نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۶، شماره ۲، ۱۳۹۳، صفحات ۱۳۹-۱۵۴

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 6, Issue 2, 2014, Pages 139-154

تعیین مناطق مناسب سد زیرزمینی در حوزه آبخیز قره‌سو

کیوان خرمی*[۱]، قربان وهاب‌زاده[۲]، کریم سلیمانی[۳] و رضا طلایی[۴]

[۱] کارشناس ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، [۲] استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، [۳] استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و [۴] مربی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۳/۰۳

چکیده

یکی از راه‌های برطرف کردن کمبودهای فصلی آب، استفاده از آب‌های زیرزمینی است. از شیوه‌های ذخیره‌سازی و استفاده از آب‌های زیرزمینی، می‌توان به سد زیرزمینی اشاره داشت که از جمله تکنیک‌هایی است که به کمک آن می‌توان مدیریت منابع آبی موجود را بهبود بخشیده و بهره‌وری از این منابع را افزایش داد. سد زیرزمینی یک روش ساده و کاربردی برای جمع‌آوری و ذخیره‌سازی آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. در این پژوهش به بررسی و انتخاب مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی در حوزه آبخیز قره‌سو پرداخته شد. عوامل زیادی در تعیین مناطق مناسب سد زیرزمینی تاثیرگذار هستند که در این‌جا شرایط فیزیوگرافی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی، هیدروژئولوژی و کاربری اراضی حوضه مورد نظر با استفاده از اطلاعات، نقشه‌ها، داده‌های مورد نیاز، گزارشات و سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. سپس نقشه‌های حاصل از مراحل مختلف تلفیق شده و در نتیجه نقشه مناطق و آبراهه‌های مناسب احداث سد زیرزمینی در حوزه آبخیز قره‌سو ایجاد شدند. نتایج نشان داد که حدود ۳۰ درصد از سطح حوزه آبخیز مورد بررسی مناسب احداث سد زیرزمینی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: توپوگرافی، زمین‌شناسی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، کاربری اراضی، هیدروژئولوژی، هیدرولوژی

مقدمه

با توجه به پراکنش نامنظم بارندگی از نظر زمانی و مکانی در سطح کره زمین و اوضاع جوی و زمین‌ساختی مناطق خشک و نیمه‌خشک، ساکنان این مناطق را به بهره‌برداری بیشتر از آب‌های زیرزمینی واداشته است (Telmer و Best، ۲۰۰۴). در اغلب نقاط ایران، به‌دلیل بارندگی کم و توزیع زمانی نامناسب آن، منابع آب زیرزمینی و مدیریت آن از اولویت خاصی برخوردار است (Davoodi، ۲۰۰۵). در دهه اخیر تلاش‌هایی برای استفاده از فناوری‌های سازگار با طبیعت برای کنترل، تغذیه و مدیریت منابع آب صورت گرفته است که نمونه آن ایجاد سد زیرزمینی در مناطق مختلف می‌باشد (Vanrompay، ۲۰۰۳). احداث سدهای زیرزمینی و استفاده از آب‌های سطحی هدر رونده از جمله راه‌کارهای مناسب جهت تامین و توسعه منابع آبی می‌باشد (Pirmoradi و همکاران، ۲۰۱۱). سد زیرزمینی امکان ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی را در منافذ لایه‌ها، برای استفاده پایدار از این منابع، فراهم می‌سازد (Ishida و همکاران، ۲۰۱۱). سدهای زیرزمینی، سازه‌هایی هستند که جریان

* مسئول مکاتبه: k_khorrami@yahoo.com

آب‌های زیرزمینی را مسدود نموده و سبب ایجاد ذخائر آبی در زیرزمین می‌شوند (Onder و Yilmaz، ۲۰۰۵). یک سد زیرزمینی در عمق چند متری از سطح غیرقابل نفوذ قرار گرفته و دسترسی به منابع آب زیرزمینی از طریق چاه‌های جمع‌آوری کننده کم‌عمق صورت می‌گیرد (Forzieri و همکاران، ۲۰۰۸).

معمولاً آب ذخیره شده در پشت سدهای زیرزمینی برای تامین آب شرب و آبیاری به‌کار می‌رود که به‌طور موردی برای اهداف صنعتی هم می‌تواند کاربرد داشته باشد. نحوه استفاده از آب، نوع سیستم استخراج آب را تعیین می‌نماید. ممکن است حفر چاه‌ها و نصب موتور پمپ برای طرح‌های آبیاری از نظر اقتصادی و فنی عملی باشد. در صورتی‌که تامین آب شرب در مقیاس کوچک با این روش از طریق بهره‌برداری ثقلی و یا با پمپ‌های دستی، نیز امکان‌پذیر است (Tabatabei Yazdi و Nabipey Lashkarian، ۲۰۰۴).

در پژوهشی Gharzi و همکاران (۲۰۱۳)، به بررسی سدهای زیرزمینی و مزایا و معایب آن در منطقه بفره سبزوار پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که احداث سد زیرزمینی سبب افزایش درآمد و اشتغال‌زایی روستاییان شده و مهمتر از همه، مشکل عمده مناطق خشک که کمبود آب می‌باشد، برطرف شده است. Hadian و همکاران (۲۰۱۳)، در پژوهشی دیگر منطقه مهرآباد کاشان را مورد مطالعه قرار داده و با استفاده از معیارهای زمین‌شناسی مهندسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی، نقشه مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی را ارائه دادند.

در تحقیقی در رابطه با مدل‌سازی سدهای زیرزمینی در الجزایر، پژوهشگران با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، مدل رقومی ارتفاع و شبکه آبراهه منطقه مطالعاتی را به‌دست آورده و نتایج حاصل را با استفاده از مدل MODFLOW برای به‌دست آوردن دبی به‌کار گرفتند. نتایج نشان‌دهنده افزایش قابل‌توجه حجم آب ذخیره‌سازی به دور از شرایط تبخیر بوده و همچنین، توسعه منطقه نیازمند ضرورت کنترل منابع آبی است (Ouerdachi و همکاران، ۲۰۱۲).

با توجه به کمبود بارش در کشور ایران و علاوه بر آن توزیع زمانی و مکانی نامناسب آن (Kardovani، ۲۰۰۵) و عدم تطابق زمان نیاز آبی با بخش کشاورزی در بسیاری از مناطق و از جمله حوزه آبخیز قره‌سو، حفظ و ذخیره‌سازی آب حاصل از بارندگی و استفاده پایدار از آب‌های زیرزمینی مطرح می‌شود، ولی امکان ذخیره سطحی آب در بیشتر مناطق وجود ندارد. ذخیره‌سازی آب در زیر سطح زمین با استفاده از سد زیرزمینی می‌تواند به‌عنوان یکی از راه‌کارهای عملی تامین آب در فصول خشک سال باشد.

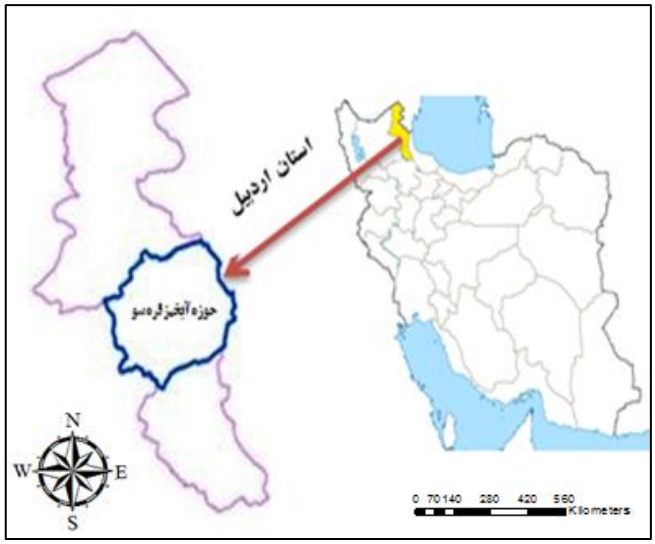
در این پژوهش، به بررسی مناطق مناسب و پتانسیل‌دار احداث سد زیرزمینی در حوزه آبخیز قره‌سو (استان اردبیل) پرداخته و نقشه مناطق مناسب ارائه شد. اولین سد زیرزمینی استان اردبیل در سال ۱۳۹۰ توسط معاونت آبخیزداری اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان اردبیل بر روی رودخانه سمبور چایی احداث شده است، به طوری‌که قبل از احداث سد، مردم از لحاظ منابع آبی و دسترسی به آن مشکل داشته و بعد از احداث سد، مشکلات برطرف و سبب توسعه پایدار در منطقه شده است (Arjomand Zargar، ۲۰۱۳).

مواد و روش‌ها

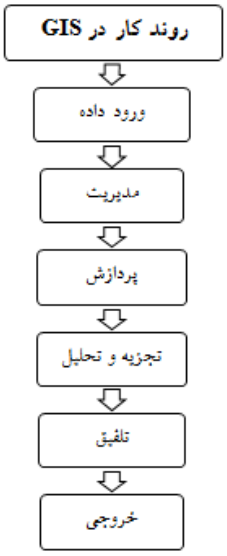
منطقه مورد پژوهش: آبخیز قره‌سو در زیر مجموعه حوزه آبخیز ارس بوده کهبا مجموعه آبی خود، متعلق به حوضه منطقه‌ای شماره یک ایران می‌باشد. شهرستان اردبیل، در مرکز آبخیز قره‌سو با مختصات جغرافیایی ″۲۸ ′۴۶ °۴۷ تا ″۱۱ ′۴۲ °۴۸ طول شرقی و ″۳۸ ′۴۶ °۳۷ تا ″۵۲ ′۲۲ °۳۸ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). محدوده طبیعی حوضه از طرف شمال به شهرستان گرمی و دشت مغان، از طرف شرق به رشته کوه‌های تالش، از سمت جنوب به رشته کوه‌های بزقوش و از غرب به رشته کوه‌های مرتفع سبلان محدود می‌شود. قسمت‌های مرکزی حوضه از واحدهای اراضی دشت‌های دامنه‌ای تشکیل شده است که عمده فعالیت‌های کشاورزی استان اردبیل در این قسمت متمرکز می‌باشد.

