Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Regional suitability assessment of Fars Province for subsurface dam implementation

Hamid Hosseinimarandi [*1], Alireza Majidi [2], Parsa Haghighi [3]

1. Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran , Email: hhmarand@gmail.com
2. Assistant Professor, Department of Hydrology and Water Resources Development, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, Email: majidi_geo@yahoo.com
3. Research Expert, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran, Email: parsa.msc@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article type:
Case Study

Article history
Received: 11 November 2025
Revised: 06 December 2025
Accepted: 17 December 2025
Published online: 20 January 2026

Keywords:
Low-permeability formation, Baseflow, Alluvial deposits, River constrictions, Water resilience.

ABSTRACT

Subsurface dams are recognized as effective and strategic structures for water resources management, particularly in arid and semi-arid regions, where they play a key role in enhancing hydrological resilience by reducing evaporation. This study aimed to identify and delineate suitable sites for subsurface dam construction in Fars Province, Iran. A combined approach using Geographic Information Systems (GIS) and field surveys was applied, integrating spatial datasets including geological maps, topography, river networks, slope, population distribution, and road accessibility. Suitable areas were primarily characterized by sufficiently thick permeable alluvial deposits, underlying low-permeability formations, favorable riverbed slopes, stable subsurface flow, and proximity to water demand points. The analysis identified approximately 100 sites suitable for further detailed studies, with southern and central regions exhibiting higher suitability. This spatial distribution highlights the widespread geological and hydrological potential of the province for subsurface dam implementation. Consequently, a priority map with three levels was produced. Field validation and expert consultations played a key role in enhancing the accuracy and comprehensiveness of the map. Implemented as a digital GIS tool, the map provides precise spatial information to support scientific, efficient, and informed decision-making by stakeholders and policymakers. Periodic updates of the map, complemented by additional studies considering climatic and environmental changes, are recommended to ensure the sustainable performance of subsurface dams.

Citation: Hosseinimarandi, H., Majidi, A., & Haghighi, P. (2025). Regional suitability assessment of Fars Province for subsurface dam implementation. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 13(4), 57-68.

DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.5.1

Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association © Author(s)

***Corresponding author:** Hamid Hosseinimarandi
Address: Soil Protection and Watershed Management Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Shiraz, Iran.
Tel: +989171120103
Email: hhmarand@gmail.com

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-06-15]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.5.1]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Regional suitability assessment of Fars Province for subsurface dam implementation

Hamid Hosseinimarandi [*1], Alireza Majidi [2], Parsa Haghighi [3]

4. Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran , Email: hhmarand@gmail.com
5. Assistant Professor, Department of Hydrology and Water Resources Development, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, Email: majidi_geo@yahoo.com
6. Research Expert, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran, Email: parsa.msc@yahoo.com

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Over the past decades, subsurface dams have proven to be highly effective structures for managing water resources in arid and semi-arid regions. By minimizing evaporation losses and enhancing aquifer recharge, they play a crucial role in improving hydrological resilience. Classical FAO studies, alongside recent GIS- and remote-sensing–based research, highlight that site selection for subsurface dams is a multi-criteria process, requiring the integrated consideration of geological, geomorphological, hydrological, climatic, and socio-economic factors. While several studies have addressed subsurface dams in Iran, a comprehensive potential-mapping analysis for Fars Province—a region notable for its geological and hydrological diversity—has not yet been undertaken. This study therefore aims to identify suitable zones for subsurface dam construction in Fars Province and classify them according to their implementation priority.

Methodology: This study employed a combined GIS- and field-based approach to identify suitable zones for subsurface dam construction in Fars Province, Iran. Spatial data including geological maps, topography, river networks, slope, population distribution, and road accessibility were integrated at multiple scales (1:500,000–1:100,000). Geological formations with low permeability and favorable mechanical properties were considered suitable, while soluble rocks, karstic areas, and active faults were excluded. Social and accessibility criteria, such as proximity to villages and presence of roads, were evaluated alongside hydrological factors, including perennial and seasonal streams, floodplain width, and dry or abandoned qanats, indicating potential subsurface water. Environmental constraints, such as impacts on wetlands, were also incorporated. Field surveys were conducted to validate GIS results, involving expert consultations and local knowledge. Integrating these datasets enabled the classification of sites into three priority levels, providing a reliable framework for planning and implementation of subsurface dams in the diverse hydrogeological context of Fars Province.

Results and Discussion: The results indicate that Fars Province has high potential for subsurface dam implementation due to its diverse geology, tectonic structures, and hydrogeomorphic features. Favorable conditions for underground water storage arise from the combination of low-permeability formations (Mishan, Pabdeh, Gurpi, and, under suitable conditions, Bakhtiari conglomerates), permeable alluvial deposits, valleys, hydrogeomorphic passages, and qanat networks. Integration of GIS-based zoning and field validation identified 100 suitable sites, classified into first (15 sites), second (40 sites), and third (45 sites) priority levels, distributed as 43% southern, 42% central, and 15% northern regions. Zagros limestone formations can be used if dissolution and fracturing are minimal, whereas evaporate formations and salt domes impose significant limitations. Areas with low-permeability formations and limited fracture networks demonstrated the highest capacity for flood retention. Underground dams contribute to the formation of artificial aquifers, reduce surface evaporation, and enhance the resilience of groundwater resources. Final site confirmation requires supplementary field investigations, including boreholes and geophysical studies.

***Corresponding author:** Hamid Hosseinimarandi
Address: Soil Protection and Watershed Management Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Shiraz, Iran.
Tel: +989171120103
Email: hhmarand@gmail.com

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-06-15]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.5.1]

ISSN (Online): 2783-1531 - ISSN (Print): 2423-5970

Conclusion: Fars Province has high potential for subsurface dams due to diverse geology, tectonic structures, and favorable hydrology. Optimal sites combine permeable alluvium with continuous low-permeability formations, allowing effective flood retention and groundwater recharge. Prioritization identified 15 sites ready for design, 40 requiring further study, and 45 needing comprehensive assessment. Low-permeability units such as Misha, Pabdeh, and Gurpi enhance storage, while limestone and evaporite formations require careful field evaluation. Subsurface dams thus provide a sustainable solution for water management in the region.

Ethical Considerations

Data availability statement: The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Funding: No funding was received.

