Watershed Engineering and Management Volume 15, Issue 4, 2024, Pages 655-672
DOI: 10.22092/IJWMSE.2023.359376.1981

Feasibility and spatial prioritization of underground dam construction in the arid and semi-arid regions, case study: Roodan Watershed (Technical note)

Mahsa Tashakori[1], Mehdi Hayatzadeh[2]*, Ali Fathzadeh[3], Javad Chezgi[4] and Akram Bemani[5]

[1] Msc Graduate, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran
[2] Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran
[3] Associated Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran
[4] Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Birjand University, Birjand, Iran
[5] Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran

Received: 14 September 2022 Accepted: 17 January 2023

Extended abstract

Introduction

The most important problem in the development and construction of underground dams is the complexity of determining suitable areas for dam construction. This problem arises from the fact that many criteria and factors including social, economic, geological and hydrological criteria are involved in its proper location. Therefore, it is important to use methods that can determine suitable places for the construction of underground dams with high accuracy and with the least amount of time and cost. The construction of an underground dam is recommended as one of the solutions for water supply in arid areas where there is no access to usual sources, such as wells and permanent rivers, or they have few water resources. For this purpose, in the present study, the location of the prone areas for the construction of such dams has been investigated. The studied area is the Rodan Watershed in Hormozgan Province, which has a good potential for the construction of an underground dam due to its dry climate and special geological conditions.

Materials and methods

In this study, the number of eight initial locations were identified as potential points for construction underground dam by combining digital elevation model, topographic features, geological and hydrological features in GIS. In the following, after forming the decision matrix using Vicor model, ranking, determining the index and selecting the smallest index as the best option were done. Finally, the options were sorted based on the values of desirability index, dissatisfaction index and Vicor index. Then, the best option that has the smallest Vicor index was selected.

Results and discussion

According to the obtained results, the value of Vikor index (Q) was 0.0158 and 0.097 for sites 5 and 2, respectively, and that way, based on Vikor index, the first rank belonged to the site 5 and the second rank belonged to the site 2. Therefore, out of the initial eight locations, only two places were suitable spots and other suitable sites were rejected due to the distance from the centers of population concentration and agriculture. Rank one, located in the east of Ziarat Ali, is one of the best places to build an underground dam due to the hydrological and topographical conditions, including the fact that the slope in this site is less than five percent. The second priority, located in the north of Brentin district, was considered as a suitable option for the construction of an underground dam due to its location in the vicinity of a sparsely populated village where drinking water is supplied through a well. Among the criteria used in the present research, the criteria of water need, distance from the village, pH and EC parameters, and water quantity were the most important in the sites that have been assigned the first and second priority.

* Corresponding author: mhayatzadeh@ardakan.ac.ir

DOI: 10.22092/IJWMSE.2023.359376.1981

Conclusion

Examining the results of the reservoir surface factor in this research showed that the larger the reservoir surface, the higher the priority in locating this structure. In underground dams, unlike surface dams where the large reservoir surface is considered a disadvantage due to losses by evaporation, regardless of other factors, the best place to build an underground dam in a river is the canyons that have the maximum area of the reservoir in upstream. Looking at the axes selected in the current research, it can be seen that the highest priorities and the most valuable axes are selected in the quaternary formations, which can indicate the accuracy of the structure's positioning. Since the peak of water consumption in the region is in the spring and summer seasons, therefore, by constructing an underground dam in the proposed sites, part of the water shortage and crisis in the hot seasons can be compensated.

Keywords*:* Aquifer, Groundwater, Hierarchical, Ranking, Vikor method

Cite this article: Tashakori, M., Hayatzadeh, M., Fathzadeh, A., Chezgi, J., Bemani, A., 2024. Feasibility and spatial prioritization of underground dam construction in the arid and semi-arid regions, case study: Roodan Watershed (Technical note). Watershed Engineering and Management 15(4), 655-672.

© 2024, The Author(s). Published by Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۵، شماره ۴، ۱۴۰۲، صفحات ۶۵۵-۶۷۲

Watershed Engineering and Management
Volume 15, Issue 4, 2024, Pages 655-672
DOI: 10.22092/IJWMSE.2023.359376.1981

امکان‌سنجی و اولویت‌بندی مکانی احداث سد زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مطالعه موردی: حوزه آبخیز رودان (یادداشت فنی)

مهسا تشکری دهبارز[۱]، مهدی حیات زاده[۲*]، علی فتح زاده[۳]، جواد چزگی[۴] و اکرم بمانی[۵]

[۱] دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران
[۲] استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران
[۳] دانشیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران
[۴] استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
[۵] استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۷

چکیده مبسوط

مقدمه

مهمترین مشکل در توسعه و ایجاد سدهای زیرزمینی، پیچیدگی تعیین مناطق مناسب احداث سد است. این مشکل از آنجا ناشی می‌شود که معیارها و عوامل زیادی شامل معیارهای اجتماعی، اقتصادی، زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی در مکان‌یابی مناسب آن دخیل هستند. لذا، استفاده از روش‌هایی که بتوانند مکان‌های مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی را با دقت بالا و با صرف کمترین میزان وقت و هزینه تعیین نمایند، حائز اهمیت است. احداث سد زیرزمینی، به‌عنوان یکی از راه‌حل‌های تامین آب در مناطق خشک که امکان دسترسی به منابع معمول، نظیر چاه و رودخانه دایمی وجود ندارد یا دارای منابع آبی اندکی هستند، توصیه شده است. به همین منظور، در پژوهش حاضر مکان‌یابی مناطق مستعد برای احداث این‌گونه سدها مورد بررسی قرار گرفته است. محدوده مورد مطالعه، حوزه آبخیز رودان در استان هرمزگان است که به‌دلیل دارا بودن شرایط اقلیمی خشک و شرایط خاص زمین‌شناسی، می‌تواند از پتانسیل مناسبی برای ساخت سد زیرزمینی برخوردار باشد.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر، از طریق تلفیق مدل رقومی ارتفاع، خصوصیات توپوگرافی، زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی در محیط GIS، تعداد هشت مکان اولیه به‌عنوان نقاط مستعد احداث سد زیرزمینی مشخص شد. در ادامه، پس از تشکیل ماتریس تصمیم با استفاده از مدل ویکور، رتبه‌بندی، تعیین شاخص و انتخاب کوچک‌ترین شاخص به‌عنوان بهترین گزینه صورت پذیرفت. در نهایت، اقدام به مرتب‌سازی گزینه‌ها بر اساس مقادیر شاخص مطلوبیت، شاخص نارضایتی و شاخص ویکور شد. سپس، بهترین گزینه که کوچک‌ترین شاخص ویکور را داشته باشد، انتخاب شد.

نتایج و بحث

طبق نتایج به‌دست آمده، مقدار شاخص ویکور (Q) برای سایت ۵، عدد ۰/۰۱۵۸ و برای سایت ۲، عدد ۰/۰۹۷ به‌دست آمد که بدین ترتیب بر مبنای شاخص ویکور، رتبه اول متعلق به سایت ۵ و رتبه دوم به سایت ۲ تعلق گرفت. لذا، از بین هشت مکان اولیه تنها دو نقطه مناسب و سایر سایت‌های مستعد به‌علت فاصله از مراکز تمرکز جمعیتی و

* مسئول مکاتبات: mhayatzadeh@ardakan.ac.ir

کشاورزی رد شدند. رتبه یک، واقع در شرق شهر زیارتعلی با توجه به شرایط هیدرولوژیکی و توپوگرافی از جمله این‌که شیب در این سایت کمتر از پنج درصد است، به‌عنوان یکی از بهترین مکان‌ها برای احداث سد زیرزمینی است. اولویت دوم، واقع در شمال بخش برنطین، به‌دلیل قرارگیری در مجاورت روستای کم جمعیتی که آب آشامیدنی از طریق چاه تامین می‌شود، به‌عنوان گزینه مناسب برای احداث سد زیرزمینی در نظر گرفته شد. در سایت‌هایی که اولویت اول و دوم را به خود اختصاص داده‌اند، از بین معیارهای مورد استفاده در پژوهش حاضر، معیارهای نیاز آبی، فاصله از روستا، پارامترهای pH و EC و کمیت آب، بیشترین اهمیت را داشته‌اند.

