



دوره ۳۲، شماره ۲، شماره پیاپی ۱۲۳، تابستان ۱۳۹۸، صفحات ۳۰ - ۱۹
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2018.122794.1134

پژوهش‌های آبخیزداری

اولویت‌بندی مکان‌های مناسب ساخت سد زیرزمینی با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ی تاپسیس در آبخیز صادق‌آباد، استان فارس

سعید کشاورز

کارشناس ارشد، بخش منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه شیراز

حمیدرضا پورقاسمی*

(نویسنده‌ی مسئول) * دانشیار، بخش منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه شیراز

سیدفخرالدین افضلی

استادیار، بخش منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه شیراز

کوروش رضایی‌مقدم

دانشیار، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه شیراز

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: hr.pourghasemi@shirazu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۴ مرداد ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: ۶ آذر ۱۳۹۷

چکیده

ساخت سدهای زیرزمینی یکی از راه‌های به‌دست‌آوردن آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک و مقابله با بحران خشک‌سالی است. سدهای زیرزمینی سازه‌هایی هستند که در مسیر جریان آب زیرزمینی ساخته شده و باعث بالا آمدن آب و ذخیره‌ی آن در مخزن خود می‌شوند. مهم‌ترین مشکل در ساختن سدها یافتن مکان مناسب است. هدف از پژوهش حاضر، مکان‌یابی و اولویت‌بندی مناطق مناسب ساخت سد زیرزمینی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ی تاپسیس در آبخیز صادق‌آباد استان فارس است. با انجام بازدیدهای صحرائی و در نظر گرفتن عوامل درصد شیب، فاصله از گسل، کاربری زمین و سازند زمین‌شناسی مناطق نامناسب حذف، و نقشه‌ی مناطق توانمند برای ساختن سد زیرزمینی در منطقه تهیه شد. برای اولویت‌بندی مکان‌های مناسب براساس نظر کارشناسان و مرور بر منابع علمی، از ۹ معیار کمیت آب، طول محور سد، عمق محور سد، ضریب ذخیره‌ی مخزن، حجم مخزن، تکیه‌گاه، شیب، نیاز آبی (آشامیدنی کشاورزی و صنعت) و دست‌رسی (جاده، روستا و منابع قرضه) استفاده شد. براساس قضاوت کارشناسی و تعریف معیارها و برهم‌نهی نقشه‌های پایه ۱۷ محل اولیه انتخاب شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین وزن در مکان‌یابی سد زیرزمینی کمیت آب و نیاز آبی (به ترتیب ۰/۳۰۸ و ۰/۲۰۴۸) بود. در مقابل، کم‌ترین وزن در طول محور سد و تکیه‌گاه محور سد (۰/۰۷۴ و ۰/۰۲۸) دیده شد. در پایان، اولویت‌های اول تا سوم سه محل پیشنهادشده‌ی سدهای ۱۵، ۲ و ۱۴ معرفی شد. با توجه به محدودیت جدی منابع آب زیرزمینی در بخش عمده‌ی از کشور و به‌ویژه استان فارس، استفاده از این روش‌ها برای شناسایی محل‌های مناسب و توسعه‌ی سدهای زیرزمینی سودمند خواهد بود.

واژگان کلیدی: استان فارس، سامانه‌ی اطلاعات مکانی، تاپسیس، سد زیرزمینی

مقدمه

منابع آب کافی از ارکان اصلی توسعه و پیش‌رفت هر منطقه است و سازمان‌های مسئول همواره برای بهبود وضعیت و مدیریت بهینه‌ی آن تلاش می‌کنند (نیلسون ۱۹۸۸). یکی از راه‌های ذخیره‌ی آب‌های سطحی، که در فصل‌های بارندگی، به‌ویژه در زمستان و بهار هدر می‌رود، نفوذ دادن آب‌های سطحی و ذخیره‌ی آب‌های زیرزمینی در جریان، با ایجاد سدهای زیرزمینی است. کشور ایران در موقعیت خاص جغرافیایی است و از آن‌جا که بارندگی سالانه‌ی آن کم‌تر از یک سوم متوسط جهانی است، از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان دانسته می‌شود (پیرمادیان و همکاران ۲۰۱۳). قرارگرفتن کشور ایران بر کمربند خشک باعث ایجادشدن و گسترش نواحی بیابانی در سطح وسیعی شده است، و این باعث شده است که حدود ۷۵٪ از سطح کشور در محدوده‌ی مناطق خشک و نیمه‌خشک باشد، که اهمیت مدیریت صحیح منابع آب را دوچندان می‌کند. از طرفی، بارندگی فصلی و پیش‌بینی‌ناپذیر، و تبخیر بسیار زیاد در مناطق خشک مانع تحقق‌یافتن توسعه‌ی پایدار در تأمین آب این مناطق است (پیرمادیان و همکاران ۲۰۱۳). مهم‌ترین مشکل در توسعه و ایجاد یک سد زیرزمینی پیچیدگی تعیین مناطق مناسب برای ساخت سد است (نیلسون ۱۹۸۸). این مشکلات از آن‌جا ناشی می‌شود که معیارها و عوامل زیادی همانند معیارهای فیزیکی، آب‌شناسی و اقتصادی-اجتماعی در مکان‌یابی مناسب سدهای زیرزمینی نقش دارند، که بررسی و تعیین آن‌ها در عرصه با استفاده از روش‌های سنتی نیازمند صرف وقت و هزینه‌ی زیادی است. امروزه روش‌های سنجش‌ازدور و سامانه‌ی اطلاعات مکانی (GIS) فن‌آوری برتری در اختیار کاربران است، که در تصمیم‌گیری برای مسائل مختلف، و نظارت و مدیریت منابع طبیعی و می‌توان از آن‌ها در کشف و شناسایی مناطق توانمند استفاده کرد. سدهای زیرزمینی در ایران و جهان قدمت زیادی دارد، به‌نحوی که رومیان در جزیره‌ی ساردینا و صفویان در ایران از سد زیرزمینی استفاده کردند؛ اما با توجه به مزایای سدهای زیرزمینی نسبت به سدهای سطحی، و شرایط خشک‌سالی‌های پیش‌آمده، استفاده از سدهای زیرزمینی در دنیا روزبه‌روز در افزایش است (جمعه‌منظری و براتی ۲۰۱۶).

با استفاده از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، روش مناسبی برای مکان‌یابی نقه‌های مناسب برای ذخیره‌ی آب خارج‌شده از آبخیزها در مقیاس کوچک پیشنهاد داده شده است (ال‌آوار و همکاران ۲۰۰۸). اوندرو و یالماز (۲۰۰۵) سدهای زیرزمینی را ابزاری برای توسعه و مدیریت منابع آب زیرزمینی معرفی نمودند. فرزیری و همکاران (۲۰۰۸) روشی

