



## تعیین مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی برای مدیریت منابع آب در مناطق خشک و نیمه خشک

جواد چزگی<sup>۱\*</sup>، عزت الله عرب‌خزائلی<sup>۲</sup>، علی حشمت‌پور<sup>۳</sup>

۱. استادیار، گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲. دانش آموخته، گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.
۳. استادیار، گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

\* نویسنده مسئول: [chezgi@birjand.ac.ir](mailto:chezgi@birjand.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۳۰

### چکیده

مکان‌یابی اولین و مهم‌ترین مرحله در اجرای طرح‌های منابع طبیعی است. مکان‌یابی از نظر هیدرولوژیک و اقتصادی-اجتماعی دارای اهمیت است و می‌تواند در کاهش هزینه و زمان برای تعیین محل‌های مناسب برای ساخت سد زیرزمینی تأثیر زیادی داشته باشد. سد زیرزمینی از سازه‌هایی است که مخزن آن در زیرزمین است و استحصال آب از آن به شرایط توپوگرافی و زمین‌شناسی منطقه بستگی دارد. در پژوهش حاضر برای مکان‌یابی سد زیرزمینی در حوزه آبخیز کجید-بالاقلی شهرستان گرمه استان خراسان شمالی از مدل تصمیم‌گیری ARAS و سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. ابتدا، محل‌های مناسب با استفاده از روش حذفی و براساس معیارهای رتبه آبراهه، شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، گسل، قنات و چشمه تعیین شد. در ادامه برای اولویت‌بندی معیارهای کمیت آب، کیفیت آب، شیب مخزن، نفوذپذیری مخزن، عمق مخزن، سطح مخزن، ارتفاع سازه، طول سازه، تکیه‌گاه، نیاز آبی و دسترسی به سازه از روش تحلیل سلسله مراتبی کمک گرفته شد. در پایان از روش تصمیم‌گیری ARAS برای اولویت‌بندی مکان‌های مناسب استفاده شد. معیار کمیت آب با اهمیت نسبی ۰/۲۳ بیشترین و معیار تکیه‌گاه سد زیرزمینی با اهمیت نسبی ۰/۰۲ کم‌ترین امتیاز را از دیدگاه کارشناسان به‌دست آوردند. محل‌های مناسب ساخت سد زیرزمینی تعیین شده در روش حذفی برپایه معیارها اولویت‌بندی شد. نتایج نشان داد محل A با  $Si=0/36$  و  $Ki=1$  بهترین گزینه و در اولویت اول قرار گرفت.

واژگان کلیدی: سامانه اطلاعات جغرافیایی؛ تحلیل سلسله مراتبی، اولویت‌بندی، روش ARAS

## ■ مقدمه

به دلیل قرارگرفتن ایران بر روی کمربند خشک و نیمه‌خشک دنیا، ضرورت برای شناخت بهره‌برداری اصولی و مدیریت منابع آب، اجتناب ناپذیر است. توزیع زمانی و مکانی نامناسب بارش‌ها در کشور، برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و افت سطح آب زیرزمینی و تداخل آب شور و شیرین در مناطق ساحلی کشور باعث شده است که جوامع علمی به بازنگری و ارائه راه‌کارهای مناسب در خصوص مدیریت بهره‌برداری صحیح منابع آبی به‌خصوص سفره‌های آب زیرزمینی و استحصال از منابع آبی جدید تجدیدشونده در دشت‌های کشور باشند (۷). فن‌آوری سدهای زیرزمینی شامل ساخت دیواره‌های ممتد و عمود بر مسیر جریان آب در زیر زمین می‌باشد که برای ذخیره آب جریان‌های زیرسطحی در لایه‌های آبرفتی بستر رودخانه‌های فصلی استفاده می‌شود (۸ و ۲۶).

با احداث سد زیرزمینی به مقدار قابل توجهی از خروج آب زیرزمینی جلوگیری می‌شود و یک پشته مصنوعی آب زیرزمینی در زیر سطح زمین به وجود می‌آید که کمک زیادی به جبران کمبود آب و رفع مسائل ناشی از آن به‌ویژه در زمینه رفع محدودیت بهره‌برداری از آب‌های شیرین منطقه و حفاظت از سفره‌های آبدار شیرین در مقابل شوری می‌کند (۶ و ۱۶). معمولاً این نوع سازه‌ها در دنیا برای تامین آب آشامیدنی، آبیاری و تغذیه مصنوعی استفاده می‌شود، بنابراین می‌تواند راه حلی مناسب برای مقابله با کم‌آبی در روستاها و مناطق کم جمعیت باشد و هزینه بالای آبرسانی به این مناطق را کاهش دهد.

تعیین محل مناسب به دلیل قرارگیری حجم مخزن در زیرزمین و نبود داده، مکان‌یابی سد زیرزمینی پیچیدگی خاص خود را دارد (۱۳). مشکلات از آن‌جا ناشی می‌شود که معیارها و عوامل زیادی شامل معیارهای اجتماعی، اقتصادی، زمین‌شناسی و هیدرولوژی در مکان‌یابی مناسب آن‌ها دخیل می‌باشند.

با استفاده از روش‌های جدید می‌توان مکان‌های مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی را با دقت زیاد و صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌ها تعیین کرد (۱۴، ۱۹ و ۲۴). هم‌چنین تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری

استفاده از روش‌های جدید برای استحصال آب می‌تواند یکی از راه‌کارهای موثر برای مقابله با بحران آب باشد، از جمله این روش‌ها، می‌توان به احداث سدهای زیرزمینی بر روی آبراهه و مسیل‌های دارای جریان زیرسطحی اشاره کرد (۲۱). این سدها، سازه‌هایی هستند که به منظور جمع‌آوری و متوقف نمودن جریان آب‌های زیرسطحی و ایجاد یک مخزن ذخیره آب در رسوبات آبرفتی ساخته می‌شوند (۲۰). در بعضی از مناطق مانند خشک‌رودها، مخروط‌افکنه‌های آبرفتی به دلیل وجود لایه نفوذناپذیر در زیر رسوبات، آب توانایی نفوذ عمقی را ندارد و به صورت افقی با توجه به شیب هیدرولیک در حال حرکت به سمت شبکه زهکشی است، در نتیجه بعد از بارش این آب‌ها کم‌کم تخلیه می‌شوند و در فصول کم بارش وجود ندارند که بتوان آن‌ها را مورد بهره‌برداری قرار داد. اما با استقرار سدهای زیرزمینی در جلوی حرکت آن‌ها، مانع از خروج آب از حوزه خواهد شد و از این آب ذخیره شده می‌توان در فصول مورد نیاز و کم‌آبی استفاده کرد (۲۲ و ۲۶). این سازه‌ها به صورت یک ترانشه با مواد نفوذناپذیر در عرض مسیل و دره‌ها تا سنگ‌بستر و یا یک لایه نفوذناپذیر ادامه می‌یابد. اصول کلی در مورد سدهای زیرزمینی این است که به جای ذخیره آب در سطح زمین، آب در داخل رسوبات آبرفتی پشت سد ذخیره می‌گردد (۱۱ و ۱۷).

