

# Feasibility study of underground dam constructing in the sub-basins of Western Semnan Province using hierarchical analyses and geographic information systems

Alireza majidi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 02 December 2024

Accepted: 22 July 2024

## Extended abstract

### Introduction

Water collection and storage with minimal losses are among the most effective measures for water resource development in dry and semi-arid regions. Underground dam technology is a suitable solution for managing water resources in such areas. These subterranean structures influence hydraulic flow in porous environments and are constructed to block, divert, or reduce groundwater movement. Underground dams serve various purposes, including water resource control, management, protection, and development. The success and sustainability of these structures largely depend on selecting the most appropriate location, considering project goals, operational efficiency, and intended use. One of the primary reasons for failure in dam projects is the lack of comprehensive studies on site selection.

### Materials and methods

The study area is located in the western sub-basins of Semnan Province, geographically positioned between 53°15' to 54°20' East longitude and 35°20' to 36° North latitude. Geologically, it lies within the Alborz and Central Iran zones. The basin spans 104.91 square kilometers, with elevations ranging from 1,643 meters to 1,413 meters. The region has a semi-arid Mediterranean climate, receiving approximately 100 millimeters of annual rainfall. The current geomorphology and topography of the basin are shaped by geological structures, rock types, and erosion susceptibility. Due to the mountainous terrain, the area lacks significant alluvial groundwater aquifers, with water resources being limited to subsurface flow in alluvial deposits along streambeds or within hard rock formations. Consequently, underground dams present a viable solution for water supply in such conditions. This study assesses the feasibility of constructing underground dams in the western sub-basins of Semnan Province using a hierarchical analysis approach within a Geographic Information System (GIS). Relevant resources were reviewed to determine the essential criteria and conditions for selecting suitable locations for underground dam construction. Informational layers were generated and integrated in a GIS environment, employing a hierarchical approach to facilitate decision-making.

### Results and discussion

Controlling and blocking subsurface flows in alluvial deposits of streambeds through underground dams can create reservoirs within the porous environment, enhancing water resource development. This strategy is particularly relevant for dry and semi-arid regions, including the northwestern and western sub-basins of Semnan Province. To identify suitable locations for these structures, key factors such as geology, hydrology, water resources, topography, and stream geometry were analyzed. Areas that failed to meet the required standards were deemed unsuitable and excluded from consideration. Most of the necessary criteria were derived from satellite imagery, topographic and geological maps, and expert knowledge. The site selection criteria were classified into two groups: absolute criteria and decision-making criteria. Absolute criteria provided a binary assessment (favorable/unfavorable), whereas decision-making criteria were prioritized within a suitability range, from highly suitable to relatively suitable. These factors were incorporated into the site selection process using a hierarchical methodology in GIS. The application of GIS tools for overlay analysis, function execution, and weighted scoring significantly improved the speed, accuracy, and efficiency of the process.

---

\* Corresponding author: majidi.geo@gmail.com

### Conclusion

The findings indicate that using a step-by-step hierarchical methodology within modern techniques, such as GIS, enhances the accuracy and efficiency of regional-scale site selection studies. This approach improves reliability by refining criteria determination, weighting, and scoring. The hierarchical methodology systematically eliminates unsuitable areas, progressively narrowing the study region to the most viable locations. The results showed that approximately 20% of the streambeds in the western sub-basins of Semnan Province have the potential for underground dam construction, providing effective water storage and management solutions. The most suitable locations are found in streambeds of categories 4 and 5, particularly on sandstone, limestone, and marl formations.

**Keywords:** Formation permeability, Geology, Site selection, Water resources, Zoning

Cite this article: Majidi, A., 2025. Feasibility study of underground dam constructing in the sub-basins of Western Semnan Province using hierarchical analyses and geographic information systems. *Water. Eng. Manag.* 17(1), 103-119.

© 2025, 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>)



## امکان‌سنجی احداث سد زیرزمینی در زیرحوضه‌های غرب استان سمنان با استفاده از تحلیل‌های سلسله‌مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی

علیرضا مجیدی<sup>\*۱</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۱

### چکیده مبسوط

#### مقدمه

جمع‌آوری و ذخیره‌سازی آب با کمترین تلفات از جمله اقدامات مؤثر برای توسعه منابع آب در نواحی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک است. فناوری سد زیرزمینی، راهکاری مناسب برای توسعه منابع آب، در این‌گونه نواحی است. بندهای زیرزمینی سازه‌های زیرزمینی هستند که با اثرگذاری بر هیدرولیک جریان در محیط متخلخل، به‌منظور انسداد، انحراف یا کاهش جریان زیرزمینی، احداث می‌شوند. سد زیرزمینی با اهداف مختلف از جمله، کنترل، مدیریت، حفاظت و توسعه منابع آب احداث می‌شوند. مهم‌ترین عامل در موفقیت استفاده از این فناوری و پایداری این سازه، انتخاب مناسب‌ترین مکان برای احداث آن با توجه به هدف، نحوه عملکرد و بهره‌برداری از آن است. دلیل عدم موفقیت و یا شکست در پروژه‌های سدسازی، اکثراً ناشی از مطالعات ناکافی در زمینه انتخاب مکان مناسب است.

### مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی از زیرحوضه‌های غرب استان سمنان و از لحاظ موقعیت جغرافیایی، بین ۵۳ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۶ درجه عرض شمالی قرار دارد. این منطقه از نظر ساختاری و موقعیت زمین‌شناسی در زون‌های البرز و ایران مرکزی واقع شده است. مساحت حوضه ۱۰۴/۹۱ کیلومترمربع است. حداکثر و حداقل ارتفاع حوضه ۱۶۴۳ و ۱۴۱۳ متر است. از نظر ویژگی‌های هواشناسی، اقلیم منطقه، مدیترانه‌ای نیمه خشک است. میانگین بارندگی سالانه منطقه حدود ۱۰۰ میلی‌متر است. این بخش از استان به سه زیرحوضه آبخیز قابل تفکیک است. هندسه و توپوگرافی کنونی حوضه متأثر از وضعیت ساختارهای زمین‌شناسی، جنس و فرسایش‌پذیری سازندهای منطقه است. در سطح حوضه به‌علت کوهستانی بودن، فاقد سفره آب زیرزمینی آبرفتی بوده و منابع آب زیرزمینی محدود به آب زیرسطحی در آبرفت بستر آبراهه‌ها و یا آب سازند سخت است. بنابراین، سد زیرزمینی یکی از راهکارهای تأمین آب در چنین شرایطی است. در این پژوهش، امکان‌سنجی احداث سد زیرزمینی در زیرحوضه‌های غرب استان سمنان، با استفاده از تحلیل‌های سلسله‌مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی، ارائه می‌شود. با توجه به ماهیت، عملکرد و اهداف سدهای زیرزمینی و براساس مرور منابع انجام شده، شرایط، مشخصه‌ها و معیارهای لازم در زمینه انتخاب مکان مناسب برای احداث این نوع سازه‌های هیدرولیکی زیرزمینی، مشخص شد. در این پژوهش، استخراج برخی معیارها و همچنین، تولید لایه‌های اطلاعاتی و تلفیق لایه‌ها و اعمال شروط انتخاب محل به‌صورت سلسله‌مراتبی، در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام شده است.

\* مسئول مکاتبات: majidi.geo@gmail.com

## نتایج و بحث

کنترل و انسداد جریانات زیرسطحی در آبرفت‌های بستر آبراهه‌ها در سطح حوضه توسط سدزیرزمینی و ایجاد مخزن آب در محیط متخلخل و توسعه منابع آب، از راهکارهای توصیه شده برای تأمین آب در نواحی خشک و نیمه‌خشک نظیر زیرحوضه‌های شمال غرب و غرب استان سمنان است. در این پژوهش، به‌منظور شناسایی نواحی دارای پتانسیل برای احداث این سازه زیرزمینی، از مشخصه‌ها و معیارهای لازم، از جمله، شرایط زمین‌شناسی، هیدرولوژی، منابع آب، توپوگرافی و هندسه آبراهه، به‌عنوان مشخصه و معیارهای مکان‌یابی، برای منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. با استناد به این شرایط و معیارها، نواحی که فاقد معیارهای مناسب هستند، به‌عنوان نواحی فاقد پتانسیل برای احداث سد زیرزمینی، محسوب و حذف می‌شوند. بیشتر این مشخصه‌ها و معیارها، خروجی‌هایی هستند که از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های پایه نظیر، توپوگرافی، زمین‌شناسی و منابع آب و با دانش موجود در این زمینه و همچنین، تجربه کارشناسان خبره، به‌دست می‌آید. در این پژوهش، پس از انتخاب معیارهای مکان‌یابی، آنها به دو گروه معیارهای مطلق و معیارهای تصمیم‌گیر، تفکیک شدند. معیارهای مطلق، برای شناسایی نواحی پتانسیل‌دار حکم مساعد و نامساعد (صفر و یک) و حذفی را دارد. در گام بعد، معیارهای تصمیم‌گیر که در انتخاب محل، در یک بازه با درجه و ارزش خیلی مناسب تا نسبتاً مناسب دخالت دارند، در اولویت‌بندی مکان و انتخاب گزینه‌های برتر با استفاده از متدولوژی سلسله‌مراتبی و گام به گام، در بستر GIS شرکت داده می‌شوند. در این مسیر، استفاده از توانایی‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی در روی هم گذاری لایه‌ها، کار با توابع و جمع جبری وزن‌ها و امتیازات، سبب افزایش سرعت، سهولت و دقت کار خواهد شد.

## نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش مشخص نمود، استفاده از متدولوژی سلسله‌مراتبی و گام به گام، در بستر تکنیک‌های نوین، نظیر GIS، می‌تواند سرعت و دقت در مطالعات مکان‌یابی که مطالعات در مقیاس منطقه‌ای است را افزایش دهد. در این روش، دقت در تعیین معیارها و نحوه وزن‌دهی و امتیازدهی آنها، ضریب اطمینان را در رسیدن به مناسب‌ترین محل‌هایی که نسبتاً شامل تمامی شرایط باشند، بالا می‌برد. نتایج کار نشان داد که در متدولوژی سلسله‌مراتبی، با اعمال گام به گام معیارهای مطلق، به‌ترتیب اولویت و با حذف نواحی نامناسب، سبب کاهش سطح منطقه مورد مطالعه و افزایش تمرکز، به‌صورت مرحله‌ای خواهد شد. نتایج نشان داد که حدود ۲۰ درصد از آبراهه‌های سطح حوضه‌های غرب استان سمنان، دارای پتانسیل احداث سد زیرزمینی و ذخیره‌سازی و کنترل آب با کیفیت قابل قبول، هستند. در این حوضه بیشتر نواحی مستعد در آبراهه‌های رده ۴ و ۵ و بر روی سازندهای ماسه‌سنگی، آهکی و مارنی، جانمایی شده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** پهنه‌بندی، تراوایی سازند، زمین‌شناسی، معیارهای حذفی، مکان‌یابی، منابع آب

## مقدمه

منابع طبیعی کشور در سال‌های گذشته شده است. بنابراین، برای جلوگیری از ادامه افت کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی، باید مدیریت بهره‌برداری، توسعه منابع آبی، کاهش تلفات و حفاظت از این آب‌ها، به‌عنوان یک اصل و پایه ضروری در برنامه‌ریزی‌ها و مدیریت منابع آب کشور لحاظ شود.

استحصال آب‌هایی که بدون استفاده از دسترس خارج می‌شوند و یا کاهش حجم هدررفت آب قابل استفاده، نظیر تبخیر، خود به نوعی در چرخه طبیعی آب، حکم تولید آب را دارد که به پایداری و توسعه

در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران، آب مهم‌ترین عامل محدودکننده است. حفاظت و تقویت منابع آب و همچنین، جمع‌آوری و ذخیره‌سازی آب با کمترین تلفات از جمله اقداماتی است که در مدیریت و بهره‌برداری صحیح از آب‌های موجود در مناطق خشک می‌تواند مؤثر واقع شود (Kordovani, 2004).

افزایش بی‌رویه جمعیت در کشور، محدودیت منابع آب‌های سطحی و بهره‌برداری بیش از اندازه از آبخوان‌ها، باعث وارد آمدن خسارات جبران‌ناپذیری به

استفاده نمود. (Soleymani, 2006) در پژوهشی از عوامل توپوگرافی، هیدرولوژی، هیدروژئولوژی و زمین‌شناسی برای پهنه‌بندی پتانسیل دشت مشهد به منظور احداث سد زیرزمینی استفاده کرد که با تلفیق اطلاعات در محیط RS و GIS مخروط افکنه‌های واقع در نواحی شمالی و شمال شرقی ارتفاعات کپه‌داغ را مناسب‌ترین مناطق برای احداث سد زیرزمینی معرفی نمود.

(Momzaei et al., 2018) در پژوهشی نتیجه گرفتند که بهترین محورها برای احداث سد زیرزمینی، در بستر آبرفتی رودخانه‌هایی با جریان زیرسطحی بالا، حجم مخزن زیاد، شیب پایین و همچنین، نفوذپذیری و حجم رواناب بالا است.

(Chezgi, 2008) برای مکان‌یابی سد زیرزمینی با استفاده از سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری و GIS در غرب استان تهران با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی، از چهار معیار شامل آب، خصوصیات مخزن، مشخصات محور و عوامل اقتصادی-اجتماعی برای اولویت‌بندی انتخاب مکان‌های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی استفاده کرد. بی‌تردید سدهای زیرزمینی در مناطق روستایی کشورهای در حال توسعه که شرایط آب و هوایی خشکی دارند، از محاسن بیشتری نسبت به سدهای ذخیره سطحی برخوردارند، به‌ویژه آن که ریسک آلودگی محتمل و تبخیر آب را کاهش می‌دهند (Hanson and Nilsson, 1988).

(Foster et al., 2002) در گزارش ارزیابی سدهای زیرزمینی احداث شده در برزیل نشان داد که عوامل حجم مخزن، عمق سنگ بستر نسبت به سطح زمین، نفوذپذیری خاک مخزن و کیفیت شیمیایی آب مخزن و کیفیت شیمیایی خاک نقش مؤثری در موفقیت سدهای زیرزمینی دارند.

(Talebi et al., 2023) در حوزه‌های آبخیز در مهریز یزد، با در نظر گرفتن معیارهایی نظیر، حجم مخزن، طول محور سد و مسائل اقتصادی و اجتماعی (تقاضای آب آشامیدنی، تقاضای آب کشاورزی، فاصله از جاده فاصله از روستا)، ۱۷ نقطه برای ساخت سد زیرزمینی انتخاب و در مدل فرایند شبکه تحلیلی (ANP)، رتبه‌بندی نمودند.

منابع آبی کمک خواهد کرد. سد زیرزمینی علاوه بر فواید آن در مقایسه با سدهای ذخیره‌ای سطحی از جمله، عدم تبخیر و ایجاد مشکلات زیست محیطی و آلودگی‌های مشکل‌ساز، عدم مشکل رسوب، نگهداری و بهره‌برداری کم هزینه، غرقاب شدن اراضی، خطرات شکست و غیره، (Telmer and Ishida et al., 2011) یکی از فناوری‌هایی است که برای مدیریت و توسعه منابع آبی به خصوص در اقلیم خشک و نیمه‌خشک و همچنین نواحی کوهستانی فاقد سفره زیرزمینی، توصیه شده است. امروزه، احداث و استفاده از این نوع سازه‌ها در حال گسترش و ترویج هستند (Majidi et al., 2008; Hanson and Nilsson, 1986).

همان‌طور که مشخص است، سد زیرزمینی، یک سازه‌ی هیدرولیکی زیرزمینی است که جریان زیر سطحی را مسدود و یا منحرف نموده و با این مانع، جریان زیرقشری را کنترل و مدیریت می‌نماید (Majidi et al., 2018). موفقیت و اثربخشی این فناوری در ابتدا به مکان‌یابی مناسب و سپس به اجرای صحیح آن وابسته است (Majidi et al., 2018; Talebi, 2023).

مهم‌ترین مشکل در توسعه و ایجاد سدهای زیرزمینی، پیچیدگی تعیین مناطق مناسب است. مهم‌ترین معیارها در تعیین مکان مناسب برای این فناوری با هدف توسعه منابع آب، وجود پی و تکیه‌گاه نفوذناپذیر و مخزنی حجیم با مصالح متخلخل و وجود آب زیرسطحی با کیفیتی در حد قابل قبول است. در چند دهه اخیر، تحقیقاتی در ارائه تحلیل، متدولوژی و معیارهای مناسب در زمینه مکان‌یابی این فناوری صورت پذیرفته است.

(Hashemi, 2001) در پژوهشی از پارامترهای مساحت و فرسایش‌پذیری حوضه، میزان رواناب، شیب حوضه، عرض مقطع رودخانه، ضخامت آبرفت و بافت رسوبات رودخانه برای مکان‌یابی مناطق مناسب جهت احداث سد زیرزمینی در حوزه آبخیز حاج علیقلی واقع در استان سمنان استفاده کرد. (Saadati, 2001) شاخص‌های زمین‌شناسی، هیدرولوژی، هیدروژئولوژی، نیاز آبی، شرایط اقتصادی-اجتماعی و زیست محیطی برای مکان‌یابی محل‌های مناسب احداث سد زیرزمینی

مناسب‌ترین مکان برای این سد است. انتخاب مناسب‌ترین مکان، تأثیر مستقیم بر حجم و هزینه اجرایی و همچنین، راندمان و بازدهی آن و آب قابل استحصال خواهد داشت (Talebi et al., 2023).

در این پژوهش، امکان‌سنجی احداث سد زیرزمینی در زیرحوضه‌های غرب استان سمنان، با استفاده از تحلیل‌های سلسله‌مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی، ارائه می‌شود. در مطالعات مربوط به شناسایی نواحی دارای پتانسیل اجرای یک سازه در مقیاس منطقه‌ای، شناسایی و آگاهی کامل از معیارها و مشخصه‌های مکان مناسب همراه با وزن آنها در تعیین مکان و طبقه‌بندی آنها به طبقات داخلی بر مبنای میزان تأثیر آنها بر انتخاب محل، همراه با امتیازدهی به طبقات، کار مطالعات را تسریع و دقت را افزایش می‌دهد.

