Original Article

Journal of Aquifer and Qanat

Spring and Summer 2023, Vol. 4, No. 1, pp 117-137

10.22077/jaaq.2023.7027.1058

Locating an Underground Dam with the Aim of Supplying Water to the Iron ore Mine of Sangan Khaf

Majid Dashti Barmaki [1]✉ | **Zahra Yazdani Noori** [2] | **Taleb Moradinejad** [3]

1. PhD Graduate of Kharazmi University and Expert of Sahel Omid Iranian Consulting Engineers, Tehran, Iran.
2. MSc Graduate, Kharazmi University, Tehran, Iran.
3. PhD Student, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.

✉Corresponding Author: Majiddashti24@gmail.com

Received:
08 December 2023

Accepted:
25 December 2023

Published:
20 January 2024

Keywords:

Tunnel, Groundwater, dischrge, Demattis method, Kerman.

Extended abstract

Introduction

Site selection and construction of a subsurface dam is a managerial solution to the storage of the underground flow to water supply during dry seasons, especially for industrial uses. In this way, due to the existence of different criteria in finding suitable areas for underground dam construction, the evaluation of all the components involved in it requires high accuracy. For this purpose, consolidation of GIS and Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) is an appropriate solution when multiple criteria need to be considered together to rank or choose between alternatives. The present study has focused on the feasibility of extracting water through an underground dam as a suitable solution in the area of Sangan Mine, Khaf Plain.

Material and method

We identified suitable sites for underground dams through a knowledge-based analysis of nine factors, namely lithology, slope, land use, aquifer and city boundary, and distance from the village, fault, roads, and stream. These factors were examined independently for underground dam zoning. Next, the role and importance of each criterion in determining the appropriate location of the underground dam is explained.

Cite this article: Dashti Barmaki, M., Yazdani Noori, Z. & Moradinejad, T. (2023). Locating an underground dam with the aim of supplying water to the iron ore mine of Sangan Khaf. *Journal of Aquifer and Qanat Title*, 4 (1), 117-137. DOI: http//doi.org/10.22077/jaaq.2023.7027.1058

Copyright: © 2022 by the authors. Licensee Journal of Aquifer and Qanat. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

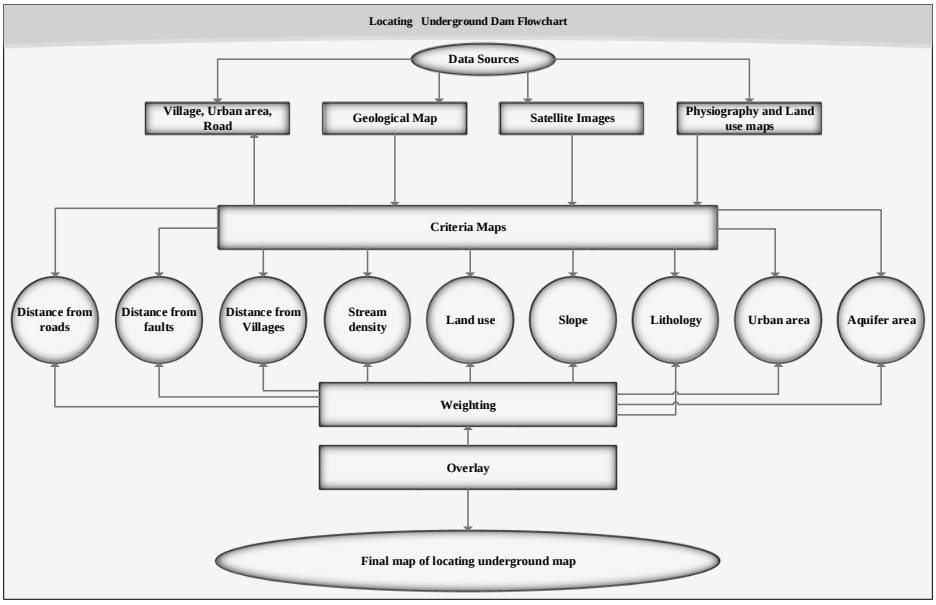


Fig 1. Flowchart of the locating underground dam

Lithology: This layer was prepared using a 1:250,000 Taibad geological map in Arc GIS software. In the preparation of this map, the high potential of the underground dam generally belongs to the plains and alluviums, and other hard formations are of the next importance. Dry lakes and salt flats will also lack importance and rank.

Slope: In the mild slope, the reservoir would have a greater volume, the water flows more slowly, and it has more time to infiltrate into the ground so more water can be stored in the underground dam. This map was also obtained by using the DEM of the area and using the surface analysis functions, where the value of each pixel indicated the value of its slope in degrees.

Distance from streams: When working with stream networks, we can use the Euclidean distance. Maps of streams and watersheds were extracted using the Generate Watershed algorithm in Global Mapper software and using a DEM. Then the distance function, buffer, was applied to them.

Distance from faults: Generally, the underground dam should be constructed at an appropriate distance from the fault because it is dangerous for the structure, and it may also cause water to escape from the reservoir. In the study area, two left-lateral strike-slip faults, Doruneh and Khaf, are observed in the northeast and the center, respectively (Taibad geological map [1:250.000]; Geological Survey and Mineral Exploration of Iran; 1981). To achieve this item, the distance function, buffer, was applied.

Land use: There will usually be a problem of acquiring land in agricultural lands. Areas with residential and industrial use due to the possibility of structural destruction and water pollution (Pirmoradi et al., 2010) cannot be suitable places for the construction of an underground dam and should be excluded from the decision-making process.

Distance from roads and villages: Due to the traffic of vehicles on these routes, the roads are highly polluted and the water near them will have an unfavorable quality. In addition, proximity to the village can be important due to the issue of providing human resources and access. To achieve these items, the distance function, buffer, was applied.

Urban and Aquifer area: Due to the pollutants in these areas, it is impossible to build an underground dam in the area with urban use, and these uses should be excluded from the location studies. Also, due to the great depth of sediments in the aquifers, the construction of an underground dam in them has no logical and economic justification. Binary functions have been used for urban areas and aquifer environments.

A weighting of all criteria is achieved by using a pairwise comparison system of the hierarchy elements, AHP. The algorithm for comparing options and scoring them is

presented in Table 1.

Table 1. Final weighting of effective criteria in the spatial potential of underground dam construction

Parameter	Distance from Village	Distance from streams	Distance from Faults	Lithology	Land Use	Slope	Distance from roads
Weight	0.11	0.13	0.12	0.22	0.25	0.11	0.06

Results And Discussion

The potential of constructing an underground dam in the study area is mostly focused on the bed of seasonal rivers and streams, provided that they are located in lands with suitable land use and geology, away from faults, and in a bed with a suitable longitudinal slope. The optimal point's considerations of the construction of the structure including surface water conditions towards the outlet of the watershed, also geometric and environmental considerations of the underground dam construction site have been considered to determine the final point of the structure construction. Finally, an area located in Nashtifan village, which is optimal in terms of the access route to the consumption place (18 km to the factory), was considered as the best place to build the structure.

Conclusion

Among the suitable areas for the construction of an underground dam in the study area, the stream located in the west was determined as the optimal point from all directions. This point was the location of water collected in the Fadak and Khajeyar kall which was confirmed by water resources, environment, and morphology considerations. In addition to the criteria considered in this research, several criteria should be considered in the implementation phase of underground dam projects, including the depth of bedrock, thickness of alluvium, specific yield, storage coefficient, and transmissivity of the alluvial layer. It is evident that for the implementation stage, it is necessary to carry out geoelectric soundings, as well as do pumping tests.

مقاله پژوهشی

مجله
آبخوان و قنات

دوره چهارم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۲، صفحات ۱۳۷ - ۱۱۷

10.22077/jaaq.2023.7027.1058

مکان‌یابی سد زیرزمینی با هدف تأمین آب معدن سنگ آهن سنگان خواف

مجید دشتی برمکی [۱] ✉ | زهرا یزدانی نوری [۲] | طالب مرادی‌نژاد [۳]

۱. دانش‌آموخته دکتری دانشگاه خوارزمی و کارشناس شرکت مهندسین مشاور ساحل امید ایرانیان، تهران، ایران.
۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
۳. دانشجوی دکتری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.
✉نویسنده مسئول: Majiddashti24@gmail.com :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰

کلیدواژه‌ها:
تنش آبی،
معدن سنگان،
سد زیرزمینی،
سامانه اطلاعات مکانی،
تحلیل سلسله مراتبی.

چکیده

تأمین آب، در پیرامون معادن از جمله دغدغه‌های مهم در مناطق گرم و دارای تنش آبی نظیر معدن سنگ آهن سنگان است. در چنین شرایطی، یکی از روش‌های کنترل و ذخیره آب در دوره های مرطوب برای استفاده در دوره‌های خشک، احداث سدهای زیرزمینی است. با توجه به انبوه پارامترهای تأثیرگذار و دشواری تصمیم‌گیری در مورد مکان‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی، استفاده از روش‌های سامانه اطلاعات مکانی و تحلیل سلسله مراتبی پیشنهاد شده است. برای این منظور، از معیارهایی مانند سنگ‌شناسی، شیب، کاربری اراضی، آبخوان و محدوده شهر و فاصله از روستا، گسل، جاده و نهر استفاده شد. نقشه موضوعی هر پارامتر با استفاده از داده ها در سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. اندازه‌گیری نرخ و وزن نقشه‌ها به‌ترتیب با استفاده از روش قطعی در مقیاس ۰ تا ۹ و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی انجام شد. پس از تهیه نقشه ابتدایی، نقشه نهایی با اعمال ملاحظات آب سطحی، هندسی و زیست‌محیطی تهیه شد. وسعت بالایی از محدوده مطالعاتی در رده پتانسیل متوسط جهت احداث سد زیرزمینی قرار دارند و مناطق با پتانسیل بالا در محل تلاقی آبراهه‌های اصلی با فرعی و در نیمه جنوبی محدوده مطالعاتی قرار دارند. بر این اساس، آبراهه واقع در دهستان نشتیفان که در جنوب غربی مرز خارجی آبخوان خواف قرار دارد و به‌عنوان زهکشی کال فدک در پایاب نیمه شمالی محدوده مطالعاتی عمل می‌کند به‌عنوان نقطه بهینه پیشنهاد گردید.