سدهای زیرزمینی قادر هستند با متوقف کردن جریان‌های زیرسطحی آب را در سفره‌های آب زیرزمینی محلی در بالادست مخزن سد نگهداری کنند یا این جریان‌ها را به یک سفره مجاور منحرف نمایند و موجب تغذیه مصنوعی آن سفره شوند (۲۰). لازم به ذکر است که سد زیرزمینی مشابه با سدهای معمولی دارای یک دیواره ناتراوا است. جنس این دیواره می‌تواند رس متراکم، سفال، آجر و سنگ با ملات سیمان، پی وی سی و پلی‌اتیلن باشد (۲۹).

در مواردی اثر سدکنندگی موانع طبیعی مانند برآمدگی لایه نفوذناپذیر بستر می‌تواند نقش سدهای زیرزمینی طبیعی را ایفا کند که می‌تواند نقش به‌سزایی در صرفه‌جویی در هزینه‌های مکان‌یابی داشته باشد (۲).

مرکزی اردستان برای احداث سدهای زیرزمینی بود (۲۴). همچنین برای تلفیق مدل SMCE و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای مکان‌یابی و ارزیابی سد زیرزمینی در بخشی از استان البرز از نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، قنات و کاربری اراضی استفاده کردند. با روی هم اندازی لایه‌های فوق، ۳۱ محدوده پتانسیل‌دار مشخص شد. در مرحله بعدی برای اولویت‌بندی مناطق به‌دست‌آمده، معیارها و زیر معیارهای به روش AHP و با نظرات کارشناسان وزن‌دهی شد. سپس با استفاده از شاخص‌های کیفیت شیمیایی و کمیت جریان‌ات زیرسطحی، طول و عمق محور، لیتولوژی تکیه‌گاه‌ها، شیب، نفوذپذیری سطح مخزن، عمق و سطح مخزن، جمعیت روستا، وسعت زمین‌های کشاورزی پائین‌دست، واحدهای صنعتی، فاصله از روستا، فاصله از منبع قرضه و فاصله محور در محیط مدل SMCE به اولویت‌بندی سدهای زیرزمینی پرداختند. اولویت‌بندی براساس شاخص تناسب تعیین گردید، سدهایی که شاخص تناسب بالاتری داشتند در اولویت اول قرار گرفتند (۴).

بررسی سابقه پژوهش نشان می‌دهد که عوامل تأثیرگذار برای مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در مناطق مختلف، متفاوت بوده و روش‌ها و لایه‌های استفاده شده براساس اطلاعات موجود بوده است.

روش‌های مختلفی برای اولویت‌بندی مکان‌های مناسب تاکنون استفاده شده است که در این تحقیق از روش ARAS<sup>۴</sup> که از روش‌های جدید مدل‌های تصمیم‌گیری است، استفاده شد. استان خراسان شمالی به‌عنوان یکی از استان‌های خشک و نیمه‌خشک که با کمبود آب به‌خصوص در روستاها و مناطق عشایری مواجه است، می‌تواند یکی از منطقه‌های مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی باشد.

بنابراین هدف از پژوهش حاضر به صورت زیر است:

(۱) مکان‌یابی محل‌های مناسب احداث سدهای زیرزمینی در منطقه گرمه شهرستان جاجرم در استان خراسان شمالی.

(۲) اولویت‌بندی مکان‌های مناسب سدهای زیرزمینی به‌منظور احداث از روش‌های تصمیم‌گیری AHP و ARAS.

چندمعیاره (MADM<sup>۱</sup>) از روش‌هایی است که توانایی تلفیق معیارهای کیفی به کمی به‌طور همزمان (۱۸)، تحلیل جزءبه‌جزء و ارزیابی پروژه‌ها و همچنین اولویت‌بندی براساس معیارها و شاخص‌ها را دارا می‌باشند (۵ و ۱۵). تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در پروژه‌ها و رشته‌های مختلفی در داخل و خارج کشور مورد استفاده قرار گرفته است (۴ و ۱۸). به‌طوری‌که در اکثر تحقیق‌ها و پروژه‌ها توانایی این مدل‌ها تایید گردیده است، که برخی به اختصار در زیر ارائه شده است. در پژوهشی، با بهره‌گیری از مدل SWAT<sup>۲</sup> و ANP<sup>۳</sup> به مکان‌یابی سد زیرزمینی در حوضه درونگر در استان خراسان رضوی پرداختند. از مدل SWAT برای به‌دست آوردن جریان زیرسطحی استفاده شد، که نتایج نشان داد این مدل با ضریب ساتکلیف-نش ۰/۶۸ در شبیه سازی و ۰/۶۱ در اعتبارسنجی مورد تایید است. از ۱۱ معیار برای اولویت‌بندی مکان‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی در روش ANP استفاده شد که معیار کمیت آب زیر قشری با اهمیت نسبی ۰/۱۳۱ بیش‌ترین تاثیر را در انتخاب محل مناسب دارد. نتایج نشان داد که آبراهه‌های با رتبه ۳ و ۴ با شیب زیر ۱۵ درصد بهترین مناطق برای احداث سد زیرزمینی هستند (۲۷).