Authors' contribution: **Hamid Hosseini Marandi:** Conceptualization, data preparation, software analyses, field visits, writing. **Alireza Majidi:** Results analysis, editing and revising. **Parsa Haghighi:** data preparation, software analyses, field visits, writing.

Conflicts of interest: The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Acknowledgment: The data required for this study were obtained from field surveys conducted as part of the subsurface dam site-selection project in Fars Province. I sincerely thank my colleagues, Dr. Gholamreza Ghahari, Dr. Abdolali Adelpour, and Ghasem Khodahami, for their valuable participation in the field visits.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-06-15]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.5.1]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران ایران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

ارزیابی قابلیت پهنه‌ای استان فارس برای اجرای سدهای زیرزمینی

حمید حسینی‌مرندی*[۱]، علیرضا مجیدی[۲]، پارسا حقیقی[۳]

۱. استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران، hhmarand@gmail.com

۲. استادیار، بخش هیدرولوژی و توسعه منابع آب، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، majidi_geo@yahoo.com

۳. کارشناس پژوهشی، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران، parsa.msc@yahoo.com

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
مطالعه موردی

تاریخچه مقاله
دریافت: ۲۰ آبان ۱۴۰۴
بازنگری: ۱۵ آذر ۱۴۰۴
پذیرش: ۲۶ آذر ۱۴۰۴
انتشار برخط: ۳۰ دی ۱۴۰۴

واژه‌های کلیدی:
سازندهای کم‌نفوذ، جریان زیرقشری، رسوبات آبرفتی، تنگه‌های رودخانه‌ای، تاب‌آوری منابع آب.

چکیده

سدهای زیرزمینی به‌عنوان سازه‌هایی مؤثر و راهبردی در مدیریت منابع آب، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، با کاهش تبخیر نقش مهمی در ارتقای تاب‌آوری هیدرولوژیکی دارند. این پژوهش با هدف شناسایی و پهنه‌بندی سایت‌های مستعد احداث سدهای زیرزمینی در استان فارس انجام شد. برای این منظور، رویکردی ترکیبی از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مشاهدات میدانی به‌کار گرفته شد و داده‌های مکانی شامل نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، شبکه آبراهه‌ها، شیب، پراکنش جمعیت و دسترسی به راه‌ها تلفیق شد. مناطق مناسب عمدتاً شامل سازندهای آبرفتی نفوذپذیر با ضخامت کافی، لایه‌های نفوذناپذیر پایه، شیب مطلوب بستر رودخانه، جریان زیرقشری پایدار و نزدیکی به منابع مصرف آب هستند. تحلیل نتایج نشان داد که حدود ۱۰۰ محل مستعد برای انجام مطالعات تکمیلی و تفصیلی جهت اجرای سدهای زیرزمینی وجود دارد، که پهنه‌های جنوبی و مرکزی استان از قابلیت بهتری برخوردارند. این توزیع، گستردگی قابلیت‌های زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی استان را برای احداث این نوع سازه‌ها نشان می‌دهد. در نتیجه، نقشه پراکنش این محل‌ها با سه سطح اولویت تهیه شد. اعتبارسنجی میدانی و استفاده از نظرات کارشناسان و خبرگان محلی نقش کلیدی در بهبود دقت و جامعیت نقشه داشته است. این نقشه در قالب یک ابزار دیجیتال در سامانه GIS، با ارائه اطلاعات مکانی دقیق، امکان تصمیم‌گیری علمی، سریع و بهینه برای بهره‌برداران و سیاست‌گذاران را فراهم می‌کند. توصیه می‌شود برای تضمین پایداری عملکرد سدهای زیرزمینی، نقشه به‌طور دوره‌ای با مطالعات تکمیلی و با توجه به تغییرات اقلیمی و محیط زیستی به‌روزرسانی شود.

استناد: حسینی‌مرندی، حمید، مجیدی، علیرضا و حقیقی، پارسا. (۱۴۰۴). ارزیابی قابلیت پهنه‌ای استان فارس برای اجرای سدهای زیرزمینی. *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۳(۴)، ۵۷-۶۸.

DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.5.1

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

© نویسندگان

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-06-15]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.5.1]

مقدمه

مکان‌یابی سدهای زیرزمینی طی سه دهه اخیر به‌عنوان یکی از رویکردهای مؤثر مدیریت منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد توجه پژوهشگران و برنامه‌ریزان قرار گرفته است. نخستین چارچوب‌های مفهومی و اجرایی این سازه‌ها توسط سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد ارائه شد و معیارهای اولیه شامل وجود سنگ‌بستر نسبتاً نفوذناپذیر، ضخامت مناسب آبرفت، پایداری مورفولوژیک مسیل و شرایط مناسب هیدرولوژیکی را تبیین نمود (FAO, 1986; 1994; 2001). با توسعه سنجش‌ازدور، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل‌های تحلیل چندمعیاره، پژوهش‌ها در دهه‌های اخیر به سمت بهره‌گیری از روش‌های کمی، لایه‌بندی مکانی و الگوریتم‌های تصمیم‌گیری پیشرفته سوق یافته است.

مرور سیستماتیک مطالعات جهانی نشان می‌دهد که در دهه‌های اخیر تعداد مطالعات مربوط به انتخاب سایت برای سدهای زیرزمینی به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است (Rajabi et al., 2025). در مطالعات بین‌المللی، استفاده از رویکردهای تلفیقی RS/GIS نقش مهمی در بهبود دقت مکان‌یابی سدهای زیرزمینی داشته است. پژوهش‌هایی در کنیا و اتیوپی نشان داد که تحلیل مدل رقومی ارتفاع، ساختار زمین‌شناسی، شیب، جنس رسوبات و وضعیت سنگ‌بستر می‌تواند نواحی دارای پتانسیل بالاتر را با دقت مناسبی شناسایی کند (Alemayehu & Hailu, 2022; Hut et al., 2009). افزون بر این، طی دهه گذشته، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند AHP، FAHP و WLC به‌طور گسترده در تعیین وزن شاخص‌های مؤثر بر ساختگاه این سازه‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Dortaj et al., 2018; Oweis & Hachum, 2012). این روش‌ها امکان ارزیابی مناسب عوامل زمین‌شناسی، ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیک و دسترسی را فراهم و نقش مهمی در استانداردسازی فرآیند مکان‌یابی ایفا کرده‌اند.

در ایران نیز مطالعات متعددی به‌ویژه از اوایل دهه ۱۳۸۰ تاکنون انجام شده است. مومزایی و همکاران (۱۴۰۱) و کاظمی و همکاران (۱۳۹۳) بر اهمیت ویژگی‌های سنگ‌بستر، ضخامت آبرفت، لیتولوژی، شکل دره و داده‌های سنجش‌ازدور در مکان‌یابی این سازه‌ها تأکید کرده‌اند. به‌علاوه، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور در طرح‌های ملی آبخیزداری، مجموعه‌ای از دستورالعمل‌ها و معیارهای اجرایی شامل ویژگی‌های ژئومورفولوژی دره، پتانسیل تجمع آب، شرایط زمین‌شناسی، پایداری دیواره‌ها و ملاحظات اجتماعی ـ اقتصادی را برای مکان‌یابی سدهای زیرزمینی پیشنهاد کرده است (Forests, Rangelands and Watershed Management Organization of Iran, 2013).

در سال‌های اخیر توجه پژوهش‌ها به ابعاد جدیدی از عملکرد سدهای زیرزمینی معطوف شده است؛ از جمله نقش این سازه‌ها در تاب‌آوری منابع آب زیرزمینی، مدیریت تبخیر، کاهش آسیب‌پذیری در برابر خشکسالی و سازگاری با تغییر اقلیم. مطالعات Hagos و همکاران (۲۰۲۲) و Imaizumi (۲۰۲۴) نشان می‌دهد که سدهای زیرزمینی می‌توانند نوسانات سطح ایستابی را کاهش داده و پایداری تأمین آب را در مناطق نیمه‌خشک بهبود دهند. افزون بر این، پژوهش‌های جدیدتری همچون Al-Ruzouq و همکاران (۲۰۱۹) و Gebremedhin & Kassa (۲۰۲۴) با بهره‌گیری از مدل‌های چندمعیاره مبتنی بر GIS، یادگیری ماشینی و تحلیل‌های مکانی پیشرفته گزارش کرده‌اند که پارامترهایی مانند پهنای دره، تراکم آبراهه، شاخص شکل حوضه، هدایت هیدرولیکی آبرفت، و شاخص خشکسالی SPEI از مهم‌ترین متغیرهای تعیین‌کننده در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی هستند.

در داخل کشور نیز پژوهش‌هایی طی سال‌های اخیر (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹؛ صابری و همکاران، ۱۴۰۰) با استفاده از AHP، ANP، الگوریتم‌های مبتنی بر منطق فازی و داده‌های ماهواره‌ای Sentinel و SRTM انجام شده‌اند که نشان می‌دهد ترکیب شاخص‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی با داده‌های هیدرولوژی و اقلیم، قابلیت پهنه‌بندی مکانی اجرای سدهای زیرزمینی را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد. هم‌چنین، مطالعات متعددی به بررسی مکان‌یابی و ارزیابی سدهای زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک پرداخته‌اند (مومزایی و همکاران، ۱۴۰۱؛ کاظمی و همکاران، ۱۳۹۳؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۹). در استان فارس، پژوهش‌ها عمدتاً محدود به ارزیابی ویژگی‌های زمین‌شناسی و هیدرولوژیک سدهای زیرزمینی در سایت‌های خاص، مانند سد زیرزمینی اسلام‌آباد و پسبند بوده و گزارش‌هایی از فعالیت پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری نیز موجود است (مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس). چند پایان‌نامه کارشناسی ارشد (خلیفه، ۱۳۹۲؛ جمشیدی، ۱۳۹۳) نیز در خصوص مکان‌یابی و زمین‌شناسی مهندسی سد زیرزمینی در مناطق خاصی از استان فارس تهیه شده است. با این حال، هیچ مطالعه‌ای که پهنه‌بندی جامع قابلیت اجرای سدهای زیرزمینی در سطح استان فارس را ارائه دهد، موجود نیست؛ این کمبود ضرورت انجام پژوهش حاضر را توجیه می‌کند.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-06-15]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.5.1]

موقعیت و ویژگی‌های طبیعی منطقه مورد مطالعه

استان فارس با وسعتی حدود ۱۳۳ هزار کیلومتر مربع (معادل ۸/۱ درصد مساحت کشور) در جنوب‌غرب ایران واقع شده و از نظر اقلیمی و توپوگرافی یکی از متنوع‌ترین استان‌های کشور به‌شمار می‌رود (شکل ۱). این استان به‌طور کلی شامل سه ناحیه اقلیمی اصلی است: نواحی شمال و شمال‌غرب با زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل، نواحی مرکزی با زمستان‌های نسبتاً معتدل و تابستان‌های گرم و خشک، و نواحی جنوب و جنوب‌شرق با زمستان‌های معتدل و تابستان‌های بسیار گرم. چنین تنوعی در شرایط اقلیمی، توپوگرافی پیچیده، ساختارهای زمین‌شناسی گسترده و وجود دشت‌ها و حوضه‌های آبریز متعدد، موجب شده است تا رفتار هیدرولوژیکی استان در بخش‌های مختلف به‌شدت متفاوت باشد. این ویژگی‌ها اهمیت تحلیل پهنه‌ای و مکان‌محور برای شناسایی مناطق مناسب اجرای طرح‌های مدیریت منابع آب، از جمله سدهای زیرزمینی، را ضروری می‌سازد.

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی در جنوب ایران

Figure 1- Geographical location of the study area in southern Iran

روش کار

برای تهیه نقشه پهنه‌بندی قابلیت احداث سدهای زیرزمینی در استان فارس، رویکرد این پژوهش مبتنی بر ترکیب تحلیل کارشناسی–میدانی و بررسی لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS بوده است. داده‌های مکانی شامل نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، شبکه آبراهه‌ها، شیب، پراکنش جمعیت و راه‌های ارتباطی در مقیاس‌های ۱:۵۰۰،۰۰۰، ۱:۲۵۰،۰۰۰ و ۱:۱۰۰،۰۰۰ استخراج شد و به‌عنوان چارچوب پایه ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله نخست، واحدهای زمین‌شناسی به‌صورت ترکیبی از تحلیل GIS و بررسی کارشناسی مطالعه شد. سازندهای با سنگ‌شناسی ریزدانه و نسبتاً کم‌تخلخل مانند مارن‌ها و سیلتستون‌ها، ماسه‌سنگ‌های ریزدانه در سازندهای پابده–گورپی و آغاجاری، سازند کنگلومرایی بختیاری و آهک‌های کم‌انحلال سازند آسماری به‌عنوان نمونه واحدهای مناسب در نظر گرفته شدند. در مقابل، سازندهای گچساران، هرمز، واحدهای انحلال‌پذیر مانند ساچون، و بخش‌های کارستی سازندهای جهرم و سروک، هم‌چنین پهنه‌های دارای گسل‌های فعال، در قالب محدودیت‌های زمین‌شناختی از نواحی مستعد حذف شدند.

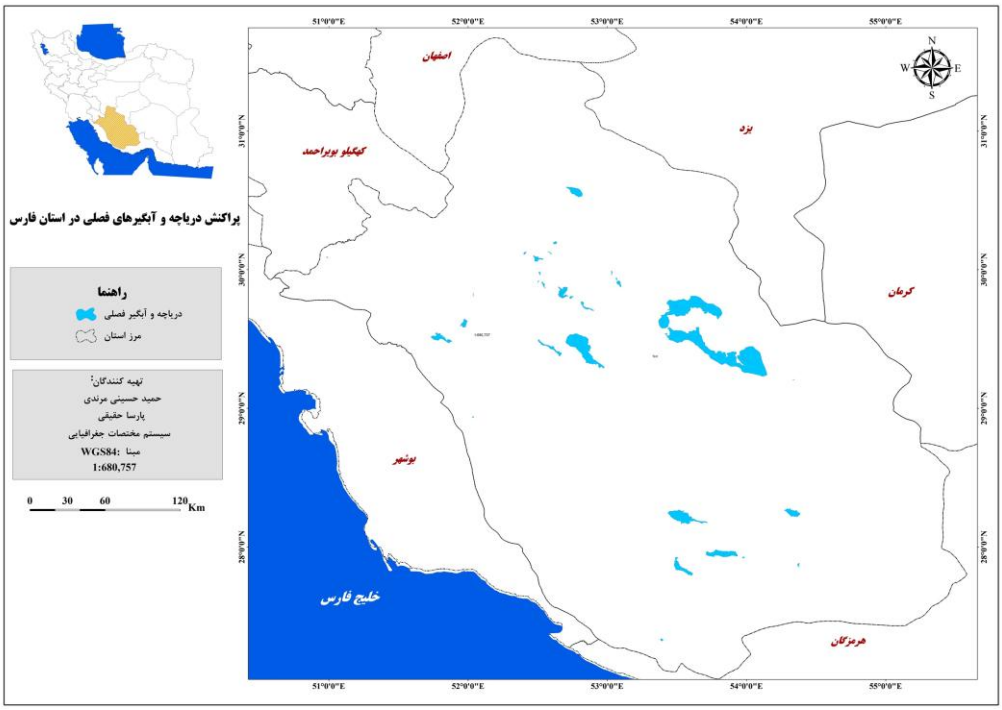
در گام دوم، معیارهای اجتماعی و دسترسی با هدف ارزیابی امکان بهره‌برداری واقعی از سدهای زیرزمینی بررسی شد. مطابق توصیه‌های فائو (FAO, 2001)، فاصله حداکثر ۱۵ کیلومتر از نزدیک‌ترین روستا به‌عنوان آستانه اصلی دسترسی در نظر گرفته شد و لایه راه‌های ارتباطی نیز با همین منطق تحلیل شد. در مواردی که فاصله روستا زیاد بود اما جاده مناسب در نزدیکی محل وجود داشت، سایت

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-06-15]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.5.1]

هم‌چنان قابل‌قبول محسوب شد. همچنین با توجه به الگوی کوچ‌روی عشایر در بخش‌هایی از فارس، انعطاف بیش‌تری در ارزیابی معیار فاصله اعمال شد. به موازات این مرحله، لایه‌های هیدرولوژیکی شامل رودخانه‌های دائمی و فصلی، خشکه‌رودهایی بیش از ۱۰۰ متر عرض و تنگ‌شدگی‌های کم‌تر از ۱۰۰ متر تحلیل شد تا قابلیت ذخیره‌سازی جریان‌های سطحی بررسی شود.

اگرچه آبراهه‌هایی که دارای قنات فعال در بستر خود هستند، برای احداث سد زیرزمینی مناسب نیستند، در شرایطی که قنات‌های متروکه یا خشک در حاشیه آبراهه واقع شده‌اند، احداث سد زیرزمینی می‌تواند باعث افزایش سطح آب زیرسطحی و احیای این قنوات شود، بدون آن‌که به بستر اصلی آبراهه آسیب وارد شود. بنابراین وجود چنین قنات‌هایی، به‌عنوان شاخصی از وجود جریان زیرقشری و شرایط هیدروژئولوژیک مطلوب ثبت شد. شیب طولی مسیل‌ها از مدل رقومی ارتفاع (DEM) استخراج شد و شیب کم‌تر از ۵ درصد به‌عنوان معیار فنی انتخاب شد. روش‌های مکان‌یابی سدهای زیرزمینی، بر اساس ترکیب داده‌های زمین‌شناسی، مورفولوژی، و مدل رقومی ارتفاع (DEM)، امکان شناسایی مناطق مناسب برای احداث این سازه‌ها را فراهم می‌آورند (Forzieri et al., 2008).

مرحله سوم به ارزیابی محیط‌زیستی و معیارهای تکمیلی اختصاص داشت. با توجه به حساسیت اکولوژیکی استان فارس، سایت‌هایی که امکان کاهش حقابه تالاب‌های شیرین (اولویت اول) و تالاب‌های شور (اولویت دوم) را داشتند، حذف شدند. شکل ۲ نقشه پراکنش جغرافیایی تالاب و آبگیرهای فصلی در استان فارس را نشان می‌دهد. سپس اطلاعات حاصل از نقشه‌ها با تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل کارشناسی تطبیق داده شد تا دقت مکانی و توصیفی ارزیابی‌ها افزایش یابد. در این مرحله، معیارهایی چون ضخامت تقریبی آبرفت (حدود یک‌بیستم عرض مسیل)، ساختار و جنس سنگ بستر، شرایط تکیه‌گاه‌ها، کیفیت احتمالی آب، وجود چشمه و قنات، احتمال شورشدگی پایین‌دست، و قابلیت بهره‌برداری محلی به‌صورت کیفی–توصیفی در محیط GIS و در فرم‌های ارزیابی ثبت شد.



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی دریاچه و آبگیرهای فصلی در استان فارس

Figure 2– Geographic location of the lake and seasonal water reservoirs in Fars Province

در مرحله نهایی، به‌منظور افزایش دقت و قابلیت اعتماد نتایج، بازدیدهای میدانی در سطح استان انجام شد. طی این بازدیدها، تیم پژوهش ضمن بررسی مستقیم شرایط توپوگرافی و زمین‌شناسی، با نظرخواهی از خبرگان و کارشناسان محلی، کارشناسان آبخیزداری شهرستان‌ها و بهره‌برداران بومی مصاحبه نمود. مفهوم و معیارهای فنی، اقتصادی و اجتماعی سد زیرزمینی برای کارشناسان محلی تشریح شد و از آنان خواسته شد نقاط مناسب را بر روی نقشه مشخص کنند. این نقاط سپس توسط تیم پژوهش مشاهده، ثبت و از نظر معیارهایی مانند فاصله تا روستا، کیفیت راه دسترسی، عرض مسیل، ضخامت آبرفت، شواهد وجود آب زیرقشری، ساختار تکیه‌گاه‌ها و شیب طولی

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-06-15]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.5.1]

بررسی شدند. در مرحله تحلیل نهایی، مجموعه داده‌های میدانی و اطلاعات GIS تلفیق شد و سه پهنه اصلی قابلیت در استان و طبقات اولویت‌دار برای هر سایت استخراج شد.

نتایج و بحث

نقشه پهنه‌بندی تهیه‌شده نشان می‌دهد که استان فارس، به‌واسطه تنوع زمین‌شناسی، ساختارهای تکتونیکی، شرایط اقلیمی و ویژگی‌های منابع آب سطحی و زیرزمینی، ظرفیت بالایی برای اجرای سدهای زیرزمینی دارد. وجود صدها تنگه و گذرگاه هیدروژئومورفیک، دهانه‌های خروجی خشکه‌رودها از نواحی کوهستانی و تپه‌ماهور، واحدهای سنگی کم‌نفوذ یا نسبتاً نفوذناپذیر در بستر و حواشی مسیرهای آبراهه‌ای، و گسترش رسوبات آبرفتی نسبتاً نفوذپذیر از جمله عواملی هستند که باعث شده‌اند پهنه‌های وسیعی از استان برای احداث سد زیرزمینی مناسب تشخیص داده شوند.

نقشه زمین‌شناسی استان فارس، به‌عنوان مبنایی مهم در ارزیابی قابلیت مناطق برای احداث سدهای زیرزمینی، در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس تلفیق این نقشه با نقشه پهنه‌بندی اولویت‌دار مناطق مستعد (شکل ۳)، که شاخص‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، شیب، بافت رسوبات، شبکه آبراهه‌ها و پارامترهای هیدرولوژیک سطحی و زیرسطحی را در نظر گرفته است، قابلیت هر منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت. تحلیل این نقشه‌ها نشان می‌دهد که مناطق با اولویت بالا عمدتاً در بخش‌هایی واقع شده‌اند که مجموعه‌ای از عوامل ژئومورفولوژیک، تکتونیکی و هیدرولوژیک مساعد را دارا هستند؛ از جمله حضور لایه‌های نفوذناپذیر یا کم‌نفوذ با تداوم افقی مناسب، شیب مطلوب بستر و منابع تغذیه سطحی و زیرسطحی کافی (شکل ۱ و شکل ۳).

بر اساس این تحلیل‌ها و صحت‌سنجی میدانی، مجموعاً ۱۰۰ سایت مستعد احداث سد زیرزمینی شناسایی شد و به‌منظور تسهیل تصمیم‌گیری و تعیین سطح نیازهای مطالعاتی، در سه رده اولویت اجرایی طبقه‌بندی شدند (جدول ۱). رده اول شامل ۱۵ سایت است که براساس شاخص‌های اولیه فنی و هیدرولوژیک، از آمادگی ورود به مراحل بعدی مطالعات و طراحی برخوردارند. صحت‌سنجی میدانی نشان داد که حتی در همین مرحله مقدماتی، غالب سایت‌ها از نظر شرایط اقتصادی و اجتماعی توجیهات مناسبی دارند؛ به‌ویژه نزدیکی به سکونتگاه‌های روستایی و مناطق عشایری و دسترسی مناسب به راه‌ها. با این حال، توجیه اقتصادی و اجتماعی برخی از نقاط مستلزم انجام مطالعات دقیق‌تر و تفصیلی در مراحل بعدی است. رده دوم شامل ۴۰ سایت است که قابلیت‌های اولیه آن‌ها تأیید شده، اما برای تصمیم‌گیری نهایی نیازمند انجام مطالعات تکمیلی هستند. این مطالعات معمولاً شامل بررسی‌های ژئوتکنیک موضعی، پایش هیدرولوژیک و محیط زیستی، و ارزیابی‌های اقتصادی–اجتماعی تفصیلی است. رده سوم شامل ۴۵ سایت است که حداقل الزامات فنی را دارا هستند، اما نیازمند ارزیابی‌های دقیق‌تر، پایش گسترده و غربالگری جامع پیش از هرگونه تصمیم‌گیری هستند. این رده‌بندی و تحلیل جامع، مبنای تصمیم‌گیری در مراحل بعدی طراحی و اجرای سدهای زیرزمینی در استان فارس را فراهم می‌سازد و امکان تمرکز منابع و برنامه‌ریزی بهینه را در سایت‌های با بالاترین پتانسیل فراهم می‌آورد (جدول ۱ و شکل ۳).