با این متدولوژی، هم در امر تصمیم‌گیری تسریع می‌شود و هم از انباشت اطلاعات اضافی جلوگیری شده و مرحله به مرحله با کوچک و محدودتر شدن نواحی، دقت و تمرکز بیشتر می‌شود.

### مواد و روش‌ها

**موقعیت منطقه:** محدوده مطالعاتی از حوضه‌های غرب استان سمنان و از لحاظ موقعیت جغرافیایی، بین ۵۳ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۶ درجه عرض شمالی قرار دارد. این منطقه از نظر ساختاری و موقعیت زمین‌شناسی در زون‌های البرز و ایران مرکزی واقع شده است. لایه‌های زمین در این حوضه تحت تأثیر کوهزایی و تکتونیک، دچار چین‌خوردگی‌های متعدد و گسل‌خوردگی و تغییر شکل و درز و شکاف شده‌اند. مساحت حوضه ۱۰۴/۹۱ کیلومترمربع است.

حداکثر ارتفاع حوضه ۱۶۴۳ و حداقل ارتفاع آن ۱۴۱۳ متر است. از نظر ویژگی‌های هواشناسی، اقلیم منطقه، مدیترانه‌ای نیمه‌خشک است. میانگین بارندگی سالانه منطقه حدود ۱۰۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه بین ۱۲ تا ۱۴ درجه سانتی‌گراد در نوسان است (Ministry of Energy, 2012). این حوضه به سه زیرحوضه آبخیز قابل تفکیک است. روستاهای با اهمیت در بخش جنوبی آن شامل جام، دوزهیر، چاشخوران و در بخش شمالی آن روستاهای کنز و

Kharazi et al., (2019)، تحقیقاتی در زمینه تعیین مکان مناسب سد زیرزمینی با استفاده از سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری انجام دادند. در این پژوهش در گام اول به ضرورت انتخاب سازه زهکشی آب زیرسطحی که ذخیره و کنترل جریان آب را در مناطق نیمه‌خشک و خشک بر عهده دارد پرداختند. در مرحله دوم، تعدادی معیار مؤثر بر فرایند تصمیم‌گیری در هنگام شناسایی مناسب‌ترین مکان شناسایی و انتخاب شد.

در مرحله سه، استفاده از تکنیک AHP<sup>۱</sup> برای اولویت‌بندی هشت مکان مختلف، مربوط به جنبه‌های مختلف از جمله اقتصادی، زیست محیطی، فنی و اجتماعی، استفاده شد. در مرحله چهارم، با استفاده از تکنیک‌های TOPSIS<sup>۲</sup> و EDAS<sup>۳</sup> اقدام به اولویت‌بندی‌ها شد. نتایج نشان داد که در هر دو تکنیک در رتبه‌بندی مکان‌ها به نتیجه تقریباً یکسانی رسیدند.

Rohina et al., (2019)، در تحقیقی انتخاب محل مناسب ساخت سدهای زیرزمینی را از طریق منطق بولین و روش AHP در حوزه آبخیز امامزاده جعفر گچساران بررسی کردند. آنها با استفاده از منطق بولین و معیارهای فیزیولوژیکی، توپوگرافی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، گسل و قنات، مناطقی را که هیچ محدودیتی برای ساخت سد نداشتند، مشخص کردند. سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و معیارهای کمی و کیفی آب، اقتصادی-اجتماعی، مخزن سد و کاربری اراضی، مناطق مناسب را اولویت بندی کردند.

Dortaj et al., (2020)، بر اساس روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ترکیبی به انتخاب مکان سد زیرزمینی در منطقه‌ای واقع در اصفهان پرداختند. آنها ده ناحیه را به‌عنوان گزینه مناسب انتخاب کرده و بر اساس معیارهای زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی، اقلیمی و اقتصادی، رتبه‌بندی نواحی مناسب را انجام دادند. اولین و مهم‌ترین گام در احداث سد زیرزمینی، انتخاب

<sup>1</sup> Analytical Hierarchy Process

<sup>2</sup> Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

<sup>3</sup> Evaluation Based on Distance from Average Solution

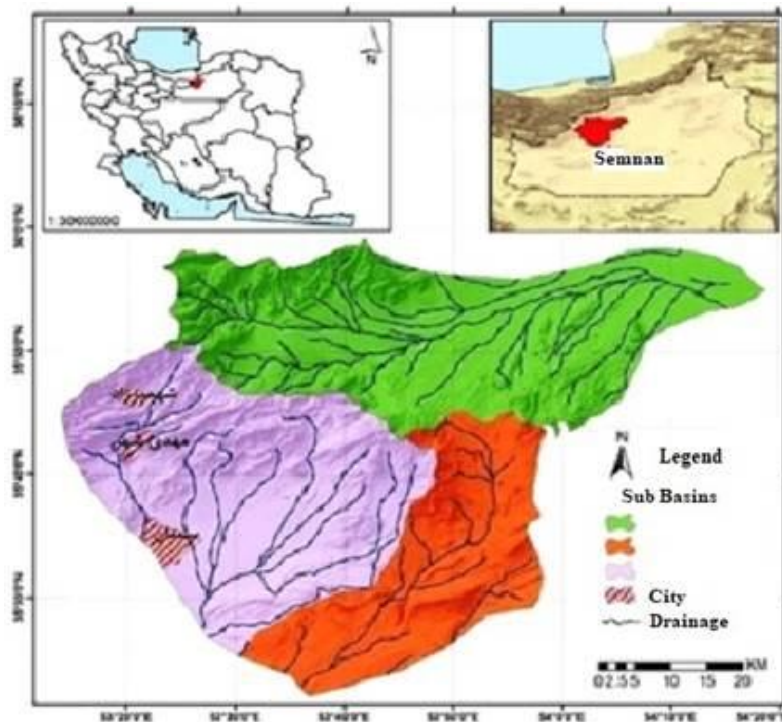
منطقه دارای رخنمون‌هایی از سنگ‌های آتشفشانی ائوسن است. واحدهای سازند کرج در این منطقه رخنمون زیادی دارند. به نحوی که توف و برش‌های سفید تا خاکستری روشن، توف کریستالی، توف اسیدی به رنگ زرد مایل به صورتی، شیل سیاه در منطقه زیاد است.

ضمناً، ماسه‌سنگ و کنگلومرای سیمانی شده‌ی روشن، سنگ‌های آهکی-دولومیتی، سنگ آهک به رنگ خاکستری و همچنین مارن، آهک مارنی و گچ‌دار مارن گچ‌دار و لایه‌های گچی، از جمله واحدهایی هستند که در این منطقه دیده می‌شوند. علاوه بر این رخنمون‌هایی از توده‌های آذرین، داسیت، ریولیت و آندزیت همراه با کنگلومرای آتشفشانی در منطقه وجود دارد. در بخش‌هایی از این منطقه نیز واحدهای سنگ رسوبی، ماسه‌سنگ و شیل از سازند پادها، رخنمون دارد. زمین‌شناسی حوزه آبخیز آبخوری در نقشه شکل ۲، ارائه شده است. در راهنمای نقشه، نام سازندها و واحدهای سنگ‌شناسی رخنمون یافته، ارائه شده است.

آبخوری است. در شکل ۱، موقعیت منطقه مطالعاتی در کشور و زیرحوضه‌های مورد مطالعه در استان، نشان داده شده است.

تجزیه و تحلیل اطلاعات آماری در سه ایستگاه سینوپتیک سمنان، دامغان و مهدی‌شهر در نزدیکی حوضه مطالعاتی بوده‌اند، نشان داد که بارش ماهانه از اردیبهشت ماه توزیع نسبتاً یکسانی دارد. اما در فروردین و اسفندماه، بیشترین بارندگی اتفاق افتاده است. رژیم بارندگی منطقه مطالعاتی مدیترانه‌ای بوده به نحوی که ۹/۳۸ درصد بارندگی‌ها در فصل تابستان به وقوع می‌پیوندد. متوسط بارش سالانه بیش از ۱۰۰ میلی‌متر و متوسط تبخیر از سطح آزاد آب در این حوضه ۱۶۹/۴ میلی‌متر در سال است. میزان پتانسیل تبخیر و تعرق برای این منطقه ۱۲۵۳/۵ میلی‌متر ذکر شده است. پرجمعیت‌ترین محل این ناحیه، شهرک آبخوری با حدود ۴۵۹۶ نفر جمعیت بر اساس آمار سال ۱۳۸۵ است که دارای دو قنات یکی آب شیرین و دیگری آب لب شور است.

