



مکان‌یابی احداث سد زیرزمینی با به‌کارگیری روش‌های منطق بولین و تحلیل سلسله مراتبی به‌وسیله سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه آبریز حسن آباد در استان کرمانشاه)

نگین زارعی^۱، مهدی کرد^{۲*}

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۲- استادیار هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشکده علوم پایه، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

* نویسنده مسئول: m.kord@uok.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۱۵

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۰۶

چکیده

یکی از چالش‌های اصلی مدیریت منابع آب، حفظ آب‌های زیرزمینی و استفاده پایدار از آنها است. احداث سد زیرزمینی در مناطقی که امکان احداث وجود داشته باشد، می‌تواند یکی از راه‌های برون‌رفت از این چالش باشد. حوضه آبریز حسن آباد در بین دشت‌های شیان و ماهیدشت در استان کرمانشاه واقع شده و با وجود بارش‌های یکسان در منطقه، این حوضه از لحاظ منابع آبی، پوشش گیاهی و نوع کشاورزی شرایط نامناسب‌تری نسبت به دو دشت مجاور خود دارد. هدف از این پژوهش، شناسایی مناطق مناسب جهت احداث سد زیرزمینی در حوضه حسن آباد می‌باشد. به‌منظور دستیابی به این هدف، پس از آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی مختلف در محیط نرم‌افزار Arc GIS، با استفاده از روش منطق بولین، مناطق دارای پتانسیل احداث سد زیرزمینی بر اساس معیارهای شیب، جنس و ساختار زمین، شرایط هیدرولوژیک منطقه مانند رده آبراهه، آب زیرزمینی و کاربری زمین ۷ محور مستعد انتخاب شدند که در حاشیه جنوبی دشت حسن آباد قرار گرفته‌اند. در مرحله بعد، براساس معیارهای اصلی اقتصادی-اجتماعی، مخزن سد، محل ساخت سد و آب که خود شامل معیارهای فرعی و گزینه‌های مختلف هستند و استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، محورها اولویت‌بندی شدند و محوره‌های ۶، ۷ و ۱ به ترتیب اولویت‌های اول تا سوم را به خود اختصاص دادند. تصاویر هوایی، بازدید صحرایی، بررسی زمین‌شناسی ساختاری منطقه و جهت جریان آب زیرزمینی، نتایج حاصل از روش به‌کاررفته را به‌خوبی تأیید می‌کند که در نهایت محور ۶ بهترین محور برای اجرای محل ساخت سد تشخیص داده شد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل سلسله مراتبی، حوضه آبریز حسن آباد، سد زیرزمینی، منطق بولین.

مقدمه

که موجب ذخیره و کنترل آب زیرزمینی می‌شود و می‌تواند تأثیر بسزایی در منطقه به‌خصوص در مواقع بحرانی داشته باشد (Onder and Yilmaz, 2005). این سدها بر اساس نیاز مناطق مستعد در شرایط مختلف احداث می‌شوند (آقاملایی و همکاران، ۱۳۹۳). سدهای زیرزمینی از مزایای مختلفی برخوردارند که از آن جمله می‌توان به جلوگیری از تبخیر آب ذخیره شده، پایداری و ایمنی بالا، ذخیره آب بدون فروبردن سطح وسیعی از زمین در زیر آب، عمر مفید بالا، ذخیره آب با

ایران کشوری خشک با بارش کم می‌باشد (درفشان و همکاران، ۱۳۹۳)، به‌طوری‌که بارندگی در ایران کمتر از یک‌سوم متوسط بارندگی و تبخیر سالانه سه برابر میانگین جهانی است (علیزاده، ۱۳۹۴؛ قارزی و همکاران، ۱۳۹۱). احداث سدهای زیرزمینی یکی از راه‌های مؤثر جهت مقابله با کم‌آبی و مدیریت پایدار منابع آب است (کردی و همکاران، ۱۳۹۵)، به‌دلیل آنکه سد زیرزمینی سازه‌ای هیدرولیکی است

با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و معیارهای کمی و کیفی آب، اقتصادی-اجتماعی، مخزن سد و کاربری اراضی، مناطق مناسب را اولویت‌بندی کردند. (Dortaj et al. (2020). بر اساس روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ترکیبی به انتخاب مکان سد زیرزمینی در منطقه‌ای واقع در اصفهان پرداختند. آن‌ها ده ناحیه را به‌عنوان گزینه مناسب انتخاب کرده و بر اساس معیارهای زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی، اقلیمی و اقتصادی، رتبه‌بندی نواحی مناسب را انجام دادند.

مطالعات انجام‌شده در رابطه با مکان‌یابی سدهای زیرزمینی، اغلب بر اساس بازدیدهای صحرایی و در نظر گرفتن تعداد لایه‌های اطلاعاتی محدودی صورت گرفته است. اما در این پژوهش، معیارهای تصمیم‌گیری زیادی در انتخاب مکان مناسب احداث سد زیرزمینی و اولویت‌بندی محورها در نظر گرفته می‌شوند و استفاده از نرم‌افزار Arc GIS با توجه به توانایی بالای آن در مدیریت و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، موجب تعیین دقیق مناطق مناسب و کاهش هزینه و وقت می‌شود و از روش تحلیل سلسله مراتبی که روشی مناسب و پرکاربرد جهت اولویت‌بندی مکان‌های مستعد است، استفاده می‌شود. و در نهایت با کمک عکس‌های هوایی و بازدید میدانی، مناسب‌ترین محور مشخص می‌شود.

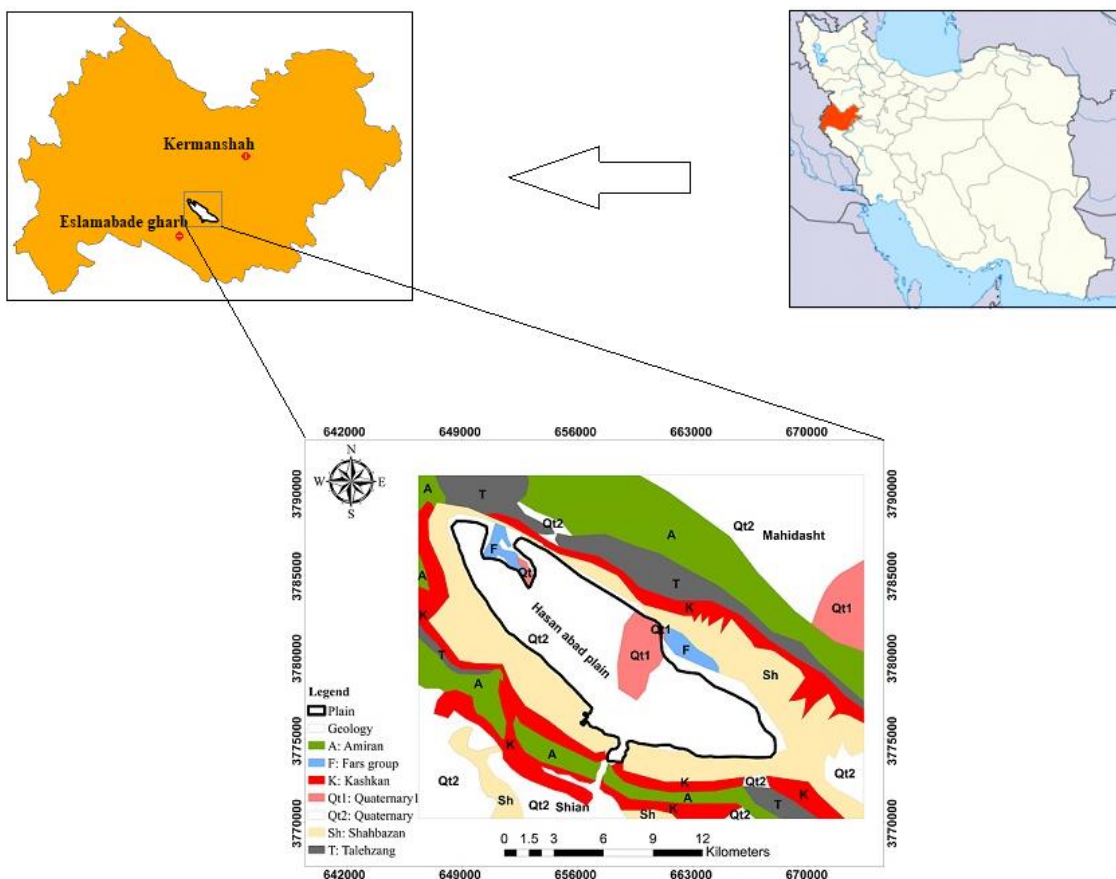
منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، حوضه آبریز حسن‌آباد واقع در استان کرمانشاه می‌باشد که در زاگرس چین‌خورده واقع شده است. در بین دشت‌های شیان و ماهیدشت واقع شده و با وجود بارش‌های یکسان در منطقه، این حوضه از لحاظ منابع آبی، پوشش گیاهی و نوع کشاورزی شرایط نامناسب‌تری نسبت به دو دشت مجاور خود دارد. با توجه به این تفاوت فاحش منابع آبی در محدوده‌ای نسبتاً کوچک، به نظر می‌رسد که ارتباط هیدرولیکی زیرزمینی باعث کاهش سهم آب این حوضه آبریز باشد که تبعات زیادی را به دنبال داشته است. با توجه به موقعیت ویژه منطقه مورد مطالعه از لحاظ دسترسی به جاده اصلی، جمعیت ساکن و قرارگیری در بین دو دشت بسیار حاصلخیز، مطالعه امکان‌سنجی احداث سد زیرزمینی برای کنترل آب‌های زیرزمینی و استفاده پایدار آب زیرزمینی در این حوضه ضروری به نظر می‌رسد.