روش پژوهش: در این پژوهش به بررسی و تعیین مناطق مناسب سد زیرزمینی در حوزه آبخیز قره‌سو با استفاده از تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (شکل ۲)، پرداخته شده است. نقشه‌های حاصل از

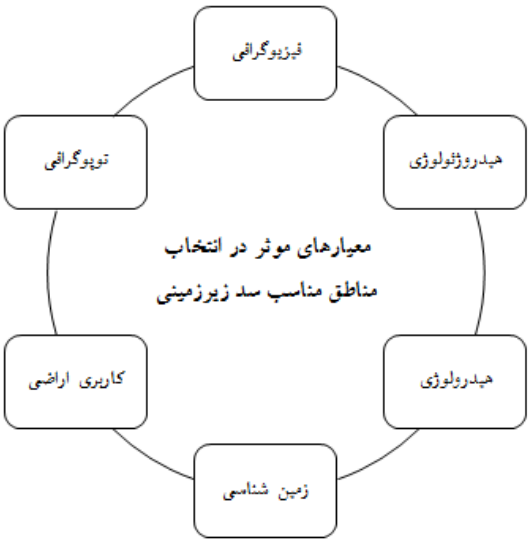
معیارهای مختلف مطالعاتی (شکل ۳)، در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10 تولید شده و نقشه نهایی مناطق مناسب سد زیرزمینی ارائه شده است. با بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی اقلیم و پایش خشک‌سالی استان اردبیل به روش SPI شش‌ماهه، در سال زراعی و آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۶ تا ۱۳۸۹-۱۳۸۸مشخص می‌شود که حوزه آبخیز قره‌سو دارای خشکی متوسط و ترسالی کمی بوده و در پایان سال زراعی ۱۳۸۹–۱۳۸۸ به ضریب نرمال نزدیک شده است (Hemati، ۲۰۰۸). معیارهای مختلفی در تعیین مناطق مناسب سد زیرزمینی تاثیرگذار است (شکل ۳) که به توضیح هریک پرداخته می‌شود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز قره‌سو



شکل ۲- روند کار در سیستم اطلاعات جغرافیایی



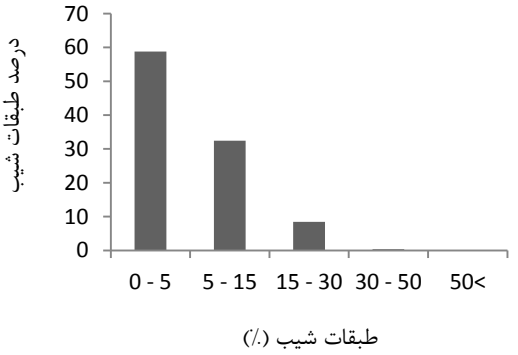
شکل ۳- معیارهای موثر در مکان‌یابی سد زیرزمینی

فیزیوگرافی: برای تعیین خصوصیات هیدرولوژیکی یک حوضه، نمی‌توان کلیه عوامل را در نظر گرفت. بلکه بایستی خصوصیات مهمی که می‌تواند از دیگر عوامل، اهمیت بیشتری را داشته باشد انتخاب کرد (Behbahani، ۲۰۱۰). از جمله این خصوصیات می‌توان به مساحت، محیط و شکل حوضه اشاره داشت. با استفاده از تکنیک‌های GIS، مساحت و محیط حوضه به‌دست آمده که از این پارامترها برای

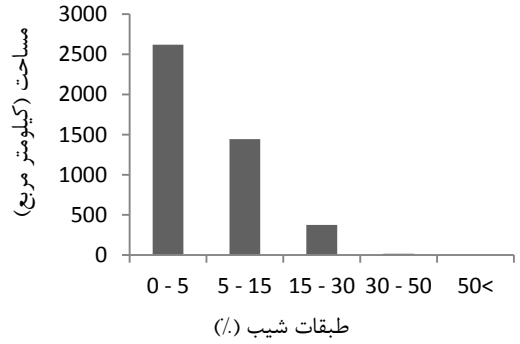
تعیین شکل حوضه استفاده می‌شود. شکل حوضه از پارامترهای موثر در بررسی خصوصیات حوزه آبخیز می‌باشد، به طوری‌که با مساوی بودن سایر شرایط فیزیکی، دبی پیک حوزه‌های آبخیز گرد یا نزدیک به دایره، بیشتر از حوزه‌های کشیده خواهد بود (Esmali Ouri و Abdolahi، ۲۰۱۲). برای بررسی شکل حوضه در این پژوهش از ضریب فرم حوضه[1]، ضریب فشردگی[2] و ضریب گردی[3] استفاده شد (جدول ۱).

توپوگرافی: وضعیت توپوگرافی از نظر امکان احداث سد و همچنین، دست‌یابی به مخازن بزرگ با شرایط تغذیه مناسب و تلفات نشت کمتر تا حد زیادی تعیین کننده می‌باشد. از آن‌جا که شیب سطح ایستابی و در نتیجه میزان جریان، تابع شیب توپوگرافی است، بنابراین، برای احداث سد زیرزمینی باید حداقل شیب توپوگرافی که به‌طور مرتب با شرایط هیدرولوژیکی محل تغییر می‌کند، موجود باشد (Tabatabei Yazdi و Nabipey Lashkarian، ۲۰۰۴).

ابتدا نقشه توپوگرافی رقومی ۱:۵۰۰۰۰ استان اردبیل تهیه شده و سپس محدوده حوضه مورد نظر جدا شد. با درون‌یابی نقشه توپوگرافی در ArcGIS10، مدل رقومی ارتفاع[4] حوضه ایجاد شده و تصحیحات لازم صورت گرفت. سپس نقشه‌های شیب و طبقات ارتفاعی از آن استخراج شد. شیب یکی از پارامترهای مهم در تعیین محل مناسب برای احداث سد زیرزمینی می‌باشد. پس از تهیه نقشه شیب حوضه، نقشه شیب مجددا طبقه‌بندی شده و در پنج طبقه قرار گرفت. سپس برای هر یک از طبقات، مساحت و درصد مساحت نسبت به کل حوضه، محاسبه شده و نمودار هر یک از آن‌ها رسم شد (شکل‌های ۴، ۵ و ۶). در طبقه‌بندی مجدد شیب، طبقه اول یعنی شیب‌های زیر پنج درصد به‌عنوان شیب‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی در نظر گرفته شدند (شکل ۷). Shenkut (۱۹۹۹)، در گزارش علمی خود در ارتباط با پروژه‌های سد زیرزمینی اجرا شده در Ethiopia شیب‌های زیر پنج درصد را به دلایل زیر جهت احداث سد زیرزمینی مناسب می‌داند. ۱) سرعت کم آب در این مناطق و فرصت کافی برای نفوذ آب ۲) تشکیل مخازن مناسب زیرسطحی در این مناطق.



شکل ۴- نمودار توزیع سطوح در طبقات شیب



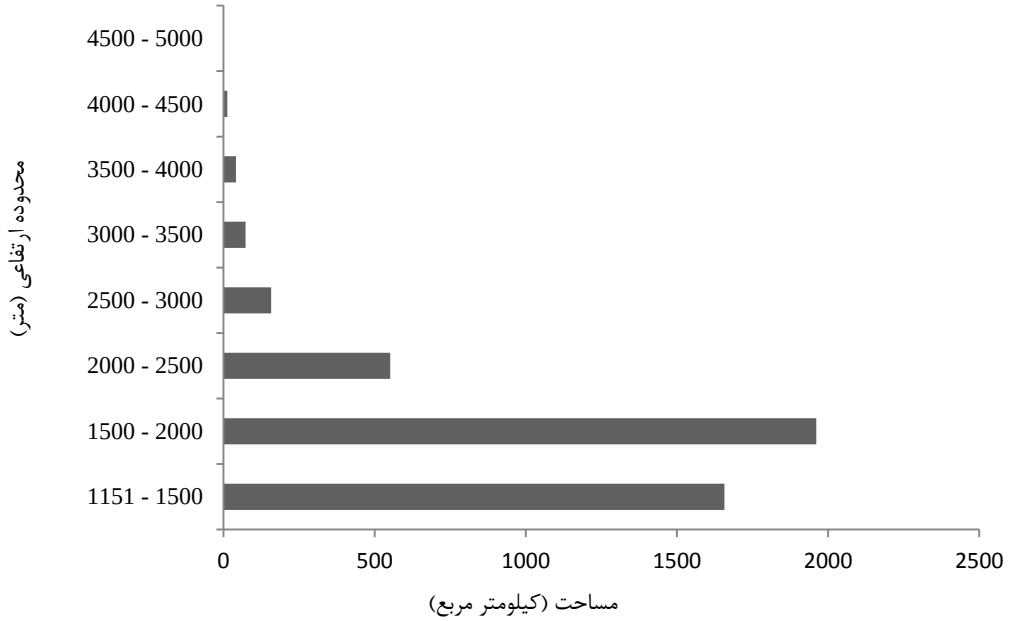
شکل ۵- درصد طبقات شیب منطقه

برای پی بردن به کیفیت توزیع سطح حوضه بر حسب ارتفاع و همچنین، درک دقیق‌تر از وضعیت پستی و بلندی‌های حوضه، ترسیم نقشه هیپسومتریک حوضه مورد نیاز می‌باشد. با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و طبقه‌بندی مجدد آن، نقشه طبقات ارتفاعی به‌دست آمد (شکل ۸). همچنین، با محاسبه مساحت‌های طبقات مختلف ارتفاعی در سامانه اطلاعات جغرافیایی، نمودار توزیع طبقات ارائه شد.

کاربری اراضی: برای بررسی کاربری اراضی، از نقشه رقومی کاربری اراضی استان اردبیل (وزارت جهاد کشاورزی)، نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز قره‌سو استخراج و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای کنترل شد. مساحت کاربری‌های مختلف در محیط GIS، محاسبه شده و پس از آماده‌سازی نقشه وکتوری کاربری، لایه مذکور تبدیل به لایه رستری شد و کاربری‌های مناسب و نامناسب برای احداث سد زیرزمینی مشخص

[1] Form Factor
[2] Compact Coefficient
[3] Basin Circularity
[4] Digital Elevation Model (DEM)

شدند (شکل ۹). در صورتی‌که کاربری سطح مخزن مسکونی باشد، احتمال آلودگی آب ذخیره شده در پشت سد زیرزمینی در اثر فاضلاب‌های خانگی بسیار بالا می‌رود، علاوه بر این، احتمال وجود خسارت به ساختمان‌ها و سازه‌ها نیز وجود دارد. لذا احداث این سدها در محل‌های مسکونی مناسب نیست (Eshghi Zadeh، ۲۰۱۰). وجود پوشش‌گیاهی با تراکم خوب در محل احداث می‌تواند منطقه را از لحاظ احداث سد زیرزمینی در اولویت قرار دهد. در این مطالعه اراضی بایر و با برونزد سنگی به‌دلیل عدم وجود پوشش‌گیاهی از لحاظ نفوذ، جنگل‌های انبوه و نیمه‌انبوه به‌دلیل قرار داشتن در ارتفاعات و شیب‌های بالاتر و همچنین، عدم توجیه اقتصادی، سطوح آبی شامل دریاچه‌ها و آبگیرها به‌علت دارا بودن پهنه‌های آبی و عدم نیاز به احداث و مناطق مسکونی به‌علت نفوذ ناپذیر بودن و علاوه بر آن همان‌طورکه اشاره شد به‌علت مشکلات آلودگی و غیره به‌عنوان کاربری‌های نامناسب و بقیه کاربری‌ها شامل مراتع متراکم، نیمه متراکم، زراعت آبی، دیم و باغات و بیشه‌زار به‌عنوان مناطق مناسب احداث در نظر گرفته شد و با استفاده از عمل طبقه‌بندی مجدد و محاسبات رستری، نقشه کاربری‌های مناسب تولید شد (شکل ۱۰).



شکل ۶- منحنی فرکانس آلتی‌متری حوزه آبخیز قره‌سو

زمین‌شناسی: برای بررسی زمین‌شناسی حوزه آبخیز قره‌سو و شرایط مناسب احداث سد زیرزمینی، از نقشه رقومی زمین‌شناسی، نقشه کاغذی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور و گزارشات موجود استفاده شد. زمین‌شناسی یکی از مهمترین شاخص‌ها برای تعیین مناطق مناسب سد زیرزمینی بوده و حتی در مرحله شناخت اولیه به واسطه آن محل مورد نظر انتخاب می‌شود. از مهمترین مشخصات یک سد زیرزمینی وجود یک بستر آبرفتی با ضخامت مناسب به‌عنوان یک مخزن زیرزمینی برای ذخیره آب است، علاوه بر این وجود یک لایه سنگی نفوذناپذیر یا با نفوذپذیری کم به‌عنوان سنگ پی نیز لازم است (Eshghi Zadeh، ۲۰۱۰). حوضه مورد نظر از واحد-های مختلف سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی تشکیل شده است که رسوبات و واحدهای کواترنر بخش وسیعی را در برگرفته و به لحاظ دارا بودن بسترها و پادگانه‌های آبرفتی، بیشتر مورد تاکید هستند.

در این پژوهش، رسوبات دوره کواترنر، پهنه‌های آبرفتی و همچنین، کنگلومراها که به‌صورت تناوبی با سایر واحدها بودند، در نظر گرفته شدند. این واحدها

در شیب‌های مناسب احداث سد زیرزمینی قرار داشته و بعضی از واحدها هم در شیب‌های نامناسب قرار گرفته بودند. با استفاده از نقشه زمین‌شناسی، نقشه پادگانه‌های آبرفتی نیز ایجاد شد و با تبدیل نقشه وکتوری زمین‌شناسی به لایه رستری واحدهای مناسب مشخص شد و نقشه محدوده‌های زمین‌شناسی و آبرفتی مناسب با طبقه‌بندی مکرر به‌دست آمد (شکل‌های ۱۱ الی ۱۳).

پادگانه‌های آبرفتی قدیم یا آبرفت‌های قدیمی که در برخی نقاط حوضه مطالعاتی مشاهده می‌شود، اختلاف آن‌ها با آبرفت‌های اصلی دشت در چین‌خوردگی کم و سن آن‌ها می‌باشد که گاهی در آن‌ها چشمه‌ها و قنواتی دیده می‌شود و اغلب به‌صورت متراکم و نیمه سیمانی هستند. پادگانه‌های آبرفتی قدیمی مرتفع موجود در کرانه‌های رودخانه دارای بافت درشت‌دانه و نفوذپذیری بالا است و به‌دلیل نشت آب از تکیه‌گاه‌ها، نمی‌توان بر روی آن‌ها سد زیرزمینی بنا نهاد (Salami، ۲۰۰۶).

در این مطالعه محدوده آبرفتی اصلی و جوان به‌عنوان محدوده مناسب در نظر گرفته شد. از عوامل دیگر ایجاد نشت و فرار آب از مخازن سدهای زیرزمینی، وجود شکستگی‌ها و گسل‌ها در محل احداث سد است. برای مشخص کردن گسل‌های منطقه و تهیه نقشه آن، از لایه رقومی گسل محدوده مطالعاتی که با نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کنترل شده بود، استفاده شد. برای هر یک از خطوط گسل، حریم ۳۰۰ متری تعریف شد (شکل ۱۴) و برای پیکسل‌های واقع در محدوده خطوط گسل که در داخل حریم ۳۰۰ متری قرار داشتند کد ۰ (نامناسب) و برای خارج از محدوده حریم، کد ۱ (مناسب) اختصاص داده شد (شکل ۱۵).

هیدرولوژی: در این بخش، شبکه هیدروگرافی و کیفیت آب‌های سطحی برای احداث سدهای زیرزمینی مورد مطالعه قرار گرفت. برای استخراج شبکه هیدروگرافی حوضه، با استفاده از ArcHydro و نوار ابزار Hydrology لایه جهت جریان (شکل ۱۶) از لایه مدل رقومی ارتفاع به‌دست آمده و از این لایه، برای ایجاد لایه تجمع جریان (شکل ۱۷) استفاده شد. روشی که غالباً برای تعیین جهت جریان مورد استفاده قرار می‌گیرد، به روش الگوریتم D8 شهرت دارد (Hosein Zadeh و Bidkhori، ۲۰۰۹).

شبکه آبراهه‌ها، طی مراحلی از لایه تجمع جریان استخراج شد که این اشتقاق بر اساس تعداد سلول‌های تجمع یافته برای ساخت یک آبراهه تعیین می‌شود (Saadati، ۲۰۱۳). با استفاده از لایه تجمع جریان، شبکه هیدروگرافی حوضه به‌دست آمد (شکل ۱۸)، سپس فرم آبراهه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در بیشتر نقاط حوضه، فرم شاخه‌درختی و در قسمت‌هایی از آن فرم موازی دیده می‌شود. لایه رستری رتبه‌بندی آبراهه‌ها به‌روش استرالر در GIS تهیه شد (شکل ۱۹) و آبراهه‌های حوضه از رتبه یک تا شش تقسیم‌بندی شدند. در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی، مقدار رواناب یکی از پارامترهای مهم می‌باشد که رابطه مستقیمی با رده آبراهه دارد. بنابراین، احداث سدها باید در مناطقی صورت گیرد که دارای مقدار رواناب مناسب باشد (Soleimani و همکاران، ۲۰۰۹).

در این مطالعه پس از مشخص ساختن رده آبراهه‌های حوزه آبخیز قره‌سو، رده‌های سه تا شش به‌عنوان شبکه آبراهه مناسب در نظر گرفته شدند (شکل ۲۰). برای بررسی پارامترهای کیفی آب، از آمار ایستگاه‌های هیدرومتری (شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل) واقع در حوضه که دارای آمار ۱۵ساله از سال آبی ۱۳۷۲–۱۳۷۱ تا ۱۳۸۶–۱۳۸۵ بودند، استفاده شد. پارامترهای مورد بررسی در بحث کیفیت عبارت بودند از میزان SAR، TH، pH و EC که ابتدا میزان متوسط پارامترهای یاد شده در دوره ۱۵ساله محاسبه شد و سپس از نظر آبیاری و شرب مورد بررسی قرار گرفتند.