مقدمه

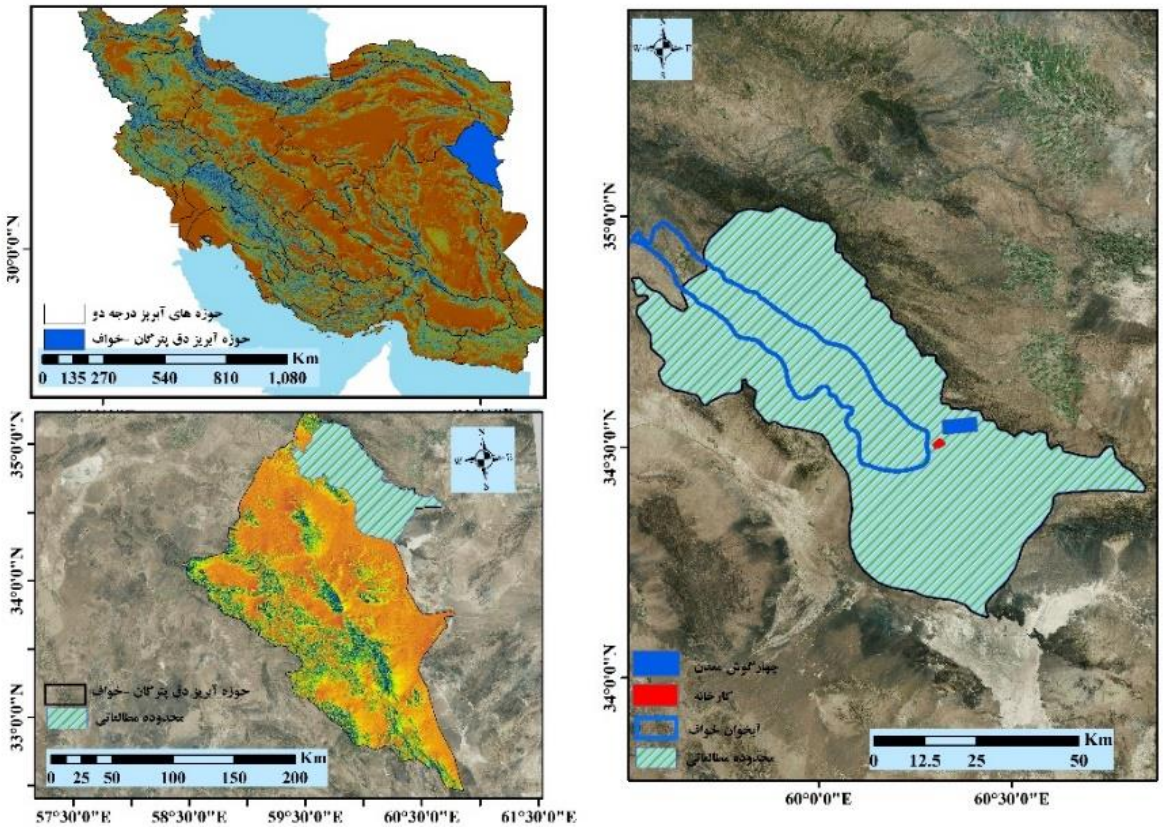
برای رفع نیاز آب در واحدهای صنعتی و معادن به‌ویژه در مناطق خشک دنیا سناریوهای پی‌جویی و تأمین آب از منابع مختلف در نظر گرفته‌می‌شود. بر این اساس و با توجه توزیع نامتعادل زمانی و مکانی آب‌های سطحی، امروزه تقاضا برای آب‌های زیرزمینی جهت این‌گونه مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی افزایش یافته‌است. در نگاه اول، آسان‌ترین راه استفاده از آب‌های زیر زمینی بهره برداری از آبخوان‌های آبرفتی می‌باشد. در این شرایط پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در اولویت خواهد بود، اما در شرایط نبود آبخوان مناسب یا کسری بیش از حد این منابع آبی، تأمین آب از سایر منابع آبی مورد توجه قرار خواهد گرفت. احداث سدهای زیرزمینی بر روی آبراهه و مسیل‌های دارای جریان زیرسطحی از جمله راهکارهای نوپای تأمین آب در جهان و ایران محسوب‌می‌شود (Hasani et al., 2012). سدهای زیرزمینی سازه‌های ساخته شده در زیر سطح زمین بوده که جریان سیال موجود در لایه‌های زمین را مسدود کرده و با ایجاد یک مانع در مقابل جریان آب زیرزمینی سبب ذخیره‌سازی آب در آبرفت بالادست سد می‌شوند (Bigneh, 2011). با احداث سد زیرزمینی به مقدار قابل توجهی از خروج آب زیرزمینی جلوگیری می‌شود. مزایای این سازه نسبت به سدهای سطحی مشتمل بر سهولت و مقرون به صرفه بودن ساخت، عدم تخریب کاربری زمین، دائمی بودن سازه و فقدان اثر تبخیر می‌باشد (Telmer, 2004; Haji azizi et al., 2014). اما به هر حال مکان‌یابی مناسب این گونه سازه‌ها به‌دلیل قرارگیری حجم مخزن در زیر زمین و نبود داده مشکل است چرا که عوامل و معیارهای زیادی شامل معیارهای اجتماعی، اقتصادی، زمین‌شناسی و هیدرولوژی در مکان‌یابی مناسب آن‌ها دخیل می‌باشند (Chezgi, 2020). برای مثال، مکان‌های دارای گسل، محدوده آبخوان‌ها و محل چشمه، چاه و قنوات، محدوده های شهری، کفه‌های رسی–نمکی (زمین‌شناسی) مناطقی هستند که برای احداث سد زیرزمینی مناسب نیستند. بنابراین، ارزیابی تمامی مؤلفه‌های دخیل در مکان‌های بهینه احداث سد زیرزمینی نیاز به‌دقت بالایی دارد. تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به سبب داشتن مزایایی همچون تلفیق همزمان معیارهای کیفی، تحلیل جزءبه‌جزء و ارزیابی پروژه‌ها و همچنین اولویت‌بندی براساس معیارها و شاخص‌ها می‌تواند تا حدودی به کاهش مشکلات مکان یابی سد زیرزمینی کمک کند. محققین مختلفی از سامانه های تصمیم‌ساز چندمعیاره برای مکان یابی سد زیرزمینی استفاده کرده‌اند (Mehrabi et al., 2012; Esavi et al., 2013; Ali et al., 2014; Dai, 2016; Dehghani Bidgoli & Koohbanani, 2021; Damfeh et al., 2022). این مدل‌ها در بسیاری از نقاط دنیا صحت‌سنجی شده و توانایی آن‌ها تأیید شده‌است. در ایران نیز محققین بسیاری از این مدل‌ها بهره جسته‌اند. برای مثال، خرازی و همکاران (Kharazi et al., 2016) در بررسی مکان‌یابی سد زیرزمینی با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی در حوضه دشت کویر نشان دادند که مناطق جنوبی برای احداث سد زیرزمینی مناسب‌ترند. شیرانی و همکاران (Shirani et al., 2017)از تلفیق سامانه‌های تصمیم گیری چندمعیاره با سامانه اطلاعات مکانی برای مکان‌یابی سد زیرزمینی استفاده کردند. طالبی و همکاران (Talebi et al., 2019) از ۱۱ معیار برای اولویت‌بندی مکان‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی در روش ANP استفاده کردند و نتیجه گرفتند که آبراهه‌های با رتبه ۳ و ۴ با شیب زیر ۱۵ درصد بهترین مناطق برای احداث سد زیرزمینی هستند.

معدن و کارخانه سنگ آهن سنگان در جنوب استان خراسان‌رضوی، در ۳۰۰ کیلومتری جنوب شرقی مشهد و ۱۶ کیلومتری بخش سنگان و به فاصله تقریبی ۲۰ کیلومتری مرز افغانستان واقع شده‌است. منطقه مطالعاتی مشتمل بر محدوده زیست محیطی معدن واقع در دشت خواف است که دربردارنده حوضه‌های آبریز کال خواجه یار و کال فدک با مساحتی حدود ۴۵۰۰۰۰ هکتار می‌باشد. محدوده از نظر بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی فقیر است و در برخی نقاط عمق آب در محدوده آبخوان به بیش از ۶۰ متر می‌رسد. عدم وجود رودخانه‌های دائمی در محدوده مطالعاتی دشت خواف به‌علاوه فقر آب زیرزمینی به‌علاوه تخصیص منابع آبی به مصارف مختلف، تأمین آب معدن را با مشکلاتی مواجه کرده است. از این‌رو، این مطالعه به‌سمت امکان‌پذیری استحصال آب به‌طریق سد زیرزمینی به‌عنوان راهکار مناسب این منطقه پرداخته‌است.

مواد و روش‌ها

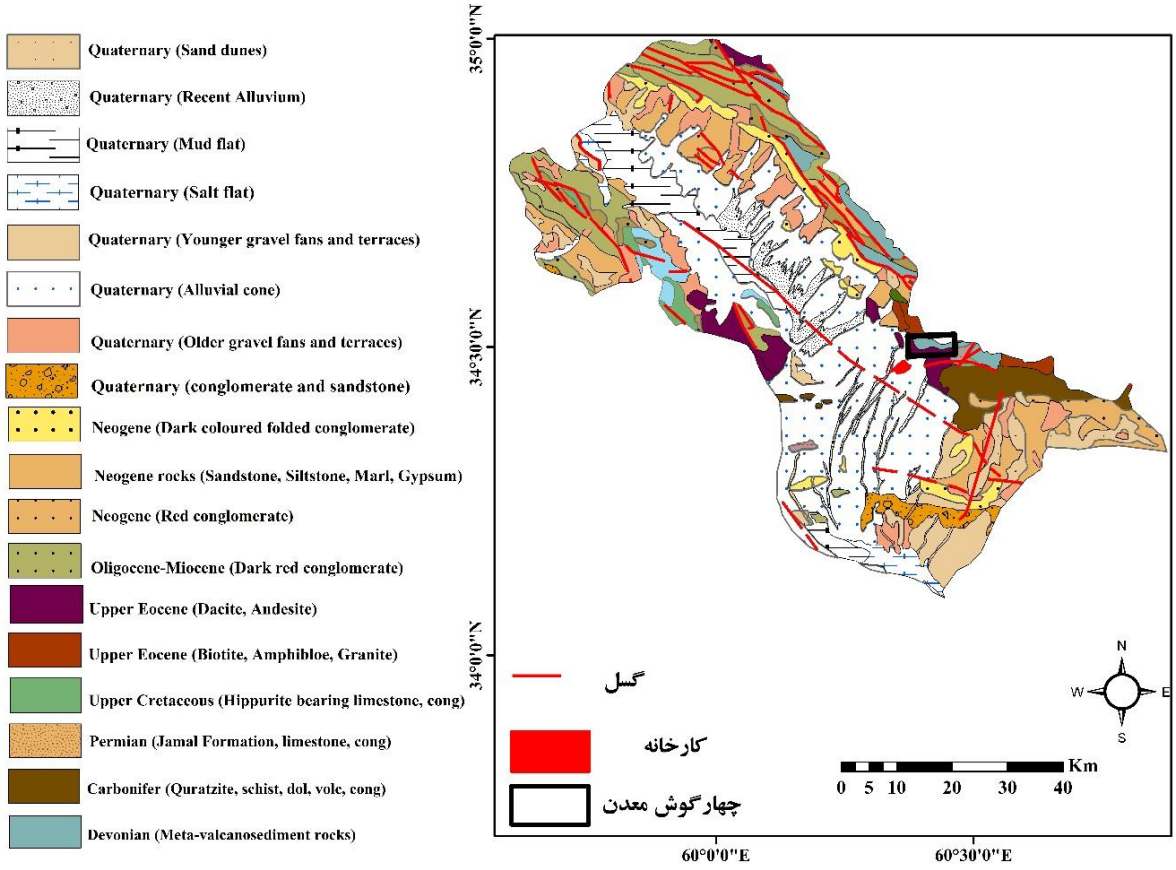
منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی (حدود اثر زیست محیطی معدن سنگان) (محدوده هاشورزده در شکل ۱) در حوضه آبریز درجه‌دو دق پترگان - خواف و در زیرمجموعه حوضه آبریز مرزی شرق قرار دارد (شکل ۱). این محدوده بخش مرکزی و جنوبی دشت و آبخوان خواف را تشکیل داده است. مطالعات سنگ‌چینه‌شناسی نشان‌می‌دهد که منطقه خواف به‌لحاظ سنگ‌شناسی در مجموع با برون زدایی از سنگ آهک، دولو میت، توف و سنگ‌های آتشفشانی متعلق به پالئوزوئیک شروع شده و به آبرفت‌های جوان عهد حاضر و پهنه‌های رسی و شنی ختم می‌گردد. در بخش سنگی سنگان، کهن‌ترین واحدها را چرت، شیل‌های سیلیسی، سیلتستون و آهک بلورین تشکیل می‌دهند. سنگ‌های آتشفشانی کرتاسه تا اوایل ائوسن، شامل داسیت، ریوداسیت، تراکیت، پیروکلاست‌های آندزیتی و سنگ‌های ولکانوکلاستیک هستند. سنگ‌های کربناته ژوراسیک بالایی و کرتاسه زیرین، بیشتر به اسکارن و مرمر دگرگون‌شده‌اند. در بخش شمالی معدن نیز، گرانیت سرنوسر نفوذ کرده است (Karimpour and Malekzadeh, 2007). در خصوص محدوده دشت می توان گفت عمده وسعت منطقه را مخروط‌افکنه‌های آبرفتی عهد حاضر، تراس‌های قدیمی، پهنه‌های رسی، کنگلومرا و ماسه‌سنگ‌های نئوژن تشکیل می‌دهد. واحدهای چینه شناسی منطقه مطالعاتی از قدیم به جدید در شکل ۲ نشان داده‌شده‌است.



شکل ۱. موقعیت معدن و کارخانه سنگان و محدوده اثر زیست محیطی آن‌ها

Fig 1. The location of Sangan mine and factory and their environmental impact zone.



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی

Fig 2. Geological map of the study area

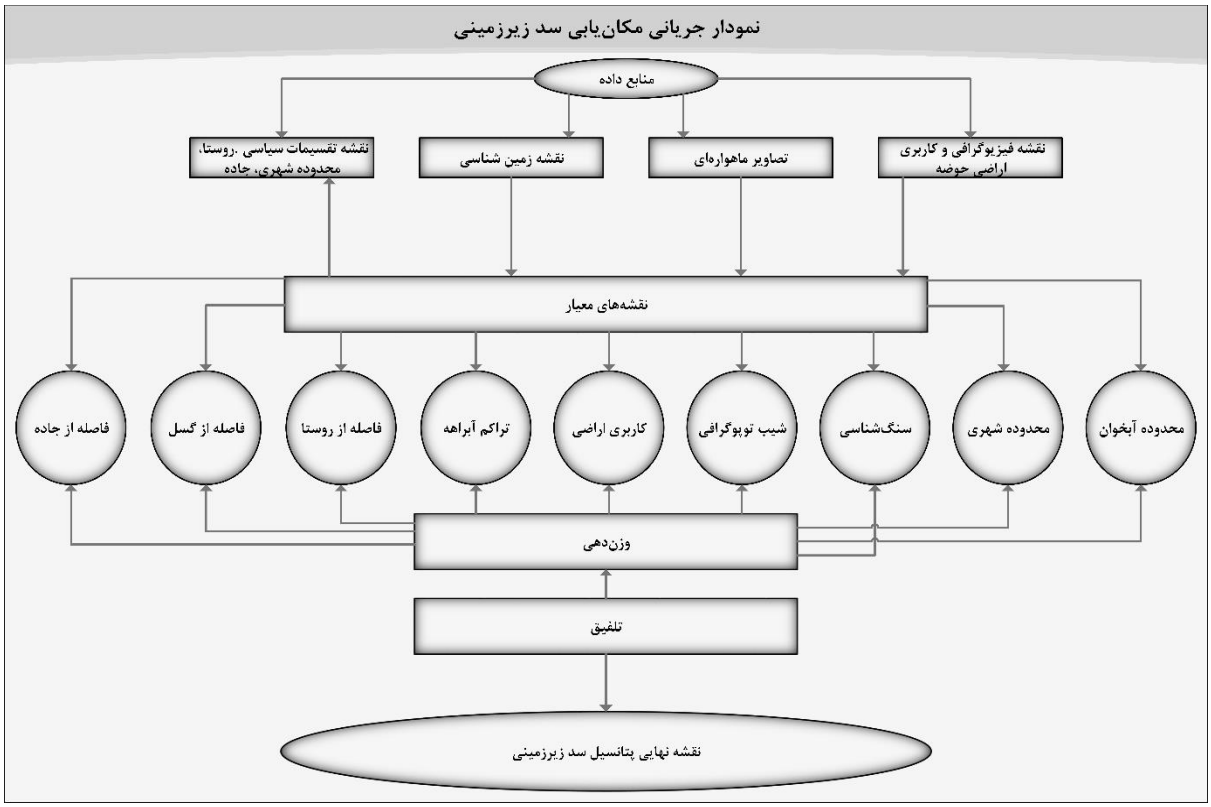
روش تحقیق

مراحل کلی پژوهش شامل گردآوری پیشینه تحقیقات، تعیین معیار، وزن‌دهی با روش سلسله مراتبی، تهیه نقشه نقاط بهینه ساخت سد زیرزمینی با هم پوشانی لایه‌ها و در نهایت بررسی مکان پیشنهادی بر اساس مهم‌ترین معیارها است. در مکان‌یابی سد زیرزمینی از معیارهای مختلفی نظیر سنگ‌شناسی (زمین‌شناسی)، شیب توپوگرافی، کاربری زمین، تراکم شبکه آبراهه، فاصله از روستا و جاده و فاصله از گسل بهره گرفته شده‌است. در نهایت دو مؤلفه محدوده شهری و محدوده آبخوان با عنوان نقاط بدون اولویت در نقشه مکان‌یابی اعمال‌شده‌اند. در ادامه به تشریح پارامترهای مؤثر در مکان یابی سد زیرزمینی جهت تأمین آب معدن سنگان پرداخته شده است (شکل ۳). ارزش‌دهی به رده‌های مختلف در هر پارامتر به‌روش قضاوت مهندسی انجام گردیده‌است.

معرفی پارامترهای مؤثر بر مکان‌یابی سد زیرزمینی و شرایط تأثیر آن‌ها

معیار اول: سنگ‌شناسی (لیتولوژی)

از جمله معیارهای بسیار مهم در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی، بررسی وضعیت زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. نوع سازندها و تأثیر آن‌ها بر کیفیت آب زیرزمینی از عامل‌های مهمی است که باید در محل احداث سد زیرزمینی مدنظر باشد (La et al., 2005). برای ساخت سد زیرزمینی، وجود آبرفت با ضخامت مناسب با نفوذپذیری زیاد و مخروط‌افکنه‌ها بسیار مناسب است، این عامل را می‌توان اصلی‌ترین شرط ساخت سد زیرزمینی دانست. رسوبات آبرفتی در دشت خواف ضخامت متغیری دارد و از مرکز دشت به‌سمت ارتفاعات جنوبی و جنوب غربی از ضخامت آن کاسته می‌شود (Pazhouhab Shargh consultant engineers, 2010). همچنین، قابلیت آبدهی آبخوان در مناطق شرقی دشت به‌دلیل بالا بودن سنگ کف و کیفیت نامطلوب آب زیرزمینی، مناسب نمی‌باشد. بنابراین، از مرز آبخوان به سمت جنوب غربی از نظر سنگ‌شناسی محدوده مناسبی جهت احداث سد زیرزمینی محسوب می‌گردد.



شکل ۳. نمودار جریانی پتانسیل‌یابی سد زیرزمینی

Fig 3. Flowchart of the locating underground dam

لایه اطلاعاتی لیتولوژی با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰,۰۰۰ تایباد سازمان زمین‌شناسی در نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید. سازنده‌ای مختلف در این نقشه با توجه به لیتولوژی غالب، به چند دسته تقسیم‌بندی شدند و به هر کدام برچسبی داده شد. سپس پایگاه داده آن‌ها تصحیح گردید. سپس، با استفاده از توابع تبدیل فرمت های برداری به فرمت‌های رستری که از توابع پردازشی در ArcGISمی‌باشد، نقشه لیتولوژی به یک لایه رستری تبدیل شد. در آخر با استفاده از ابزار هم‌پوشانی وزنی نقشه لیتولوژی رستری شده فراخوانی شد و به هر سازند با توجه به اهمیتی که در مکان‌یابی احداث سد زیرزمینی می‌تواند داشته‌باشد رتبه مناسبی داده شد (جدول ۱). پتانسیل بالای سد زیرزمینی عموماً به دشت و سازنده‌ای عهد حاضر تعلق دارد و سایر سازنده‌ای سخت در درجه اهمیت بعدی قرار دارند. دق (دریاچه خشک) و کفه نمکی نیز فاقد اهمیت و رتبه خواهند بود.

معیار دوم: شیب توپوگرافی

شیب از جمله معیارهای تأثیرگذار در حجم مخزن سد زیرزمینی و همچنین مناسب بودن یک محور به‌منظور احداث سد می‌باشد به شرحی که شیب بسیار بالای منطقه علاوه بر فرسایش، مانع از نفوذ آب به زمین و تغذیه سد زیرزمینی می‌شود. عموماً دره‌های با شیب زیر ۵ درصد به سبب سرعت کم آب در این مناطق و فرصت کافی برای نفوذ آب و تشکیل مخازن مناسب زیر سطحی برای احداث سد زیرزمینی مناسب می‌باشند. به‌منظور تهیه نقشه شیب منطقه از نقشه توپوگرافی با ترازهای ارتفاعی ۱۰ متر در گستره طرح استفاده شده‌است. این نقشه نیز با استفاده از مدل ارتفاع رقومی منطقه و به کارگیری توابع تحلیل سطح به‌دست آمد که ارزش هر سلول رستری در آن نشان‌دهنده مقدار شیب آن بر حسب درجه بود.

معیار سوم: فاصله از آبراهه

معمولاً سدهای زیرزمینی در بستر آبراهه‌ها و خشک‌رودها احداث می‌شوند. در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی، مقدار رواناب یکی از خصوصیت‌های مهم است که رابطه مستقیم با رده آبراهه‌ها دارد. هرچه رده آبراهه‌ها بیشتر باشد اندازه رواناب بیشتر و برای سد زیرزمینی مناسب‌تر می‌باشد. به عبارت دیگر، در مقایسه با کیفیت، کمیت از درجه اهمیت

بالاتری برخوردار است. دلیل این امر این است که اصولاً باید حجم و کمیت مناسبی از آب وجود داشته‌باشد تا بتوان آن را در پشت سد ذخیره کرد و سپس به سایر مسائل پرداخت. به همین دلیل، فاصله از آبراهه‌ها پارامتر مهمی در مکان‌یابی احداث سد زیرزمینی محسوب‌می شود.

در این مطالعه، نقشه آبراهه‌های حوضه آبریز با استفاده از الگوریتم Watershed در نرم‌افزار Global Mapper و با استفاده از نقشه توپوگرافی با ترازهای ارتفاعی ۱۰ متر استخراج شده‌است. سپس، با توجه به اهمیت آبراهه‌ها و رودخانه‌ها، لایه فاصله از این معیار استخراج شده و بر حسب اهمیت هر لایه وزن‌های متغیر داده‌شده‌است. نقشه فاصله از آبراهه‌ها با استفاده از تابع فاصله در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شده‌است (شکل ۴).

معیار چهارم: فاصله از گسل‌ها

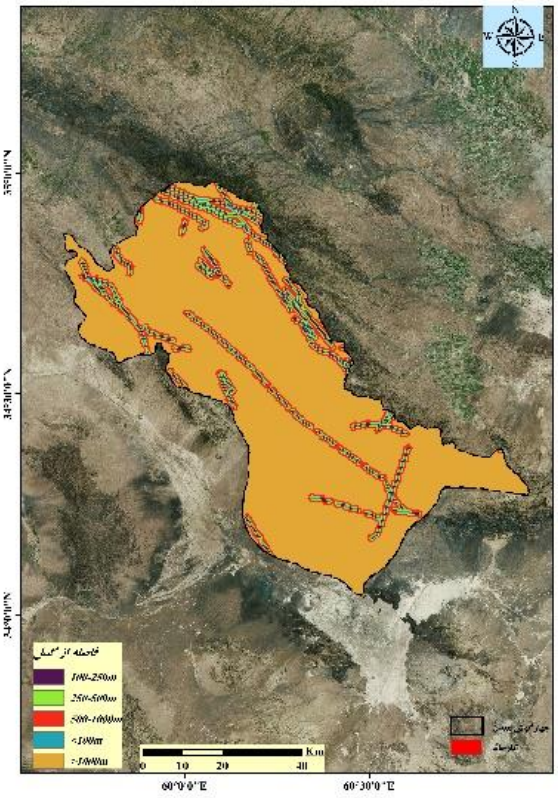
سدهای زیرزمینی نباید در منطقه‌ای احداث شوند که گسل‌های فعال وجود داشته‌باشند، چرا که احداث سدهای زیرزمینی روی گسل‌ها به‌دلیل احتمال فرار آب و افزایش هزینه برای جلوگیری از نشت آب و همچنین امکان لرزه زایی مناسب نیست. این مهم، در مناطقی که آبرفت دارای ضخامت کم‌بر روی سازند قرار دارد اثر بیشتری از خود نشان‌می‌دهد. به‌لحاظ زمین‌ساختی، محدوده خواف محل برخورد بلوک‌های ایران شرقی، افغان و لوت در شرق می باشد. حوضه آبریز شهرستان خواف و محدوده اطراف آن به‌طور کلی در شمال شرق بلوک لوت قرار دارند، تحولات ساختاری منطقه خواف طبیعتاً متأثر از تحولات ساختاری بلوک لوت می‌باشد. در محدوده مطالعاتی دو گسل امتداد لغز چپ‌گرد درونه و خواف به‌ترتیب در شمال شرقی و مرکز مشاهده می‌شوند. راستای این دو گسل شمال غربی – جنوب شرقی است. نقشه فاصله از گسل‌ها با استفاده از نقشه شیپ‌فایل گسل‌های ایران، نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰,۰۰۰ تایباد و همچنین توسط تابع فاصله در نرم افزارArcGIS تهیه شده‌است (Taibad geological map [1:250.000]; Geological Survey and Mineral Exploration of Iran; 1981).

معیار پنجم: کاربری اراضی

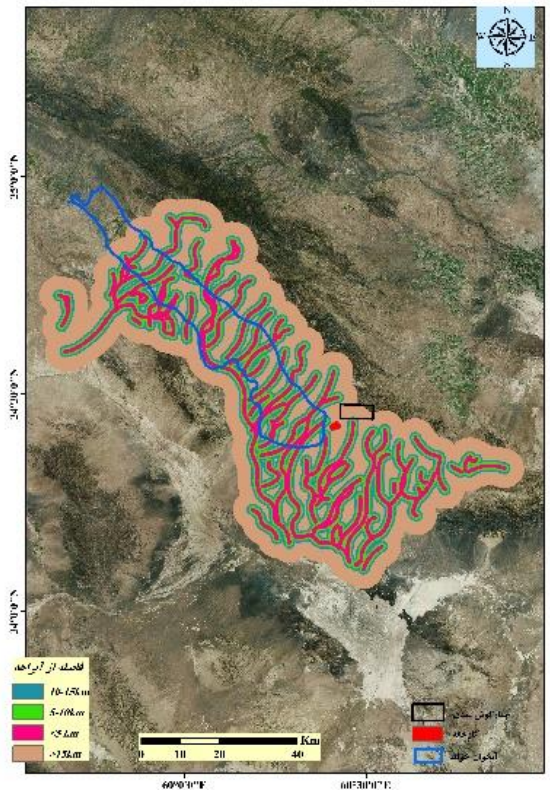
احداث سدهای زیرزمینی نیازمند ذخیره سطحی نمی‌باشد و منجر به تغییر کاربری اراضی و زیست بوم موجود نمی شود. از آنجا که سدهای زیرزمینی سطح زمین را اشغال نمی‌کنند و محدودیتی از نظر وسعت زمین‌های تحت پوشش سد ندارند، احداث این سدها در مناطق با کاربری اراضی مختلف امکان‌پذیر است (Pirmoradi et al., 2010). به‌علت بالا آمدن سطح ایستابی پشت سد، در محل احداث سدهای زیرزمینی گیاهان مختلفی می‌توانند بدون آبیاری به حیات ادامه دهند. اهمیت این نکته در مناطق کشاورزی به وضوح مشاهده می‌شود. با بالا آمدن سطح ایستابی، رطوبت خاک منطقه تا حد زیادی افزایش می‌یابد که در بهبود شرایط آبیاری و کشاورزی نقش شایانی دارد. با این حال مشکل تملک اراضی در زمین‌های کشاورزی وجود خواهد داشت. مناطقی با کاربری مسکونی و صنعتی به سبب احتمال تخریب سازه و آلودگی آب (Pirmoradi et al., 2010) نمی‌توانند محل‌های مناسبی برای احداث سد زیرزمینی باشند. این مناطق باید از مراحل تصمیم‌گیری حذف گردند. در مناطق سنگی، نمکی، بیابانی و باتلاقی نیز امکان احداث سد زیرزمینی وجود ندارد. نقشه کاربری اراضی در شکل ۴ نمایش داده شده‌است.

معیار ششم: فاصله از راه‌ها و جاده‌ها

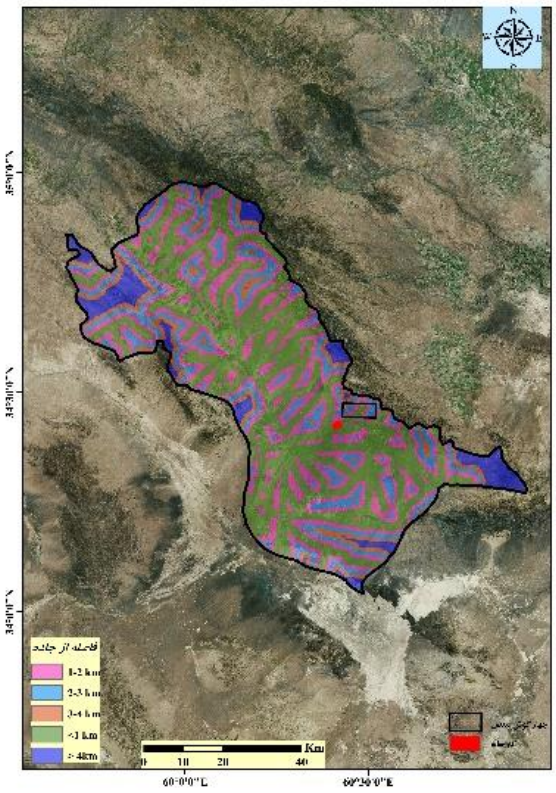
در مناطق خشک، منابع آب معمولاً از دوردست تأمین می شوند که جاده دسترسی وجود ندارد اما این مؤلفه نیز در مکان‌یابی سد زیرزمینی در نظر رفته می‌شود. اگرچه وجود جاده دسترسی در محل احداث سد زیرزمینی باعث افزایش سرعت دسترسی و کاهش هزینه‌های مرتبط با ساخت و نگهداری سازه می‌گردد. با این حال، به‌دلیل تردد وسایل‌نقلیه از این مسیرها، جاده‌ها دارای آلودگی زیاد بوده و آب‌های مجاور آن‌ها از کیفیت نامطلوبی برخوردار خواهند بود. بنابراین فاصله بیشتر از جاده‌ها در احداث سد از اولویت بالاتری برخوردار خواهند بود. نقشه فاصله از جاده با استفاده از تابع فاصله در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد که در شکل ۴ نمایش داده‌شده‌است. مسیرهای دسترسی در مکان یابی نهایی به‌عنوان مولفه‌ای جداگانه بررسی خواهند شد.



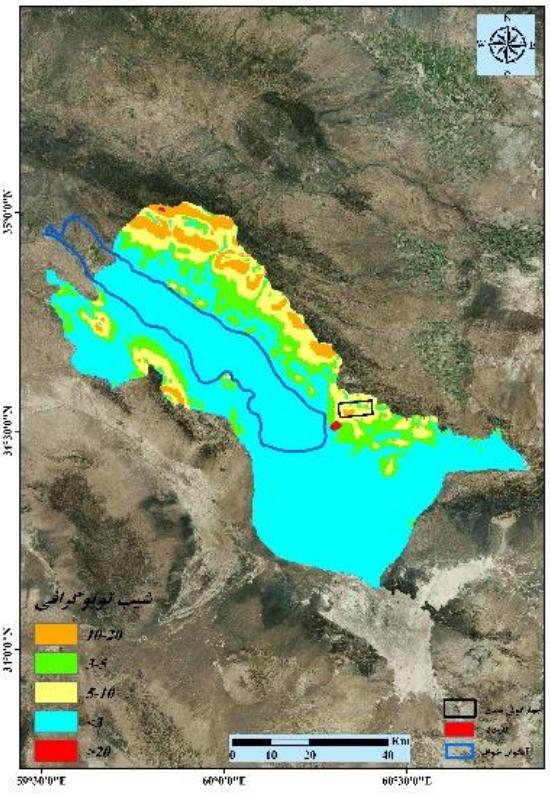
نقشه فاصله از گسل‌ها (متر)



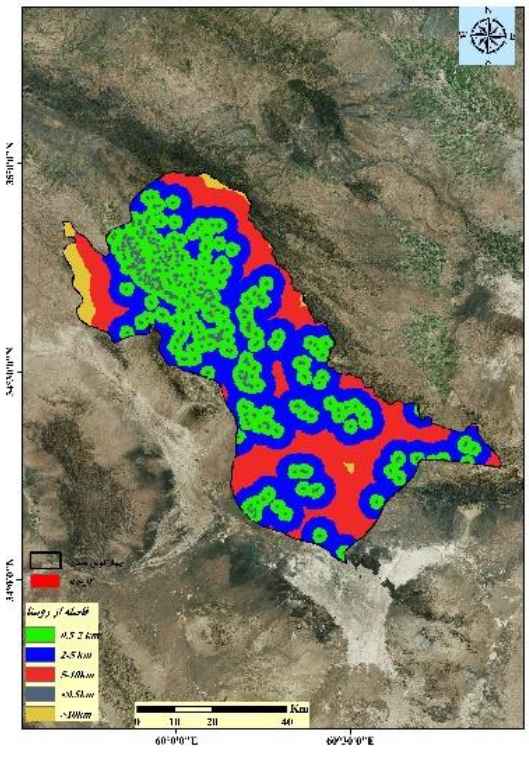
نقشه فاصله از آبراهه‌ها (کیلومتر)



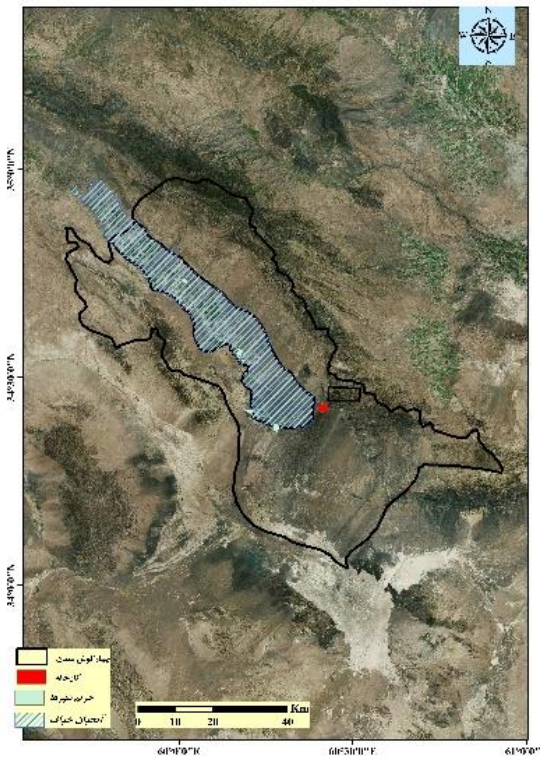
نقشه فاصله از جاده‌ها (کیلومتر)



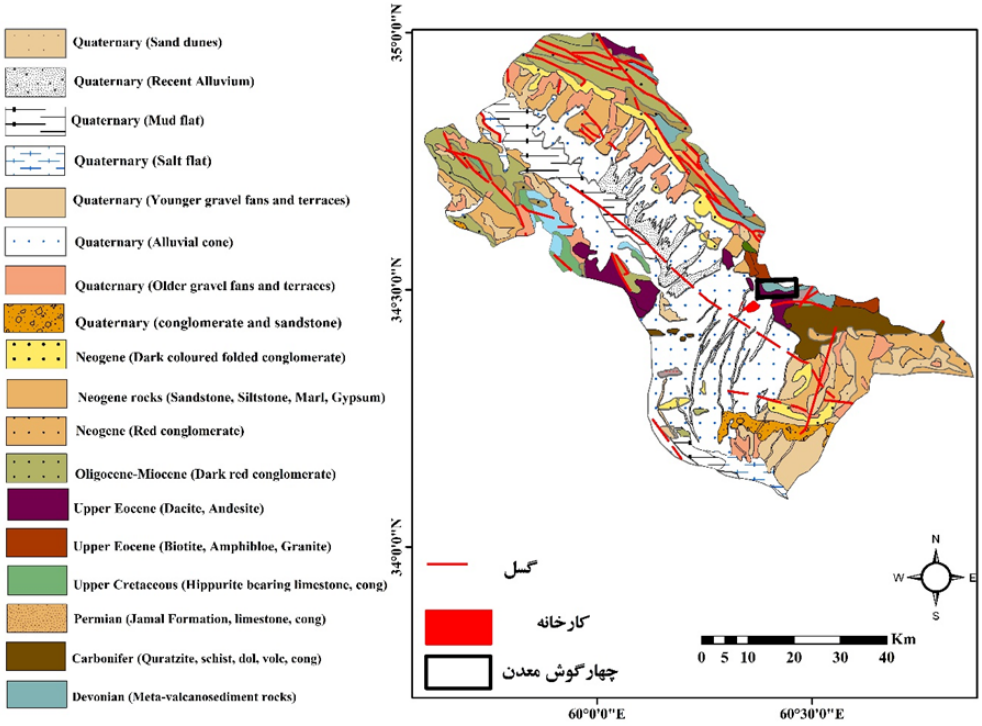
نقشه شیب توپوگرافی (درصد)



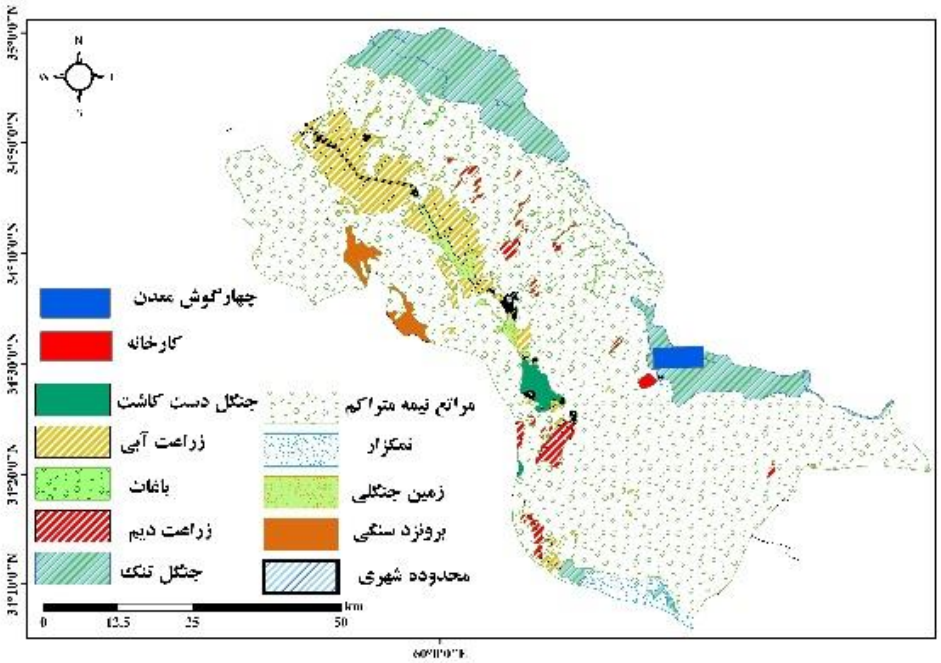
نقشه فاصله از روستاها (کیلومتر)



نقشه محدوده آبخوان و محدوده شهری



نقشه زمین‌شناسی



نقشه کاربری اراضی

شکل ۴. نقشه‌های موضوعی پارامترهای مؤثر در مکان‌یابی سد زیرزمینی

Fig 4. Thematic maps of effective parameters in the spatial potential of the underground dam

معیار هفتم: فاصله از روستاها

دوری و نزدیکی به محل سکونت نیز می‌تواند به‌عنوان یکی از شرایط، در مکان‌یابی مناسب برای احداث سد مطرح باشد. علی‌رغم اینکه برای جلوگیری از آلودگی مخزن سد به‌دلیل فعالیت‌های انسان‌ها، نشت فاضلاب‌ها و شیرابه‌های زباله‌های انسانی و همچنین جلوگیری از آسیب‌های فیزیکی احتمالی به مخزن لازم است که حداقل فاصله‌ای از نقاط جمعیتی برای محل احداث سد زیرزمینی در نظر گرفته شود. اما، نزدیکی به روستا با توجه به مسئله تأمین نیروی انسانی و دسترسی می‌تواند حائز اهمیت باشد. بنابراین، فواصل کمتر سد تا روستا از امتیاز بیشتری برخوردار می‌باشند. با توجه به شبکه ارتباطی، حریم‌هایی با فواصل مختلف از هر روستا ایجاد شد تا نقاط مناسب نسبت به این فواصل ارزیابی شوند. نقشه فاصله از آبادی با استفاده از نقشه شیپ‌فایل موقعیت آبادی‌های ایران و همچنین توسط تابع فاصله در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد که در شکل ۴ نمایش داده‌شده‌است.

معیار هشتم: محدوده شهرها و آبخوان

با توجه به این‌که حفر سد زیرزمینی در نواحی با کاربری شهری امکان‌پذیر نیست و همچنین با توجه به آلودگی های متعدد و متنوع در این نواحی، اراضی با این کاربری باید از مطالعات مکان‌یابی حذف گردند. در محدوده مطالعاتی، حریم شهرهای سلامی، خواف، سنگان و نشتیفان به‌عنوان محدوده‌هایی که احداث سد زیرزمینی ممکن نیست در نظر گرفته‌می‌شود. این نقشه به‌صورت یک نقشه صفر و یک به مطالعات افزوده شد. ناحیه با کاربری شهری ارزش صفر و خارج از آن ارزش یک می گیرد. عموماً در محدوده آبخوان‌های اصلی با توجه به این که مشکلی از نظر تأمین آب برای فصول‌تر و خشک ندارند، همچنین با توجه به عمق زیاد رسوبات در چنین مناطقی، احداث سد زیرزمینی توجیه منطقی و اقتصادی ندارد. در نتیجه، این مناطق باید از فرآیند مکان‌یابی حذف گردند. این نقشه همانند نقشه شهرها به‌صورت یک نقشه صفر و یک به مطالعات افزوده شد. مناطق درون سفره‌های اصلی آب زیرزمینی ارزش صفر و خارج از آن ارزش یک می‌گیرد. در محدوده مطالعاتی، حریم محدوده‌های شهری و آبخوان تقریباً هم‌پوشانی دارند و محدوده آبخوان و شهری ارزش صفر را به خود می‌گیرند.

جدول ۱. ارزش‌دهی به پارامترهای مؤثر در مکان یابی سد زیرزمینی محدوده مطالعاتی

Table 1. Valuing the effective parameters in locating the underground dam in the study area

پارامتر	ارزش	پارامتر	ارزش
فاصله از آبراهه (کیلومتر)	رتبه	فاصله از روستا (کیلومتر)	رتبه
<0.5	9	0-0.5	9
0.5-1	6	0.5-2	7
1-1.5	3	2-5	5
>1.5	1	5-10	3
شیب (درصد)	رتبه	>10	1
<3	9	فاصله از جاده (کیلومتر)	رتبه
3-5	7	0-1	1
5-10	5	1-2	3
10-20	3	2-3	5
>20	1	3-4	7
محدوده آبخوان اصلی	رتبه	>4	9
داخل محدوده	0	فاصله از گسل (متر)	رتبه
خارج از محدوده	1	<100	1
کاربری اراضی	رتبه	100-250	3
پرورش ماهی، شوره‌زار، مناطق جنگل‌کاری شده و حفاظت‌شده، مناطق صنعتی	0	250-500	5
زمین‌های سنگی (سازندی)	1	500-1000	7
زمین‌های لخت، مراتع با پوشش گیاهی کم، مناطق مرطوب	9	>1000	9
مراتع پوشش گیاهی کم تا متوسط، کشاورزی-بایر، جنگل‌کاری-سنگی	3	سنگ‌شناسی (لیتولوژی)	رتبه
جنگلی، مراتع پوشش گیاهی متوسط	4	آبرفت‌ها	9
زمین‌های کشاورزی، جنگل با تراکم متوسط، کشاورزی	5	سنگ‌های رسوبی	5
باغ‌ها، مراتع با پوشش گیاهی خوب	6	سنگ‌های رسوبی-آذرین-دگرگونی	3
محدوده شهرها	رتبه	سنگ آهکی	4
داخل محدوده	0	کفه نمکی-رسی	0
خارج از محدوده	1		

وزن دهی به پارامترها به‌روش تحلیل سلسله‌مراتبی

روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) (Saaty, 1980) به عنوان یکی از روش‌های مناسب وزن‌دهی، بر مقایسه زوج معیارها استوار است که در آن‌ها هدف انتخاب بهترین گزینه یا اولویت‌بندی گزینه‌ها می‌باشد، و وزن‌های نهایی به‌صورت عددی ارائه می‌گردد. در این روش، در وهله اول، با مقایسه زوجی پارامترها، یک ماتریس مقایسه به‌دست می‌آید. در این تحقیق، برای وزن‌دهی معیارها از این روش استفاده گردیده‌است. نحوه مقایسه گزینه‌ها و امتیازدهی

به آن‌ها در جدول ۲ آورده شده‌است. درجه ناسازگاری نشان‌دهنده میزان صحت ماتریس مقایسه و جهت پذیرش نتیجه‌های پذیرفتنی در شرایط طبیعی محاسبه می‌گردد. در صورتی‌که شاخص ناسازگاری محاسبات کمتر از ده درصد باشد محاسبات مورد تأیید قرار می‌گیرد، در غیر این صورت، تحلیل باید مجدداً صورت گیرد. در نرخ سازگاری (CR) از تقسیم شاخص سازگاری (CI) بر شاخص تصادفی (RI) و به‌صورت زیر (معادله ۱) به‌دست می‌آید (Shao et al., 2020). شاخص سازگاری نیز از معادله ۲ به‌دست می‌آید که در این معادله λ عنصر بردار ویژه و n تعداد معیارهاست. مقدار λmax نیز از معادله ۳ به‌دست می‌آید. در نهایت، وزن هر پارامتر تعیین خواهد شد (جدول ۳).

جدول ۲. نحوه مقایسه گزینه‌ها و امتیازدهی به آن‌ها

Table 2. Algorithm for comparing options and scoring them

مقدار عددی Numerical Value	ترجیحات (قضاوت شفاهی) preferences (oral judgment)	
9	(Extremely preferred)	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر
7	(Very strongly preferred)	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
5	(Strongly preferred)	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی
3	(Moderately preferred)	کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر
1	(Equally preferred)	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان
2,4,6,8		ترجیحات بین فواصل فوق

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (۱)$$

$$CI=\lambda max-n/n-1 \quad (۲)$$

$$\lambda max = \text{معیار وزن/ سطر ماتریس ارزش‌گذاری} \times \text{ستون وزن‌ها} \quad (۳)$$

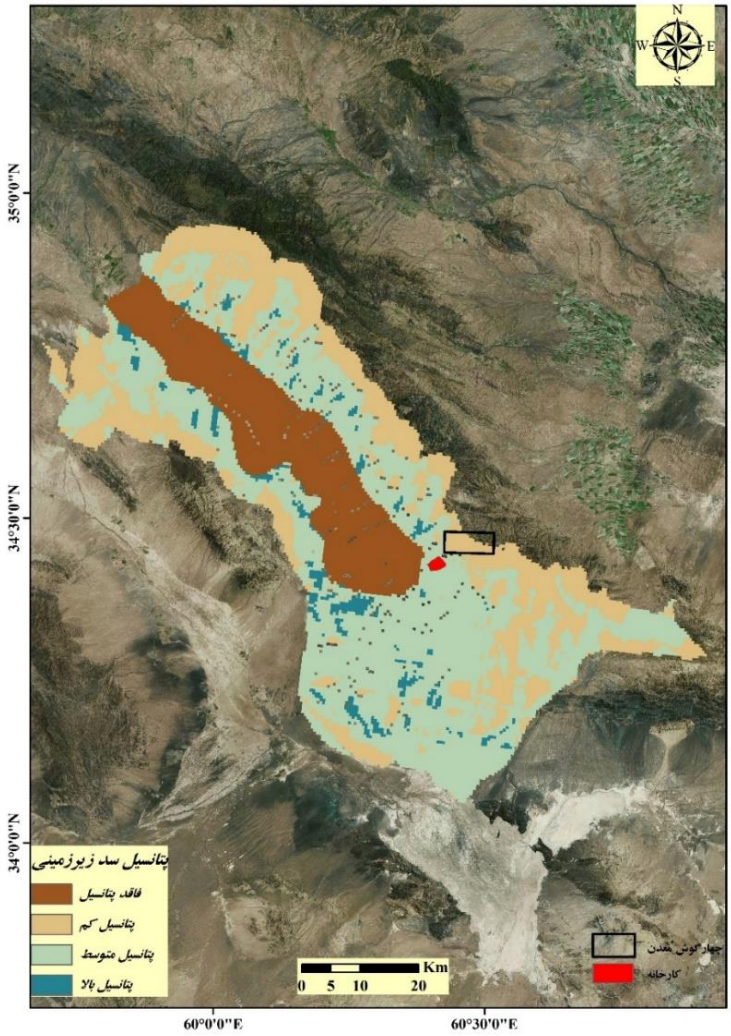
جدول ۳. وزن‌دهی نهایی به نمایه‌های مؤثر در مکان‌یابی احداث سد زیرزمینی

Table 3. Final weighting of effective criteria in the spatial potential of underground dam construction

پارامتر Parameter	فاصله از روستا Distance from	فاصله از آبراهه Distance from	فاصله از گسل Distance from Faults	شناسی زمین (لیتولوژی) Geology (Lithology)	کاربری اراضی Land Use	توپوگرافی (شیب) Topography (Slope)	فاصله از جاده Distance from roads
وزن Weight	0.11	0.13	0.12	0.22	0.25	0.11	0.06

نتایج و بحث

پتانسیل احداث سد زیرزمینی در محدوده مطالعاتی بیشتر به بستر رودخانه‌های فصلی و آبراهه‌ها معطوف شده است (شکل ۵) به شرطی که در زمین‌های با کاربری اراضی و زمین‌شناسی مناسب، دور ازگسل‌ها و در بستر با شیب طولی مناسب جهت نفوذ آب در مسیل‌ها قرار گرفته باشند. مواردی که در وهله اول بدان توجه شده و از نقاط با پتانسیل سد زیرزمینی حذف خواهند شد در حریم گسل‌ها، شهرها و آبخوان، مناطق (دره‌های) با شیب طولی بیش از ۵ درصد، خلاصه‌شده‌اند.

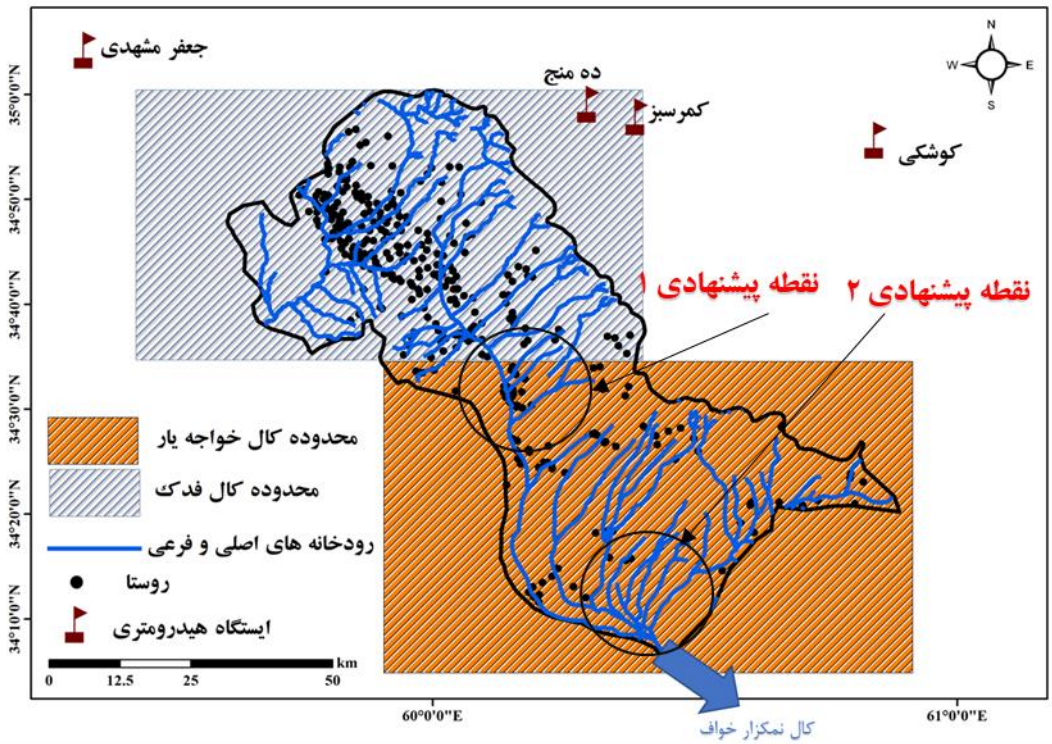


شکل ۵. نقشه فاز اول پتانسیل یابی سد زیرزمینی

Fig 5. The map of the first phase of the potential of the underground dam

در وهله دوم، ملاحظات مکان‌یابی مشتمل بر شرایط آب سطحی و جهت جریان آب سطحی و زیرسطحی به‌سمت پایاب دشت، ملاحظات هندسی محل احداث سد و در نهایت ملاحظات زیست محیطی محل احداث سد جهت تعیین نقطه نهایی احداث سازه در نظر گرفته شده‌است.