کیفیت مناسب، ارزانی و آسانی احداث، استفاده مناسب از منابع تجدیدپذیر و نزدیکی احداث به محل بهره‌برداری اشاره کرد (خیرخواه زرکش و همکاران، ۱۳۸۷). اما احداث آن‌ها در همه‌جا امکان‌پذیر نیست و علاوه بر آن مکان‌یابی احداث آن‌ها به دلیل بررسی دقیق پارامترهای اثرگذار مختلف تا حدودی دشوار است، از این‌رو بسیاری از محققین به پژوهش در این زمینه پرداخته‌اند (عرب خزائی و همکاران، ۱۳۹۷). پیروان و همکاران (۱۳۹۷)، به تعیین عرصه‌های مناسب احداث سد زیرزمینی در حوضه خشک‌رود استان مرکزی، با استفاده از نرم‌افزار GIS پرداختند. در ابتدا برای انتخاب مناطق مستعد، از معیارهای حذفی شیب، گسل‌ها، سازندهای نامناسب زمین-شناسی استفاده کردند. سپس از بین مناطق مستعد، با استفاده از معیارهای فاصله از قنات‌ها، راه‌های دسترسی، محدوده‌های کشاورزی، کیفیت و کمیت آب زیرزمینی، عمق مخزن، سه منطقه را انتخاب کردند. میلادی و همکاران (۱۳۹۸)، مکان-یابی احداث سدهای زیرزمینی با استفاده از سامانه پشتیبانی تصمیم (DSS) را در شمال‌غرب استان کرمانشاه بررسی کردند. آن‌ها بر اساس شرایط محلی منطقه مطالعاتی، لایه‌های مدل ارتفاعی رقومی، شیب، حریم عرضی و ارتفاعی آبراهه‌ها، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، گسل‌ها، شیب لایه‌های زمین-شناسی و ضخامت رسوبات آبرفتی را تهیه و با استفاده از روش پشتیبانی تصمیم، نقاط واقع در محل‌های نامناسب را مرحله‌به‌مرحله حذف کردند و محل‌های مناسب احداث سد زیرزمینی را شناسایی کردند. (Talebi et al. (2019). تعیین مکان مناسب ساخت سد زیرزمینی را با استفاده از مدل SWAT و فرآیند تحلیل شبکه ANP در حوضه آبخیز دارونگار انجام دادند. آن‌ها معادله بیلان آب را با مدل SWAT شبیه‌سازی کرده و مسیرهای جریان آب زیرزمینی را مشخص کردند، سپس با وزن‌دهی ۱۱ لایه از طریق فرآیند تحلیل شبکه ANP مکان‌های مناسب بالقوه را انتخاب کردند. (Rohina et al. (2019). در تحقیقی انتخاب محل مناسب ساخت سدهای زیرزمینی را از طریق منطق بولین و روش AHP در حوضه آبخیز امامزاده جعفر گچساران بررسی کردند. آن‌ها با استفاده از منطق بولین و معیارهای فیزیولوژیکی، توپوگرافی، زمین-شناسی، کاربری اراضی، گسل و قنات، مناطقی را که هیچ محدودیتی برای ساخت سد نداشتند، مشخص کردند. سپس

مواد و روش‌ها منطقه مطالعاتی

در این محدوده تحت تأثیر چین خوردگی قرار گرفته و شکل عمومی منطقه را تاقدیس‌ها و ناودیس‌های متوالی تشکیل می‌دهد. مساحت حوضه ۱۰۴/۹۱ کیلومترمربع می‌باشد. حداکثر ارتفاع حوضه ۱۶۴۳ و حداقل ارتفاع آن ۱۴۱۳ متر و متوسط شیب حوضه ۸ درصد است. از نظر ویژگی‌های هواشناسی، اقلیم منطقه، مدیترانه‌ای نیمه‌خشک می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه منطقه حدود ۴۰۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه بین ۱۲ تا ۱۴ درجه سانتی‌گراد در نوسان است (وزارت نیرو، ۱۳۹۰). در شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعاتی نشان داده شده است.

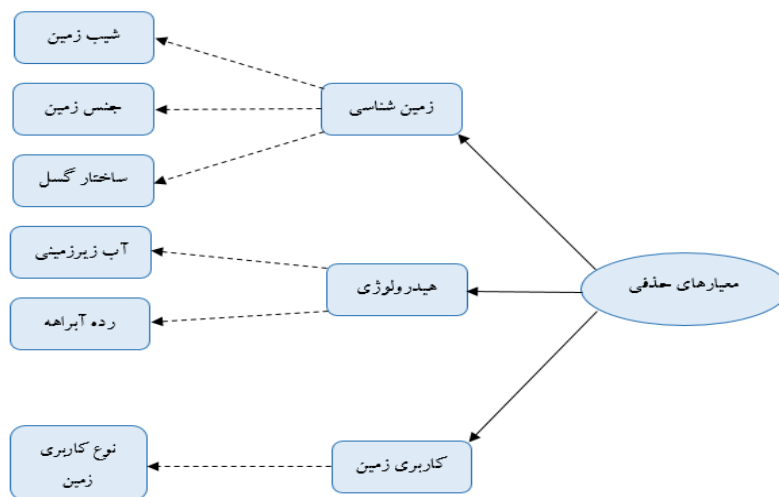
محدوده مطالعاتی حسن‌آباد بخشی از حوضه آبریز رودخانه سیمره و کرخه علیاست که در جنوب باختری استان کرمانشاه و در محدوده شهرستان اسلام‌آباد غرب واقع شده است. این حوضه بین ۴۶ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۴۹ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۳ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. این منطقه از نظر ساختاری و موقعیت زمین‌شناسی در کمربند کوهزایی زاگرس و پهنه زاگرس چین‌خورده واقع شده است. سازندهای زمین‌شناسی



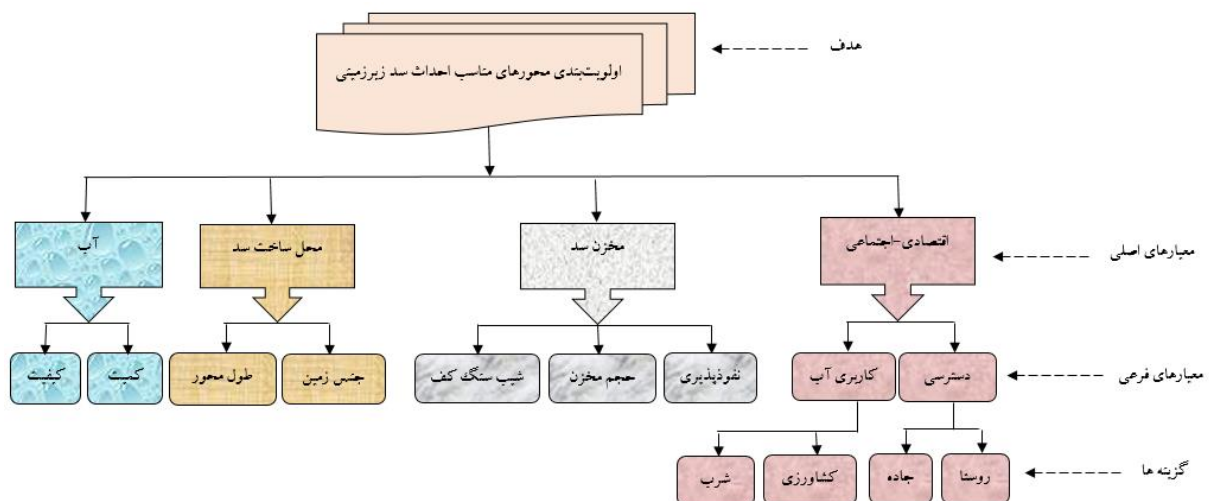
شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی

شدند که در شکل ۲ فلوجارت این معیارهای حذفی نشان داده شده است. در مرحله دوم، معیارهای تأثیرگذار مختلف جهت اولویت‌بندی محورهای مساعد تعیین و بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی، اولویت‌بندی انجام شد (شکل ۳).

این پژوهش شامل دو مرحله کلی است. در مرحله اول پس از تهیه داده‌های اولیه، لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز، با فرمت مناسب در محیط نرم‌افزار Arc GIS تهیه شدند و سپس بر اساس معیارهای حذفی و با استفاده از روش منطق بولین مناطق نامناسب جهت احداث سد زیرزمینی شناسایی و حذف



شکل ۲- فلوجارت معیارهای حذفی جهت شناسایی مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی



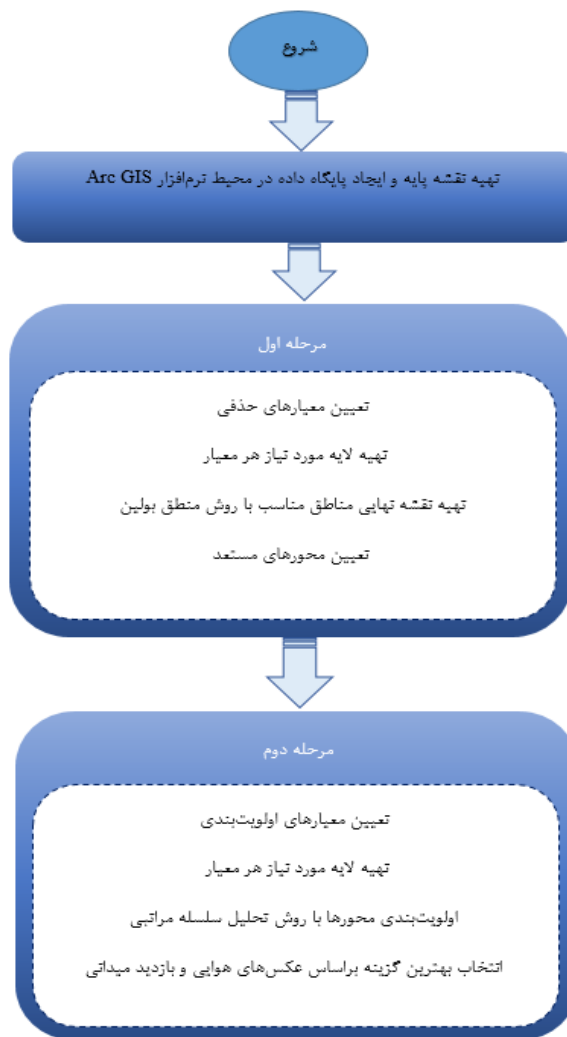
شکل ۳- فلوجارت معیارهای اولویت بندی محورهای مناسب احداث سد زیرزمینی

برای اجرای روش سلسله مراتبی و محاسبه وزن نهایی هر گزینه نیز از نرم افزار Expert Choice استفاده گردید. در نهایت با استفاده از تصاویر هوایی و همچنین بازدید میدانی، با در نظر گرفتن ویژگی‌های زمین‌شناسی، کاربری اراضی، هیدروژئولوژی و... و برداشت نقاط کنترلی، محور مساعد نهایی، انتخاب گردید. در شکل ۴ فلوجارت مراحل کلی پژوهش ارائه شده است.

برای جهت دستیابی به نقشه نهایی، عملگرهای مختلف AND، OR و NOT وجود دارد که این عملگرها دو یا چند عبارت رابطه‌ای را به یک عبارت که حاصل آن بولین است تبدیل می‌کنند (اسمعیلی عوری و همکاران، ۱۳۹۵). در این پژوهش با توجه به هدف موردنظر، پس از حذف مناطق نامناسب، از اشتراک مناطق مناسب برای مشخص کردن مناطق دارای پتانسیل استفاده شد. به این منظور از عملگر AND برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی استفاده گردید که موجب شد نقشه نهایی حاصل شده تنها به نواحی مناسب و نامناسب تقسیم گردد و مکان‌هایی که دارای کد ۱ در تمامی معیارها هستند به‌عنوان مناطق دارای پتانسیل احداث سد زیرزمینی مشخص شوند.

منطق بولین

منطق بولین به دلیل ساده بودن محاسبات، اجرای سریعی دارد که در مطالعات بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است. در این مدل، مبنای وزن دادن، صفر (نامناسب) و یک (مناسب) می‌باشد و حالت بینابینی وجود ندارد (Updegrove et al.



شکل ۴- فلوجارت مراحل انجام پژوهش

تحلیل سلسله مراتبی

معیار مشخص می گردد. در گام بعدی محاسبات مربوط به وزن نسبی هر معیار انجام می شود که این مرحله با کمک نرم افزار Expert choice انجام شد. مرحله بعد، به ادغام وزن های نسبی مربوط می شود به این صورت که وزن نسبی هر عنصر در وزن عناصر بالاتر ضرب می شود تا وزن نهایی آن به دست آید که به آن شاخص تناسب نهایی می گویند (مهرگان، ۱۳۸۳). در نهایت، سازگاری قضاوت ها به منظور تعیین دقت نظرسنجی از طریق نرخ سازگاری (رابطه ۱) که در آن CR نرخ سازگاری، IR شاخص تصادفی، n تعداد گزینه های موجود در مسئله و λ_{max} حداکثر مقدار ویژه ماتریس است مورد بررسی قرار می گیرد (Saati, 2008). نرخ سازگاری ۰/۱ یا کمتر بیانگر سازگاری در مقایسات می باشد.

$$CR = \frac{CI}{IR}$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

(۱)

(۲)

پس از تعیین محورهای مناسب مناطق مستعد، با در نظر گرفتن معیارهای مختلف، این محورها با هم مقایسه و اولویت بندی می شوند. روش تحلیل سلسله مراتبی زمانی مورد استفاده قرار می گیرد که تصمیم گیری با چندین گزینه رقیب و چندین معیار تصمیم گیری (به صورت کمی یا کیفی) مواجه شود (Rohina et al. 2019). بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی، در ابتدا ساختن سلسله مراتب تصمیم گیری در چهار سطح هدف، معیارهای اصلی، معیارهای فرعی و گزینه ها صورت می گیرد. سپس از طریق پرسشنامه ای که توسط کارشناسان تکمیل می شود (Rohina et al. 2019)، مقایسات زوجی بین گزینه های مختلف با توجه به اهمیت نسبی گزینه ها نسبت به یکدیگر انجام شده و ارزش اختصاص داده شده به هر

دارای بافت درشت‌دانه بوده و نفوذپذیری بالایی دارند، که سبب نشت آب از تکیه‌گاه‌ها شده و برای احداث سد زیرزمینی نامناسب هستند (خدادادی و همکاران، ۱۳۹۷؛ خرمی و همکاران، ۱۳۹۳). حوضه شامل دو نوع پادگانه آبرفتی قدیمی (Qt1) و جدید (Qt2) می‌باشد. جنس سنگ مخزن از سازند کربناته شهبازان است که در کل منطقه موردنظر گسترده شده است.

ساختار گسل

نواحی دارای گسل برای احداث سد زیرزمینی محدودیت ایجاد می‌کنند، زیرا موجب فرار آب می‌شوند و در صورت فعال و بزرگ بودن، از نظر وقوع زلزله خطرانی را خواهند داشت، بنابراین لازم است فاصله‌ای از گسل‌ها برای احداث سد در نظر گرفته شود (خرمی و همکاران، ۱۳۹۳؛ عرب و همکاران، ۱۳۹۸). در این پژوهش حریم ۵۰۰ متری در اطراف هر گسل به‌عنوان منطقه نامناسب در نظر گرفته شد.

رده آبراهه‌ها

رده آبراهه دارای ارتباط مستقیم با حجم رواناب می‌باشد و احداث سد باید در نواحی با حجم مناسب رواناب صورت گیرد، بنابراین آبراهه‌های رده یک و دو به‌دلیل حجم پایین رواناب، برای احداث سد زیرزمینی نامناسب در نظر گرفته شدند (خرمی و همکاران، ۱۳۹۳؛ زاهدی و همکاران، ۱۳۹۵)، و آبراهه‌های رده سه و چهار شبکه آبراهه مناسب فرض شدند.

آب زیرزمینی

چاه‌ها، قنات‌ها و چشمه‌ها منابع آب زیرزمینی هستند که احداث سد زیرزمینی در حوالی آن‌ها موجب اثرات منفی بر مقدار آبدهی آن‌ها می‌گردد، بنابراین باید حریمی را برای آن‌ها در نظر گرفت که محدوده داخل حریم به‌عنوان محدوده نامناسب احداث سد زیرزمینی در نظر گرفته شود (عرب و همکاران، ۱۳۹۸؛ خرمی و همکاران، ۱۳۹۳). حوضه حسن‌آباد فاقد قنات بوده و چشمه‌ها در بالادست حوضه و خارج از محدوده دشت قرار دارند، همچنین دارای ۱۷۱ حلقه چاه می‌باشد که برای هر چاه حریم ۱۰۰ متری به‌عنوان منطقه نامناسب در نظر گرفته شد.

در این پژوهش، پرسشنامه توسط ۶۰ نفر از کارشناسان حوزه آب، تکمیل شد و نسبت سازگاری معیارها ۰/۰۵ محاسبه گردید که قابل قبول می‌باشد. نتایج به‌دست آمده با استفاده از تصاویر هوایی و همچنین بازدید میدانی، با در نظر گرفتن ویژگی‌های زمین‌شناسی، کاربری اراضی، هیدرولوژی و... و برداشت نقاط کنترلی، مورد بررسی نهایی قرار گرفتند و محور مساعد نهایی، مشخص گردید.

نتایج و بحث

مکان‌یابی احداث سد زیرزمینی در این پژوهش شامل مرحله معیارهای حذفی، مرحله اولویت‌بندی مناطق و بازدید میدانی است که جزئیات و نتایج آن در زیر شرح داده شده است.

مرحله اول (تعیین مناطق دارای پتانسیل احداث سد زیرزمینی)

معیارهای حذفی، معیارهایی هستند که عدم وجود آن‌ها جهت انتخاب یک محدوده مناسب، ضروری است (سلامی، ۱۳۸۵). این معیارها و محدوده‌های مناسب آن‌ها بر اساس اطلاعات و شرایط موجود از منطقه و تحقیقات صورت گرفته پیشین انتخاب شدند. در این مرحله با استفاده از طبقه‌بندی مجدد لایه‌های اطلاعاتی تهیه شده، مناطق نامناسب مشخص و با روش منطق بولین و ترکیب تمامی لایه‌ها، محدوده‌های دارای پتانسیل شناسایی می‌گردند. معیارهای در نظر گرفته شده به شرح زیر می‌باشند:

شیب زمین

نقشه شیب حوضه از مدل رقومی ارتفاعی استخراج و کلاس‌بندی شد. در شیب‌های کمتر از ۵ درصد، سرعت جریان آب پایین و مخزن زیرسطحی مناسبی تشکیل می‌گردد، که مناسب‌ترین مکان برای احداث سد می‌باشند. شیب زیاد مانع از تشکیل مخزنی با حجم مناسب خواهد شد، بنابراین شیب‌های بالای ۵ درصد نامناسب در نظر گرفته شدند (خدادادی و همکاران، ۱۳۹۷؛ خرازی و همکاران، ۱۳۹۶).

جنس زمین

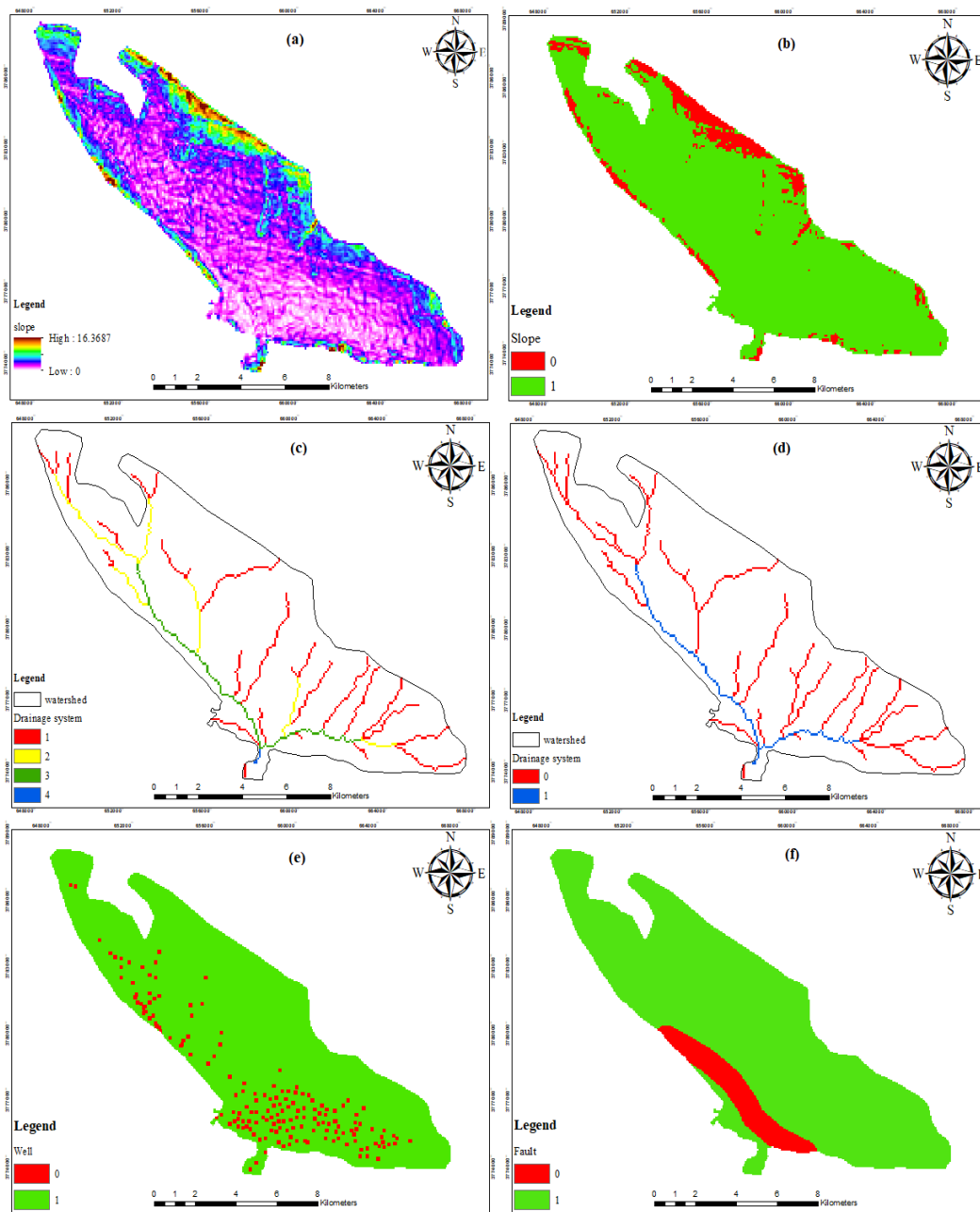
وجود بستری آبرفتی با ضخامت و نفوذپذیری مناسب برای مخزن زیرزمینی ذخیره آب و وجود سنگ بستر نفوذناپذیر برای سنگ پی از ضروریات است. پادگانه‌های آبرفتی قدیمی مرتفعی که در کرانه‌های رودخانه وجود دارند

کاربری زمین

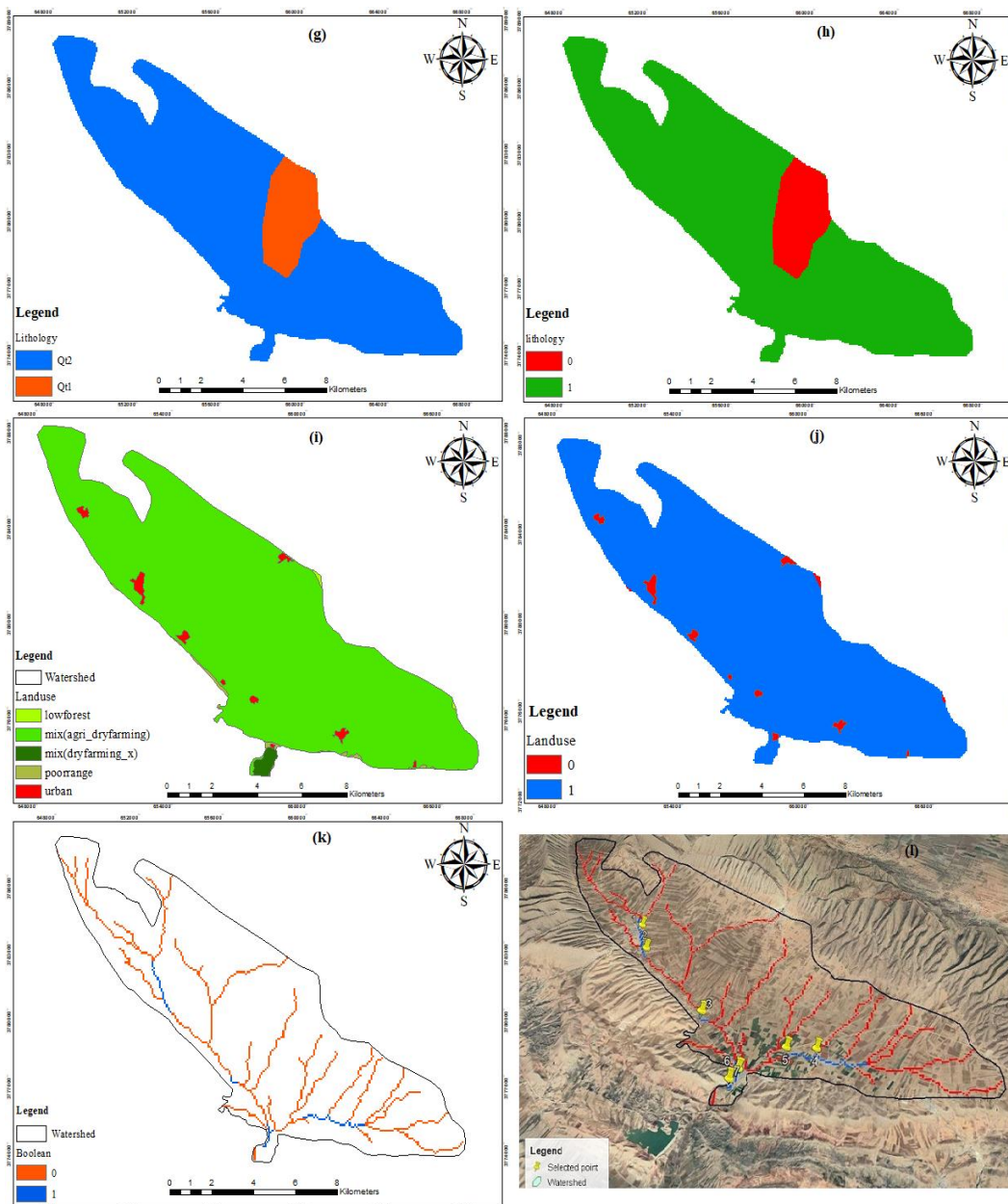
در نقشه کاربری اراضی کل محدوده، کاربری‌های مختلفی مانند مناطق مسکونی، اراضی کشاورزی آبی و دیم، مراتع و جنگل‌ها مشاهده می‌گردد که مناطق مسکونی و رخنمون‌های سنگی به‌عنوان مناطق نامناسب در نظر گرفته شدند (اصغری سرسکانرود و همکاران، ۱۳۹۵؛ عشقی‌زاده، ۱۳۸۸).