از منظر تقسیمات سیاسی، پراکنش مکانی سایت‌های شناسایی‌شده نشان می‌دهد، ۴۳ درصد از سایت‌ها در پهنه جنوبی استان شامل شهرستان‌های خنج، داراب، جهرم، جویم، لار، لامرد، قیروکارزین و زرین‌دشت قرار دارند؛ ۴۲ درصد در پهنه مرکزی شامل شهرستان‌های فراشبند، فیروزآباد، شیراز، سروستان، کازرون، نی‌ریز، خرامه، بختگان و فسا؛ ۱۵ درصد نیز در پهنه شمالی شامل شهرستان‌های ارسنجان، بوانات و خرم‌بید واقع شده‌اند (جدول ۲). این توزیع مکانی به معنای نبودِ پتانسیل در سایر مناطق استان نیست. با توجه به گستره وسیع واحدهای زمین‌شناسی و تنوع شرایط هیدرولوژیکی، احتمال وجود نقاط مناسب در دیگر بخش‌های استان نیز وجود دارد و انجام مطالعات تکمیلی و به‌روزرسانی دوره‌ای نقشه توصیه می‌شود.

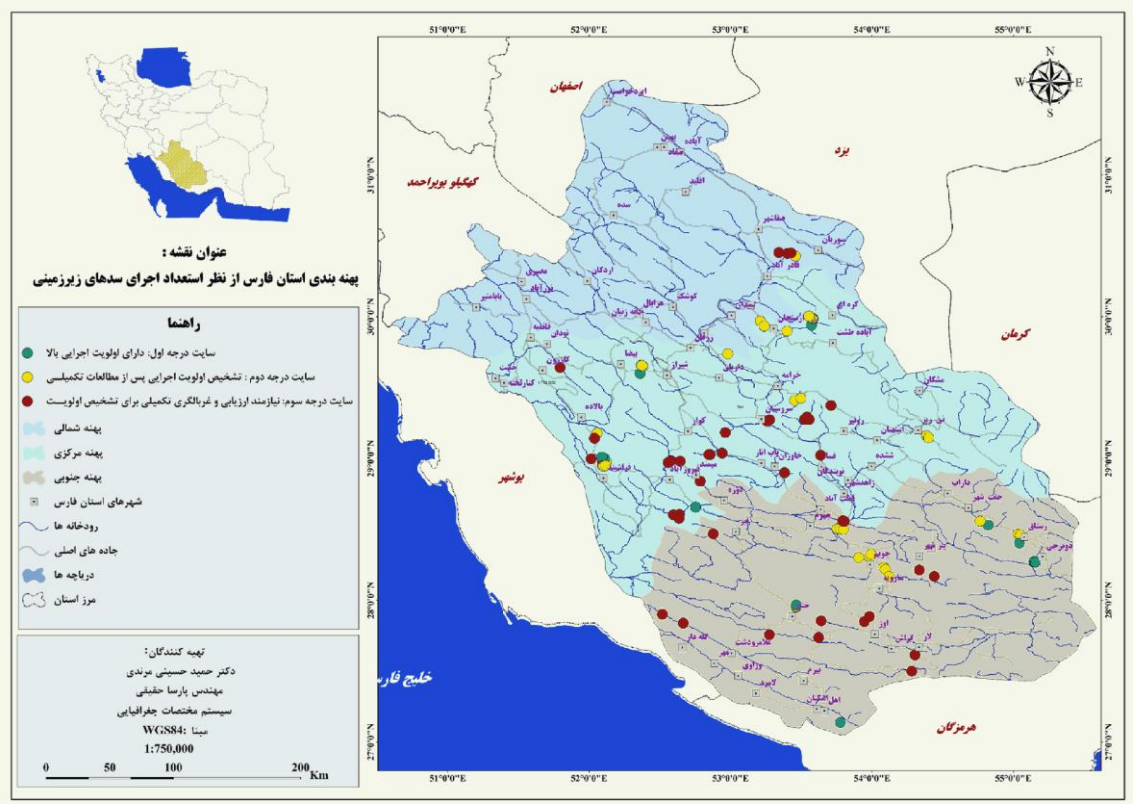
جدول ۱- توزیع سایت‌های مستعد احداث سد زیرزمینی بر حسب اولویت در استان فارس

Table 1- Distribution of suitable sites for subsurface dam construction by priority in Fars Province

ردیف	درجه اولویت	توضیح	تعداد سایت‌ها (درصد)
1	اول	دارای اولویت ورود به مرحله مطالعات طراحی – اجرایی	15
2	دوم	نیازمند مطالعات تکمیلی	40
2	سوم	نیازمند ارزیابی و غربالگری کامل	45

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-06-15]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.5.1]



شکل ۳- نقشه شناسایی و اولویت بندی مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی در استان فارس

Figure 3- Identification and prioritization map of suitable areas for subsurface dam construction in Fars Province

جدول ۲- توزیع سایت‌های مستعد سد زیرزمینی در سه ناحیه جغرافیایی استان فارس

Table 2- Distribution of subsurface dam suitability sites in the three geographical regions of Fars Province

ردیف	موقعیت جغرافیایی	شهرستان‌ها	تعداد سایت‌ها (درصد)
1	جنوبی	خنج، داراب، جهرم، جویم، لار، لامرد، قیروکارزین، زرین‌دشت	43
2	مرکزی	فراشبند، فیروزآباد، شیراز، سروستان، کازرون، نی‌ریز، خرامه، بختگان، فسا	42
3	شمالی	ارسنجان، بوانات، خرم‌بید	15

از منظر زمین‌شناسی، سازندهای میشان، پابده و گورپی به‌عنوان واحدهای نفوذناپذیر عمل کرده و نقش آکوی‌تارد (confining unit) دارند. نفوذپذیری بسیار کم این سازندها محدودیت جریان‌های زیرسطحی و افزایش ظرفیت ذخیره آب زیرزمینی را فراهم می‌کند. علاوه‌بر این، سازند کنگلومرای بختیاری در شرایطی که فاقد درزه و شکاف‌های قابل توجه باشد، به‌عنوان بستر مناسب برای احداث سد زیرزمینی مطرح است، زیرا مقاومت مکانیکی بالا و نفوذپذیری محدود آن امکان مهار و ذخیره سیلاب‌ها را افزایش می‌دهد.