**زمین‌شناسی:** حوضه آبخوری سمنان در زون‌های زمین‌شناسی البرز و ایران مرکزی واقع شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی و زیرحوضه‌های آبخیز مورد بررسی

Fig. 1. Location of the study area and the investigated watershed sub-basins

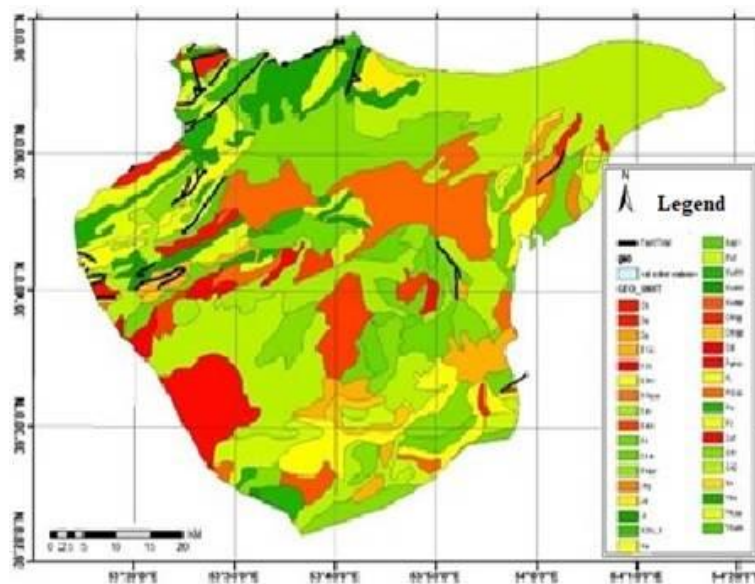
مرکزی است. این گسل یک گسل فشارشی بوده که در بیشتر بخش‌های آن حالت روراندگی دیده می‌شود (ایران مرکزی بر روی البرز). دنباله غربی آن از کوهپایه های جنوبی کوه نمکدان گذشته و کم و بیش از مرز جنوبی کوه‌های البرز می‌گذرد و به سوی شرق ادامه دارد. شبکه‌ای از گسل‌های فرعی منطقه در اثر فعالیت و حرکت این گسل اصلی و بزرگ به وقوع پیوسته است.

گروهی از این گسل‌ها هم راستا با گسل اصلی و فشارشی تا برشی هستند و گروهی دیگر راستایی تقریباً عمود بر گسل اصلی داشته که در یک رژیم تنش کششی حاصل فعالیت گسل اصلی ایجاد شده‌اند. این گروه اخیر از گسل‌ها و شکستگی‌هایی با آبگذری قابل ملاحظه و عموماً زهکش‌های سطحی و زیرسطحی منطقه هستند.

**زمین‌ساخت منطقه:** گسل‌های مهم منطقه مورد مطالعه به قرار زیر است:

**گسل عطاری:** این گسل مرز پالئوژئوگرافی میان البرز و ایران مرکزی است و روند شمال خاوری-جنوب باختری دارد که از کامبرین تا عهد حاضر فعالیت داشته است. اکثر طول این گسل در زیر دشت قوشه مدفون شده و یک گسل راست‌گرد و محدوده قابل رویت آن ۲۵ کیلومتر گزارش شده که مولفه امتدادلغز آن بزرگ‌تر است. گسل‌های فرعی متعددی در منطقه با طول‌های ۲۰۰ متر تا چند کیلومتر که اکثراً، با گسل فوق هم راستا هستند، در نتیجه حرکت و فعالیت این گسل ایجاد شده‌اند.

**گسل سمنان:** این گسل از شمال کوه‌های نوکه-چنداران می‌گذرد و جداکننده زون البرز از ایران



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی رقمی شده منطقه مورد مطالعه (اقتباس از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ چهارگوش سمنان و جام، سازمان زمین‌شناسی) **Fig. 2.** Digitized geological map of the study area (adapted from the 1/100,000 map of Semnan and Jam quadrangle, Geological Survey)

زیرسطحی و جریان زیرقشری در طول آبراهه‌ها، ندارند. توده سنگ‌های منطقه هم به لحاظ فعالیت‌های زمین‌ساخت و هم جنس و درجه شکل‌پذیری، با شدت‌های مختلف دچار درز و شکاف شده و عمده درزه‌ها در سه راستای شرقی-غربی، راستای شمال شرق-جنوب‌غرب و دسته درزه‌هایی با تراکم و فراوانی کمتر در راستای حدودا شمالی-جنوبی، رخ داده است. بیشتر درزه‌های شمالی-جنوبی، تحت رژیم تنش

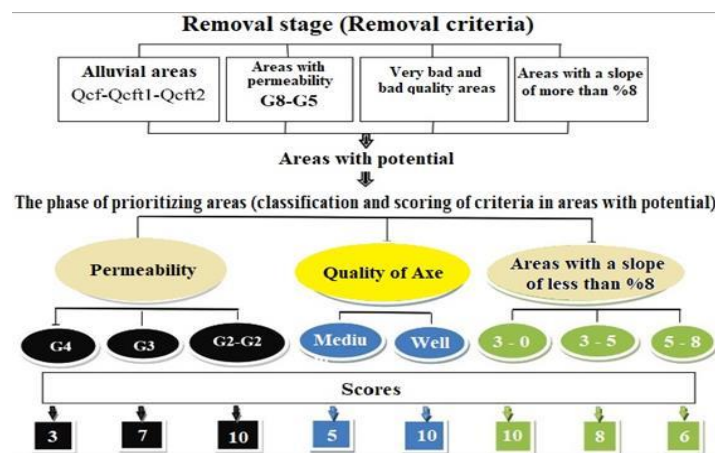
**درز و شکاف‌ها:** توده سنگ‌ها به لحاظ تکتونیک و فعالیت‌های کوهزایی منطقه در طول دوران زمین‌شناسی و همچنین، عوامل هوازدگی، دچار خردشدگی و درز و شکاف‌های متعدد و گاه متراکم و شدید شده‌اند. درز و شکاف‌های ناشی از هوازدگی در سطح توده سنگ‌ها به وقوع می‌پیوندد و عموماً با تراکم زیاد مشاهده می‌شوند. این درز و شکاف‌ها به دلیل سطحی بودن، نقش مؤثری در زهکشی



کششی ایجاد شده و دارای آبگذری بوده و عموماً زهکش‌های زیرسطحی هستند. روش پژوهش: با توجه به ماهیت، عملکرد و اهداف سدهای زیرزمینی و بر اساس مرور منابع انجام شده، شرایط، مشخصه‌ها و معیارهای لازم در زمینه انتخاب مکان مناسب برای احداث این نوع سازه‌های هیدرولیکی زیرزمینی، از جمله، شرایط زمین‌شناسی، هیدرولوژی، توپوگرافی و هندسی، به‌عنوان مشخصه و معیارهای مکان‌یابی، برای منطقه مورد مطالعه مشخص شده است.

با استناد به این شرایط و معیارها، نواحی که فاقد معیارهای فوق هستند، به‌عنوان نواحی فاقد پتانسیل برای احداث سد زیرزمینی، محسوب می‌شوند. بیشتر این مشخصه‌ها و معیارها، خروجی‌هایی هستند که از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های پایه نظیر، توپوگرافی، زمین‌شناسی و منابع آب و با دانش موجود در این زمینه و همچنین، تجربه کارشناسان خبره، به‌دست می‌آید (Chezgi et al., 2008; Khairkhah et al., 2009; Soleimani, 2007). در این پژوهش از اطلاعات مکانی و داده‌های پایه در محدوده مورد مطالعه بهره گرفته شد. داده‌های مکانی شامل نقشه‌های رقومی توپوگرافی، زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی و گسل)، موقعیت مکانی روستاها و داده‌های نقطه‌ای شامل، هواشناسی، اطلاعات چاه، چشمه و قنات و ایستگاه‌های آب و هواشناسی بوده است. با رقومی نمودن اطلاعات و داده‌های پایه

در انتها، برای صحت‌سنجی، کنترل و تعیین خطاهای موجود، از تصاویر گوگل‌ارث و نقشه‌های سایه روشن و لایه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه، به‌عنوان لایه‌های کنترلی، کمک گرفته شد. در نمودار جریان‌یابی شکل ۳، مراحل انجام کار و معیارهای حذفی و وزن‌دهی معیارها ارائه شده است.



شکل ۳- ساختار جریان تصمیم‌گیری و معیارها و وزن آنها در مکان‌یابی سد زیرزمینی

Fig. 3. The structure of the decision-making process and the criteria and their weights in locating the underground dam

## نتایج و بحث

## اعمال معیارهای حذفی و بارسازی نواحی

پتانسیل‌دار: به‌منظور مشخص نمودن نواحی دارای پتانسیل، از معیارهای حذفی یا مطلق و منطبق بولین (شرایط مساعد و نامساعد) استفاده شد. در حقیقت، مرحله به مرحله، نواحی فاقد ارزش و نامناسب برای احداث سد زیرزمینی براساس معیارهای حذفی، حذف شد. سرانجام، نواحی باقیمانده، نواحی هستند که فاقد شرایط نامناسب بوده و بالقوه، دارای پتانسیل احداث سد زیرزمینی خواهند بود. با این متدولوژی، هم در امر تصمیم‌گیری تسریع می‌شود و هم از انباشت اطلاعات اضافی جلوگیری شده و مرحله به مرحله با کوچک و محدودتر شدن نواحی، دقت و تمرکز بیشتر می‌شود (Sadeghiravesh, et al., 2023).

