



The University of Tehran Press

Natural Resources Governance

Vol. 2, No. 3, Autumn 2025

Online ISSN: 3060-7183

Home Page: <https://jnrg.ut.ac.ir/>

Analyzing the Development of Underground Dams in line with Optimal Governance of Water Resources

Vahid Payravand | Arash Malekian* | Majid Rahimi
| MohamadReza Sayadi | Leila Shariatinia

Department of Arid and Mountainous Region Reclamation, Faculty Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
Email: Malekian@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received 25 April, 2025
Revised 30 August, 2025
Accepted 22 September, 2025
Published online 07 October, 2025

Keywords:
*Groundwater Governance,
Strategy Analysis,
Climate Change,
Sustainable Development.*

ABSTRACT

Effective governance of water resources, particularly in the groundwater sector, plays a key role in the sustainable management of natural resources and significantly impacts the development of innovative solutions such as underground dams in arid and semi-arid regions. These dams, as an innovative solution for water management in arid and semi-arid regions, have consistently attracted the attention of researchers and policymakers. This study aimed to comprehensively assess the advantages and disadvantages of underground dams at the national level using a SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) approach and to propose practical strategies. The research methodology combined literature review, field studies, and data collection through a structured questionnaire. The questionnaire was designed based on technical, economic, environmental, and social indicators, and its validity was confirmed by experts in water resources management and civil engineering. The statistical population consisted of subject-matter experts selected through purposive sampling. During the implementation phase, a specialized working group was formed to determine evaluation indicators, after which questionnaires were completed both in person and electronically, and the data were analyzed using software tools. The results indicated that reduction of water evaporation (final score 0.391) and subsurface water storage (0.309) are the most significant strengths, while limited storage capacity (0.271) and technical-geological challenges are the main weaknesses of these structures. Among external factors, subsurface water storage (0.332) and increased use of local water resources were identified as key opportunities, while social opposition (0.261) and downstream environmental impacts (0.258) were recognized as primary threats. Matrix analysis demonstrated that developing management strategies focused on strengthening strengths, leveraging opportunities, and managing weaknesses and threats can enhance the efficiency and sustainability of underground dams and contribute to optimum governance of water resources.

Cite this article: Payravand, V., Malekian, A., Rahimi, M., Sayadi, M., Shariatinia, L. (2025). Analyzing the Development of Underground Dams in line with Optimal Governance of Water Resources. *Journal of Natural Resources Governance*, 2 (3), 236-247. <https://doi.org/10.22059/jnrg.2025.394075.1036>



© Vahid Payravand, Arash Malekian, Majid Rahimi, MohamadReza Sayadi, Leila Shariatinia
Publisher: University of Tehran Press. <https://doi.org/10.22059/jnrg.2025.394075.1036>



انتشارات دانشگاه تهران

نشریه حکمرانی منابع طبیعی

دوره ۲، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۴

سایت نشریه: <https://jnrg.ut.ac.ir/>

شاپا الکترونیکی: ۷۱۸۳-۳۰۶۰

واکاوی توسعه سدهای زیرزمینی در راستای حکمرانی بهینه منابع آب

وحید پایروند^۱ | آرش ملکیان*^۲ | مجید رحیمی^۳ | محمدرضا صیادی^۴ | لیلا شریعتی نیا^۵

گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

رایانامه: Malekian@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: علمی - پژوهشی تاریخ‌های مقاله: تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۳۰ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۱۵ کلیدواژه: حکمرانی آب زیرزمینی، تحلیل راهبرد، تغییر اقلیم، توسعه پایدار.	حکمرانی مؤثر منابع آب به‌ویژه در بخش زیرزمینی، نقش کلیدی در پایداری مدیریت منابع طبیعی دارد و تأثیر قابل‌توجهی بر توسعه راهکارهای نوین مانند سدهای زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایفا می‌کند. این سدها به‌عنوان یکی از راهکارهای نوین مدیریت منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک همواره مورد توجه پژوهشگران و سیاستگذاران قرار گرفته‌اند. این پژوهش با هدف ارزیابی جامع مزایا و معایب سدهای زیرزمینی در کشور با رویکرد فرصت، تهدید، قوت و ضعف و ارائه راهکارهای عملیاتی انجام شد. روش تحقیق شامل ترکیبی از مطالعات کتابخانه‌ای، بررسی میدانی و گردآوری داده‌ها از طریق پرسشنامه ساختاریافته بود. پرسشنامه بر اساس شاخص‌های فنی، اقتصادی، محیط زیستی و اجتماعی طراحی و روایی آن توسط متخصصان حوزه مدیریت منابع آب و مهندسی عمران تأیید شد. جامعه آماری پژوهش را جمعی از خبرگان مرتبط با موضوع تشکیل دادند که به روش هدفمند انتخاب شدند. در مراحل اجرایی، ابتدا کارگروه تخصصی تشکیل و شاخص‌های ارزیابی تعیین شد، سپس پرسشنامه‌ها حضوری و الکترونیکی تکمیل و داده‌ها با نرم‌افزار تحلیل شدند. نتایج نشان داد کاهش تبخیر آب (۰/۳۹۱) و ذخیره‌سازی آب‌های زیرسطحی (۰/۳۹۰) مهم‌ترین نقاط قوت و محدودیت ظرفیت ذخیره‌سازی (۰/۲۷۱) و مشکلات فنی - زمین‌شناسی از مهم‌ترین نقاط ضعف این سازه‌ها هستند. در میان عوامل خارجی، ذخیره‌سازی منابع آب زیرسطحی (۰/۳۳۲) و استفاده بیشتر از منابع آب محلی از فرصت‌های کلیدی و اعتراض‌های اجتماعی (۰/۲۶۱) و تبعات محیط زیستی پایین‌دست (۰/۲۵۸) تهدیدهای اصلی شناسایی شدند. تحلیل ماتریس نشان داد تدوین راهبردهای مدیریتی با تمرکز بر تقویت نقاط قوت، بهره‌برداری از فرصت‌ها و مدیریت ضعف‌ها و تهدیدها می‌تواند به افزایش کارایی و پایداری احداث و مدیریت سدهای زیرزمینی و تحقق حکمرانی بهینه منابع آب کمک کند.
استناد: پایروند؛ وحید، ملکیان؛ آرش، رحیمی؛ مجید، صیادی؛ محمدرضا، شریعتی‌نیا؛ لیلا (۱۴۰۴). واکاوی توسعه سدهای زیرزمینی در راستای حکمرانی بهینه منابع آب. حکمرانی منابع طبیعی، ۲ (۳)، ۲۳۶-۲۴۷. https://doi.org/10.22059/jnrg.2025.394075.1036 © وحید پایروند، آرش ملکیان، مجید رحیمی، محمدرضا صیادی، لیلا شریعتی نیا ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران. https://doi.org/10.22059/jnrg.2025.394075.1036	



۱. مقدمه

حکمرانی مطلوب منابع آب زیرزمینی همان رفتار کنترل‌کننده‌ای است که از طریق اقدام‌های مدیریتی یا با وضع مقررات آب (در طیف وسیعی از سیستم‌های سیاسی، اجتماعی، محیطی، اقتصادی و اداری) به کار گرفته می‌شود و در نهایت به تنظیم «تخصیص» و بهبود شرایط «بهره‌برداری» از آب زیرزمینی منجر می‌شود. وجود تمدن انسانی به اکوسیستم و خدمات آن وابستگی دارد و وجود منابع آب کافی و سالم لازمه این امر است. حفظ معیشت روزمره، بزرگ‌ترین چالش بشر در شرایط تخریب محیط زیست و تغییرات اقلیمی است که در قرن بیست و یکم رخ می‌دهد. توسعه علم و فناوری تعامل انسان با محیط زیست را افزایش داده است که این موضوع به تخلیه سریع منابع طبیعی نامحدود منجر شده است. این وضعیت مشکلات هشداردهنده‌ای ایجاد کرده و به استفاده ناپایدار از منابع طبیعی منجر شده است (Jhariya et al., 2022).

