۹. سالنامه مرکز ملی اقلیم و مدیریت بحران خشکسالی، ۳۶ صفحه.

۱۲. علمی، س.، ع.ا. شمسی پور. م. رضوانی. ۱۳۹۲. مکان‌یابی مناطق مناسب جهت اجرای عملیات پیتینگ با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در محیط GIS (منطقه موردی: حوزه آبخیز طالقان) ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ، دانشگاه تهران، ۱۲۱ صفحه.

۱۳. قضاوی، ر.، ی. یزدانی. ع. ولی. س.ج. ساداتی‌نژاد. ۱۳۹۴. مکان‌یابی عرصه‌های مناسب ذخیره بارش آسمانی با استفاده از GIS. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۶، پیاپی ۵۸ ، شماره ۲، صفحات ۹۶-۸۵.

۱۴. گزارش مطالعات تفضیلی خاکشناسی و ارزیابی قابلیت اراضی حوزه آبخیز نازلو چای ارومیه. ۱۳۹۵. اداره کل منابع‌طبیعی و آبخیزداری استان آذربایجان‌غربی. ۱۳۰ صفحه.

۱۵. محمدجانی، ا.، ن.، یزدانیان.۱۳۹۳. تحلیل وضعیت بحران آب در کشور و الزامات مدیریت آن. فصلنامه روند، سال بیست و یکم، شماره‌های ۶۵ و ۶۶، صفحات ۱۴۴-۱۱۷.

۱۶. معتمدی، ج.، ا. شیدای کرکج. ۱۳۹۷. ضرورت توجه به معیارها و شاخص‌های موثر در مکان‌یابی عملیات مدیریتی و بیولوژیکی اصلاح مراتع (مطالعه موردی: مراتع کوهستانی هندوان، خوی، آذربایجان غربی). نشریه علمی پژوهشی مرتع، سال ۱۲، شماره۳، صفحات ۳۶۹-۳۵۴.

۱۷. منوری، ب.، ا. صفاری. ۱۳۸۸. مبانی طراحی و راهنمای اجرای سازههای کنترل فرسایش جلد سوم: دستورالعمل و ضوابط فنی طراحی و اجرای تراس بندی، نشریه ۳-۴۵۰، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری و سازمان جنگلها و مراتع کشور: ۵۸ صفحه.

۱۸. نظریان، س.، ع. نجفی نژاد. ن. نورا. ۱۳۹۴. ارزیابی مکانی پتانسیل جمع‌آوری آب‌های سطحی در سیستم آبخیز آق امام استان گلستان. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۹، شماره ۱، صفحات ۱۱-۱.

۱۹. یوسفی، م.، س. نورمحمدی. ه. معماریان. ۱۳۹۴. مکان‌یابی پروژه‌های جمع‌آوری آب در حوزه‌های آبخیز مناطق خشک و نیمه‌خشک با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره سلسله مراتبی در محیطGIS. سامانه‌های سطوح آبگیر باران، جلد ۸، شماره ۳، صفحات ۷۲-۵۷.

20. Al-Abadi, A.M., HB. Ghalib, A.M. Handhal, and SH. Shahid. 2017. A GIS-based integrated fuzzy logic and analytic hierarchy process model for assessing water-harvesting zones in northeastern maysan governorate, Iraq, Arabian Journal for Science and Engineering, DOI: 10.1007/s13369-017-2487-1.
21. Aladenola, O.O., and BO. Adeboye. 2010. Assessing the potential for rainwater harvesting. Water Resources Management, 24(10): 2129-2137.
22. Albalawneh, A., TK. Chang., CW. Huang, and S. Mazahreh. 2015. Using landscape metrics analysis and analytic hierarchy process to assess water harvesting potential sites in Jordan. Environments. 2(3): 415-434.
23. De Winnaar, G., G.P. Jewitt, and M. Horan. 2007. A GIS-based approach for identifying potential runoff harvesting sites in the Thukela River basin. South Africa. Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C, 32 (15-18):1058-1067.
24. Durga Rao, K.H., M.K. Bhaumik. 2003. Spatial expert support system in selecting suitable sites for water harvesting structures- a case study of song watershed. Uttaranchal India. Geocarto International. 18(4): 43-50.
25. Hwang, C.L., Yoon, K. 1981. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. New York: Springer-Verlag.
26. Mati, BT., MD. Bock. E. Malesu. A. Khaka. M. Oduor. and V. Oduor. 2006. Mapping the potential of rainwater harvesting technologies in Africa. A GIS overview on development domains for the continent and ten selected countries. Technical Manual, 6: 126-138.
27. Mbilinyi, B.P., S.D. Tumbo. H. Mahoo. and F.O. Mkiramwinyi. 2007. GIS-based decision support system for identifying potential sites for rainwater harvesting. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 32(15): 1074-1081.
28. Mbilinyi, B.P., S.D. Tumbo. H.F. Mahoo. E.M. Senkondo. and N. Hatibu. 2005. Indigenous knowledge as decision support tool in rainwater harvesting. Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C, 30 (11): 792-798.