معیارها و مشخصه‌های انتخاب مکان را از لحاظ ارزش و تأثیرگذاری در انتخاب محل، می‌توان در دو گروه طبقه‌بندی نمود. یک گروه از مشخصه‌ها به‌عنوان معیارهای مطلق یا حذفی در طبقه و ارزش مساعد و نامساعد (صفر و یک) هستند که برای حذف نواحی نامناسب و برای پتانسیل‌یابی، در ابتدای مطالعات مکان‌یابی استفاده می‌شود. گروهی نیز به‌عنوان معیارهای تصمیم‌گیر در نظر گرفته می‌شوند. معیار تصمیم‌گیر، شرایط و مشخصه‌های مناسب برای مکان سازه موردنظر هستند که می‌توان آنها را از لحاظ

تأثیرگذاری در انتخاب محل در یک بازه با ارزش‌های بسیار مساعد تا نسبتاً مساعد طبقه‌بندی نمود. کاربرد این معیارها در مرحله اولویت‌بندی و انتخاب گزینه‌های برتر است. در این پژوهش، معیارها به شرح زیر انتخاب شده‌اند،

شیب: این معیار به جهت تأثیر بر هندسه و طول مخزن و همچنین حجم ذخیره، از اصلی‌ترین معیارها برای انتخاب مکان سد زیرزمینی در نواحی کوهستانی است. بر پایه نتایج مرور منابع، نواحی با شیب بین صفر تا ۸ درصد مناسب تا نسبتاً مناسب و نواحی با شیب بیش از هشت درصد جزء مناطق نامناسب و حذفی در نظر گرفته شد (Khairkhan et al., 2008; Soleimani, 2007; Chezgi et al., 2009).

سپس محدوده‌های با شیب کمتر از هشت درصد به‌عنوان نواحی دارای پتانسیل به سه طبقه مجزا از بسیارخوب، خوب و نسبتاً خوب به‌ترتیب شیب‌های ۳-۰، ۵-۳ و ۸-۵ درصد، برای اولویت‌بندی، تقسیم شد (Khairkhan et al., 2008; Darfashan et al., 2016). در نواحی دارای پتانسیل، به شیب‌های ۳-۰، ۵-۳ و ۸-۵ درصد، به‌ترتیب امتیاز ۱۰، هشت و شش اختصاص داده شد. در جدول ۱، طبقه‌بندی شیب منطقه و امتیازدهی آن مشاهده می‌شود. در شکل ۴، نقشه پهنه‌بندی سطح حوضه بر مبنای طبقه شیب و در چهار طبقه، مشاهده می‌شود.

جدول ۱- طبقه‌بندی شیب منطقه و امتیازدهی آن

Table 1. Classification of the area's slope and its scoring

Slope classification	Slope (%)	Score
Very suitable	0 - 3	10
Suitable	3 - 5	8
Relatively suitable	5 - 8	6
Unsuitable	%8 <	0

مرحله پتانسیل‌یابی و هم در مرحله اولویت‌بندی نواحی مستعد، مد نظر قرار می‌گیرد (Sadeghiravesh et al., 2023).

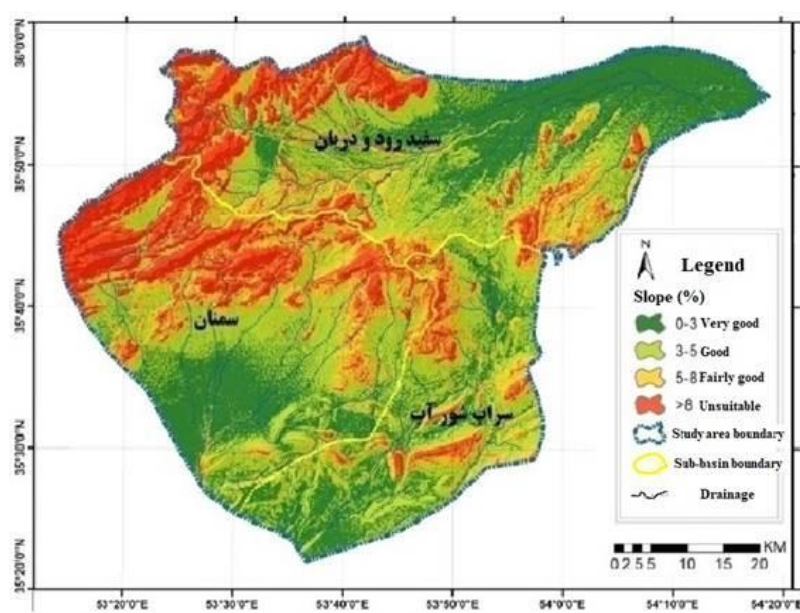
بنابراین، ازمنظر آب‌بندی مخزن و محور، میزان تراوایی سازندهای زمین‌شناسی یکی دیگر از ملاک‌های انتخابی و حذفی در پتانسیل‌یابی است. در این راستا، سازندهای زمین‌شناسی منطقه به هشت

زمین‌شناسی: از معیارهای بسیار مهم در انتخاب محل سد زیرزمینی است. سازند زمین‌شناسی از یک‌سو، به لحاظ بررسی قابلیت فرار و نشت آب و امکان طبیعی آب‌بند بودن سازند در بستر مخزن و تکه‌گاه‌ها و از سوی دیگر، به لحاظ اثر آن بر کیفیت آب و خاک و فرسایش و انحلال‌پذیری آن، هم در

خود اختصاص دادند. مناطق آبرفتی غیرناپوسته و بدون سیمان‌شدگی و سازندهای کارستیک و انحلالی، به دلیل تراوایی بالا، از جمله سازندهای نامناسب از جنبه تراوایی برای پی سنگ سد زیرزمینی بوده و همگی جزء مناطق حذفی در نظر گرفته شده‌اند. در جدول ۲، رده‌بندی کیفی درجات تراوایی سازندهای منطقه و امتیازدهی آنها مشاهده می‌شود. در شکل ۵، نقشه پهنه‌بندی سطح حوضه بر مبنای تراوایی سازندها در هفت طبقه تراوایی، قابل مشاهده است.

رده تراوایی از بسیار کم تا زیاد G1 تا G8، بر اساس روش (Peyravan 2016) و جنس، سیمان‌شدگی و دانه‌بندی، طبقه‌بندی شدند. مناطق با تراوایی متوسط تا زیاد G5 تا G8، جزء مناطق حذفی و مناطق با تراوایی متوسط تا خیلی کم G1 تا G5، جزء مناطق دارای پتانسیل، برگزیده شدند.

در نواحی دارای پتانسیل، محدوده‌های G1 و G2 به‌عنوان تراوایی بسیار کم در رتبه بالا با امتیاز ۱۰، مناطق G3، به‌عنوان تراوایی کم، امتیاز هفت و مناطق G4، به‌عنوان تراوایی متوسط، امتیاز سه را به



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی سطح حوضه بر مبنای شیب در چهار طبقه شیب  
Fig. 4. Basin surface zoning map based on slope in four slope classes

جدول ۲- رده‌بندی کیفی درجات تراوایی سازندهای منطقه براساس سنگ‌شناسی و امتیازدهی آنها

Table 2. Qualitative classification of permeability of formations in the region based on lithology and their scoring

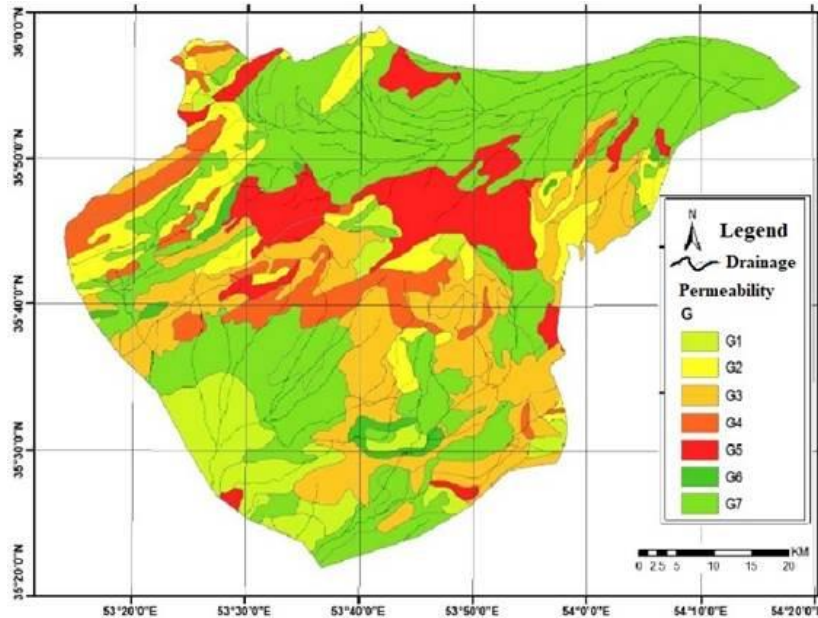
Permeability classification	Formation lithology	Score	Permeability
G1 – G2	Marl, shale, calcareous shales, marly limestones, siltstone, gypsum layer	10	Very little
G3 – G4	Cemented sandstone and conglomerate, dolomite, tuff and igneous	5	little
G5 – G8	Alluvial fan, river thrusts, old alluvium and thick-bedded limestone	0	Moderate - high

(2019). در این راستا، سازندهای زمین‌شناسی منطقه به چهار رده، بسیار بد، بد، متوسط و خوب، به لحاظ اثرگذاری بر کیفیت آب و آبرفت بستر، تقسیم‌بندی شدند (Dashti Barmaki and Saberi Nasr, 2024). مناطق با کیفیت بسیار بد و بد، جزء مناطق حذفی محسوب و متعاقب آن و پس از حذف نواحی نامناسب،

از منظر کیفیت آب و آبرفت مخزن، میزان املاح و انحلال‌پذیری و همچنین، نوع کانی و عناصر سمی، نظیر سرب و آرسنیک در لیتولوژی و بدنه سازندهای زمین‌شناسی در سطح حوضه و در مسیر آبراهه‌ها، یکی دیگر از معیارهای انتخابی و حذفی در پتانسیل‌یابی، سد زیرزمینی است (Chang et al., )

در پهنه‌های دارای پتانسیل، سازندها به دو دسته خوب و متوسط از لحاظ فرسایش‌پذیری، املاح و ریزدانه بودن، دسته‌بندی و به هر یک به ترتیب امتیاز ۱۰ و پنج، اختصاص داده شد. در جدول ۳، رده‌بندی کیفیت سازندهای منطقه براساس سنگ‌شناسی و امتیازدهی آن، مشاهده می‌شود. در شکل ۶، نقشه پهنه‌بندی سطح حوضه بر مبنای کیفیت سازند در سه کلاس کیفیت، مشاهده می‌شود.

