



دوره‌ی ۳۳، شماره‌ی ۴، شماره‌ی پیاپی ۱۲۹، زمستان ۱۳۹۹، صفحه‌های ۱۵۸-۱۴۲
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2020.128410.1281

پژوهش‌های آبخیزداری

ارزیابی استعداد احداث سد زیرزمینی با بهره‌وری از روش سلسله‌مراتبی فازی در دشت کوهدشت

سیامک بهاروند

(نویسنده‌ی مسئول)* استادیار، گروه زمین‌شناسی، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران

وهاب امیری‌امری

استادیار، پردیس علوم پایه، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

سلمان سوری

کارشناس ارشد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: sbbaharvand53@gmail.com

تاریخ دریافت: ۲۰ آبان ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: ۳۰ شهریور ۱۳۹۹

چکیده

اهمیت مدیریت آبخوان‌ها برای تأمین نیاز آبی ساکنان منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک بسیار است. هدف از پژوهش انجام شده ارزیابی کیفی منبع آب زیرزمینی و یافتن مکان‌های مناسب برای ساخت سد زیرزمینی در دشت کوهدشت (غرب استان لرستان) است. در این پژوهش از خصوصیت‌های شیمیایی آب زیرزمینی، با معیارهای شولر و ویلکوکس برای ارزیابی کیفیت منبع آب آشامیدنی و کشاورزی بهره‌گرفته شد. نتیجه‌ها نشان‌دهنده‌ی مطلوبیت کیفیت آب زیرزمینی برای مصرف‌های مختلف است. برای شناسایی مکان‌های مناسب ساخت سد زیرزمینی از عامل‌هایی چون شیب، سنگ‌شناسی، کاربری زمین، تراکم شبکه‌ی آبراه، بارش، دما، فاصله از روستا، چاه، گسل و چشمه بهره‌برده شد. پس از تهیه‌ی لایه‌های پژوهشی، نقشه‌ی هر عامل بترتیب با منطق فازی و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، معیارسازی و وزن‌دهی شد. ارزیابی عامل‌های مختلف اثرگذار نشان می‌دهد که سه عامل آبراه، سنگ‌شناسی و شیب بترتیب با وزن‌های ۰/۲۴۳، ۰/۲۰۶ و ۰/۱۵۳ بیش‌ترین تأثیر را در انتخاب محل بهینه دارد. با هم‌پوشانی نقشه‌های وزنی هر لایه در نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس نقشه‌ی منطقه‌های مناسب تهیه شد. بترتیب ۲۰/۳۵، ۱۵/۹۰، ۱۴/۹۲، ۲۶/۲۸ و ۲۲/۵۴٪ از مساحت منطقه در پهنه‌های خیلی نامناسب، نامناسب، متوسط، مناسب و خیلی مناسب برای ساخت سد زیرزمینی است. پس از پیمایش‌های پُرشمار صحرایی، ۶ مکان در پهنه‌ی خیلی مناسب انتخاب شد، که در مسیر آبراه‌های با رتبه‌ی آب‌نگاری ۴ و زیادتر است.

واژگان کلیدی: سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، سد زیرزمینی، سلسله‌مراتبی فازی، کوهدشت، کیفیت آب

مقدمه

افزایش ذخیره‌ی آب زیرزمینی با ساخت سدهای زیرزمینی ممکن است راه‌حلی مفید به ویژه در منطقه‌های با بارندگی کم و جریان‌های رودخانه‌های فصلی است. در این منطقه‌ها خشکی تبخیر در ارتباط با جریان‌های زیرسطحی به مراتب کم‌تر از اندازه‌ی تبخیر برای آب‌های سطحی است (جمالی و همکاران ۲۰۱۴). سد زیرزمینی سازه‌ی ساخته‌شده در زیر سطح زمین است که جریان سیال در لایه‌های زمین را مسدود کرده‌است و با ایجاد یک مانع در مقابل جریان آب زیرزمینی سبب ذخیره‌سازی آب در آب‌زفت بالادست سد می‌شود. سد زیرزمینی به مانعی گفته می‌شود که در مسیر جریان آب زیرزمینی در یک لایه‌ی آبدار طبیعی یا مصنوعی باشد و وضعیت جریان را برای نیل به هدف ساخت آن تغییر دهد (اوندر و ایلماز ۲۰۰۵؛ عیسوی و همکاران ۲۰۱۲). این سدها به دلیل تنوع، سازوکار و عمل کرد، در حفظ و بهره‌برداری بهینه از منبع آب زیرزمینی نقش زیادی می‌تواند ایفا نماید (خیرخواه‌زرکش و همکاران ۲۰۰۹). ساخت سدهای زیرزمینی در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک مزیت‌های زیادی را به همراه دارد. برای مثال سد زیرزمینی کارایی بیشتری از سدهای سطحی دارد به طوری که آب در میان فضای خالی خاک تشکیل دهنده‌ی آبخوان ذخیره‌شده است و به این طریق اندازه‌ی تبخیر به حداقل خود می‌رسد. از طرف دیگر سدهای زیرزمینی نسبت به سدهای ترازوی هزینه‌ی ساخت کم‌تر و خطر آلودگی کم‌تری دارد. می‌توان به مهم‌ترین مزیت سدهای زیرزمینی یعنی اشغال کم‌تر سطح زمین و کم‌ترین اندازه‌ی اثر محیطی اشاره کرد. از دیگر مزیت این سدها کاهش آلودگی با موجودات زنده‌ی زیرسطحی، تصفیه‌ی جریان آب در زمان عبور از لایه‌های زیرسطحی، و ایجادنشدن منطقه‌های مناسب برای رشد حشرات (در مقایسه با سدهای سطحی) است (زاین ۲۰۱۱). در سال‌های اخیر روش‌های مختلفی در زمینه‌ی مکان‌یابی محل ساخت سد زیرزمینی معرفی شده است که سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و مدل فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی می‌تواند بسیار مؤثر باشد. پژوهش فوستر و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد که عامل‌های حجم مخزن، عمق سنگ بستر، نفوذپذیری خاک مخزن و کیفیت خاک مخزن نقش مؤثری در موفقیت سدهای زیرزمینی دارد. در پژوهش فورزیری و همکاران (۲۰۰۸) از میان ۱۷ محور پیشنهادی برای ساخت سد، با توجه به مفهوم آب‌شناسی، آب‌زمین‌شناسی، زمین‌شناسی و اقلیمی سه محور مکان مناسب تشخیص داده شده است. آپایدین (۲۰۰۹) نشان داد که تراز آب‌های زیرزمینی در مقایسه با آب‌های زیرزمینی در فصل‌های مشابه قبل از ساخت سد در بخش‌های نیمه‌خشک

ترکیه حدود ۲ متر بیش‌تر بوده است. جزگی و همکاران (۲۰۱۱) ۲۷ نقطه را منطقه‌های مناسب برای ساخت سد زیرزمینی در غرب تهران معرفی کردند. کردی و همکاران (۲۰۱۶) با لایه‌های پژوهشی گسل، شیب، زمین‌شناسی، زمین‌ریخت‌شناسی، بارش، دما و کاربری زمین، ۱۴ مکان را برای ساخت سد زیرزمینی در منطقه‌ی مهران مناسب تشخیص دادند. گومز و همکاران (۲۰۱۸) عامل ساختار زمین‌شناسی را مهم‌ترین عامل در ارزیابی یک منطقه برای ساخت سد زیرزمینی نشان داده است. پژوهش خرازی و همکاران (۲۰۱۹) با روش‌های TOPSIS^۱ و EDAS^۲ نشان داد که چهار محور در منطقه از توان بیش‌تری برای ساخت سد زیرزمینی برخوردار است. الرزوق و همکاران (۲۰۱۹) دو عامل بارش و تراکم شبکه‌ی زه‌کشی را عامل‌های اصلی در ساخت سد زیرزمینی در شارجه‌ی امارات تعیین کردند. طالبی و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که آب‌راه‌های با طبقه‌ی ۳ و ۴ برای ساخت سد زیرزمینی مناسب است. فتحی و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش بخش‌هایی از آبخوان تهران-کرج نشان دادند که محدوده‌ی پژوهش شده از توان متوسط برای ساخت سد زیرزمینی برخوردار است. در این پژوهش از رایج‌ترین و مناسب‌ترین ابزارهای به کار رفته در این‌گونه پژوهش‌ها برای نتیجه‌ی بهینه بهره‌گرفته شد.

این پژوهش با هدف بررسی کیفی منبع آب زیرزمینی و مکان‌یابی محل‌های مناسب برای ساخت سد زیرزمینی در دشت کوهدشت، برای تأمین آب آشامیدنی و کشاورزی شکل گرفت. کاهش بارندگی در دهه‌های اخیر و بهره‌برداری بی‌رویه از ذخیره‌ی آب زیرزمینی در استان لرستان و کسری مخزن آب زیرزمینی در این استان سبب مشکل اقتصادی و زیست‌محیطی شده است. افت مداوم سطح آب زیرزمینی سبب شده است تا آب‌دهی چاه‌ها و چشمه‌ها در منطقه کاهش یابد و در مواردی سبب خشک شدن و از بین رفتن منبع آبی منطقه شود. با توجه به وضعیت آب‌وهوایی و منبع آب زیرزمینی در دشت کوهدشت می‌باید از همه‌ی امکان‌ها و ظرفیت‌ها برای کاربری از منبع آب بهره گرفت. یکی از بهترین روش‌ها برای کاربرد موضعی از جریان‌های زیرسطحی، ساخت سد زیرزمینی و ذخیره‌ی آب در زیر سطح زمین است.