برای مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در منطقه نیمه‌خشک جنوب شرقی برزیل، از بررسی‌های ژئوفیزیک به مدت دو سال در بخشی از منطقه مورد مطالعه استفاده شد. نتایج نشان داد که بهترین منطقه برای احداث سد زیرزمینی، بستر خشک رود بواس می‌باشد. جایی که به‌دلیل وجود خاک ماسه‌ای در بستر، جریان‌ات زیرقشری در نتیجه نفوذ آب در طی دوره‌های فصل بارانی فعال بوده و می‌تواند بستر مناسبی برای ایجاد سدهای زیرزمینی محسوب شود (۱۲).

در پژوهشی دیگر برای مکان‌یابی سد زیرزمینی با استفاده از ادغام ماتریس تصمیم‌گیری چندمعیاره و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی در منطقه اردستان واقع در شمال اصفهان تعیین شد. نتایج بیان‌گر مناسب بودن مناطق غربی، شمالی و

<sup>3</sup> Analytical Network Process

<sup>4</sup> Additive Ratio Assessment

<sup>1</sup> Multi Attribute Decision Making

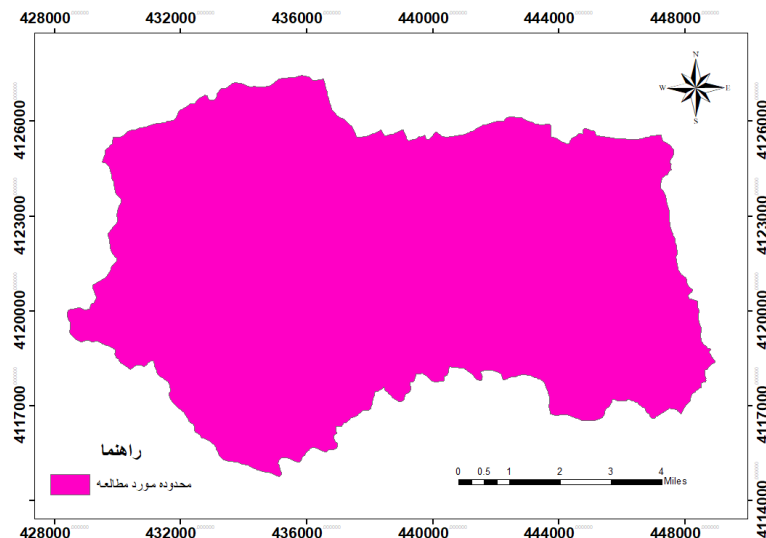
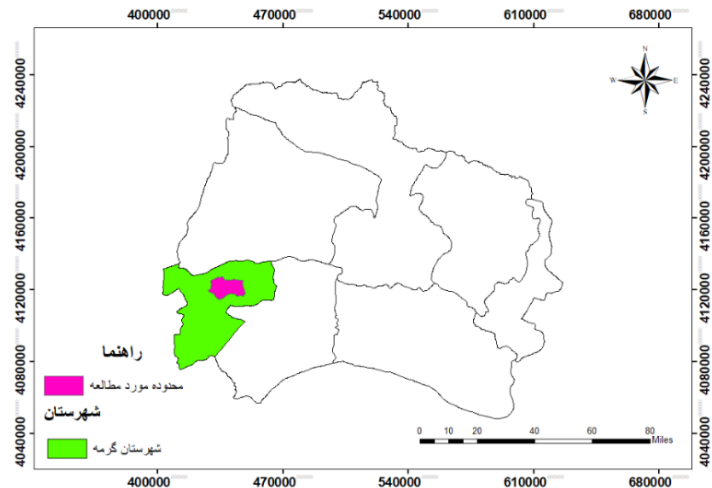
<sup>2</sup> Soil and Water Assessment Tools

## ■ مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز کجبید بالاقلی یکی از زیرحوضه‌های کال شور با مساحت ۱۶۸۰۶ هکتار است، که با توجه به آخرین تقسیمات کشوری جزء دهستان اصغرآباد، بخش مرکزی شهرستان گرمه خراسان شمالی است (شکل ۱). مختصات محدوده حوزه آبخیز مورد مطالعه در موقعیت جغرافیایی  $36^{\circ} 11' 36''$  تا  $37^{\circ} 10' 36''$  طول شرقی و  $56^{\circ} 25' 26''$  تا  $56^{\circ} 11' 36''$  عرض شمالی قرار دارد. اقلیم منطقه به روش دومارتن از نوع نیمه‌خشک و به روش آمبرژه از نوع خشک سرد است. مقدار میانگین ریزش‌های جوی، دما و

رطوبت نسبی سالانه حوضه، به ترتیب ۲۲۴ میلی‌متر و  $10.7^{\circ}C$  و  $62\%$  است. در منطقه مورد مطالعه کشاورزی و دامداری به ترتیب مهم‌ترین شغل بهره‌برداران بوده و اساسی‌ترین منبع درآمد مردم آن به‌شمار می‌رود. با توجه به خشک‌سالی منطقه و کاهش محسوس تولید محصول-های زراعی و باغی بین ۲۰ تا  $40\%$  و همچنین کاهش بیش از  $20\%$  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 درچنین مناطقی می‌باشد. (۹).

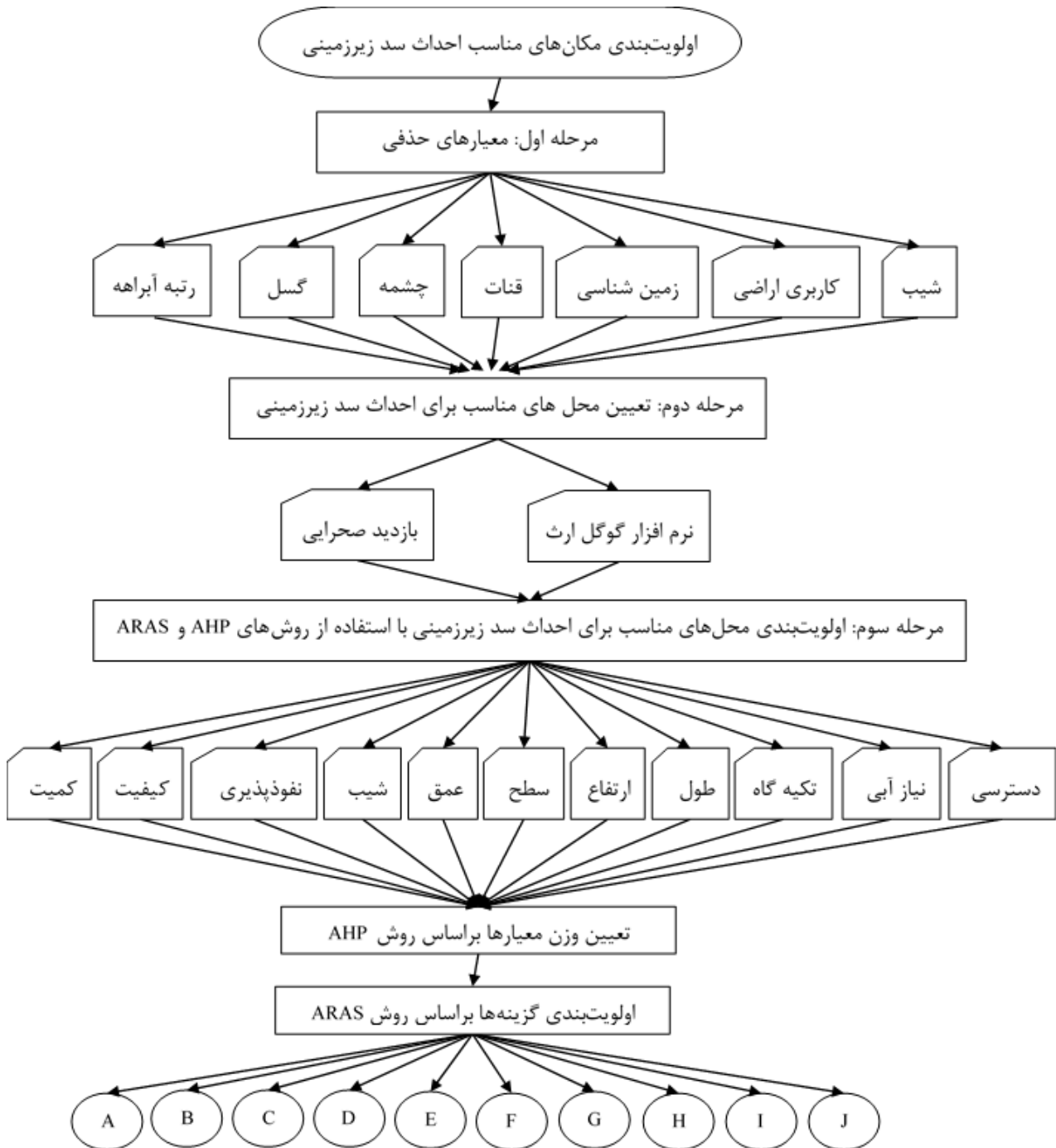


شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز کجبید - بالاقلی در استان خراسان شمالی و کشور

روش کار

مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره در سه مرحله استفاده شد (شکل ۲).

در پژوهش حاضر برای مکان‌یابی و اولویت‌بندی سدهای زیرزمینی از تفلیق سامانه اطلاعات جغرافیایی و



شکل ۲. نمودار جریان‌ی روش کار

**مرحله اول: معیارهای حذفی**

احداث سد زیرزمینی در هر منطقه شرایط خاصی نیاز دارد که منطقه به منطقه متفاوت است، بنابراین تعیین مکان مناسب نیاز به معیارهای زیادی (هیدرولوژیک، زمین‌شناسی، اقتصادی و اجتماعی) دارد. برای تسریع در امر تصمیم‌گیری و هم‌چنین پرهیز از جمع‌آوری اطلاعات مازاد بر نیاز، ابتدا لازم است که با در نظر گرفتن تعدادی از معیارها و عوامل کلیدی، نقاط نامناسب حذف گردد (۷). از جمله این شرایط دوری از گسل، دوری از قنات، سازندهای زمین‌شناسی نامناسب منطقه بالادست، شیب زیر ۵٪ درصد، کاربری مرتع (۲۳)، رتبه آبراهه و تاثیر بر چشمه می‌باشند. بر پایه پژوهش‌های انجام شده آبراهه‌های با رتبه ۱ و ۲ حجم آب زیرقشری مناسب برای احداث سد زیرزمینی ندارند (۶). هم‌چنین بعضی از چشمه‌ها، آبرفتی هستند و از آب زیرزمینی و زیرقشری تغذیه می‌کنند. چنان‌چه سد زیرزمینی در بالا دست این چشمه‌ها احداث شود موجب خشک یا کم شدن دبی چشمه خواهد شد.

**مرحله دوم: مشخص کردن محورهای مناسب**

پس از حذف محدوده‌های نامناسب در منطقه مورد بررسی باید محورهای مناسب در هر محدوده بدست آمده را مشخص کرد. در این مرحله ابتدا تنگه‌های موجود در هر محدوده مشخص گردید. مناسب‌ترین محل برای احداث سد زیرزمینی محوری است، که کمترین عرض مقطع و بیشترین حجم مخزن را داشته باشد (۲۳). تکیه‌گاه‌های که مقاومت بیش‌تر و نفوذپذیری کم‌تری داشته باشند، در اولویت هستند (۴). در نهایت ۱۰ محل مناسب با استفاده از پایگاه گوگل ارث و بازدید میدانی تعیین شد.

**مرحله سوم: تعیین معیارها و اهمیت نسبی آن‌ها و اولویت****بندی مکان‌های سد زیرزمینی**

معیارها و وزن اهمیت نسبی هر کدام از آن‌ها نسبت به یکدیگر بر مبنای نظرات کارشناسی و براساس روش AHP مشخص شد. در پژوهش حاضر از نظرات کارشناسی ۱۷ متخصص از دانشگاه و اجرا استفاده شد. وزن معیارها با

روش تحلیل سلسله مراتبی بر مبنای مقایسه دودویی<sup>۱</sup> محاسبه شد (۲۵)، اهمیت و وزن هر یک از معیارها نسبت به هم بررسی شد (جدول ۲). در ادامه برای اولویت‌بندی محورهای تعیین شده از روش تصمیم‌گیری ARAS استفاده گردید (جدول ۳).

**روش ARAS**

تکنیک ARAS به معنای ارزیابی نسبت افزایشی است و در مطالعات داخلی با عنوان ارزیابی مجموع نسبت‌ها نیز از آن یاد می‌شود. تکنیک ARAS به‌وسیله Zavadskas و همکاران (۲۰۱۰) پیشنهاد شد. این روش یکی از بهترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای انتخاب بهترین گزینه است. بهترین گزینه آن است که بیش‌ترین فاصله را از عوامل منفی و کم‌ترین فاصله را از عوامل مثبت داشته باشد (۲۸). الگوریتم اجرایی تکنیک آراس ARAS به صورت زیر است (۳۱).

**۱- تشکیل ماتریس تصمیم**

نخستین گام در این تکنیک تشکیل ماتریس تصمیم است. ماتریس تصمیم‌گیری ماتریسی برای ارزیابی تعدادی گزینه (m) بر پایه تعدادی معیار (n) است (در این پژوهش از ۱۰ گزینه و ۱۱ معیار استفاده شده است). یعنی ماتریسی که در آن هر گزینه براساس تعدادی معیار امتیازدهی شده است. ماتریس تصمیم با  $X$  و هر درایه آن با  $x_{ij}$  در رابطه (۱) نشان داده می‌شود.

$$X = (x_{mn}) \quad i=0, m; j=1, n \quad (1)$$

**۲- تشکیل ماتریس تصمیم نرمال**

نرمال‌سازی یا بی‌مقیاس‌سازی دومین گام در حل تمامی روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر ماتریس تصمیم است. در روش‌های MCDM بهتر است از واژه بی‌مقیاس‌سازی استفاده شود و سپس به روش خطی نرمال شوند (رابطه ۲).

$$N = (n_{mn}) \quad i=0, m; j=1, n \quad (2)$$

<sup>1</sup> Pairwise Comparisons

## ۳- تشکیل ماتریس تصمیم نرمال موزون

در گام سوم روش آراس ARAS باید ماتریس تصمیم نرمال ایجاد شده، موزون شود. برای این منظور وزن هر معیار در تمامی درایه‌های زیرمعیار ضرب می‌شود. وزن معیارها باید از قبل مشخص شود (رابطه ۳)، برای این منظور از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد.

$$V = (v_{mn}) \quad i=0, m; j=1, n \quad (۳)$$

## ۴- محاسبه مقدار مطلوبیت هر گزینه

در گام چهارم روش آراس ARAS مقدار مطلوبیت هر گزینه به وسیله تابع مطلوبیت محاسبه می‌شود. بهترین گزینه آن است که مطلوبیت بزرگ‌تری دارد. همچنین در پایان باید درجه مطلوبیت محاسبه شود. مقدار مطلوبیت هر گزینه با  $S_i$  با رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$S_i = \sum(V_{ij}) \quad (۴)$$

که  $S_i$  تابع مطلوبیت برای گزینه  $i$  است. بهترین گزینه، گزینه‌ای است که بیشترین ارزش تابع مطلوبیت را داشته باشد و بدترین گزینه، گزینه‌ای است که کم‌ترین ارزش تابع مطلوبیت را داشته باشد.

## ۵- درجه مطلوبیت گزینه و اولویت‌بندی آنها

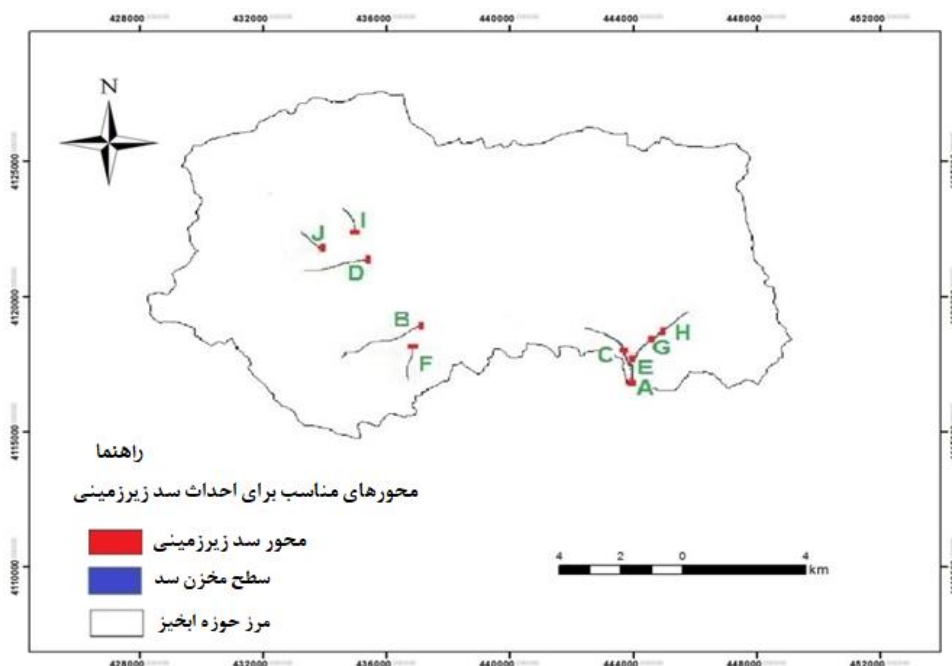
درجه مطلوبیت گزینه بر پایه مقایسه با یک مقدار بهینه محاسبه می‌شود. مقدار بهینه بر پایه دیدگاه خبرگان و بهترین مقادیر ماتریس موزون شده قابل حصول است (رابطه ۵):

$$K_i = S_i/S_0 \quad (۵)$$

که  $S_i$  تابع مطلوبیت هر گزینه است و  $S_0$  مقدار بهینه تابع مطلوبیت است که در این پژوهش بهترین مقدار ماتریس موزون شده استفاده شد (۳۰).

## ■ نتایج

نتایج مرحله اول (معیارهای حذفی) نشان داد که ۲۳ محل پتانسیل‌دار برای احداث سد زیرزمینی در منطقه مورد بررسی موجود است، که در ادامه با بازدید میدانی و با استفاده از پایگاه گوگل ارث ۱۰ محل مناسب برای احداث سد زیرزمینی تعیین شد (شکل ۳). نتایج مرحله آخر اولویت‌بندی مکان‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری AHP و ARAS نشان داد که گزینه A رتبه اول است (جدول‌های ۱ تا ۳).