در پهنه‌های دارای پتانسیل، سازندها به دو دسته خوب و متوسط از لحاظ فرسایش‌پذیری، املاح و ریزدانه بودن، دسته‌بندی و به هر یک به ترتیب امتیاز ۱۰ و پنج، اختصاص داده شد. در جدول ۳، رده‌بندی

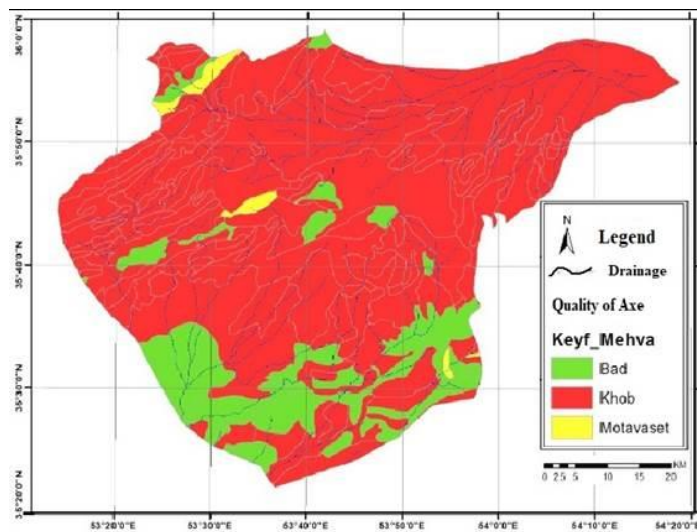


شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی سطح حوضه بر مبنای تراوایی سازندها در هفت کلاس تراوایی.  
 Fig. 5. Basin surface zoning map based on formation permeability in seven permeability classes

جدول ۳- رده‌بندی کیفیت سازندهای منطقه براساس سنگ‌شناسی و امتیازدهی آن

Table 3. Classification of the quality of the formations in the region based on lithology and its scoring

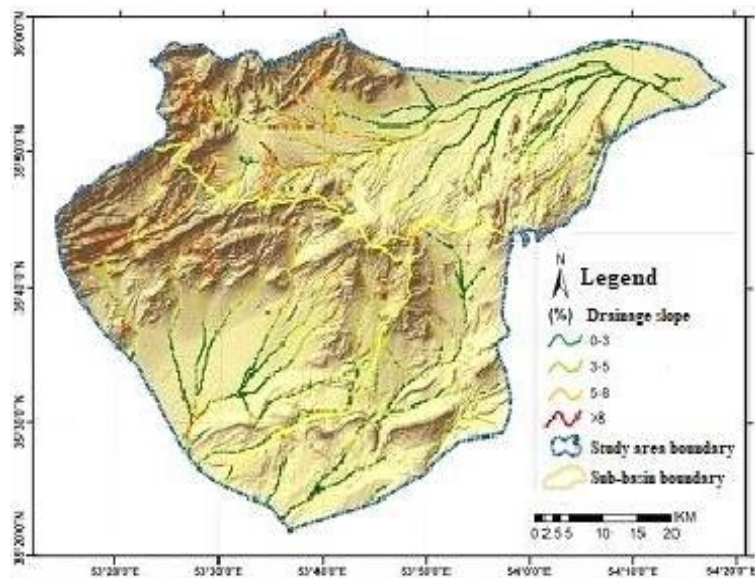
Quality class	Formation lithology	Score
Well	Cemented sandstone and gangue, dolomite, tuff and igneous, alluvial fan, limestone	10
Medium	Marl, shale, calcareous shales, marly limestones, siltstone, river trusts, old alluvium	5
Bad	Gypsum marl, gypsum lime, gypsum layer	0



شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی سطح حوضه بر مبنای کیفیت سازند در سه طبقه کیفیت  
 Fig. 6. Basin surface zoning map based on formation quality in three quality classes

تسریع و دقت در کار، آبراهه‌ها با رده ۱ و ۲، به‌دلیل جایگاه آنها که در نزدیکی خط‌الرس‌ها و نواحی پرشیب و در جایی شکل گرفته‌اند که سطح حوزه آبخیز آنها به‌دلیل نزدیکی به خط‌الرس کم است، به‌عنوان موارد حذفی از سطح مورد مطالعه در نظر گرفته و حذف می‌شوند (Tashakori et al., 2023). آبراهه‌های رتبه ۱ و ۲ به‌دلیل موقعیت مکانی در حوزه آبخیز، عموماً دارای شیب زیاد و بیش از ۱۰ درجه هستند. در شکل ۷، نقشه شبکه آبراهه‌ای در سطح حوضه‌های مورد مطالعه با رتبه ۲ به بعد را نمایش می‌دهد.

شبکه زهکشی: باید توجه داشت که در نواحی کوهستانی، سد زیرزمینی در بستر رودخانه و آبراهه‌ها و در حقیقت تنها در خط‌القعرها قابل احداث است. همچنین، باید مد نظر داشت که سد زیرزمینی در زیر سطح زمین اجرا شده و آب کنترل شده در مخزن سد که یک محیط متخلخل و ضخامتی از آبرفت بستر است، ذخیره و استحصال می‌شود. با توجه به این موارد، یکی از معیارهای مکان‌یابی برای این سازه، وجود ضخامتی از آبرفت و از لحاظ هندسی، حجم و فضای قابل ملاحظه و توجیه‌پذیر برای ذخیره آب کنترل شده است. با در نظر گرفتن موارد فوق و جهت

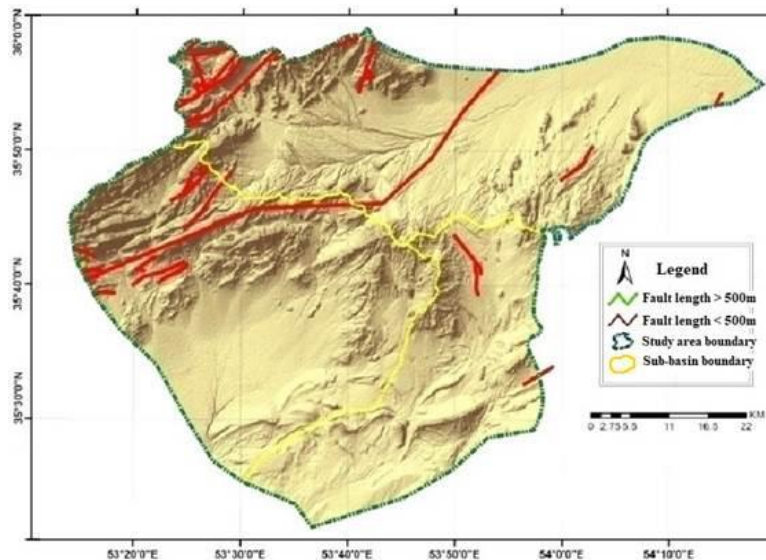


شکل ۷- نقشه شبکه زهکشی منطقه

Fig. 7. Map of the drainage network of the region

خردشدگی توده سنگ و نفوذپذیری و نشت آب، به‌عنوان معیار حذفی و همچنین وجود پتانسیل لرزه ای و ایجاد مخاطره در سازه سد زیرزمینی، جزء مناطق نامناسب جهت احداث سدهای مذکور در نظر گرفته شدند (Arab Ameri, 2018؛ Dashti Barmaki and Saberi Nasr, 2024). شکل ۸، نقشه گسل‌های اصلی منطقه با اعمال بافر آن در محدوده مطالعاتی (اقتباس از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ چهار گوش سمنان و جام، سازمان زمین‌شناسی) را نشان می‌دهد.

گسل‌ها: نقشه گسل‌های محدوده مطالعاتی با اقتباس از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی چهار گوش سمنان و جام، تهیه شد. گسل‌های منطقه طرح با طول بیش از ۲۰۰ متر در محیط GIS در حالت وکتور رقومی شده و با همپوشانی لایه گسل با لایه شبکه آبراهه‌ای، آبراهه‌های گسلی و بازه آبراهه‌ای که منطبق بر گسل و تحت تأثیر گسل قرار گرفته، به‌عنوان بازه‌های حذفی، مشخص شدند. برای گسل‌ها با طول بیش از ۵۰۰ متر بافر ۲۰۰ متری و کمتر از ۵۰۰ متر، بافر ۱۰۰ متری در نظر گرفته شد. نواحی داخل بافر گسل و بازه‌های آبراهه منطبق بر گسل، به‌دلیل



شکل ۸- نقشه گسل و بافر آن در محدوده مطالعاتی (اقتباس از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی، چهارگوش سمنان و جام)  
**Fig. 8.** Map of the fault and its buffer in the study area (adapted from the 1/100,000 map of the Geological Organization, Semnan and Jam quadrangle)

کاهش جریانات زیرسطحی به سمت پایین دست است. مختصات چاه‌ها و چشمه‌ها از شرکت تماب (شرکت تحقیقات منابع آب کشور) تهیه و پردازش اطلاعات بر روی آن انجام گرفت. در اطراف هر چشمه یک بافر ۵۰۰ متری محدود شد. برای مناطقی که در داخل بافر بودند، امتیاز صفر و به‌عنوان معیار حذفی و بیرون از بافر ارزش عددی یا نماد ۱ در نظر گرفته شد. در شکل ۹، نقشه منابع آب (قنات، چشمه، چاه) به همراه بافر آن در محدوده مطالعاتی مشاهده می‌شود (Arab et al., 2009؛ Ameri et al., 2018؛ Soleimani, 2007).

**اولویت‌بندی نواحی مستعد:** در مرحله پتانسیل‌یابی، پس از حذف نواحی نامناسب بر مبنای معیارهای حذفی، محدوده‌های دارای پتانسیل جهت احداث سد زیرزمینی مشخص شد. در آن مرحله معیارهای مکان‌یابی به صورت کیفی و در رده‌های خوب تا بد طبقه‌بندی و سپس، امتیازدهی شده و نقشه تمام معیارها به صورت طبقه‌بندی شده، همراه با موقعیت‌های ارزشی آنها در حالت رستری و در محیط GIS، تهیه شد.

بنابراین، با همپوشانی و روی هم‌گذاری لایه‌های مربوط به معیارها و جمع امتیازات تمام معیارها در هر ناحیه و بازه، اقدام به اولویت‌بندی نواحی پتانسیل‌دار شد.

**منابع آب زیرزمینی:** در مناطق کوهپایه‌ای و کویری، چشمه، چاه و قنات از مهم‌ترین منابع تأمین آب، هستند. منابع آب برای ساکنین این مناطق دارای ارزش فراوان و دارای حق‌آبه است. تخریب و یا دست اندازی به هر یک این منابع به هر عنوان، منطقه را دچار چالش‌های محلی شدید و یا کمبود آب خواهد کرد. هدف اصلی از احداث سد زیرزمینی در مناطق یادشده، مدیریت یا کمک به بهبود منابع آبی و استفاده بهینه از جریانات زیرسطحی به صورت بهینه است.

البته این فرض باید در ذهن تداعی شود که ایجاد یک منبع جدید آبی نباید منجر به تخریب منبع آبی قدیمی و یا حذف حق‌آبه‌ها شود. هیچ قنات، چشمه و چاه، در اثر احداث سد زیرزمینی در منطقه نباید تحت تأثیر این سازه، دچار تخریب و یا کاهش دبی خروجی آب شود (Hajj Seyyed Ali Khani and Saeedian, 2022). البته در شرایط خاص و با مد نظر قراردادن حق‌آبه پایین دست، با احداث سد زیرزمینی در پایین دست چاه و یا مادر چاه قنات، می‌توان در بالا آمدن سطح آب و کنترل و مدیریت آب خروجی از قنات و یا احیاء و تقویت آنها، اقدام مؤثر و مفیدی انجام داد. منابع آب زیرزمینی، در بیشتر اوقات تحت تأثیر احداث سدهای زیرزمینی قرار گرفته و از خود راندمان منفی نشان می‌دهند. دلیل این موضوع نیز حذف و یا

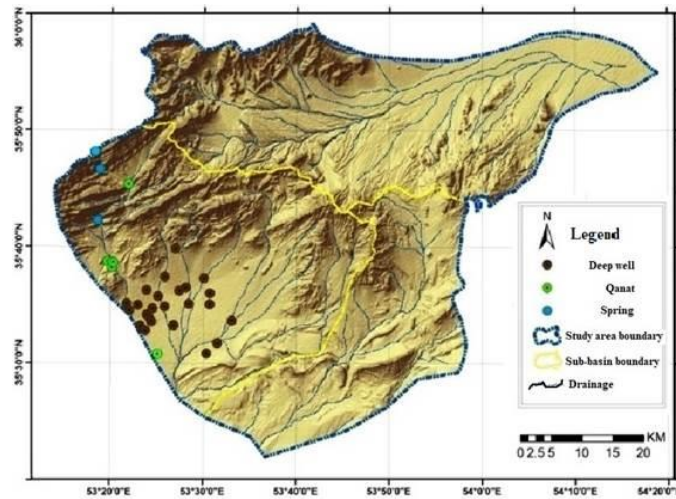
بازه‌هایی از آبراهه که در یک مقطع بستر آن دارای عرض کم (تنگه مانند) بوده و در بالادست آن عرض بستر گسترش سطحی دارد (نظیر بازه‌هایی که چند شاخه آبراهه به هم می‌پیوندند)، به دلیل ایجاد حجم مخزن بزرگ‌تر از یک‌سو و همچنین، حجم عملیات سازه‌ای کمتر از سوی دیگر، برای احداث سد زیرزمینی مستعدتر هستند.

در حقیقت، هرچه عرض بستر در محل بدنه سد (طول محور) کمتر باشد، حجم کار سازه‌ای کاهش خواهد داشت و عملیات اجرایی با سرعت بیشتر و حجم کمتر پیش خواهد رفت و متعاقباً، افزایش سطح مخزن در بالا دست محور (عریض‌شدگی بستر)، سبب افزایش حجم مخزن و ذخیره، می‌شود.

پس از روی‌هم‌گذاری لایه‌های مربوط به معیارهای امتیازدهی شده و محاسبه جمع امتیازات به دست آمده در هر ناحیه و بازه، پهنه‌های انتخابی برای احداث سد زیرزمینی از جنبه اولویت، به قرار زیر دسته‌بندی شد:

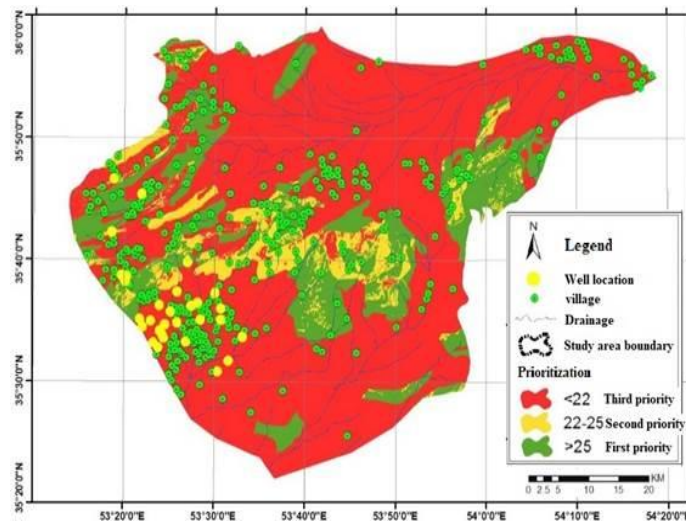
- ۱- اولویت اول: امتیاز  $< 25$
- ۲- اولویت دوم: امتیاز ۲۲-۲۵
- ۳- اولویت سوم: امتیاز  $> 22$

پس از تعیین محدوده‌ها بر مبنای سه رده امتیازی اشاره شده در بالا، موقعیت روستاها، چاه‌ها، قنوات و شبکه آبراهه‌ای بر روی نقشه اولویت‌بندی شده قرار داده شد. در شکل ۱۰، نقشه اولویت‌بندی نواحی از نظر مناسب‌بودن برای احداث سد زیرزمینی، ارائه شده است. البته، در تحقیقات تکمیلی، باید توجه داشت، در



شکل ۹- نقشه منابع آب (قنات، چشمه، چاه) به همراه بافر آن در محدوده مطالعاتی

Fig. 9. Map of water resources (Qanats, springs, wells) along with their buffers in the study area



شکل ۱۰- نقشه اولویت‌بندی مناطق مناسب برای احداث سد زیرزمینی

Fig. 10. Map of prioritizing areas suitable for constructing underground dams

## نتیجه‌گیری

وزن‌دهی به معیارها و مشخصه‌های مکان مناسب و طبقه‌بندی آنها، همراه با امتیازدهی به کلاس‌های داخلی بر مبنای میزان تأثیر آنها بر انتخاب محل انجام می‌شود. در نهایت، اعمال تمام این معیارها با طبقه‌بندی‌های آنها به‌طور هم‌زمان، به اولویت‌بندی مکان‌های مستعد خواهد رسید. در این مسیر، استفاده از توانایی‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی در روی هم گذاری لایه‌ها، کار با توابع و جمع جبری وزن‌ها و امتیازات، موجب افزایش سرعت، سهولت و دقت کار خواهد شد.