29. Oweis, T., A. Hachum. 2006. Water harvesting and supplemental for irrigation. Journal of Hydrology, 401: 65–76 p.
30. Oweis, T.Y. 2004. Rainwater harvesting for alleviating water scarcity in the drier environments of west Asia and North Africa. In International Workshop on Water Harvesting and Sustainable Agriculture, Moscow Russia, 88-95 p.
31. Prasad, H., C.P. Bhalla. and S. Palria. 2014. Site Suitability analysis of water harvesting structures using remote sensing and GIS–a case study of pisangan watershed Ajmer district rajasthan ISPRS-International archives of the photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 24(1): 1471-1482.
32. Rajasekhar, M., G. Sudarsana Raju. Y. Sreenivasulu. and R. Siddi Raju. 2019. Delineation of groundwater potential zones in semi-arid region of Jilledubanderu river basin, Anantapur District, Andhra Pradesh, India using fuzzy logic, AHP and integrated fuzzy-AHP approaches. Journal of journals hydroresearch, 11(2):97-108.
33. Rakad Alshabeed, A.R. 2016. The Use of ahp within GIS in selecting potential sites for water harvesting sites in the Azraq basin-jordan. Journal of Geographic Information System, 8(1): 73-88 p.
34. Ramakrishnan, D., A. Bandyopadhyay. and K.N., Kusuma. 2009. SCS-CN and GIS-based approach for identifying potential water harvesting sites in the kali watershed mahi river basin. India Journal of Earth System Sciences, 118 (4):355–368.
35. SHadeed, S., T. Judeh. and M. Riksen. 2020. Rainwater Harvesting for Sustainable Agriculture in High Water-Poor Areas in the West Bank, Palestine. Journal of Water, 11(4):1-16.

Siting Improvement Operations for Rainwater Conservation Schemes in Natural Areas (A Case study of Nazluchai Basin, Urmia)

M. Mofidi Chelan, H. Nazarnejad[1], and E. Moharampour

Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran. **mofidi.morteza@gmail.com**

Associate professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran. **h.nazarnejad@urmia.ac.ir**

M Sc Graduate in Watershed Management, Department of Natural Resources, Urmia University. **el.moharampour@yahoo.com**

Received: July 2021, and Accepted: December 2021

Abstract

Proper siting of rainwater conservation systems is an important step to ensure water supply in a watershed. The present study was carried out to identify the factors involved in rainwater infiltration and storage and to determine suitable locations for the construction of rainwater conservation systems in Nazluchai Basin, Urmia. For this purpose, slope, rainfall, land use, soil texture, and soil depth were selected as the parameters affecting rainwater storage and subsequently subjected to AHP analysis in order to determine the weight of each in the different improvement operations studied. In a second step, the TOPSIS model was used to prioritize the sub-basins with regard to the improvement operations of pitting, contour trenching, terracing, and contour furrowing. Based on the results, pitting was found superior to the other improvement operations in the study area as evidenced by the C_i values of 0.94, 0.28, 0.20, 0.31, 0.08, 0.02, and 0.01% obtained from the TOPSIS model for pitting in sub-basins 1 to 7, respectively, indicating the higher priority of sub-basin 1 for performing the pitting improvement operation. According to the same results, sub-basins 3, 2, and 4 were identified as the priority ones for contour trenching, terracing, and contour furrowing, respectively. It was found that while the costly rainwater harvesting schemes cannot be economically justified for the study area, the alternative rainwater conservation schemes may be of priority on economic grounds. A final finding of the study indicated that not only the criteria but also the combined AHP-TOPSIS model used in this study may help state executive departments to select appropriate improvement operations in other watersheds.

Keywords: Pitting, Contour trenching, Slope, Contour Furrowing, AHP-TOPSIS model

[1] - Corresponding author: Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran.