نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۳، خرداد - تیر ۱۳۹۸، ص. ۳۵۳-۳۳۸

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 13, Jan.-Jul. 2019, p. 338-353

اولویت‌بندی مکان مناسب احداث سد زیرزمینی با AHP در حوزه آبخیز کجیبد- بالاقلی شهرستان گرمه

عزت الله عرب خزائلی[1*]، علی حشمت‌پور[2]، مرتضی سیدیان[3]، جواد چزگی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۰۵

چکیده

در این پژوهش با تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی و سامانه پشتیبانی تصمیم گیری، مناسب‌ترین مناطق برای احداث سد زیرزمینی شناسایی شد. این سیستم پشتیبانی برای حوزه آبخیز کجبید–بالاقلی از شهر گرمه استان خراسان‌شمالی در سه مرحله مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله اول با حذف معیارهای نامناسب شامل آبراهه‌های رده ۱ و ۲، شیب بالای ۶ درصد، زمین‌شناسی شامل پادگان‌های آبرفتی کهن، کاربری‌اراضی شامل مناطق مسکونی، گسل، قنات، چاه و چشمه مناطق دارای پتانسیل برای احداث سد زیرزمینی مشخص گردید. در مرحله دوم ۱۰ محور مناسب بر اساس بیشترین سطح مخزن انتخاب شد. در مرحله سوم برای ارزیابی و اولویت‌بندی این ۱۰ محور، از فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. برای این‌منظور از چهار معیار اصلی که عبارت است از وضعیت آب شامل کمیت با وزن ۰/۸ و کیفیت با وزن ۰/۲، خصوصیات مخزن شامل نفوذپذیری با وزن ۰/۵۳ و شیب با وزن ۰/۲۴ و عمق با وزن ۰/۱۲ و سطح با وزن ۰/۱۰، مشخصات محور شامل عمق با وزن ۰/۷۵ و طول با وزن ۰/۱۷ و تکیه‌گاه با وزن ۰/۰۷، عوامل اقتصادی–اجتماعی شامل نیاز آبی با وزن ۰/۸ و دسترسی با وزن ۰/۲ استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که بهترین محورها در بستر آبرفتی نهشته‌های رودخانه‌ای بخش خروجی حوزه آبخیز است.

واژه‌های کلیدی: جریان زیرسطحی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، سد زیرزمینی، فرایند سلسله مراتبی، گرمه

مقدمه

در اغلب نقاط ایران، به‌علت بارندگی کم و توزیع زمانی نامناسب آن، منابع آب زیرزمینی و مدیریت آن از اولویت خاصی برخوردار است. یکی از راه‌های مدیریت منابع آب زیرزمینی، احداث سدهای زیرزمینی[5] است. سدهای زیرزمینی به‌دلیل تنوع در مکانیزم و عملکرد، در حفظ و نگه‌داری بهینه از منابع آب زیرزمینی نقش قابل توجهی را می‌توانند ایفا نمایند. احداث سدهای زیرزمینی و استفاده از آب‌های سطحی به‌منظور تغذیه مصنوعی و جمع‌آوری و ذخیره نمودن جریانات زیرسطحی[6] می‌تواند یکی از راهکارهای بسیار مناسب برای جبران کم‌آبی و توسعه منابع آبی در فصول خشک سال در این مناطق باشد (داودی، ۱۳۸۳). این سدها، سازه‌هایی هستند که به‌منظور جمع‌آوری و متوقف نمودن آب‌های زیرسطحی و ایجاد یک مخزن ذخیره آب در رسوبات آبرفتی ساخته می‌شوند (Nilsson، ۱۹۸۸).

مهم‌ترین مشکل در توسعه و ایجاد سدهای زیرزمینی، پیچیدگی تعیین مکان مناسب آن‌ها در حوزه آبخیز می‌باشد. این موضوع به دلیل تأثیر عوامل بسیاری شامل معیارهای فیزیکی و اقتصادی–اجتماعی در مکان‌یابی مناسب سدهای زیرزمینی می‌باشد (سلامی و همکاران، ۱۳۸۷؛ گلمایی و آشتیانی‌مقدم، ۱۳۸۴؛ چزگی و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین بررسی و تعیین این عوامل در عرصه‌ها با استفاده از روش‌های سنتی بسیار پرهزینه بوده و نیاز به صرف وقت بسیار دارد. در نتیجه توسعه یک سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری[7] (DSS) به منظور بررسی تعیین معیارها و شناسایی محل‌های مناسب احداث سدهای زیرزمینی ضروری می‌باشد (خیرخواه‌زرکش، ۲۰۰۵). خصوصیات معیارهای تصمیم‌گیری در مکان‌یابی مناطق مناسب احداث سدهای زیرزمینی و قدرت و توانایی منحصر به فرد تکنیک سامانه اطلاعات

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه گنبد کاووس / کارشناس جنگل و مرتع اداره منابع طبیعی و آبخیزداری سوادکوه
۲- استادیار گروه آبخیزداری دانشگاه گنبد کاووس
۳- استادیار گروه آبخیزداری دانشگاه گنبد کاووس
۴- استادیار گروه محیط زیست دانشگاه بیرجند
(* - نویسنده مسئول: Email: Arabkhazaeli.ez@gmail.com)

5-Underground Dams
6- Subsurface Flows
7- Decision Support System

جغرافیایی[1] (GIS) در جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، مدیریت و تلفیق این داده‌ها و معیارها موجب سهولت کار، کاهش قابل ملاحظه هزینه‌ها و صرف وقت می‌شود. همچنین توانایی جدید آن‌ها در تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره[2] (MCDM) باعث می‌شود توسعه یک سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری بر مبنای تکنیک سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) ضروری باشد (چزگی، ۱۳۸۹).

در سال‌های اخیر مطالعات و بررسی‌های مختلفی در مورد سدهای زیرزمینی و شناسائی عوامل و فاکتورهای موثر در مکان‌یابی آن انجام شده است.

Tuinhof and Foster (۲۰۰۴) با ارزیابی سدهای زیرزمینی احداث شده در برزیل نشان داده‌اند که عوامل حجم مخزن، عمق سنگ‌بستر، نفوذپذیری و کیفیت شیمیایی خاک مخزن نقش موثری در کارایی سدهای زیرزمینی دارند.

Archwichai et al (۲۰۰۵) به منظور مکان‌یابی سدهای زیرزمینی وجود شرایط لازم هیدروژئولوژی (تخلخل کافی، سنگ‌کف نفوذناپذیر و وجود آبخوان)، شرایط محیطی (عدم شوری آب و خاک و نبود منابع آلودگی) و نیز ویژگی‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی را لازم دانسته‌اند.

سلیمانی (۱۳۸۶) در مطالعه‌ای در حوضه کشف‌رود دشت مشهد، با تلفیق و همپوشانی نقشه‌های نفوذپذیری، شیب، فرسایش‌پذیری حوضه، ضخامت آبرفت، عمق تا سطح‌ایستایی و رده آبراهه‌ها، مکان‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی را تعیین کرده است. مکان‌نمایی انجام شده نشان داد که مخروط‌افکنه‌ها پتانسیل مناسبی برای احداث سد زیرزمینی دارند.

Forzieri et al (۲۰۰۸) سدهای کوچک زیرزمینی و سطحی در کیدال مالی را در سه مرحله مکان‌یابی کردند. الف- شناسایی نقاط از طریق تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های بزرگ‌مقیاس ب- انتخاب کیفی نقاطی که در مرحله قبل شناسایی شده بودند بر اساس ویژگی‌های کارکردی و ژئومورفولوژی ج- اولویت‌بندی نقاط با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM). نتایج این پژوهش نشان داده است که با این روش زمان و هزینه ارزیابی به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد.

مرآتی و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی سد زیرزمینی ابیورد نشان داده‌اند این نوع سدها در کشورهایی مانند ایران که سطح آب زیرزمینی نوسان زیادی در فصول خشک و مرطوب دارد مناسب می‌باشد و راه مفیدی به‌منظور تصفیه و ذخیره آب محسوب می‌شود.

باقریان کلات و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی در روستای سنگانه کلات در شمال شرقی مشهد، مشاهده نموده‌اند که با احداث سد زیرزمینی در سال ۱۳۹۰ آب شرب مورد نیاز حدود ۱۲۰۰۰ راس دام عشایر منطقه تامین شده و با رفع معضل کم‌آبی، درآمد روستائیان نسبت به سال‌های قبل افزایش چشمگیری یافته که تمام هزینه‌های اجرای این پروژه در مدت ۵ سال مستهلک خواهد شد.

چزگی و همکاران (۲۰۱۶) در بخشی از استان البرز با تلفیق لایه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، قنات و کاربری اراضی ۳۱ محدوده مناسب برای احداث سد زیرزمینی را در محیط Arc GIS تعیین نمودند. در مرحله بعدی برای اولویت‌بندی مناطق به دست آمده، معیارها و زیر معیارها به روش AHP و با نظرات کارشناسان وزن دهی شد. سپس با استفاده از ۱۶ معیار فرعی در محیط مدل SMCE به اولویت‌بندی سدهای زیرزمینی بر اساس شاخص تناسب پرداختند.

مطالعات مختلف نشان داد استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم های پشتیبان تصمیم گیری به همراه بازدیدهای صحرایی نقش مؤثری درافزایش دقت، کاهش هزینه‌ها و زمان تعیین مناطق مناسب احداث سدهای زیرزمینی دارد. همچنین روش تحلیل سلسله‌مراتبی[3] ابزاری توانمند به منظور ارائه نقشه نهایی مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی و اولویت‌بندی آن در آبراهه‌های مناسب می‌باشد. با توجه به نکات ذکر شده، تأثیر احداث سدهای زیرزمینی در تأمین و توسعه منابع‌آبی هم از لحاظ تئوری و هم از لحاظ اجرایی مشخص شده است که نشان می‌دهد تحقیق و پژوهش در مناطق مختلف ضروری است. در این تحقیق ابتدا با شناسایی و حذف عوامل نامناسب، مناطق دارای پتانسیل برای احداث سد زیرزمینی تعیین شده و سپس با اولویت‌بندی عوامل موثر در این مناطق، مناسب‌ترین مکان‌ها برای احداث این سازه تعیین گردید.