مواد و روش‌ها

دشت کوهدشت یکی از زیر حوزه‌های رودخانه‌ی کشکان در ۸۰ کیلومتری غرب شهر خرم‌آباد است (شکل ۱) که در محدوده‌ی زاگرس میانی است و از نظر زمین‌ساختی، در منطقه‌ی چین‌خورده‌ی زاگرس واقع شده است. حوزه‌های

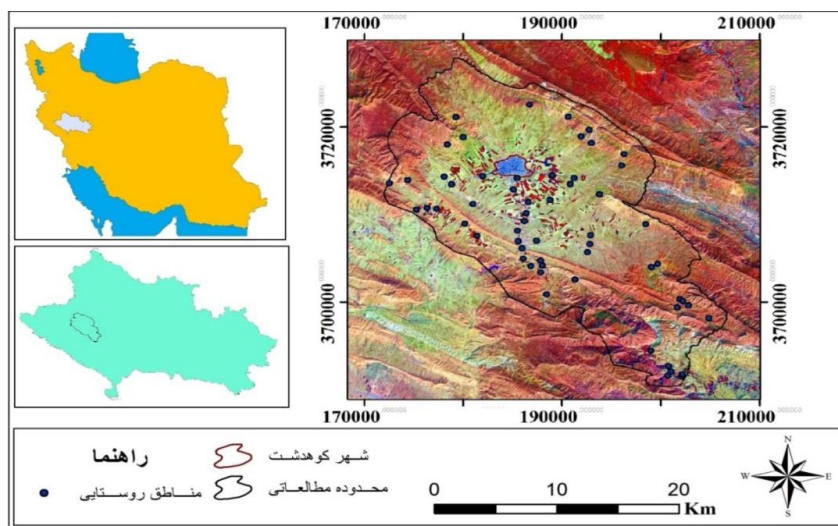
1 - Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

2 - Evaluation based on Distance from Average Solution

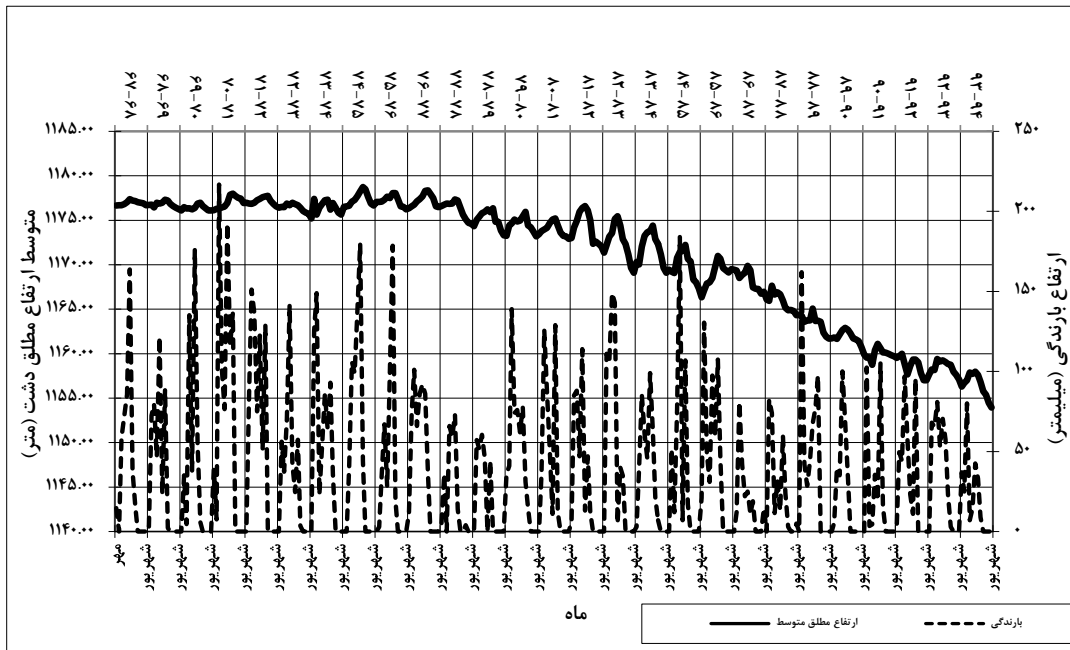
که در آن وسعت دشت ۳۵۷ کیلومتر مربع، وسعت آبخوان ۱۸۲ کیلومتر مربع و وسعت ارتفاعات ۷۷۲ کیلومتر مربع است. مساحت بخش‌های زراعی و باغی این محدوده به ترتیب در حدود ۲۱۲۲۹ و ۲۰ هکتار است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در بازه‌ی زمانی ۲۰ ساله (۱۳۹۷-۱۳۷۸) بیشینه‌ی دمای مطلق ثبت شده در منطقه‌ی ۴۴/۶ در تیر ماه و حداقل آن ۱۹/۶- در دی ماه بوده است. متوسط بیشینه‌ی رطوبت نسبی این محدوده نزدیک به ۶۹٪، متوسط حداقل ۲۸٪ و متوسط نسبی کل ۴۸٪ ثبت شده است. میانگین بارندگی سالانه ۳۶۵/۸ میلی‌متر و اندازه‌ی تبخیر سالانه نزدیک به ۱۵۸۹ میلی‌متر از تراز آزاد آب و اندازه‌ی تبخیر و تعرق واقعی ۳۵۳/۸ میلی‌متر است. این دشت در وضعیت بهره‌برداری جزو دشت‌های ممنوعه است که متوسط کسری حجم مخزن ۶/۲ میلیون مترمکعب در سال و کسری مخزن تجمعی آن در بازه‌ی بلندمدت (۲۷ ساله) در حدود ۱۶۷/۶ میلیون مترمکعب است. از طرفی دیگر، تا پایان سال آبی ۹۶-۹۷ تعداد ۵۵۱ حلقه‌ی چاه مجاز و ۴۱ حلقه‌ی چاه نامجاز شناسایی شد. در این محدوده سالانه نزدیک به ۷۵/۵ میلیون مترمکعب از ذخیره‌ی این آبخوان را برداشت می‌کنند. این شرایط موجب شده است که وضعیت ذخیره‌ی این مخزن پذیرفتنی نباشد و شاهد منفی شدن بده‌بستان آن باشیم. بررسی وضعیت آب‌نمود دشت نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر با کاهش بارندگی، اندازه‌ی آب زیرزمینی کاهش چشم‌گیری داشته است (شرکت مدیریت منابع آب ایران ۲۰۱۸) (شکل ۲).

عمده‌ی لرزه‌زمین‌ساخت این محدوده بخشی از منطقه‌ی خوزستان است. ساختار منطقه‌ی ساده و شامل مجموعه‌ی از طاقدیس‌های نزدیک به هم با تراز محوری معمولاً قائم و جهت شمال غرب - جنوب شرق است. رسوبات منطقه‌ی تناوبی از آهک و دولومیت همراه با مارن‌های آهکی بوده است که چینه‌بندی ظریفی دارد. این منطقه از تریاس بالایی، حوزه‌ی با فرونشینی مداوم همراه با رسوب‌گذاری ممتد است. با توجه به این که تمام رخنمون‌های تریاس زاگرس در طول ابرگسله‌ی زاگرس است در این منطقه چونین رخ‌نمونی مشاهده نمی‌شود. رسوبات ژوراسیک منطقه با دو رخ‌نمون ژوپیس و دولومیت در پایین و رسوبات کربناته، شیل و مارن در بالا است. از نظر سنگ‌شناسی ۲۵٪ منطقه توان تشکیل آبخوان کارستی را دارد و مجموعاً ۴۰۲/۴ کیلومتر مربع پوشش واحدهای کواترنری است. در شمال شرقی این محدوده، تراز سنگ کف (با جنس عمدتاً مارن و کنگلومرا) تا ۱۲۰۰ متر می‌رسد. در وسط دشت این تراز به ۱۰۴۰ متر، در حاشیه‌ی جنوبی و غربی به نزدیک ۱۱۰۰ متر و در قسمت شرقی به ۱۱۸۰ متر می‌رسد. شیب سنگ کف منطقه از قسمت شمال شرقی به سمت جنوب غربی است. از نظر ضخامت آب‌رفت در حاشیه‌ها ضخامت رسوبات که عمدتاً دانه‌متوسط و درشت‌اند کم است و در وسط دشت بر مقدار آن افزوده می‌شود، که از رسوبات با دانه‌بندی ریزتر تشکیل شده است (مهندسی مشاور سازند آب پارس ۲۰۰۷).

این محدوده دارای وسعتی در حدود ۱۱۲۹ کیلومتر مربع است



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت کوه‌دشت در استان لرستان و ایران.



شکل ۲- نمودار مقایسه‌ی بارندگی و تغییر تراز آب زیرزمینی دشت کوه‌دشت از سال آبی ۱۳۶۷-۱۳۶۸ تا ۱۳۹۳-۱۳۹۴.

کیفیت آب زیرزمینی از عامل‌های مهم و تأثیرگذار برای انتخاب ساخت‌گاه سد زیرزمینی به‌خصوص در سدهایی که برای تأمین آب آشامیدنی، ساخت م، شونده، است. در این پژوهش‌ها برای بررسی کیفیت آب آشامیدنی از معیار شولر بهره‌گرفته شده است (جدول ۱).

جدول ۱- معیارهای کیفیت آب آشامیدنی براساس طبقه‌بندی شولر (mg/l).