نتیجه‌گیری

بررسی نتایج عامل سطح مخزن در این پژوهش نشان داد که هر چه سطح مخزن بزرگ‌تر باشد، در مکان‌یابی این سازه دارای اولویت بیشتری خواهد بود. در سدهای زیرزمینی، بر خلاف سدهای سطحی که بزرگ بودن سطح مخزن به‌دلیل تلفات ناشی از تبخیر یک عیب محسوب می‌شود، بدون در نظر گرفتن سایر عوامل، بهترین مکان برای احداث سد زیرزمینی در یک رودخانه، تنگه‌هایی هستند که دارای بیشترین سطح مخزن در مناطق بالادست جریان باشند. با نگاهی به محورهای انتخاب شده در پژوهش حاضر، مشاهده می‌شود که بالاترین اولویت‌ها و با ارزش‌ترین محورهای انتخابی در سازندهای کواترنر قرار گرفته‌اند که این نکته می‌تواند بیان کننده صحت مکان‌نمایی سازه باشد. از آنجا که اوج مصرف آب منطقه در فصول بهار و تابستان است، لذا، با احداث سد زیرزمینی در سایت‌های پیشنهادی می‌توان بخشی از کمبود و بحران آب در فصول گرم را جبران کرد.

واژه‌های کلیدی: آبخوان، آب زیرزمینی، رتبه‌بندی، روش ویکور، سلسه مراتبی

مقدمه

تقاضای روز افزون برای آب زیرزمینی، اهمیت استفاده از فنون علمی برای مدیریت صحیح این منبع گران‌بها را پررنگ‌تر ساخته است. در سال‌های اخیر، سدهای زیرزمینی برای توسعه منابع آب زیرزمینی و جلوگیری از خروج بدون استفاده آب قابل مصرف، مورد توجه بسیار واقع شده است. مقدار بالای تبخیر در مناطق خشک به‌عنوان مشکل عمده سدهای سطحی، کارشناسان را به سمت ساخت سدهای زیرزمینی هدایت کرده است (Aminizadeh et al., 2015).

احداث سدهای زیرزمینی و استفاده از رواناب‌های سطحی، به‌منظور تغذیه مصنوعی و صرفه‌جویی در آب‌های زیرزمینی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک که کمبود آب سطحی یک چالش محیط زیستی است، از جمله راهکارهای مناسب برای تامین و توسعه منابع آب است (Farokhzadeh et al., 2015). مهم‌ترین مشکل در توسعه و ایجاد سدهای زیرزمینی، پیچیدگی تعیین مناطق مناسب احداث سد است. این مشکلات از آنجا ناشی می‌شود که معیارها و عوامل زیادی شامل معیارهای اجتماعی، اقتصادی، زمین‌شناسی و هیدرولوژی، در مکان‌یابی مناسب آن‌ها دخیل هستند. با استفاده از روش‌های جدید، می‌توان مکان‌های مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی را با دقت بالا و صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌ها تعیین کرد (Hassanzadeh Nafouti et al., 2016).

این سازه‌ها در مناطقی مورد استفاده قرار می گیرند که جریان آب‌های زیرزمینی به‌طور قابل ملاحظه‌ای در طول سال از مقادیر بسیار زیاد ناشی از بارندگی تا مقادیر قابل صرف‌نظر در فصول خشک تغییر می‌کند (Salami, 2006). قاعده کلی سدهای زیرزمینی بر این اساس است که به جای ذخیره آب در سطح، در زیرزمین آب ذخیره می‌شود. فواید اصلی ذخیره آب در زیر زمین، پایداری سازه‌ای بسیار بالا، عدم وجود تهدید برای ساکنین و ابنیه پایین‌دست سد، هزینه پایین ساخت و استفاده از منابع آب قابل تجدید و استفاده از آب‌های زیرزمینی کم عمق است. از طرف دیگر، به این دلیل که توسعه سدهای زیرزمینی نیاز به ذخیره سطحی ندارد و سبب تغییر کاربری اراضی و اکوسیستم موجود نمی‌شود، می‌توان

نتیجه گرفت که آن‌ها از نظر محیط زیست نیز بی‌خطر هستند (Khairkhah Zarkash et al., 2008). نبود توزیع یکنواخت بارندگی از نظر زمانی و مکانی در سطح کره زمین و اوضاع جوی و زمین‌ساختی مناطق خشک و نیمه‌خشک، ساکنان این مناطق را به بهره برداری بیشتر از آب‌های زیرزمینی واداشته است و پایه های بسیاری از اجتماعات بشری بر آن استوار گشته است.

به‌دلیل کمبود نزولات جوی با متوسط سالانه ۲۷۳ میلی‌متر، حدود یک‌سوم متوسط جهانی، نبود پراکنش یکنواخت آن از نظر زمانی و مکانی و همچنین، فقدان رودخانه‌های دایمی که بتواند نیاز آبی را در مناطق خشک تامین کند، بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی که در واقع مطمئن‌ترین منبع تامین آب در این مناطق است، در سطح وسیع صورت می‌گیرد. با این‌که سد زیرزمینی، روش نوپایی برای استحصال آب به شمار می‌رود، با این‌حال نتایج رضایت‌بخشی از اجرای آن‌ها در نقاط مختلف جهان گزارش شده است.

سدهای زیرزمینی به‌دلیل تنوع، در صورت اجرای مناسب، می‌توانند نقش موثری در مدیریت و توسعه منابع آبی کوچک به‌ویژه در دوران خشکسالی ایفا کنند. این روش، کاربردهای متفاوتی داشته که در شرایط مختلف قابل اجرا است (Majidi, 2006). در این راستا، پژوهشگرانی به مکان‌یابی مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره با تاکید بر منابع آب غرب استان تهران پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که معیار آب در مقایسه با دیگر معیارها در ارجحیت قرار دارد، زیرا بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است (Chezgi et al., 2010). در پژوهشی، Mumzai et al. (2014) به مکان‌یابی سد زیرزمینی با استفاده از منطق بولین در حوزه آبخیز مرغملک واقع در شهرکرد پرداختند و به این نتیجه رسیدند که حدود ۰/۵۱ درصد از محدوده مورد مطالعه برای ایجاد سد زیرزمینی مناسب است.

در پژوهش دیگری، Chezgi et al. (2016) به منظور اولویت‌بندی مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی در منطقه کریان استان هرمزگان با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چند معیاره پرداختند. نتایج نشان داد که مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای با ضریب همبستگی ۰/۹۱ و واریانس ۳/۳۳ و انحراف معیار ۱/۸، به‌عنوان بهترین مدل است. همچنین، مکان سد زیرزمینی احداث شده در منطقه به‌عنوان بهترین سایت برای احداث سدهای زیرزمینی تعیین شد. در پژوهشی به‌منظور بررسی و تعیین مکان‌های مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی Arabameli et al. (2018) از تکنیک GIS و روش AHP[1] در منطقه اردستان واقع در شمال شرقی استان اصفهان استفاده کردند. نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان داد که مخروط افکنه‌های واقع در قسمت غربی، شمالی و مرکزی اردستان، به‌عنوان مکان‌های مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی هستند.

در پژوهشی، با عنوان استفاده پایدار از آب به‌وسیله احداث سدهای زیرزمینی، Ishida et al. (2011) به مرور اصول اولیه سدهای زیرزمینی، ساخت و ساز و مشکلات سد زیرزمینی در سراسر جهان پرداختند. آن‌ها وجود سدهای زیرزمینی در طیف گسترده‌ای از کشورهای جهان نظیر ژاپن، کره، چین، هند، اتیوپی، کنیا، برزیل و آمریکا را گزارش کرده‌اند. در نهایت، به این نتیجه رسیدند برای توسعه ساخت و ساز سد زیرزمینی و مقابله با هرگونه مشکلی در این مورد، کشورهای مختلف باید به تبادل اطلاعات و تجربه‌های خود در این زمینه بپردازند.

در پژوهش مشابهی در منطقه نیمه‌خشک جنوب شرقی برزیل، Goes et al. (2017) به مکان‌یابی سدهای زیرزمینی پرداختند. برای این منظور، آن‌ها از بررسی‌های ژئوفیزیکی به مدت دو سال در بخشی از منطقه مورد مطالعه استفاده کردند. نتایج نشان داد که بهترین منطقه برای احداث سد زیرزمینی، بستر خشکه‌رود است. جایی که به‌دلیل وجود خاک ماسه‌ای در بستر، جریانات زیر قشری در نتیجه نفوذ آب در طی دوره‌های فصل بارانی فعال بوده است، می‌تواند بستر مناسبی برای ایجاد سدهای زیرزمینی محسوب شود.

در بیشتر مناطق ایران، زمان وقوع بارش با زمان نیاز آبی کشاورزی مطابقت ندارد. علاوه بر این، با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک کشور، اغلب آبخوان‌ها در

[1] Analytic Hierarchy Process (AHP)

شرایط بحرانی قرار دارند. یکی از راه‌ها که برای غلبه بر کمبود آب فصلی به کار برده می‌شود، استفاده از آب‌های زیرزمینی است. مهار کردن جریان‌های زیرسطحی به‌منظور ذخیره آب زیرزمینی و استفاده از آن در مواقع کم آبی برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از راه‌های مناسب برای بهره‌برداری مستمر از جریان‌های زیرسطحی، احداث سد زیرزمینی در آبراهه‌ها است. سدهای زیرزمینی با توجه به هزینه پایین، روش ساخت آسان، ذخیره آب بهداشتی و مزایای بسیاری که نسبت به سدهای سطحی دارند و به‌خصوص با توجه به آب و هوای خشک و نیمه‌خشک ایران، می توانند روش مقرون به صرفه و ساده برای استفاده از آب‌های زیرزمینی باشند.

با توجه به تحقیقات موجود، این نکته حاصل می شود که بحث سد زیرزمینی و ساخت آن یک مبحث تقریبا جدیدی است که مورد توجه محققان و پژوهشگران در ایران و سایر کشورهای دنیا قرار گرفته است

(Tabatabai Yazdi et al., 2003). پژوهش حاضر، با هدف مدیریت منابع آب در منطقه، مانند احیا برخی از قنوات و چاه‌های کشاورزی، همچنین، برای ایجاد مانعی برای جلوگیری از اختلاط آب شیرین منطقه با آب‌شور دریا و جمع‌آوری آب باران برای به‌کارگیری در مصارف مختلفی همچون شرب و کشاورزی صورت می پذیرد. در این راستا، این پژوهش به دنبال آن است تا با استفاده از روش تصمیم‌گیری VIKOR، مستعدترین مکان‌ها را برای احداث سدهای زیرزمینی در شهرستان رودان در استان هرمزگان را شناسایی کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: پژوهش حاضر، در بخشی از استان هرمزگان انجام شد. استان هرمزگان، جنوبی‌ترین استان ایران، در ساحل خلیج فارس و دریای عمان قرار دارد. استان هرمزگان، دارای ۱۳ شهرستان است که محدوده مورد مطالعه حوزه آبخیز رودان با مساحتی حدود ۳۰۴۴/۵ کیلومتر مربع، در فاصله ۱۰۰ کیلومتری از بندرعباس قرار دارد. شهر رودان، مرکز این شهرستان در ″۲۷ ′۰۹ °۵۷ تا ″۵۱ ′۱۳ °۵۷ طول شرقی و ″۰۱ ′۱۹ °۲۷ تا ″۲۱ ′۲۹ °۲۷ عرض شمالی واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا حدود ۱۹۰ متر است.

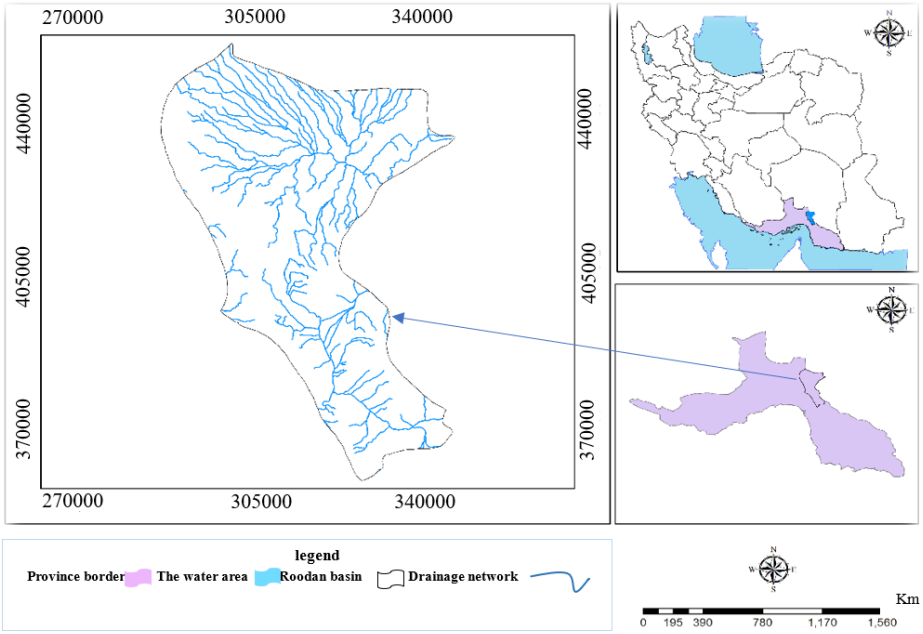
شکل ۱، موقعیت منطقه مورد مطالعه را در استان و کشور ایران نشان می‌دهد. این منطقه از شمال به استان کرمان و شهرستان حاجی‌آباد، از شرق به کهنوج و منوجان در استان کرمان، از غرب به شهرستان بندرعباس و از جنوب به شهرستان میناب محدود می‌شود. با توجه به این‌که میزان متوسط دما در منطقه ۲۷/۱ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارش سالانه برابر ۲۵۰ میلی‌متر است، مشخص می‌شود که منطقه مورد مطالعه بر اساس روش دومارتن دارای اقلیم خشک است.

زیرحوضه رودان دو رودخانه اصلی را شامل می‌شود که رودخانه کندر از کوه‌های شمالی منطقه در جنوب استان کرمان سرچشمه گرفته است و از شمال به جنوب جریان دارد و رودخانه فاریاب نیز از شمال غرب وارد حوضه می‌شود. این دو رودخانه بعد از شهر رودان در جنوب شهر به هم متصل شده‌اند، پس از پیمودن مسیری به طول حدود ۳۰ کیلومتر، نهایتا به سد میناب سرازیر می‌شوند. سیلاب‌های فصلی نواحی اطراف نیز پس از سرازیر شدن از ارتفاعات به پهنه آبرفتی رودخانه دهبارز می‌ریزند.

مدل ویکور: مدل ویکور، از جمله مدل‌های پرکاربرد در تصمیم‌گیری و انتخاب گزینه برتر است که با توجه به اهداف و نیاز پژوهش، در این مطالعه استفاده شده که در زیر به معرفی کامل این مدل پرداخته شده است. این مدل از سال ۱۹۸۴ بر مبنای روش توافق جمعی و با داشتن معیارهای متضاد تهیه شده است و عموما برای حل مسایل گسسته کاربرد دارد. این روش برای بهینه‌سازی چندمعیاره سامانه‌های پیچیده توسعه یافته است. تفاوت اصلی این مدل با مدل‌های تصمیم‌گیری سلسله مراتبی یا شبکه‌ای این است که برخلاف آن‌ها، در این مدل، مقایسات زوجی بین معیارها و گزینه‌ها صورت نمی‌گیرد و هر گزینه به‌طور مستقل به‌وسیله یک معیار سنجیده و ارزیابی می‌شود.

انتخاب پارامترهای موثر در مکان‌یابی: ابتدا، داده های تاثیرگذار در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی شامل

کاربری اراضی، زمین‌شناسی، نقاط روستا با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، داده‌های هواشناسی، هیدرومتری، گسل، قنات، چاه، چشمه و مناطق مسکونی، تهیه شد. ارزیابی نظرات کارشناسی در روش AHP، پس از استخراج تمامی معیارها و زیرمعیارهای مورد نیاز در این مطالعه و تهیه فرم‌های نظرخواهی متخصصان که در این پژوهش تعداد ۲۰ فرم نظرخواهی متخصصان از استادان دانشگاه‌ها و ۱۰ فرم نظرخواهی کارشناسان متخصص در این زمینه مورد استفاده قرار گرفت. نظرات کارشناسی مورد ارزیابی قرار گرفت تا نرخ ناسازگاری آن تعیین شد. نرخ ناسازگاری، شاخصی است که میزان سازگاری پاسخ‌های خبرگان به ارزیابی‌ها و مقایسات زوجی را اندازه‌گیری می‌کند. به عبارت دیگر، با کمک شاخص نرخ ناسازگاری می‌توان پی برد که بین مقایسات دو به دو و زوجی در پرسشنامه‌های پرشده سازگاری وجود دارد یا خیر (Rahmani, 2020).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig. 1. Location of the study area

انتخاب محدوده‌های پتانسیل‌دار: در گام نخست، بررسی‌ها برای شناسایی محدوده‌های پتانسیل‌دار برای احداث سد زیرزمینی انجام گرفت. به این منظور، از داده‌های استخراج شده از نقشه‌های پایه، یافته‌های موجود در این زمینه و همچنین نظرات کارشناسی استفاده شد. در ابتدا، با استفاده از معیارهای حذفی مانند رده آبراهه، شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، گسل، قنات و چشمه، محدوده‌های دارای توانایی بالقوه به‌منظور احداث سد زیرزمینی مشخص شد. برای تسریع در امر تصمیم‌گیری و همچنین، پرهیز از جمع‌آوری اطلاعات مازاد بر نیاز، ابتدا لازم است تا نقاط نامناسب حذف شوند. به‌طور نمونه، یکی از معیارها برای انتخاب مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی، شیب بستر آبراهه است. شیب مناسب بستر آبراهه، برای احداث سد زیرزمینی، با این فرض که شیب سنگ کف رودخانه از شیب بستر تبعیت می کند، نباید بیشتر از پنج درصد باشد (Permoradian et al., 2013 و ArabKhazaeli et al., 2015) . به‌علاوه، در این مناطق به‌دلیل کم شدن سرعت آب، زمان نفوذ افزایش می‌یابد. در نتیجه مناطقی از رودخانه که شیب بستر آن بیش از پنج درصد باشد، برای احداث سد زیرزمینی مناسب نیستند.

تهیه نقشه‌های پایه: در این پژوهش، با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع ۱۰ متری منطقه مورد مطالعه دریافت شده از سازمان نقشه‌برداری، نقشه شبکه آبراهه استخراج شد. پس از مشخص ساختن

رده آبراهه‌های حوزه آبخیز در محیط GIS به روش استرالر[1] که متداول‌ترین روش برای این منظور است، آبراهه‌های حوضه رتبه‌بندی شدند.

رتبه‌بندی آبراهه‌ها در این روش، به این ترتیب انجام می‌شود که سرشاخه هر آبراهه را که از ارتفاعات شروع می‌شود، آبراهه رده ۱ گویند. از اتصال دست کم دو رودخانه رده ۱، رودخانه رده ۲ به‌وجود می‌آید. رودخانه رده ۲، زمانی به رودخانه رده ۳ تبدیل می شود که دست کم یک رودخانه رده ۲ دیگر به آن بپیوندد و به همین ترتیب تا انتهای حوضه، رودخانه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند.

شماره رده رودخانه در نقطه تمرکز نشان‌دهنده درجه تکامل شبکه آبراهه‌ها در حوضه بالادست آن نقطه است. این روش دارای پیش‌زمینه قوی ریاضی است. در واقع درجه هر کدام از محل‌های تلاقی آبراهه‌ها، ارتفاع سرشاخه‌ای است که توانسته یک شبکه دودویی کامل را ترتیب دهد. علاوه بر مزیت‌هایی که ذکر شد، این روش معایبی نیز دارد که عدم تشخیص شاخه اصلی شبکه آبراهه از آن موارد است. در این پژوهش، آبراهه‌ها از رتبه ۱ تا ۵، درجه‌بندی شدند. از آنجا که شیب آبراهه باید کمتر از پنج درصد باشد تا بتوان انتظار تشکیل مخزن آب زیرزمینی با حجم مناسب را داشت (Salami et al., 2006)، لذا، آبراهه‌های رده سه تا پنج به‌عنوان شبکه آبراهه مناسب در نظر گرفته شدند و آبراهه رده ۱ و ۲، به‌دلیل کمبود جریان سطحی و رواناب به‌عنوان آبراهه های نامناسب در نظر گرفته و حذف شدند (Dorfeshan et al., 2017، Eisavi et al., 2012). برای تهیه نقشه شیب نیز از نقشه مدل رقومی ارتفاع ۱۰ متری، استفاده شد. از آنجا که بهترین شیب برای احداث سد زیرزمینی، شیب کمتر از پنج درصد است (Permoradian et al., 2013)، پس از به‌دست آوردن لایه شیب طبقات مناسب شیب در محیط نرم‌افزار Arc/GIS به‌دست آمد.

برای تهیه نقشه پراکندگی قنات‌ها در منطقه مورد مطالعه، ابتدا مختصات UTM مظهر و مادر چاه از نقشه پراکندگی که به‌وسیله سازمان آب منطقه‌ای استان هرمزگان آماده شده بود، تهیه شد و مطابق با مرز منطقه مورد مطالعه برش داده شد.

نقشه کاربری اراضی منطقه نیز با استفاده از سنجش از دور بر روی تصویر لندست ۸ سال ۲۰۱۹ تهیه شد و صحت‌سنجی آن با استفاده از نقاط کنترل زمینی صورت گرفت. انواع کاربری‌های موجود شامل جنگلی، کشاورزی، بایر، خشکه‌رودها، پهنه آبی و مناطق مسکونی، مشخص شدند. نقشه زمین‌شناسی منطقه از روی نقشه پایه زمین‌شناسی با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ تهیه شد. از طریق این نقشه، دو قسمت عمده سنگ بستر و دیواره مخزن سد به‌دلیل جلوگیری از هدررفت آب باید فاقد آبگذری باشند. همچنین، بخش‌هایی از رودخانه که دارای پادگانه‌های آبرفتی مرتفع در جناحین با بافت درشت و نفوذپذیری بالا هستند، به عنوان مناطق نامناسب برای احداث سد زیرزمینی طبقه‌بندی شدند (Mohammadi Fatida, 2000). نقشه‌های گسل و پراکنش چشمه‌ها نیز به‌ترتیب از نقشه‌های رقومی پایه با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ اخذ شده از اداره کل منابع طبیعی هرمزگان و سازمان آب منطقه‌ای استخراج شد. سپس، برای به‌دست آوردن محدوده‌های مناسب احداث سد زیرزمینی، طبق منطق بولین (AND) بر روی تمام نقشه‌های به‌دست آمده عملیات روی هم‌گذاری[2] انجام شد. به این ترتیب، مناطق دارای پتانسیل برای احداث سد زیرزمینی استخراج شد.

مشخص کردن محورهای مناسب: پس از مشخص کردن محدوده‌های مناسب در منطقه مورد بررسی، لازم است تا محورهای مناسب از نظر طول محور، مخزن، عمق و لیتولوژی کناره‌ها، در هر محدوده مشخص شود. در این مرحله، ابتدا در تنگه‌های موجود در هر محدوده، چند محور مشخص شد. در ادامه، مساحت مخزن هر محور در محیط Arc/GIS مشخص شد. با توجه به این‌که هرچه طول محور سد کمتر باشد، حجم کار سازه‌ای کاهش و عملیات اجرا با سرعت بیشتری پیش می‌رود. بنابراین، مناسب‌ترین محورها آن‌هایی هستند که علاوه بر طول کم محور سد، دارای گسترش سطحی زیاد مخزن در بالادست

[1] Strahler

[2] Overlay

محور باشند (ArabKhazaeli et al., 2015). در این پژوهش، طول و عرض محدوده‌های مناسب به‌صورت سنجش از دور اندازه‌گیری و با پیمایش زمینی تدقیق شد. شکل ۲، تصویر ماهواره‌ای منطقه را نشان می دهد.

شکل ۲- تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه برای مکان‌یابی سد زیرزمینی

Fig. 2. Satellite image of the studied area to locate the underground dam

اولویت‌بندی مناطق مناسب برای احداث سد زیرزمینی با استفاده از روش ویکور: با توجه به روش‌های مورد استفاده برای مکان‌یابی سد زیرزمینی، مشخص شد که ۱۵ مکان برای احداث سد زیرزمینی بر اساس داده‌های پایه مناسب‌اند. طبق بررسی‌های صورت گرفته در مطالعات میدانی، فاصله سایر سایت‌ها تا روستا بسیار زیاد بوده که احداث سد زیرزمینی از نظر اقتصادی در این مناطق مقرون به صرفه نیست و در بعضی از سایت‌های پیشنهادی داده‌ها و اطلاعات کافی برای پژوهش در دسترس نبوده است و همچنین، از نظر کمیت و کیفیت آب از اهمیت کمتری برخوردار بوده‌اند. به همین علت، سایر سایت های مستعد به‌علت فاصله از مراکز تمرکز جمعیتی و کشاورزی در حال حاضر رد شدند و در نهایت، با مطالعات میدانی و همچنین، دیگر داده‌های موجود، از بین مکان‌های اولیه شناسایی شده، هشت مکان به‌عنوان مکان‌های نهایی مناسب برای احداث سد زیرزمینی تعیین شدند. حال لازم است که این مکان های نهایی شده، برای احداث سد، اولویت‌بندی شوند.

نتایج و بحث

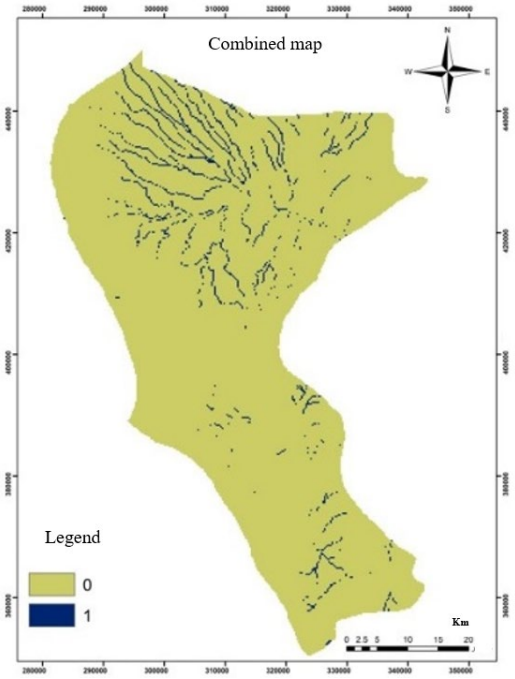
با توجه به موقعیت منطقه مورد مطالعه و آمار و اطلاعات موجود برای اولویت‌بندی این مناطق، از روش های AHP و VIKOR استفاده شد.

نتایج نقشه‌های پایه در مرحله اول: بهترین شیب برای احداث سد زیرزمینی، شیب کمتر از پنج درصد است. محل احداث سد زیرزمینی نباید بر روی میزان آبدهی قنات‌ها تاثیر منفی داشته باشد. مخزن ذخیره آب در پشت سد می‌تواند بر روی سنگ بستر و یا سازندهای سست‌تر ولی با نفوذپذیری کمتر قرار گیرد. به‌طور کلی، محل احداث این گونه سدها بهتر است در دره‌ها و یا رودخانه‌های باریک و یکدست انتخاب شود. بخش‌هایی از رودخانه که دارای پادگانه‌های آبرفتی مرتفع در جناحین با بافت درشت و نفوذپذیری بالا هستند، جز مناطق نامناسب برای احداث سد زیرزمینی طبقه‌بندی شدند و حذف شدند.

شکستگی‌ها و گسل‌ها، باعث از بین رفتن آب مخزن سد زیرزمینی می‌شوند. بنابراین، گسل‌ها جزء مناطق نامناسب محسوب می‌شوند و از ادامه بررسی حذف شدند. چشمه‌هایی که احداث سد زیرزمینی بر روی آبدهی آن‌ها تاثیر منفی داشته باشند، نیز حذف شدند. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی از نقشه‌های پایه در مرحله اول، به تلفیق نقشه‌ها پرداخته شد. به این ترتیب، نقشه تلفیقی منطقه که نشان‌دهنده نواحی پتانسیل‌دار است، به‌دست آمد. شکل ۳، نقشه حاصل از تلفیق داده‌های رقومی را نشان می‌دهد.

در این پژوهش، به‌منظور تعیین مکان‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی معیارهای موثر به چهار معیار اصلی و تعداد شش زیرمعیار تقسیم شده‌اند. پس از مشخص شدن درجه اهمیت هر یک از معیارها نسبت به یکدیگر که با بهره‌گیری از نظرات افراد خبره و همچنین، مقالات متعدد در این زمینه صورت گرفته

است، وزن هر یک از معیارها به روش AHP در نرم افزار Expert choice به‌دست آمده است. نرخ ناسازگاری کلی عدد ۰/۰۱ به‌دست آمده است که مورد قبول است. جدول‌های ۱ و ۲، به‌ترتیب وزن معیارها و ماتریس تصمیم‌گیری را نشان می‌دهند.



شکل ۳- نقشه تلفیقی منطقه مورد مطالعه برای مکان‌یابی سد زیرزمینی
Fig. 3. Consolidated map of the studied area for locating the underground dam

رتبه‌بندی به روش ویکور

گام اول: تعیین بردار وزن

جدول ۱- وزن معیارها
Table 1. Weight of criteria

	Depth axis	The length of the axis	Slope	Water quantity	Water quality	Distance from the village	Water requirement
Weights	0.124	0.124	0.124	0.124	0.117	0.124	0.264
Criterion type	+	+	-	+	+	-	+

گام دوم: تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری

جدول ۲- ماتریس تصمیم‌گیری
Table 2. Decision matrix

	Depth axis	The length of the axis	Slope	Water quantity	Water quality	Distance from the village	Water requirement
Site 1	5	1	1	2	7	6	3
Site 2	7	7	3	1	7	5	5
Site 3	5	6	7	3	7	6	5
Site 4	5	5	5	2	7	7	7

ادامه جدول ۲

Table 2 Continued

Site 5	5	6	7	7	7	7	7
Site 6	5	7	7	6	7	7	4
Site 7	2	3	7	1	6	7	7
Site 8	5	3	4	7	7	3	3

گام سوم: نرمال کردن ماتریس تصمیم‌گیری (جدول ۳)

جدول ۳- ماتریس نرمال شده

Table 3. Normalized matrix

The mean matrix	Water quantity			Water quality			Distance from the village			Water requirement		
Limit	U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L
Site 1	7	5	3	10	10	9	10	9	7	5	3	1
Site 2	10	9	7	10	10	9	9	7	5	9	7	5
Site 3	10	9	7	10	10	9	10	9	7	9	7	5
Site 4	9	7	5	10	10	9	10	10	9	10	10	9
Site 5	10	10	9	10	10	9	10	10	9	10	10	9
Site 6	10	9	7	10	10	9	10	10	9	7	5	3
Site 7	10	9	7	10	9	7	10	10	9	10	10	9
Site 8	10	10	9	10	10	9	5	3	1	5	3	1

The mean matrix	Depth axis			The length of the axis			Slope		
Limit	U	M	L	U	M	L	U	M	L
Site 1	9	7	5	1	0	0	1	0	0
Site 2	10	10	9	10	10	9	5	3	1
Site 3	9	7	5	10	9	7	10	10	9
Site 4	9	7	5	9	7	5	9	7	5
Site 5	9	7	5	10	9	7	10	10	9
Site 6	9	7	5	10	10	9	10	10	9
Site 7	3	1	0	5	3	1	10	10	9
Site 8	9	7	5	5	3	1	7	5	3

گام چهارم: تهیه ماتریس نرمال شده وزین (جدول ۴)

جدول ۴- ماتریس نرمال شده وزین

Table 4. Weighted normalized matrix

The mean matrix	Water quantity			Water quality			Distance from the village			Water requirement		
Limit	U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L
Site 1	0.868	0.62	0.372	1.17	1.17	1.053	1.24	1.116	0.868	1.32	0.792	0.264
Site 2	1.24	1.116	0.868	1.17	1.17	1.053	1.116	0.868	0.62	2.376	1.848	0.32
Site 3	1.24	1.116	0.868	1.17	1.17	1.053	1.24	1.116	0.868	2.376	1.848	1.32
Site 4	1.116	0.868	0.62	1.17	1.17	1.053	1.24	1.24	1.116	2.64	2.64	2.376
Site 5	1.24	1.24	1.116	1.17	1.17	1.053	1.24	1.24	1.116	2.64	2.64	2.376
Site 6	1.24	1.116	0.868	1.17	1.17	1.053	1.24	1.24	1.116	1.848	1.32	0.792
Site 7	1.24	1.116	0.868	1.17	1.053	0.819	1.24	1.24	1.116	2.64	2.64	2.376
Site 8	1.24	1.24	1.116	1.17	1.17	1.053	0.62	0.372	0.124	1.32	0.792	2.264

The mean matrix	Depth axis			The length of the axis			Slope		
Limit	U	M	L	U	M	L	U	M	L
Site 1	1.116	0.868	0.62	0.124	0	0	0.124	0	0
Site 2	1.24	1.24	1.116	1.24	1.24	1.116	0.62	0.372	0.124
Site 3	1.116	0.868	0.62	1.24	1.116	0.868	1.24	1.24	1.116

ادامه جدول ۴

Table 4 Continued

Site 4	1.116	0.868	0.62	1.116	0.868	0.62	1.116	0.868	0.62
Site 5	1.116	0.868	0.62	1.24	1.116	0.868	1.24	1.24	1.116
Site 6	116	0.868	0.62	1.24	1.24	1.116	1.24	1.24	1.116
Site 7	0.372	0.124	0	0.62	0.372	0.124	1.24	1.24	1.116
Site 8	1.116	0.868	0.62	0.62	0.372	0.124	0.868	0.62	0.372

گام پنجم: تعیین نقطه ایده‌آل مثبت و منفی

جدول ۵، نقاط ایده‌آل مثبت و منفی ماتریس را نشان می‌دهد.

جدول ۵- نقطه ایده‌آل مثبت و منفی ماتریس

Table 5. Positive and negative ideal point of the matrix

Water quantity			Water quality			Distance from the village			Water requirement			Solutions
U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L	Limit
10	10	9	10	10	9	5	3	1	10	10	9	Positive ideal
1	0	0	10	9	7	10	10	9	5	3	1	Negative ideal
Depth axis			The length of the axis				Slope					Solutions
U	M	L	U	M	L		U	M	L			Limit
10	10	9	10	10	9		1	0	0			Positive ideal
3	1	0	1	0	0		10	10	9			Negative ideal

گام ششم: تعیین سودمندی و تاسف

S_i، بیانگر فاصله نسبی گزینه iام از راه‌حل ایده‌آل مثبت (بهترین ترکیب) و R_i بیانگر حداکثر ناراحتی گزینه iام از دوری از راه‌حل ایده‌آل مثبت است. جدول ۶ تا ۸ به ترتیب ماتریس سودمندی، ماتریس تأسف و مطلوبیت و عدم مطلوبیت نهایی ماتریس را نشان می دهند.

جدول ۶- ماتریس سودمندی

Table 6. Utility matrix

Desirability	S		
Limit -->	U	M	L
Site 1	1.4188	0.6472	0.186
Site 2	0.9637	0.3452	-0.054
Site 3	1.1703	0.484	0.0439
Site 4	0.9373	0.4009	-0.0039
Site 5	0.7823	0.3017	-0.0597
Site 6	1.1783	0.4903	0.065
Site 7	1.3522	0.6998	-0.0395
Site 8	1.2018	0.4541	-0.0648

جدول ۷- ماتریس تأسف

Table 7. Regret matrix

Lack of desirability	R		
Limit	U	M	L
Site 1	0.594	0.264	0.1173
Site 2	0.33	0.124	0.0992
Site 3	0.33	0.124	0.0992
Site 4	0.279	0.124	0.0744
Site 5	0.279	0.124	0.0992
Site 6	0.462	0.1886	0.0992
Site 7	0.351	0.124	0.0992
Site 8	0.594	0.264	0.1173

جدول ۸- مطلوبیت و عدم مطلوبیت نهایی ماتریس

Table 8. The desirability and Lack of ultimate utility of the matrix

Desirability and lack of desirability	R			S		
Limit	U	M	L	U	M	L
Site 1	0.594	0.264	0.1173	1.4188	0.6472	0.186
Site 2	0.33	0.124	0.0992	0.9637	0.3452	-0.054
Site 3	0.33	0.124	0.0992	1.1703	0.484	0.0439
Site 4	0.279	0.124	0.0744	0.9373	0.4009	-0.0039
Site 5	0.279	0.124	0.0992	0.7823	0.3017	-0.0597
Site 6	0.462	0.1886	0.0992	1.1783	0.4903	0.065
Site 7	0.351	0.124	0.0992	1.3522	0.6998	-0.0395
Site 8	0.594	0.264	0.1173	1.2018	0.4541	-0.0648

گام هفتم: محاسبه شاخص ویکور

جدول ۹ و شکل ۴، شاخص ویکور نتیجه شده را نشان می‌دهد.

جدول ۹- شاخص ویکور

Table 9. Vikor index

Vikor index	Q		
Limit	U	M	L
Site 1	3.7192	0.934	-2.8509
Site 2	2.2046	0.0546	-1.841
Site 3	2.4642	0.2289	-1.8261
Site 4	1.9894	0.1246	-1.7183
Site 5	1.7947	0	-1.6998
Site 6	2.9457	0.4675	-2.241
Site 7	2.7676	0.5	-2.0435
Site 8	3.4467	0.6914	-2.671

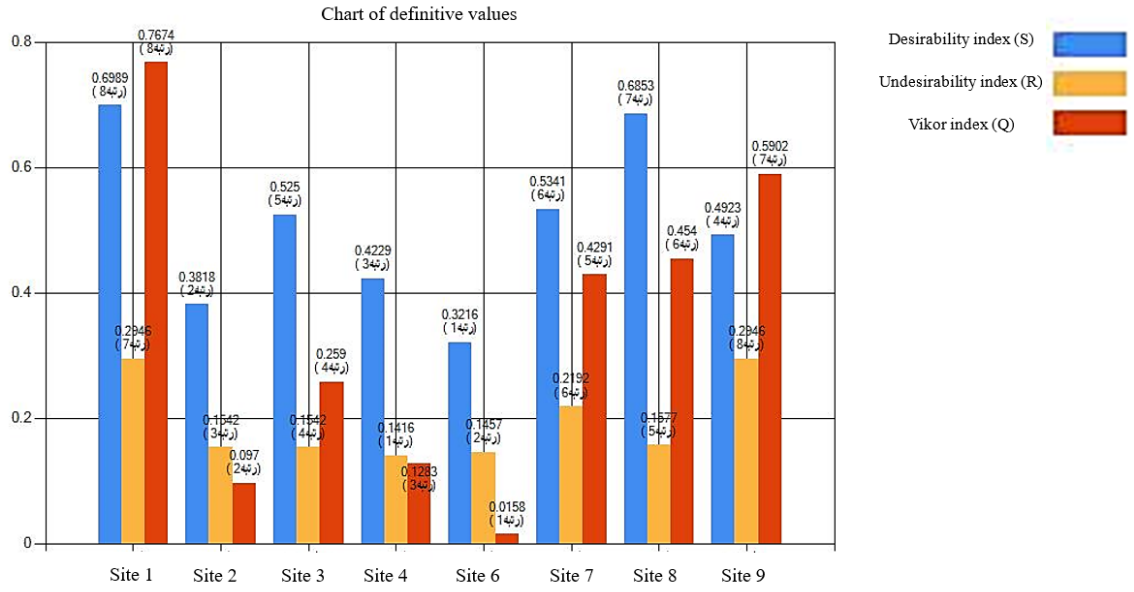
گام هشتم: رتبه‌بندی گزینه‌ها

در گام پایانی گزینه‌ها بر اساس مقادیر S، R و Q در سه گروه از کوچک به بزرگ مرتب می‌شوند. بهترین گزینه آن است که کوچک‌ترین Q را داشته باشد. بدین ترتیب، بر مبنای شاخص ویکور رتبه اول متعلق به سایت ۵ و رتبه دوم متعلق به سایت ۲ است. جدول ۱۰، نتایج حاصل از رتبه‌بندی گزینه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰- رتبه‌بندی گزینه‌ها

Table 10. Ranking of options

/ Exact values rank	rank	Q	rank	R	rank	S
Site 1	8	0.7674	7	0.2946	8	0.6989
Site 2	2	0.097	3	0.1542	2	0.3818
Site 3	4	0.259	4	0.1542	5	0.525
Site 4	3	0.1283	1	0.1416	3	0.4229
Site 5	1	0.0158	2	0.1457	1	0.3216
Site 6	5	0.4291	6	0.2192	6	0.5341
Site 7	6	0.454	5	0.1577	7	0.6853
Site 8	7	0.5902	8	0.2946	4	0.4923



شکل ۴- نمودار مقادیر قطعی شاخص ویکور

Fig. 4. The diagram of definitive values of Vikor index

نتیجه‌گیری

بررسی نتایج به‌دست آمده از تعیین اهمیت و وزن زیرمعیار کمیت و کیفیت آب نسبت به یکدیگر، بر اساس نظرات کارشناسی نشان داده شده و وزن نهایی زیر معیارها، کمیت آب در مقایسه با کیفیت آن، از اهمیت بیشتری برخوردار است. چرا که هدف از احداث سد زیرزمینی کنترل و جمع‌آوری جریان آب است که با نتایج تحقیقات مشابه درباره جمع‌آوری آب با استفاده از سد زیرزمینی با تاکید بر کمیت آب همخوانی دارد (Kheirkhah ،Kharazi et al., 2017 .(Nilsson, 1998 ،Zarkesh et al., 2008

هرچه آبراهه دارای جریان زیرسطحی بیشتری باشد، دارای اهمیت بیشتری نسبت به دیگر آبراهه‌ها است. پژوهش حاضر نشان داد که مناسب‌ترین آبراهه ها برای احداث سد زیرزمینی، آبراهه‌های با رتبه ۳ و ۴ است که با نتایج تحقیقاتی در این زمینه همخوانی دارد (Chezgi et al., 2010, 2016، Kharazi et al., 2017).

نتایج به‌دست آمده از کیفیت آب بر اساس مقدار pH و EC آب، در اولویت اول و دوم نشان داد که هر چه کیفیت آب بالاتر باشد، اهمیت نسبی بیشتری نیز دارا است. در مورد کیفیت آب، چنانچه در منطقه مورد بررسی منابع آلوده‌کننده آب مانند گنبدهای نمکی، رسوبات تبخیری، کارخانجات بزرگ صنعتی و نظایر آن وجود داشت، در مرحله اول مکان‌یابی، مناطق پایین دست این منابع، به‌عنوان مکان‌های نامناسب در نظر گرفته و حذف شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، کیفیت آب در اولویت اول و دوم در حد خیلی خوب است.

نتایج بررسی وضعیت محور نشان داد که طول و عمق محور سد زیرزمینی بیشترین اهمیت نسبی را در بین شاخص‌های محور به خود اختصاص داده است، زیرا در اقتصادی بودن یک سد زیرزمینی عمق و طول محور، بیشترین اهمیت را دارا هستند. به‌دلیل محدودیتی که در عمق حفاری نسبت به طول محور وجود دارد، این معیار در درجه اول اولویت قرار دارد که با نتایج تحقیقاتی مبنی بر این‌که مهم‌ترین محدودیت در احداث سد زیرزمینی، مد نظر قرار دادن عمق محور است، همخوانی دارد (Chezgi et al., 2016، Kharazi et al., 2017، Pirmoradi et al., 2010).

نتایج بررسی معیار نیاز آبی نشان داد، که بخش اقتصادی-اجتماعی از درجه اهمیت و اولویت بالایی برخوردار است. زیرا نیاز آب شرب از مهم‌ترین معیارهای تاثیرگذار در این امر است که با نتایج پژوهش مشابهی مطابقت دارد (Nilsson, 1988).

بررسی نتایج حجم مخزن نشان داد که هرچه حجم مخزن بزرگ‌تر باشد، بهتر است. در سدهای

زیرزمینی بر خلاف سدهای معمولی کـه بـزرگ بـودن حجم مخزن به‌دلیل تلفات ناشی از تبخیـر یـک عیـب محسوب می‌شود، بهترین مکـان احـداث سـد در یـک رودخانه تنگه‌هایی هستند کـه دارای بیشـترین سـطح مخزن در مناطق بالادست جریان باشند (Azizkhani et al., 2012، Salami, 2006).

طبق نتایج واحدهای زمـین‌شناسـی و نفوذپـذیری منطقه مورد مطالعه، به‌دلیل این‌که نفوذپـذیری تـاثیر زیادی در میزان آبدهی و ضـریب ذخیـره مخـزن سـد زیرزمینی دارد، این پارامتر یکی از پارامترهای مهم در بحث احداث سد زیرزمینی اسـت کـه بـا نتـایج سـایر پژوهش‌های مشابه که مناسب‌ترین مخازن را رودخانـه هایی در نظر گرفتند که بستر آبرفتـی بـا نفوذپـذیری بالا، شیب کم، سطح و عمق مناسب برخـوردار باشـند، مطابقت دارد. چرا که جنس سازندهایی که در اولویـت اول و دوم معرفی شـدند، از شـن و ماسـه بـوده انـد و ضـریب ذخیـره بـالایی دارنـد (Chezgi et al., 2016، Goes et al., 2017).

معرفی سایت‌های پیشنهادی دارای اولویت:

اولویت اول: سایت شماره ۵، با موقعیت جغرافیایی ″۶۵ ′۶۴ °۵۰ طول شرقی و ″۱۰۵ ′۷۰ °۳۰ عرض شمالی، واقع در شرق شهر زیارتعلی با مساحت ۰/۵۸۸۸ کیلومتر مربع است که فاصله از سایت انتخابی تا روستا بین یک تا دو کیلومتر است. شیب در این سایت برابر با ۱/۹۵ درصد که کمتر از پنج درصد است و یکی از بهترین مکان‌ها برای احداث سد زیرزمینی است. بررسی نتایج حاصل از ارتباط بین عوامل موثر بر مکان‌یابی سدهای زیرزمینی 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 است و در صورت کمبود یا نبود جریان آب، مخزن سد زیرزمینی به‌طور کامل آبگیری نشده و مشکلات فراوانی را از جمله تامین نیاز آبی مصرف‌کنندگان ایجاد خواهد کرد که با نتایج پژوهشی درباره جمع آوری آب با استفاده از سد زیرزمینی با تاکید بر کمیت آب همخوانی دارد (Nilsson, 1988).

با استفاده از روش منحنی پوش، مقدار دبی لحظه ای در این سایت برابر با ۱۳۰ متر مکعب بر ثانیه است که در مدل ویکور آن را خیلی خوب توصیف می‌کند. از نظر علمی، عدد pH علامت خوبی برای نشان دادن میزان سختی آب (وجود املاح اضافی مانند کلسیم و منیزم) است. محدوده این عدد برای آب‌های سطحی معمولا بین ۶/۵ تا ۸/۵ و برای آب‌های زیرزمینی بین شش تا ۸/۵ است که میزان pH آب در این سایت برابر با ۷/۹ است که در منطقه مورد مطالعه از کیفیت خیلی خوب برخوردار است. مقدار EC هم به میزان املاح موجود در آب بستگی دارد و هر چقدر این املاح بیشتر باشند، EC یا شوری افزایش می‌یابد.

میزان EC موجود در این سایت برابر با ۱۷۵ میکروموس بر سانتی‌متر است که برای رشد اغلب محصولات کشاورزی در بیشتر خاک‌ها و با تمام روش های آبیاری قابل استفاده است و احتمال بروز مشکل شوری اندک است. سازندهایی که در این سایت وجود دارد، کواترنر است و جنس آن‌ها شامل مارن، شیل، وجود ماسه‌سنگ، شن و کنگلومرا است. نکته قابل بیان دیگر در مورد سازندهای کواترنر این است که نهشته‌های بستر مسیل حاصل فرایند رسوب‌گذاری در اثر کاهش شیب هستند که تحت تاثیر سیلاب‌ها در خروجی حوضه تشکیل شده است. بنابراین، بر اساس توصیفی که از این سازند شده است، کمیت آب بالا، 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 است. با توجه به توضیحات داده شده می‌توان به این نتیجه رسید که نوع سازند تشکیل‌دهنده بنابر ویژگی که می‌تواند داشته باشد، یکی از تاثیرگذارترین و مهمترین نقش‌ها در مکان‌یابی سد زیرزمینی دارد.

در مطالعه‌ای که در بفره سبزوار انجام شده، وجود ماسه‌سنگ، آبرفت درشت‌دانه و کنگلومرا از شرایط مناسب احداث سد زیرزمینی معرفی شده است (Qarzi et al., 2012). همچنین، نتایج پژوهش دیگری بیان‌گر این نکته بود که سازندهای کواترنر از لحاظ پتانسیل تشکیل آبخوان و احداث سد زیرزمینی در بالاترین اولویت قرار دارند (Hasanlu et al., 2009).

اصولا مکان احداث یک سد زیرزمینی را باید در مسیر آبراهه‌های اصلی، رودخانه‌ها و مسیل‌ها جستجو کرد که این سایت در مسیر رودخانه است و در مواقع

بارندگی حجم زیادی از آب از این مسیر عبور می‌کند. به‌طور کلی، هرچه درجه آبراهه بالاتر رود، میزان آبدهی نیز بیشتر می‌شود و به لحاظ مکان‌یابی سد زیرزمینی از اهمیت بیشتری برخوردار است. رده آبراهه در این سایت درجه ۳ و مساحت حوزه آبخیز برابر با ۱۸۴/۷۰ کیلومتر مربع است. شکل ۵، موقعیت محدوده با اولویت اول را نشان می‌دهد.

شکل ۵- سایت شماره ۵ به عنوان اولویت اول
Fig. 5. Site number 5 as first priority

اولویت دوم: سایت ۲ با موقعیت جغرافیایی ″۱۸ ′۱۵ °۵۳ طول شرقی و ″۹۳ ′۱۵۵ °۳۰ عرض شمالی و مساحت ۰/۱۲۲۶ کیلومتر مربع واقع در شش کیلومتری شمال برنطین، به‌دلیل قرارگیری در مجاورت روستای کم جمعیتی که آب آشامیدنی آن از طریق چاه تامین می‌شود، می‌تواند گزینه مناسبی برای احداث سد زیرزمینی باشد و از پمپاژ آب‌های زیرزمینی و همچنین، هدررفت آب‌های سطحی جلوگیری به عمل آمده است که در نهایت، استفاده بهینه آن‌ها را به همراه خواهد داشت. میزان دبی لحظه‌ای در این سایت برابر ۱۲۰ متر مکعب بر ثانیه است.

به‌طور کلی، شیب مناسب برای احداث سد زیرزمینی بین ۰/۲ تا پنج درصد است و شیب در این سایت بین یک تا پنج درصد است. آبی که در مخزن سد ذخیره می‌شود، می‌تواند بسته به کیفیت آن برای مصارف صنعتی، کشاورزی یا آشامیدنی مورد استفاده قرار گیرد. در مرحله مکان‌یابی سد زیرزمینی نیازی به تحلیل دقیق آب نیست، بلکه تعیین شیرین، لب‌شور یا شور بودن آب کافی است. در جایی که آب شور باشد، احداث سد ذخیره‌ای توجیهی ندارد. مگر در مناطقی که هدف از احداث سد زیرزمینی جلوگیری از پیشروی سفره آب شور به سمت سفره شیرین باشد که میزان pH در این سایت برابر با ۷/۹ است.

به‌منظور تعیین کیفیت آب عوامل مختلف فیزیکی، شیمیایی و میکروبی را شناسایی و اندازه‌گیری می کنند. شاخص هدایت الکتریکی* که جزء پارامترهای شیمیایی محسوب می‌شود، از اهمیت بالایی برخوردار بوده، وابسته به میزان یون‌های موجود در آب است. هرچه میزان یون‌ها و شوری آب بیشتر باشد، رسانایی الکتریکی نیز بالاتر است. مدار EC در این سایت برابر با ۱۸۵ میکروموس بر سانتی‌متر است. معمولا کیفیت آب در مخزن سدهای زیرزمینی نسبت به سدهای سطحی بهتر است، چرا که آب موجود در دریاچه سدهای سطحی به‌دلیل راکد ماندن و بالا بودن تبخیر با آلودگی‌های میکروبی و افزایش املاح آب همراه است. هر چند گاهی این امکان وجود دارد که در مخزن سدهای زیرزمینی به‌دلیل تبخیر زیاد و یا وجود سازندهای شورکننده، شوری آب افزایش یابد که این

* Electrical Conductivity (EC)

مشکل با کاهش بارش و تغذیه تشدید می‌شود. سازندهایی که در این سایت وجود دارند کواترنر و سنگ‌ها از جنس ملانژ تکتونیکی، سنگ‌های آهکی افیولیتیک، پلاژیک، چرت و شیل بدون رسوبات ائوسن یا بدون سنگ‌های رسوبی ائوسن، شن، ماسه و رس است.

اصولا مکان احداث یک سد زیرزمینی را باید در مسیر آبراهه‌های اصلی، رودخانه‌ها و مسیل‌ها جستجو کرد. رده آبراهه در این سایت ۳ و مساحت حوزه آبخیز برابر با ۲۰/۷۱۹ کیلومتر مربع است. شکل ۶، موقعیت محدوده با اولویت دوم را نشان می‌دهد.

با نگاهی به محورهای انتخاب شده در این پژوهش، مشاهده می‌شود که بالاترین اولویت‌ها و با ارزش‌ترین محورهای انتخابی در سازندهای کواترنر قرار گرفته که این نکته بیان‌کننده صحت مکان‌نمایی سازه در این پژوهش است. از آنجا که اوج مصرف آب منطقه در فصول بهار و تابستان است، لذا، با احداث سد زیرزمینی می‌توان با استحصال این میزان آب زیرسطحی در شرایط بی‌آبی و بحران در فصول گرم، در افزایش تولیدات دامی، کشاورزی و صنعتی منطقه نقش به‌سزایی داشت.

شکل ۶- سایت شماره ۳ به عنوان اولویت دوم
Fig. 6. Site number 3 as second priority

تقدیر و تشکر

بدین وسیله از کلیه عزیزانی که در تهیه این پژوهش یاری نموده‌اند، کمال تشکر می‌شود.

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافعی وجود ندارد و این مساله مورد تایید همه نویسندگان است.

منابع مورد استفاده

Aminizadeh, M., Ghasemi, M., 2015. Identification of places with suitable direction for building underground dams (feasibility of underground dams). Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi 36 (3), 2670- 2685 (in Persian).

Arabameli, A.R., Sohrabi, M., Rezaei, Kh., Shirani, K., 2018. Locating an underground dam using GIS technique and Hierarchical Analysis Method (AHP). Iranian J. Watershed Manag. Sci. Eng. (41), 51-61 (in Persian).

ArabKhazaeli, A.A., Heshmatpour, A., Seyyediyan, M., Chezgi, J., 2015. Use of GIS to determine areas with potential for underground dam construction through Boolean logic, case study: Kajbid- Balaghli Watershed. The First International Conference on Environment and Natural Resources (in Persian).

Azizkhani, M.J., Naseri, H.R., Afrasiabian, A.W., Shahraki, M., 2012. Integration of multi-criteria decision-making systems and geographical information in locating suitable locations for the construction of an underground dam. First International Conference and Third National Conference on Hydroelectric Dams and Power Plants (in Persian).

Chezgi, J., Malekinejad, H., Ekhtesasi, M.R., Nakhaei, M., 2016. Prioritization of suitable places for construction of underground dams using decision models in arid and semi-arid regions. Khoshkboom 6(2), 83-95 (in Persian).

Chezgi, J., Moradi, H.R., Khairkhah, M.M., 2010. Locating suitable sites for the construction of an underground dam using a multi-criteria decision-making method with emphasis on water resources, case study of the west of Tehran Province. Technical Report, Iranian J. Watershed Manag. Sci. Eng. 4(13), 65-68 (in Persian).

Dorfeshan, F., Heidarnejad, M., Bordbar, A., Daneshiyan, H., 2017. Locating suitable places for construction of underground dam using AHP method of multi-criteria decision making, case study of Indika-Khuzestan region. Water Eng. 5(2), 9-20 (in Persian).

Eisavi, V., Cearami, J., Ali-Mohammadi, A., NikNezhad, A., 2012. Comparison of AHP and fuzzy-AHP decision making approaches in initial locating of suitable area for underground dam construction in Taleghan area. J. Earth Sci. 22(85), 27-34 (in Persian).

Farokhzadeh, B., Attaeian, B., Akhzari, D., Razandi, Y., Bazrafshan, O., 2015. Combination of boolean logic and analytical hierarchy process methods for locating underground dam construction. Ecopersia 3(3), 1065-1075 (in Persian).

Goes, B.j.M., Parajuli, U.N., Haq, M., Wardlaw, R., 2017. Karez (qanat) irrigation in the Helmand River Basin, Afghanistan: a vanishing indigenous legacy. Hydrogeol. J. 25(2), 269-286.

Hasanlu, M.R., KHalafi, J., Hashemi, M., 2009. Locating suitable areas for construction of underground dams in Zanjan Plain using satellite images. The Second National Conference on Dam Construction, Islamic Azad University, Zanjan Branch (in Persian).

Hassanzadeh Nafouti, M., Jamali, A., Falah, A., 2016. Location of underground dams using Multi-Spatial Criteria Assessment (SMCE), case study: Adori Basin, Bam. Iranian J. Watershed Manag. Sci. Eng. 10(32), 69-77 (in Persian).

Ishida, S., Tsuchihara, T., Yoshimoto, S., Imaizumi, M., 2011. Sustainable use of groundwater with underground dams. Jpn. Agric. Res. Q. 45(1), 51-61.

Kharazi, P., Yazdani, M., Ara, H., Khazayelpour, P., 2017. Location of underground dam using hierarchical analysis method, case study: Dasht-e Kavir Watershed. Sepehr Geograph. Info. Quarter. 26(103), 177-185 (in Persian).

Kheirkhah Zarkesh, M., Naseri, H., Davodi, M., Salami, H., 2008. Using analytical hierarchy process for ranking suitable location of groundwater dams construction, case study: northern slopes of Karkas Mountains in Natanz. Pajouhesh Sazandegi (79), 93-101 (in Persian).

Majidi, A.R., 2006. Groundwater resources management using groundwater dam method. J. Water Soil Conserv. 2(1) (in Persian).

Mohammadi Fatida, M., 2000. Groundwater extraction. Ch II, University of Guilan Publications, 291 pages (in Persian).

Mumzai, A., Talebi, A.U., Emami, S.N., 2014. Location of underground dams in Shahrekord region using Boolean logic, study area: Shahrekord and Morghmolk Watershed. National Conference on Water Crisis, Shahrekord University (in Persian).

Nilsson, A., 1988. Groundwater dams for small-scale water supply. Intermediate Technology Publications, London, 1-78 pages.

Permoradian, R., Behbahani, S.M., Nazarifar, H., Velayati, S., 2013. Initial zoning of suitable places for construction of underground dam in Ivaneki Plain. National Conference on Water and Agriculture Resources Challenges, 1- 9 (in Persian).

Pirmoradi, R., Nakhai, M., Asadian, F., 2010. Determining suitable areas for construction of underground dam using geographic information system and hierarchical analysis, case study: Malayer Plain in Hamadan Province. Quart. J. Nat. Geogr. (8), 51-66 (in Persian).

Qarzi, R., Najafi Nejad, A., Nora, N., Dehghani, A.A., 2012. Socio-economic issues of the underground dam in Sabrevar Bafreh Watershed. National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran, Lorestan University Khorramabad, Iran (in Persian).

Rahmani, M., Navidi, H., ZAmanian, M., 2020. A method for modified inconsistency in AHP. Commercial Strategies 7(35), 83-89.

Salami, H., 2006. Determining suitable places for constructing an underground dam in igneous areas using telemetry, case study: northern slope of Vulture Mountains. MsC Thesis, Shahid Beheshti University, 143 pages (in Persian).

Tabatabai Yazdi, J., Nabi Lashkarian, S., 2003. In the translation of underground dams for small-scale water supply, Nelson, A. (author). First Edition, Tehran, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute Publications, 69 pages (in Persian).