هیدروژئولوژی: یکی از مهمترین معیارها در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی، بررسی‌های هیدروژئولوژیک منطقه می‌باشد. در این بخش، وضعیت قنوات، چاه‌ها، آبخوان و کیفیت آب‌های زیرزمینی مورد مطالعه قرار گرفت. برای بررسی قنوات از اطلاعات تهیه شده از آب منطقه‌ای استان اردبیل استفاده شد. حدود ۵۱ رشته قنات در محدوده مطالعاتی وجود دارد که بیشتر قنوات در شهرستان‌های اردبیل و نمین پراکنده‌اند. با استفاده از نقشه رقومی قنوات منطقه و تعریف سیستم مختصات

مربوطه، لایه حریم ۱۰۰ متری از قنوات تهیه شده (شکل ۲۱) و مناطق خارج از حریم، به‌عنوان محدوده‌های مناسب سد زیرزمینی در نظر گرفته شدند. بررسی وضعیت چاه‌ها نشان می‌دهد که حدود ۳۱۰۰ حلقه چاه در منطقه وجود دارد که اکثر آن‌ها در محدوده پادگانه‌های آبرفتی جوان و سازندهای دوره کواترنر حفر شده‌اند.

برای بررسی وضعیت سنگ کف و یا سنگ بستر که یکی از پارامترهای تاثیرگذار در انتخاب محل‌های مناسب سد زیرزمینی می‌باشد، با توجه به نبود اطلاعات، نقشه‌های مورد نیاز و امکانات لازم برای بررسی وضعیت ضخامت آبرفت و سنگ بستر محدوده مطالعاتی، از گزارشات موجود در این زمینه استفاده شد. در این بررسی، دشت اردبیل که بخش عمده حوضه را به خود اختصاص داده، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. در دشت اردبیل سنگ کف در اکثر نقاط از نوع سازندهای غیرقابل نفوذ رسی یا مارنی می‌باشد. این رسوبات تقریبا در تمام منطقه گسترش دارند.

برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی پارامترهایی چون EC، TDS، TH، pH و SAR مد نظر قرار گرفت. برای این کار آمار اطلاعاتی کیفی قنوات و همچنین، از گزارشات موجود نمونه‌های برداشت شده در سال ۱۳۸۴ در محدوده مطالعاتی استفاده شد.

برای این کار از نقاط نمونه‌برداری شده (پارامتر-های کیفی) حدود ۵۰ نقطه انتخاب شده که یک نقطه به‌علت خارج از محدوده بودن حذف شد. ۴۹ نقطه با مختصات نمونه‌برداریشان (X و Y) و اطلاعات توصیفی وارد Excel و پس از مرتب‌سازی داده‌ها به نرم‌افزار Access 2010 انتقال داده شد و به فرمت مورد قبول ArcGIS یعنی فرمت dbf تبدیل شدند. سپس در برنامه ArcMap با تعریف سیستم مختصات، نقاط به‌صورت عوارض نقطه‌ای Shapefile در آمدند و در نهایت با استفاده از روش‌های درون‌یابی و وزن‌دهی بر اساس عکس فاصله[1] و کریجینگ[2]، منحنی‌های هم‌ارزش پارامترهای کیفی آب زیرزمینی برای مناطق مناسب سد زیرزمینی در محیط GIS تولید شد.

[1] Inverse Distance Weighted (IDW)
[2] Kriging

به‌صورت کلی هر دو روش ذکر شده از رابطه (۱) برای درون‌یابی استفاده می‌کنند (Saadati، ۲۰۱۳).

$$\hat{Z}(S_o) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(S_i) \qquad (۱)$$

که در آن، $Z(S_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده سلول در محل iام، S_o محل سلول در حال پیش‌بینی و محاسبه، $\hat{Z}(S_o)$ مقدار سلول در حال پیش‌بینی و n تعداد داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد.

در نهایت، لایه‌ها و نقشه‌های مراحل مختلف، تولید و آماده‌سازی شده و با تلفیق آن‌ها نقشه مناطق مناسب سد زیرزمینی (شکل ۲۲) و آبراهه‌های پتانسیل‌دار (شکل ۲۳) جهت احداث مشخص شده و لایه‌های کیفیت آب (شکل‌های ۲۴ الی ۲۹) و ضخامت آبخوان جداگانه مورد بررسی قرار گرفتند. با استفاده از تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی مساحت پهنه‌های مناسب نیز تعیین شد.

نتایج و بحث

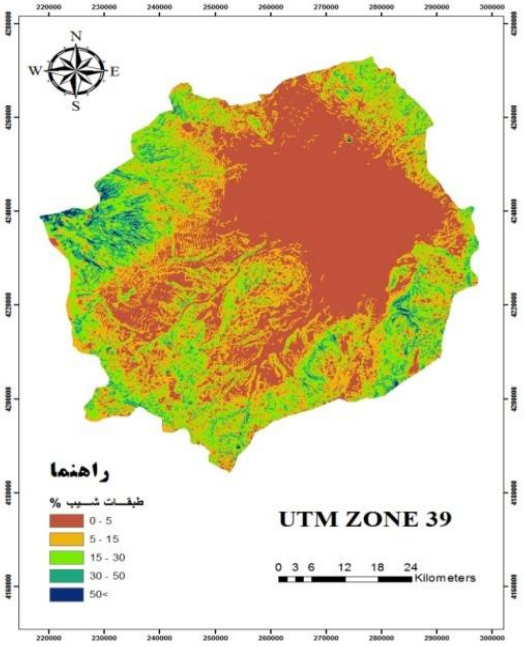
با استفاده از GIS مقادیر پارامترهای فیزیوگرافی حوزه آبخیز قره‌سو به‌دست آمد که در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

جدول ۱- مقادیر پارامترهای فیزیوگرافی حوزه آبخیز قره‌سو

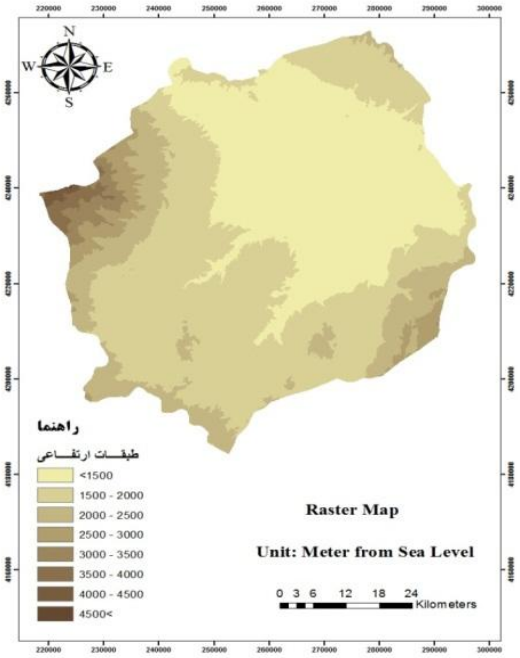
مساحت (کیلومتر مربع)	محیط (کیلومتر)	ضریب فرم یا هورتون	ضریب گراولیوس	ضریب گردی میلر
۴۴۶۷	۳۰۴	۰/۷۷	۱/۲۸	۰/۶

برآورد مساحت با استفاده از GIS با روش‌های سنتی چون پلانی‌متر مطابقت بالایی را نشان می‌دهد. حوزه آبخیز قره‌سو با داشتن چنین مساحتی جزء حوضه‌های بزرگ و باز هیدرولوژیک محسوب می‌شود و دارای واکنش هیدرولوژیک کند می‌باشد. ضرایب شکل به‌دست آمده برای حوضه همگی بیانگر کشیده بودن شکل حوزه آبخیز بوده و به‌علت داشتن وسعت بزرگ، زمان تمرکز بیشتری را دارا می‌باشد که به تبع آن فرصت نفوذ مناسبی را فراهم خواهد ساخت که از لحاظ احداث سد زیرزمینی حائز اهمیت می‌باشد. بیشترین مساحت طبقات شیب تشکیل دهنده حوزه

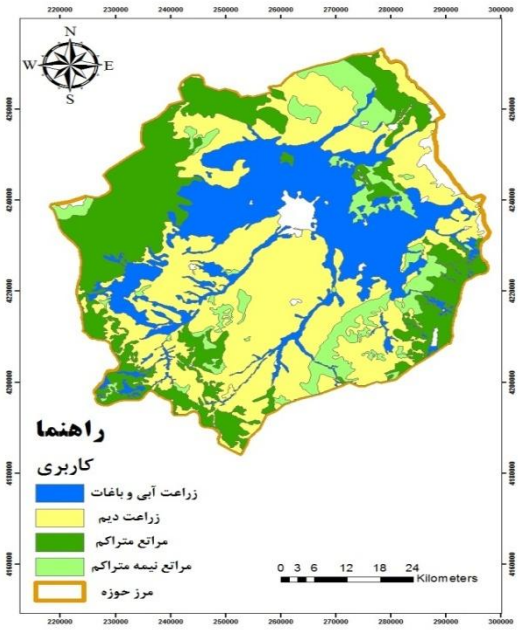
آبخیز قره‌سو مربوط به شیب‌های زیر پنج درصد می‌باشد که شیب مناسب احداث سد زیرزمینی بوده و حدود ۵۸ درصد از کل حوضه را تشکیل می‌دهد و بخش عمده توزیع سطوح در طبقات ارتفاعی اول و دوم (ارتفاعات زیر ۲۰۰۰ متر) صورت گرفته که در بخش‌های مرکزی حوضه دیده می‌شود. مساحت کاربری‌های حوضه که با استفاده از GIS به‌دست آمده بیانگر این است که بیشترین کاربری مربوط به زراعت دیم (۴۰ درصد وسعت حوضه) و زراعت آبی و باغات (۲۳ درصد) و مابقی سایر کاربری‌ها است.



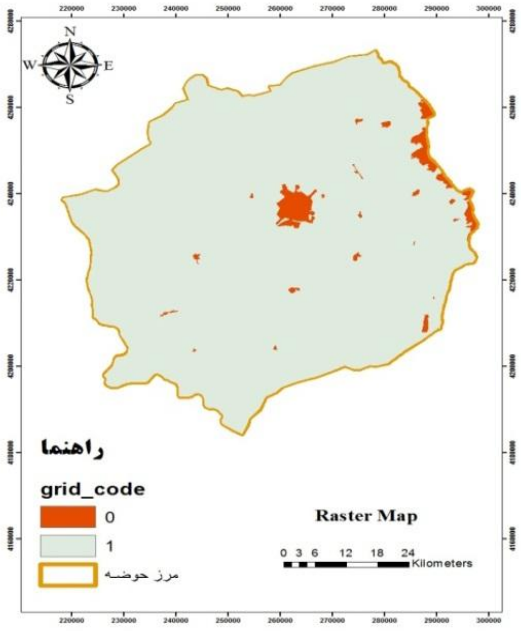
شکل ۷- نقشه شیب حوزه آبخیز قره‌سو



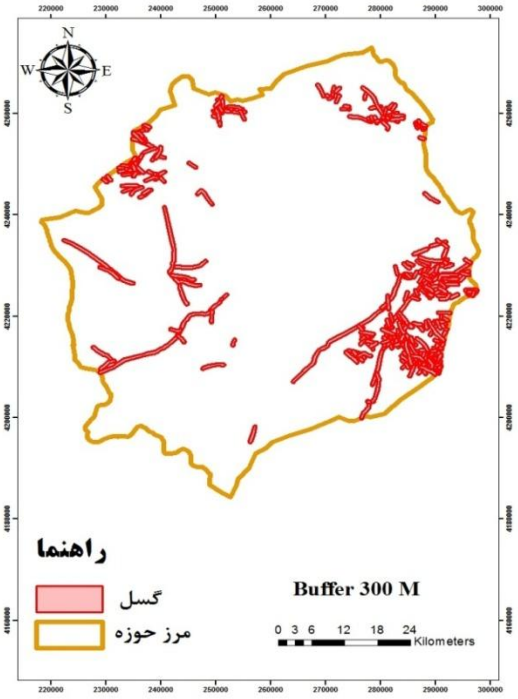
شکل ۸- نقشه طبقات ارتفاعی



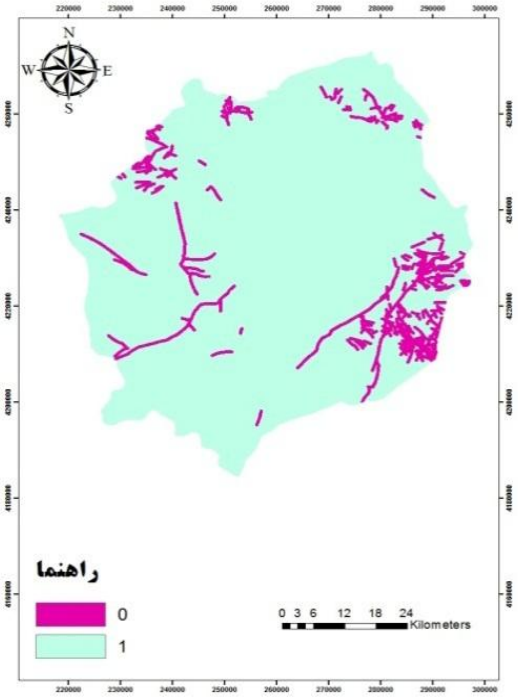
شکل ۹- کاربری‌های مناسب سد زیرزمینی



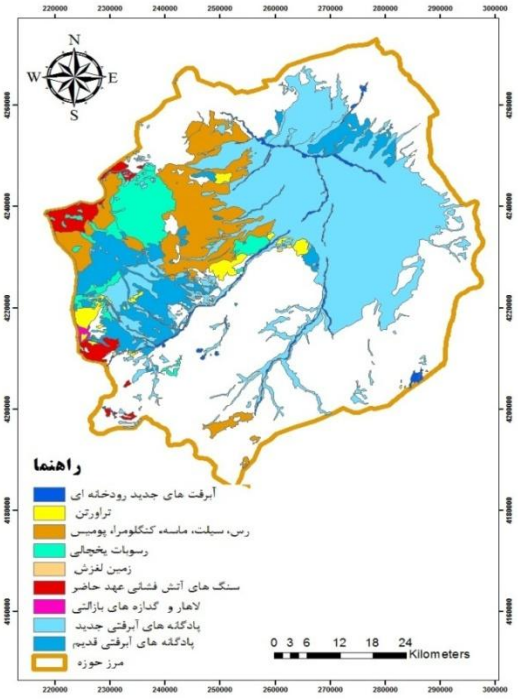
شکل ۱۰- طبقه‌بندی کاربری (مناسب و نامناسب)



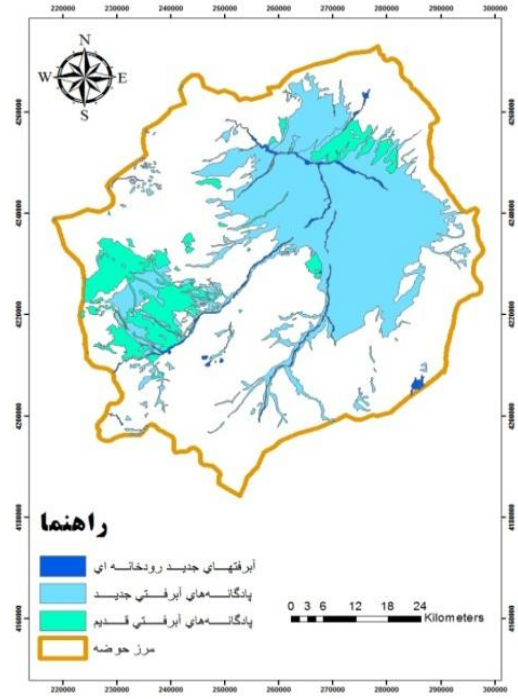
شکل ۱۱- گسل‌های منطقه با اعمال بافر



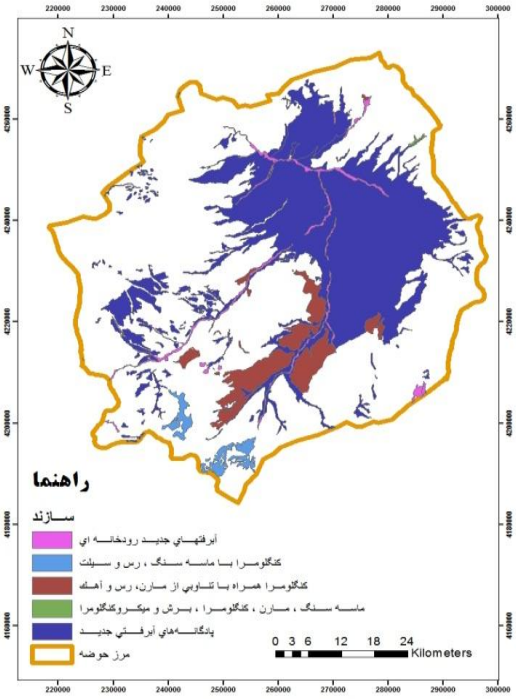
شکل ۱۲- طبقه‌بندی مجدد گسل



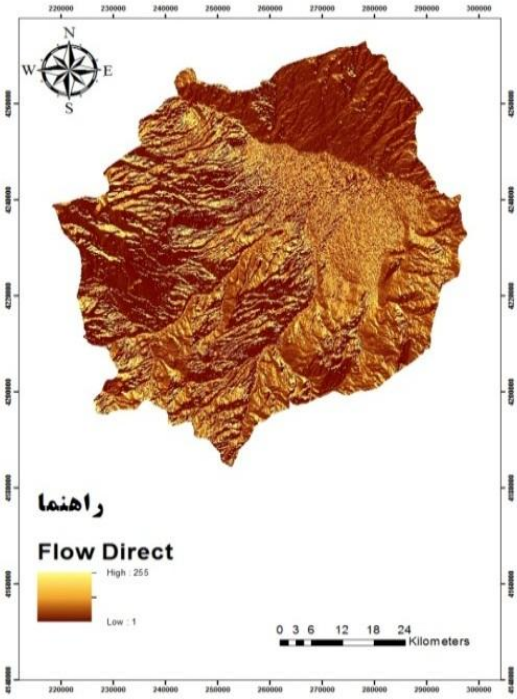
شکل ۱۳- سازندهای کواترنر منطقه



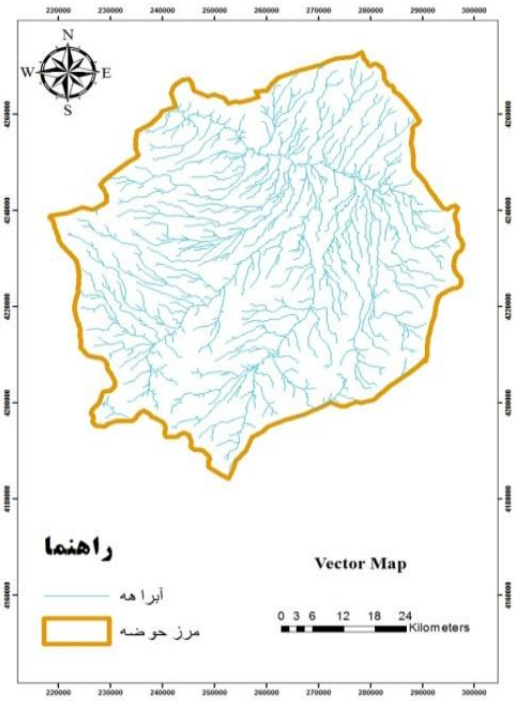
شکل ۱۴- پادگانه‌های آبرفتی حوزه آبخیز قره‌سو