ردیف	کیفیت آب	کل مواد جامد محلول (TDS)	سختی کل آب (TH)	سدیم (Na)	کلر (Cl)	سولفات (SO ₄)
۱	خوب	۵۰۰	۲۵۰	۱۱۵	۱۷۵	۱۴۵
۲	پذیرفتنی	۱۰۰۰-۵۰۰	۵۰۰-۲۵۰	۲۳۰-۱۱۵	۳۵۰-۱۷۵	۲۸۰-۱۴۵
۳	نامناسب	۲۰۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۵۰۰	۴۶۰-۲۳۰	۷۰۰-۳۵۰	۵۸۰-۲۸۰
۴	بد	۴۰۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۱۰۰۰	۹۲۰-۴۶۰	۱۴۰۰-۷۰۰	۱۱۵۰-۵۸۰
۵	پذیرفتنی در شرایط اضطراری	۸۰۰۰-۴۰۰۰	۴۰۰۰-۲۰۰۰	۱۸۴۰-۹۲۰	۲۸۰۰-۱۴۰۰	۲۲۴۰-۱۱۵۰
۶	بی‌آشامیدنی	>۸۰۰۰	>۴۰۰۰	>۱۸۴۰	>۲۸۰۰	>۲۲۴۰

در تعیین کیفیت منبع آب زیرزمینی برای مصرف کشاورزی از نمودار ویلکوکس بهره‌گرفته شده است (ویلکوکس ۱۹۵۵). نمودار ویلکوکس براساس دو خصوصیت هدایت الکتریکی^۳ و نسبت جذبی سدیم^۴ تعریف و کیفیت آب طبق جدول ۲ طبقه‌بندی می‌شود.

جدول ۲- کیفیت منابع آب بر طبق طبقه‌بندی ویلکوکس (سالاریان و همکاران ۲۰۱۵).

کشاورزی	کیفیت آب	طبقه‌ی آب
کاملاً بی‌ضرر	آب شیرین	C ₁ S ₁
تقریباً مناسب	کمی شور	C ₁ S ₂ -C ₂ S ₂ -C ₂ S ₁
کاربرد در هنگام ضروری	شور	C ₁ S ₃ -C ₂ S ₃ -C ₃ S ₁ -C ₃ S ₂ -C ₃ S ₃
مضر برای کشاورزی	خیلی شور	C ₁ S ₄ -C ₂ S ₄ -C ₃ S ₄ -C ₄ S ₄ -C ₄ S ₃

3 - Electrical Conductivity
4 - Sodium Adsorption Ratio

گسل‌های منطقه از نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه و اعمال فیلتر جهت‌دار بر نوار هفت سنجنده‌ی ETM+ (سال ۲۰۱۶) در جهت شمال-جنوب، شمال‌شرق-جنوب‌غرب، شرق-غرب و شمال‌غرب-جنوب‌شرق بهره‌گرفته شد.

ساخت سدهای زیرزمینی نیازمند ذخیره‌ی سطحی نیست و منجر به تغییر کاربری زمین و بوم‌سامانه‌ی موجود نمی‌شود. از آن‌جا که سدهای زیرزمینی سطح زمین را اشغال نمی‌کند و محدودیتی از نظر وسعت زمین‌های زیر پوشش سد ندارد، ساخت این سدها در منطقه‌های با کاربری زمین مختلف امکان‌پذیر است (پیرمرادی و همکاران ۲۰۱۰). به‌علت بالا آمدن تراز ایست‌آبی پشت سد، در محل ساخت سدهای زیرزمینی گیاهان زیادی می‌توانند بی‌آبیاری زنده باشند. اهمیت این نکته در منطقه‌های کشاورزی به‌روشنی مشاهده می‌شود. با بالا آمدن تراز ایست‌آبی، رطوبت خاک منطقه تا حد زیادی افزایش می‌یابد که در بهبود شرایط آبیاری و کشاورزی نقش شایانی دارد. نقشه‌ی کاربری زمین منطقه با داده‌های ماهواره‌ی سنجنده‌ی ETM+ و تفسیر شاخص NDVI استخراج و با کنش میدانی تکمیل شد.

چاه‌ها و چشمه‌ها از منبع‌های آبی در منطقه است و آسیب به این منبع آبی با ارزش به هر دلیلی با چالش‌های محلی شدیدی همراه خواهد بود. هدف اصلی از ساخت سد زیرزمینی کمک به بهبود وضعیت منبع آبی موجود در منطقه و کاربری از جریان‌های زیرسطحی در منطقه است. با این فرض که ایجاد یک منبع آبی جدید نباید باعث تخریب منبع آبی قدیمی شود، برای جلوگیری از تخریب چشمه‌ها و چاه‌های منطقه یا کاهش شدید آب‌دهی آن‌ها، بافر ۱۵۰ متری در اطراف چاه‌ها و ۱۰۰ متری در اطراف چشمه‌ها در نظر گرفته شد. برای تهیه‌ی این لایه‌ها ابتدا موقعیت هر یک در سطح منطقه ثبت و سپس در نرم‌افزار ArcMap رقومی شد.

دوری و نزدیکی به محل سکونت و مسأله‌ی دسترسی نیز می‌تواند یکی از شرایط در مکان‌یابی مناسب برای ساخت سد مطرح باشد. با توجه به شبکه‌ی ارتباطی منطقه، حریم با فاصله‌ی یک کیلومتر از هر روستا ایجاد شد تا نقطه‌های مناسب نسبت به این فاصله ارزیابی شوند (عیسوی و همکاران ۲۰۱۲). ابتدا با کاربرد تصویرهای ماهواره‌ی موقعیت منطقه‌های روستایی شناسایی و سپس در محیط نرم‌افزار ArcMap رقومی گردیده است.

مکان‌های با اندازه‌ی بارندگی بیش‌تر و تبخیر کم‌تر با مساعد بودن سایر خصوصیت‌ها برای ساخت سد زیرزمینی مناسب است. ده برای تهیه‌ی لایه‌های دما و بارش از پژوهش داده‌های دما و بارش ایستگاه‌های هم‌دید و اقلیم‌شناسی

در جدول ۲ حرف C نشان‌دهنده‌ی هدایت الکتریکی و S نشان‌دهنده‌ی نسبت جذبی سدیم است. هرچه بر ترکیب C و S (CnSm) اضافه شود، کیفیت نامناسب‌تر نمونه‌ی آب را نشان می‌دهد.

مراحل کلی پژوهش شامل گردآوری پژوهش‌ها، معیارسازی با تابع عضویت فازی، وزن‌دهی با روش سلسله‌مراتبی، تهیه‌ی نقشه‌ی توان ساخت سد زیرزمینی با هم‌پوشانی لایه‌ها، و برآورد دقت روش به‌کاربرده‌شده با بازدیدهای میدانی است. برای تعیین منطقه‌های مناسب برای ساخت سد زیرزمینی از خصوصیت‌های شیب، سنگ‌شناسی، کاربری زمین، تراکم شبکه‌ی آبراه، نقشه‌ی هم‌بارش، هم‌دما، فاصله از روستا، چاه، چشمه و گسل بهره‌گرفته شده است.

شیب از مهم‌ترین معیارهای مؤثر در ساخت سد زیرزمینی است. شیب بسیار زیاد منطقه علاوه‌بر فرسایش، مانع از نفوذ آب به زمین و تغذیه‌ی سد زیرزمینی می‌شود. اگر شیب منطقه تا حدودی از شیب کف بستر پی‌روی کند، در شیب‌های زیاد حجم مخزنی که برای سد زیرزمینی ایجاد خواهد شد کم‌تر است. برای تهیه‌ی نقشه‌ی شیب منطقه نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاع^۵ با دقت ۱۰ متری در محیط نرم‌افزار ArcMap به‌کاربرده می‌شود.

معمولاً سدهای زیرزمینی در بستر آبراه‌های خشک رودها ساخت می‌شود. در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی مقدار روان‌آب یکی از خصوصیت‌های مهم است که رابطه‌ی مستقیم با طبقه‌ی آبراه‌ها دارد. هرچه طبقه‌ی آبراه‌ها بیش‌تر باشد اندازه‌ی روان‌آب بیش‌تر و برای سد زیرزمینی مناسب‌تر است. با توجه به این‌که اندازه‌ی تراکم زه‌کشی در ارتباط مستقیم با طبقه‌ی آبراه است (کردی و همکاران ۲۰۱۶)، برای تهیه‌ی نقشه‌ی تراکم آبراه، شبکه‌ی آبراه‌ها از روی نقشه‌ی پستی‌وبلندی مشخص و در محیط نرم‌افزار ArcMap رقومی شد.

یکی از عامل‌های بسیار مهم در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی وضعیت زمین‌شناسی است. نوع سازندها و تأثیر آن‌ها بر کیفیت آب زیرزمینی از عامل‌های مهمی است که باید در محل ساخت سد زیرزمینی در نظر باشد (لا و همکاران ۲۰۰۵). نقشه‌ی سنگ‌شناسی با ترکیب نوارهای ۵۳۱ تصویر سنجنده‌ی ETM+ (سال ۲۰۱۶)، پژوهش‌های میدانی و بر مبنای نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه تهیه شد.

سدهای زیرزمینی نباید در منطقه‌ی ساخت شوند که گسل‌های فعال هست، چرا که ساخت سدهای زیرزمینی روی گسل‌ها به‌دلیل احتمال فرار آب و افزایش هزینه برای جلوگیری از نشت آب مناسب نیست. برای تهیه‌ی لایه‌ی

تصویر از صفر تا یک تغییر می‌کند و نشان‌دهنده اهمیت طبقه‌ی آن است. با بهره‌گیری از تابع عضویت خطی کاهش و افزایش نقشه‌های هر یک از عامل‌های مؤثر بر مکان‌یابی سد زیرزمینی به نقشه‌های فازی تبدیل شده‌است.

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از معروف‌ترین فن‌های تصمیم‌گیری کاربردی است. فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی منعکس‌کننده رفتار طبیعی و تفکر انسانی است. این روش، مسائل پیچیده را بر اثر متقابل آن‌ها بررسی می‌کند و آن‌ها را به شکلی ساده تبدیل کرده است و به حل آن می‌پردازد. فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی در هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه‌ی رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبه‌رو است می‌تواند به‌کاربرده شود. معیارهای مطرح‌شده می‌تواند کمی و کیفی باشند. پایه‌ی این روش تصمیم‌گیری بر مقایسه‌های زوجی است.

در تحلیل سلسله‌مراتبی ابتدا برای تعیین ارجحیت عامل‌های مختلف و تبدیل آن‌ها به مقدار کمی از قضاوت‌های شفاهی (نظر کارشناسی) بر مبنای مقایسه‌های زوجی بهره‌گیری می‌شود، به طوری که تصمیم‌گیرنده ارجحیت یک عامل را نسبت به علت دیگر در نظر گرفته‌است و این قضاوت‌ها را به مقدار کمی بین یک تا سه تبدیل می‌نماید (جدول ۳). سپس نتیجه‌ی این مقایسه‌ها برای محاسبه‌ی شاخص ناسازگاری^۷ به نرم‌افزار Expert Choice وارد می‌شود. اگر شاخص محاسبه شده کم‌تر از ۰/۱ باشد نتیجه پذیرفتنی است، اگر نه باید دوباره وزن‌دهی شود.

منطقه که در ارتفاع ۱۱۹۷ متری است و دارای یک شبکه‌ی باران‌سنجی ۱۱ گانه است برای دوره‌ی ۱۶ ساله (۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶) بهره‌گرفته شد. برای تعمیم داده‌های نقطه‌ی ایستگاه‌ها به داده‌های پهنه‌ی با کاربرد روش‌های درون‌یابی جبری و مدل LPI^۶ به دلیل دقت بیشتر و خطای کم‌تر نسبت به دیگر روش‌های درون‌یابی (رضایی‌مقدم و همکاران ۲۰۱۷)، داده‌های مختص به دما و بارش درون‌یابی و به نقشه تبدیل شد.

معیارسازی لایه‌ها با کاربرد تابع عضویت فازی

در نظریه‌ی فازی اگر درجه‌ی عضویت عنصری از مجموعه صفر باشد آن عضو کاملاً از مجموعه خارج است، و اگر درجه‌ی عضویت عضو یک باشد آن عضو کاملاً در مجموعه است. اگر درجه‌ی عضویت میان صفر و یک باشد این عدد درجه‌ی عضویت تدریجی است. اندازه‌ی درجه‌ی عضویت به دانش کارشناسی افراد تعیین می‌شود. این مفهوم با کاربرد تابع عضویت نتیجه‌گرفته می‌شود که به مجموعه‌های فازی توانایی انعطاف‌پذیری برای مدل‌سازی عبارت توصیفی معمول را می‌دهد. برای ایجاد مجموعه‌های فازی از تابع فازی بهره‌گرفته می‌شود. یک تابع عضویت، تابعی است که بتواند داده‌های ما را به بازه‌ی صفر تا یک برساند. برای شکل تابع محدودیتی نیست. این تابع انواع مختلفی دارد مانند تابع خطی، گوسی و چندجمله‌ی، که ساده‌ترین آن‌ها تابع خطی است. انتخاب نوع و شکل تابع عضویت بستگی به دانش فردی نسبت به متغیر دارد. با کاربرد تابع فازی، نقشه‌های معیار تبدیل به نقشه‌هایی می‌شوند که در آن‌ها مقدار هر نقطه‌ی

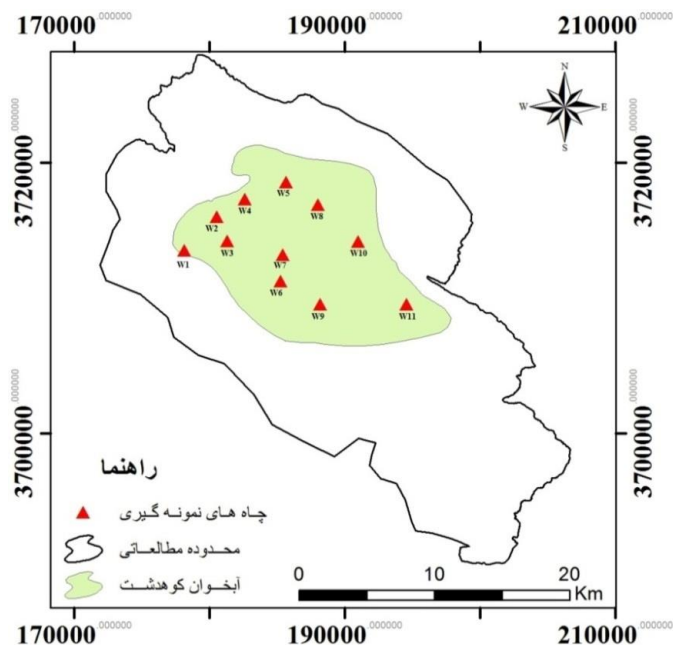
جدول ۳- طبقه‌بندی ارجحیت مقادیر وزن‌ها به قضاوت کارشناسی (ساعتی و وارگاس ۲۰۰۱).

مقدار عددی وزن‌ها	توصیف زبانی ارجحیت طبقه‌های
۹	کاملاً مهم یا کاملاً مطلوب‌تر
۷	اهمیت خیلی قوی
۵	اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مطلوب‌تر یا کمی مهم‌تر
۱	اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۰،۴، ۰،۶ و ۰،۸	اولویت بین فواصل

سطح آبخوان کوه‌دشت (شکل ۳) (جدول ۴) از نمودار نیمه لگاریتمی شولر بهره‌گرفته شد. در این نمودار آب‌ها به شش گروه خوب، پذیرفتنی، متوسط، نامناسب، کاملاً نامطلوب و نیاشامیدنی تقسیم می‌شوند (جدول ۱). بر پایه‌ی نمودار و

آب آشامیدنی باید بی‌رنگ و بو و طعم باشد و عناصر و مواد آن باید در محدوده‌ی مجاز که با سازمان‌های بهداشتی تعیین شده است، باشد (امیری و همکاران ۲۰۱۵). برای تعیین مقدار به دست آمده از خصوصیت‌های کیفی آب زیرزمینی

جدول شولر می‌توان گفت کیفیت آب‌های آبخوان کوهدشت از نظر آشامیدنی در محدوده‌ی خوب، و بعضی خصوصیت‌ها در محدوده‌ی پذیرفتنی است. یعنی از دید غلظت، کاتیون و آنیون‌های اصلی در محدوده‌ی معیار است (شکل ۴).



شکل ۳- موقعیت چاه‌های نمونه‌گیری در سطح آبخوان کوهدشت.

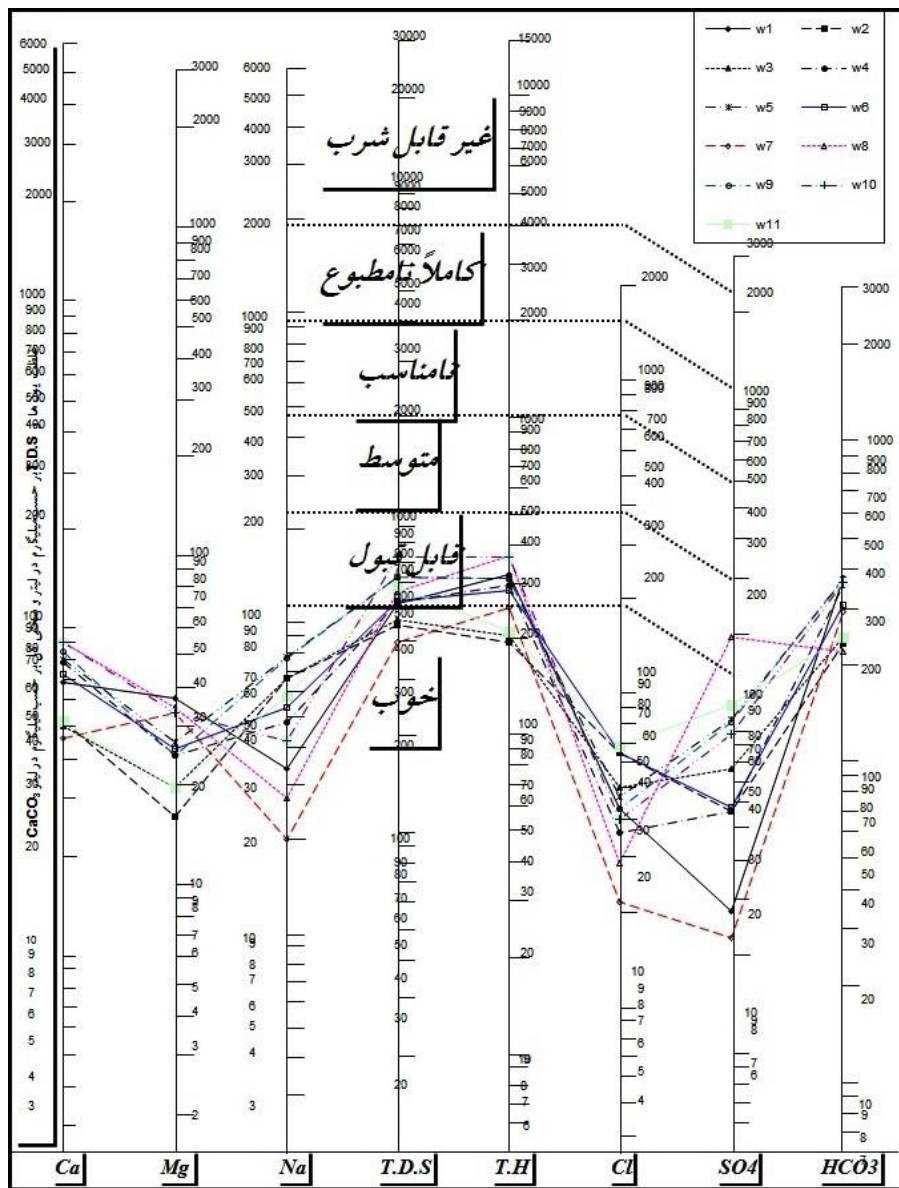
جدول ۴- مشخصه‌های آماری خصوصیت‌های آب چاه‌های نمونه‌گیری آبخوان کوهدشت.

