Watershed Engineering and Management
DOI: 10.22092/ijwmse.2026.371150.2136

Volume 18, Issue 2, 2026, Pages 203-222

Developing a management model for the implementation of underground dams using the Strauss and Corbin approach

Vahid Payravand[1], Ali Salajegheh[2*] and Mohamadreza Sayadi [3]

[1] Phd Student of Watershed Management, Department of Arid and Mountainous Region Reclamation Engineering , Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

[2] Professor, Department of Arid and Mountainous Region Reclamation Engineering , Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

[3] Phd Student of Range Management, Department of Arid and Mountainous Region Reclamation Engineering , Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: 25 August 2025 Accepted: 15 February 2026

Extended abstract

Introduction

Sustainable water resources management in arid and semi-arid regions such as Iran is a critical challenge for ensuring food security and environmental protection. While surface dams have traditionally been effective, they face issues such as high evaporation, sedimentation, and ecological impacts, highlighting the need for alternative solutions. Underground dams reduce water loss and preserve water quality, offering significant potential for improving groundwater management. However, their implementation in Iran encounters technical, social, economic, and institutional challenges. This study uses a grounded theory approach to develop a practical management framework for underground dam implementation, aiming to optimize water use while ensuring the long-term sustainability and efficiency of these infrastructures.

Materials and methods

This qualitative study was conducted using Strauss and Corbin's grounded theory approach, involving 14 experts in watershed management and underground dams with at least 15 years of experience, selected through purposive and snowball sampling. Data were collected via semi-structured interviews until theoretical saturation was achieved. Analysis followed open, axial, and selective coding, resulting in 201 open codes, organized into 49 axial codes and 22 main categories. Data validity and reliability were ensured through expert evaluation, coder agreement, and triangulation methods, leading to the development of a final paradigmatic model for managing the implementation of underground dams.

Results and discussion

This study aimed to develop a paradigmatic model for the management of underground dam implementation in Iran and to analyze the factors affecting project success, based on Strauss and Corbin's Grounded Theory approach. To achieve this, 14 experts and executive managers with 15–35 years of experience, including faculty members and senior managers of national natural resource organizations, participated in the study, providing a diverse and robust basis for qualitative analysis. Through open coding, 201 initial concepts were identified, which, after organization into axial and selective codes, led to the extraction of five core components of the paradigmatic model: causal conditions, contextual conditions, intervening conditions, strategies, and consequences. The causal conditions, including inefficiency of surface dams, threats to livelihoods, and water security risks, acted as the main drivers for adopting underground dams, while contextual conditions such as geological and site characteristics, technical specifications, functional and economic capacities, and local experience created a supportive operational environment for project implementation. Moreover, intervening conditions, including policies, legal frameworks, operational challenges, social participation, and economic justification, played a moderating role affecting the success of strategies and outcomes.

* Corresponding author: salajegh@ut.ac.ir

DOI: 10.22092/ijwmse.2026.371150.2136

Strategy analysis revealed that comprehensive planning, technological development, stakeholder engagement, socio-economic decision-making, training and capacity-building, adoption of innovative technologies, and resource management are critical for achieving underground dam objectives, and coordinated implementation of these strategies enhances management effectiveness, reduces risks, and improves water resource sustainability. Finally, the consequences were identified across five domains: water resource protection and sustainability, economic efficiency and technology acceptance, sustainable agricultural development and water supply, ecological balance and social impacts, and overall project sustainability, demonstrating that simultaneous consideration of causal, contextual, and intervening factors along with coordinated strategies is key to project success. Therefore, the extracted paradigmatic model explains the dynamic interactions among factors and their effects on strategies and outcomes, offering a robust framework for decision-making and policy planning in water resource management in dry and semi-arid regions of Iran, while aligning with international studies and contributing novel insights by integrating technical, managerial, economic, and social dimensions and emphasizing the moderating role of intervening conditions and economic consequences.

Conclusions

Underground dams in Iran can be considered a complementary, context-specific option whose success depends on technical, social, economic, and institutional factors. Inefficiencies of surface dams and threats to water security justify their use, while suitable geological conditions enable implementation. Strategies such as comprehensive planning, technology development, stakeholder engagement, and education can lead to sustainable water management, agricultural development, and economic resilience. This study provides a paradigm model offering a framework for decision-making and management of underground dams, serving as a foundation for future research and water resource planning.

Keywords: Axial and selective coding, Data-driven, Subsurface dams, Water resources management, Watershed management

Cite this article: Payravand, V., Salajegheh, A., Sayadi, M., 2026. Developing a management model for the implementation of underground dams using the Strauss and Corbin approach. Watershed. Water. Eng. Manag.18(2), 203-222.

© 2026, The Author(s). Published by Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0)

مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۸، شماره ۲، ۱۴۰۵، صفحات ۲۰۳-۲۲۲

Watershed Engineering and Management
Volume 18, Issue 2, 2026, Pages 203-222
DOI: 10.22092/ijwmse.2026.371150.2136

تدوین الگوی مدیریت اجرای سدهای زیرزمینی با استفاده از رویکرد اشتراوس و کوربین

وحید پایروند[۱]، علی سلاجقه[۲]* و محمدرضا صیادی[۳]

[۱] دانشجوی دکتری آبخیزداری، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۲] استاد، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۳] دانشجوی دکتری مرتعداری، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۲۶

چکیده مبسوط

مقدمه

مدیریت پایدار منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، چالشی اساسی برای تضمین امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست است. سدهای سطحی با وجود کارایی رایج، با مشکلاتی مانند تبخیر زیاد، رسوبگذاری و اثرات زیست‌محیطی مواجه‌اند و نیاز به گزینه‌های جایگزین را افزایش داده‌اند. در این میان، سدهای زیرزمینی با کاهش تلفات آب و حفاظت از کیفیت منابع، ظرفیت قابل توجهی برای بهبود مدیریت منابع آب فراهم می‌آورند. با این حال، اجرای آنها در ایران با چالش‌های فنی، اجتماعی، اقتصادی و نهادی همراه است. پژوهش حاضر با رویکرد داده‌بنیاد و الگویی تجربی، به دنبال ارائه چارچوبی جامع برای مدیریت اجرای سدهای زیرزمینی است که ضمن بهره‌برداری بهینه از منابع آب، زمینه پایداری و کارایی بلندمدت این سازه‌ها را فراهم می‌کند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش کیفی با بهره‌گیری از رویکرد نظریه داده‌بنیاد اشتراوس و کوربین انجام شد و جامعه آماری شامل ۱۴ نفر از خبرگان حوزه آبخیزداری و سدهای زیرزمینی با حداقل ۱۵ سال تجربه بود که از طریق نمونه‌گیری هدفمند و گلوله‌برفی انتخاب شدند. داده‌ها از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته گردآوری و تا رسیدن به اشباع نظری ادامه یافت. تحلیل داده‌ها در سه مرحله کدگذاری باز، محوری و انتخابی انجام شد. در مجموع ۲۰۱ کد باز استخراج و در قالب ۴۹ کد محوری و ۲۲ مقوله اصلی سازماندهی شد. روایی و پایایی داده‌ها با تأیید خبرگان، توافق میان کدگذاران و روش‌های مثلث‌بندی تضمین شد و مدل پارادایمی نهایی برای مدیریت اجرای سدهای زیرسطحی تدوین شد.

نتایج و بحث

این پژوهش با هدف تبیین مدل مدیریت اجرای سدهای زیرزمینی در ایران و تحلیل عوامل مؤثر بر موفقیت پروژه‌ها با رویکرد نظریه داده‌بنیاد اشتراوس و کوربین انجام شد و برای این منظور ۱۴ متخصص و مدیر اجرایی با سابقه ۱۵ تا ۳۵ سال، شامل اعضای هیات علمی و مدیران ارشد سازمان‌های منابع طبیعی، در مطالعه شرکت کردند تا تنوع تجربه‌ها و نقش‌ها، پایه‌ای مستحکم برای تحلیل داده‌ها فراهم آورد. در فرایند کدگذاری باز، ۲۰۱ مفهوم اولیه استخراج شد که پس

* مسئول مکاتبات: salajegh@ut.ac.ir

از سازماندهی در قالب کدهای محوری و انتخاب کدهای انتخابی، پنج مؤلفه اصلی مدل پارادایمی شامل شرایط علّی، شرایط زمینه‌ای، شرایط مداخله‌گر، راهبردها و پیامدها شناسایی شد. شرایط علّی شامل ناکارآمدی سدهای سطحی، تهدید معیشت و ریسک منابع آب بودند که محرک اصلی بکارگیری سدهای زیرزمینی محسوب می‌شوند، در حالی که شرایط زمینه‌ای مانند ویژگی‌های زمین‌شناسی و ساختگاهی، مشخصات فنی سازه، قابلیت‌های عملکردی و اقتصادی و تجربه محلی، بستر اجرایی مناسب برای تحقق پروژه را فراهم می‌آورند. علاوه بر این، شرایط مداخله‌گر شامل سیاست‌ها، چارچوب‌های قانونی، چالش‌های اجرایی، مشارکت اجتماعی و توجیه اقتصادی نقش تعدیل‌کننده داشته و موفقیت راهبردها و پیامدها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. تحلیل راهبردها نشان داد که برنامه‌ریزی جامع، توسعه فناوری، جلب مشارکت ذینفعان، تصمیم‌گیری اقتصادی-اجتماعی، آموزش و ظرفیت‌سازی، بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و مدیریت منابع، عناصر کلیدی تحقق اهداف سدهای زیرسطحی هستند و اجرای هماهنگ آنها موجب افزایش اثربخشی مدیریتی، کاهش ریسک‌ها و بهبود پایداری منابع آب می‌شود. نهایتاً در بخش پیامدها، پنج حوزه اصلی شامل حفاظت و پایداری منابع آب، بهره‌وری اقتصادی و پذیرش فناوری، توسعه پایدار کشاورزی و تأمین آب، تعادل اکولوژیکی و پیامدهای اجتماعی، و پایداری و مدیریت جامع پروژه شناسایی شد که نشان می‌دهند توجه همزمان به تمام مؤلفه‌های علّی، زمینه‌ای و مداخله‌گر و اجرای هماهنگ راهبردها کلید موفقیت پروژه‌های سد زیرزمینی است. بنابراین، مدل پارادایمی استخراج‌شده تعامل پویا میان عوامل مختلف و اثرات آنها بر راهبردها و پیامدها را تبیین کرده و می‌تواند به‌عنوان چارچوب تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری برای مدیریت منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران مورد استفاده قرار گیرد، ضمن اینکه یافته‌ها با مطالعات بین‌المللی همسو بوده و نوآوری پژوهش در تحلیل همزمان جنبه‌های فنی، مدیریتی، اقتصادی و اجتماعی و توجه به نقش تعدیل‌کننده شرایط مداخله‌گر و پیامدهای اقتصادی نهفته است.

نتیجه‌گیری

سدهای زیرزمینی در ایران به‌عنوان گزینه‌ای مکمل و وابسته به شرایط محلی قابل توجیه هستند و موفقیت آنها مستلزم توجه همزمان به ابعاد فنی، اجتماعی، اقتصادی و نهادی است. ناکارآمدی سدهای سطحی و تهدید معیشت و امنیت آبی ضرورت استفاده از این سازه‌ها را ایجاد می‌کند، در حالی که ویژگی‌های زمین‌شناسی و قابلیت‌های فنی امکان‌پذیری اجرای آنها را فراهم می‌آورد. راهبردهایی مانند برنامه‌ریزی جامع، توسعه فناوری، جلب مشارکت ذی‌نفعان و آموزش، می‌توانند پیامدهای مثبت ازجمله پایداری منابع آب، توسعه کشاورزی و تاب‌آوری اقتصادی را به همراه داشته باشند. این پژوهش با ارائه مدل پارادایمی جامع، چارچوبی برای تصمیم‌گیری و مدیریت سدهای زیرزمینی فراهم می‌کند که می‌تواند مبنای اقدامات آینده پژوهشگران و مدیران منابع آب باشد.

واژه‌های کلیدی: آبخیزداری، سدهای زیرسطحی، کدگذاری محوری و انتخابی، مدیریت منابع آب، نظریه داده بنیاد

مقدمه

صیانت و مدیریت منابع طبیعی برای حفظ تنوع زیستی و پایداری خدمات اکوسیستمی که نقشی بنیادین در حمایت از سلامت انسان و محیط زیست ایفا می‌کنند، اهمیت حیاتی داشته و مستلزم رویکردی مبتنی بر مدیریت پایدار است (Neugarten et al., 2024). مدیریت مؤثر منابع طبیعی، با ایجاد تعادل میان الگوهای مصرف و ظرفیت‌های بازسازی طبیعت، نه تنها مانع تخریب محیط زیست می‌شود، بلکه زمینه را برای رشد اقتصادی پایدار در بلندمدت فراهم می‌آورد (Lee et al., 2021).

در حوزه منابع طبیعی، آب جایگاهی ویژه دارد؛ چراکه دسترسی به آب سالم برای آشامیدن، کشاورزی و فعالیت‌های صنعتی، بنیانی‌ترین شرط سلامت انسان و محرک اصلی توسعه اقتصادی به شمار می‌آید (Biswas et al., 2025). یکی دیگر از کاربرد سدهای زیرزمینی این است که می‌توانند از نفوذ آب شور به آبخوان‌های ساحلی و یا دیگر آب‌های بی‌کیفیت به سفره‌های آب شیرین جلوگیری کنند، اما کارایی آنها به

طراحی، موقعیت و برداشت آب بستگی دارد و استفاده بهینه از آنها مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی را تسهیل می‌کند (Abd-Elaty et al., 2024).

در این راستا، علاوه بر روش‌های سنتی و مرسوم بهره‌گیری از رویکردهای نوآورانه می‌تواند تأمین منابع آبی پایدار را در پاسخ به نیازهای روزافزون انرژی و صنعت آینده تضمین نماید (Hadia et al., 2025). با این حال، کمبود آب به‌عنوان چالشی جهانی، امنیت غذایی و کیفیت زندگی را تهدید می‌کند و ضرورت استفاده کارآمد و مدیریت مؤثر آن را در مسیر تحقق اهداف توسعه پایدار برجسته می‌سازد (Baldwin-Cantello et al., 2023).

کشور ایران، یکی از کانون‌های بحرانی افت آب زیرزمینی در جهان به شمار می‌رود؛ زیرا این منابع به‌دلیل الگوهای ناپایدار بهره‌برداری و تخلیه سریع سفره‌های آبخوان‌ها با فشار فزاینده‌ای مواجه‌اند. تغذیه آب زیرزمینی در سطح کشور با کاهش قابل‌توجهی در حدود ۳/۸ - میلی‌متر در سال روبه‌رو بوده است؛ این روند عمدتا ناشی مدیریت نامناسب و اثرات تغییر اقلیم، همچنین تشدید اثرات تغییرات اقلیمی است (Noori et al., 2023). در کنار این موضوع، کیفیت آب‌های زیرزمینی نیز رو به وخامت نهاده و افزایش شوری و آلودگی، به‌ویژه در مناطق مرکزی، جنوبی و شرقی کشور، بهره‌وری کشاورزی و امنیت آب آشامیدنی را به چالش کشیده است (Noori et al., 2021).

بخش کشاورزی به‌عنوان اصلی‌ترین مصرف‌کننده آب، به‌دلیل حمایت‌های یارانه‌ای در حوزه آب و انرژی، همچنان باعث افت مداوم سطح (آب زیرزمینی) آبخوان‌ها می‌شود، به‌طوری‌که در برخی استان‌ها کاهش سطح ایستابی سالانه به نیم متر نیز می‌رسد (Mirzaei et al., 2019). با این حال، رویکردهای نوین نشان می‌دهد که ترکیب اصلاحات سیاستی در حوزه‌های اجتماعی-اقتصادی و استفاده از فناوری‌های پیشرفته مدیریت آب می‌تواند منجر به کاهش برداشت آب زیرزمینی شود و زمینه را برای بهره‌برداری پایدارتر فراهم سازد (Aghazadeh et al., 2024).

احداث سد یکی از راهکارهای مرسوم و مؤثر در مدیریت منابع آب به شمار می‌آید؛ این سازه‌ها با ذخیره‌سازی آب در دوره‌های پرآبی و تأمین آن در دوره‌های خشکسالی، امکان پایداری منابع آب و تضمین امنیت آبی برای مصارف آشامیدنی، کشاورزی و صنعتی را فراهم می‌کنند (Jeuland, 2020).

با این حال، سدها به‌دلیل تغییر در رژیم جریان و اثرات جانبی فعالیت‌های مربوط به ساخت و بهره‌برداری، تأثیرات منفی عمده‌ای بر کیفیت آب، اکولوژی آبزی، زمین، حیات‌وحش خشکی، پوشش گیاهی و کیفیت هوا دارند، و برای کاهش این تأثیرات منفی بر محیط‌زیست، اقدامات کاهش اثر باید به‌کار گرفته شود (Alla and liu, 2021).

در این راستا، استفاده از سازه‌های زیرسطحی به‌عنوان جایگزینی یا مکمل سدهای مرسوم، روش مناسبی برای ذخیره آب در سازندهای زمین‌شناسی زیرسطحی، مانند سفره‌های آب زیرزمینی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (Akpınar and Şenol, 2025). سدهای زیرزمینی با کاهش تلفات آب ناشی از تبخیر، منبعی پایدار از آب ذخیره‌شده ایجاد می‌کنند که در دوران خشکسالی برای آشامیدن و آبیاری در دسترس قرار می‌گیرد (Gebreslassie et al., 2025). همچنین که ذخیره زیرسطحی آب از منظر اقتصادی در برخی شرایط مقرون به صرفه است (Rupérez-Moreno et al., 2017). به‌ویژه زمانی که از حوضچه‌های نفوذی به‌عنوان روش تغذیه استفاده شود (Arshad et al., 2013).

احداث سدهای زیرزمینی به‌عنوان یکی از راهکارهای تأمین آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک با ترکیب معیارهای زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی، توپوگرافی و اقتصادی و به کمک ابزارهای مکانی مانند GISو مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند مکان‌های مستعد را با دقت بالا تعیین نماید، که این موضوع برای ارتقای مدیریت پایدار آب زیرزمینی اهمیت دارد (Tashakori et al., 2023).

تحقیقات اخیر نشان داده است که ذخیره و انتقال آب زیرزمینی در سازندهای سخت می‌تواند نقش مهمی در تأمین آب شرب و افزایش ظرفیت منابع آب زیرسطحی ایفا کند، به‌ویژه در مناطقی که آب‌های آبرفتی محدودند و مدیریت پایدار منابع نیازمند تحلیل دقیق ویژگی‌های زمین‌شناسی است (Vaezihir et al., 2024). بررسی امکان‌سنجی احداث سد زیرزمینی نشان

می‌دهد که این سازه‌ها، از طریق کنترل و انسداد جریان‌های زیرسطحی در آبراهه‌ها و ایجاد مخازن ذخیره کم‌هزینه، می‌توانند به توسعه منابع آب زیرزمینی در اقلیم‌های خشک کمک کنند، به‌شرطی که مکان‌یابی بر اساس معیارهای هیدرولوژیک و زمین‌شناسی دقیق انجام شود (Majidi, 2025).

اگرچه سدهای زیرزمینی یکی از گزینه‌های نوآورانه در ساماندهی و بهره‌برداری از منابع آب محسوب می‌شوند، اما اجرای آنها، به‌ویژه در ایران، با چالش‌های قابل توجهی همراه است و در صورت نبود دقت کافی می‌تواند پیامدهای منفی نیز در پی داشته باشد. این چالش‌ها عمدتاً ناشی از مجموعه‌ای از عوامل زمین‌شناسی، فنی، اجتماعی–اقتصادی و نهادی است که ضرورت بررسی دقیق و همه‌جانبه را دوچندان می‌کند. شرایط پیچیده و متغیرهای هیدروژئولوژیکی، همچون ترکیب خاک، سازندهای سنگی، لرزه‌خیزی بالا و دینامیک جریان آب‌های زیرزمینی، انتخاب محل مناسب و طراحی مهندسی را دشوار ساخته و پایداری و کارایی سدها را به‌طور بالقوه تهدید می‌کند (Soltaninejad et al., 2025).

همچنین، فقدان داده‌های جغرافیایی جامع و ابزارهای پیشرفته مدلسازی در ایران موجب بروز مشکلات فنی جدی در مرحله ساخت‌وساز می‌شود و لزوم توسعه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و شبیه‌سازی دقیق جریان‌های زیرسطحی برای بهینه‌سازی مکان‌یابی را آشکار می‌سازد (Talebi et al., 2019).