کلی را برای ارزیابی مکان‌های مناسب برای ساخت سدهای کوچک در حوزه‌ی آبخیز کیدال نشان دادند. برای مکان‌یابی مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی و اولویت‌بندی آن، از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و تاپسیس (TOPSIS)^۱ استفاده شد. با استفاده از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و ترکیب آن با تاپسیس، نقش هر یک از عوامل مؤثر با توجه به میزان تأثیرگذاری آن‌ها در انتخاب محل‌های مناسب سد بررسی شد. مناطق مستعد ساخت سد زیرزمینی با استفاده از تحلیل چندمعیاره‌ی مکانی در شمال پاکستان با عوامل زمین‌شناسی، شیب، پوشش زمین، عمق خاک و شاخص رطوبت توپوگرافی بررسی شد. دو روش وزن‌دهی یعنی فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و روش فاکتور اثرمتقابل به‌کار گرفته شد. نتایج نقشه‌ی تهیه‌شده با فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی بیان‌گر آن بود که حدود ۳٪ (۱۶ کیلومتر مربع) از کل منطقه مناسب‌ترین، حدود ۴٪ (۲۲ کیلومتر مربع) با تناسب متوسط و ۸٪ (۵ کیلومتر مربع) با کم‌ترین تناسب بود، در حالی که نتایج مدل عامل اثرمتقابل نشان داد که ۲۷٪ از کل منطقه مناسب‌ترین محل و ۴٪ آن با تناسب متوسط بود (جمالی و همکاران ۲۰۱۴). آدیانجو و آددجی (۲۰۱۷) شش مکان مناسب برای ساخت سد زیرزمینی در مرحله‌ی دوم مکان‌یابی با استفاده از روش تاپسیس استخراج کردند. چاکروبرتی و همکاران (۲۰۱۸) مناطق توانمند آب زیرزمینی را در غرب بنگال با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی مدل‌سازی و نقشه‌برداری کردند. منابع ارزشمند گاهی اوقات کم و گاهی اوقات فراوان است، اما یکنواخت پراکنده نیست، مانند آب‌های زیرزمینی که به‌طور مساوی توزیع نمی‌شوند. بنابراین ابعاد آب‌های زیرزمینی در یک منطقه توسط عوامل متعددی نظیر پستی‌وبلندی، سنگ‌شناسی، ساختار زمین‌شناسی، عمق هوای آزاد، شیب، الگوی زه‌کشی، استفاده از زمین و پوشش زمین و الگوهای بارندگی تعیین می‌شود. در پژوهش جوزقی و شمسانی (۲۰۱۵) در جنوب استان سیستان و بلوچستان در ابتدا با پیاده کردن الگوریتم تاپسیس در سامانه‌ی اطلاعات مکانی، لایه‌ی با نام نزدیکی نسبی به راه‌حل آرمانی (دل‌خواه) ایجاد شد. سپس با مدل‌سازی و انجام محاسبات، ۱۵ گزینه که توان ساخت سد در آن‌ها وجود داشت انتخاب، و با یافتن مقادیر هر گزینه در لایه‌ی ایجادشده، گزینه‌ها رتبه‌بندی و اولویت‌بندی شدند. چزگی و همکاران (۲۰۱۶) نیز محل‌های مناسب برای ساخت سد زیرزمینی را با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی با تأکید بر منابع آب در غرب استان البرز مکان‌یابی کردند. نتایج نشان داد که معیار آب برتر از دیگر

1-technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS)

که برای اولین بار از این روش برای مدیریت کردن منابع آب استان فارس بهره برد.

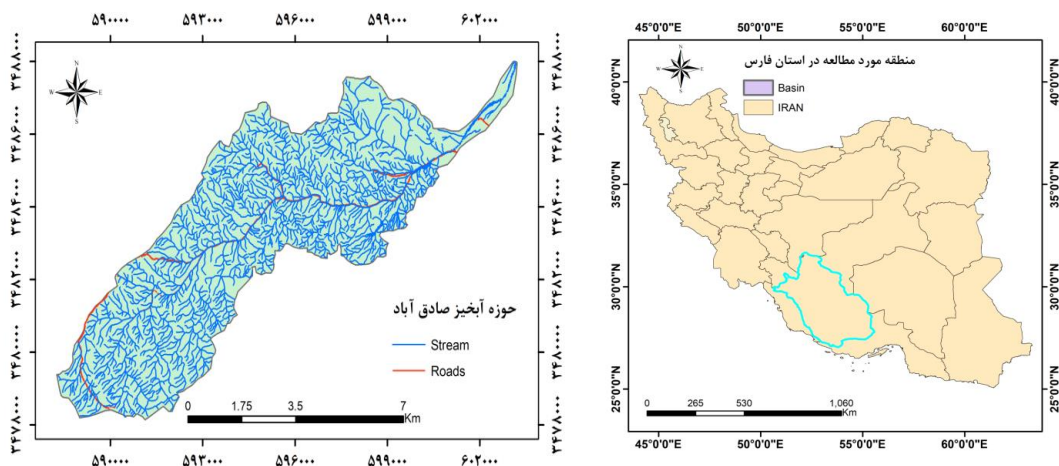
در این پژوهش با استفاده از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ی تاپسیس، مکان‌های مناسب برای ساخت سدهای زیرزمینی در آبخیز صادق آباد شناسایی، اولویت‌بندی و پیشنهاد داده شد.

مواد و روش‌ها مشخصات منطقه

آبخیز صادق آباد در شمال استان فارس است و از شمال به دره‌ی چرچر و ارتفاعات تل‌یکه، از شمال شرقی به ارتفاعات پلویی، از جنوب به چات میونی و چاه سنگ‌بندی، از جنوب شرقی به مزرعه‌ی گوشیان و رودخانه‌ی ایزدخواست، از شرق به روستای ایزدخواست، و از غرب به مرغ سفید و سلطان خلیل محدود می‌شود. منطقه‌ی بررسی‌شده با مساحت ۵۰/۲۹ کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیایی "۳۰° ۵۷' ۵۱" تا "۰۵' ۰۰" ۵۲° شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۳۰° ۲۷' ۳۱" تا "۳۱° ۳۰' ۰۰" شمالی است (شکل ۱). از دیدگاه ساختاری و ریخت‌زمین‌ساختی این محدوده در ناحیه‌ی ساختاری سنندج-سیرجان است، که عمدتاً شامل واحدهای سنگی دگرگونی ژوراسیک کرتاسه است. این ناحیه‌ی ساختاری به صورت نوار دگرگونی از سنندج تا سیرجان کشیده شده، و شامل واحدهای سنگی دگرگونی با رخساره‌های متفاوت دگرگونی است.

معیارها است، زیرا بیش‌ترین وزن را داشته است. عرب‌عامری و همکاران (۲۰۱۸) با هدف تعیین مکان‌های مناسب برای ساخت سد زیرزمینی در اردستان، شمال اصفهان، از روش ارزیابی چندمعیاره‌ی مکانی استفاده کردند. آن‌ها عوامل مؤثر را با استفاده از معیارهای زمین‌شناسی مهندسی تعیین، و سپس فرآیند مکان‌یابی را بر اساس فراسنج‌های مؤثر اصلی به چندین مرحله‌ی جزئی تقسیم، و بر اساس فرآیند سلسله‌مراتبی تحلیل کردند. فراسنج‌های انتخاب‌شده بر اساس قضاوت کارشناسی وزن‌دهی شد. برای تجزیه‌وتحلیل آسان با دقت بیش‌تر و زمان کم‌تر، وزن‌های تعیین‌شده برای هر شاخص به‌صورت لایه‌های برداری در سامانه‌ی اطلاعات مکانی به‌کاربرده شد، و فراسنج‌هایی با شاخص (وزن) بیش‌تر انتخاب شد. نتایج آنان نشان داد که آب‌رُفت‌های غرب، شمال و شمال غرب اردستان بهترین مکان برای ساخت سد زیرزمینی است.