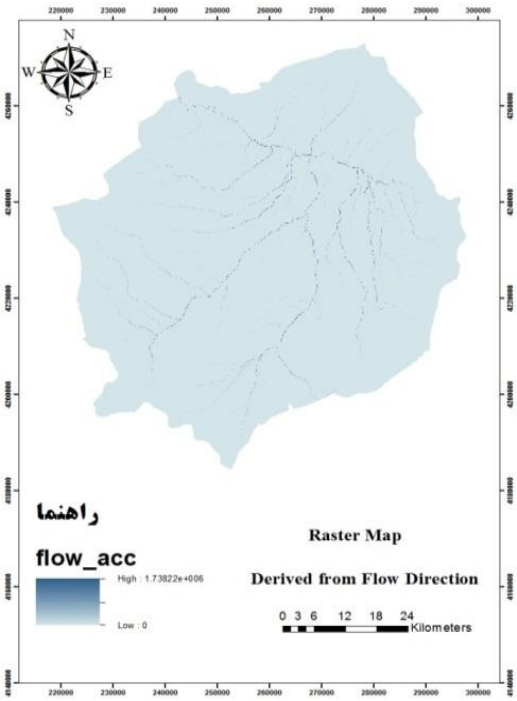
شکل ۱۵- لیتولوژی مناسب سد زیرزمینی



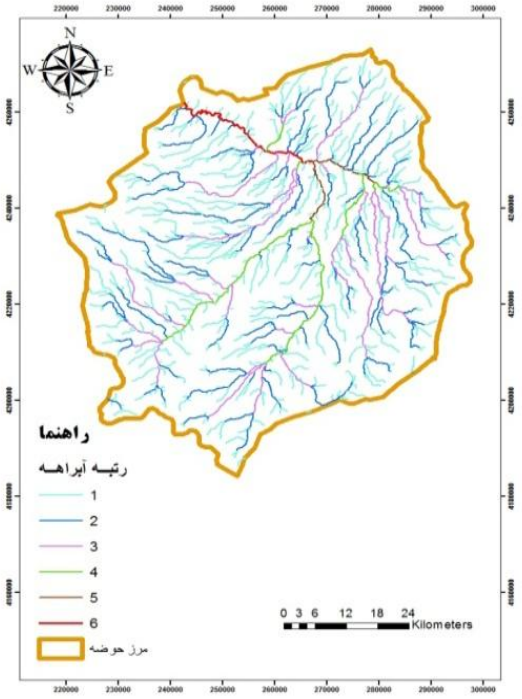
شکل ۱۶- نقشه جهت جریان حوزه آبخیز قره‌سو



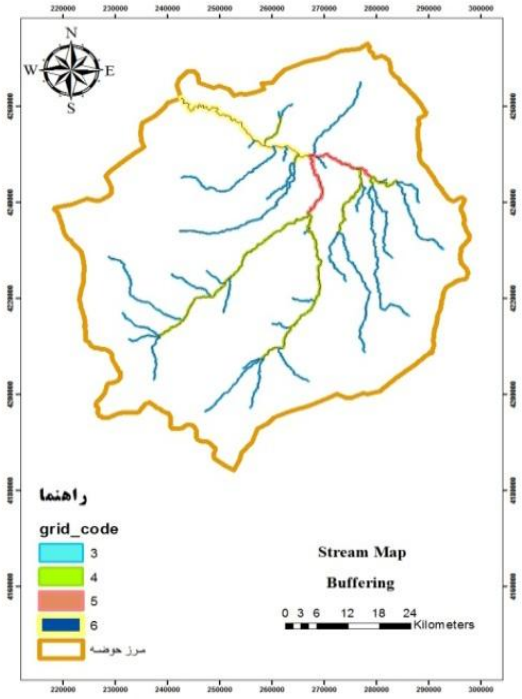
شکل ۱۷- نقشه تجمع جریان حوزه آبخیز قره‌سو



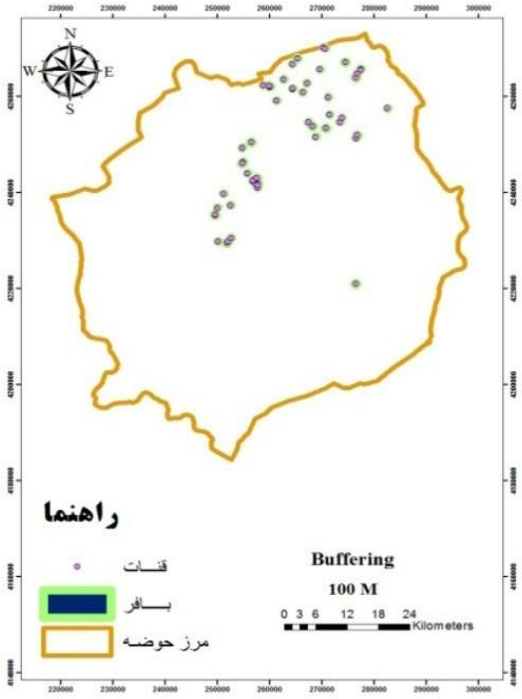
شکل ۱۸- شبکه آبراهه محدوده مطالعاتی



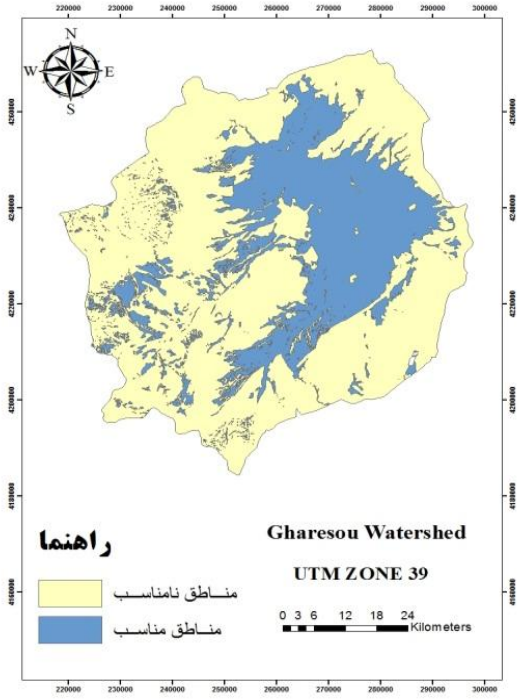
شکل ۱۹- رتبه‌بندی آبراهه‌ها (استرالر)