در این راستا مدیریت منابع طبیعی نقشی حیاتی در حفظ پایداری محیط‌زیست و تضمین دسترسی به منابع برای نسل‌های آینده دارد (van der Merwe et al., 2023). منابع آبی به دلیل پیوند مستقیم با تأمین امنیت غذایی، پایداری فعالیت‌های اقتصادی و در نهایت حفظ حیات از اهمیت بنیادین و نقش تعیین‌کننده‌ای برخوردارند. آب به عنوان شالوده اصلی هستی و امنیت آبی، به مثابه رکن اساسی امنیت اکولوژیکی، ارتباطی تنگاتنگ با امنیت ملی، امنیت انسانی، امنیت غذایی و سایر ابعاد امنیتی جوامع دارد (عسگری، ۲۰۲۴). حدود ۸۰ درصد جمعیت جهان با تهدیدهایی جدی در زمینه امنیت آب مواجه‌اند. کمبود آب در سطح جهانی به دلیل تغییرات اقلیمی، رشد جمعیت و توسعه اقتصادی در حال افزایش است. شدت یافتن حوادث اقلیمی مانند خشکسالی‌ها و سیلاب‌ها سبب ایجاد ناهماهنگی‌های زمانی و مکانی میان عرضه و تقاضای آب می‌شود و تأمین مطمئن آب و مواد غذایی در سراسر جهان را دشوارتر می‌کند (Scanlon et al., 2023).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، آب به عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده شناخته می‌شود. حفاظت و تقویت منابع آبی، همچنین جمع‌آوری و ذخیره‌سازی آب با کمترین تلفات از جمله اقدام‌هایی است که می‌تواند در مدیریت و بهره‌برداری بهینه از منابع آب موجود در این مناطق مؤثر واقع شود (مجیدی، ۲۰۲۵). در این مناطق بیابان‌زایی در حال پیشرفت بوده و بهره‌برداری از منابع آبی به‌طور عمده بر آب‌های سطحی و زیرزمینی متمرکز است که این موضوع مشکلاتی در زمینه پایداری منابع ایجاد می‌کند (Ouerdachi et al., 2012).

در این زمینه یکی از اقتصادی‌ترین و مؤثرترین اقدام‌ها برای پایداری مصرف آب، سدهای زیرزمینی است (Çavdar, 2024). احداث سد زیرزمینی به عنوان یکی از راه‌حل‌های تأمین آب در مناطق خشک که امکان دسترسی به منابع معمول، نظیر چاه و رودخانه دائمی وجود ندارد یا دارای منابع آبی اندکی هستند، توصیه شده است (تشکری و همکاران، ۲۰۲۳). با استفاده از این روش می‌توان با جمع‌آوری آب قابل مصرف و جلوگیری از خروج بی‌رویه آن، به‌ویژه در زمان کاهش منابع سطحی و حتی زیرزمینی، به مقابله با بحران کم‌آبی پرداخت و میزان هدررفت آب را تا حد قابل‌توجهی کاهش داد (صابری نصر و دشتکی برمکی، ۲۰۲۴).

در مقایسه با سدهای معمولی، سدهای زیرزمینی دارای مزایایی همچون عدم اشغال سطح زمین، کاهش قابل‌توجه تلفات تبخیری و حفظ بهتر محیط زیست هستند (Ouerdachi et al., 2012)، همچنین سدهای زیرسطحی که به منظور ذخیره‌سازی آب ساخته می‌شوند، در مقایسه با مخازن سطحی، تأثیرات منفی احتمالی بر سطح زمین و محیط زیست را به حداقل می‌رسانند، به‌ویژه سدهای زیرسطحی برای مناطق کم‌آب یا مناطقی که با مشکل شوری آب مواجه‌اند، بسیار مناسب و کارآمدند. در واقع این نوع سازه‌ها نقش مهمی در تثبیت منابع آب ایفا می‌کنند. این موضوع از طریق مطالعات متعددی که کاربرد سدهای زیرزمینی را در تأمین آب در کشورهای مختلفی از جمله آفریقا (کنیا، اتیوپی)، آمریکای جنوبی (برزیل)، آسیا (ژاپن، هند، کره، چین) و سایر نقاط جهان بررسی کرده‌اند، به اثبات رسیده است (Nguyen, 2024).

این سازه‌ها معایبی نیز دارند. یکی از محدودیت‌های مهم در احداث سد زیرزمینی، نیاز به بررسی دقیق شرایط فنی، هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیک حوزه آبخیز است که شامل پارامترهایی مانند بارش، نفوذپذیری خاک، کیفیت آب و میزان تغذیه سفره‌های زیرزمینی می‌شود. نبود توجه کافی به این عوامل می‌تواند سبب انتخاب نامناسب محل و کاهش کارایی سد شود، همچنین ملاحظات محیط زیستی، امکانات فنی اجرایی و نیازهای آبی منطقه از جمله چالش‌های اساسی در طراحی و اجرای این سازه‌ها

به‌شمار می‌روند (Çavdar, 2024). در واقع احداث این سدها با نگاه واقع‌بینانه به ارزش واقعی آب و نقش آن در جوامع بشری، اثرات محیط‌زیستی سازنده خواهد داشت (حبیب‌زاده و همکاران، ۲۰۲۱). برخی مشکلات گزارش‌شده در گذشته برای سدهای زیرزمینی مانند رسوب‌گذاری، سیلاب، فروپاشی و شوری آب، ناشی از خطای انسانی، همچنین پیچیدگی و نابالغ بودن ویژگی‌های زمین‌شناسی بوده است (Ishida et al., 2012).

به‌طور کلی کمبود داده‌های سیستماتیک و مطالعات آماری جامع در خصوص توزیع و تعداد سدهای زیرزمینی در مقیاس جهانی، حاکی از یک شکاف دانشی است که می‌تواند به‌عنوان مانعی در مسیر برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه این سازه‌ها عمل کند. افزون بر این، این کمبود اطلاعات ممکن است به‌صورت غیرمستقیم به کاهش سطح پذیرش و درک کارایی این فناوری در جوامع علمی و اجرایی منجر شود (Çavdar, 2024).