نتایج نشان داد که حدود ۲۰ درصد از آبراهه‌های سطح حوضه‌های غرب استان سمنان، دارای پتانسیل احداث سد زیرزمینی و ذخیره‌سازی و کنترل آب با کیفیت قابل قبول، هستند. در این حوضه بیشتر نواحی مستعد در آبراهه‌های رده ۴ و ۵ و بر روی ماسه‌سنگ‌ها، آهک‌ها و مارن‌ها، جانمایی شده‌اند.

## تشکر و قدردانی

نویسنده پژوهش، عضو هیات علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و مجری طرح‌های تحقیقاتی در زمینه سدهای زیرزمینی در این پژوهشکده بوده و در اینجا لازم است تا از پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری تشکر و قدردانی شود.

## تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مطالعات مکان‌یابی، با هدف انتخاب نقاط یا محل‌هایی با شرایط و ویژگی‌های خاص، عموماً در سطح بزرگ و ناحیه‌ای انجام می‌شود. در تعیین محل مناسب، انتخاب شاخص و معیارهای مکان مناسب، بر پایه دانش و آگاهی، در موفقیت مطالعات، بسیار مهم است. نتایج پژوهش مشخص نمود، استفاده از متدولوژی سلسله‌مراتبی و گام به گام، در بستر تکنیک‌های نوین، نظیر GIS، می‌تواند سرعت و دقت در مطالعات مکان‌یابی را افزایش دهد.

در این روش، پس از انتخاب معیارهای مکان‌یابی، می‌توان آنها را به دو گروه، معیارهای مطلق و معیارهای تصمیم‌گیر، تفکیک نمود. معیارهای مطلق که برای انتخاب محل حکم مساعد و نامساعد (صفر و یک) و حذفی را دارد، در شناسایی نواحی پتانسیل‌دار و معیارهای تصمیم‌گیر که در انتخاب محل، در یک بازه با درجه و ارزش خیلی مناسب تا نسبتاً مناسب دخالت دارند، در اولویت‌بندی مکان و انتخاب گزینه‌های برتر شرکت دارند. میزان آگاهی و دقت در تعیین معیارها و نحوه وزن‌دهی و امتیازدهی آنها، ضریب اطمینان را در رسیدن به مناسب‌ترین محل‌هایی که نسبتاً دارای شرایط لازم باشند، بالا می‌برد.

نتایج کار پژوهشی نشان داد که در متدولوژی سلسله‌مراتبی، با اعمال گام به گام معیارهای مطلق، به ترتیب اولویت و با حذف نواحی نامناسب، سبب کاهش سطح منطقه مورد مطالعه و افزایش تمرکز، به‌صورت مرحله‌ای خواهد شد. در این روش و در گام بعد،

## منابع مورد استفاده

- Abolfathi, K., Alikhah-Asl, M., Rezvani, M., 2015. Range classification and evaluation using Geographic Information System (GIS) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), case study: Hablehrood Subwatershed of Shahrabad Basin. Hum. Environ. 13, 45-55 (in Persian).
- Alavi, E.S., Dinpashoh, Y., Asadi, E., 2019. Analysis of hourly storms for the purpose of extracting design hyetographs using the Huff method. Geogr. Environ. Plann. 30, 41-58 (in Persian).
- Alavinia, M., Nasiri Saleh, F., Asadi, H., 2019. Effects of rainfall patterns on runoff and rainfall-induced erosion. Int. J. Sediment Res. 34, 270-278.
- Arab Ameri, A., Sohrabi, M., Rezaei, Kh., Shirani, K., 2018. Locating underground dams using GIS techniques and the Analytical Hierarchy Process (AHP) method. Iran. Water. Sci. Eng. 12(41), 60-51 (in Persian).
- Chang, Q., Zheng, T., Zheng, X., Zhang, B., Sun Q., Walther, M., 2019. Effect of subsurface dams on saltwater intrusion and fresh groundwater discharge. J. Hydrol. 576.
- Chezgi, J., Moradi, H.R., Khairkhan Zarkesh, M.M., Ghasemian, D., Roustaei, Y., 2009. Locating underground dams using decision support systems and GIS in the west of Tehran province. Ms.c Thesis, Tarbiat Modares University. Faculty of Natural Resources and Marine Sciences. 106 pages (in Persian).



- Dashti Barmaki, M., Saberi, Nasr, A., 2024. Potential identification of areas susceptible to underground dam construction nationwide. *J. Eng. Geol.* 18(2), 185-162 (in Persian).
- Derafshan, F., Heydarnejad, M., Bordbar, A., Daneshian, H., 2016. Locating suitable locations for constructing underground dams using the AHP method of multi-criteria decision making (case study of the Indica-Khuzestan region). *Special. Sci. Quart. Water Eng.* 4(2), 9-20 (in Persian).
- Dortaj, A., Maghsoudy, S., Doulati Ardejani, F., Eskandari, Z., 2020. A hybrid multi-criteria decision-making method for site selection of subsurface dams in semi-arid region of Iran. *Groundwater Sustain. Develop.* 10(8), 1-33.
- Foster, S., Azevedo, G., Baltar, A., 2002. Subsurface dams to augment groundwater storage in basemeter terrain for human subsistence-Brazilian experience. *World Bank. GWMATE Case Profile Collection*, 5, 5.
- Geological and Mine Exploration Organization, 1987. *Geological Map of Semnan and Jam Quadrangle 1/100000* (in Persian).
- Haj Seyed Ali Khani, N., Saedian, H., 2022. The combined role of GIS, RS and geoelectricity in determining areas susceptible to underground dam construction. *Water Soil J.* 36(6), 742-729 (in Persian).
- Hanson, G., Nilsson, A., 1986. Ground water dams for rural water supplies in developing countries. *Groundwater* 24(4), 497-506.
- Hashemi, Z., 2002. Investigation of quaternary deposits in the north of the Haj Ali Qoli Desert watershed in order to determine suitable locations for constructing underground dams. Ms.c Thesis. North Azad University. 128 pages (in Persian).
- Khairkhah Zarkesh, M.M., Naseri, H.R., Davoudi, M.H., Salami, H., 2007. Using the analytic hierarchy process in prioritizing suitable locations for underground dam construction, case study: northern slope of Karkas-Natanz mountains. *Construction Research in Natural Resources*, 79 (in Persian).
- Kharazi, P., Yazdani, M.R., Khazealpou, P., 2019. Suitable identification of underground dam locations, using decision-making methods in a semi-arid region of Iranian Semnan Plain. *Groundwater Sustain. Develop.* 9, 100240.
- Kordovani, P., 2004. *Resources and water issues in Iran*. University of Tehran Publications, 414 pages.
- Majidi, A., 2006. Management of groundwater resources using underground dam. *Scienti. Exten. J. Water Soil.* 2(1), 34-28.
- Majidi, A., Ghermez Cheshme, B., 2018. Water supply in dry areas with indigenous underground dam technology. *Baztab Tat* 1(2), 33-34.
- Momzai, A., Talebi, A., Emami, N., 2018. Location of underground dam using analytic hierarchy process and geographic information system (case study: Shahrekord and Morghmalek watersheds). *J. Environ. Water Eng.* 4(2), 137-147 (in Persian).
- Program and Budget Organization, 1993. *Underground dams, a new technique in the development of underground water resources. Plan for the study of water resources and research on the optimal use of existing water facilities.* Publica. 8(65) (in Persian).
- Rohina, T., Ahmadi, H., Moeini, A., Shahriv, A., 2019. Site selection for constructing groundwater da hrough Boolean logic and AHP method (case study: watershed of Imamzadeh Jafar Gachsaran). *Paddy Water Environ.* 18(1), 59-72.
- Saadati, M., 2002. determining suitable locations for underground dam construction in igneous areas using remote sensing (case study: northern slope of Karkas Mountains). Ms.c Thesis in Hydrology (Hydrogeology), Shahid Beheshti University. 143 pages (in Persian).
- Sadeghiravesh, M.H., Khosravi, H., Abolhasani, A., 2023. Selecting proper sites for underground dam construction using multi-attribute utility theory in arid and semi-arid regions. *J. Mt. Sci.* 20, 197-208.
- Satoshi Ishida, S., Tsuchihara, T., Yoshimoto, S., Imaizumi, M., 2011. Review: sustainable use of groundwater with underground dams. *JARQ*, 45(1), 5-61.
- Soleimani, S., 2006. Investigating the engineering geological characteristics of Mashhad Plain in order to zonate the potential for underground dam construction using RS and GIS (case study: Mashhad Plain). Ms.c Thesis in Engineering Geology. Tarbiat Modares University. 112 pages (in Persian).
- Talebi, A., Mandegar, A., Parvizi, S., Poordara, H., Barkhordari, J., 2023. Underground dam site selection using hydrological modelling and analytic network process. *Groundwater Sustain. Develop.* 23, 100976.
- Tashakori, M., Hayatzadeh, M., Fathzadeh, A., Chezgi, J., Bemani, A., 2023. Feasibility study and prioritization of underground dam construction location in arid and semi-arid areas. watershed case study: Rodan Basin. *Water. Eng. Manag.* 15(4), 655-672 (in Persian).
- Telmer, K., Best, M., 2004. *Underground dams: a practical solution for the water needs of small communities in semi-arid regions.* School of earth and oceans sciences. University of Victoria.