نقشه نهایی محدوده‌های دارای پتانسیل احداث سد زیرزمینی

تمامی لایه‌های رستری معیارهای ذکر شده که در دو کلاس مناسب (کد ۱) و نامناسب (کد ۰) طبقه‌بندی شده‌اند با روش منطق بولین با یکدیگر تلفیق شده و در نقشه حاصل شده مناطقی که پتانسیل احداث سد زیرزمینی را دارند مشخص گردید. بر این اساس ۷ منطقه به‌عنوان محورهای مناسب انتخاب شدند. تمامی نقشه‌ها در شکل ۵ ارائه شده‌اند.



شکل ۵- نقشه‌های مرحله حذفی (a) نقشه شیب، (b) نقشه شیب بولین، (c) نقشه رتبه‌های آبراه‌ها، (d) نقشه آبراه‌های بولین، (e) نقشه چاه‌های بولین، (f) نقشه گسل بولین،



ادامه شکل ۵- نقشه‌های مرحله حذفی (g) نقشه لیتولوژی، (h) نقشه لیتولوژی بولین، (i) نقشه کاربری زمین، (j) نقشه کاربری زمین بولین، (k) نقشه تلفیقی بولین، (l) نقشه محورهای منتخب

شامل دسترسی و کاربری آب می‌باشند و معیارهای اصلی شامل وضعیت اقتصادی-اجتماعی، مخزن سد، محل ساخت سد و آب هستند، هدف نیز اولویت‌بندی مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی می‌باشد. با فرض اهمیت یکسان معیارهای اصلی، اولویت‌بندی انجام شد. براساس ارزش‌های تعیین شده و با مقایسه زوجی یا دودویی، محاسبه وزن نرمالیزه هر یک از معیارها و بررسی نرخ سازگاری مقایسات نسبت به هم توسط نرم‌افزار Expert choice صورت گرفت.

مرحله دوم (اولویت‌بندی محورهای مناسب احداث سد زیرزمینی)

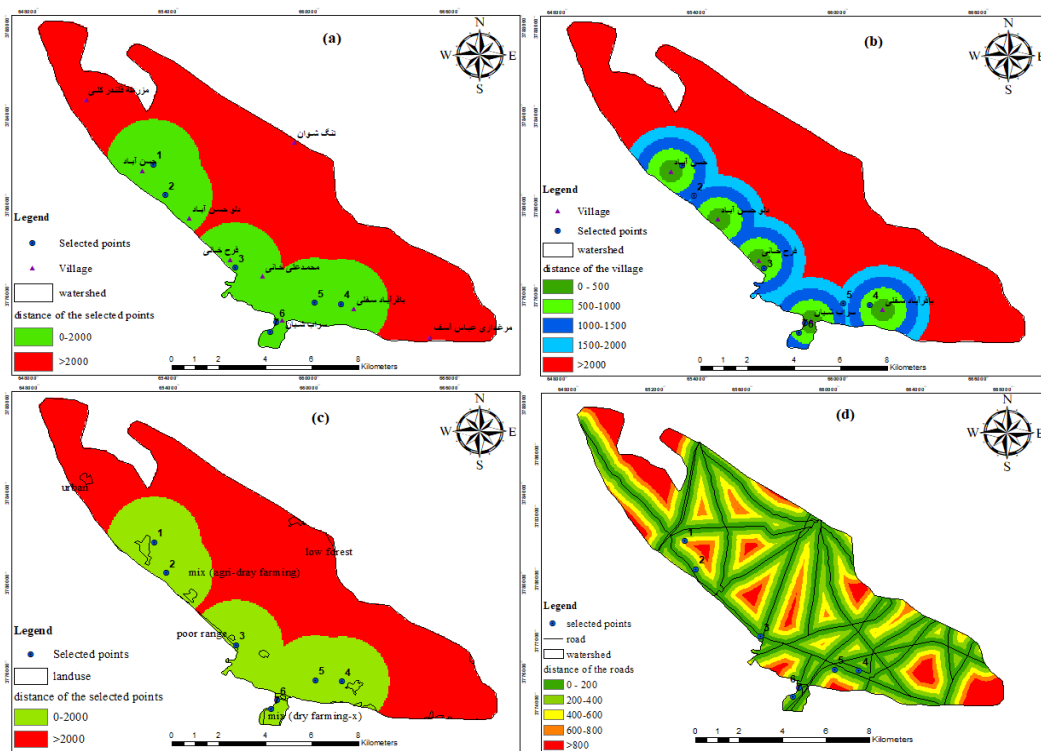
پس از انتخاب محورهای مناسب، براساس معیارهای مختلف، این محورها باهم مقایسه و اولویت‌بندی شدند. بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی، گزینه‌ها در انتهای درخت تصمیم‌گیری قرار دارند و شامل دسترسی به روستا، دسترسی به جاده، آب کشاورزی و آب شرب، نفوذپذیری مخزن، حجم مخزن، شیب سنگ کف مخزن، جنس زمین محور سد، طول محور سد، کمیت و کیفیت آب می‌باشند، معیارهای فرعی

معیار اقتصادی-اجتماعی

معیار اقتصادی اجتماعی با مقدار نیاز آبی منطقه و قابلیت دسترسی به محل سد بررسی می‌گردد. نیاز آبی به دلیل اینکه مهم‌ترین هدف از احداث سد زیرزمینی تأمین نیاز آبی ساکنین می‌باشد، از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و وزن آن ۰/۸ می‌باشد و وزن معیار دسترسی ۰/۲ است.

در مقایسه گزینه‌های نیاز شرب و نیاز کشاورزی نیز، نیاز آب شرب به دلیل ضرورت تأمین آن اهمیت بیشتری داشته و وزن آن ۰/۸۳ است و وزن نیاز آبی کشاورزی ۰/۱۷ می‌باشد. به منظور بررسی نیاز شرب، در اطراف هر محور بافر ۲ کیلومتری زده شد و تعداد روستاهای داخل حریم هر محور و جمعیت آن‌ها تعیین شد و به جمعیت‌های بیشتر، امتیاز بالاتری داده شد به طوری که بیشترین وزن که ۰/۵۱۳ بود به بالاترین جمعیت یعنی طبقه بیشتر از ۸۰۰ نفر اختصاص یافت. جهت بررسی نیاز آب کشاورزی نیز در اطراف هر محور بافر ۲ کیلومتری زده شد و مساحت اراضی تحت پوشش هر محور مشخص گردید که مساحت اراضی بیشتر، امتیاز بالاتری را

دارند و بیشترین وزن که ۰/۵۱۳ بود به بیشترین مساحت اراضی یعنی طبقه بیشتر از ۸ کیلومتر مربع تعلق گرفت. میزان دسترسی به محل سد زیرزمینی از طریق دو معیار فاصله از روستا و فاصله از جاده سنجیده می‌شود که به دلیل مشارکت ساکنین روستا در احداث، نگهداری و حفاظت سد، فاصله از روستا اهمیت بیشتری داشته و وزن آن ۰/۸۳۳ می‌باشد. وزن فاصله از جاده نیز ۰/۱۶۷ برآورد شد. برای تعیین فاصله محورها از روستاها، از نقشه پراکندگی روستاها استفاده شد و از محور سدها بافر ۲ کیلومتری زده شد و فاصله نزدیک‌ترین روستای قرار گرفته در بافر، از محور سد تعیین و در نظر گرفته شد و بیشترین امتیاز به کمترین فاصله محل سد از روستا یعنی ۵۰۰-۰ متر تعلق گرفت که وزن آن برابر ۰/۵۱۳ شد. نقشه جاده‌های دسترسی حوضه نیز تهیه شد و فاصله محورهای مختلف از نزدیک‌ترین جاده‌ها تعیین گردید و بیشترین امتیاز به کمترین فاصله محور سد از جاده یعنی ۲۰۰-۰ متر داده شد که وزن آن برابر ۰/۵۱۳ شد. در شکل ۶ نقشه‌های تهیه‌شده برای بررسی این معیار اصلی نشان داده شده است.