در این زمینه مطالعات مختلفی انجام شده است. برای مثال آراز^۱ و همکاران (۲۰۲۲) با به‌کارگیری یک روش حذفی چندمرحله‌ای، مکان‌های بهینه احداث سدهای زیرزمینی در منطقه بوسرای ترکیه را شناسایی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد پنج سد زیرزمینی برای مصارف آبیاری و یک سد برای تأمین آب آشامیدنی گزینه‌های مناسب‌تری برای اجرا هستند، همچنین در مطالعه‌ای دیگر ایشیدا^۲ و همکاران (۲۰۱۱) مزایا و چالش‌های مرتبط با سدهای زیرسطحی در ژاپن را بررسی کردند. یافته‌های آنها بر ضرورت افزایش مقیاس پروژه‌ها و تبادل اطلاعات بین‌المللی به‌منظور بهره‌برداری پایدار از منابع آب زیرزمینی تأکید داشت.

همچنین در برخی مطالعات داخلی نیز به این موضوع پرداخته شده است. در پژوهش تشکری و همکاران (۲۰۲۳) مکان‌یابی مناطق مستعد برای احداث این‌گونه سدها بررسی شده است. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که با احداث سد زیرزمینی در سایت‌های پیشنهادی می‌توان بخشی از کمبود و بحران آب در ماه‌های گرم را جبران کرد. صابری نصر و همکاران (۲۰۲۴) با هدف مکان‌یابی ساخت سد زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم‌های تصمیم‌گیری پژوهشی انجام دادند. نتایج نشان می‌دهد استان‌های خراسان رضوی و جنوبی، کرمان، یزد، سیستان و بلوچستان، همدان، قزوین و زنجان و تا حدودی استان‌های مرکزی و قم از پتانسیل بالاتری نسبت به سایر استان‌های کشور برای احداث سدهای زیرزمینی برخوردارند.

در پژوهش‌های پیشین، چه در داخل و چه در خارج از کشور، تمرکز به‌طور عمده بر جنبه‌های مثبت سدهای زیرزمینی و مکان‌یابی آنها بوده و بررسی جامع و متوازی از پیامدهای مثبت و منفی این سازه‌ها کمتر صورت گرفته است، همچنین تاکنون هیچ مطالعه‌ای از روش تحلیل SWOT برای ارزیابی همه‌جانبه مزایا، معایب، فرصت‌ها و تهدیدهای مرتبط با سدهای زیرزمینی در سطح ملی بهره‌نگرفته است.

بر این اساس، نوآوری اصلی این پژوهش در به‌کارگیری تحلیل SWOT به‌عنوان رویکردی مدیریتی و تصمیم‌گیری چندبعدی نهفته است؛ رویکردی که ضمن شناسایی نقاط قوت و ضعف فنی و محیط‌زیستی این سدها، فرصت‌ها و تهدیدهای کلان اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی را نیز به‌طور هم‌زمان بررسی می‌کند. این نگاه جامع، امکان ارائه راهکارهایی هدفمندتر، پایدارتر و منطبق بر واقعیت‌های مدیریتی را فراهم می‌سازد؛ موضوعی که در اغلب مطالعات پیشین از آن غفلت شده است. از این رو بهره‌گیری از تحلیل SWOT در این پژوهش به‌عنوان ابزاری اثربخش برای تصمیم‌سازی دقیق‌تر و مدیریت بهینه سدهای زیرزمینی توجیه‌پذیر و ضروری تلقی می‌شود.

این چارچوب تحلیلی مدیریت‌محور که برای نخستین بار مورد مطالعه قرار گرفته است، امکان ارزیابی چندمعیاره را فراهم می‌سازد و الگویی پیشرو در تصمیم‌گیری‌های راهبردی ارائه می‌دهد. یافته‌های این مطالعه نه‌تنها در بستر جغرافیایی ایران کاربرد دارد، بلکه به‌عنوان چارچوبی عملیاتی قابل‌تعمیم به مناطق مشابه جهان با ویژگی‌های هیدروژئولوژیک و اقلیمی هم‌سان است.

^۱ Aras

^۲ Ishida

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. چارچوب کلی پژوهش

پراکنش سدهای زیرزمینی در ایران به‌طور عمده محدود به مناطق خشک و نیمه‌خشک است که به‌دلیل کمبود منابع آب سطحی و نیاز به حفاظت و مدیریت منابع آب زیرزمینی از اهمیت بالایی برخوردارند. با این حال ساخت این نوع سدها هنوز در مقایسه با دیگر روش‌های مدیریت منابع آب، رواج و توسعه گسترده‌ای نیافته و بیشتر به‌صورت پراکنده و در مناطق خاص اجرا شده‌اند. این محدودیت به‌طور عمده ناشی از چالش‌های اقتصادی، فنی و محیط‌زیستی است که مانع از گسترش وسیع‌تر این سازه‌ها شده‌اند (سالاری و همکاران، ۲۰۲۱؛ جلی، ۲۰۲۰)، از این رو بررسی دقیق‌تر ظرفیت‌ها، محدودیت‌ها و چشم‌اندازهای توسعه سدهای زیرزمینی، به‌ویژه در مناطق مستعد، می‌تواند در بهینه‌سازی سیاست‌ها و تصمیم‌گیری‌های آبی کشور مؤثر باشد.

در همین راستا این پژوهش با هدف بررسی جامع سدهای زیرزمینی با به‌کارگیری رویکرد SWOT (نقاط قوت، ضعف‌ها، فرصت‌ها^۲ و تهدیدها^۴) و ارائه راهکارهای مدیریتی و تصمیم‌گیری بهینه انجام شده است. روش تحقیق حاضر ترکیبی از مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای است که با تشکیل یک کارگروه تخصصی و استفاده از ابزار پرسشنامه به گردآوری داده‌ها پرداخته است.

۲-۲. ابزار گردآوری داده‌ها

در این پژوهش ابزار اصلی گردآوری داده‌ها پرسشنامه‌ای بود که بر مبنای مدل SWOT و با در نظر گرفتن شاخص‌های چندبعدی ارزیابی عملکرد سدهای زیرزمینی طراحی شد. این شاخص‌ها که ابعاد فنی، اقتصادی، محیط زیستی و اجتماعی را پوشش می‌دهند، از طریق بررسی‌های سیستماتیک کتابخانه‌ای، مطالعات میدانی اولیه و مشاوره با اعضای کارگروه تخصصی تعیین شدند. پرسشنامه نهایی شامل گویه‌هایی با مقیاس لیکرت بود که امکان سنجش کمی میزان اهمیت و تأثیر هر یک از عوامل SWOT (نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها) را فراهم ساخت.

۲-۳. جامعه آماری و نمونه‌گیری

جامعه آماری این پژوهش شامل متخصصان و کارشناسان فعال در حوزه‌های مدیریت منابع آب، مهندسی عمران، محیط زیست و رشته‌های مرتبط با سدهای زیرزمینی در سطح کشور بود. نمونه‌گیری به روش هدفمند و با استفاده از معیارهای مشخصی شامل دارا بودن حداقل مدرک کارشناسی ارشد در رشته‌های مرتبط، سابقه حداقل پنج سال فعالیت پژوهشی یا اجرایی در زمینه سدهای زیرزمینی، همچنین داشتن تجربه در مدیریت منابع آب انجام شد. با وجود محدودیت‌های موجود در دسترسی به جامعه متخصص، تعداد ۱۳ پرسشنامه توسط افراد واجد شرایط تکمیل شد. با توجه به تخصص و تجربه بالای پاسخ‌دهندگان، حجم نمونه به‌دست‌آمده برای انجام تحلیل‌های کیفی و استخراج دیدگاه‌های تخصصی مرتبط با موضوع مورد مطالعه، مناسب است و کفایت می‌کند.

۲-۴. اجرای پژوهش

۲-۴-۱. تشکیل کارگروه تخصصی

یک کارگروه تخصصی با حضور متخصصان و کارشناسان مرتبط با سدهای زیرزمینی تشکیل شد. این کارگروه مسئولیت بررسی و تعیین شاخص‌ها و معیارهای SWOT، طراحی پرسشنامه، گردآوری و تحلیل داده‌ها را به‌عهده داشت.

۲-۴-۲. مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی

اعضای کارگروه به بررسی منابع علمی و فنی، گزارش‌های دولتی و مطالعات موردی مرتبط با سدهای زیرزمینی در سطح کشور پرداختند، همچنین بازدیدهای میدانی از برخی سدهای زیرزمینی انجام شد تا اطلاعات اولیه برای طراحی پرسشنامه و تعیین شاخص‌ها جمع‌آوری شود.

¹ Strengths

² Weaknesses

³ Opportunities

⁴ Threats

۲-۴-۳. طراحی پرسشنامه

بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده و با نظر اعضای کارگروه، پرسشنامه SWOT طراحی شد. این پرسشنامه شامل پرسش‌هایی در مورد نقاط قوت، ضعف‌ها، فرصت‌ها و تهدیدهای مرتبط با سدهای زیرزمینی بود.

۲-۴-۴. گردآوری داده‌ها

پرسشنامه‌های پژوهش به دو شیوه حضوری و الکترونیکی در اختیار نمونه‌های آماری قرار گرفت. اعضای کارگروه تخصصی ضمن ارائه راهنمایی‌های لازم به مشارکت‌کنندگان، در فرایند تکمیل ابزار پژوهش نقش تسهیل‌گری ایفا کردند و به همه ابهام‌ها و پرسش‌های آنان پاسخ دادند.

۲-۴-۵. تحلیل داده‌ها

داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار اکسل (Microsoft Excel) مورد بررسی قرار گرفت. در این تحلیل، میانگین، انحراف معیار و سایر شاخص‌های آماری توصیفی برای هریک از عوامل SWOT محاسبه شد.

۲-۴-۶. تشکیل ماتریس SWOT

بر اساس نتایج تحلیل داده‌ها، ماتریس SWOT تشکیل شد. این ماتریس شامل فهرستی از نقاط قوت، ضعف‌ها، فرصت‌ها و تهدیدهای مرتبط با سدهای زیرزمینی بود.

۲-۴-۷. تدوین راهبردها

با استفاده از ماتریس SWOT، راهبردهای مدیریتی و تصمیم‌گیری برای بهبود عملکرد سدهای زیرزمینی تدوین شد. این راهبردها شامل پیشنهادهایی برای تقویت نقاط قوت، کاهش ضعف‌ها، بهره‌گیری از فرصت‌ها و مقابله با تهدیدها بود.

جدول ۱. نتایج معایب و مزایای احداث سدهای زیرزمینی با رویکرد SWOT

تحلیل SWOT	کد	محتوا
نقاط قوت	S۱	کاهش تبخیر آب به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک
	S۲	نیاز به فضای کمتر برای ذخیره‌سازی آب
	S۳	ذخیره‌سازی آب‌های زیرسطحی و کاهش هدررفت منابع آب
	S۴	سهولت بهره‌برداری از آب
	S۵	تأثیر کمتر بر محیط زیست
	S۵	پایداری در برابر تغییرات اقلیمی
نقاط ضعف	W۱	مسدود کردن جریان‌های زیرسطحی و توقف تغذیه طبیعی آبخوان‌ها
	W۲	مشکلات تکنیکی و زمین‌شناسی محل احداث سازه و نشت آب به اطراف (لایه‌های ناهمگن، شکستگی‌ها، حفرات یا سنگ‌های متخلخل)
	W۳	استفاده محدود آب برای بهره‌برداران بالادست در مقایسه با استفاده عمومی جریان زیرقشری
	W۴	محدودیت در ظرفیت ذخیره‌سازی نسبت به سدهای مخزنی سطحی
	W۵	هزینه زیاد نسبت به حجم آب ذخیره‌شده
	W۶	مشخص نبودن عرض و عمق مناسب مقطع آبراهه برای احداث این سازه
فرصت‌ها	O۱	ذخیره‌سازی منابع آب زیرسطحی
	O۲	امکان استفاده در مناطق با محدودیت‌های فضا و زمین‌های گران‌قیمت
	O۳	استفاده بیشتر از منابع آب محلی
	O۴	تأمین آب برای کشاورزی با هزینه‌های کمتر
	O۵	توسعه کشاورزی و زراعی و تأسیسات در بالادست سد زیرزمینی
	O۶	افزایش تراز آبی چاه‌های همجوار
تهدیدها	T۱	اعتراض‌های اجتماعی و معارضات اقتصادی به‌ویژه در مناطق پایین‌دست سدهای زیرزمینی
	T۲	تبعات منفی محیط زیستی بلندمدت سدهای زیرزمینی بر ساختار زمین، تغذیه آبخوان‌ها و اکوسیستم‌های محلی (حذف حقایق محیط زیستی و نابودی اکوسیستم‌های طبیعی پایین‌دست)
	T۳	ایجاد مشکلات محیط زیستی مانند تشدید فرسایش بادی و بیابان‌زایی در مناطق پایین‌دست سدهای زیرزمینی

تحلیل SWOT	کد	محتوا
	T۴	تبعات منفی برای اراضی پایین دست در نتیجه مسدود شدن جریان های زیرسطحی و خالی شدن خلل و فرج آبخوان از رطوبت و ایجاد فشار و فرونشست
	T۵	کاهش کیفیت (شور شدن) آب و خاک مناطق پایین دست ناشی از نبود جریان آب زیرقشری
	T۶	اعتراض های اجتماعی و معارضات اقتصادی به ویژه در مناطق پایین دست سدهای زیرزمینی

۲-۵. محدوده جغرافیایی

محدوده جغرافیایی این پژوهش، کل کشور ایران است. با توجه به تنوع شرایط اقلیمی و هیدروژئولوژیکی در مناطق مختلف کشور، نتایج این پژوهش ممکن است در برخی مناطق کاربرد بیشتری داشته باشد.

۲-۶. ملاحظات اخلاقی

در این پژوهش، اصول اخلاق پژوهش رعایت شده است. قبل از تکمیل پرسشنامه ها، به افراد نمونه توضیح داده شد که هدف از این پژوهش، ارائه راهکارهای مدیریتی برای بهبود عملکرد سدهای زیرزمینی است، همچنین به آنها اطمینان داده شد که اطلاعات شخصی آنها محرمانه خواهد ماند و فقط برای اهداف پژوهشی استفاده خواهد شد.

۲-۷. اعتبار و روایی پرسشنامه

اعتبار و روایی پرسشنامه از طریق نظرخواهی از متخصصان و استادان برجسته در حوزه مدیریت منابع آب و مهندسی سد مورد تأیید قرار گرفت. پرسشنامه پس از اعمال نظرات اصلاحی، به صورت نهایی استفاده شد.

۳. یافته های پژوهش

در این بخش، نتایج تحلیل SWOT سدهای زیرزمینی بر اساس داده های جمع آوری شده از کارشناسان و متخصصان حوزه مدیریت منابع آب ارائه می شود. با توجه به ماتریس های محاسبه شده و ضرایب مربوطه، امتیاز نهایی هر عامل (شامل نقاط قوت، ضعف، فرصت ها و تهدیدها) تعیین شده که نشان دهنده میزان اهمیت و تأثیر هر عامل در عملکرد و مدیریت سدهای زیرزمینی است.

۳-۱. اطلاعات توصیفی پاسخ دهندگان

بررسی ویژگی های دموگرافیک و تخصصی پاسخ دهندگان نشان می دهد ۵۴ درصد شرکت کنندگان مرد و ۴۶ درصد زن بودند. از نظر سطح تحصیلات، ۳۸ درصد دارای مدرک کارشناسی ارشد در رشته های مرتبط (آبخیزداری، آبیاری و زمین شناسی) و ۶۲ درصد در مقطع دکتری تخصصی آبخیزداری بودند، همچنین ۶۲ درصد افراد دارای تجربه کاری زیاد (بیش از ۱۰ سال) و ۳۸ درصد دارای تجربه متوسط (۵ تا ۱۰ سال) در حوزه سدهای زیرزمینی بودند. توزیع سنی پاسخ دهندگان نیز حاکی از حضور غالب متخصصان میانسال (۴۰ تا ۵۰ سال) با سهم ۳۸ درصد بود.

۳-۲. نتایج عوامل داخلی (نقاط قوت و ضعف)

جدول ۲ نشان دهنده عوامل داخلی شامل نقاط قوت و ضعف سدهای زیرزمینی است که با توجه به ضرایب و نمرات به دست آمده، هر عامل دارای نمره نهایی مشخصی است. در بررسی عوامل داخلی، ابتدا نقاط قوت سدهای زیرزمینی ارزیابی شد. نتایج نشان می دهد از دیدگاه کارشناسان، عامل کاهش تبخیر آب به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک با نمره نهایی ۰/۳۹۱ و ذخیره سازی آب های زیرسطحی با نمره ۰/۳۰۹ به عنوان مهم ترین نقاط قوت این سازه ها شناخته شده اند. سایر نقاط قوت نیز در جدول زیر قابل مشاهده است.

جدول ۲. ماتریس عوامل داخلی

عوامل خارجی				
شرح	ضریب	نرمال ضریب	نمره	نمره نهایی
فرصت‌ها	ذخیره‌سازی منابع آب زیرسطحی	۴/۲۱	۰/۱۰۳	۳/۲۳
	امکان استفاده در مناطق با محدودیت‌های فضا و زمین‌های گران‌قیمت	۳/۵۰	۰/۰۸۵	۲/۶۹
	استفاده بیشتر از منابع آب محلی	۳/۷۱	۰/۰۹۱	۲/۹۲
	تأمین آب برای کشاورزی با هزینه‌های کمتر	۳/۲۹	۰/۰۸۰	۲/۴۶
	توسعه کشاورزی و زراعی و تأسیسات در بالادست سد زیرزمینی	۳/۰۷	۰/۰۷۵	۲/۳۱
	افزایش تراز آبی چاه‌های همجوار	۳/۶۴	۰/۰۸۹	۲/۷۱
تهدیدها	اعتراض‌های اجتماعی و معارضات اقتصادی به‌ویژه در مناطق پایین‌دست سدهای زیرزمینی	۳/۵۷	۰/۰۸۷	۳
	تبعات منفی محیط زیستی بلندمدت سدهای زیرزمینی روی ساختار زمین، تغذیه آبخوان‌ها و اکوسیستم‌های محلی (حذف حقایق محیط زیستی و نابودی اکوسیستم‌های طبیعی پایین‌دست)	۳/۳۶	۰/۰۸۲	۲/۸۵
	ایجاد مشکلات محیط زیستی مانند تشدید فرسایش بادی و بیابان‌زایی در مناطق پایین‌دست سدهای زیرزمینی	۳/۱۴	۰/۰۷۷	۲/۶۹
	تبعات منفی برای اراضی پایین‌دست در نتیجه مسدود شدن جریان‌های زیرسطحی و خالی شدن خلل و فرج آبخوان از رطوبت و ایجاد فشار و فرونشست	۳/۴۳	۰/۰۸۴	۳/۰۸
	کاهش کیفیت (شور شدن) آب‌و خاک مناطق پایین‌دست ناشی از عدم جریان آب زیرقشری	۳/۲۹	۰/۰۸۰	۰/۲۹۲
	مهاجرت و ترک مناطق مسکونی پایین‌دست ناشی از کاهش کیفیت آب‌و خاک و شرایط زندگی	۲/۷۹	۰/۰۶۸	۰/۱۷۸
مجموع		۴۱/۰۰	۱/۰۰	۲/۸۱

همچنین در بخش نقاط ضعف، محدودیت ظرفیت ذخیره‌سازی نسبت به سدهای مخزنی سطحی با نمره ۰/۲۷۱، استفاده محدود آب برای بهره‌برداران بالادست با نمره ۰/۲۲۷ و مسدود کردن جریان‌های زیرسطحی با نمره ۰/۲۲۶ به‌عنوان مهم‌ترین چالش‌های سدهای زیرزمینی شناسایی شدند. این نتایج نشان می‌دهد هرچند سدهای زیرزمینی مزایای قابل‌توجهی دارند، اما محدودیت‌هایی نیز در بهره‌برداری و تأثیرات محیط زیستی آنها وجود دارد که باید در مدیریت این سازه‌ها مدنظر قرار گیرد.