ردیف	کل مواد جامد محلول (TDS)	سختی کل آب (TH)	کلسیم (Ca)	منیزیم (Mg)	سدیم (Na)	کلر (Cl)	سولفات (SO ₄)	بیکربنات (HCO ₃)	هدایت الکتریکی (EC)
W ⁸ 1	۵۱۵	۳۲۰	۶۸	۳۶	۳۳/۵۸	۴۲/۶	۲۷/۳۶	۳۷۲/۱	۷۹۲
W2	۴۴۱	۱۹۵	۵۲	۱۵/۶	۶۶/۰۱	۶۳/۹	۵۶/۱۶	۲۳۱/۸	۶۸۹
W3	۴۵۵	۲۰۵	۵۰	۱۹/۲	۶۶/۰۱	۴۹/۷	۷۵/۸۴	۲۴۴	۷۰۰
W4	۵۱۹	۲۹۵	۷۸	۲۴	۴۷/۱۵	۳۵/۵	۵۶/۱۶	۳۵۳/۸	۷۹۹
W5	۶۲۴	۳۱۰	۸۰	۲۶/۴	۷۷/۰۵	۴۶/۱۵	۱۰۸/۹۶	۲۶۶	۹۶۰
W6	۵۲۳	۲۸۵	۷۲	۲۵/۲	۵۲/۹	۶۳/۹	۵۷/۱۶	۳۰۵	۸۰۵
W7	۳۸۸	۲۵۰	۴۶	۳۲/۴	۱۹/۷۸	۲۱/۳	۲۲/۵۶	۲۹۲/۸	۶۰۷
W8	۵۵۷	۳۶۵	۹۰	۳۳/۶	۲۶/۹۱	۲۸/۴	۱۹۵/۸۴	۲۱۹/۶	۸۵۷
W9	۶۲۰	۳۱۰	۸۴	۲۴	۷۵/۹	۴۲/۶	۱۰۶/۰۸	۳۷۲/۱	۹۵۵
W10	۷۱۵	۳۶۰	۹۰	۳۲/۴	۴۱/۴	۳۹/۰۵	۹۷/۹۲	۳۵۹/۹	۱۱۰۰
W11	۵۸۰	۲۱۰	۵۲	۱۹/۲	۵۷/۵	۶۷/۴۵	۱۲۰	۲۴۴	۸۹۲

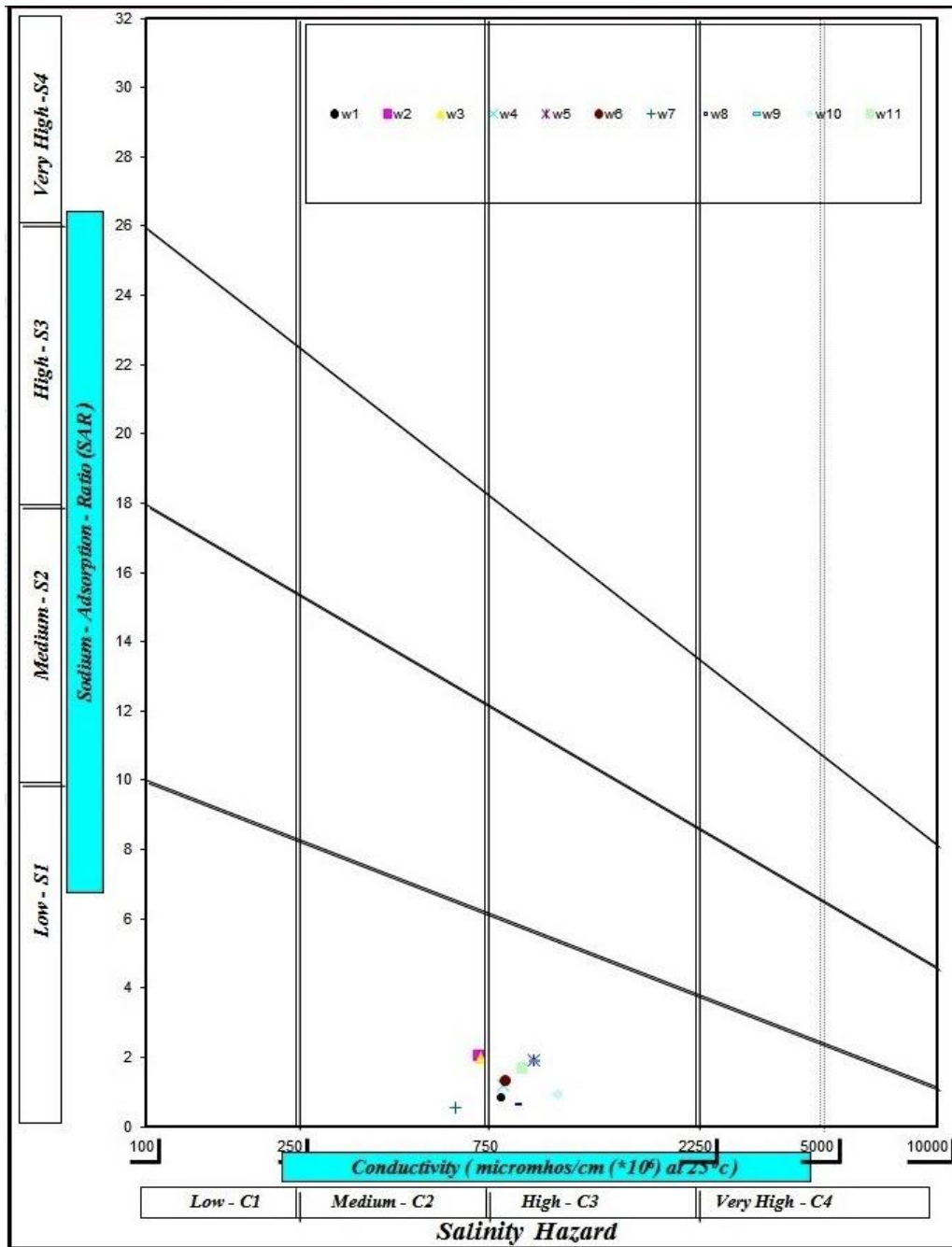
* به استثنای EC (μg/S) سایر متغیرها به (mg/L) است.

که در آن EC خطر شوری و SAR خطر قلیائیت در نظر گرفته می‌شود (ساندارای و همکاران ۲۰۰۹). با توجه به نمودار ویلکوکس منطقه‌ی کوهدشت، نمونه‌ها در طبقه‌ی C₃S₁ و C₂S₁ است (شکل ۵).

در بررسی وضعیت کیفی منبع آب زیرزمینی برای مصرف کشاورزی از نمودار ویلکوکس بهره‌گرفته شده است. این نمودار به دو خصوصیت EC و نسبت جذبی سدیم (SAR) با برنامه‌ی نوشته شده در نرم‌افزار Excel (۲۰۱۳) رسم می‌شود



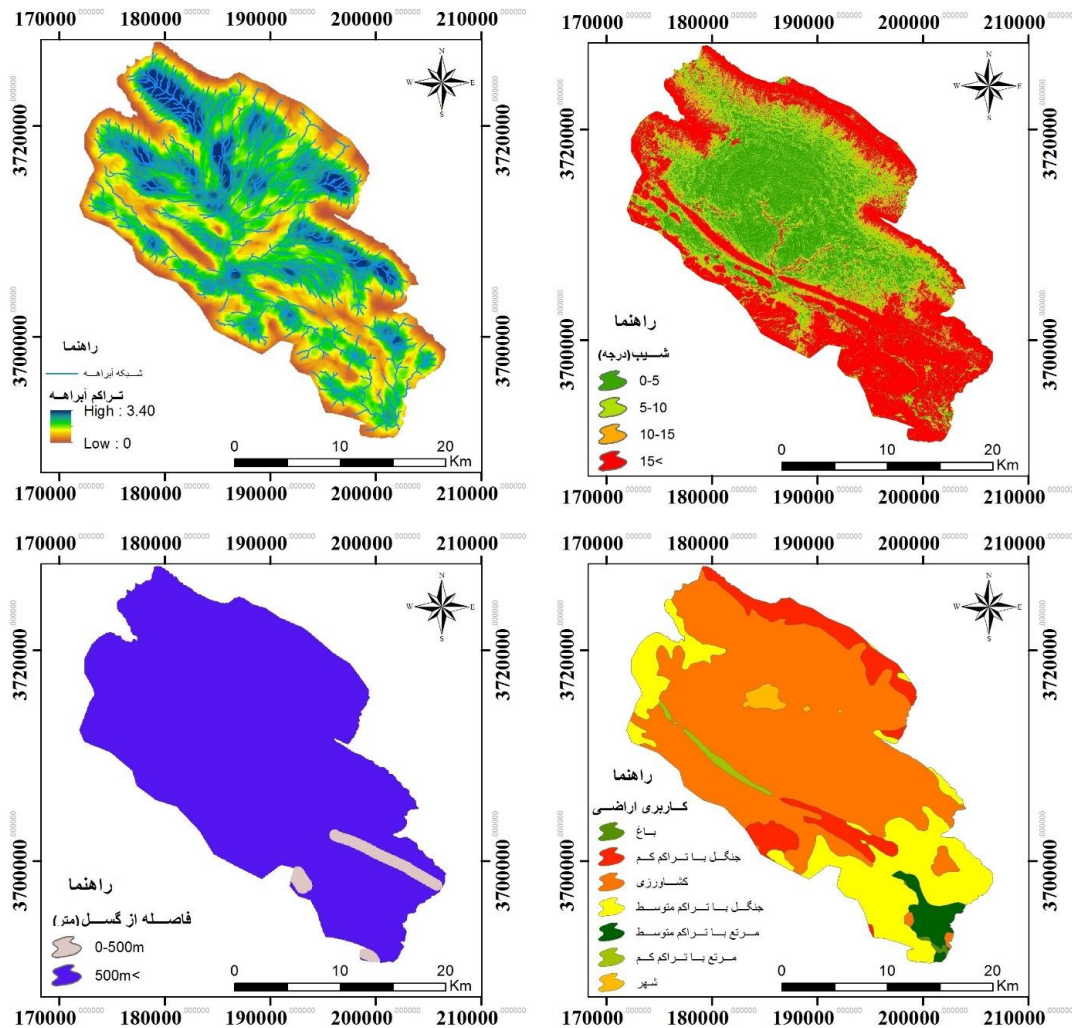
شکل ۴- نمودار شولر نمونه‌های آب چاه‌های آبخوان کوه‌دشت.