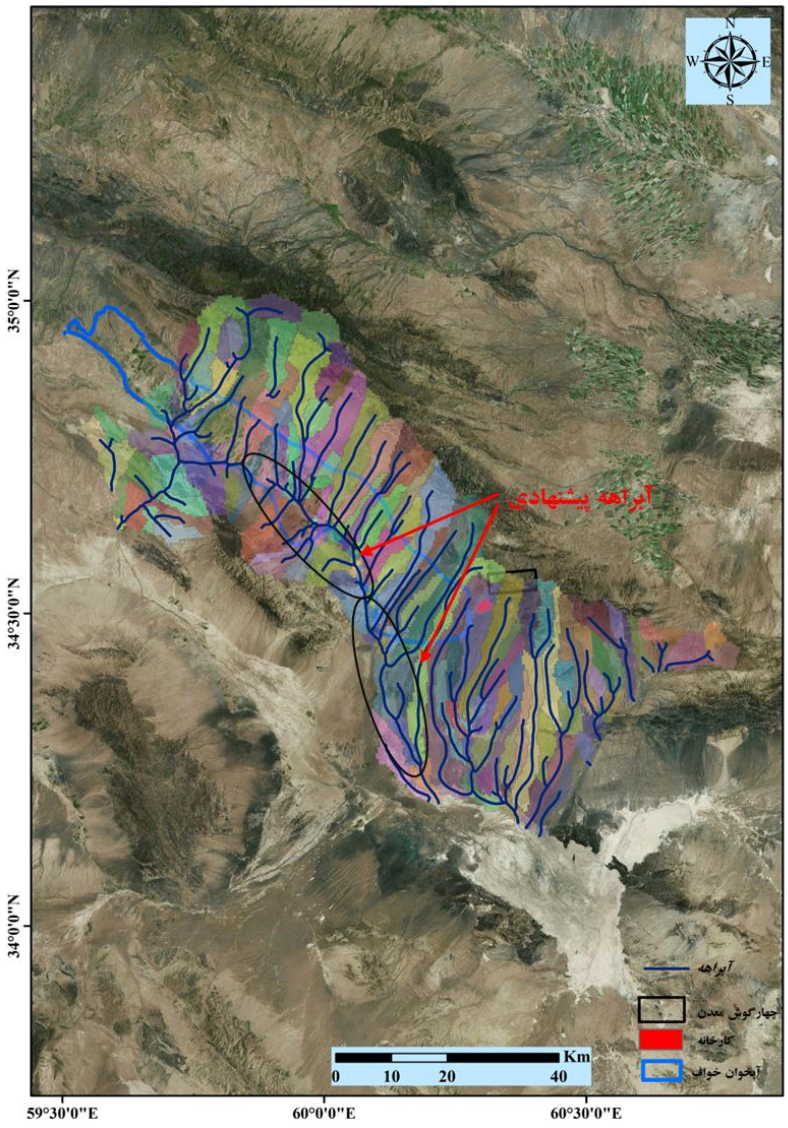
منابع آب سطحی محدوده مطالعاتی جهت جمع آوری آب مورد نیاز سد زیرزمینی: منابع آب سطحی محدوده مطالعاتی دشت خواف توسط دو حوضه هیدرولوژیک به نام کال خواجه یار و کال فدک تأمین می‌شود، سایر کال ها و سرشاخه‌های فرعی در نهایت وارد این دو کال می شوند، کال خواجه یار نقش زهکش جریان‌های سطحی محدوده خواف میانی و پایینی و کال فدک زهکش آب های سطحی محدوده خواف بالایی را بر عهده دارند. جریان سیلاب در هر دو این کال‌ها ابتدا آبخوان آبرفتی دشت را تغذیه می‌کند و به کال شور دونخ می‌پیوندد. سپس مازاد سیلاب آن به کال نمکزار خواف در مرز ایران و افغانستان می‌ریزد. بنابراین، یافتن محل مناسب جمع آوری آب‌های زیرسطحی ناشی از آبراهه‌های این دو کال نشان‌دهنده نقطه بهینه سد زیرزمینی خواهد بود. بر این اساس، نقاط پیشنهادی جهت نقشه نهایی پتانسیل احداث سد ارائه خواهد شد که در شکل ۶ مشخص شده‌است.



شکل ۶. نقاط پیشنهادی جمع آوری آب مناسب جهت احداث سد زیرزمینی

Fig 6. Suggested water collection points suitable for the construction of an underground dam al-Arab)

ملاحظات هندسی محل احداث سد زیرزمینی: این سازه‌ها موانعی در مسیر جریان آب زیرزمینی در یک لایه آبدار طبیعی یا مصنوعی قرار گرفته و وضعیت جریان را به منظور نیل به اهداف احداث آن تغییر می‌دهد (Onder and Yilmaz, 2005; Esavi et al., 2013). دره‌های کم عرض V شکل و آبرفت‌های کوهستانی مشرف به مخروط‌افکنه‌ها بهترین نواحی احداث این قبیل سدها می باشند. در این سدها با خاک برداری بستر رودخانه و پر کردن آن با خاک‌ها و مواد نفوذناپذیر، لایه نفوذناپذیری در مقابل جریان آب زیرزمینی ایجاد می‌کنند که منجر به تشکیل مخزن آب زیرزمینی می‌گردد. بنابراین، آبراهه‌های اصلی را می‌توان بهترین نقاط احداث سد زیرزمینی دانست که در شکل ۷ مشخص شده‌است.



شکل ۷. آبراهه‌های پیشنهادی نقاط بهینه احداث سد زیرزمینی

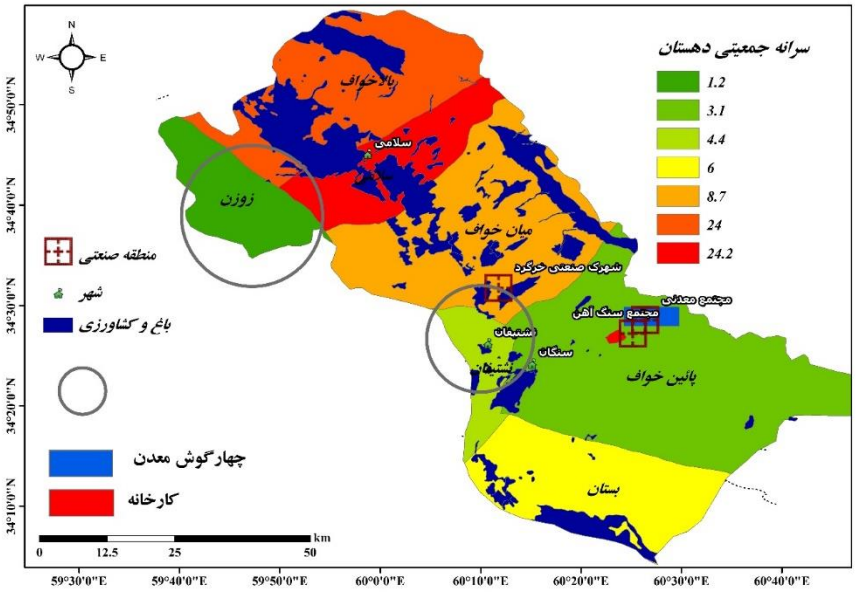
Fig 7. Proposed streams in determining the optimal points for the construction of an underground dam

ملاحظات زیست محیطی منابع آب سطحی: نقشه پتانسیل سد زیرزمینی نشان دهنده مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی با هدف تأمین آب معدن و کارخانه سنگ آهن سنگان است. اما برای احداث سد زیرزمینی و جمع آوری آب، ملاحظات خاصی بایستی در نظر گرفته شود. از جمله این ملاحظات، منابع عمده آلاینده آب‌های سطحی و زیرزمینی در محدوده مطالعاتی جهت محدود کردن مناطق بهینه است. این منابع به چهار دسته مشتمل بر فاضلاب انسانی، فاضلاب صنایع و معادن، پساب‌های کشاورزی و دامداری و در نهایت پسماندها و مواد زائد جامد تقسیم‌شده‌اند. در مورد فاضلاب انسانی، مناطق شهری (سلامی، نشتیفان و سنگان) و روستایی که در محدوده مطالعاتی دشت خواف قرار می‌گیرند بایستی مد نظر قرار گیرند. در مورد مناطق شهری، حریم شهرها به عنوان مناطق نامناسب اعمال‌شده‌اند. اما در مورد روستاها علاوه بر حریم روستایی، وضعیت ساکنین آن‌ها نیز بایستی مد نظر قرار گیرد. نقشه سرانه جمعیتی دهستآن های محدوده مطالعاتی در شکل ۸ ارائه شده‌است. در این نقشه، دهستآن‌های نشتیفان، خواف بال و خواف پایین کمترین سرانه جمعیتی را دارند و از سایر نقاط جهت احداث سد زیرزمینی مناسب‌ترند. در خصوص فاضلاب صنایع و معادن می‌توان به شهرک صنعتی خرگرد خواف در کیلومتر ۵ جاده خواف به تایباد (شامل صنایع‌غذایی، فلزی، نساجی، شیمیایی و کانی‌های غیر فلزی) صنایع

پراکنده در سطح روستاهای اطراف شهر خواف و صنایع مستقر در محور جاده خواف به تربت حیدریه و معادن سنگ آهن خواف واقع در جنوب شرق سایت پیشنهادی در دهستان پایین خواف اشاره کرد. قید سوم شامل اراضی کشاورزی و باغات در روستاهای محدوده مطالعاتی خواهد بود. در نهایت، پسماندها و مواد زائد جامد که شامل کلیه مناطق شهری و روستایی در محدوده دشت خواف، شهرک صنعتی خرگرد خواف و دیگر صنایع پراکنده در سطح روستاهای اطراف شهر خواف و صنایع مستقر در محور جاده خواف به تربت حیدریه و معادن سنگ آهن خواف واقع در جنوب شرق سایت پیشنهادی در دهستان پایین خواف خواهد بود. با هم‌پوشانی این چهار مولفه نقاط بهینه زیست محیطی احداث سد زیرزمینی تعیین خواهد شد.