۳-۳. نتایج عوامل خارجی (فرصت‌ها و تهدیدها)

جدول ۳ مربوط به عوامل خارجی است که فرصت‌ها و تهدیدهای مرتبط با سدهای زیرزمینی را نشان می‌دهد. در بررسی عوامل بیرونی، فرصت‌های موجود در احداث سدهای زیرزمینی مورد توجه قرار گرفت. نتایج تحلیل نشان می‌دهد ذخیره‌سازی منابع آب زیرسطحی با نمره نهایی ۰/۳۳۲ و استفاده بیشتر از منابع آب محلی با نمره ۰/۲۶۵ به‌عنوان مهم‌ترین فرصت‌ها شناخته شده‌اند. سایر فرصت‌ها و تهدیدها در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۳. ماتریس عوامل خارجی

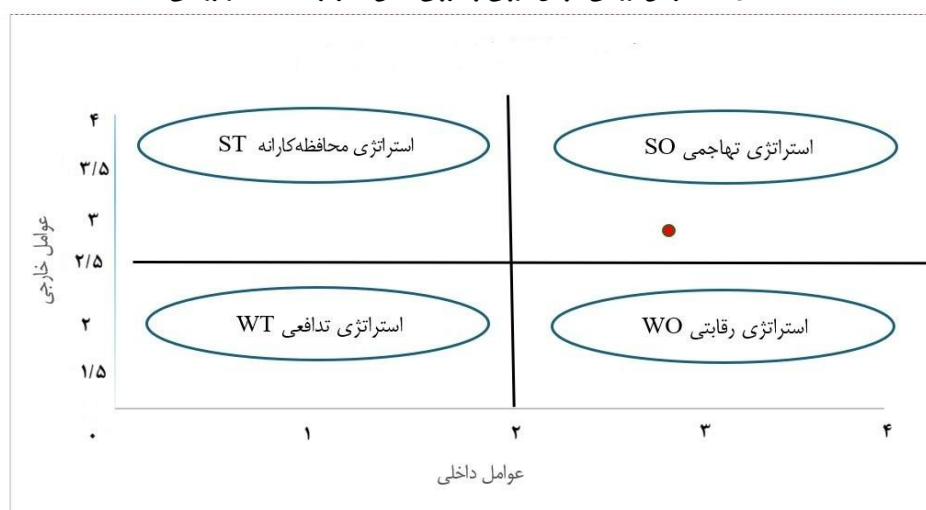
عوامل خارجی					
شرح	ضریب	نرمال ضریب	نمره	نمره نهایی	
فرصت‌ها	ذخیره‌سازی منابع آب زیرسطحی	۴/۲۱	۰/۱۰۳	۳/۲۳	۰/۳۳۲
	امکان استفاده در مناطق با محدودیت‌های فضا و زمین‌های گران‌قیمت	۳/۵۰	۰/۰۸۵	۲/۶۹	۰/۲۳۰
	استفاده بیشتر از منابع آب محلی	۳/۷۱	۰/۰۹۱	۲/۹۲	۰/۲۶۵
	تأمین آب برای کشاورزی با هزینه‌های کمتر	۳/۲۹	۰/۰۸۰	۲/۴۶	۰/۱۹۷
	توسعه کشاورزی و زراعی و تأسیسات در بالادست سد زیرزمینی	۳/۰۷	۰/۰۷۵	۲/۳۱	۰/۱۷۳
	افزایش تراز آبی چاه‌های همجوار	۳/۶۴	۰/۰۸۹	۲/۷۱	۰/۲۴۱
تهدیدها	اعتراض‌های اجتماعی و معارضات اقتصادی به‌ویژه در مناطق پایین‌دست سدهای زیرزمینی	۳/۵۷	۰/۰۸۷	۳	۰/۲۶۱
	تبعات منفی محیط زیستی بلندمدت سدهای زیرزمینی روی ساختار زمین، تغذیه آبخوان‌ها و اکوسیستم‌های محلی (حذف حقایق محیط زیستی و نابودی اکوسیستم‌های طبیعی پایین‌دست)	۳/۳۶	۰/۰۸۲	۲/۸۵	۰/۲۳۳
	ایجاد مشکلات محیط زیستی مانند تشدید فرسایش بادی و بیابان‌زایی در مناطق پایین‌دست سدهای زیرزمینی	۳/۱۴	۰/۰۷۷	۲/۶۹	۰/۲۰۶
	تبعات منفی برای اراضی پایین‌دست در نتیجه مسدود شدن جریان‌های زیرسطحی و خالی شدن خلل و فرج آبخوان از رطوبت و ایجاد فشار و فرونشست	۳/۴۳	۰/۰۸۴	۳/۰۸	۰/۲۵۸
	کاهش کیفیت (شور شدن) آب‌و خاک مناطق پایین‌دست ناشی از عدم جریان آب زیرقشری	۳/۲۹	۰/۰۸۰	۰/۲۹۲	۰/۲۳۴
	مهاجرت و ترک مناطق مسکونی پایین‌دست ناشی از کاهش کیفیت آب‌و خاک و شرایط زندگی	۲/۷۹	۰/۰۶۸	۰/۶۲	۰/۱۷۸
مجموع		۴۱/۰۰	۱/۰۰	۲/۸۱	

از سوی دیگر در بخش تهدیدها، اعتراض‌های اجتماعی و معارضات اقتصادی در مناطق پایین‌دست با نمره ۰/۲۶۱ و تبعات منفی محیط زیستی مانند خالی شدن خلل و فرج آبخوان و ایجاد فرونشست با نمره ۰/۲۵۸ به‌عنوان مهم‌ترین تهدیدها شناسایی شدند. این موارد نشان‌دهنده ضرورت توجه به مسائل اجتماعی و محیط زیستی در برنامه‌ریزی و مدیریت سدهای زیرزمینی است.

۳-۴. ماتریس ارزیابی عوامل درونی و بیرونی (تعیین استراتژی)

شکل ۱ ماتریس ترکیبی ارزیابی عوامل داخلی و خارجی است که به تعیین استراتژی‌های مدیریتی سدهای زیرزمینی کمک می‌کند. با ترکیب نتایج عوامل داخلی و خارجی، ماتریس ارزیابی نهایی تهیه شد که امکان شناسایی راهبردهای کلان مدیریتی را فراهم می‌آورد. این ماتریس نشان می‌دهد با تقویت نقاط قوت و بهره‌گیری از فرصت‌ها، همچنین مدیریت نقاط ضعف و مقابله با تهدیدها، می‌توان کارایی و اثربخشی سدهای زیرزمینی را بهبود بخشید.

شکل ۱. ماتریس ارزیابی عوامل درونی و بیرونی تعیین استراتژی سدهای زیرزمینی



نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد اتخاذ راهبردهای مدیریتی هدفمند می‌تواند کارایی و پایداری سدهای زیرزمینی را به میزان قابل توجهی افزایش دهد. در این راستا تمرکز بر بهینه‌سازی مزیت‌های کلیدی همچون کاهش میزان تبخیر و افزایش ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی ضروری است. همزمان بهره‌برداری حداکثری از پتانسیل‌های منابع آبی محلی و رفع مشکلات و محدودیت‌های فنی و ظرفیت ذخیره‌سازی می‌تواند نقاط ضعف سیستم را کاهش دهد، همچنین اعمال سیاست‌های کارآمد برای کنترل چالش‌های اجتماعی و مخاطرات محیط زیستی از دیگر الزامات مدیریت پایدار این سازه‌ها محسوب می‌شود. چنین راهبرد جامعی قادر است عملکرد بهینه و پایداری بلندمدت سدهای زیرزمینی را تضمین کند.