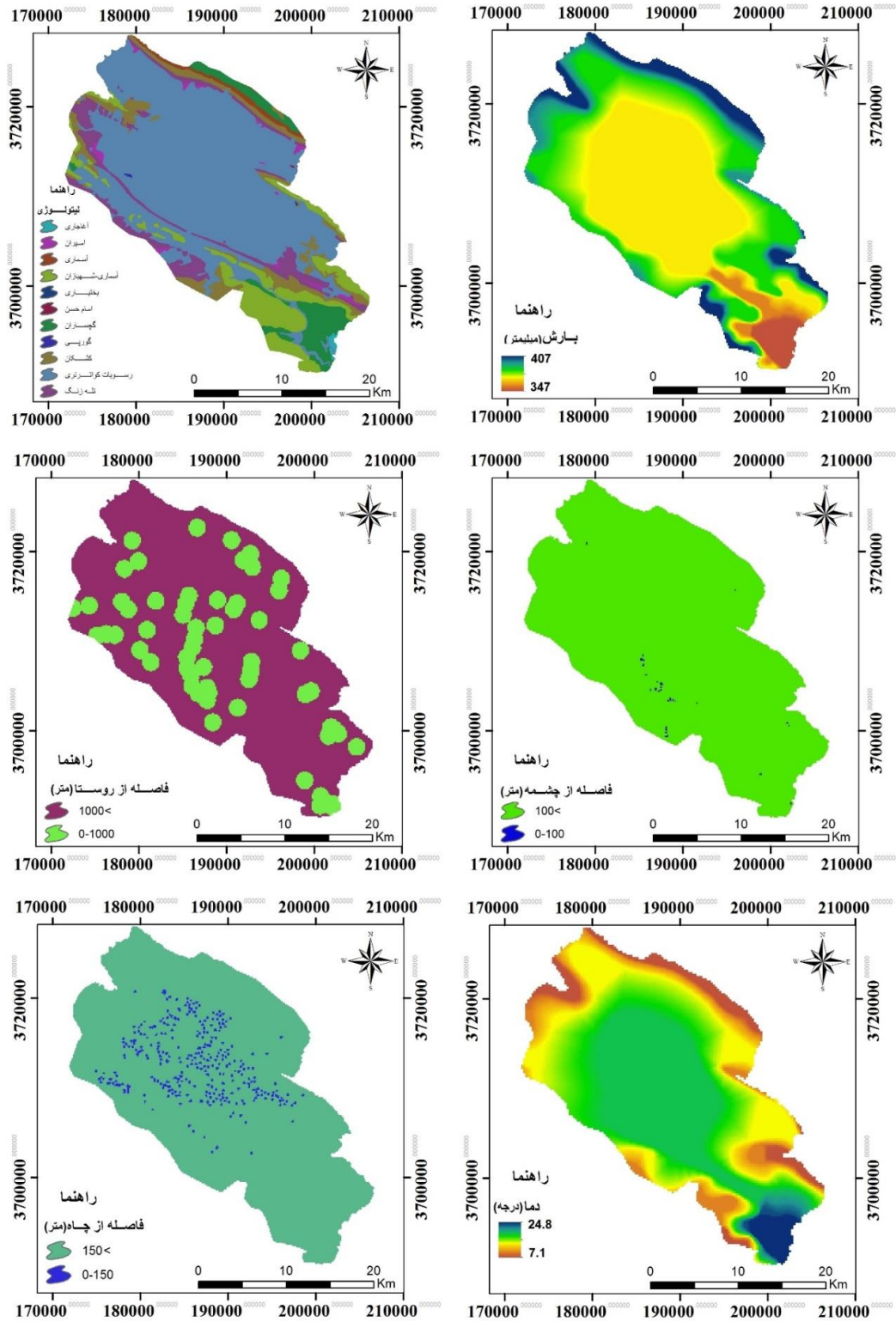
شکل ۵- نمودار ویلکوکس نمونه‌های آب چاه‌های آبخوان کوه‌دشت.

می‌دهد و مناسب‌ترین طبقه برای ساخت سد زیرزمینی است. بررسی نقشه‌ی گسل‌های منطقه نشان می‌دهد که به جز بخش‌هایی از جنوب‌شرقی منطقه که دارای چندین گسل محلی است سایر بخش‌های منطقه دارای توان ساخت سد زیرزمینی است. بررسی نقشه‌های فاصله از چاه‌ها و چشمه‌ها نشان می‌دهد که تمرکز چاه‌ها متمرکز بر بخش مرکزی دشت و چشمه‌ها متمرکز بر بخش جنوبی دشت است که بترتیب حریم ۱۵۰ و ۱۰۰ متر از چاه‌ها و چشمه‌ها در نظر گرفته شده است. بررسی نقشه‌های بارش و دما نیز نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع بارندگی بیش‌تر و دما کم‌تر شده است. بررسی نقشه‌ی فاصله از روستاها نشان می‌دهد که با توجه به مسائل اقتصادی حریم یک کیلومتری از روستاها برای ساخت سد زیرزمینی در نظر گرفته شده است که این بخش‌ها در تمام سطح منطقه پراکنده شده‌است.

پس از تهیه‌ی نقشه‌ی لایه‌های اطلاعاتی مؤثر در مکان‌یابی محل مناسب برای ساخت سد زیرزمینی (شکل ۶) به بررسی هر لایه پرداخته شد. بررسی نقشه‌ی شیب نشان می‌دهد که بیش از ۲۶٪ از مساحت منطقه دارای شیب کم‌تر از ۵٪ است که در این طبقه بیش‌ترین احتمال برای تشکیل مخزن مناسب زیرسطحی هست. بررسی نقشه‌ی سنگ‌شناسی سطحی منطقه نشان می‌دهد که بیش از ۶۲٪ از مساحت منطقه را رسوبات کواترنری زمان حاضر تشکیل می‌دهند این رسوب به دلیل نفوذپذیری بیش‌تر و تأثیر کم‌تر بر کیفیت منبع آب، مناسب‌ترین طبقه برای ساخت سد زیرزمینی است. بررسی نقشه‌ی تراکم آب‌راه‌ها نشان می‌دهد که بیش‌ترین تراکم در قسمت‌هایی در شمال‌شرق و شمال‌غرب منطقه است که به دلیل امکان تأمین حجم آب مخزن سد، مناسب‌تر از سایر قسمت‌های دشت است. نقشه‌ی کاربری زمین نشان می‌دهد که بیش از ۶۴٪ از مساحت منطقه را زمین کشاورزی تشکیل



شکل ۶- نقشه‌ی عامل‌های مؤثر در توان‌یابی سد زیرزمینی دشت کوه‌دشت.



شکل ۶ (ادامه) - نقشه‌ی عامل‌های مؤثر در توان‌یابی سد زیرزمینی دشت کوه‌دشت.

وزن‌دهی به لایه‌ها ضرورت می‌یابد. برای این کار از روش تحلیل سلسله‌مراتبی بهره‌گرفته شد. با مقایسه‌ی زوجی لایه‌های ده‌گانه، لایه‌ها دو به دو با هم مقایسه (به جدول ۳) و نتیجه‌های به‌دست آمده برای محاسبه‌ی وزن‌های هر یک از عامل‌های کاربردی به نرم‌افزار Expert Choice انتقال داده شد. محاسبه‌ی ضریب ناسازگاری نشان داد که مقایسه‌ها به درستی انجام شده است (جدول ۵).