گستره وسیعی از سازندهای آهکی در زاگرس شامل آسماری، جهرم، سروک و فهلیان یافت می‌شود. این سازندها به‌دلیل ماهیت انحلالی و هم‌چنین شکستگی‌ها و گسل‌های فراوان، نیازمند بررسی دقیق‌تر هستند؛ با این حال، درصورتی‌که مشکلات انحلالی و شکستگی در آن‌ها مشاهده نشود، می‌توانند بستر مناسبی برای سدهای زیرزمینی محسوب شوند. در مقابل، وجود سازندهای تبخیری شامل سازندهای گچساران، ساچون و هرمز (گنبدهای نمکی) محدودیت‌های قابل توجهی ایجاد می‌کند. این سازندها به‌دلیل انحلال‌پذیری بالای گچ و نمک و احتمال تشکیل کانال‌ها و مسیرهای زیرسطحی، خطر نشت و از دست رفتن ذخیره آب را افزایش می‌دهند و معمولاً نیازمند مطالعات دقیق و پایش میدانی پیش از هرگونه تصمیم‌گیری هستند. تحلیل نتایج نشان می‌دهد که رابطه‌ای قوی میان روندهای تکتونیکی و ظرفیت نفوذ و انباشت آب زیرزمینی وجود دارد. در نواحی که سازندهای کم‌نفوذ با تداوم افقی کافی در زیر آبرفت‌های نفوذپذیر قرار دارند

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-06-15]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.5.1]

و شبکه شکستگی محدودی دارند، امکان ذخیره و مهار سیلاب‌ها بیش‌تر و تلفات نفوذی کم‌تر است. در مقابل، در بخش‌هایی که گسل‌ها یا شکستگی‌های فعال سازندهای کم‌نفوذ را برش داده‌اند، احتمال نشت جانبی و کاهش کارایی سدهای زیرزمینی افزایش می‌یابد.

نتایج تحلیل نشان می‌دهد که محل‌های مناسب احداث سدهای زیرزمینی عمدتاً در نواحی با ضخامت کافی آبرفت‌های نفوذپذیر بالادست، تداوم افقی سازندهای کم‌نفوذ و حداقل شبکه شکستگی واقع شده‌اند. با توجه به این‌که استان فارس در ناحیه زمین‌شناسی زاگرس قرار دارد، ویژگی‌های زمین‌شناسی و ساختاری این ناحیه شامل بریدگی‌های سنگی و دره‌های تنگ، توالی لایه‌های آبرفتی و سنگی، حضور گسترده سازندهای نفوذناپذیر و آهکی، نقش کلیدی در انتخاب محل مناسب برای سدهای زیرزمینی دارد. لازم به ذکر است که تأیید نهایی هر محل نیازمند داده‌های میدانی تکمیلی شامل گمانه‌های حفاری و مطالعات ژئوفیزیکی است تا درزه‌ها، شکستگی‌ها، خواص هیدرولیکی و ویژگی‌های انحلالی سازندها به‌طور دقیق شناسایی شوند. در مجموع، استان فارس به دلیل توالی مناسب آبرفت‌های نفوذپذیر و سازندهای کم‌نفوذ، پتانسیل بالایی برای اجرای پروژه‌های سدهای زیرزمینی به‌منظور مدیریت پایدار منابع آب دارد، مشروط بر آنکه محدودیت‌های ناشی از سازندهای آهکی و تبخیری به دقت ارزیابی شوند.

نتیجه گیری

تحلیل نقشه‌های زمین‌شناسی و پهنه‌بندی مستعد استان فارس نشان داد که این استان به‌دلیل تنوع زمین‌شناسی، ساختارهای تکتونیکی گسترده، شبکه آبراهه‌ها و ویژگی‌های هیدرولوژیکی سطحی و زیرسطحی، ظرفیت بالایی برای احداث سدهای زیرزمینی دارد. سایت‌های مناسب عمدتاً در نواحی با توالی آبرفت‌های نفوذپذیر بالادست و سازندهای کم‌نفوذ با تداوم افقی کافی قرار دارند که امکان ذخیره و مهار سیلاب‌ها با حداقل تلفات نفوذی را فراهم می‌کند. رده‌بندی سایت‌ها بر اساس اولویت اجرایی شامل ۱۵ سایت با آمادگی ورود به مراحل مطالعات طراحی، ۴۰ سایت نیازمند مطالعات تکمیلی و ۴۵ سایت با حداقل الزامات فنی و نیازمند ارزیابی جامع، امکان تمرکز منابع و برنامه‌ریزی بهینه را فراهم می‌آورد. تحلیل سازندهای زمین‌شناسی نیز نشان داد که واحدهای نفوذناپذیر مانند میشان، پابده و گورپی نقش کلیدی در افزایش ظرفیت ذخیره آب دارند، درحالی که سازندهای آهکی و تبخیری نیازمند بررسی دقیق و پایش میدانی هستند. در مجموع، استان فارس با شرایط زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی مساعد، قابلیت بالایی برای توسعه سدهای زیرزمینی به‌منظور ذخیره‌سازی و مدیریت پایدار منابع آب دارد، مشروط بر آن‌که محدودیت‌های سازندهای آهکی و تبخیری به‌طور دقیق ارزیابی و مطالعات تکمیلی انجام شود.

ملاحظات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: داده‌ها از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

حمایت مالی: حمایت مالی از این پژوهش صورت نگرفته است.

مشارکت نویسندگان: **حمید حسینی‌مرندی:** مفهوم‌سازی، تهیه داده‌ها، تحلیل‌های نرم‌افزاری، بازدیدهای صحرایی، نگارش. **علیرضا مجیدی:** تحلیل نتایج، ویرایش و بازبینی مقاله. **پارسا حقیقی:** تهیه داده‌ها، تحلیل‌های نرم‌افزاری، بازدیدهای صحرایی، نگارش.

تضاد منافع نویسندگان: نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

سپاس‌گزاری: داده‌های مورد نیاز برای این مطالعه از بازدیدهای میدانی انجام‌شده در قالب طرح مطالعات مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در استان فارس به‌دست آمد. از همکاران گرامی آقایان دکتر غلامرضا قهاری، دکتر عبدالعلی عادل‌پور و قاسم خداحامی که در بازدیدهای میدانی مشارکت ارزشمندی داشتند، صمیمانه قدردانی می‌شود.

منابع

۱. احمدی، محمدحسین، وکیلی، امیری، رجب‌پور، رسول، سعیدی‌فر، غلامرضا. و محمدی‌راد، مهرداد. (۱۳۹۹). پهنه‌بندی مناطق مناسب جهت احداث سد زیرزمینی در دشت بیضا با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸. برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۱۰(۳۷)، ۱۶۵–۱۷۸. doi:20.1001.1.22516735.1399.10.37.12.0

۲. جمشیدی، معصومه. (۱۳۹۳). سد زیرزمینی؛ راهکاری مناسب در مدیریت منابع آب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زابل. ۱۵۰ ص.