جمع‌بندی سابقه‌ی تحقیق و مرور منابع در استفاده از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره نظیر تاپسیس نشان‌دهنده‌ی توانایی زیاد این روش‌ها در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی است. بر این اساس، با توجه به موقعیت خاص استان فارس از نظر قرارداشتن در منطقه‌ی خشک و نیمه‌خشک، و نیاز شدید به مدیریت منابع آب با توجه به خشک‌سالی‌های اخیر، و نیاز به افزایش بهره‌وری از منابع آب زیرزمینی، تلاش شد که استفاده از فن‌آوری‌های نوین برداشت آب و جلوگیری از هدررفت آن، با دقت انجام شود. از آن‌جا که روش ذکرشده به‌روز است و هزینه‌ی بسیار کم‌تری از روش‌های سنتی دارد، پژوهش حاضر تلاش دارد



شکل ۱- نقشه‌ی موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه.

روش کار

برای ساخت سد زیرزمینی باید شرایط خاصی باشد. برای تسریع در تصمیم‌گیری و پرهیز از جمع‌آوری اطلاعات نالازم، ابتدا لازم است که با در نظر گرفتن معیارها و عوامل کلیدی، نقطه‌های نامناسب حذف شود (داوودی‌راد و همکاران ۲۰۰۴). از جملهی شرایط دوری از گسل، دوری از قنات، زمین‌شناسی منطقه‌ی بالادست، شیب کم‌تر از ۵٪، کاربری مرتع و زمین‌های بایر (بستر آبراه) است (سلامی ۲۰۰۵). زمین‌شناسی از عوامل مهم در معیارهای حذفی برای تعیین سنگ‌شناسی کناره‌های مخزن است. به‌طور کلی، سدهای زیرزمینی روی بستر نفوذناپذیر یا با نفوذپذیری خیلی کم ساخته می‌شود، تا از تلفات ناشی از نفوذ عمقی از زیر سد جلوگیری شود. دو قسمت عمده‌ی سنگ کف و دیواره‌ی مخزن سد نباید آبگذر باشد (سلیمانی ۲۰۰۶). چون هدف اصلی ذخیره و نگاه‌داری آب است، مکان ساخت سد زیرزمینی از گسل‌ها، قنات‌ها و چاه‌ها باید از هم فاصله داشته باشد، و سنگ بستر باید نفوذناپذیر باشد تا آب از زیر سد نشت نکند. فاصله‌ی این سدها باید نسبت به روستا، جاده، منابع قرضه تا حد امکان نزدیک و در بستر رودخانه باشد. از نظر زمین‌ریخت‌شناسی، سنگ‌شناسی تکیه‌گاه‌ها و فاصله‌ی بین دو دره مهم است. بنابراین، نقشه‌ی فاصله از گسل‌های منطقه با استفاده از نقشه‌ی زمین‌شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰) تهیه شد. برای تهیه نقشه‌ی درصد شیب، از نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاع (DEM) (۱:۲۵۰۰۰) استفاده شد. نقشه‌ی کاربری زمین منطقه از اداره‌ی کل منابع طبیعی استان فارس (۱:۱۰۰۰۰۰) گرفته شد و با استفاده از تصاویر Google Earth به‌هنگام شد. نقشه‌ی واحدهای سنگ‌شناسی منطقه که عامل بسیار مهمی در معیارهای حذفی مخزن سد است (چزگی و همکاران ۱۳۸۸) از نقشه‌ی زمین‌شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰) از سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شد. به این ترتیب نقشه‌ی مناطق توانمند برای ساخت سد زیرزمینی به‌دست آمد.

معیارهای مؤثر در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی

شرایط و عوامل اثرگذار در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی به‌طور عمده شامل عوامل زیر است (سلامی ۲۰۰۵؛ چزگی و همکاران ۲۰۱۰؛ بارنی ۱۹۸۴؛ نیلسون ۱۹۸۸؛ فوستر و جوین اوف ۲۰۰۴): **محدوده‌ی آب‌رُفت**: برای ساخت سد زیرزمینی وجود آب‌رفت ضخیم‌لایه با نفوذپذیری زیاد بسیار مناسب است، این عامل را می‌توان اصلی‌ترین شرط ساخت سد زیرزمینی دانست. **گسل‌ها**: رودخانه‌های گسلی یا بخش‌هایی از رودخانه که گسلی است به‌دلیل این که معبرهای مناسبی برای زه‌کشی آب و خروج

آن به مناطق خارج از دست‌رس است، و امکان لرزه‌زایی در گسل‌ها بزرگ و فعال هست، یکی دیگر از عوامل مؤثر بر ساخت و مکان‌یابی سدها است.

آب: این معیار دو معیار فرعی دیگر دارد، که یکی مقدار آب یا حجم جریان‌های زیرسطحی در آبخیز، و دیگری کیفیت آب است.

شیب بستر رودخانه: تغییرات عرض و شیب بستر نیز از عوامل مهم در ساخت و مکان‌یابی سدها است.

حجم مخزن: در اولویت‌بندی محورهای مشخص‌شده از مرحله‌ی دوم نقش مؤثری دارد. حجم مخزن در ارتباط با عواملی هم‌چون شیب سنگ بستر، ضخامت آب‌رُفت، گسترش سطحی مخزن و میزان نفوذپذیری و تخلخل مواد آب‌رُفتی بستر رودخانه است.

محور: سنگ‌شناسی تکیه‌گاه‌های محور عرض رودخانه (طول محور) و ضخامت آب‌رُفت در محل محور.

معیار اقتصادی-اجتماعی: این معیار شامل میزان دسترسی و میزان تأثیر بر قنات‌های پایین‌دست است. محور سد زیرزمینی باید تا حد امکان تأثیر منفی کمی بر منابع آبی پایین‌دست داشته باشد. فاصله از روستا، فاصله از منابع قرضه‌ی موردنیاز دیواره‌ی سد زیرزمینی، و فاصله از جاده‌ی دسترسی در درجه‌ی بعد نسبت به دو معیار فرعی بالا است. پس از مشخص کردن محدوده‌های مناسب، محورهای مناسب در هر محدوده مشخص و بازدیدهای میدانی انجام شد.

الگوریتم تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ی تاپسیس

تاپسیس یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره همانند فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی است که از آن می‌توان برای رتبه‌بندی و مقایسه‌ی گزینه‌های مختلف، انتخاب بهترین گزینه، و تعیین فاصله بین گزینه‌ها و گروه‌بندی آن‌ها استفاده کرد. از جمله مزیت‌های این روش آن است که واحدهای سنجش معیارها یا شاخص‌های به‌کاررفته برای مقایسه می‌تواند متفاوت، و طبیعت آن منفی یا مثبت باشد. برای رتبه‌بندی m گزینه‌ی برتر با توجه به n معیار، می‌توان از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ی تاپسیس استفاده کرد. مبنای این روش انتخاب گزینه‌هایی است که کم‌ترین فاصله را از جواب آرمانی مثبت (PIS) و بیش‌ترین فاصله را از جواب آرمانی منفی (NIS) دارد. یکی از شاخص‌های این روش نزدیکی نسبی گزینه‌ی A_m به راه‌حل آرمانی است (جوزقی و شمسایی ۲۰۱۵). در روش تاپسیس، ماتریس $m \times n$ تصمیم‌گیری که m گزینه و n معیار دارد ارزیابی می‌شود، و فرض بر این است که هر شاخص و معیار

2 - digital elevation model (DEM)

3- positive ideal solution (PIS)

4 - negative ideal solution (NIS)