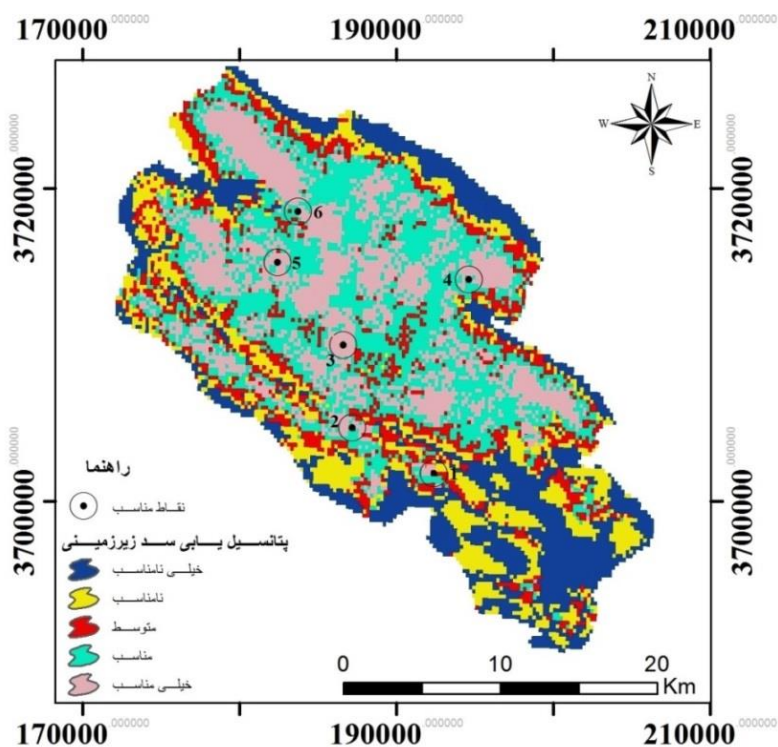
بعد از آماده‌کردن لایه‌ها معیارسازی لایه‌ها انجام شد. در معیارسازی داده‌ها از روش فازی بهره‌گرفته شد. نکته‌ی که باید در معیارسازی لایه‌ها توجه شود، انتخاب نوع تابع عضویت فازی است. با توجه به تأثیر طبقه‌های هر یک از عامل‌ها در توان‌یابی سد زیرزمینی تابع عضویت خطی به‌کاربرده شد. پس از معیارسازی داده‌ها، با توجه به این که هر یک از لایه‌ها تأثیر متفاوتی در مکان مناسب برای ساخت سد زیرزمینی دارد،

جدول ۵- مقایسه‌های زوجی عامل‌های مؤثر بر توان‌یابی مکان مناسب جهت ساخت سد زیرزمینی در دشت کوهدشت.

ضریب ناسازگاری	وزن	عامل‌ها									
		فاصله از دما	فاصله از چشمه	فاصله از روستا	کاربری زمین	فاصله از چاه	بارش	شیب	سنگ‌شناسی	آبراه	آبراه
۰/۲۴۳	۷	۶	۵	۴	۴	۳	۳	۲	۲	۱	آبراه
۰/۲۰۶	۶	۵	۵	۴	۴	۳	۳	۲	۱	سنگ‌شناسی	
۰/۱۵۳	۶	۵	۴	۴	۳	۲	۲	۱	شیب		
۰/۰۹۵	۵	۴	۳	۲	۲	۱	۱	بارش			
۰/۰۳	۰/۰۹۵	۵	۴	۳	۲	۲	۱	فاصله از چاه			
	۱/۰۶۵	۴	۳	۲	۲	۱	کاربری زمین				
	۰/۰۵۵	۴	۳	۲	۱	فاصله از روستا					
	۰/۰۳۹	۳	۲	۱	فاصله از غسل						
	۰/۰۲۸	۲	۱	فاصله از چشمه							
	۰/۰۲۰	۱	دما								

متوسط، مناسب و خیلی مناسب است. برای بررسی دقت روش بهره‌گرفته شده سطح منطقه پیمایش صحرائی شد و شش جایگاه مناسب برای ساخت سد زیرزمینی انتخاب شد (شکل ۸). بخش‌های جنوبی دشت کوهدشت به‌دلیل سازند تبخیری گچساران، شیب بیش‌تر از ۱۵ درجه، و تراکم کم‌تر آبراه از توان کم‌تری برای ساخت سد زیرزمینی برخوردار است.

برای تهیه‌ی نقشه‌ی توان‌یابی ساخت سد زیرزمینی با روش سلسله‌مراتبی فازی؛ نقشه‌های فازی هر یک از عامل‌ها در وزن‌های به‌دست آمده‌ی فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی ضرب و نقشه‌ی تمام عامل‌ها هم‌پوشانی داده شد (شکل ۷). نقشه‌ی تهیه شده نشان می‌دهد که به‌ترتیب ۲۰/۳۵٪، ۱۵/۹۰٪، ۱۴/۹۲٪، ۲۶/۲۸٪ و ۲۲/۵۴٪ از مساحت دشت کوهدشت در طبقه‌های خیلی نامناسب، نامناسب،



شکل ۷- نقشه‌ی توان‌یابی سد زیرزمینی در دشت کوه‌دشت.



شکل ۸- مکان مناسب برای ساخت سد زیرزمینی (سایت ۲ از شکل ۷).

کشاورزی و صنعت در آینده باید کنش‌های احیایی برای آن اجرا شود. از طرف دیگر به نظر می‌رسد با توجه به نرخ نسبتاً زیاد تبخیر در این منطقه، روش‌های رایج ذخیره‌سازی سطحی آب منجر به از دست رفتن حجم زیادی از آب و

بحث و نتیجه‌گیری
با توجه به بده‌بستان منفی آبخوان کوه‌دشت و لزوم حفاظت کمی و کیفی از آن و جلوگیری از ورود به مرحله‌ی بحران و تضمین تأمین آب مصرفی در بخش‌های مختلف آشامیدنی،

شیب، بارش، فاصله از چاه، کاربری زمین، فاصله از روستا، گسل، چشمه و دما رتبه‌های بعدی را در مکان‌یابی محل ساخت سد زیرزمینی دشت کوه‌دشت دارا است. نتیجه‌های این پژوهش با پژوهش‌های رضایی و همکاران (۲۰۱۳)، زاهدی (۲۰۱۳) و چزگی و همکاران (۲۰۱۶) به ترتیب برای دشت‌های رفسنجان، درگز و کرمان هرمزگان هم‌خوانی دارد. منطقه‌های مختلف دشت کوه‌دشت از نظر مناسب بودن برای محل ساخت سد زیرزمینی به پنج پهنه‌ی خیلی نامناسب، نامناسب، متوسط، مناسب و خیلی مناسب طبقه‌بندی شد. بیش از ۲۲٪ از مساحت منطقه در پهنه‌ی خیلی مناسب قرار دارد. با پیمایش‌های متعدد صحرایی و با در نظر گرفتن معیارهای ۱۰ گانه‌ی مؤثر در توان ساخت سد زیرزمینی منطقه شامل شیب، سنگ‌شناسی، کاربری زمین، تراکم شبکه‌ی آبراه، بارش، دما، فاصله از روستا، چاه، گسل و چشمه، شش مکان مناسب برای ساخت سد زیرزمینی معرفی شد. منطقه‌های مناسب بیش‌تر در سازندهای کواترنری در بستر آبراه‌هایی با رتبه‌ی ۴ و بیش‌تر در نظر گرفته شد. سازندهای کواترنری به دلیل نفوذپذیری زیاد و لایه‌های سخت و نفوذناپذیر در عمق کم، از توان زیادی برای ساخت سد زیرزمینی برخوردار است. از آنجایی که امکان تغذیه‌ی آبخوان کوه‌دشت از جریان سطحی موقتی در اطراف آن هست، جهت جریان آب زیرزمینی نمی‌تواند مانعی برای ساخت سدهای زیرزمینی در منطقه‌های تعیین شده باشد. با توجه به پراکندگی نقطه‌های شناسایی شده، به نظر می‌رسد که بررسی دقیق ساختمانی زمین برای تعیین ساختار زیرسطحی این محدوده‌ها و تحلیل رفتار آب‌زمین‌شناسی منطقه با دسته‌ی داده‌های جامع می‌تواند در معرفی بهتر یک یا چند جایگاه مفید باشد. با بررسی پژوهش‌های پیمایش صحرایی و با قطع کردن سایت‌های مناسب برای ساخت سد زیرزمینی روی تک‌تک نقشه‌های عامل‌ها، نتیجه‌های به دست آمده نشان داد که دقت روش سلسله‌مراتبی فازی زیاد است.

شوری آن می‌شود. برنامه‌ریزی برای به‌کارگیری روش‌های بهینه‌ی ذخیره‌سازی هم‌چون ساخت سد زیرزمینی می‌تواند با کاهش دادن اثر نامطلوب تبخیر در حفظ و نگهداری منبع آبی محدود در این دشت سودمند باشد. در این پژوهش ابتدا ارزیابی کیفی منبع آب منطقه با نمودارهای شولر و ویلکوکس انجام شد. نمودار شولر روشی برای سنجش کیفیت است که پایه‌ی آن خصوصیت‌های اصلی آب است. جز برخی خصوصیت‌ها TH، TDS و HCO_3 که در محدوده‌ی پذیرفتنی برای آشامیدنی است، سایر خصوصیت‌ها در محدوده‌ی خوب است، و همه‌ی آب‌های آبخوان کوه‌دشت از کیفیت خوبی برای آب آشامیدنی برخوردار است.

نمودار ویلکوکس به دو خصوصیت خطر قلیاییت و هدایت الکتریکی یا خطر شوری تعریف شده است. خطر قلیاییت، غلظت سدیمی است که با خاک واکنش نشان می‌دهد و باعث کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود (راوی کومار و ساماشکر ۲۰۱۱). هدایت الکتریکی خصوصیتی مناسب برای ارزیابی خطر شوری آب بر گیاهان است. در این تقسیم‌بندی اندازه‌ی هدایت الکتریکی رابطه‌ی مستقیم با مجموع املاح محلول در آب دارد، به طوری که هر چه اندازه‌ی این املاح بیش‌تر باشد اندازه‌ی EC نیز بیش‌تر است. بررسی نتیجه‌های به دست آمده از نمودار ویلکوکس نشان می‌دهد که نمونه‌های اندازه‌گیری شده‌ی قلیاییت در محدوده‌ی با قلیاییت کم و از شوری در محدوده‌ی شوری کم تا متوسط است و برای کاربرد در صنعت کشاورزی در محدوده‌ی تقریباً مناسبی است.