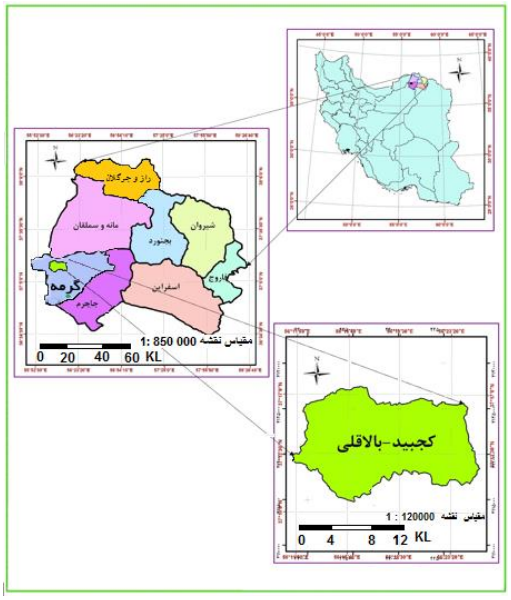
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز کجبید بالاقلی یکی از زیرحوزه‌های حوزه آبخیز کاله شور به مساحت ۱۶۸۰۶ هکتار بوده که با توجه به آخرین تقسیمات کشوری جزء دهستان اصغرآباد، بخش مرکزی شهرستان گرمه خراسان‌شمالی محسوب می‌گردد (شکل ۱). مختصات محدوده حوزه آبخیز مورد مطالعه در موقعیت جغرافیایی "۳۶ ´۱۱ °۵۶ تا "۲۶ ´۲۵ °۵۶ عرض شمالی و "۳۶ ´۱۰ °۳۷ تا "۳۲ ´۱۷ °۳۷ طول شرقی قرار دارد. اقلیم منطقه به روش دومارتن از نوع نیمه‌خشک و به روش آمبرژه از نوع خشک سرد است. میزان ریزش‌های جوی سالانه‌ی حوضه، به طور متوسط حدود ۲۲۴ میلی‌متر بوده و متوسط دمای سالانه‌ی حوضه حدود ۱۰/۷ درجه سلسیوس و میانگین رطوبت نسبی سالانه‌ی حوزه حدود ۶۲ درصد است (اداره کل منابع طبیعی و

1- Geographic Information System
2- Multiple Criteria Decision Making
3- Analytical Hierarchy Process

آبخیزداری استان خراسان شمالی، ۱۳۸۸). در منطقه مورد مطالعه کشاورزی و دامداری به‌ترتیب مهم‌ترین شغل بهره‌برداران بوده و اساسی‌ترین منبع درآمدی مردم آن به‌شمار می‌رود. با توجه به خشکسالی منطقه و کاهش محسوس بازده محصولات زراعی و باغی بین ۲۰ تا ۴۰ درصد و همچنین کاهش بیش از ۲۰ درصد دام توسط دامداران، توجه هرچه بیشتر به مسائل آب که در حال تبدیل به بحران آب می‌باشد لازم و ضروری به نظر می‌رسد. یکی از راه‌کارهای حل این مشکل احداث سد زیرزمینی برای جبران کم‌آبی در چنین مناطقی می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز کجبید - بالاقلی در استان خراسان-شمالی و کشور

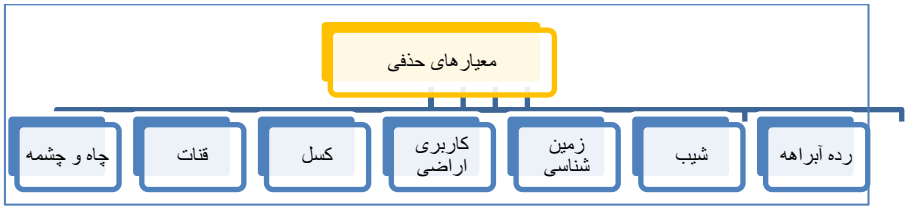
مواد و روش ها

اولین گام و مهم‌ترین مرحله در احداث یک سد زیرزمینی شناسایی مکان مناسب آن می‌باشد. این مرحله به‌دلیل اهمیت در سود یا زیان پروژه باید به‌طور دقیق انجام شود. زیرا در صورت عدم انتخاب مکان مناسب جهت احداث سد زیرزمینی از یک‌سو هزینه اجرایی طرح افزایش می‌یابد و از سوی دیگر میزان بازدهی سازه کاهش می‌یابد. مکان‌یابی این سازه در سه مرحله صورت می‌گیرد (چزگی و همکاران، ۲۰۱۵؛ خرازی و همکاران، ۱۳۹۶).

مرحله اول: شناسائی محدوده‌های دارای پتانسیل احداث سد زیرزمینی

در مرحله اول با استفاده از معیارهای حذفی، مناطق نامناسب حذف شدند و محدوده‌های پتانسیل‌دار به‌منظور احداث سد زیرزمینی مشخص شد؛ که معیارهای مذکور به شکل لایه‌های اطلاعاتی جداگانه رستری با اندازه سلول ۲۵ متر تهیه شد (شکل ۲). معیارهای حذفی با توجه به داده‌های موجود، شرایط منطقه و مطالعات قبلی انتخاب گردید.

ممکن است احداث سد زیرزمینی بر روی آبدهی قنوات، چشمه و چاه‌ها که از منابع تأمین آب منطقه می‌باشند تأثیر منفی داشته باشد. برای رفع این مشکل اطراف این منابع بافری به اندازه ۱۰۰ متر درنظر گرفته شد و مناطق داخل بافر حذف شدند (چزگی و همکاران، ۱۳۸۹؛ عزیزی و همکاران، ۲۰۱۱؛ خرمی و همکاران، ۱۳۹۳؛ خرازی و همکاران، ۱۳۹۶؛ شکل‌های ۳ و ۴). درصورتی که بخش‌هایی از مسیل، گسلی باشد به این علت که معبرهای مناسبی به‌منظور زهکشی و خروج آب به مناطق خارج از دسترس می‌باشد و همچنین وجود پتانسیل لرزه‌ای در مواردی که گسل بزرگ و فعال وجود داشته باشد، جزء مناطق نامناسب احداث سد زیرزمینی تقسیم‌بندی می‌شوند.

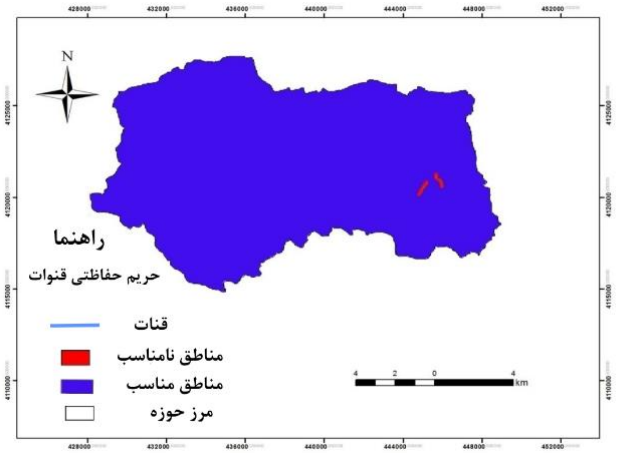


شکل ۲- دیاگرام معیارهای حذفی جهت تعیین مناطق مناسب برای احداث سد زیرزمینی

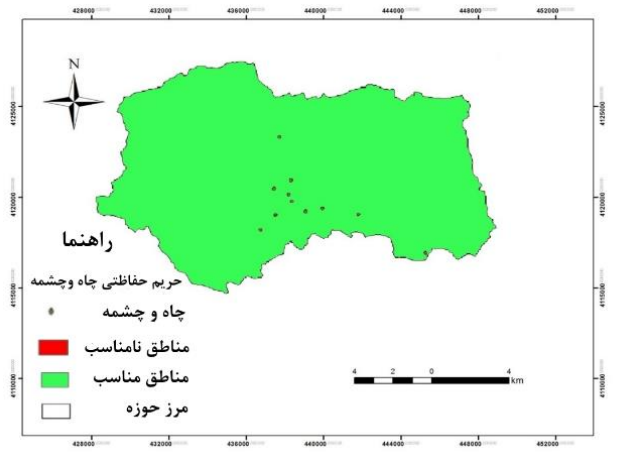
بنابراین برای مناطق گسلی حریم حفاظتی ۳۰۰ متری در نظر گرفته شد و مناطق داخل بافر حذف شدند (خرمی و همکاران، ۱۳۹۳؛ شکل ۵). با استفاده از نقشه کاربری‌اراضی، مسیل‌هایی که در مناطق مسکونی قرار گرفتند به‌علت نفوذناپذیر بودن منطقه و احتمال وجود خسارت به ساختمان‌ها و سازه‌ها و مشکلات ناشی از آلودگی به‌عنوان مناطق نامناسب در نظر گرفته شد که در این تحقیق نیز این مناطق حذف شدند (خرمی و همکاران، ۱۳۹۳؛ اصغری سرسکانرود و همکاران، ۱۳۹۵؛ عشقی زاده،۱۳۸۸؛ شکل ۶). شیب زیاد مانع تشکیل مخزن با حجم مناسب جهت ذخیره آب زیرسطحی می‌شود بنابراین شیب‌های بالای ۶ درصد حذف شدند (عزیزی و همکاران، ۲۰۱۱؛

چزگی و همکاران، ۲۰۱۱؛ خرازی و همکاران، ۱۳۹۶؛ شکل ۷). پادگانه‌های آبرفتی قدیمی مرتفع موجود در کرانه‌های رود (Qt1) دارای بافت دانه‌درشت و نفوذپذیری بالا هستند که به‌دلیل نشت و هدررفت آب از تکیه‌گاه‌ها، نمی‌توان بر روی آن‌ها سد زیرزمینی احداث کرد که این مناطق نیز حذف شدند (چزگی و همکاران، ۱۳۸۹؛ عزیزی و همکاران، ۱۳۹۰؛ شکل۸). احداث سدها باید در مناطقی صورت گیرد که دارای حجم آب و رواناب مناسبی باشد که خود این عامل رابطه مستقیمی با رده آبراهه‌ها دارد. بنابراین آبراهه رده ۱ و ۲ به علت کم بودن حجم ذخیره آب تشکیل شده در مخزن آن نامناسب تشخیص داده شده و حذف گردید (سلامی و همکاران، ۱۳۸۷؛ سلیمانی و همکاران، ۱۳۸۷؛ خرمی و همکاران، ۱۳۹۳؛ زاهدی و همکاران، ۱۳۹۵؛ شکل ۹). لازم به ذکر است که اطلاعات مذکور به‌صورت وکتوری از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان شمالی تهیه گردیده که در محیط نرم‌افزار GIS بعد از طبقه‌بندی مجدد به‌صورت رستر استفاده شده است.

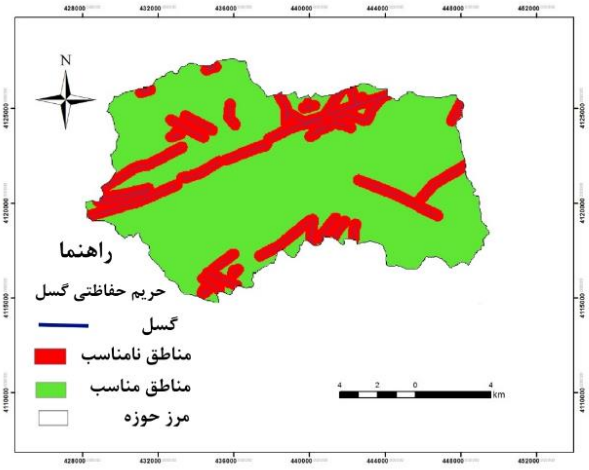
بعد از تهیه تمام نقشه‌ها در مرحله اول، برای به‌دست آوردن محدوده های مناسب احداث سد زیرزمینی بر روی تمام نقشه‌های به‌دست آمده عملیات روی‌هم‌گذاری انجام شد. در ادامه پس از تبدیل کردن مناطق از فایل رستری به فایل وکتوری در محیط نرم‌افزار GIS و قرار دادن این فایل بر روی گوگل‌ارث ، این مناطق مورد بازدید قرار گرفت و در نهایت مناطق باقی‌مانده به‌عنوان محدوده‌های دارای توانایی بالقوه احداث سد زیرزمینی شناسایی شدند (شکل ۱۰).



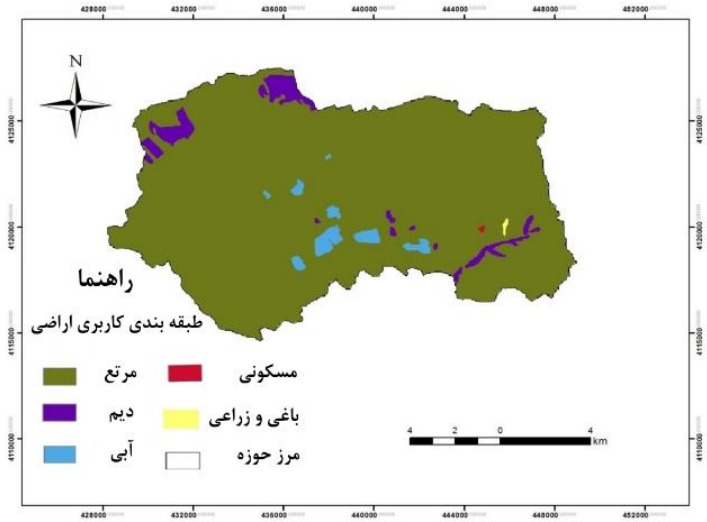
شکل ۳- نقشه قنوات و حریم حفاظتی آن‌ها (۱۰۰متر) برای احداث سد زیرزمینی در حوزه کجبید – بالاقلی



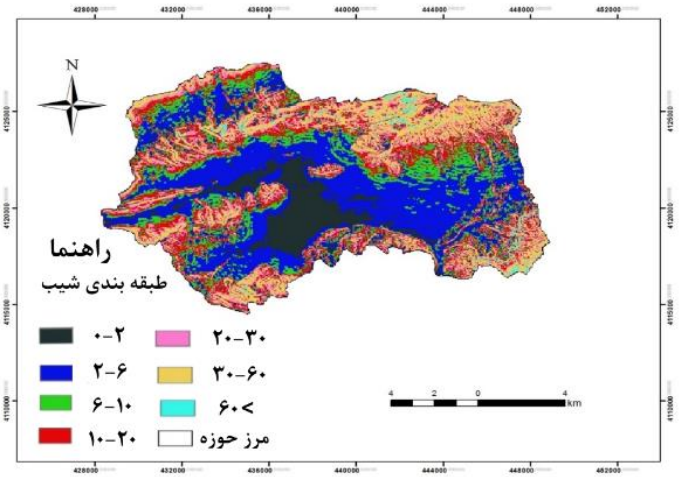
شکل ٤- نقشه چاه‌ها و چشمه‌ها و حریم حفاظتی آن‌ها (۱۰۰متر) در حوزه کجبید – بالاقلی



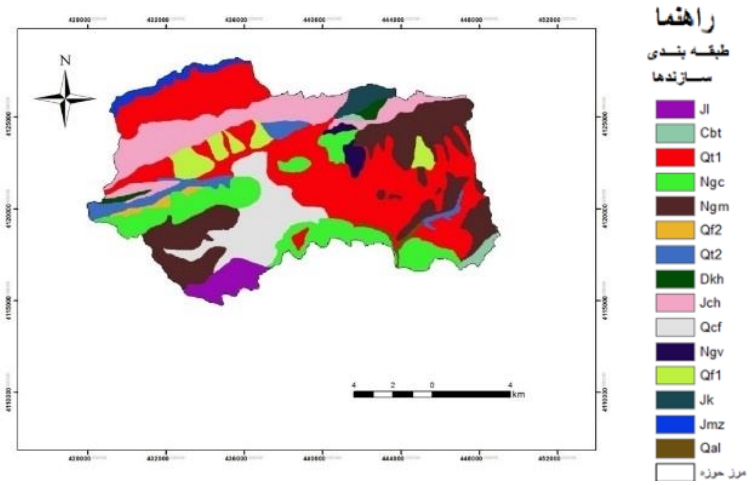
شکل ۵- نقشه گسل‌ها و حریم حفاظتی آن‌ها (۳۰۰متر) برای احداث سد زیرزمینی در حوزه کجبید – بالاقلی



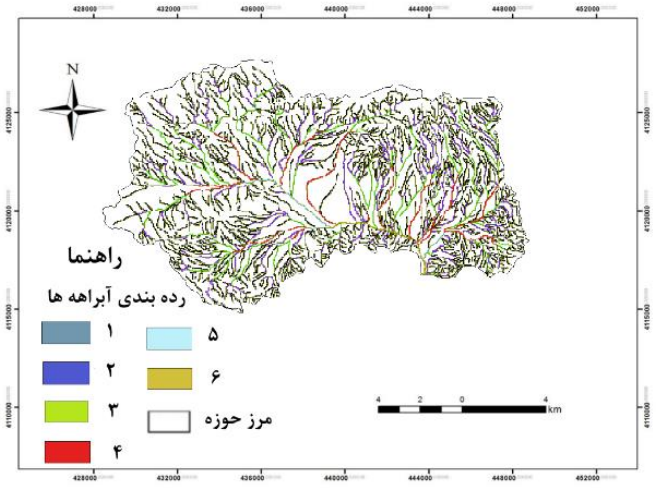
شکل ٦- نقشه طبقه‌بندی کاربری‌های اراضی حوزه کجبید–بالاقلی



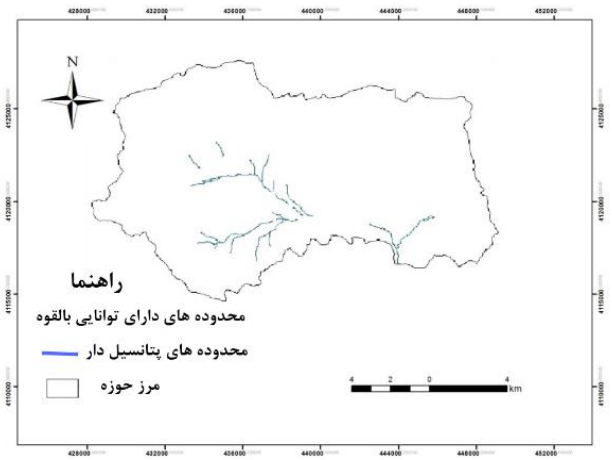
شکل ۷- نقشه طبقه‌بندی شده شیب حوزه کجبید – بالاقلی



شکل ۸- نقشه طبقه‌بندی شده سازندها در حوزه کجبید – بالاقلی



شکل ۹- نقشه رده‌بندی آبراهه‌های حوزه کجبید – بالاقلی



شکل ۱۰- محدوده‌های دارای توانایی بالقوه احداث سد زیرزمینی در حوزه کجبید – بالاقلی

مرحله دوم: شناسائی محورهای مناسب در محدوده‌های دارای توانایی بالقوه به منظور احداث سد زیرزمینی

مناسب‌ترین محور برای احداث سد باید دارای گسترش سطحی زیاد مخزن در بالادست محور باشد. سطح مخزن از حاصل‌ضرب عرض رودخانه در طول مخزن یعنی طولی از مخزن که آب در پشت محور جمع می‌شود قابل محاسبه می‌باشد. این طول با ضخامت آبرفت رابطه مستقیم و با شیب‌بستر رابطه معکوس دارد و از رابطه (۱) قابل محاسبه می‌باشد (سلامی و همکاران، ۱۳۸۷؛ خرازی و همکاران، ۱۳۹۶).

رابطه(۱): طول مخزن $L = B \times 1/A$

L : طول مخزن به متر

B : ضخامت آبرفت به متر

A : شیب متوسط بستررود به درصد

برای دست‌یابی به ضخامت آبرفت منطقه نیازمند بررسی‌های ژئوفیزیکی می‌باشیم که به دلیل وسعت زیاد منطقه و هزینه و زمان قابل توجه برای انجام این کاوش‌ها، این امر امکان‌پذیر نبوده بنابراین از روش درون‌یابی عکس مجذور فاصله[1] (IDW) از عمق مادر چاه‌های قنوات و عمق چاه‌ها با فرض این‌که مادر چاه‌های قنوات و چاه‌ها در آبرفت منطقه حفر شده‌اند استفاده شد (خرازی و همکاران، ۱۳۹۶). از روش درون‌یابی[2] برای پیش‌بینی در مکان‌هایی که داده‌های آن‌ها اندازه‌گیری نشده و مجهول می‌باشند از مقادیر اندازه‌گیری شده پیرامون محل استفاده می‌شود. از مدل‌های دیگر درون‌یابی نیز استفاده گردید اما در نهایت روش عکس مجذور فاصله بر اساس معیارهای ارزیابی میانگین خطای مطلق[3] (MAE) و ریشه دوم میانگین مربع خطا[4] (RMSE) به‌عنوان بهترین مدل انتخاب گردید (جدول ۱). فرض اساسی این روش بر آن است که با افزایش فاصله میزان تاثیر پارامترها در برآورد واحد سطح کاهش می‌یابد. در پیش‌بینی عامل وزن بر اساس فاصله نقاط از یکدیگر تعیین می‌شود. به نقاط نزدیک محل نمونه وزن بیشتر و به نقاط دورتر وزن کمتری اختصاص می‌یابد. در استفاده از رابطه (۱) باید توجه شود طول مخزن به‌دست آمده از رابطه نباید بیشتر از طول آبراهه‌هایی باشد که در مرحله اول به‌دست آمده است. طول‌مخزن باید در محدوده‌های دارای توانایی بالقوه احداث سد زیرزمینی قرار گیرد. این نکته نقش مهمی در انتخاب نشدن مناطق میانی حوزه که دارای ضخامت آبرفت خیلی زیادی بوده‌اند، دارد. همچنین با استفاده از این منطق، آبراهه‌های با طول کم هم حذف می‌شوند. با توجه به این رابطه در نهایت ۱۰ محور مناسب که به‌ترتیب، بیشترین سطح مخزن را داشتند مکان‌نمایی و انتخاب شده‌اند (شکل ۱۲) که اطلاعات این مناطق در جدول (۲) آورده شده است.

مرحله سوم: ارزیابی محورها نسبت به یکدیگر و اولویت‌بندی آن‌ها به منظور احداث سد زیرزمینی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی

بعد از مشخص کردن معیارها و زیرمعیارها به وزن‌دهی و اولویت-بندی محورها در هر کدام از معیارهای موجود پرداخته شد. معیارها و زیر معیارها و وزن و اهمیت هر کدام از آن‌ها نسبت‌به یکدیگر بر مبنای نظرات کارشناسی و بررسی مقالات و مطالعات قبلی و همچنین بازدیدهای صحرایی مشخص گردیده است. وزن برای هر یک از معیارها و شاخص‌ها از طریق تکنیک میانگین هندسی[5] به‌روش ساعتی[6] (ساعتی ،۱۹۸۰) از میانگین آمار داده‌های سازگار بدست آمده از منطقه که به نزدیک‌ترین عدد صحیح رند شده بود، به‌دست آمد.

همچنین کنترل نسبت ناسازگاری[7] نظرات و قضاوت‌های کارشناسان با استفاده از نرم‌افزار اکسپرت چویس[8] تعیین شد. از طریق تحلیل سلسله مراتبی معیارهای مهم در اولویت‌بندی قرار گرفت که از بالا به پایین برمبنای میزان اهمیت طبقه‌بندی گردید. در این تحقیق چهار معیار اصلی آب، محور ساخت سد، مخزن سد و عوامل اقتصادی- اجتماعی در بالاترین سطح و زیرمعیارها و شاخص‌ها در قسمت‌های پایین درخت تصمیم‌گیری قرار گرفت (شکل ۱۱).

محاسبه شاخص تناسب[9]

آخرین مرحله در اجرای مدل تصمیم‌گیری تحلیل سلسله مراتبی، محاسبه شاخص‌تناسب برای هر محور است که با استفاده از رابطه (۲) امکان‌پذیر می‌باشد. شاخص‌تناسب برای هر یک از معیارهای اصلی و فرعی موجود در هر یک از شاخه‌های تصمیم‌گیری جداگانه محاسبه شد. در نهایت پس از تلفیق و جمع کردن آن‌ها به‌صورت یک عدد نهایی نشان داده می‌شود که این عدد هرچه از مقدار بیشتری برخوردار باشد محور مورد نظر دارای ارزش و اولویت بیشتری جهت احداث سد زیر زمینی می‌باشد (چزگی، ۲۰۰۹؛ خرازی و همکاران، ۱۳۹۶).

رابطه(۲):

شاخص تناسب نهایی = شاخص تناسب نهایی برای هر محور

1- Inverse Distance Weighted
2- Interpolation
3- Mean Absolute Error
4- Root Mean Square Error
5- Geometric mean
6- Saaty
7- Consistency Ratio
8- Expert Choice
9- Suitability Index

جدول ۱- ارزیابی معیارهای میانگین خطای مطلق و ریشه دوم میانگین مربع خطا در انتخاب بهترین مدل

روش	ریشه دوم میانگین مربع خطا	میانگین خطای مطلق
عکس مجذور فاصله	۴/۰۱۷	۵/۵۶۲
کریجینگ معمولی	۵/۲۸۵	۶/۴۸۷
کوکریجینگ	۴/۶۹۱	۶/۴۲۸

جدول ۲- محورهای مناسب در هر محدوده به‌منظور احداث سد زیرزمینی بر اساس سطح مخزن

علامت محورها	ضخامت آبرفت (متر)	شیب متوسط آبراهه (درصد)	طول مخزن (متر)	عرض متوسط آبراهه (متر)	سطح مخزن (مترمربع)
A	۲۴/۶	۱/۷۷	۱۳۹۰	۳۵	۴۸۶۵۰
B	۵۳/۴	۱/۵۷	۳۴۰۱	۱۲	۴۰۸۱۲
C	۲۷/۳	۱/۷۴	۱۵۶۹	۱۹	۲۹۸۱۱
D	۳۳/۸	۱/۴۳	۲۳۶۳	۱۰	۲۳۶۳۰
E	۲۳/۴	۲/۸۳	۸۲۷	۱۶	۱۳۲۳۲
F	۴۷/۲	۳/۳۶	۱۴۰۴	۹	۱۲۶۳۶
G	۲۲/۱	۲/۸۷	۷۷۰	۱۴	۱۰۷۸۰
H	۲۸/۸	۲/۸۳	۱۰۱۷	۱۰	۱۰۱۷۰
I	۲۷/۶	۳/۴۳	۸۰۴	۷	۵۶۲۸
J	۲۶/۴	۳/۷۶	۷۰۲	۸	۵۶۱۶

شکل ۱۱- ساختار جریان تصمیم گیری تحلیل سلسله مراتبی مورد استفاده در اولویت بندی محورها

(شاخص تناسبی معیار آب × وزن معیار آب) + (شاخص تناسبی معیار مخزن × وزن معیار مخزن) + (شاخص تناسبی معیار محور × وزن معیار محور) + (شاخص تناسبی معیار اقتصادی-اجتماعی × وزن معیار اقتصادی-اجتماعی)

نتایج و بحث

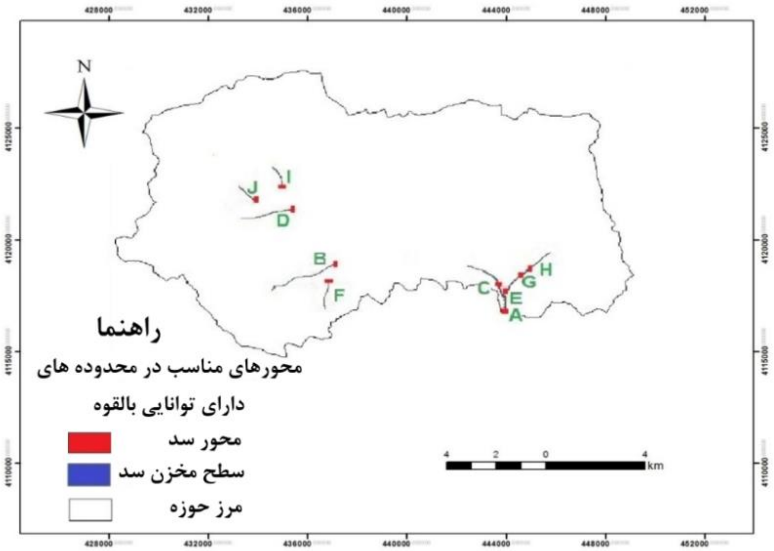
با استفاده از ارزش‌های نسبی تعیین شده به‌روش مقایسه دودوئی[1] (ساعتی، ۱۹۸۰) اهمیت و وزن هر یک از معیارهای اصلی و زیرمعیارهای فرعی نسبت به‌هم در مدل تحلیل سلسله مراتبی محاسبه شد (جدول ۳).

سناریوهای[2] مختلف در اولویت‌بندی محورها

ارزش شاخص‌ها و معیارهای فرعی با استفاده از نظرات کارشناسان انجام می‌پذیرد.

1- Pairwise Comparision

2- Scenario



شکل ۱۲- محورهای مناسب در هر محدوده به‌منظور احداث سد زیرزمینی بر اساس سطح مخزن

تفاوت قابل توجهی در دیدگاه‌های موجود در ارتباط با وزن و ارزش هرکدام از معیارهای اصلی و با توجه به تاثیر زیاد ارزش‌های نسبی معیارهای اصلی در میزان شاخص تناسب محاسبه شده برای هر محور مشاهده گردید. بنابراین در این تحقیق از پنج سناریو متفاوت برای اولویت‌بندی مکان‌های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی استفاده شد. در سناریوی اول، ارجحیت تمامی معیارها نسبت به یکدیگر به طور یکسان ۰/۲۵ بوده و در سایر سناریوها ارجحیت مطلق ۰/۷۵ به یک معیار اصلی داده شده و سایر معیارها با ارزش یکسان ۰/۰۸ می‌باشند (خرازی و همکاران، ۱۳۹۶؛ جدول ۴).

سناریوی اول: عدم ترجیح معیارهای اصلی نسبت به یکدیگر

در این سناریو برای هر چهار معیار اصلی ارزش و وزن برابری در نظر گرفته شده است و درنتیجه هیچ معیاری بر معیار دیگر ارجحیت ندارد. سناریو اول زمانی استفاده می‌شود که معیار خاصی در ارجحیت نباشد و همه عوامل به یک اندازه موثر باشند. بنابراین این سناریو تمام مناطق مناسب برای احداث سد زیرزمینی را مشخص می‌کند. این سناریو در حالتی که همه معیارها در حالت بحرانی باشند اعمال می‌شود.

سناریوی دوم: ارجحیت معیار اصلی آب

در این دیدگاه اولویت با مسدود کردن جریانات و ذخیره کردن آن‌ها می‌باشد. این سناریو زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که منطقه دچار کمبود آب باشد. این سناریو برای مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیار بااهمیت می‌باشد.

سناریوی سوم: ارجحیت معیار اصلی مخزن

دیدگاه مورد نظر در این ارتباط توجه بیشتر به حجم آب ذخیره شده است و برای مخازن بزرگ‌تر ارزش و اهمیت بیشتری قائل می‌باشند. این سناریو زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که ذخیره آب برای دوره‌های طولانی لازم باشد چون اقتصادی ویا غیر اقتصادی بودن یک سد زیرزمینی وابسته به حجم مخزن و مقدار آبی است که می‌تواند ذخیره نماید.

سناریوی چهارم: ارجحیت معیار اصلی محور

در این دیدگاه توجه اصلی به خصوصیات فنی سازه می‌باشد و بیشتر بعد اجرائی در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی مد نظر می‌باشد. این سناریو زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که به‌علت دشواری که در به‌کارگیری ماشین‌آلات حفاری در اعماق زیاد زمین پیش می‌آید عمق محور برای ساخت سازه بسیار محدود کننده می‌شود.

سناریوی پنجم: ارجحیت معیار اصلی اقتصادی-اجتماعی

در این دیدگاه محورهایی مناسب است که نیازآبی در آن جا بالا بوده و محورها تاحد امکان به مناطق مصرف و منابع قرضه و جاده دسترسی نزدیکتر باشند. این سناریو زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که هیچ نوع منبع آب ارزان‌تری در دسترس نباشد که این امر مستلزم بررسی پتانسیل‌های آبی سطحی و زیرزمینی منطقه و انتخاب بهترین منبع تامین آب می‌باشد.

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که A و C و G در اکثر سناریوها دارای رتبه‌های اول تا سوم قرار داشته و می‌توانند به‌عنوان بهترین

گزینه‌ها و دارای بیشترین مقبولیت برای احداث سد زیرزمینی در منطقه‌ی مورد مطالعه پیشنهاد گردند. بنابراین در این تحقیق از ۱۰ محور شناسایی شده با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی ۳ محور A و C و G به‌منظور انجام بررسی‌های دقیق‌تر ژئوفیزیکی و تصمیم-گیری نهایی برای احداث سد زیرزمینی پیشنهاد شده است.

بررسی نتایج حاصل از ارتباط بین عوامل موثر بر مکان‌یابی سدزیرزمینی در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که اهمیت کمیت آب در مقایسه با کیفیت آن بالاتر است زیرا هدف از احداث سد زیرزمینی کنترل و جمع‌آوری جریان آب می‌باشد و درصورت کمبود یا نبود جریانات آب، مخزن سد زیرزمینی به‌طور کامل آبگیری نشده و با مشکلات فراوانی ازجمله تامین نیازآبی مصرف‌کنندگان روبرو خواهیم شد که با نتایج نیلسون (۱۹۸۸) و خرازی و همکاران (۱۳۹۶) درباره جمع‌آوری آب با استفاده از سد زیرزمینی با تاکید بر کمیت آب هم-خوانی دارد ولی برای کیفیت‌های مختلف می‌توان کاربری‌های متفاوتی را درنظر گرفت.

جدول ۳- جدول وزن‌دهی و نسبت سازگاری (C.R) هر یک از معیارها و زیرمعیارها

	آب C.R=۰		مخزن C.R=۰/۰۳						محور C.R=۰/۰٤		اقتصادی-اجتماعی C.R=۰				
محورها	کمیت ۰/۸ C.R= ۰/۰۵	کیفیت ۰/۲ C.R= ۰	نفوذپذیری ۰/۵۳۱ C.R= ۰/۰۸	شیب ۰/۲٤ C.R= ۰/۰۸	عمق ۰/۱۲ C.R= ۰/۰۵	سطح ۰/۱۰۸ C.R= ۰/۰۸	عمق ۰/۷۵۱ C.R= ۰/۰۹	طول ۰/۱۷۸ C.R= ۰/۰۸	تکیه گاه ۰/۰۷ C.R= ۰/۰۸	نیاز آبی ۰/۸ C.R=۰		دسترسی ۰/۲ C.R=۰/۰۹			
										کشاورزی ۰/۸۵۷ C.R= ۰/۰۸	شرب ۰/۱٤۲ C.R= ۰/۰٤	روستا ۰/۷۳ C.R= ۰/۰٤	جاده ۰/۱۸۸ C.R= ۰/۰۲	قرضه ۰/۰۸ C.R= ۰/۰٤
A	۰/۵۷۳	۰/۸۳۳	۰/۵۱	۰/۲۶۳	۰/۱۱۵	۰/۵۱	۰/۲۶۹	۰/۰۳۲	۰/۰۳۲	۰/۰۳۲	۰/۱۰۴	۰/۶۳۸	۰/۶۲	۰/۶۳۸
B	۰/۱۱۵	۰/۱۶۶	۰/۰۳۲	۰/۲۶۳	۰/۵۷۳	۰/۵۱	۰/۰۳۹	۰/۲۶۳	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۶۳۷	۰/۲۵۸	۰/۲۷۴	۰/۲۵۸
C	۰/۵۷۳	۰/۸۳۳	۰/۵۱	۰/۲۶۳	۰/۱۱۵	۰/۱۲۹	۰/۲۶۹	۰/۱۲۹	۰/۰۳۲	۰/۰۳۲	۰/۱۰۴	۰/۶۳۸	۰/۶۲	۰/۶۳۸
D	۰/۲۵۸	۰/۸۳۳	۰/۲۶۳	۰/۲۶۳	۰/۱۱۵	۰/۱۲۹	۰/۱۲۵	۰/۲۶۳	۰/۰۶۳	۰/۰۶۳	۰/۱۰۴	۰/۱۰۵	۰/۲۷۴	۰/۲۵۸
E	۰/۲۵۸	۰/۸۳۳	۰/۵۱	۰/۱۲۹	۰/۱۱۵	۰/۰۶۳	۰/۲۶۹	۰/۲۶۳	۰/۰۳۲	۰/۰۳۲	۰/۱۰۴	۰/۲۵۸	۰/۶۲	۰/۶۳۸
F	۰/۰۵۲	۰/۱۶۶	۰/۰۳۲	۰/۰۶۳	۰/۲۵۸	۰/۰۶۳	۰/۰۳۹	۰/۲۶۳	۰/۵۱	۰/۲۶۳	۰/۲۵۸	۰/۲۵۸	۰/۲۷۴	۰/۲۵۸
G	۰/۲۵۸	۰/۸۳۳	۰/۵۱	۰/۱۲۹	۰/۱۱۵	۰/۰۶۳	۰/۲۶۹	۰/۲۶۳	۰/۰۳۲	۰/۰۳۲	۰/۱۰۴	۰/۶۳۸	۰/۶۲	۰/۶۳۸
H	۰/۱۱۵	۰/۸۳۳	۰/۲۶۳	۰/۱۲۹	۰/۱۱۵	۰/۰۶۳	۰/۲۶۹	۰/۲۶۳	۰/۰۶۳	۰/۰۶۳	۰/۱۰۴	۰/۶۳۸	۰/۶۲	۰/۶۳۸
I	۰/۰۵۲	۰/۸۳۳	۰/۲۶۳	۰/۰۶۳	۰/۱۱۵	۰/۰۳۲	۰/۲۶۹	۰/۵۱	۰/۰۶۳	۰/۰۳۲	۰/۱۰۴	۰/۱۰۵	۰/۱۰۴	۰/۲۵۸
J	۰/۱۱۵	۰/۸۳۳	۰/۲۶۳	۰/۰۶۳	۰/۱۱۵	۰/۰۳۲	۰/۲۶۹	۰/۵۱	۰/۰۶۳	۰/۰۳۲	۰/۱۰۴	۰/۱۰۵	۰/۱۰۴	۰/۱۰۵

جدول ٤- جدول شاخص تناسب و اولویت‌بندی هر یک از گزینه‌ها در سناریوهای مختلف

	سناریوی اول		سناریوی دوم		سناریوی سوم		سناریوی چهارم		سناریوی پنجم	
اولویت	گزینه	شاخص تناسب	گزینه	شاخص تناسب	گزینه	شاخص تناسب	گزینه	شاخص تناسب	گزینه	شاخص تناسب
۱	A	۰/۳۴۹	A	۰/۵۳۳	A	۰/۳۸۵	C	۰/۲۶۶	B	۰/۳۹۲
۲	C	۰/۳۴۴	C	۰/۵۳۱	C	۰/۳۵۶	J	۰/۲۶۳	A	۰/۲۲۴
۳	G	۰/۲۷۷	G	۰/۳۴۱	G	۰/۳۰۷	G	۰/۲۶	C	۰/۲۲۲
۴	E	۰/۲۶۳	E	۰/۳۳۶	E	۰/۳۰۳	I	۰/۲۵۹	F	۰/۲۱۸
۵	B	۰/۲۲۹	D	۰/۳۱۸	D	۰/۲۲۳	A	۰/۲۵۷	G	۰/۲
۶	H	۰/۲۲۱	H	۰/۲۴۶	B	۰/۲۱۲	E	۰/۲۵۵	H	۰/۱۹۵
۷	D	۰/۲۰۹	J	۰/۲۳۸	H	۰/۲۰۱	H	۰/۲۴۳	E	۰/۱۵۸
۸	J	۰/۱۹۶	I	۰/۲	J	۰/۱۸	D	۰/۱۶۶	D	۰/۱۲۶
۹	I	۰/۱۸۴	B	۰/۱۶	I	۰/۱۷۶	B	۰/۱۵۱	J	۰/۱۰۲
۱۰	F	۰/۱۳	F	۰/۰۹۳	F	۰/۰۹	F	۰/۱۱۸	I	۰/۰۹۹

هر چه رتبه آبراهه‌ها و نتیجتا رواناب و جریان سطحی بیشتر باشد دارای اهمیت نسبی بیشتری نسبت به دیگر آبراهه‌ها است. در این تحقیق، مناطق مناسب برای احداث سد زیرزمینی در بستر آبراهه‌هایی با رتبه ۳ تا ۶ قرار گرفتند که با نتایج مطالعات چزگی و همکاران

(۲۰۱۵) و هادیان و همکاران (۱۳۹۰) و خرمی و همکاران (۱۳۹۳) و زاهدی و همکاران (۱۳۹۵) که آبراهه‌های رده ۳ و ۴ و بالاتر را به عنوان بستر مناسب جهت احداث سد زیرزمینی پیشنهاد کرده‌اند مطابقت دارد.

با توجه به این‌که کمبود آب در بخش کشاورزی بیشتر مورد توجه بود، لذا با توجه به طبقه‌بندی ویل‌کوکس کیفیت آب مورد بررسی قرار گرفت. در این طبقه بندی دو عامل هدایت الکتریکی (EC) که نشان‌دهنده شوری و نسبت جذب سدیم (SAR) که نشان‌دهنده خطر سدیم است، در نظر گرفته شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که هرچه کیفیت آب بالاتر باشد دارای اهمیت نسبی بیشتری می‌باشد که با نتایج حاجی‌عزیزی و همکاران (۱۳۹۰) و خرمی و همکاران (۱۳۹۳) و خرازی و همکاران (۱۳۹۵) که کیفیت آب را با این دو عامل سنجید، مطابقت دارد.

به‌دلیل تشکیل مخزن سد زیرزمینی در زیر زمین و در بین خلل و فرج رسوبات آبرفتی، به‌دست آوردن حجم مخزن بسیار دشوار می‌باشد که این ویژگی یکی از معایب سد زیرزمینی محسوب می‌شود. برای تعیین حجم مخزن در این مطالعه از شاخص‌هایی چون عمق، سطح، شیب و نفوذپذیری استفاده شد که با نتایج سلامی و همکاران (۱۳۸۷) و سلیمانی (۱۳۸۶) و چزگی و همکاران (۲۰۱۵) و حاجی‌عزیزی و همکاران (۱۳۹۰) و عزیزخانی و همکاران (۱۳۹۰) و کریمی‌مبارک-آبادی (۲۰۱۲) و نیلسون (۱۹۸۸) و خرازی و همکاران (۱۳۹۶) مطابقت دارد.

به‌دلیل این‌که نفوذپذیری تاثیر زیادی در میزان آبدهی و ضریب ذخیره مخزن سد زیرزمینی دارد، این پارامتر بیشترین اهمیت نسبی را در بین شاخص‌های مخزن به‌خود اختصاص داده است که با نتایج گلمایی و آشتیانی مقدم (۱۳۸۴) و سلامی و همکاران (۱۳۸۷) و سلیمانی (۱۳۸۶) و چزگی و همکاران (۲۰۱۵) و عزیزی و همکاران (۱۳۹۰) و عزیزخانی و همکاران (۱۳۹۰) و کریمی‌مبارک‌آبادی (۲۰۱۲) و خرازی و همکاران (۱۳۹۶) مطابقت دارد.

با توجه به اینکه با کاهش شیب بر مقدار طول مخزن افزوده می‌شود و در نهایت حجم مخزن افزایش می‌یابد بنابراین هرچه شیب کمتر شود، اهمیت نسبی آن بیشتر می‌شود. مناسب‌ترین شیب جهت احداث این سدها شیب‌های کمتر از ۶ درصد در نظر گرفته شد که با نتایج چزگی و همکاران (۲۰۱۵) و حاجی‌عزیزی و همکاران (۱۳۹۰) و خرازی و همکاران (۱۳۹۶) و کردی و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت دارد.

با توجه به رابطه مستقیم بین ضخامت آبرفت و حجم ذخیره آب، مخازنی که ضخامت آبرفت آن‌ها بالاتر باشند از اهمیت و وزن بیشتری برخوردار می‌باشند که با نتایج به‌دست آمده از پیرمرادی و همکاران (۱۳۸۹) و سلامی و همکاران (۱۳۸۷) و سلیمانی(۱۳۸۶) و چزگی و همکاران (۲۰۱۵) و حاجی‌عزیزی و همکاران (۱۳۹۰) و عزیزخانی و همکاران (۱۳۹۰) و کریمی‌مبارک‌آبادی (۲۰۱۲) و خرازی و همکاران (۱۳۹۶) مطابقت دارد.

بررسی نتایج عامل سطح مخزن نشان داد که هر چه سطح مخزن بزرگ‌تر باشد، در مکان‌یابی این سازه دارای اولویت بیشتری خواهد بود. در سدهای زیرزمینی برخلاف سدهای معمولی که بزرگ بودن سطح مخزن به‌دلیل تلفات ناشی از تبخیر یک عیب محسوب می‌شود، بدون در نظر گرفتن سایر عوامل، بهترین مکان برای احداث سدزیرزمینی در یک مسیل، تنگه‌هایی هستند که دارای بیشترین سطح مخزن در مناطق بالادست جریان باشند که با نتایج به‌دست آمده از طباطبایی‌یزدی (۱۳۸۵) و پیرمرادی و همکاران (۱۳۸۹) و سلامی و همکاران (۱۳۸۷) و سلیمانی (۱۳۸۶) و چزگی و همکاران (۲۰۱۵) و حاجی‌عزیزی و همکاران (۱۳۹۰) و عزیزخانی و همکاران (۱۳۹۰) و کریمی‌مبارک‌آبادی (۲۰۱۲) و خرازی و همکاران (۱۳۹۶) و زاهدی و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت دارد.

معیارهای فرعی در بررسی وضعیت محور شامل عمق محور، طول محور و لیتولوژی تکیه‌گاه‌های محور می‌باشد. نتایج بررسی وضعیت محور نشان داده که عمق محور سد زیرزمینی بیشترین اهمیت نسبی را در بین شاخص‌های محور به‌خود اختصاص داده است زیرا در اقتصادی بودن یک سد زیرزمینی، عمق و طول محور بیشترین اهمیت را دارا می‌باشند و به‌دلیل محدودیتی که در عمق حفاری محور نسبت به طول محور وجود دارد این معیار در درجه اول اولویت قرار دارد که با نتایج به‌دست آمده از پیرمرادی و همکاران (۱۳۸۹) و سلامی و همکاران (۱۳۸۷) و چزگی و همکاران (۲۰۱۵) و حاجی‌عزیزی و همکاران (۱۳۹۰) و عزیزخانی و همکاران (۱۳۹۰) و کریمی‌مبارک‌آبادی (۲۰۱۲) و خرازی و همکاران (۱۳۹۶) مبنی‌بر این‌که مهم‌ترین محدودیت در احداث سد زیرزمینی، مدنظر قرار دادن عمق محور است هم‌خوانی دارد. از آن جایی که هزینه اجرایی سد با افزایش ارتفاع آن به طور تصاعدی افزایش می‌یابد، وجود سنگ‌کف در محل سد در عمق حدود ۲۰ متر یا کمتر، توجیه اقتصادی سد را ساده می‌نماید. در ژاپن سدهای زیرزمینی تا عمق ۲۵ متری نیز گزارش شده است (صفی نژاد و دادرس ،۱۳۷۹). البته توجیه اقتصادی حداکثر ارتفاع سد (عمق محور) تابع حجم مخزنی است که در پشت آن ایجاد می‌شود. همچنین با توجه به این‌که در مرحله اول مکان‌یابی تکیه‌گاه‌های نفوذپذیر حذف گردیده‌اند سایر لیتولوژی‌ها به‌عنوان تکیه‌گاه چندان مشکل‌ساز نبوده و نسبت به عمق و طول محور دارای اهمیت کمتری می‌باشد. محورهای مناسب آن‌هایی هستند که علاوه-بر دارابودن مخزنی مناسب جهت ذخیره آب در بالادست، دارای کم-ترین عمق و طول ممکن جهت احداث دیواره باشند. طول سد نیز مانند سدهای رایج سطحی عاملی است که در توجیه اقتصادی پروژه نقش بسزایی ایفا می‌کند (داودی راد و همکاران، ۱۳۸۳). محورهای با طول کمتر دارای ارزش و اهمیت بیشتری نسبت به دیگر محورها می‌باشندکه با نظرات به‌دست آمده از طباطبایی‌یزدی (۱۳۸۵) و

سلیمانی (۱۳۸۶) و چزگی و همکاران (۲۰۱۵) و حاجی‌عزیزی و همکاران (۱۳۹۰) و عزیزخانی و همکاران (۱۳۹۰) و کریمی‌مبارک‌آبادی (۲۰۱۲) و خرازی و همکاران (۱۳۹۶) و زاهدی و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت دارد.

نتایج بررسی عوامل تاثیرگذار اقتصادی-اجتماعی در منطقه مورد مطالعه شامل نیاز آبی کنونی در پایین‌دست محور و میزان دسترسی به محور سد زیرزمینی است که تاثیر و اهمیت میزان نیاز آبی بیشتر از عامل میزان دسترسی می‌باشد که با نظرات پیرمرادی و همکاران (۲۰۱۱) و سلیمانی (۱۳۸۶) و سلامی و همکاران (۱۳۸۷) و چزگی و همکاران (۲۰۱۵) و حاجی‌عزیزی و همکاران (۱۳۹۰) و عزیزخانی و همکاران (۱۳۹۰) و کریمی‌مبارک‌آبادی (۲۰۱۲) و خرازی و همکاران (۱۳۹۶) مطابقت دارد.

بررسی معیار نیاز آبی منطقه نشان داد که تامین آب کشاورزی نسبت به تامین آب شرب از درجه اهمیت و اولویت بیشتری برخوردار است که دلیل این امر جمعیت کم ساکن در منطقه بود که با نظر عزیزخانی و همکاران (۱۳۹۰) و خرازی و همکاران (۱۳۹۶) مطابقت داشت.

نتایج بررسی معیار دسترسی به سد زیرزمینی نشان داد که معیارهای فرعی فاصله از روستا، فاصله از جاده و فاصله از منابع قرضه به‌ترتیب بیشترین وزن را به‌خود اختصاص داده‌اند، هم‌چنین نتایج بررسی‌ها نشان داد که فواصل کمتر از ۵ کیلومتر از روستا، جاده اصلی و منابع قرضه در احداث سد زیرزمینی از اهمیت بیشتری برخوردارند. وجود جاده در محل احداث سد زیرزمینی باعث افزایش سرعت دسترسی و کاهش هزینه‌های مرتبط با ساخت و نگه‌داری و بهره‌برداری سازه می‌گردد. بنابراین محورهایی که به جاده نزدیک‌تر باشند نسبت به سایر محورها دارای اولویت بیشتری می‌باشند که با نتایج سلامی و همکاران (۱۳۸۷) و چزگی و همکاران (۲۰۱۵) و حاجی‌عزیزی و همکاران (۱۳۹۰) و حسن‌زاده نفوتی و همکاران (۱۳۹۵) و خرازی و همکاران (۱۳۹۶) مطابقت دارد.

در تحقیق حاضر برای کاهش هزینه‌های مرتبط با ساخت و نگه‌داری سازه، محورهایی که به منابع قرضه ریزدانه (رس) نزدیک‌تر باشد نسبت به سایر محورها دارای اولویت بیشتری می‌باشند که با نتایج چزگی و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد.

تحلیل علل شوری آب‌های سطحی و زیرزمینی:

مقایسه نتایج حاصل از آنالیز نمونه چاه با قنات موجود در منطقه مطالعاتی که هر دو در محدوده پادگانه‌های آبرفتی کواترنر کهن قرار دارند، نشان می‌دهد در چاه میزان مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها، هدایت الکتریکی و درجه شوری چندین برابر قنات است. این موضوع نشان می‌دهد در قنات که عمق مادرچاه آن حدود ۱۹ متر است از یک سفره سطحی برداشت می‌شود و آب‌های نفوذی در معرض سازندهای زمین شناسی آلوده‌کننده قرار نگرفته‌اند. اما در چاه به عمق ۵۵ متر در مجاورت مارن‌های نئوژن قرار دارد و به‌احتمال زیاد در اعماق با رسوبات تبخیری مزبور برخورد می‌کند و این موضوع موجب حل شدن املاح و یون‌های موجود در مارن‌ها و درنتیجه افزایش میزان کاتیون‌ها و نیز هدایت الکتریکی و ازدیاد درجه شوری و در مجموع باعث کاهش کیفیت آب در چاه آبرفتی مزبور شده‌اند. با توجه به شرایط بیان شده در منطقه، مهم‌ترین نقش و کارکرد سد زیرزمینی مکان‌نمایی شده در توسعه منابع آب، حفظ کیفیت آب زیرزمینی توسط انحراف یا جلوگیری از عبور جریان آب از تشکیلات زمین‌شناسی نامناسب است که بیشتر شامل رسوبات گچی- مارنی و رسوبات تبخیری می‌باشد. بنابراین برای سد زیر زمینی مکان‌یابی شده بیشتر نقش حفاظتی در نظر گرفته شده است.

پیشنهادها

۱- استفاده از شاخص‌ها و معیارهای بیشتر در درخت تصمیم-گیری برای بالا بردن دقت تصمیم‌گیری از جمله جهت شیب و ضریب رواناب و گروه هیدرولیکی خاک و شماره منحنی[1] (CN) و تراکم آبراهه‌ها و شبکه زهکشی و طبقات ارتفاعی و حق‌آبه‌ها و جنبه-های زیست محیطی.

۲- در صورت داشتن اطلاعات دقیق از عمق آبرفت منطقه اضافه کردن آن به‌عنوان یکی از فاکتورهای حذفی به این علت که احداث این سازه در اعماق زیاد زمین عملا غیراقتصادی و غیراجرایی است و درصورت نازک بودن بیش از حد لایه آبرفت، به‌علت حجم پایین مخزن ایجاد شده غیرقابل توجیه می‌باشد، لازم به‌نظر می‌رسد.

۳- در مناطق خشک، شاخص پوشش گیاهی[2] (NDVI) در سطح منطقه می‌تواند نشان‌دهنده ذخیره منابع آبی باشد به‌طوری که تراکم پوشش گیاهی نشان‌دهنده آبخوان مناسب و اطمینان از منابع آب دائمی است که با توجه به این که چه نوع گیاهانی در شرایط آب و هوای خشک رشد کنند، می‌توان دریافت که آب در چند متری سطح زمین قرار دارد.

۴- به این علت که در اراضی فاقد پوشش گیاهی فرض بر این است که گیاه به حداقل آب زیرسطحی دسترسی ندارد بنابراین درصورت دسترسی به شاخص پوشش گیاهی (NDVI) اضافه کردن آن به‌عنوان یکی از فاکتورهای حذفی ضروری به‌نظر می‌رسد.

۵- ارزیابی اثرات احداث سد زیرزمینی در منطقه و بررسی تاثیر هم‌زمان احداث آن.

۶- فنس‌کشی محدوده سطح‌مخزن سد زیرزمینی به‌منظور

1- Curve Number
2- Normalized Difference Vegetation Index

جلوگیری از ورود دام‌ها به این محدوده که منجر به آلودگی و کاهش کیفیت آب، متراکم شدن رسوبات در اثر لگدکوب شدن و کاهش نفوذپذیری سطح مخزن می‌شود.

۷- بررسی نقش سدهای زیرزمینی در مدیریت مناسب منابع آب و نقش آن در پراکش مناسب دام.

نتیجه‌گیری

تنها واحد با نفوذپذیری خیلی زیاد در منطقه مطالعاتی واحد رسوبات و نهشته‌های آبرفتی رودخانه‌ای کواترنر (Qal) است که به‌صورت رسوبات منفصل عمدتاً در بستر مسیل اصلی و در خروجی حوزه تشکیل شده اند. این واحد دارای خصوصیات هیدرودینامیکی قابل توجهی از جمله ضریب آبگذری و ضریب نفوذپذیری زیاد است. این واحد هر چند در حوزه مورد بحث از وسعت اندکی برخوردار است و وسعت آن حدود ۸۵ هکتار، معادل ۰/۲۱ درصد از کل عرصه مورد مطالعه می‌باشد، اما نمی‌توان از تأثیر کیفی و کمی مثبت آن بر منابع آب حوزه به لحاظ نفوذ و تغذیه در چشمه‌هایی که منشاء آبرفتی دارند، چشم‌پوشی نمود. بنابرآن‌چه گفته شد توسعه آبخوان‌های آبرفتی تابع گسترش رسوبات آبرفتی دوران چهارم (سازندهای کواترنر) و میزان تخلخل و نفوذپذیری آن‌ها می‌باشد. نهشته‌های آبرفتی چنان‌چه دارای بافت درشت‌دانه و تخلخل بالایی باشند می‌توانند مخازن و سفره‌های آب زیرزمینی قابل ملاحضه‌ای را تشکیل دهند که نهشته‌های بستر مسیل (Qal) از جمله مهم‌ترین سازندهایی است که این ویژگی را به‌طور کامل دارند. به‌غیر از نقش مثبت کمی سازندهای کواترنر بر آبخوان‌ها، از جمله مهم‌ترین تاثیرات کیفی که این سازندها می‌توانند بر روی آب داشته باشند تصفیه فیزیکی و شیمیایی آب به‌علت عبور آن از لایه‌های متخلخل آبرفتی است که دارای عملکردی مشابه فیلتر می‌باشد. نکته قابل بیان دیگر در مورد سازندهای کواترنر این است که نهشته‌های بستر مسیل (Qal) حاصل فرآیند رسوب‌گذاری در اثر کاهش شیب هستند که تحت تاثیر سیلاب‌ها درخروجی حوزه تشکیل شده است، بنابراین بر اساس توصیفی که از این سازند شده، کمیت و کیفیت بالای آب و نفوذپذیری زیاد و شیب کم از جمله ویژگی‌هایی است که این سازند در ذات خود دارد که این خصوصیات از جمله مهم‌ترین شرایط برای مکان‌یابی سد زیرزمینی می‌باشد. با توجه به توضیحات داده شده می‌توان به این نتیجه رسید که نوع سازند بنابر ویژگی که می‌تواند داشته باشد، یکی از تاثیرگذارترین و مهم‌ترین نقش‌ها را در مکان‌نمایی سد زیرزمینی دارد که با نظرات رحیمی و موسوی (۱۳۹۲) و کردی و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت دارد.

در مطالعه‌ای که توسط قارزی و همکاران (۱۳۹۱) در بفره سبزوار انجام شده بود، وجود ماسه سنگ، آبرفت درشت‌دانه و کنگلومرا را از شرایط مناسب احداث سد زیرزمینی نام برد. همچنین در پژوهشی که توسط حسنلو و همکاران (۱۳۸۸) و اصغری سرسکانرود و همکاران، (۱۳۹۵) انجام شد بیان‌گر این نکته بود که سازندهای کواترنر از لحاظ پتانسیل تشکیل آبخوان و احداث سد زیرزمینی در بالاترین اولویت قرار دارند. با نگاهی به محورهای انتخاب شده در این مطالعه مشاهده می‌شود که بالاترین اولویت‌ها و با ارزش‌ترین محورهای انتخابی در سازندهای کواترنر مخصوصا نهشته‌های بستر مسیل (Qal) در خروجی حوزه آبخیز قرار گرفته که این نکته بیان کننده صحت مکان‌نمایی سازه در این مطالعه است.

منابع

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. سال هفتم. شماره ۱۳. ص۱۶۳-۱۵۰

پیرمرادی، ر.، نخعی، م. و اسدیان، ف. ۱۳۸۹. تعیین مناطق مناسب جهت احداث سد زیرزمینی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: دشت ملایر در استان همدان). فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال سوم، شماره ۸، ص ۶۶-۵۱.

چزگی، ج. ۱۳۸۸. مکان‌یابی سد زیرزمینی با استفاده از سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری و سیستم اطلاعات جغرافیایی در غرب استان تهران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، ص ۱۰۴.

چزگی، ج.، مرادی، ح. ر. و خیرخواه، م. م. ۱۳۸۹. مکان‌یابی محل‌های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره با تاکید بر منابع آب (مطالعه موردی: غرب استان تهران). گزارش فنی، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال چهارم، شماره ۱۳، ص ۶۸-۶۵.

حاجی‌عزیزی، ش.، خیرخواه‌زرکش، م.م. و ش، اسماعیل. ۱۳۹۰. انتخاب مکان مناسب احداث سد زیرزمینی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به دو روش مکانی و غیرمکانی (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ پیشکوه شهرستان تفت استان یزد) ، مجله کابرد سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در علوم منابع طبیعی، سال دوم، شماره دوم، ص ۳۸-۲۷.