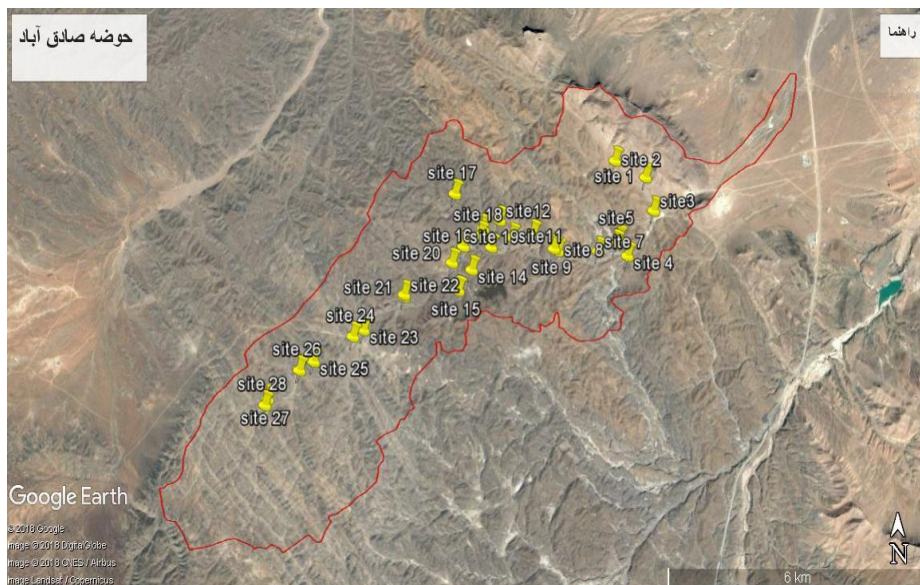
شود. این روش با دادن امتیازی دل‌خواه به مهم‌ترین معیار آغاز می‌شود، و سپس به ترتیب اهمیت، امتیازهای کم‌تر به معیارهای با اهمیت کم‌تر داده می‌شود. امتیاز در نظر گرفته شده برای کم‌اهمیت‌ترین معیار، نقطه‌ی شاخص برای محاسبه‌ی نسبت‌ها می‌شود. امتیاز هر معیار بر امتیاز کم‌اهمیت‌ترین معیار تقسیم می‌شود. وزن‌ها پس از محاسبه شدن به این روش، با تقسیم شدن به کل وزن‌ها بهنجار می‌شود (مالک‌زوسکی ۱۹۹۹). جزئیات این مدل در کروئینگ و همکاران (۲۰۱۵) داده شده است.

نتایج

پس از در نظر گرفتن عوامل درصد شیب، فاصله از گسل، کاربری زمین، و سازند زمین‌شناسی در آبخیز صادق آباد، مناطق نامناسب حذف و نقشه‌ی مناطق توانمند برای ساخت سد زیرزمینی به دست آمد. برای اولویت‌بندی مکان‌های مناسب ساخت سدهای زیرزمینی، با استفاده از بازدهی‌های صحرایی و تصاویر گوگل ارث، ابتدا ۲۸ مکان بر اساس منطق بولین (صفر و یک) تشخیص داده شد، که گزینه‌های پیشنهادی اولیه بود (شکل ۲).

در ماتریس تصمیم‌گیری مطلوبیت افزایشی یا کاهش‌ی یکنواخت دارد (اسماعیلی و همکاران ۲۰۱۶). راه‌حل آرمانی مثبت، راه‌حل یا گزینه‌ی است که از لحاظ معیارهای سود بیشینه، و از لحاظ معیارهای هزینه کمینه است، و راه‌حل آرمانی منفی راه‌حلی است که از نظر معیارهای هزینه، بیشینه و از لحاظ معیارهای سود، کمینه است. در تاپسیس مقادیر قطعی برای بیان برتری نسبی گزینه‌ها در برآورده کردن معیارهای تصمیم‌گیری به کار می‌رود. گزینه‌ی برتر گزینه‌ی است که فاصله‌ی آن از PIS کم‌ترین و از NIS بیش‌ترین باشد. برآیند این دو فاصله در قالب ضریب نزدیکی بیان می‌شود، یعنی گزینه‌ی که مقدار عددی ضریب نزدیکی آن بزرگ‌تر باشد برتر شناخته می‌شود (عرب عامری و همکاران ۲۰۱۸).

اولین گام در الگوریتم تاپسیس ایجاد ماتریس تصمیم و بردار وزن شاخص‌ها نسبت به هدف است. برای ساخت این ماتریس باید به مقادیر کمی و کیفی هر لایه وزنی داده شود. مهم‌ترین مرحله در تصمیم‌گیری وزن‌دهی به لایه‌ها است. با توجه به اهمیت زیاد آن ضروری است در تعیین وزن هر یک از لایه‌ها دقت عملی در کار باشد، تا با صحت زیاد به نزدیک‌ترین حالت به واقعیت منجر



شکل ۲- موقعیت ۲۸ منطقه‌ی توانمند برای ساخت سد زیرزمینی بر تصاویر گوگل ارث.

اولویت‌بندی ۱۷ سد شناسایی شده در منطقه بر اساس روش تاپسیس ماتریس بهنجار شده در مدل تاپسیس (حاصل ضرب وزن نهایی معیار در وزن هر سد برای هر معیار) که در واقع وزن نهایی هر عامل برای هر سد در روش تاپسیس است، در جدول ۱ آورده شده است.

در مرحله‌ی دوم مکان‌یابی، با توجه به موقعیت مکان‌های انتخاب شده بر نقشه‌ی اولویت‌های مکانی، و با در نظر گرفتن معیارهای ارزیابی در بازدهی‌های گسترده‌ی میدانی، به‌ویژه محل قرار گرفتن و ساخت سد زیرزمینی از دیدگاه زمین‌شناسی، نوع سازند، طول محور و درجه‌ی آبراه، ۱۷ مکان مناسب برای ساخت سد زیرزمینی معرفی شد.

جدول ۱- ماتریس بهنجار شده در مدل تاپسیس.