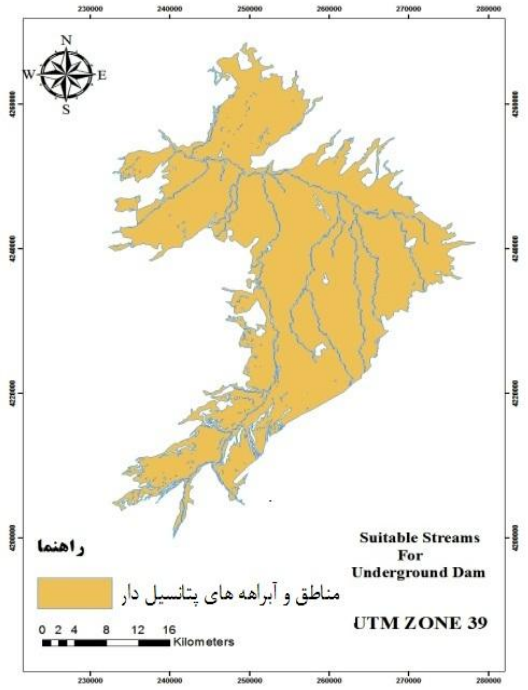
شکل ۲۰- آبراهه‌های درجه سه الی شش



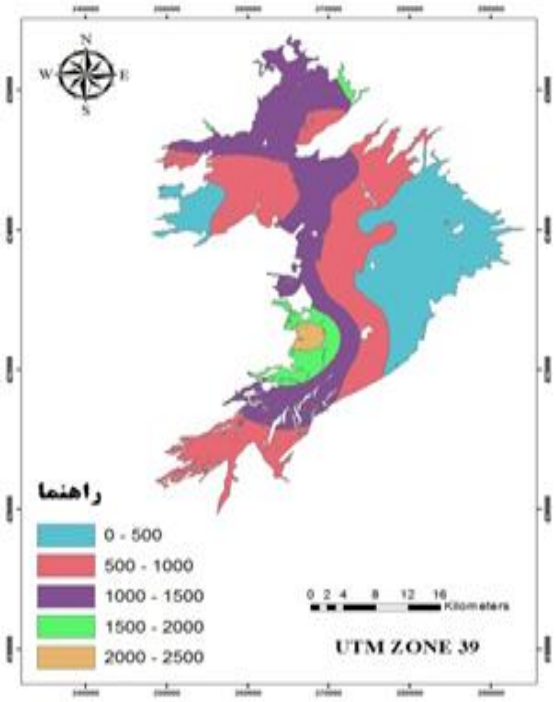
شکل ۲۱- قنوات منطقه با اعمال حریم



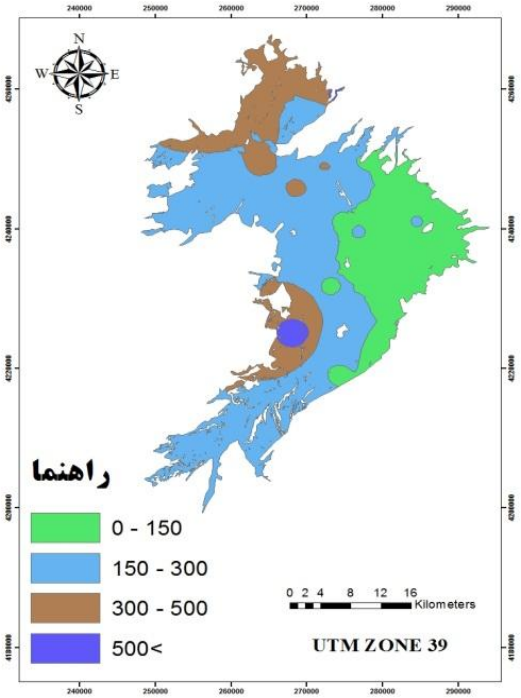
شکل ۲۲- مناطق مناسب سد زیرزمینی حوضه



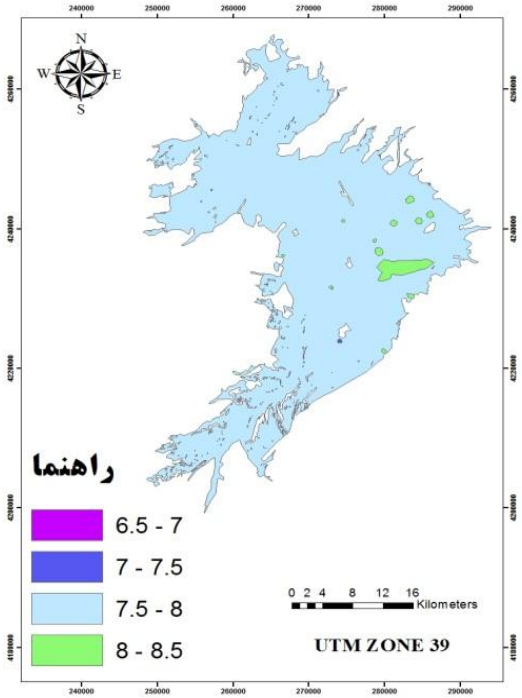
شکل ۲۳- آبراهه‌های پتانسیل‌دار احداث سد زیرزمینی



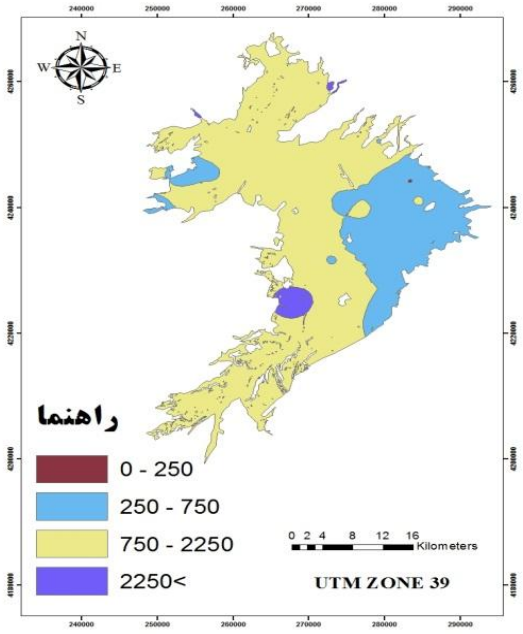
شکل ۲۴- نقشه هم‌ارزش TDS مناطق مناسب



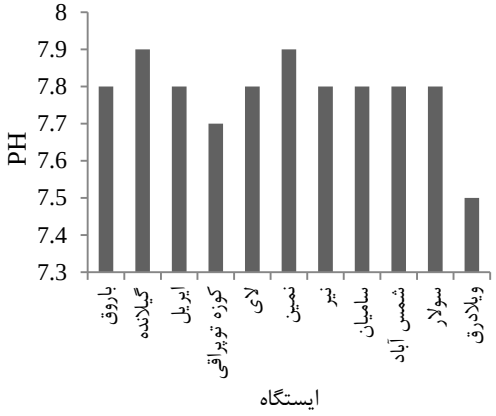
شکل ۲۵- نقشه هم‌ارزش TH



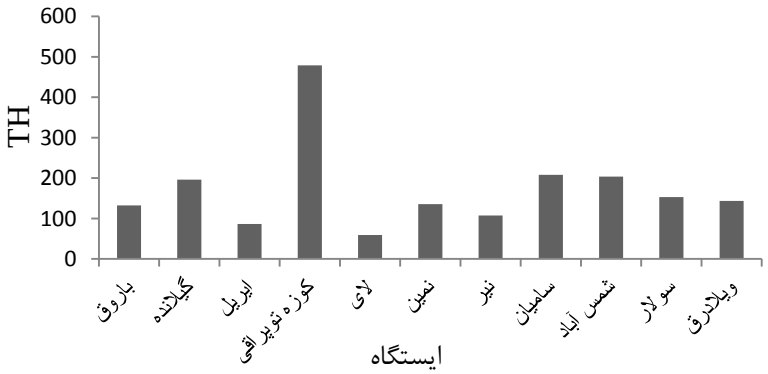
شکل ۲۶- نقشه هم‌ارزش pH



شکل ۲۷- نقشه هم‌ارزش EC



شکل ۲۸- میزان pH ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه



شکل ۲۹- میزان سختی کل ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه (mg/lit)

از نظر غلظت املاح محلول[1] که بر حسب میلی‌گرم بر لیتر بوده عمده مناطق مناسب سد زیرزمینی در محدوده مناسب و مجاز قرار دارند. آبی که دارای TDS کمتر از ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر است از دیدگاه استاندارد شرب، آب بسیار خوبی محسوب می‌شود. TDS بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ مطلوب و در گستره ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ برای شرب مجاز است، ولی آب با TDS بیشتر از ۱۵۰۰ مقبولیت شرب ندارد (Nabizadeh Nodehi و Faezi Razi، ۱۹۹۷). از لحاظ هدایت الکتریکی[2] که برحسب میکروموس بر سانتی‌متر بوده مناطق مناسب سد زیرزمینی بیشتر در دو طبقه دوم و سوم قرار دارند. آب‌های مورد استفاده برای شرب انسان در بیشتر موارد دارای هدایت الکتریکی بین ۵۰ تا ۱۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر است (Mahdavi، ۲۰۰۸). میزان سختی کل[3] در اکثر محدوده مطالعاتی زیر ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بوده که در محدوده مجاز قرار دارند. از لحاظ pH، بیش از ۹۵ درصد حوضه در محدوده بین ۷/۵ تا هشت قرار دارد که میزان آن در محدوده مطالعاتی مطلوب می‌باشد. نسبت جذب سدیم[4] که بیشتر در محدوده طبقاتی دوم و سوم قرار داشته و نسبت جذب بیش از ۷/۵ به مقدار کمی در حوضه مشهود می‌باشد.

[1] Total Dissolved Salts (TDS)
[2] Electrical Conductivity (EC)
[3] Total Hardness (TH)
[4] Sodium Absorbtion Ratio (SAR)

میزان پارامترهای کیفی آب‌های سطحی در ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه از لحاظ شرب و آبیاری در حد مطلوب ارزیابی شده و برای بررسی کیفی آب از لحاظ کشاورزی از دیاگرام ویل‌کوکس استفاده شد. با استفاده از پارامترهای هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم جدول طبقه‌بندی ویل‌کوکس ارائه شده است (جدول‌های ۲ و ۳).

جدول ۲- طبقه کیفیت آب‌های سطحی (دیاگرام ویلکوکس)

ایستگاه هیدرومتری	طبقه کیفیت
باروق	C2 - S1 (خوب)
گیلانده	C3 - S1 (متوسط)
ایریل	C2 - S1 (خوب)
کوزه توپراقی	C3 - S1 (متوسط)
لای	C1 - S1 (خیلی خوب)
نمین	C2 - S1 (خوب)
نیر	C2 - S1 (خوب)
سامیان	C3 - S1 (متوسط)
شمس‌آباد	C3 - S1 (متوسط)
سولار	C2 - S1 (خوب)
ویلادرق	C2 - S1 (خوب)

جدول ۳- درصد طبقه کیفیت آب‌های زیرزمینی حوضه

ردیف	طبقه کیفیت	نوع کیفیت	درصد
۱	C1–S1	خیلی‌خوب	۴/۰۸
۲	C2–S1	خوب	۳۸/۷۷
۳	C3–S1	متوسط	۳۴/۶۹
۴	C3–S2	متوسط	۱۶/۳۳
۵	C4–S2	نامناسب	۶/۱۳

در این پژوهش، با استفاده از نقشه‌ها، منابع، سیستم اطلاعات جغرافیایی و بررسی‌های توپوگرافی، هیدرولوژی، هیدروژئولوژی، زمین‌شناسی و غیره به بررسی مناطق مناسب سد زیرزمینی پرداخته شد و در نهایت نقشه تناسب نهایی منطقه از لحاظ احداث سد زیرزمینی مشخص شد. همچنین، نقشه آبراهه‌های پتانسیل‌دار برای سد زیرزمینی ارائه شد. در پژوهش اخیر، مناطق مناسب برای احداث سد زیرزمینی در سازندهای کواترنر و بستر آبراهه‌های با رتبه سه تا شش قرار گرفته‌اند که با نتایج مطالعات صورت گرفته در حوضه‌های دیگر مطابقت دارد (Chezgi و همکاران، ۲۰۱۱؛ Hadian، ۲۰۱۲).