حسن زاده نفوتی، م.، جمالی، ع. ا.، فلاح، ا.ا. ۱۳۹۵. مکان‌یابی سدهای زیرزمینی با استفاده از ارزیابی چندمعیاره مکانی (SMCE) مطالعه موردی: حوضه آدوری شهرستان بم. نشریه علمی-پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. سال دهم.

شماره ۳۲ ص ۷۷-۶۹.

حسنلو، م. ر.، خلفی، ج. و هاشمی، م. ۱۳۸۸. مکان‌یابی مناطق مناسب جهت احداث سدهای زیرزمینی در دشت زنجان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. دومین همایش ملی سدسازی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان.

خرازی، پ.، یزدانی، م.ر.، آرا، ه.، خزائل پور، پ.۱۳۹۶ مکان‌یابی سدزیرزمینی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی مطالعه موردی حوضه آبخیز دشت کویر فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی(سپهر) دوره .۲۶ شماره ۱۰۳. ص ۱۸۵-۱۷۷.

خرمی، ک.، وهاب‌زاده، ق.، سلیمانی، ک. و طلایی، ر. ۱۳۹۳. تعیین مناطق مناسب سد زیرزمینی در حوزه آبخیز قره‌سو، نشریه علمی -پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیزداری، جلد ۶، شماره ۲، ص ۱۵۴-۱۳۹.

داودی، م.ه. ۱۳۸۳. سدهای زیرزمینی راهکاری اقتصادی و موثر برای مدیریت و توسعه منابع آب، انتشارات پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ۶۷.

داودی‌راد، م.، بهرنگی، ع. و میانجی، ی. ۱۳۸۳. سدهای زیرزمینی ابزاری مفید در مدیریت منابع آب زیرزمینی. اولین کنفرانس مدیریت منابع آب، دانشکده فنی دانشگاه تهران، ص ۱۲-۱.

رحیمی، د.، موسوی، س.ح. .۱۳۹۲ پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل AHP و تکنیک GPS. مطالعه موردی: حوزه آبخیز شاهرود-بسطام. نشریه علمی -پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی. سال .۱۷ شماره ۴۴. ص ۱۵۹-.۱۳۹

زاهدی، ا.، طالبی، ع.، طباطبائی، س. ع.، رئیسی، آ.، آسیایی، م. ۱۳۹۵. شبیه‌سازی جریان زیرسطحی برای مناطق مستعد احداث سدزیرزمینی با استفاده از مدل SWAT. مطالعه موردی حوزه آبخیز رودخانه درونگر درگز. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. سال هفتم. شماره 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.

سلامی، ه.، خیرخواه‌زرکش، م.م.، ناصری، ح.ر. و داوودی، م.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، شماره ۷۹، ص ۱۰۱-۹۳.

سلیمانی، س.، نیکودل، م.ر.، ارومیه‌ای، ع. و بهرامی، ح. ۱۳۸۷. مکان‌یابی گزینه‌های مناسب جهت احداث سدهای زیرزمینی با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: دشت مشهد) ، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی عمران.

سلیمانی، س. ۱۳۸۶. بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی دشت مشهد برای پهنه‌بندی پتانسیل احداث سدهای زیرزمینی با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، مهندسی دانشگاه شهید بهشتی.

صفی‌نژاد، ج. و دادرس، ب. ۱۳۷۹. سد زیرزمینی قنات وزوان- میمه اصفهان. موسسه گنجینه ملی آب ایران، ص ۲۴۰.

طباطبایی‌یزدی، ج. ۱۳۸۵. ارزیابی بهره‌برداری از جریانات زیرسطحی بوسیله احداث سد زیرزمینی در یک آبراهه. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ص ۲۳۵.

عزیزخانی، م. ج.، ناصری، ح. ر.، افراسیابیان، ا. و شهرکی، م. ۱۳۹۰. تلفیق سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی در مکان‌یابی محل‌های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز زاهدان). اولین کنفرانس بین‌المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برق‌آبی، تهران، مرکز همایش‌های بین‌المللی صدا و سیما. باقریان کلات، ع.، عباسی، ع. ا.، لشکری‌پور، غ. ر و غفوری، م. ۱۳۹۲. بررسی تاثیر ساختگاه سدزیرزمینی بر کیفیت آب زیرسطحی در سدزیرزمینی سنگانه کلات. هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران. دانشگاه فردوسی مشهد.

عشقی‌زاده، مسعود.، نورا، نادر.، سپهری، ع. و حیدری، ح. ۱۳۸۸. روش تعیین مناطق مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی کوچک به منظور تغذیه و کنترل آبدهی قنوات هوابین (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کلات شهرستان گناباد)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته آبخیزداری، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

قارزی، ر.، نجفی‌نژاد، ع.، نورا، ن. و دهقانی، ا. ا. ۱۳۹۱. مسائل اقتصادی-اجتماعی سد زیرزمینی در آبخیز بفره سبزوار. هشتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، خرم آباد، دانشگاه لرستان.

کردی، ر.، فرامرزی، م.، کریمی، ح.، گرایی، پ.، یارمحمدی، ا. ۱۳۹۵. مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک غرب ایران. مطالعه موردی مهران استان ایلام. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. سال هفتم. شماره ۱۳. ص ۱۷۲-.۱۶۴

گلمایی، ح. و آشتیانی‌مقدم، ق. ۱۳۸۴. سدهای زیرزمینی برای ذخیره آب در مقیاس کوچک. انتشارات دانشگاه مازندران، ص ۹۷.

مرآتی، ا.، غفوری، م.، لشکری‌پور، غ. و قهرمانی، ن. ۱۳۸۹. بررسی سد زیرزمینی ابیورد. چهارمین همایش زمین‌شناسی. دانشگاه پیام نور مشهد، ص ۱۵۹-۱۵۰.

مطالعات تفصیلی-اجرایی آبخیزداری حوزه آبخیز گرمه ۲ (کجبیدبالاقلی). ۱۳۸۸. اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان‌شمالی. معاونت آبخیزداری، مهندسین مشاور طراحان البرز سبز.

هادیان، ف.، شعاعی، ض. ا.، خیرخواه‌زرکش، م. م. و مجیدی، ع. ۱۳۹۰. معیارهای مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در ساختاره زمین‌شناسی. مناطق جنوب اردستان و شمال کاشان در استان اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ص ۱۲۱.

Archwichai, L., K. Mantapan and K. Srisuk. 2005. Approachability of Subsurface Dams in the Northearst Thailand. International Conference on Geology, Geotechnology and Mineral Resource of Indochina (GEOINDO). Thailand, 49-155.

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. Journal of Physics and Chemistry of the Earth, 33: 74-85.

Foster, S and A. Tuinhof. 2004. Subsurface Dams to Augment Groundwater Storage in Basement Terrain for Human Subsistence-Brazilian and Kenyan Experience. The World Bank, Groundwater Management Advisory Team, no.5. 8 pp.

Gharzi, R., A.Najafi Nezhad, N. Noora, A.A. Dehghani and E. Filehkesh. 2013."Economic-Social Issues of Underground Dam in Bafreh (Sabzehvar) Watershed."8 th Iranian National Conference on Sciences and Watershed Management Engineering, Lorestan University, Khoram Abad.

Chezgi, J., H.R. Pourghasemi, S.A. Naghibi, H.R. Moradi and M. Kheirkhah Zarkesh. 2015. Assessment of a Spatial Multi-Criteria Evaluation to Site selection Underground Dams in the Alborz Province, Iran Geocarto International 31:628-646.

Karimi Mobarakabadi, M. 2012. Model for Determination the Optimum Location of Subsurface Dam Using Analytical Hierarchy Process AHP: A case study in the khomein city Markazi Province, Advances in Environmental Biology, 6(3): 1292-1297.

Kheirkhah Zarkesh, M. 2005. DSS for Floodwater Site Selection in Iran. PhD. Thesis, University of Wageningen. 273 pp.

Nilsson, A., 1988. Groundwater Dams for Small-Scale Water Supply. Intermediate Technoligy Publications, London. 78 p.

Saaty, T.L. 1980. The Analytic Hierarchy Process, McGraw Hill.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 13, Jan.-Jul. 2019, p. 338-353

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۳، خرداد - تیر ۱۳۹۸، ص. ۳۵۳-۳۳۸

Prioritizing Suitable Location of the Underground Dam Construction Using AHP in Kajbid-Balaqly Watershed Garmeh city

E. Arabkhazaeli[1*], A. Heshmatpour[2], M. Seyedian[3], J. Chazgi[4]
Recived: Sep.20, 2018 Accepted: Oct.27, 2018

Abstract

In this research, by integrating the GIS and the decision support system, the most suitable areas for underground dam construction were identified. This support system in three stages was used for Kajbid-Balaqly watershed in Garm, North Khorasan Province. In the first stage, the areas with potential for underground dam construction were identified by removing inappropriate criteria including class 1 and 2 waterways, slopes above 6%, geology including (Qt1), land use including residential areas, faults, qanats, wells and fountains. In the second step, 10 axes were chosen based on the highest level of the reservoir. In the third step, the process of AHP was used to evaluate and prioritize these 10 axes. For this purpose, four main criteria, namely water status including quantity with weight of 0.8 and quality with weight of 0.2, reservoir characteristics including permeability with weight of 0.53 and slope with weight of 0.24, depth with weight of 0.12 and surface with weight of 0.10, axial characteristics including depth with weight of 0.75 and length with weight of 0.17 and support with weight of 0.07, socio-economic factors including water requirements with weight of 0.8 and access with weight of 0.2 were used. The results showed that the best axis for underground dam construction is alluvial deposits river bed of the basin's output.

Keywords: Analytical Hierarchy Process (AHP), Garmeh, Geographical Information System (GIS), Underground Dam, Underground Flow

1- Graduated in Master Watershed Management, University of Gonbad-e Qabus / Expert Department of Natural Resources Forest and Rangeland and Watershed Savadkuh
2- Department of Watershed Management, Faculty of Agriculture Sciences and Natural Resources, University of Gonbad-e Qabus- Deputy of Education of Gonbad Kavoos University
3- Department of Watershed Management, Faculty of Agriculture Sciences and Natural Resources, University of Gonbad-e Qabus
4- Assistant Professor Department of the environment, University of Birjand
(*- Corresponding Author Email Address: Arabkhazaeli.ez@gmail.com)