موقعیت‌های پیشنهاد شده برای ساخت سد	کمیت آب	طول محور سد	عمق محور سد	ضریب ذخیره‌ی مخزن	حجم مخزن	تکیه‌گاه	شیب	نیاز آبی	دسترسی
۱	۰/۰۵۹۴۱۸	۰/۰۰۰۲۵۲	۰/۰۰۱۲۲۷	۰/۰۰۱۳۶	۰/۰۰۹۶۶۲	۰/۰۰۰۹۲۵	۰/۰۰۰۶۰۷	۰/۰۰۷۳۵۸	۰/۰۰۳۰۳۵
۲	۰/۰۶۱۱۴۹	۰/۰۰۱۰۰۲	۰/۰۰۲۳۵۸	۰/۰۰۳۵۲	۰/۰۲۰۵۵۳	۰/۰۰۲۶۱۹	۰/۰۰۰۶۰۷	۰/۰۰۹۸۸۶	۰/۰۰۷۸۵۴
۳	۰/۰۰۲۹۰۹	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۰۶۵۳۷	۰/۰۰۱۳۶	۰/۰۰۴۰۷۶	۰/۰۰۲۶۱۹	۰/۰۰۰۶۰۷	۰/۰۰۵۸۶۴	۰/۰۰۳۰۳۵
۴	۰/۰۰۲۹۰۹	۰/۰۰۰۱۳۳	۰/۰۰۱۸۴۴	۰/۰۰۱۴۱	۰/۰۰۱۶۳	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۰۶۰۷	۰/۰۰۱۴۲۳	۰/۰۰۳۱۴۶
۵	۰/۰۰۴۸۵۵	۰/۰۰۰۳۲۱	۰/۰۰۴۲۴۹	۰/۰۰۲۱۴۹	۰/۰۰۵۹	۰/۰۰۱۵۰۳	۰/۰۰۱۴۳۶	۰/۰۰۱۴۲۳	۰/۰۰۴۷۹۵
۶	۰/۰۱۹۳۴۱	۰/۰۰۰۰۶۷۳	۰/۰۰۲۳۲۸	۰/۰۰۲۱۴۹	۰/۰۰۵۷۴۸	۰/۰۰۰۷۵۷	۰/۰۰۱۶۲۵	۰/۰۰۱۴۲۳	۰/۰۰۴۷۹۵
۷	۰/۰۰۴۸۳۴	۰/۰۰۰۰۹۰۶	۰/۰۰۲۳۱۹	۰/۰۰۲۱۴۹	۰/۰۰۵۰۸۳	۰/۰۰۰۸۶۶	۰/۰۱۰۱۷۵	۰/۰۰۱۴۲۳	۰/۰۰۴۷۹۵
۸	۰/۰۰۲۵۷۶	۰/۰۰۰۳۲۹	۰/۰۰۱۸۸	۰/۰۰۰۶۰۲	۰/۰۰۱۱۴۵	۰/۰۰۱۱۶۳	۰/۰۱۰۱۷۵	۰/۰۰۳۳۶۳	۰/۰۰۱۳۴۳
۹	۰/۰۰۶۱۸۶	۰/۰۰۰۳۲۱	۰/۰۰۱۵۵۹	۰/۰۰۰۳۳۵	۰/۰۰۲۰۲۳	۰/۰۰۰۶۹	۰/۰۰۳۳۵۶	۰/۰۰۳۸۰۶	۰/۰۰۰۷۴۸
۱۰	۰/۰۰۱۲۹۹	۰/۰۰۳۰۷۹	۰/۰۰۱۵۳۱	۰/۰۱۱۳۵۴	۰/۰۰۱۳۱۵	۰/۰۰۰۱۶۷	۰/۰۰۹۵۰۷	۰/۰۰۲۳۸۳	۰/۰۰۲۵۳۳۶
۱۱	۰/۰۰۱۷۴۹	۰/۰۰۳۱۶۸	۰/۰۰۱۵۳۱	۰/۰۱۱۳۵۴	۰/۰۰۱۰۲۱	۰/۰۰۰۱۶۷	۰/۰۰۹۵۰۷	۰/۰۰۲۳۸۳	۰/۰۰۲۵۳۳۶
۱۲	۰/۰۰۶۳۵۳	۰/۰۰۰۱۵۱	۰/۰۰۲۵۰۷	۰/۰۰۰۲۵۵	۰/۰۰۲۲۱	۰/۰۰۰۱۶۷	۰/۰۰۷۶۲۲	۰/۰۰۷۸۵۹	۰/۰۰۰۵۶۹
۱۳	۰/۰۰۶۲۰۴	۰/۰۰۰۱۵۱	۰/۰۰۱۶۴۲	۰/۰۰۰۵۳	۰/۰۰۴۲۵۸	۰/۰۰۰۱۶۷	۰/۰۰۵۴۵۶	۰/۰۰۲۲۲۶۴	۰/۰۰۱۱۸۲
۱۴	۰/۰۲۱۸۴۳	۰/۰۰۱۱۳۲	۰/۰۰۱۲۸۸	۰/۰۱۰۳۶	۰/۰۰۵۲۶۲	۰/۰۰۰۳۹۶	۰/۰۰۲۷۴۹	۰/۰۰۲۲۲۶۴	۰/۰۲۳۱۱۷
۱۵	۰/۱۴۴۲۳۱	۰/۰۰۷۴۷۳	۰/۰۰۱۹۹۴	۰/۰۰۸۲۴۱	۰/۰۵۲۲۷۵	۰/۰۰۰۴۴۸	۰/۰۰۳۱۴۲	۰/۰۱۷۸۵۱	۰/۰۱۸۳۹۱
۱۶	۰/۰۰۴۸۰۴	۰/۰۰۰۲۴۹	۰/۰۰۰۳۸۷	۰/۰۰۰۴۳۲	۰/۰۰۰۴۷	۰/۰۰۲۸۰۴	۰/۰۰۴۲۲۱	۰/۰۱۲۷۷۷	۰/۰۰۰۹۶۳
۱۷	۰/۰۰۰۴۶۸	۰/۰۰۰۰۲۴۲	۰/۰۰۰۶۷۴	۰/۰۰۵۴۶۲	۰/۰۰۰۲۰۹	۰/۰۰۲۸۰۴	۰/۰۰۲۵۰۴	۰/۰۰۶۴۳۷	۰/۰۱۲۱۸۸

بیشینه و کمینه‌ی وزن نهایی سدها برای هر عامل در جدول ۲ و فاصله‌ی هر سد از آرمان‌های مثبت و منفی و مقادیر میانگین و فاصله از آرمان‌ها در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۲- بیش‌ترین و کم‌ترین وزن نهایی سدها برای معیارهای مختلف.

شمار سدهای بررسی شده	کمیت آب	طول محور سد	عمق محور سد	ضریب ذخیره‌ی مخزن	حجم مخزن	تکیه‌گاه	شیب	نیاز آبی	دسترسی
بیش‌ترین	۰/۱۴۴۲۳۱	۰/۰۰۷۴۷۳	۰/۰۰۶۵۳۷	۰/۰۱۱۳۵۴	۰/۰۵۲۲۷۵	۰/۰۰۲۸۰۴	۰/۰۱۰۱۷۵	۰/۰۰۲۳۸۳	۰/۰۰۲۵۳۳۶
کمترین	۰/۰۰۰۴۶۸	۰/۰۰۰۰۲۴۲	۰/۰۰۰۳۸۷	۰/۰۰۰۲۵۵	۰/۰۰۰۲۰۹	۰/۰۰۰۱۶۷	۰/۰۰۰۶۰۷	۰/۰۰۱۴۲۳	۰/۰۰۰۵۶۹

جدول ۳- فاصله‌ی هر سد از آرمان‌های مثبت و منفی و مقادیر میانگین فاصله از آرمان‌های سدها به روش تاپسیس.