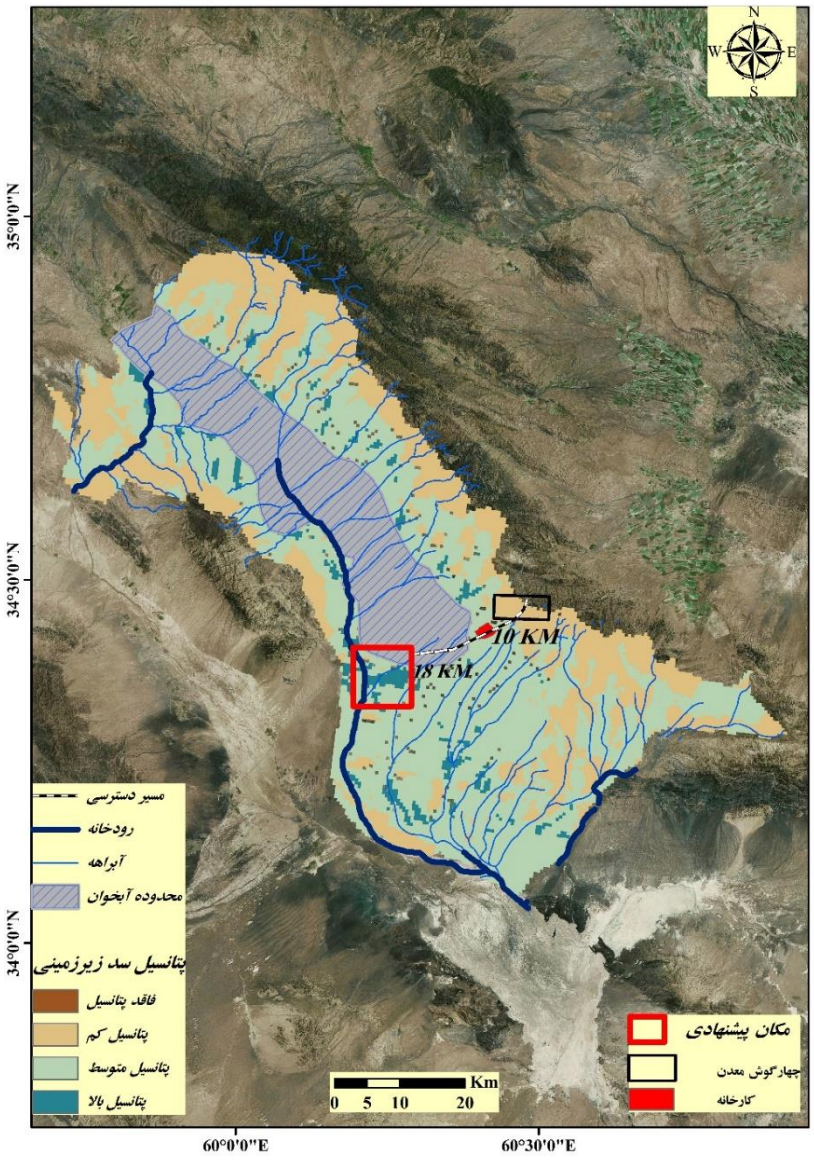
با پهنه بندی و اعمال تمامی ملاحظات (آب سطحی، هندسی و زیست‌محیطی) جهت احداث سد زیرزمینی، محدوده‌ای واقع در دهستان نشتیفان که به‌لحاظ مسیر دسترسی به محل مصرف بهینه است (۱۸ کیلومتر تا کارخانه) با حفظ حریم از زمین‌های کشاورزی پیرامون، به عنوان بهترین نقطه احداث سازه در نظر گرفته شد (شکل ۹).

در پایان، یادآور می‌شود که در این تحقیق، مناطق با احتمال بالای موفقیت در احداث سد زیرزمینی صورت گرفته است که مبنای آن معیارهای مختلفی از جمله سنگ‌شناسی، شیب، کاربری اراضی، آبخوان و محدوده شهر و فاصله از روستا، گسل، جاده و نهر می‌باشد. اما چندین معیار در مرحله اجرای طرح‌های سد زیرزمینی بایستی در نظر قرار گیرند که از جمله می‌توان به عمق سنگ کف، ضخامت آبرفت، آبدهی ویژه، ضریب ذخیره و قابلیت انتقال لایه آبرفتی اشاره کرد. هر چند مطالعات بیلان آبخوان خواف نشان‌دهنده نفوذپذیری نسبتاً بالا و ضریب ذخیره ۰/۰۴ است اما برای مرحله اجرا، اجرای سوندژهای ژئوالکتریک و نیز احداث پیزومتر و آزمایشات پمپاژ در محل پیشنهادی جهت پی بردن به عمق سطح آب و سنگ کف، ضخامت آبرفت، نفوذپذیری لایه‌ها و نیز آبدهی ویژه و ضریب ذخیره لایه اصلی ضروری است. از جمله دلایل الزامی بودن اجرای چنین عملیاتی وجود گسل خواف است چرا که این گسل با روند ایران مرکزی (امتداد شمال غرب – جنوب شرق) سبب جابه‌جایی سنگ کف و تغییر ضخامت آبرفت شده‌است در نقاط مختلف دشت شده‌است.



شکل ۸. ملاحظات زیست محیطی احداث سد زیرزمینی در محدوده مطالعاتی

Fig 8. Environmental considerations of constructing an underground dam in the study area



شکل ۹. نقشه نهایی پتانسیل یابی سد زیرزمینی در محدوده مطالعاتی

Fig 9. The final map of the potential of the underground dam in the study area

نتیجه‌گیری

تأمین آب در معادن به‌طور کلی با اهدافی همچون عملیات فرآوری (خردایش، جدایش، پرعیارسازی و انتقال) سامانه‌های خنک‌کننده، دفع گردو غبار (کارخانه‌های فرآوری، نوارهای نقاله و راه‌ها)، حمل و نقل کنستانتره و باطله به‌شکل اسلاری (مواد مخلوط در آب)، شست و شوی تجهیزات، آب بهداشتی و شرب و در نهایت آب‌کشی از معادن انجام می‌گیرد. مکان‌یابی تأمین آب در صنایع و معادن یک تحلیل مکانی و مولفه اقتصادی هم در برنامه ریزی محسوب می‌گردد. از این رو، سعی شده‌است از نقشه های متناسب در محیط GIS، سامانه تصمیم‌گیری مناسب نظیر AHP و در نظر گرفتن تمامی ملاحظات آب سطحی و زیرزمینی، هندسه محل احداث سازه و در نهایت ملاحظات زیستی جهت تعیین نقطه بهینه احداث سازه تأمین آب بهره گرفته شود.

مدل مکان یابی سد زیرزمینی در محدوده اثر معدن و کارخانه گندله سازی آهن سنگان (حدود زیست محیطی دشت خواف) بر اساس پارامترهای مختلف نشان داد که مناطق با آبراهه فصلی نقاط مناسبی جهت تعیین نقطه بهینه احداث سد زیرزمینی مناسب هستند. در این میان، آبراهه واقع در غرب و جنوب غرب محدوده مطالعاتی از تمامی جهات نقطه بهینه احداث سد تعیین شد جایی که

آب‌های جمع آوری شده در پایاب کال‌های فدک و خواجه یار نقاط مناسب احداث سازه تعیین شدند و سپس با اعمال ملاحظات منابع آب، زیست محیطی و مورفولوژی محل احداث سازه، نقطه نهایی انتخاب شد.

لازم به ذکر است که این تحقیق بر پایه امکان‌سنجی مناطق با احتمال بالای موفقیت در احداث سد زیرزمینی انجام گرفته است و علاوه بر معیارهای در نظر گرفته شده در این تحقیق، چندین معیار در مرحله اجرای طرح‌های سد زیرزمینی بایستی در نظر قرار گیرند که از جمله می توان به عمق سنگ کف، ضخامت آبرفت، آبدهی ویژه، ضریب ذخیره و قابلیت انتقال لایه آبرفتی اشاره کرد.

مطالعات بیلان آبخوان خواف نشان‌دهنده نفوذپذیری نسبتاً خوب این محدوده و ضریب ذخیره ۰/۰۴ آبخوان است. مبرهن است که برای مرحله اجرا، اجرای سونداژهای ژئوالکتریک و نیز احداث پیزومتر و آزمایشات پمپاژ در محل پیشنهادی جهت پی بردن به عمق سطح آب و سنگ کف، ضخامت آبرفت، نفوذپذیری لایه‌ها و نیز آبدهی ویژه و ضریب ذخیره لایه اصلی ضروری است چرا که گسل خواف به موازات روند ایران مرکزی (امتداد شمال غرب-جنوب شرق) بوده و سبب جابه‌جایی سنگ کف و تغییر ضخامت آبرفت شده‌است در نقاط مختلف دشت شده‌است.

منابع

Ali, S., Al-Umary, F., Salar, S., Al-Ansari, N., & Knutsson, S. (2014). Evaluation of selected site location for subsurface dam construction within Isayi watershed using GIS and RS Garmiyan area, Kurdistan Region. *Journal of Water Resource and Protection*, 6(11), 972-987. [In Persian].

Bigneh, S. (2012). *Underground dams as a new method in water management and extraction*, the fifth national conference on watershed management and water and soil resources management, Kerman. [In Persian].

Chezgi, J., Arab Khazaeli, E., & Heshmat Pour, A. (2020). Suitable Site Selection of the Underground Dam Construction for Water Resources Management in Arid and Semi-Arid Lands. *Desert Management*, 8(15), 73-84. [In Persian].

Dai, X. (2016). *Dam site selection using an integrated method of AHP and GIS for decision-making support in Bortala, Northwest China* (Master's thesis, University of Twente).

Damfeh EA, Adakoya AF, Wayor BA (2022) Determining the Best Site Location for Underground Dams Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process: A Case in the Sunyani West District. *International Journal of Advancements in Technology*. 13:201.

Dehghani Bidgoli, R., & Koohbanani, H. (2021). Site selection for underground dam construction by fuzzy algorithm in GIS platform. *ECOPERSIA*, 9(3), 159-168. [In Persian].

Esavi, V., Karami, J., Alimohammadi, A., & Niknezhad, S. A. (2012). Comparison of the AHP and fuzzy-AHP decision-making methods in underground dam site selection in Taleghan basin. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 22(85), 27-34. [In Persian].

Haji azizi, M., Rahmani, M., & Biglari, N. (2014). Fe Analysis of Underground Dam and Important Points in Underground Dam-A Case Study, Abkhori Underground Dam. *Journal of Modeling in Engineering*, 12(38), 153-165. [In Persian].

Haj Seyed Ali Khani, N., & Saeediyan, H. (2023). The Combined Role of GIS, RS, and Geoelectric in Determining the Susceptible Areas of Underground Dam Construction (Case Study: Pashueeyeh Basin of Kerman Province). *Water and Soil*, 36(6), 729-742. [In Persian].

Karimpour, M. H., & Malekzadeh Shafaroudi, A. (2007). Skarn geochemistry-mineralogy and petrology of source rock Sangan Iron mine, Khorasan Razavi, Iran. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 17(65), 108-125. [In Persian].

Kharazi, P., Yazdani, M. R., Ara, H., & khazaealpour, P. (2017). Suitable site selection for groundwater dam construction using analytical hierarchy process Case study: Dasht- e -Kavir Watershed. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 26(103), 177-185.

Mehrabi, H., Zeinivand, H., & Hadidi, M. (2012). Site selection for groundwater artificial recharge in Silakhor rangelands using GIS technique. *Journal of Rangel Science*, 2(4), 687-95. [In Persian].

Onder, H., & Yilmaz, M. (2005). Underground dams. European Water, 11(12), 35-45.

Pazhouhab Shargh consultant engineers. (2010). Water resources budget update, Khaf study area. Ministry of Energy. Islamic Republic of Iran. Reports. [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].

Shirani, K., Dastjerdi, A. S., & Rahnamarad, J. (2017). Integration of multi-criteria decision matrix and geographical information system to site selection for an underground dam. *Electron J Geotech Eng*, 22, 3669-3686.

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*, 5, 1369-1378. [In Persian].

Telmer, K., & Best, M. (2004). Underground dams: A practical solution for the water needs of small communities in semi-arid regions. *TERRA*, 1(1), 63-65.