برای مکان‌یابی مناسب‌ترین محل برای ساخت سد زیرزمینی در دشت کوه‌دشت ۱۰ عامل بررسی شد. برای اولویت‌بندی عامل‌های کاربردی از روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی بهره‌گرفته شد. مهم‌ترین معیار در مکان‌گزینی سد زیرزمینی تراکم شبکه‌ی آبراه یا به عبارت دیگر کمیت آب در نظر گرفته شده است، و به ترتیب اولویت عامل‌ها سنگ‌شناسی،

- Al-Ruzouq R, Shanableh A, Yilmaz AG, Idris A, Mukherjee S, Khalil MA, Gibril MB. 2019. Dam site suitability mapping and analysis using an integrated GIS and Machine Learning approach. *Water*. 11: 1880–1897.
- Amiri V, Sohrabi N, Altafi Dadgar M. 2015. Evaluation of groundwater chemistry and its suitability for drinking and agricultural uses in the Lenjanat Plain, Central Iran. *Environmental Earth Sciences*. 74(7): 6163–6176.
- Apaydin A. 2009. Malibogazi groundwater dam: An alternative model for semi-arid regions of Turkey to store and save groundwater. *Environmental Earth Sciences*. 59: 339–345.
- Chezgi J, Maleki Nezhad H, Ekhtesasi MR, Nakhai M. 2016. Prioritization suitable sites for underground dams construction using decision-making models in arid and semi-arid. *Arid Biome Scientific and Research Journal*. 6(2): 83–95. (In Persian).
- Chezgi J, Murdi HR, Kheirkhah Zarkesh MM. 2011. Selection of suitable sites for underground dams using a multi criteria decision making with an emphasis to water resources (Case study: The West Tehran Province). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*. 4(13): 65–68. (In Persian).
- Esavi V, Karami J, Alimohammadi A, Niknezhad SA. 2012. Comparison the AHP and FUZZY-AHP decision making methods in underground dam site selection in Taleghan Basin. *Geosciences*. 22(85): 27–34. (In Persian).
- Fathi AM, Lee T, Mohebzadeh H. 2019. Allocating underground dam sites using remote sensing and GIS case study on the southwestern plain of Tehran Province, Iran. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 47: 989–1002.
- Foster S, Azevedo G, Baltar A. 2002. Subsurface dams to augment round water storage in basement terrain for human subsistence: Brazilian experience. *Universidad Federal*. 82: 49–56.
- Forzieri G, Gardenti M, Caparrini F, Castelli F. 2008. A methodology for the pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: A case study in the region of Kidal, Mali. *Journal of Physics and Chemistry of the Earth*. 33(1–2): 74–85.
- Sazand Ab Pars consulting engineering company. 2007. Geo electrical assessment in Kouhdasht Plain. (In Persian).
- Gomes JL, Vieira FP, Hamza VM. 2018. Use of electrical resistivity tomography in selection of sites for underground dams in a semiarid region in southeastern Brazil. *Groundwater for Sustainable Development*. 7: 232–238.
- Jamali IA, Mortberg U, Olofsson B, Shafique M. 2014. A spatial multi-criteria analysis approach for locating suitable sites for construction of subsurface dams in Northern Pakistan. *Water Resources Management*. 28(14): 5157–5174.
- Kheirkhah Zarkesh MM, Naseri HR, Davodi MH. 2009. Using analytical hierarchy process for ranking suitable location of groundwater dams' construction. Case study: Northern slopes of Karkas Mountains in Natanz. *Pajouhesh & Sazandegi*. 21(2): 93–101. (In Persian).
- Kordi R, Faramarzi M, Karimi H, Garaei P, Yarmohammadi E. 2016. Mapping underground dam in arid and semi-arid area in western Iran (Case study: Mehran, Ilam Province). *Journal of Watershed Management Research*. 7(13): 164–172. (In Persian).
- Kharazi P, Yazdani MR, Khazealpour P. 2019. Suitable identification of underground dam locations, using decision-making methods in a semi-arid region of Iranian Semnan Plain. *Groundwater for Sustainable Development*. 9: 100240, doi: 10.1016/j.gsd.2019.100240.
- Laa A, Kampanart M, Kriengsak S. 2005. Approachability of subsurface dams in Northeast Thailand. *International Conference on Geology*,

- Geotechnology and Mineral Resources of Indochina. Khon Kaen. Thailand. 1: 149–155.
- Onder H, Yilmaz M. 2005. Underground dams. *Journal of European Water*. 11–12: 35–45.
- Iran water resources management company. 2018. Operational program for reclamation of Kouhdasht Plain. (In Persian).
- Pirmoradi R, Nakhaie M, Asadian F. 2010. Site selection for underground dams' construction using GIS techniques case study (Malayer Plain in the Hamedan Province). *Journal of Physical Geography*. 3(8): 51–66. (In Persian).
- Ravikumar P. Sumashker Rk. 2011. Geochemistry of groundwater, Markandeya River Basin Belgaum district, Karna Taka State, India. *Chinese journal of Geochemistry*. 30: 051–074.
- RAIN (Rainwater Harvesting Implementation Network). 2011. A practical guide to sand dam implementation: Water supply through local structures as an adaptation to climate change. Amsterdam, Netherlands: RAIN.
- Rezaei P, Rezaei K, Nazari-Shirkouhi S, JamalizadehTajabadi MR. 2013. Application of fuzzy multi-criteria decision making analysis for evaluating and selecting the best location for construction of underground dam. *Acta Polytech Hung Arica*. 10(7): 187–205.
- Rezaei Moghaddam MH, Rahimpour T, Nakhoshtinrouhi M. 2017. Potential detection of the groundwater resources using analytic network process in geographic information system (Case study: basin leading to Tabriz Plain). *Eco Hydrology*. 3(3): 379–389. (In Persian).
- Saaty TL, Vargas LG. 2001. Models, methods, concepts, and applications of the Analytical Hierarchy process. 1st ed. Kluwer Academic. Boston. 333 p.
- Salarian M, Najafi M, Hosseini SV, Heydari M. 2015. Classification of Zayandehrud River Basin water quality regarding agriculture, drinking, and industrial usage. *American Research Journal of Civil and Structural Engineering*. 1(1):1–9.
- Sundaray Sk, Nayak BB, Bhatta D. 2009. Environmental studies on river water quality with reference to suitability for agricultural purposes: Mahanadi river estuarine system India – A case study. *Environmental Monitoring and Assessment*. 155: 227–243.
- Talebi A, Zahedi E, Hassan M, Lesani MT. 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: 1369–1378.
- Wilcox LV. 1955. Classification and use of irrigation waters. U.S. Department of Agriculture. Circular 969. Washington DC.
- Zahedi A. 2013. Determine areas suitable for underground dam construction using simulated water balance model (SWAT) and lattice analysis process (ANP) Case STUDY: Watershed Dargan is shown. MA thesis, University of Yazd, Faculty of Natural Resources and Environment desert, Watershed Field. 167 p. (In Persian).



Watershed Management Research

VOL. 33, No. 4, Ser. No: 129, Winter 2021, pp. 142-158
DOI: 10.22092/wmej.2020.128410.1281

An Assessment of the Potential of Underground Dam Construction Using the AHP Fuzzy Methods in the Kouhdasht Plain

Siamak Baharvand

(Corresponding Author)* Assistant Professor, Department of Geology, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran

Vahab Amiri Amraei

Assistant Professor, Faculty of Science, Department of Geology, Yazd University, Yazd, Iran

Salman Soori

M.Sc., Young Researchers and Elite Club, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran

Corresponding Author Email: sbbaharvand53@gmail.com

Abstract

Aquifers management is of utmost importance used for supplying the water use in different sectors in the arid and semiarid regions. This research aims to evaluate the quality of groundwater resources and to find suitable locations for the construction of underground dams in the Kouhdasht area (west of the Lorestan Province). To evaluate the water quality for drinking and agricultural purposes, the chemical parameters of groundwater resources were placed in the Schaller and Wilcox diagrams. The results indicated that groundwater quality is desirable for various uses. To identify suitable locations for the construction of underground dams, factors namely: slope, lithology, land use, drainage network density, precipitation, temperature, distances from the village, well, fault, and springs were used. After providing the various data layers, the map of each factor is standardized and weighed using the fuzzy logic and the hierarchical analysis process, respectively. Evaluation of various factors influencing the determination of suitable areas for construction of underground dam revealed that three factors namely drainage network, lithology, and topographic slope with a weight of 0.243, 0.206, and 0.153, respectively, had the greatest impact on the selection of optimal locations. By overlaying the weighted maps provided for each layer in the Arc GIS 10, a map showing the suitable sites for the construction of underground dams was produced. Based on the results, 20.35, 15.90, 14.92, 26.28, and 22.54 percentage of the area were evaluated as highly inappropriate, inappropriate, moderately, appropriate, and very appropriate for the construction of underground dams, respectively. Performing detailed field surveys in the very appropriate areas, six sites were selected for the construction of underground dams. These were located on the path of the fourth-order and greater streams.

■ **Keywords:** AHP Fuzzy, GIS, Kouhdasht, underground dam, water quality ■