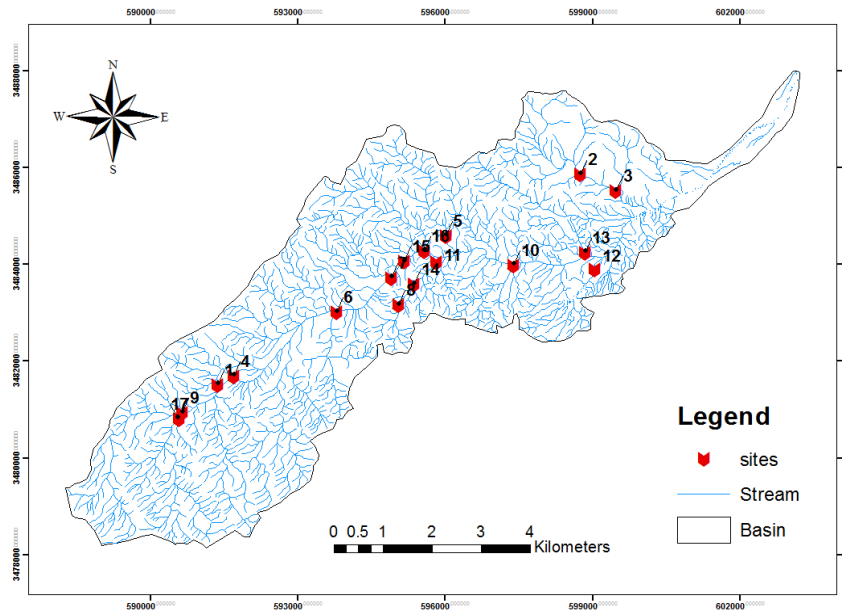
سدهای بررسی شده	di ⁺	di ⁻	CL	سدهای بررسی شده	di ⁺	di ⁻	CL
۱	۰/۰۸۷۵۸۱	۰/۰۵۹۶۶۶	۰/۴۰۵۲۱	۱۰	۰/۱۴۵۶۶	۰/۰۰۱۴۶۸	۰/۰۰۹۹۷۹
۲	۰/۰۸۴۷۰۹	۰/۰۶۱۵۸۵	۰/۴۲۰۹۶۷	۱۱	۰/۱۴۵۲۳۹	۰/۰۰۱۹۱۹	۰/۰۱۳۰۳۷
۳	۰/۱۴۴۶۱۷	۰/۰۰۳۱۱	۰/۰۲۱۰۵۲	۱۲	۰/۱۴۱۵۰۲	۰/۰۰۶۵۵۵	۰/۰۴۴۲۷۵
۴	۰/۱۴۵۰۵۷	۰/۰۰۳۰۳۵	۰/۰۲۰۴۹۱	۱۳	۰/۱۴۱۱۴۴	۰/۰۰۶۷۹۴	۰/۰۴۵۹۲۶
۵	۰/۱۴۲۵۹۴	۰/۰۰۴۹۳۹	۰/۰۳۳۴۷۴	۱۴	۰/۱۲۴۶۸۵	۰/۰۰۲۲	۰/۱۴۹۹۷۹
۶	۰/۱۲۸۱۴۲	۰/۰۱۹۴۰۶	۰/۱۳۱۵۲۳	۱۵	۰/۰۰۰۱۲۶	۰/۱۴۶۹۶۴	۰/۹۹۹۱۴۱
۷	۰/۱۴۲۸۱۱	۰/۰۰۴۸۰۹	۰/۰۳۲۵۷۹	۱۶	۰/۱۴۳۰۵	۰/۰۰۵۱۰۲	۰/۰۳۴۴۳۵
۸	۰/۱۴۵۵۴۷	۰/۰۰۲۶۹۱	۰/۰۱۸۱۵۵	۱۷	۰/۱۴۷۰۷۸	۰/۰۰۰۲۹۱	۰/۰۰۱۹۷۵
۹	۰/۱۴۱۶۸۶	۰/۰۰۶۳۸۵	۰/۰۴۳۱۱۸	-	-	-	-

سدهای زیرزمینی به روش تاپسیس در جدول ۴ و شکل ۲ آورده شده است.

نتایج نشان داد که موقعیت‌های پیشنهادشده‌ی ۱۵ (۰/۹۹۹)، ۲ (۰/۴۲۱)، ۱ (۰/۴۰۵) و ۱۴ (۰/۵۹۹۷۹) به ترتیب چهار اولویت برتر در روش تاپسیس است. اولویت‌بندی محل ساخت

جدول ۴- اولویت‌بندی ۱۷ سد شناسایی شده در منطقه با استفاده از روش تاپسیس.

شماره‌ی موقعیت‌های پیشنهادشده برای ساخت سد	وزن نهایی	رتبه
۱۵	۰/۹۹۹	۱
۲	۰/۴۲۱	۲
۱	۰/۴۰۵	۳
۱۴	۰/۱۵۰	۴
۶	۰/۱۳۲	۵
۱۳	۰/۰۴۶	۶
۱۲	۰/۰۴۴	۷
۹	۰/۰۴۳	۸
۱۶	۰/۰۳۴	۹
۵	۰/۰۳۳	۱۰
۷	۰/۰۳۳	۱۱
۳	۰/۰۲۱	۱۲
۴	۰/۰۲۰	۱۳
۸	۰/۰۱۸	۱۴
۱۱	۰/۰۱۳	۱۵
۱۰	۰/۰۰۹۹۷۹	۱۶
۱۷	۰/۰۰۱۹۷۵	۱۷



شکل ۲- مکان‌یابی و موقعیت مکانی محل‌های ساخت سد زیرزمینی با استفاده از روش تاپسیس بر شبکه‌ی آبراه کل منطقه.

در این منطقه مشخص شد که معیار آب وزن بیش‌تری از معیارهای دیگر گرفته و در نتیجه برترین معیار گرفتن است. این روش زمانی به کار می‌رود که تنش شدید کم‌آبی در منطقه باشد. با توجه به شرایط بحرانی و خشک‌سالی‌های اتفاق افتاده، استفاده از این روش برای مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک بسیار مهم است. با جلوگیری از اثرهای سوء در پایین دست و تأمین نیاز آبی، ساخت سدهای زیرزمینی می‌تواند کمک شایانی به تأمین آب مورد نیاز این مناطق کند، و لازم است در اولویت برنامه‌های آبخوان‌داری قرار گیرد. نتایج پژوهش حاضر با توجه به جمع‌آوری آب با استفاده از سدهای زیرزمینی برای برطرف نمودن نیاز آبی منطقه با تأکید بر کمیت آب با نتایج به‌دست آمده در کشورهای آفریقایی هم‌خوانی دارد و نشان‌دهنده اهمیت زیاد معیار کمیت آب در مکان‌یابی سد زیرزمینی است، که با نتایج (چزگی و همکاران ۲۰۱۰؛ نیلسون ۱۹۸۸) مطابقت دارد. هرچه جریان زیرسطحی آبراه بیش‌تر باشد، اهمیت نسبی آن از آبراه‌های دیگر بیش‌تر است، و در صورت نیاز آبی زیاد در منطقه، رتبه‌ی اول به آن داده می‌شود. آبراه‌های مناسب برای ساخت سد زیرزمینی در رتبه‌های ۴ و ۵ است، که این یافته با نتایج پژوهش سلیمانی و همکاران (۲۰۰۶) و چزگی (۲۰۰۹) مطابقت دارد. آبراه‌های رتبه‌ی کم به دلیل کمیت آب، حجم روان‌آب، و مقدار آب زیرزمینی نامناسب است. آبراه‌های رتبه‌های بیش‌تر نیز به خاطر قرار داشتن در مناطق دشتی و وجود تکیه‌گاه‌های نفوذپذیر نامناسب‌اند (سلیمانی ۲۰۰۵).

روش تحلیل چندمعیاره سامانه‌ی کارآمد در تصمیم‌گیری برای انتخاب محل سد زیرزمینی است که مسئله را از ابعاد مختلف بررسی می‌کند. عمل‌کرد این سامانه در بیش‌تر پژوهش‌های مشابه (چزگی و همکاران ۲۰۱۶؛ عرب‌عامری و همکاران ۲۰۱۸؛ دمباتا و همکاران ۲۰۰۹؛ چدهاری و شانکار ۲۰۱۲؛ آدیانجو و همکاران ۲۰۱۷) تأیید شده است.