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد سدهای زیرزمینی با وجود مزایای قابل توجه همچون کاهش تبخیر آب و ذخیره‌سازی مؤثر منابع زیرسطحی، با چالش‌هایی نظیر محدودیت ظرفیت ذخیره‌سازی، مشکلات فنی و تهدیدهای محیط زیستی و اجتماعی مواجه‌اند. استفاده از تحلیل SWOT و ماتریس‌های مرتبط، امکان شناسایی دقیق این عوامل و تدوین راهبردهای مدیریتی بهینه را فراهم ساخته است. تقویت نقاط قوت و بهره‌گیری از فرصت‌ها در کنار مدیریت ضعف‌ها و تهدیدها، کلید افزایش کارایی و پایداری این سازه‌ها در مدیریت منابع آب کشور خواهد بود.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

سدهای زیرزمینی به‌عنوان یکی از فناوری‌های نوین و کارآمد مدیریت منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، توانسته‌اند نقش مهمی در کاهش تبخیر آب و افزایش ذخیره‌سازی آب‌های زیرسطحی ایفا کنند. یافته‌های این پژوهش همسو با مطالعات پیشین ملی و بین‌المللی، نشان می‌دهد توسعه این سازه‌ها ضمن ارتقای بهره‌وری منابع آبی، ظرفیت قابل توجهی برای پایداری کشاورزی و مقابله با بحران آب در فصل‌های گرم دارند (Ebrahimi et al., 2021; Ouerdachi et al., 2012; Çavdar, 2024). بر این اساس، سدهای زیرزمینی نه تنها به‌عنوان یک راهکار مهندسی، بلکه به‌عنوان بخشی از نظام جامع مدیریت منابع آب باید مدنظر قرار گیرند. با وجود این، یافته‌های SWOT به روشی سیستماتیک نشان می‌دهد تنها تمرکز بر ابعاد فنی و سازه‌ای کافی نیست، بلکه توسعه پایدار این فناوری منوط به درک و تقویت چارچوب‌های حکمرانی مرتبط است.

در بررسی نقاط قوت، سازوکارهای سدهای زیرزمینی از نظر کاهش تلفات تبخیری و ذخیره‌سازی مؤثر منابع آب زیرسطحی برجسته است که امکان تأمین آب پایدارتر را فراهم می‌آورد. این مزایا در مطالعات آراز و همکاران (۲۰۲۲) و تشکری و همکاران (۲۰۲۳) نیز تأیید شده است که نشان می‌دهد این سازه‌ها می‌توانند به‌نوعی کمبود آب در فصول گرم و خشکسالی را کاهش دهند. از منظر حکمرانی، وجود قوانین حمایتی و همکاری‌های بین‌بخشی میان نهادهای مرتبط می‌تواند ظرفیت‌های فنی سدها را به ظرفیت عملیاتی و پایدار تبدیل کند، به شرط آنکه سیاست‌ها، سازوکارهای مدیریت و مسئولیت‌ها به‌روشنی تعریف شود و همه ذی‌نفعان در فرایند تصمیم‌گیری مشارکت داشته باشند (Bergbusch et al., 2024).

در خصوص نقاط ضعف، محدودیت ظرفیت ذخیره‌سازی نسبت به سدهای سطحی، مشکلات زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی

و پیامدهای محیط زیستی پایین دست (مانند فرونشست و آسیب به اکوسیستم‌های طبیعی)، چالش‌های فنی و مدیریتی بزرگی هستند که در ادبیات پژوهشی مانند ایشیدا و همکاران (۲۰۱۱) و گوین^۱ (۲۰۲۴) به آن اشاره شده است. رویکرد SWOT در این زمینه نشان می‌دهد کم‌توجهی به ابعاد مدیریتی و حکمرانی این مشکلات را تشدید می‌کند و می‌تواند به افزایش ریسک‌های اجتماعی و اقتصادی منجر شود. به‌ویژه در مناطق پایین دست، فقدان شفافیت در تصمیم‌گیری‌ها، نبود سازوکارهای مشارکتی و ضعف در نظارت موجب بروز معارضات اجتماعی می‌شود و پذیرش اجرای طرح‌ها را به مخاطره می‌اندازد، بنابراین چالش‌های فنی بدون پشتوانه حکمرانی قوی قابل رفع نیستند و توسعه پایدار سدهای زیرزمینی مستلزم راهبردهای جامع حکمرانی است.

فرصت‌های توسعه سدهای زیرزمینی بهبود بهره‌وری مدیریت منابع آب بومی، کاهش هزینه‌های تأمین آب کشاورزی و افزایش تراز آبی منابع زیرسطحی است (Aras et al., 2022). با این حال تحقق این فرصت‌ها مستلزم نظام حکمرانی کارآمدی است که بتواند ضمن هم‌افزایی ظرفیت‌های فنی، به صورت رسمی و غیررسمی سیاست‌ها و اجرای پروژه‌ها را مدیریت کند. مشارکت مؤثر ذی‌نفعان از جمله جوامع محلی، بخش خصوصی و نهادهای دولتی، تنظیم سیاست‌های منسجم و همراهی مالی پایدار و ایجاد شعبه‌های نظارت و پاسخگو می‌تواند ظرفیت بهره‌برداری از فرصت‌ها و کاهش اثرات نامطلوب را بهبود دهد. مطالعه و بهبود چارچوب‌های حکمرانی برای سدهای زیرزمینی، به‌ویژه در ارتباط با نظام‌های نهادی و سیاست‌گذاری مرتبط با منابع طبیعی، اساس پایداری و موفقیت این پروژه‌ها است (Beiranvandi et al., 2024; Bergbusch et al., 2024).

تهدیدهای اصلی شامل اعتراض‌های اجتماعی، معارضات اقتصادی در مناطق پایین دست و اثرات منفی محیط زیستی همچون فرونشست و نابودی اکوسیستم‌های طبیعی هستند که در ادبیات پژوهشی بین‌المللی نیز به عنوان چالش‌های عمده پروژه‌های بزرگ آبی شناخته شده‌اند (Nguyen, 2024). این تهدیدها نه تنها از منظر فنی، بلکه به شدت وابسته به چارچوب‌های حکمرانی مستحکم‌اند که بتوانند با مدیریت مشارکتی، پایش مستمر و سیاست‌گذاری دقیق، ریسک‌ها را کاهش دهند. در غیر این صورت این تهدیدها می‌توانند پروژه‌ها را متوقف کنند یا کارایی آنها را به شدت کاهش دهند.