شکل ۳. محورهای مناسب در هر محدوده به منظور احداث سد زیرزمینی در مرحله دوم

اولویت‌بندی مکان‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی با استفاده از روش ARAS که مکان A با  $K_i=1$  و  $S_i=0/36$  (تابع مطلوبیت) در رتبه اول و مکان J با  $K_i=0/74$  و  $S_i=0/26$  در رتبه آخر برای اجرا قرار گرفت (جدول ۳).

ماتریس نرمال شده که حاصل استانداردسازی یا بی‌مقیاس‌سازی معیارها می‌باشد (جدول ۱)، در غیر اینصورت معیارها قابل مقایسه و ارزیابی نمی‌باشند چون واحدهای معیارها با هم متفاوت می‌باشد.

نتایج حاصلضرب ماتریس نرمال شده و اوزان معیارها براساس نظرات کارشناسان با روش AHP محاسبه شد (جدول ۲).

جدول ۱. ماتریس نرمال شده به همراه وزن معیارها با ضریب ناسازگاری ۰/۰۵

معیارها	دسترسی	نیاز آبی	تکیه‌گاه	طول	ارتفاع	سطح	عمق	شیب	نفوذپذیری	کیفیت	کمیت
وزن معیارها براساس روش AHP	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۲۳
A	۰/۶۳	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۴۹	۰/۲۰	۰/۳۸	۰/۰۱	۰/۷۴	۰/۲۷	۰/۱۷	۰/۴۶
B	۰/۷۰	۰/۴۲	۰/۳۶	۰/۵۰	۰/۲۹	۰/۳۷	۰/۰۷	۰/۷۳	۰/۱۷	۰/۰۳	۰/۰۹
C	۰/۶۳	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۵۲	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۰۱	۰/۷۵	۰/۲۶	۰/۱۷	۰/۴۶
D	۰/۷۳	۰/۴۴	۰/۴۳	۰/۵۰	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۷۴	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۲۱
E	۰/۶۸	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۵۱	۰/۲۰	۰/۴۸	۰/۰۱	۰/۷۷	۰/۲۸	۰/۱۷	۰/۲۱
F	۰/۷۰	۰/۲۱	۰/۳۶	۰/۵۰	۰/۲۹	۰/۴۷	۰/۰۳	۰/۶۵	۰/۱۷	۰/۰۳	۰/۴۲
G	۰/۶۳	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۴۹	۰/۲۰	۰/۴۶	۰/۰۱	۰/۷۶	۰/۲۷	۰/۱۷	۰/۲۱
H	۰/۶۴	۰/۴۴	۰/۴۵	۰/۵۰	۰/۲۱	۰/۴۷	۰/۰۲	۰/۷۸	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۰۹
I	۰/۷۳	۰/۲۳	۰/۴۴	۰/۴۵	۰/۲۰	۰/۲۳	۰/۰۱	۰/۶۵	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۴۲
J	۰/۷۴	۰/۲۲	۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۱۹	۰/۲۴	۰/۰۲	۰/۶۴	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۰۹

جدول ۲. ماتریس موزن شده

گزینه‌ها	معیارها	دسترسی	نیاز آبی	تکیه‌گاه	طول	ارتفاع	سطح	عمق	شیب	نفوذپذیری	کیفیت	کمیت
A	۰/۰۷۶	۰/۰۳۵	۰/۰۰۴	۰/۰۱۵	۰/۰۰۸	۰/۰۲۳	۰/۰۰۲	۰/۰۵۹	۰/۰۱۹	۰/۰۱۳	۰/۱۰۵	
B	۰/۰۸۴	۰/۰۶۳	۰/۰۰۷	۰/۰۱۴	۰/۰۱۲	۰/۰۲۲	۰/۰۰۸	۰/۰۵۸	۰/۰۱۲	۰/۰۰۳	۰/۰۲۱	
C	۰/۰۷۶	۰/۰۳۶	۰/۰۰۴	۰/۰۱۶	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۵۹	۰/۰۱۹	۰/۰۱۳	۰/۱۰۵	
D	۰/۰۸۷	۰/۰۶۷	۰/۰۰۹	۰/۰۱۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۵۷	۰/۰۱۰	۰/۰۱۲	۰/۰۴۷	
E	۰/۰۸۲	۰/۰۳۵	۰/۰۰۴	۰/۰۱۴	۰/۰۰۸	۰/۰۲۸	۰/۰۰۲	۰/۰۶۱	۰/۰۱۹	۰/۰۱۳	۰/۰۴۶	
F	۰/۰۸۴	۰/۰۳۱	۰/۰۰۷	۰/۰۱۵	۰/۰۱۲	۰/۰۲۷	۰/۰۰۴	۰/۰۵۲	۰/۰۱۲	۰/۰۰۳	۰/۰۹۶	
G	۰/۰۷۷	۰/۰۳۵	۰/۰۰۴	۰/۰۱۶	۰/۰۰۸	۰/۰۲۸	۰/۰۰۲	۰/۰۶۱	۰/۰۱۹	۰/۰۱۴	۰/۰۴۷	
H	۰/۰۷۶	۰/۰۶۷	۰/۰۰۹	۰/۰۱۵	۰/۰۰۷	۰/۰۲۹	۰/۰۰۳	۰/۰۶۲	۰/۰۱۰	۰/۰۱۳	۰/۰۲۱	
I	۰/۰۸۸	۰/۰۳۵	۰/۰۰۸	۰/۰۱۳	۰/۰۰۸	۰/۰۱۴	۰/۰۰۲	۰/۰۵۲	۰/۰۱۱	۰/۰۱۲	۰/۰۹۶	
J	۰/۰۸۹	۰/۰۳۶	۰/۰۰۹	۰/۰۱۴	۰/۰۰۹	۰/۰۱۵	۰/۰۰۱	۰/۰۵۳	۰/۰۱۰	۰/۰۱۳	۰/۰۲۱	



جدول ۳. اولویت‌بندی مکان‌های سد زیرزمینی با استفاده از مدل ARAS

$K_i$	$S_i$	مکان سدهای زیرزمینی	$K_i$	$S_i$	مکان سدهای زیرزمینی
۰/۹۶	۰/۳۴	F	۱/۰۰	۰/۳۶	A
۰/۸۶	۰/۳۱	G	۰/۸۶	۰/۳۱	B
۰/۸۷	۰/۳۱	H	۰/۹۵	۰/۳۴	C
۰/۹۵	۰/۳۴	I	۰/۸۹	۰/۳۲	D
۰/۷۴	۰/۲۶	J	۰/۸۸	۰/۳۱	E