تحلیل SWOT نشان داد که سدهای زیرزمینی با وجود مزایای فنی-هیدرولوژیکی مانند کاهش تبخیر و تقویت ذخیره‌سازی زیرسطحی، تحت تأثیر محدودیت‌های ساختگاهی و ریسک‌های زیست‌محیطی قرار دارند. برآیند فرصت‌ها و تهدیدهای شناسایی‌شده، لزوم تدوین الگوی مدیریتی داده‌محور برای بهبود کارایی و حکمرانی این سازه‌ها را ضروری می‌سازد (Payravand et al., 2025). از منظر اجتماعی–اقتصادی نیز، آگاهی محدود و شناخت ناکافی جوامع محلی و ذی‌نفعان نسبت به مزایا و نحوه بهره‌برداری از سدهای زیرزمینی، مانع پذیرش و مشارکت اجتماعی اثربخش می‌شود و چالش‌هایی در زمینه تأمین مالی و نگهداری بلندمدت ایجاد می‌کند. افزون بر این، ناکارآمدی نهادی و پراکندگی ساختارهای اداری، هماهنگی لازم برای مدیریت جامع آب را تضعیف می‌کند. مسأله‌ای که با کمبود گسترده منابع آبی و مشکلات حکمرانی در ایران تشدید می‌شود (Javanbakht Sheikhahmad et al., 2025).

در این زمینه مطالعات متعدد داخلی و خارجی انجام شده است که در پژوهش های خارجی، Makhmudov et al., (2025) با مدلسازی گریز از مرکز[1]، پایداری سدهای خاکی ازبکستان را بررسی کردند و نشان دادند که مقاومت سازه و نشست‌های بستر، عوامل مؤثر بر ایمنی و بهره‌برداری سدهای زیرزمینی‌اند؛ این موضوع در پژوهش حاضر به‌عنوان یکی از مقولات زمینه‌ای مدیریت اجرای سدها مورد توجه است. Çavdar (2024) نیز با بررسی اثرات تغییر اقلیم در ترکیه، سدهای زیرزمینی را روشی مؤثر برای مدیریت پایدار منابع آب دانست و طرح ملی «۱۰۰ سد زیرزمینی» را نمونه‌ای از برنامه‌ریزی و مدیریت اجرایی موفق معرفی کرد که می‌تواند الگوی مناسبی برای مدیریت اجرای این سازه‌ها در پژوهش حاضر باشد.

در مطالعات داخلی، Movahedi Asl et al., (2024) با استفاده از معیارهای محیطی و هیدرولوژیکی و به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در محیط GIS، به مکانیابی سدهای زیرزمینی در دشت امیرحاضر بهبهان پرداختند. نتایج نشان داد تنها حدود ۳۴ درصد از حوضه دارای پتانسیل مناسب تا بسیار مناسب برای احداث سد زیرزمینی است.

همچنین، Majidi and Marandi, (2025) با هدف امکان‌سنجی ساخت سد زیرزمینی در آبخیز اسلام‌آباد ارسنجان، شرایط زمین‌شناسی مهندسی، هیدروژئولوژی و ژئوتکنیک محل را بررسی کردند و نتایج حاکی از مناسب بودن نسبی منطقه و پیشنهاد بهره‌برداری به روش زهکش تحتانی بود. در همین راستا، Peymankhah et al., (2024) با استفاده از تحلیل‌های مکانی در محیط ArcGIS، مناطق مستعد احداث

[1] centrifugal modeling

سدهای زیرزمینی را در جنوب‌غرب کویر حاج علیقلی شناسایی کردند. نتایج نشان داد، روش میانگین هندسی در مکان‌یابی نسبت به منطق بولین دقت بالاتری دارد و گزینه‌های بهینه‌تری برای احداث سد ارائه می‌دهد.

با وجود توسعه و اجرای سدهای زیرزمینی، مطالعات نشان می‌دهد که این سازه‌ها، در کنار مزایای قابل توجه همچنان با چالش‌هایی مانند رسوبگذاری، وقوع سیلاب، ریزش موضعی، شوری و افت کیفیت آب زیرزمینی، محدودیت‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی، هزینه‌های بالای ساخت، نارسایی‌های فناورانه، خطاهای انسانی و نیمه‌تمام ماندن برخی طرح‌ها مواجه‌اند (Masayuki, 2024؛ Ishida et al., 2011).

به‌رغم وجود این پیشینه، هنوز یک چارچوب مفهومی جامع و داده‌محور که بتواند مجموعه این چالش‌ها را در قالب الگوی مدیریتی قابل اتکا تبیین کند، ارائه نشده است. این پژوهش با بهره‌گیری از نظریه داده‌بنیاد و رویکرد اشتراوس و کوربین در پی آن است که بر اساس شواهد تجربی، الگویی منسجم برای فهم و مدیریت استفاده بهینه از سدهای زیرزمینی ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

الف) مواد پژوهش و مقیاس تحقیق: این پژوهش کیفی با بهره‌گیری از روش نظریه داده‌بنیاد (گراندد تئوری) و بر اساس رویکرد اشتراوس و کوربین (۱۹۹۷) انجام شد و داده‌ها و مصالح اصلی مورد استفاده، داده‌های کیفی حاصل از مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با خبرگان حوزه آبخیزداری و سدهای زیرزمینی بود. جامعه آماری پژوهش شامل متخصصان و خبرگان حوزه آبخیزداری و سدهای زیرزمینی در سطح کشور (ایران) بود و فرایند گردآوری داده‌ها در بازه زمانی یک ماهه در مرداد ماه ۱۴۰۴ انجام شد و تا رسیدن به اشباع نظری ادامه یافت (Sayadi et al., 2025؛ Charmaz and Thornberg, 2020).

ب) روش اجرای پژوهش: روند اجرای پژوهش در چهار گام متوالی و به شرح زیر انجام شد.

گام ۱: تشکیل جامعه آماری و نمونه‌گیری: جامعه پژوهش شامل خبرگان و متخصصان برجسته حوزه آبخیزداری و سدهای زیرزمینی در سطح کشور بود. معیارهای ورود به مطالعه شامل حداقل ۱۵ سال سابقه فعالیت حرفه‌ای، آشنایی و تجربه مستقیم در پروژه‌های مرتبط و اشتغال در حوزه‌های دانشگاهی-پژوهشی یا اجرایی بود (Sayadi and Shariatyniya, 2024).

نمونه‌گیری ابتدا به شیوه هدفمند و با تأکید بر انتخاب آگاهانه افراد انجام شد و در ادامه از روش گلوله‌برفی برای شناسایی بیشتر مشارکت‌کنندگان استفاده شد. فرایند نمونه‌گیری تا رسیدن به اشباع نظری ادامه یافت؛ به‌طوری که پس از مصاحبه چهاردهم تقریبا هیچ مقوله جدیدی شناسایی نشد.

گام ۲: گردآوری داده‌ها: ابزار اصلی جمع‌آوری داده‌ها، مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته و عمیق بود (Foley and Timonen, 2015). در آغاز، یک راهنمای مصاحبه شامل پرسش‌های باز طراحی شد و مصاحبه‌ها به‌صورت انعطاف‌پذیر بر اساس پاسخ‌های شرکت‌کنندگان هدایت شد. تمامی مصاحبه‌ها با رضایت آگاهانه مشارکت‌کنندگان ضبط و سپس به متن مکتوب تبدیل شدند.

گام ۳: تحلیل داده‌ها: کدگذاری داده‌ها از مصاحبه نخست آغاز شد و در سه مرحله کدگذاری باز، محوری و انتخابی دنبال شد (Ghanbari et al., 2024؛ Strauss and Corbin, 1997). در این فرایند، ابتدا در کدگذاری باز مفاهیم با ذهنیتی آزاد شناسایی شدند و ۲۰۱ کد باز استخراج شد. سپس در مرحله کدگذاری محوری، کدهای باز در قالب مقوله‌های محوری سازماندهی شدند و ارتباط آنها با اجزای الگوی پارادایمی مشخص شد. در نهایت، در کدگذاری انتخابی، مقوله‌های نهایی استخراج و مدل پارادایمی تدوین شد تا ارتباط میان مفاهیم اصلی روشن گردد. این رویکرد برای بررسی حوزه‌هایی با پیشینه پژوهشی محدود بسیار کارآمد است (Sayadi et al., 2025؛ Charmaz and Thornberg, 2020).

گام ۴: اعتباریابی و ملاحظات اخلاقی: برای افزایش اعتبار پژوهش، از روش‌های مثلث‌بندی شامل تأیید توسط مشارکت‌کنندگان، بازبینی همکاران علمی و مشاوره با خبرگان استفاده شد. تنوع در انتخاب نمونه‌ها نیز نقش مؤثری در جامعیت و پوشش داده‌ها داشت.

به‌منظور سنجش پایایی داده‌ها، سه مصاحبه به صورت تصادفی انتخاب و بازآزمون انجام شد که نتایج نشان‌دهنده سطح پایایی ۷۹ درصد بود (جدول ۱).

پیش از مصاحبه، اهداف پژوهش برای شرکت‌کنندگان تشریح و رضایت‌نامه آگاهانه اخذ شد. اطلاعات شرکت‌کنندگان محرمانه باقی ماند و امکان انصراف آزادانه در تمامی مراحل فراهم شد.

جدول ۱- نتایج بررسی پایایی بین دو کدگذار

Table 1. Calculation of retest reliability between two coders

Interview Session	Total Data Points	Agreements	Disagreements	Reliability Score (%)
Interview 1	26	20	6	77
Interview 2	30	24	6	80
Interview 3	15	12	3	80
Total	71	56	15	79

نتایج و بحث

در این پژوهش، مشارکت‌کنندگان شامل ۱۴ نفر از متخصصان و مدیران بخش اجرایی کشور و اعضای هیات علمی مرتبط با حوزه آبخیزداری و حفاظت خاک بودند. همه افراد دارای مدرک دکتری به جز یک نفر با کارشناسی ارشد بودند. سابقه کاری این افراد بین ۱۵ تا ۳۵ سال متغیر بود و سن آنها نیز از ۴۶ تا ۷۵ سال تغییر داشت. این افراد عمدتاً اعضای هیات علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، معاونان و مدیران سابق سازمان‌های مرتبط با منابع طبیعی در استان‌های مختلف و مدیران کل مرتبط در سطح ملی بودند که نشان‌دهنده سطح بالای تخصص و تجربه در زمینه مورد مطالعه است.

این ترکیب متنوع از نقش‌ها و سوابق تحصیلی و کاری، پایه‌ای قوی برای تحلیل داده‌ها فراهم کرده است.

کدگذاری باز: در اولین مرحله کدگذاری، که تحت عنوان کدگذاری باز شناخته می‌شود، داده‌های جمع‌آوری شده به‌طور دقیق و خط به خط بررسی شدند تا مفاهیم مختلف استخراج شوند. در این مرحله، متن‌ها به بخش‌های کوچک‌تر تقسیم شده و هر بخش معنی‌دار با یک کد خاص علامت‌گذاری شد. هدف این فرایند شناسایی، تمیز و دسته‌بندی مفاهیم اولیه بدون هیچ پیش‌فرض یا طبقه‌بندی قبلی بود.

بدین ترتیب، ۲۰۱ کد باز استخراج شد که هر کدام نمایانگر یک مفهوم یا موضوع خاص در داده‌ها است و تنوع گسترده‌ای از دیدگاه‌ها و مفاهیم را پوشش می‌دهد. برای روشن‌تر شدن روند کدگذاری و نمونه‌ای از کدهای به‌دست آمده، ده نمونه کد باز منتخب در جدول شماره ۲ ارائه شده است. این کدها مبنای مراحل بعدی تحلیل و دسته‌بندی مفاهیم قرار خواهند گرفت.

جدول ۲- نمونه‌ای از کدگذاری باز

Table 2. An example of open coding

Original Text	Open Code
These structures are used for monitoring groundwater aquifers and water resources.	Added value of the project in monitoring and managing groundwater resources
Potential damage to downstream areas should be resolved through dialogue, agreement, and compensation.	Importance of conflict management through dialogue and compromise
The water of underground dams is sufficient to provide drinking water.	Capacity to ensure a sustainable drinking water supply
In Qaleh Ganj, Kerman, and Khor Village, Hashtgerd, this structure has been studied and implemented by the Watershed Management Research Institute.	Successful research and implementation in domestic case studies
This method has generally been welcomed because it involves low construction costs, low maintenance costs, and is protected from evaporation and pollution.	Public acceptance due to the economic and technical advantages of the method
In the Azimieh mountains of Karaj, underground dams have been used for irrigating vegetation through this technique.	Application of underground dams in irrigating vegetation in mountainous areas
We must coordinate with the Ministry of Energy, and existing problems should be resolved in expert meetings.	Role of inter-institutional coordination and expert meetings in resolving implementation issues
In some areas, the body of these structures is made of mortar, while in others they are constructed with a clay core.	Diversity of construction materials according to regional conditions
In one area, due to improper site selection and the contact of fresh water with saline layers, the dam did not achieve the intended results.	Importance of precise site selection to prevent water quality problems
The needs of each region differ from those of others and should be considered separately in underground dam studies.	Necessity of region-specific assessment and planning based on local conditions

کدگذاری محوری و انتخابی: در این پژوهش و در راستای هدف اصلی که تدوین الگوی مدیریت اجرای سدهای زیرزمینی با استفاده از رویکرد نظریه داده‌بنیاد است، پس از مرحله کدگذاری باز و استخراج ۲۰۱ مفهوم اولیه (کد باز)، فرایند تحلیل با گذر به دو مرحله اساسی کدگذاری محوری و کدگذاری انتخابی ادامه یافت. منظور از کدگذاری محوری، سازماندهی و ارتباط دهی نظام‌مند کدهای باز حول محور پدیده اصلی پژوهش بود؛ به این ترتیب که کدهای باز با معنای مشابه در قالب مقوله‌های گسترده‌تری به نام «کدهای محوری» دسته‌بندی شدند.

این مقوله‌های محوری در چارچوب اجزای الگوی پارادایمی (شرایط علّی، زمینه‌ای، مداخله‌گر، راهبردها و پیامدها) قرار گرفتند تا ساختار اولیه نظریه شکل گیرد. در گام بعدی و در فرایند کدگذاری انتخابی، مقوله‌های محوری با بیشترین اهمیت و قدرت تبیین‌کنندگی، انتخاب، ادغام و اصلاح شدند تا در نهایت مقوله‌های نهایی و هسته‌ای (کدهای انتخابی) استخراج شوند. این فرایند پلکانی از کدهای عینی و خام به سمت مفاهیم انتزاعی و مدل پارادایمی به‌طور کامل در جدول‌های ۳ تا ۷ منعکس شده است. در این جدول‌ها، ارتباط سلسله مراتبی بین کدهای انتخابی (مقوله‌های نهایی)، کدهای محوری (مقوله‌های میانی) و کدهای باز (مفاهیم اولیه) به وضوح نمایش داده شده است.

شرایط علی[1]**:** نتایج این پژوهش نشان داد که شرایط علی، یعنی عواملی که ضرورت استفاده از سدهای زیرزمینی را ایجاد می‌کنند، محرک اصلی توسعه این سازه‌ها هستند. در فرایند کدگذاری کیفی، ابتدا ۱۶ کد باز مرتبط با محدودیت‌ها و مشکلات سدهای سطحی شناسایی شد که پس از دسته‌بندی مفهومی به ۵ کد محوری و نهایتاً ۲ کد انتخابی اصلی تقلیل یافتند که عبارتند از ناکارآمدی و محدودیت سدهای سطحی و تهدید معیشت و ریسک منابع آب (جدول ۳).

این یافته‌ها با مطالعات پیشین همسو ازجمله Alla and liu, (2021) است که نشان می‌دهند سدهای سطحی می‌توانند اثرات منفی قابل توجهی بر محیط زیست و منابع آب داشته باشند و همچنین استفاده از سازه‌های زیرسطحی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌دلیل مزایایی مانند کاهش تلفات تبخیر و افزایش دسترسی به آب در دوره‌های خشکسالی، راهکاری مؤثر برای مدیریت پایدار منابع آبی محسوب می‌شود که با Akpınar and Şenol, (2025) و Luis, et al., (2025) هم راستا است.

بنابراین، شرایط علی به‌عنوان دلایل اصلی و محرک‌های بکارگیری سدهای زیرزمینی، اهمیت بالایی دارند و شناخت دقیق آنها برای تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی و مدیریت موفق پروژه‌ها ضروری است. یافته‌های Payravand et al., (2025) نیز نشان می‌دهد که کاهش تبخیر، افزایش دسترسی به آب در خشکسالی و حفاظت منابع آب از این مزایای فنی و زیست‌محیطی این سدها شناخته شده و به‌عنوان محرک اصلی استفاده از این سازه‌ها، با شرایط علی همسو بوده و ضرورت به‌کارگیری آنها را تقویت می‌کند.

جدول ۳- کدگذاری محوری و انتخابی شرایط علی

Table 3. Axial and selective coding of causal conditions

Open Codes	Axial Code	Selected Code
• Severe siltation of surface dams reduces their efficiency. • High evaporation rates in surface dams pose a challenge in Iran's hot and arid climate. • Leakage and water loss from surface dams deplete water resources. • Rapid sedimentation in surface dams reduces storage capacity.	1. Inefficiency of Surface Dams	1. Inefficiency of Surface Dams Constraints
• The construction cost of surface dams is high relative to their returns. • The economic efficiency of surface dams is low. • Reduced economic and technical efficiency of surface dams compared to investment costs.	2. High Costs and Low Efficiency	
• Surface dams lack sufficient durability and lifespan for long-term water storage.	3. Need for Sustainable and Low-Cost Technology	

[1] Causal conditions

Open Codes	Axial Code	Selected Code
• Inability of surface dams to store sufficient water for droughts. • Limited capacity of surface dams to meet regional water demands.		
• Surface water scarcity reduces agricultural productivity. • Groundwater scarcity threatens the livelihoods of local communities.	4. Threat to Livelihood and Agriculture	
• Severe drought renders surface dams inefficient. • Flash floods render surface dams inefficient. • Arid climatic conditions and dispersion of surface water resources. • High evaporation and water loss from surface dams during hot seasons.	5. Increased Risk of Water Crisis	2. Threat to Livelihood and Water Resource Risks

شرایط زمینه‌ای[1]: نتایج این پژوهش نشان داد که شرایط زمینه‌ای نقش اساسی در فراهم کردن بستر و امکان تحقق پروژه‌های سدهای زیرزمینی دارند. در فرایند کدگذاری کیفی، ۲۷ کد باز مرتبط با این حوزه شناسایی شد که پس از تجمیع معنایی، به هفت کد محوری و نهایتاً چهار کد انتخابی اصلی شامل «ویژگی‌های مناسب ساختگاه و زمین‌شناسی»، «مشخصات فنی و سازه‌ای سد زیرزمینی»، «قابلیت‌های عملکردی و اقتصادی فناوری» و «سابقه و تجربه محلی و پذیرش اجتماعی» تقلیل یافتند.

این محورهای اصلی نشان می‌دهند که تحقق موفق سدهای زیرزمینی تنها در بستر محیطی، فنی و اجتماعی مناسب ممکن است (جدول ۴). یافته‌های پژوهش نشان داد که ویژگی‌های ساختگاه، مشخصات فنی، قابلیت‌های عملکردی و سابقه و تجربه محلی، پیش‌شرط‌های حیاتی برای موفقیت سدهای زیرزمینی هستند. این نتایج با مطالعات پیشین همسو است: مقاومت سازه و شرایط بستر (Makhmudov et al., 2025) و تجربه موفق پروژه‌های ملی مانند «۱۰۰ سد زیرزمینی» ترکیه (Çavdar, 2024) اهمیت انتخاب محل و برنامه‌ریزی دقیق را تأیید می‌کنند.

همچنین، تحلیل محیطی و هیدرولوژیکی و بررسی زمین‌شناسی و ژئوتکنیک (Movahedi Asl et al., 2024؛ Majidi and Marandi, 2025؛ Peymankhah et al., 2024) بر ضرورت شناخت جامع شرایط زمینه‌ای و انتخاب مکان مناسب تأکید دارند. در نتیجه، شناخت دقیق شرایط زمینه‌ای و بهره‌گیری از تجربه پروژه‌های موفق، اساس برنامه‌ریزی و مدیریت مؤثر سدهای زیرزمینی را تشکیل داده و ریسک‌های اجرایی و ناکارآمدی عملکرد را کاهش می‌دهد.