در نتیجه‌گیری کلی می‌توان اذعان کرد که سدهای زیرزمینی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، ظرفیت بالایی برای بهبود مدیریت پایدار منابع آب و کاهش تبخیر آب‌های زیرسطحی دارند، اما این ظرفیت فنی بدون پشتیبانی از سازوکارهای حکمرانی مؤثر نمی‌تواند به توسعه پایدار منجر شود. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد رویکرد SWOT در ارزیابی سدهای زیرزمینی، فرصت‌ها و مزایای فنی را با نقاط ضعف فنی، زمین‌شناسی و محیط زیستی، همچنین تهدیدهای اجتماعی - اقتصادی و زیست محیطی به صورت جامع و سیستماتیک بازتاب می‌دهد. در این راستا، چارچوب‌های حکمرانی منابع طبیعی به عنوان بستر کلیدی برای مدیریت تعارض‌ها، تقویت مشارکت ذی‌نفعان و اتخاذ سیاست‌های یکپارچه و سازگار باید در اولویت قرار گیرد. موفقیت در توسعه سدهای زیرزمینی مستلزم تلفیق دانش فنی با رویکردهای حکمرانی مبتنی بر شفافیت، مشارکت، پاسخگویی و هماهنگی بین بخشی است.

از جمله محدودیت‌های اصلی این پژوهش می‌توان به محدود بودن نمونه تخصصی و استفاده از پرسشنامه ساختاریافته اشاره کرد که مانع از تحلیل عمیق‌تر ابعاد اجتماعی، محلی و حکمرانی شد، همچنین کمبود داده‌های ملی و بین‌المللی جامع درباره سدهای زیرزمینی، امکان انجام تحلیل‌های کمی پیشرفته‌تر را محدود ساخته است. مهم‌تر از همه، در این پژوهش به طور تخصصی به جنبه‌های فنی پرداخته شده و تحلیل عمیق و کاربردی بر چارچوب‌های حکمرانی مرتبط کمتر صورت گرفته است، در حالی که این حوزه نقش محوری در موفقیت این پروژه‌ها دارد.

بر این اساس، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی ضمن بهره‌برداری از روش‌های تحقیق کیفی مانند مصاحبه‌های نیمه ساختاریافته و بررسی میدانی ذی‌نفعان، چارچوب‌های حکمرانی مرتبط به طور تفصیلی تحلیل و معرفی شود. سیاست‌های هماهنگ، ایجاد نهادهای نظارتی کارآمد، افزایش مشارکت ذی‌نفعان محلی و توسعه نظام مالی پایدار باید به عنوان راهبردهای اساسی در توسعه سدهای زیرزمینی مطرح و آزمون شوند. افزون بر این، تدوین و به کارگیری ابزارهای پیشرفته مدل سازی مکان‌یابی و ارزیابی تأثیرات اجتماعی و محیط‌زیستی با رویکرد حکمرانی، می‌تواند فرایند تصمیم‌گیری را ارتقا دهد و مسیر توسعه را هموارتر سازد.

¹ Nguyen

References

- Aras, E., Boz, B., Vaheddoost, B., & Yılmaz, D. (2024). A case study for determination of the best underground dam sites, Bursa Province, Turkey. *Groundwater*, 62(5), 804–816. <https://doi.org/10.1111/gwat.13421>
- Asgari, S. (2024). Hydropolitics of Iran's water resources: Consequences of the water scarcity challenge. *Political Spatial Planning*, 6(4), 87–106. (In Persian)
- Beiranvandi, V., Jahdi, R., & Hosseini, A. (2024). Developing a strategic plan for locating underground dams in Khorramabad County. *Geography and Environmental Sustainability*, 14(4), 123–136. (In Persian) <https://doi.org/10.22126/ges.2024.11211.2791>
- Bergbusch, N. T., Saunders, M. D., Leonard, K., St-Hilaire, A., Gibson, R. B., Jardine, T. D., & Courtenay, S. C. (2024). A systematic scoping review of the collaborative governance of environmental and cultural flows. *Environmental Reviews*, 33, 1–28. <https://doi.org/10.1139/er-2024-0015>
- Çavdar, P. S. (2024). A tool of sustainable control of groundwater resources: Underground dams. *Archives of Advanced Engineering Science*, 1–7. <https://doi.org/10.47852/bonviewAAES42022367>
- Ebrahimi, J., Moradi, H. R., & Chezgi, J. (2021). Prioritizing suitable locations for underground dam construction in southeast of Bushehr Province, Iran using Boolean logic and multi-criteria decision-making combined with GIS. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-161525/v1>
- Habibzadeh, A., Yarahmadi, J., & Majidi, A. (2021). Hydrodynamic analysis of riverbed deposits of underground dam construction site for water harvesting (Case study: Mashnaq underground dam). *Environment and Water Engineering*, 7(1), 132–142. <https://doi.org/10.22034/jewe.2020.249955.1430>
- Ishida, S., Tsuchihara, T., Yoshimoto, S., & Imaizumi, M. (2011). Sustainable use of groundwater with underground dams. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ*, 45(1), 51–61. <https://doi.org/10.6090/jarq.45.51>
- Jalili, A. (2020). Do's and don'ts in desert ecosystems and selecting the proper management strategy. *Iran Nature*, 5(2), 3–3. (In Persian) <https://doi.org/10.22092/irn.2020.121625>
- Jhariya, M. K., Banerjee, A., & Meena, R. S. (2022). Importance of natural resources conservation: Moving toward the sustainable world. In *Natural resources conservation and advances for sustainability* (pp. 3–27). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822976-7.00027-2>
- Majidi, A. (2025). Feasibility study of underground dam constructing in the sub-basins of Western Semnan Province using hierarchical analyses and geographic information systems. *Watershed Engineering and Management*, 17(1), 103–119. (In Persian) <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2024.367229.2085>
- Nguyen, M. N. (2024). Solution of subsurface dam for water supply. *EDP Sciences*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450808012>
- Ouerdachi, L., Boutaghane, H., Hafsi, R., Tayeb, T. B., & Bouzahar, F. (2012). Modeling of underground dams application to planning in the semi-arid areas (Biskra, Algeria). *Energy Procedia*, 18, 426–437. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.05.054>
- 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. (In Persian) <https://doi.org/10.22034/JEG.2024.18.2.1019551>
- Salari, A., Heydarzadeh, M., & Ghashghaeizade, N. (2021). Quantitative and qualitative evaluation of groundwater resources and the effective factors affecting (Case study: Villages in the central part of Bandar Lengeh city). *Rural Development Strategies*, 8(1), 123–140. (In Persian) <https://doi.org/10.22048/rdsj.2021.258911.1890>
- Scanlon, B. R., Fakhreddine, S., Rateb, A., et al. (2023). Author correction: Global water resources and the role of groundwater in a resilient water future. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4, 351. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00418-9>
- Tashakori, M., Hayatzadeh, M., Fathzadeh, A., Chezgi, J., & Bemani Kharanagh, A. (2023). Technical note: Feasibility and spatial prioritization of underground dam construction in the arid and semi-arid regions, case study: Roodan Watershed. *Watershed Engineering and Management*, 15(4), 655–672. (In Persian) <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2023.359376.1981>
- Van der Merwe, J., Wahid, S. M., Cesna, G. P., & Prabowo, D. A. (2024). Improving natural resource management through AI: Quantitative analysis using SmartPLS. *International Transactions on Artificial Intelligence*, 2(2), 135–142. <https://doi.org/10.33050/italic.v2i2.548>