### ■ بحث و نتیجه‌گیری

نظرات کارشناسی نشان داده که کمیت آب با اهمیت نسبی ۰/۲۳ در مقایسه با معیارهای دیگر از اهمیت بیش‌تری برخوردار است (جدول ۱ ردیف ۲)، چرا که در صورت نبود یا کمبود جریانات زیرسطحی مخزن سد زیرزمینی، به طور کامل آبرگیری نشده و با مشکلات فراوانی از جمله تامین نیاز آبی حقابه‌بران روبرو خواهیم شد، که با نتایج (۴، ۲۰ و ۲۷) همخوانی دارد. چنان‌چه در مکانی حجم آب زیرقشری کم باشد احداث سد زیرزمینی غیرقابل توجیه اقتصادی است که با نتایج (۵ و ۲۳) هم‌خوانی دارد، و باید در این مناطق سد زیرزمینی احداث نگردد. هم‌چنین نیاز آبی با اهمیت نسبی ۰/۱۵ بعد از کمیت آب بیش‌ترین تاثیر را در تعیین مکان مناسب برای احداث سد زیرزمینی دارد چون نیاز منطقه برای احداث خیلی مهم است زیرا امکان دارد منطقه‌ای کمیت آبی خوبی داشته باشد ولی نیاز آبی نداشته باشد که این محل در اولویت اول قرار نمی‌گیرد که با نتایج (۴) هم‌خوانی دارد. نتایج نشان داد آبراهه‌های با رتبه ۳ و ۴ بهترین مناطق برای احداث سد زیرزمینی می‌باشند، زیرا آبراهه‌هایی با رتبه ۱ و ۲ به دلیل کمیت آب هم از نظر حجم رواناب و هم مقدار آب زیرزمینی نامناسب می‌باشد. رتبه‌های بالاتر نیز به‌خاطر قرار داشتن در مناطق دشتی و وجود تکیه‌گاه‌های نفوذپذیر (آبرفتی‌بودن تکیه‌گاه) نامناسب هستند که با نتایج [۱۱ و ۲۷] هم‌خوانی دارد. نتایج حاصل از اولویت‌بندی محل‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی براساس روش ARAS در جدول (۳) ارائه شده است، که گزینه A با  $S_i = 0.36$  و  $K_i = 1$  براساس

روش ARAS مناسب‌ترین محل برای احداث سد زیرزمینی می‌باشد. این گزینه که در سناریوهای ۱، ۲ و ۳ گزینه A در اولویت اول قرار گرفته است می‌تواند بهترین گزینه برای احداث باشد. به‌طور کلی روش ARAS یکی از جدیدترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در جستجوی راه حلی برای انتخاب بهترین گزینه است که در پژوهش حاضر برای تعیین مناسب‌ترین محل برای احداث سد زیرزمینی استفاده شد که نشان از قابلیت زیاد این روش در انتخاب گزینه مناسب است.

احداث سد زیرزمینی در هر منطقه شرایط خاصی نیاز دارد که منطقه به منطقه متفاوت است، بنابراین تعیین مکان مناسب نیاز به معیارهای زیادی از جمله شرایط هیدرولوژیک، زمین‌شناسی، اقتصادی و اجتماعی را دارد. قرارگیری حجم مخزن در زیرزمین و نبود داده، پیچیدگی خاصی به مکان‌یابی سد زیرزمینی داده است، به‌طوری‌که تعیین محل مناسب با روش‌های سنتی سخت می‌باشد. با استفاده از روش‌های جدید می‌توان مکان‌های مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی را با دقت بالا و صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌ها تعیین کرد. تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره کمک شایانی به این امر نموده است. در تحقیق نیز از تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره ARAS به مکان‌یابی و اولویت‌بندی گزینه‌ها پرداخته شد. نتایج نشان داد که این روش توانایی قابل قبولی برای اولویت‌بندی گزینه‌ها و انتخاب مناسب‌ترین گزینه را دارد.

## ■ References

1. Arabkhazaeli, E., Heshmatpour, A., Seyedian, M., & Chazgi, J. (2019). Prioritizing Suitable Location of the Underground Dam Construction Using AHP in Kajbid-Balaqly watershed, Garmeh city. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 13(2), 338-353. (in Farsi)
2. Borst, L., & Haas, SA. (2006). Hydrology of Sand Storage Dams: A Case Study in the Kiindu Catchment, Kitui District, Kenya. VU University report.
3. Chezgi, J. (2019). Application of SWAT and MCDM Models for Identifying and Ranking Suitable Sites for Subsurface Dams. Chapter 8 of Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences book. ELSEVIER. Pages 189-211.
4. Chezgi, J., Maleki nezhad, H., Ekhtesasi, M. R., & Nakhei, M. (2016). Prioritization suitable sites for underground dam's construction using decision-making models in arid and semi-arid. *Arid Biome*, 6(2), 1-13. (in Farsi)
5. Chezgi, J., Maleki nezhad, H., Ekhtesasi, M. R., & Nakhei, M. (2018). Providing a Comprehensive and Appropriate Strategy for the Construction of an Underground Dam Using the SWOT Model QSPM Matrix (A Case Study: Keriyān Watershed). *Water and Soil Science*, 22(1), 187-198. (in Farsi)
6. Chezgi, J., Pourghasemi, H.R., Naghibi, S.A., Moradi, H.R., & Kheirkhah Zarkesh, M. (2016). Assessment of a spatial multi-criteria evaluation to site selection underground dams in the Alborz Province, Iran. *Geocarto*. 31, 628-646.
7. Davoodi Rad, M., & Behranghi, A. (2004) Underground Dams a Useful Tool in Groundwater Management, *Proceedings of the First Annual Conference of Water Resources Management of Iran*, Tehran, November 26-27, 21. (in Farsi)
8. Ertsen, M., & Hut, R. (2009). Two waterfalls do not hear each other. Sand-storage dams, science and sustainable development in Kenya. *Physics and Chemistry of the Earth*, 34, 14-22.
9. Forests, Range & Watershed Management Organization. (2010). <http://www.frw.org.ir>
10. 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. *Physics and Chemistry of the Earth*, 33, 74-85.
11. Ghasemi, M., Aminizadeh, M. (2015). Identification Places Suitable Direction Building Dams Underground (Feasibility of underground dams). *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 36(3), 2670-2685.
12. Gomes, J.L. S., Vieira, F. P. & Valiya, M. H. (2017). Use of geophysical surveys in selection of sites for underground dams in the municipality of Jenipapo de Minas. The 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 31 July to 3 August.
13. Ishida, S., Tsuchihara, T., Yoshimoto, S., & Imaizumi, M. (2011). Sustainable use of groundwater with underground dams. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 45, 51-61.
14. Jamali, I.A., Olofsson, B., & Mörtberg, U. (2013). Locating suitable sites for the construction of subsurface dams using GIS. *Environmental Earth Sciences*. 70: 2511-2525.
15. Jamali, IA., Mörtberg, U., Olofsson, B., & Shafique, M. (2014). A Spatial Multi-Criteria Analysis Approach for Locating Suitable Sites for Construction of Subsurface Dams in Northern Pakistan. *Water Resources Management*, 28: 5157-5174.
16. Kardavani, P. (2000). Sources of water issues, the first volume of surface water and groundwater issues and take advantage of them Iran. volume 1. Tehran University Press, Tehran, Iran. (in Farsi)