جدول ۴- کدگذاری محوری و انتخابی شرایط زمینه‌ای

Table 4. Axial and Selective coding of contextual conditions

Open Codes	Axial Code	Selected Code
• Favorable characteristics for underground dams in Kerman. • Physical site conditions. • Implementation of dams in arid/desert regions. • Prevention of aquifer mixing. • Appropriate site selection in the Knickline. • Connection of sub-surface flow to aquifers. • Utilization of alluvial reservoirs with favorable geology. • Need for aquifers with adequate storage capacity.	1. Physical Site and Geological Features	1. Suitable Site Characteristics and Geology
• Importance of suitable topographical features for storage capacity. • Need for appropriate hydrological conditions and a large upstream catchment area. • Importance of sufficient quality and sustainability of groundwater resources for successful implementation.	2. Topographical and Hydrological Features	
• Importance of site technical features for water retention.	3. Technical Features and Construction Materials	

[1] Contextual conditions

Open Codes	Axial Code	Selected Code
• Structural characteristics of underground dams compared to surface dams. • Favorable subsurface material properties for adequate water yield. • Need for appropriate structural technical features for optimal water storage.		2. Technical and Structural Specifications of the Underground Dam
• Geometric features of the construction site to optimize capacity. • Necessity of a low slope (1-5%) to increase reservoir capacity. • Limited capacity of underground reservoirs compared to surface reservoirs. • Economic and technical constraints on structure depth (10-30 meters).	4. Geometric and Capacity Features	
• Flexibility of underground dam technology. • Economic feasibility in water management in arid regions.	5. Functional and Economic Capabilities of Underground Dam Technology	3. Functional and Economic Capabilities of the Technology
• Application in coastal areas. • Diversity of suitable implementation sites beyond wadis and dry riverbeds. • Diversity of construction materials adapted to regional conditions.	6. Spatial Diversity and Materials	
• Application in Mountainous Area Irrigation. • Traditional use in local communities. • Origin and initial development context.	7. Traditional Experience and Initial Development	4. Local Experience and Social Acceptance

شرایط مداخله‌گر[1]: نتایج این پژوهش نشان داد که شرایط مداخله‌گر نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌دهی راهبردها و پیامدهای پروژه‌های سدهای زیرزمینی دارند. در فرایند کدگذاری کیفی، ۴۲ کد باز مرتبط با این حوزه شناسایی شد که پس از تجمیع معنایی، به ۱۰ کد محوری که پس از دسته‌بندی مفهومی به ۴ کد انتخابی اصلی شامل «سیاست‌ها و چارچوب‌های قانونی و مدیریتی»، «چالش‌های اجرایی و محدودیت‌های پروژه»، «تعاملات نهادی و مشارکت اجتماعی» و «توجیه فنی و اقتصادی پروژه» تقلیل یافتند. این چهار محور نشان می‌دهند که شرایط مداخله‌گر نه‌تنها نقش پشتیبان یا بازدارنده دارند، بلکه به‌طور مستقیم بر جهت‌گیری راهبردها و اثربخشی پیامدهای پروژه تأثیر می‌گذارند.

همچنین تحلیل اقتصادی و هزینه-فایده، به ویژه، یکی از ابعاد کلیدی شرایط مداخله‌گر است. مطالعات بین‌المللی نشان می‌دهند که ذخیره آب زیرزمینی یا سدهای زیرزمینی در شرایط مناسب اقتصادی می‌توانند از نظر بازده سرمایه و بهره‌وری آب، مزایای قابل توجهی نسبت به ذخیره سطحی داشته باشند (Arshad et al., 2013؛ Rupérez-Morenoet al., 2017). این نتایج با یافته‌های ما همسو است و اهمیت بررسی توجیه اقتصادی پروژه‌ها را در کنار سایر عوامل نهادی و اجتماعی برجسته می‌کند. علاوه بر این، تحلیل شرایط مداخله‌گر در این پژوهش، بر نقش سیاست‌ها، محدودیت‌های اجرایی و تعاملات نهادی در تسهیل یا محدودسازی راهبردها تأکید دارد، که در مطالعات پیشین ازجمله Jibat et al., (2024) و Javanbakht Sheikhahmad et al., (2025) مورد توجه قرار گرفته است.

همچنین یافته‌های Payravand et al., (2025) نشان می‌دهد که بدون چارچوب قانونی، سیاست‌های حمایتی و مدیریت مؤثر، شرایط مداخله‌گر می‌تواند محدودکننده راهبردها و پیامدهای پروژه باشد و اهمیت تحلیل نهادی و اقتصادی پروژه‌ها را برجسته می‌کند؛ این نتایج همچنین توسط سایر مطالعات مورد بررسی در این مقاله نیز مورد تأیید شده است. بنابراین، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که ترکیب تحلیل اقتصادی با شناسایی شرایط نهادی و اجتماعی می‌تواند چارچوبی جامع برای تصمیم‌گیری و مدیریت موفق پروژه‌های سدهای زیرزمینی ارائه دهد. این نتایج با مطالعات بین‌المللی مرتبط همسو هستند و نوآوری پژوهش در توجه به نقش تعدیل‌کننده شرایط مداخله‌گر و اثرات اقتصادی پروژه‌ها برای بهبود راهبردهای مدیریتی و پیامدهای عملیاتی پروژه‌های سد زیرزمینی در ایران است (جدول ۵).

[1] Intervening conditions

جدول ۵- کدگذاری محوری و انتخابی شرایط مداخله‌گر

Table 5. Axial and Selective Coding of Intervening Conditions

Open Codes	Axial Code	Selected Code
• Macro-policy requirements for sustainable water management. • The role of policymaking and government support. • Legal framework for supporting watershed management and water supply, prioritizing watershed management approach . • Legal restrictions on wells, along with policies and executive institutions. • Legal and environmental considerations. • Necessity of complying with regulations and obtaining necessary permits. • Challenges related to legal ambiguity, institutional responsibilities, and the need for legal reform and governance frameworks.	1. Macro-Policies, Government Support, and Laws	1. Policies and Legal-Managerial Frameworks
• Environmental responsibility and pressure from international institutions. • Sustainable management of water resources. • Management of water rights and preservation of environmental rights. • Ensuring water rights flows and resolving related conflicts. • Environmental concerns and impending legal issues.	2. Environmental Requirements and Water Rights	
• Implementation constraints due to climate, scale, and geographical conditions. • Administrative bureaucracy and complexity of executive processes. • The role of inter-institutional coordination and expert meetings in resolving implementation issues.	3. Implementation and Geographical Constraints	2. Implementation Challenges and Project Constraints
• Financial and economic constraints of the project. • Economic constraints on project depth and related technical limitations. • Technical challenges regarding volume and structural stability. • Technical methods to reduce water seepage in structures. • Necessity of precise technical and scientific studies.	4. Economic and Technical Constraints	
• Risk of reduced downstream water rights and threat to water resource balance. • Risk of technical and specialized weakness. • Risks arising from inappropriate site selection and negative side effects. • Regional differences in the environmental impacts of the project.	5. Risks and Unintended Consequences	
• The role of civil, specialized institutions, and NGOs. • The role of private institutions in meeting specific needs. • The role of government institutions in supervision and implementation. • Importance of inter-institutional and multi-stakeholder interaction. • Comprehensive management of challenges to enhance water resource resilience.	6. Institutional Coordination and Cooperation	3. Institutional Interactions and Social Participation
• Fostering a sense of ownership and responsibility, and strengthening social participation. • Ensuring water rights flows and resolving related conflicts. • The role of social conflict management. • Non-acceptance of underground dam projects. • Social conflicts and water rights as serious obstacles.	7. Participation and Social Acceptance	
• Successful experiences of project implementation in specific areas with suitable conditions. • Public preference for underground methods over surface reservoirs. • Technical and security superiority of dams in crisis conditions.	8. Successful Experiences and Technical Superiority	4. Technical and Economic Justification of the Project
• Economic and social prospects of the project (economic feasibility and social aspects). • Necessity of resolving legal issues and managing water rights while respecting stakeholders. • Existence of legal and social conflicts related to water flow and water rights.	9. Economic and Social Justification	
• Project acceleration and delay factors dependent on financial, institutional, and political factors. • Legal demarcation and limitations on the entry of the Ministry of Energy.	10. Project Acceleration and Delay Factors	

راهبردها[1]: نتایج این پژوهش نشان داد که راهبردها به‌عنوان حاصل شرایط علی، زمینه‌ای و مداخله‌گر شکل می‌گیرند و برای اجرای موفق پروژه‌های سدهای زیرسطحی ضروری هستند. در فرایند کدگذاری کیفی، ۷۶ کد باز شناسایی و در قالب ۱۲ کد محوری سازماندهی شد که در نهایت هفت کد کلیدی به‌عنوان راهبردهای اصلی انتخاب شد: «برنامه‌ریزی جامع و مدیریت پروژه»، «توسعه فناوری و سازه»، «جلب مشارکت و همراهی ذینفعان»، «تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی اقتصادی–اجتماعی»، «آموزش و ظرفیت‌سازی»، «بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و بهینه‌سازی» و «کنترل و مدیریت نوین منابع». این راهبردها نشان می‌دهند که تحقق اهداف سدهای زیرسطحی نه تنها به عوامل فنی محدود نیست، بلکه نیازمند تعامل میان ابعاد مدیریتی، اجتماعی، اقتصادی و فناورانه است.

همچنین، تحلیل مقایسه‌ای با مطالعات پیشین نشان می‌دهد که یافته‌های ما با شواهد بین‌المللی و داخلی هم‌راستا است: اهمیت برنامه‌ریزی جامع و مدیریت یکپارچه پروژه‌ها توسط Alla and (2021) Liu, تأیید شده است، جنبه‌های فنی و طراحی سازه‌های سد زیرسطحی با نظرات Nguyen et al., (2024)مطابقت دارد، ضرورت مشارکت ذینفعان و حکمرانی مشارکتی توسط Akhmouch and (2016) Clavreul, برجسته شده و نقش آموزش و ظرفیت‌سازی کاربران محلی با نتایج Ritchie et al., (2021) همخوانی دارد.

بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و سیستم‌های پشتیبان تصمیم نیز با نتایج Alamanos et al., (2021) و پایش و مدیریت تطبیقی منابع آب زیرزمینی با Liu et al., (2023) همسو است. ترکیب این راهبردها بیانگر آن است که تحقق اهداف سدهای زیرزمینی صرفاً به عوامل فنی محدود نمی‌شود، بلکه به تعامل میان ابعاد مدیریتی، اجتماعی، اقتصادی و فناورانه نیاز دارد تا پایداری و موفقیت پروژه‌ها تضمین گردد (جدول ۶).

جدول ۶- کدگذاری محوری و انتخابی راهبردها

Table 6. Axial and selective coding of strategies

Open Codes	Axial Code	Selected Code
• Importance of comprehensive planning and documentation to prevent problems. • Necessity of comprehensive planning and documentation to prevent problems. • Development and updating of technical documents. • Need for comprehensive technical knowledge and studies. • Balanced economic-social assessment of the project. • Necessity of comprehensive studies on quantitative and qualitative impacts.	1. Planning and Documentation	1. Comprehensive Planning and Project Management
• Optimal utilization of surplus water. • Water flow management while preserving water rights. • Resolution of water right conflicts. • Need for control mechanisms and water flow management within the structure. • Ensuring flow of critical water rights in the design of the structure. • Creation of perched aquifers. • Water injection into reservoirs from upstream. • Strategies for enhancing aquifers and recharging related water tables.	2. Water Flow and Resource Management	
• Necessity of risk management based on monitoring and phased evaluation. • Need for comprehensive economic and social analysis to evaluate costs. • Necessity of appropriate site selection to prevent negative impacts on downstream flora and fauna. • Evaluation of ecological and human limitations. • Importance of comprehensive environmental impact assessment prior to implementation. • Necessity of evaluating and preventing negative environmental impacts.	3. Risk Management and Phased Monitoring	

[1] Strategies

Open Codes	Axial Code	Selected Code
• Importance of precise site selection to prevent water quality issues. • Importance of selecting sites with suitable geological structures and avoiding negative impacts from salt formations. • Compatibility of materials and construction methods with geological and regional conditions. • Use of novel and optimized materials and methods. • Importance of precise geological and material studies.	4. Site Selection and Materials	
• Necessity of technology for resource management and evaporation reduction. • Need for effective dam sealing to preserve stored resources. • Design of structures with flow control. • Necessity of design with impermeable materials. • Dam bodies must be adjustable, allowing surplus water to pass downstream to maintain water rights. • Use of novel methods such as grouting, concrete walls, and soil compaction. • Leveraging novel construction technologies. • Use of geophysical technologies to optimize site selection. • Role of GIS and analytical technologies. • Precise geometric modeling for optimal reservoir design.	5. Structural Technology and Flow Control	2. Technology and Structure Development
• Development and expansion of collaboration among universities, government, and society in water resource management. • Importance of local participation and support. • Role of education and awareness in facilitating technology acceptance among local communities. • Fostering a sense of ownership and responsibility. • Role of agreements and participation of operators. • Role of operators in implementation and monitoring. • Importance of stakeholder cooperation and commitment to project preservation. • Necessity of social participation and government support for project success. • Defining and securing local resource rights to garner support. • Respecting stakeholder rights and the social impact of the project.	6. Institutional Cooperation and Participation	3. Stakeholder Engagement and Collaboration
• Emphasis on economic and social aspects to ensure project success. • Precise determination of water uses for optimal planning. • Precise determination of resources and consumption types for sustainable management. • Provision of strategies for sustainable water supply. • Necessity of comprehensive economic and social analysis to evaluate costs.	7. Economic and Social Aspects	4. Economic-Social Decision-Making and Planning
• Necessity of targeted training for key institutions. • Role of education and awareness in facilitating technology acceptance among local communities. • Fostering a sense of ownership and responsibility.	8. Education and Empowerment	5. Education and Capacity Building
• Use of novel construction technologies. • Use of geophysical technologies to optimize site selection. • Leveraging new technologies to improve efficiency and reduce costs. • Use of novel methods such as grouting, concrete walls, and soil compaction. • Implementation of trenchless methods.	9. Novel Technologies and Tools	6. Leveraging Novel Technologies and Optimization
• Design of structures with flow control. • Dam bodies must be adjustable, allowing surplus water to pass downstream to maintain water rights. • Necessity of control mechanisms and water flow management within the structure. • Ensuring flow of critical water rights in the design of the structure. • Necessity of design with impermeable materials.	10. Structure Design and Water Control	
• Continuous and specialized monitoring of groundwater resources. • Continuous monitoring of reservoir water level and quality. • Balanced economic-social assessment of the project. • Evaluation of ecological and human limitations. • Importance of comprehensive environmental impact assessment prior to implementation.	11. Monitoring and Resource Evaluation	7. Control and Modern Resource Management
• Necessity of technology for resource management and evaporation reduction.	12. Resource Management and Technology	

Open Codes	Axial Code	Selected Code
• Need for effective dam sealing to preserve stored resources. • Use of geophysical technologies to optimize site selection. • Leveraging novel construction technologies. • Use of novel methods such as grouting, concrete walls, and soil compaction. • Implementation of trenchless methods. • Precise geometric modeling for optimal reservoir design. • Importance of precise site selection to prevent water quality issues		

پیامدها[1]: بر اساس تحلیل داده‌ها و طبق نتایج جدول ۷، فرایند کدگذاری در سه سطح باز، محوری و انتخابی انجام گرفت که طی آن از میان ۴۰ کد باز شناسایی‌شده، ۱۵ کد محوری و در نهایت ۵ کد انتخابی به‌عنوان پیامدهای اصلی استخراج شدند. این پیامدها عبارت‌اند از: «حفاظت و پایداری منابع آب»، «بهره‌وری اقتصادی و پذیرش فناوری»، «توسعه پایدار کشاورزی و تأمین آب»، « تعادل اکولوژیکی و پیامدهای اجتماعی» و «پایداری و مدیریت جامع پروژه».

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پیامد «حفاظت و پایداری منابع آب» به‌عنوان اولین کد انتخابی، مستقیماً پاسخگوی شرایط علی شناسایی‌شده در مطالعه، ازجمله «ناکارآمدی سدهای سطحی» و «تهدید معیشت و ریسک منابع آب» است. این یافته با مطالعات Luis et al., (2025) همسو است که به قابلیت سدهای زیرزمینی در کاهش تلفات تبخیر و افزایش دسترسی به آب در دوره‌های خشکسالی اشاره دارند.

پیامد «بهره‌وری اقتصادی و پذیرش فناوری» حاصل اجرای راهبردهایی نظیر «تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی اقتصادی-اجتماعی» و «بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و بهینه‌سازی» است. این یافته، ادعای Rupérez-Moreno et al., (2017) در مورد مقرون‌به‌صرفه بودن ذخیره زیرسطحی و دیدگاه Hadia et al., (2025) درباره لزوم استفاده از رویکردهای نوآورانه برای تأمین پایدار آب را تأیید می‌کند.

پیامد «توسعه پایدار کشاورزی و تأمین آب» نشان می‌دهد که چگونه این پروژه‌ها می‌توانند همزمان دو هدف به ظاهر متعارض را محقق سازند: از یک سو «تأمین آب برای کشاورزی» که توسط Biswas et al., (2025) یک شرط بنیادین توسعه خوانده شده است، و از سوی دیگر، کمک به «کاهش برداشت از آبخوان‌ها» که دغدغه اصلی مطالعاتی Mirzaei et al., (2019) بوده است.

در نهایت، پیامدهای «تعادل اکولوژیکی و پیامدهای اجتماعی» و «پایداری و مدیریت جامع پروژه» مهم‌ترین نقاط تمایز سدهای زیرزمینی از سدهای مرسوم را نمایان می‌سازند. این یافته به‌طور مستقیم با استدلال Akpınar and Şenol, (2025) مبنی بر اینکه سدهای زیرزمینی «جایگزینی مناسب» برای سدهای مرسوم هستند و همچنین با هشدارهای Alla and Liu, (2021) درباره «تأثیرات منفی سدهای سطحی بر محیط‌زیست» هم‌راستا است.

به‌طور کلی، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که دستیابی به پیامدهای مطلوب در گرو اجرای هماهنگ و نظام‌مند راهبردهای شناسایی‌شده است. این مدل می‌تواند به‌عنوان چارچوبی برای سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری در زمینه مدیریت منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۷- کدگذاری محوری و انتخابی پیامدها

Table 7. Axial and selective coding of consequences

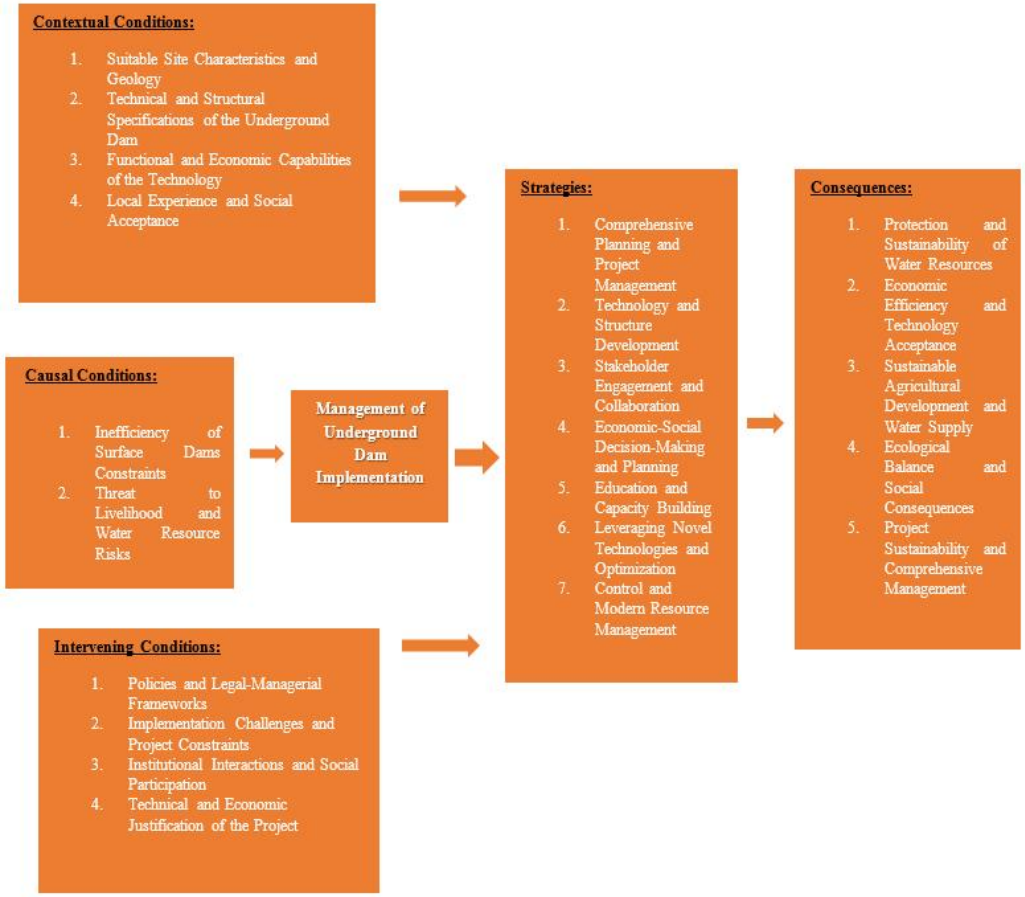
Open Codes	Axial Code	Selected Code
• Qualitative protection of water resources and prevention of pollution. • Positive environmental impact of structures and benefits of groundwater (reduced evaporation and storage). • Role of underground dams in protecting clean water.	1. Qualitative and Quantitative Protection of Water Resources	1. Protection and Sustainability of Water Resources

[1] Consequences

Open Codes	Axial Code	Selected Code
• Ability to precisely control and manage water resources through the structure and desirable control of groundwater flow. • Matching resource consumption with limited water capacity.	2. Sustainable Resource Management and Flow Control	
• Low environmental destructive effects and high ecological compatibility of the structure. • Reduction of environmental threats caused by surface structures.	3. Reduction of Negative Environmental Impacts	
• Reduction in construction and operational costs compared to traditional methods. • Positive economic effectiveness compared to other methods.	4. Cost Reduction and Increased Efficiency	2. Economic Efficiency and Technology Acceptance
• Economic and protective benefits of structures and economic viability of the technology. • Public acceptance due to the economic and technical advantages of the method.	5. Acceptance and Economic Viability	
• Capacity for sustainable supply of drinking and livestock water in arid regions. • Optimal use of water resources for sustainable agricultural development.	6. Sustainable Supply of Drinking and Livestock Water	3. Sustainable Agricultural Development and Water Supply
• Protection of farms and orchards through sustainable water supply. • Supply of water resources for small industries in deprived regions.	7. Protection and Development of Agriculture and Small Industries	
• Creation of ecosystemic balance and preservation of water rights. • Improvement or creation of wildlife ecosystems.	8. Ecological Balance and Preservation of Water Rights	4. Ecological Balance and Social Consequences
• Environmental threats and risks, including degradation of downstream ecosystems and negative impacts related to water right management. • Negative consequences resulting from improper water right management and the importance of effective water right management.	9. Negative Environmental and Management Consequences	
• Positive economic, social, and security impacts of project implementation. • Impact of access to clean water on the social and economic development of local communities. • Increased social resilience through improved water resource management.	10. Resilience and Social Development	
• Strengthening coordination and cooperation among executive, governmental, and local institutions.	11. Institutional Cooperation and Coordination	5. Project Sustainability and Comprehensive Management
• Increased capability to manage water crises such as droughts and floods. • Improvement of sustainability and continuity of water resources in the long term by reducing negative impacts. • Role of underground dams as a comprehensive and sustainable solution for water resource management.	12. Crisis Management and Long-term Sustainability	
• Responding to water needs during low-precipitation periods. • Supplying water appropriate for downstream needs and ensuring sustainable resources for users. • Development of local economic capacities through better utilization of water resources. • Improvement of the quality of life for residents in rural and water-scarce regions. • Importance of sustainable development and preservation of natural resources in the long term.	13. Economic Benefits and Regional Resilience	
• Better water efficiency through consumption control, pollution reduction, and evaporation reduction. • Higher effectiveness of underground structures and positive mutual effects on upstream regions. • Advantage of quality and interaction between surface and underground dams, compatibility with natural ecosystems, and diverse technical-environmental benefits. • Importance of underground dams for reducing evaporation and preserving water quality.	14. Efficiency and Interaction of Structures	
• Restoration opportunities and sustainable management of water resources associated with increased aquifer levels. • Sustainable extraction based on surplus resources. • Key objective of using the dam for flood management and maintaining hydrological balance. • Direct relationship between project dimensions and the intensity of negative downstream consequences. • High security of underground dams in crisis conditions.	15. Restoration Opportunities and Resource Management	

چارچوب پارادایمی پژوهش: تبیین مدل مدیریت اجرای سدهای زیرزمینی: مدل پارادایمی استخراج‌شده در این پژوهش، حاصل کدگذاری باز، محوری و انتخابی بر مبنای رویکرد نظریه داده‌بنیاد اشتراوس و کوربین است و نشان می‌دهد که پدیده محوری «مدیریت اجرای سدهای زیرزمینی» چگونه از طریق تعامل پویا میان مؤلفه‌های مختلف شکل می‌گیرد. در این مدل، شرایط علّی به‌عنوان نیروهای برانگیزاننده، ضرورت و جهت پدیده را تعیین می‌کنند؛ شرایط زمینه‌ای فضای اجرایی، فنی و محلی را فراهم می‌سازند که پدیده در آن رخ می‌دهد و شرایط مداخله‌گر به‌عنوان عوامل تعدیل‌کننده، نحوه اثرگذاری علل و دامنه انتخاب راهبردها را محدود یا تقویت می‌کنند. در پاسخ به این سه دسته شرط، مجموعه‌ای از راهبردها شکل می‌گیرد که کنش‌های مدیریتی و تصمیمات اجرایی را سامان می‌دهد.

در نهایت، این راهبردها به پیامدهایی منجر می‌شوند که بازتاب مستقیم نحوه تعامل میان علل، زمینه، عوامل مداخله‌گر و نوع کنش‌های اتخاذشده است. بنابراین، مدل ارائه‌شده در شکل ۱ با نشان دادن ارتباط کنشی و واکنشی میان این مؤلفه‌ها، سازوکار درونی مدیریت اجرای سدهای زیرزمینی را در یک چارچوب منسجم و فرایندی تبیین می‌کند.



شکل ۱- الگوی مفهومی مدیریت اجرای سدهای زیرزمینی

Fig. 1. Conceptual model for the management of underground dam implementation

نتیجه‌گیری

این پژوهش با بهره‌گیری از رویکرد نظریه داده‌بنیاد به تبیین الگوی مدیریت و اجرای سدهای زیرزمینی در ایران پرداخت. یافته‌ها نشان داد که ناکارآمدی سدهای سطحی (ازجمله رسوب‌گیری، تبخیر بالا و هزینه‌های زیاد) و تهدید معیشت و امنیت آبی به‌عنوان شرایط علی اصلی، ضرورت حرکت به سمت فناوری‌های جایگزین مانند سدهای زیرزمینی را ایجاب می‌کنند.

از سوی دیگر، ویژگی‌های مناسب زمین‌شناسی و قابلیت‌های فنی-اقتصادی سدهای زیرزمینی به‌عنوان شرایط زمینه‌ای، امکان‌پذیری اجرای این سازه‌ها را در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران فراهم می‌سازند.

در عین حال، شرایط مداخله‌گر شامل چالش‌های اجرایی، محدودیت‌های نهادی، مسائل حقوقی و سطح مشارکت اجتماعی، به‌طور معناداری بر موفقیت یا شکست پروژه‌ها تأثیر می‌گذارند. در پاسخ به این شرایط، راهبردهای کلیدی شامل برنامه‌ریزی جامع، توسعه فناوری‌های سازه‌ای، جلب مشارکت ذی‌نفعان، آموزش و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین شناسایی شدند که اجرای موفقیت‌آمیز آنها می‌تواند به پیامدهای مطلوبی ازجمله پایداری منابع آب، توسعه کشاورزی پایدار، تعادل اکولوژیک و تاب‌آوری اجتماعی منجر شود.

در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که سدهای زیرزمینی نه به‌عنوان یک راه‌حل قطعی، بلکه به عنوان گزینه‌ای مکمل و شرایط‌محور در مدیریت آب زیرزمینی ایران قابل توجیه هستند. این سازه‌ها در صورتی می‌توانند گزینه‌ای مناسب برای تأمین آب به شمار آیند که ضرورت احداث آنها وجود داشته و اصول فنی، محیط زیستی، هیدرولوژیکی و اجتماعی به‌طور کامل رعایت شود؛ در غیر این صورت، خسارت‌های نامحدود، پیش‌بینی‌نشده و غیرقابل جبرانی به دنبال خواهند داشت که فراتر از منافع و کارکردهای مثبت آنها خواهد بود.

موفقیت چنین پروژه‌هایی منوط به توجه همزمان به ابعاد فنی، اجتماعی، اقتصادی و نهادی و همچنین تدوین راهبردهای یکپارچه و بومی‌شده است. در این راستا، پژوهش حاضر با ارائه مدل پارادایمی جامع، چارچوبی نظام‌مند برای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در حوزه سدهای زیرزمینی فراهم می‌آورد که می‌تواند مبنای اقدامات آتی پژوهشگران و مدیران منابع آب قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از تمامی پرسش‌شوندگان، اعضای هیئت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، مدیران، کارشناسان سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری، و سایر متخصصانی که با مشارکت در مصاحبه‌ها و تکمیل پرسشنامه‌ها، گروه پژوهشی را یاری کردند، صمیمانه قدردانی می‌شود.

تعارض منافع

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

منابع مورد استفاده

Abd-Elaty, I., Kuriqi, A., Pugliese, L., Ahmed, A., 2024. Shoreline subsurface dams to protect coastal aquifers from sea level rise and saltwater intrusion. Appl. Water Sci. 14, 49. https://doi.org/10.1007/s13201-023-02032-y

Aghazadeh, R., Shourian, M., Javan Salehi, M., 2024. Assessment of the impact of socio- economic policies on groundwater consumption using a multi-agent-based modeling approach. Water Policy 26(3), 290-308.

Akpınar, M.E., Şenol, M.E., 2025. Assessment of an underground dams site selection in İZMİR province by using MAIRCA and EDAS methods. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi, 27(79), 38-45. https://doi.org/10.21205/deufmd.2025277906.

Akhmouch, A., Clavreul, D., 2016. Stakeholder engagement for inclusive water governance: Practicing what we preach with the OECD water governance initiative. Water 8(5), 204. https://doi.org/10.3390/w8050204.

Alamanos, A., Rolston, A., Papaioannou, G., 2021. Development of a decision support system for sustainable environmental management and stakeholder engagement. Hydrol. 8(1), 40.

Alla, Y.M.K., Liu, L., 2021. Impacts of dams on the environment: a review. Internati. J. Environ. Agricul. Biotechnol. 6(1). https://dx.doi.org/10.22161/ijeab.61.9.

Baldwin-Cantello, W., Tickner, D., Wright, M., Clark, M., Cornelius, S., Ellis, K., Young, L., 2023. The triple challenge: synergies, trade-offs and integrated responses for climate, biodiversity, and human wellbeing goals. Climate Policy 23(6), 782–799. https://doi.org/10.1080/14693062.2023.2175637

Arshad, M., Qureshi, M. E., Jakeman, A.J., 2013. Cost benefit analysis of farm water storage: surface storage versus managed aquifer storage. In Proceedings of the 20th International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM 2013), 2931-2937.

Biswas, A., Sarkar, S., Das, S., Dutta, S., Choudhury, M.R., Giri, A., Paul, D., 2025. Water scarcity: A global hindrance to sustainable development and agricultural production–A critical review of the impacts and adaptation strategies. Cambridge Prisms: Water 3, e4. https://doi.org/10.1017/wat.2024.16

Çavdar, P.S., 2024. A tool of sustainable control of groundwater resources: underground dams. Archives Advance. Engin. Sci. 1-7. https://doi.org/10.47852/bonviewAAES42022367

Charmaz, K., Thornberg, R., 2020. The pursuit of quality in grounded theory. Qualita. Res. Psychol. 18(3), 305–327. https://doi.org/10.1080/14780887.2020.1780357

Foley, G., Timonen, V., 2015. Using grounded theory method to capture and analyze health care experiences. Health Service. Res. 50(4), 1195–1210. https://doi.org/10.1111/1475-6773.12275.

Gebreslassie, H., Berhane, G., Gebreyohannes, T., Hagos, M., Hussien, A., Walraevens, K., 2025. Water harvesting and groundwater recharge: a comprehensive review and synthesis of current practices. Water 17(7), 976. https://doi.org/10.3390/w17070976

Ghanbari, A., Soltanhoseini, M., Vahdani, M., 2024. Paradigm model of sales ethics in sports businesses. Sports Busin. J. 4(2), 81-99. doi: 10.22051/sbj.2024.46466.1143

Hadia, N. J., Choksi, H.S., Mudgal, A., 2025. Integration of green hydrogen production with water desalination: a sustainable path forward. In 2025 International Conference on Sustainable Energy Technologies and Computational Intelligence (SETCOM) (pp. 1-5). IEEE. https://doi.org/10.1109/SETCOM64758.2025.10932351

Ishida, S., Tsuchihara, T., Yoshimoto, S., Imaizumi, M., 2011. Sustainable use of groundwater with underground dams. Japan Agricul. Res. Quart. JARQ, 45(1), 51-61. https://doi.org/10.6090/jarq.45.51 .

Javanbakht Sheikhahmad, F., Rostami, F., Azadi, H., Veisi, H., Amiri, F., Witlox, F., 2025. Socio-hydrological analysis: a new approach in water resources management in western Iran. Integrat. Environ. Assess. Manage. 21(3), 555-569. https://doi.org/10.1093/inteam/vjae045

Jeuland, M., 2020. The economics of dams. Oxford Rev. Econo. Policy 36(1), 45-68. https://doi.org/10.1093/oxrep/grz028.

Jibat, E., Senbeta, F., Zeleke, T., Hagos, F., 2024. The role and interplay of institutions in water governance in the Central Rift Valley of Ethiopia. F1000Research, 12, 1434. https://doi.org/10.12688/f1000research.138939.2

Lee, T.C., Anser, M.K., Nassani, A.A., Haffar, M., Zaman, K., Abro, M.M.Q., 2021. Managing natural resources through sustainable environmental actions: a cross-sectional study of 138 countries. Sustain. 13(22), 12475. https://doi.org/10.3390/su132212475

Liu, J., Brunner, P., Tokunaga, T., 2023. Impacts of subsurface dam construction on downstream groundwater levels and salinity in coastal aquifers. Groundwater 61(6), 865-878. https://doi.org/10.1111/gwat.13304.

Majidi, A.R., Hosseini Marandi, H., 2025. Investigating of the engineering geological features of the underground dam construction in the Islamabad, Fars. Watershed Manage. Res. 38(2), 98-117 (in Persian).

Majidi, A., 2025. Feasibility assessment of underground dam construction in the western sub-basins of Semnan province using hierarchical analysis and geographic information system. J. Watershed Engin. Manage. 17(1), 103–119 (in Persian).

Makhmudov, A., Shakirov, B., Ermatov, Q., Shakirov, B., Uljaev, F., 2025. Research of fracturing in the body of ground water dams. In BIO Web of Conferences. 151, 04026. EDP Sciences. https://doi.org/10.1051/bioconf/202515104026

Masayuki, I., 2024. Review of Subsurface Dam Technology Based on Japan’s Experience in the Ryukyu Arc. Water. 16(16), 2282. https://doi.org/10.3390/w16162282.

Mirzaei, A., Saghafian, B., Mirchi, A., Madani, K., 2019. The groundwater–energy–food nexus in Iran’s agricultural sector: implications for water security. Water 11(9), 1835. https://doi.org/10.3390/w11091835

Movahedi Asl, K., Khorsandi Kouhanestani, Z., Dehdari, S., 2024. Application of multi-attribute decision making method to achieve good governance in underground dam site selection of the Amir Hazer Plain Watershed of Behbahan. , 1(3), 285-299 (in Persian). doi: 10.22059/jnrg.2025.382850.1019.

Neugarten, R.A., Chaplin-Kramer, R., Sharp, R.P., Schuster, R., Strimas-Mackey, M., Roehrdanz, P.R., Mulligan, M., van Soesbergen, A., Hole, D., Kennedy, C.M., Oakleaf, J.R., Johnson, J.A., Kiesecker, J., Polasky, S., Hanson, J.O., Rodewald, A.D., 2024. Mapping the planet's critical areas for biodiversity and nature's contributions to people. Nat. Communica. 15(1), 261. https://doi.org/10.1038/s41467-023-43832-9

Nguyen, M.N., 2024. Solution of subsurface dam for water supply. E3S Web of Conferences, 508, 08012. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450808012.

Noori, R., Maghrebi, M., Mirchi, A., Tang, Q., Bhattarai, R., Sadegh, M., Madani, K., 2021. Anthropogenic depletion of Iran’s aquifers. Proceedings of the National Academy of Sciences, 118(25), e2024221118. https://doi.org/10.1073/pnas.2024221118

Noori, R., Maghrebi, M., Jessen, S., Bateni, S.M., Heggy, E., Javadi, S., Noury, M., Pistre, S., Abolfathi, S., AghaKouchak, A., 2023. Decline in Iran's groundwater recharge. Nat. Communica. 14(1), 6674. https://doi.org/10.1038/s41467-023-42411-2

Payravand, V., Malekian, A., Rahimi, M., Sayyadi, M.R., Shariatinia, L., 2025. Analysis of strategies for developing subsurface dams toward natural resources governance: Application of the SWOT approach. Natural Resources Governance, 2(3), 236-247. (in Persian) https://doi.org/10.22059/jnrg.2025.394075.1036

Peymankhah, P., Mousavi, S. F., Hashemi, S. A., & Hosseini, K. (2024). Site selection of areas suitable for small water resource supply through underground dam construction (Study area: Southwestern basin of Haj Ali Gholi Desert). Climate and Ecosystem of Arid and Semi-arid Regions, 2(1), 50-68(in Persian). https://doi.org/10.22075/ceasr.2024.33408.1030

Ritchie, H., Eisma, J. A., & Parker, A. (2021). Sand dams as a potential solution to rural water security in drylands: Existing research and future opportunities. Frontiers in Water, 3, 651954. https://doi.org/10.3389/frwa.2021.651954.

Rupérez-Moreno, C., Pérez-Sánchez, J., Senent-Aparicio, J., Flores-Asenjo, P., & Paz-Aparicio, C. (2017). Cost-benefit analysis of the managed aquifer recharge system for irrigation under climate change conditions in Southern Spain. Water, 9(5), 343. https://doi.org/10.3390/w9050343.

Sayadi, M. , Shariatyniya, L. and Payravand, V. (2025). Analysis and Explanation of a Sustainable Business Model for Lime Orchards in Rudan County. Social Business, 2(1), 57-76.
(in Persian) https://doi.org/10.22059/jsbu.2025.394173.1020.

Sayadi, M. R. and Shariatyniya, L. (2024). Identification of Effective Components in Natural Resource Governance: A Case Study of Rudan County. 1(3), 267-284 (in Persian). doi: 10.22059/jnrg.2024.385043.1024.

Soltaninejad, S., Abdollahi, M. S., BP, N., Marandi, S. M., Abdollahi, M., & Abdollahi, S. (2025). Toward Sustainable Infrastructure: Advanced Hazard Prediction and Geotechnical Risk Management in the Jiroft Dam Project, Iran. Sustainability, 17(4), 1465. https://doi.org/10.3390/su17041465

Strauss, A. L., & Corbin, J. M. (1997). Grounded Theory in Practice. SAGE Publications.

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(3), 1369-1378. https://doi.org/10.1007/s40899-019-00314-5

Tashakori, M., Hayatzadeh, M., Fathzadeh, A., Chezgi, J., & Bemanikharanq, A. (2023). Technical note: Feasibility and spatial prioritization of underground dam construction in arid and semi-arid areas, case study: Roudan watershed. Journal of Watershed Engineering and Management, 15(4), 655–672 (in Persian).

Vaezihir, A., & Safari, F. (2024). Investigation the possibility of using Goijeh Bel fractured rocks aquifer to supply drinking water to Ahar city. Watershed Engineering and Management, 16(4), 500-522 (in Persian).