شکل ۶- نقشه‌های معیار اقتصادی-اجتماعی (a: نقشه روستاهای تحت پوشش هر محور، b: نقشه فاصله از روستا، c: نقشه اراضی کشاورزی تحت پوشش هر محور، d: نقشه فاصله از جاده)

معیار مخزن سد

و با استفاده از روش IDW در محیط نرم افزار GIS، نقشه هم ضخامت آبرفت حوضه مطابق شکل ۷ حاصل شد که ضخامت آبرفت حوضه بین ۱۱ تا ۲۶۶ متر می باشد. سطح مخزن از ضرب طول مخزن در عرض آبراهه حاصل شد که طول مخزن از رابطه ۳ حاصل می شود و حجم مخزن نیز از ضرب سطح مخزن در ضخامت آبرفت به دست آمد (عرب و همکاران، ۱۳۹۸؛ خرازی و همکاران، ۱۳۹۶) و برای تمامی محورها محاسبه گردید و بیشترین اهمیت به حجم مخزن بیشتر که موجب مقدار ذخیره آب بیشتری می شود داده شد، به طوری که وزن حجم مخزن بیشتر از ۴۰۰۰۰۰ مترمکعب برابر ۰/۵۱۳ شد. ویژگی های مخزن سد برای تمامی محورها در جدول ۱ ارائه شده است.

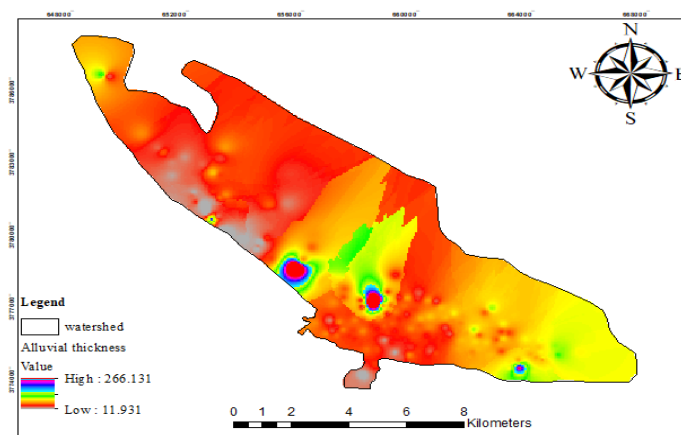
$$L = B \times 1/A \quad (3)$$

L: طول مخزن (m)، B: ضخامت آبرفت (m)، A: شیب بستر آبراهه (%)

معیار مخزن سد زیرزمینی با نفوذپذیری بستر، حجم مخزن و شیب سنگ کف مخزن بررسی می شود. نفوذپذیری با وزن ۰/۶۳۷ و شیب سنگ کف با وزن ۰/۲۵۸ از اهمیت بیشتری برخوردار شدند که دلیل آن ارتباط بین نفوذپذیری با مقدار حجم مخزن و همچنین ارتباط بین شیب با طول مخزن می باشد که تأثیر زیادی در مقدار آب ذخیره شده در مخزن دارند. گزینه حجم مخزن نیز دارای وزن ۰/۱۰۵ شد. گزینه نفوذپذیری بر اساس مقدار تراوایی واحدهای زمین-شناسی طبقه بندی شده و بالاترین ارزش به مناطقی با نفوذپذیری زیاد داده شد زیرا موجب حجم آب ذخیره شده بیشتری می شوند و وزن آن ۰/۷۵۱ برآورد گردید. برای تعیین شیب سنگ کف مخزن سد، از نقشه شیب حوضه استفاده شد و شیب های کمتر، دارای ارزش بیشتری شدند چون موجب افزایش طول مخزن و ذخیره آب بیشتر می شوند و وزن طبقه-ای با شیب ۰-۱ برابر ۰/۵۱۳ شد. برای تعیین ضخامت آبرفت-ها، از عمق چاهها به دلیل حفر در مناطق آبرفتی استفاده شد

جدول ۱- مشخصات مخزن سد برای محورهای مناسب احداث سد زیرزمینی

شماره نقطه محل	ضخامت آبرفت (m)	شیب بستر آبراهه (%)	عرض متوسط آبراهه (m)	طول مخزن (m)	سطح مخزن (m ²)	حجم مخزن (m ³)
۱	۲۴/۴۷	۱/۷۶	۷/۴۱	۱۳۹۰/۳۴	۱۰۳۰۲/۴۲	۲۵۲۱۰۰/۲۱
۲	۱۷/۱۵	۱/۴۵	۱۸/۷۴	۱۱۸۲/۷۵	۲۲۱۶۴/۷۳	۳۸۰۱۲۵/۱۲
۳	۲۷/۷	۳/۴	۵/۷۱	۸۱۴/۷	۴۶۵۱/۹۳	۱۲۸۸۵۸/۴۶
۴	۲۴/۵۶	۱/۶۶	۱۴/۶۸	۱۴۷۹/۵۱	۲۱۷۱۹/۲	۵۳۳۴۲۳/۵۵
۵	۲۵/۰۵	۱/۰۳	۱۱/۸۷	۲۴۳۲/۰۳	۲۸۸۶۸/۱۹	۷۲۳۱۴۸/۱۶
۶	۲۳/۰۸	۴/۶۷	۱۳/۵۴	۴۹۴/۲۱	۶۶۹۱/۶	۱۵۴۴۴۲/۱۲
۷	۱۶/۰۶	۱/۴۵	۱۰/۳۴	۱۱۰۷/۵۸	۱۱۴۵۲/۳۷	۱۸۳۹۲۵/۰۶



شکل ۷- نقشه هم ضخامت آبرفت حوضه حسن آباد

معیار محل ساخت سد

دارد. در این مرحله به منظور سنجش کمیت آب از رده آبراهه‌ها استفاده شد. آبراهه‌هایی با رده بالاتر، دارای مقدار جریان آب بیشتری بوده و از اهمیت بالاتری برخوردارند به طوری که وزن آبراهه رده ۴ برابر ۰/۷۵ شد.

از آنجا که بیشترین مقدار مصرف آب و همچنین کمبود آب مربوط به بخش کشاورزی است، بررسی کیفیت آب بر اساس طبقه‌بندی کیفی آب کشاورزی و روش طبقه‌بندی ویلکاکس صورت گرفت و بیشترین امتیاز به بهترین کلاس کیفی آب (C1S1) اختصاص یافت که وزن آن برابر ۰/۵۶۵ شد.

پهنه‌بندی کیفی آب‌های حوضه با معیار هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذبی سدیم (SAR) در شکل ۸ ارائه شده است. کیفیت آب حوضه از نظر کشاورزی، بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس در کلاس C2S1 قرار می‌گیرد که دارای کیفیت خوب می‌باشد.

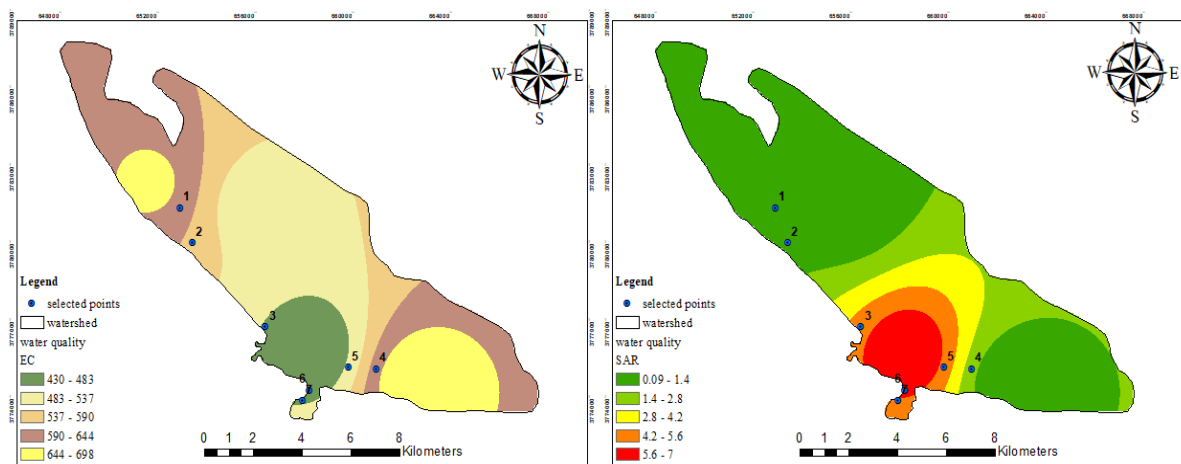
اولویت‌بندی محورها

با فرض اهمیت و وزن یکسان تمامی چهار معیار اصلی، نتایج حاصل از این اولویت‌بندی در جدول ۲ آورده شده است.