17. Lima, A. D. O., Lima-Filho, F. P., Dias N. D. S., Reis Junior J. A. D., & Sousa, A. D. M. (2018). Gpr 3D Profile of the Adequateness of Underground Dams in a Sub-Watershed of the Brazilian Semiarid. *Revista Caatinga journal*, 31(2): 523-531.
18. Malczewski, J. (1999). GIS and multi criteria decision analysis. New York: Wiley. 408 pp.
19. Nayebi, H., Shirvani, M., & Kamfiroozi, M. (2016). Underground Dam Modeling Using SWAT Software. *Institute of Integrative Omics and Applied Biotechnology (IIOAB)*, 7, 60-65.
20. Nilsson, A. (1988). Groundwater dams for small-scale water supply. Intermediate Technology Publications Limited, London.
21. Petersen, E.N. (2013). Subsurface dams for water storage in dry riverbeds. ASAL Consultants Ltd, Kenya: 55.
22. Quilis, RO., Hoogmoed, M., Ertsen, M., Foppen, J.W., Hutm R., & Vries, A. (2009). Measuring and modeling hydrological processes of sand-storage dams on different spatial scales. *Physics and Chemistry of the Earth*. 34, 289-298.
23. Saaty, T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill. 287 pp.
24. Salami, H. (2006). *Determination of suitable sites for the construction of underground dam in igneous areas using remote sensing (case study: North ridge of Karkas mountains)*, master's thesis of hydrogeology, Shahid Beheshti University, 143 pp. (in Farsi)
25. Shirani, K., Shafiey Dastjerdi, A., & Rahnamarad, J. (2017). Integration of Multi-Criteria Decision Matrix and Geographical Information System to Site Selection for an Underground Dam. *Geotechnical Engineering*, 22, 3669-3686.
26. Silva, D.A., & Rego Neto., J. (1992). Araliaceous de Barrages Subversives Para Fins de Explores Areola no Semi-arid, *In Congress National de Irrigação e Derange, Natal*, 9, 335-361.
27. Talebi, A. Zahedi, E., Hassan, M. A., & Lesani, M. T. (2019). Locating suitable sites for the construction of underground dams using the subsurface flow simulation (SWAT model) and analytical network process (ANP) (case study: Daroongar watershed, Iran). *Sustainable Water Resources Management*. 128- 141.
28. Tupenaite, L., Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., Turskis, Z., & Seniut, M. (2010). Multiple criteria assessment of alternatives for built and human environment renovation. *Civil Engineering and Management*, 16(2), 257-266.
29. Yilmaz, M., (2003). *Control of ground water by underground dams*, M.C. Thesis, Dept. of Civil. METU, Ankara. 96 pp.
30. Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). A new additive ratio assessment method in multi-criteria decision making. *Technological and Economic Development of Economy*, 16(2), 159-172.
31. Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Vilutiene, T. (2010). Multiple criteria analysis of foundation instalment alternatives by applying Additive Ratio Assessment (ARAS) method. *Archives of civil and mechanical engineering*, 10(3), 123-141.

## **Suitable Site Selecting of The Underground Dam Construction for Water Resources Management in Arid and Semi-Arid Lands**

J. Chezgi<sup>1\*</sup>, E. Arab Khazaeli<sup>2</sup>, A. Heshmatpour<sup>3</sup>

1. Assistant Professor, Department of Watershed Management Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran.
2. Graduated, Department of Watershed Management Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Watershed Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.

\* Corresponding Author: [chezgi@birjand.ac.ir](mailto:chezgi@birjand.ac.ir)

Received date: 11/02/2020

Accepted date: 19/05/2020

### **Abstract**

Site selection is the first and most important stage in implementation of natural resources management projects. It can be effective in reducing the cost and timing of projects. The underground dam is one of the structures that reservoir is created in the underground, and its extraction depends on the topography and geology conditions of the area, so its location is very important from the hydrological, economic, and social points of view. In this research, the ARAS multi-criteria decision-making model and geographic information system (GIS) were used to select the most suitable sites for the underground dam construction in Kajbid-Balaghli Watershed, Garmah, North Khorasan. First, suitable sites were determined by using an exclusion method based on criteria (stream order, slope, geology, land use, fault, qanat, and spring). To prioritize suitable locations, water quantity criteria, water quality, reservoir slope, reservoir permeability, reservoir depth, reservoir surface, structural height, structural length, anchorage, water requirement, and access to the structures were used to determine the appropriate locations. The relative importance of the criteria was done using AHP method. Finally, the ARAS decision method was used to prioritize the suitable sites. Results showed that the water quantity criterion with relative importance of 0.23 and the criterion of underground dam anchorage with the relative importance of 0.02 gain highest and lowest score in views of the experts, respectively. The most suitable sites for the construction of underground dam was location A with  $S_i = 0.36$  and  $K_i = 1$ .

**Keywords:** Site selection; Underground Dam; GIS; AHP; ARAS