در مطالعات توپوگرافی منطقه ملاحظه می‌شود که حدود ۵۸ درصد از منطقه دارای شیب زیر پنج درصد و مناسب از لحاظ احداث سد زیرزمینی بوده که با بررسی نقشه‌های دستی تهیه شده برای منطقه مطالعاتی، تطابق بالایی را نشان می‌دهد که نشانگر دقت بالا، صرف هزینه کمتر و افزایش سرعت در سیستم اطلاعات جغرافیایی است. با بررسی نقشه هم-عمق سنگ کف، می‌توان گفت که منحنی‌های هم‌عمق واقع در دو طبقه کمتر از ۱۰ و ۲۰–۱۰ متر به‌عنوان محل‌های اولویت‌دار از لحاظ توجیه اقتصادی برای احداث سد زیرزمینی می‌توانند پیشنهاد شوند. وجود سنگ کف محل سد در عمق حدود ۲۰ متر یا کم‌تر، توجیه اقتصادی سد را ساده می‌نماید (Davoodi، ۲۰۰۵).

با بررسی نقشه مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی در حوزه آبخیز قره‌سو مشخص شد که حدود ۳۰ درصد از محدوده مطالعاتی یاد شده برای احداث سد زیرزمینی مناسب بوده و در اولویت می‌باشند. بخش‌های مرکزی مساحت بیشتری از پهنه‌های مناسب را به خود اختصاص داده‌اند و بستر رودخانه قره‌سو که به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین آبراهه‌های حوضه محسوب شده در مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی قرار گرفته و از لحاظ زمین‌شناختی دارای بستر آبرفتی با نفوذپذیری مناسب می‌باشد. سنگ بستر در محدوده مطالعاتی اردبیل از نوع مارنی بوده که تقریبا غیرقابل نفوذ است و برای احداث سد زیرزمینی مد نظر می‌باشد.

در این پژوهش پارامترهای کیفی آب مورد بررسی قرار گرفتند و نتایج نشان داد که از سطح خوب و قابل قبولی برخوردار می‌باشند. تنها در بعضی نقاط پارامترهای کیفی آب سطح قابل قبولی را دارا نبودند که این به‌علت تاثیر سازندهای زمین‌شناسی منطقه بود. بسترهای آبرفتی بخش‌های مرکزی و آبراهه‌های واقع در آن از لحاظ اجرا و احداث سد زیرزمینی با توجه به دارا بودن شرایط مناسب در اولویت می‌باشند. حوزه آبخیز قره‌سو با دارا بودن عرصه‌های کشاورزی

زراعی و باغی از مهمترین حوزه‌های آبخیز استان اردبیل به‌شمار رفته که مکان‌یابی مناسب و اجرای سدهای زیرزمینی در آن می‌تواند برای توسعه منابع آب، ولو در مقیاس کوچک با در نظر گرفتن شرایط اقتصادی و اجتماعی موثر باشند. پیشنهاد می‌شود که نتایج حاصل از احداث سد زیرزمینی را با سایر سیستم‌های جمع‌آوری آب در یک حوضه مقایسه نموده و عواید حاصل از این طرح‌ها را به‌صورت اقتصادی و اجتماعی مشخص کرده و بهترین تکنیک را با توجه به صرفه اقتصادی تعیین کرد.

منابع مورد استفاده

1. Arjomand Zargar, S. 2013. Implementation and monitoring bureau deputy of watershed managementGeneral Office of Natural Resources and Watershed Management, Ardebil province, Iran (in Persian).
2. Behbahani, M.R. 2010. Surface hydrology. Tehran University, 484 pages (in Persian).
3. Chezgi, J., H.R. Moradi and M.M. Kheirkhah Zarkesh. 2011. Site selection of suitable locations for underground dam construction using multi-criteria decision making with emphasis on water resources, case study: West of Tehran. Journal of Watershed Management Science and Engineering, 13: 65-68 (in Persian).
4. Davoodi, M.H. 2005. Underground dams economical and effective solution for the management and development of water resources. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 27 pages (in Persian).
5. Eshghi Zadeh, M. 2010. A methodology to select suitable sites to build underground dams for the recharge and discharge control of Qantas, case study: Kalat watershed of Gonabad. MSc Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, 230 pages (in Persian).
6. Esmali Ouri, A. and Kh. Abdollahi. 2012. Watershed management and soil conservation. Mohaghegh Ardebili University, Ardebil, 574 pages (in Persian).
7. Forzieri, G., M. Gardenti, F. Caparrini and F. Castelli. 2008. A methodology for the pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas, case study: Kidal, Mali. Physics and Chemistry of the Earth, 33: 74-85.
8. Gharzi, R., A. Najafi Nezhad, N. Noora, A.A. Dehghani and E. Filehkesh. 2013. Economic-social issues of underground dam in Bafreh (Sabzehvar) watershed. 8th Iranian National Conference on Sciences and Watershed Management Engineering, Lorestan University, Khoram Abad, Iran.
9. Hadian, F. 2012. Criteria of underground dam site selection in geological Structure, south of Ardestan and north of Kashan, Isfahan province. MSc Thesis, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, 158 pages (in Persian).
10. Hadian, F., Z. Shoaei, M.M. Kheirkhah Zarkesh and A. Majidi. 2013. Evaluation criteria for locating underground dam in Mehrabad (Kashan) using GIS and remote sensing. 31st Symposium of Geosciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
11. Hemati, R. 2008. Climatic studies of Ardebil province, maps of drought monitoring. Meteorological Organization of Ardabil province, Iran (in Persian).
12. Hossein Zadeh, R. and A. Bidkhori. 2009. Geographic Information Systems. Jahad Daneshgahi, Mashhad, Iran, 296 pages (in Persian).
13. Ishida, S., T. Tsuchihara, S. Yoshimoto and M. Imaizumi. 2011. Sustainable use of groundwater with underground dams. Japan Agricultural Research Quarterly, 45: 51-61.
14. Kardovani, P. 2005. Resource and water issues in Iran. Tehran University, Iran, 414 pages (in Persian).
15. Mahdavi, M. 2008. Applied hydrology. Tehran University, Iran, 427 pages (in Persian).
16. Nabizadeh Nodehi, R., D. Faezi Razi. 1997. Guidelines for drinking water quality. NAS, Tehran, Iran (in Persian).
17. Onder, H., M. Yilmaz. 2005. Underground dams, a tool of sustainable development and management of groundwater resources. European Water, 12: 35-45.
18. Ouerdachi, L., H. Boutaghane, R. Hafsi, T. Boulmaiz Tayeb and F. Bouzahar. 2012. Modeling of underground dams, application to planning in the semi-arid areas, Biskra, Algeria. Energy Procedia, 18: 426-437.
19. Pirmoradi, R., M. Nakhaei and F. Asadian. 2011. Determining suitable areas for underground dam construction using the GIS and AHP, case study: Malayer plain in Hamedan province. Natural Geography, 8: 51-66 (in Persian).
20. Saadati, H. 2013. GIS and RS. Ardebil Islamic Azad University, Ardebil, Iran, 351 pages (in Persian).

21. Salami, H. 2006. Determining suitable sites for underground dam construction with use of remote sensing, case study: northern slopes of Karkas mountains. MSc Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran (in Persian).
22. Shenkut, M. 1999. Design of subsurface dam for Bori village, AddisAbaba, Ethiopia.
23. Soleimani, S., M.M. Nikoudel, A. Ouromiey and H. Bahrami. 2009. Suitable site selection of underground dam using the GIS and RS, case study: Mashhad plain. 3rd National Conference of Iranian Water Resources, Tabriz University, Iran (in Persian).
24. Tabatabei Yazdi, J., S. Nabipey Lashkarian. 2004. Underground water dams for small-scale water supply. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran, 63 pages (in Persian).
25. Telmer, K. and M. Best. 2004. Underground dams, a practical solution for the water needs of small communities in semi-arid regions. Terrae, 1: 63-65.
26. Vanrompay, L. 2003. Report on the technical evaluation and impact assessment of sub-surface dams. Technical Report, Turkana Livestock Development Project, VSF, Belgium, 22 pages.

Determining the suitable areas of underground dam in Gharasou watershed

Keivan Khorrami[*1], Ghorban Vahab Zadeh[2], Karim Soleimani[3] and Reza Talaei[4]
[1] MSc, Faculty of Natural Resources, Sari University, Iran, [2] Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Sari University, Iran [3] Professor, Faculty of Natural Resources, Sari University, Iran and [4] Scientific Board, Agricultural and Natural Resources Research Center, Ardebil, Iran

Received: 11 March 2014 Accepted: 24 May 2014

Abstract

The use of groundwater is one of the ways to overcome the seasonal shortages of water. Underground dam that can be noted as one of the techniques to help the improvement of water resources management and increase the efficiency of these resources, is one of the water storage practices to use the groundwater. . It is a simple method for the collection and storage of water in arid and semi-arid areas. In this study, selection of suitable areas of underground dam in Gharasou watershed is investigated. Many factors are influenced in determining the suitable areas of underground dam. In this research, physiography, geology, hydrology, hydrogeology and land use of the watershed were investigated and analyzed with the use of information, maps, reports, required data and geographic information system. Then, derived maps from different stages were combined and finally suitable areas and streams for construction of underground dam were mapped. Results showed that about 30 percent of Gharasou watershed is suitable for construction of underground dam.

Key words: Geology, GIS, Hydrogeology, Hydrology, Land use, Topography

[*] Corresponding author: k_khorrami@yahoo.com