معیار محل ساخت سد با طول محور سد و لیتولوژی تکیه‌گاه‌های محور سد بررسی می‌شود که طول محور از اهمیت بیشتری برخوردار شده و وزن آن برابر ۰/۷۵ در نظر گرفته شد و لیتولوژی تکیه‌گاه‌ها به دلیل حذف پادگانه‌های آبرفتی مرتفع قدیمی در مراحل قبل، از اهمیت کمتری برخوردار شده و وزن آن ۰/۲۵ گردید. محورهایی که طول کمتری دارند، اهمیت بیشتری نسبت به سایر محورها دارند زیرا موجب کاهش هزینه و زمان ساخت می‌شوند به طوری که وزن طول محور ۱۰- متر برابر ۰/۵۱۳ شد. تکیه‌گاه‌هایی با نفوذپذیری کمتر به دلیل آب-بندی بهتر، اهمیت بیشتری دارند که وزن آن‌ها برابر ۰/۷۵۱ تعیین شد.

معیار آب

معیار آب از طریق کمیت آب و کیفیت شیمیایی آب بررسی می‌شود که کمیت آب از اهمیت بیشتری برخوردار شد زیرا تأمین مقدار مناسب آب ضروری می‌باشد اما می‌توان از آب با کیفیت‌های متفاوتی برای کاربری‌های مختلف استفاده کرد. وزن کمیت ۰/۸۳۳ و وزن کیفیت ۰/۱۶۷ تعیین شد. رده آبراهه‌های حوضه ارتباط مستقیمی با مقدار جریانات سطحی



شکل ۸- پهنه‌بندی کیفی آب حوضه بر اساس مقادیر EC و SAR

جدول ۲- نتایج اولویت‌بندی محورهای منتخب احداث سد زیرزمینی

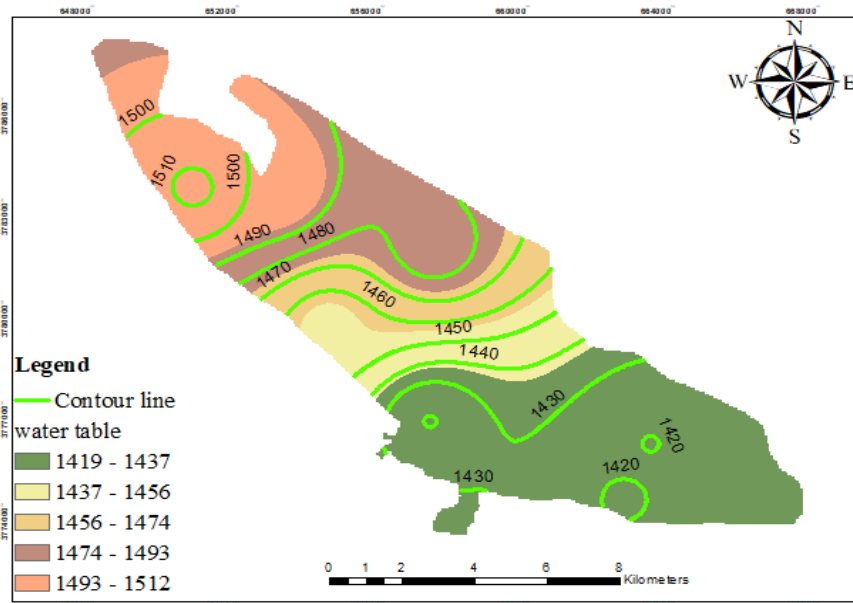
شماره محور سد	اقتصادی اجتماعی (۰/۲۵)												
	مخزن سد (۰/۲۵)						دسترسی (۰/۲)						
	آب (۰/۲۵)	محور سد (۰/۲۵)	مخزن سد (۰/۲۵)	نیاز آبی (۰/۸)	دسترسی (۰/۲)	نیاز آبی (۰/۸)	فاصله از روستا (۰/۸۳۳)	فاصله از جاده (۰/۱۶۷)	نفوذپذیری (۰/۶۳۷)	حجم مخزن (۰/۱۰۵)	شیب سنگ کف (۰/۲۵۸)	طول محور (۰/۷۵)	
تناسب نهایی اولویت	کیفیت (۰/۱۶۷)	کمیت (۰/۸۳۳)	لینئولوژی تکیه‌گاه (۰/۲۵)	نیاز شرب (۰/۸۳۳)	نیاز کشاورزی (۰/۱۶۷)	فاصله از روستا (۰/۸۳۳)	فاصله از جاده (۰/۱۶۷)	نفوذپذیری (۰/۶۳۷)	حجم مخزن (۰/۱۰۵)	شیب سنگ کف (۰/۲۵۸)	طول محور (۰/۷۵)	کیفیت (۰/۱۶۷)	تناسب نهایی اولویت
۱	۰/۵۱	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۱۳	۰/۷۵	۰/۱۳	۰/۲۶	۰/۱۳	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۰۶	۰/۲۵	۰/۳۳۷
۲	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۷۵	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۰۶	۰/۲۵	۰/۲۷۷
۳	۰/۰۳	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۵۱	۰/۷۵	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۲۵	۰/۲۵۰
۴	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۷۵	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۵۱	۰/۲۶	۰/۰۶	۰/۲۵	۰/۳۰۹
۵	۰/۰۶	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۷۵	۰/۰۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۵۱	۰/۲۶	۰/۱۳	۰/۲۵	۰/۲۷۳
۶	۰/۱۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۵۱	۰/۷۵	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۲۶	۰/۷۵	۰/۴۱۴
۷	۰/۱۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۲۶	۰/۷۵	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۰۶	۰/۲۶	۰/۱۳	۰/۷۵	۰/۳۸۶

حوضه را جمع‌آوری کرده و به سمت دشت شیان هدایت می‌کند. این موضوع با نقشه آبراهه‌ها و جریان آب زیرزمینی نیز تائید می‌شود (شکل ۹). در این محدوده، محور ۶ از موقعیت ویژه‌ای برخوردار است. در این محدوده تنگه‌ای وجود دارد که آب‌ها را به سمت پایین‌دست و دشت شیان کانالیزه می‌کند. وجود پهنه سبز در عکس هوایی و وجود چشمه در محل تنگه که سدی بر روی آن زده شده است، شاهدی بر مدعاست (شکل ۵، ۵). احداث سد زیرزمینی در حوضه آبریز حسن‌آباد توجیه‌پذیرتر از احداث سد سطحی در دشت شیان است که از جمله دلایل آن، می‌توان به خطر تخریب سد سطحی و تخریب روستاهای پایین‌دست که در فاصله بسیار ناچیز از سد قرار دارند، خشک‌کردن رودخانه شیان، هزینه بسیار زیاد احداث و نگهداری سد سطحی، تکنیک فعال منطقه (حبیبی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۶) اشاره کرد. احداث سد در محور ۶ با توجه به عرض کم دره و بالآمدگی پی‌سنگ، با کمترین هزینه و بیشترین سرعت قابل انجام است و از لحاظ تبخیر، امنیت در برابر آلودگی و موضوع پدافند غیرعامل می‌تواند گزینه بهتری برای ذخیره آب باشد.

اولویت‌بندی انجام‌شده تا حد بسیار زیادی منطقی به نظر می‌رسد اما با توجه به تقدم برخی از محورها، مانند محور شماره ۱ بر محورهای ۲، ۳، ۴ و ۵، با توجه به مخزن کوچک و آب‌بندی سخت آن به دلیل گسترده بودن محدوده، نهایی بودن نتایج را با چالش مواجه می‌کند. این موضوع نشان می‌دهد که به دلیل عدم قطعیت داده‌ها و عدم در نظرگیری تمام پارامترهای مؤثر در اولویت‌بندی و خطای نرم‌افزاری و انسانی ممکن است که نتایج به‌طور مطلق درست نباشند. لذا برای نهایی کردن اولویت‌بندی، بازدید میدانی بسیار ضروری است. در بازدید صحرایی انجام شده، در برخی از محورها، بالآمدگی پی‌سنگ به خوبی قابل مشاهده است که توسط بررسی نرم-افزاری مغفول مانده‌اند.