توانایی زیاد سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی در تحلیل داده‌های مکانی به‌ویژه در تلفیق لایه‌های اطلاعاتی کمک بسزایی در انتخاب بهترین مکان برای ساخت سد زیرزمینی است. در این تحقیق پس از بررسی پیشینه و اصلاح برخی اطلاعات پایه با استفاده از روش‌های سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، محل‌های مناسب برای ساخت سد زیرزمینی مشخص شد. بررسی نتایج این تحقیق با بررسی‌های جوزقی و شمسانی (۲۰۱۵)؛ عرب‌عامری و همکاران (۲۰۱۸)؛ اوندرو و یالماز (۲۰۰۵)؛ ال-اوار و همکاران (۲۰۰۸)؛ آدیانجو و آددجی (۲۰۱۷) و چاکروبرتی (۲۰۱۸)، که با استفاده از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، و وزن‌دهی هر یک از لایه‌ها، مکان‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی را اولویت‌بندی نموده‌اند، هم‌خوانی دارد، که درستی روش انجام کار را تأیید می‌کند. البته نتایج فرآیند سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی کلی است و نمی‌تواند به‌طور کامل جایگزین پژوهش‌های تفصیلی شود، اما کمک زیادی به انتخاب محل درست و کاهش هزینه می‌کند، و اطلاعات بسیار مفیدی برای شروع پژوهش‌های تفصیلی محل به‌دست می‌دهد. در بررسی نتایج ارتباط بین عوامل مؤثر بر مکان‌یابی سد زیرزمینی

وجود سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و همگام‌سازی این سامانه‌ها با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند تاپسیس، نقش هر یک از عوامل با توجه به میزان تأثیرگذاری آن‌ها در انتخاب محل‌های مناسب سد بررسی و اعمال شد

در پژوهش حاضر تلاش شد تا ضمن تهیه‌ی نقشه‌های پایه و برهم‌نهادن آن‌ها در سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، مکان‌های مناسب ساخت سدهای زیرزمینی تعیین، و با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ی تاپسیس اولویت ساخت آن‌ها مشخص شود. اولویت‌های اول تا سوم سه محل پیشنهادشده‌ی سدهای ۱۵، ۲ و ۱۴ معرفی شد. با توجه به این که روش تاپسیس چندان پیچیده نیست، و نیازمند امکاناتی خاص و پیچیده نیز نیست، می‌تواند گزینه‌ی مناسبی برای محققان و کارشناسان باشد. بنابراین، با توجه به محدودیت جدی منابع آب زیرزمینی در بخش عمده‌ی از کشور و به ویژه استان فارس استفاده از این روش برای شناسایی محل‌های مناسب و توسعه‌ی سدهای زیرزمینی همراه با بازدیدهای گسترده‌ی میدانی سودمند خواهد بود. بررسی سدهای زیرزمینی و مزایا و معایب آن‌ها نشان می‌دهد که با توجه به مزایای زیاد و معایب کم و قابل اغماض آن‌ها، و با توجه به هزینه‌ی کم ساخت سد زیرزمینی می‌تواند در مدیریت جامع آبخیز جای‌گزین روش‌های قدیمی، هزینه‌بر و وقت‌گیر شود.

به‌طور کلی با توجه به شرایط خاص مناطق خشک و نیمه خشک، و مزایای استفاده از سدهای زیرزمینی از جمله هزینه‌های کم ساخت و نگهداری، جلوگیری از تبخیر و تعرق آب ذخیره‌شده، ذخیره‌کردن بهداشتی آب و نداشتن خسارت‌های زیست‌محیطی، استفاده از سدهای زیرزمینی به گزینه‌ی آرمانی و به‌صرفه است. پیشنهاد می‌شود با توجه به قرارداد داشتن کشور در منطقه‌ی خشک و نیمه‌خشک و بروز خشک‌سالی‌های شدید، در کنار سایر کارهای برداشت و ذخیره‌ی آب، به ساخت و توسعه‌ی سدهای زیرزمینی در کشور توجه ویژه شود.

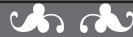
هرچه شیب کم‌تر باشد، اهمیت نسبی آن در مکان‌یابی سد زیرزمینی بیش‌تر است. بررسی‌ها نشان داد که بیش‌تر آبراه‌های ۴ و ۵ در شیب‌های کم‌تر از ۰.۵٪ بود، مناطقی که برای ساخت سد زیرزمینی مناسب است. معیار نیاز آبی اهمیت نسبی بیش‌تری از معیار دست‌رسی داشت. دلیل آن را می‌توان را خشک بودن منطقه دانست. درجه‌ی اهمیت و اولویت تأمین آب آشامیدنی روستای‌بان منطقه از دو معیار دیگر (کشاورزی و صنعت) بیش‌تر بود، که با نتایج نیلسون (۱۹۸۸) مطابقت دارد. معیارهای فرعی در بررسی وضعیت محور شامل عمق محور، طول محور و سنگ‌شناسی تکیه‌گاه‌های محور است. نتایج نشان داد که بیش‌ترین اهمیت نسبی در شاخص‌های محور در عمق محور سد زیرزمینی است، زیرا مهم‌ترین عامل در اقتصادی بودن سد زیرزمینی، عمق و طول محور است. محور مناسب‌آن است که علاوه بر داشتن مخزنی مناسب برای ذخیره‌ی آب در بالادست، عمق و طول آن برای اجرای دیواره کم‌ترین اندازه‌ی ممکن باشد. ارزش و اهمیت محورهایی که طول کم‌تری دارد، از دیگر محورها بیش‌تر بود، و این یافته با نظر سلیمانی (۲۰۰۵) و نیلسون (۱۹۸۸) هم‌خوانی دارد.

نتیجه‌گیری

فرآیند تصمیم‌گیری به چگونگی انتخاب بهترین گزینه از میان گزینه‌های ممکن می‌پردازد، به‌طوری‌که گزینه‌های منتخب بتواند بیش‌ترین سود و موفقیت را به‌همراه داشته باشد. هدف از انجام پژوهش حاضر، مکان‌یابی و اولویت‌بندی مناطق مناسب ساخت سد زیرزمینی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ی تاپسیس در آبخیز صادق‌آباد، استان فارس بود. عوامل و معیارهای متعدد از جمله معیارهای فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی برای مکان‌یابی سدهای زیرزمینی به‌کار می‌رود، که میزان اهمیت آن‌ها نسبت به یکدیگر متفاوت است. برای بررسی و تعیین این عوامل به‌صورت سنتی نیاز به صرف وقت و هزینه‌ی زیادی است که باعث می‌شود این کار دیگر اقتصادی نباشد. با