۳. خلیفه، محمدحسین. (۱۳۹۲). مکان‌یابی سد زیرزمینی پسبند لامرد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه فردوسی مشهد. ۱۳۰ ص.

۴. سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور. (۱۳۹۲). راهنمای انتخاب محل و طراحی اولیه سدهای زیرزمینی. معاونت آبخیزداری.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-06-15]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.5.1]

۵. صابری‌نصر، امیر. و دشتی برمکی، مجید. (۱۴۰۳). پتانسیل‌یابی مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی در سطح کشور. زمین‌شناسی مهندسی، ۱۸(۲)، ۱۶۲–۱۸۵. doi:10.22034/JEG.2024.18.2.1019551

۶. کاظمی، ر.، میرزایی، س. و حاجی‌زاده، ح. (۱۳۹۳). مکان‌یابی سد زیرزمینی با استفاده از فنون سنجش‌ازدور و GIS. علوم و مهندسی آب و خاک، ۲۳ (۴)، ۱۷–۳۲.

۷. مومزایی، ا. و طالبی، ع. (۱۴۰۱). معیارهای علمی جهت تعیین مناطق مناسب احداث سدهای زیرزمینی. ترویج و توسعه آبخیزداری، ۱۰ (۳۶). ۱۷–۱۱. dor: 20.1001.1.26454777.1401.10.36.2.6

References

1. Abdi, R., & Hedayat, A. (2018). Assessment of underground dam sites using GIS and multi-criteria analysis in arid regions. Journal of Arid Environments, 155, 12–22. DOI:10.1080/10106049.2015.1073366
2. Ahmadi, M.H., Vakili, A., Rajab‑pour, R., Saeidi‑far, G.R., & Mohammadi‑rad, M. (2020). Zoning suitable areas for underground dam construction in the Beyza plain using Landsat 8 data. Journal of Regional Planning, 10(37), 165–178. doi:20.1001.1.22516735.1399.10.37.12.0. [In Persian]
3. Alemayehu, M., & Hailu, M. (2022). Suitable dam site identification using GIS-based multi-criteria decision analysis: A case study of Chemoga watershed, Ethiopia. Environmental Monitoring and Assessment, 194(9), 676. doi.org/10.1007/s10661-022-10143-7.
4. Al‑Ruzouq, R., Shanableh, A., Yilmaz, A. G., Idris, A. E., Mukherjee, S., Khalil, M. A., & Barakat A. Gibril, M. (2019). Dam site suitability mapping and analysis using an integrated GIS and machine learning approach. Water, 11(9), 1880. doi.org/10.3390/w11091880.
5. Dortaj, A., Maghsoudy, S., Doulati Ardejani, F., & Eskandari, Z. (2020). Site selection for subsurface dams using a hybrid multi-criteria decision making method. Groundwater for Sustainable Development, 10, 100284. doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100284.
6. FAO. (1986). Underground dams: Guidelines for design and construction. FAO.
7. FAO. (1994). Water harvesting for improved agricultural production. FAO.
8. FAO. (2001). Water harvesting and groundwater recharge. FAO.
9. Forests, Rangelands and Watershed Management Organization of Iran. (2013). Guidelines for site selection and preliminary design of underground dams. Watershed Management Department. [In Persian]
10. Forzieri, G., Gardenti, M., Caparrini, F., & Castelli, F. (2008). A methodology for the pre‑selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: A case study in the region of Kidal, Mali. doi.org/10.1016/j.pce.2007.04.014.
11. Gebremedhin, T., & Kassa, H. (2024). Utilizing multi-criteria decision‑making analysis and 3D visualization techniques for dam site selection and irrigation area identification in Gedeb River, Ethiopia. Heliyon, 10(15), doi:10.1016/j.heliyon.2024.
12. Hagos, Y. G., Andualem, T. G., Mengie, M. A., Ayele, W. T., & Malede, D. A. (2022). Suitable dam site identification using GIS‑based MCDA: a case study of Chemoga watershed, Ethiopia. Applied Water Science, 12, 69. doi.org/10.1007/s13201-022-01592-9.
13. Hut, R., Ertsen, M., Joeman, N., Vergeer, N., Winsemius, H., & van de Giesen, N. (2008). Effects of sand storage dams on groundwater levels with examples from Kenya. Physics and Chemistry of the Earth, 33, 56–66. doi:10.1016/j.pce.2007.04.006.
14. Imaizumi, M. (2024). Review of Subsurface Dam Technology Based on Japan’s Experience in the Ryukyu Arc. Water, 16(16), 2282. doi.org/10.3390/w16162282.
15. Jamshidi, M. (2014). Underground dam as an appropriate solution in water resources management (M.Sc. thesis). University of Zabol, Zabol, Iran. 150 p. [In Persian]
16. Kazemi, R., Mirzaei, S., & Hajizadeh, H. (2014). Underground dam site selection using remote sensing and GIS techniques. Journal of Water and Soil Science, 23(4), 17–32. [In Persian]
17. Khalifeh, M. H. (2013). Site selection of an underground dam: Case study— Pasband, Lamerd (M.Sc. thesis). Department of Earth Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. 130 p. [In Persian]
18. Moumozai, A., & Talebi, A. (2022). Scientific criteria for determining suitable areas for underground dam construction. Journal of Watershed Development and Promotion, 10(36), 11-17. dor: 20.1001.1.26454777.1401.10.36.2.6. [In Persian]
19. Oweis, T., & Hachum, A. (2012). Supplemental irrigation: A highly efficient water-use practice (2nd ed.). Aleppo, Syria: International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). ISBN: 92-9127-270-1.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-06-15]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.5.1]

20. Rajabi, A. M., Alizadehnia, S., & Sohrabi Bidar, A. (2025). A review of studies on underground dam site selection. Physics and Chemistry of the Earth, 140, 103995. doi:10.1016/j.pce.2025.103995.
21. Saberinasr, A., & Dashti Barmaki, M. (2024). Identification of potential areas for the construction of underground dams in the country. Journal of Engineering Geology, 18(2), 162-185. doi:10.22034/JEG.2024.18.2.1019551. [In Persian]

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-06-15]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.5.1]