بازدید میدانی و عکس‌های هوایی

پس از مشخص کردن محدوده‌های مستعد و اولویت‌بندی آن‌ها، برای بررسی مناطق تعیین‌شده با دید کلان از عکس‌های هوایی استفاده شد و برای تائید نهایی بازدید میدانی انجام شد. در بررسی عکس هوایی منطقه مورد مطالعه، دشت حسن‌آباد، یک ناودیس با پلانژ دوگانه است که به مانند کاسه‌ای آب‌های



شکل ۹- نقشه هم تراز آب زیرزمینی حوضه حسن آباد

نتیجه گیری

تحقیق حاضر به منظور امکان سنجی احداث سد زیرزمینی در حوضه حسن آباد با استفاده از روش منطق بولین و تحلیل سلسله مراتبی انجام شد. نتایج حاکی از آن است که جریان آب زیرزمینی به سمت دشت شیان در جریان است و به دلیل تخلیه آب زیرزمینی این دشت نسبت به دشت شیان و دشت های مجاور از ذخیره آبی کمتری برخوردار است. این مسئله نقش احداث سد زیرزمینی را بسیار پررنگ تر کرده است. بر اساس نتایج حاصل از روش منطق بولین، ۷ منطقه مستعد شناسایی شدند که در حاشیه جنوبی دشت حسن آباد قرار گرفته اند. تمامی این مناطق با شرایط هیدروژئولوژی منطقه تطابق کامل دارد و تجمع آب زیرزمینی در این مناطق در طول زمان زمین شناسی سبب رخنه و خروج آن شده است. بر اساس نتایج حاصل از روش تحلیل سلسله مراتبی، مشخصات مربوط به احداث سد در مناطق مختلف مشخص شد و محورهای ۶، ۷ و ۱ به ترتیب اولویت های اول تا سوم را به خود اختصاص دادند. بازدید صحرایی، بررسی زمین شناسی ساختاری منطقه و جهت جریان آب زیرزمینی، نتایج حاصل از روش به کاررفته را به خوبی تأیید می کند که در نهایت محور ۶ بهترین محور برای اجرای محل ساخت سد تشخیص داده شد.

منابع

آقاملائی، ا.، لشکری پور، غ.، غفوری، م.، ۱۳۹۳. بررسی فاکتورهای مؤثر در اجرای سدهای زیرزمینی (مطالعه موردی: سد زیرزمینی میان رود راور در استان کرمان). فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۵(۱۷): ۶۷-۸۲.

اصغری سرسکانرود، ص.، بلواسی، م.، زینالی، ب.، صاحبی وایقان، س.، ۱۳۹۵. شناسایی مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی در حوزه آبخیز الشتر به روش ANP. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۷(۱۳): ۱۶۳-۱۵۰.

اسمعلی عوری، ا.، گلشن، م.، خرمی، ک.، ۱۳۹۵. اولویت بندی محورهای مناسب برای احداث سد زیرزمینی در حوضه آبخیز دوست بیگلو. مجله پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۴۸(۴): ۶۴۵-۶۵۹.

پیروان، ح. ر.، عرب، م. ر.، خیرخواه زرکش، م. م.، ۱۳۹۷. تعیین عرصه های مناسب احداث سدهای زیرزمینی در حوضه خشک رود استان مرکزی از طریق سیستم پشتیبانی تصمیم گیری داده های مکانی منطقه. نشریه ترویج و توسعه آبخیزداری، ۶(۲۰): ۵۵-۶۴.

حبیبی نیا، ه.، کرد، م.، طاهری، ک.، ۱۳۹۶. تأثیر سازندهای زمین شناسی بر کیفیت و خصوصیات ژئوشیمیایی آب های

- زیرزمینی دشت شیان، کرمانشاه. مجله هیدروژئولوژی، ۱۱۴-۱۲۵: (۱)۶.
- خدادادی، س.، همتی، م.، ۱۳۹۷. مکان‌یابی و رتبه‌بندی محل احداث سد زیرزمینی با توسعه سیستم پشتیبان تصمیم-گیری (DSS) (مطالعه موردی: حوضه‌های دریان و هریس شبستر). نشریه هیدروژئولوژی، ۳(۱): ۴۷-۵۹.
- خرازی، پ.، یزدانی، م.، ر.، آرا، ه.، خزاقل پور، پ.، ۱۳۹۶. مکان-یابی سد زیرزمینی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز دشت کویر). فصل-نامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۲۶(۱۰۳): ۱۸۵-۱۷۷.
- خرمی، ک.، وهاب‌زاده، ق.، سلیمانی، ک.، طلائی، ر.، ۱۳۹۳. تعیین مناطق مناسب سد زیرزمینی در حوزه آبخیز قره-سو. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۶(۲): ۱۵۴-۱۳۹.
- خیرخواه زرکش، م.، م.، ناصری، ح.، ر.، داوودی، م.، ح.، سلامی، ه.، ۱۳۸۷. استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در اولویت‌بندی مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی (مطالعه موردی: دامنه شمالی کوه‌های کرکس، نطنز). مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ۷۹: ۹۳-۱۰۱.
- درفشان، ف.، حیدرنژاد، م.، بردبار، ا.، ۱۳۹۳. مکان‌یابی و احداث سد زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک راهکاری جهت توسعه پایدار (مطالعه موردی: ناحیه اندیکا). سومین همایش ملی توسعه پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک ابرکوه، ایران.
- زاهدی، ا.، طالبی، ع.، طباطبایی، س.، ع.، رئیسی، ا.، آسیایی، م.، ۱۳۹۵. شبیه‌سازی جریان زیرسطحی برای مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: حوزه آبخیز رودخانه درونگر درگز). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۴: ۲۱۵-۲۰۶.
- سلامی، ه.، ۱۳۸۵. تعیین مناطق مناسب جهت احداث سد زیرزمینی در مناطق آذرین با استفاده از دورسنجی (مطالعه موردی: دامنه شمالی کوه‌های کرکس). پایان‌نامه
- کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
- عرب، خ. ع.، حشمت‌پور، ع.، سیدیان، م.، چزگی، ج.، ۱۳۹۸. اولویت‌بندی مکان مناسب احداث سد زیرزمینی با AHP در حوزه آبخیز کجیبد-بالاقلی شهرستان گرمه. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳(۲): ۳۵۳-۳۳۸.
- عشقی‌زاده، م.، نورا، ن.، سپهری، ع.، حیدری، ح.، ۱۳۸۸. روش تعیین مناطق مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی کوچک به منظور تغذیه و کنترل آبدهی قنوت هوابین (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کلات شهرستان گناباد). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- علیزاده، ا.، ۱۳۹۴. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ چهل و یکم، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد، ۹۴۲ ص.
- قارزی، ر.، نجفی‌نژاد، ع.، نورا، ن.، دهقانی، ا.، ا.، فیله‌کش، ا.، ۱۳۹۱. مکان‌یابی سد زیرزمینی به کمک GIS در آبخیز بفره سبزوار. دومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست.
- کردی، ر.، فرامرزی، م.، کریمی، ح.، گرایی، پ.، یارمحمدی، ا.، ۱۳۹۵. مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک غرب ایران (مطالعه موردی: مهران، استان ایلام). پژوهش‌نامه مدیریت حوزه آبخیز، ۷(۱۳): ۱۶۴-۱۷۲.
- مهرگان، م.، ۱۳۸۳. پژوهش عملیاتی پیشرفته. چاپ اول، انتشارات کتاب دانشگاهی، تهران، ۲۶۴ ص.
- میلاادی، ب.، ملکی، ا.، احمدی، م.، ۱۳۹۸. مکان‌یابی محل احداث بندهای زیرزمینی با استفاده از سامانه پشتیبانی تصمیم (DSS) در شمال غرب استان کرمانشاه. پژوهش-های ژئومورفولوژی کمی، ۸(۱): ۳۴-۵۱.
- وزارت نیرو، شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه.، ۱۳۹۰. گزارش نهایی آماربرداری از منابع آب محدوده مطالعاتی حسن-آباد-قلعه شیان.

- Saati, T.L. 2008. Solution making at correspondences and backlinks: analytic nets. M: Izdatelstvo (Press) LKI.
- Talebi, A., Zahedi, E., Hassan, M. A., Lesani, M. T. 2019. Locating suitable sites for the construction of underground dams using the subsurface flow simulation (SWAT model) and analytical network process (ANP) (Case Study: Daroongar watershed, Iran). Sustainable Water Resources Management, 5(6): 1-10.
- Updegrave, A., Wilson, N., Shadden, S. 2016. Boolean and smoothing of discrete polygonal surfaces. Adv Eng Softw, 95:16–27.
- Dortaj, A., Maghsoudy, S., Doulati Ardejani, F., Eskandari, Z. 2020. A hybrid multi-criteria decision making method for site selection of subsurface dams in semi-arid region of Iran. Groundwater for sustainable Development, 10(8): 1-33.
- Onder, H., M, Yilmaz. 2005. Underground dams, a tool of sustainable development and management of groundwater resources. European Water, 11(12): 35-45.
- Rohina, A., Ahmadi, H., Moeini, A., Shahriv, A. 2019. Site selection for constructing groundwater dams through Boolean logic and AHP method (Case Study: Watershed of Imamzadeh Jafar Gachsaran). Paddy and Water Environment, 18(1): 59-72.