- Adeyanju OI, Adedeji AA, 2017. Hybrid AHP-TOPSIS decision support system for the selection of appropriate dam site. USEP: Journal of Research Information in Civil Engineering. 14 (3): 1663–1686.
- Arabameri AR, Shirani K, Karami J, Klourojan A. 2016. Application of multilayer perceptron neural network (MLP) in locating solid urban waste landfill with emphasis on hydrogeomorphic properties (Case study: Fereydoun Shahr City). Journal of Environmental Studies. 78: 329–342.
- Arabameri AR, Sohrabi M, Rezaei Kh, Shirani K. 2018. Locating the underground dam using the GIS technique and hierarchical analysis method (AHP). Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering. 12(41): 51–61. (In Persian).
- Baurne, G. 1984. Trap-dams: Artificial sub-surface storage of water. Water International. 4(1): 2–9.
- Chakraborty R, ChandraPal S, Malik S, Das B. 2018. Modeling and mapping of groundwater potentiality zones using AHP and GIS technique: A case study of Raniganj Block, Paschim Bardhaman, West Bengal. Modeling Earth Systems and Environment. Department of Geography the University of Burdwan, Bardhaman, India. 1–26.
- Chezgi J, Malekinejad H, Ekhtesasi MR, Nakhei M. 2016. Prioritization of suitable sites for the construction of a water ground dam using decision making models in arid and semi-arid regions. Scientific- Research Quarterly of Aridbiom. 6(2): 84–95.
- Chezgi J, Moradi HR, Kheirkhah Zarkesh MM. 2010. Locating suitable place for water ground dam construction using multi-criteria decision-making method with emphasis on water resources (Case study of west of Tehran province). Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering. 4(13): 65–68. (In Persian).
- Chezgi J, Moradi HR, Kheirkhah Zarkesh MM, Ghasemian D. 2009. Locating water ground dam by method exclusion criteria using GIS, (Case study: West Tehran). 5th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering in Gorgan University, Gorgan, Iran. 10 p.
- Choudhary D, Shankar R. 2012. An steep-fuzzy AHP-TOPSIS framework for evaluation and selection of thermal power plant location: A case study from India”, 8th World Energy System Conference. 42(1): 510–521.
- Dambatta A, Farmani BA, Javadi A, Evans BM. 2009. The analytical hierarchy process (AHP) for contaminant land management. Advanced Engineering Informatics. 23(4): 433–441.
- Davoudirad MR, Behrangi A, Mianji Y. 2004. Water ground dams a useful tool for managing groundwater resources, Proceedings of the first annual conference of water resources management in Iran, Tehran. 21 p. (In Persian).
- El-Awar FA, Makke MK, Zurayk RA, Mohtar RH. 2008. A hydro-spatial hierarchical method for siting water harvesting in reservoir of dry area. Applied Engineering in Agriculture. 16(4): 395–404.
- Esmaeli R, Jokar Sarhangi S, Roshan Neko P. 2016. Determination of flood potential using TOPSIS method (Case study: Mazandaran Province, Glendrood Watershed). Journal Management System. 9(31): 77–87. (In Persian).
- Forzieri G, Gardenti M, Caparrini F, Castelli F. 2008. A methodology for pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: A case study in the region of Kidal, Malia. Physics and Chemistry of the Earth. 33: 74–85.

- Foster S, Tuinhof A. 2004. Subsurface dams to augment groundwater storage in basement terrain for human subsistence-Brazilian and Kenyan experience, World Bank, Groundwater Management Advisory Team. No.5.
- Jamali IA, Mörtberg U, Olofsson B, Shafique M. 2014. A spatial multi-criteria analysis approach for locating suitable sites for construction of subsurface dams in Northern Pakistan. *Water Resource Management*. 28: 5157–5174.
- Jomeh Manzari R, Barati R. 2016. Locating suitable sites for the construction of a water ground dam. *Iranian National Irrigation and Drainage Congress*. 7(3). (In Persian).
- Jozghi A, Shamsaei A. 2015. Locating water reservoirs using GIS and multi-criteria decision making method (TOPSIS) (Case study: Southern province of Sistan and Baluchestan). *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*. 25(100): 6–14. (In Persian).
- Krohling A, Renato GC, Pacheco A. 2015. A-TOPSIS – An approach based on TOPSIS for ranking evolutionary algorithms, *Procedia Computer Science*. 55: 308 – 317.
- Malczewski J. 1999. GIS and multi-criteria decision analysis, Published simultaneously in Canada, copyright 1999 by John Wiley & Sons, INC, pp. 180–181.
- Nilsson A. 1988. Groundwater dams for small-scale water supply. *Intermediate Technology Publications Ltd. London*. 91 p.
- Onder H, Yilmaz M. 2005. Underground Dams, A tools of sustainable development and management of groundwater Recourses. *European Water*. 11(12): 35–45.
- Pirmoradian R, Behbahani MR, Nazaryfar MH, Velayati S. 2013. Initial locating of suitable area for underground dam construction in Eyvanakey Plain. *The First National Conference on Water Resources and Agricultural Challenges*. Iran, Islamic Azad University Khorasan.
- Salami H. 2005. Determination of suitable areas for the construction of water ground dam in igneous areas using remote sensing. Case study: Northern range of Kars Mountains, Master Of thesis, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University. 143 p (In Persian).
- Soleimani S. 2006. Investigating the geological characteristics of Mashhad plain to mapping the potential of water ground dam construction using GIS and RS (Case study: Mashhad Plain), Master of thesis in Engineering Geology, Tarbiat Modares University. 112 p. (In Persian).
- Soleimani S, Nickodel M, Oroumiye M, Bahrami H. 2006. Locating suitable alternatives for underground dam construction using GIS and RS (Case study: Mashhad Plain). *The third Water Resources Conference*. Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, www.civilica.com/paper-WRMO3_360.HTML. (In Persian).



Watershed Management Research

VOL. 32, No. 2, Ser. No: 123, Summer 2019, pp:19 -30
DOI: 10.22092/wmej.2018.122794.1134

Prioritization of Suitable Sites for Underground Dam Construction Using the TOPSIS Multi-Criteria Decision Making Model in the Sadeghabad Watershed, the Province of Fars

Saeed Keshavarz

M.Sc. Graduated, Department of Natural Resources and Environmental Engineering, College of Agriculture, Shiraz University

Hamid Reza Pourghasemi*

(Corresponding Author)* Associate Professor, Department of Natural Resources and Environmental Engineering, College of Agriculture, Shiraz University

Seyed Fakhreddin Afzali

Assistant Professor, Department of Natural Resources and Environmental Engineering, College of Agriculture, Shiraz University

Kurosh Rezaei Moghaddam

Associate Professor College of Agriculture, Shiraz University

*Corresponding Email: hr.pourghasemi@shirazu.ac.ir

Received: 26 July 2018 Accepted: 27 November 2018

Abstract

Construction of underground dams (UGDs) is a method of water harvesting in arid and semi-arid regions facing the drought crisis. UGDs are structures constructed in the hidden waterways that can store water in their upstreams. The most important problem in the construction of such dams is finding the right place. The purpose of this research is to locate and prioritize suitable areas for UGDs using the TOPSIS multi-criteria decision making method on the Sadeghabad Watershed, the Province of Fars. By performing field surveys and considering: slope percent, distance from fault, land use, and lithological units inappropriate areas were removed and a map of potential areas for the construction of an underground dam was prepared. According to expert judgement and review of scientific resources, 9 criteria, namely water quantity, dam length and height, reservoir storage coefficient, reservoir volume, abutment, slope, water demands (domestic, agriculture, and industry) and accessibility (road, village, and borrow area) were used to prioritize appropriate locations. Accordingly, 17 initial sites were selected based on expert judgment considering the criteria and overlapping of the base maps. The results indicated that water quantity and water demands with the weights of 0.308 and 0.2048 had the highest rating in priority in locating the underground dam, respectively. In contrast, the length of the axis of the dam and the supporting base of the dam with the weights of 0.019 and 0.023 had the lowest rating in priority. Finally, sites 15, 2, and 14 were given the first to the third priorities. Therefore, due to the serious limitations of groundwater resources in most parts of our country, and particularly in the Province of Fars, these methods are useful for identification of suitable sites and construction of the UGDs.

■ **Keywords:** GIS, the Province of Fars, TOPSIS, underground dams ■